

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ:

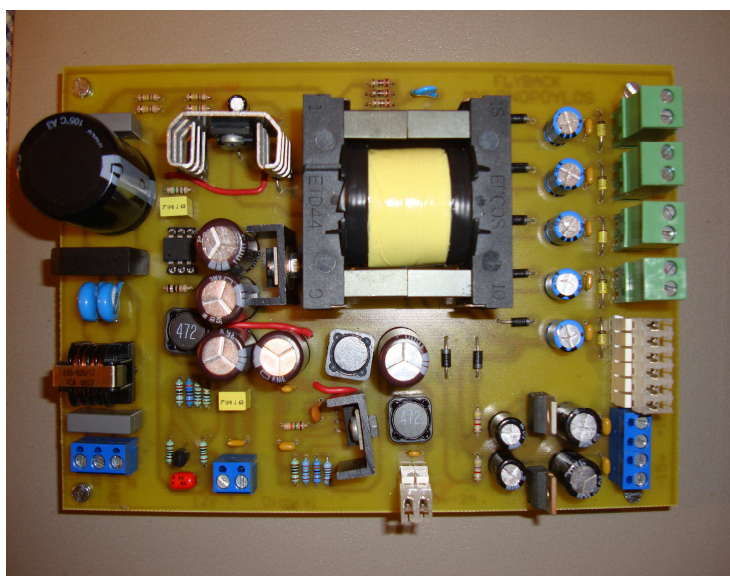
ΜΥΛΩΝΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΟΣ
ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ
ΕΞΟΔΩΝ ΙΣΧΥΟΣ 50W ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ
ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΔΡ.-ΜΗΧ.

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Π. ΠΟΛΥΖΟΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ: N⁰ 9



ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

- 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1
- 1.2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ 3
- 1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ 9
- 1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ
10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΕΧΗ ΤΑΣΗ

- 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 14
- 2.2 ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΤΡΟΦΟΛΟΤΙΚΑ 15
- 2.3 ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΤΡΟΦΟΛΟΤΙΚΑ 17
- 2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΗΣ Δ.Ε.Π.(PWM) ΣΤΑ
ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΤΡΟΦΟΛΟΤΙΚΑ 18
 - 2.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ Δ.Ε.Π.
20
- 2.5 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ
ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ
ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ Δ.Ε.Π. (PWM).
21
 - 2.5.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΣΥΝΕΧΗ ΑΓΩΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 25
 - 2.5.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΗ ΑΓΩΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 30
- 2.6 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΕΧΗ ΤΑΣΗ ΜΕ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ. 35
 - 2.6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ DC-DC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΜΕ
ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ 35
 - 2.6.2 ΜΟΝΟΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ. 36
 - 2.6.3 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ. 37
 - 2.6.4 ΕΛΕΓΧΟΣ DC-DC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ.
38
- 2.7 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ
FLYBACK ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ Δ.Ε.Π.
40

2.7.1	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΑΓΩΓΗΣ.	41
2.7.2	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΟΥΣ ΑΓΩΓΗΣ	47
2.8	ΑΛΛΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ FLYBACK.	50
2.8.1	ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ FLYBACK ΜΕ ΔΥΟ ΗΜΙΑΓΩΓΙΚΑ.	50
2.8.2	ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ FLYBACK.	51
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ</u>		
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.	
3.2	ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ.	52
3.3	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ.	52
3.4	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ.	53
3.5	ΕΙΣΟΔΟΣ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ.	53
3.6	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	53
3.7	ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΠΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΑΜΕ:	54
3.8	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΠΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΚΕ.	56
3.9 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΡΤΑΣ.		
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ.</u>		
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.	59
4.2	ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΕΝΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΕΝΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ FAIRCHILD ΣΕ ΕΝΑ FLYBACK ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ.	59
4.2.1	ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ FAIRCHILD.	60
4.2.1.1	<u>ΚΛΕΙΔΩΜΑ UNDER VOLTAGE LOCKOUT (UVLO):</u>	60
4.2.1.2	<u>ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ (ΑΝΑΔΡΑΣΗ):</u>	61
4.2.1.3	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ FAIRCHILD:	62
4.2.2	ΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ FAIRCHILD ΠΟΥ ΧΤΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ:	63

4.2.2.1	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΡΦΟΡΤΩΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ:	64
4.2.2.2	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΒΡΑΧΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΞΟΔΟΥ:	
4.2.2.3	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΡΤΑΣΗΣ:	67
4.2.2.4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΟΓΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ:	68
4.2.2.5	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	69
4.2.2.6	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΑΓΩΓΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ:	70
4.2.2.7	ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ:	70
4.2.2.7	ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ:	70
4.4	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΑΘΜΙΑΣ ΤΩΝ 5V ΤΟΥ LM 2673.	73
4.4.1	ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΤΑΣΗΣ ΜΕ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ LM 2673:	73
4.4.2	ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:	74
4.5	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΘΜΙΑΣ 5V ΜΕ ΤΟ LM2673.	80
4.6	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΤΩΝ 12V ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ.	81
4.7	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΤΩΝ +15V ΚΑΙ -15V ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ	82
4.8	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ.	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ—ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.	86
5.2	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.	86

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

1.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την ευρεία έννοια του όρου σκοπός της επιστήμης των ηλεκτρονικών ισχύος (*Power Electronics*) είναι η μετατροπή και ο έλεγχος της ηλεκτρικής ενέργειας από μια μορφή σε μία άλλη, με ηλεκτρονικές διατάξεις (τους στατικούς ηλεκτρονικούς μετατροπείς) που βασίζονται στη χρήση των ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος.

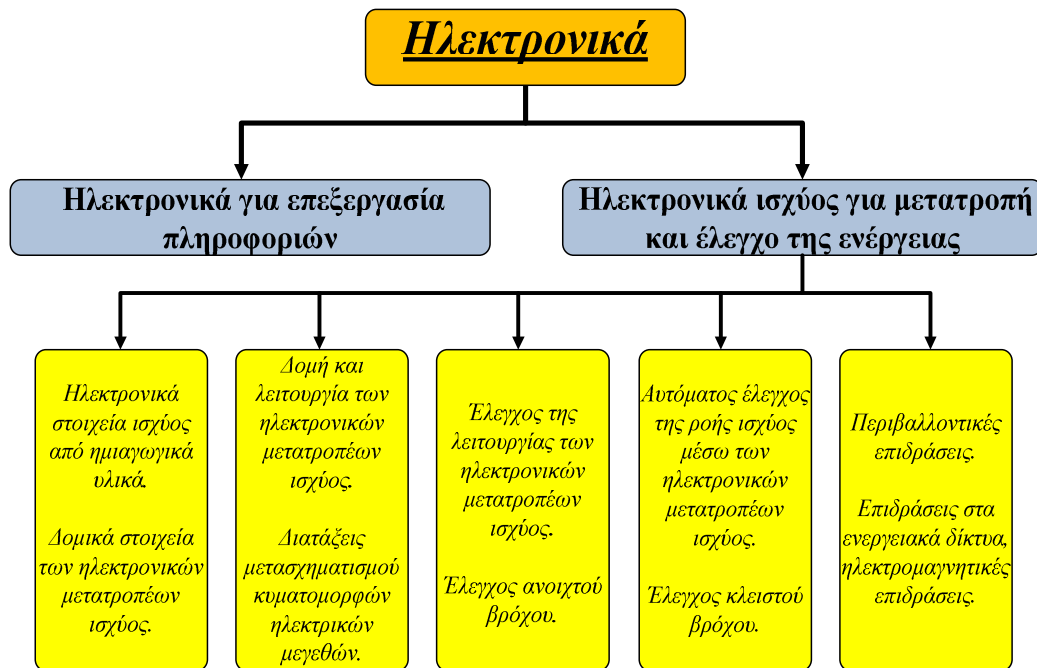
Η ιστορία των ηλεκτρονικών ισχύος ξεκινάει από τις αρχές του αιώνα μας με την ανακάλυψη του ανορθωτή υδραργύρου, αφού τα προηγούμενα χρόνια, η μετατροπή της ενέργειας επιτυγχανόταν μέσω περιστρεφόμενων μετατροπέων τους λεγόμενους και ηλεκτρομηχανικούς μετατροπείς ισχύος (δηλαδή, με τη βοήθεια ηλεκτρικών μηχανών π.χ. σύστημα Ward-Leonard). Στη συνέχεια, ήρθε η εποχή των μαγνητικών ενισχυτών (τη δεκαετία του 1940), αλλά η πραγματική επανάσταση στα ηλεκτρονικά ισχύος πραγματοποιήθηκε με την ανακάλυψη (1956 στα εργαστήρια της Bell Laboratories) του ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου (*silicon-controlled rectifier*) ή θυρίστορ (*Thyristor*), το οποίο διέθεσε πρώτη στο εμπόριο η General electric Company (USA, 1958).

Από τότε μέχρι σήμερα η εξέλιξη στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών συστημάτων ισχύος υπήρξε σημαντική και ραγδαία. Η ανακάλυψη νέων ημιαγωγικών στοιχείων, υλικών, κυκλωμάτων, διατάξεων και συστημάτων

ελέγχου, η τεχνολογική βελτίωση των ήδη υπαρχόντων καθώς και η επινόηση νέων συστημάτων, συντέλεσαν ώστε η τεχνολογία των ηλεκτρονικών ισχύος να προβάλλει ως μία από τις βασικότερες τεχνολογικές επιστήμες της εποχής μας [1].

Πριν όμως αρχίσουμε την διεξοδική ανάλυσή μας στην επιστήμη και την τεχνολογία των Ηλεκτρονικών Ισχύος θεωρούμε σκόπιμο να διευκρινιστούν ορισμένες θεμελιακές έννοιες. Γενικά με τον όρο «ηλεκτρονικά» εννοούμε τα ηλεκτρονικά δομικά στοιχεία και τις συσκευές που στηρίζονται στις ιδιότητες των ημιαγωγικών υλικών, τα οποία, από την άποψη των δυνατοτήτων δημιουργίας ηλεκτρικού ρεύματος, βρίσκονται μεταξύ των μεταλλικών αγωγών και των μονωτικών υλικών. Οι ημιαγωγοί διακρίνονται από τα αγώγιμα μέταλλα ως προς την ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία είναι πολύ μικρότερη εκείνης των μετάλλων, καθώς και ως προς τη χαρακτηριστική ιδιότητα ότι διαθέτουν φορείς θετικού και αρνητικού φορτίου, αλλά και τη δυνατότητα επηρεασμού της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η τιμή της αγωγιμότητας μπορεί να μεταβάλλεται εντός μιας ευρείας περιοχής. Με βάση αυτή τη δυνατότητα επιτυγχάνεται ο μηδενισμός του ρεύματος που ρέει μέσα στα ημιαγωγικά στοιχεία καθώς και η επιλογή ρεύματος μιας επιθυμητής τιμής, φτάνοντας μέχρι μία ανώτατη επιτρεπτή τιμή. Η δυνατότητα ελέγχου της ροής του ρεύματος με μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια αποτέλεσε την βασικότερη ιδιότητα για την «επανάσταση» στην ηλεκτρονική τεχνολογία των τελευταίων δεκαετιών.

Η συνολική περιοχή των ηλεκτρονικών μπορεί να θεωρηθεί ως σύνθεση δύο μεγάλων υποπεριοχών, δηλ. της περιοχής των ηλεκτρονικών για την επεξεργασία_πληροφοριών, όπου κυριαρχεί η απαίτηση να μην υπάρχουν απώλειες πληροφοριών, και της περιοχής των ηλεκτρονικών ισχύος για το μετασχηματισμό και τον έλεγχο της ροής της ηλεκτρικής ενέργειας. Στη δεύτερη περιοχή, κυρίαρχη απαίτηση είναι η ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας και έτσι η επίτευξη υψηλού βαθμού απόδοσης, παρέχοντας με αξιοπιστία την εκάστοτε επιθυμητή ποσότητα ενέργειας. Η κατάσταση αυτή φαίνεται παραστατικά στο διάγραμμα του σχήματος 1.1, όπου διακρίνονται οι κατηγορίες των ιδιαίτερων γνωστικών περιοχών και αντικειμένων έρευνας και ανάπτυξης, που σχετίζονται με τα ηλεκτρονικά ισχύος [1].



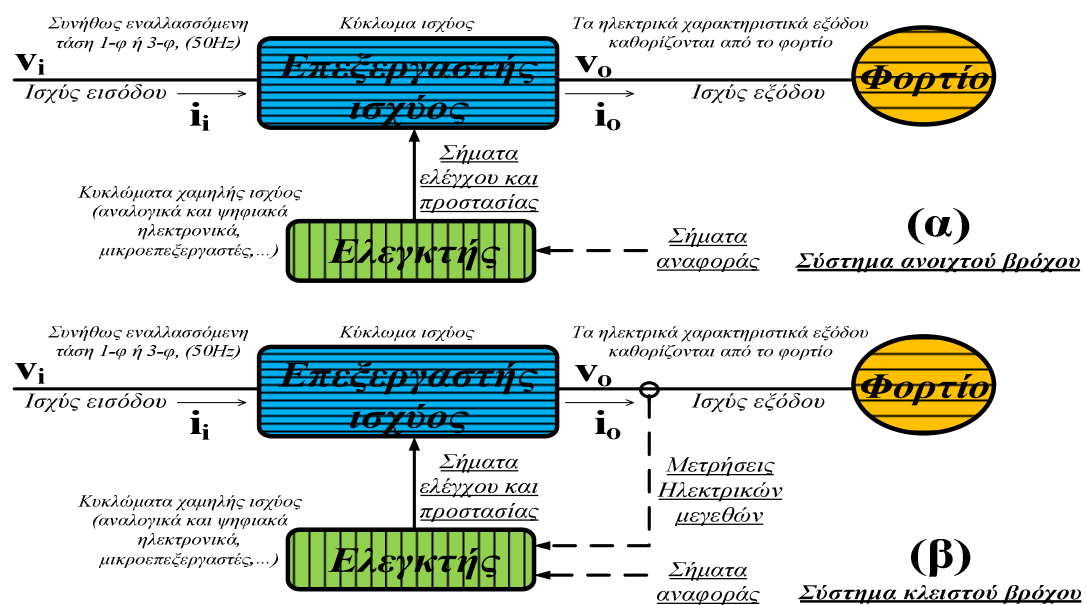
Σχήμα 1.1: Σχηματική παράσταση των περιοχών επιστήμης και τεχνολογίας των Ηλεκτρονικών [1].

1.4 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

Όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω, σκοπός των ηλεκτρονικών ισχύος είναι ο μετασχηματισμός των ηλεκτρικών μεγεθών, όπως είναι η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή, ή αντίστροφα η μετατροπή της συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη, μεταβάλλοντας τη συχνότητα και την ενεργό τιμή αυτής. Μέσω αυτών των μετατροπέων επιτυγχάνεται η τροφοδοσία των διαφόρων ηλεκτρικών φορτίων π.χ. μηχανών συνεχούς ρεύματος, μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος κ.λ.π., όπου ιδιαίτερη σημασία έχει ο έλεγχος της ποσότητας ισχύος σε κάθε χρονική στιγμή ικανοποιώντας τις απαιτήσεις του χρήστη, οι οποίες είναι αρκετά πολύπλοκες. Επιπλέον, οι διαδικασίες μετατροπής των ηλεκτρικών μεγεθών με ταυτόχρονη μετατροπή της ενέργειας, π.χ. ηλεκτρική σε μηχανική, πρέπει να διεκπεραιώνεται γρήγορα, αξιόπιστα, με υψηλές τιμές της απόδοσης και του συντελεστή ισχύος, καθώς και με μικρό κόστος. Στις εφαρμογές τα συστήματα με ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος εκτείνονται από την περιοχή των μικρών μεγεθών ισχύος (mW) μέχρι πολύ μεγάλες τιμές (τάξεως εκατοντάδων MW).

Στο *σχήμα 1.2* σχεδιάζεται το βασικό λειτουργικό διάγραμμα ενός ηλεκτρονικού συστήματος ισχύος. Από το διάγραμμα είναι εμφανές, ότι η

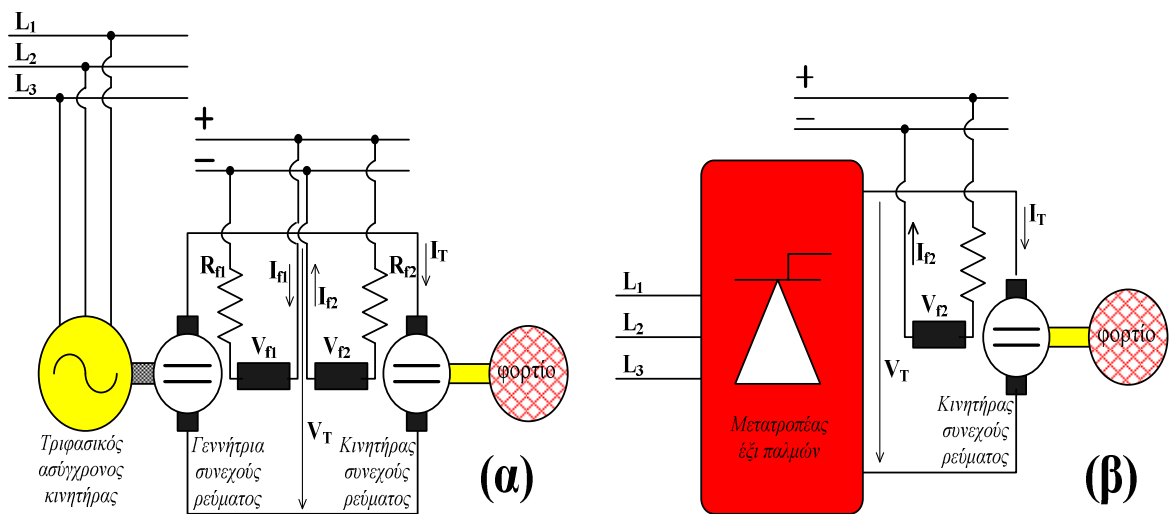
ισχύς εισόδου του μετατροπέα παρέχεται συνήθως (αλλά όχι πάντοτε) από το εκάστοτε δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (μονοφασική ή τριφασική εναλλασσόμενη τάση 230/400Volt ή 110/200Volt και συχνότητας 50Hz ή 60Hz). Η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος στην είσοδο του μετατροπέα εξαρτάται από την τοπολογία και την τεχνική ελέγχου του μετατροπέα ισχύος. Η επεξεργασμένη έξοδος (τάση, ρεύμα, συχνότητα, αριθμός φάσεων) είναι αυτή που απαιτεί το φορτίο. Αν ο μετατροπέας ισχύος θεωρηθεί ως πηγή τάσης, το ρεύμα εξόδου και η διαφορά φάσης ανάμεσα στο ρεύμα και την τάση εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του φορτίου. Στα πιο οικονομικά συστήματα, έχουμε έλεγχο ανοιχτού βρόχου (σχήμα 1.2.α) όπου η έξοδος του μετατροπέα δε διορθώνεται και επηρεάζεται από τις μεταβολές του φορτίου. Αντιθέτως, στα συστήματα με έλεγχο κλειστού βρόχου (σχήμα 1.2.β) η έξοδος του μετατροπέα ισχύος συγκρίνεται με μια επιθυμητή είσοδο και υπάρχει η κατάλληλη διόρθωση στη λειτουργία του μετατροπέα για την επίτευξη της επιθυμητής λειτουργίας και της ελαχιστοποίησης του σφάλματος, συνήθως με τη βοήθεια ενός ψηφιακού ελεγκτή. Τα περισσότερα συστήματα ισχύος πρέπει να παρέχουν τη δυνατότητα η ροή ισχύος να είναι αμφίδρομη, δηλαδή είτε από την είσοδο προς την έξοδο, είτε από την έξοδο προς την είσοδο, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος μια και σε πολλές πρακτικές εφαρμογές εναλλάσσονται οι ρόλοι της εισόδου και της εξόδου.



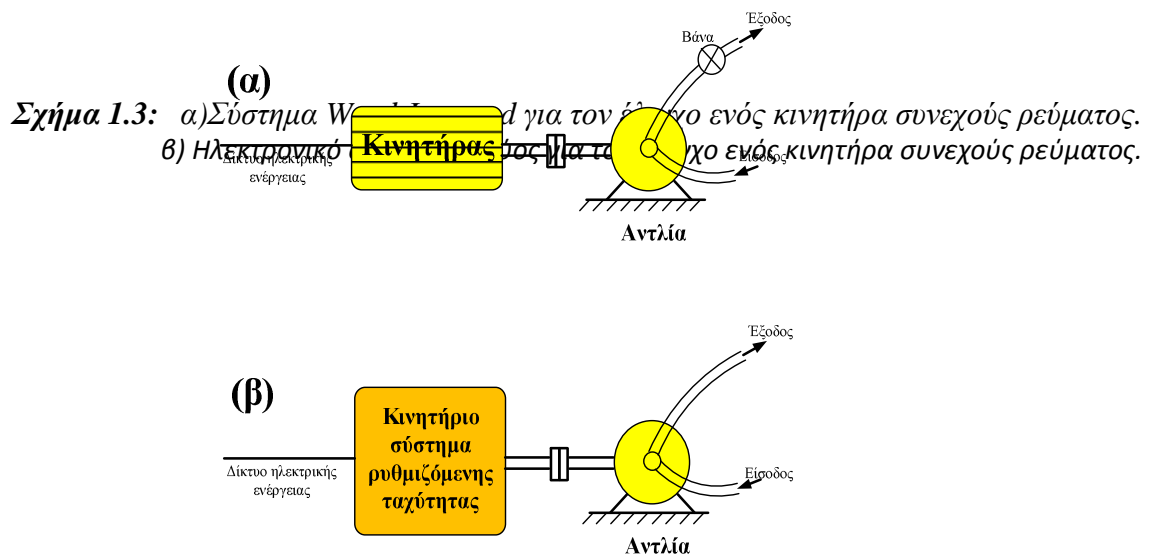
Σχήμα 1.2: Βασικό λειτουργικό διάγραμμα ενός ηλεκτρονικού συστήματος ισχύος. α) Σύστημα ανοιχτού βρόχου και β) Σύστημα κλειστού βρόχου[1].

Κύριο χαρακτηριστικό των ηλεκτρονικών συστημάτων ισχύος είναι η λειτουργία με υψηλότερες τιμές απόδοσης σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Επίσης, παρέχουν επιπλέον τη δυνατότητα για ευκολότερο, ευφύεστερο και φυσικά με μεγαλύτερη ακρίβεια έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος. Για να γίνουν εμφανή τα παραπάνω πλεονεκτήματα, παρουσιάζονται στη συνέχεια κάποιες χαρακτηριστικές εφαρμογές καθώς και οι τεχνικές που εφαρμόζονταν στο παρελθόν σε σύγκριση με αυτές που εφαρμόζονται σήμερα. Να σημειωθεί ότι, στο παρελθόν για να επιτευχθεί μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας από μια μορφή σε κάποια άλλη χρησιμοποιούνταν οι ηλεκτρομηχανικοί μετατροπείς ισχύος, όπου η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέποταν σε μηχανική και στη συνέχεια ξανά σε ηλεκτρική με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά (με τη βοήθεια των ηλεκτρικών μηχανών).

Στο *σχήμα 1.3.α*, φαίνεται το κλασικό σύστημα Ward-Leonard που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν για τον έλεγχο ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Είναι εμφανές ότι, για να επιτευχθεί ο έλεγχος του συγκεκριμένου κινητήρα απαιτούνται δύο επιπλέον ηλεκτρικές μηχανές (μία εναλλασσόμενου ρεύματος και μία συνεχούς ρεύματος), γεγονός που ελαττώνει την απόδοση του συστήματος, αυξάνει το κόστος, απαιτεί ειδικές κτηριακές εγκαταστάσεις και χειροτερεύει τις συνθήκες εργασίας των εργαζομένων (αυξημένος ακουστικός θόρυβος). Σήμερα, για τον έλεγχο ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος, εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα, μεταβλητής τάσης εξόδου, ώστε να ρυθμίζεται η ταχύτητα του κινητήρα (*σχήμα 1.3.β*) στο επιθυμητό επίπεδο με εμφανή τα πλεονεκτήματα που παρέχει (κόστος, απόδοση, όγκος, κτηριακές υποδομές, ακρίβεια ελέγχου, καλύτερο περιβάλλον εργασίας, κ.α.) [1].

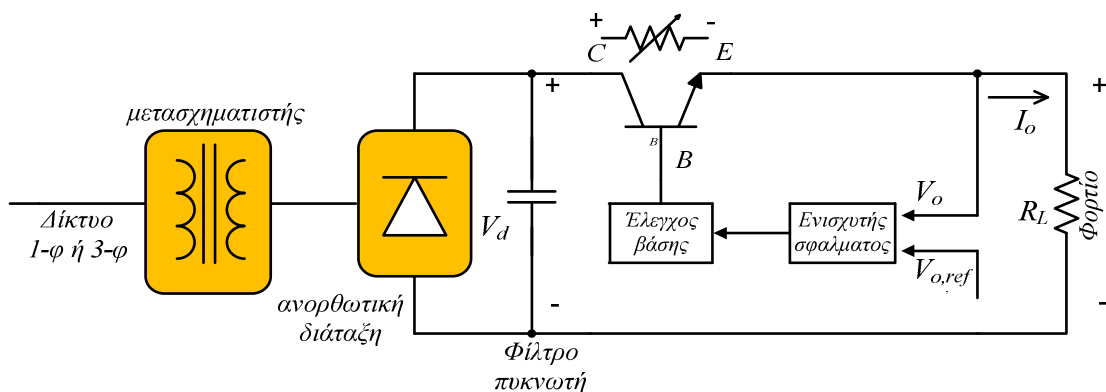


Μία ακόμα χαρακτηριστική περίπτωση είναι ένα συμβατικό σύστημα κινητήρα-αντλία (αντλητικό σύστημα) που φαίνεται στο σχήμα 1.4.α. η αντλία λειτουργεί με σχεδόν σταθερή ταχύτητα και η ροή ελέγχεται με τη ρύθμιση της βάνας εξόδου. Αυτή η διαδικασία προκαλεί σημαντικές απώλειες στη βάνα, όταν η ροή διατηρείται χαμηλή, ενώ η ισχύς που απορροφάται από το δίκτυο παραμένει σχεδόν η ίδια, όπως και στην περίπτωση της μέγιστης ροής. Αυτές οι απώλειες ισχύος αποφεύγονται στα σύγχρονα συστήματα (σχήμα 1.4.β) στα οποία χρησιμοποιείται ένα κινητήριο σύστημα μεταβλητής ταχύτητας, ώστε να ρυθμίζεται η ταχύτητα της αντλίας σε επίπεδο κατάλληλο για την επίτευξη της επιθυμητής ροής[1].



Σχήμα 1.4: Μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικό κινητήριο σύστημα (α) και με κινητήριο σύστημα μεταβλητής ταχύτητας (β)[1].

Σε κάθε διαδικασία μετατροπής ηλεκτρικής ισχύος, όπως έχουμε προαναφέρει, οι απώλειες πρέπει να είναι μικρές και η απόδοση μεγάλη. Αυτό είναι σημαντικό, λόγω του κόστους της ενέργειας και της δυσκολίας απαγωγής της θερμότητας που παράγεται από την κατανάλωση ενέργειας. Επίσης, σημαντικοί παράγοντες είναι η ελάττωση του όγκου, του βάρους και του κόστους. Στα περισσότερα συστήματα οι παραπάνω στόχοι δεν μπορούν να επιτευχθούν με αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα, στα οποία τα ημιαγωγικά στοιχεία λειτουργούν στην ενεργό (γραμμική) περιοχή λειτουργίας. Για παράδειγμα, στο σχήμα 1.5, φαίνεται η δομή ενός γραμμικού τροφοδοτικού συνεχούς ρεύματος.

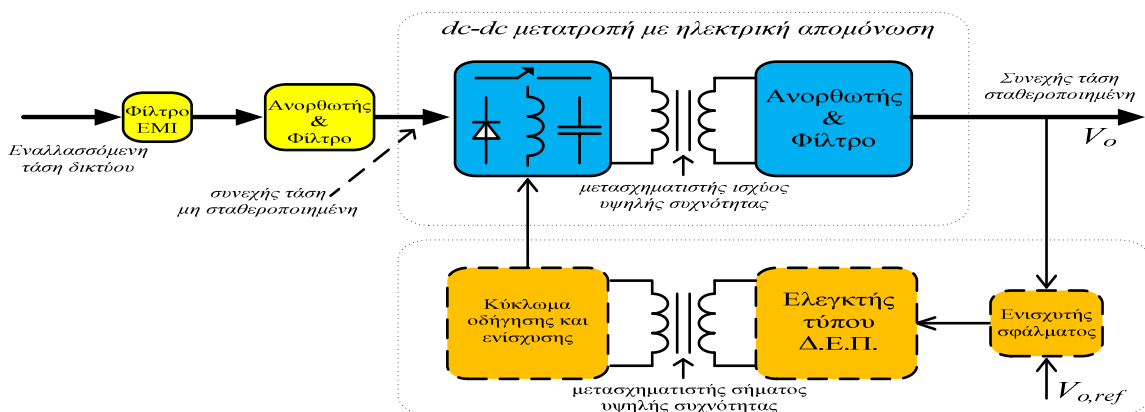


Σχήμα 1.5: Βασική δομή γραμμικού τροφοδοτικού συνεχούς ρεύματος[1].

Παρατηρούμε ότι, ανάμεσα σ' αυτό και το δίκτυο παρεμβάλλεται ένας μετασχηματιστής υποβιβασμού για να υπάρχει ηλεκτρική απομόνωση καθώς και να παρέχει τάση κατάλληλης τιμής στην είσοδο του τροφοδοτικού. Στη συνέχεια, συνδέεται μία γέφυρα πλήρους ανόρθωσης και ένα φίλτρο αποτελούμενο από ένα πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας με σκοπό να

δημιουργηθεί μια συνεχής τάση με μικρή κυμάτωση. Το ημιαγωγικό στοιχείο (συνήθως τύπου διπολικού τρανζίστορ, *BJT*) ελέγχεται, ώστε να απορροφά (δηλ. να εμφανίζεται στα άκρα του) τη διαφορά δυναμικού μεταξύ της τάσης στα άκρα του πυκνωτή και της τάσης εξόδου και έτσι να προκαλεί σταθεροποίηση της τάσης εξόδου στην επιθυμητή τιμή. Ο έλεγχος γίνεται συγκρίνοντας την εκάστοτε στιγμή την τάση εξόδου με την επιθυμητή τιμή και ρυθμίζοντας κατάλληλα το ρεύμα βάσης του ημιαγωγικού στοιχείου. Το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή και συμπεριφέρεται ως μεταβλητή αντίσταση. Σ' αυτή την περιοχή λειτουργίας το τρανζίστορ, άρα και το τροφοδοτικό, έχει μικρή απόδοση και πιθανόν να χρειάζεται και μέσα απαγωγής της θερμοκρασίας του. Επιπλέον, ο μετασχηματιστής, υπολογίζεται στα 50Hz ή 60Hz, άρα είναι σχετικά μεγάλος και βαρύς, ενώ μεγάλη είναι και η τιμή της χωρητικότητας του πυκνωτή που απαιτείται.

Με τα ηλεκτρονικά κυκλώματα ισχύος η ίδια μετατροπή μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μια τοπολογία ενός διακοπτικού τροφοδοτικού. Στο *σχήμα 1.6*, φαίνεται η βασική δομή ενός διακοπτικού τροφοδοτικού με ηλεκτρική απομόνωση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ίδια εφαρμογή (μια πιθανή τοπολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι αυτή του flyback). Το τρανζίστορ στη συγκεκριμένη τοπολογία λειτουργεί ως διακόπτης (με μικρές απώλειες) με υψηλή διακοπτική συχνότητα λειτουργίας (γύρω στα 150kHz), γεγονός που επιτρέπει τη χρήση μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας άρα και μικρότερου όγκου και βάρους. Τα συγκεκριμένα κυκλώματα, χρησιμοποιούνται σήμερα κατά κόρο, και θεωρούνται τα βέλτιστα όσον αφορά απόδοση, κόστος, όγκο, βάρος για συχνότητες λειτουργίας μέχρι τα 300kHz (εξαρτάται από την ισχύ εξόδου και τα



χαρακτηριστικά εισόδου εξόδου).

Τα βασικά **πλεονεκτήματα** των σύγχρονων ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος, σε σχέση με τις παλαιότερα χρησιμοποιούμενες ηλεκτρομηχανικές διατάξεις ή τις γραμμικά ελεγχόμενες ηλεκτρονικές διατάξεις, μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα :

- ❖ Μικρότερος όγκος και βάρος και μικρότερο κόστος αγοράς, για τις αντίστοιχες τιμές ισχύος.
- ❖ Λιγότερες απώλειες ισχύος, με συνέπεια υψηλό συντελεστή

Σχήμα 1.6: Βασική τοπολογία διακοπτικού τροφοδοτικού συνεχούς ρεύματος[1].

απόδοσης, που μπορεί να ξεπερνά το 90%. Το γεγονός αυτό συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας.

- ❖ Λόγω έλλειψης κινητών μερών, όπως συμβαίνει στις ηλεκτρομηχανικές διατάξεις, οι στατικοί αυτοί μετατροπείς έχουν ελάχιστες ανάγκες συντήρησης, δεν απαιτούν ισχυρές βάσεις στήριξης και είναι σχεδόν αθόρυβοι στη λειτουργία τους.
- ❖ Λόγω του ηλεκτρονικού ελέγχου προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτερη απόκριση στη ρύθμιση των μεγεθών εξόδου (τάση, ρεύμα, ροπή, στροφές, κ.λ.π.)
- ❖ Βασικό **μειονέκτημα** των ηλεκτρονικών συστημάτων ισχύος είναι η δημιουργία ανώτερων αρμονικών, τόσο από την πλευρά της τροφοδοσίας τους (που μπορεί να είναι το δίκτυο), όσο και από την πλευρά του φορτίου. Οι αρμονικές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα είτε την παρενόχληση της λειτουργίας γειτονικών ηλεκτρικών συσκευών (*Electromagnetic Interference* ή *EMI*) και την αύξηση της άεργου ισχύος[1], είτε την αύξηση των απωλειών. Η μείωση των δημιουργούμενων ανώτερων αρμονικών, με στόχο την κατά το δυνατόν εξάλειψη των αρνητικών τους επιδράσεων, αλλά και η βελτίωση του συντελεστή ισχύος, αποτελεί θέμα εντατικής έρευνας τα τελευταία χρόνια.

Επίσης, πρέπει να επισημανθεί με ιδιαίτερη έμφαση, ότι οι διαδικασίες μετατροπών ενέργειας διεκπεραιώνονται από τα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος με τη βοήθεια ηλεκτρονικών διατάξεων χαμηλής ισχύος, κυρίως δε μέσω μικροεπεξεργαστών και γενικά της ψηφιακής τεχνολογίας. Αυτό είναι αναγκαίο, διότι τα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος στην ουσία λειτουργούν ως διακοπτικές μονάδες, των οποίων η διακοπτική λειτουργία διεκπεραιώνεται με εντολές προερχόμενες από ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα κατάλληλα

προγραμματισμένα σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις των φορτίων. Συνεπώς, **η πρόοδος της επιστήμης και της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών συστημάτων ισχύος** καθορίζεται αφενός από τη δημιουργία νέων, βελτιωμένων ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος αφετέρου και από τις εξελίξεις στα ηλεκτρονικά χαμηλής ισχύος, π.χ. στη μικροηλεκτρονική[1].

Τα συστήματα που βασίζονται στα ηλεκτρονικά ισχύος, λοιπόν, παρέχουν τη δυνατότητα αφ' ενός της ευέλικτης ρύθμισης της ποσότητας της παρεχόμενης ισχύος, αφ' ετέρου της σημαντικής βελτίωσης του βαθμού απόδοσης. Σύμφωνα με επιστημονικές εκτιμήσεις, που είχαν γίνει ήδη προ εικοσιπενταετίας, η ηλεκτρική ενέργεια βρίσκεται περί το 40% της συνολικής ενέργειας, που καταναλώνεται σε ολόκληρο το πλανήτη και συνεπώς είναι εύλογος ο ισχυρισμός, ότι ο βαθμός απόδοσης των διατάξεων μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να είναι όσο το δυνατό υψηλότερος, όπως βεβαίως το ίδιο πρέπει να συμβαίνει με κάθε διάταξη μετατροπής οποιασδήποτε μορφής ενέργειας. Κατά τις ίδιες εκτιμήσεις, ένα ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας, που υπερβαίνει το 50%, φθάνει στους καταναλωτές αφού διέλθει μέσω διατάξεων και συστημάτων μετατροπής αποτελούμενων από ηλεκτρονικά ισχύος. Αυτή η ανάπτυξη αναμένεται να είναι μεγαλύτερη τα επόμενα χρόνια και το ποσοστό να αυξηθεί λαμβάνοντας υπόψη μας το ενεργειακό πρόβλημα που υπάρχει σε συνδυασμό με την οικολογική ευαισθητοποίηση των πολιτών και το συνεχώς αυξανόμενο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας.

1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

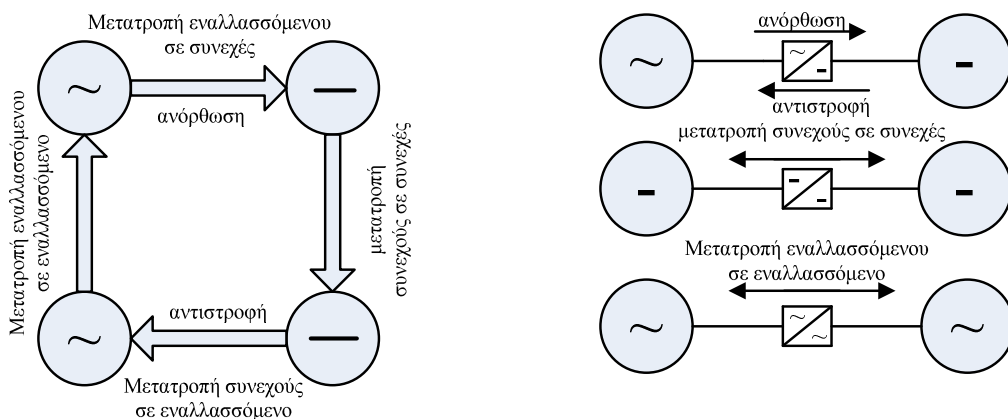
Τα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπου η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας, όπως το μηχανικό έργο, η θερμότητα, ο φωτισμός, κ.λ.π.. Στη συνέχεια αναφέρονται οι πιο γνωστές και αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις χρήσεως.

- ❖ *Οικιακές εφαρμογές* (ψύξη και κατάψυξη, θέρμανση χώρων, κλιματισμός, μαγείρεμα, φωτισμός, ψυχαγωγικός εξοπλισμός και εξοπλισμός γραφείου, κ.α.)

- ❖ *Εμπορικές εφαρμογές* (θέρμανση-εξαερισμός-κλιματισμός, κεντρική ψύξη, φωτισμός, υπολογιστές και εξοπλισμός γραφείου, συστήματα αδιάλειπτης τροφοδοσίας UPS, ανελκυστήρες, κ.α.)
- ❖ *Βιομηχανικές εφαρμογές* (αντλίες, συμπιεστές, στροβιλοσυμπιεστές και εξαεριστήρες, εργαλειομηχανές, φούρνοι τόξου και επαγωγικοί φούρνοι, φωτισμός, βιομηχανικά laser, επαγωγική θέρμανση, συγκολλήσεις, κ.α.)
- ❖ *Εφαρμογές Μεταφορών* (ηλεκτροκίνητα οχήματα, φορτιστές μπαταριών, σιδηρόδρομοι υπέργειοι και υπόγειοι, τραμ και τρόλεϊ, αυτοκίνητα, κ.α.)
- ❖ *Κοινωνική συστήματα* (μεταφορά υψηλής dc τάσης, διόρθωση συντελεστή ισχύος, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, υδραγωγεία, κ.α.)
- ❖ *Διαστημικές εφαρμογές* (τροφοδοσία συστημάτων τηλεπικοινωνίας, συστήματα τροφοδοσίας δορυφόρων, συστήματα τροφοδοσίας αεροσκαφών, κ.α.)
- ❖ *Εφαρμογές Τηλεπικοινωνιών* (φορτιστές μπαταριών, διακοπτικά τροφοδοτικά, συστήματα αδιάλειπτης τροφοδοσίας, κ.α.)

1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

Υπάρχουν πολλοί τρόποι κατηγοριοποίησης των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος. Κριτήρια κατηγοριοποίησης μπορούν να είναι η μορφή της μετατρεπόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, η ισχύς του μετατροπέα, ο τύπος των χρησιμοποιούμενων ημιαγωγικών στοιχείων, ο τρόπος μετάβασης του



ημιαγωγικού στοιχείου, η λειτουργία του μετατροπέα, η ροή ισχύος (μονόδρομη ή αμφίδρομη), κ.λ.π.. Συχνά τα ηλεκτρονικά συστήματα μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν δύο βαθμίδες, δηλαδή αποτελούνται από δύο μετατροπείς, ο δεύτερος εκ των οποίων τροφοδοτείται από τον πρώτο μέσω μιας ζεύξης συνεχούς τάσης. Οποιοδήποτε όμως κριτήριο και να χρησιμοποιηθεί, δεν υπάρχει δυνατότητα σαφούς και ευκρινούς κατηγοριοποίησης των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος και πάντα θα υπάρχουν εξαιρέσεις. Μια ταξινόμηση των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος μπορεί να γίνει με βάση τη μορφή της μετατρεπόμενης και ανταλλασσόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (ταξινόμηση σύμφωνα με την εξωτερική συμπεριφορά μεμονωμένων διατάξεων), μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες τέσσερις βασικές κατηγορίες [1] (σχήμα 1.7) :

Σχήμα 1.7: Ταξινόμηση των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος μπορεί να γίνει με βάση τη μορφή της μετατρεπόμενης και ανταλλασσόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

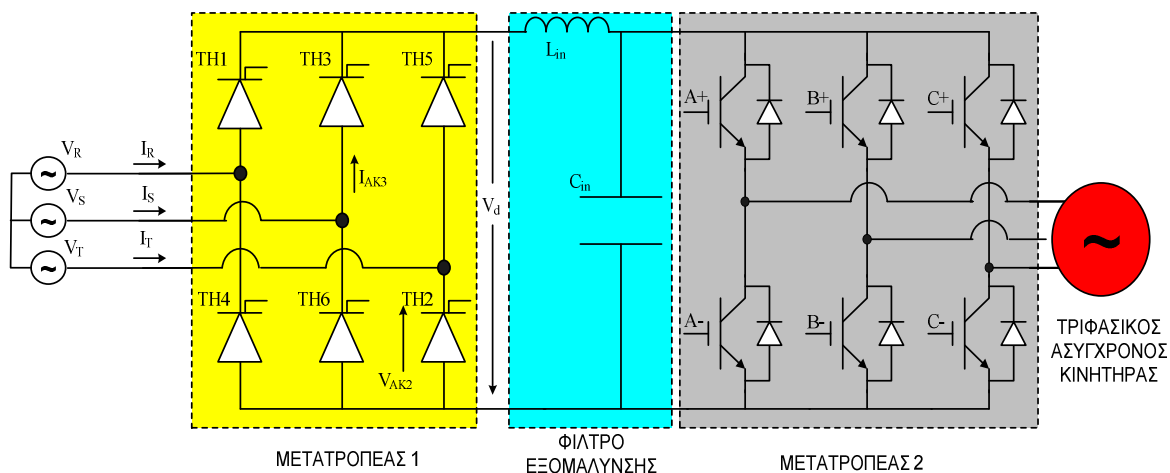
- 1) Μετατροπείς εναλλασσόμενης τάσης σε εναλλασσόμενη τάση (AC-AC Converters): Μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση, μιας ορισμένης ενεργού τιμής, συχνότητας και αριθμού φάσεων σε εναλλασσόμενη τάση άλλης ενεργού τιμής, της ίδιας ή άλλης συχνότητας και ενίοτε άλλου αριθμού φάσεων. Στην περίπτωση αυτή η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από το ένα σύστημα εναλλασσόμενου στο άλλο, το οποίο έχει διαφορετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.
- 2) Μετατροπείς εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή τάση ή Ανορθωτικές διατάξεις (AC-DC Converters or Rectifiers): Μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση, μιας ορισμένης ενεργού τιμής, συχνότητας και αριθμού φάσεων σε συνεχή τάση συγκεκριμένης μέσης τιμής και πολικότητας. Στην περίπτωση αυτή η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από ένα σύστημα εναλλασσόμενου σε ένα σύστημα συνεχούς τάσης.
- 3) Μετατροπείς συνεχούς τάσης σε συνεχή τάση (DC-DC Converters): Μετατρέπουν τη συνεχή τάση συγκεκριμένης τιμής και πολικότητας σε συνεχή τάση άλλης τιμής και ενίοτε και άλλης

πολικότητας. Στην περίπτωση αυτή η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από το ένα σύστημα συνεχούς τάσης στο άλλο, το οποίο έχει διαφορετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.

- 4) Μετατροπείς συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη τάση ή Αντιστροφείς (DC-AC Converters or Inverters): Μετατρέπουν τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη τάση συγκεκριμένης ενεργού τιμής, συχνότητας και αριθμού φάσεων. Στην περίπτωση αυτή η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από ένα από ένα σύστημα συνεχούς τάσης σε ένα σύστημα εναλλασσόμενης τάσης.

Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως, ένας ολοκληρωμένος ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος αποτελείται από το συνδυασμό μεμονωμένων διατάξεων, οι οποίες ανήκουν σε μία ή περισσότερες από τις προαναφερθείσες κατηγορίες. Παραδείγματος χάριν, ένα σύστημα ελέγχου των στροφών ενός κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, που τροφοδοτείται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελείται από ένα μετατροπέα εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή τάση, ελεγχόμενο ή μη, ένα ενδιάμεσο στάδιο εξομάλυνσης και ένα μετατροπέα συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη τάση, μεταβλητής ενεργού τιμής και συχνότητας (σχήμα 1.8).

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος μπορεί να γίνει με βάση τον τρόπο μετάβασης των ημιαγωγικών στοιχείων του μετατροπέα. Αν και γενικά η μετάβαση περιλαμβάνει τόσο την έναυση όσο και τη σβέση των ημιαγωγικών στοιχείων, η κατηγοριοποίηση βασίζεται κυρίως στον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η σβέση του, αφού αυτή είναι γενικά δυσκολότερη και μάλιστα για ορισμένα στοιχεία, όπως οι δίοδοι και τα θυρίστορ αδύνατη. Με βάση το κριτήριο αυτό διακρίνουμε τις ακόλουθες τρεις κατηγορίες μετατροπέων :



Σχήμα 1.8: Σύστημα ελέγχου των στροφών ενός κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, που τροφοδοτείται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (inverter εμπορίου).

- 1) Μετατροπείς με φυσική μετάβαση (Natural-Commutated Converters or Line-Commutated Converters): Στους μετατροπείς αυτούς η αντιστροφή της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου ή του φορτίου χρησιμοποιείται για τη σβέση των ημιαγωγικών στοιχείων. Άρα, τα ημιαγωγικά στοιχεία αυτής της κατηγορίας των μετατροπέων οδηγούνται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές στην αποκοπή ενώ η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας τους ταυτίζεται με τη συχνότητα του δικτύου (50Hz ή 60Hz, αναλόγως το δίκτυο).
- 2) Μετατροπείς με εξαναγκασμένη μετάβαση (Force-Commutated Converters or Self-Commutated Converters): Στους μετατροπείς αυτούς η σβέση των ημιαγωγικών στοιχείων επιτυγχάνεται με μεθόδους ή με τη χρήση βοηθητικών στοιχείων-κυκλωμάτων της διάταξης. Συνήθως η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας των μετατροπέων αυτών είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συχνότητα του δικτύου και εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο ημιαγωγικό στοιχείο καθώς και από την τοπολογία και την ισχύ του μετατροπέα.
- 3) Μετατροπείς συντονισμού (Resonant Converters) : Στους μετατροπείς αυτούς χρησιμοποιείται ένα κατάλληλα τοποθετημένο κύκλωμα συντονισμού με σκοπό να επιτυγχάνεται η έναυση και/ή η σβέση των ημιαγωγικών στοιχείων υπό μηδενικό ρεύμα και/ή

μηδενική τάση και να περιορίζονται οι διακοπτικές απώλειες του μετατροπέα. Συνήθως η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας των μετατροπέων αυτών είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συχνότητα λειτουργίας των μετατροπέων που ανήκουν στις παραπάνω κατηγορίες αλλά έχουν πολυπλοκότερο κύκλωμα και πιο σύνθετη τεχνική ελέγχου και γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με ειδικές απαιτήσεις (συνήθως για αύξηση της απόδοσης της διάταξης) [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΕΧΗ ΤΑΣΗ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Λέγοντας **Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή Τάση** (*Μετατροπείς Σ.Τ.-Σ.Τ. - DC-DC Converters*) εννοούμε κάποιες διατάξεις οι οποίες περιέχουν πάντα έναν τουλάχιστον ελεγχόμενο ημιαγωγικό διακόπτη και μετατρέπουν τη συνεχή τάση εισόδου τους σε συνεχή τάση διαφορετικής τιμής και ενίοτε και πολικότητας στην έξοδό τους. Αυτοί οι μετατροπείς συνήθως αποκαλούνται και με τον όρο *τροφοδοτικά*, αφού η πιο συνήθης εφαρμογή τους είναι στην τροφοδοσία αναλογικών και ψηφιακών συστημάτων. Άλλες εφαρμογές αυτών των μετατροπέων είναι στη φόρτιση συσσωρευτών, στον έλεγχο μηχανών συνεχούς ρεύματος, στα συστήματα διόρθωσης του συντελεστή ισχύος κ.α..

Οι τεχνικές που έχουν χρησιμοποιηθεί, μέχρι σήμερα, για την κατασκευή και τον έλεγχο των τροφοδοτικών ισχύος, χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- 1) Στην τεχνική των γραμμικών τροφοδοτικών. Η τεχνική αυτή συνίσταται στο ότι το ημιαγωγικό στοιχείο του μετατροπέα λειτουργεί στην ενεργό (δηλαδή, στη γραμμική) περιοχή, επομένως, συμπεριφέρεται σαν ρυθμιζόμενη αντίσταση και η πτώση τάσεως που εμφανίζει στα άκρα του καθορίζει την τιμή της τάσης στην έξοδο του μετατροπέα.
- 2) Στην τεχνική των διακοπτικών τροφοδοτικών. Η τεχνική των διακοπτικών τροφοδοτικών συνίσταται στο ότι το ημιαγωγικό στοιχείο του μετατροπέα λειτουργεί ως διακόπτης, δηλαδή

λειτουργεί είτε σε κατάσταση αγωγής είτε σε κατάσταση αποκοπής, και το ποσοστό του χρόνου αγωγής του στη διάρκεια μιας περιόδου λειτουργίας καθορίζει την τιμή της τάσης στην έξοδο του μετατροπέα.

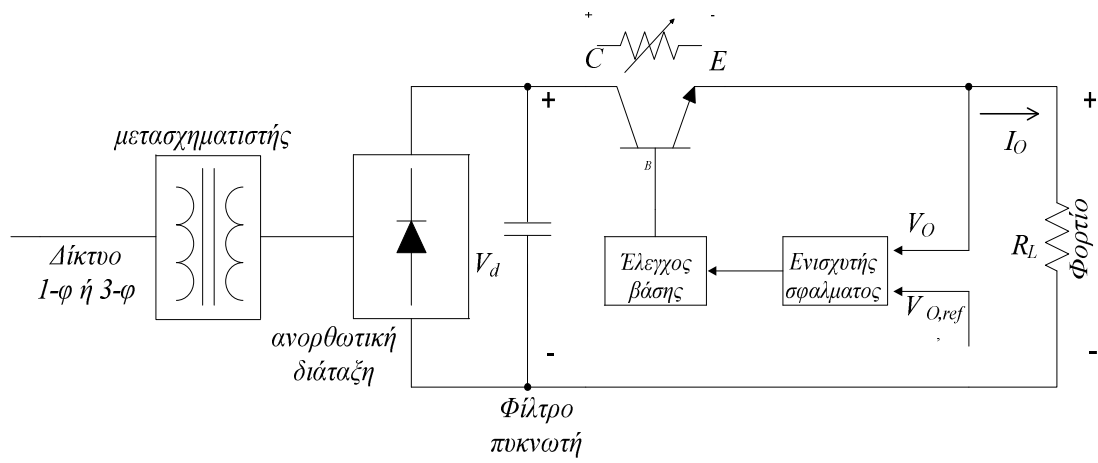
Τα περισσότερα τροφοδοτικά είναι σχεδιασμένα για να ικανοποιούν όλες ή μερικές από τις παρακάτω απαιτήσεις [1]:

- ❖ **Σταθεροποιημένη έξοδο.** Η τάση εξόδου πρέπει να παραμένει σταθερή ως προς τις μεταβολές της τάσης εισόδου και του φορτίου στην έξοδο, μέσα σε ορισμένα όρια.
- ❖ **Απομόνωση.** Η έξοδος πρέπει να είναι ηλεκτρικά απομονωμένη από την είσοδο.
- ❖ **Πολλαπλές έξοδοι.** Πρέπει να υπάρχουν πολλαπλές έξοδοι (θετικές και αρνητικές), οι οποίες πρέπει να διαφέρουν ως προς τις προδιαγραφές τάσης και ρεύματος. Αυτές οι έξοδοι πρέπει να είναι απομονωμένες μεταξύ τους.

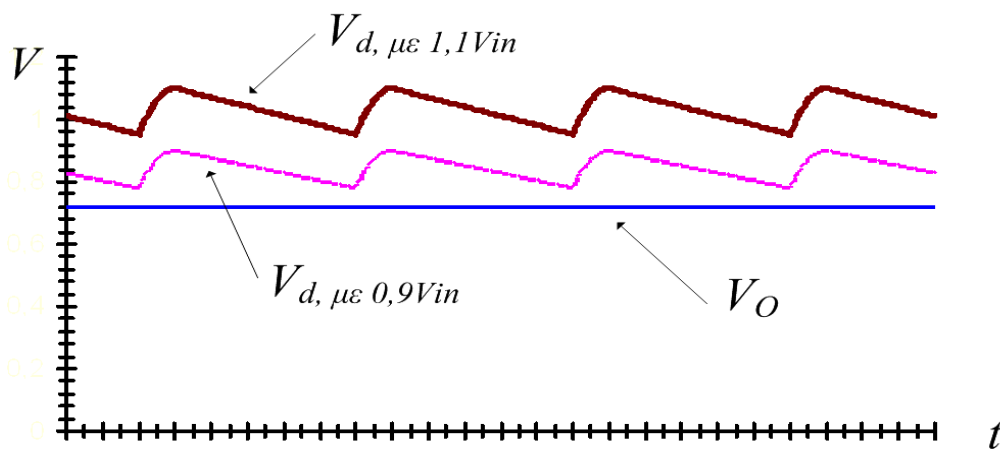
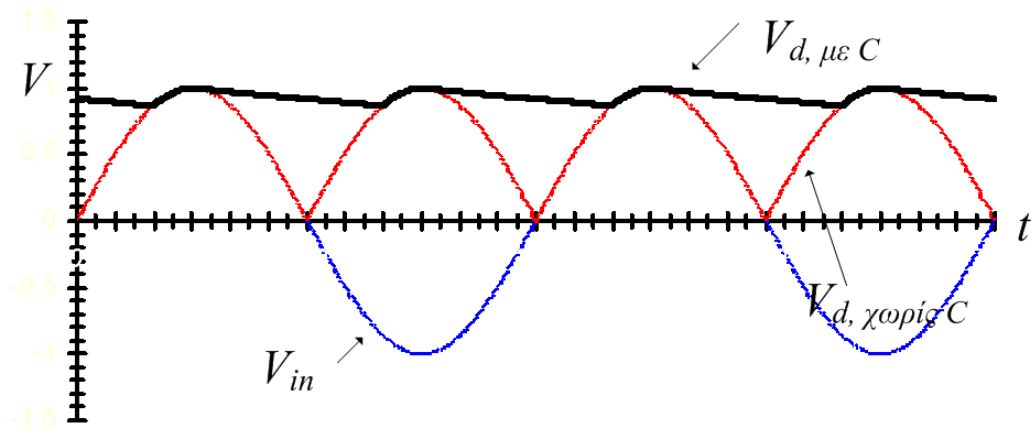
Εκτός από τις παραπάνω απαιτήσεις, κοινή επιδίωξη σήμερα σ' αυτά τα κυκλώματα είναι η μείωση του όγκου και του βάρους τους, καθώς και η αύξηση της απόδοσής τους. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν τα γραμμικά τροφοδοτικά. Η εξέλιξη, όμως, της τεχνολογίας των ημιαγωγών και ουσιαστικά η εμφάνιση των MOSFET ισχύος (στις αρχές της δεκαετίας του '80), είναι οι κύριοι παράγοντες που συνέβαλαν στην ευρεία χρήση των διακοπτικών τροφοδοτικών, που παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα γραμμικά τροφοδοτικά. Σημειώνουμε ότι, στη παγκόσμια αγορά των τροφοδοτικών τα παλμοτροφοδοτικά (δηλαδή, τα διακοπτικά τροφοδοτικά) κατέχουν το 70-80% της αγοράς. Στη συνέχεια αυτής της ενότητας, θα αναλύσουμε τη λειτουργία των δύο βασικών κατηγοριών των τροφοδοτικών ισχύος και θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μιας.

2.6 ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ

Για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε καλύτερα τα πλεονεκτήματα των διακοπτικών τροφοδοτικών θα πρέπει να εξετάσουμε πρώτα τα γραμμικά τροφοδοτικά, που χρησιμοποιούνταν κατά κόρο στο παρελθόν. Στο *σχήμα 2.1* φαίνεται το γενικό κυκλωματικό διάγραμμα ενός γραμμικού τροφοδοτικού καθώς και οι κυματομορφές των τάσεων στα άκρα του πυκνωτή εισόδου (λαμβάνοντας υπόψη τη διακύμανση της τάσης του δικτύου) καθώς και στη έξοδο του τροφοδοτικού [1].



(α)



(β)

Σχήμα 2.1 : α) Γενικό κυκλωματικό διάγραμμα ενός γραμμικού τροφοδοτικού και β) Βασικές κυματομορφές των τάσεων κατά τη λειτουργία ενός γραμμικού τροφοδοτικού [1].

Από το παραπάνω σχήμα γίνεται φανερό πως για την επίτευξη ηλεκτρικής απομόνωσης μεταξύ εισόδου και εξόδου χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής (κατάλληλου λόγου σπειρών και ισχύος), που παρεμβάλλεται μεταξύ του δικτύου (50Hz) και της ανορθωτικής διάταξης. Αυτοί οι μετασχηματιστές έχουν μεγάλο μέγεθος, βάρος και κόστος συγκρινόμενοι με τους μετασχηματιστές υψηλών συχνοτήτων. Στη συνέχεια, η τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή ανορθώνεται με τη χρήση μιας γέφυρας πλήρους ανόρθωσης με διόδους και με τη χρήση ενός, μεγάλης τιμής, πυκνωτή εξομαλύνεται. Κατόπιν, συνδέεται σε σειρά ένα διπολικό τρανζίστορ, το οποίο λειτουργεί πάντα στη γραμμική περιοχή. Συγκρίνοντας την τάση εξόδου (V_O) με την επιθυμητή τάση εξόδου ($V_{O,ref}$) δημιουργείται ένα σφάλμα που καθορίζει το ρεύμα βάσης του ημιαγωγικού στοιχείου και άρα και την τελική τιμή της τάσης εξόδου ($V_O = V_d - V_{CE}$). Επομένως, γίνεται αντιληπτό πως η διαφορά δυναμικού μεταξύ της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου εμφανίζεται στα άκρα του ημιαγωγικού στοιχείου μ' αποτέλεσμα να εμφανίζονται απώλειες ισχύος που είναι ανάλογες αυτής της διαφοράς δυναμικού. Συνήθως, ο συντελεστής απόδοσης των γραμμικών τροφοδοτικών κυμαίνεται στην περιοχή 30-60%. Κύριο πλεονέκτημα αυτών των τροφοδοτικών είναι η απλότητα του κυκλώματος με αποτέλεσμα το κόστος τους για μικρές ισχείς (μικρότερες των 25Watt) να είναι χαμηλό. Ακόμα, επειδή δεν έχουμε διακοπτικά φαινόμενα, δεν εμφανίζονται ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI) που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στη λειτουργία άλλων συσκευών.

2.7 ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ

Σε αντίθεση με τα γραμμικά τροφοδοτικά, στα διακοπτικά τροφοδοτικά ο έλεγχος της τάσης εξόδου επιτυγχάνεται με τη χρήση μετατροπών Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή Τάση (*DC-DC Converters*). Οι διακοπτικοί μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή Τάση (*DC-DC Converters*) είναι οι εξής:

- ❖ Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης (**BUCK**).
- ❖ Μετατροπέας ανύψωσης τάσης (**BOOST**).
- ❖ Μικτός (υποβιβασμού-ανύψωσης τάσης) μετατροπέας (**BUCK-BOOST**).

- ❖ Μετατροπέας του **CÚK**.
- ❖ Μετατροπέας με **πλήρη γέφυρα**.

Από αυτούς τους πέντε μετατροπείς DC-DC ,μόνο οι μετατροπείς υποβιβασμού και ανύψωσης της τάσης είναι οι βασικές τοπολογίες .Τόσο ο μικτός όσο και ο μετατροπέας του **CÚK** είναι συνδυασμοί των δυο βασικών τοπολογιών. Ο μετατροπέας με πλήρη γέφυρα προκύπτει από το μετατροπέα υποβιβασμού τάσης.

Τα κυκλώματα αυτά χρησιμοποιούν ένα τουλάχιστον ημιαγωγικό διακόπτη, ο οποίος βρίσκεται πάντα είτε σε κατάσταση αγωγής είτε σε κατάσταση αποκοπής. Για τον έλεγχο αυτών των μετατροπέων χρησιμοποιούνται κυρίως δύο τεχνικές ελέγχου:

- 1) **Η τεχνική της Διαμόρφωσης του Εύρους των Παλμών** (*Δ.Ε.Π. ή Pulse Width Modulation - P.W.M.*).
- 2) **Η τεχνική της Διαμόρφωσης της Συχνότητας των Παλμών** (*Δ.Σ.Π. ή Pulse Frequency Modulation - P.F.M.*).

Η τεχνική της Διαμόρφωσης του Εύρους των Παλμών συνίσταται στο να διατηρούμε σταθερή τη συχνότητα έναυσης και σβέσης των ημιαγωγικών στοιχείων (δηλαδή τη συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα) και να μεταβάλλουμε το χρόνο αγωγής (επομένως και το χρόνο αποκοπής) των ημιαγωγικών στοιχείων. Παρατηρούμε λοιπόν ότι, με διακοπή του ρεύματος ισχύος, εξαιτίας της λειτουργίας του ημιαγωγικού διακόπτη, λαμβάνουμε ως αποτέλεσμα ένα παλμικό ρεύμα και μία παλμική τάση, η οποία στη συνέχεια εξομαλύνεται με σκοπό να πάρουμε την επιθυμητή τιμή της τάσης στην έξοδο του μετατροπέα.

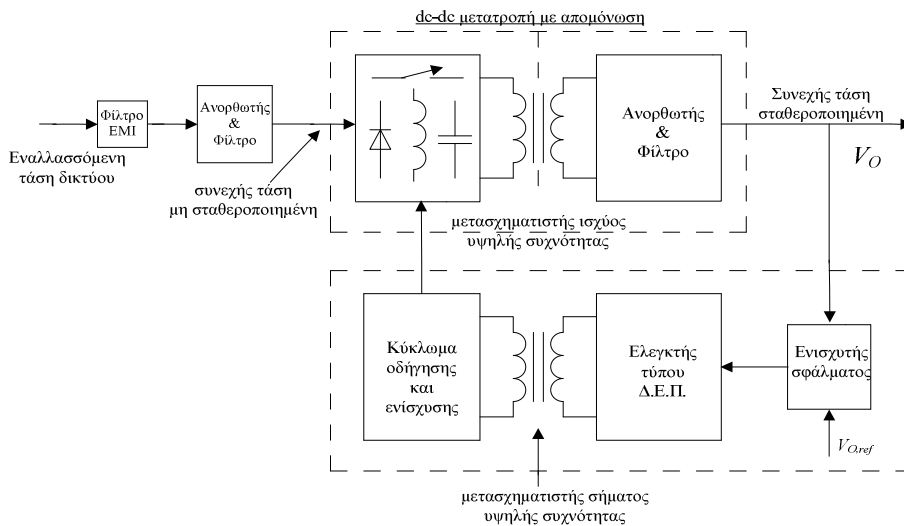
Η τεχνική της Διαμόρφωσης της Συχνότητας των Παλμών συνίσταται στο να διατηρούμε σταθερό το χρόνο αγωγής ή αποκοπής του ημιαγωγικού στοιχείου (εξαρτάται από είδος του μετατροπέα, ποιος από τους δύο χρόνους θα πρέπει να παραμένει σταθερός) και να μεταβάλλουμε τον χρόνο αποκοπής ή αγωγής (ανάλογα), άρα και τη συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα για να πάρουμε την επιθυμητή έξοδο.

Στη διεθνή βιβλιογραφία, έχουν παρουσιασθεί διάφορες τοπολογίες μετατροπέων Σ.Τ.-Σ.Τ.. Ένας διαχωρισμός των τοπολογιών αυτών μπορεί να γίνει με κριτήριο αν υπάρχει ή όχι γαλβανική απομόνωση μεταξύ εισόδου και εξόδου. Οι βασικότερες τοπολογίες διακοπτικών μετατροπέων Σ.Τ.-Σ.Τ. χωρίς γαλβανική απομόνωση, είναι: ο μετατροπέας υποβιβασμού (*BUCK*), ο μετατροπέας ανύψωση (*BOOST*) και ο μετατροπέας υποβιβασμού-ανύψωσης

(BUCK-BOOST ή CÚK) της τάσης εξόδου σε σχέση με την τάση εισόδου. Αντίστοιχα, οι βασικές τοπολογίες των διακοπτικών μετατροπέων Σ.Τ.-Σ.Τ. με γαλβανική απομόνωση, είναι : ο μετατροπέας υποβιβασμού-ανύψωσης (FLYBACK) και οι μετατροπείς υποβιβασμού (FORWARD ή PUCH-PULL) της τάσης εξόδου σε σχέση με την τάση εισόδου. Στηριζόμενοι σ' αυτές τις βασικές τοπολογίες αρκετές νέες τοπολογίες μπορούν να εξαχθούν, όπως έχει γίνει και παρουσιάζεται διεξοδικά στη βιβλιογραφία [1].

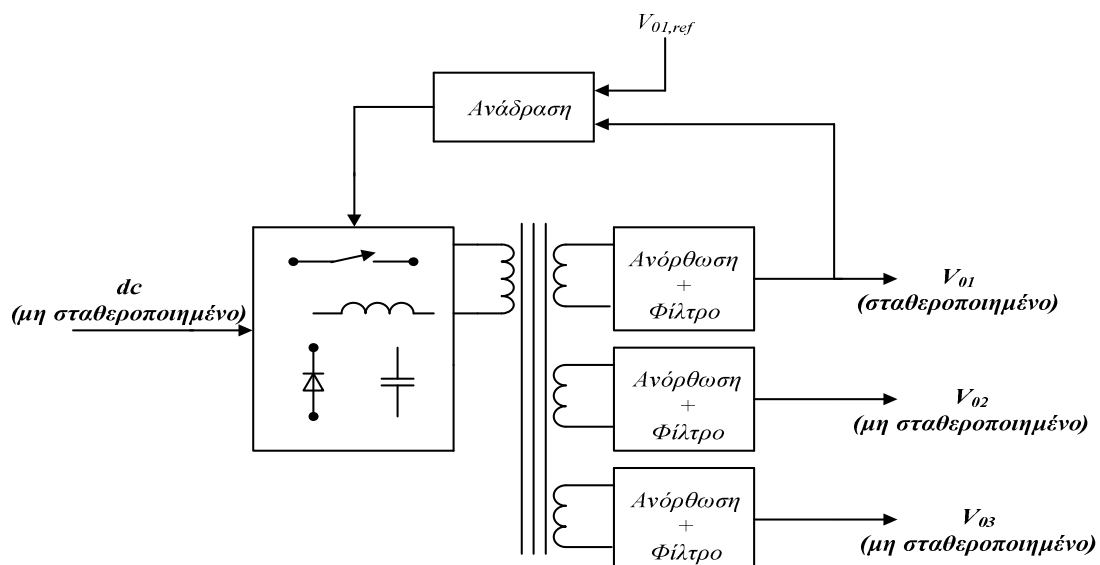
2.8 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΗΣ Δ.Ε.Π.(PWM) ΣΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ

Όπως έχουμε αναφέρει, η τεχνική ελέγχου της Δ.Ε.Π. συνίσταται στο να διατηρούμε σταθερή τη διακοπτική συχνότητα του μετατροπέα και να μεταβάλλουμε το χρόνο αγωγής του ημιαγωγικού στοιχείου, έτσι ώστε να επιτυγχάνουμε την επιθυμητή μέση τιμή της τάσης εξόδου. Στο *σχήμα 2.2* δίνεται το απλοποιημένο λειτουργικό διάγραμμα ενός διακοπτικού τροφοδοτικού που ελέγχεται με την τεχνική της Δ.Ε.Π. και με ηλεκτρική απομόνωση. Η εναλλασσόμενη τάση εισόδου ανορθώνεται σε μία μη σταθεροποιημένη συνεχή τάση με τη βοήθεια μιας ανορθωτικής διάταξης. Στην είσοδο επίσης, τοποθετείται και ένα φίλτρο για τον περιορισμό της ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής (EMI) που εισάγει η λειτουργία της συσκευής στο δίκτυο. Η βαθμίδα του μετατροπέα μεταβάλλει την συνεχή τάση από ένα επίπεδο σε ένα άλλο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διακοπτική λειτουργία του ελεγχόμενου ημιαγωγικού στοιχείου, ο ρόλος του είναι να τροφοδοτεί το πρωτεύον του μετασχηματιστή με παλμική τάση υψηλής συχνότητας. Η τάση στο δευτερεύον του μετασχηματιστή ανορθώνεται και φιλτράρεται ώστε να προκύψει η τάση εξόδου της συσκευής. Αυτή η τάση συγκρίνεται με την επιθυμητή τιμή της τάσης εξόδου και παράγεται ένα σφάλμα, το οποίο, αφού διαμορφωθεί και ενισχυθεί κατάλληλα, καθορίζει την παλμοδότηση των ημιαγωγικών στοιχείων του μετατροπέα.



Σχήμα 2. 1 : Απλοποιημένο λειτουργικό διάγραμμα ενός διακοπτικού τροφοδοτικού που ελέγχεται με την τεχνική της Δ.Ε.Π. και με ηλεκτρική απομόνωση [1].

Σε αρκετές πρακτικές εφαρμογές όμως, απαιτούνται τροφοδοτικά με πολλαπλές εξόδους, (κάποιες φορές και απομονωμένες μεταξύ τους) όπου η τιμή των τάσεων εξόδου μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική. Το απλοποιημένο λειτουργικό διάγραμμα ενός διακοπτικού τροφοδοτικού με πολλαπλές εξόδους φαίνεται στο σχήμα 2.3, όπου η έξοδος $V_{0,1}$ είναι σταθεροποιημένη αφού με τη τιμή αυτής της εξόδου γίνεται ο έλεγχος του κλειστού βρόχου, ενώ οι άλλες δύο έξοδοι είναι χωρίς σταθεροποίηση. Στη περίπτωση όπου επιθυμείται η σταθεροποίηση και των άλλων δύο εξόδων θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν επιπλέον μετατροπείς Σ.Τ.-Σ.Τ. σε κάθε έξοδο (είτε γραμμικοί, είτε διακοπτικοί).



Σχήμα 2.3 : Λειτουργικό διάγραμμα ενός διακοπτικού τροφοδοτικού πολλαπλών εξόδων.

2.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ Δ.Ε.Π.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των ημιαγωγών και ουσιαστικά η εμφάνιση των ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος τύπου φαινόμενου πεδίου με δομή μέταλλο-οξειδίο-ημιαγωγός (*MOSFET*), είναι οι κύριοι παράγοντες που συνέβαλαν στην ευρεία χρήση των διακοπτικών μετατροπέων συνεχούς τάσης σε συνεχή τάση που ελέγχονται με την τεχνική της Διαμόρφωσης του Εύρους των Παλμών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως σε εφαρμογές χαμηλής και μέσης ισχύος (από μερικές δεκάδες W μέχρι 5kW) και για διακοπτικές συχνότητες λειτουργίας; 30-300kHz, λόγω του απλού κυκλώματος και της ευκολίας στον έλεγχο. Η επιλογή της συχνότητας λειτουργίας εξαρτάται από το ημιαγωγικό στοιχείο και την ισχύ του μετατροπέα. Σ' αυτές τις περιοχές συχνοτήτων αυτοί οι μετατροπείς θεωρούνται οι πλέον κατάλληλοι ως προς το βάρος, σχήμα, απόδοση, αξιοπιστία αλλά και κόστος.

Τα πλεονεκτήματα των διακοπτικών τροφοδοτικών που ελέγχονται με την τεχνική της Δ.Ε.Π., σε σχέση με τα γραμμικά τροφοδοτικά, ανάγονται στο ότι τα ημιαγωγικά στοιχεία (*MOSFET* ισχύος, *δίοδοι*) λειτουργούν ως διακόπτες, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μία σημαντική μείωση των απωλειών ισχύος. Ο βαθμός; απόδοσης αυτών των μετατροπέων κυμαίνεται από 70-95%. Επιπλέον, εφόσον απαιτείται ηλεκτρική απομόνωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μετασχηματιστής για υψηλές συχνότητες λειτουργίας, όπου το μέγεθος και το βάρος του είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με τους μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται στα γραμμικά τροφοδοτικά, τα οποία λειτουργούν στη συχνότητα των 50Hz. Ακόμη, ένα ημιαγωγικό στοιχείο που λειτουργεί ως διακόπτης μπορεί να αντέχει μεγαλύτερες ισχύεις, απ' ότι ένα ημιαγωγικό στοιχείο που λειτουργεί στη γραμμική περιοχή.

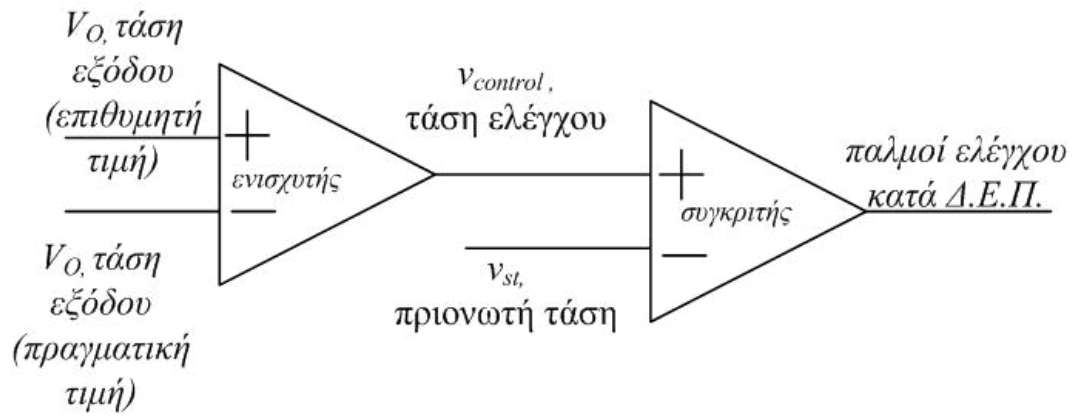
Το κυριότερο πρόβλημα αυτών των μετατροπέων είναι οι διακοπτικές απώλειες, που εμφανίζονται τόσο κατά την έναυση όσο και κατά τη σβέση των ημιαγωγικών στοιχείων και οι οποίες αυξάνουν γραμμικά με αύξηση της διακοπτικής συχνότητας λειτουργίας. Ένα επιπλέον πρόβλημα, που παρουσιάζεται κατά τη λειτουργία αυτών των μετατροπέων, είναι η υπέρταση, που εμφανίζεται στα άκρα του ημιαγωγικού διακόπτη κατά τη σβέση του, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή του, καθώς και η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (*Electromagnetic Interference, EMI*), που παράγεται λόγω των μεγάλων μεταβολών της τάσης και του ρεύματος κατά

την αλλαγή κατάστασης του ημιαγωγικού διακόπτη και δημιουργεί προβλήματα στη λειτουργία άλλων συσκευών.

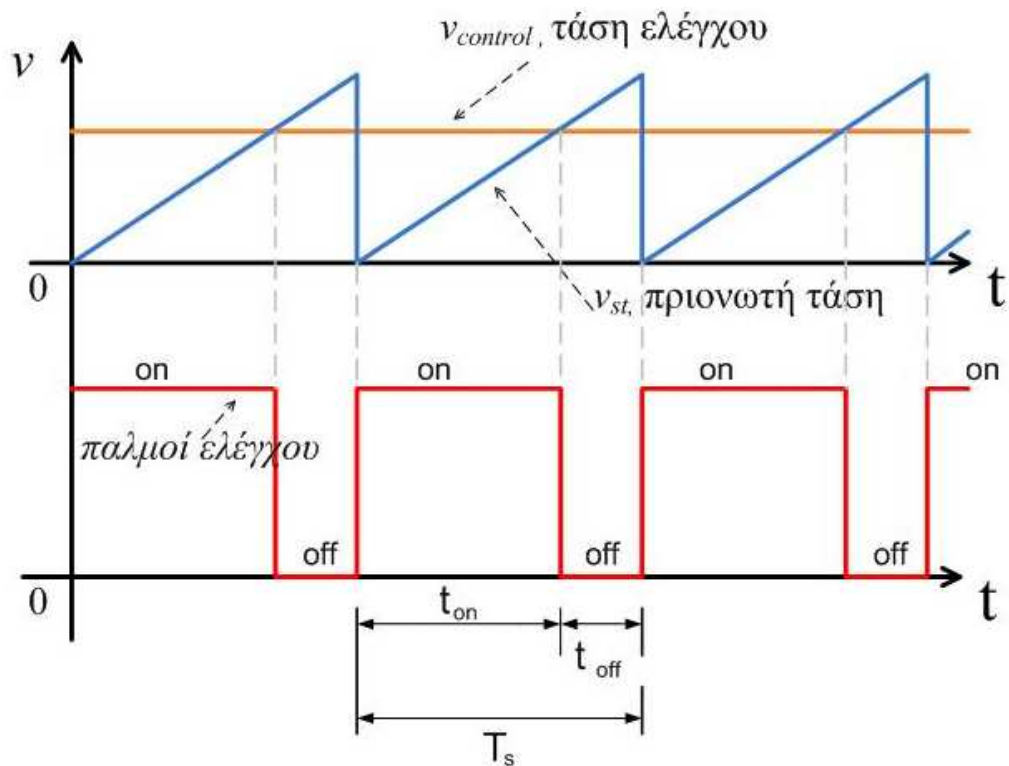
2.9 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ Δ.Ε.Π. (PWM).

Για να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία αυτού του είδους των μετατροπέων θα παρουσιαστεί, σ' αυτή τη παράγραφο, η λειτουργία της βασικότερης τοπολογίας αυτής της κατηγορίας που είναι ο μετατροπέας υποβιβασμού της τάσης εισόδου (**BUCK**). Γνωρίζοντας τον τρόπο λειτουργίας αυτής της τοπολογίας, μπορεί στη συνέχεια να εξαχθεί και να περιγραφεί πολύ εύκολα η λειτουργία οποιασδήποτε άλλης τοπολογίας αυτού του είδους μετατροπέων Σ.Τ.-Σ.Τ..

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η τεχνική ελέγχου της Δ.Ε.Π. συνίσταται στο να διατηρούμε σταθερή τη διακοπτική συχνότητα του μετατροπέα και να μεταβάλλουμε το χρόνο αγωγής του ημιαγωγικού στοιχείου. Τέτοιας μορφής παλμοί μπορούν να παραχθούν με τη σύγκριση μιας περιοδικής κυματομορφής σταθερής περιόδου η οποία μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο (συνήθως αυτή είναι μια πριονωτή κυματομορφή) με μια τάση ελέγχου ($V_{control}$) η οποία προκύπτει μετά από κατάλληλη ενίσχυση του σφάλματος μεταξύ της πραγματικής και της επιθυμητής τάσης εξόδου (σχήμα 2.4). Όταν η τάση ελέγχου, που μεταβάλλεται πολύ αργά με το χρόνο, είναι μεγαλύτερη από την πριονωτή κυματομορφή, το σήμα ελέγχου του ημιαγωγικού στοιχείου γίνεται μέγιστο (high), με αποτέλεσμα να οδηγείται στην αγωγή το ημιαγωγικό στοιχείο, ενώ όταν είναι μικρότερη το σήμα ελέγχου μηδενίζεται και το ημιαγωγικό στοιχείο οδηγείται στην αποκοπή. Η συχνότητα της περιοδικής κυματομορφής καθορίζει τη διακοπτική συχνότητα λειτουργίας ή τη συχνότητα μετάβασης του μετατροπέα. Όπως ήδη γνωρίζουμε στην Τεχνική της Διαμόρφωσης του Εύρους των Παλμών, η συχνότητα αυτή διατηρείται σταθερή και επιλέγεται σε μια περιοχή από μερικά kHz μέχρι μερικές εκατοντάδες kHz, γι' αυτό κιόλας σ' αυτά τα κυκλώματα το κύριο ημιαγωγικό στοιχείο είναι τύπου MOSFET ισχύος (στο μεγαλύτερο ποσοστό των εφαρμογών).



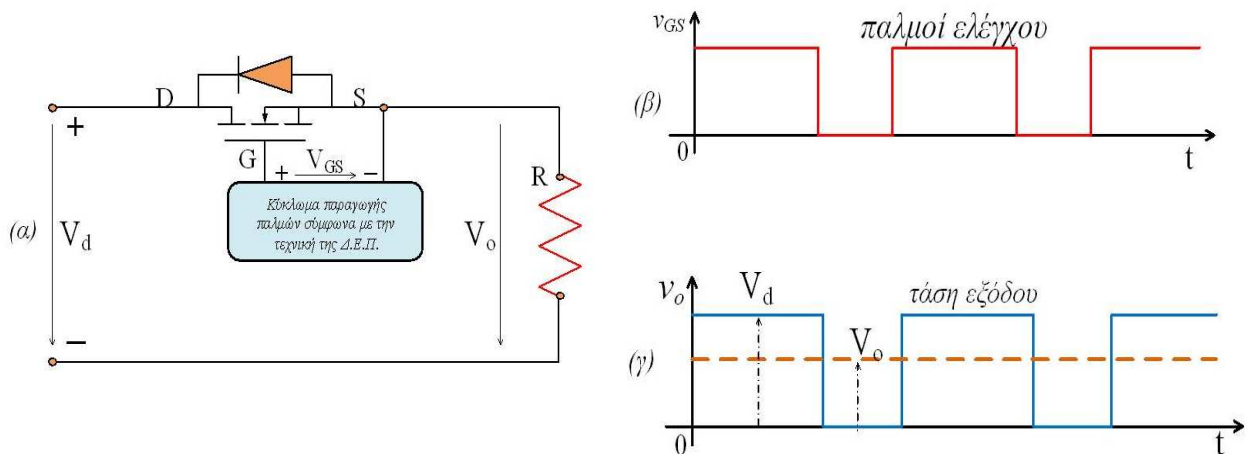
(α)



(β)

Σχήμα 2.4: (α) λειτουργικό διάγραμμα για την παραγωγή παλμών ελέγχου σύμφωνα με την τεχνική της Δ.Ε.Π. και (β) Σήματα συγκριτή.

Έστω το κύκλωμα του σχήματος 2.5 όπου στην είσοδό του τροφοδοτείται από μια πηγή συνεχούς τάσης (V_d), ενώ το ημιαγωγικό στοιχείο δέχεται τους παλμούς ελέγχου που φαίνονται στο σχήμα 2.5.β. Από την λειτουργία του κυκλώματος είναι προφανές πως όταν άγει το ημιαγωγικό στοιχείο η τάση εξόδου είναι ίση με την τάση εισόδου, ενώ όταν είναι σε αποκοπή η τάση εξόδου θα μηδενίζεται (σχήμα 2.5.γ) [1].



Σχήμα 2.5 : Βασική τοπολογία και λειτουργία διακοπτικού μετατροπέα συνεχούς τάσης σε συνεχή τάση.

Για τη μέση τιμή της τάσης εξόδου ισχύει :

$$V_o = \frac{1}{T_s} \cdot \int_0^{T_s} v_o(t) \cdot dt = \frac{1}{T_s} \cdot \left(\int_0^{t_{on}} V_d \cdot dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0 \cdot dt \right) = \frac{1}{T_s} \cdot \left[V_d \cdot (t_{on} - 0) + 0 \cdot (T_s - t_{on}) \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_o = \frac{1}{T_s} \cdot V_d \cdot t_{on} \quad (2.1)$$

Από την παραπάνω εξίσωση είναι φανερό πως, **ο χρόνος αγωγής του ημιαγωγικού στοιχείου στη διάρκεια της περιόδου καθορίζει τη μέση τιμή της τάσης εξόδου και μάλιστα, η μέση τιμή της τάσης εξόδου μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο αγωγής, άρα και με την τάση ελέγχου.**

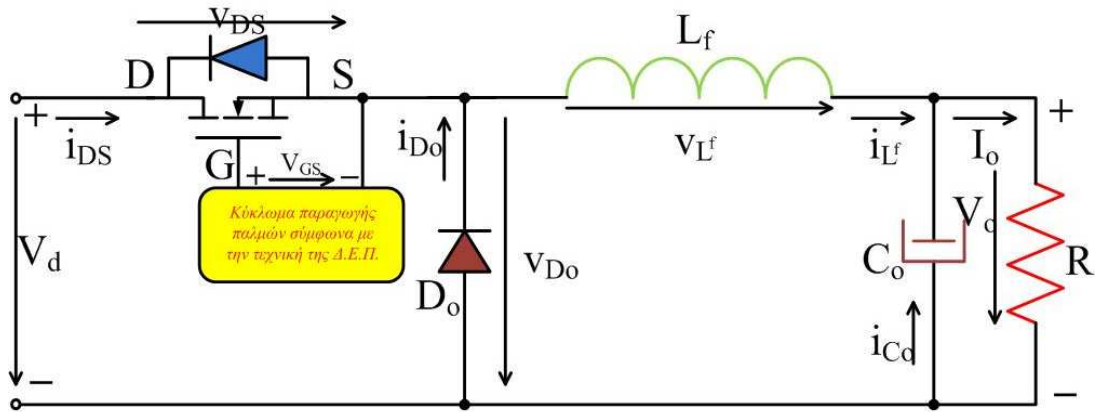
Παρόλο που το κύκλωμα του σχήματος 2.5.α δίνει τη δυνατότητα ελέγχου της τάσης εξόδου, σε πρακτικές εφαρμογές παρουσιάζει δύο βασικά μειονεκτήματα:

- α) Επειδή στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές το φορτίο έχει και επαγωγή (ακόμα και σε καθαρά ωμικό φορτίο, υπάρχει η

παρασιτική επαγωγή) κατά τη χρονική στιγμή που το ημιαγωγικό στοιχείο θα οδηγηθεί σε κατάσταση αποκοπής θα εμφανιστεί στα άκρα του μια υπέρταση, εξαιτίας της απότομης μεταβολής του ρεύματος της επαγωγής, και για το λόγο αυτό το ημιαγωγικό στοιχείο κινδυνεύει να καταστραφεί. Για να αντιμετωπισθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, συνήθως τοποθετείται μία δίοδος μετά το πλήρες ελεγχόμενο ημιαγωγικό στοιχείο, η οποία είναι πολωμένη ανάστροφα κατά το χρονικό διάστημα που άγει το κύριο ημιαγωγικό στοιχείο, ενώ όταν ο ημιαγωγικός διακόπτης είναι σε αποκοπή, το ρεύμα του πηνίου βρίσκει αγωγήμο δρόμο μέσω αυτής της διόδου και ένα μέρος της αποθηκευμένης του ενέργειας μεταφέρεται στο φορτίο. Η δίοδος αυτή αποκαλείται και **δίοδος ελεύθερης διέλευσης [1]**.

- β) Η στιγμιαία τιμή της τάσης στην έξοδο του συγκεκριμένου μετατροπέα μεταβάλλεται από τη μηδενική τιμή στη τιμή της τάσης εισόδου, γεγονός μη αποδεκτό στις περισσότερες των εφαρμογών. Η διακύμανση της τάσης εξόδου μπορεί να ελαττωθεί αρκετά με τη χρήση ενός χαμηλοπερατού φίλτρου πρώτου βαθμού, που αποτελείται από μια επαγωγή μεγάλης τιμής που συνδέεται σε σειρά με την έξοδο και έναν πυκνωτή μεγάλης τιμής που συνδέεται παράλληλα στο φορτίο. Η συχνότητα αποκοπής αυτού του φίλτρου επιλέγεται πολύ μικρότερη από τη συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα, εξαλείφοντας ουσιαστικά την κυμάτωση στη τάση εξόδου. Σε κάποιες πρακτικές εφαρμογές, εάν επιθυμείται επιπλέον εξομάλυνση απαιτείται η τοποθέτηση και ενός επιπλέον φίλτρου δευτέρου βαθμού στην έξοδο του μετατροπέα, με πολύ μεγαλύτερη συχνότητα αποκοπής από το πρώτο.

Αν στο κύκλωμα του *σχήματος 2.5.α* εφαρμοστούν οι λύσεις που προτάθηκαν παραπάνω για να αντιμετωπισθούν τα δύο βασικά του μειονεκτήματα προκύπτει το κύκλωμα του *σχήματος 2.6*, στο οποίο φαίνεται το κυκλωματικό διάγραμμα της τοπολογίας ενός διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού (**BUCK**) της τάσης ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π..



Σχήμα 2.6 : Κυκλωματικό διάγραμμα διακοπτικού μετατροπέα τοπολογίας υποβιβασμού της τάσης (**BUCK**), ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π..

Η λειτουργία όλων των μετατροπέων που ελέγχονται με την τεχνική της Δ.Ε.Π. μπορεί να είναι είτε στην περιοχή συνεχούς αγωγής ρεύματος είτε στην περιοχή ασυνεχούς αγωγής ρεύματος. **Συνεχής αγωγή** (*Continuous Conduction Mode, CCM*): ορίζεται η κατάσταση λειτουργίας όπου το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο εξομάλυνσης είναι πάντα μεγαλύτερο του μηδενός. **Ασυνεχής αγωγή** (*Discontinuous Conduction Mode, DCM*) ορίζεται η κατάσταση λειτουργίας όπου το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο εξομάλυνσης παρουσιάζει διαστήματα όπου μηδενίζεται [1].

Για την ανάλυση της λειτουργίας αυτού του είδους των μετατροπέων ορίζεται η **σχετική διάρκεια αγωγής ή λόγος κατάτμησης** (D ή δ) ως το πηλίκο του χρόνου αγωγής (t_{on}) του ελεγχόμενου ημιαγωγικού στοιχείου προς την περίοδο (T_S):

$$D = \delta = \frac{t_{on}}{T_S}, \quad \text{όπου: } t_{on} \text{ ο χρόνος αγωγής του ελεγχόμενου ημιαγωγικού στοιχείου}$$

(2.2) T_S η περίοδος της λειτουργίας του κυκλώματος

$$T_S = \frac{1}{f_s}, \quad \text{και όπου: } f_s \text{ η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα.}$$

(2.3)

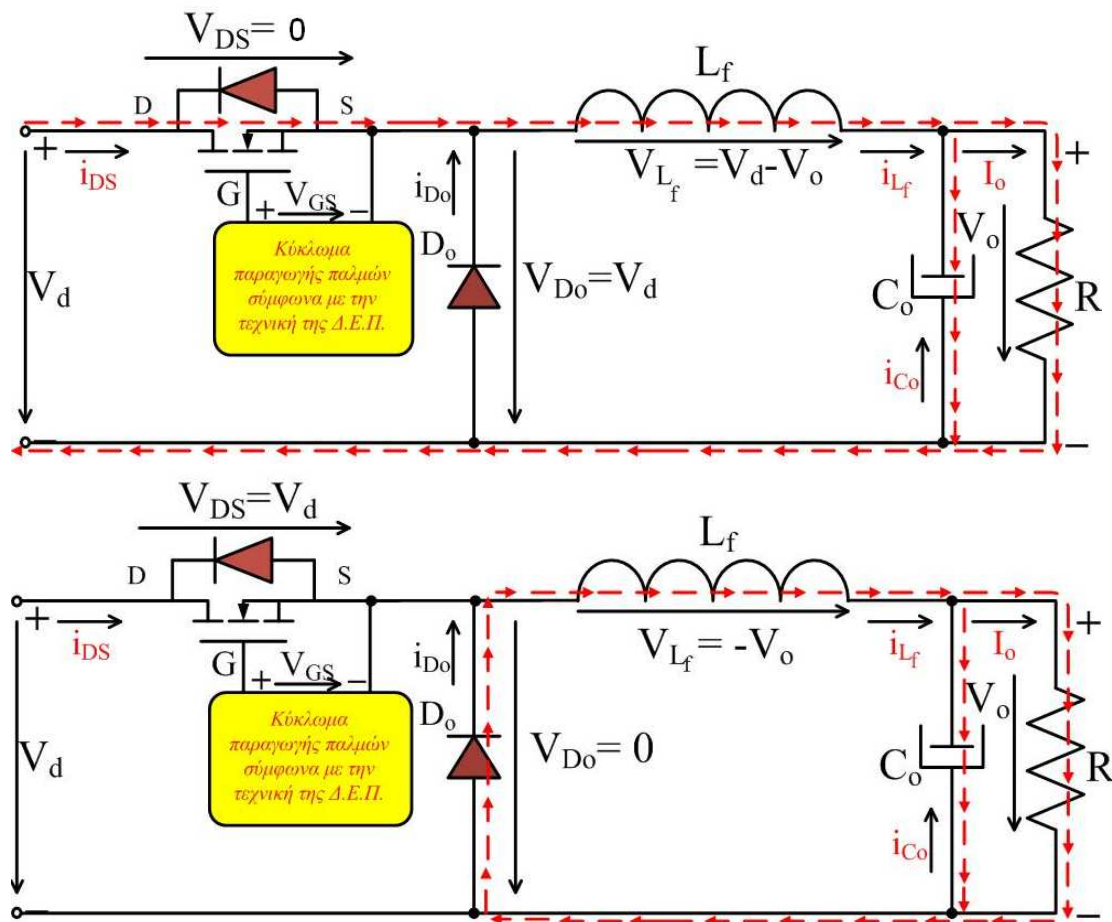
2.5.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΣΥΝΕΧΗ ΑΓΩΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η θεωρητική ανάλυση της λειτουργίας των μετατροπέων αυτών, στηρίζεται στην υπόθεση ότι όλα τα στοιχεία του κυκλώματος είναι ιδανικά,

δηλαδή οι ημιαγωγικοί διακόπτες θεωρούνται με μηδενικούς χρόνους έναυσης και σβέσης, με μηδενικές απώλειες αγωγής, με μηδενική πτώση τάσεως, κ.α.. Στηριζόμενοι σ' αυτή την υπόθεση και θεωρώντας μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η λειτουργία της τοπολογίας διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού (*BUCK-PWM DC-DC Converter*) της τάσης εξόδου μπορεί να περιγραφεί ως εξής [1]:

- α) όταν το τρανζίστορ άγει η ενέργεια μεταφέρεται απ' ευθείας από την είσοδο στην έξοδο και συγχρόνως ένα τμήμα της αποθηκεύεται στην επαγωγή. Η δίοδος ελεύθερης διέλευσης; πολώνεται ανάστροφα (από την τάση εισόδου) και δεν άγει.
- β) όταν το τρανζίστορ δεν άγει η επαγωγή τείνει να διατηρήσει το ρεύμα στην ίδια κατεύθυνση (ενεργώντας ως πηγή ρεύματος). Επομένως η διαφορά δυναμικού στα άκρα της επαγωγής αυτής αναστρέφεται και η δίοδος άγει.

Στο *σχήμα 2.7* σχεδιάζονται τα δύο ισοδύναμα κυκλώματα που αντιστοιχούν στις δύο καταστάσεις λειτουργίας του κυκλώματος, ενώ στο *σχήμα 2.9* σχεδιάζονται οι βασικές κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων για τη λειτουργία του διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού της τάσης στην συνεχή αγωγή.



Σχήμα 2.7: Ισοδύναμα κυκλώματα κατά τη λειτουργία σε συνεχή αγωγή ενός διακοπτικού μετατροπέα τοπολογίας υποβιβασμού της τάσης (BUCK), ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π..

Θεωρώντας μόνιμη κατάσταση λειτουργίας για το μετατροπέα, από το κυκλωματικό του διάγραμμα είναι εμφανές ότι [1]:

$$v_{D_o}(t) = v_{L_f}(t) + v_o(t) \Rightarrow V_{D_o} = V_{L_f} + V_o$$

αλλά $V_{L_f} = 0$, λόγω μόνιμης κατάστασης λειτουργίας

και επομένως $V_{D_o} = V_o$, άρα:

$$V_o = V_{D_o} = \frac{1}{T_s} \cdot \int_0^{T_s} v_{D_o}(t) \cdot dt = \frac{1}{T_s} \cdot \left(\int_0^{t_{on}} V_d \cdot dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0 \cdot dt \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_o = \frac{1}{T_s} \cdot [V_d \cdot (t_{on} - 0) + 0 \cdot (T_s - t_{on})] \Rightarrow$$

$$V_o = \frac{1}{T_s} V_d \cdot t_{on} \Rightarrow \frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_s} = D = \delta \quad (2.4)$$

Στο ίδιο αποτέλεσμα οδηγεί και η επίλυση της ακόλουθης εξίσωσης

$$V_{L_f} = 0 \Rightarrow V_{L_f} = \frac{1}{T_s} \cdot \int_0^{T_s} v_{L_f}(t) \cdot dt = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{L_f} = \frac{1}{T_s} \cdot \left(\int_0^{t_{on}} (V_d - V_o) \cdot dt + \int_{t_{on}}^{T_s} (-V_o) \cdot dt \right) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{L_f} = (V_d - V_o) \cdot (t_{on} - 0) + (-V_o) \cdot (T_s - t_{on}) = 0 \Rightarrow$$

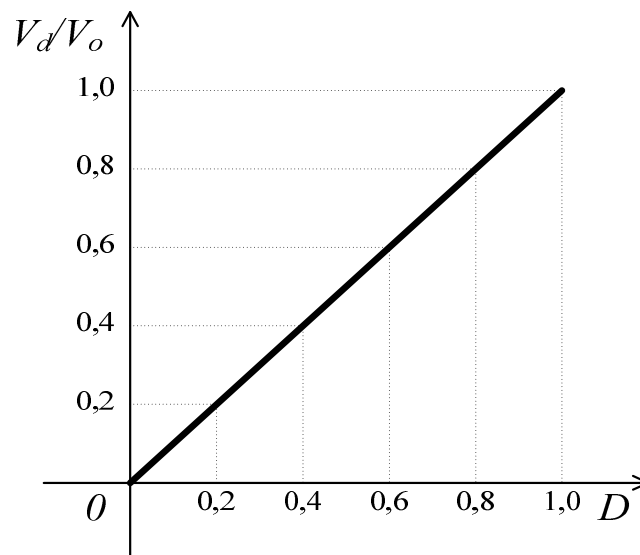
$$\Rightarrow V_{L_f} = V_d \cdot t_{on} - V_o \cdot t_{on} - V_o \cdot T_s + V_o \cdot t_{on} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_s} = D = \delta$$

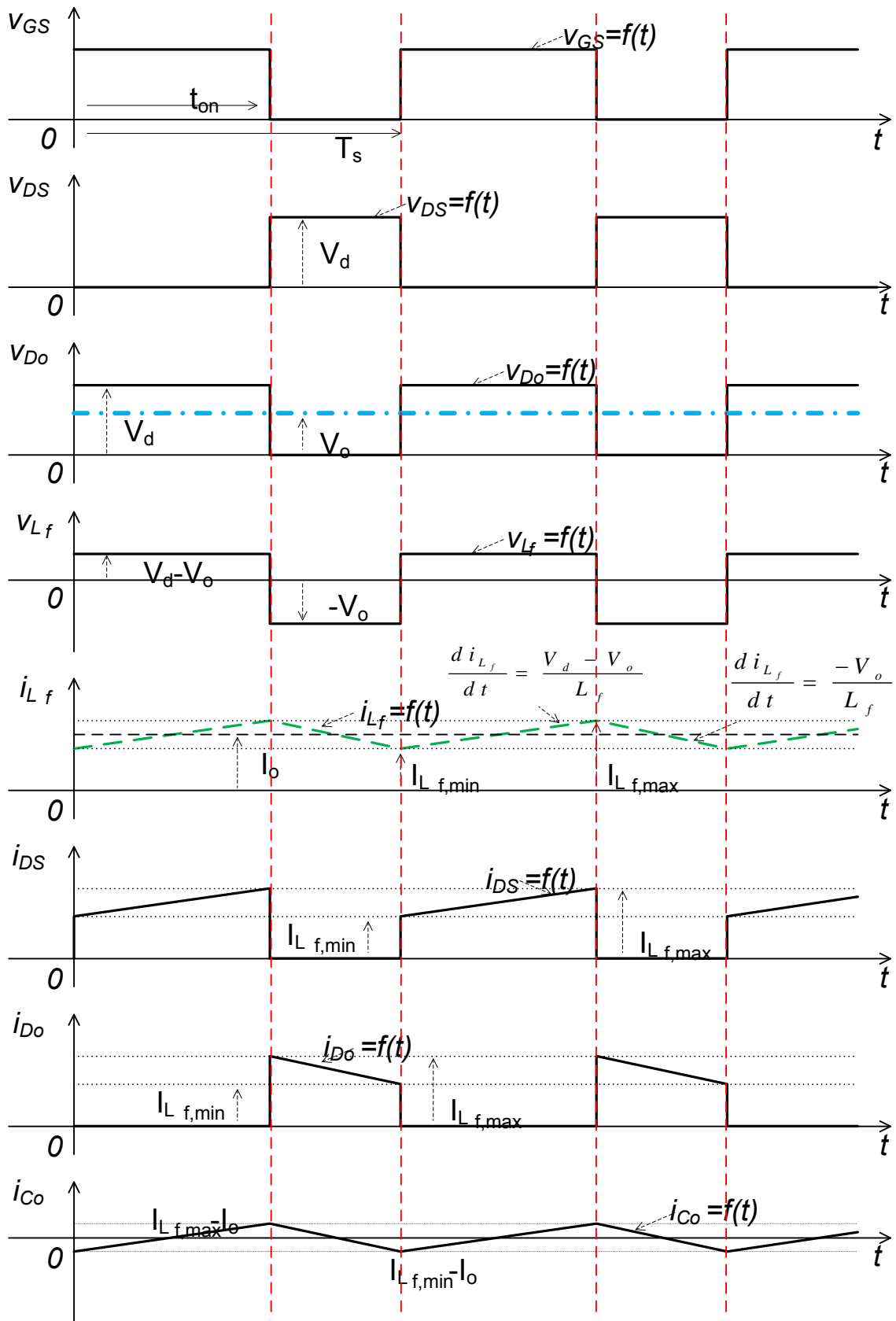
Και θεωρώντας ότι ο βαθμός απόδοση του κυκλώματος είναι μοναδιαίος ισχύει ότι:

$$\eta = 1 \Rightarrow P_d = P_o \Rightarrow V_d \cdot I_d = V_o \cdot I_o \Rightarrow \frac{V_o}{V_d} = \frac{I_d}{I_o} = \frac{t_{on}}{T_s} = D = \delta \quad (2.5)$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις είναι εμφανές ότι η τάση εξόδου ενός διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού της τάσης της τάσης εισόδου, κατά τη λειτουργία του στη συνεχή κατάσταση αγωγής, είναι ανεξάρτητη από το φορτίο εξόδου και εξαρτάται μόνο από τη σχετική διάρκεια αγωγής. Στο σχήμα 2.8 σχεδιάζεται η χαρακτηριστική εξόδου ενός διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού της τάσης ελεγχόμενου μέσω της τεχνικής διαμόρφωσης του εύρους των παλμών (τάση εξόδου ως συνάρτηση του λόγου κατάτμησης) [1].



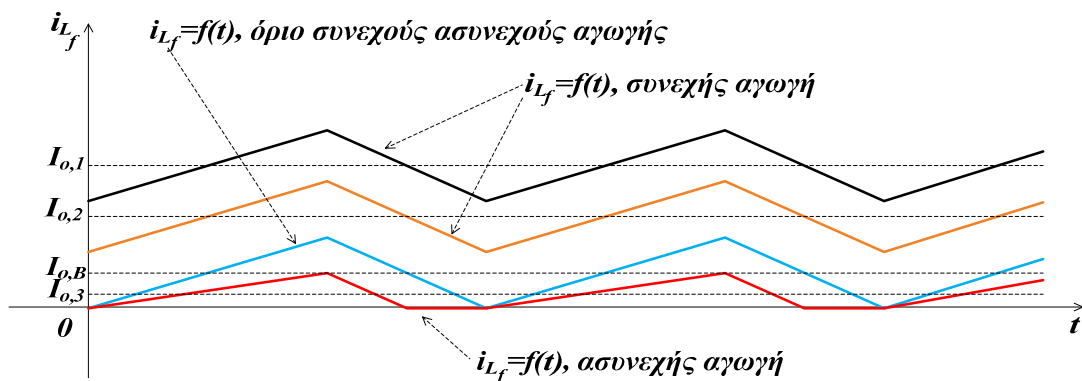
Σχήμα 2.8 : Χαρακτηριστική εξόδου ενός διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού της τάσης.



Σχήμα 2.9 : Κυματομορφές ηλεκτρικών μεγεθών κατά τη λειτουργία σε συνεχή αγωγή ενός διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού της τάσης, ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π. .

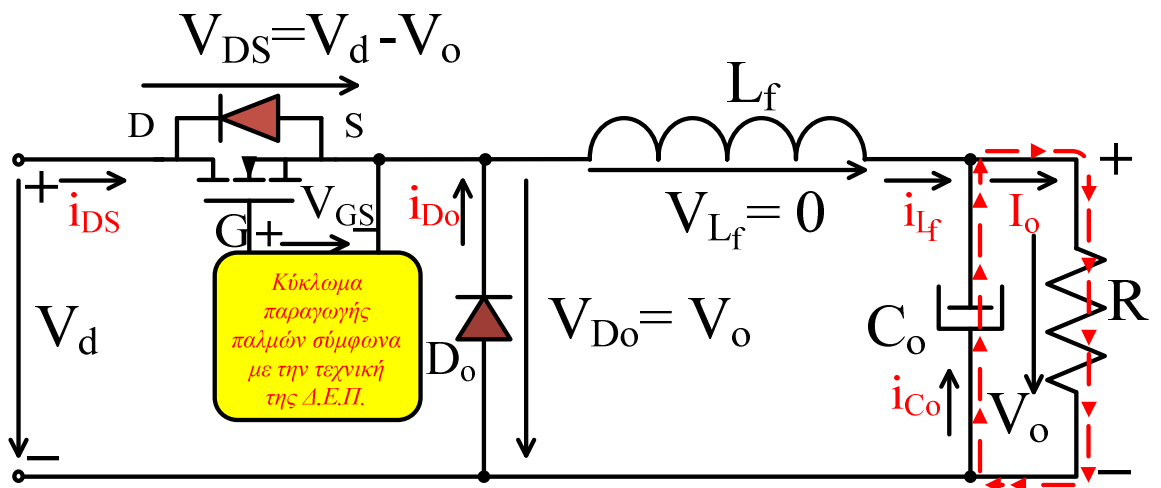
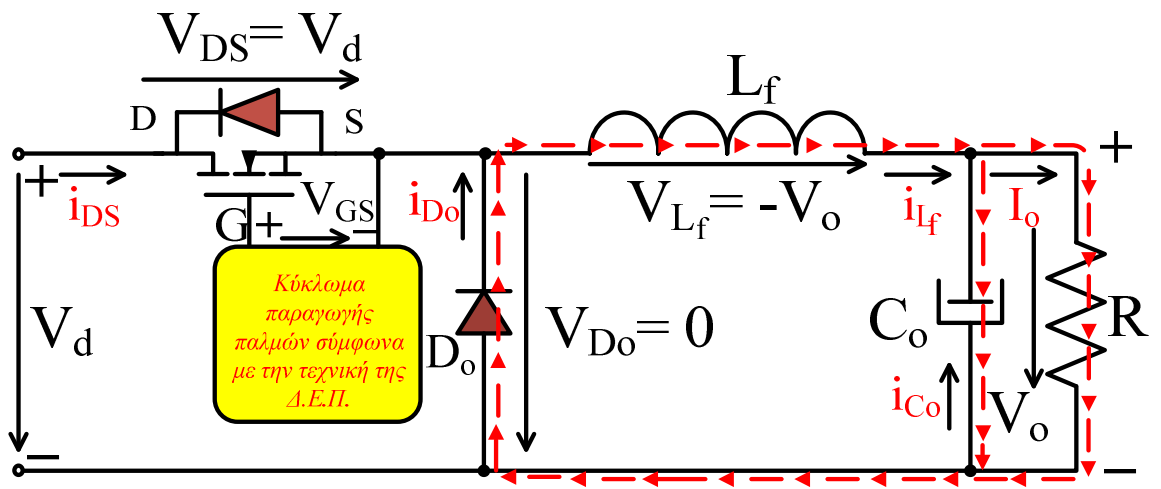
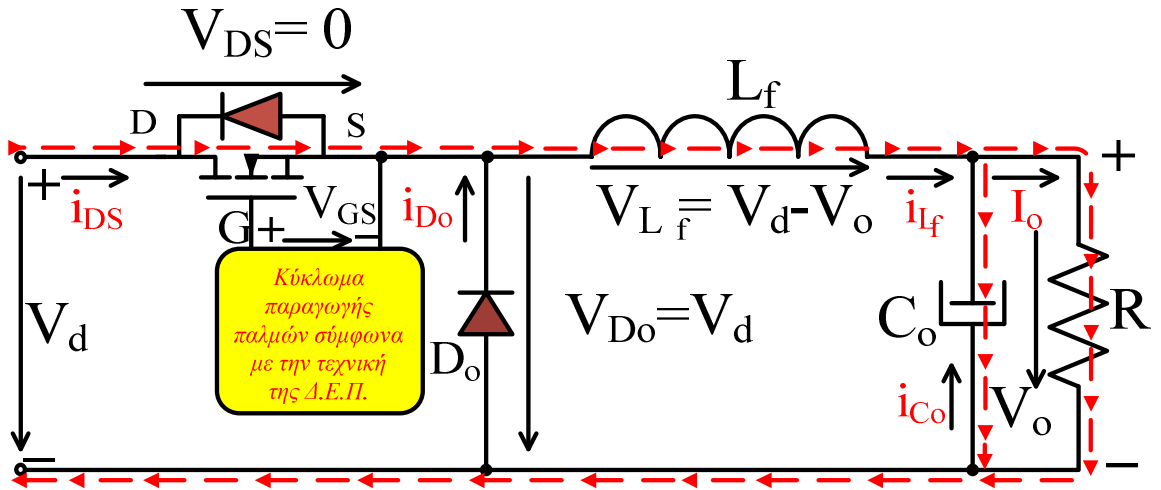
2.7.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΗ ΑΓΩΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Αν η ενέργεια του πηνίου δεν είναι αρκετή να διατηρήσει σε κατάσταση αγωγής τη δίοδο ελεύθερης διέλευσης κατά το χρόνο αποκοπής του κύριου ημιαγωγικού στοιχείου, η δίοδος σταματάει να άγει, το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο εξομάλυνσης μηδενίζεται, ενώ ο πυκνωτής εξόδου αναλαμβάνει να τροφοδοτήσει το φορτίο με την απαιτούμενη ενέργεια. Σ' αυτή την περίπτωση, το κύκλωμα λειτουργεί στην ασυνεχή αγωγή και είναι προφανές ότι, οδηγείται σε αυτήν την κατάσταση, όταν το φορτίο (I_o) ελαττωθεί σε σημαντικό βαθμό (δηλαδή, όταν αυξηθεί η ωμική αντίσταση εξόδου R_o), ενώ υπάρχει και μία οριακή τιμή φορτίου όπου το κύκλωμα λειτουργεί στα όρια μεταξύ συνεχούς και ασυνεχούς αγωγής (σχήμα 2.10) [1].



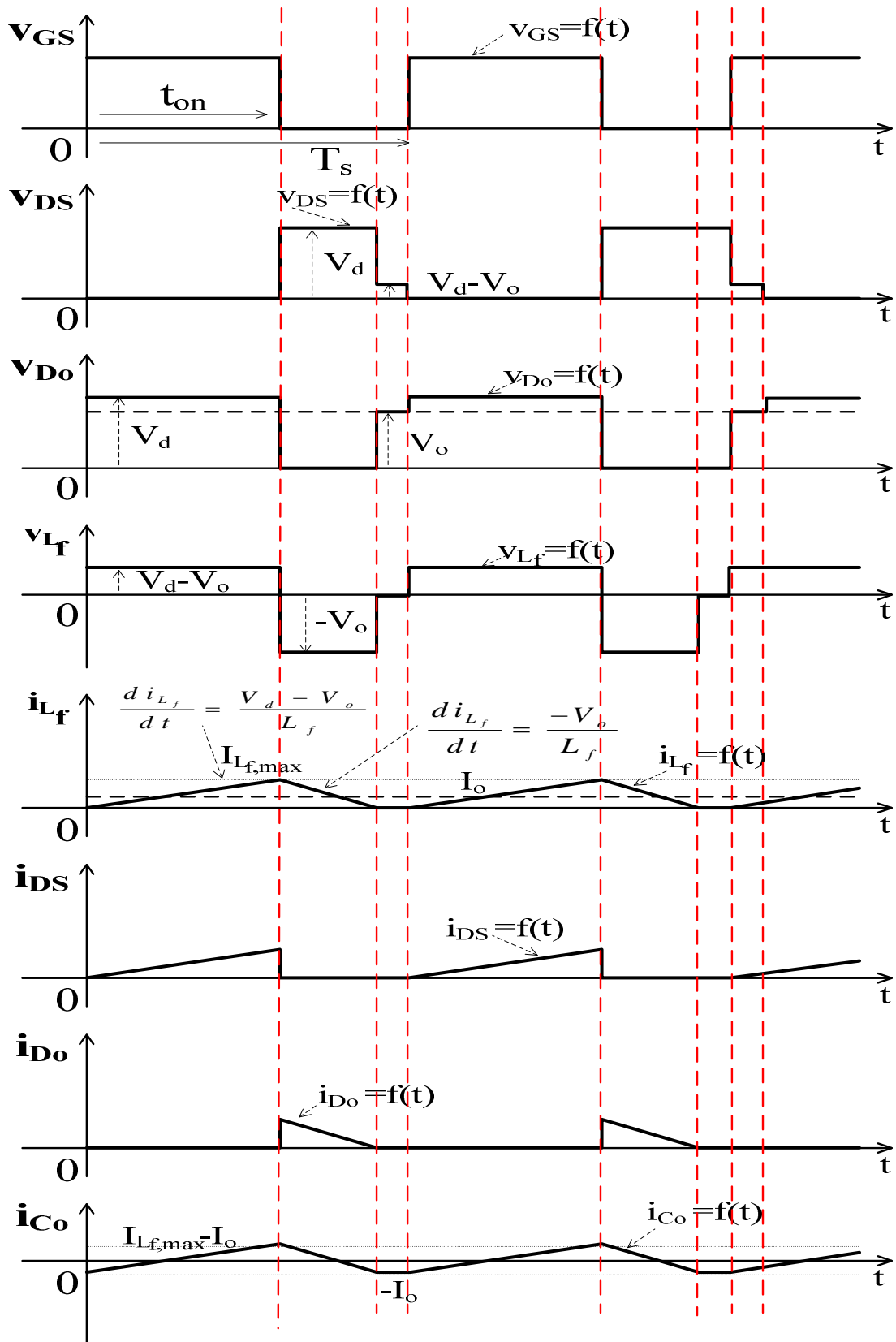
Σχήμα 2.10 : Κυματομορφές του ρεύματος στην επαγωγή ενός διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού της τάσης με μεταβολή του φορτίου εξόδου.

Στο σχήμα 2.11 σχεδιάζονται τα τρία ισοδύναμα κυκλώματα που αντιστοιχούν στις καταστάσεις λειτουργίας του κυκλώματος κατά τη λειτουργία σε ασυνεχή αγωγή.



Σχήμα 2.11 : *Ισοδύναμα κυκλώματα κατά τη λειτουργία σε ασυνεχή αγωγή ενός διακοπτικού μετατροπέα τοπολογίας υποβιβασμού της τάσης (BUCK), ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π..*

Ακόμα, στο σχήμα 2.12 επανασχεδιάζονται οι βασικές κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων για τη λειτουργία του διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού της τάσης στην ασυνεχή αγωγή.



Σχήμα 2.12 : Κυματομορφές ηλεκτρικών μεγεθών κατά τη λειτουργία σε συνεχή αγωγή ενός διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού της τάσης, ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π. .

Κατά τη λειτουργία του κυκλώματος στο όριο μεταξύ συνεχούς και ασυνεχούς αγωγής το ρεύμα που διαρρέει την επαγωγή μηδενίζεται στο τέλος της περιόδου, επομένως, για τιμές του ρεύματος εξόδου μεγαλύτερες από αυτή, το κύκλωμα λειτουργεί σε συνεχή αγωγή ενώ για τιμές μικρότερες από αυτή, λειτουργεί στην ασυνεχή κατάσταση αγωγής. Η μέση τιμή αυτού του ρεύματος δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση : Από την κυματομορφή της τάσης στα άκρα της διόδου ελεύθερης διέλευσης είναι προφανές ότι εμφανίζεται τάση στα άκρα της για περισσότερο χρόνο σε σχέση με τον αντίστοιχο χρόνο κατά τη λειτουργία συνεχούς αγωγής. Επομένως, **η τάση στην έξοδο του μετατροπέα, κατά τη λειτουργία στην ασυνεχή αγωγή, είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τάση εξόδου κατά τη συνεχή αγωγή, για την ίδια σχετική διάρκεια αγωγής.** Επίσης, όσο μεγαλώνει το χρονικό διάστημα της ασυνεχούς αγωγής τόσο μεγαλώνει η τάση εξόδου η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι την τιμή της τάσης εισόδου [1].

$$I_{L_f,B} = \frac{1}{2} \cdot i_{L_f,\max} = \frac{t_{on}}{2 \cdot L_f} \cdot (V_d - V_o) = \frac{D \cdot T_s}{2 \cdot L_f} \cdot (V_d - V_o)$$

$$\text{επίσης: } i_{L_f}(t) = I_o - i_{Co}(t) \Rightarrow I_{L_f} = I_o - I_{Co}$$

και επειδή μόνιμη κατάσταση λειτουργίας $I_{Co} = 0$, άρα:

$$I_{o,B} = \frac{D \cdot T_s}{2 \cdot L_f} \cdot (V_d - V_o) \quad (2.6)$$

Ενώ, **κατά τη λειτουργία του κυκλώματος στην ασυνεχή αγωγή και για σταθερή τάση εισόδου**, ισχύουν οι εξισώσεις:

$$I_{o,B} = I_{L_f,B} = \frac{T_s \cdot V_d}{2 \cdot L_f} \cdot D \cdot (1 - D) \quad (2.7)$$

$$I_{L_f,B,\max} = \frac{T_s \cdot V_d}{8 \cdot L_f} \quad (2.8)$$

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{D^2}{D^2 + \frac{1}{4} \cdot \frac{I_o}{I_{L_f,B,\max}}} \quad (2.9)$$

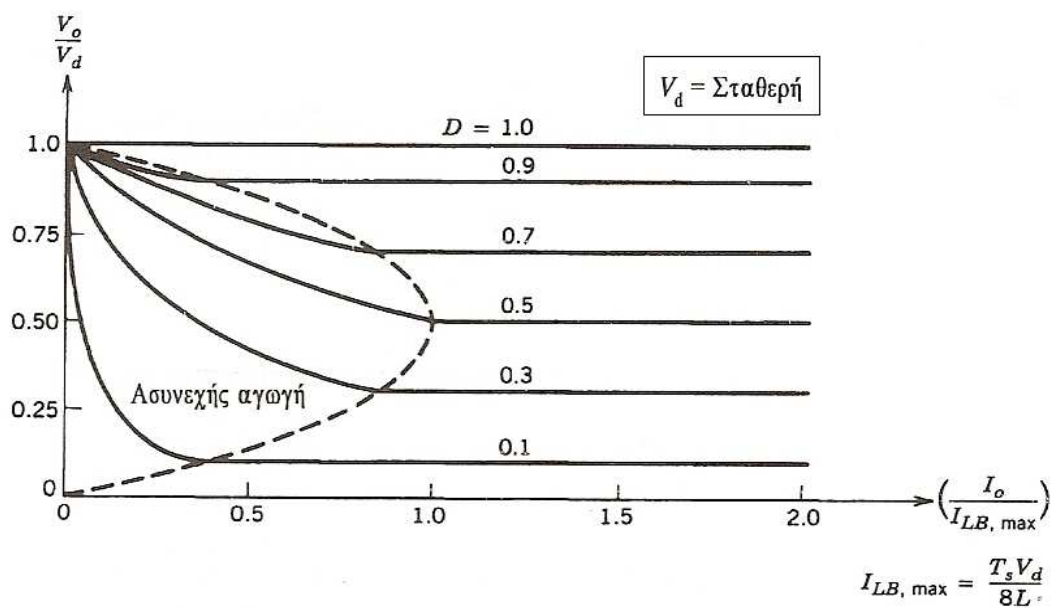
Ενώ, **κατά τη λειτουργία του κυκλώματος στην ασυνεχή αγωγή και για σταθερή τάση εξόδου**, ισχύουν οι εξισώσεις:

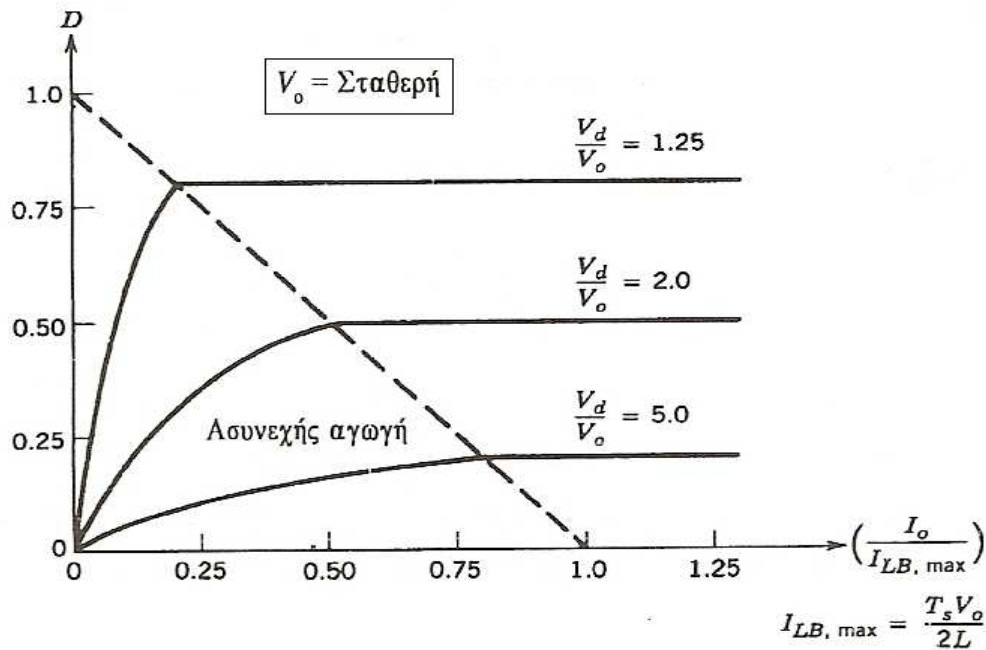
$$I_{o,B} = I_{L_f,B} = \frac{T_S \cdot V_o}{2 \cdot L_f} \cdot (1 - D) \quad (2.10)$$

$$I_{L_f,B,\max} = \frac{T_S \cdot V_o}{2 \cdot L_f} \quad (2.11)$$

$$D = \frac{V_o}{V_d} \cdot \sqrt{\frac{I_o}{I_{L_f,B,\max} \cdot \left(1 - \frac{V_o}{V_d}\right)}} \quad (2.12)$$

Στο σχήμα 2.13 σχεδιάζονται οι χαρακτηριστικές εξόδου ως συνάρτηση του ρεύματος εξόδου και με παράμετρο τη σχετική διάρκεια αγωγής τόσο για σταθερή τάση εισόδου όσο και για σταθερή τάση εξόδου.





Σχήμα 2.13 : Χαρακτηριστικές εξόδου ως συνάρτηση του ρεύματος εξόδου τόσο για σταθερή τάση εισόδου όσο και για σταθερή τάση εξόδου.

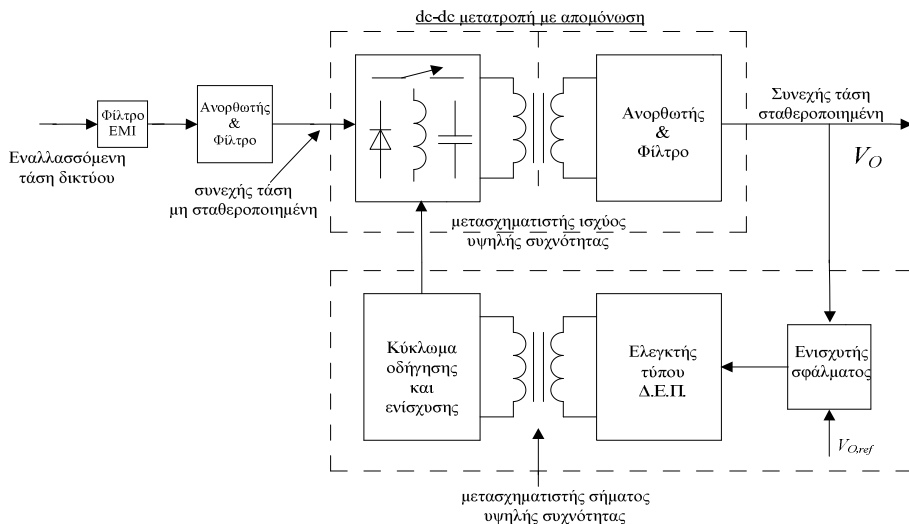
2.8 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΕΧΗ ΤΑΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ.

2.6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ DC-DC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΜΕ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ

Οι τοπολογίες διακοπτικών μετατροπέων συνεχούς τάσης σε συνεχή τάση με μετασχηματιστή είναι οι εξής :

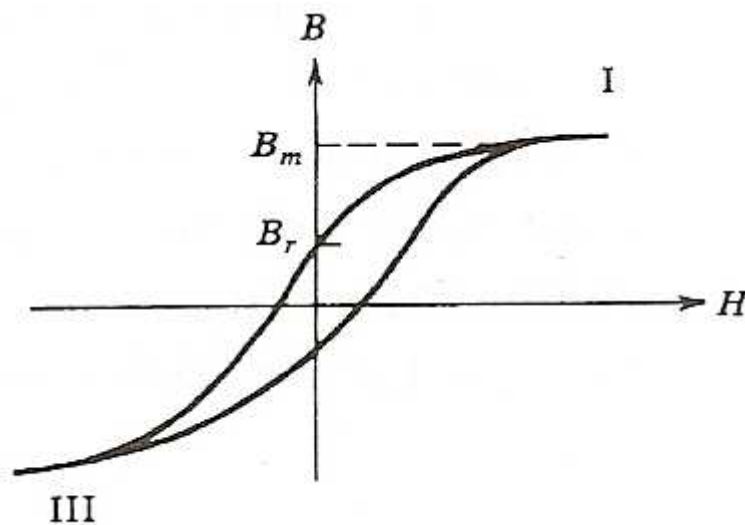
1. Διακοπτικός μετατροπέας Flyback ελεγχόμενος με την τεχνική της Δ.Ε.Π..
2. Διακοπτικός μετατροπέας Forward ελεγχόμενος με την τεχνική της Δ.Ε.Π..
3. Διακοπτικός μετατροπέας Push-Pull ελεγχόμενος με την τεχνική της Δ.Ε.Π..
4. Διακοπτικός μετατροπέας με πλήρη γέφυρα ελεγχόμενος με την τεχνική της Δ.Ε.Π..

Όπως βλέπουμε στο *σχήμα 2.14*, η ηλεκτρική απομόνωση στο διακοπτικό τροφοδοτικό επιτυγχάνεται από έναν μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας.



Σχήμα 2.14: Απλοποιημένο λειτουργικό διάγραμμα ενός διακοπτικού τροφοδοτικού που ελέγχεται με την τεχνική της Δ.Ε.Π. και με ηλεκτρική απομόνωση [1].

Στο σχήμα 2.15 φαίνεται η χαρακτηριστική **B-H** (βρόχος υστέρησης) ενός τυπικού πυρήνα μετασχηματιστή.



Σχήμα 2.15: Τυπικός βρόχος **B-H** του πυρήνα του μετασχηματιστή.

Σ'αυτό το σχήμα B_m είναι η μέγιστη μαγνητική επαγωγή, μετά την οποία επέρχεται κορεσμός, και B_r η παραμένουσα μαγνητική επαγωγή [2].

Οι διάφοροι τύποι dc-dc μετατροπέων (με ηλεκτρική απομόνωση) μπορούν να διαιρεθούν σε δύο βασικές κατηγορίες, που διακρίνονται από τον τρόπο χρήσης του πυρήνα του μετασχηματιστή:

- ❖ Μονοκατευθυντική διέγερση του πυρήνα, όπου χρησιμοποιείται μόνο το πρώτο (I) τεταρτημόριο του βρόχου υστέρησης **B-H**.
- ❖ Αμφίδρομη διέγερση του πυρήνα, όπου χρησιμοποιούνται δύο τεταρτημόρια του βρόχου υστέρησης (I και III) διαδοχικά.

2.8.2 ΜΟΝΟΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ.

Ο dc-dc μετατροπέας (χωρίς απομόνωση), που εξετάστηκε (BUCK), μπορεί να τροποποιηθεί, ώστε να παρέχει ηλεκτρική απομόνωση με μονοκατευθυντική διέγερση του πυρήνα. Δύο τέτοιες παραλλαγές είναι:

- ❖ **Μετατροπείς flyback** (προέρχονται από τους μετατροπείς ανύψωσης - υποβιβασμού τάσης)
- ❖ **Μετατροπείς forward** (προέρχονται από τους μετατροπείς υποβιβασμού τάσης)

Η τάση εξόδου αυτών των μετατροπέων σταθεροποιείται με μέθοδο διαμόρφωσης PWM.

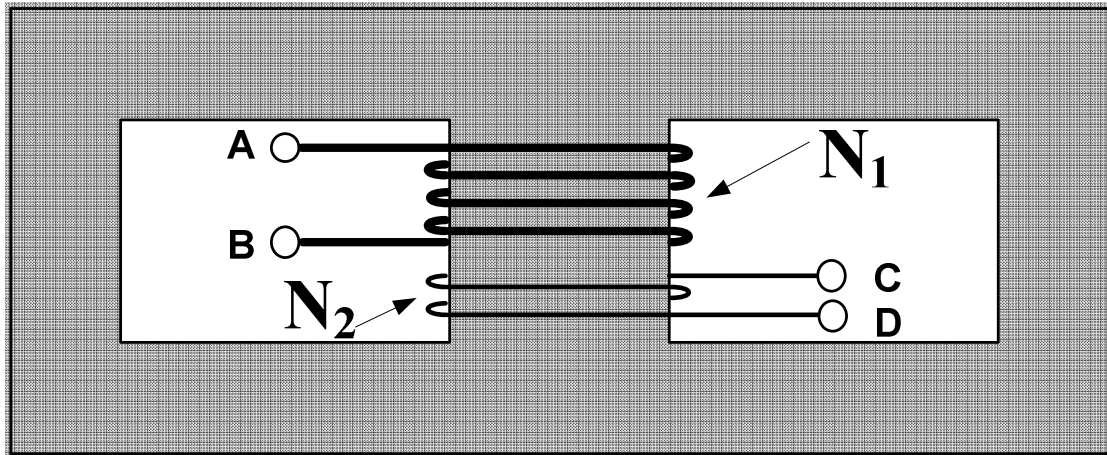
2.6.3 ΑΜΦΙΔΡΟΜΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ

Για την επίτευξη ηλεκτρικής απομόνωσης με αμφίδρομης διέγερση του πυρήνα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τοπολογίες των μονοφασικών διακοπτικών αντιστροφών, ώστε στην εισόδου του μετασχηματιστή απομόνωσης υψηλής συχνότητας του *σχήμα 2.14*. να παράγεται ac τάση με ορθογώνια κυματομορφή. Πολύ γνωστές είναι οι εξής τοπολογίες αντιστροφών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα διακοπτικά τροφοδοτικά:

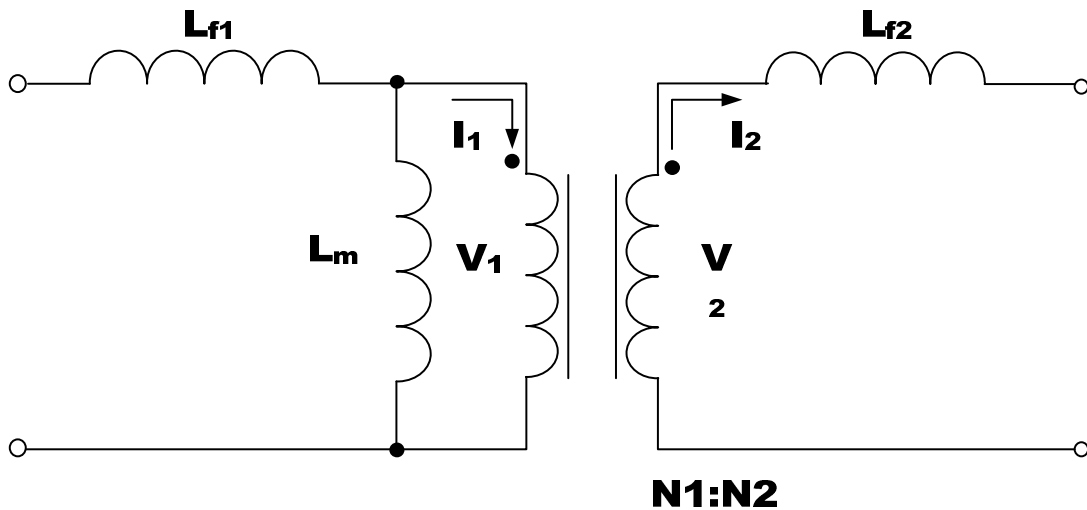
- ❖ Push - pull
- ❖ Μισής γέφυρας
- ❖ Πλήρους γέφυρας

2.6.4 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ.

Για την ηλεκτρική απομόνωση απαιτείται ένας μετασχηματιστής υψηλής συχνότητας. Θεωρώντας αμελητέες τις απώλειες του μετασχηματιστή του *σχήμα 2.16.α*, επανασχεδιάζεται στο *σχήμα 2.16.β* ένα προσεγγιστικό ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή με δύο τυλίγματα.



(α)



(β)

Σχήμα 2.16 : παράσταση ενός μετασχηματιστή: (α)μετασχηματιστής με δύο τυλίγματα, (β) ισοδύναμο κυκλώμα M/T.

Στο σχήμα αυτό $N_1:N_2$ είναι ο λόγος σπειρών, L_m είναι η επαγωγή μαγνήτισης, όπως φαίνεται από το πρωτεύον, και L_{f1} , L_{f2} είναι οι επαγωγές διαρροής. Στον ιδανικό μετασχηματιστή $V_1/V_2 = N_1/N_2$ και $N_1 i_1 = N_2 i_2$ [2].

Σ' έναν διακοπτικό dc-dc μετατροπέα είναι επιθυμητή η ελαχιστοποίηση των επαγωγών διαρροής L_{f1} , L_{f2} κάνοντας πολύ ισχυρή τη μαγνητική σύζευξη μεταξύ των δύο τυλιγμάτων. Η ενέργεια που αποθηκεύεται στις επαγωγές διαρροής απορροφάται από τα διακοπτικά στοιχεία

και τα κυκλώματα εξωτερικής προστασίας. Έτσι, είναι πλέον φανερό η ανάγκη ελαχιστοποίησης των επαγωγών διαρροής. Ομοίως, σ' έναν dc-dc διακοπτικό μετατροπέα είναι επιθυμητό η επαγωγή μαγνήτισης L_m του σχήμα 2.16.β να είναι όσο μεγαλύτερη γίνεται, ώστε να ελαχιστοποιείται το ρεύμα μαγνήτισης i_m , το οποίο ρέει μέσω των διακοπτικών στοιχείων. Αυτό έχει ως συνέπεια να βελτιωθούν οι περιορισμοί ρεύματος των διακοπτικών στοιχείων.

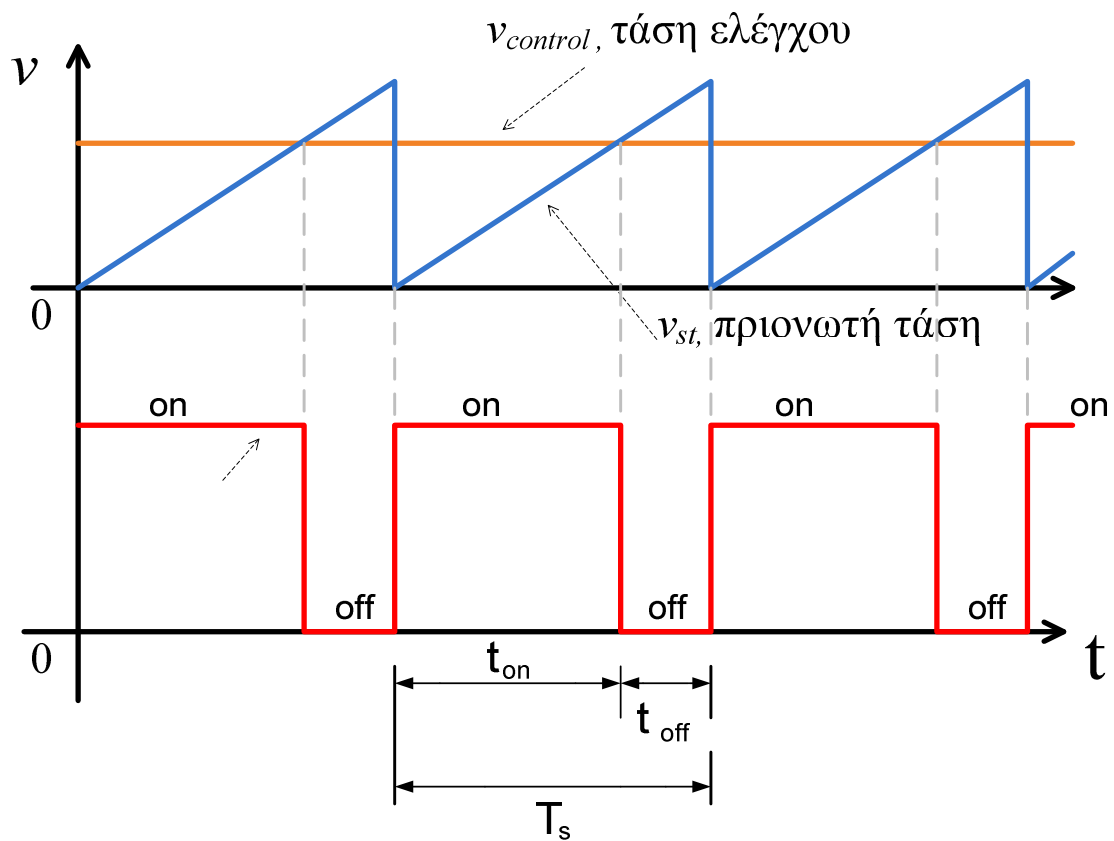
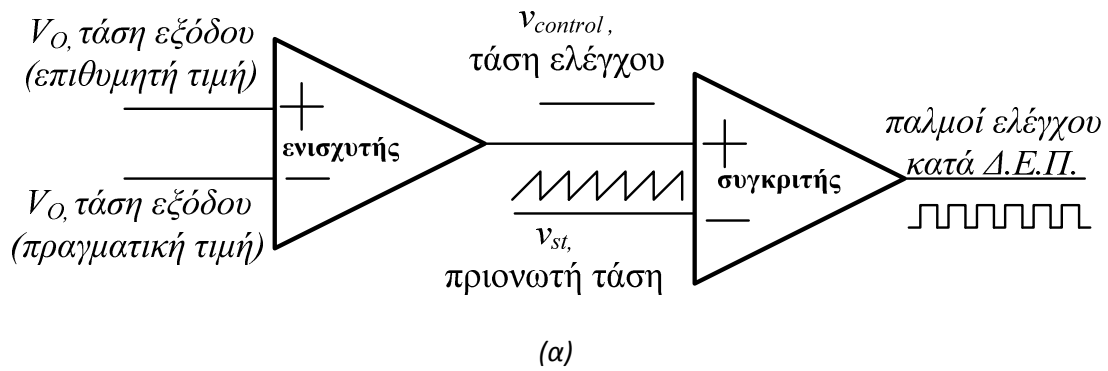
Είναι σημαντικό να λαμβάνουμε υπόψη την επίδραση των επαγωγών διαρροής του μετασχηματιστή κατά την επιλογή των διακοπών και τη σχεδίαση των κυκλωμάτων εξωτερικής προστασίας. Όμως, οι επαγωγές διαρροής έχουν μικρή επίδραση στις χαρακτηριστικές μεταφοράς τάσης των μετατροπέων και κατά συνέπεια αγνοούνται στην ανάλυση των μετατροπέων.

Στην τοπολογία μετατροπέα που εξετάζουμε, η οποία ονομάζεται μετατροπέας **flyback**, ο μετασχηματιστής στην πραγματικότητα είναι ένα πηνίο με δύο τυλίγματα. Το πηνίο αυτό έχει διττό ρόλο. Αφ' ενός αποθηκεύει ενέργεια και αφ' ετέρου παρέχει ηλεκτρική απομόνωση. Έτσι, η προηγούμενη παρατήρηση για το μέγεθος της L_m δεν μπορεί να εφαρμοστεί σ' αυτήν την τοπολογία. Βέβαια, το απλό ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση.

2.6.5 ΕΛΕΓΧΟΣ DC-DC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ.

Στις τοπολογίες μ' έναν διακόπτη, όπως οι μετατροπείς flyback και forward, η τάση εξόδου V_o , για μια δεδομένη τάση εισόδου V_d , ελέγχεται με διαμόρφωση PWM, όπως οι αντίστοιχες διατάξεις χωρίς απομόνωση.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η τεχνική ελέγχου της Δ.Ε.Π. συνίσταται στο να διατηρούμε σταθερή τη διακοπτική συχνότητα του μετατροπέα και να μεταβάλλουμε το χρόνο αγωγής του ημιαγωγικού στοιχείου. Τέτοιας μορφής παλμοί μπορούν να παραχθούν με τη σύγκριση μιας περιοδικής κυματομορφής σταθερής περιόδου η οποία μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο (συνήθως αυτή είναι μια πριονωτή κυματομορφή) με μια τάση ελέγχου ($v_{control}$) η οποία προκύπτει μετά από κατάλληλη ενίσχυση του σφάλματος μεταξύ της πραγματικής και της επιθυμητής τάσης εξόδου (σχήμα 2.17).



Σχήμα 2.17 : (α) λειτουργικό διάγραμμα για την παραγωγή παλμών ελέγχου σύμφωνα με την τεχνική της Δ.Ε.Π. και (β) Σήματα συγκριτή.

Όταν η τάση ελέγχου, που μεταβάλλεται πολύ αργά με το χρόνο, είναι μεγαλύτερη από την πριονωτή κυματομορφή, το σήμα ελέγχου του ημιαγωγικού στοιχείου γίνεται μέγιστο (high), με αποτέλεσμα να οδηγείται στην αγωγή το ημιαγωγικό στοιχείο, ενώ όταν είναι μικρότερη το σήμα ελέγχου μηδενίζεται και το ημιαγωγικό στοιχείο οδηγείται στην αποκοπή. Η συχνότητα της περιοδικής κυματομορφής καθορίζει τη διακοπτική συχνότητα λειτουργίας ή τη συχνότητα μετάβασης του μετατροπέα. Όπως ήδη γνωρίζουμε στην Τεχνική της Διαμόρφωσης του Εύρους των Παλμών, η συχνότητα αυτή διατηρείται σταθερή και επιλέγεται σε μια περιοχή από μερικά kHz μέχρι μερικές εκατοντάδες kHz, γι' αυτό κιόλας σ' αυτά τα κυκλώματα το κύριο ημιαγωγικό στοιχείο είναι τύπου MOSFET ισχύος (στο μεγαλύτερο ποσοστό των εφαρμογών).

Για την ανάλυση της λειτουργίας αυτού του είδους των μετατροπέων ορίζεται η **σχετική διάρκεια αγωγής ή λόγος κατάτμησης** (D ή δ) ως το πηλίκο του χρόνου αγωγής (t_{on}) του ελεγχόμενου ημιαγωγικού στοιχείου προς την περίοδο (T_S):

$$D = \delta = \frac{t_{on}}{T_S}, \quad \text{όπου: } \begin{array}{l} t_{on} \text{ ο χρόνος αγωγής του ελεγχόμενου ημιαγωγικού} \\ \text{στοιχείου} \\ T_S \text{ η περίοδος της λειτουργίας του κυκλώματος} \end{array}$$

(2.13)

$$T_S = \frac{1}{f_S}, \quad \text{και όπου: } f_S \text{ η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας του} \\ \text{μετατροπέα.}$$

(2.14)

2.7 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ FLYBACK ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ Δ.Ε.Π.

Στην ανάλυση που ακολουθεί αναφέρεται η λειτουργία του διακοπτικού μετατροπέα τοπολογίας FLYBACK. Παρουσιάζεται το κυκλωματικό του διάγραμμα και η λειτουργία του, ενώ σχεδιάζονται οι βασικές κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων για την λειτουργία του μετατροπέα τόσο σε

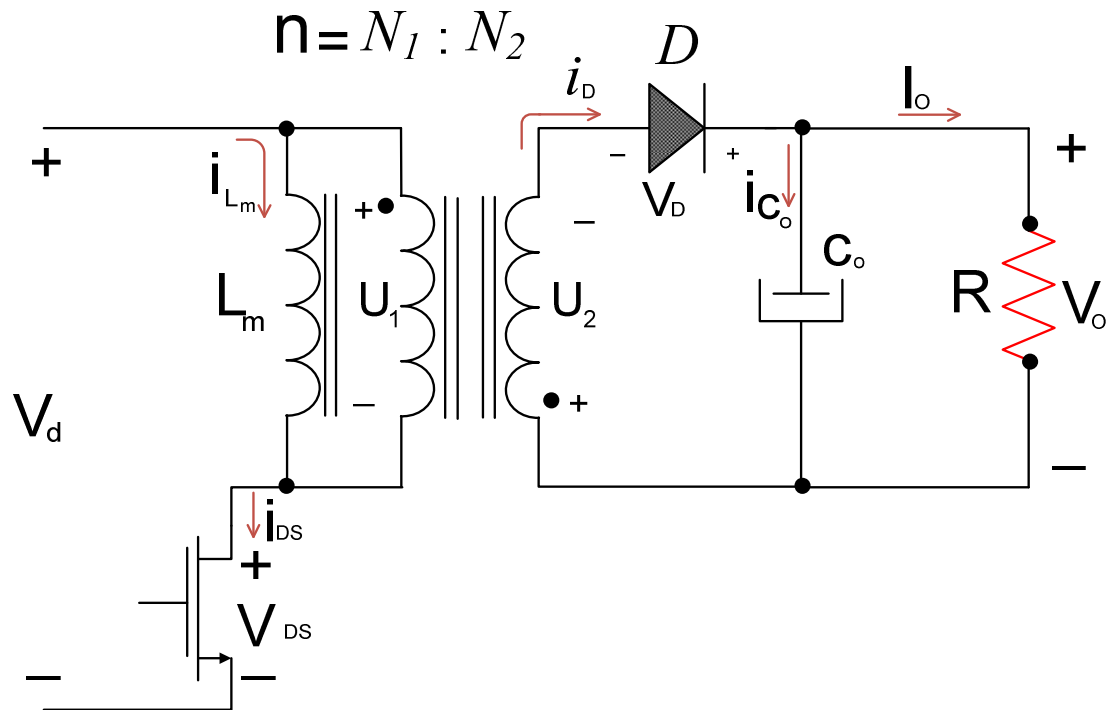
συνεχή αγωγή του ρεύματος όσο και σε ασυνεχή αγωγή του ρεύματος. Επεξηγήσεις στις βασικές αυτές κυματομορφές δίνονται και για τις δύο καταστάσεις αγωγής του ρεύματος.

Η προέλευση του διακοπτικού μετατροπέα Flyback είναι από τον διακοπτικό μετατροπέα υποβιβασμού/ανύψωσης της τάσης ελεγχόμενο με την τεχνική της Δ.Ε.Π.. Σύμφωνα με το παρακάτω *σχήμα 2.18*, μπορεί να επιτευχθεί ηλεκτρική απομόνωση λόγω του δευτερεύον τυλίγματος. Κατά το χρονικό διάστημα που το ημιαγωγικό στοιχείο άγει η δίοδος ελεύθερης διέλευσης πολώνεται ανάστροφα και αυτό οφείλεται στην πολικότητα των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή.

Επιπλέον η τοπολογία αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα κατά τη χρήση της στην πράξη. Λόγω της απλότητας του κυκλώματος (γίνεται χρήση ενός μόνο μαγνητικού στοιχείου) χρησιμοποιείται ευρύτερα σε πολλές εφαρμογές, ενώ παρέχεται η δυνατότητα πολλαπλών εξόδων. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διατάξεις διόρθωσης του συντελεστή ισχύος, λόγω της ικανότητας του για ανύψωση ή υποβιβασμό της τάσης εισόδου.

Ο διακοπτικός μετατροπέας Flyback αποτελείται από ένα ημιαγωγικό στοιχείο MOSFET, ένα μετασχηματιστή, μία δίοδο ελεύθερης διέλευσης D και ένα πυκνωτή C_o .

Το κύκλωμα ενός μετατροπέα Flyback ελεγχόμενου με την τεχνική της διαμόρφωσης του εύρους των παλμών φαίνεται στο *σχήμα 2.18*, στο οποίο τα δύο τυλίγματα της αυτεπαγωγής παρίστανται με το προσεγγιστικό κύκλωμά τους.



Σχήμα 2.18 : . Κυκλωματικό διάγραμμα διακοπτικού μετατροπέα τοπολογίας Flyback, ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π..

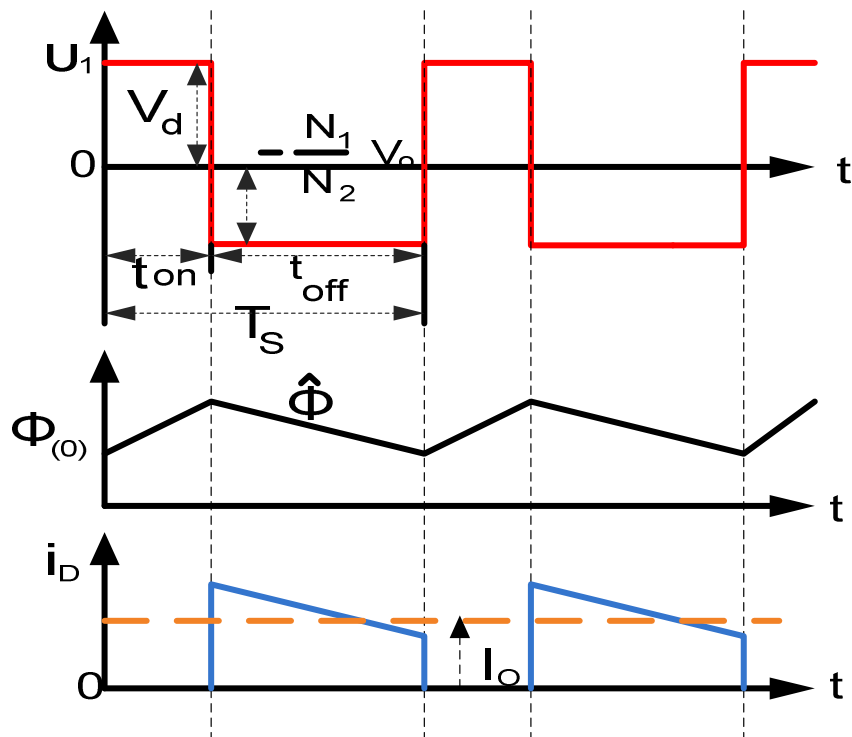
2.7.1 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΑΓΩΓΗΣ.

Σε ένα τυπικό μετατροπέα flyback. Όταν το ρεύμα μέσα στο πηνίο του μετατροπέα είναι πάντα μεγαλύτερο από το μηδέν, μέσα σε ένα διακοπτικό κύκλο. Ο μετατροπέας λέγεται ότι λειτουργεί σε συνεχή αγωγή ρεύματος (CCM). Το *σχήμα 2.22* δείχνει τις κυματομορφές της λειτουργίας στη συνεχή αγωγή ρεύματος η οποία λειτουργεί όπως περιγράφεται παρακάτω.

Για την ανάλυση του διακοπτικού μετατροπέα Flyback ελεγχόμενο με την τεχνική της Δ.Ε.Π. που φαίνεται στο *σχήμα 2.18* έχουν ληφθεί υπόψη οι παρακάτω προϋποθέσεις. Ο ημιαγωγικός διακόπτης ισχύος MOSFET και η δίοδος ελεύθερης διέλευσης καθώς και όλα τα άλλα στοιχεία του κυκλώματος είναι ιδανικά. Συνεπώς οι ημιαγωγικοί διακόπτες θεωρούνται με μηδενικούς χρόνους αγωγής, με μηδενική πτώση τάσης, με μηδενικές απώλειες κ.α. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω προϋποθέσεις, μπορεί να περιγραφεί η λειτουργία του διακοπτικού μετατροπέα ως εξής:

1. Κατά το χρονικό διάστημα που το ημιαγωγικό στοιχείο άγει η δίοδος ελεύθερης διέλευσης πολώνεται ανάστροφα και αυτό οφείλεται στην πολικότητα των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή. Σύμφωνα με το σχήμα 2.19 όπου σχεδιάζονται οι κυματομορφές της τάσης U_1 και του ρεύματος της δίοδου i_D , η ροή του πυρήνα αυξάνεται γραμμικά από μία αρχική τιμή $\phi(0)$ και διατηρείται θετική .

$$\phi(t) = \phi(0) + \frac{V_d}{N_1} t \quad 0 < t < t_{on} \quad (2.15)$$



Σχήμα 2.19: Κυματομορφές της τάσης U_1 , του ρεύματος i_D και της ροής στον πυρήνα ενός μετατροπέα Flyback.

Από την παρακάτω σχέση δίνεται η τιμή κορυφής $\hat{\phi}$ στο τέλος του διαστήματος:

$$\hat{\phi} = \phi(t_{on}) = \phi(0) + \frac{V_d}{N_1} t_{on} \quad (2.16)$$

2. Αφού ολοκληρωθεί ο χρόνος αγωγής t_{on} που άγει ο ημιαγωγικός διακόπτης, μπαίνει σε κατάσταση αποκοπής ο ημιαγωγικός διακόπτης και η ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στον πυρήνα προκαλεί ροή ρεύματος στο δευτερεύον τύλιγμα μέσω της διόδου ελεύθερης διέλευσης D. Στο δευτερεύον τύλιγμα η τάση είναι $v_2 = -V_o$, άρα στο χρονικό διάστημα που το ημιαγωγικό στοιχείο είναι σε αποκοπή, δηλαδή t_{off} , η ροή μειώνεται γραμμικά.

$$\phi(t) = \hat{\phi} - \frac{V_o}{N_2}(t - t_{on}) \quad t_{on} < t < T_s \quad (2.17)$$

και
$$\phi(T_s) = \hat{\phi} - \frac{V_o}{N_2}(T_s - t_{on}) \quad (2.18)$$

$$= \phi(0) + \frac{V_d}{N_1}t_{on} - \frac{V_o}{N_2}(T_s - t_{on}) \quad (2.19)$$

Στο σχήμα 2.20 σχεδιάζονται τα δύο ισοδύναμα κυκλώματα που αντιστοιχούν στις δύο καταστάσεις λειτουργίας του κυκλώματος, ενώ το σχήμα 2.22 σχεδιάζονται οι βασικές κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων για την λειτουργία του διακοπτικού μετατροπέα Flyback στην συνεχή αγωγή.

Η καθαρή μεταβολή της ροής του πυρήνα πρέπει να είναι μηδέν στη μόνιμη κατάσταση ισορροπίας συνεπώς ισχύει:

$$\phi(T_s) = \phi(0) \quad (2.20)$$

σύμφωνα με τις εξισώσεις 2.19 και 2.20 έχουμε

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{N_2}{N_1} \frac{D}{1-D} \quad (2.21)$$

Όπου $D = t_{on}/T_s$ και συμβολίζεται η σχετική διάρκεια αγωγής. Σε ένα μετατροπέα flyback η συνάρτηση μεταφοράς της τάσης εξαρτάται από την σχετική διάρκεια αγωγής D, σύμφωνα με την εξίσωση 2.21.

Κατά την χρονική περίοδο που ο ημιαγωγικός διακόπτης άγει, στο πρωτεύον τύλιγμα η τάση είναι $v_1 = V_d$. Συνεπώς, αυξάνεται γραμμικά το ρεύμα του πηνίου από μία αρχική τιμή $I_m(0)$, οι εξισώσεις που προκύπτουν είναι:

$$i_m(t) = i_{sw}(t) = I_m(0) + \frac{V_d}{L_m}t \quad 0 < t < t_{on} \quad (2.22)$$

$$\hat{I}_m = \hat{I}_{sw} = I_m(0) + \frac{V_d}{L_m} t_{on} \quad (2.23)$$

Κατά την χρονική περίοδο που ο ημιαγωγικός διακόπτης είναι σε αποκοπή ή τάση στο πρωτεύον τύλιγμα είναι $v_1 = -(N_1/N_2)V_o$. Από τις παρακάτω σχέσεις μπορούν να εκφραστούν κατά το διάστημα $t_{on} < t < T_s$ το ρεύμα i_m και το ρεύμα της διόδου i_D

$$i_m(t) = \hat{I}_m - \frac{V_o(N_1/N_2)}{L_m}(t - t_{on})$$

(2.24)

και

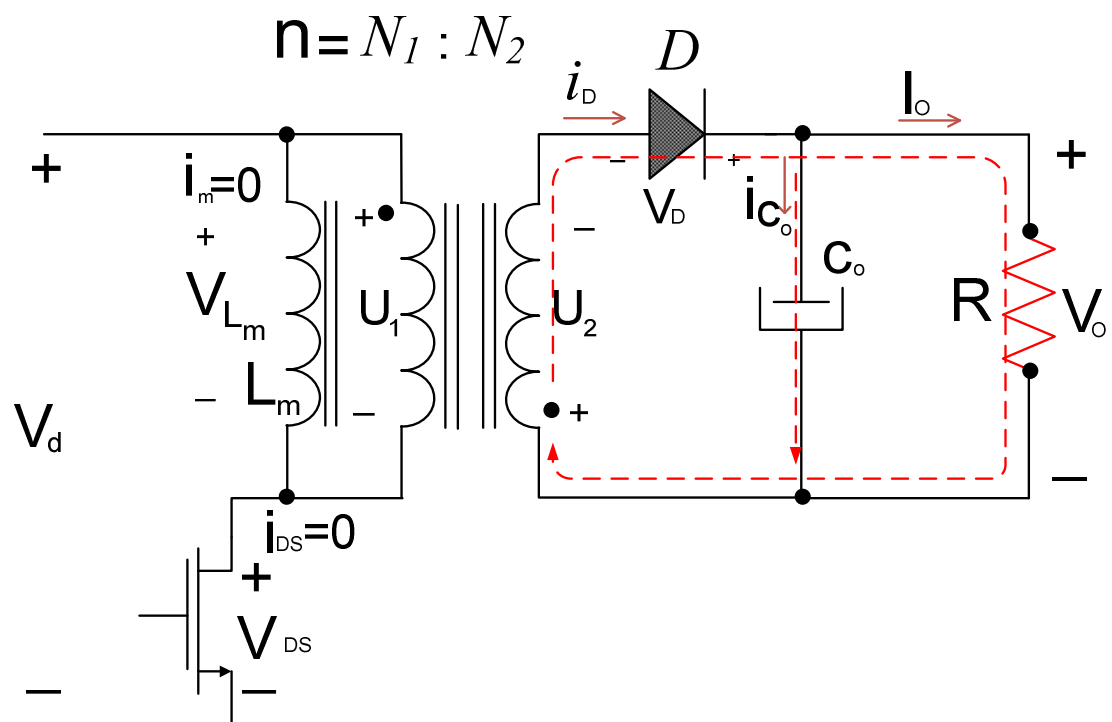
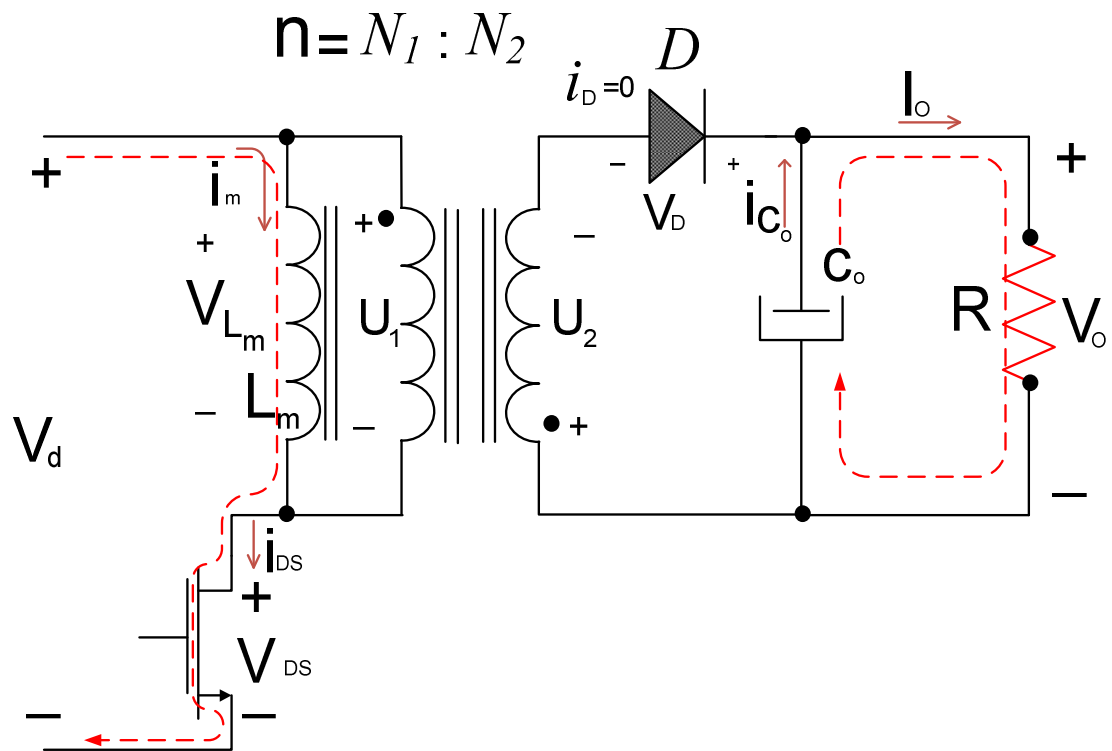
$$i_D(t) = \frac{N_1}{N_2} i_m(t) = \frac{N_1}{N_2} \left[\hat{I}_m - \frac{V_o(N_1/N_2)}{L_m}(t - t_{on}) \right] \quad (2.25)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση 2.25 και επειδή στη δίοδο ελεύθερης διέλευσης η μέση τιμή του ρεύματος είναι I_o ισχύει:

$$\hat{I}_m = \hat{I}_{sw} = \frac{N_2}{N_1} \frac{1}{1-D} I_o + \frac{N_1}{N_2} \frac{(1-D)T_s}{2L_m} V_o \quad (2.26)$$

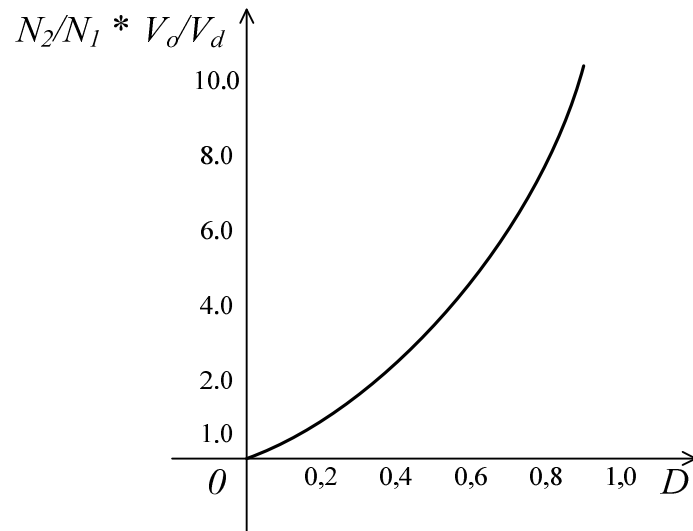
Η τάση στα άκρα του ημιαγωγικού διακόπτη κατά την χρονική στιγμή που είναι σε αποκοπή είναι:

$$v_{sw} = V_d + \frac{N_1}{N_2} V_o = \frac{V_d}{1-D} \quad (2.27)$$

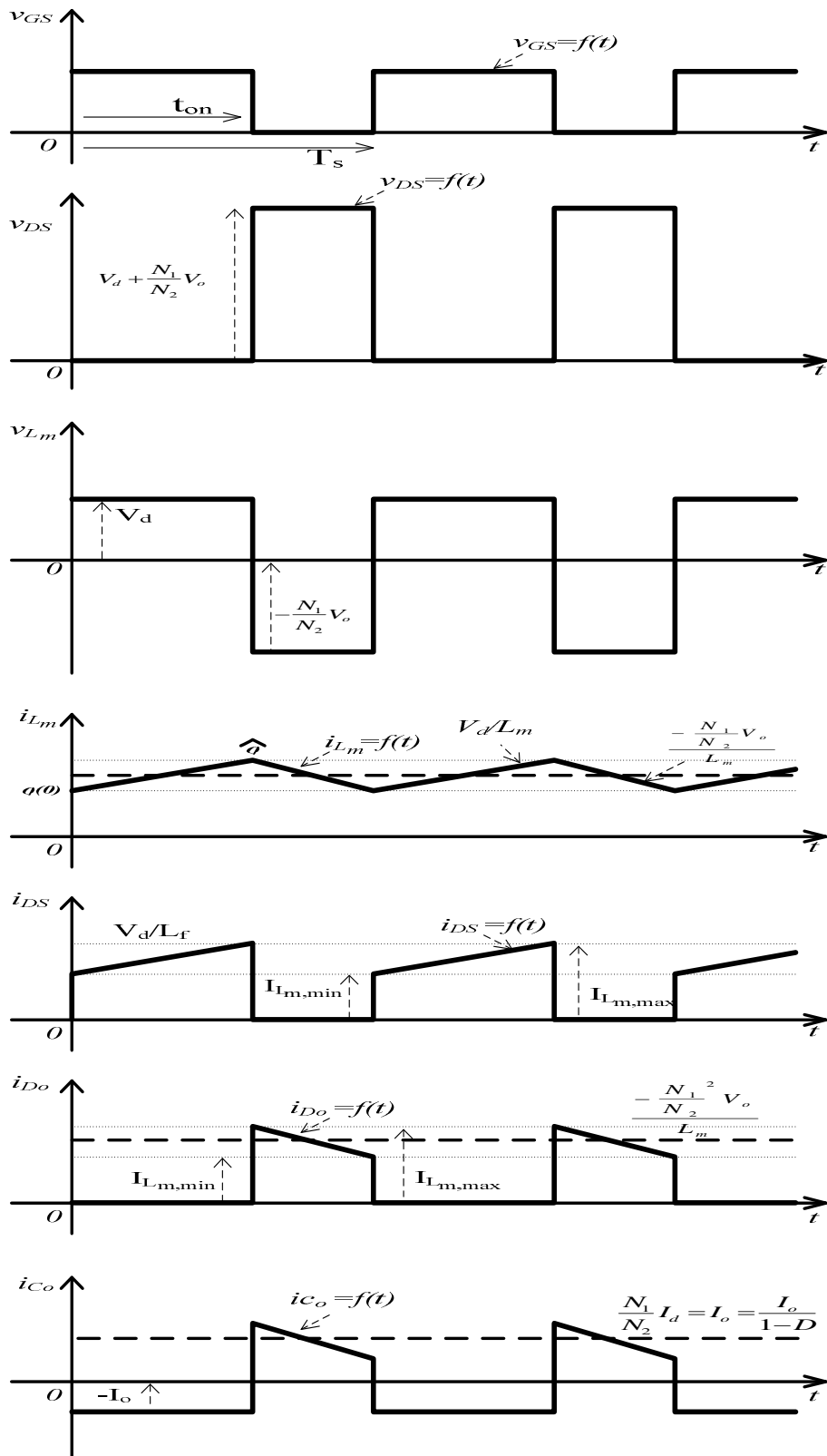


Σχήμα 2.20: Ισοδύναμα κυκλώματα κατά την λειτουργία σε συνεχή αγωγή ενός διακοπτικού μετατροπέα τοπολογίας Flyback, ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π..

Στο *σχήμα 2.21* σχεδιάζεται η χαρακτηριστική εξόδου ενός διακοπτικού μετατροπέα Flyback ελεγχόμενου μέσω της τεχνικής διαμόρφωσης του εύρους των παλμών.



Σχήμα 2.21: Χαρακτηριστική εξόδου ενός διακοπτικού μετατροπέα Flyback, ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π..

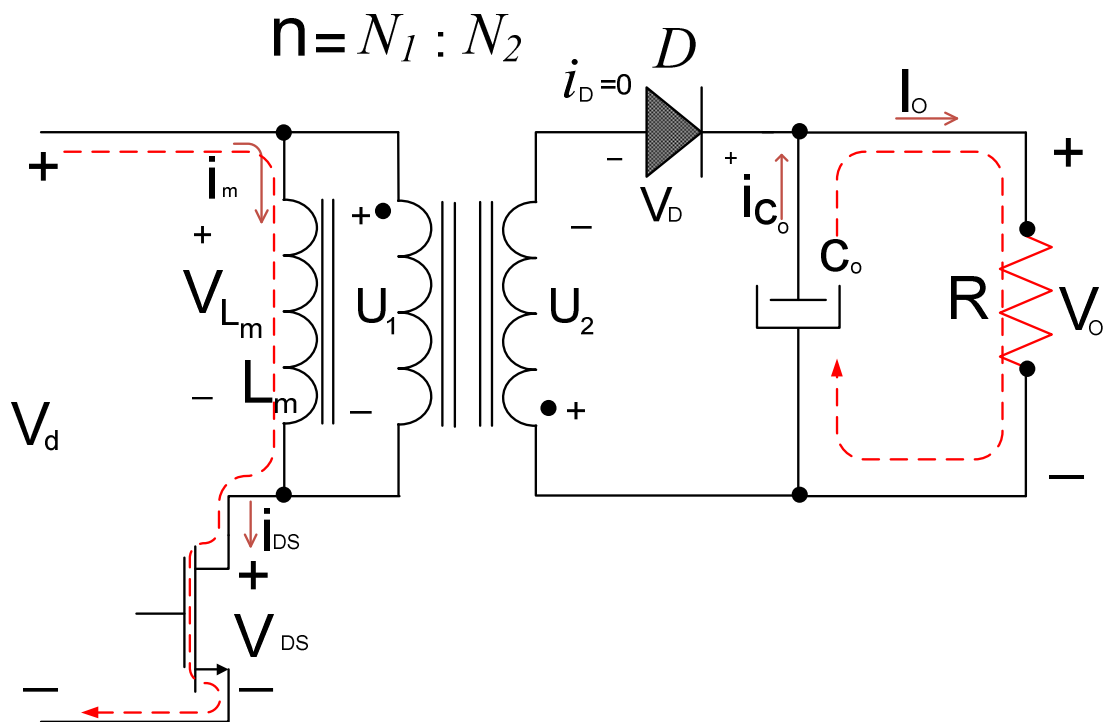


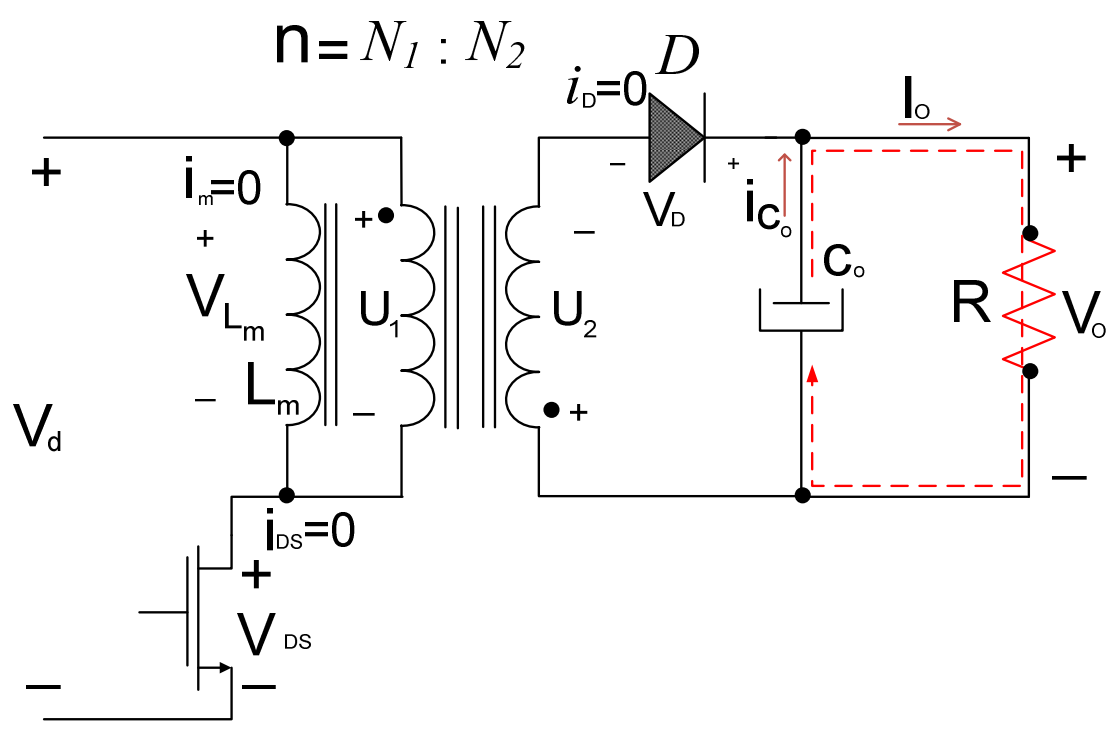
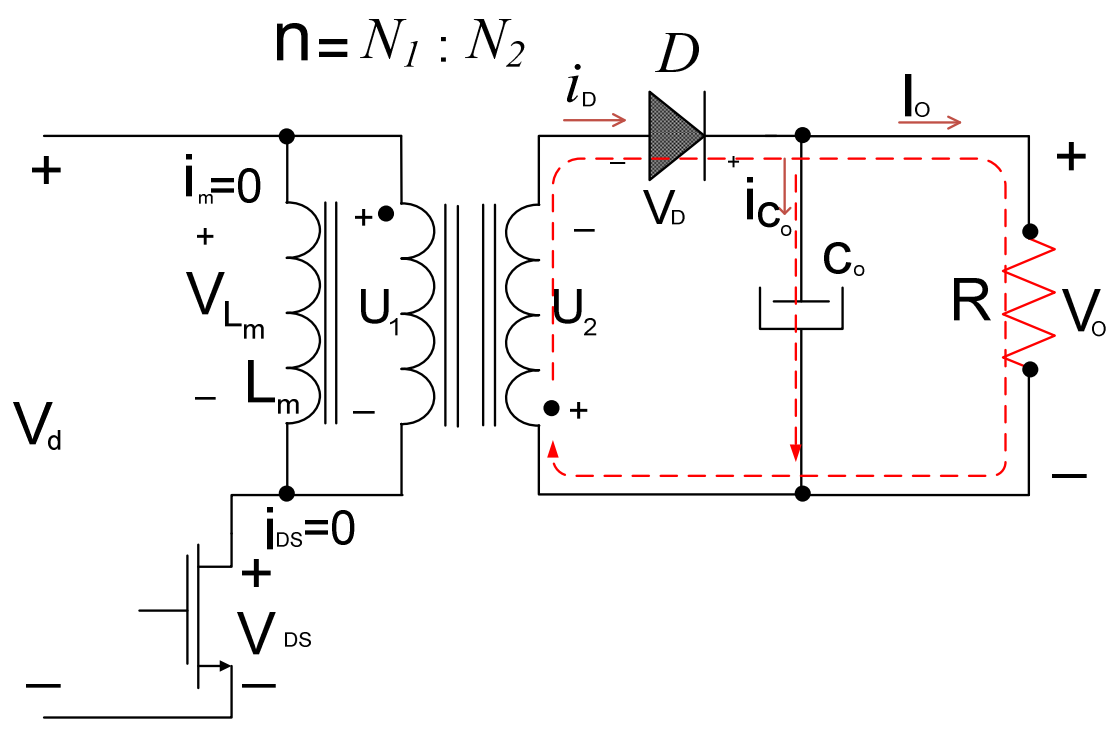
Σχήμα 2.22: Κυματομορφές ηλεκτρικών μεγεθών κατά την λειτουργία σε συνεχή αγωγή ενός διακοπτικού μετατροπέα Flyback, ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π..

2.7.2 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΟΥΣ ΑΓΩΓΗΣ

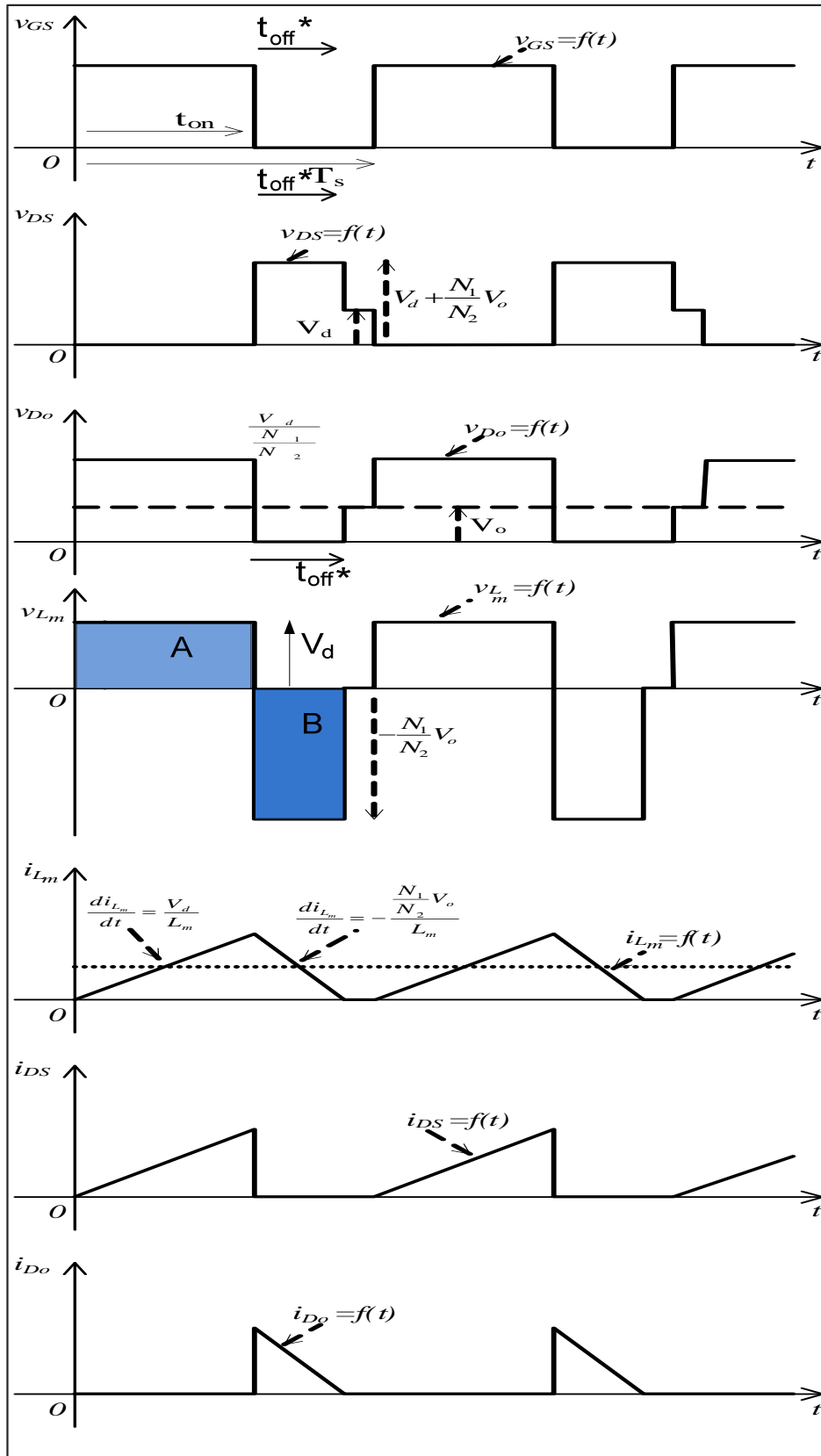
Η εμφάνιση ενός διαστήματος στο οποίο το ρεύμα του πηνίου μηδενίζεται κατά τη διάρκεια ενός διακοπτικού κύκλου, χαρακτηρίζει την λειτουργία ενός flyback μετατροπέα ως ασυνεχή αγωγή ρεύματος (DCM). Όπως φαίνεται στο *σχήμα 2.24*, η κυματομορφή της τάση που εφαρμόζεται στο πηνίο V_{Lm} , γίνεται πιο σύνθετη στην ασυνεχή αγωγή ρεύματος. Συνεπώς, για να αποφύγουμε της δυσκολίες στον υπολογισμό το T_{OFF} δεν χρησιμοποιείται. Αντ'αυτου οι τρεις σχέσεις εισόδου- εξόδου του μετατροπέα προέρχονται από τη χρήση του T_{OFF}^* , το οποίο είναι ο χρόνος όπου η ανορθωτική δίοδος εξόδου πραγματικά άγει.

Στο *σχήμα 2.23* σχεδιάζονται τα ισοδύναμα κυκλώματα κατά την λειτουργία σε ασυνεχή αγωγή καθώς επίσης και στο *σχήμα 2.24* οι βασικές κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων, για τη λειτουργία του διακοπτικού μετατροπέα Flyback στην ασυνεχή αγωγή ρεύματος.





Σχήμα 2.23: Ισοδύναμα κυκλώματα κατά την λειτουργία σε ασυνεχή αγωγή ενός διακοπτικού μετατροπέα τοπολογίας Flyback, ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π..



Σχήμα 2.24: Κυματομορφές ηλεκτρικών μεγεθών κατά την λειτουργία σε ασυνεχή αγωγή ενός διακοπτικού μετατροπέα Flyback, ελεγχόμενου με την τεχνική της Δ.Ε.Π..

Το όριο που καθορίζει την ασυνεχή- συνεχή αγωγή ρεύματος είναι:

$$I_d + I_o = \frac{V_d}{2Lm} \times T_{on} \quad (2.28)$$

Οι ακόλουθες σχέσεις εισόδου- εξόδου στην ασυνεχή αγωγή ρεύματος προέρχονται από τη χρήση του γεγονότος ότι οι χρωματιστές περιοχές A και B της V_{Lm} του σχήματος 2.27 πρέπει πάντα να είναι ίσες, γιατί στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας η μέση τάση του πηνίου είναι πάντα μηδέν.

$$V_d T_{on} = n V_o T_{on}^* \quad (2.29)$$

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{T_{on}}{T_{off}^*} = \frac{D^*}{1-D^*} \quad (2.30)$$

Προερχόμενης της παραπάνω εξίσωσης πάλι, χρησιμοποιώντας το I_o και το γεγονός ότι η ισχύς εισόδου και εξόδου είναι ίσες, η V_o λαμβάνεται ως εξής:

$$V_o = \frac{(V_d T_{on})^2}{2 \frac{I_o}{n} Lm(T_{on} + T_{off}) + V_d} \quad (2.31)$$

Η ακόλουθη εξίσωση αντιπροσωπεύει την ισχύ εισόδου:

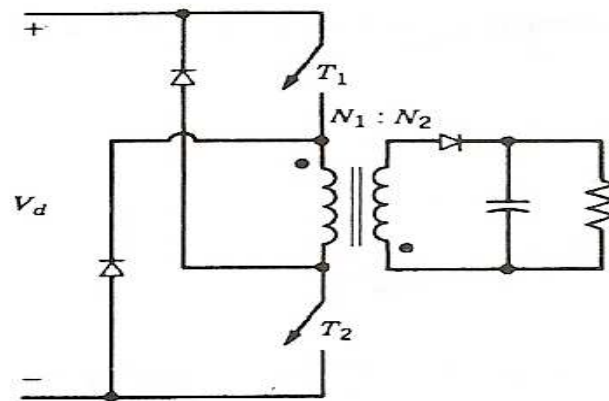
$$P_{IN} = \frac{1}{2} Lm I^2 Lm(\text{peak}) f_{sw} \quad (2.32)$$

Όπου f_{sw} είναι η διακοπτική συχνότητα.

2.8 ΑΛΛΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ FLYBACK.

2.8.1 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ FLYBACK ΜΕ ΔΥΟ ΗΜΙΑΓΩΓΙΚΑ.

Μετατροπέας flyback με δύο ημιαγωγικά . Στο *σχήμα 2.25* δίνεται μια παραλλαγή ενός μετατροπέα flyback με δύο ημιαγωγικά T_1 και T_2 , τα οποία ανοίγουν και κλείνουν ταυτόχρονα. Το πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας σε σχέση με τον μετατροπέα ενός ημιαγωγικού, που αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι ότι ο περιορισμός των διακοπών είναι ο μισός σε σχέση με τη διάταξη του ενός ημιαγωγικού. Επιπλέον, αφού υπάρχει μια διαδρομή του ρεύματος μέσα από τις διόδους που συνδέονται δεν απαιτείται κύκλωμα snubber για να καταναλώνει την ενέργεια που αποθηκεύεται στην επαγωγή διαρροής του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή.

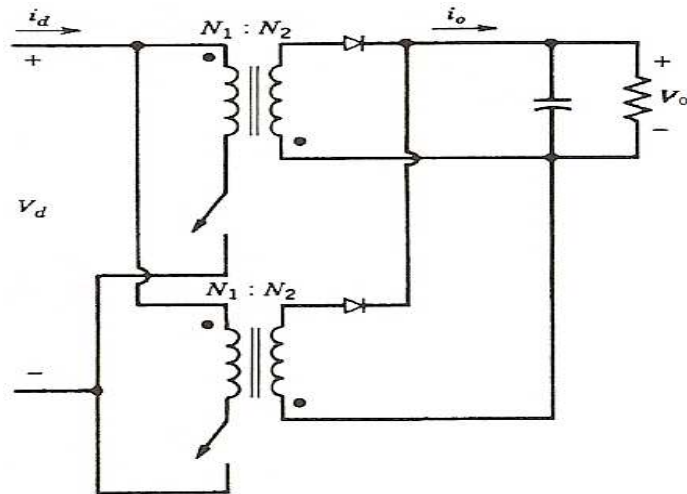


Σχήμα 2.25: Μετατροπέας Flyback με δύο ημιαγωγικά.

2.8.2 ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ FLYBACK.

Για μεγάλες ισχύεις συμφέρει ο παραλληλισμός δύο ή περισσότερων μετατροπέων flyback, από τη χρήση μιας μονάδας μεγαλύτερης ισχύος. Μερικά από τα πλεονεκτήματα του παραλληλισμού, που δεν περιορίζεται μόνο στους μετατροπέες flyback είναι: (α) η υψηλή αξιοπιστία εξαιτίας της χρήσης λιγότερων υλικών, (β) αυξάνει τη συχνότητα μετάβασης και έτσι μικραίνει τους παλμούς του ρεύματος στην είσοδο ή και στην έξοδο και (γ) επιτρέπει την τυποποίηση πακέτων (module) μικρής ισχύος, αφού μπορεί να παραλληλιστεί ένας αριθμός από αυτά για την αύξηση της ισχύος της συνολικής μονάδας.

Στο *σχήμα 2.26* δίνονται δύο μετατροπείς flyback εν παραλλήλω, οι οποίοι λειτουργούν με την ίδια συχνότητα μετάβασης. Οι διακόπτες στους δύο μετατροπείς ρυθμίζονται να κλείνουν μισή περίοδο ο ένας μετά τον άλλο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των κυματομορφών του ρεύματος εισόδου και εξόδου



Σχήμα 2.26: Μετατροπείς Flyback εν παραλλήλω .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Ο διακοπτικός μετατροπέας ενέργειας flyback, είναι ανάμεσα στα πιο συχνά κυκλώματα ηλεκτρονικών ισχύος οικιακής κατανάλωσης. Η βασική λειτουργία ενός διακοπτικού μετατροπέα ενέργειας, είναι να παρέχουν ρυθμιζόμενη ενέργεια στο φορτίο του δευτερεύον ή στην μεριά της εξόδου.

Ένας διακοπτικός μετατροπέας ενέργειας αντιπροσωπεύεται από ένα μετασχηματιστή, μια ανορθωτική δίοδο στη δευτερεύον μεριά, ένα ημιαγωγικό σε διάταξη με έλεγχο (ανάδραση) και περιφερειακά κυκλώματα. Εάν το επίπεδο της διάταξης του κυκλώματος του διακοπτικού και του ελέγχου δεν είναι αρκετά υψηλό τότε, επιπλέον στοιχεία ανεβάζουν το συνολικό κόστος και δεν συνηθίζουν να ελαττώνουν την αξιοπιστία.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα κύρια μέρη της κατασκευής, τον αριθμό των εξόδων καθώς τις προδιαγραφές (τάσεως ρεύματος και κυμάτωσης) που πρέπει να πληροί κάθε έξοδος.

3.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ.

Το διακοπτικό τροφοδοτικό που κατασκευάστηκε είναι συνολικής ισχύος **50W**, σχεδιάστηκε κυρίως για την τροφοδοσία των ολοκληρωμένων της οδήγησης μιας εξαπαλμικής γέφυρας αντιστροφέα, για την τροφοδοσία μικροελεγκτή, για την τροφοδοσία περιφερειακών καθώς επίσης και για την παροχή ρυθμιζόμενης ενέργειας σε κάποιο φορτίο.

3.8 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ.

Το τροφοδοτικό που σχεδιάστηκε ικανοποιεί όλες τις παρακάτω απαιτήσεις:

- ❖ **Σταθεροποιημένη έξοδο.** Η τάση εξόδου πρέπει να παραμένει σταθερή ως προς τις μεταβολές της τάσης εισόδου και του φορτίου στην έξοδο, μέσα σε ορισμένα όρια.
- ❖ **Απομόνωση.** Η έξοδος πρέπει να είναι ηλεκτρικά απομονωμένη από την είσοδο.
- ❖ **Πολλαπλές έξοδοι.** Πρέπει να υπάρχουν πολλαπλές έξοδοι (θετικές και αρνητικές), οι οποίες πρέπει να διαφέρουν ως προς τις προδιαγραφές τάσης και ρεύματος. Αυτές οι έξοδοι πρέπει να είναι απομονωμένες μεταξύ τους.

Εκτός από τις παραπάνω απαιτήσεις, κοινή επιδίωξη σήμερα σ' αυτά τα κυκλώματα είναι η μείωση του όγκου και του βάρους τους, καθώς και η αύξηση της απόδοσής τους.

3.9 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ.

Για την τροφοδοσία των ολοκληρωμένων της οδήγησης μιας εξαπαλμικής γέφυρας αντιστροφής, χρειαζόμαστε:

- ❖ Τέσσερις εξόδους 12_V , ρεύματος 0.2_A με κυμάτωση $\leq \pm 15\%$, ανεξάρτητες μεταξύ τους.
- ❖ Τρεις εξόδους 12_V , ρεύματος 0.2_A με κυμάτωση $\leq \pm 15\%$, εδώ όμως δεν χρειάζεται να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή χρειαζόμαστε:

- ❖ Μία έξοδο 5_V ρεύματος 2_A , με κυμάτωση $\leq \pm 2\%$ ανεξάρτητη από τις άλλες (2_A λόγω του ότι μπορεί να έχουμε αρκετούς μικροελεγκτές καθώς και περιφερειακά που μπορεί να χρειάζονται τροφοδοσία 5_V με μικρή κυμάτωση).

Για την τροφοδοσία περιφερειακών χρειαζόμαστε.

- ❖ Δυο εξόδους με κοινή γη μεταξύ τους και ανεξάρτητες από τις άλλες εξόδους, η μια $+15_V$ και η άλλη -15_V ρεύματος 0.5_A με κυμάτωση $\leq \pm 2\%$,

Επίσης θέλουμε:

- ❖ Μια έξοδο 12_V , ρεύματος 2_A με κυμάτωση $\leq \pm 1\%$ από την οποία θα έχουμε και το σήμα ανάδρασης, η οποία θα είναι για τροφοδοσία

φορτίων και για τη τροφοδοσία ενός ολοκληρωμένου της κατασκευής μας.

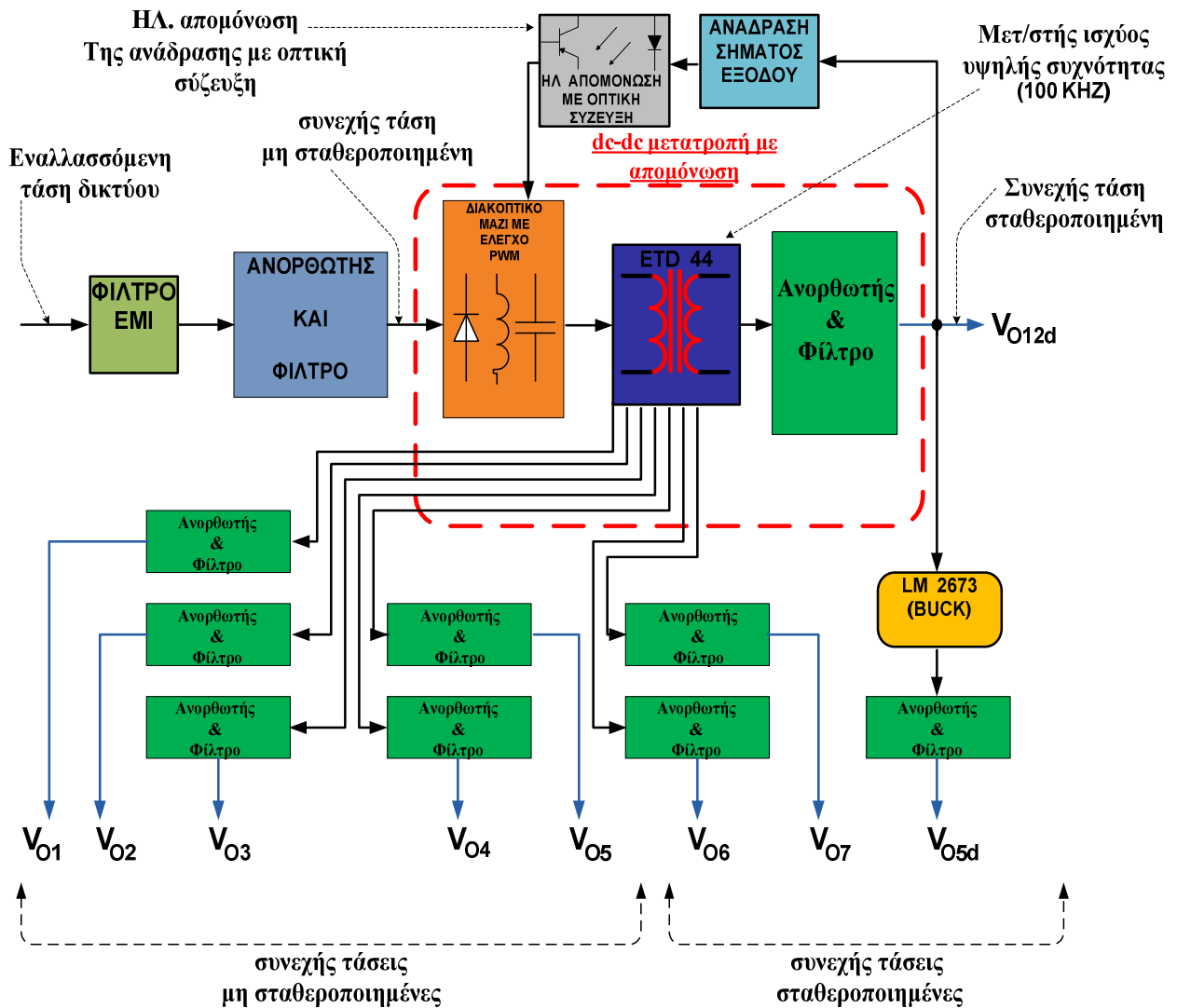
3.10 ΕΙΣΟΔΟΣ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ.

Το τροφοδοτικό που κατασκευάστηκε είναι universal, δηλαδή σχεδιάστηκε να λειτουργεί σε Ευρωπαϊκά δίκτυα ($230_V/50_{\text{Hz}}$) και σε δίκτυα Αμερικής ($110_V/60_{\text{Hz}}$). Έτσι ως είσοδο στο τροφοδοτικό μας έχουμε την τάση δικτύου **$230_V/50_{\text{Hz}}$** .

3.11 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ.

Ο μετατροπέας λειτουργεί στην ασυνεχή αγωγή ρεύματος (DCM) όπως θα δούμε κ στο επόμενο κεφάλαιο την λειτουργία, του μαζί με παλμογραφήματα.

3.7 ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΠΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΑΜΕ:

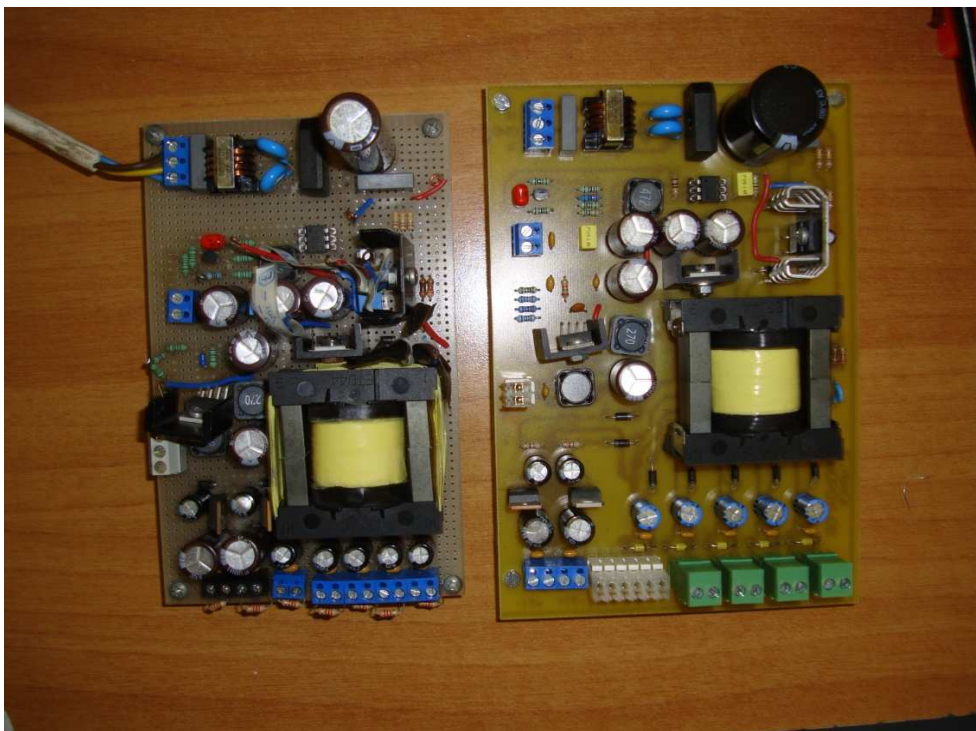


Σχήμα 3.1: Μπλόκ διάγραμμα του τροφοδοτικού που κατασκευάστηκε.

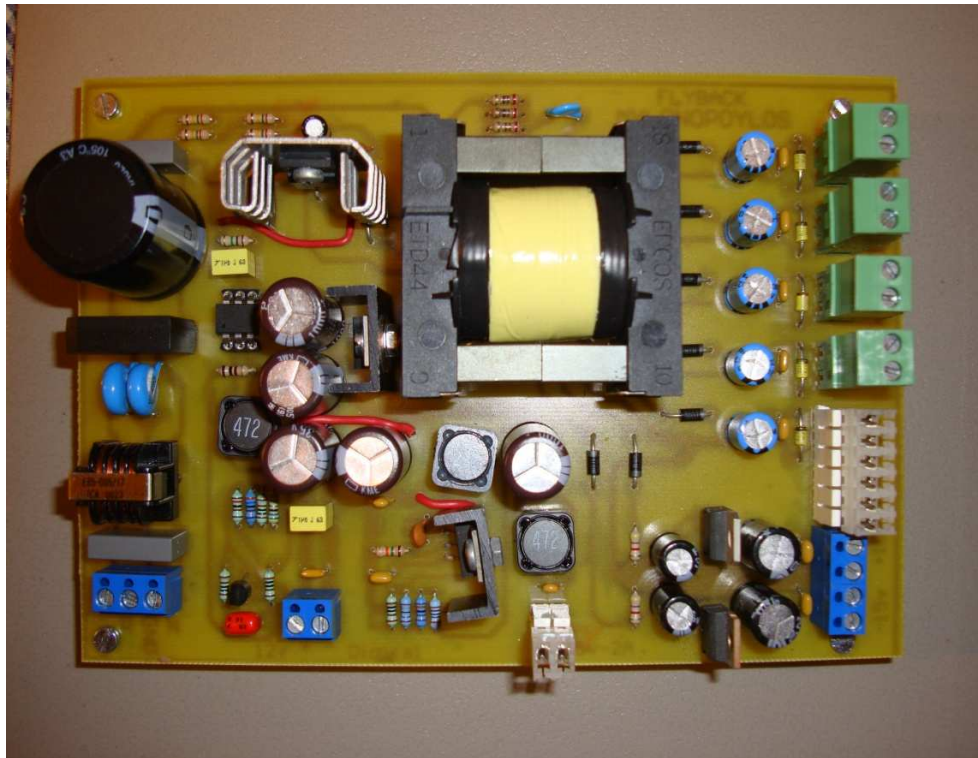
Όπως βλέπουμε από το παραπάνω μπλοκ διάγραμμα, η είσοδος του τροφοδοτικού είναι η τάση του δικτύου, μετά ακολουθεί ένα φίλτρο EMI για να περιορίσουμε την ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή στο δίκτυο κ στις γειτονικές συσκευές, στη συνέχεια έχουμε έναν ανορθωτή μαζί με φίλτρο όπου εκεί έχουμε συνεχή τάση μη σταθεροποιημένη. Μετά έχουμε το διακοπτικό το οποίο είναι μαζί με έλεγχο PWM, τον μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας, ο οποίος έχει ένα πρωτεύον και εννέα δευτερεύον τυλίγματα, μετά ακολουθεί ένας ανορθωτής μαζί με φίλτρο για να πάρουμε την τάση εξόδου V_{O12d} . Από την τάση εξόδου V_{O12d} έχουμε κ το σήμα αναδράσεως, όπου επιστρέφεται στο διακοπτικό, μέσω ενός optocoupler με τον οποίο

πετυχαίνουμε απομόνωση της εξόδου από την είσοδο με οπτική σύζευξη. Η έξοδος V_{o12d} είναι 12_V , ρεύματος 2_A με κυμάτωση $\leq \pm 1\%$. Οι τάσεις εξόδου $V_{01}, V_{02}, V_{03}, V_{04}$ είναι 12_V , ρεύματος 0.2_A με κυμάτωση $\leq \pm 15\%$, ανεξάρτητες μεταξύ τους και προκύπτουν από ένα τύλιγμα στο μετασχηματιστή και μια διόδο μαζί με φίλτρο. Οι τάση εξόδου V_{05} είναι ουσιαστικά τρεις έξοδοι 12_V , ρεύματος 0.2_A με κυμάτωση $\leq \pm 15\%$, εδώ όμως δεν χρειάζεται να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και προκύπτουν από ένα τύλιγμα στο μετασχηματιστή και μια διόδο μαζί με φίλτρο. Οι τάσεις εξόδου V_{06} και V_{07} είναι δυο έξοδοι με κοινή γη μεταξύ τους και ανεξάρτητες από τις άλλες εξόδους, η μια $+15_V$ και η άλλη -15_V ρεύματος 0.5_A με κυμάτωση $\leq \pm 2\%$ και προκύπτουν από δυο τυλίγματα στο μετασχηματιστή και δυο διόδους μαζί με φίλτρα. Τέλος η έξοδος V_{o5d} είναι 5_V ρεύματος 2_A , με κυμάτωση $\leq \pm 2\%$ ανεξάρτητη από τις άλλες εξόδους. Αυτή η έξοδος προκύπτει από την έξοδο V_{o12d} , όπου η τάση αυτή μαζί με το LM 2673 δημιουργούν τα 5_V .

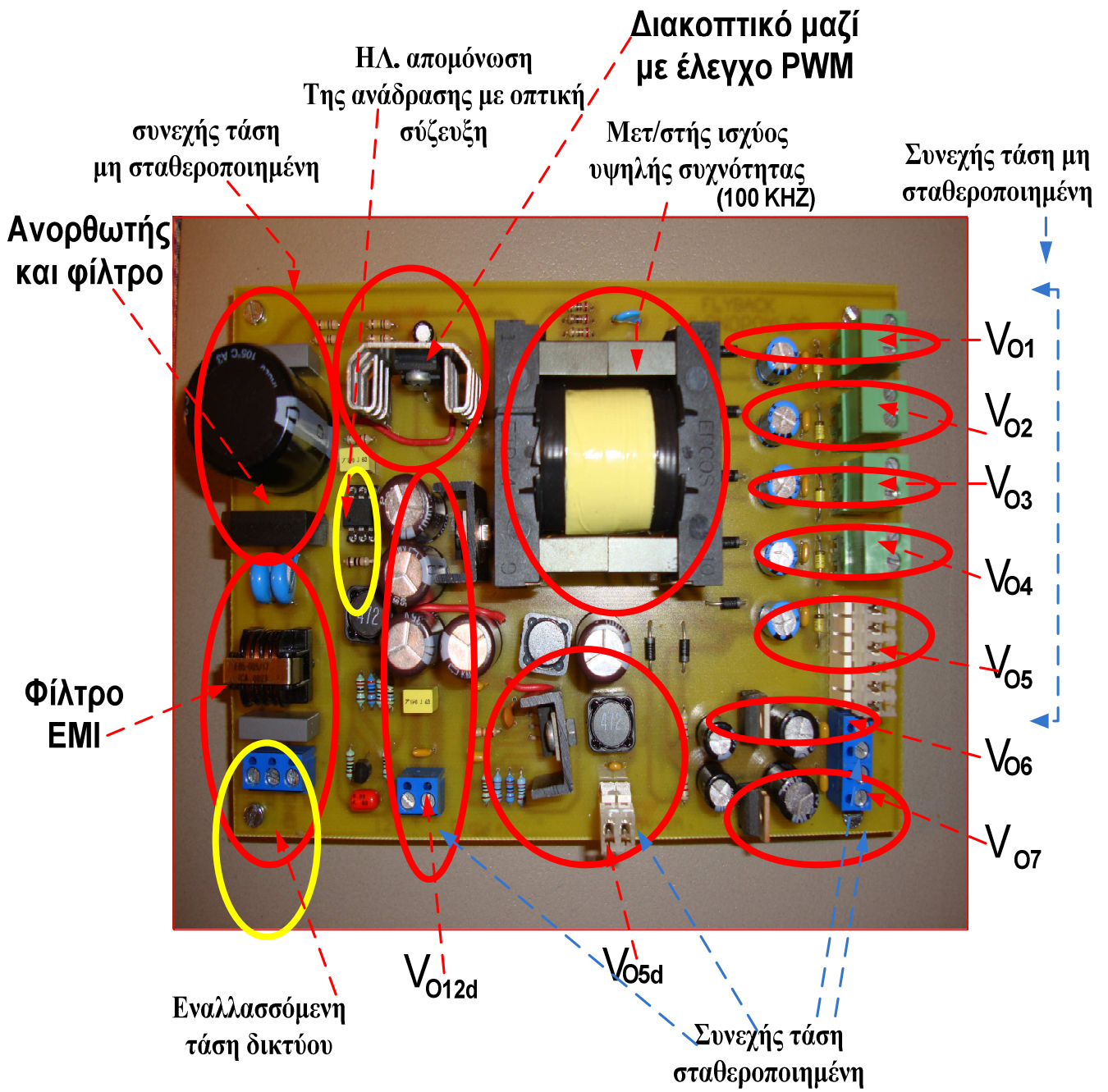
3.8 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΠΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΚΕ.



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 1:διάτρητη κάρτα και τελική κάρτα PCB

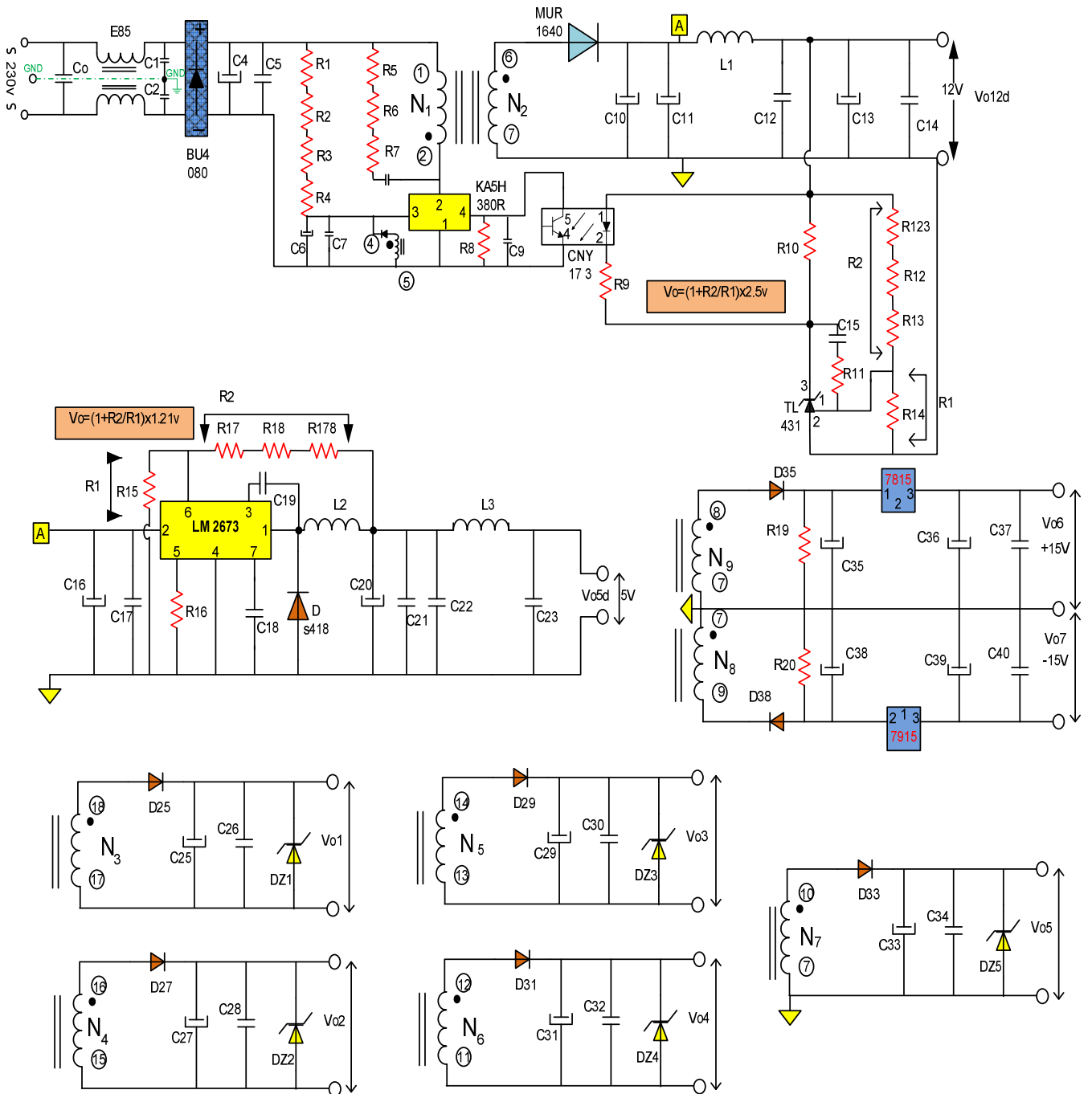


ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2: τελική κάρτα κατασκευής, PCB



Σχήμα 3.2: αντιστοιχία μπλοκ διαγράμματος του τροφοδοτικού που κατασκευάστηκε.

3.10 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΡΤΑΣ.



Σχήμα 3.3: Σχηματικό τελικής κάρτας τροφοδοτικού που κατασκευάστηκε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ.

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

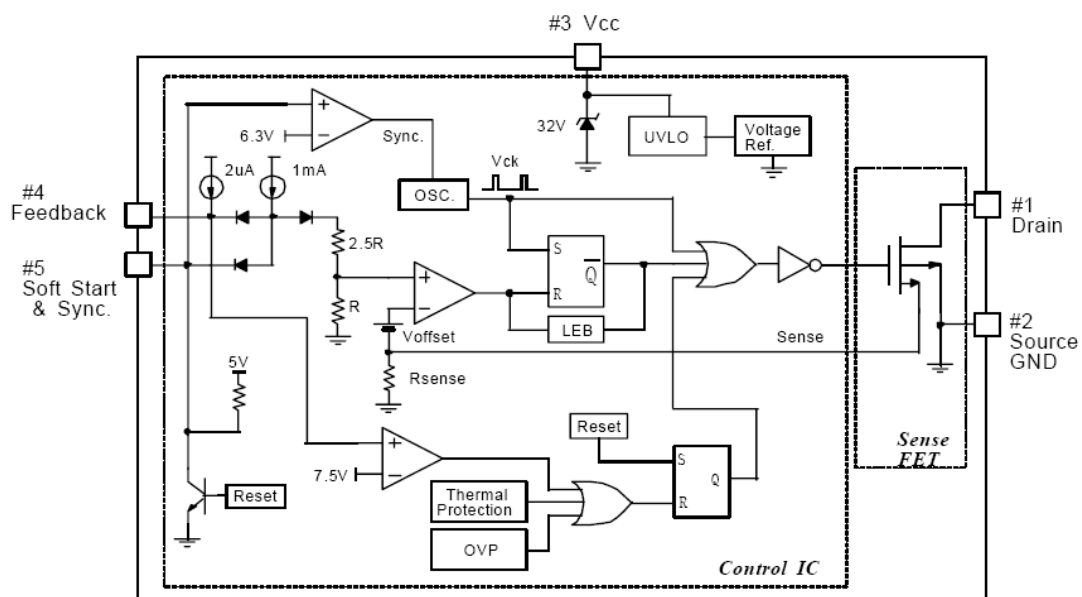
Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε την σχεδίαση του τροφοδοτικού και τον υπολογισμό των υλικών που χρησιμοποιήσαμε. Θα περιγράψουμε αναλυτικά κάθε συστατικό μέρος και κάθε κομμάτι της κατασκευής. Θα αναλύσουμε το δυο ολοκληρωμένα της κάρτας, το KA5H 380R και LM 2673. Επίσης θα αναλύσουμε και την λειτουργία του μετατροπέα στην λειτουργία συνεχούς αγωγής ρεύματος και στην λειτουργία ασυνεχούς αγωγής ρεύματος.

4.2 ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΕΝΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΕΝΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ FAIRCHILD ΣΕ ΕΝΑ FLYBACK ΜΕΤΑΡΟΠΕΑ.

Ο διακοπτικός μετατροπέας ενέργειας flyback είναι ανάμεσα στα πιο συχνά κυκλώματα ηλεκτρονικών ισχύος οικιακής κατανάλωσης. Η βασική λειτουργία ενός διακοπτικού μετατροπέα ενέργειας, είναι να παρέχουν ρυθμιζόμενη ενέργεια στο φορτίο του δευτερεύον ή στην μεριά της εξόδου.

Ένας διακοπτικός μετατροπέας ενέργειας αντιπροσωπεύεται από ένα μετασχηματιστή, μια ανορθωτική δίοδο στη δευτερεύον μεριά, ένα ημιαγωγικό σε διάταξη με έλεγχο (ανάδραση) και περιφερειακά κυκλώματα. Εάν το επίπεδο της διάταξης του κυκλώματος του διακοπτικού και του ελέγχου δεν είναι αρκετά υψηλό τότε, επιπλέον στοιχεία ανεβάζουν το συνολικό κόστος και δεν συνηθίζουν να ελαττώνουν την αξιοπιστία.

Τα Fairchild διακοπτικά ισχύος έχουν σε υψηλό βαθμό ολοκληρωμένο έλεγχο για απαιτήσεις παροχής ενέργειας, συνδυάζουν υψηλής τάσης Mosfet ισχύος και διαμόρφωση του εύρους των παλμών στο βασικό έλεγχο σε ένα πακέτο. Επιπλέον προσφέρει βελτιωμένη λειτουργικότητα, έτσι ελαχιστοποιούμε τον αριθμό των πρόσθετων στοιχείων που απαιτούνται στους διακοπτικούς μετατροπείς ενέργειας. Τα διακοπτικά ισχύος Fairchild χρησιμοποιούνται ευρέως σε κυκλώματα ισχύος ποικίλων εξοπλισμών, όπως έγχρωμες TV, εκτυπωτές, Η/Υ, οθόνες, φορτιστές μπαταριών και αντάπτες. Περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά μεγάλη ποικιλία στην αύξηση της προστασίας της λειτουργίας και επιτρέπουν μεγάλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε κατάσταση αναμονής (standby). Εδώ σχολιάζουμε ποικιλία σημαντικών εξόδων και λύσεων κατά την σχεδίαση του και την χρησιμοποίηση γενικά ενός διακοπτικού μετατροπέα ενέργειας.

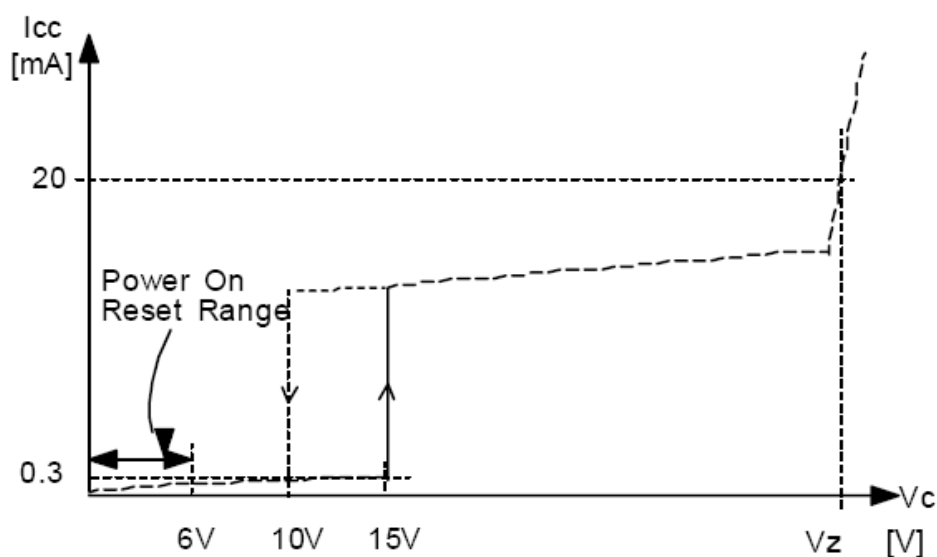


Σχήμα 4.1: μπλοκ διάγραμμα διακοπτικού ισχυος της fairchild

4.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ FAIRCHILD.

4.2.1.1 ΚΛΕΙΔΩΜΑ UNDER VOLTAGE LOCKOUT (UVLO):

Ένα διακοπτικό ισχύος της Fairchild σε μια διάταξη κυκλώματος του κλειδώματος under voltage εγγυάται σταθερή λειτουργία του κυκλώματος ελέγχου με το να σταματά και να ξεκινά ο έλεγχος ως συνάρτηση της τιμής του V_{cc} . Η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του ελέγχου από την τάση κατωφλίου είναι εσωτερική σταθερή στα 10V και στα 15V αντίστοιχα. Για το λόγο αυτό η διάταξη κυκλώματος UVLO απενεργοποιεί το κύκλωμα ελέγχου όταν η V_{cc} είναι μικρότερη από 10V και ενεργοποιεί τον έλεγχο όταν η V_{cc} είναι μεγαλύτερη από 15V. Άρα και το κύκλωμα ελέγχου ξεκινήσει τη λειτουργία η V_{cc} πρέπει να πέσει κάτω από το επίπεδο των 10V για να απενεργοποιήσει το κύκλωμα ελέγχου πάλι η UVLO πριν το διακοπτικό ξεκινήσει το ρεύμα στον έλεγχο είναι λιγότερο από 300μΑ. Η λειτουργία του ελέγχου ξεκινά όταν ο πυκνωτής C_{12} φορτιστεί στα 15V. Γιατί μόνο ένα μικρό ρεύμα ($1 < \text{mA}$) επιτρέπεται να ρέει μέσα από την αντίσταση (του κυκλώματος) κατά την κανονική λειτουργία αυτή η τεχνική μειώνει την σκέδαση ρεύματος κατά το ξεκίνημα των διακοπτικών μετατροπών ενέργειας πάνω στην αντίσταση αυτή.



Σχήμα 4.2: κλείδωμα under voltage lockout (uvlo):

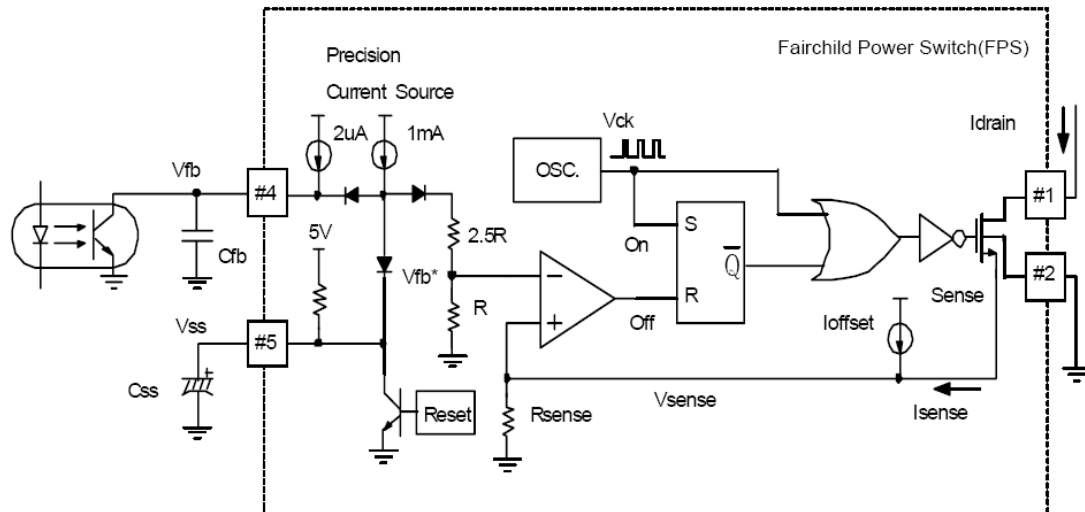
4.2.1.2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ (ΑΝΑΔΡΑΣΗ):

Τα διακοπτικά ισχύος της fairchild στο κύκλωμα ελέγχου χρησιμοποιούν ένα ρεύμα, μέθοδο PWM και χειρισμούς όπως το ρεύμα του MOSFET το οποίο είναι ανάλογο με την τάση ανάδρασης V_{fb} . Αυτό προσφέρει άλλα πλεονεκτήματα όπως ελεγχόμενη τάση εξόδου με μεταβαλλόμενη τάση εισόδου. Αυτή η μέθοδος ελέγχου δουλεύει επιτυχώς σε χρήσεις όπως οθόνες τις οποίες μπορεί να έχει ευρύ φάσμα συχρονισμού συχνοτήτων να καλύψει όπως βλέπεται στο σχήμα 4.3, στα διακοπτικά ισχύος της fairchild ο oscillator βάζει σε λειτουργία το MOSFET ξανά.

Όταν το ρεύμα του MOSFET φτάνει σε μια καθορισμένη τιμή ανάλογη της V_{fb} το MOSFET σταματά την λειτουργία του ως εξής:

1. Η εσωτερική $(R + 2.5R)$ τάση μοιράζεται σε τάση ανάδρασης στην μια είσοδο του συγκριτή της ανάδρασης $V_{fb} / 3.5$.
2. Ένα ρεύμα ανάλογο του ρεύματος του drain ρέει στον ακροδέκτη sense του MOSFET φτιάχνοντας μια τάση V_{sense} ανάλογη του ρεύματος του drain και
3. Όταν η V_{sense} γίνει μεγαλύτερη από την V_{fb} η έξοδος του συγκριτή της ανάδρασης γίνεται high και έτσι σβήνει το MOSFET.

Το σχήμα 4.3 δείχνει ότι το κύκλωμα σχεδιάστηκε με χρήση ενός optocoupler στο κλάδο της ανάδρασης. Αυτό είναι κατάλληλο κατά την σχεδίαση για να πετύχουμε απομόνωση εισόδου με την έξοδο όταν αυτή απαιτείται. Ο πυκνωτής C_{fb} βελτιώνει τις χαρακτηριστικές του θορύβου, εάν ο έλεγχος περιλαμβάνει ωστόσο έναν ενισχυτή σφάλματος. Όπως τα KA3842B/3B/4B/5B της fairchild στη ρύθμιση ρεύματος με έλεγχο PWM για διακοπτικούς μετατροπείς ενέργειας, μία αντίσταση και ένας πυκνωτής απαιτούνται για να παρέχουν την ανάδραση στον ενισχυτή σφάλματος. Αυτό θα ήταν εφόσον οι λειτουργίες ήταν ίδιες όπως αυτές που προϋποθέτει το κύκλωμα του σχήματος 4.3 Για παράδειγμα ακριβής έλεγχος της τάσης εξόδου μέσω της V_{fb} . Ομοίως άλλες κατάλληλες διατάξεις της fairchild σειρές είναι τα LM431/TL431/KA431τα οποία είναι τριών ακροδεκτών διακλαδοτικοί ρυθμιστές. Αυτά μπαίνουν πολύ γρήγορα σε λειτουργία, οι χαρακτηριστικές τους μοιάζουν με της δίοδου Zener και ευρέως χρησιμοποιούνται στους διακοπτικούς μετατροπείς ενέργειας στη δευτερεύων μεριά ως ενισχυτές σφάλματος.



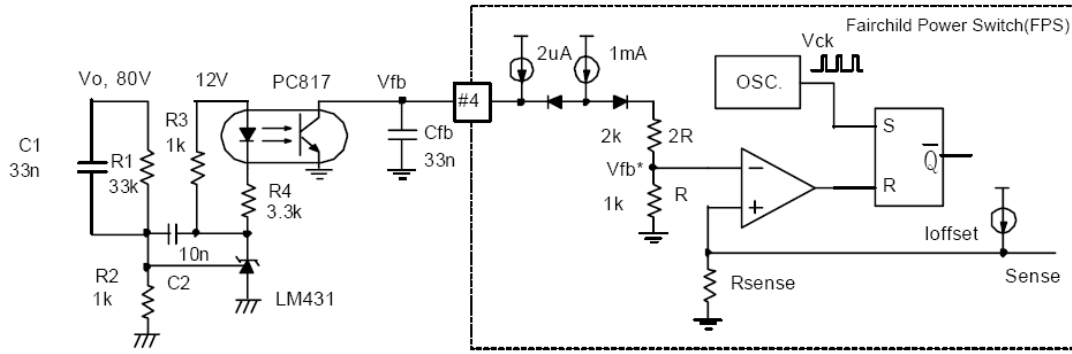
Σχήμα 4.3: Κύκλωμα αναδράσεως ενός διακοπτικού ισχύος της Fairchild.

4.2.1.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ FAIRCHILD:

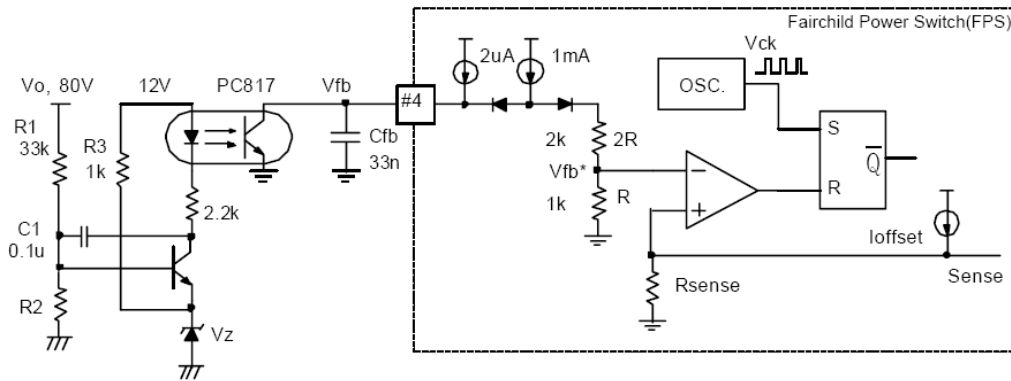
Το σχήμα 4.4 δείχνει δύο μεθόδους για τον έλεγχο της ανάδρασης με διακοπτικά ισχύος της fairchild. Ο σχεδιασμός του σχήματος 4.4α χρησιμοποιεί ως ρυθμιστή το LM431 και αυτό του σχήματος 4.4β χρησιμοποιεί μια δίοδο Zener. Αν και η μέθοδος με την δίοδο Zener είναι επωφελής, η ρύθμιση της εξόδου είναι σχετικά ανεπαρκής.

Στο σχήμα 4.4α ο C_1 μαζί με την R_1 παράγουν υψηλής συχνότητας πόλο που διαμορφώνεται από την εσωτερική αντίσταση $3.5\text{ K}\Omega$ και τον C_{fb} μέσα στο επανορθωμένο δίκτυο (κλάδο). Η R_4 ορίζει το μέγιστο ρεύμα της φωτοδίοδου στα 2.3 mA [$\frac{12\text{V} - 2.5\text{V} - 2\text{V}}{3 \cdot 3\text{K}\Omega}$], όπου 2.5V είναι η τάση κορεσμού για το LM431 και τα 2V είναι η πτώση τάσης της φωτοδιόδου.

Ο C_{fb} πρέπει να καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο καθυστέρησης για το σβήσιμο (του ημιαγωγικού). Στο σχήμα 4.4β η R_3 προσφέρει ένα σταθερό ρεύμα στη δίοδο Zener για να σταθεροποιήσει την τάση της.



(a) Control Circuit using KA431(LM431) Control IC



(b) Control Circuit using a Zener Diode Control IC

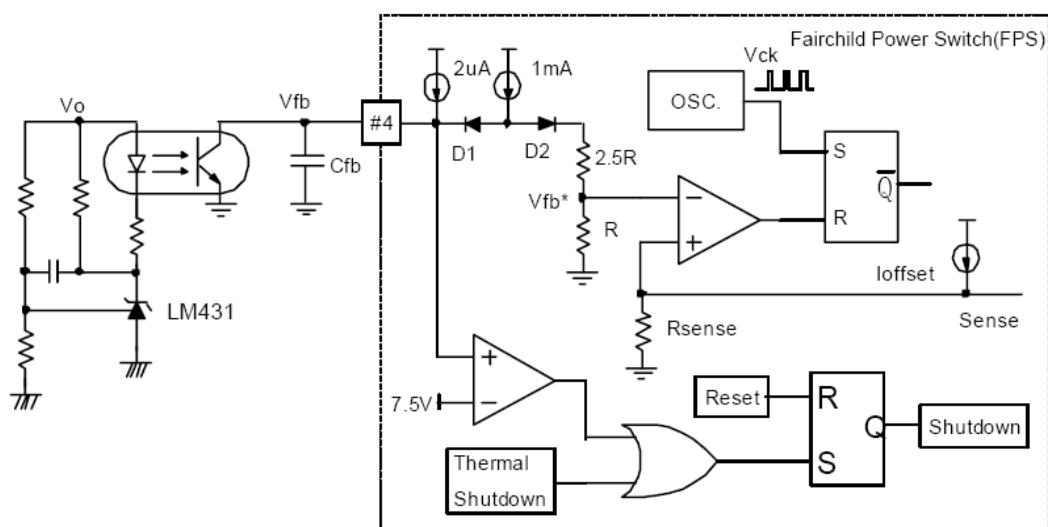
Σχήμα 4.4: Κύκλωμα αναδράσεως ενός διακοπτικού ισχύος της Fairchild.

4.2.2 ΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ FAIRCHILD ΠΟΥ ΧΤΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ:

Από ένα διακοπτικό ισχύος της fairchild που φτιάχνεται με κυκλώματα προστασίας δεν απαιτούνται πρόσθετα εξωτερικά στοιχεία (εξαρτήματα) η αξιοπιστία αυξάνεται χωρίς να αυξάνεται το κόστος. Σημειώνεται ότι η διάταξη κυκλωμάτων προστασίας μπορεί να σταματήσουν εντελώς τη λειτουργία του ΔΜΕ (Διακοπτικού Μετατροπέα Ενέργειας) μέχρι η ενέργεια να σταματήσει και να ξεκινήσει πάλι και μπορεί να κάνει την τάση ελέγχου να ξεκινήσει πάνω από το επίπεδο ULVO εάν το αυτόματο κλείδωμα απελευθερώνεται κάτω από την ULVO. (αυτόματη προστασία ξαναξεκινήματος).

4.2.2.1 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΡΦΟΡΤΩΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ:

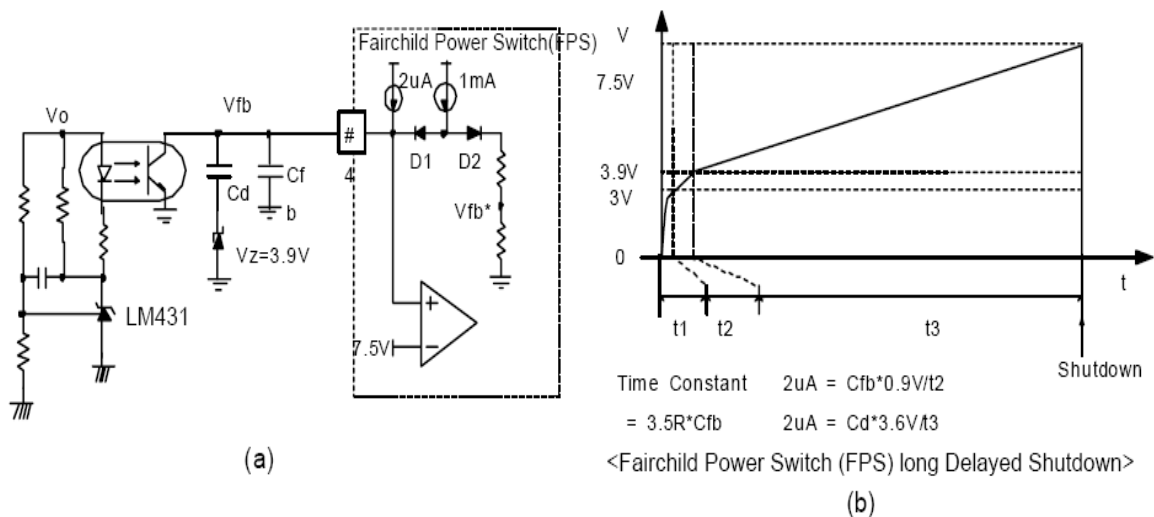
Μία υπερφόρτωση είναι οποιαδήποτε φορτίο μεγαλύτερο από το φορτίο που ορίζεται ως κανονικό κατά την λειτουργία. Αυτό δεν είναι μικρό κύκλωμα. Η προστασία υπερφόρτωσης στα διακοπτικά ισχύος της fairchild καθορίζει εάν η υπερφόρτωση είναι αληθινή ή μόνο προσωρινή. Μόνο μία αληθινή υπερφόρτωση θα προκαλέσει την προστασία υπερφόρτωσης. Όταν ένα διακοπτικό ισχύος της fairchild αισθανθεί μια υπερφόρτωση, περιμένει κατά ένα καθορισμένο χρόνο. Εάν η υπερφόρτωση υπάρχει ακόμα μετά από το χρόνο, τότε θεωρείται μία αληθινή υπερφόρτωση και η συσκευή διακόπτει τη λειτουργία της. Τα διακοπτικά ισχύος fairchild έχουν έναν έλεγχο ρεύματος πάνω από ένα καθορισμένο μέγιστο, το οποίο σημαίνει ότι η μέγιστη ισχύς εισόδου είναι περιορισμένη για οποιοδήποτε δεδομένη τάση. Επομένως εάν το φορτίο της εξόδου μπορεί να τραβήξει περισσότερο από αυτό το επίπεδο η V_o (σχήμα 4.5) πέφτει κάτω από την καθορισμένη τάση και το LM431 μπορεί να τραβήξει μόνο ένα δεδομένο ελάχιστο ρεύμα. Κατά συνέπεια το ρεύμα στη δευτερεύων μεριά του optocoupler να πέφτει σχεδόν στο μηδέν. Σχεδόν ολόκληρη η ροή ρεύματος στον κόμβο είναι από το διακοπτικό ισχύος της fairchild 1mA πηγή ρεύματος ως εκ τούτου οι εσωτερικές αντιστάσεις $3K\Omega$ ($2.5R+R=3K\Omega$) μετακινούν την V_{fb} στα 3V. Από αυτό το σημείο ωστόσο η $5\mu A$ πηγή ρεύματος ξεκινά να φορτίζει το C_{fb} και επειδή στον optocoupler το ρεύμα στη δευτερεύων μεριά είναι σχεδόν μηδέν η V_{fb} συνεχίζει να αυξάνεται. Όταν η V_{fb} φτάσει στα 7.5V το διακοπτικό ισχύος της fairchild διακόπτει την λειτουργία του.



Σχήμα 4.5: Κύκλωμα προστασίας υπερφόρτωσης εξόδου ενός διακοπτικού ισχύος της Fairchild.

Το διάστημα καθυστέρησης διακοπής λειτουργίας επομένως καθορίζεται από το C_{fb} . Όταν ο C_{fb} είναι 10nF το t_2 καθυστέρηση διακοπής λειτουργίας (βλέπε σχήμα 4.6β). Σ' αυτή την καθυστέρηση τα διαστήματα δεν επιτρέπουν σε αυτά που παρατηρούνται χαρακτηριστικά προσωρινά να διακόψουν τη λειτουργία του διακοπτικού ισχύος fairchild. Σημειώνεται ότι εάν απαιτείται μεγαλύτερη καθυστέρηση ο C_{fb} δεν μπορεί να γίνει αυθαίρετα μεγάλος επειδή είναι σημαντικό στον καθορισμό της δυναμικής απόκρισης του ΔΜΕ.

Όταν μια μεγάλη τιμή του C_{fb} απαιτείται συνδέεται σε σειρά ο πυκνωτής με μια δίοδο Zener όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4.6α. Ο συνδιασμός λειτουργεί κατά αυτό τον τρόπο όταν η V_{fb} είναι κάτω από 3V, η μικρή τιμή του C_{fb} επιτρέπει στο ΔΜΕ να έχει καλή δυναμική απόκριση, όταν η V_{fb} είναι πάνω από 3,9V υψηλής εκτίμησης C_d παρατείνει το χρόνο καθυστέρησης στο επιθυμητό σημείο διακοπής λειτουργίας. Φυσικά όπου προσωρινά είναι ασήμαντη η καλή δυναμική απόκριση δεν απαιτούνται, κατόπιν η εξάλειψη του C_d και της Zener, με αυτόν τον τρόπο εξαλείφεται το επιπλέον κόστος.

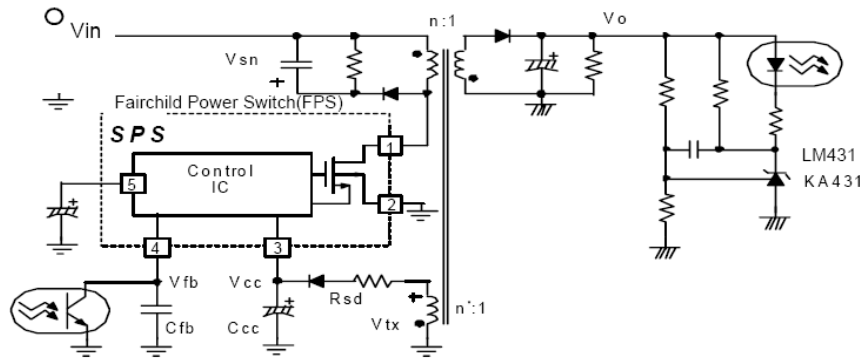


Σχήμα 4.6: Κύκλωμα μεγάλου χρόνου καθυστέρησης shutdown εξόδου ενός διακοπτικού ισχύος της Fairchild.

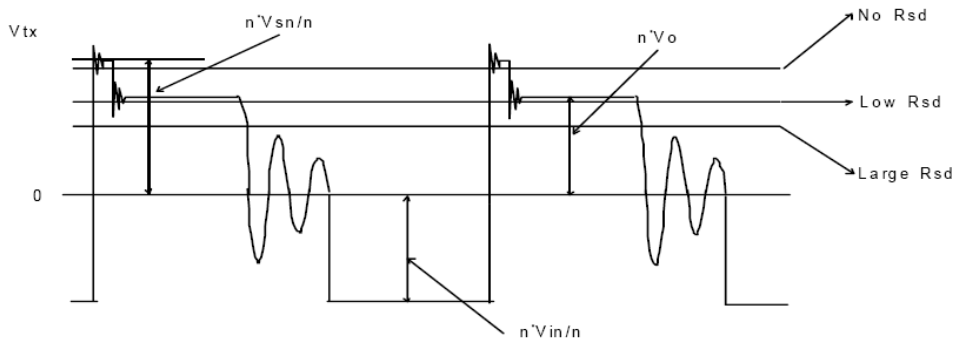
4.2.2.2 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΞΟΔΟΥ:

Όταν ο αποδέκτης εξόδου του ΔΜΕ είναι βραχυκυκλώματος το ρεύμα στην είσοδο είναι μέγιστο. Η ισχύς εξόδου ωστόσο δεν είναι μέγιστη. Αυτό είναι γιατί δεν μπορεί να υπάρξει καμία τάση φορτίων, αφού το φορτίο είναι βραχυκύκλωμα κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις η προστασία βραχυκυκλώματος εξόδου λειτουργεί ως εξής: Όταν το φορτίο εξόδου βραχυκυκλώνεται καθώς ένας σχετικά μεγάλος μετασχηματιστής που περιελίσσεται μέσα σε ένα ΔΜΕ, το ρεύμα του MOSFET στα διακοπτικά ισχύος της fairchild γίνεται πολύ μεγαλύτερο από το I_{peak} γιατί ο μαγνητικός πυρήνας της αυτεπαγωγής είναι ανίκανος να αποδιεγερθεί. Αυτό οφείλεται στην χαμηλή τάση του πηνίου, του μετασχηματιστή κατά το σβήσιμο του διακοπτικού. Αυτό εμφανίζεται επειδή το ρεύμα παραμένει στην επαγωγή κατά την διάρκεια του ελάχιστου χρόνου ξεκινήματος του διακοπτικού της fairchild και δεν μπορεί να μειωθεί από εκείνο το ποσό (του ρεύματος) κατά τη διάρκεια της παραμονής στο χρόνο της μη λειτουργίας του διακοπτικού. Ακόμα και αν είναι μεγάλο το ρεύμα δεν «πιέζει» υπερβολικά το MOSFET αλλά περισσότερο «πιέζει» τους δευτερεύων σποίρες του μετασχηματιστή και τις ανορθωτικές διατάξεις της δευτερεύων μεριάς. Στους περισσότερους flyback ή forward μετατροπείς ο έλεγχος πέρνει ενέργεια από μια μικρή δευτερεύων περιέλιξη πόλωσης που βρίσκετε μέσα στο μετασχηματιστή. επιπλέον αυτή η τάση ελέγχου είναι ανάλογη με την τάση εξόδου (βλέπε σχήμα 4.7 α). Αυτό είναι αρκετά απλό γιατί για ένα μετατροπέα flyback η τάση πηνίου, όταν το διακοπτικό σβήνει είναι ανάλογη με την τάση εξόδου. Για ένα flyback ΔΜΕ, το κύκλωμα προστασίας βραχυκυκλώματος εξόδου μπορεί να χρησιμοποιεί είτε την μέθοδο αυτόματου κλειδώματος είτε την μέθοδο επανεκκίνησης. Η αλλαγή της V_{cc} ως συνάρτηση της R_{sd} φαίνεται στο σχήμα 4.7β. Η R_{sd} φαίνεται στο σχήμα 4.7 α. Όταν η R_{sd} είναι μηδέν η V_{cc} φτάνει την μέγιστη τιμή την V_{tx} (oxiliary) (βλέπε το κατώτερο πρωτεύων τύλιγμα σχήμα 4.7α) δηλαδή $n'V_{sn}/n$ η οποία είναι ανάλογη του μέγιστου ρεύματος του μετασχηματιστή. Γι' αυτήν την περίπτωση, εάν η έξοδος βραχυκυκλωθεί η V_{cc} αυξάνεται και μετά από μία καθορισμένη καθυστέρηση η προστασία κυκλώματος λειτουργεί μπαίνοντας η μέθοδος αυτόματου κλειδώματος. Ωστόσο όταν η R_{sd} γίνεται αρκετά μεγάλη, η V_{cc} μπορεί να γίνει μικρότερη από $n'V_o$. Επομένως εάν η έξοδος βραχυκυκλωθεί η V_{cc} πέφτει αλλά εάν ο C_{cc} (βλέπε σχήμα 4.7 α) είναι αρκετά μεγάλος η V_{cc} παραμένει σε ένα επίπεδο πιο υψηλό από της ULVO την χαμηλότερη τάση κατώτατων

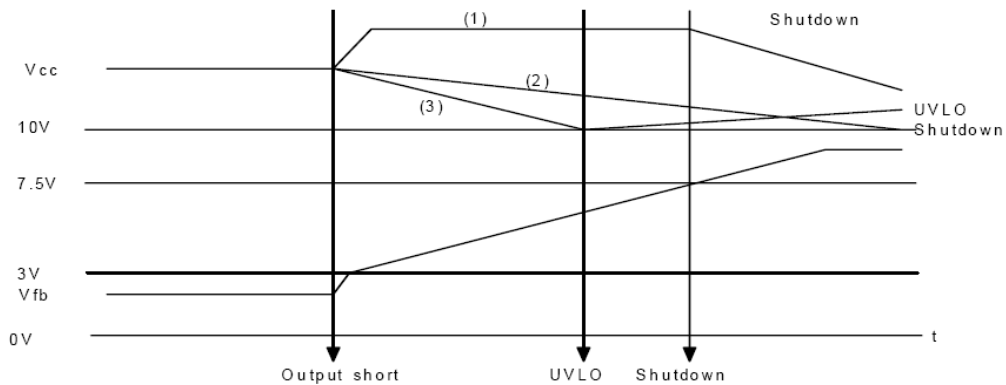
ορίων 10V μέχρι η V_{fb} να φτάσει τα 7,5V (σχήμα 11c-2) και η μέθοδος αυτόματου κλειδώματος μπαίνει σε λειτουργία. Αντίθετα εάν ο C_{cc} είναι αρκετά μικρός η V_{cc} πλησιάζει της ULVO's το χαμηλό κατώτατο όριο πριν φτάσει η V_{fb} 7,5V και η ULVO λειτουργεί αντί του κυκλώματος προστασίας σταματώντας την λειτουργία της συσκευής. Σε αυτή την περίπτωση εάν η V_{cc} υπερβαίνει την ανώτερη τάση ορίου της ULVO κατώτατων ορίων 15V, η αυτόματη επανεκκίνηση λειτουργεί ξανά. Η R_{sd} , ο C_{cc} και η C_{fb} επηρεάζουν στο ξεκίνημα και στο «power down». Έτσι οι τιμές τους πρέπει να καθοριστούν με προσοχή. Τα πειράματα έχουν δείξει ότι 10-20W είναι τα πιο κατάλληλα για R_{sd} .



(a) Flyback converter



The voltage V_{tx} waveform of N_B and V_{CC} (the rectified V_{NB}) depending on R_{sd}
 (b) Flyback converter controller voltage and R_{sd} dependent V_{cc}



(c) V_{cc} and V_{fb} waveforms depending on the relative size of C_{vcc} at output short

Σχήμα 4.7: Κύκλωμα προστασίας βραχυκυκλώματος εξόδου ενός διακοπτικού ισχύος της Fairchild.

4.2.2.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΡΤΑΣΗΣ:

Τα διακοπτικά ισχύος της fairchild έχουν μια χαρακτηριστική αυτοπροστασία, η οποία λειτουργεί ακόμα και αν υπάρχει σφάλμα στο κλάδο της ανάδρασης. Αυτό το σφάλμα μπορεί να περιλαμβάνει ένα ανοιχτό

κύκλωμα, ή ένα βραχυκύκλωμα. Στην πρωτεύων μεριά, εάν ο ακροδέκτης της ανάδρασης είναι βραχυκυκλωμένος τότε η τάση του είναι μηδενική, και ως εκ τούτου το διακοπτικό ισχύος της fairchild είναι αδύνατο να ξεκινήσει τη λειτουργία του.

Εάν ο κλάδος της ανάδρασης είναι ανοιχτοκυκλωμένο, το κύκλωμα προστασίας λειτουργεί σαν να υπάρχει μια υπερφόρτωση στη δευτερεύων μεριά. Περαιτέρω, εάν ο αποδέκτης της ανάδρασης φαίνεται ανοικτός οφειλόμενος πέστε σε κάποιο λάθος μέσα στο πρωτεύων κύκλωμα της ανάδρασης. Η πρωτεύων μεριά θα μπορούσε να λειτουργεί στο καθορισμένο μέγιστο όριο ρεύματος, μέχρι το κύκλωμα προστασίας να λειτουργήσει. Αυτό αναγκάζει την τάση της δευτερεύων μεριάς να γίνει πολύ μεγαλύτερη από την αναμενόμενη τάση. Σημειώστε ότι σε αυτή την περίπτωση δεν υπήρχε κανένα κύκλωμα προστασίας, η ασφάλεια θα μπορούσε να καεί ή και ακόμα περισσότερο να ξεκινήσει φωτιά.

Είναι πιθανό ότι χωρίς ρυθμιστικές διατάξεις, συσκευές άμεσα συνδεδεμένες με την έξοδο. Στη δευτερεύων μεριά θα μπορούσαν να καταστραφούν. Γι' αυτό το λόγο όμως το κύκλωμα προστασίας υπέρτασης στα διακοπτικά ισχύος της fairchild λειτουργεί. Εφόσον η V_{cc} είναι ανάλογη με την έξοδο, σε μια περίπτωση θα αυξηθεί. Στα διακοπτικά ισχύος της fairchild το κύκλωμα προστασίας λειτουργεί όταν η V_{cc} υπερβαίνει τα 25V επομένως σε κανονική λειτουργία η V_{cc} πρέπει να καθοριστεί κάτω από 25V.

4.2.2.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΟΓΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ:

Ο λόγος στροφών του μετασχηματιστή ενός flyback μετατροπέα είναι μια σημαντική μεταβλητή. Έχει επιπτώσεις στα επίπεδα της τάσης και του ρεύματος, που συνδέονται με την πρωτεύων μεριά της διακοπτικής συσκευής και των ανορθωτή της δευτερεύων μεριάς, καθώς επίσης και ο αριθμός των σπειρών του μετασχηματιστή και το ρεύμα μέσα του. Μια συχνή συζητημένη ιδέα σχεδίου προτείνει λειτουργία στην μέγιστη σχετική διάρκεια αγωγής (D), όταν η τάση εισόδου είναι ελάχιστη. Για απλούστευση υπολογισμών, εδώ υποτίθεται ότι οι καταστάσεις λειτουργίας αλλάζουν όπως φαίνεται παρακάτω: - V_{ac} input: 85~265V_{ac}

- V_{dc} (rectified voltage): 100~400V_{dc}

- Output voltage: 50V_{dc}

- Inductor current: λειτουργία στη συνεχή αγωγή ρεύματος υποτίθεται.

Η ισχύς εισόδου που λαμβάνεται από την D_c πηγή είναι το προϊόν της d_c τάσης και του μέσου ρεύματος εισόδου. Χρησιμοποιώντας μεγάλο εύρος της σχετικής διάρκειας αγωγής για να παραδώσουμε το ίδιο μέσο ρεύμα μειώνουμε τον βαθμό απόδοσης. Ένα μικρό εύρος της σχετικής διάρκειας ζωής D αυξάνει το ενεργό ρεύμα στην πρωτεύων μεριά, αυξάνοντας τη θερμοκρασία λειτουργίας του πρωτεύων τυλίγματος και του MOSFET. Επίσης είναι καλύτερο να επιλεχτεί ο λόγος μετασχηματισμού, n , βασισμένος στη χρήση της συσκευής. Εάν η τάση της πρωτεύων μεριάς του MOSFET, είναι σχετικά χαμηλή (π.χ 600V). Κάντε το λόγο n μικρό, εάν η τιμή της τάσης είναι μεγάλη (π.χ 800V) τότε κάντε το n μεγάλο. Δεδομένου ότι η τιμή του n αυξάνεται, το ρεύμα στη πρωτεύων μεριά της διακοπτικής συσκευής και η τάση των ανορθωτικών διόδων στη δευτερεύων μεριά μειώνονται ως εκ τούτου, με μεγάλη τάση εξόδου και πολλαπλές εξόδους στη δευτερεύων μεριά, είναι πλεονέκτημα να αυξήσουμε το n .

4.2.2.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ :

Σε ένα σχεδιασμό ενός flyback μετατροπέα, εάν η ασυνεχής αγωγή ρεύματος εμφανίζεται ακριβώς στην ελάχιστη τάση εισόδου και στη μέγιστη ισχύ εξόδου, τότε η ασυνεχής αγωγή πρέπει να εξετάζεται εάν υπάρχει σε όλες τις περιπτώσεις για όλες τις καταστάσεις εισόδου. Στους flyback μετατροπείς, η ισχύς εισόδου στη λειτουργία ασυνεχής αγωγής εκφράζεται ως:

$$P_i = L_m I_p^2 f_{sw}$$

Ανεξάρτητα από οποιαδήποτε αλλαγές στην τάση εισόδου, η εξίσωση της ισχύς δείχνει ότι το ρεύμα εισόδου περιορίζεται από την peak τιμή του ρεύματος που ρέει μέσα από το MOSFET στο πρωτεύων του μετασχηματιστή. ένα διακοπτικό ισχύος fairchild έχει ενσωματωμένη μια χαρακτηριστική προστασία υπερέντασης όπως έχει αναφερθεί. Αυτό το χαρακτηριστικό δεν απαιτεί εξωτερικά στοιχεία, ωστόσο το σταθερό ρεύμα λειτουργίας στην ασυνεχή αγωγή, τίνει κάπως να αντισταθμίσει την επίδραση του μεγάλου ενεργού ρεύματος της πρωτεύων μεριάς. Το κέρδος στο τέλος, είναι στη

χαμηλή συχνότητα όπου οι απώλειες του πυρήνα δεν είναι πρόβλημα επειδή μόνο ένας μικρός αριθμός σπειρών θα χρειαστεί να τυλιχθούν.

Στο μεταξύ οι απώλειες κατά την έναυση δεν είναι σοβαρό πρόβλημα λόγω του μικρού ρεύματος εισόδου. Άλλες απώλειες, όπως οι απώλειες δινορρευμάτων, το επιδερμικό φαινόμενο, το φαινόμενο γειτνίαση κλπ, δεν είναι σημαντικές. Ένας πιο σαφείς προσδιορισμός των πλεονεκτημάτων της λειτουργίας σε ασυνεχή αγωγή είναι ότι επιτρέπει τη χρήση πιο αργών και άρα μικρότερου κόστους ανορθωτικές διόδους στη δευτερεύων μεριά. Σε αντίθεση με την λειτουργία συνεχούς αγωγής, στη λειτουργία με ασυνεχή αγωγή το ενεργό ρεύμα είναι μεγαλύτερο, απαιτώντας τη χρήση ενισχυμένων αγωγών και εκ τούτου παχύτερες σπείρες. Επομένως η λειτουργία ασυνεχούς αγωγής ρεύματος προκαλεί αύξηση στη θερμοκρασία λειτουργίας του MOSFET λόγω του μεγάλου ενεργού ρεύματος στην πρωτεύων μεριά όπως περιγράφηκε παραπάνω.

4.2.2.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΑΓΩΓΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ:

Δεδομένου ότι το ενεργό ρεύμα των σπειρών μειώνεται η συνεχή αγωγή ρεύματος έχει το πλεονέκτημα των μικρότερων αγωγών. Επίσης το μικρότερο ενεργό ρεύμα περιορίζει την θέρμανση του MOSFET. Αυτό είναι ένα σαφές πλεονέκτημα για το μέσο ρεύμα εισόδου. Από την άλλη μεριά, η λειτουργία συνεχούς αγωγής φέρει μαζί της την ανάγκη να εξετασθεί το ρεύμα αναστροφής αποκατάστασης των ανορθωτικών διόδων.

Ανάλογα με το χρόνο αναστροφής αποκατάστασης t_{rr} των διόδων, το ρεύμα αναστροφής αποκατάστασης μπορεί να καταπονεί τις διόδους και να αυξάνει τις απώλειες στην άκρη των ακροδεκτών τους. Είναι επομένως, απαραίτητη η χρήση διόδων με το μικρότερο δυνατό t_{rr} (χρόνος αναστροφής), μέσα στο επιτρεπόμενο όριο κόστους φυσικά.

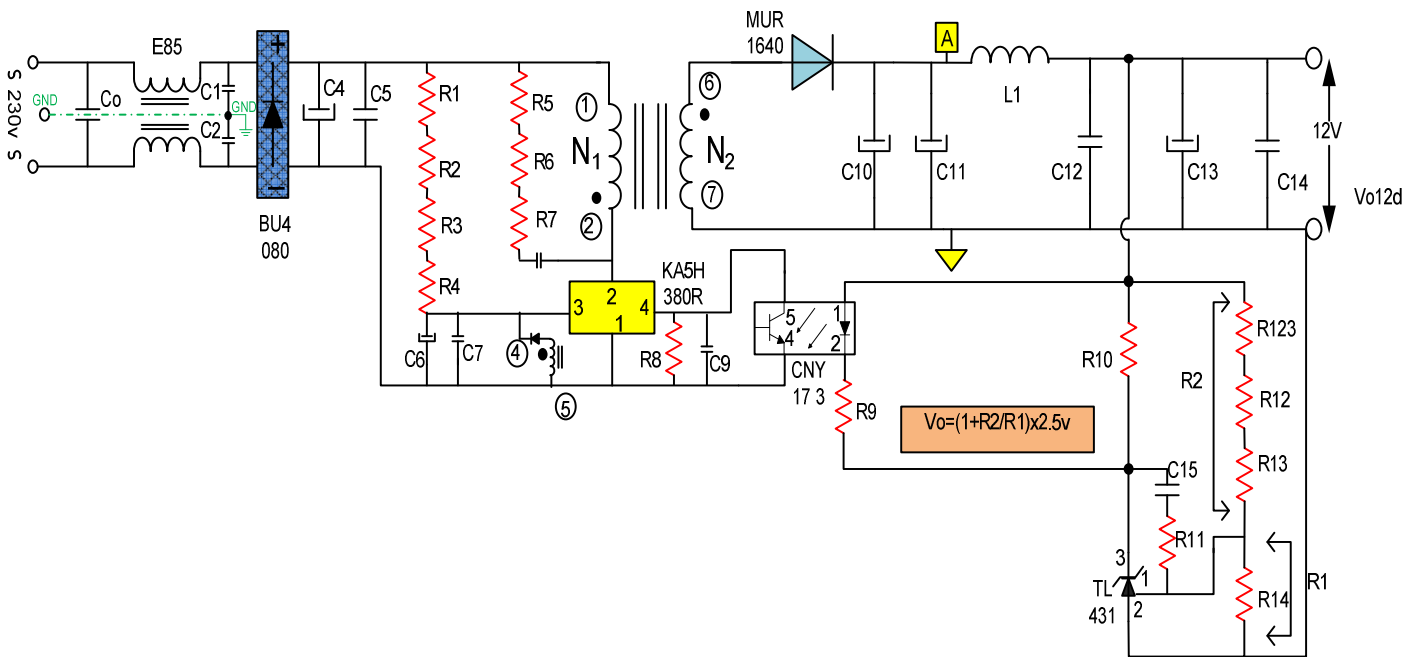
4.2.2.7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ:

Όπως είναι σαφές από τα παραπάνω, η λειτουργία ασυνεχούς αγωγής (DCM) μπορεί να πλεονεκτεί από άποψη κόστους και βαθμού απόδοσης, εάν η είσοδος είναι μικρή και απαιτείτε ακριβής έλεγχος της ισχύς εισόδου του διακοπτικού μέσα στη πρωτεύων μεριά. Από την άλλη μεριά, για μεγάλη τιμή εισόδου και όπου οι απώλειες κατά την έναυση του διακοπτικού μπορεί να είναι σημαντικό πρόβλημα, ο σχεδιασμός σε λειτουργία συνεχούς αγωγής (CCM) θα ήταν πιο συμφέρων.

Τελικά, για τους λόγους αυτούς, ο σχεδιασμός πρέπει να επιλεγθεί ανάμεσα στις δύο λειτουργίες, σύμφωνα με το πια λειτουργία ταιριάζει περισσότερο στα χαρακτηριστικά του συστήματος το οποίο σχεδιάζεται.

4.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ DC-DC ΒΑΘΜΙΔΑΣ.

Με βάση τα παραπάνω για έναν μετατροπέα flyback, και δεδομένου ότι θέλουμε ο μετατροπέας να λειτουργεί στην ασυνεχή αγωγή ρεύματος, έχουμε το παρακάτω σχηματικό διάγραμμα:



Σχήμα 4.8: Σχηματικό διάγραμμα του μετατροπέα που κατασκευάστηκε

Όπως βλέπουμε από το παραπάνω σχήμα έχουμε στην είσοδο του τροφοδοτικού, ένα φίλτρο EMI για να περιορίζει την ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή στο δίκτυο και σε γειτονικές συσκευές, έναν ανορθωτή, το διακοπτικό ισχύος της fairchild, τον μετασχηματιστή, στην δευτερεύον μεριά έχουμε την δίοδο και φίλτρο, έχουμε επίσης και φίλτρα εξομάλυνσης της τάσης(πηνίο-πυκνωτής) και έτσι έχουμε την τάση Vo12d.Αυτή η τάση είναι η τάση από την οποία έχουμε κ το σήμα ανάδρασης. Όπως βλέπετε το σήμα της ανάδρασης είναι απομονωμένο ηλεκτρικά από την είσοδο με οπτική σύζευξη.

Οι αντιστάσεις R1,R2,R3,R4 σε συνδυασμό με τους C6 και C7 είναι για τον έλεγχο του διακοπτικού ισχύος. Το διακοπτικό θέλει και μια τροφοδοσία για να λειτουργήσει, την οποία τάση τροφοδοσίας την παίρνουμε από το τύλιγμα N10 (auxiliary).Οι αντιστάσεις R5,R6,R7 μαζί με τον C8 αποτελούν ένα snuber το οποίο είναι για να καταναλώνει την ενέργεια της επαγωγής διαρροής του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή και να μην θερμαίνεται το Mosfet. Στη συνέχεια έχουμε την δευτερεύον μεριά, όπου έχουμε μια δίοδο(δυο διόδους παράλληλα για μικρότερες απώλειες αγωγής),έχουμε κ ένα πηνίο το L1,που μαζί με τους πυκνωτές C12,C13.C14 λειτουργούν ως φίλο εξομάλυνσης της τάσης εξόδου Vo12d.

Η ανάδραση δημιουργείται από το σήμα εξόδου της Vo12d, του TL 431 και κάποιες αντιστάσεις όπως βλέπετε. Το TL 431 δημιουργεί μια τάση αναφοράς 2.5v, η οποία μαζί με τις αντιστάσεις R123,R13,R12 και R14 ρυθμίζουν τον έλεγχο του διακοπτικού για να πάρουμε την επιθυμητή τάση εξόδου Vo12d. Η Vo12d ρυθμίζεται από τον τύπο που φαίνεται κ στο σχήμα $V_o = (1 + R_2/R_1) \times 2.5_v$. Η ανάδραση όπως βλέπετε είναι ηλεκτρικά απομονωμένη από την είσοδο μέσω ενός optocoupler τον CNY 17 3.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:

- C0,C5: ΠΥΚΝΩΤΕΣ MKT X2 A/140
- E85: ΦΙΛΤΡΟ EMI
- C2,C3: ΚΙΛΟΒΟΛΤΙΚΟΙ SD 222M
- BU4-080: ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ
- C4: ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΟΣ 400v/150μf
- R1,R2,R3,R4:150 ΚΩ
- C6: ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΟΣ 400v/33μf
- C7: MULTYLAYER 10nf/150v
- D AUX: ΔΙΟΔΟΣ MUR 1100
- R5,R6,R7: 210 Ω
- C8: ΚΙΛΟΒΟΛΤΙΚΟΣ 22J/1KV
- R8:1ΜΩ
- C9,C12:1μf/50v
- D1640: ΔΙΟΔΟΣ MUR 1640
- C10,C11,C13: ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΟΙ 35v/1000μf
- L1: ΠΗΝΙΟ 4.7μh
- C14: MULTYLAYER 100nf/50v
- R123:56Ω
- R12:1ΚΩ
- R13:3.6ΚΩ
- R14:1.2 ΚΩ
- R11,R10:1 ΚΩ
- R9:100Ω
- TL 431
- OPTOCOUPLER:CNY 17-3
- Ο Μ/Σ ΕΙΝΑΙ ΠΟΜΠΙΝΑ ΕΤ

4.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΤΩΝ 5V ΤΟΥ LM 2673.

4.4.1 ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΤΑΣΗΣ ΜΕ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ LM 2673:

Γενική περιγραφή:

Οι σειρές ρυθμιστών LM 2673 είναι μονολιθικά ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία παρέχουν όλες τις ενεργές λειτουργίες για έναν διακοπτικό ρυθμιστή υποβιβασμού τάσης (BUCK) ικανό να οδηγήσει μέχρι 3Α φορτία με άριστα χαρακτηριστικά ρύθμισης γραμμής και φορτίου. Υψηλός βαθμός απόδοσης (>90%) που επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης διακοπτικού ισχύος DMOS με μικρές απώλειες αγωγής. Οι σειρές αποτελούνται από σταθερές τάσεις εξόδου των 3.3V, 5V και 12 V και από μια έκδοση ρυθμιζόμενης τάσης εξόδου.

Η αναφορά αυτή προβλέπει μια πλήρη σχεδίαση χρησιμοποιώντας ένα ελάχιστο αριθμό εξωτερικών στοιχείων. Ένας σταθερός ταλαντωτής υψηλής συχνότητας (260 kHz) επιτρέπει φυσικά τη χρήση στοιχείων μικρότερου μεγέθους. Μια οικογένεια τυποποιημένων πηνίων για τη χρήση με το LM 2673 είναι διαθέσιμη από αρκετούς κατασκευαστές για να απλοποιήσει πολύ τη διαδικασία σχεδιασμού. Άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα περιλαμβάνουν τη δυνατότητα να μειώσουν την κυμάτωση του ρεύματος εισόδου κατά την ένωση με την προσθήκη ενός πυκνωτή συγχρονισμού

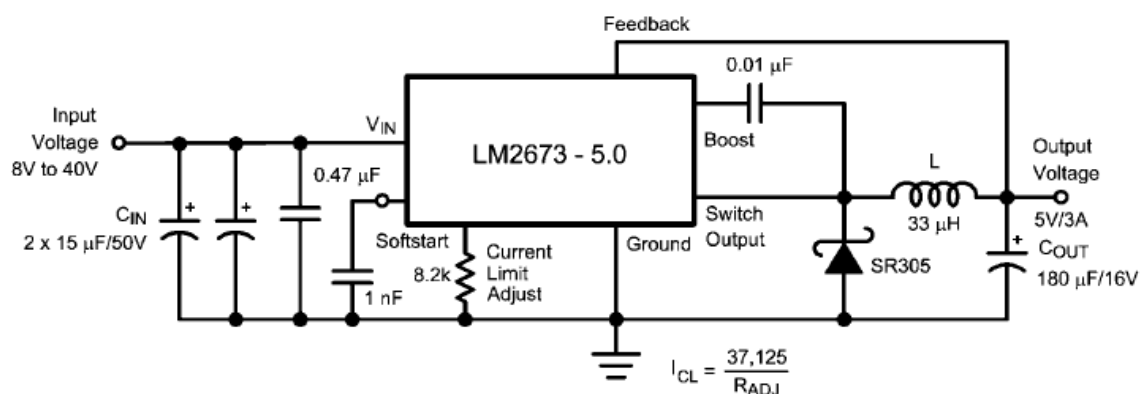
εκκίνησης (Softstart) για βαθμιαία εναύση του ρυθμιστή. Οι σειρές LM 2673 επίσης έχουν κατασκευαστεί για θερμική διακοπή λειτουργίας και προγραμματίσιμο μέσω αντιστάσεων όριο ρεύματος του διακοπτικού ισχύος Mosfet για να προστατευθεί η συσκευή και η διάταξη κυκλώματος του φορτίου από λάθος καταστάσεις. Η τάση εξόδου εγγυάται μια ανοχή α ±2%. Η συχνότητα ελέγχεται μέσα σε μια ανοχή α ±11%.

Χαρακτηριστικά:

- Βαθμός απόδοσης έως 94%
- Απλός και εύκολος σχεδιασμός
- Προγραμματίσιμο μέσω αντιστάσεων μέγιστο όριο ρεύματος μεταξύ 2A και 5A
- 3.3 V , 5V και 12V σταθερές εξόδους και μια έκδοση με ρυθμιζόμενη τάση εξόδου (12V μέχρι 37V)
- ±2% μέγιστη ανοχή εξόδου πέρα από τις καταστάσεις του φορτίου και της γραμμής.
- Εύρος περιοχής τάσης εισόδου : 8V μέχρι 40 V
- 260 kHz σταθερής συχνότητας εσωτερικός ταλαντωτής
- Ικανότητα ομαλής εκκίνησης (Softstart)
- Περιοχή θερμοκρασίας λειτουργίας -40°C μέχρι +125°C

Εφαρμογές :

- Απλό να σχεδιαστεί ένας διακοπτικός ρυθμιστής υποβιβασμού τάσης με υψηλό βαθμό απόδοσης (>90%)
- Αποδοτικό σύστημα προϋθμησης για τους γραμμικούς ρυθμιστές τάσης
- Φορτιστές μπαταριών



Σχήμα 4.9: Τυπικό σχηματικό διάγραμμα ρυθμιστή υποβιβασμού τάσης LM2673 που κατασκευάστηκε.

4.4.2 ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΗ ΕΞΟΔΟΣ:

Το pin 1 είναι η έξοδος ενός διακοπτικού ισχύος MOSFET που συνδέεται άμεσα με την τάση εισόδου. Το MOSFET παρέχει ενέργεια στο πηνίο, η διάταξη κυκλώματος ενός πυκνωτή εξόδου και του φορτίου ελέγχονται από μία εσωτερική PWM. Ο έλεγχος με PWM δημιουργείται εσωτερικά με την βοήθεια ενός σταθερού ταλαντωτή 260 kHz. Σε μια συνηθισμένη εφαρμογή υποβιβασμού η σχετική διάρκεια αγωγής (duty cycle) του διακοπτικού ισχύος είναι ανάλογη του λόγου της τάσης εξόδου προς την τάση εισόδου του μετατροπέα.

Είσοδος:

Η τάση εισόδου για το μετατροπέα ενέργειας συνδέεται στο pin 2. Εκτός από την παροχή ενέργειας στο φορτίο η τάση εισόδου επίσης παρέχει πόλωση για τις εσωτερικές διατάξεις κυκλωμάτων του LM 2673. Για μια εγγυημένη επιτυχία η τάση εισόδου πρέπει να είναι σε περιοχή από 8V έως 40V. για καλύτερη επίδοση τοθ μετατροπέα το pin εισόδου πρέπει πάντα να παρεμβάλλεται με έναν πυκνωτή εισόδου τοποθετημένο κοντά στο pin 2.

C BOOST:

Ένας πυκνωτής πρέπει να συνδεθεί από το pin 3 στην έξοδο του μετατροπέα, το pin 1. Ο πυκνωτής αυτός ωθεί την οδήγηση της πύλης (gate) του εσωτερικού MOSFET πάνω από V_{in} για να το φέρει πλήρως σε κατάσταση αγωγής. Αυτό ελαχιστοποιεί τις απώλειες αγωγής του μετατροπέα για να διατηρήσει και την υψηλή απόδοση. Μια συνιστώμενη τιμή για το C BOOST είναι 0.01 μF .

GROUND:

Αυτή είναι η σύνδεση της γης αναφοράς για όλα τα στοιχεία μέσα στο μετατροπέα ενέργειας. Σε μεγάλη διακοπτική συχνότητα, υψηλές εφαρμογές ρεύματος όπως αυτές που πραγματοποιούνται με τα LM 2673, συνιστάται να χρησιμοποιηθεί ένα πλατύ επίπεδο γης για να ελαχιστοποιηθεί η σύζευξη σήματος (coupling) σε όλο το κύκλωμα.

Ρύθμιση ρεύματος:

Ένα κύριο χαρακτηριστικό του LM 2673 είναι η ικανότητα να προσαρμόζει το μέγιστο όριο ρεύματος του διακοπτικού στο επίπεδο που απαιτείται από την συγκεκριμένη εφαρμογή.

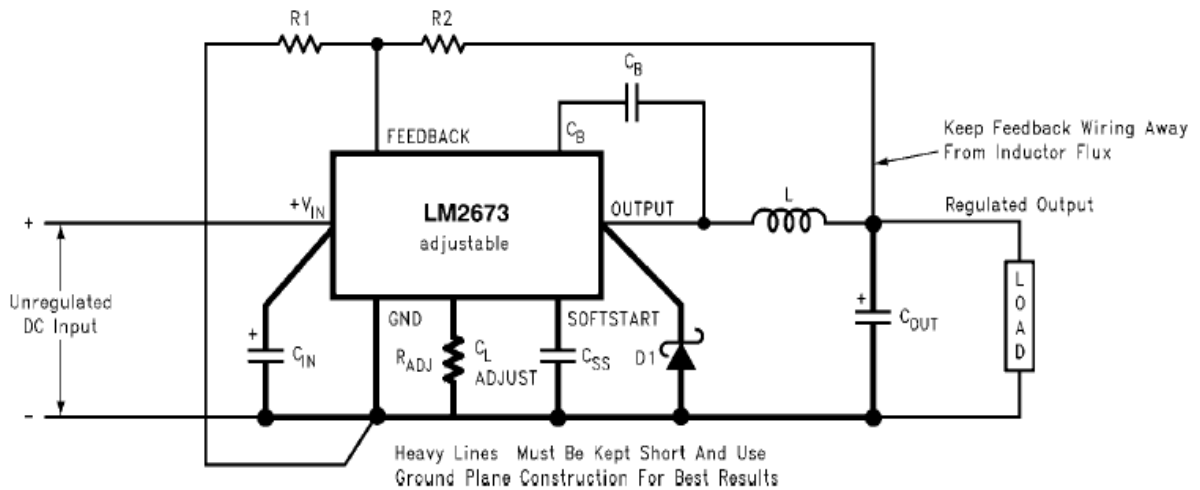
Αυτό περιορίζει την ανάγκη της χρήσης εξωτερικών στοιχείων, αυτά τα φυσικά μεγέθη πρέπει να προσαρμόσουν τα επίπεδα ρεύματος τα οποία μπορεί να είναι πολύ ψηλότερα από τις απαιτήσεις του ρεύματος λειτουργίας του κανονικού κυκλώματος. Μια αντίσταση συνδέεται από το pin 5 στην γη όπου καθιερώνει ένα ρεύματος ($I_{(pin\ 5)} = 1.2V/R_{ADJ}$) το οποίο καθορίζει το μέγιστο ρεύμα μέσα στο μετατροπέα. Το μέγιστο ρεύμα είναι σταθερό στο επίπεδο του $37.125/R_{ADJ}$.

Ανάδραση (FEEDBACK):

Αυτή είναι η είσοδος σε έναν δυο σταδίων υψηλού κέρδους ενισχυτή, ο οποίος οδηγεί τον έλεγχο PWM. Είναι απαραίτητο να συνδεθεί το pin 6 με την πραγματική έξοδο του μετατροπέα για να καθορίσει την μέση τάση εξόδου. Για συσκευές με σταθερές τάσεις εξόδου (3.3V, 5V και 12V) , ένα απευθείας καλώδιο όπου συνδέεται στην έξοδο είναι ότι απαιτείται γιατί οι εσωτερικές αντιστάσεις που καθορίζουν το κέρδος εμπεριέχονται μέσα στο LM 2673. Για την έκδοση ρυθμιζόμενης εξόδου, δυο εξωτερικές αντιστάσεις απαιτούνται για να καθορίσουν την τάση εξόδου. Για σταθερή λειτουργία του μετατροπέα είναι σημαντικό να αποτραπεί η σύζευξη σήματος (coupling) οποιασδήποτε επαγωγικής ροής στην είσοδο της ανάδρασης.

SOFTSTART:

Ένας πυκνωτής συνδεδεμένος από το pin 7 στη γη επιτρέπει την ομαλή εκκίνηση του μετατροπέα. Ο πυκνωτής καθορίζει ένα χρόνο καθυστέρησης που βαθμιαία αυξάνει το duty cycle του εσωτερικού διακοπτικού ισχύος. Αυτό μπορεί να μειώσει σημαντικά το ποσό της κυμάτωσης του ρεύματος εισόδου που απαιτείται από την είσοδο κατά την διάρκεια μιας απότομης εφαρμογής της τάσης εισόδου. Εάν η ομαλή εκκίνηση (SOFTSTART) δεν απαιτείται το pin 7 πρέπει να μένει ανοιχτοκυκλωμένο.



Σχήμα 4.10: βασικό κυκλώμα για ρυθμιζόμενη τάση εξόδου με το LM2673 ADJ.

Μελέτη σχεδιασμού:

Ο σχεδιασμός ενός μετατροπέα ενέργειας με το LM 2673 απλοποιείται πολύ με τη χρήση των συνιστώμενων εξωτερικών στοιχείων. Μια ευρεία γκάμα από πηνία, πυκνωτές και διόδους schottky από αρκετούς κατασκευαστές έχουν εκτιμηθεί για τη χρήση κατά το σχεδιασμό, τα οποία καλύπτουν μεγάλο εύρος ικανοτήτων (τάση εισόδου, τάση εξόδου και ρεύμα φορτίου) για το LM 2673. Μια απλή μέθοδος σχεδιασμού με την χρήση μονογραμμικών και πινάκων στοιχείων παρέχονται στο data sheet του LM 2673 για να σχεδιάσουμε το μετατροπέα με πολύ μικρά σφάλματα.

Τα επιμέρους στοιχεία από τους διάφορους κατασκευαστές που απαιτούνται για τη χρήση είναι ένα μικρό δείγμα της απέραντης σειράς των στοιχείων που είναι διαθέσιμα στη βιομηχανία. Ενώ αυτά τα στοιχεία που συνιστώνται δεν είναι αποκλειστικά τα μόνα στοιχεία για τη χρήση κατά το σχεδιασμό. Μετά από μια μικρή σύγκριση των χαρακτηριστικών των στοιχείων , ισοδύναμες διατάξεις άλλων κατασκευαστών θα μπορούσαν να αντικατασταθούν σε αυτή την εφαρμογή. Σημαντικές εκτιμήσεις για κάθε εξωτερικό στοιχείο και επεξηγήσεις του πώς από τα μονογραμμικά και τους πίνακες ακολουθεί η ανάπτυξη του σχεδιασμού.

Το πηνίο:

Το πηνίο είναι το βασικό στοιχείο σε ένα διακοπτικό ρυθμιστή. Για αποδοτικότητα το πηνίο αποθηκεύει ενέργεια κατά τη διάρκεια του χρόνου αγωγής (T_{on}) και μετά μεταφέρει ενέργεια στο φορτίο κατά την διάρκεια του χρόνου αποκοπής (T_{off}) του ημιαγωγικού. Μονογραμμικά χρησιμοποιούνται για να επιλέξουμε την τιμή της επαγωγής που απαιτείται για τις συγκεκριμένες καταστάσεις λειτουργίας. Τα μονογραμμικά υποθέτουν ότι το κύκλωμα λειτουργεί σε συνεχή αγωγή ρεύματος (το ρεύμα του πηνίου δεν μηδενίζεται ποτέ). Το μέγεθος της επαγωγής επιλέγεται για να διατηρήσει μια μέγιστη κυμάτωση ρεύματος φορτίου. Εάν η κυμάτωση ρεύματος υπερβαίνει το όριο του 30% η αμέσως μεγαλύτερη τιμή επαγωγής επιλέγεται.

Τα πηνία που προσφέρονται έχουν κατασκευαστεί συγκεκριμένα για να παρέχουν κατάλληλη λειτουργία κάτω από όλες τις καταστάσεις λειτουργίας της εισόδου, την τάση εξόδου και του ρεύματος του φορτίου. Διάφοροι τύποι πηνίων προσφέρονται για μια δεδομένη τιμή επαγωγής (Both surface mount, through-hole).

Πυκνωτής εξόδου:

Ο πυκνωτής εξόδου ενεργεί για να εξομαλύνει την μέση τάση εξόδου καθώς επίσης παρέχει αποθήκευση ενέργειας. Η επιλογή ενός πυκνωτή εξόδου, με μια σχετική ισοδύναμη αντίσταση σειράς (ESR), έχει επιπτώσεις και στο ποσό της κυμάτωσης της τάσης εξόδου και στην σταθερότητα στο βρόχο ελέγχου. Η κυμάτωση της τάσης εξόδου του μετατροπέα ενέργειας είναι προϊόν της ESR του πυκνωτή και της κυμάτωσης του ρεύματος του πηνίου. Οι τύποι πυκνωτών που συστήνονται στους πίνακες επιλέχθηκαν να έχουν μικρή ισοδύναμη αντίσταση σειράς (ERS).

Η εκτίμηση του ενεργού ρεύματος (RMS) και της τάσης λειτουργίας (WV), του πυκνωτή εξόδου είναι σημαντικοί συντελεστές. Σε έναν τυπικό διακοπτικό ρυθμιστή υποβιβασμού, η κυμάτωση του ρεύματος του πηνίου (που δεν πρέπει να ξεπερνά το 30% του μέγιστου ρεύματος φορτίου) είναι το ρεύμα το οποίο ρέει μέσα από τον πυκνωτή εξόδου. Η εκτίμηση του RMS ρεύματος του πυκνωτή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την κυμάτωση ρεύματος. Η εκτίμηση της τάσης του πυκνωτή εξόδου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 13 φορές της μέγιστης τάσης εξόδου του μετατροπέα.

Πυκνωτής εισόδου:

Όπως και για τον πυκνωτή εξόδου, οι βασικές προδιαγραφές και για τον πυκνωτή εισόδου, είναι η εκτίμηση του RMS ρεύματος και της τάσης

λειτουργίας του πυκνωτή. Το ενεργό ρεύμα που ρέει μέσα από τον πυκνωτή εισόδου είναι ίσο με το μισό του μέγιστου μέσου ρεύματος του φορτίου. Ο παραλληλισμός πολλαπλών πυκνωτών αναλογικά αυξάνει την εκτίμηση ρεύματος της συνολικής χωρητικότητας. Η εκτίμηση της τάσης πρέπει να επιλεγθεί να είναι 1.3 φορές της μέγιστης τάσης εισόδου.

Ο πυκνωτής εισόδου πρέπει να τοποθετείται πολύ κοντά στην είσοδο του LM 2673, δηλαδή στο pin 2. Λόγω του υψηλού ρεύματος λειτουργίας με γρήγορες προσωρινές αλλαγές, η αυτεπαγωγή σειράς των καλωδίων στην είσοδο ή οι γραμμές του PCB μπορεί να δημιουργούν σήμα θορύβου στον ακροδέκτη εισόδου που θα μπορούσε ενδεχομένως να διαδοθεί στην έξοδο ή σε άλλα μέρη της τοπολογίας. Μπορεί να είναι απαραίτητο σε μερικούς σχεδιασμούς να προσθέσουμε κεραμικούς πυκνωτές μικρών τιμών (0.1 μF έως 0.47 μF) παράλληλα με τον πυκνωτή εισόδου για να ελαχιστοποιηθεί ο θόρυβος.

Δίοδος:

Όταν το διακοπτικό ισχύος μέσα στο LM 2673 σβήνει, το ρεύμα μέσα από το πηνίο συνεχίζει να ρέει. Η διαδρομή αυτού του ρεύματος είναι μέσα από την δίοδο που συνδέεται μεταξύ της εξόδου του διακοπτικού και της γης. Αυτή η ορθή πόλωση της διόδου πάει την έξοδο του διακοπτικού σε ένα δυναμικό μικρότερο από της γης. Αυτή η αρνητική τάση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1V, έτσι συνιστάται μια δίοδος schottky με χαμηλή πτώση τάσης. Η συνολική απόδοση από ολόκληρο τον μετατροπέα έχει σημαντικές επιπτώσεις από τις απώλειες ισχύος πάνω στη δίοδο της εξόδου.

Η χρήση μιας διόδου που εκτιμάται για ρεύμα πολύ μεγαλύτερο από ότι απαιτείται από την εφαρμογή, βοηθά να ελαχιστοποιήσουμε την πτώση τάσης και τις απώλειες ισχύος της διόδου. Κατά την διάρκεια της αγωγής του ημιαγωγικού η δίοδος πολώνεται ανάστροφα από την τάση εισόδου. Η εκτίμηση της αναστροφής τάσης της διόδου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1.3 φορές μεγαλύτερη από την μέγιστη τάση εισόδου.

Πυκνωτής BOOST

Ο BOOST πυκνωτής δημιουργεί μια τάση η οποία χρησιμοποιείται για την οδήγηση του gate του εσωτερικού διακοπτικού MOSFET. Αυτό βελτιώνει την αποδοτικότητα γιατί ελαχιστοποιεί την αντίσταση αγωγής του διακοπτικού

που συνδέεται με την απώλεια ισχύος. Για όλες τις εφαρμογές συστήνεται, να χρησιμοποιείται ένας κεραμικός πυκνωτής 0,01μf/50V.

Ρυθμιζόμενο όριο ρεύματος (RADJ)

Ένα κύριο χαρακτηριστικό του LM2673 είναι η δυνατότητα να ελέγχει το μέγιστο ρεύμα του διακοπτικού. Εάν μια εφαρμογή απαιτεί μόνο ένα ρεύμα φορτίου των 2A, τότε το μέγιστο ρεύμα του διακοπτικού μπορεί να καθοριστεί σε ένα όριο ακριβώς πέρα από το μέγιστο ρεύμα φορτίου με την προσθήκη απλά μιας μεταβλητής αντίστασης. Αυτό επιτρέπει την χρήση πηνίων και διόδων μικρότερης ισχύς και μικρότερου κόστους. Το μέγιστο ρεύμα του διακοπτικού είναι ίσο με τον παράγοντα 37,125 διαιρεμένου με το RADJ. Όταν το διακοπτικό ισχύος φτάνει στο κατώφλι του ορίου ρεύματος τότε το διακοπτικό σβήνει και η εσωτερική διακοπτική συχνότητα μειώνεται. Αυτό παρατείνει το χρόνο αποκοπής του ημιαγωγικού για να αποτρέψει μια σταθερή κατάσταση απαίτησης υψηλού ρεύματος. Καθώς το ρεύμα του διακοπτικού πέφτει κάτω από το όριο, το διακοπτικό θα έρθει σε κατάσταση αγωγής ξανά. Εάν το σφάλμα του φορτίου συνεχίζεται το διακοπτικό θα υπερβαίνει ξανά το όριο και θα έρθει πάλι σε κατάσταση αποκοπής. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα ένα μικρό duty cycle για το διακοπτικό ισχύος για να ελαχιστοποιήσει το σύνολο των εσφαλμένων καταστάσεων.

Πυκνωτής SOFTSTART C_{SS}

Αυτός ο προαιρετικός πυκνωτής ελέγχει το ποσοστό με το οποίο το LM2673 μπαίνει σε λειτουργία κατά την εκκίνηση. Ο πυκνωτής φορτίζεται γραμμικά από μία εσωτερική πηγή ρεύματος. Αυτή η τάση ράμπας αυξάνει βαθμιαία το duty cycle του διακοπτικού μέχρι να φτάσει την κανονική λειτουργία του όπου εκεί το duty cycle καθορίζεται πρώτιστα από το λόγο της τάσης εξόδου προς την τάση εισόδου. Ο χρόνος ομαλής εκκίνησης λειτουργίας (softstart time) καθορίζεται από την επιλογή του C_{SS}. Ο τύπος για την επιλογή του πυκνωτή softstart είναι:

$$C_{SS} = (I_{SST} \cdot t_{SS}) / [V_{SST} + 2,6V \left(\frac{V_{OUT} + V_{SCHOTTKY}}{V_{IN}} \right)]$$

Όπου

I_{SST} = ρεύμα softstart, συνήθως 3,7μΑ

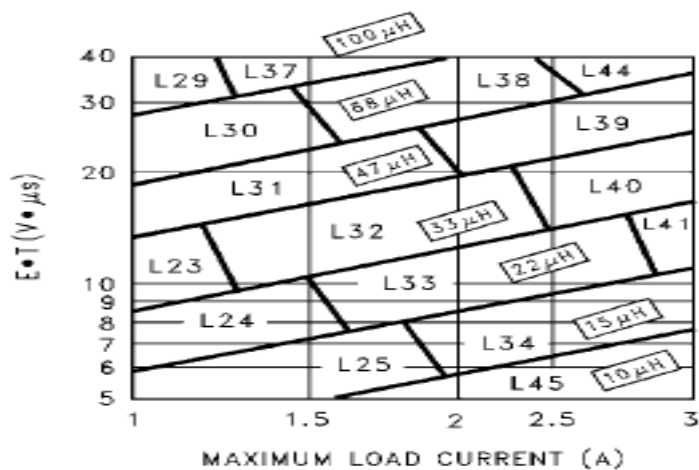
t_{SS} = χρόνος softstart, από τις απαιτήσεις σχεδίου

V_{SST} = softstart τάση κατωφλίου, συνήθως 0,63V

V_{OUT} = τάση εξόδου από τις απαιτήσεις σχεδίου

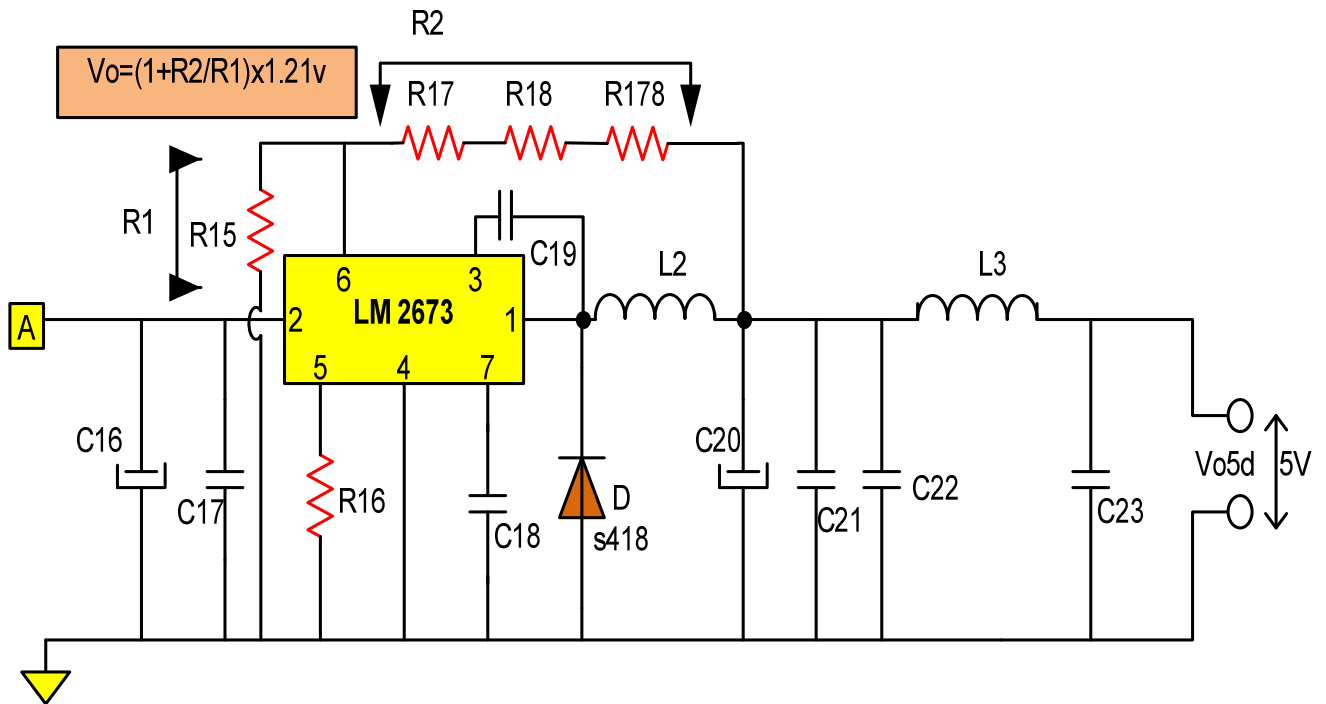
$V_{SCHOTTKY}$ = πτώση τάσης διόδου schottky, συνήθως 0,5V

V_{IN} = μέγιστη τάση εισόδου, από τις απαιτήσεις σχεδίου εάν το χαρακτηριστικό softstart δεν επιθυμείτε, τότε αφήστε το pin7 ανοιχτοκυκλωμένο.



4.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΘΜΙΔΑΣ 5V ΜΕ ΤΟ LM2673.

Με βάση όλα τα παραπάνω που αναλύσαμε ένα τελικό κύκλωμα για την βαθμίδα των 5v θα ήταν η έξης:



Σχήμα 4.11: Σχηματικό διάγραμμα του ρυθμιστή υποβιβασμού τάσης LM 2673 που κατασκευάστηκε.

Η τροφοδοσία του LM 2673 είναι η τάση της εξόδου V_{o12d} . Όπως βλέπουμε ο C17 και ο C16 είναι πυκνωτές εισόδου για το ολοκληρωμένο. Η δίοδος μαζί με το πηνίο L2 είναι τα αναπόσπαστα μέρη ενός μετατροπέα BUCK. Το πηνίο L3 μαζί με τους πυκνωτές στην έξοδο είναι φίλτρο εξομάλυνσης της τάσης, Η ανάδραση όπως βλέπουμε είναι ένα σήμα εξόδου όπου μέσω αντιστάσεων ρυθμίζεται και επιστρέφει στην είσοδο. Η έξοδος του LM 2673 παίρνεται από τον τύπο $V_o = (1 + R_2/R_1) \times 1.21V$. Ο C19 είναι πυκνωτής soft start.

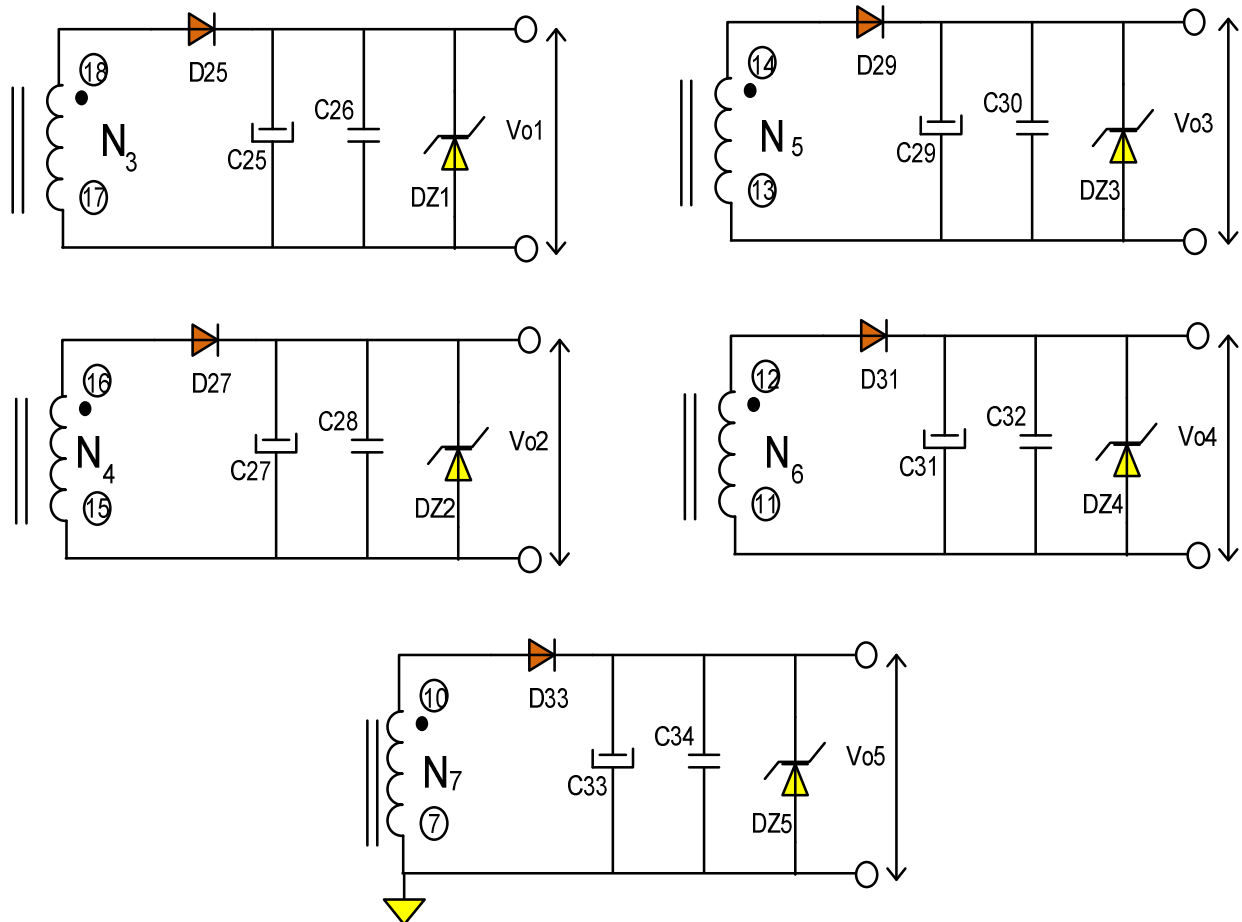
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:

- C16, C20: 1000μf/35v
- C17, C23: 100nf/50v
- C18: 200 nf/50v
- C19: 10nf/50v
- C21, C22: 10μf/35v
- R16: 15KΩ
- R15: 1 KΩ
- R17: 1.8 KΩ

- R18:1.3 ΚΩ
- R178:100Ω
- L2:22 μH
- L3:4.7 μH
- LM 2673 T ADJ

4.6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΤΩΝ 12V ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ.

Από τα όσα αναφέραμε ως τώρα για τους μετατροπείς flyback θα σχεδιάσουμε τις εξόδους των 12v με κυμάτωση $\leq \pm 15\%$ και ανεξάρτητες μεταξύ τους. Έτσι ένα τυπικό σχέδιο θα ήταν ένα τύλιγμα στο μετασχηματιστή, μια δίοδος και πυκνωτής για φίλτρο και θα είχαμε μια έξοδο 12v.



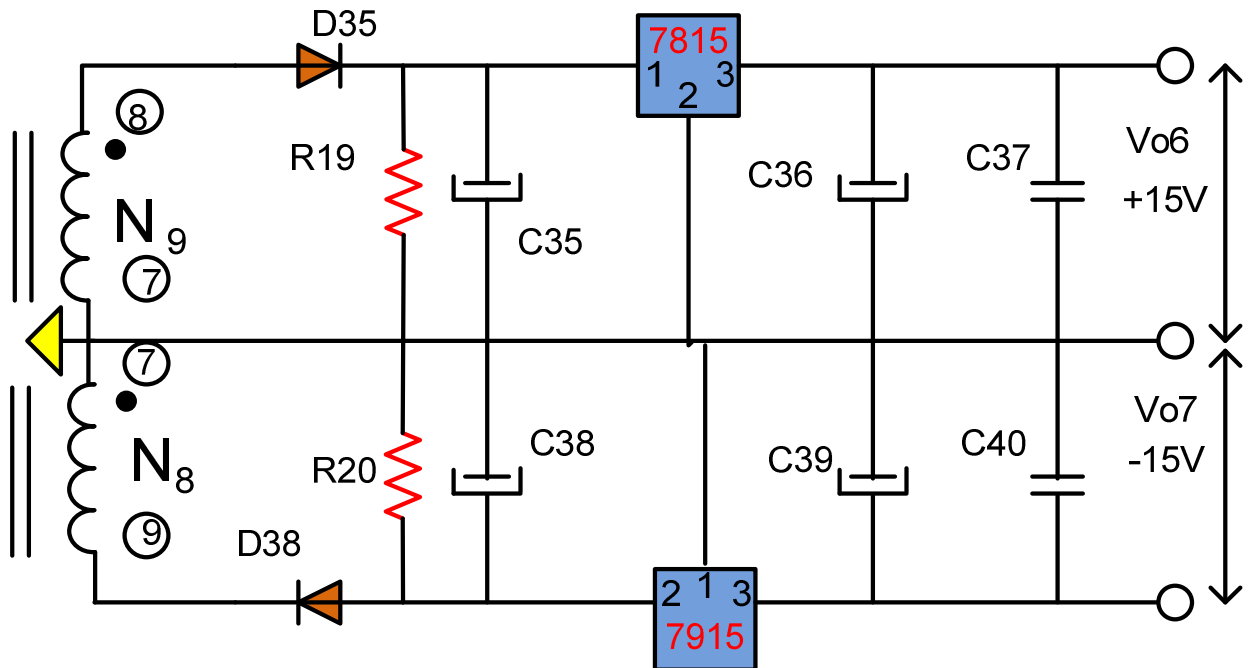
Σχήμα 4.12: Σχηματικό διάγραμμα των εξόδων των 12v ανεξάρτητων μεταξύ τους, του τροφοδοτικού που κατασκευάστηκε.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:

- D25,D27,D29,D31,D33:ΔΙΟΔΟΙ MUR 1100
- C25,C27,C29,C31,C33:330μf/25v
- C26,C28,C30,C32,C34: 200 nf/50v
- DZ1,DZ2,DZ3,DZ4,DZ5: ΔΙΟΔΟΙ ZENER ΣΤΑ 16v

4.7 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΤΩΝ +15V ΚΑΙ -15V ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ.

Εδώ έχουμε ακριβώς την ίδια τοπολογία με αυτή των 12v με την διαφορά ότι παρεμβάλαμε στις εξόδους και δυο γραμμικά, το AN7815 για να πάρουμε τα +15v και το AN7915 για να πάρουμε τα -15v,έτσι έχουμε:



Σχήμα 4.13: Σχηματικό διάγραμμα των εξόδων των 15v, του τροφοδοτικού που κατασκευάστηκε.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:

- D35,D38:ΔΙΟΔΟΙ MUR 1100
- R19,R20:5KΩ (για σωστή τάση αναφοράς των 7X15)
- C35,C38:330μf/35v
- C37,C40:1000μf /35v
- C36,C39: 330μf/35v
- AN 7815: Γραμμικός ρυθμιστής στα +15v.
- AN 7915: Γραμμικός ρυθμιστής στα -15v.

4.8 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ.

Με βάση την παράγραφο 4.2.2.4 και του AN 4105 και δεδομένου ότι χρησιμοποιούμε ως μπρομπίνα το ETD 44 με πυρήνα 3F3,Ο μετασχηματιστής απομόνωσης έχει ένα πρωτεύον και εννέα δευτερεύον όπως φαίνεται κ στα σχήματα παραπάνω. Περιγράφοντας τα τυλίγματα έχουμε:

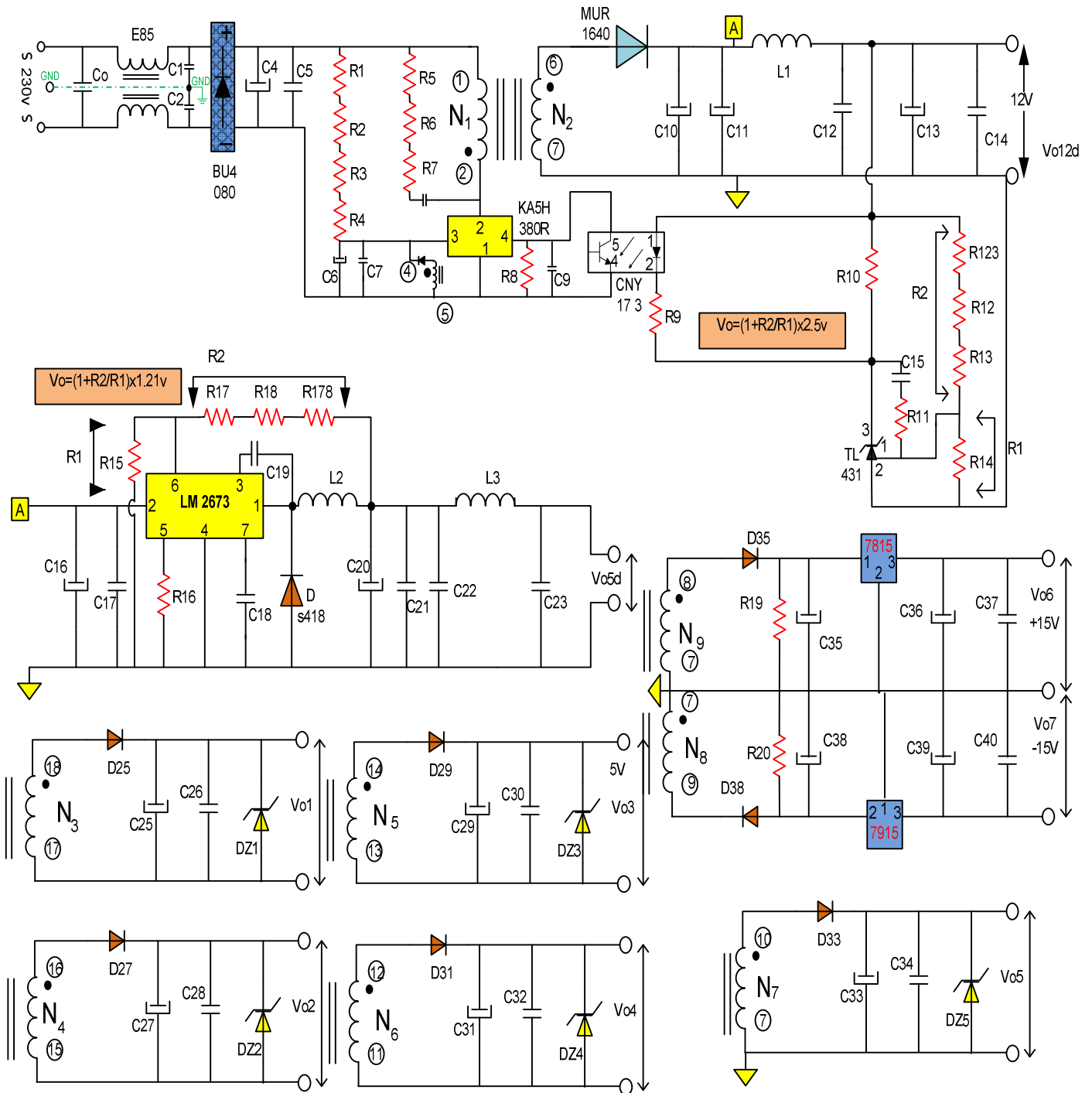
ΠΡΩΤΕΥΟΝ:

- N1:32 σπείρες και $L_m=565\mu\text{H}$

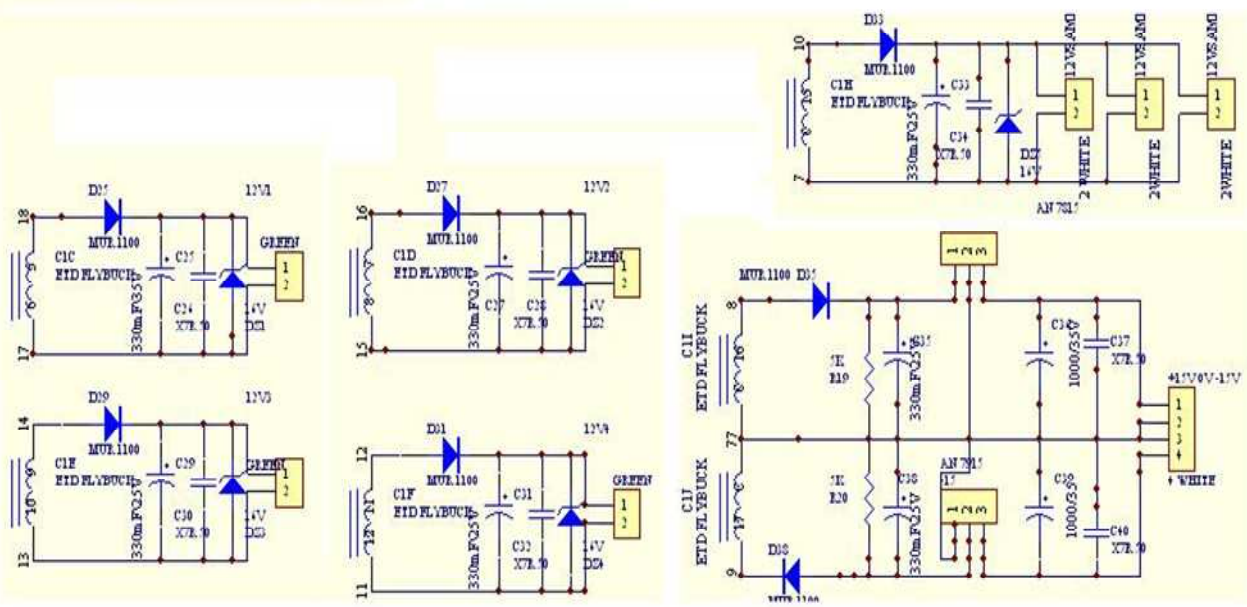
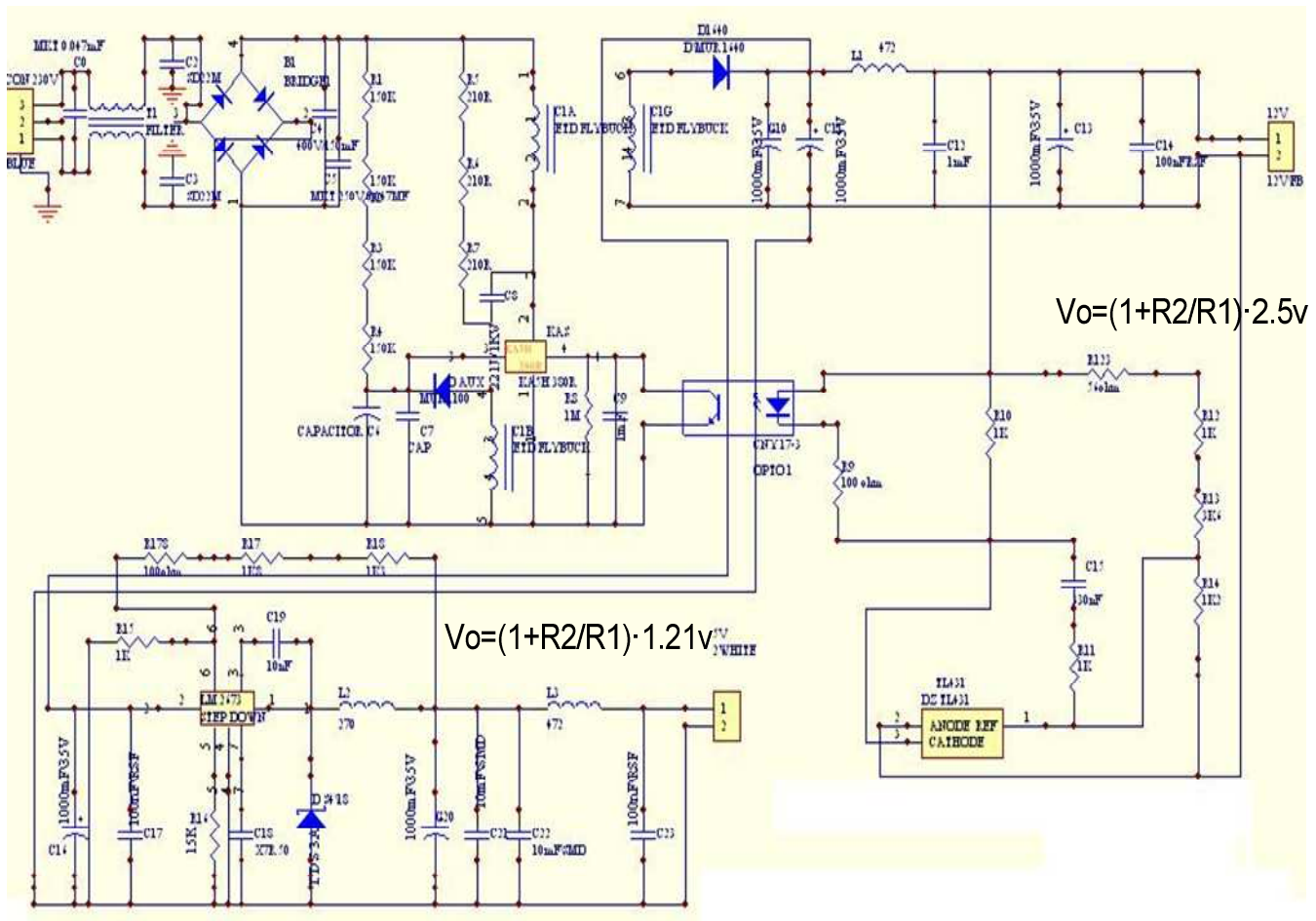
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ:

- N2:4 σπείρες και $L2=10.45\mu\text{H}$
- N3:4 σπείρες και $L3=11.30\mu\text{H}$
- N4:4 σπείρες και $L4=10.95\mu\text{H}$
- N5:4 σπείρες και $L5=10.7\mu\text{H}$
- N6:4 σπείρες και $L6=10.66\mu\text{H}$
- N7:4 σπείρες και $L7=10.82\mu\text{H}$
- N9:7 σπείρες και $L9=30.55\mu\text{H}$
- N8:7 σπείρες και $L8=30.40\mu\text{H}$
- N10:4 σπείρες και $L10=10.90\text{Mh}$
- Το διάκενο είναι 0.2mm

Στη συνέχεια έχουμε το τελικό σχηματικό όλης της κατασκευής καθώς και το σχηματικό της τελικής κάρτας PCB:



Σχήμα 4.13: Τελικό σχηματικό όλης της κατασκευής



Σχήμα 4.14: Σχηματικό της τελικής κάρτας PCB:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ—ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε κάποια παλμογραφήματα του τροφοδοτικού, μετρήσεις καθώς και γραφικές παραστάσεις βαθμού απόδοσης, τάσεων εξόδου και κυμάτωση τάσεων εξόδου

5.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ 12V*D* ΚΑΙ 5V*D* ΜΕΤΑΒΑΛΛΕΤΑΙ ΕΝΩ Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟ Ο*W*

<u>Id12(A)</u>	<u>Id5(A)</u>	<u>Iin(A)</u>	<u>Vin(V)</u>	<u>Vo12d(V)</u>	<u>Vo5d(V)</u>	<u>Vo1(V)</u>	<u>Vo2(V)</u>	<u>Vo3(V)</u>
0	0	0,0072	308	12,05	5,07	14,67	14,51	14,45
0	0,5	0,0222	308	12,05	5,05	14,89	14,7	14,66
0	1	0,0332	307,7	12,05	5,03	14,97	14,77	14,68
0	1,5	0,045	307,4	12,05	4,997	15,11	14,9	14,77
0,5	0	0,0345	308,5	12,05	5,06	15,11	14,9	14,76
0,5	0,5	0,04635	308	12,05	5,05	15,23	15,02	14,82
0,5	1	0,0575	307,6	12,05	5,03	15,36	15,14	14,88
0,5	1,5	0,0678	308,9	12,05	4,993	15,5	15,27	14,97
1	0	0,0591	309,4	12,05	5,06	15,43	15,21	14,93
1	0,5	0,0694	309,7	12,05	5,05	15,55	15,32	14,99
1	1	0,0804	310,5	12,05	5,03	15,69	15,44	15,07
1	1,5	0,0926	310	12,05	4,993	15,82	15,57	15,15
1,5	0	0,0825	310	12,05	5,06	15,75	15,5	15,12
1,5	0,5	0,0947	310,1	12,05	5,05	15,87	15,61	15,19
1,5	1	0,1062	309,7	12,05	5,03	15,99	15,72	15,27
1,5	1,5	0,1167	309,2	12,05	4,993	16,11	15,84	15,35

<u>Id12(A)</u>	<u>Id5(A)</u>	<u>Vo4(V)</u>	<u>Vo5(V)</u>	<u>Vo6(V)</u>	<u>Vo7(V)</u>	<u>PIN</u>	<u>POUT</u>	<u>n%</u>
0	0	14,59	13,8	14,86	-15,24	2,2176	0	0
0	0,5	14,8	14,05	14,86	-15,24	6,8376	2,525	36,92816
0	1	14,82	14,73	14,85	-15,24	10,21564	5,03	49,23823
0	1,5	14,84	14,86	14,85	-15,24	13,833	7,4955	54,18564
0,5	0	14,88	14,9	14,86	-15,24	10,64325	6,025	56,60865
0,5	0,5	14,89	14,91	14,86	-15,24	14,2758	8,55	59,89156
0,5	1	14,91	14,91	14,86	-15,24	17,687	11,055	62,50353
0,5	1,5	14,94	14,91	14,86	-15,24	20,94342	13,5145	64,52862
1	0	14,93	14,91	14,86	-15,24	18,28554	12,05	65,89907
1	0,5	14,95	14,91	14,86	-15,24	21,49318	14,575	67,81221
1	1	14,98	14,92	14,86	-15,24	24,9642	17,08	68,41797
1	1,5	15,02	14,92	14,86	-15,24	28,706	19,5395	68,06765
1,5	0	15,01	14,92	14,86	-15,24	25,575	18,075	70,67449
1,5	0,5	15,04	14,93	14,86	-15,24	29,36647	20,6	70,14803

Id12(A)	Id5(A)	Iin(A)	Vin(V)	Vo12d(V)	Vo5d(V)	Vo1(V)	Vo2(V)	Vo3(V)	Vo4(V)	Vo5(V)
0	0	0,00771	314	12,05	5,06	11,51	11,53	11,5	11,47	11,48
0	0,5	0,0235	314	12,05	5,05	13,04	12,95	12,66	12,39	12,08
0	1	0,03418	313,5	12,05	5,03	14,11	13,92	13,43	12,95	12,29
0	1,5	0,0453	314,8	12,05	4,996	14,98	14,78	14,12	13,44	12,49
0,5	0	0,03625	311,1	12,05	5,06	14,28	14,08	13,55	13,03	12,33
0,5	0,5	0,0475	311,12	12,05	5,05	15,01	14,81	14,19	13,5	12,52
0,5	1	0,0583	311,1	12,05	5,03	15,15	14,95	14,55	13,78	12,65
0,5	1,5	0,0685	310,8	12,05	4,976	15,31	15,1	14,8	14,02	12,77
1	0	0,0601	311,4	12,05	5,07	15,22	15,01	14,63	13,84	12,68
1	0,5	0,0705	310,4	12,05	5,05	15,35	15,14	14,82	14,07	12,79
1	1	0,0819	309,9	12,05	5,03	15,49	15,26	14,9	14,24	12,88
1	1,5	0,094	310	12,05	4,993	15,63	15,4	14,99	14,43	12,97
1,5	0	0,084	310	12,05	5,06	15,56	15,33	14,95	14,3	12,91
1,5	0,5	0,0963	309,3	12,05	5,05	15,68	15,44	15,03	14,47	12,99
1,5	1	0,1074	309,4	12,05	5,03	15,81	15,57	15,12	14,65	13,08
1,5	1,5	0,1196	309,5	12,05	4,994	15,98	15,73	15,25	14,96	13,29

Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ 12Vd ΚΑΙ 5Vd ΜΕΤΑΒΑΛΛΕΤΑΙ ΕΝΩ Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟ 0.1W

Id12(A)	Id5(A)	Vo12d(V)%	Vo5d(V)%	Vo1(V)%	Vo2(V)%	Vo3(V)%	Vo4(V)%	Vo5(V)%	Vo6(V)%	Vo7(V)%
0	0	0,416667	1,4	22,25	20,91667	20,41667	21,58333	15	-0,93333	-1,6
0	0,5	0,416667	1	24,08333	22,5	22,16667	23,33333	17,08333	-0,93333	-1,6
0	1	0,416667	0,6	24,75	23,08333	22,33333	23,5	22,75	-1	-1,6
0	1,5	0,416667	-0,06	25,91667	24,16667	23,08333	23,66667	23,83333	-1	-1,6
0,5	0	0,416667	1,2	25,91667	24,16667	23	24	24,16667	-0,93333	-1,6
0,5	0,5	0,416667	1	26,91667	25,16667	23,5	24,08333	24,25	-0,93333	-1,6
0,5	1	0,416667	0,6	28	26,16667	24	24,25	24,25	-0,93333	-1,6
0,5	1,5	0,416667	-0,14	29,16667	27,25	24,75	24,5	24,25	-0,93333	-1,6
1	0	0,416667	1,2	28,58333	26,75	24,41667	24,41667	24,25	-0,93333	-1,6
1	0,5	0,416667	1	29,58333	27,66667	24,91667	24,58333	24,25	-0,93333	-1,6
1	1	0,416667	0,6	30,75	28,66667	25,58333	24,83333	24,33333	-0,93333	-1,6
1	1,5	0,416667	-0,14	31,83333	29,75	26,25	25,16667	24,33333	-0,93333	-1,6
1,5	0	0,416667	1,2	31,25	29,16667	26	25,08333	24,33333	-0,93333	-1,6

PIN	POUT	n%	Vo12d(V)	Vo5d(V)	Vo1(V)%	Vo2(V)%	Vo3(V)%	Vo4(V)%	Vo5(V)%	Vo6(V)%	Vo7(V)%
2,42094	0,518324	21,41003	0,41667	1,2	-4,08333	-3,9167	-4,16667	-4,41667	-4,33333	-0,86667	-1,6
7,379	3,106783	42,10303	0,41667	1	8,66667	7,91667	5,5	3,25	0,66667	-0,86667	-1,6
10,71543	5,655603	52,77999	0,41667	0,6	17,58333	16	11,9167	7,91667	2,41667	-0,93333	-1,6
14,26044	8,160016	57,22135	0,41667	-0,08	24,83333	23,1667	17,6667	12	4,083333	-0,93333	-1,6
11,27738	6,657862	59,03734	0,41667	1,2	19	17,3333	12,9167	8,583333	2,75	-0,93333	-1,6
14,7782	9,21887	62,38155	0,41667	1	25,08333	23,4167	18,25	12,5	4,333333	-0,93333	-1,6
18,13713	11,73766	64,71618	0,41667	0,6	26,25	24,5833	21,25	14,83333	5,41667	-0,93333	-1,6
21,2898	14,18382	66,6226	0,41667	-0,48	27,58333	25,8333	23,3333	16,83333	6,41667	-1	-1,6
18,71514	12,73656	68,05482	0,41667	1,4	26,83333	25,0833	21,9167	15,33333	5,66667	-1	-1,6
21,8832	15,27212	69,78924	0,41667	1	27,91667	26,1667	23,5	17,25	6,583333	-1	-1,6
25,38081	17,78524	70,07358	0,41667	0,6	29,08333	27,1667	24,1667	18,66667	7,333333	-1	-1,6
29,14	20,25363	69,50457	0,41667	-0,14	30,25	28,3333	24,9167	20,25	8,083333	-1	-1,6
26,04	18,7841	72,13556	0,41667	1,2	29,66667	27,75	24,5833	19,16667	7,583333	-1	-1,6
29,78559	21,31677	71,5674	0,41667	1	30,66667	28,6667	25,25	20,58333	8,25	-1	-1,6
33,22956	23,83034	71,71429	0,41667	0,6	31,75	29,75	26	22,08333	9	-1	-1,6
37,0162	26,30487	71,06312	0,41667	-0,12	33,16667	31,0833	27,0833	24,66667	10,75	-1	-1,6

Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ 12Vd ΚΑΙ 5Vd ΜΕΤΑΒΑΛΛΕΤΑΙ ΕΝΩ Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟ 0.5W

Id12(A)	Id5(A)	Iin(A)	Vin(V)	Vo12d(V)	Vo5d(V)	Vo1(V)	Vo2(V)	Vo3(V)	Vo4(V)	Vo5(V)	Vo6(V)	Vo7(V)
0	0	0,0016	305,4	11,05	5,07	1,6	3,1	2,7	1,7	2,2	3,6	-5,2
0	0,5	0,0362	305	12,06	5,05	11,73	11,76	11,68	11,62	11,57	14,85	-15,25
0	1	0,04895	304,9	12,05	5,03	12,09	12,1	11,96	11,85	11,75	14,84	-15,25
0	1,5	0,0615	304,3	12,05	4,99	12,38	12,37	12,18	12,01	11,86	14,82	-15,25
0,5	0	0,0511	304,3	12,05	5,06	12,15	12,16	12,01	11,89	11,79	14,82	-15,25
0,5	0,5	0,0633	303,8	12,05	5,05	12,43	12,42	12,22	12,04	11,88	14,81	-15,26
0,5	1	0,0734	304,8	12,05	5,03	12,7	12,67	12,4	12,17	11,94	14,81	-15,26
0,5	1,5	0,0848	304,4	12,05	4,976	12,96	12,91	12,59	12,3	11,99	14,8	-15,26
1	0	0,0753	305	12,05	5,06	12,74	12,71	12,44	12,2	11,95	14,8	-15,26
1	0,5	0,0868	304,7	12,05	5,05	13,01	12,95	12,63	12,33	12	14,8	-15,26
1	1	0,0985	304	12,05	5,03	13,26	13,19	12,81	12,46	12,04	14,8	-15,26
1	1,5	0,1095	304,3	12,05	4,991	13,51	13,42	12,99	12,59	12,08	14,79	-15,26
1,5	0	0,1005	304,5	12,05	5,06	13,31	13,23	12,84	12,49	12,05	14,79	-15,26
1,5	0,5	0,1113	304,5	12,05	5,05	13,56	13,46	13,02	12,61	12,1	14,79	-15,26
1,5	1	0,1211	304,3	12,05	5,03	13,81	13,69	13,2	12,73	12,13	14,79	-15,26
1,5	1,5	0,1311	303,7	12,05	4,993	14,05	13,92	13,37	12,85	12,17	14,79	-15,26

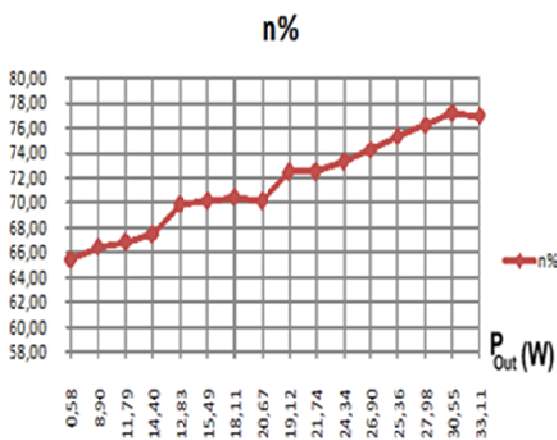
PIN	POUT	n%	Vo12d(V)%	Vo5d(V)%	Vo1(V)%	Vo2(V)%	Vo3(V)%	Vo4(V)%	Vo5(V)%	Vo6(V)%	Vo7(V)%
0,48864	0,239964	49,1086	-7,91667	1,4	-86,6667	-74,1667	-77,5	-85,8333	-81,6667	-76	65,33333
11,041	6,576026	59,56006	0,5	1	-2,25	-2	-2,66667	-3,16667	-3,58333	-1	-1,66667
14,92486	9,197474	61,62522	0,416667	0,6	0,75	0,833333	-0,33333	-1,25	-2,08333	-1,06667	-1,66667
18,71445	11,74117	62,73854	0,416667	-0,2	3,166667	3,083333	1,5	0,083333	-1,16667	-1,2	-1,66667
15,54973	10,21178	65,67177	0,416667	1,2	1,25	1,333333	0,083333	-0,91667	-1,75	-1,2	-1,66667
19,23054	12,82282	66,67946	0,416667	1	3,583333	3,5	1,833333	0,333333	-1	-1,26667	-1,73333
22,37232	15,40663	68,86467	0,416667	0,6	5,833333	5,583333	3,333333	1,416667	-0,5	-1,26667	-1,73333
25,81312	17,91791	69,41397	0,416667	-0,48	8	7,583333	4,916667	2,5	-0,08333	-1,33333	-1,73333
22,9665	16,41484	71,47297	0,416667	1,2	6,166667	5,916667	3,666667	1,666667	-0,41667	-1,33333	-1,73333
26,44796	19,01934	71,91232	0,416667	1	8,416667	7,916667	5,25	2,75	0	-1,33333	-1,73333
29,944	21,6015	72,13967	0,416667	0,6	10,5	9,916667	6,75	3,833333	0,333333	-1,33333	-1,73333
33,32085	24,13437	72,43023	0,416667	-0,18	12,58333	11,83333	8,25	4,916667	0,666667	-1,4	-1,73333
30,60225	22,61025	73,88426	0,416667	1,2	10,91667	10,25	7	4,083333	0,416667	-1,4	-1,73333
33,89085	25,21286	74,39428	0,416667	1	13	12,16667	8,5	5,083333	0,833333	-1,4	-1,73333
36,85073	27,79491	75,42566	0,416667	0,6	15,08333	14,08333	10	6,083333	1,083333	-1,4	-1,73333
39,81507	30,33153	76,18103	0,416667	-0,14	17,08333	16	11,41667	7,083333	1,416667	-1,4	-1,73333

Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ 12Vd ΚΑΙ 5Vd ΜΕΤΑΒΑΛΛΕΤΑΙ ΕΝΩ Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟ 1W

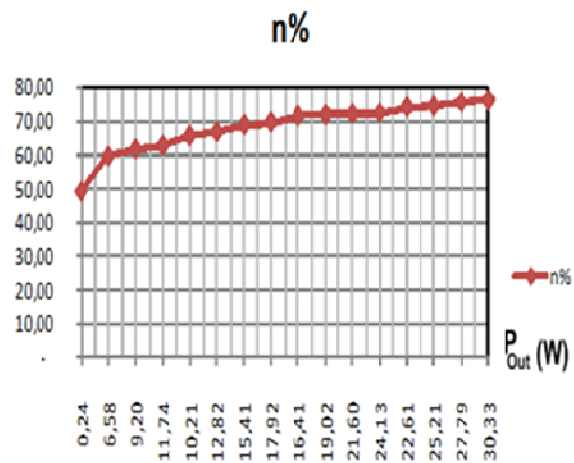
Id12(A)	Id5(A)	Iin(A)	Vin(V)	Vo12d(V)	Vo5d(V)	Vo1(V)	Vo2(V)	Vo3(V)	Vo4(V)	Vo5(V)	Vo6(V)	Vo7(V)
0	0	0,0029	303,7	10,57	5,07	3,14	2,76	3,25	2,9	5,13	3,6	-4,25
0	0,5	0,0443	302,4	12,05	5,05	11,21	11,27	11,19	11,14	11,1	14,84	-15,25
0	1	0,0583	302,5	12,05	5,03	11,72	11,76	11,66	11,6	11,55	14,83	-15,26
0	1,5	0,0706	302,3	12,05	4,991	11,96	11,99	11,85	11,76	11,7	14,81	-15,26
0,5	0	0,0607	302,5	12,05	5,06	11,78	11,83	11,72	11,65	11,61	14,81	-15,26
0,5	0,5	0,073	302,5	12,05	5,05	12	12,03	11,89	11,79	11,72	14,8	-15,26
0,5	1	0,0851	302,1	12,05	5,03	12,19	12,2	12,02	11,89	11,8	14,8	-15,26
0,5	1,5	0,0971	303,5	12,05	4,999	12,35	12,36	12,14	11,97	11,84	14,79	-15,26
1	0	0,0868	303,9	12,05	5,06	12,21	12,23	12,04	11,9	11,81	14,79	-15,26
1	0,5	0,0988	303,6	12,05	5,05	12,38	12,39	12,16	11,99	11,86	14,78	-15,26
1	1	0,1094	303,5	12,05	5,03	12,55	12,54	12,28	12,07	11,89	14,78	-15,27
1	1,5	0,1195	303,3	12,05	4,997	12,71	12,69	12,39	12,15	11,93	14,78	-15,27
1,5	0	0,1115	302	12,05	5,06	12,58	12,57	12,3	12,09	11,9	14,78	-15,27
1,5	0,5	0,1212	303,1	12,05	5,05	12,75	12,72	12,42	12,17	11,94	14,78	-15,27
1,5	1	0,131	302,2	12,04	5,03	12,9	12,87	12,52	12,24	11,96	14,77	-15,27
1,5	1,5	0,1425	302	12,04	4,998	13,07	13,01	12,63	12,32	11,99	14,77	-15,27

PIN	POUT	n%	Vo12d(V)	Vo5d(V)%	Vo1(V)%	Vo2(V)%	Vo3(V)%	Vo4(V)%	Vo5(V)%	Vo6(V)%	Vo7(V)%
0,88073	0,576195	65,42243	-11,9167	1,4	-73,8333	-77	-72,9167	-75,8333	-57,25	-76	71,66667
13,39632	8,900534	66,44014	0,416667	1	-6,58333	-6,08333	-6,75	-7,16667	-7,5	-1,06667	-1,66667
17,63575	11,78579	66,82897	0,416667	0,6	-2,33333	-2	-2,83333	-3,33333	-3,75	-1,13333	-1,73333
21,34238	14,39937	67,46845	0,416667	-0,18	-0,33333	-0,08333	-1,25	-2	-2,5	-1,26667	-1,73333
18,36175	12,82723	69,85844	0,416667	1,2	-1,83333	-1,41667	-2,33333	-2,91667	-3,25	-1,26667	-1,73333
22,0825	15,48984	70,14532	0,416667	1	0	0,25	-0,91667	-1,75	-2,33333	-1,33333	-1,73333
25,70871	18,10724	70,43231	0,416667	0,6	1,583333	1,666667	0,166667	-0,91667	-1,66667	-1,33333	-1,73333
29,46985	20,6696	70,13813	0,416667	-0,02	2,916667	3	1,166667	-0,25	-1,33333	-1,4	-1,73333
26,37852	19,11615	72,46861	0,416667	1,2	1,75	1,916667	0,333333	-0,83333	-1,58333	-1,4	-1,73333
29,99568	21,74024	72,4779	0,416667	1	3,166667	3,25	1,333333	-0,08333	-1,16667	-1,46667	-1,73333
33,2029	24,34133	73,31085	0,416667	0,6	4,583333	4,5	2,333333	0,583333	-0,91667	-1,46667	-1,8
36,24435	26,90075	74,22052	0,416667	-0,06	5,916667	5,75	3,25	1,25	-0,58333	-1,46667	-1,8
33,673	25,35535	75,29875	0,416667	1,2	4,833333	4,75	2,5	0,75	-0,83333	-1,46667	-1,8
36,73572	27,97797	76,16013	0,416667	1	6,25	6	3,5	1,416667	-0,5	-1,46667	-1,8
39,5882	30,55315	77,17741	0,333333	0,6	7,5	7,25	4,333333	2	-0,33333	-1,53333	-1,8

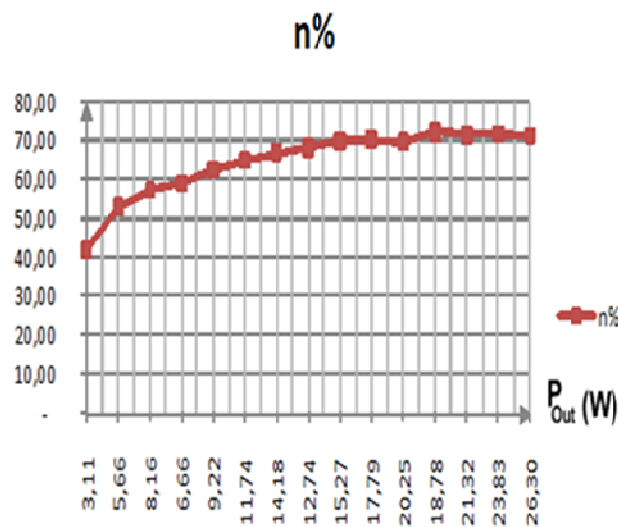
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (n%) ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ:



Η ισχύς του φορτίου των εξόδων 12Vd και 5Vd μεταβάλλεται ενώ η ισχύς του φορτίου των άλλων εξόδων σταθερό 1W.

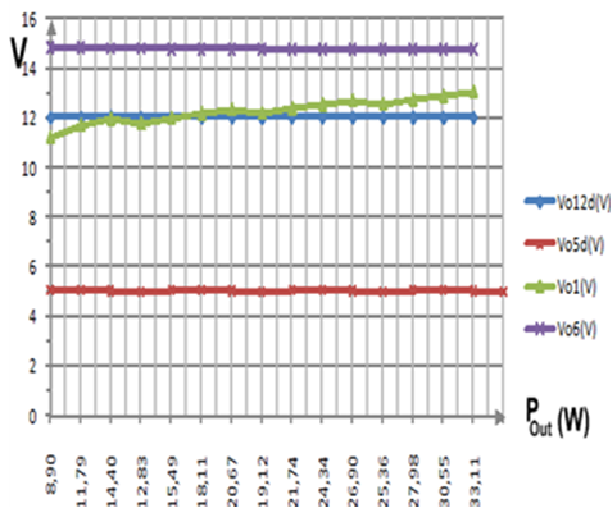


Η ισχύς του φορτίου των εξόδων 12Vd και 5Vd μεταβάλλεται ενώ η ισχύς του φορτίου των άλλων εξόδων σταθερό 0.5W.

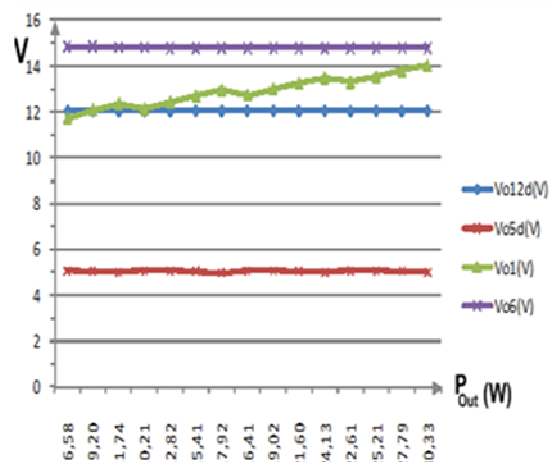


Η ισχύς του φορτίου των εξόδων 12Vd και 5Vd μεταβάλλεται ενώ η ισχύς του φορτίου των άλλων εξόδων σταθερό 0.1W.

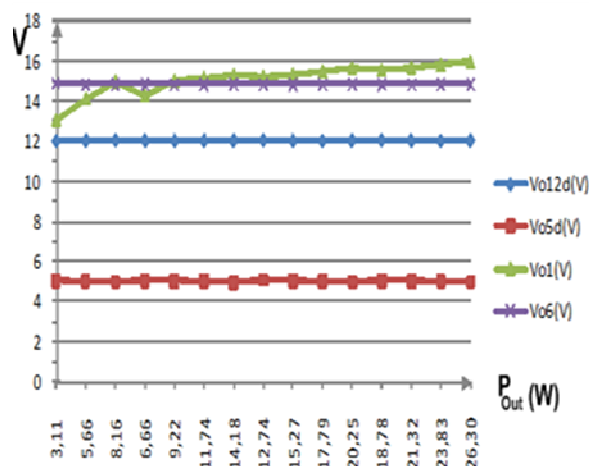
ΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΔΟΥ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ:



Η ισχύς του φορτίου των εξόδων 12Vd και 5Vd μεταβάλλεται ενώ η ισχύς του φορτίου των άλλων εξόδων σταθερό 1W.

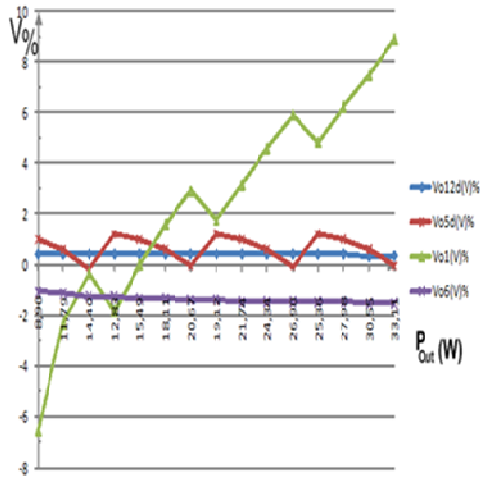


Η ισχύς του φορτίου των εξόδων 12Vd και 5Vd μεταβάλλεται ενώ η ισχύς του φορτίου των άλλων εξόδων σταθερό 0.5W.

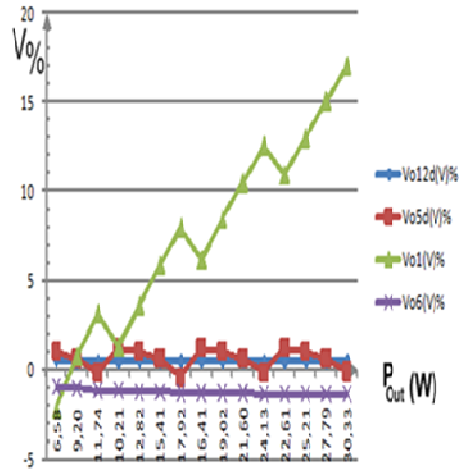


Η ισχύς του φορτίου των εξόδων 12Vd και 5Vd μεταβάλλεται ενώ η ισχύς του φορτίου των άλλων εξόδων σταθερό 0.1W.

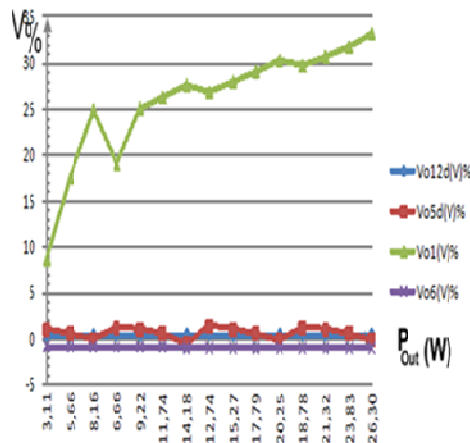
ΚΥΜΑΤΩΣΗ ΤΑΣΕΩΝ ΕΞΟΔΟΥ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ



Η ισχύς του φορτίου των εφόδων 12Vd και 5Vd μεταβάλλεται ενώ η ισχύς του φορτίου των άλλων εφόδων σταθερό 1W.

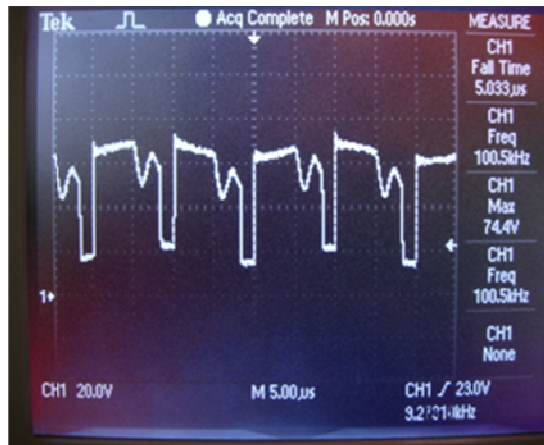


Η ισχύς του φορτίου των εφόδων 12Vd και 5Vd μεταβάλλεται ενώ η ισχύς του φορτίου των άλλων εφόδων σταθερό 0.5W.



Η ισχύς του φορτίου των εφόδων 12Vd και 5Vd μεταβάλλεται ενώ η ισχύς του φορτίου των άλλων εφόδων σταθερό 0.1W.

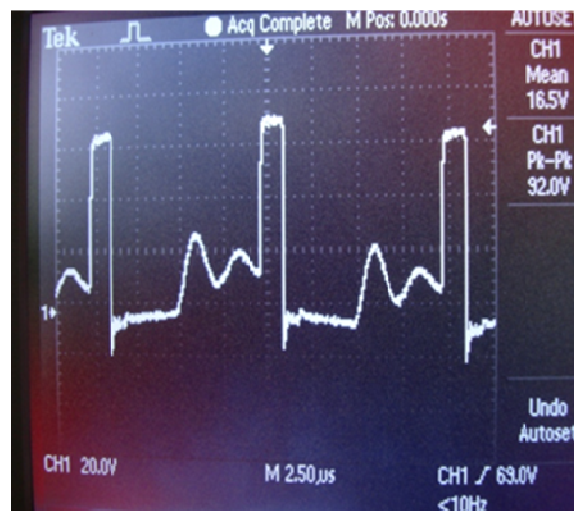
ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:



❖ Παλμογράφημα μεταξύ καθόδου της διόδου και γης στην βασική έξοδο 12Vd και για φορτίο 1A

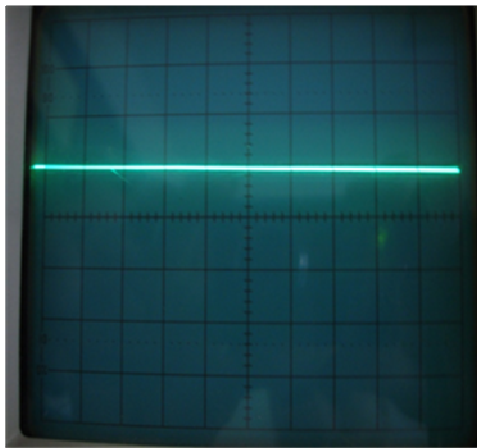


❖ Παλμογράφημα μεταξύ καθόδου της διόδου και γης στην έξοδο 5Vd και για φορτίο 1A

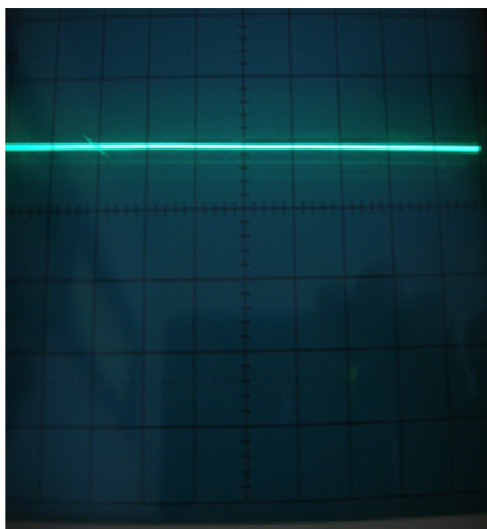
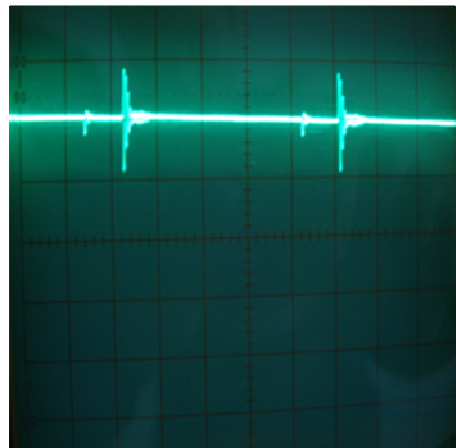


❖ Παλμογράφημα μεταξύ DRAIN-SOURCE του διακοπτικού, και για συνολικό φορτίο εξόδου 2A

ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΩΣΗΣ
ΕΞΟΔΩΝ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ:



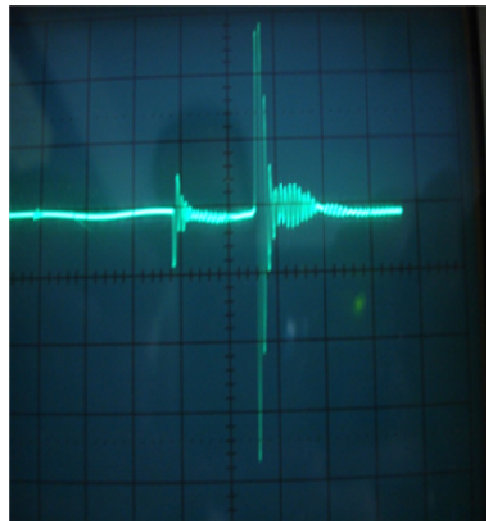
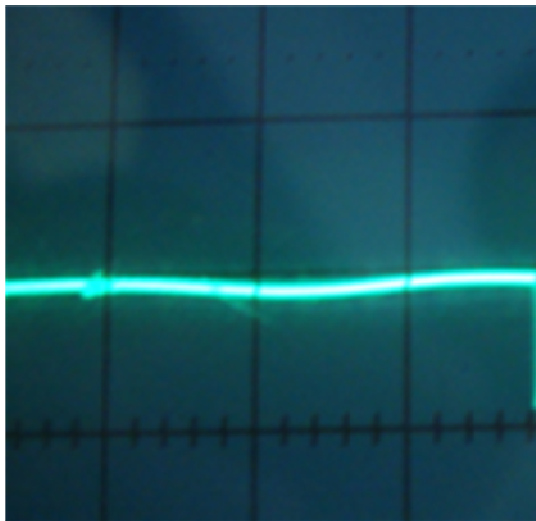
Vo12
d



Vo5
d



ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΩΣΗΣ
ΕΞΟΔΩΝ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ:



V01

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

[1] ΝΙΚΟΛΑΟΣ Π ΠΟΛΥΖΟΣ «ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ»

[2] POWER ELECTRONICS CONVERTERS, APPLICATIONS AND DESIGN, N. MOHAN/T.UNDELEND/W,ROBBINS

[3]WWW.NATIONAL.COM DATASHEET LM2673

[4]WWW.FAIRCHILDSEMI.COM. APPLICATION NOTE AN 4105

[5]WWW.FEROXCUBE.COM

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

