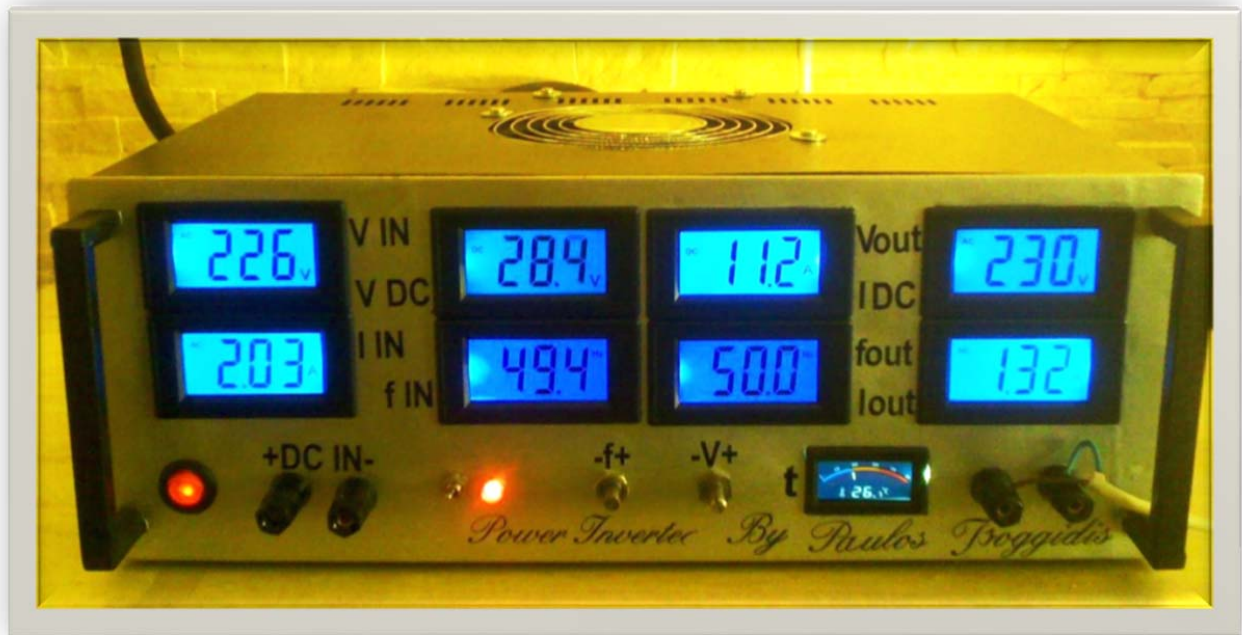


Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Μελέτη και κατασκευή μονοφασικού αντιστροφέα 0,7 kw

Επιβλέπων καθηγητής: Βυλλιώτης Ηρακλής

Σπουδαστής: Τσογγίδης Παύλος

Αρ. μητρώου: 27150

ΑΙΓΑΛΕΩ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

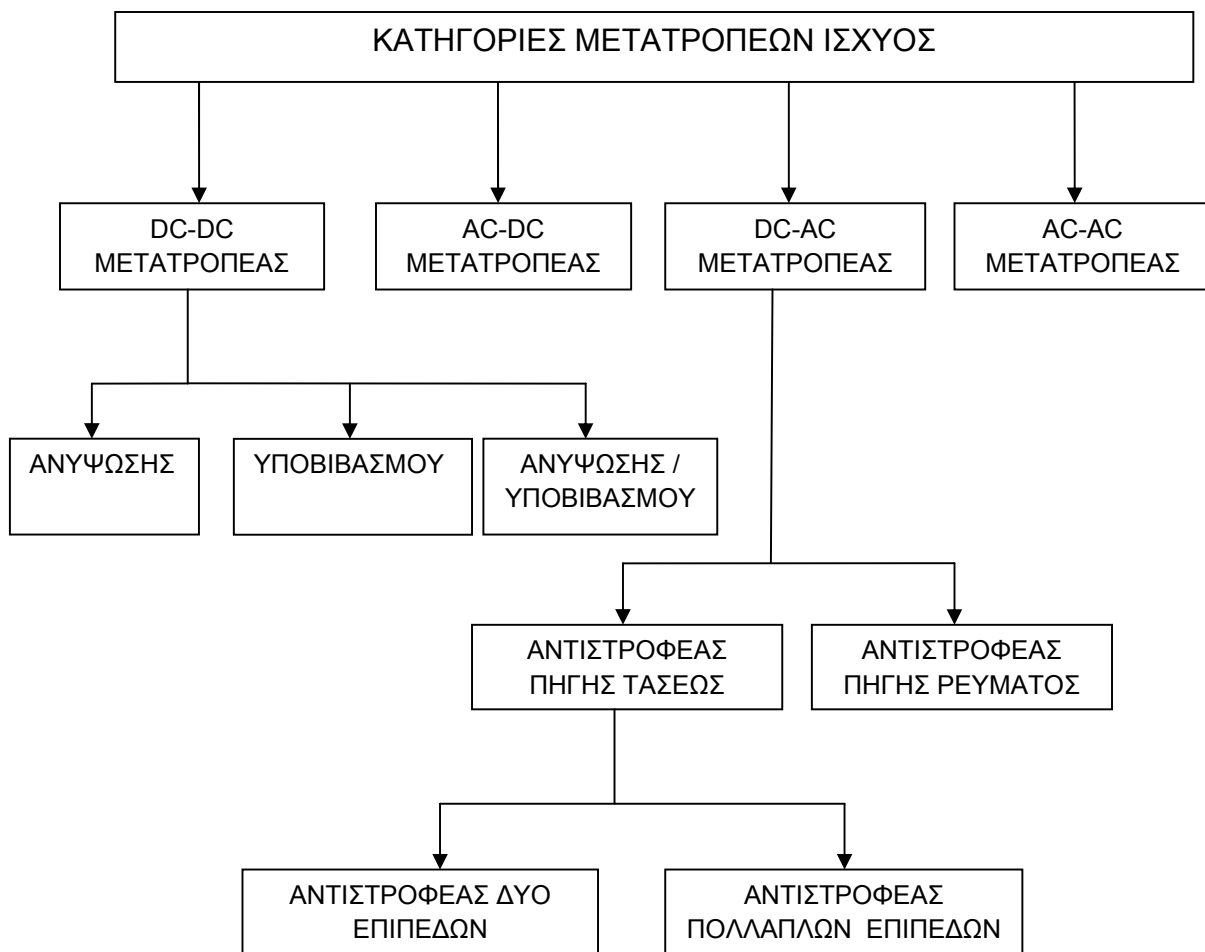
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.	3
<u>Κεφάλαιο 1</u>	
DC-DC Μετατροπείς.	4
<u>Κεφάλαιο 2</u>	
AC – DC Μετατροπείς.	6
<u>Κεφάλαιο 3</u>	
AC – AC Μετατροπείς.	7
<u>Κεφάλαιο 4</u>	
DC – AC Μετατροπείς.	8
4.1. Αντιστροφείς δύο επιπέδων.	9
4.2. Αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων.	10
4.3. Μονοφασικοί αντιστροφείς δύο επιπέδων σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας.	11
4.4. Μονοφασικοί αντιστροφείς σε συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας.	15
4.5. Μονοφασικοί push pull αντιστροφείς.	16
4.6. Τριφασικοί αντιστροφείς.	18
<u>Κεφάλαιο 5</u>	
Τεχνικές Εξάλειψης Αρμονικών.	19
5.1. Τεχνικές Διαμόρφωσης Εύρους παλμών.	21
5.2. Φίλτρα Εισόδου- Εξόδου αντιστροφέα.	22
5.3. Βαθύτερα φίλτρο εξόδου αντιστροφέα.	23
<u>Κεφάλαιο 6</u>	
Ημιαγωγικά Στοιχεία Ισχύος.	24
6.1. Bipolar Junction Transistor (BJT).	25
6.2. Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET).	26
6.3. Silicon Control Rectifier (SCR).	28
6.4. Gate Turn-Off thyristor (GTO).	29
6.5. Mos-Controlled Thyristor (MCT).	30
6.6. Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT).	31
<u>Κεφάλαιο 7</u>	
Κατασκευή αντιστροφέα.	32
7.1. Μετατροπέας AC/DC.	33
7.2. Αντιστροφέας DC/ AC.	35
7.3. Η βαθμίδα ελέγχου.	36
7.4. Σχεδιασμός – κατασκευή πλακέτας.	39
7.5. Βαθμίδα Ισχύος	43
<u>Κεφάλαιο 8</u>	
Όργανα Ελέγχου- Λειτουργίας	46
<u>Κεφάλαιο 9</u>	
Διαδικασία λήψης Μετρήσεων	47
Παράρτημα Α´ Datasheet	57
Βιβλιογραφία	58

Εισαγωγή

Η τεχνολογία των ηλεκτρονικών ισχύος ασχολείται με τεχνικές μετατροπής της ηλεκτρικής ισχύος από μια μορφή σε μια άλλη χρησιμοποιώντας ημιαγωγικά στοιχεία. Αυτά τα ημιαγωγικά στοιχεία μπορεί να είναι τρανζίστορ, Mosfet, θυρίστορ, GTO, IGBT, Triacs και δίοδοι.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι κύριες κατηγορίες μετατροπών που διακρίνονται ανάλογα με το είδος μετατροπής της ηλεκτρικής ισχύος και τη ροή ενέργειας.



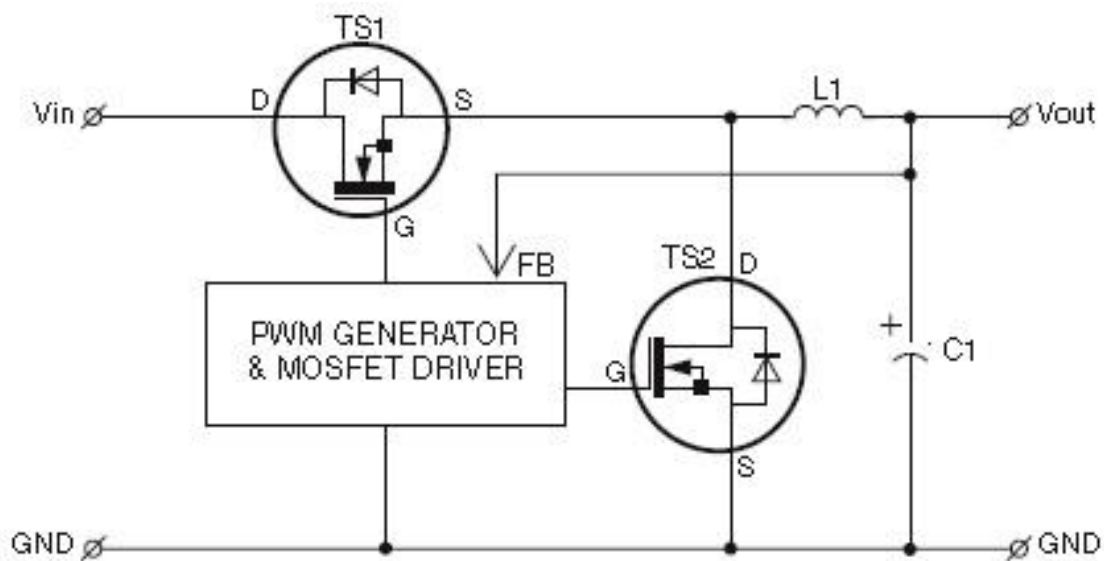
Κεφάλαιο 1.

DC-DC Μετατροπείς

Οι μετατροπείς συνεχούς τάσης (Dc-Dc converters) είναι κυκλώματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την μετατροπή μιας μη σταθεροποιημένης dc τάσης εισόδου σε μια ελεγχόμενη dc τάση εξόδου με επιθυμητό πλάτος και πολικότητα. Οι μετατροπείς συνεχούς τάσης έχουν ευρεία εφαρμογή σε συστήματα ελέγχου ταχύτητας ηλεκτρικών μηχανών συνεχούς ρεύματος, σε συστήματα ηλεκτρικής τροφοδοσίας τηλεπικοινωνιών και, παλμοτροφοδοτικά ηλεκτρονικών κυκλωμάτων τα οποία είναι τροφοδοτικά υψηλής συχνότητας και υψηλής απόδοσης.

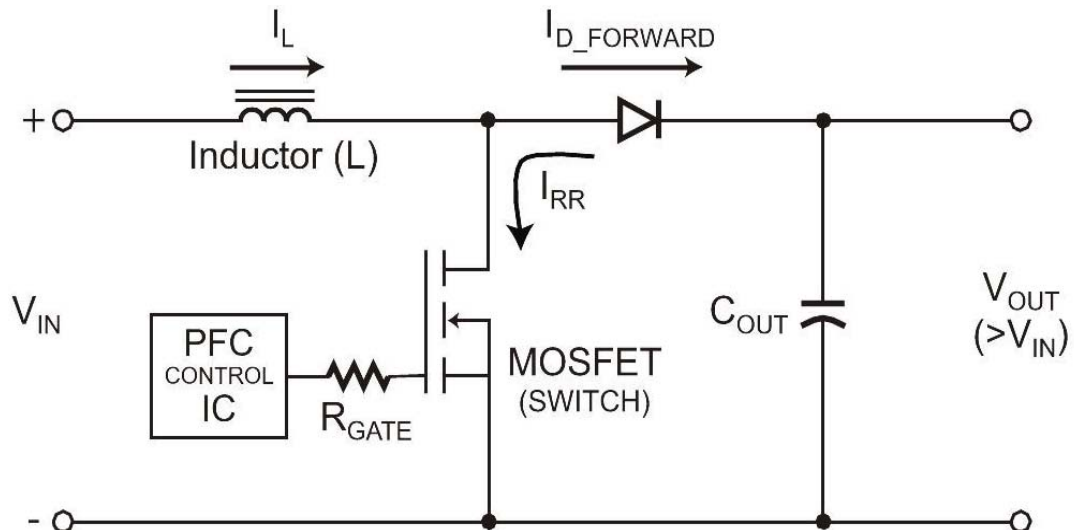
Οι μετατροπείς συνεχούς τάσης κατηγοριοποιούνται σε τρεις κύριες υποκατηγορίες.

α) Μετατροπέας υποβιβασμού (step-down /buck converter) όπου η τάση εξόδου είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την τάση εισόδου.



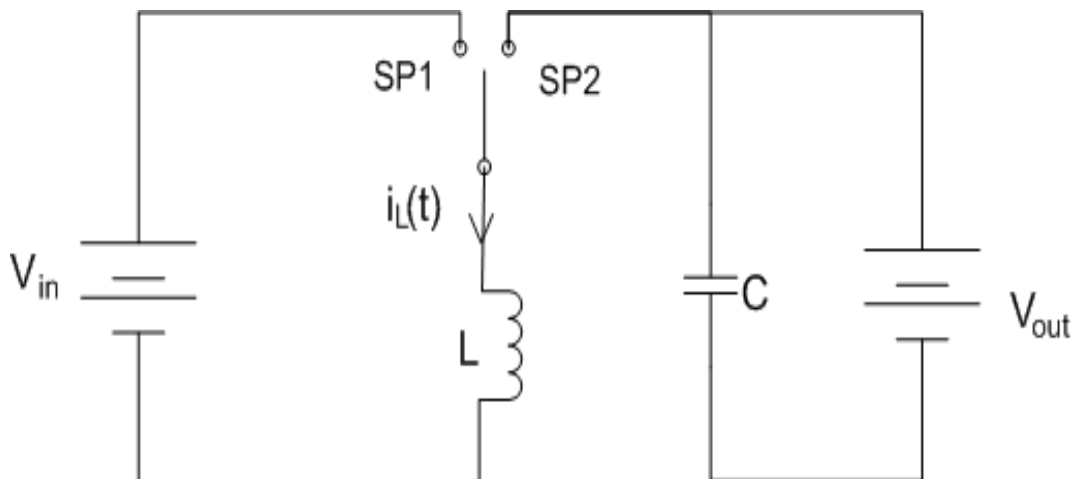
Τοπολογία μετατροπέα υποβιβασμού τάσης

β) Μετατροπέας αύψωσης (step-up/boost converter) όπου η τάση εξόδου είναι μεγαλύτερη ή το ίση με την τάση εισόδου.



Τοπολογία μετατροπέα αύψωσης τάσης

γ) Μετατροπέας αύψωσης-υποβιβασμού (Buck-boost converter) όπου η τάση εξόδου είναι μικρότερη, ίση ή μεγαλύτερη από την τάση εισόδου.



Τοπολογία μετατροπέα αύψωσης /υποβιβασμού τάσης

Κεφάλαιο 2.

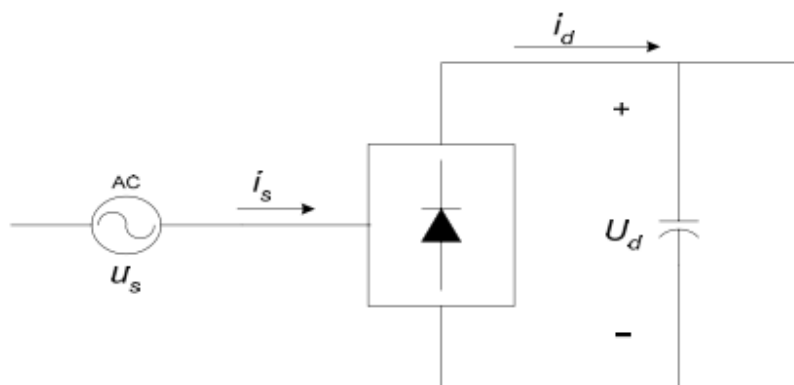
AC – DC Μετατροπείς (Ανορθωτικές διατάξεις).

Οι AC–DC Μετατροπείς (ανορθωτές) είναι τα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται σε συστήματα όπου η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από ένα σύστημα εναλλασσόμενης τάσης σε ένα σύστημα συνεχούς τάσης, μετατρέποντας την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες ανορθωτών:

- α. Οι μη ελεγχόμενοι ανορθωτές, οι οποίοι υλοποιούνται με διόδους
- β. Οι ημι-ελεγχόμενοι ανορθωτές, οι οποίοι υλοποιούνται με διόδους και θυρίστορ.
- γ. Οι πλήρως ελεγχόμενοι ανορθωτές, οι οποίοι υλοποιούνται με θυρίστορ

Στις περισσότερες εφαρμογές ισχύος χρησιμοποιείται ανορθωτική διάταξη με διόδους. Το χαμηλό κόστος της συγκεκριμένης διάταξης είναι η βασικότερη αιτία της επικράτησης της έναντι του ανορθωτή με ημιαγωγικά στοιχεία. Στους ανορθωτές με διόδους η ροή ισχύος έχει μία μόνο κατεύθυνση, από την πλευρά της εναλλασσόμενης τάσης προς την πλευρά της συνεχής τάσης. Το μειονέκτημα που παρουσιάζουν οι μη ελεγχόμενες ανορθωτικές διατάξεις έγκειται στο γεγονός ότι η τάση εξόδου μεταβάλλεται σύμφωνα με τις μεταβολές της τάσης τροφοδοσίας. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί, μέχρι ενός σημείου, με τη χρήση πυκνωτών μεγάλης χωρητικότητας στην έξοδο, οι οποίοι θα λειτουργούν σα φίλτρο. Ωστόσο, υπάρχουν εφαρμογές, στις οποίες η dc τάση εξόδου είναι απαραίτητο να έχει σταθερή τιμή. Σε τέτοιες περιπτώσεις η χρήση ανορθωτών με ημιαγωγικά στοιχεία αποτελεί μονόδρομο.

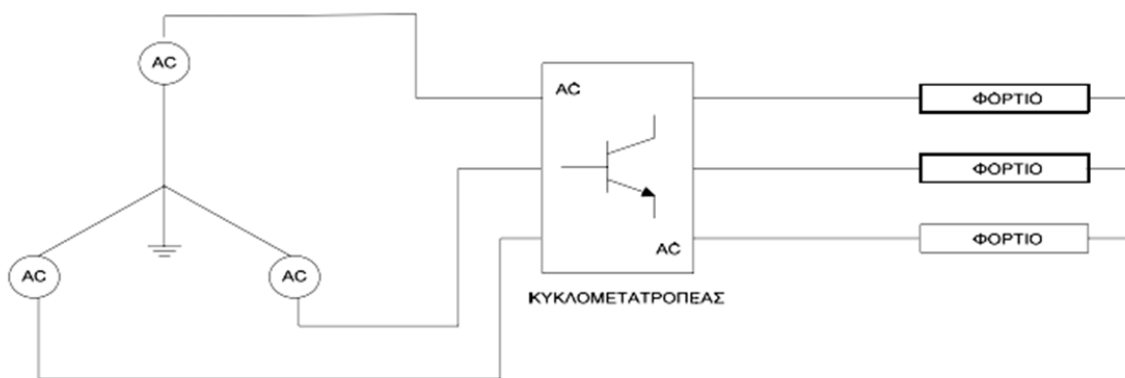


Μη ελεγχόμενη ανορθωτική διάταξη με διόδους.

Κεφάλαιο 3.

AC-AC Μετατροπείς.

Οι AC-AC μετατροπείς είναι κυκλώματα που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση μιας ορισμένης τιμής, συχνότητας και αριθμού φάσεων σε εναλλασσόμενη τάση άλλης τιμής, άλλης συχνότητας και κατά περιπτώσεις άλλου αριθμού φάσεων.



Σύστημα μετατροπείας εναλλασσόμενης τάσης

Κεφάλαιο 4.

DC-AC Μετατροπείς (Αντιστροφείς).

Οι αντιστροφείς αποτελούν μία κατηγορία μετατροπέων, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν μια πηγή συνεχούς τάσης ή συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενη τάση, μεταβλητής συχνότητας και πλάτους.

Οι αντιστροφείς διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

α) Στους αντιστροφείς πηγής τάσεως (VSI-Voltage Source Inverters) οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς τάσεως.

β) Στους αντιστροφείς πηγής ρεύματος (CSI - Current Source Inverters) οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς ρεύματος.

Οι αντιστροφείς πηγής τάσεως συμπεριφέρονται ως φυσική πηγή τάσης, κάτι που απαιτείται από τις περισσότερες εφαρμογές και είναι πιο διαδεδομένοι στην πράξη. Οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος χρησιμοποιούνται σε μηχανές πολύ υψηλής ισχύος.

Οι δύο παραπάνω κατηγορίες μπορούν να υποδιαιρεθούν:

α.. Στους μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας,

β. Στους μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία γέφυρας

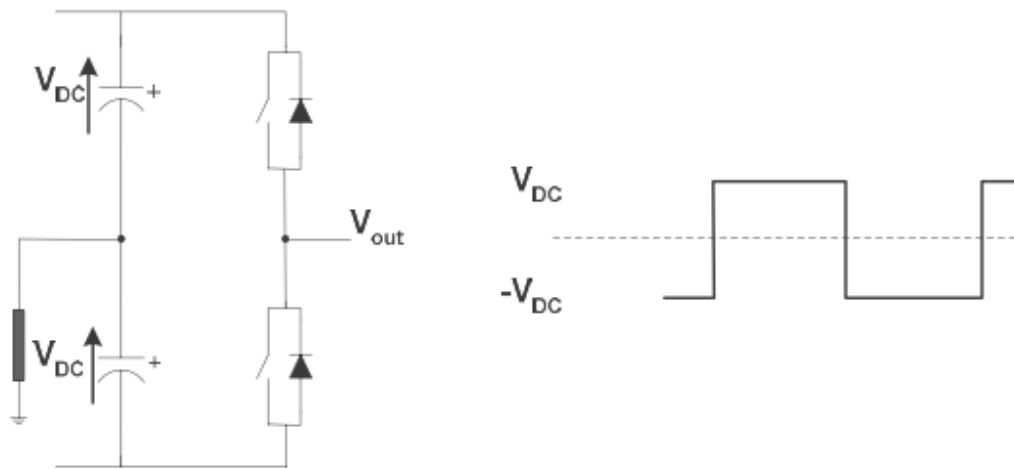
γ. Στους μονοφασικούς push pull αντιστροφείς.

δ. Στους τριφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας.

Ανάλογα με τα επίπεδα της φασικής τάσης εξόδου τους οι αντιστροφείς μπορούν να διακριθούν σε αντιστροφείς δύο επιπέδων, τριών επιπέδων, τεσσάρων επιπέδων, πέντε επιπέδων κτλ.

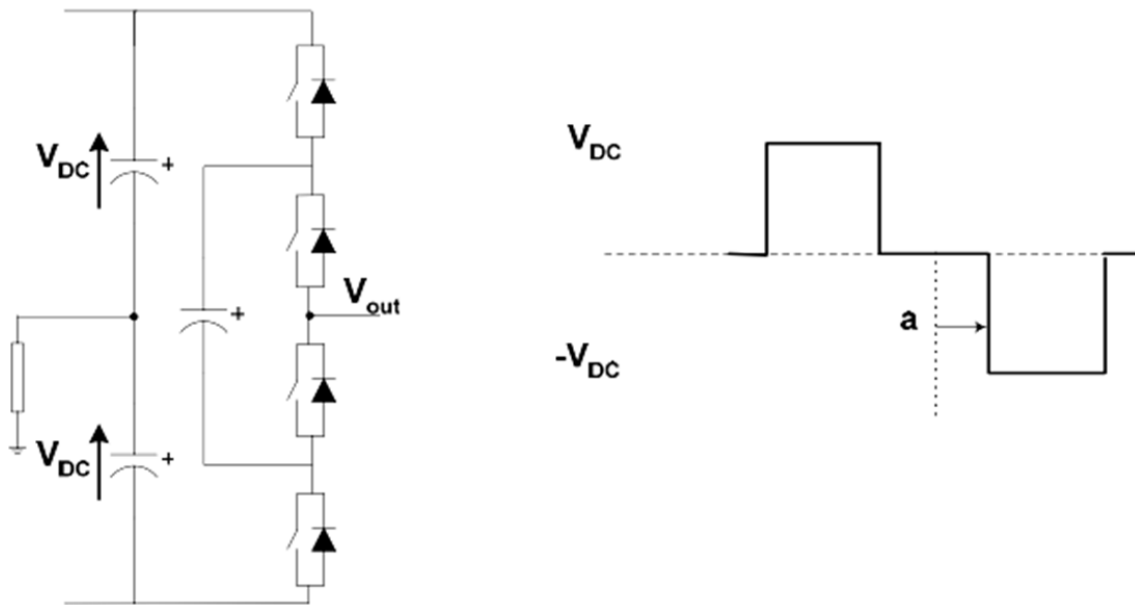
4.1. Αντιστροφείς δύο επιπέδων.

Οι αντιστροφείς δύο επιπέδων αποτελούν την πιο απλή τοπολογία αναστροφών. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται μια φάση του συμβατικού αντιστροφέα δύο επιπέδων, του οποίου η τάση εξόδου πρόκειται για έναν τετραγωνικό παλμό δύο καταστάσεων. Ο αντιστροφέας δύο επιπέδων είναι πολύ συνηθισμένος και είναι γνωστός και ως απλός αντιστροφέας.



Τοπολογία αντιστροφέα δύο επιπέδων και φασική τάση εξόδου

Οι αντιστροφείς δύο επιπέδων τάσης παρουσιάζουν ένα σημαντικό μειονέκτημα, η κλίση της τάσης dt/dv είναι αρκετά μεγάλη. Αυτό έχει ως συνέπεια την ύπαρξη αυξημένης καταπόνησης στις μονώσεις του φορτίου. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση αναστροφών πολλαπλών επιπέδων τάσης (Multilevel Inverters), στους οποίους η κυματομορφή εξόδου συντίθεται από πολλά επίπεδα τάσης, επιτυγχάνοντας έτσι υψηλότερες τάσεις εξόδου με μικρότερη μεταβολή της τάσης (dt/dv).

4.2. Αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων.

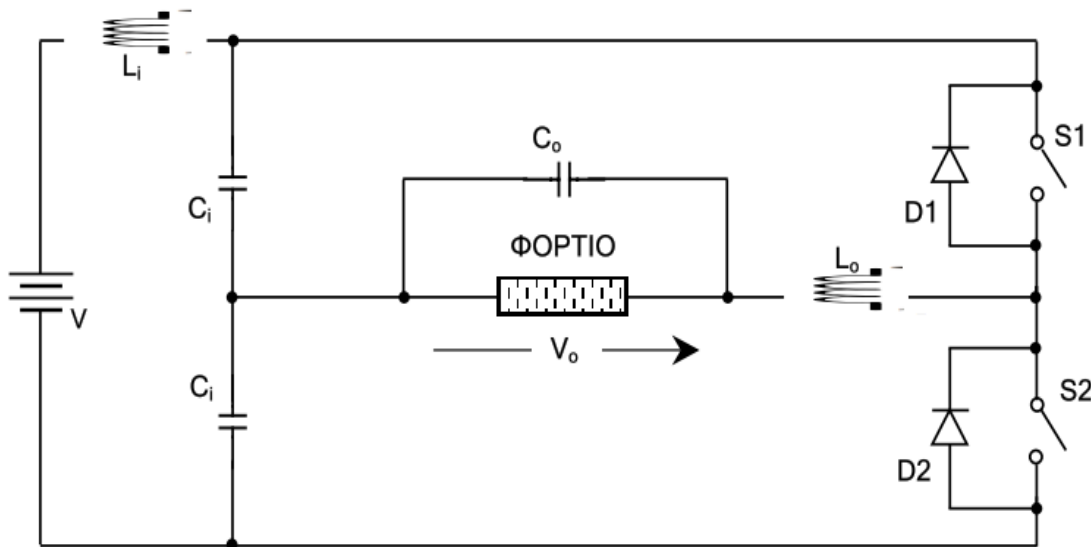
Τοπολογία αντιστροφέα τριών επιπέδων και φασική τάση εξόδου

Οι αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων περιλαμβάνουν μια σειρά από ημιαγωγικούς διακόπτες ισχύος και χωρητικότητες – πηγές τάσεως, η έξοδος των οποίων παράγει μια τάση με βηματική κυματομορφή. Οι πολυεπίπεδοι αντιστροφείς παρουσιάζουν δύο κύρια πλεονεκτήματα έναντι των απλών αντιστροφέων:

- α. Μπορούν να χειριστούν υψηλές dc τάσεις, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με την δημιουργία επιμέρους επιπέδων τάσης.
- β. Η τάση εξόδου τους παρουσιάζει μικρότερο αρμονικό περιεχόμενο, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με τη μετακίνηση μεταξύ των πολλαπλών επιπέδων τάσεως.

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται ο αντιστροφέας τριών επιπέδων. Η τάση εξόδου ενός τέτοιου αντιστροφέα είναι ένας τετραγωνικός παλμός τριών καταστάσεων. Σε αντίθεση με τον αντιστροφέα δύο επιπέδων, ο οποίος παρουσιάζει στην έξοδο του μη μηδενική τάση, η τάση εξόδου του αντιστροφέα τριών επιπέδων παρουσιάζει, όπως φαίνεται και στο σχήμα ένα μηδενικό επίπεδο για το ήμισυ της περιόδου.

4.3. Μονοφασικοί αντιστροφέες δύο επιπέδων σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας.



Τοπολογία μονοφασικού αντιστροφέα σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας

Οι διακόπτες S1, S2 μπορεί να είναι BJTs, MOSFETs, IGBTs, GTOs ή θυρίστορ ανάλογα με την απαιτούμενη ισχύ εξόδου. Οι διόδοι D1, D2 ονομάζονται διόδοι ελεύθερης διέλευσης και χρησιμοποιούνται για να επιτρέψουν τη διέλευση του ρεύματος εξόδου όταν οι διακόπτες S1, S2 βρίσκονται σε κατάσταση αποκοπής. Η τάση εξόδου είναι ένας τετραγωνικός παλμός με πλάτος $\pm V/2$. Ο έλεγχος της τάσης εξόδου είναι δυνατόν να επιτευχθεί με τη μεταβολή των διαστημάτων αγωγής των διακοπών S1, S2 μέσω των παλμών έναυσης αυτών. Όταν η τάση εξόδου πρέπει να αυξηθεί, τότε τα χρονικά διαστήματα αγωγής των διακοπών πρέπει να αυξηθούν και αντίστοιχα, όταν επιθυμούμε μείωση της τάσης εξόδου, τα χρονικά διαστήματα αγωγής των διακοπών πρέπει να μειωθούν. Συνεπώς, με κατάλληλη αυξομείωση των διαστημάτων αγωγής των ημιαγωγικών διακοπών μπορούμε να επιτύχουμε σταθεροποίηση της τάσης εξόδου σε σχέση με τις διάφορες διακυμάνσεις της πηγής εισόδου.

Κάθε περιοδικό σήμα συνεχούς χρόνου, όπως αυτό της τάσης εξόδου του αντιστροφέα μπορεί να γραφτεί ως σειρά απείρων όρων ημιτονοειδών σημάτων, σύμφωνα με τη θεωρία Fourier.

$$F(t) = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) + \sum_{m=1}^{\infty} b_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right)$$

Όπου:

$$\alpha_0 = \frac{1}{T} \int_{\tau_0}^{\tau_0+T} F(t) dt$$

Ο συντελεστής α_0 αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της συνάρτησης $F(t)$, που είναι γνωστή και ως τιμή DC. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο συντελεστής α_0 είναι ίσος με μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι η κυματομορφή της τάσης εξόδου του μονοφασικού αντιστροφέα δύο επιπέδων δεν περιέχει συνεχή συνιστώσα ή ότι είναι μηδενικής μέσης τιμής.

$$\alpha_m = \frac{2}{T} \int_{\tau_0}^{\tau_0+T} F(t) \cdot \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) dt$$

Οι συντελεστές α_m για περιττή συνάρτηση σύμφωνα με θεωρήματα της θεωρίας Fourier, είναι μηδενικοί.

Οι συντελεστές b_m

$$b_m = \frac{2}{T} \int_{\tau_0}^{\tau_0+T} F(t) \cdot \sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) dt$$

- Αν m είναι άρτιος αριθμός τότε $m=2k$, όπου $k \in \mathbb{Z}$

$$b_m = 0$$

- Αν m είναι περιττός αριθμός τότε $m=2k+1$, όπου $k \in \mathbb{N}$

$$b_m = \frac{2V}{m\pi}$$

Επομένως το ανάπτυγμα Fourier της κυματομορφής της τάσης εξόδου ενός μονοφασικού αντιστροφέα δύο επιπέδων περιγράφεται με την ακόλουθη σχέση:

$$V_o = \sum_{m=1,3,5,7,9}^{\infty} \frac{2V}{m\pi} \cdot \sin(m\omega t)$$

Οι πέντε πρώτες αρμονικές της κυματομορφής της τάση εξόδου του μονοφασικού αντιστροφέα δύο επιπέδων, με τη συχνότητα που εμφανίζονται στο φάσμα (θεμελιώδη συχνότητα $f=50\text{Hz}$) και το αντίστοιχο πλάτος τους θα είναι οι ακόλουθες:

1^η αρμονική συνιστώσα για $m=1$ (βασική αρμονική συνιστώσα):

$$V_{o1}(t) = \frac{2V}{\pi} \cdot \sin(\omega t) = 1.273 \cdot \left(\frac{V}{2}\right) \cdot \sin(\omega t) \rightarrow f_1 = 50 \text{ HZ}$$

2^η αρμονική συνιστώσα για $m=3$

$$V_{o3}(t) = \frac{2V}{3\pi} \cdot \sin(3\omega t) = 0.424 \cdot \left(\frac{V}{2}\right) \cdot \sin(3\omega t) \rightarrow f_2 = 150 \text{ HZ}$$

3^η αρμονική συνιστώσα για $m=5$

$$V_{o5}(t) = \frac{2V}{5\pi} \cdot \sin(5\omega t) = 0.255 \cdot \left(\frac{V}{2}\right) \cdot \sin(5\omega t) \rightarrow f_1 = 250 \text{ HZ}$$

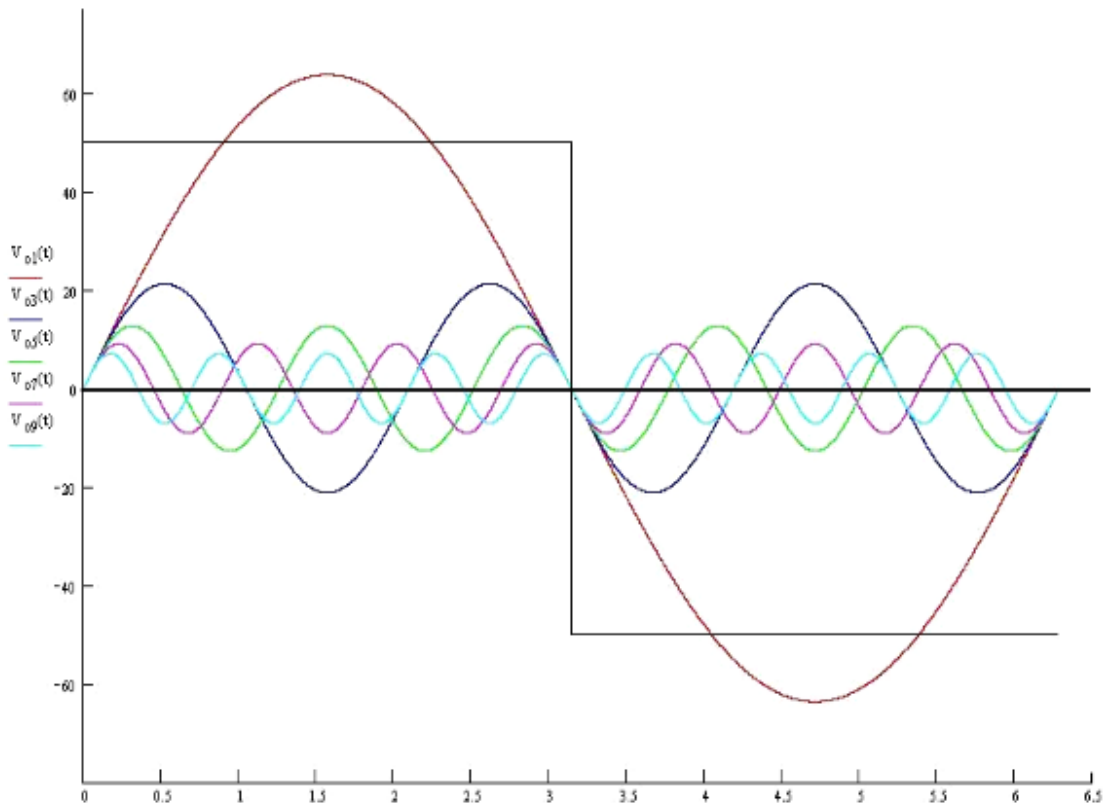
4^η αρμονική συνιστώσα για $m=7$

$$V_{o7}(t) = \frac{2V}{7\pi} \cdot \sin(7\omega t) = 0.182 \cdot \left(\frac{V}{2}\right) \cdot \sin(7\omega t) \rightarrow f_2 = 350 \text{ HZ}$$

5^η αρμονική συνιστώσα για $m=9$

$$V_{o9}(t) = \frac{2V}{9\pi} \cdot \sin(9\omega t) = 0.141 \cdot \left(\frac{V}{2}\right) \cdot \sin(9\omega t) \rightarrow f_1 = 450 \text{ HZ}$$

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται γραφικά οι κυματομορφές της βασικής αρμονικής και των τεσσάρων ανώτερων αρμονικών σε συνάρτηση με το χρόνο:



Κυματομορφές βασικής αρμονικής και ανωτέρων αρμονικών της τετραγωνικής μορφής τάσης εξόδου.

Ο συγκεκριμένος μμονοφασικός αντιστροφέας ημιγέφυρας παρουσιάζει τρία κυρίως μειονεκτήματα:

- α. Για την κατασκευή του χρειάζονται δύο πυκνωτές μεσαίας λήψης.
- β. Δεν μπορεί να δημιουργήσει τάση εξόδου με διαστήματα μηδενικής τάσης για μη ωμικά φορτία.
- γ. Το πλάτος της τάσης εξόδου έχει τη μισή τιμή της τάσης εισόδου.
- δ. Για την κατασκευή του χρειάζονται συνήθως p- channel MOSFETs, τα οποία έχουν υψηλότερο κόστος αγοράς καθώς και μεγαλύτερες απώλειες λειτουργίας.

4.4. Μονοφασικοί αντιστροφεείς δύο επιπέδων σε συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας.

Η συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας αποτελείται από δύο ημιγέφυρες με αποτέλεσμα η τάση εξόδου να έχει ίσο πλάτος με την τάση εισόδου.

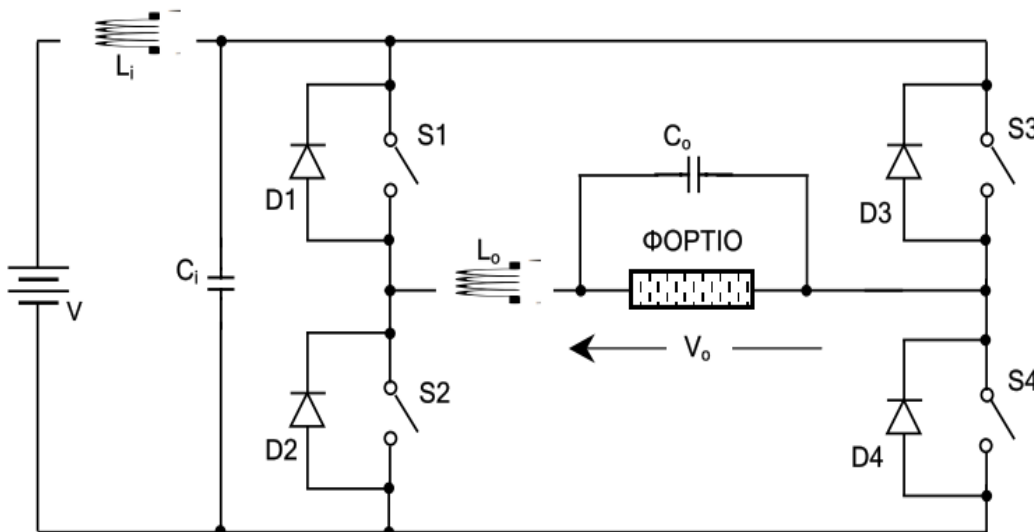
α. Όταν η τάση και το ρεύμα εξόδου έχουν θετικές τιμές, παρατηρείτε ότι άγει το ζεύγος διακοπών S1, S4, ενώ όταν έχουν αρνητικές τιμές άγει το ζεύγος S2, S3.

β. Αν η τάση εξόδου έχει μηδενική τιμή και το ρεύμα εξόδου έχει θετική τιμή τότε μπορεί να άγει ένα από τα ζεύγη των ημιαγωγικών στοιχείων S4, D2, S1, D4 επιτρέποντας έτσι στο λεγόμενο κυκλικό ρεύμα (circulating current) να κυκλοφορεί στο υποκύκλωμα του φορτίου.

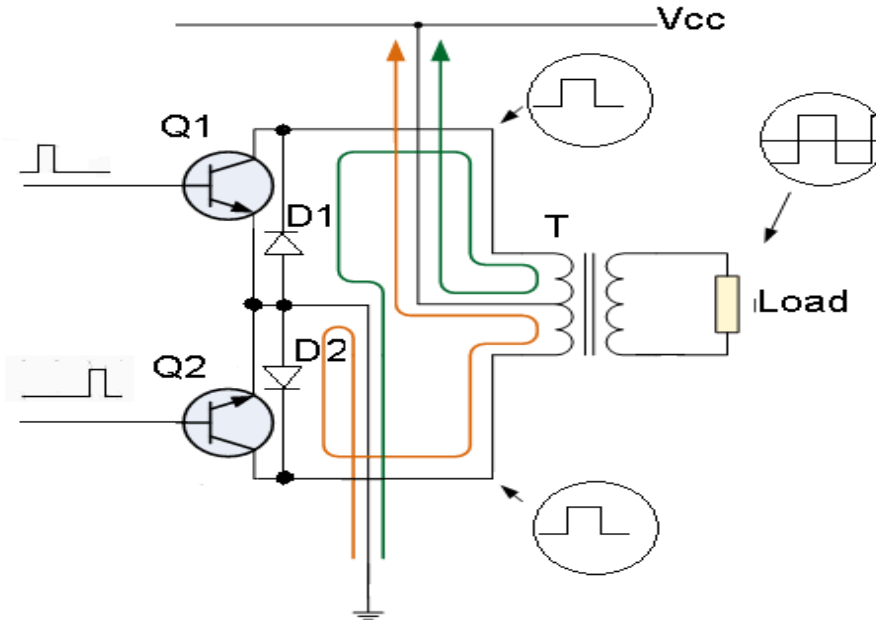
γ. Στην περίπτωση που η τάση εξόδου έχει μηδενική τιμή και το ρεύμα εξόδου έχει αρνητική τιμή, το υποκύκλωμα του φορτίου διαρρέεται πάλι από κυκλικό ρεύμα αφού άγει ένα από τα ζεύγη S3, D1, S2, D3. Το κυκλικό ρεύμα σε αυτήν την περίπτωση καλείται και άεργο ρεύμα διότι ο αυτεπαγωγικός χαρακτήρας του φορτίου ευθύνεται για τη μεταφορά αέργου ισχύος από την έξοδο προς την είσοδο.

δ. Όταν η τάση εξόδου έχει θετική τιμή και το ρεύμα εξόδου έχει αρνητική τιμή, το φορτίο είναι επαγωγικό και άγει το ζεύγος διόδων D1, D3.

ε. Όταν η τάση εξόδου έχει αρνητική τιμή και το ρεύμα εξόδου έχει θετική τιμή, το φορτίο είναι χωρητικό και άγει το ζεύγος διόδων D2, D4.



Μονοφασικοί αντιστροφεείς δύο επιπέδων σε συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας.

4.5. Μονοφασικοί push pull αντιστροφείς.Τοπολογία μονοφασικού push pull αντιστροφέα.

Η τοπολογία του αντιστροφέα push-pull απαιτεί ένα μετασχηματιστή με μεσαία λήψη στο πρωτεύον τυλίγμα. Οι διακόπτες Q1, Q2 μπορεί να είναι n-channel BJTs, MOSFETs, IGBTs, GTOs ή θυρίστορ ανάλογα με την απαιτούμενη ισχύ εξόδου. Οι δίοδοι D1, D2 ονομάζονται δίοδοι ελεύθερης διέλευσης και χρησιμοποιούνται για προστασία των διακόπτες Q1, Q2 από υπερτάσεις. Ένας αντιστροφέας push-pull μπορεί να λειτουργήσει με διαμόρφωση PWM ή με τετραγωνική κυματομορφή οι οποίες ταυτίζονται με εκείνες των αντιστροφέων με μισή και με πλήρη γέφυρα.

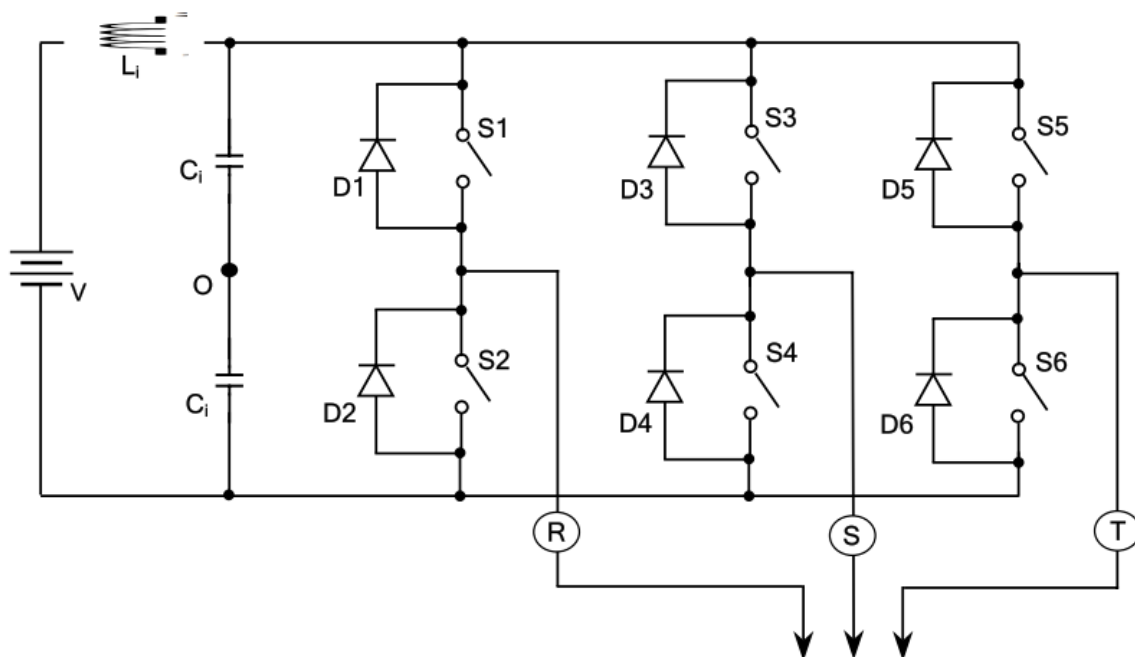
Στον αντιστροφέα push-pull είναι δύσκολο να αποφευχθεί ο dc κορεσμός του μετασχηματιστή. Το ρεύμα εξόδου, το οποίο είναι το ρεύμα στο δευτερεύον του μετασχηματιστή, είναι ένα αργά μεταβαλλόμενο ρεύμα στη θεμελιώδη συχνότητα της τάσης εξόδου και μπορεί να υποθεθεί σταθερό κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος μετάβασης. Όταν συμβαίνει μια μετάβαση, το ρεύμα μεταβαίνει από το ένα μισό στο άλλο μισό του πρωτεύοντος τυλιγματος. Απαιτείται πολύ καλή μαγνητική σύζευξη μεταξύ των δύο αυτών μισών τυλιγμάτων, με σκοπό τη μείωση της ενέργειας που σχετίζεται με την αυτεπαγωγή διαρροής των δύο πρωτευόντων τυλιγμάτων. Η ενέργεια αυτή θα καταναλωθεί

στους διακόπτες ή σε κυκλώματα snobbier που χρησιμοποιούνται για την προστασία των διακοπών. Αυτό είναι ένα γενικό φαινόμενο που σχετίζεται με όλους τους μετατροπείς (ή αντιστροφείς) με απομόνωση, όπου το ρεύμα σε ένα από τα τυλίγματα εξαναγκάζεται σε μηδενισμό με κάθε μετάβαση.

Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ σημαντικό στη σχεδίαση τέτοιων μετατροπέων. Σ' έναν αντιστροφέα push-pull με διαμόρφωση PWM για την παραγωγή ημιτονοειδούς εξόδου (αντίθετα με εκείνους που χρησιμοποιούνται σε dc τροφοδοτικά διακοπτικού τύπου), ο μετασχηματιστής πρέπει να είναι σχεδιασμένος για τη θεμελιώδη συχνότητα της τάσης εξόδου.

4.6. Τριφασικοί αντιστροφέες.

Ο τριφασικός αντιστροφέας αποτελείται από τρεις μονοφασικούς αντιστροφέες συνδεσμολογίας ημιγέφυρας ή push- pull συνδεδεμένους παράλληλα, με αποτέλεσμα η έξοδος σε κάθε φάση ξεχωριστά να περιγράφεται από την αρχή λειτουργίας του μονοφασικού αντιστροφέα. Η τροφοδοσία ενός τριφασικού φορτίου θα μπορούσε να γίνει και από τρεις ανεξάρτητους μονοφασικούς αντιστροφέες, οι οποίοι βέβαια θα υπακούουν στους νόμους των τριφασικών συστημάτων. Είναι ευνόητο ότι οι κυματομορφές εξόδου διαφέρουν κατά 120° ανά φάση και έχουν το ίδιο πλάτος. Παρά το γεγονός ότι μια τέτοια τοπολογία δύναται να τροφοδοτήσει ένα τριφασικό φορτίο, η ανάγκη για ύπαρξη τριφασικού μετασχηματιστή εξόδου ή ξεχωριστής πρόσβασης σε κάθε μια από τις τρεις φάσεις του φορτίου, περιορίζει τη χρήση της σε πρακτικό επίπεδο. Το ουδέτερο σημείο Ο είναι το σημείο αναφοράς για τις φασικές τάσεις και συχνά συμπίπτει με τη γείωση του συστήματος. Το φορτίο του συστήματος, μπορεί να είναι ισορροπημένο ή μη και να περιέχει οποιοδήποτε συνδυασμό αντίστασης, αυτεπαγωγής ή χωρητικότητας. Συνδέεται είτε κατ' αστέρα είτε κατά τρίγωνο και αντιστοίχως προσαρμόζεται και το φίλτρο εξόδου.



Τοπολογία τριφασικού αντιστροφέα

Κεφάλαιο 5

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΞΑΛΕΙΨΗΣ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το αρμονικό περιεχόμενο του ρεύματος είναι το είδος του φορτίου. Το αρμονικό περιεχόμενο του ρεύματος μεταβάλλεται ανάλογα με το αν το φορτίο είναι ωμικό, επαγωγικό ή χωρητικό. Οι αρμονικές τάσεως παράγονται κυρίως από τροφοδοτικά που παράγουν μη ημιτονοειδή κυματομορφή τάσεως. Τόσο οι αρμονικές ρεύματος όσο και οι αρμονικές τάσεως μπορούν να παραχθούν είτε από τη μεριά της πηγής είτε από τη μεριά του φορτίου. Στην τελευταία περίπτωση οι αρμονικές που παράγονται από το φορτίο οφείλονται σε μη γραμμική λειτουργία των διατάξεων όπως για παράδειγμα ένας μετατροπέας ισχύος. Η ύπαρξη αρμονικών συνιστωσών στην κυματομορφή της τάσεως ή του ρεύματος μπορεί να προκαλέσει τη δυσλειτουργία ενός συστήματος ισχύος. Επιγραμματικά αναφέρονται μερικές από τις συνέπειες της ύπαρξης αρμονικών:

- α. Οι αρμονικές τάσεως μπορούν να προκαλέσουν επιπρόσθετη θέρμανση σε σύγχρονους κινητήρες και γεννήτριες.
- β. Οι αρμονικές τάσεως που παρουσιάζουν υψηλές αιχμές μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στη μόνωση των καλωδίων και των πυκνωτών.
- γ. Οι αρμονικές τάσεως μπορούν να προκαλέσουν τη δυσλειτουργία των ηλεκτρονικών διατάξεων ή κυκλωμάτων τα οποία χρησιμοποιούν την κυματομορφή τάσεως για συγχρονισμό.
- δ. Οι αρμονικές ρεύματος στα τυλίγματα του κινητήρα μπορούν να προκαλέσουν ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παράγονται αντί-ροπές στον κινητήρα και ως εκ τούτου να επιβραδύνεται. Επιπρόσθετα οι αρμονικές ρεύματος προκαλούν επιπλέον θέρμανση των τυλιγμάτων του κινητήρα, αύξηση θερμικών απωλειών, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοση του κινητήρα.
- ε. Οι αρμονικές ρεύματος που ρέουν διαμέσου των καλωδίων μπορούν να προκαλέσουν υψηλότερα επίπεδα θερμοκρασίας πέραν του κανονικού που δημιουργείται από τη θεμελιώδη συνιστώσα ρεύματος.

στ. Οι αρμονικές ρεύματος που ρέουν διαμέσου ενός μετασχηματιστή μπορούν να προκαλέσουν υψηλότερα επίπεδα θερμοκρασίας στον πυρήνα του πέραν του κανονικού ορίου που δημιουργείται από τη θεμελιώδη συνιστώσα ρεύματος.

ζ. Οι αρμονικές ρεύματος που ρέουν διαμέσου circuit breakers και switch-gear μπορούν να αυξήσουν τις θερμικές απώλειες. Συντονισμένα ρεύματα τα οποία δημιουργούνται από αρμονικές ρεύματος και από τις διάφορες τοπολογίες φίλτρων σε κυκλώματα ισχύος μπορούν να προκαλέσουν αστάθεια τάσης πυκνωτών ή αστοχία ασφαλειών σε κάποιο ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι αρμονικές ρεύματος ή τάσεως μπορούν να προκαλέσουν εσφαλμένη διέγερση των ρελέ προστασίας και circuit breakers.

5.1. Τεχνικές Διαμόρφωσης Εύρους παλμών

Πολλές τεχνικές διαμόρφωσης παλμών μπορούν να εφαρμοστούν για την εξάλειψη των αρμονικών συνιστωσών και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

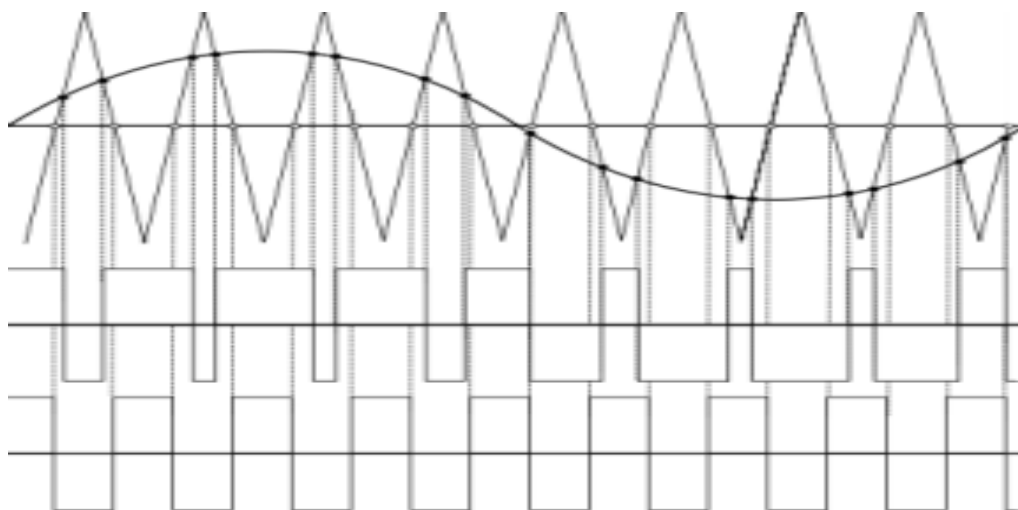
- α. τις παραδοσιακές τεχνικές πηγής τάσεως (PWM).
- β. τις τεχνικές ρύθμισης ρεύματος (Delta διαμόρφωση, Clocked sigma – delta modulation Hysteresis Control κτλ).

Οι κυριότερες τεχνικές πηγής τάσεως οι οποίες αποτελούν τη βάση των διακοπτικών στρατηγικών οδήγησης των αντιστροφέων επιγραμματικά είναι:

- α. Ημιτονοειδής Διαμόρφωση Εύρους Παλμών.
(Sinusoidal Pulse Width Modulation, SPWM)
- β. Διαμόρφωση Εύρους Παλμών με Επιλεκτική Εξάλειψη Αρμονικών.
(Selective Harmonic Eliminated Pulse Width Modulation, SHEPWM)
- γ. PWM Διαμόρφωση με Χωρικά Διανύσματα.
(Space Vector Pulse Width Modulation, SVPWM).



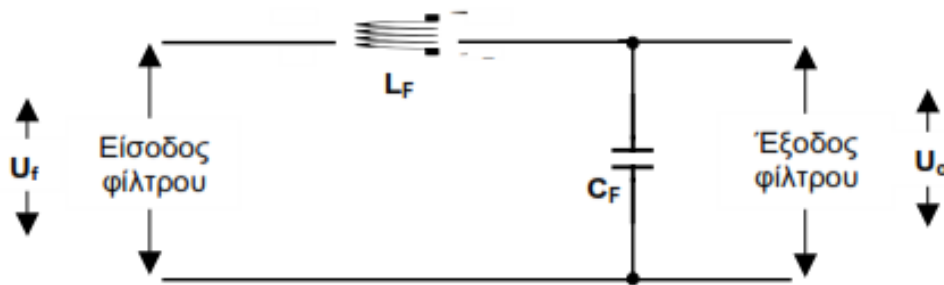
Ημιτονοειδής διαμόρφωση εύρους παλμών- διαδικασία SPWM διαμόρφωσης



Παλμοί διαμορφωμένοι από το σταθερό σήμα.

5.2. Φίλτρα Εισόδου- Εξόδου αντιστροφέα.

Στην παράγραφο αυτή θα παρατεθούν στοιχεία για το σχεδιασμό των φίλτρων εισόδου-εξόδου των αντιστροφέων Βασική προδιαγραφή στο σχεδιασμό φίλτρων είναι οι κυματομορφές που φιλτράρονται να παρουσιάζουν συνολική αρμονική παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion) THD $5\% \leq$ κάτω από τις χειρότερες συνθήκες (εν κενό) λειτουργίας. Ο πιο συνηθισμένος τύπος φίλτρου που χρησιμοποιείται στην είσοδο και στην έξοδο των αντιστροφέων αποτελείται από μία συνολική αυτεπαγωγή L και μία συνολική χωρητικότητα C (LC φίλτρο) συνδεδεμένες όπως στο ακόλουθο σχήμα:



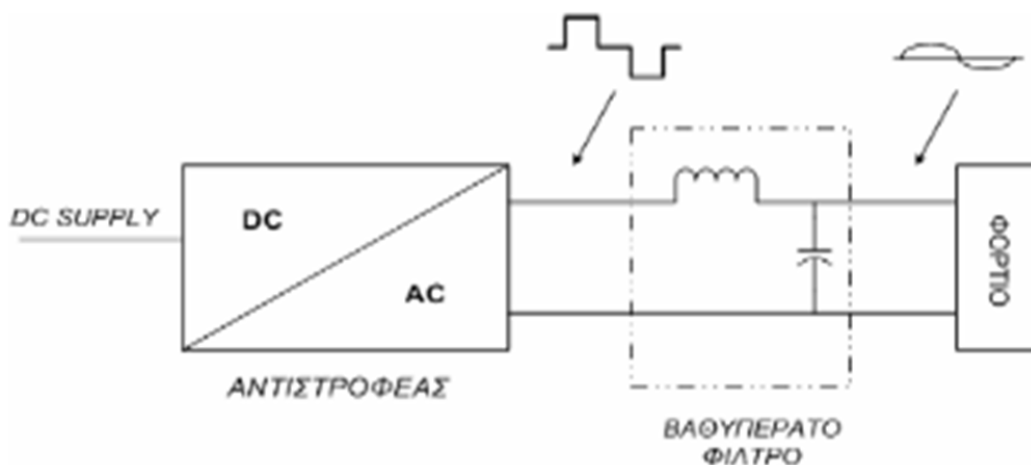
Βασική τοπολογία φίλτρων εισόδου- εξόδου

5.3. Βαθύπερατο φίλτρο εξόδου αντιστροφέα.

Η τετραγωνική κυματομορφή της τάση εξόδου ενός συμβατικού αντιστροφέα αποτελείται από τη βασική αρμονική συνιστώσα και από τις ανώτερες αρμονικές συνιστώσες, οι οποίες δεν είναι επιθυμητές και πρέπει να εξαλειφθούν ή να μειωθούν.

Ακόμα και στη περίπτωση των αναστροφένων πολλαπλών επιπέδων, η τάση εξόδου τους αποτελεί ουσιαστικά υπέρθεση επιμέρους τετραγωνικών παλμών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί τοποθετώντας ένα φίλτρο στην έξοδο της τοπολογίας του αντιστροφέα.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας αντιστροφέας στην έξοδο του οποίου έχει τοποθετηθεί ένα βαθυπερατό φίλτρο για την μείωση του αρμονικού περιεχομένου της τάσης εξόδου που τροφοδοτεί το φορτίο.



Βαθυπερατό φίλτρο για εξάλειψη ή μείωση των αρμονικών της τάσης εξόδου αντιστροφέα

Το μέγεθος και το κόστος του φίλτρου εξαρτώνται από το πλάτος και τη συχνότητα της πρώτης ανώτερης αρμονικής (κυριαρχούσα ανώτερη αρμονική) σε σχέση με το πλάτος και τη συχνότητα της βασικής αρμονικής. Αν η πρώτη ανώτερη αρμονική βρίσκεται σε συχνότητα 30 φορές μεγαλύτερη από τη συχνότητα της βασικής, τότε το φίλτρο εξόδου θα ήταν πολύ μικρότερο από το να βρίσκεται η πρώτη αρμονική σε συχνότητα 3 φορές μεγαλύτερη από τη συχνότητα της βασικής. Επομένως, όσο περισσότερο απέχει η πρώτη ανώτερη αρμονική από τη βασική, τόσο μικρότερο γίνεται και το φίλτρο εξόδου.

Κεφάλαιο 6

Ημιαγωγικά Στοιχεία Ισχύος

Υπάρχουν ημιαγωγικοί διακόπτες, οι οποίοι προσφέρουν τη δυνατότητα ελέγχου των χρονικών διαστημάτων αγωγής και σβέσης των, ανάλογα με την τάση ή το ρεύμα που εφαρμόζεται σε κάποιον από τους ακροδέκτες αυτών. Τα σημαντικότερα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος, τα οποία μας ενδιαφέρουν στη σχεδίαση των αντιστροφών, είναι το τρανζίστορ επαφής (Bipolar Junction Transistor, BJT), το MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), το IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), το θυρίστορ (Silicon Control Rectifier, SCR), το θυρίστορ με αποκοπή από την πύλη του (Gate Turn-Off Thyristor, GTO), το θυρίστορ οδηγούμενο από MOSFET (Mos-Controlled Thyristor MCT) και το οπτο-θυρίστορ (Light-Activated SCR, LASCR).

Ο τύπος του ημιαγωγικού στοιχείου που θα χρησιμοποιηθεί σε κάποια εφαρμογή εξαρτάται κυρίως από τις απαιτήσεις:

- Ισχύος
- Τάσης
- Ρεύματος
- Διακοπτικής συχνότητας

Άλλοι σχετικοί παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή του ημιαγωγικού στοιχείου είναι:

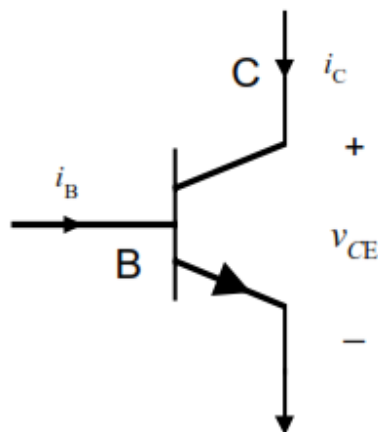
- η θερμοκρασία περιβάλλοντος
- οι λειτουργικοί έλεγχοι που απαιτούνται
- η θεώρηση συνολικού κόστους συστήματος
- η θεώρηση συνολικού βάρους και μμεγέθους του συστήματος

6.1. Bipolar Junction Transistor (BJT).

Τα BJT's είναι στοιχεία τριών ακροδεκτών (B- βάση, C-συλλέκτης, E- εκπομπός) και μπορούν να είναι ηρη ή ρηρ ανάλογα με το είδος της πόλωσής τους. Τα ηρη κατασκευάζονται από πυρίτιο και οι φορείς του ρεύματος στο εσωτερικό τους είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που είναι οι φορείς πλειονότητας. Αντίστοιχα, στα ρηρ, φορείς πλειονότητας είναι οι οπές και τα τρανζίστορ αυτού του είδους κατασκευάζονται από γερμάνιο. Τα BJT's έχουν τρεις περιοχές λειτουργίας:

- ενεργός περιοχή, όπου η επαφή εκπομπού-βάσης είναι ορθά πολωμένη και η επαφή βάσης-συλλέκτη είναι ανάστροφα πολωμένη.
- περιοχή αποκοπής, όπου και οι δύο επαφές n-p είναι αρνητικά πολωμένες. Σε αυτήν την περιοχή λειτουργίας θεωρούμε το τρανζίστορ σαν ανοιχτό διακόπτη διότι τα ρεύματα που δημιουργούνται στους ακροδέκτες του είναι ελάχιστα.
- περιοχή κορεσμού, όπου και οι δύο n-p επαφές είναι ορθά πολωμένες. Τότε τρανζίστορ θεωρείται κλειστός διακόπτης.

Το γεγονός ότι τα BJT's έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε ενισχυτικές διατάξεις, δείχνει ότι είναι ημιαγωγικά στοιχεία με υψηλές προδιαγραφές ισχύος, καθώς και ρεύματος και τάσης ξεχωριστά. Ωστόσο, δεν ενδείκνυνται για εφαρμογές αντιστροφών με υψηλή διακοπτική συχνότητα, λόγω της σχετικά μμεγάλης καθυστέρησης που παρουσιάζει η απόκριση σε παλμική κυρίως διέγερση.



Bipolar Junction Transistor

6.2. Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)

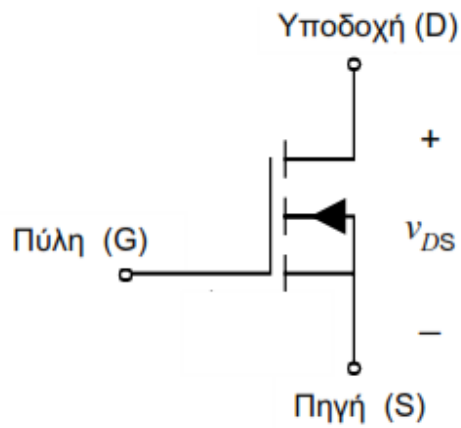
Το MOSFET, όπως το BJT, είναι στοιχείο τριών ακροδεκτών (G-πύλη, D-υποδοχή, S-πηγή) και διακρίνεται σε n-MOSFET ή p-MOSFET ανάλογα με τη νόθευση του υποστρώματος πάνω στο οποίο πρόκειται να δημιουργηθεί το κανάλι αγωγής του ρεύματος, κατά την επίδραση του εγκάρσιου ηλεκτρικού πεδίου. Υπάρχει μία οριακή τιμή της τάσης πύλης βάσει της οποίας το τρανζίστορ αρχίζει να λειτουργεί, και ονομάζεται τάση κατωφλίου (threshold voltage V_T).

Οι περιοχές λειτουργίας είναι και σε αυτήν την περίπτωση τρεις:

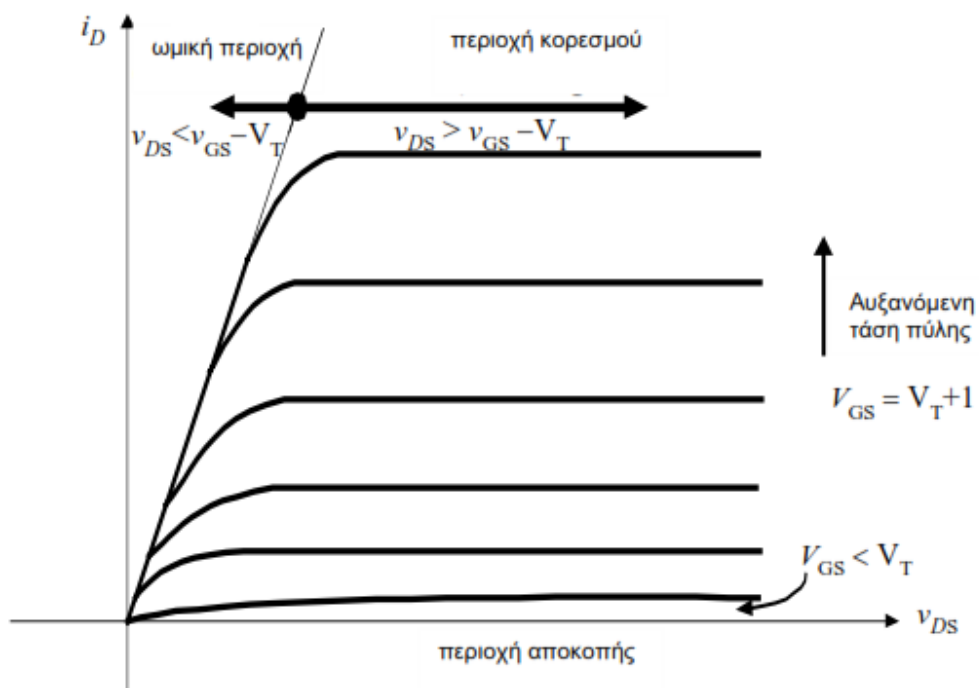
- περιοχή αποκοπής, όπου η τάση πύλης δεν έχει αποκτήσει την απαραίτητη τιμή κατωφλίου.
- περιοχή αγωγής ή ωμική περιοχή, όταν ανάμεσα στην υποδοχή και στην πηγή αρχίζει να επιβάλλεται θετική τάση πεδίου αλλά ακόμη δεν έχει υπερβεί τη διαφορά $V_{GS} - V_T$.
- περιοχή κορεσμού ή ενεργός περιοχή, όταν $V_{GS} - V_T < V_{DS}$.

Μπορούμε να εξάγουμε τα παρακάτω συγκριτικά συμπεράσματα, όσον αφορά στα MOSFET's και στα BJT's:

- Η ομάδα των καμπυλών του MOSFET παράγεται από τις αλλαγές της τάσης της πύλης και όχι από τις αλλαγές του ρεύματος βάσης όπως συμβαίνει με το BJT. Γι' αυτόν το λόγο χαρακτηρίζουμε το MOSFET ως ημιαγωγικό στοιχείο τάσης ενώ το BJT ως ημιαγωγικό στοιχείο ρεύματος.
- Η κλίση της καμπύλης στην περιοχή κορεσμού του BJT είναι μεγαλύτερη από αυτήν της ωμικής περιοχής του MOSFET. Αυτό δείχνει ότι η αντίσταση αγωγής του MOSFET είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αντίσταση αγωγής του BJT.
- Η κλίση της καμπύλης του BJT στην ενεργό περιοχή είναι μεγαλύτερη από αυτήν της αντίστοιχης ενεργούς περιοχής του MOSFET. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθίσταται το MOSFET καλύτερη πηγή σταθερού ρεύματος.



Τρανζίστορ Επίδρασης Πεδίου (MOSFET)



Χαρακτηριστική εξόδου (i_D - v_{DS})

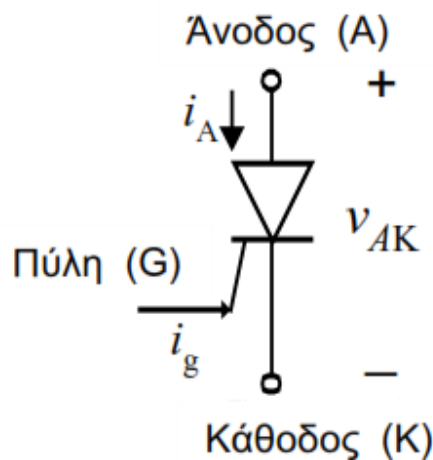
6.3. Silicon Control Rectifier (SCR).

Το θυρίστορ είναι ένας ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου τεσσάρων στρωμάτων $p-n-p-n$ ή $n-p-n-p$, έτσι ώστε να μπορούμε να το θεωρήσουμε σαν συνδυασμό δύο διπολικών τρανζίστορ. Είναι στοιχείο τριών ακροδεκτών (G-πύλη, A-άνοδος, K-κάθοδος).

Για να μεταβεί το θυρίστορ στην κατάσταση αγωγής, πρέπει στην πύλη του να δοθεί παλμός έναυσης, με την προϋπόθεση ότι το θυρίστορ είναι ορθά πολωμένο. Ένα τέτοιο στοιχείο όταν βρεθεί σε κατάσταση αγωγής, μετά την εφαρμογή του παλμού έναυσης, θα εξακολουθεί να παραμένει στην κατάσταση αυτή ακόμη και αν ο παλμός έναυσης αφαιρεθεί. Μπορεί να διακοπεί η κατάσταση αγωγής μόνο όταν το ρεύμα το οποίο ρέει μέσα από το θυρίστορ μηδενισθεί ή η πολικότητα της ανόδου γίνει αρνητική σε σχέση με την κάθοδο. Και για το θυρίστορ, οι περιοχές λειτουργίας είναι τρεις:

- περιοχή αγωγής, όπου το θυρίστορ άγει και ρεύμα ρέει από την άνοδο προς την κάθοδο.
- περιοχή θετικής αποκοπής, όπου το θυρίστορ είναι θετικά πολωμένο αλλά βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής. Αν δοθεί παλμός έναυσης στην πύλη του, τότε το θυρίστορ μεταβαίνει σε κατάσταση διέλευσης.
- περιοχή αρνητικής αποκοπής, όπου μία αρνητική τάση εφαρμόζεται μεταξύ ανόδου και καθόδου και επιτυγχάνεται η σβέση του.

Στην ίδια κατηγορία των SCR's ανήκουν και τα GTO's και τα MCT's με ορισμένες διαφοροποιήσεις στον τρόπο λειτουργίας και στις ιδιότητές τους σε σχέση με το τυπικό θυρίστορ.

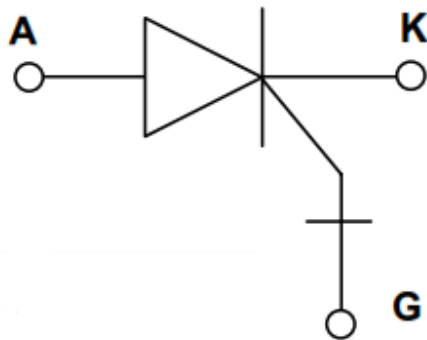


Σύμβολο θυρίστορ.

6.4. Gate Turn-Off thyristor (GTO)

Το GTO είναι ένα είδος θυρίστορ του οποίου η αποκοπή επιτυγχάνεται μέσω της πύλης του. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με το απλό θυρίστορ, του οποίου η αποκοπή δεν επιτυγχάνεται μέσω της πύλης του αλλά μέσω του μηδενισμού του ρεύματος του ή μέσω της ανάστροφης πόλωσης του.

Είναι σε θέση να διατηρεί πολύ μικρή πτώση τάσης στα άκρα του κατά την αγωγή του, γεγονός που επιτρέπει τη διέλευση υψηλών τιμών ρεύματος. Το πεδίο χρήσης των GTO's είναι οι εφαρμογές ισχύος μεταξύ 3 και 10 MW. Η διακοπτική του ταχύτητα φτάνει και μέχρι 10KHz.

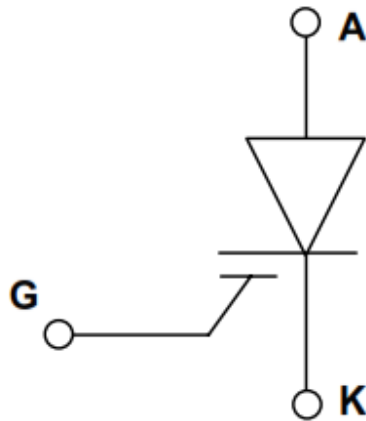


Σύμβολο θυρίστορ GTO.

6.5. Mos-Controlled Thyristor (MCT)

Το MCT είναι ένα ημιαγωγικό στοιχείο το οποίο συνδυάζει στην εσωτερική του δομή δύο MOSFET's (για υψηλές αποδόσεις συχνότητας) και ένα θυρίστορ (για υψηλές αποδόσεις ισχύος). Τα πλεονεκτήματα του MCT έναντι του θυρίστορ είναι τα ακόλουθα:

- Έχει μεγαλύτερες διατοπτικές συχνότητες.
- Έχει μικρότερη τάση αγωγής και κατά συνέπεια μικρότερες απώλειες αγωγής.
- Η σβέση του επιτυγχάνεται δια μέσου της πύλης.



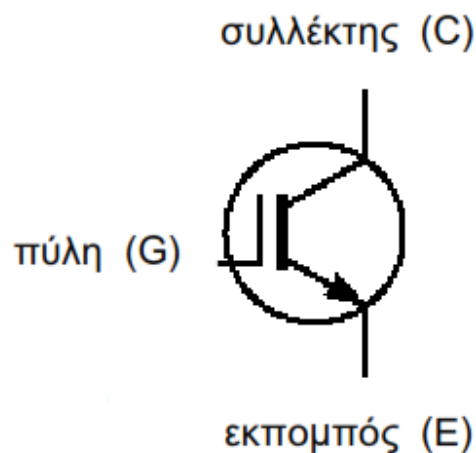
Σύμβολο θυρίστορ MCT.

6.6. Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

Το IGBT προέκυψε σαν ένας συμβιβασμός μεταξύ των χαρακτηριστικών του MOSFET ισχύος και του BJT ισχύος. Συνεπώς, μπορεί να λειτουργήσει σε υψηλότερες διακοπτικές συχνότητες από το διπολικό τρανζίστορ, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να χειριστεί υψηλότερες τάσεις και ρεύματα από ένα MOSFET.

Η εσωτερική δομή του IGBT αποτελείται από ένα n-MOSFET, ένα npn BJT, ένα pnp BJT και ένα JFET (το οποίο είναι προαιρετικό και περιέχεται κυρίως στις νεότερες τεχνικές «πακεταρίσματος» των IGBT's). Συμπεριλαμβάνεται μία εσωτερική αντίσταση η οποία χρησιμεύει για την εκφόρτιση των παρασιτικών χωρητικότητων.

Οι μετατροπείς ισχύος με IGBT καλύπτουν ένα εύρος ισχύος που μπορεί να ξεπερνά το 1 MW.



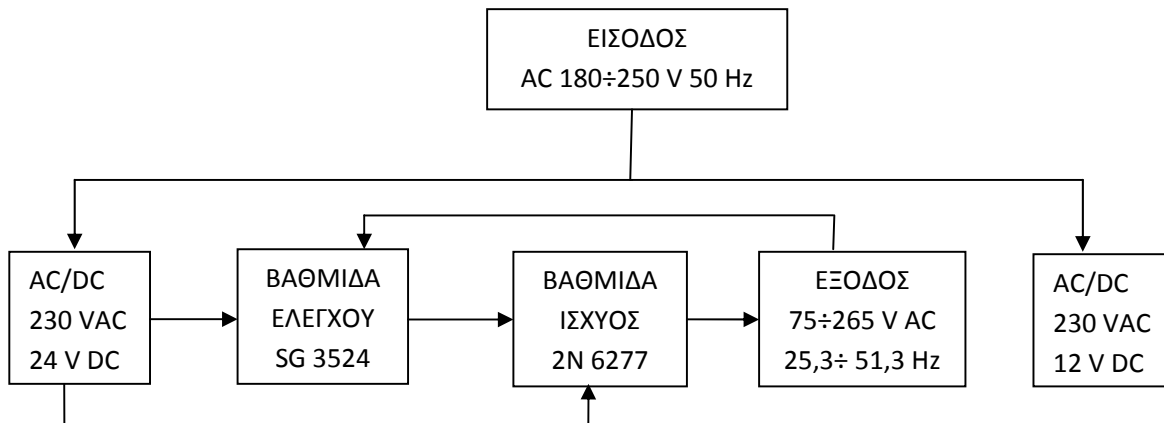
Σύμβολο θυρίστορ IGBT.

Κεφάλαιο 7

Κατασκευή αντιστροφέα.

Εισαγωγή.

Λειτουργία του αντιστροφέα περιγράφεται με το ακόλουθο μπλοκ διάγραμμα.

Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας του αντιστροφέα.

Η κατασκευή αποτελείται από δύο ανεξάρτητους μετατροπείς. Το μετατροπέα AC/DC ο οποίος μας παρέχει την επιθυμητή τιμή της συνεχούς τάσης που είναι απαραίτητη για την τροφοδοσία της βαθμίδος ελέγχου και της βαθμίδος ισχύος.

Ένας μικρότερης ισχύος μετατροπέας AC/ DC με γαλβανική απομόνωση κατασκευάστηκε για την τροφοδότηση των οργάνων μέτρησης και ελέγχου.

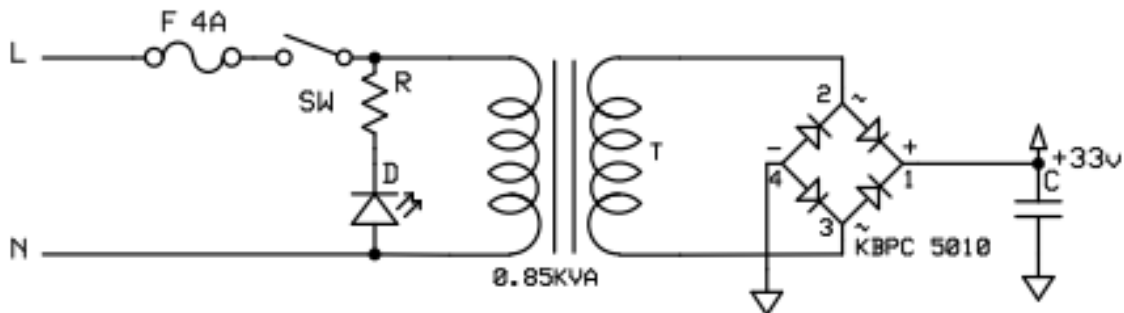
Επιπροσθέτως μας παρέχετε η δυνατότητα απευθείας τροφοδότησης της βαθμίδας ελέγχου- ισχύος με συνεχή τάση από εξωτερικό τροφοδοτικό ή συστοιχία συσσωρευτών. Ο συνδυασμός χρήσης του μετατροπέα AC/DC και των συσσωρευτών αυτομάτως μετατρέπουν την κατασκευή σε σύστημα αδιάλειπτης παροχής ενέργειας, τα γνωστά σε όλους μας UPS.

Για την ψύξη του μετατροπέα τοποθετήθηκε ανεμιστήρας ο οποίος τροφοδοτείται από την έξοδο του αντιστροφέα με 230 V AC. Κάθε τρανζίστορ ισχύος έχει τοποθετηθεί σε ψήκτρα παρεμβάλλοντας σιλικόνη για ηλεκτρική απομόνωση καθώς και αρκετή ποσότητα θερμοαγωγίμης πάστας.

7.1. Μετατροπέας AC/DC.

Στο ακόλουθο σχήμα βλέπουμε το διάγραμμα λειτουργίας του μετατροπέα AC/DC. Αρχικά χρειαζόμαστε το κύκλωμα που μας επιτρέπει να μετατρέψουμε την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου (230V 50Hz) σε συνεχή τάση επιθυμητής τιμής. Σε πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκε μετασχηματιστής 230V/ 24V μέγιστης ισχύος 900 VA. Στη συνέχεια για τον περιορισμό των απωλειών χρησιμοποιήθηκε μη ελεγχόμενη γέφυρα ανόρθωσης 50A (γέφυρα με διόδους). Στο τελικό στάδιο για την εξομάλυνση της DC τάσης επιλέχθηκε ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 22.000 $\mu\text{F}/63\text{V}$ (1000 $\mu\text{F}/1\text{ A}$).

Διαπιστώνουμε ότι κερδίζουμε σχεδόν το μέγιστο πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης στην έξοδο του μετασχηματιστή ($24 \cdot \sqrt{2} \approx 33\text{V DC}$).



Μετατροπέας AC/DC

Ο υπολογισμός του μετασχηματιστή πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Transformer calculation. Επιλέγοντας καρακάσα διαστάσεων 50 x60 (mm) η μέγιστη ισχύς ανέρχεται σε 900 VA. Η τάση 24 V στο δευτερεύον τύλιγμα επιλέχθηκε για τον περιορισμό της τιμής του ρεύματος και κατά συνέπεια των περιορισμό θερμικών απωλειών. Η μέγιστη ένταση του ρεύματος στο δευτερεύον τύλιγμα δεν ξεπερνά τα 28 αμπέρ.

Σύμφωνα με τα δεδομένα εξόδου του προγράμματος προκύπτουν τα ακόλουθα:

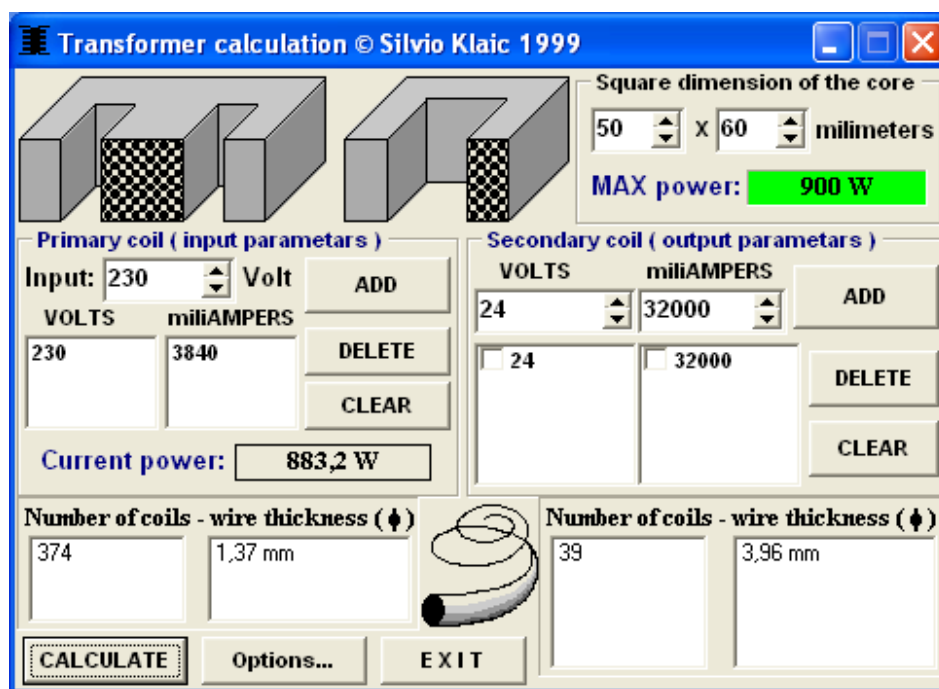
Πρωτεύον τύλιγμα:

Τάση λειτουργίας	230V
Μέγιστο ρεύμα	3,84 A
Αριθμός σπειρών	374 σπείρες
Διάμετρος σύρματος	1,37 mm

Δευτερεύων τύλιγμα:

Τάση λειτουργίας	24V
Μέγιστο ρεύμα	32 A
Αριθμός σπειρών	39 σπείρες
Διάμετρος σύρματος	3,96 mm

Από τα ανωτέρω ότι ο βαθμός απόδοσης του μετασχηματιστή ανέρχεται $\eta = 87\%$.



7.2. Αντιστροφέας DC/ AC.

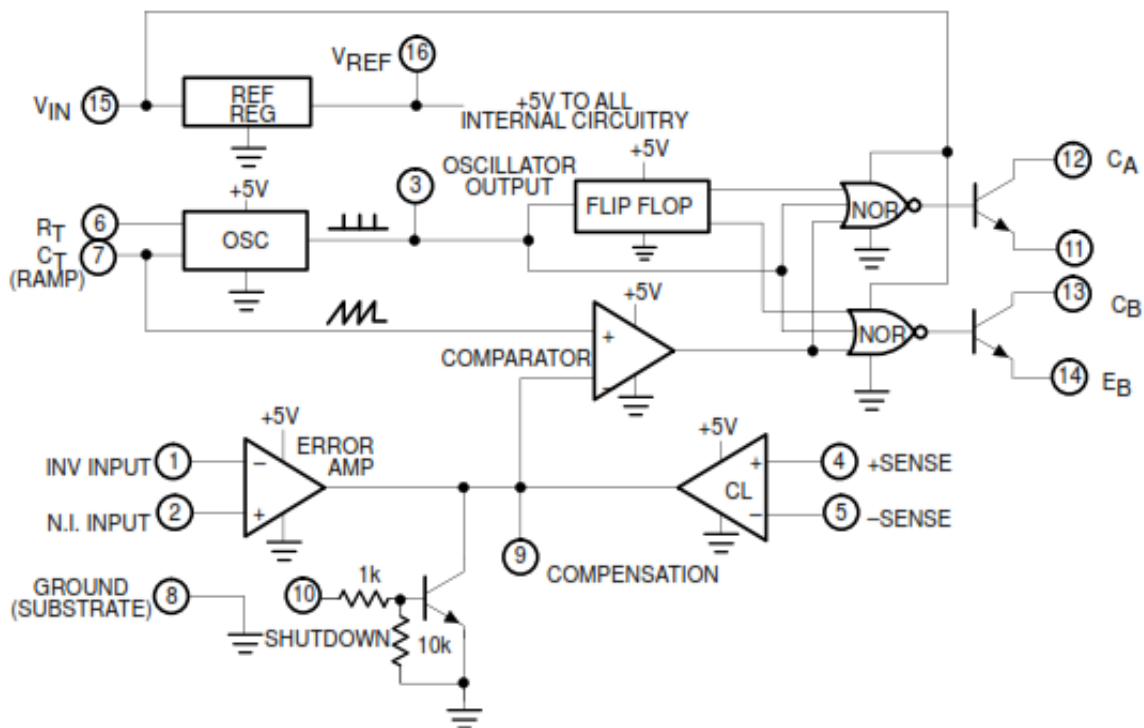
Ο αντιστροφέας DC/ AC είναι υπεύθυνος για την μετατροπή της συνεχής τάσης σε εναλλασσόμενη. Αποτελείται από δύο ξεχωριστές βαθμίδες. Τη βαθμίδα ελέγχου- οδήγησης και τη βαθμίδα ισχύος. Σημειώνεται ότι ο έλεγχος της τάσης επιτυγχάνετε με έλεγχο PWM.

Επιπροσθέτως αναφέρεται ότι για την τροφοδότηση της βαθμίδας ελέγχου με συνεχή τάση 8 V χρησιμοποιήθηκε γραμμικός σταθεροποιητής I 7808 ο οποίος με τη σειρά το οδηγεί ένα 2N3055 NPN τρανζίστορ για επαύξηση της ισχύος. Η μελέτη του μετασχηματιστή εξόδου ο οποίος απαιτείται πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Transformer Calculation.

7.3. Η βαθμίδα ελέγχου.

Η βαθμίδα ελέγχου βασίζεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα SG 3524 το οποίο ενσωματώνει όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για την κατασκευή ενός αντιστροφέα. Επιτρέπει είτε την single-ended ή push-pull εφαρμογή.

Περιλαμβάνει έναν ενσωματωμένο ρυθμιστή τάσης ο οποίος παρέχει την τάση αναφοράς +5 V (reference voltage), έναν ενισχυτή σφάλματος, έναν προγραμματιζόμενο ταλαντωτή, ένα παλμοβηματικό T flip-flop, δύο τρανζίστορ και έναν υψηλής απολαβής συγκριτή.

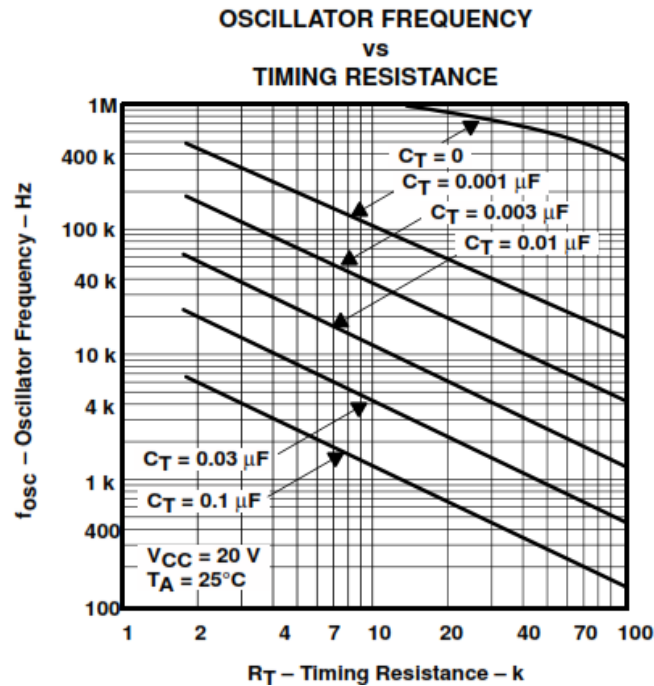


Διάγραμμα λειτουργίας SG 3524

Ο διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) λειτουργεί σε σταθερή συχνότητα, που έχει προγραμματιστεί από την αντίσταση R_t και τον πυκνωτή C_t .

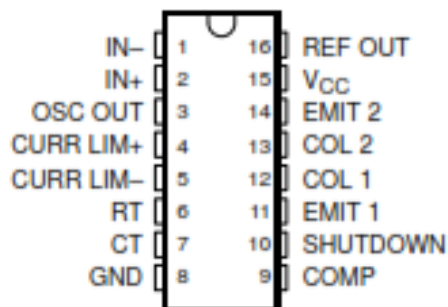
Πρακτικά οι τιμές του πυκνωτή C_t κυμαίνονται μεταξύ $0,001 \mu\text{F}$ και $0,1 \mu\text{F}$ και οι τιμές της αντίστασης R_t κυμαίνονται μεταξύ $1,8 \text{ k}\Omega$ και $100 \text{ k}\Omega$. Αυτό οδηγεί σε μια περιοχή συχνοτήτων συνήθως από 130 Hz έως 722 kHz . Ισχύει η σχέση:

$$f \approx \frac{1.30}{R_t * C_t}$$



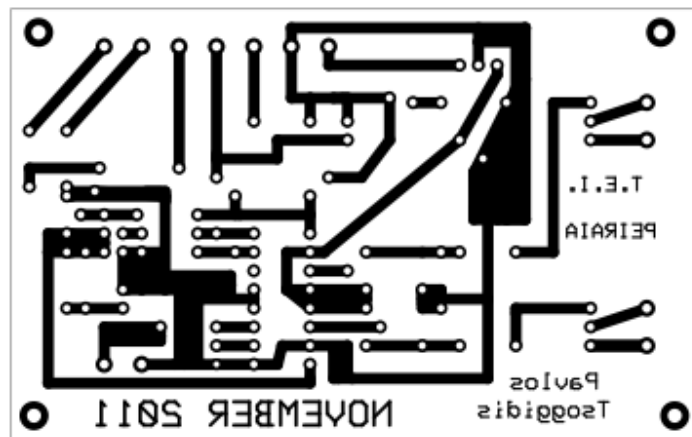
Το κύκλωμα $R_T C_T$ παράγει πριονωτό παλμό. Το σήμα εξόδου επιστρέφει μέσω ενός δικτύου αντιστάσεων και το σήμα ενισχύεται μέσω του ενισχυτή σφάλματος. Ο πριονωτός παλμός και το ενισχυμένο σήμα οδηγούνται στον συγκριτή υψηλής απολαβής, παρέχοντας γραμμικό έλεγχο της διάρκειας παλμού εξόδου (πλάτος). Στη συνέχεια κατευθύνεται στην είσοδο των πυλών NOR. Η έξοδος του ταλαντωτή οδηγείται επίσης στην είσοδο των πυλών NOR. Η τρίτη είσοδος των πυλών αποτελείται από τις δύο εξόδους του T flip-flop. Το T flip-flop εξασφαλίζει ότι τα τρανζίστορ εξόδου Q1, Q2, δεν θα άγουν ταυτόχρονα. Το αποτέλεσμα είναι μία διάταξη push-pull. Η συχνότητα εξόδου (της παραγόμενης εναλλασσόμενης τάσης ισούται με το ήμισυ του ταλαντωτή. Επιπλέον, το Pin 9 (Comp) χρησιμοποιείται για την παροχή πρόσθετου ελέγχου στον ρυθμιστή.

Το ολοκληρωμένο
κύκλωμα SG3521



7.4. Σχεδιασμός – κατασκευή πλακέτας.

Ο σχεδιασμός της πλακέτας πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Express PCB. Το ανωτέρω πρόγραμμα είναι εύκολο στη λειτουργία του και το κυριότερο όλων παρέχεται δωρεάν στους χρήστες. Ο σχεδιασμός έγινε για φωτοευαίσθητη πλακέτα μονής όψης. Το αποτέλεσμα κρίθηκε ικανοποιητικό και η εκτύπωση έγινε σε διαφάνεια (φιλμ).



Περιγραφή της μεθόδου εκτύπωσης σε φωτοευαίσθητη πλακέτα.

Η εκτύπωση κυκλώματος σε πλακέτα (Printed Circuit Board ή PCB) δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη υπόθεση. Απαιτεί, όμως, κατάλληλο εξοπλισμό, προετοιμασία και κάποια εμπειρία η οποία κατακτάται μόνο μετά από αλληπάλληλες δοκιμές και λάθη. Υπάρχουν διάφορα είδη πλακετών στο εμπόριο, που κατηγοριοποιούνται γενικά ως απλές ή φωτοευαίσθητες καθώς και ως μονής ή διπλής όψης. Ειδικότερα οι πλακέτες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε σχέση με την ποιότητα του διηλεκτρικού από το οποίο έχουν κατασκευαστεί. Στη δική μας κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν φωτοευαίσθητες πλακέτες μονής όψης.

Μία τυπική φωτοευαίσθητη πλακέτα μονής όψης αποτελείται από τέσσερα υλικά που βρίσκονται τοποθετημένα σε στρώματα το ένα πάνω από το άλλο :

1. Στο κάτω μέρος βρίσκεται και το παχύτερο στρώμα που είναι το μονωτικό διηλεκτρικό. Κύριος σκοπός του είναι να αποτελεί βάση για την τοποθέτηση του αγωγίμου μετάλλου.

2. Πάνω από το διηλεκτρικό βρίσκεται η μεταλλική επίστρωση, που κατασκευάζεται συνήθως από χαλκό. Τμήμα της μεταλλικής επίστρωσης θα αποτελέσει το τελικό τυπωμένο κύκλωμα.
3. Η μεταλλική επίστρωση καλύπτεται από το υλικό που αντιπροσωπεύει την φωτοευαίσθητη πλακέτα και είναι το φωτοευαίσθητο ρεζίστ ή απλά φωτορεζίστ. Αυτό είναι ένα υλικό πάρα πολύ ευαίσθητο στο υπεριώδες, κυρίως, φως και πάνω του αποτυπώνεται η εικόνα του κυκλώματος με τη μέθοδο της λιθογραφίας.
4. Τέλος, ένα πλαστικό αυτοκόλλητο καλύπτει την επιφάνεια του φωτορεζίστ και το προστατεύει από το φως.

Για την εκτύπωση είναι απαραίτητα τα ακόλουθα υλικά :

- Μία υπεριώδης λάμπα ατμών υδραργύρου (HQL) 125W μαζί με μετασχηματιστή για σύνδεση με την οικιακή τροφοδοσία των 220 V.
- Καυστική Σόδα (NaOH)
- Διάλυμα νερό+ πενυδρόλ+ υδροχλωρικό οξύ σε αναλογία 4-2-1.
- Φυσικά, η φωτοευαίσθητη πλακέτα
- Πλαστική λαβίδα, λεκάνες, μικρά τζάμια, πλαστικά γάντια και αρκετό νερό.

Η διαδικασία της εκτύπωσης περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

1. Προετοιμασία :

Καταρχήν χρησιμοποιούμε χαμηλό φωτισμό για την προστασία του φωτορεζίστ της πλακέτας και αφαιρούμε το προστατευτικό αυτοκόλλητο. Έχουμε ήδη τυπωμένο το σχέδιο του κυκλώματος σε διαφάνεια (φιλμ) και το τοποθετούμε πάνω στην επιφάνεια της πλακέτας από την πλευρά του φωτορεζίστ. Καλύπτουμε τη διαφάνεια με τζάμι ώστε να αποφεύγεται η διάθλαση του φωτός. Τέλος προθερμαίνουμε τη λάμπα για 15 λεπτά περίπου.

2. Έκθεση :

Έπειτα από την προθέρμανση τοποθετούμε την πλακέτα με τη διαφάνεια και το τζάμι σε απόσταση 35 εκατοστών από τη λάμπα ώστε να αρχίσει η έκθεση στο υπεριώδες φως. Ο χρόνος έκθεσης εξαρτάται από την ισχύ της λάμπας και από την απόσταση της από την πλακέτα. Στη δική μας εκτύπωση είχαμε χρόνο έκθεσης γύρω στα 14 λεπτά.

3. Εμφάνιση :

Όταν ολοκληρωθεί η έκθεση, σβήνουμε τη λάμπα και βγάζουμε την πλακέτα, αφαιρώντας τη διαφάνεια και το τζάμι. Για την εμφάνιση χρησιμοποιούμε διάλυμα καυστικής σόδας σε νερό με αναλογία 7-10 gr σόδα για 1 λίτρο νερό. Τοποθετούμε την πλακέτα στο διάλυμα για 1 με δύο λεπτά και ανακινούμε ελαφρά, φορώντας πάντα πλαστικά γάντια. Παρατηρούμε ότι πάνω στην πλακέτα εμφανίζεται το σχέδιο της διαφάνειας. Αφαιρούμε την πλακέτα και την πλένουμε καλά με νερό. Στη φάση αυτή, η πλακέτα μπορεί να εκτεθεί στο φως.

4. Αποχάλκωση :

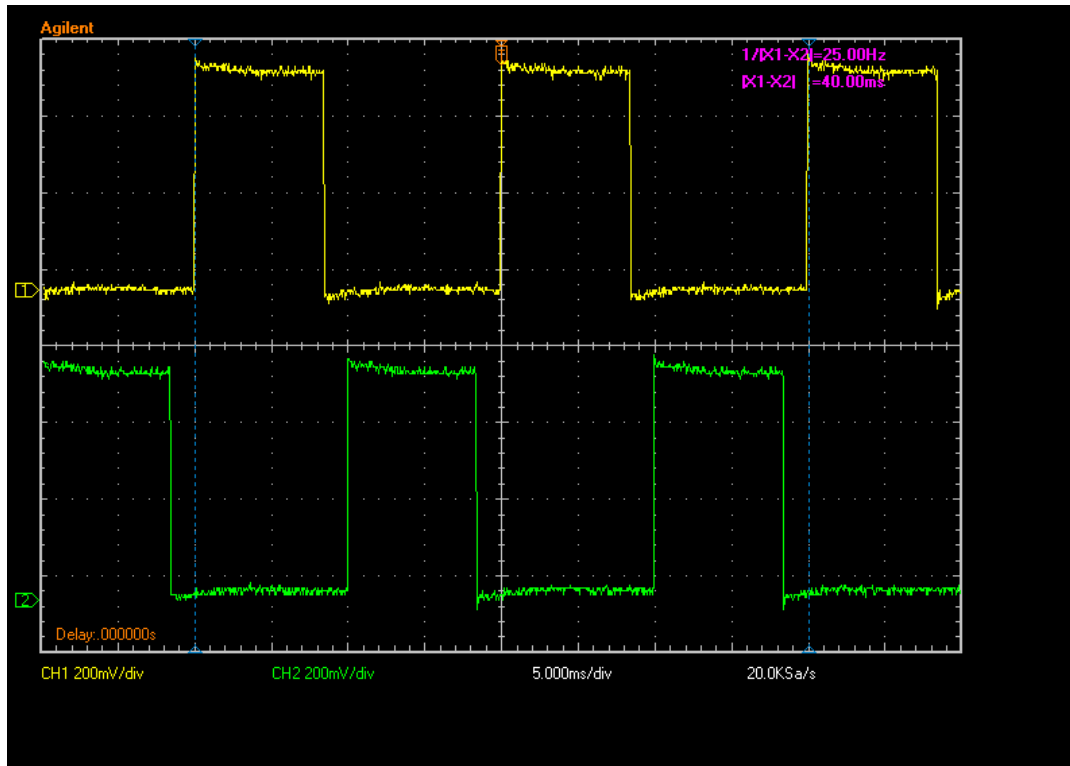
Εδώ χρησιμοποιούμε διάλυμα νερό, πενυδρόλ και υδροχλωρικό οξύ σε αναλογία 4-2-1. Τοποθετούμε την πλακέτα μέσα και παρατηρούμε ότι το διάλυμα σταδιακά «τρώει» τον περιττό χαλκό και έπειτα από δύο με τρία λεπτά σχηματίζεται το τυπωμένο κύκλωμα. Αφαιρούμε την πλακέτα και την ξεπλένουμε καλά με νερό.

5. Επεξεργασία :

Η πλακέτα δεν είναι έτοιμη. Πρέπει να τρίψουμε την επιφάνειά της με οινόπνευμα ή ασετόν ώστε να απομακρυνθούν τα κατάλοιπα του φωτορεζίστ. Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας είναι το τρύπημα της πλακέτας όπου και χρησιμοποιήθηκε ντρίλερ με 0.9 και 1.2 χιλιοστά τρυπάνι. Η πλακέτα είναι πλέον έτοιμη να χρησιμοποιηθεί. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν πλαισιώνονται στον παρακάτω πίνακα.

Αντιστάσεις	Τεμάχια	Πυκνωτές	Τεμάχια	Τρανζίστορ	Τεμάχια
100 Ω	2	47 nF 100V	1	PNP BC 327	1
1 ΚΩ	4	100nF 100V	3	NPN BC 337	2
3,3 ΚΩ	1	1μF 63V	1	NPN 2N3055	1
3,9 ΚΩ	1	10μF 63V	2	Σταθεροποιητής τάσης L 7808	1
4,7 ΚΩ	2	47μF 63V	1		
10 ΚΩ	1	100μF 63V	2	Ολοκληρωμένο κύκλωμα SG3524	1
47 ΚΩ	1	220μF 63V	1		
100 ΚΩ	2			Δίοδοι	Τεμάχια
Γραμμικό ποτενσιόμετρο 10 στροφών 100 ΚΩ				1N4007	1
Γραμμικό ποτενσιόμετρο 10 στροφών 2 ΚΩ				Led	1
Τρίμερ 100ΚΩ				Γεφυρα ανόρθωσης 1Α	1
Μετασχηματιστής PCB 220V/12V					

Τοποθετήθηκαν και κολλήθηκαν τα υλικά και το κύκλωμα είναι πλέον έτοιμο για δοκιμή. Χρησιμοποιήθηκε για την δοκιμή εξωτερικό σταθεροποιημένο τροφοδοτικό 12V. Το μετρήσιμο στον παλμογράφο αποτέλεσμα όπως φαίνεται παρακάτω ήταν ενθαρρυντικό. Το εύρος συχνοτήτων μεταβάλλοντας το ποτενσιόμετρο των 100 KΩ κυμαίνονται μεταξύ 25,3Hz και 51,6Hz.



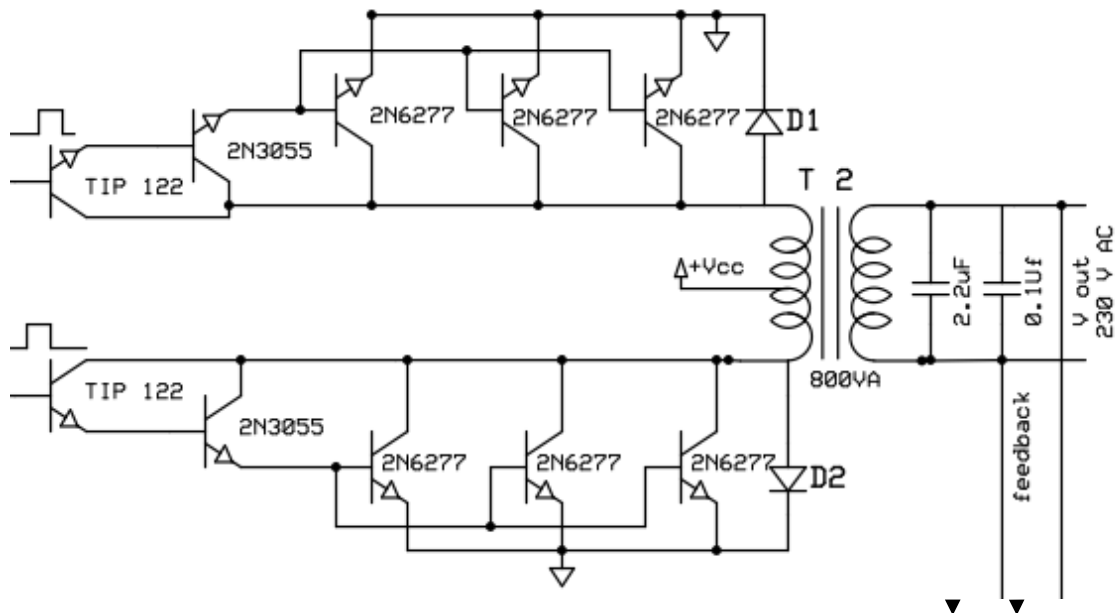
Κυματομορφή εξόδου κυκλώματος οδήγησης

Κατά τη διαδικασία της δοκιμής παρατηρήθηκε αστάθεια στην έξοδο του κυκλώματος και συγκεκριμένα μεταβολή στο duty cycle ($duty^+$, $duty^-$). Η δυσλειτουργία διορθώθηκε αντικαθιστώντας τους πυκνωτές τανταλίου χωρητικότητας 100nF και 47 nF με πυκνωτές πλαστικού φύλλου (MKT) στα 100V. Μετά από τη δοκιμαστική λειτουργία αρκετών ωρών και κρίνοντας το αποτέλεσμα ικανοποιητικό με το σχεδιασμό του κυκλώματος ισχύος. Δεδομένα εξόδου Παλμογράφου

Frequency	50,3	Period	0,0199	Duty+	50%
Rise Time	0,0063	Pulse Width+	0,00995	Duty-	50%
Fall Time	0,00625	Pulse Width-	0,00995		

7.5. Βαθμίδα Ισχύος

Η βαθμίδα ισχύος αποτελείται από δύο διατάξεις συνδεσμολογίας cascade, μία για κάθε ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης εξόδου. Υπάρχουν 3 παράλληλα τρανζίστορ ισχύος που πολώνονται έτσι ώστε να λειτουργούν σαν διακόπτες σε συνδυασμό με μια δίοδο ανάστροφης πόλωσης που τα προστατεύει από ανάστροφες υπερτάσεις. Τα 3 παράλληλα τρανζίστορ οδηγούνται από 2 μικρότερης ισχύος ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη απολαβή ρεύματος της διάταξης. Ο συνδυασμός των δύο διατάξεων με τον μετασχηματιστή μεσαίας λήψης δημιουργεί μια τοπολογία Push Pull.



Για την σύνδεση των τρανζίστορ ισχύος λόγο της υψηλής τιμής του DC ρεύματος και με στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών, έχει χρησιμοποιηθεί εύκαμπτος αγωγός διατομής 10mm^2 . Επιπλέον για την ισομερή κατανομή του φορτίου στα τρανζίστορ ισχύος οι εύκαμπτοι αγωγοί έχουν περίπου το ίδιο μήκος. Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των στοιχείων ισχύος εμφανίζονται στο παράρτημα Α'.

Ο υπολογισμός του μετασχηματιστή εξόδου έγινε με το πρόγραμμα transformer calculation. Επιλέγοντας καρακάσα διαστάσεων $50 \times 60\text{ mm}$ η μέγιστης ισχύς ανέρχεται σε 900 VA . Επιλέγουμε τάση πρωτεύοντος τυλίγματος $24/0/24$. Επιλέγοντας τάση 230 V στο δευτερεύον τυλίγμα η ένταση του ρεύματος, για την προκαθορισμένη ισχύ εξόδου, ανέρχεται σε $3,3$ αμπέρ.

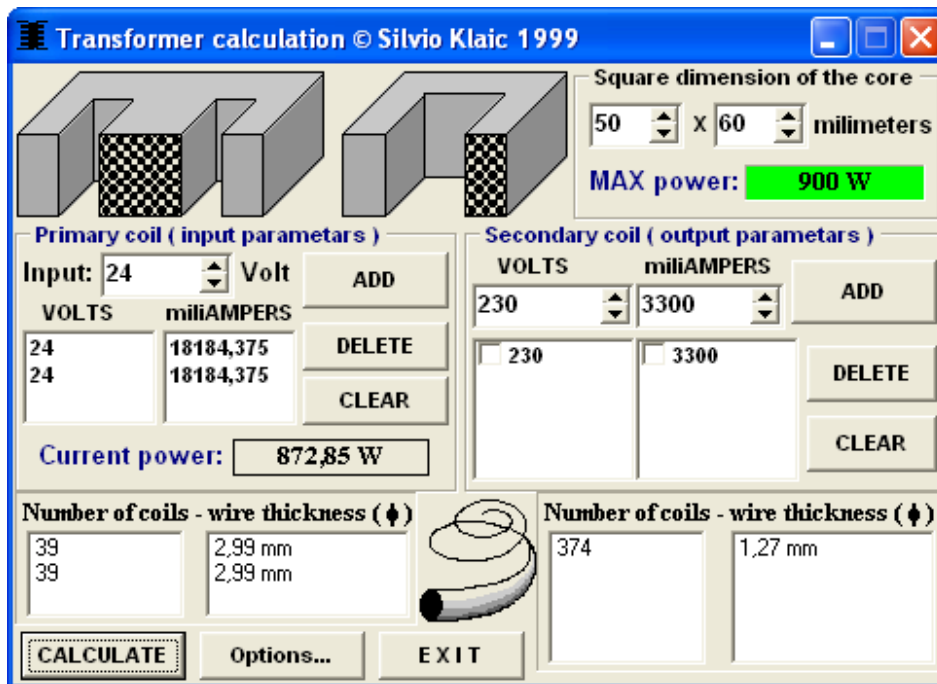
Σύμφωνα με τα δεδομένα εξόδου του προγράμματος προκύπτουν τα ακόλουθα:

Πρωτεύον τύλιγμα:

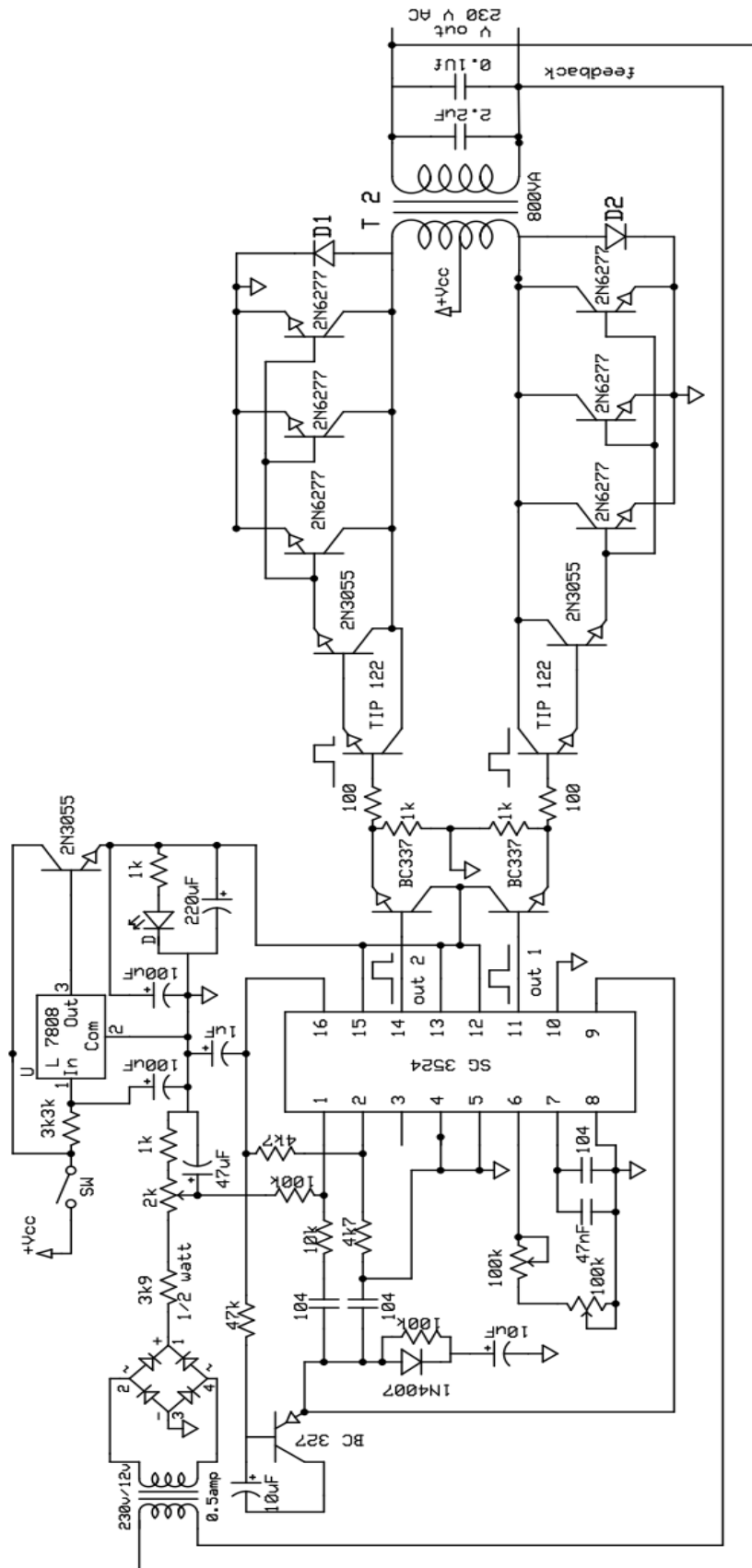
Τάση λειτουργίας	2x24V
Μέγιστο ρεύμα	18,2 A
Αριθμός σπειρών	2x39 σπείρες
Διάμετρος σύρματος	2.99 mm

Δευτερεύων τύλιγμα:

Τάση λειτουργίας	230 V
Μέγιστο ρεύμα	3,3 A
Αριθμός σπειρών	374 σπείρες
Διάμετρος σύρματος	1,27 mm



Στην συνέχεια ακολουθεί το ολοκληρωμένο σχέδιο του αντιστροφέα (βαθμίδα ελέγχου-βαθμίδα ισχύος):



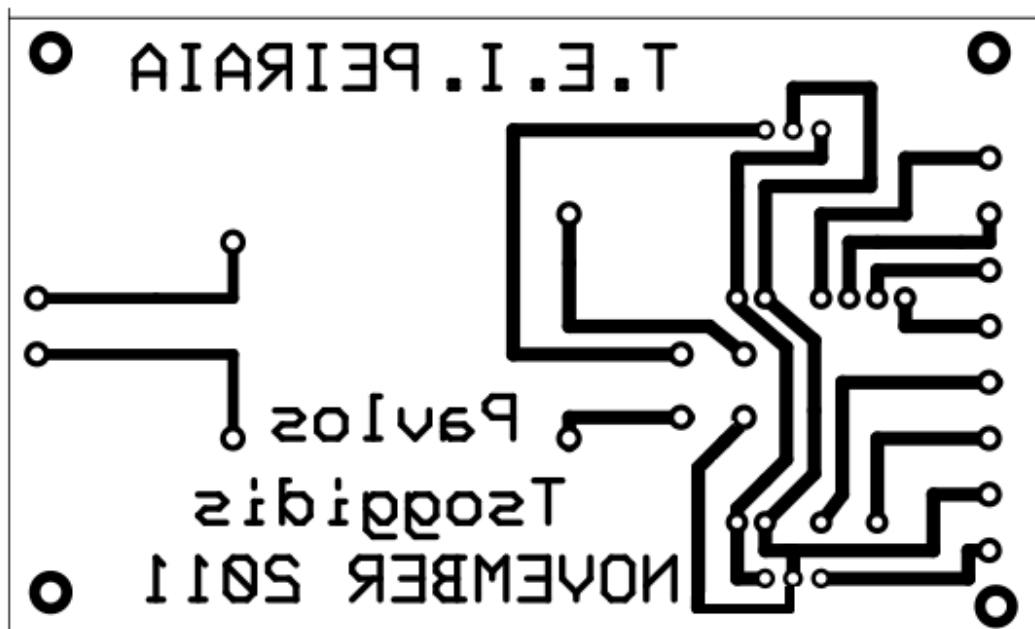
Κεφάλαιο 8

Όργανα Ελέγχου- Λειτουργίας

Τα όργανα λειτουργίας που επιλέχτηκαν για την ορθή λειτουργία του μετατροπέα πλαισιώνονται στον ακόλουθο πίνακα:

<u>Είσοδος μετατροπέα</u>	<u>Μονάδα DC</u>	<u>Έξοδος μετατροπέα</u>
Ψηφιακό βολτόμετρο υγρών κρυστάλλων κλίμακας 80÷250V AC	Ψηφιακό βολτόμετρο υγρών κρυστάλλων κλίμακας 16÷60V DC	Ψηφιακό βολτόμετρο υγρών κρυστάλλων κλίμακας 80÷250V AC
Ψηφιακό αμπερόμετρο υγρών κρυστάλλων κλίμακας 0÷5A AC	Ψηφιακό αμπερόμετρο υγρών κρυστάλλων με shunt κλίμακας 0÷50A DC	Ψηφιακό αμπερόμετρο υγρών κρυστάλλων κλίμακας 0÷5A AC
Ψηφιακό συχνόμετρο υγρών κρυστάλλων κλίμακας 10÷199,9 Hz 80 ÷250V AC	Ψηφιακό θερμόμετρο υγρών κρυστάλλων κλίμακας -10÷70 ° C	Ψηφιακό συχνόμετρο υγρών κρυστάλλων κλίμακας 10÷199,9 Hz 80 ÷250V AC

Για την τροφοδότηση των αμπερομέτρων (9 ÷12V) και του θερμομέτρου (5V DC) απατήθηκε η κατασκευή ανεξάρτητου τροφοδοτικού με DC/DC απομονωτή συνολικής ισχύος 5 Watt.



Σχεδίαση πλακέτας τροφοδότησης οργάνων

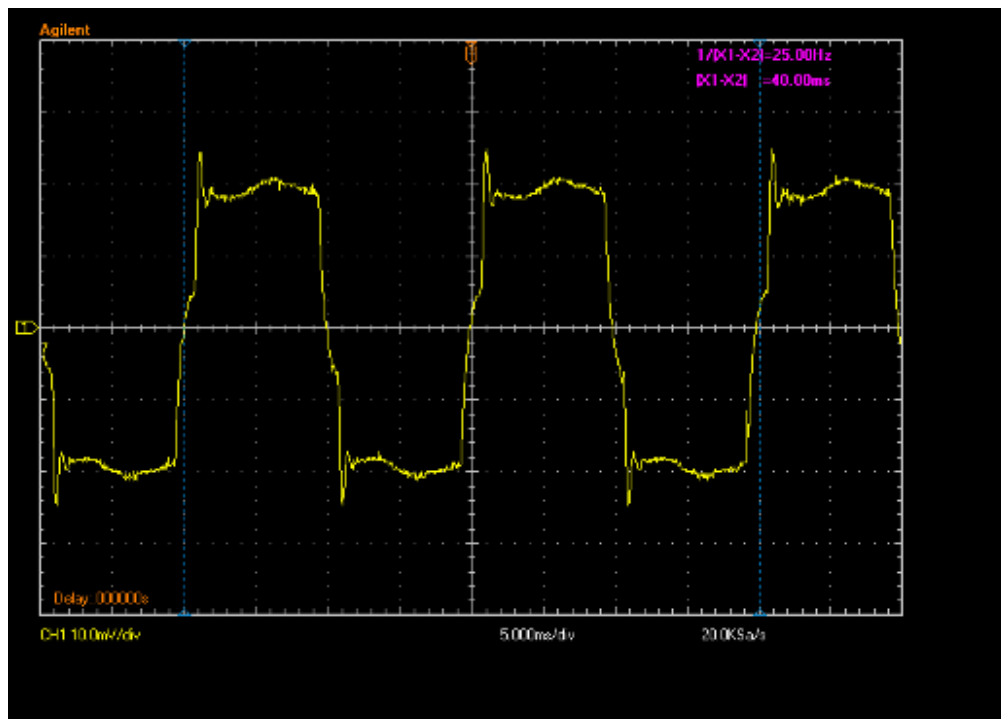
Κεφάλαιο 9**Διαδικασία λήψης Μετρήσεων**

Η λήψη των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με ωμικό φορτίο. Η πρώτη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με φορτίο 300W κρατώντας το λόγο συχνότητας/ τάσης σταθερό ($\frac{V}{f}$ σταθερό). Οι τιμές πλαισιώνονται στον ακόλουθο πίνακα:

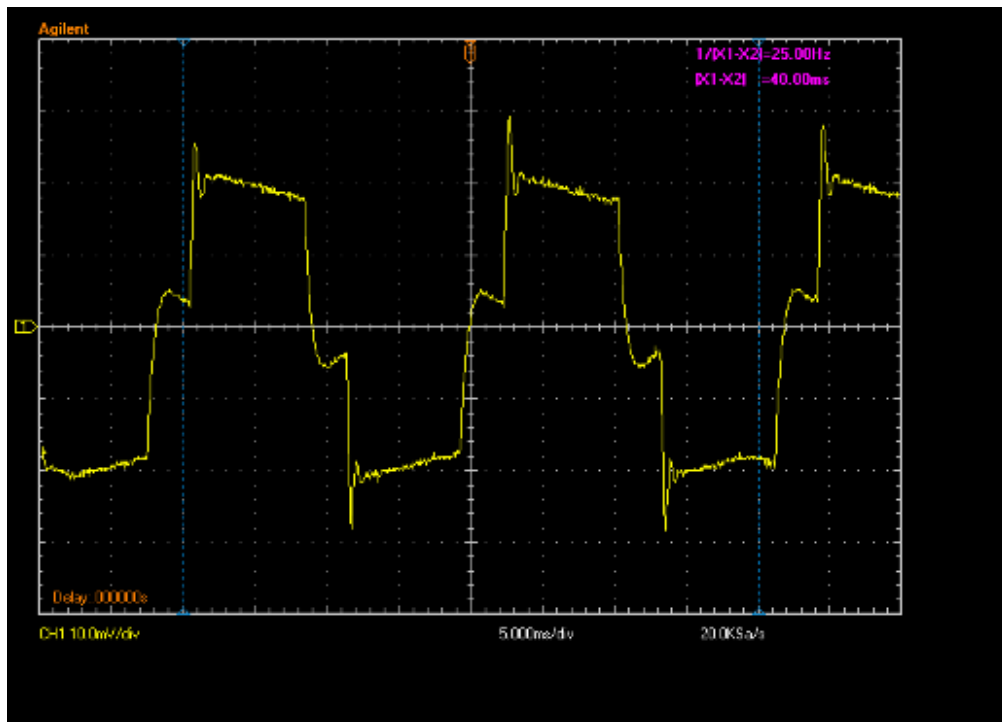
P= 300 W V/f = σταθερό													
V in	I in	f in	V dc	I dc	V out	I out	f out	Si n	Pdc	S out	η ac/dc %	η dc/ac %	η %
220	1,93	50	27,5	11,40	230	1,32	50	424	313,50	303,60	73,83	96,84	71,5
220	1,7	50	28	10,00	207	1,23	45	374	280,00	254,61	74,87	90,93	68,07
220	1,5	50	28,3	8,70	184	1,14	40	330	246,21	209,76	74,61	85,20	63,56
220	1,3	50	28,7	7,40	161	1,05	35	286	212,38	169,05	74,26	79,60	59,1
220	1,1	50	29	6,30	138	0,95	30	242	182,70	131,10	75,50	71,76	54,17
220	0,9	50	29,2	5,30	117	0,84	25	198	154,76	98,28	78,16	63,50	49,63

Κυματομορφές των τάσεων εξόδου

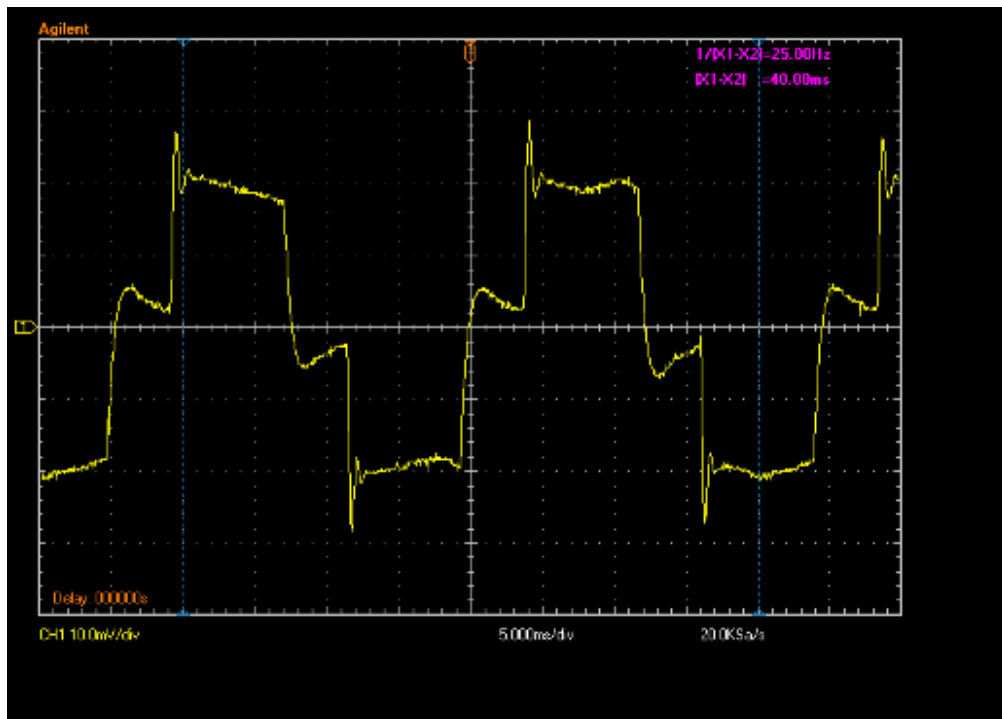
Για τάση $U=230V$ και συχνότητα $f=50Hz$



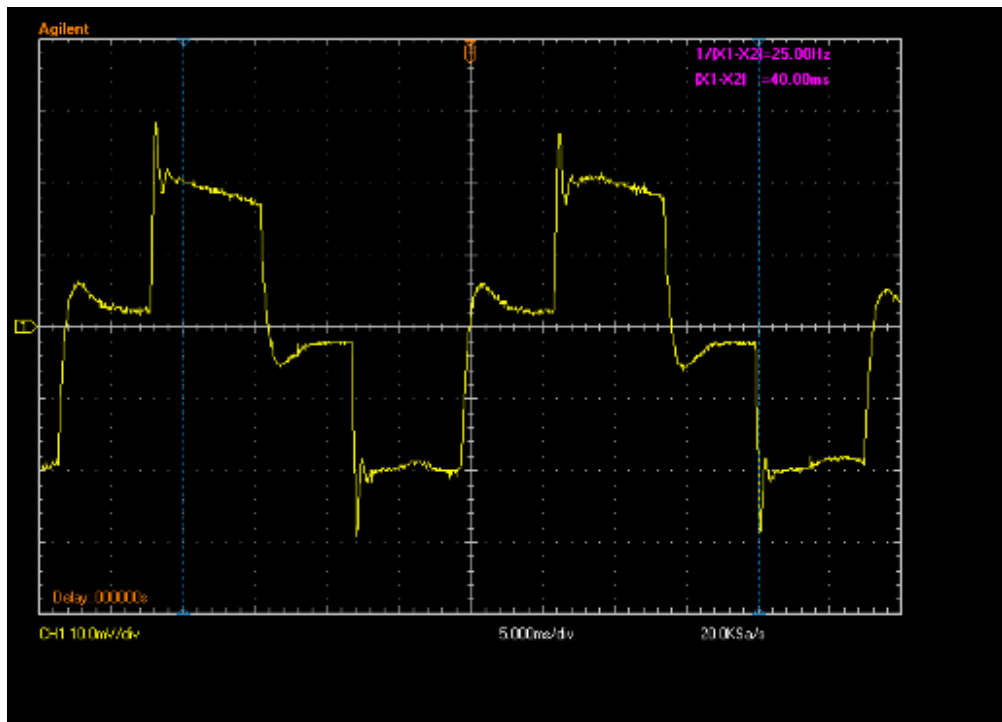
Για τάση $U=207V$ και συχνότητα $f=45Hz$



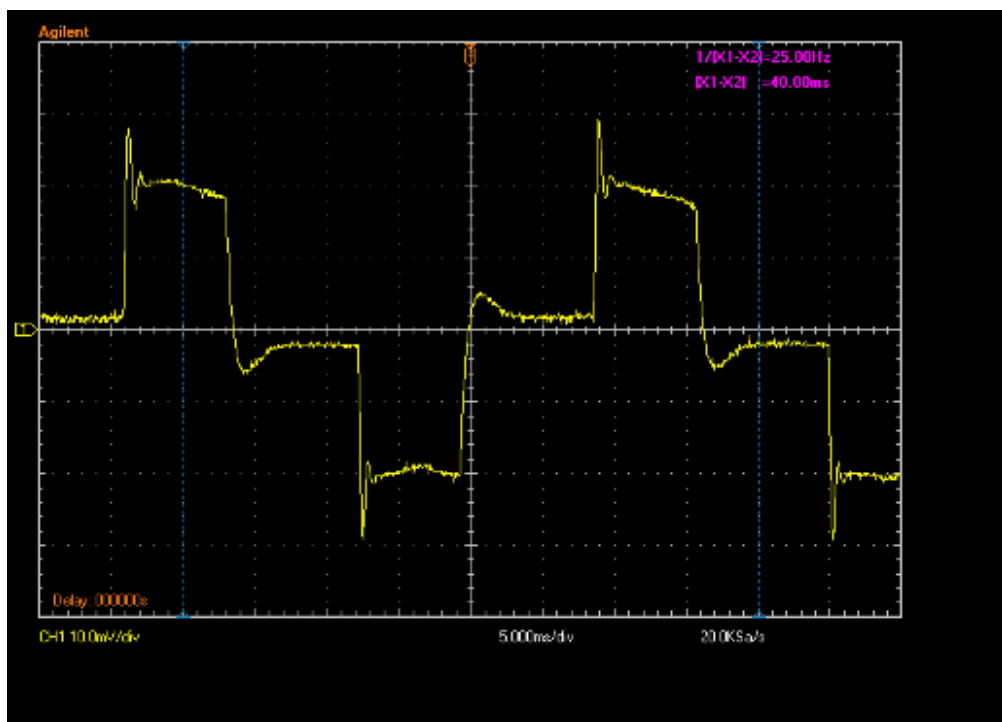
Για τάση $U=184V$ και συχνότητα $f=40Hz$



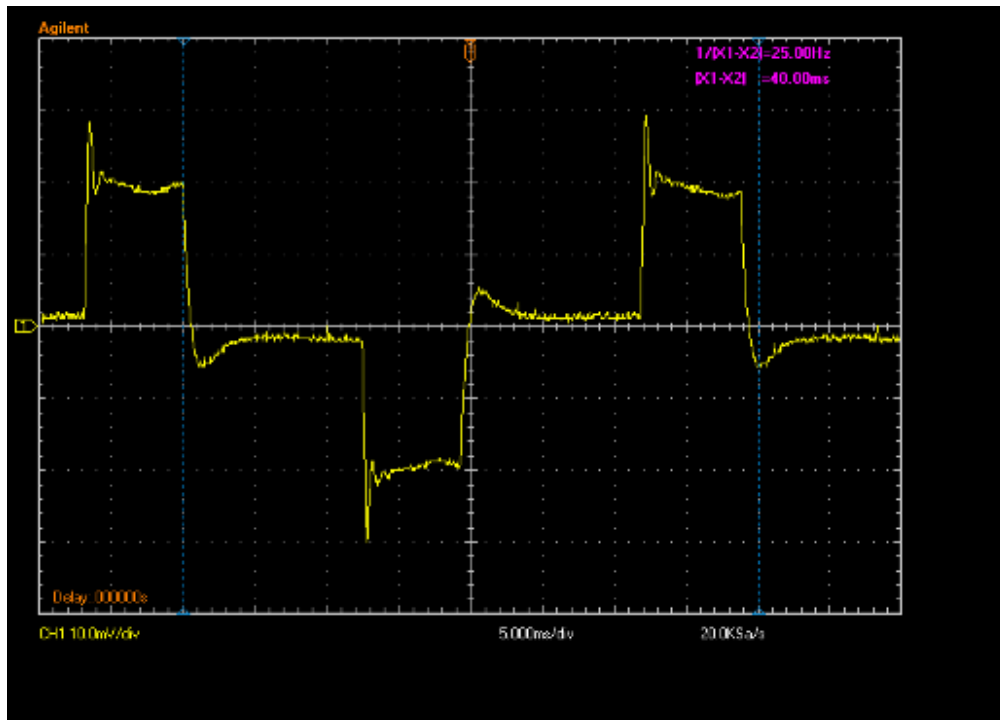
Για τάση $U=161V$ και συχνότητα $f=35Hz$



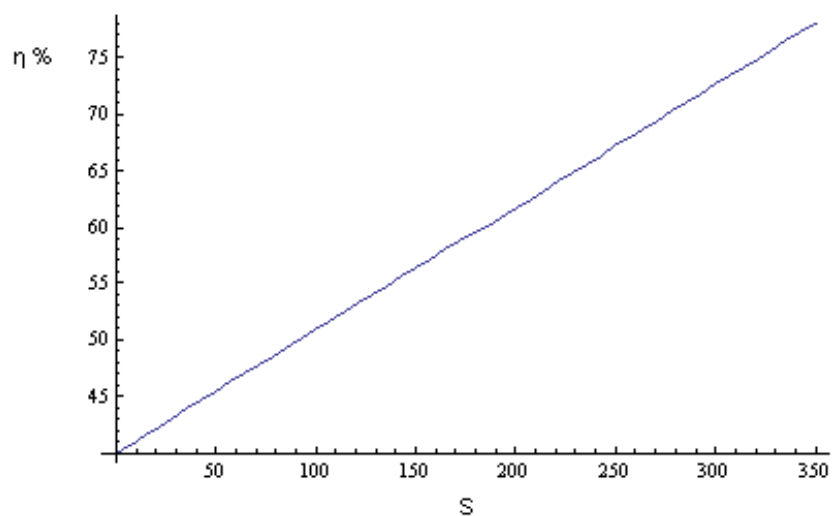
Για τάση $U=138V$ και συχνότητα $f=30Hz$



Για τάση $U=117V$ και συχνότητα $f=25Hz$



Παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης του AC/DC μετατροπέα αυξάνεται σε μικρό ποσοστό ενώ ο βαθμός απόδοσης του DC/ ACμετατροπέα μειώνεται σημαντικά. Ακολουθεί το γράφημα της συνολικής απόδοσης των μετατροπέων συναρτήσει της φαινόμενης ισχύος εξόδου.

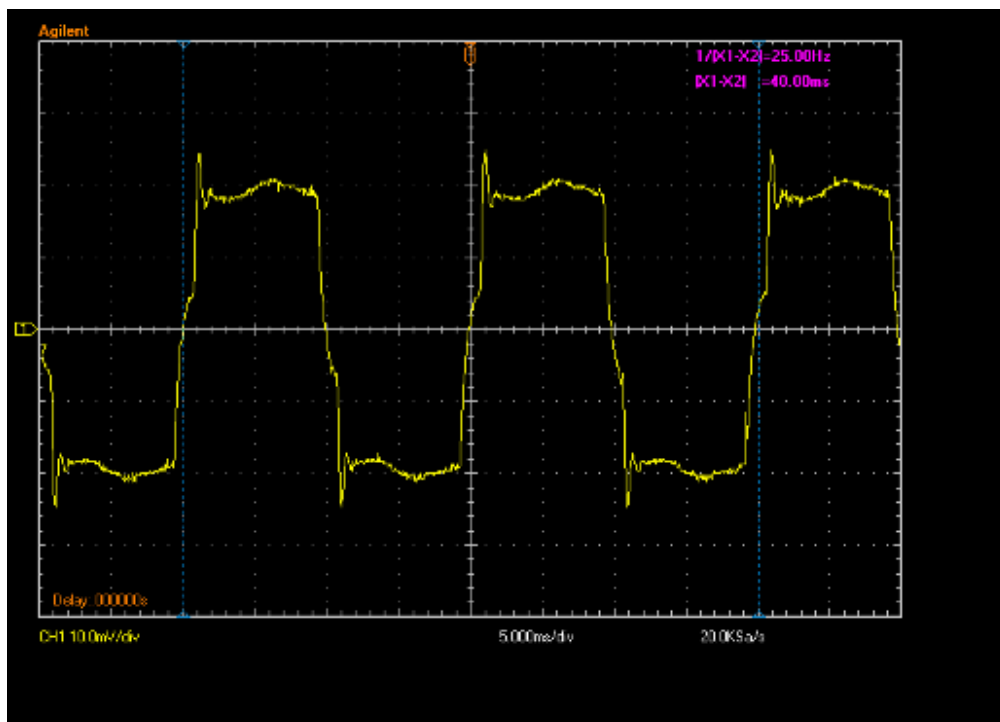


Η δεύτερη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με φορτίο 300W με σταθερή τη συχνότητα και μεταβλητή τάση εξόδου. Οι τιμές πλαισιώνονται στον ακόλουθο πίνακα:

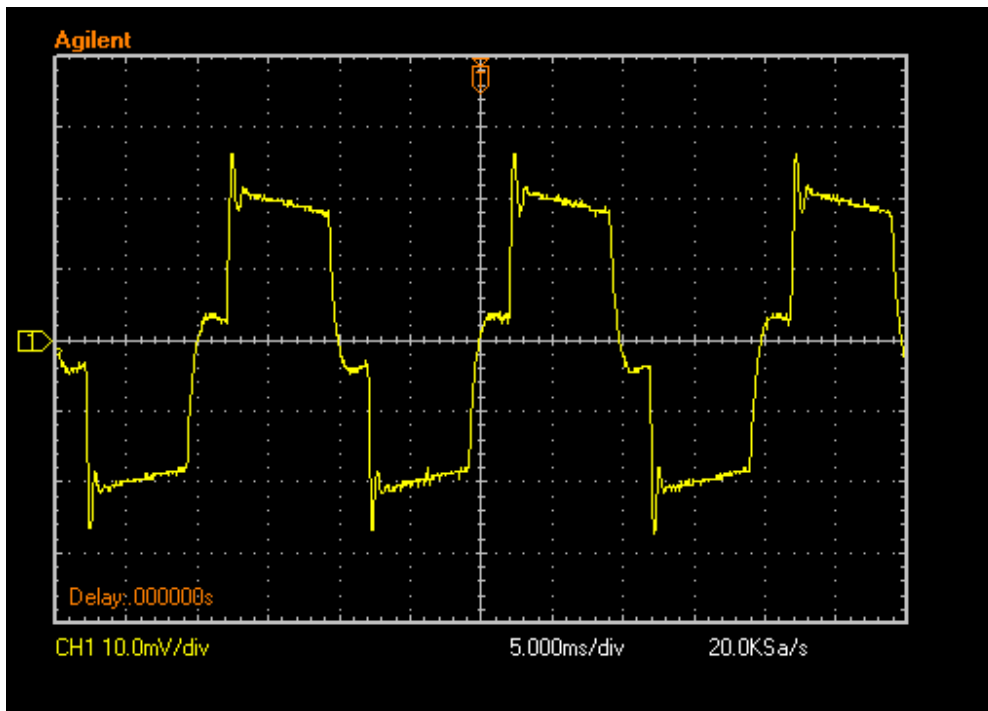
P= 300 W f = 50Hz														
V in	I in	f in	V dc	I dc	V out	I out	f out	Si n	Pdc	S out	η ac/dc %	η dc/ac %	η %	
220	1,93	50	27,5	11,4	230	1,32	50	424,6	313,5	303,6	73,83	96,84	71,5	
220	1,65	50	28,4	9,5	200	1,2	50	363	269,8	240	74,33	88,95	66,11	
220	1,4	50	28,2	8	170	1,08	50	308	225,6	183,6	73,25	81,38	59,61	
220	1,18	50	28,3	6,7	140	0,96	50	259,6	189,61	134,4	73,04	70,88	51,77	
220	0,91	50	29	5,2	110	0,8	50	200,2	150,8	88	75,32	58,36	43,95	

Κυματομορφές των τάσεων εξόδου

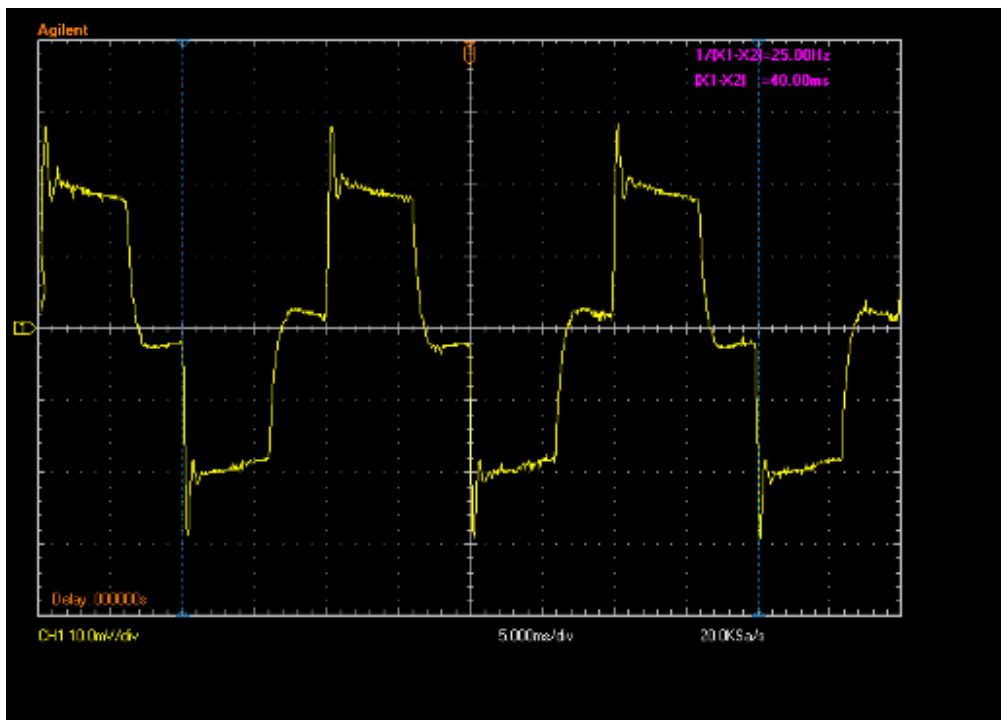
Για τάση $U=230V$ και συχνότητα $f=50Hz$



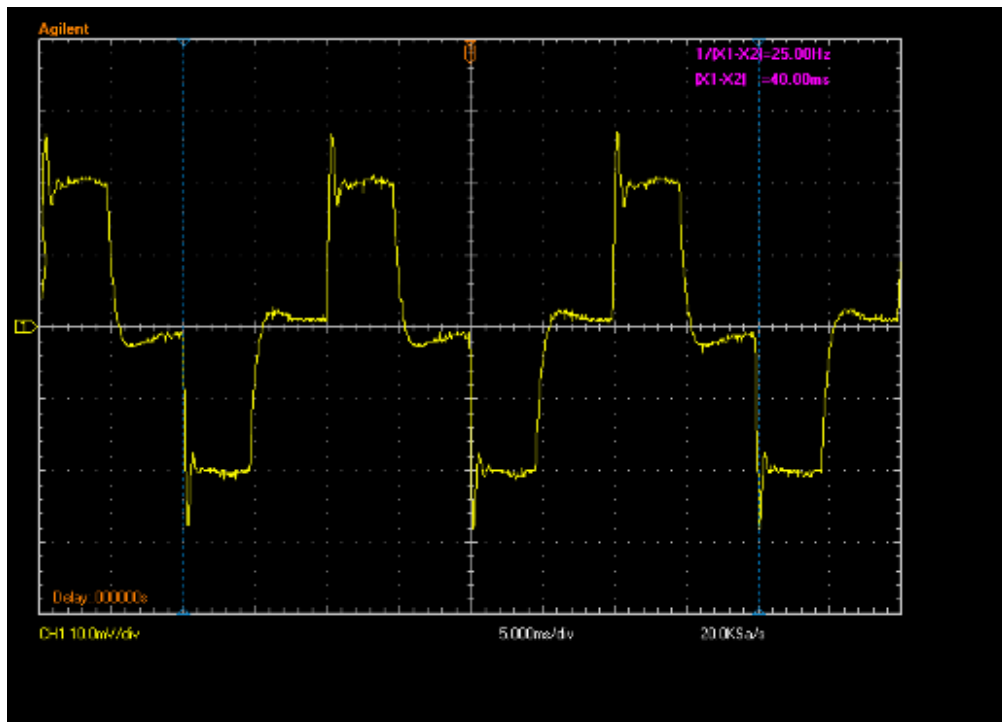
Για τάση $U=200V$ και συχνότητα $f=50Hz$



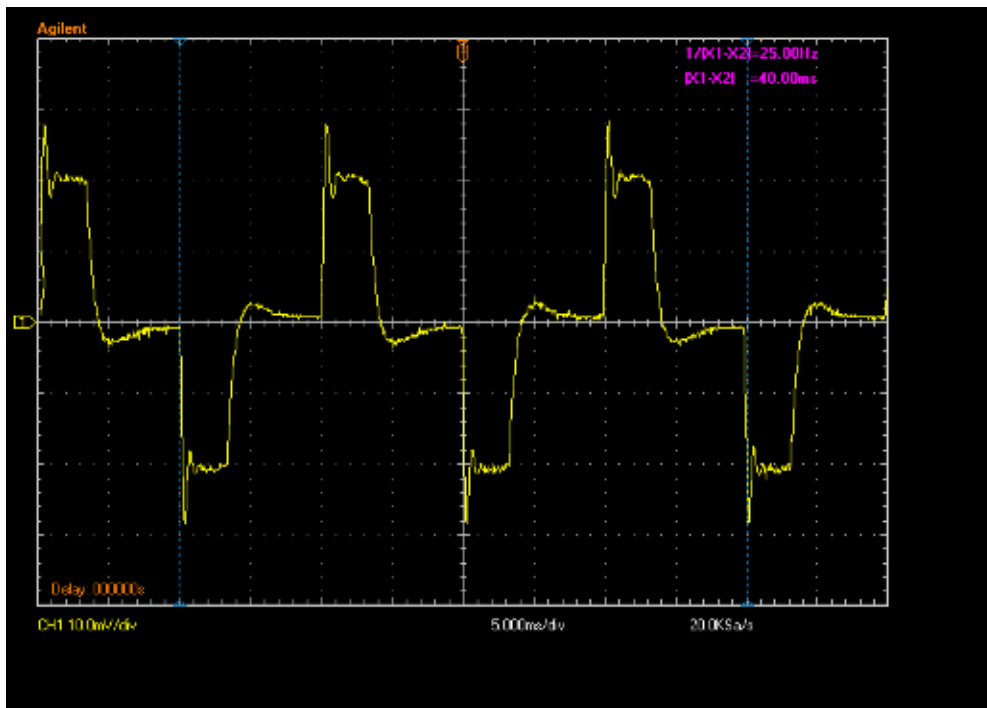
Για τάση $U=170V$ και συχνότητα $f=50Hz$



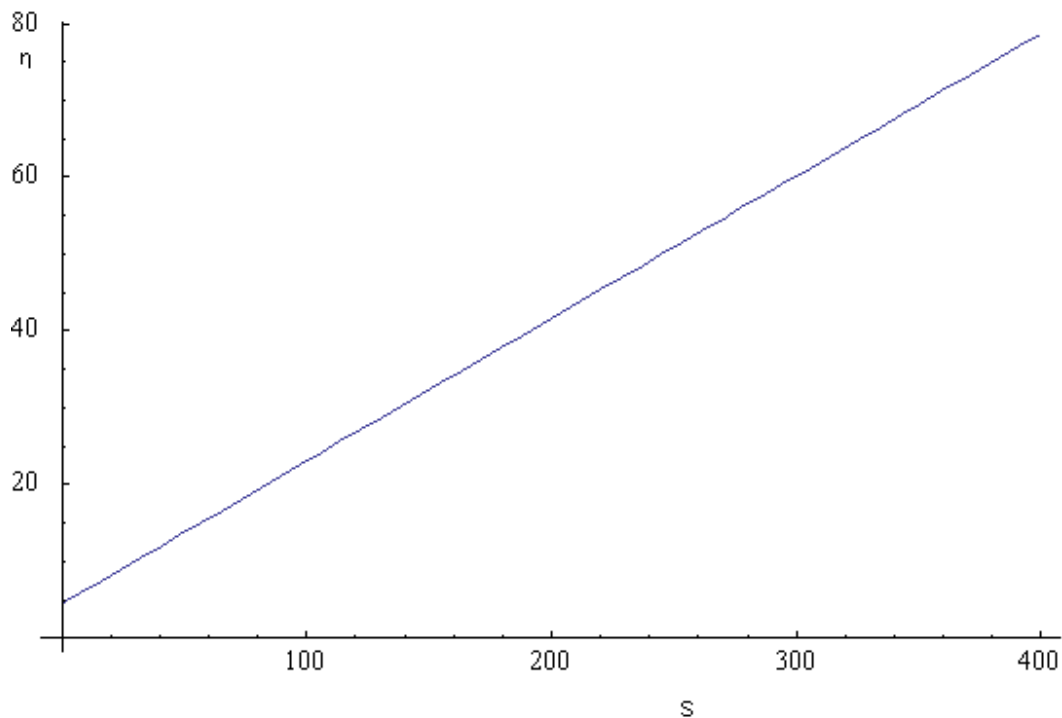
Για τάση $U=140V$ και συχνότητα $f=50Hz$



Για τάση $U=110V$ και συχνότητα $f=50Hz$



Παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης του AC/DC μετατροπέα αυξάνεται σε μικρό ποσοστό ενώ ο βαθμός απόδοσης του DC/ ACμετατροπέα μειώνεται σημαντικά. Ακολουθεί το γράφημα της συνολικής απόδοσης των μετατροπέων συναρτήσει της φαινόμενης ισχύος εξόδου.

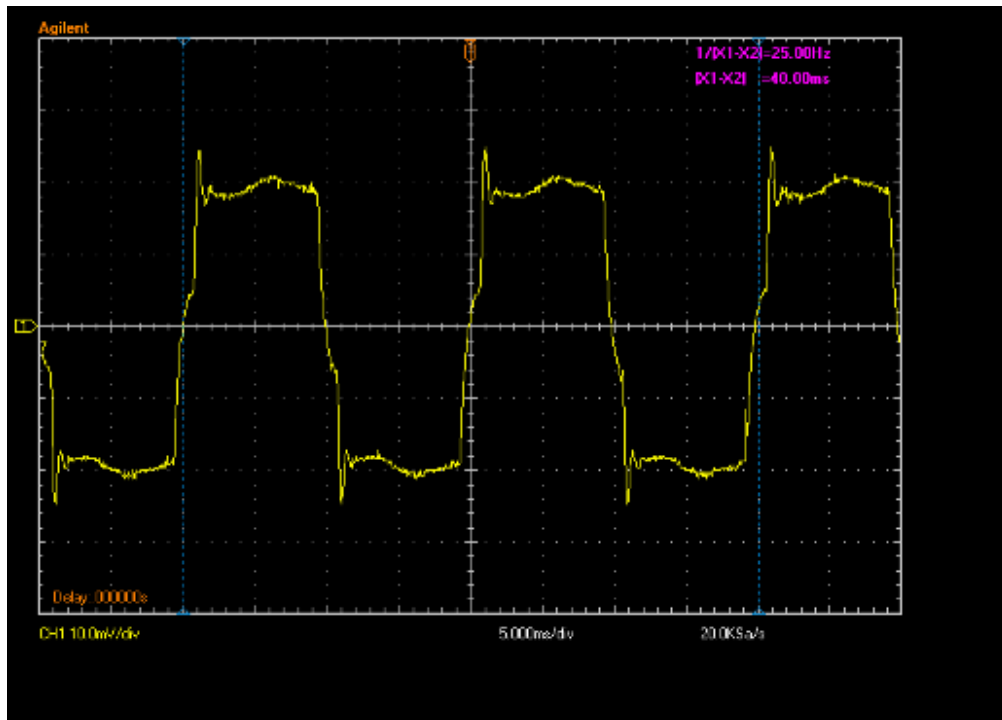


Η τρίτη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με φορτίο 300W, 380W και 525W με σταθερή τη συχνότητα και τάση εξόδου. Οι τιμές πλαισιώνονται στον ακόλουθο πίνακα:

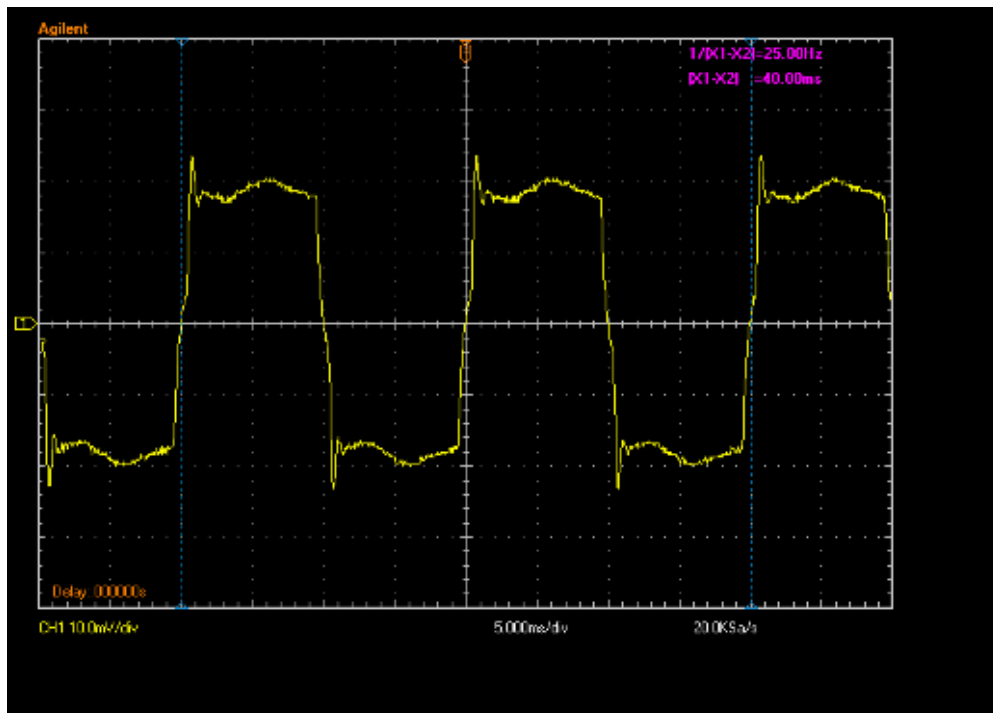
<u>P= 300 W f = 50Hz</u>														
V in	I in	f in	V dc	I dc	V out	I out	f out	Si n	Pdc	S out	η ac/dc %	η dc/ac %	η %	
220	1,93	50	27,5	11,4	230	1,32	50	424,6	313,5	303,6	73,83	96,84	71,5	
<u>P= 380 W f = 50Hz</u>														
219	2,23	50	27,2	14,3	230	1,64	50	488,37	388,96	377,2	79,64	96,97	77,23	
<u>P= 525W f = 50Hz</u>														
218	3,4	50	25,8	21	230	2,29	50	741,2	549,54	526,7	74,14	95,84	71,06	

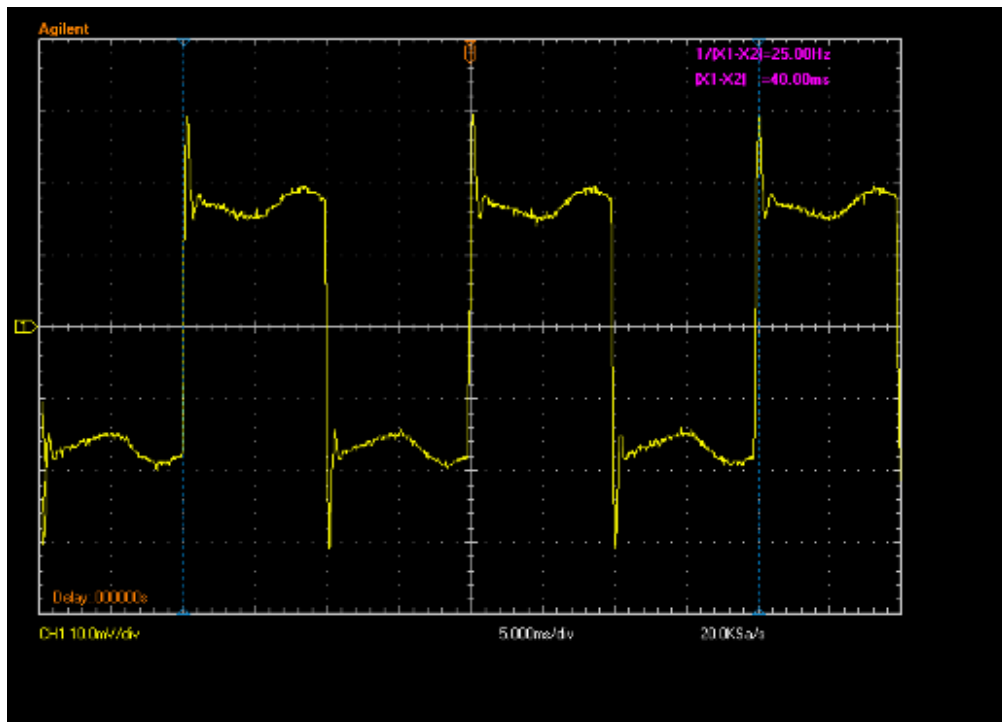
Κυματομορφές της τάσης εξόδου

Για ισχύ εξόδου 300W



Για ισχύ εξόδου 380W



Για ισχύ εξόδου 525W

Παρατηρούμε σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων ότι ο βαθμός απόδοσης των μετατροπέν για ισχύ εξόδου περίπου 400W μεγιστοποιείται (έως 77,2%).

Παράρτημα Α΄

Data Sheets

Βιβλιογραφία:

1. Josheph A. Edminister, Ηλεκτρικά Κυκλώματα, Εκδόσεις ΕΣΠΙ 1980.
2. Κ.Α. Καρυμπακα, Γενική Ηλεκτρονική τόμος Α΄, Θεσσαλονίκη 2001.
3. Κ.Α. Καρυμπακα, Γενική Ηλεκτρονική τόμος Β΄, Θεσσαλονίκη 2001.
4. Π. Μαλατέστας- Ηρ. Βυλιώτης, Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρονικών Ισχύος, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2004.
5. Στ. Μανιας, Ηλεκτρονικά Ισχύος, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2007.
6. Μ. Morris Mano, Ψηφιακή Σχεδίαση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου , Αθήνα 2005
7. Στ. Μανιας, Α Καλετσάνος, Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2001.
8. Ι. Κιοσκερίδης, Ηλεκτρονικά Ισχύος, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2008.