

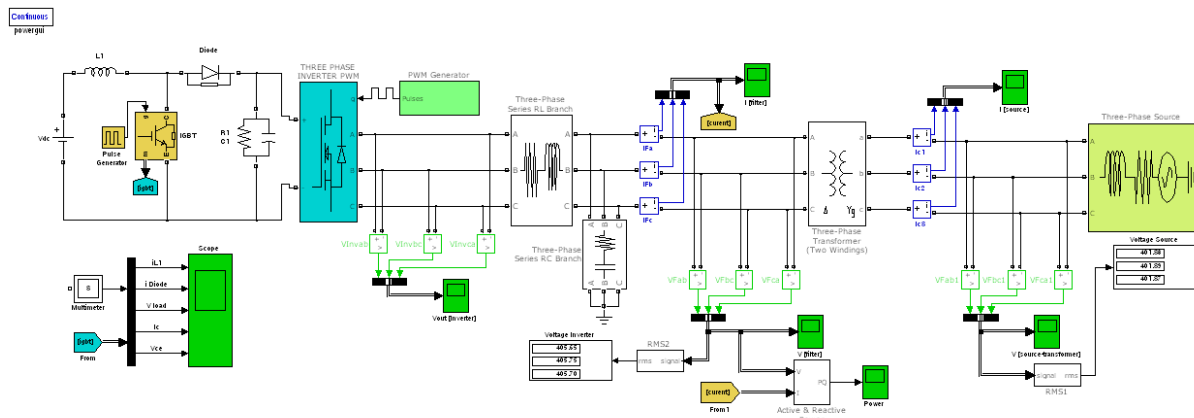
Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ”



Επιβλέπων Καθηγητής:

Σπύρος τσιόλης

Σπουδαστές : Κοιλιάκος Γεώργιος

ΑΜ: 37464

Πρινιόλας χρήστος

ΑΜ: 38139

Πειραιάς

Μήνας –2013

Copyright © Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή της για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε το **Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ** καθώς και το εκπαιδευτικό προσκοπικό για το πολύτιμο αγαθό της γνώσης που μας προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Ακόμη ευχαριστούμε τον κύριο Σπύρο Τσιόλη που ήταν ο επιβλέπων καθηγητής της εργασίας αυτής .

Ιδιαίτερος ευχαριστούμε τις οικογένειες μας για την αμέριστη συμπαράσταση τους όλα αυτά τα χρονιά σπουδών .

Περιεχόμενα

Summary	7
Πρόλογος.....	8
Περίληψη	8
1 ^ο Κεφάλαιο “ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ”	9
Κεφάλαιο 1.....	9
1.1 Σύγκριση κλασικών ηλεκτρομηχανικών μετατροπέων ισχύος με τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος.....	11
1.2 Εφαρμογές των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος.....	12
1.3 Ταξινόμηση ηλεκτρικών μετατροπέων ισχύος.....	13
1.3.1 Μορφή της τάσης ή συχνότητας εισόδου και εξόδου:	13
1.3.2 Μετάβαση των ηλεκτρονικών στοιχείων:	14
1.3.3 Είδος μετατροπής:	14
1.3.4 Ισχύς:	15
1.4 Ημιαγωγικοί διακόπτες ισχύος.....	15
1.4.1 Δίοδος.....	16
1.4.2 Θυρίστορ	17
1.4.3 Διπολικά transistor επαφής BJT	19
1.4.4 Mosfet.....	21
1.4.5 Θυρίστορ με σβέση ελεγχόμενη από την πύλη (GTO)	22
1.4.6 Διπολικά τρανζίστορ με μονωμένη πύλη (IGBT)	23
1.4.7 Ελεγχόμενα MOS θυρίστορ (MCT).....	24
1.4.8 Triac	25
1.4.9 SIT	26
1.4.10 SITH.....	27
2 ^ο Κεφάλαιο “ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ DC-DC ”	29
Κεφάλαιο 2.....	29
2.1 Εισαγωγή.....	29
2.2 Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης.....	32
2.3 Μετατροπέας ανύψωσης τάσης.....	33
2.4 Μεικτός μετατροπέας ανύψωσης/υποβιβασμού τάσης	35
2.5 Μετατροπέας cuk	36

2.6 Μετατροπείας με πλήρη γέφυρα	37
3 ^ο Κεφάλαιο “ΜΑΤΑΤΡΟΠΕΙΣ DC-AC ”	39
Κεφάλαιο 3	39
3.1 Εισαγωγή.....	39
Αντιστροφείς με τετραγωνική κυματομορφή.....	44
Αντιστροφείς με διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM)	44
Μονοφασικοί αντιστροφείς με απαλοιφή τάση.....	45
3.2 Μονοφασικοί αντιστροφείς.....	45
3.2.1 Με τετραγωνική κυματομορφή	45
A) Αντιστροφέας με ημιγέφυρα	46
B) Αντιστροφέας με πλήρη γέφυρα	47
3.2.2 Αντιστροφείς με διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM)	49
3.2.2.1 Διαμόρφωση με διπολική τάση εξόδου.....	50
3.2.2.2 Διαμόρφωση με μονοπολική τάση εξόδου.....	51
3.2.2.3 Έλεγχος της εξόδου με απαλοιφή της τάσης.....	52
3.3 Τριφασικοί αντιστροφείς.....	53
3.3.1 Τριφασικός αντιστροφέας ελεγχόμενος μέσω τετραγωνικών παλμών	53
3.3.1.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των μετατροπέων τετραγωνικού παλμού	55
3.3.2 Τριφασικός αντιστροφέας με διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM)	57
3.3.2.1 Ισχύς κατά τη λειτουργία του μετατροπέα ως αντιστροφέα	59
3.3.2.1.1 Ρύθμιση της ισχύος με έλεγχο τάσης.....	60
3.3.2.1.2 Ρύθμιση της ισχύος με έλεγχο ρεύματος	60
3.3.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των PWM μετατροπέων.....	61
4 ^ο Κεφάλαιο “ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ”	64
Κεφάλαιο 4	64
4.1 Εισαγωγή.....	64
4.2 Παραμετροποίηση των στοιχείων του συστήματος	65
4.2.1 Πηγή τροφοδότησης.....	66
4.2.2 Μετατροπείας DC-DC.....	67
4.2.3 Αντιστροφέας	69
4.2.4 Μέθοδοι συγχρονισμού της τάσης του αντιστροφέα με το δίκτυο	72
4.2.4.1 Μέθοδος συγχρονισμού ανοιχτού βρόχου.....	72
4.2.4.1.1 Φιλτράρισμα των τάσεων σε ακίνητο σύστημα α - β	73
4.2.4.1.2 Φιλτράρισμα των τάσεων στο στρεφόμενο σύστημα D-Q.....	73

4.2.4.1.3 Μέθοδος ανίχνευσης του μηδενός ενός συστήματος	74
4.2.4.2 Μέθοδος συγχρονισμού κλειστού βρόχου	74
4.2.5 Φίλτρο εξομάλυνσης	76
4.2.6 Τριφασικός μετασχηματιστής	78
4.2.7 Τριφασικό φορτίο	79
4.2.8 Τριφασική πηγή τάσης	80
4.2.9 Παρελκόμενα.....	81
5 ^ο Κεφάλαιο “ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ”	82
Κεφάλαιο 5.....	82
5.1 Εισαγωγή.....	82
5.2 Ωμικό φορτίο 2000VA	83
5.2.1 Ισοδύναμο μοντέλο	83
5.2.2 Αποτελέσματα Γραφικών.....	83
5.2.3 Αποτελέσματα Fourier	88
5.3 Ωμικό-επαγωγικό φορτίο 2000W/1200Var.....	91
5.3.1 Ισοδύναμο μοντέλο	91
5.3.2 Αποτελέσματα Γραφικών.....	91
5.3.3 Αποτελέσματα Fourier	96
5.4 Ωμικό-χωρητικό φορτίο 2000W/-1200Var	99
5.4.1 Ισοδύναμο μοντέλο	99
5.4.2 Αποτελέσματα Γραφικών.....	99
5.4.3 Αποτελέσματα Fourier	104
5.5 Μεταφορά ισχύος πραγματικής και άεργης προς το δίκτυο.....	108
5.5.1 Προσομοίωση μεταφοράς ισχύος προς το δίκτυο	109
5.5.2 Αποτελέσματα Fourier	111
5.5.3 Αποτελέσματα έλεγχου μέσω μεταβλητών παραμέτρων	113
Αγγλική ορολογία.....	119
Βιβλιογραφία	125

Summary

In recently years the technology of energy's production has been changed a lot, with renewable energy sources in top positions and the interconnection of Distributed Generation Systems on the network has increased the importance of control and power quality which they provide.

For this reason, this labor is intended to a model of voltage inverter which is connected to the network, taking into account as many factors needed in order to close as much in the real inverter with the properties that govern it in order to achieve high quality output with realistic switching frequency.

The first chapter is an introduction key components of inverters and power electronics in general, which has been revolutionized in electronics, analyzing the characteristics and functions.

The second chapter refers the analysis of "single-phase" and the "three-phase" inverter with various topologies and loads in order to understand theirs behavior.

The third chapter presents the principles of inverter's operation and the power source, the impulse control switches, strategy and filtering.

The fourth chapter analyzes the circuit modeling, the basic components used and the function-behavior of the circuit.

Keywords: Power converter, simulation power converter, inverter , power electronics , modeling circuit , interconnection inverter.

Πρόλογος

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία του τρόπου παραγωγής της ενέργειας έχει αλλάξει κατά πολύ με τις ΑΠΕ να βρίσκονται στις πρώτες θέσεις καθώς και η διασύνδεση των Συστημάτων Διεσπαρμένης Παραγωγής με το δίκτυο που έχει αυξήσει τη σημασία του ελέγχου και τη ποιότητα ισχύος που παρέχουν. Για αυτό το λόγο η πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό την μοντελοποίηση ενός αντιστροφέα τάσης για τη σύνδεση του στο δίκτυο λαμβάνοντας υπόψη όσου περισσότερους παράγοντας χρειάζεται ούτως ώστε να πλησιάζει κατά πολύ στον πραγματικό αντιστροφέα με τις ιδιότητες που τον διέπουν έτσι ώστε να επιτευχθεί υψηλής ποιότητας ισχύς εξόδου με ρεαλιστική διακοπτική συχνότητα.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα βασικά εξαρτήματα των μετατροπέων και γενικά των ηλεκτρονικών ισχύος, όπου έφεραν επανάσταση στην ηλεκτρονική και όχι μόνο. Αναλύοντας τα χαρακτηριστικά τους και τις λειτουργίες του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση του μονοφασικού και τριφασικού αντιστροφέα με διάφορες τοπολογίες και φορτία ώστε να κατανοηθεί η συμπεριφορά αυτών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αρχές λειτουργίας των αντιστροφέων όσων αφορά την πηγή τροφοδοσίας, την παλμοδότηση των διακοπών, τη στρατηγική ελέγχου και το φιλτράρισμα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται το κύκλωμα μοντελοποίησης, τα βασικά εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν και η λειτουργία-συμπεριφορά του κυκλώματος.

Λέξεις κλειδιά: Μετατροπέας ισχύος , προσομοίωση μετατροπέα ισχύος , ηλεκτρονικά ισχύος , μοντελοποίηση κυκλώματος , διασύνδεση μετατροπέα

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ”

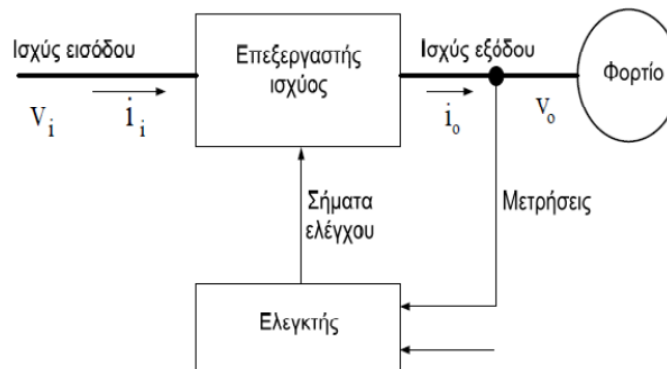
Κεφάλαιο 1

Όπως είναι γνωστό, στα χρόνια που ζούμε, οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος είναι οι βασικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας από μια μορφή σε κάποια άλλη. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος χρησιμοποιούνται διατάξεις με βασικά δομικά στοιχεία, τα ημιαγωγά στοιχεία ισχύος. Ο έλεγχος αυτών καθώς και της όλης διάταξης ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος γίνεται με τη χρήση αναλογικών και ψηφιακών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων χαμηλής ισχύος. Στόχος και σκοπός κατά τη λειτουργία αυτού του είδους των μετατροπέων είναι ο εύκολος έλεγχος και η ρύθμιση της ροής ισχύος μεταξύ δύο διαφορετικών συστημάτων.

Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος περιέχουν από την μία πλευρά τα κύρια ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος όπως θυρίστορ, GTO, MOSFET, IGBT κ.λπ., τα οποία στην ουσία είναι ελεγχόμενοι διακόπτες ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ από την άλλη ένα πλήθος ηλεκτρονικών στοιχείων χαμηλής ισχύος όπως ολοκληρωμένα κυκλώματα και μικροεπεξεργαστές, που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο της διακοπτικής και επιθυμητής λειτουργίας των κύριως ημιαγωγικών στοιχείων. Από τη σύνθεση των ηλεκτρονικών στοιχείων αυτών των δύο κατηγοριών καθώς και διαφόρων άλλων συμβατικών στοιχείων όπως μετασχηματιστών, πηνίων, πυκνωτών, ηλεκτρονόμων, ασφαλειών κ.λπ., προκύπτουν οι **ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος**,

που παρεμβαίνουν μεταξύ της πηγής και καταναλωτή για την επίτευξη του ελέγχου της ροής ισχύος.

Στο σχήμα 1 δίνεται ένα γενικό λειτουργικό διάγραμμα ενός ηλεκτρονικού συστήματος ισχύος. Η ισχύς εισόδου του μετατροπέα ισχύος παρέχεται συνήθως (αλλά όχι πάντα) από το δίκτυο (μονοφασικό ή τριφασικό) με συχνότητα 50 ή 60 Hz. Η γωνία φάσης ανάμεσα στην τάση και το ρεύμα εισόδου εξαρτάται από την τοπολογία και τον έλεγχο του μετατροπέα ισχύος. Η επεξεργασμένη έξοδος (τάση, ρεύμα, συχνότητα, αριθμός φάσεων) είναι αυτή που απαιτεί το φορτίο. Συνήθως, η έξοδος του μετατροπέα ισχύος συγκρίνεται με μια επιθυμητή αναφορά (είσοδος αναφοράς) και το μεταξύ τους σφάλμα ελαχιστοποιείται με τη βοήθεια ενός ελεγκτή. Σε αυτά τα συστήματα η ροή της ισχύος πρέπει να είναι αμφίδρομη (σε αρκετές εφαρμογές) ώστε να εναλλάσσονται οι ρόλοι της εισόδου και της εξόδου.



Σχήμα 1.1 Διάγραμμα λειτουργικού συστήματος

1.1 Σύγκριση κλασικών ηλεκτρομηχανικών μετατροπέων ισχύος με τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος

Πριν την εμφάνιση των ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας γινόταν μέσω των ηλεκτρομηχανικών μετατροπέων ισχύος. Κλασικό παράδειγμα είναι το σύστημα Ward-Leonard, που χρησιμοποιούσαν στο παρελθόν κυρίως για τον έλεγχο των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Η φιλοσοφία που ίσχυε ήταν η ηλεκτρική ενέργεια να μετατρέπεται σε μηχανική και στην συνέχεια ξανά σε ηλεκτρική με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Σήμερα πλέον, η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει με την χρήση των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος παρουσιάζοντας πολλά πλεονεκτήματα.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος σε σχέση με τους κλασικούς ηλεκτρομηχανικούς μετατροπείς, είναι :

- *Ελάχιστες ανάγκες συντήρησης , αφού οι συσκευές αυτές δεν έχουν κινητά μέρη*
- *Μεγάλος συντελεστής απόδοσης που ξεπερνάει για κάποιες διατάξεις το 90 %*
- *Σχετικά μικρό κόστος αγοράς*
- *Μικρός όγκος και βάρος*
- *Λόγω της έλλειψης κινητών μερών οι διατάξεις αυτές δεν απαιτούν ισχυρές βάσεις στήριξης*
- *Αθόρυβες στη λειτουργία τους*
- *Αμεσότητα και ακρίβεια*

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτών των διατάξεων είναι η απαίτηση άεργου ισχύος από το δίκτυο καθώς και η δημιουργία ανώτερων αρμονικών στο δίκτυο, από το οποίο αυτές τροφοδοτούνται.

1.2 Εφαρμογές των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος

Η ραγδαία ανάπτυξη του κλάδου των ηλεκτρονικών ισχύος τα τελευταία χρόνια έδωσε τη δυνατότητα για αντικατάσταση των παλιών ηλεκτρομηχανικών μετατροπέων ισχύος με νέες διατάξεις ισχύος, τόσο σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις όσο και σε οικιακές συσκευές καθημερινής χρήσης. Η εκτεταμένη ζήτηση της αγοράς ηλεκτρονικών.

Στον πίνακα αναφέρονται διάφορες εφαρμογές που καλύπτουν μια ευρεία περιοχή ισχύος, από μερικές δεκάδες watt μέχρι αρκετές εκατοντάδες M watt. Καθώς βελτιώνεται η λειτουργία των ημιαγωγών ισχύος και πέφτει το κόστος τους, αναμφισβήτητα περισσότερα συστήματα θα χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ισχύος.

<p>(Α) ΟΙΚΙΑΚΕΣ Ψύξη και κατάψυξη Θέρμανση χώρων Κλιματισμός Μαγείρεμα Φωτισμός Ψυχαγωγικός εξοπλισμός και εξοπλισμός γραφείου</p>	<p>(Δ) ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ Ηλεκτροκίνητα οχήματα Φορτιστές μπαταριών Σιδηρόδρομοι Τράμ και τρόλεϋ Αυτοκίνητα</p>
<p>(Β) ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ Θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός Κεντρική ψύξη Φωτισμός Υπολογιστές και εξοπλισμός γραφείου Αδιάλειπτη τροφοδοσία (UPS) Ανεκκυστήρες</p>	<p>(Ε) ΚΟΙΝΟΦΕΛΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Μεταφορά υψηλής dc τάσης Διόρθωση συντελεστή ισχύος Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας Υδραγωγεία</p>
<p>(Γ) ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ Αντλίες Συμπιεστές Στροβιλοσυμπιεστές και εξαεριστές Εργαλειομηχανές Φούρνοι τόξου, επαγωγικοί φούρνοι Φωτισμός Βιομηχανικά lasers Επαγωγική θέρμανση Συγκολλήσεις</p>	<p>(ΣΤ) ΔΙΑΣΤΗΜΑ Τροφοδοσία συστημάτων τηλεπικοινωνίας Συστήματα τροφοδοσίας δορυφόρων Συστήματα τροφοδοσίας αεροσκαφών</p> <p>(Ζ) ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ Φορτιστές μπαταριών Τροφοδοτικά (dc και UPS)</p>

1.3 Ταξινόμηση ηλεκτρικών μετατροπέων ισχύος

Είναι χρήσιμο να διακριθούν οι μετατροπείς ισχύος με βάση κάποια κριτήρια κατηγοριοποίησης τους, όπου μπορεί να είναι η μορφή της τάσης ή της συχνότητας της εισόδου και της εξόδου, ο τρόπος μετάβασης των ηλεκτρονικών στοιχείων, το είδος της μετατροπής και τέλος η ισχύς.

1.3.1 Μορφή της τάσης ή συχνότητας εισόδου και εξόδου:

Στα περισσότερα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος η είσοδος προέρχεται από το δίκτυο. Σε ειδικές εφαρμογές μπορεί να έχουμε και ως είσοδο συνεχή τάση

(μπαταρίες, φωτοβολταϊκα κτλ):

- Συνεχούς Τάσης (DC)

- α) με σταθερό πλάτος

- β) με ρυθμιζόμενο πλάτος

- Εναλλασσόμενης Τάσης (AC)

- α) με σταθερή συχνότητα και ρυθμιζόμενο πλάτος

- β) με ρυθμιζόμενη συχνότητα και ρυθμιζόμενο πλάτος

Το δίκτυο και το φορτίο, ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, μπορεί να είναι μονοφασικά ή τριφασικά σε εναλλασσόμενη τάση. Γενικά η ροή της ισχύος είναι από το δίκτυο προς το φορτίο, αλλά υπάρχουν και εξαιρέσεις. Για παράδειγμα σ' ένα φωτοβολταϊκό σύστημα διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, η ροή της ισχύος είναι από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες προς το δίκτυο. Σε ορισμένα συστήματα η διεύθυνση της ροής ισχύος είναι αμφίδρομη, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας.

1.3.2 Μετάβαση των ηλεκτρονικών στοιχείων:

Η μετάβαση των ηλεκτρονικών στοιχείων μπορεί να είναι είτε μη ελεγχόμενη είτε πλήρως ελεγχόμενη, και εξαρτάται από τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας κατά συνέπεια του κάθε ημιαγωγικού στοιχείου. Στον τρόπο μετάβασης υπάρχουν τρεις δυνατότητες:

- Μετατροπείς στη συχνότητα του δικτύου με φυσική μετάβαση όπου οι διακόπτες ανοίγουν και κλείνουν με τη συχνότητα των 50 ή 60 Hz του δικτύου.

- Διακοπτικοί μετατροπείς με εξαναγκασμένη μετάβαση όπου οι ελεγχόμενοι διακόπτες ανοίγουν και κλείνουν σε υψηλές συχνότητες, σε σχέση με το δίκτυο

- Μετατροπείς συντονισμού, όπου οι ελεγχόμενοι διακόπτες ανοίγουν ή κλείνουν, όταν η τάση και το ρεύμα είναι μηδέν.

1.3.3 Είδος μετατροπής:

Με βάση τη μορφή της τάσης στις δυο πλευρές του μετατροπέα , δηλαδή στην είσοδο και έξοδο, οι μετατροπείς ισχύος μπορούν να διακριθούν στις τέσσερις παρακάτω κατηγορίες:

Μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC-DC), ανορθωτής

Μετατροπή της συνεχούς τάσης σε συνεχή (DC-DC)

Μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη (DC-AC), αντιστροφέας

Μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε εναλλασσόμενη (AC-AC)

Είναι αρκετά συχνό μια ολοκληρωμένη συσκευή να αποτελείται από συνδυασμό τοπολογιών των παραπάνω κατηγοριών.

1.3.4 Ισχύς:

Με βάση την ισχύ, οι διατάξεις μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες:

- Διατάξεις χαμηλής ισχύος (συνήθως λειτουργούν σε υψηλή διακοπτική συχνότητα λειτουργίας).

Βασικό κριτήριο σχεδιασμού για διατάξεις χαμηλής ισχύος αποτελεί η ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής καθώς και του μεγέθους της διάταξης. Οι συσκευές αυτής της κατηγορίας λειτουργούν σε υψηλές διακοπτικές συχνότητες, γεγονός που οδηγεί σε ελαχιστοποίηση του μεγέθους του κυκλώματος, αφού τότε τα φίλτρα που απαιτούνται για την εξάλειψη των ανώτερων αρμονικών μικραίνουν.

- Διατάξεις υψηλής ισχύος

Εκτός από την ελαχιστοποίηση του κόστους, βασικό κριτήριο του σχεδιασμού των συσκευών μεγάλης ισχύος αποτελεί η βελτίωση του συντελεστή απόδοσης.

1.4 Ημιαγωγικοί διακόπτες ισχύος

Οι διαθέσιμοι ημιαγωγοί ισχύος μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες σύμφωνα με το πόσο ελέγξιμοι είναι. Οι ομάδες αυτές είναι:

- 1) Δίοδοι.** Δεν δίνουν την δυνατότητα ελέγχου. Το κύκλωμα καθορίζει αν είναι σε κατάσταση αγωγής ή αποκοπής.
- 2) Θυρίστορ.** Δίνουν την δυνατότητα ελέγχου, αλλά πρέπει να ανοίξουν από το κύκλωμα ισχύος
- 3) Ελεγχόμενοι διακόπτες.** Οι οποίοι μπαίνουν σε κατάσταση αγωγής ή κατάσταση αποκοπής ανάλογα από τα σήματα ελέγχου.

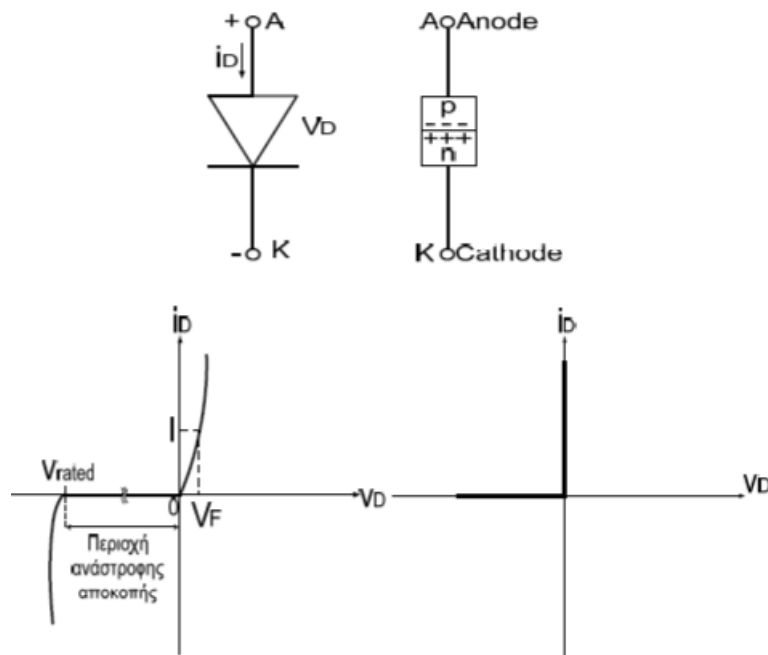
1.4.1 Δίοδος

Η δίοδος είναι **μη** ελεγχόμενο διακοπτικό στοιχείο , δηλαδή δεν είναι δυνατός ο έλεγχος της λειτουργίας της μέσω άλλων ηλεκτρικών σημάτων. Η συμπεριφορά της εξαρτάται αποκλειστικά από τη διαφορά δυναμικού που εμφανίζεται στα άκρα της. Παρακάτω δίνονται ο συμβολισμός της διόδου, η δομή της καθώς επίσης και η χαρακτηριστική V-I.H δίοδος όταν είναι ορθά πολωμένη, αρχίζει να άγει με μια μικρή πτώση τάσης στα άκρα της. Όταν η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη και μέχρι η τάση στα άκρα της να γίνει ίση με την ανάστροφη τάση διάσπασης,

διαρρέεται μόνο από ένα πολύ μικρό ρεύμα (ρεύμα διαρροής). Κατά την κανονική λειτουργία της διόδου, η ανάστροφη τάση πόλωσης δεν θα πρέπει να φτάνει την ονομαστική τιμή της τάσης διάσπασης. Κατά την αγωγή, η δίοδος μπορεί να θεωρηθεί ιδανικός διακόπτης, επειδή μεταβαίνει γρήγορα σε σύγκριση με τα μεταβατικά φαινόμενα που εμφανίζονται στο κύκλωμα ισχύος. Κατά την αποκοπή όμως το ρεύμα της διόδου αναστρέφεται για κάποιο χρονικό διάστημα, πριν μηδενιστεί (χρόνος αποκατάστασης). Στις εφαρμογές ισχύος η δίοδος χρησιμοποιείται κυρίως για ανόρθωση, αλλά και σαν δίοδος ελεύθερης διέλευσης όταν συνδέεται παράλληλα και αντίστροφα με το φορτίο ή άλλα ημιαγωγικά στοιχεία με σκοπό να παρέχει δρόμο ελεύθερης ροής των επαγωγικών ρευμάτων που αναπτύσσει το φορτίο και με τον τρόπο αυτό να αποκλείσει την ανάπτυξη υψηλών επαγωγικών ανάστροφων τάσεων που μπορούν να καταστρέψουν τα ημιαγωγικά στοιχεία.

Διατίθενται διάφορα είδη διόδων όπως :

- Δίοδοι Schottky
- Δίοδοι ταχείας αποκατάστασης
- Δίοδοι συχνότητας δικτύου



Εικόνα 1.2: Δίοδος: σύμβολο, $i-v$ χαρακτηριστική, ιδανική χαρακτηριστική

1.4.2 Θυρίστορ

Το θυρίστορ είναι διακοπτικό στοιχείο που αποτελείται από τέσσερα ημιαγωγικά στρώματα και έχει τρεις ακροδέκτες. Μπορεί να διαχειριστεί τη μεγαλύτερη ισχύς από όλα τα διακοπτικά στοιχεία, από δεκάδες Watt μέχρι MW, και η ταχύτητα λειτουργίας του φτάνει μέχρι 10 KHz. Η ίδια η ονομασία του δηλώνει ότι λειτουργεί ως ελεγχόμενος διακόπτης. Έχει τρεις ακροδέκτες, η άνοδος και κάθοδος (που αποτελούν το κύριο κύκλωμα του ρεύματος που ελέγχει) και η πύλη από την οποία γίνεται ο έλεγχος. Το κύριο ρεύμα ρέει από την άνοδο προς την κάθοδο. Στην κατάσταση αποκοπής, μπορεί να αποκόπτει μια ορθή τάση και να μην άγει. Στο σχήμα 1.4 φαίνεται το σύμβολο η δομή και η χαρακτηριστική V-I του θυρίστορ.

Το θυρίστορ άγει με την εφαρμογή ενός θετικού παλμού ρεύματος στην πύλη, με την

προϋπόθεση ότι είναι σε κατάσταση ορθής πόλωσης. Η πτώση τάσης στα άκρα του, είναι μόνο μερικά volt (1-3 volt). Εφόσον το θυρίστορ μπει σε κατάσταση αγωγής και παραμένει, το ρεύμα της πύλης μπορεί να σταματήσει να εφαρμόζεται. Όταν σταματήσει να άγει τότε το ρεύμα του μηδενίζεται μόνο όταν το ρεύμα ανόδου-καθόδου τείνει να γίνει αρνητικό. Αυτό επιτρέπει στην πύλη να ανακτήσει τον έλεγχο, για να οδηγήσει σε κατάσταση αγωγής και πάλι το θυρίστορ σε κάποια ελεγχόμενη χρονική στιγμή, εφόσον αυτό επανέλθει σε κατάσταση ορθής αποκοπής και εφαρμοστεί παλμός.

Σε ανάστροφη πόλωση

μόνο ένα ελάχιστο ρεύμα διαρροής περνάει από το θυρίστορ.

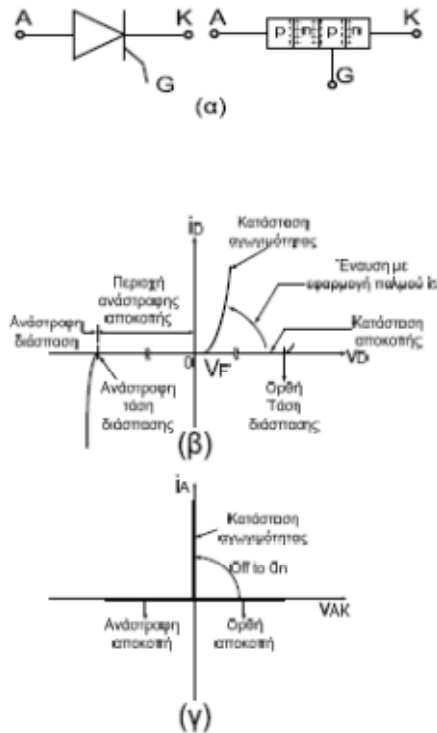
Το θυρίστορ αποτελεί το πιο κοινό στοιχείο των ηλεκτρονικών ισχύος και έχει πολλές εφαρμογές , με κυριότερες τις διατάξεις ελεγχόμενης ανόρθωσης, αντιστροφής και τη ρύθμιση ισχύος προς το φορτίο.

Διατίθενται θυρίστορ με προδιαγραφές τάσης μέχρι 6000 V, συχνότητας 500 Hz, ρεύματος 3500 A καθώς και διάφορα είδη όπως :

- Θυρίστορ για έλεγχο φάσης
- Θυρίστορ αντιστροφών
- Θυρίστορ με φωτεινή διέγερση

Υπάρχουν παραλλαγές όπως :

- Θυρίστορ με σβέση βοηθούμενη από την πύλη (GATT)
- Ασύμμετροι ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου (ASCR)
- Θυρίστορ ανάστροφης αγωγής (RCT)

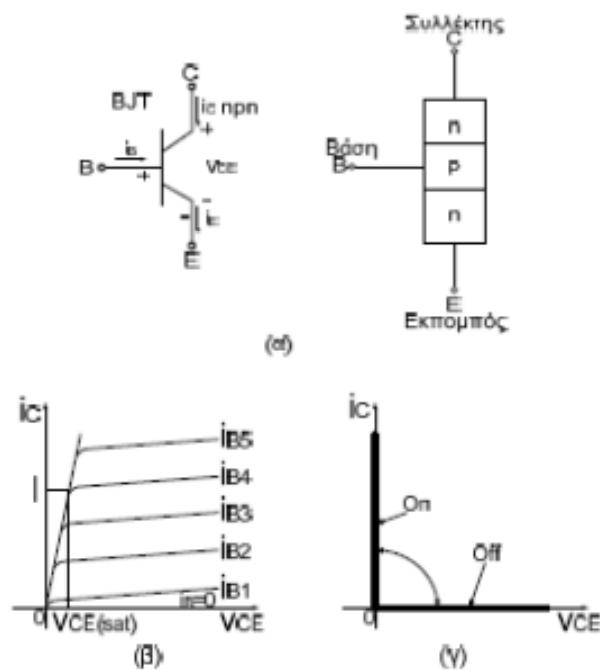


Εικόνα 1.3: Θυρίστωρ : σύμβολο, δομή, i - v χαρακτηριστική, ιδανική χαρακτηριστική

1.4.3 Διπολικά transistor επαφής BJT

Το διπολικό τρανζίστορ επαφής είναι γνωστό ως ενισχυτής σήματος αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος. Πρόκειται για ένα στοιχείο τριών ημιαγωγικών στρωμάτων και τριών ακροδεκτών (Εκπομπός, Συλλέκτης και Βάση). Το σύμβολο η δομή και η χαρακτηριστική V - I του BJT παρουσιάζονται στο σχήμα 1.5. Τα BJT είναι διατάξεις ελεγχόμενες από ρεύμα στις οποίες το ρεύμα της βάσης πρέπει να τροφοδοτείται συνεχώς για να τα κρατάει σε κατάσταση αγωγιμότητας. Το d_c κέρδος ρεύματος των τρανζίστορ υψηλής ισχύος είναι συνήθως μόνο 5-10 και για αυτό το λόγο είναι σε συνδεσμολογία Darlington ή τριπλό Darlington, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερο κέρδος.

Παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, όπως είναι οι ελαφρά υψηλότερες τιμές της τάσης αγωγιμότητας V_{CE} και οι χαμηλότερες ταχύτητες μετάβασης. Τα BJT διατίθενται με προδιαγραφές τάσης μέχρι 1400 V και ρεύματος μερικών εκατοντάδων A. Το μεγάλο μειονέκτημα των BJT είναι ότι δεν μπορούν να υφίστανται αντίστροφες τάσεις πάνω από μερικές δεκάδες Volt, που σημαίνει ότι αποκλείονται για εφαρμογές διαμόρφωσης ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος, εκτός αν χρησιμοποιηθεί και δίοδος σε σειρά. Η ταχύτητα λειτουργίας των BJT είναι περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτή των θυρίστωρ, αλλά η μέγιστη ισχύς τους είναι πολύ μικρότερη. Βρίσκει αρκετές εφαρμογές σε διατάξεις χαμηλής, μεσαίας ισχύος, αντιστροφής και μετατροπείς DC-DC.

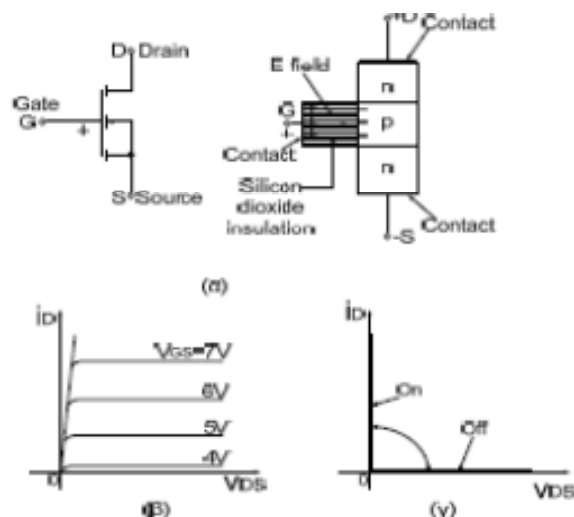


Εικόνα 1.4: Διπολικά τρανζίστορ επαφής BJT: σύμβολο, δομή, i-v χαρακτηριστική, ιδανικές χαρακτηριστικές

1.4.4 Mosfet

Το Mosfet είναι ένα ελεγχόμενο ημιαγωγικό στοιχείο από τάση. Προσεγγίζει έναν κλειστό διακόπτη, όταν η τάση πύλης-πηγής είναι επαρκώς υψηλή. Το Mosfet είναι σε κατάσταση αποκοπής όταν η τάση πύλης-πηγής είναι χαμηλότερη από την τιμή κατωφλίου. Απαιτούν τη συνεχή εφαρμογή μιας τάσης κατάλληλου μεγέθους μεταξύ της πύλης και της πηγής για να βρίσκονται σε κατάσταση αγωγιμότητας. Από την πύλη περνά ρεύμα μόνο κατά τις μεταβάσεις σβέσης και έναυσης. Οι χρόνοι μετάβασης είναι πολύ μικροί, από μερικές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες nsec, ανάλογα με το είδος του στοιχείου. Τα Mosfet διατίθενται με ονομαστικές τάσεις μέχρι 500 V, αλλά με μικρά ονομαστικά ρεύματα περίπου 50 A, και με ονομαστικά ρεύματα μέχρι τα 100 A σε μικρές ονομαστικές τάσεις. Η μέγιστη τάση πύλης-πηγής είναι ± 20 V, αν και διατίθενται Mosfet που μπορούν να ελέγχονται με σήματα των 5 V. Η συχνότητα λειτουργίας του είναι μέχρι 10 MHz.

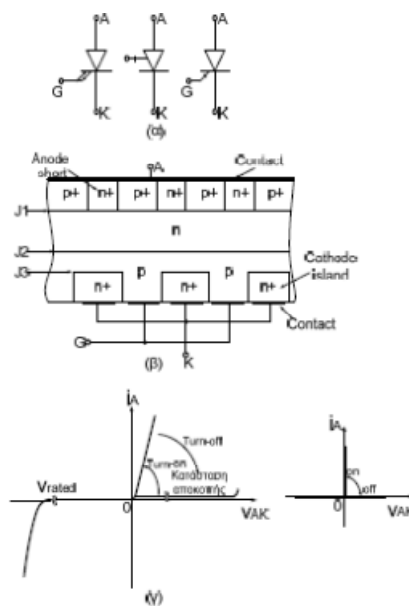
Μερικές εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα Mosfet είναι : Διακοπτικά τροφοδοτικά,, επαγωγική θέρμανση, ηλεκτροσυγκόλληση, φωτισμό φθορισμού με υψηλή συχνότητα.



Εικόνα 1.5: Mosfet: σύμβολο, δομή, i - v χαρακτηριστική, ιδανικές χαρακτηριστικές

1.4.5 Θυρίστορ με σβέση ελεγχόμενη από την πύλη (GTO)

Το GTO θυρίστορ ανήκει στην οικογένεια των θυρίστορ και όπως το θυρίστορ έτσι και το GTO μπορεί να οδηγηθεί σε αγωγή με ένα σύντομο παλμό ρεύματος στην πύλη και παραμένει σε αγωγή χωρίς να απαιτείται πλέον ρεύμα στην πύλη. Ωστόσο, αντίθετα με το θυρίστορ, μπορεί να οδηγηθεί σε αποκοπή με την εφαρμογή μιας αρνητικής τάσης μεταξύ της πύλης και της καθόδου και έτσι να προκαλέσει τη ροή ενός αρκετά μεγάλου αρνητικού ρεύματος στην πύλη. Τα χαρακτηριστικά τάσης και ρεύματος των GTO βρίσκονται μεταξύ αυτών των θυρίστορ και αυτών των τρανζίστορ. Ο συμβολισμός η δομή και η χαρακτηριστική του φαίνεται στο σχήμα 1.7. Τα GTO διατίθενται με προδιαγραφές τάσης μέχρι 4500V, συχνότητα μέχρι 2 KHz και ρεύμα μέχρι 3000 A.



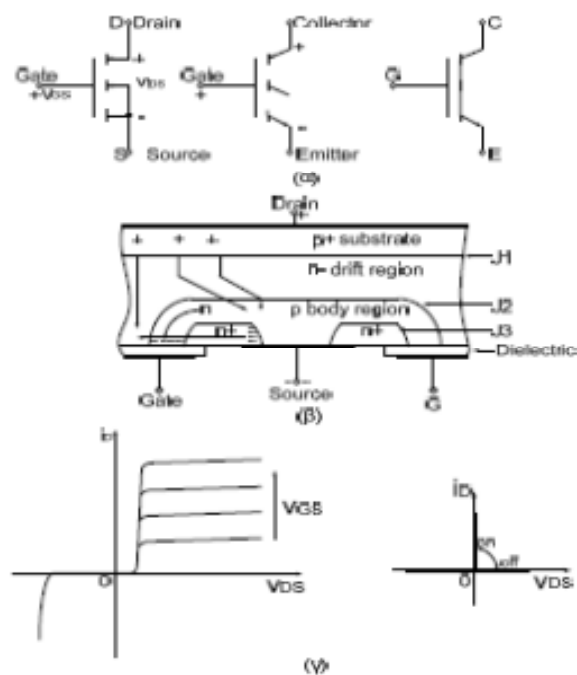
Εικόνα 1.6: Θυρίστορ με σβέση ελεγχόμενη από την πύλη (GTO): σύμβολο, δομή, i-v χαρακτηριστικές, ιδανικές χαρακτηριστικές

1.4.6 Διπολικά τρανζίστορ με μονωμένη πύλη (IGBT)

Τα IGBT έχουν κάποια από τα πλεονεκτήματα του Mosfet , του BJT και του GTO συνδυασμένα. Έχει μεγάλη σύνθετη αντίσταση πύλης και έτσι απαιτείται μια μικρή μόλις ποσότητα ενέργειας για τη μετάβαση του και έχει μικρή τάση αγωγιμότητας,

ακόμα και σε στοιχεία με μεγάλες ονομαστικές τάσεις αποκοπής. Μπορούν να σχεδιαστούν για να αποκόψουν ανάστροφες τάσεις.

Τα IGBT έχουν χρόνους έναυσης και σβέσης της τάξης του 1 μsec και διατίθενται με μεγάλες ονομαστικές τιμές τάσης ,συχνότητας και ρεύματος, όπως 1200 V, 20 KHz και 400 A. Τα IGBT βρίσκουν τις ίδιες εφαρμογές με τα BJT, έχοντας όμως καλύτερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 1.7: Διπολικά τρανζίστορ με μονωμένη πύλη (IGBT): σύμβολα, δομή, $i-v$ χαρακτηριστικές, ιδανικές χαρακτηριστικές

1.4.7 Ελεγχόμενα MOS θυρίστορ (MCT)

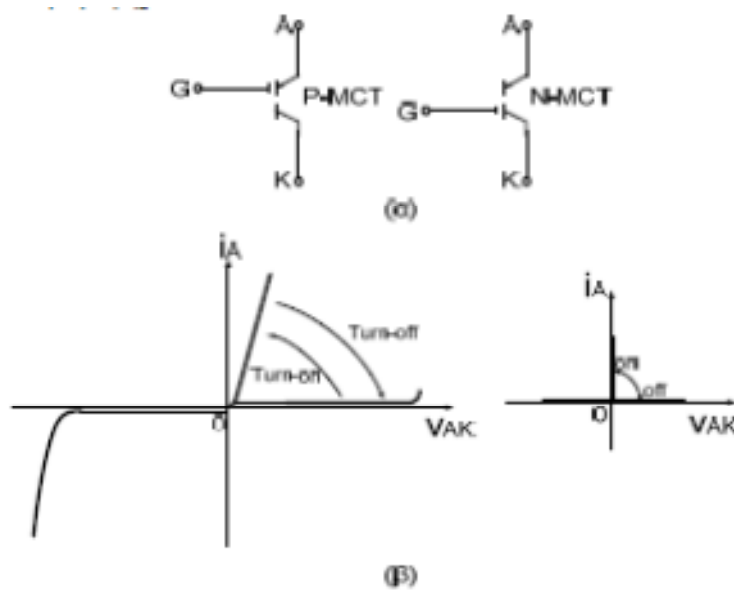
Το MCT είναι ο συνδυασμός ενός GTO με δύο MOSFET. Το πρώτο MOSFET χρησιμοποιείται για την έναυση του GTO και το δεύτερο για τη σβέση του. Τα δύο λίγο διαφορετικά σύμβολα για το MCT δηλώνουν το αν το στοιχείο είναι P-MCT ή N-MCT. Η διαφορά μεταξύ τους προκύπτει από τις διαφορετικές θέσεις των ακροδεκτών ελέγχου. Έχει πολλές από τις ιδιότητες του GTO , ανάμεσα στις οποίες

χαμηλή πτώση τάσης στην κατάσταση αγωγιμότητας σε σχετικά υψηλά ρεύματα και μια χαρακτηριστική μανδάλωση (το MCT παραμένει σε αγωγή ακόμη κι αν πάψει να εφαρμόζεται η διέγερση στην πύλη). Το MCT είναι μια διάταξη ελεγχόμενη από τάση , όπως το MOSFET και το IGBT και απαιτείται περίπου η ίδια ενέργεια για να προκαλέσει την μετάβαση του , όπως για ένα MOSFET ή ένα IGBT.

Το MCT έχει δύο κύρια πλεονεκτήματα σε σχέση με το GTO :

- α) πολύ απλούστερες απαιτήσεις διέγερσης (δεν απαιτείται μεγάλο αρνητικό ρεύμα πύλης για τη σβέση όπως στο GTO) και
- β) μεγαλύτερες ταχύτητες μετάβασης.

Το μειονέκτημα του MCT είναι η μικρή ικανότητα αντοχής σε αντίστροφη τάση , αλλά θεωρείται ότι έχει μεγάλη δυνατότητα να αντικαταστήσει άλλα στοιχεία και να καλύψει μεγάλο εύρος εφαρμογών. Τα MCT διατίθενται με προδιαγραφές τάσης μέχρι 600 V , συχνότητα μέχρι 20 KHz και ρεύμα μέχρι 60 A.

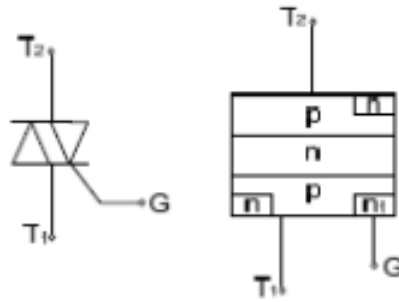


Εικόνα 1.8:Ελεγχόμενα MOS θυρίστορ (MCT): σύμβολα, i - v χαρακτηριστικές, ιδανικές χαρακτηριστικές

1.4.8 Triac

Το Triac είναι ένα στοιχείο με τρεις ακροδέκτες και μπορεί να χειριστεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Η περιγραφή του μπορεί να γίνει ως δύο αντιπαράλληλα θυρίστορ (δηλαδή δύο θυρίστορ που η άνοδος του ενός συνδέεται με την κάθοδο του άλλου) με συνδεδεμένους τους ακροδέκτες της πύλης. Το triac επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος και προς τις δυο κατευθύνσεις χωρίς διάκριση, ενώ η αγωγή ή όχι του ρεύματος ελέγχεται με σήμα στην πύλη του. Το πλεονέκτημα του είναι ότι είναι το μοναδικό στοιχείο που μπορεί να αποκόπτει ρεύματα ή να άγει και προς τις δύο κατευθύνσεις, ενώ το μειονέκτημα του είναι ότι δεν μπορεί να χειρισθεί μεγάλη σχετικά ισχύ. Η κύρια εφαρμογή του είναι ο έλεγχος εναλλασσόμενου ρεύματος σε εφαρμογές, όπως έλεγχος φωτισμού, θερμοκρασίας ή μικρών κινητήρων, όπως ανεμιστήρων.

Τα Triac διατίθενται με προδιαγραφές τάσης μέχρι 800V συχνότητα μέχρι 400 Hz και ρεύμα μέχρι 40 A.

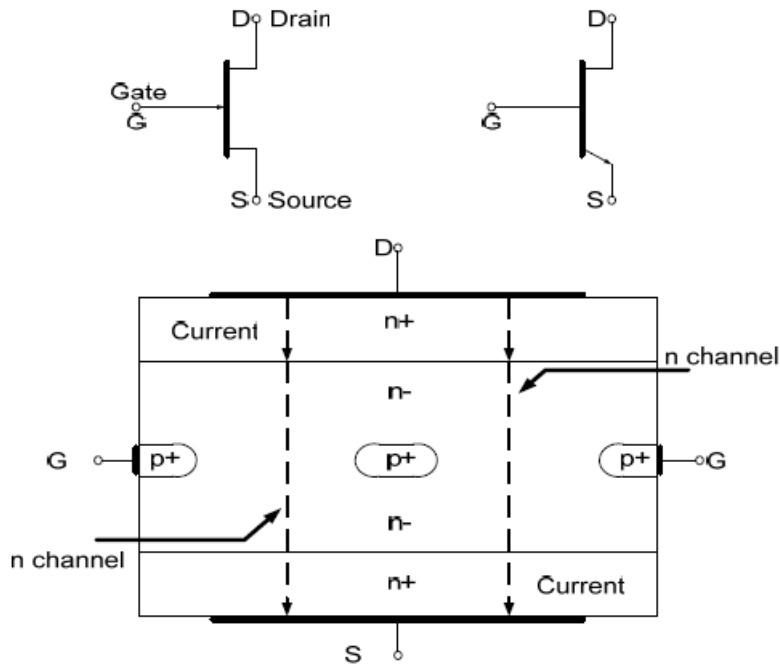


Εικόνα 1.9: Triac : σύμβολο, δομή

1.4.9 SIT

Το SIT είναι ανάλογο του JFET στα ηλεκτρονικά ισχύος. Οι ακροδέκτες και τα χαρακτηριστικά του SIT είναι αντίστοιχα με του MOSFET, με τη διαφορά όμως ότι το SIT μπορεί να ελέγξει μεγαλύτερη ισχύ και ότι η συχνότητα λειτουργίας του είναι μικρότερη. Το μειονέκτημα του είναι η μεγάλη πτώση τάσης σε κατάσταση αγωγή

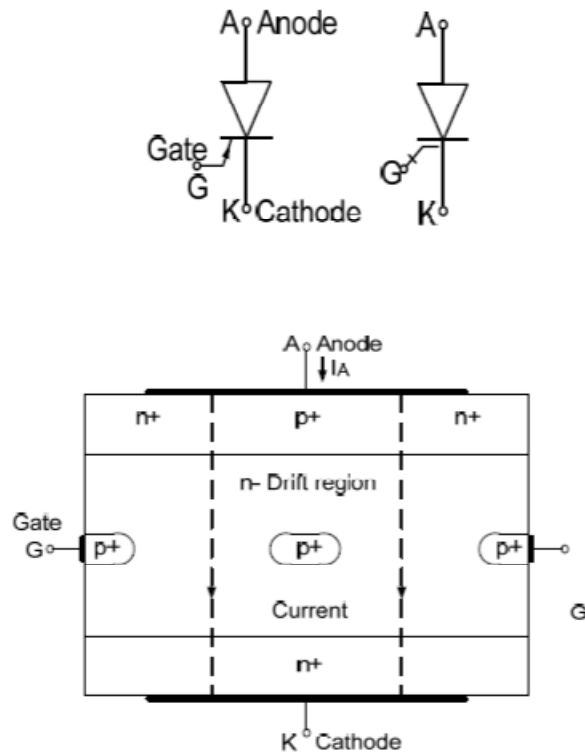
και η σχετικά μικρή ικανότητα αντοχής σε αντίστροφη τάση. Η εφαρμογή που βρίσκει είναι σε επαγωγική θέρμανση και σε άλλες διατάξεις ισχύς στις οποίες απαιτείται σχετικά μεγάλη ταχύτητα λειτουργίας. Τα SIT διατίθενται με προδιαγραφές τάσης μέχρι 1200V, συχνότητα μέχρι 70 KHz και ρεύμα μέχρι 300 A.



Εικόνα 1.10: SIT: σύμβολα, δομή

1.4.10 SITH

Το SITH έχει δομή αντίστοιχη με του θυρίστορ (PNPN), αλλά λειτουργία του είναι όπως μίας διόδου με δυνατότητα ελέγχου όπως το SIT. Το SITH μπαίνει σε κατάσταση αγωγής όπως μια διάδος. Λόγω κατασκευαστικών περιορισμών η ικανότητα αντοχής σε αντίστροφη τάση είναι περιορισμένη. Οι εφαρμογές του SITH είναι παρόμοιες με αυτές του SIT. Τα SITH διατίθενται με προδιαγραφές τάσης μέχρι 1200V και ρεύμα μέχρι 300 A.



Εικόνα 1.11: SITH: σύμβολα, δομή

	Τάση V	Ρεύμα A	Συχνότητα Hz	Έλεγχος
Θυρίστρον	6000	3500	4000	Ρεύμα
Triac	800	40	4000	Ρεύμα
GTO	4500	3000	2000	Ρεύμα
BJT	1200	800	10000	Ρεύμα
Mosfet	500	50	10000000	Τάση
IGBT	1200	400	20000	Τάση
SIT	1200	300	70000	Τάση
SITH	1200	300	70000	Ρεύμα
MCT	600	60	20000	Τάση

Εικόνα 1.12 Σύγκριση χαρακτηριστικών

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ DC-DC ”

Κεφάλαιο 2

2.1 Εισαγωγή

Λέγοντας μετατροπείς συνεχούς τάσης σε συνεχή τάση εννοούμε κάποιες διατάξεις οι οποίες περιέχουν πάντα έναν τουλάχιστον ελεγχόμενο ημιαγωγικό διακόπτη και μετατρέπουν τη συνεχή τάση εισόδου σε συνεχή τάση διαφορετικής τιμής στην έξοδο τους. Συνήθως αποκαλούνται και με τον όρο τροφοδοτικά, αφού η συνήθης εφαρμογή τους είναι η τροφοδοσία αναλογικών και ψηφιακών σημάτων. Άλλες εφαρμογές αυτών των μετατροπέων είναι στη φόρτιση συσσωρευτών, στον έλεγχο μηχανών συνεχούς ρεύματος κ.α.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή και τον έλεγχο των τροφοδοτικών ισχύος χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- α) Στην τεχνική των γραμμικών τροφοδοτικών
- β) Στην τεχνική των διακοπτικών τροφοδοτικών

Στη πρώτη περίπτωση το ημιαγωγικό στοιχείο του μετατροπέα λειτουργεί στην γραμμική περιοχή, συμπεριφέρεται δηλαδή σαν ρυθμιζόμενη αντίσταση και η πτώση τάσης που εμφανίζεται στα άκρα του καθορίζει την τιμή της τάσης στην έξοδο του μετατροπέα.

Τα γραμμικά τροφοδοτικά χρησιμοποιούν έναν μετασχηματιστή μεταξύ της εισόδου και της εξόδου για την επίτευξη ηλεκτρικής απομόνωσης που παρεμβάλλεται μεταξύ του δικτύου και της ανορθωτικής διάταξης. Αυτοί οι μετασχηματιστές έχουν μεγάλο βάρος, όγκο και κόστος.

Ο συντελεστής απόδοσης των γραμμικών τροφοδοτικών κυμαίνεται στην περιοχή 30-60 %. Πλεονέκτημα αυτών των τροφοδοτικών είναι η απλότητα του κυκλώματος με αποτέλεσμα το μικρό κόστος για μικρές ισχύς, επίσης λόγω του ότι δεν έχουμε διακοπτικά φαινόμενα δεν εμφανίζονται ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην λειτουργία άλλων συσκευών. Στη δεύτερη περίπτωση το ημιαγωγικό στοιχείο του μετατροπέα λειτουργεί ως διακόπτης, δηλαδή είτε σε κατάσταση αγωγής είτε σε κατάσταση αποκοπής, και το ποσοστό του χρόνου αγωγής του στην διάρκεια μιας περιόδου λειτουργίας καθορίζει την τιμή της τάσης στην έξοδο του μετατροπέα.

Για τον έλεγχο των μετατροπέων αυτών χρησιμοποιούνται δυο κυρίως τεχνικές:

α) Η τεχνική της διαμόρφωσης του εύρους των παλμών

β) Η τεχνική της διαμόρφωσης της συχνότητας των παλμών

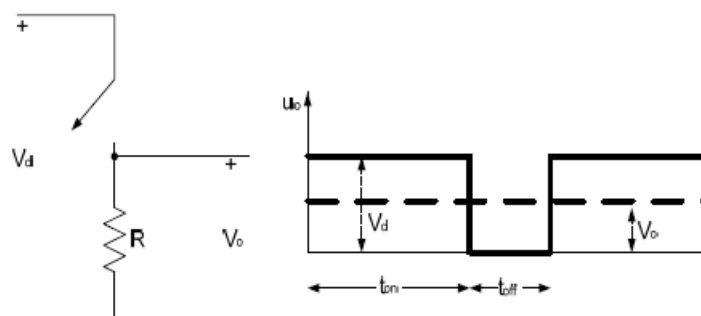
Η τεχνική της διαμόρφωσης του εύρους των παλμών διατηρεί σταθερή την συχνότητα έναυσης και σβέσης των ημιαγωγικών στοιχείων και μεταβάλλουμε το χρόνο αγωγής των ημιαγωγικών στοιχείων. Η τεχνική της διαμόρφωσης της συχνότητας των παλμών συνίσταται στο να διατηρούμε σταθερό το χρόνο αγωγής ή αποκοπής του ημιαγωγικού στοιχείου και να μεταβάλλουμε τον χρόνο αποκοπής ή αγωγής, άρα και τη συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα για να πάρουμε τη επιθυμητή έξοδο.

Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν περισσότερο τα γραμμικά τροφοδοτικά, η εξέλιξη όμως της τεχνολογίας των ημιαγωγών και ουσιαστικά η εμφάνιση των MOSFET ισχύος είναι οι κύριοι παράγοντες που συνέβαλλαν στην ευρεία χρήση των διακοπτικών τροφοδοτικών που παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα γραμμικά τροφοδοτικά. Οι βασικότερες τοπολογίες διακοπτικών μετατροπέων Σ.Τ σε Σ.Τ είναι οι παρακάτω:

- 1) Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης (BUCK).
- 2) Μετατροπέας ανύψωσης τάσης (BOOST).
- 3) Μικτός μετατροπέας
(υποβιβασμού ανύψωσης τάσης BUCK-BOOST).
- 4) Μετατροπέας του Cuk.
- 5) Μετατροπέας με πλήρη γέφυρα.

Στην διαμόρφωση με PWM με σταθερή συχνότητα μετάβασης το σήμα ελέγχου του διακόπτη το οποίο ελέγχει την κατάστασή του παράγεται με τη σύγκριση του επιπέδου τάσης του σήματος ελέγχου $v_{control}$ με μια περιοδική κυματομορφή σταθερού πλάτους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η σχετική διάρκεια αγωγής μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της $v_{control}$ και του πλάτους της πριονωτής κυματομορφής V_{st} με τη σχέση :

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{v_{control}}{V_{st}}$$



Εικόνα 2.1 Σήμα ελέγχου

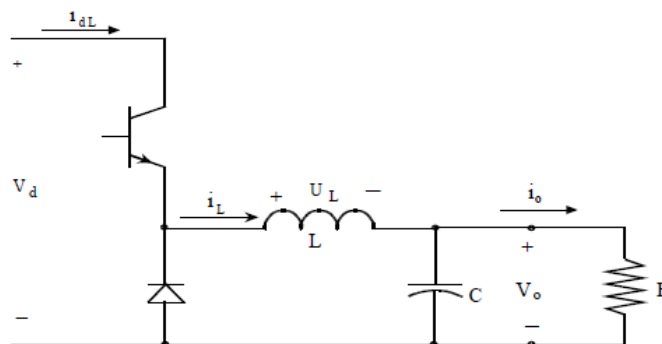
2.2 Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης

Αυτό το είδος μετατροπέα παράγει μια μέση τάση εξόδου χαμηλότερη από τη συνεχή τάση εισόδου V_d . Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το κυκλωματικό διάγραμμα της τοπολογίας διακοπτικού μετατροπέα υποβιβασμού τάσης. Θεωρώντας έναν ιδανικό διακόπτη και ένα καθαρά ωμικό φορτίο η στιγμιαία τάση εξόδου εξαρτάται από την κατάσταση του διακόπτη.

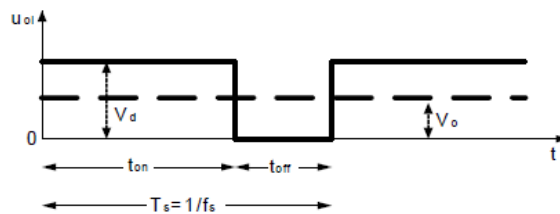
Η μέση τάση εξόδου του μετατροπέα μπορεί να υπολογιστεί ως συνάρτηση της σχετικής διάρκειας αγωγής D :

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

$$V_o = \frac{V_d}{V_{st}} \cdot v_{control} = kv_{control} \quad \text{όπου} \quad k = \frac{V_d}{V_{st}} = \text{σταθερά}$$



Εικόνα 2.2 Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης



Εικόνα 2.3 Τάση εισόδου φίλτρου

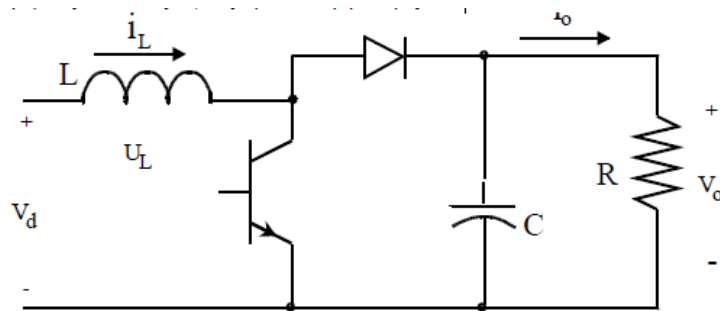
2.3 Μετατροπέας ανύψωσης τάσης

Σ' αυτό το είδος μετατροπέα η τάση εξόδου είναι πάντα μεγαλύτερη από την τάση εισόδου. Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται ένας μετατροπέας ανύψωσης τάσης (boost).

Κατά την λειτουργία του κυκλώματος όταν ο διακόπτης είναι κλειστός η δίοδος είναι

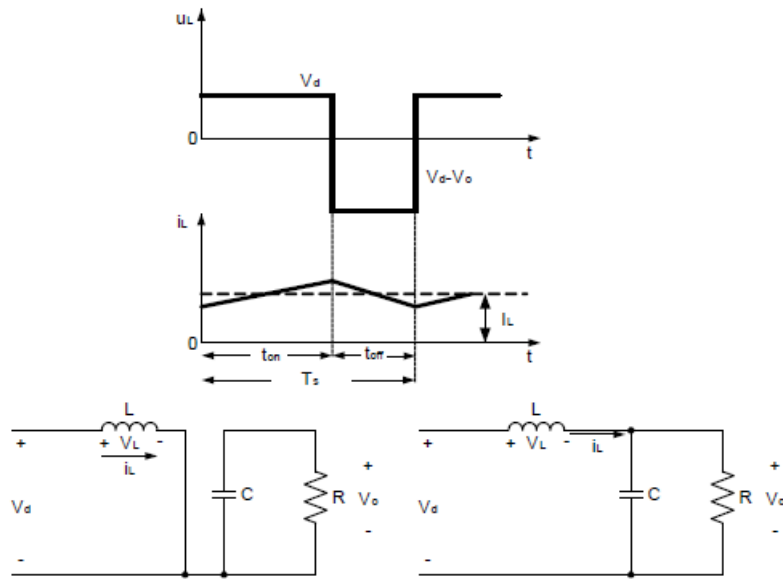
ανάστροφα πολωμένη με αποτέλεσμα να απομονώνεται το κομμάτι της εξόδου. Όταν

ο διακόπτης είναι ανοιχτός το κομμάτι αυτό της εξόδου απορροφά ενέργεια από το πηνίο και από την είσοδο. Σε κατάσταση ισορροπίας ο πυκνωτής θεωρείται πολύ μεγάλος ώστε να εξασφαλίζει μια σταθερή τάση εξόδου.



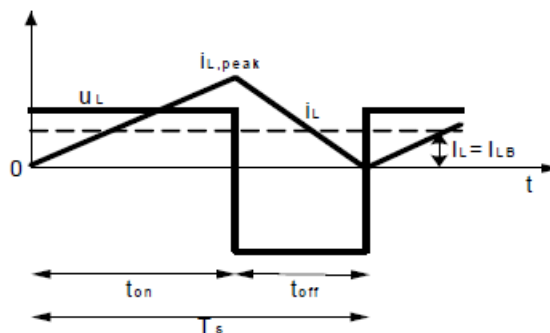
Εικόνα2.4 Μετατροπέας ανύψωσης

Λειτουργία με συνεχή αγωγή του ρεύματος



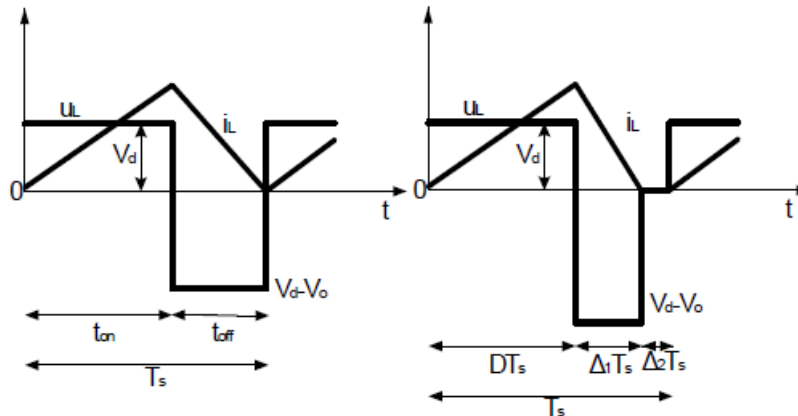
Εικόνα 2.5 Λειτουργία συνεχούς αγωγής σε περίπτωση αγωγής και αποκοπής

Όριο μεταξύ συνεχούς και ασυνεχούς αγωγής του ρεύματος



Εικόνα 2.6 Ρεύμα στο όριο συνεχούς ασυνεχούς αγωγής

Λειτουργία ασυνεχούς αγωγής του ρεύματος

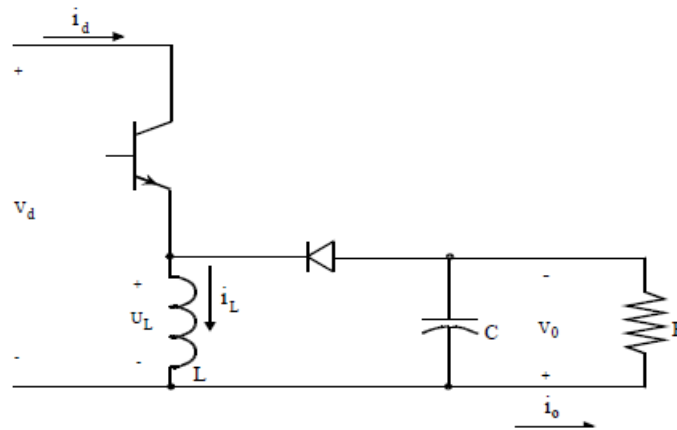


Εικόνα 2.7 Όριο συνεχούς ασυνεχούς αγωγής

2.4 Μεικτός μετατροπέας ανύψωσης/υποβιβασμού τάσης

Σύμφωνα και με το όνομά του αυτό το είδος μετατροπέα κάνει και ανύψωση της τάσης αλλά και υποβιβασμό της τάσης. Η βασική του λειτουργία είναι στα dc διακοπτικά τροφοδοτικά όπου απαιτείται μια **έξοδος με αρνητική πολικότητα** σε σχέση με το κοινό της τάσης εισόδου και η τάση εξόδου μπορεί να είναι είτε ψηλότερη είτε χαμηλότερη από την τάση εισόδου. Ο μετατροπέας αυτός μπορεί να σχηματιστεί συνδέοντας σε σειρά έναν μετατροπέα υποβιβασμού και έναν μετατροπέα ανύψωσης της τάσης. Σε κατάσταση ισορροπίας ο λόγος μετατροπής δίνεται από την σχέση :

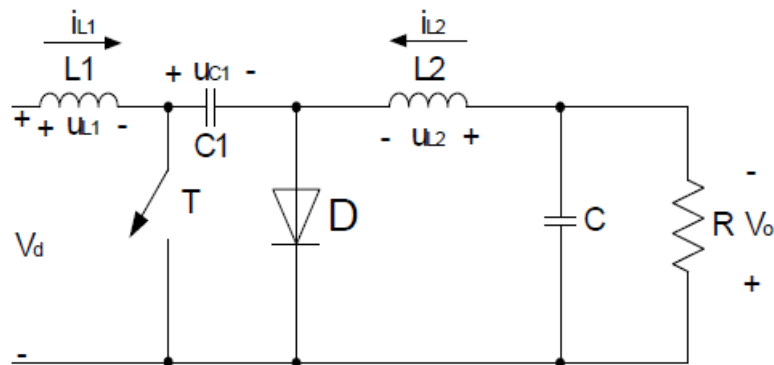
$$\frac{V_o}{V_d} = D \frac{1}{1-D}$$



Εικόνα 2.8 Μετατροπέας μικτής τοπολογίας

2.5 Μετατροπέας cuk

Το όνομα αυτό ο μετατροπέας το πήρε από τον εφευρέτη του, του οποίου η λειτουργία είναι η ίδια με αυτή του μικτού μετατροπέα.

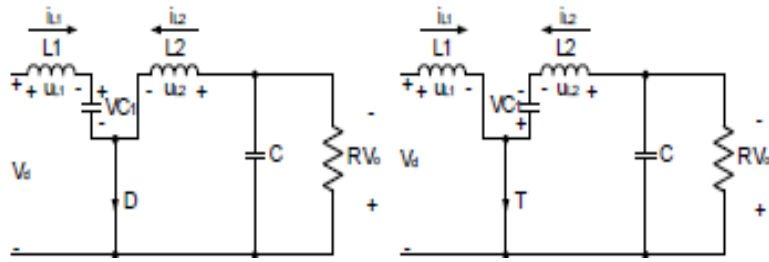


Εικόνα 2.9 Μετατροπέας Cuk

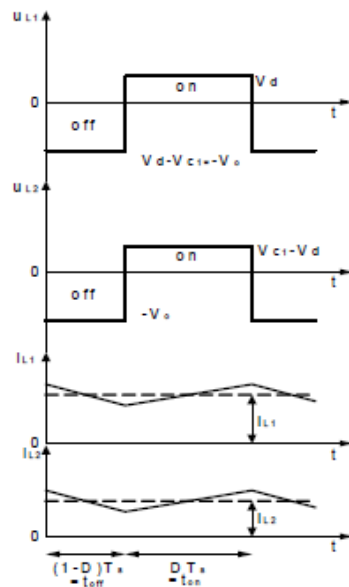
Ο μετατροπέας του Cuk παρέχει μια σταθεροποιημένη τάση εξόδου με αρνητική πολικότητα σε σχέση με το κοινό της τάση εισόδου.

Στο κύκλωμα αυτό ο πυκνωτής C1 είναι αυτός που αποθηκεύει και μεταφέρει ενέργεια στην έξοδο. Παρατηρώντας το κύκλωμα προκύπτει ότι:

$$VC1 = Vd + Vo$$



Εικόνα 2.10 Σε αγωγή και σε αποκοπή



Εικόνα 2.11 Κυματομορφές μετατροπέα

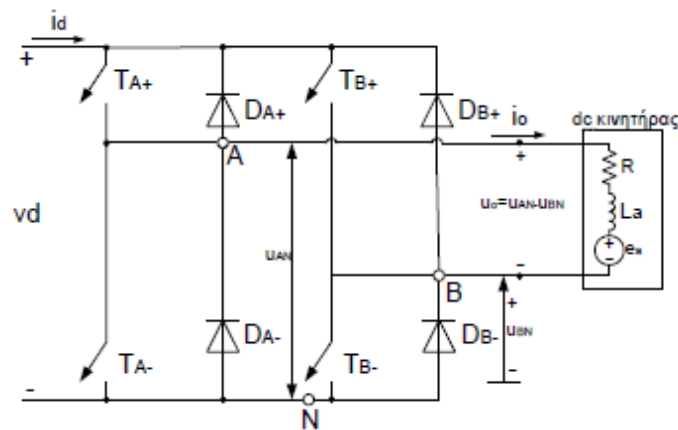
2.6 Μετατροπέας με πλήρη γέφυρα

Ο μετατροπέας με πλήρη γέφυρα υπάρχει συνήθως σε τρεις εφαρμογές:

- α) DC κινητήρια συστήματα
- β) Μετατροπή DC σε AC, σε μονοφασικές αδιάλειπτες AC τροφοδοσίες.
- γ) Μετατροπή DC σε AC, στα διακοπτικά DC τροφοδοτικά με μετασχηματιστή απομόνωσης.

Η τοπολογία πλήρους γέφυρας παραμένει η ίδια σε κάθε μια από τις τρεις παραπάνω εφαρμογές.

Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα σχήμα ενός μετατροπέα πλήρους γέφυρας όπου σαν είσοδο υπάρχει μια συνεχής τάση V_d και η έξοδος βγαίνει μια συνεχής τάση V_o η οποία μπορεί να ελέγχεται ως προς το πλάτος και την πολικότητα. Στην τοπολογία αυτή οι διόδοι συνδέονται αντιπαράλληλα με τους διακόπτες. Όταν ένας διακόπτης κλείνει μπορεί να άγει ή να μην άγει ρεύμα, ανάλογα με την φορά του ρεύματος εξόδου. Αν ο διακόπτης άγει τότε είναι σε κατάσταση αγωγιμότητας.



Εικόνα 2.12 Μετατροπέας πλήρους γέφυρας

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΜΑΤΑΤΡΟΠΕΙΣ DC-AC ”

Κεφάλαιο 3

3.1 Εισαγωγή

- Οι μετατροπείς DC/AC είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι και μεταφέρουν ισχύ από ένα σύστημα συνεχούς τάσης σε ένα σύστημα εναλλασσόμενης τάσης, δηλαδή λειτουργούν ως αντιστροφείς (‘inverters’).
- Οι ίδιοι μετατροπείς μπορούν να λειτουργήσουν και με αντίστροφη ροή ισχύος και να μεταφέρουν ισχύ από το σύστημα εναλλασσόμενης τάσης στο σύστημα συνεχούς τάσης. Σ’ αυτή την περίπτωση ονομάζονται ανορθωτές (‘rectifiers’).
- Μπορούμε να συνδέσουμε τις DC πλευρές δύο τέτοιων μετατροπέων και να μεταφέρουμε ισχύ από ένα εναλλασσόμενο σύστημα σε άλλο, διαφορετικής συχνότητας και τάσης, λειτουργώντας τον ένα μετατροπέα ως αντιστροφέα και τον άλλο ως ανορθωτή.

Έτσι, ο μετατροπέας DC/AC μπορεί να **χρησιμοποιηθεί σε ένα πλήθος εφαρμογών** και να αντικαταστήσει με επιτυχία τη λειτουργία άλλων ηλεκτρονικών διατάξεων ισχύος, όπως του ανορθωτή διόδων ή θυρίστορ και του κυκλομετατροπέα AC/AC.

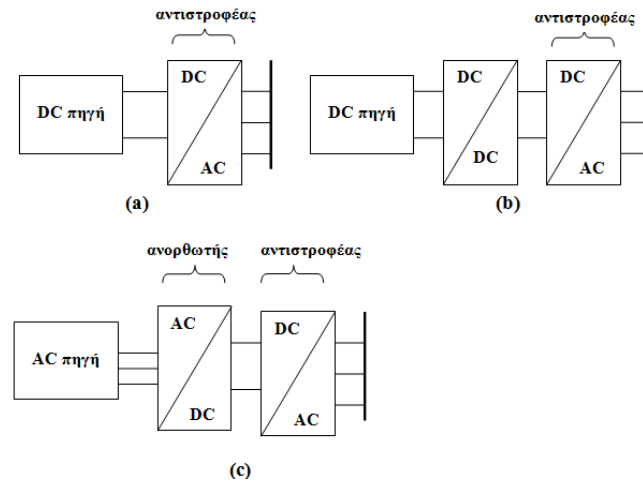
Συναντάμε πολλές φορές τον μετατροπέα DC/AC συνδεδεμένο σε δίκτυο με λειτουργίες που μπορεί να είναι οι παρακάτω:

- ❖ Μεταφορά ισχύος προς το δίκτυο: Η λειτουργία αυτή γίνεται όταν σε μια διάταξη παραγωγής, ή κατά την αναγεννητική πέδηση των συστημάτων ηλεκτρικής κίνησης. Η ισχύς να μεταφέρεται στο δίκτυο, μπορεί να προέρχεται απευθείας από μια πηγή Συνεχής τάσης ή από έναν μετατροπέα DC/DC που συνδέεται σε μια DC πηγή ή από έναν μετατροπέα DC/ AC που συνδέεται σε μια πηγή Εναλλασσόμενης τάσης.
- ✓ Ο ρόλος του μετατροπέα είναι να μεταφέρει προς το δίκτυο την ισχύ της πηγής και να παράγει ή να απορροφά από το δίκτυο άεργο ισχύ ρυθμίζοντας έτσι τον συντελεστή ισχύος.
- ✓ Μιας ιδιαίτερης σημασίας εφαρμογή του αντιστροφέα DC/AC είναι η σύνδεση στο δίκτυο μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, δηλαδή παραγωγής που προέρχεται από μονάδες μικρής ισχύος. Ένας τέτοιος μετατροπέας συνδέει στο δίκτυο φωτοβολταϊκά στοιχεία ή fuel cell, δηλαδή μονάδες που έχουν DC τάση εξόδου, αλλά και μονάδες με AC τάση εξόδου οι οποίες δεν μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο δίκτυο γιατί είτε παράγουν τάση μεταβλητής συχνότητας, όπως οι ανεμογεννήτριες, είτε παράγουν τάση υψηλής συχνότητας, όπως οι μικροτουρμπίνες.

- ❖ Μεταφορά ισχύος από το δίκτυο: Αν στην πλευρά DC του μετατροπέα του δικτύου συνδέεται δεύτερος μετατροπέας DC/AC, η διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οδήγηση κινητήρα εναλλασσομένου ρεύματος όπου κατά την πέδηση του κινητήρα επανακτάται ενέργεια και η ροή ισχύος αντιστρέφεται με

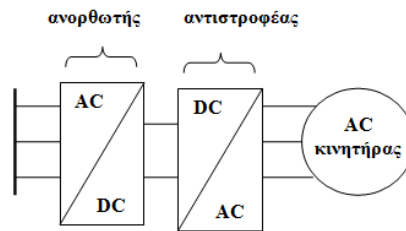
αποτέλεσμα ο μετατροπέας του δικτύου να λειτουργεί ως αντιστροφέας, δίνοντας ισχύ στο δίκτυο. Αν ο μετατροπέας του δικτύου δεν μπορούσε να λειτουργήσει και κατά τις δύο φορές, τότε η ενέργεια της πέδησης θα χανότανε.

- ✓ Ο μετατροπέας DC/AC μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για τη μεταφορά ισχύος σε συστήματα αποθήκευσης, δηλαδή για τη φόρτιση συσσωρευτών, ή για τη μεταφορά ισχύος από γραμμές υψηλούς συνεχούς τάσης ('HVDC').
- ❖ Καταστολή των αρμονικών του ρεύματος και διόρθωση των διαταραχών της τάσης: Ο μετατροπέας μπορεί να λειτουργήσει ως ενεργό φίλτρο, (δηλαδή εγχύει στο δίκτυο αρμονικά ρεύματα ίσου πλάτους αλλά με διαφορά 180° με τα αρμονικά ρεύματα του δικτύου) συνδεδεμένος παράλληλα με το δίκτυο για την διόρθωση του συντελεστή ισχύος και ασυμμετριών τάσης και ρεύματος. Αν είναι σε σειρά με το δίκτυο τότε μπορεί να διορθώσει και διαταραχές της τάσης, όπως βυθίσεις.
- ✓ Οι μετατροπείς DC/AC λειτουργώντας σαν ενεργά φίλτρα διορθώνουν τα προβλήματα που άλλοι μετατροπείς ή γενικά άλλα μη γραμμικά φορτία δημιούργησαν. Μαζί με τα παθητικά φίλτρα καταστέλλουν τις αρμονικές και αποτρέπουν τα διάφορα προβλήματα που αυτές συνεπάγονται (απώλειες ισχύος, υπερθέρμανση στα τυλίγματα των μηχανών και σε ουδέτερους αγωγούς, παρενοχλήσεις σε τηλεπικοινωνιακούς αγωγούς, θόρυβο σε κυκλώματα ελέγχου κλπ.).
- ❖ Διόρθωση του συντελεστή ισχύος: Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος μπορεί να γίνει παράλληλα με όλες τις παραπάνω λειτουργίες αλλά και μόνη της με τα συστήματα αντιστάθμισης αέργου ισχύος ('STATCOM'), συνδεδεμένος παράλληλα με το δίκτυο και παράγει ή απορροφά μόνο άεργο ισχύ με αποτέλεσμα την μεταφορά περισσότερης ενεργός ισχύος.

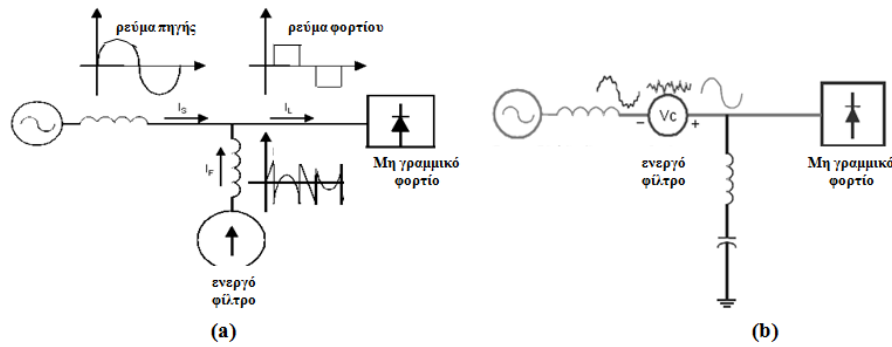


Εικόνα 3.1: Σύνδεση διατάξεων παραγωγής στο δίκτυο

- (a) μέσω μετατροπέα DC/AC
- (b) μέσω μετατροπέα DC/DC/AC
- (c) μέσω μετατροπέα AC/DC/AC



Εικόνα 3.2: Σύνδεση AC κινητήρα στο δίκτυο μέσω μετατροπέα AC/DC/AC



Εικόνα 3.3: (a) Μετατροπέας DC/AC που συνδέεται παράλληλα στο δίκτυο και καταστέλλει τις αρμονικές του ρεύματος (‘Shunt Active Power Filter’) (b) Μετατροπέας DC/AC που συνδέεται σε σειρά με το δίκτυο και αντισταθμίζει τις διαταραχές της τάσης (‘Series Active Filter’)

Οι αντιστροφείς μπορούν να διαιρεθούν σε δυο βασικές κατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής :

- ✓ Σε μονοφασικούς αντιστροφείς με συνδεσμολογία ημιγέφυρας (με δυο ελεγχόμενα ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία) ή με συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας (με τέσσερα ελεγχόμενα ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία).
- ✓ Σε τριφασικούς αντιστροφείς (με έξι ελεγχόμενα ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία).

Επίσης η κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες μπορεί να υποδιαιρεθεί στις παρακάτω δυο κατηγορίες.

1. Στους αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς τάσης:

Συγκεκριμένα αν στην DC πλευρά χρησιμοποιείται πυκνωτής ή μπαταρία για την επίτευξη σταθερής τάσης στα άκρα, ο μετατροπέας είναι τύπου πηγής τάσης .

2. Στους αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς ρεύματος:

Συγκεκριμένα εάν χρησιμοποιείται αυτεπαγωγή για την επίτευξη σταθερού ρεύματος, τότε ο μετατροπέας είναι τύπου πηγής ρεύματος.

Οι αντιστροφείς **πηγής τάσης** με τους οποίους και θα ασχοληθούμε σε αυτή την εργασία χωρίζονται στις τρεις παρακάτω κατηγορίες.

Αντιστροφείς με τετραγωνική κυματομορφή

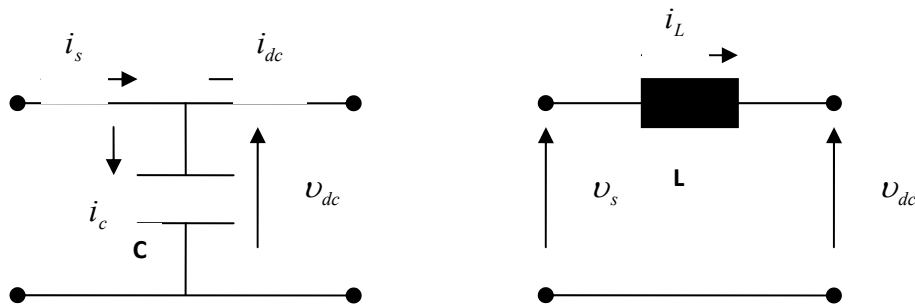
Όπου για τον έλεγχο του πλάτους της εναλλασσόμενης εξόδου, ελέγχεται το πλάτος της εισόδου συνεχούς ρεύματος. Έτσι ο αντιστροφέας πρέπει να ελέγξει μόνο την συχνότητα της τάσης εξόδου. **Η μορφή της τάσης που βγαίνει στην έξοδο έχει μια τετραγωνική μορφή και για αυτό το λόγο αυτοί οι αντιστροφείς ονομάζονται αντιστροφείς με τετραγωνική κυματομορφή.**

Αντιστροφείς με διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM)

Σε αυτό το είδος αντιστροφέα η τάση συνεχούς ρεύματος στην είσοδο έχει σταθερό πλάτος και για την ανόρθωση της τάσης του δικτύου χρησιμοποιείται ένας ανορθωτής με διόδους. **Επομένως ο αντιστροφέας πρέπει να ελέγχει το πλάτος και την συχνότητα των ac τάσεων εξόδου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαμόρφωση του εύρους των παλμών των διακοπών του αντιστροφέα και έτσι οι αντιστροφείς αυτοί ονομάζονται αντιστροφείς με διαμόρφωση εύρους των παλμών (PWM).**

Μονοφασικοί αντιστροφείς με απαλοιφή τάση

Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατός ο έλεγχος του πλάτους και της συχνότητας της τάσης εξόδου του μετατροπέα, αν και η είσοδος του αντιστροφέα είναι μια σταθερή συνεχής τάση και στους διακόπτες του μετατροπέα δεν επιβάλλεται διαμόρφωση PWM.



Σχήμα 3.4 : DC πλευρά (a) Μετατροπείς τύπου πηγής τάσης
(b) Μετατροπείς τύπου πηγής ρεύματος

3.2 Μονοφασικοί αντιστροφείς

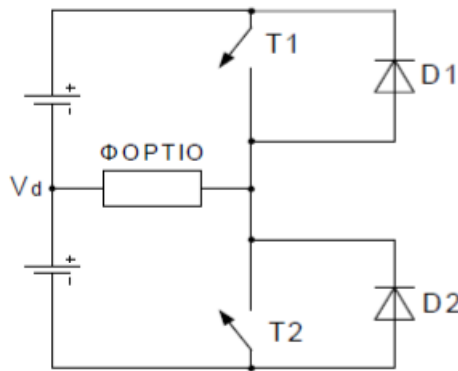
3.2.1 Με τετραγωνική κυματομορφή

Στην συνέχεια θα εξεταστούν δύο βασικές διατάξεις μονοφασικών αντιστροφέων τάσης με ιδανικούς διακόπτες :

- A) Αντιστροφέας με ημιγέφυρα.
- B) Αντιστροφέας με πλήρη γέφυρα.

A) Αντιστροφέας με ημιγέφυρα

Η συνδεσμολογία της ημιγέφυρας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου ανάβοντας και σβήνοντας εναλλάξ τους ελεγχόμενους ημιαγωγικούς διακόπτες T1 και T2 παράγεται μία τετραγωνική εναλλασσόμενη κυματομορφή τάσης επάνω στους διακόπτες φορτίου. Η μέγιστη τιμή τάσης που εφαρμόζεται επάνω στο φορτίο είναι $V_d/2$ και η ελάχιστη $-V_d/2$.



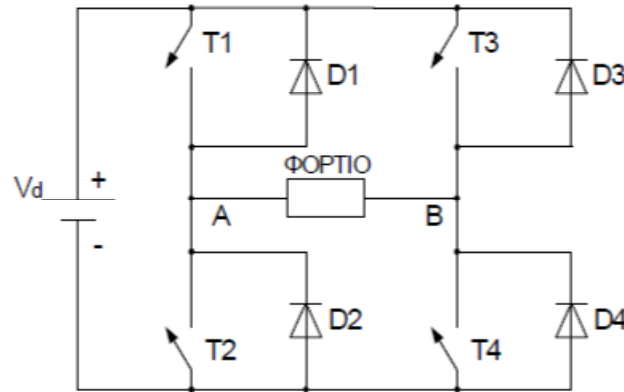
Σχήμα 3.5: Συνδεσμολογία της ημιγέφυρας

pulse T1	pulse T2	$i_L > 0$	$i_L < 0$
1	0	T1	D1
0	1	D2	T2
0	0	D2	D1

Πίνακας 3.6: Τρόποι διέλευσης του ρεύματος σε ημιγέφυρα

B) Αντιστροφείας με πλήρη γέφυρα

Η πλήρης μονοφασική γέφυρα αποτελείται από δύο ημιγέφυρες. Έτσι αποφεύγεται η μεσαία λήψη στη συνεχή τροφοδοσία, αλλά χρειάζονται περισσότερα ημιαγωγικά στοιχεία.



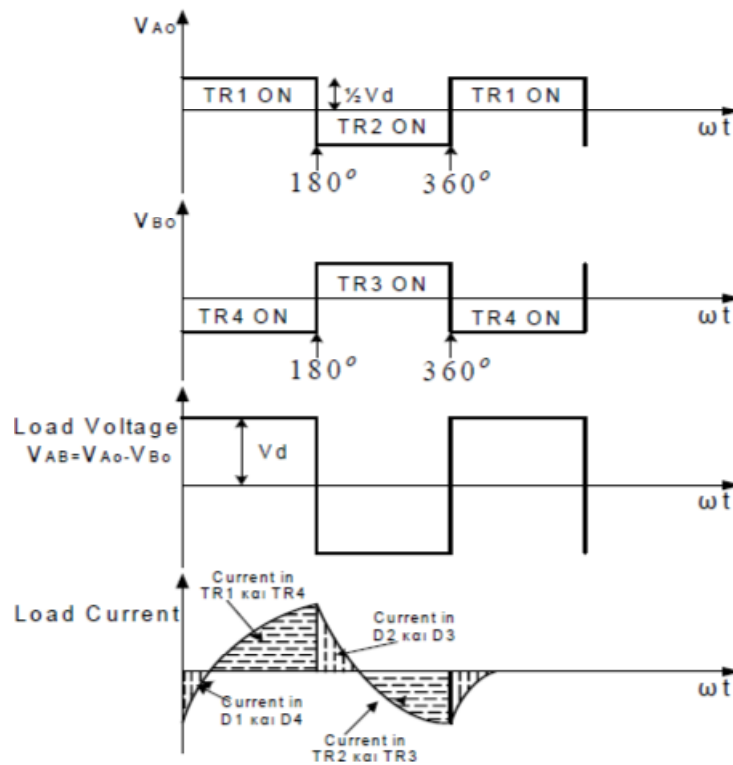
Σχήμα 3.7: Συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας

Οι ελεγχόμενοι ημιαγωγοί διακόπτες στο μονοφασικό αντιστροφέα με συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας, αναβοσβήνουν σε διαγώνια ζευγάρια. Όταν δηλαδή οι διακόπτες T1 και T4 είναι σε αγωγή, οι διακόπτες T3 και T2 είναι σε αποκοπή. Το ίδιο συμβαίνει και στην αντίθετη περίπτωση. Έτσι επάνω στο φορτίο εμφανίζεται μία τάση από V_d έως $-V_d$.

- i. Όταν το φορτίο είναι καθαρά ωμικής φύσης, τότε και το ρεύμα έχει παρόμοια μορφή με την τάση και οι αντιπαράλληλες διόδοι δεν έχουν ενεργό ρόλο στη λειτουργία του κυκλώματος.
- ii. Στην περίπτωση που το φορτίο είναι επαγωγικής φύσης τα πράγματα είναι διαφορετικά. Εάν αρχικά βρίσκονται σε αγωγή οι διακόπτες T1 και T4 και το ρεύμα ρέει στο φορτίο από το σημείο A προς το σημείο B. Την στιγμή τώρα που οι διακόπτες T1 και T4 έρθουν σε αποκοπή και αρχίσουν να άγουν οι διακόπτες T3 και T2, η πολικότητα της τάσης επάνω στο φορτίο θα αλλάξει, το ρεύμα όμως για ένα χρονικό διάστημα θα συνεχίσει να ρέει με την ίδια φορά, λόγω της επίδρασης του επαγωγικού φορτίου. Έτσι το ρεύμα για αυτό το χρονικό διάστημα

θα ρέει διαμέσου των διόδων D3 και D2 επιστρέφοντας έτσι ενέργεια στην πηγή τροφοδοσίας.

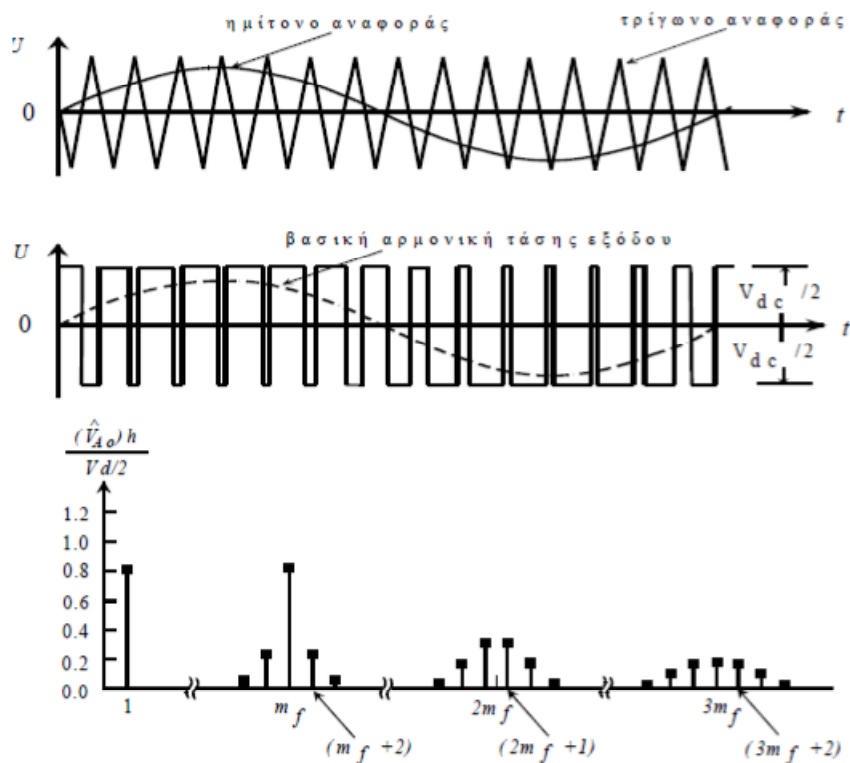
Στο σχήμα φαίνονται οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος της μονοφασικής πλήρους γέφυρας με ωμικό-επαγωγικό φορτίο. Αν για παράδειγμα με κατάλληλη παλμοδότηση επιτύχουμε στην έξοδο μονοφασικού αντιστροφέα έναν τετραγωνικό παλμό συχνότητας 30Hz, τότε εκτός από τη βασική αρμονική στα 30Hz, θα έχουμε ανώτερες αρμονικές οι οποίες θα έχουν συχνότητες 90Hz ($3 \cdot 30\text{Hz}$), 150Hz ($5 \cdot 30\text{Hz}$), 210 Hz ($7 \cdot 30\text{Hz}$), 270Hz ($9 \cdot 30\text{Hz}$) κ.λπ.



Εικόνα 3.8: Κυματομορφές τάσης και ρεύματος με ωμικό – επαγωγικό φορτίο

3.2.2 Αντιστροφείς με διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM)

Στα κυκλώματα αυτού του είδους του αντιστροφέα είναι επιθυμητό η έξοδος του να είναι ημιτονοειδής και να υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου του πλάτους και της συχνότητας της. Για να παραχθεί μια ημιτονοειδής τάση εξόδου σε μια επιθυμητή συχνότητα συγκρίνεται ένα ημιτονοειδές σήμα ελέγχου σε μια επιθυμητή συχνότητα με μια τριγωνική κυματομορφή. Αυτή η συχνότητα μετάβασης καθορίζεται από την συχνότητα της τριγωνικής κυματομορφής και διατηρείται σταθερή όπως και το πλάτος. Αυτό φαίνεται και στις κυματομορφές του παρακάτω σχήματος.

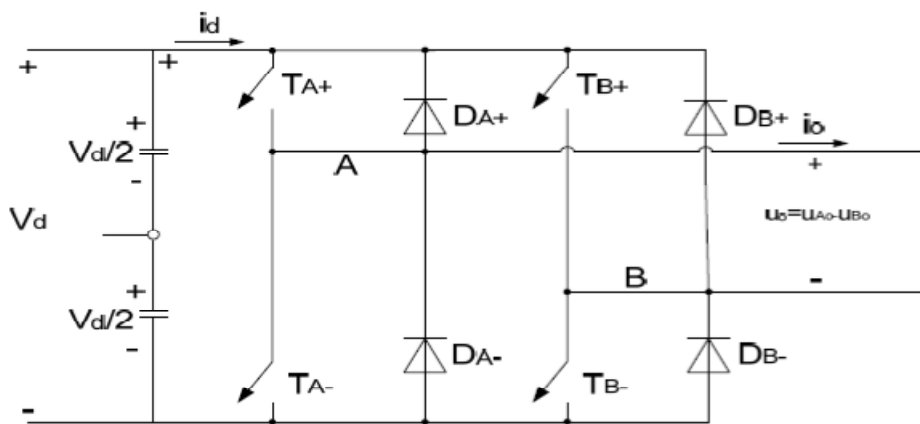


Εικόνα 3.9: Διαμόρφωση εύρους PWM

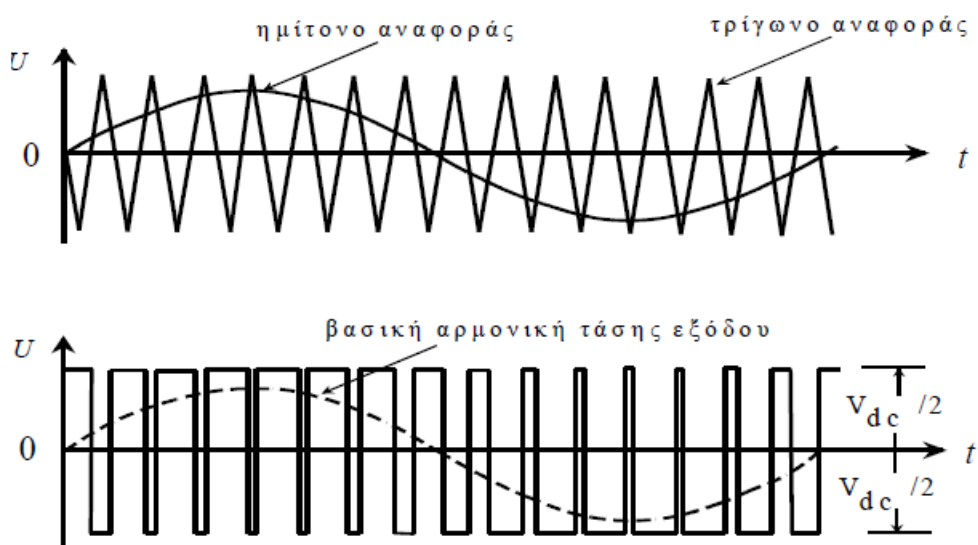
3.2.2.1 Διαμόρφωση με διπολική τάση εξόδου

Στην περίπτωση αυτή όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα τα ζεύγη των διακοπών

$TA+,TB-$ και $TA-,TB+$ αλλάζουν κατάσταση σαν δύο ζεύγη διακοπών και η κυματομορφή της τάσης εξόδου του σκέλους A ταυτίζεται με την έξοδο του βασικού αντιστροφέα η οποία καθορίζεται κατά τον ίδιο τρόπο με σύγκριση του $v_{control}$ και της v_{tri} όπως φαίνεται και στις κυματομορφές. Η έξοδος του σκέλους B είναι αντίθετη της εξόδου του σκέλους A.



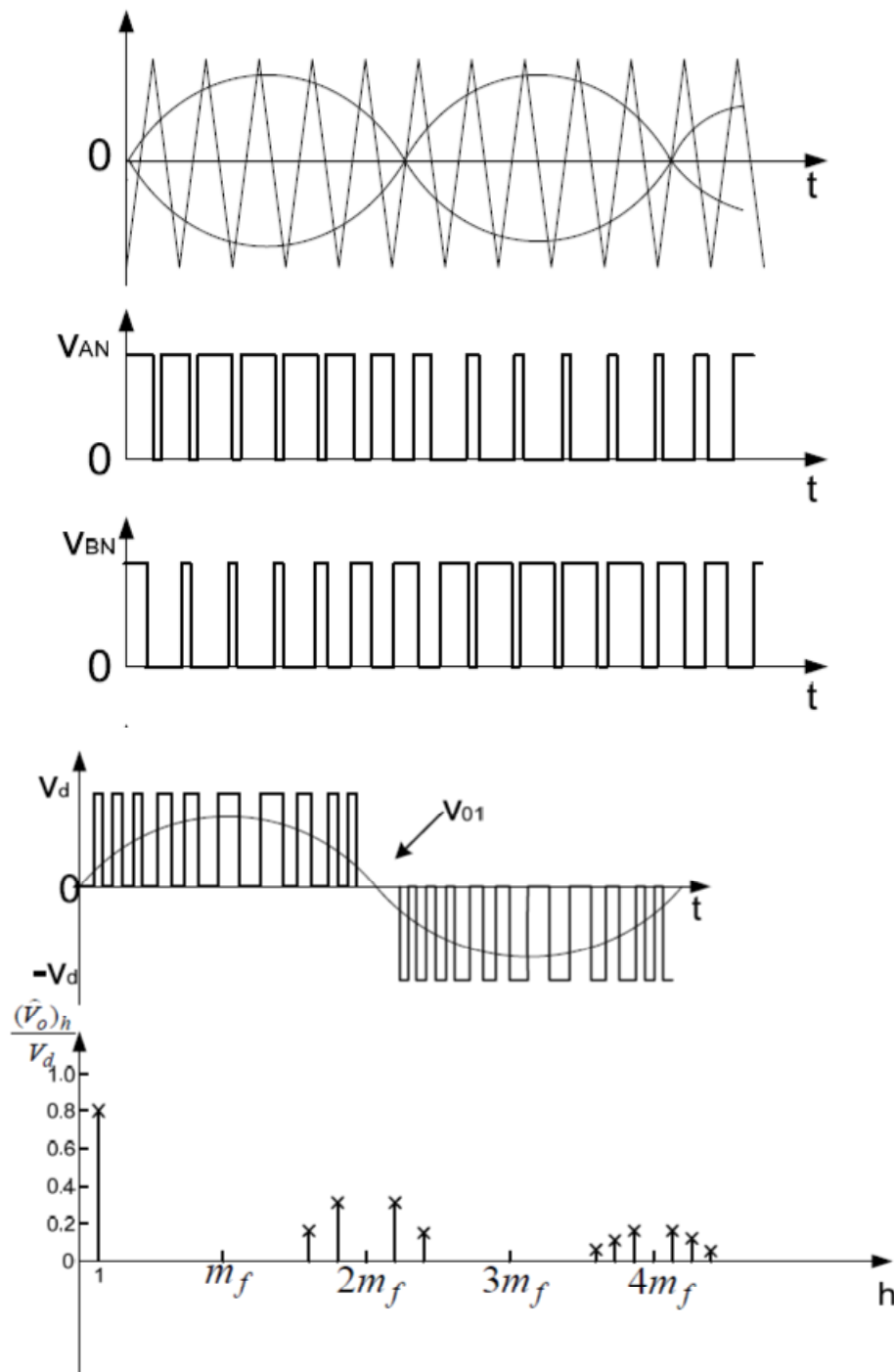
Σχήμα 3.10: Μονοφασικός αντιστροφέας με πλήρη γέφυρα



Εικόνα 3.11: Διαμόρφωση PWM με διπολική τάση εξόδου

3.2.2.2 Διαμόρφωση με μονοπολική τάση εξόδου

Η διάταξη είναι η ίδια με αυτήν της προηγούμενης περίπτωσης μόνο που σε αυτήν την περίπτωση οι διακόπτες στα δύο σκέλη του αντιστροφέα δεν αλλάζουν κατάσταση ταυτόχρονα. Εδώ τα σκέλη A και B ελέγχονται ξεχωριστά με σύγκριση της v_{tri} με τα $v_{control}$ και $-v_{control}$.



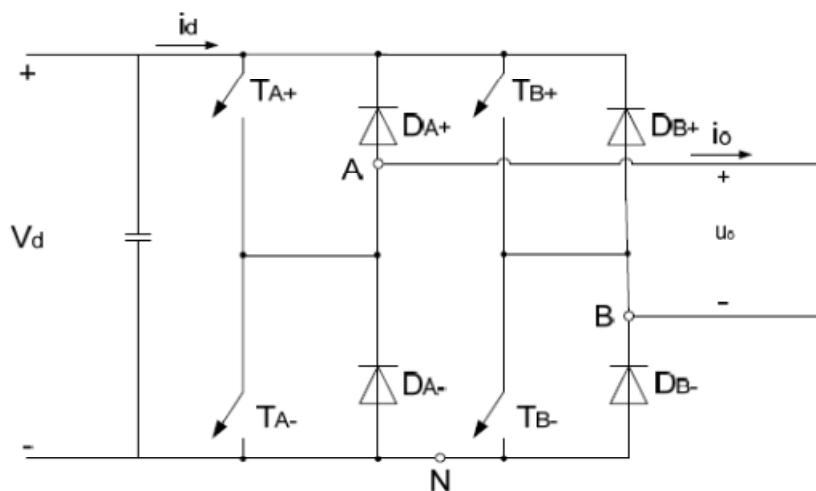
Εικόνα 3.12: Διαμόρφωση PWM με μονοπολική τάση εξόδου

3.2.2.3 Έλεγχος της εξόδου με απαλοιφή της τάσης

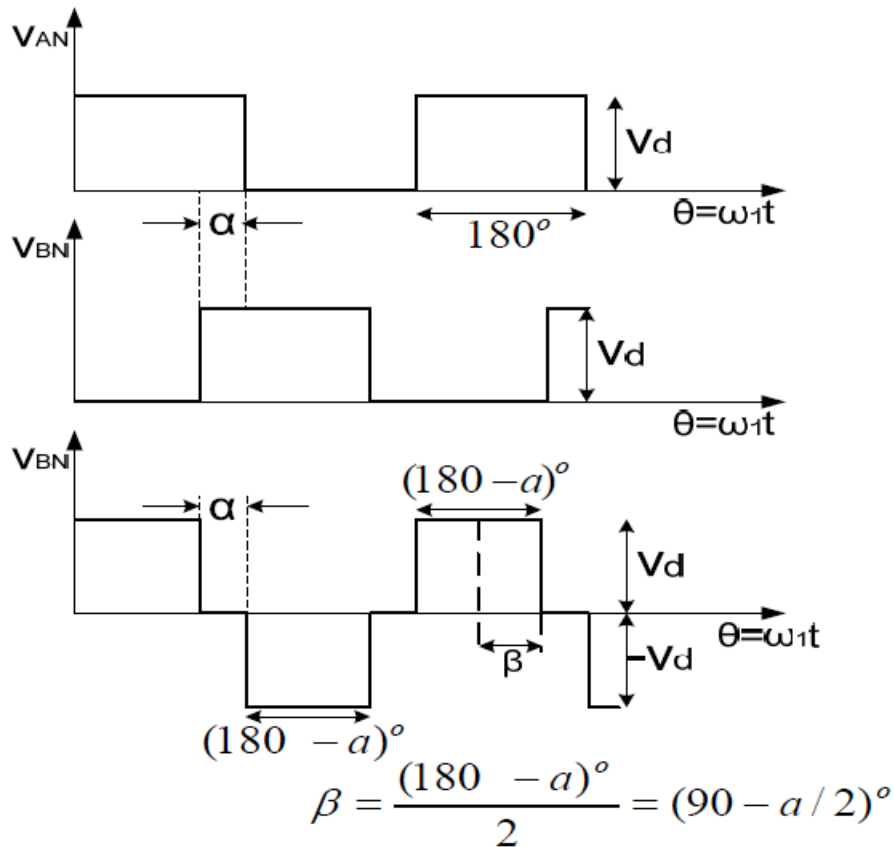
Παρατηρώντας το κύκλωμα του σχήματος οι διακόπτες στα δύο σκέλη του αντιστροφέα ελέγχονται ξεχωριστά, αλλά όλοι οι διακόπτες έχουν σχετική διάρκεια

αγωγής 0.5. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τις κυματομορφές που φαίνονται στο σχήμα

για τις v_{AN} και v_{BN} , όπου η γωνία επικάλυψης των κυματομορφών, α μπορεί να ελέγχεται. Κατά την χρονική στιγμή της επικάλυψης η τάση εξόδου είναι μηδενική επειδή είτε οι δύο επάνω ή οι δύο κάτω διακόπτες θα είναι κλειστοί. Όταν το $\alpha=0$ η κυματομορφή θα είναι η ίδια με αυτήν του αντιστροφέα με τετραγωνική κυματομορφή και μέγιστο πλάτος της θεμελιώδους συνιστώσας εξόδου.



Σχήμα 3.13: Κύκλωμα ισχύος

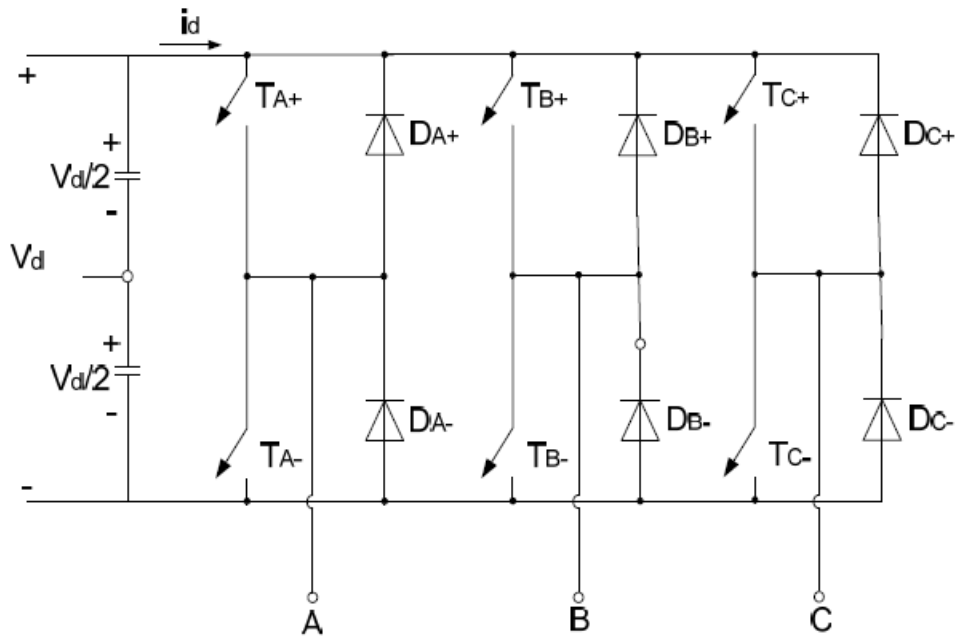


Εικόνα 3.14: Αρμονική τάση εξόδου

3.3 Τριφασικοί αντιστροφείς

3.3.1 Τριφασικός αντιστροφέας ελεγχόμενος μέσω τετραγωνικών παλμών

Ο τριφασικός αντιστροφέας τάσης σχηματίζεται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, προσθέτοντας άλλον έναν κλάδο στη μονοφασική γέφυρα που αναφέρθηκε στους μονοφασικούς αντιστροφείς. Η λειτουργία είναι ανάλογη με αυτή της μονοφασικής.



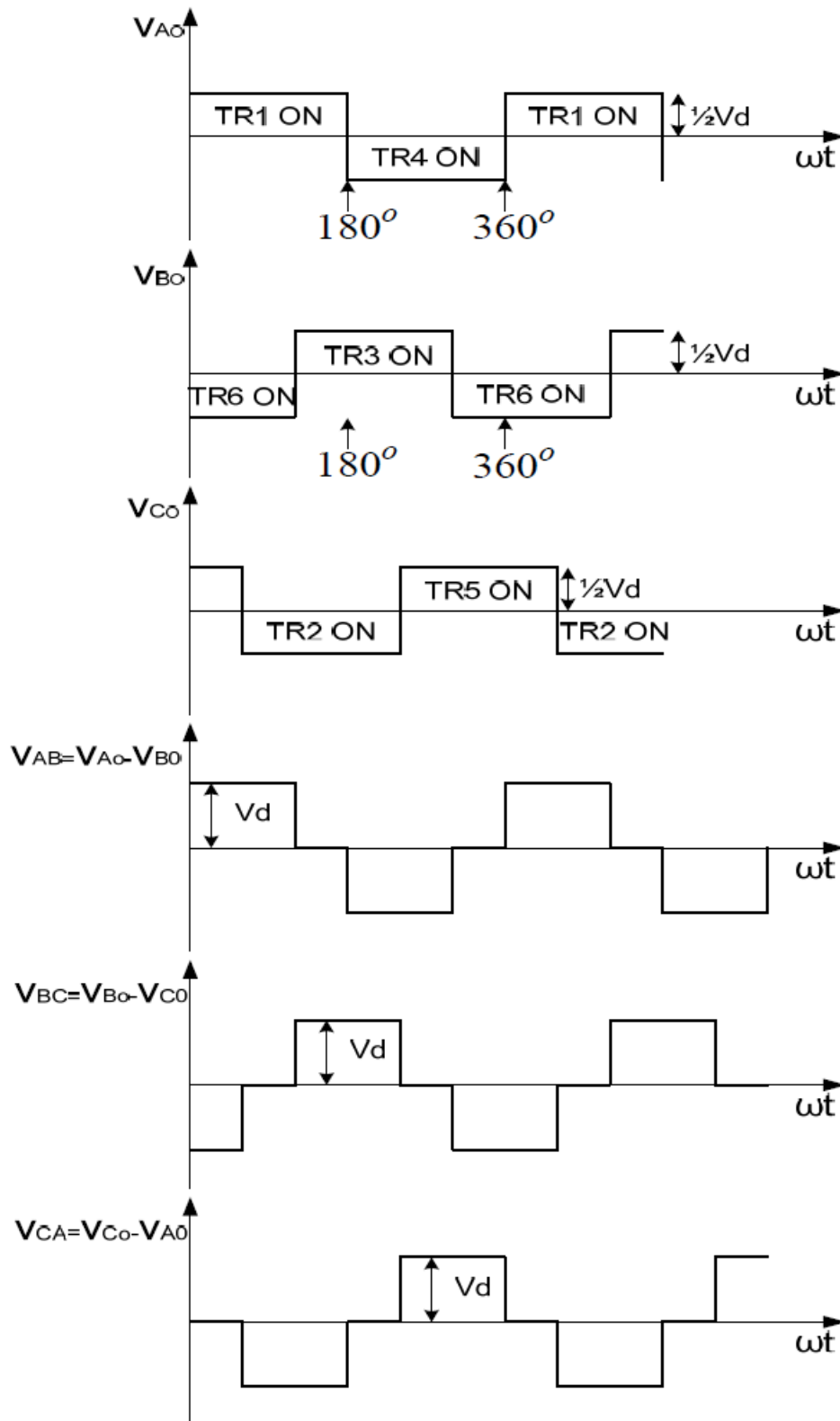
Σχήμα 3.15: Τριφασικός αντιστροφέας

Κάθε ημιαγωγικό στοιχείο ανάβει και σβήνει για 180° και κάθε ακροδέκτης εξόδου συνδέεται εναλλάξ για κάθε ημιπερίοδο στον θετικό ή στον αρνητικό πόλο της συνεχούς τροφοδοσίας. Η τριφασική έξοδος επιτυγχάνεται προκαλώντας μια καθυστέρηση φάσεως 120° μεταξύ των παλμών έναυσης του κάθε κλάδου της γέφυρας όπως φαίνεται στο σχήμα με τις γραφικές. Όσον αφορά το αρμονικό περιεχόμενο της πολικής τάσης εξόδου, η μόνη διαφορά με το αρμονικό περιεχόμενο του προηγούμενου αντιστροφέα είναι ότι η τρίτη αρμονική είναι μηδέν. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η τρίτη αρμονική της φάσης A και η τρίτη αρμονική της φάσης B αλληλοαναιρούνται υπολογίζοντας την διαφορά μεταξύ τους, η οποία είναι προφανώς η V_{AB} . **Στη λειτουργία αυτή με τετραγωνική κυματομορφή ο αντιστροφέας δεν μπορεί να ελέγξει το πλάτος των τάσεων εξόδου E.P. από μόνος του. Για τον λόγο αυτό η τάση Σ.P. εισόδου πρέπει να ελέγχεται ώστε να ελέγχεται το πλάτος στην έξοδο.**

3.3.1.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των μετατροπέων τετραγωνικού παλμού

Ένα από τα πλεονεκτήματα της τετραγωνικής διαμόρφωσης είναι ότι αλλαγή στην κατάσταση των διακοπών συμβαίνει μόνο δύο φορές σε κάθε κύκλο, το οποίο είναι σημαντικό σε υψηλές ισχείς όπου οι ημιαγωγικοί διακόπτες είναι πιο αργοί κατά τη μετάβαση στην αγωγή ή τη σβέση τους. Επίσης η θεμελιώδης συνιστώσα της τάσης είναι μεγαλύτερη σε αυτό το σχήμα διαμόρφωσης από κάθε άλλο σχήμα διαμόρφωσης.

Μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι ο μετατροπέας δε μπορεί να ρυθμίσει το πλάτος της τάσης και για τη ρύθμιση του πλάτους πρέπει να μεταβάλλεται η DC τάση. Επίσης όπως προέκυψε και από τη *Fourier* ανάλυση η τάση περιέχει αρμονικές χαμηλής τάξης οπότε χρειάζονται φίλτρα για την καταστολή τους.



Εικόνα 3.16: κυματομορφές τάσης εξόδου ενός τριφασικού αντιστροφέα έξι παλμών

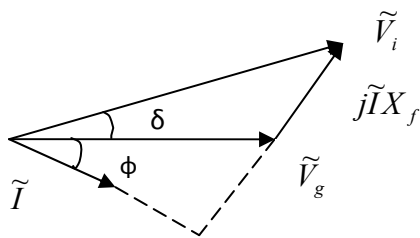
3.3.2 Τριφασικός αντιστροφέας με διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM)

Σκοπός μιας τέτοιας διάταξης είναι η μορφοποίηση και ο έλεγχος των τριφασικών τάσεων εξόδου κατά πλάτος και συχνότητα, όπου σαν είσοδο θα έχουμε μια σταθερή τάση V_d . Αυτό που επιδιώκεται είναι να έχουμε στην έξοδο την εμφάνιση τριών συμμετρικών συνιστωσών. Για να γίνει αυτό συγκρίνουμε με μια τριγωνική κυματομορφή τις τρεις ημιτονοειδής τάσεις ελέγχου. Αυτό φαίνεται στις κυματομορφές του σχήματος.

Στην συνέχεια προκύπτουν οι τάσεις εξόδου v_{AN} και v_{BN} και v_{CN} οι οποίες μετρούνται σε σχέση με τον αγωγό που φέρει την αρνητική συνεχούς ρεύματος τάση με την ίδια συνιστώσα συνεχούς. Αυτές τώρα οι συνιστώσες απαλείφονται στις πολικές τάσεις.

Με τις τεχνικές PWM που χρησιμοποιούνται είναι δυνατόν να μεταβάλλεται η V με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και το ρεύμα εξόδου του αντιστροφέα προς το δίκτυο κατά μέτρο και γωνία. Δηλαδή με τη ρύθμιση της τάσης V δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης της ενεργού και αέργου ισχύος που εγχύεται στο δίκτυο. Ο μετατροπέας μπορεί να λειτουργεί με χωρητικό ή επαγωγικό συντελεστή ισχύος, δηλαδή να παράγει ή να απορροφά άεργο ισχύ ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου. Επίσης μπορεί να παράγει ή να απορροφά ενεργό ισχύ λειτουργώντας αντίστοιχα ως πηγή ή φορτίο. Έτσι ο μετατροπέας μπορεί να λειτουργεί και στα τέσσερα τεταρτημόρια, αφού οι P και Q μπορούν να έχουν κάθε πρόσημο

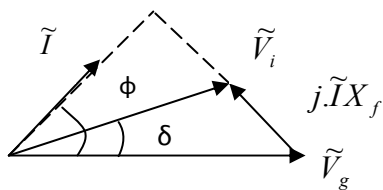
A. Με χωρητικό συντελεστή ισχύος



Διανυσματικό διάγραμμα μετατροπέα που λειτουργεί στο 4ο τεταρτημόριο.

Στην περίπτωση αυτή πρέπει το μέτρο της τάσης \tilde{V}_i να είναι πάντα μεγαλύτερο από το μέτρο της τάσης του δικτύου \tilde{V}_g .

B. Με επαγωγικό συντελεστή ισχύος



Διανυσματικό διάγραμμα μετατροπέα που λειτουργεί στο 1ο τεταρτημόριο

Στη περίπτωση αυτή το μέτρο της τάσης \tilde{V}_i μπορεί να είναι μικρότερο, ίσο ή μεγαλύτερο από το μέτρο της τάσης του δικτύου \tilde{V}_g .

3.3.2.1 Ισχύς κατά τη λειτουργία του μετατροπέα ως αντιστροφέα

Θεωρώντας μόνο τις θεμελιώδεις συνιστώσες των μεγεθών και με αναφορά

την \tilde{V}_g , η μιγαδική ισχύς που εγχύεται στο δίκτυο είναι :

$$\tilde{S} = P + j.Q = \frac{3}{2} V_g \tilde{I}^*$$

Το θεμελιώδες ρεύμα του μετατροπέα ικανοποιεί τη σχέση:

$$\tilde{V}_i = \tilde{V}_g + \tilde{I} \tilde{Z}_f$$

$$\tilde{I} = \frac{\tilde{V}_i - \tilde{V}_g}{\tilde{Z}_f}$$

Δηλαδή προκύπτει ως :

$$\tilde{I}^* = \left(\frac{\tilde{V}_i - V_g}{jX_f} \right)^* = \left(\frac{V_i \cos \delta + jV_i \sin \delta - V_g}{jX_f} \right)^* = \frac{V_i \sin \delta + j(V_i \cos \delta - V_g)}{X_f}$$

$$\tilde{S} = P + j.Q = \frac{3}{2} V_g \frac{V_i \sin \delta + j(V_i \cos \delta - V_g)}{X_f}$$

$$P = \frac{3}{2} \frac{V_g V_i \sin \delta}{X_f}$$

$$Q = \frac{3}{2} \frac{V_g (V_i \cos \delta - V_g)}{X_f}$$

Από τη σχέση Q συμπεραίνουμε ότι άεργος ισχύς παράγεται όταν

$V_i \cos \delta - V_g > 0$ (χωρητικός Σ.Ι.) ενώ άεργος ισχύς καταναλώνεται όταν

$V_i \cos \delta - V_g < 0$ (επαγωγικός Σ.Ι.).

Έτσι αν $\Delta V_f > 0$ τότε $Q > 0$ ενώ αν $\Delta V_f < 0$ τότε $Q < 0$, όπου ΔV_f η πτώση τάσης επί της αντίδρασης X_f .

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η λειτουργία του μετατροπέα δε διαφέρει καθόλου από τη λειτουργία σύγχρονης γεννήτριας.

3.3.2.1.1 Ρύθμιση της ισχύος με έλεγχο τάσης

Η ρύθμιση της ενεργού και αέργου ισχύος σε μετατροπέα που συνδέεται στο δίκτυο μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: με έλεγχο της τάσης του μετατροπέα και με έλεγχο του ρεύματος του μετατροπέα.

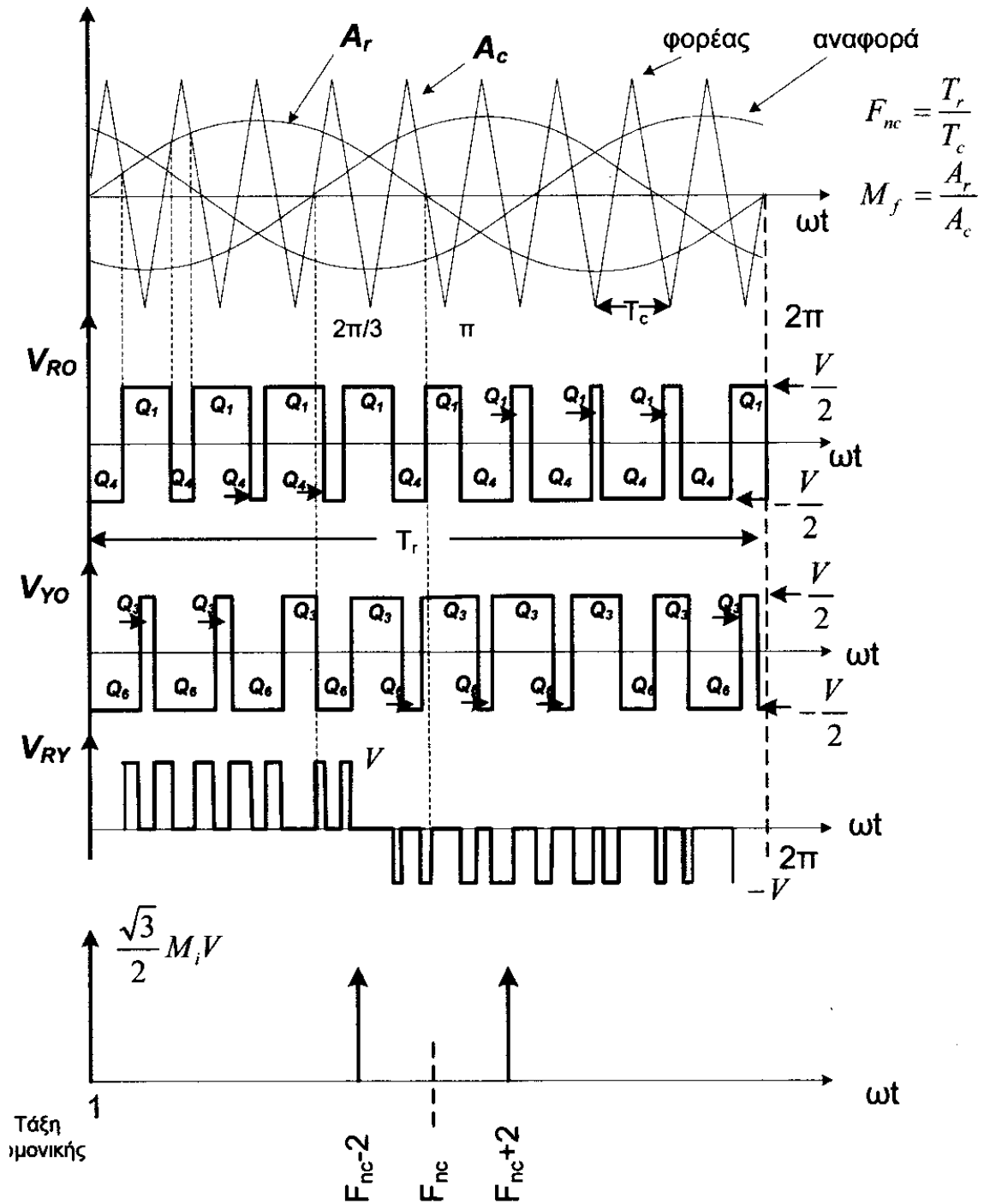
Ο έλεγχος τάσης στηρίζεται στην αναλογία μεταξύ ροής ενεργού ισχύος και της διαφοράς φάσης μεταξύ της τάσης εξόδου του μετατροπέα και της τάσης του δικτύου, και στην αναλογία της αέργου ισχύος και της διαφοράς των μέτρων των δύο τάσεων.

3.3.2.1.2 Ρύθμιση της ισχύος με έλεγχο ρεύματος

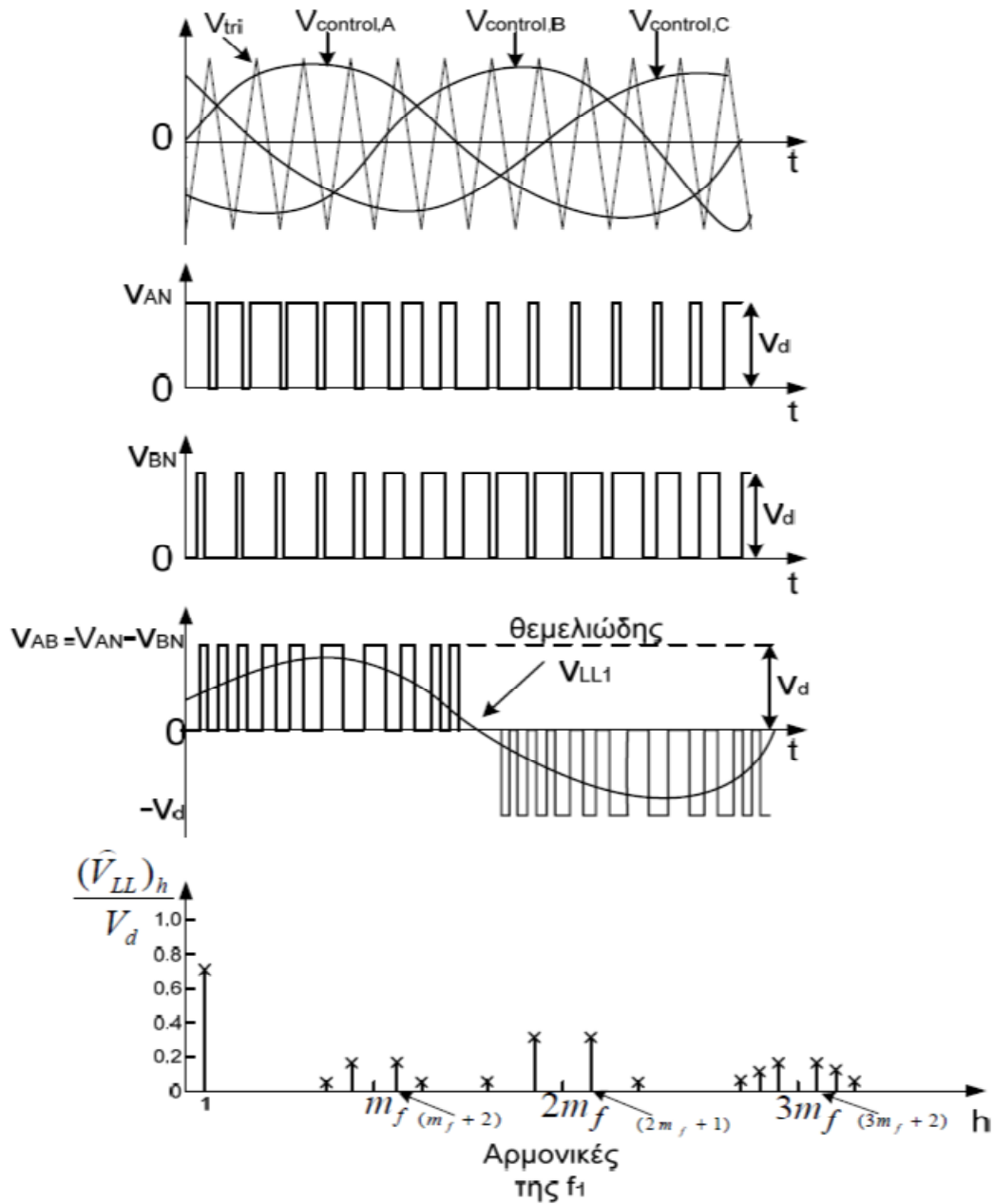
Εναλλακτικά μπορούμε να ελέγξουμε την ισχύ αν ελέγξουμε το ρεύμα εξόδου του μετατροπέα. Δηλαδή χρησιμοποιώντας την μετρούμενη τάση του δικτύου για συμμετρικό σύστημα θεωρητικά αρκούν δύο από τις τρεις φάσεις, μπορεί να προκύψει το ρεύμα αναφοράς από την επιθυμητή ενεργό και άεργο ισχύ. Στον έλεγχο, το ρεύμα αναφοράς θα συγκρίνεται με το πραγματικό, δηλαδή το μετρούμενο ρεύμα του δικτύου, και με τη μέθοδο της υστέρησης θα αποφασίζεται η αγωγή ή όχι των ημιαγωγικών διακοπών ώστε η διαφορά επιθυμητού και πραγματικού ρεύματος να βρίσκεται μέσα σε προκαθορισμένα όρια.

3.3.3 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα των PWM μετατροπέων

Οι τεχνικές PWM σε συνδυασμό με τις δυνατότητες των ημιαγωγικών διακοπών παρέχουν τη δυνατότητα αποδοτικού και γρήγορου ελέγχου της ηλεκτρικής ισχύος. Με τις τεχνικές PWM μπορούμε να ελέγξουμε τη συχνότητα, το πλάτος της τάσης και του ρεύματος και το συντελεστή ισχύος, χωρητικό ή επαγωγικό. Με τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των παλμών, εξασφαλίζεται η πολύ σημαντική μείωση του αρμονικού περιεχομένου των παραγόμενων τάσεων (μικρότερο THD), ενώ οι αρμονικές της τάσης μετατοπίζονται σε υψηλές συχνότητες επιτρέποντας τη χρήση μικρότερων και οικονομικότερων φίλτρων. Η λειτουργία του μετατροπέα γίνεται μάλιστα με πολύ μεγάλο συντελεστή απόδοσης, διότι οι ημιαγωγοί διακόπτες άγουν για μικρό χρονικό διάστημα και οι απώλειες περιορίζονται. Υπάρχουν ωστόσο και μειονεκτήματα. Μπορεί οι απώλειες κατά την αγωγή των διακοπών σ' αυτούς τους μετατροπείς να είναι περιορισμένες, υπάρχουν όμως διακοπτικές απώλειες, οι οποίες είναι ανάλογες της διακοπτικής συχνότητας f_s . Επίσης οι τάσεις που παράγονται σε υψηλές συχνότητες διαδίδονται κυματικά και προκαλούν παρενοχλήσεις. Γι' αυτό το λόγο οι μετατροπείς κατασκευάζονται ώστε να τηρούν τις προδιαγραφές της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC). Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ο ακουστικός θόρυβος που παράγεται κατά τη λειτουργία του μετατροπέα, ο οποίος αντιμετωπίζεται με την κατάλληλη επιλογή της f_s ώστε να βρίσκεται έξω από το ακουστικό φάσμα. Επίσης σαν μειονεκτήματα μπορούμε να θεωρήσουμε την αυξημένη πολυπλοκότητα και το υψηλό κόστος, τα οποία βέβαια αντισταθμίζονται από την πολύ καλή ποιότητα ισχύος και τον γρήγορο έλεγχο.



Εικόνα 3.17: Τριφασικές κυματομορφές με διαμόρφωση PWM και φάσμα αρμονικών



Εικόνα 3.18: Τριφασικές κυματομορφές με διαμόρφωση PWM και φάσμα αρμονικών

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ”

Κεφάλαιο 4

4.1 Εισαγωγή

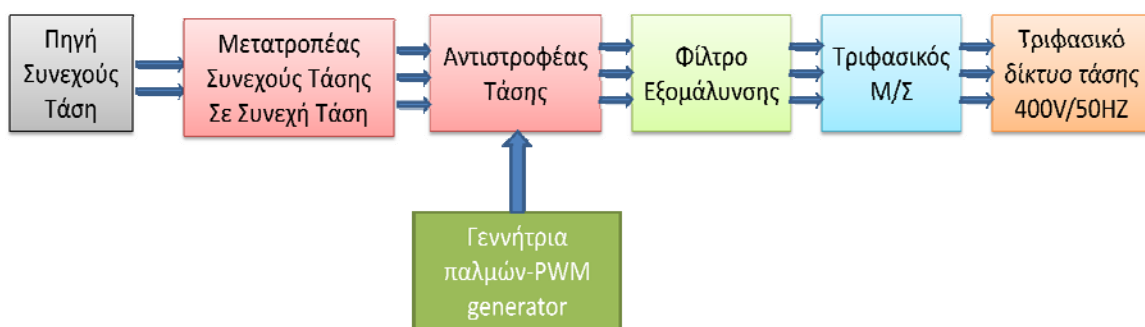
Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω οι αντιστροφείς χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος στη βιομηχανία αλλά και στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κοινός παρανομαστής της μεγάλης ποικιλίας εφαρμογών στις οποίες αξιοποιούνται είναι η δυνατότητα τους να ρυθμίζουν την τάση και το ρεύμα στην έξοδο τους. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται:

- ✓ Για τη διασύνδεση πηγών σταθερής τάσης στο δίκτυο. Στην ουσία ρυθμίζουν την ενεργό και την άεργο ισχύ που διοχετεύεται στο δίκτυο.
- ✓ Σε συστήματα οδήγησης κινητήρων για τον έλεγχο θέσης, ταχύτητας, επιτάχυνσης και ροπής καθώς παρουσιάζουν ικανοποιητική δυναμική απόκριση, ακρίβεια και δυνατότητα ελέγχου σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων, αντικαθιστώντας έτσι της DC μηχανές με AC.
- ✓ Ως ενεργά φίλτρα, αντισταθμίζοντας διαταραχές τάσης και τάξεις αρμονικών.
- ✓ Ως αντισταθμιστές άεργου ισχύος (STATCOMs), διοχετεύοντας ή απορροφώντας από το δίκτυο αντίστοιχα άεργη ισχύς, διορθώνοντας έτσι το συντελεστή ισχύος.
- ✓ Στη μεταφορά ισχύος σε γραμμές συνεχούς υψηλής τάσης στη μεταφορά ενεργούς ισχύος σε αποθηκευτικά στοιχεία.

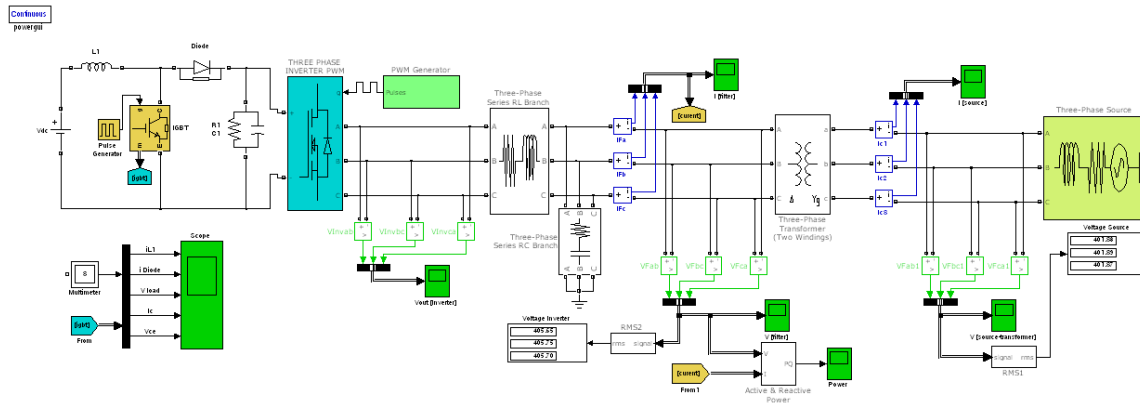
4.2 Παραμετροποίηση των στοιχείων του συστήματος

Για την ορθή εξαγωγή συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων αποτελεί το θεωρητικό, σε πρώτο επίπεδο και έπειτα σε δεύτερο επίπεδο το υπολογιστικό κομμάτι, δηλαδή, οι απαραίτητοι μαθηματικοί υπολογισμοί για το κάθε ένα σύστημα ξεχωριστά ούτως ώστε το πάντρεμα αυτών να γίνει με τα ορθά αποτελέσματα και παράλληλα με τα παραπάνω να γίνονται επαναλαμβανόμενες αλλαγές στις τιμές της προσομοίωσης για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στόχος της εργασίας αυτής είναι η ορθή λειτουργία ενός τριφασικού αντιστροφέα συνδεδεμένο στο τριφασικό δίκτυο της Ευρώπης (400V/50HZ), δηλαδή να είναι συγχρονισμένος με το δίκτυο έτσι ώστε να βγάζει το ονομαστικό ρεύμα και τάση.

Το σύστημα όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα αποτελείται από τη πηγή συνεχούς τάσης, τον μετατροπέα συνεχούς τάσης σε συνεχή τάση, τον αντιστροφέα τάσης, το φίλτρο εξομάλυνσης, τον τριφασικό μετασχηματιστή και τέλος την τριφασική γεννήτρια όπου προσομοιώνει το τριφασικό δίκτυο. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε σε Matlab/Simulink. Λόγω του ότι υπάρχουν αρκετά εξαρτήματα στο μοντέλο, ο αντιστροφέας, το φίλτρο και ο μετασχηματιστής υλοποιήθηκαν και έγιναν υποσυστήματα (Subsystems). Τέλος, το σύστημα του αντιστροφέα μαζί με την γεννήτρια παλμών βρίσκονται στην βιβλιοθήκη Universal Bridge και Discrete PWM Generator αντίστοιχα.



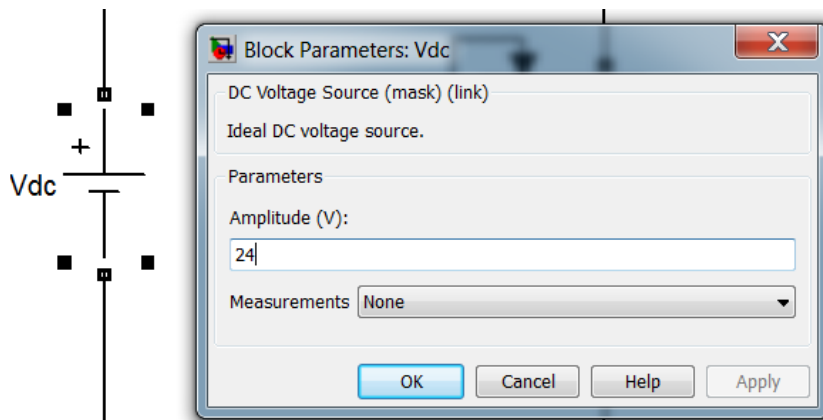
Εικόνα 4.1 Μπλοκ Διάγραμμα συστήματος



Εικόνα 4.2 Μοντέλο σε Matlab

4.2.1 Πηγή τροφοδότησης

Οι αντιστροφείς έχουν την δυνατότητα να τροφοδοτούνται από πηγές συνεχούς τάσης και ρεύματος. Παρόλα αυτά ο έλεγχος της τάσης είναι πιο συνηθισμένος λόγω των ιδιοτήτων των ημιαγωγικών διακοπτικών στοιχείων. Στην παρούσα εργασία ο αντιστροφέας τροφοδοτείται από πηγή συνεχούς τάσης (μπαταρία) στα 24V.



Εικόνα 4.3 Στοιχεία πηγής τροφοδότησης

4.2.2 Μετατροπές DC-DC

Η συνεχής τάση που παράγει η πηγή μεταφέρεται σε ένα μετατροπέα συνεχούς τάσης σε συνεχή τάση με σκοπό της ανύψωση της στα επιθυμητά επίπεδα και παράλληλα την σταθεροποίηση της σε περίπτωση μεταβολών. Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε μετατροπέας boost, δηλαδή, ανυψωτής τάσης ούτως ώστε να μας ανυψώσει την τάση των 24V στα $400 \times \sqrt{2} = 566 \text{ V}$.

Το ισοδύναμο μοντέλο αποτελείται από ένα πηνίο για την εξομάλυνση της τάσης, το διακοπτικό στοιχείο που είναι το IGBT μαζί με το σύστημα παλμών, την δίοδο και τέλος παράλληλα με το σύστημα και μεταξύ τους το σύστημα πυκνωτής-αντίσταση για την εξομάλυνση της τάσης. Όπου μαζί με τα τελικά χαρακτηριστικά του (όπου μετά από πολλές δοκιμές) φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.

Μαθηματικοί υπολογισμοί:

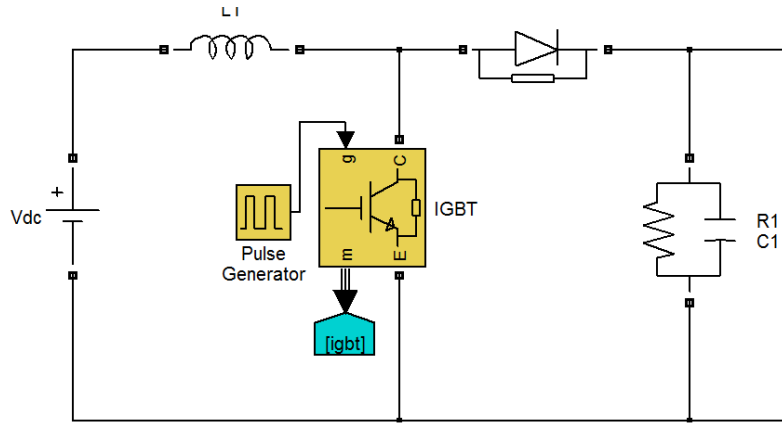
$$I_0 = \frac{P_{0max}}{V_0} (A), P_0 = Pd, Id_{max} = \frac{V_0 * I_{0max}}{V_d}$$

$$\frac{1}{2} * V_d * I_d * f_s * (t_{on} + t_{off}) + V_{on} * I_d * \frac{t_{on}}{T_s} < 0.07 * V_0 * I_{0max} =$$

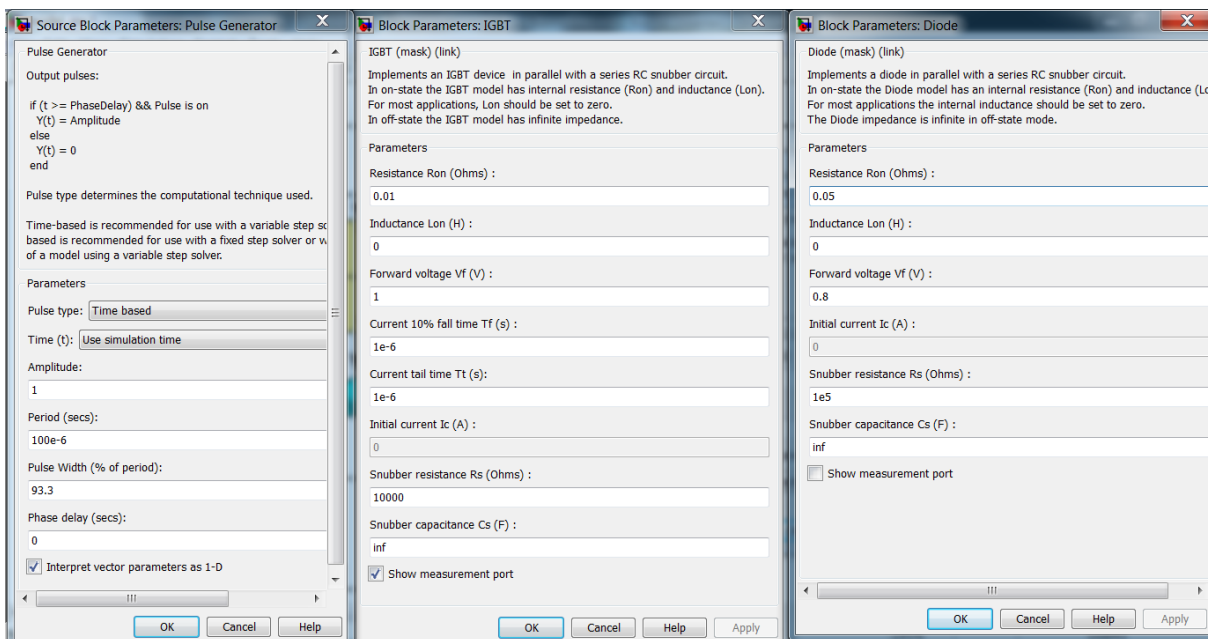
$$> f_s = 506 \text{ HZ}$$

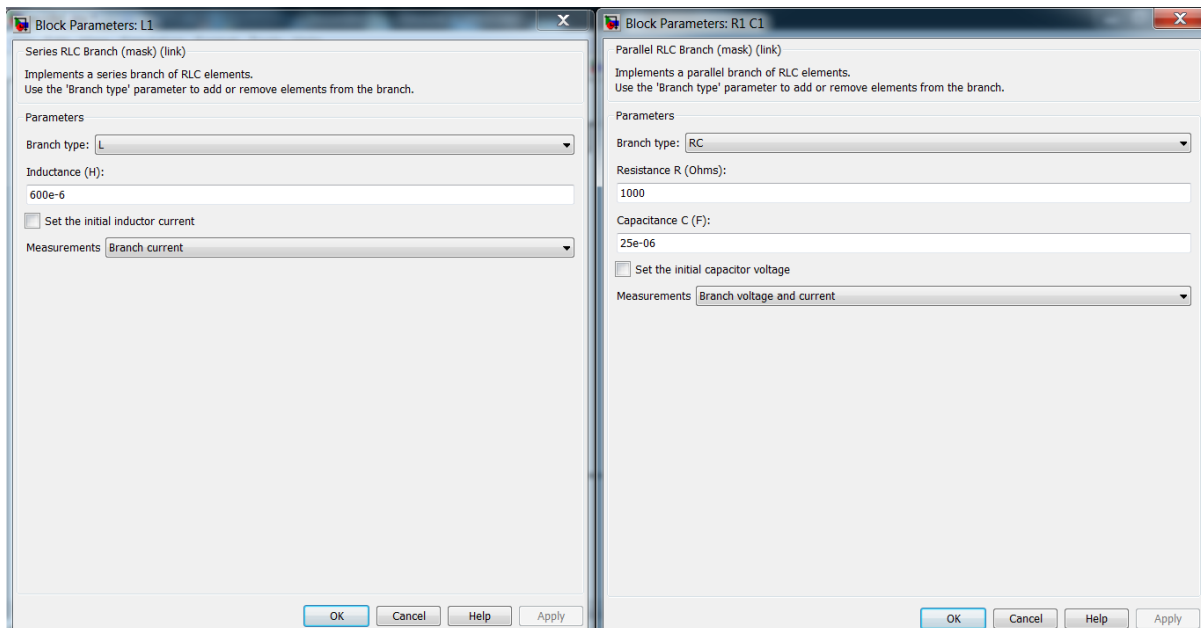
$$L = \frac{T_s * (V_0 - V_d) * \frac{V_d}{V_0}}{2ILB}, R = \frac{V_0}{I_{0max}} \Rightarrow D = \frac{V_0 - V_d}{V_0},$$

$$C > 80 \mu\text{F}$$



Εικόνα 4.4 Ισοδύναμο μοντέλο μετατροπέα DC-DC



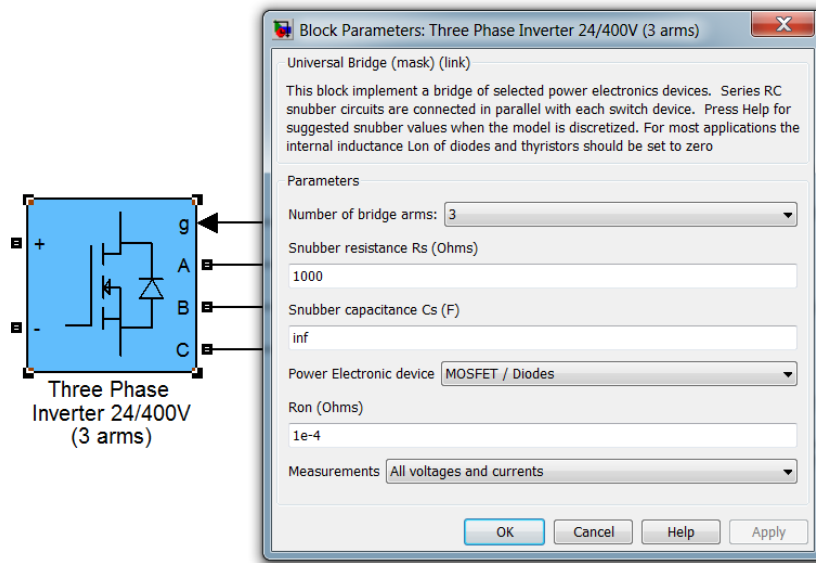


Εικόνα 4.5 Στοιχεία μετατροπέα DC-DC

4.2.3 Αντιστροφέας

Μετά τον μετατροπέα DC-DC τοποθετείται ο τριφασικός αντιστροφέας με σκοπό της μετατροπή της τάσης από συνεχή σε εναλλασσόμενη παλμική 230/400V στα 50HZ.

Ο τριφασικός αντιστροφέας που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία έχει ημιαγωγικά στοιχεία Mosfet/Diode, πλήρης γέφυρας, τριών σκελών και έξι παλμών και βρίσκεται στην βιβλιοθήκη "Power System Block Set".



Εικόνα 4.6 Στοιχεία αντιστροφή DC-AC

Με εφαρμογή του νόμου ρευμάτων του Kirchhoff στο πλαισιωμένο τμήμα του κυκλώματος που φαίνεται στο σχήμα 3 προκύπτει η εξίσωση 1.

$$i_{L11} + i_{L12} + i_{L13} = 0 \quad (1)$$

Ο ουδέτερος n στο σχήμα 2 δε γειώνεται, οπότε προκύπτει η εξίσωση 2.

$$i_{C1} + i_{C2} + i_{C3} = 0 \quad (2)$$

Από τις εξισώσεις 1, 2 προκύπτει η εξίσωση 3

$$i_{L21} + i_{L22} + i_{L23} = 0 \quad (3)$$

Εφαρμόζοντας το νόμο τάσεων του Kirchhoff προκύπτει η εξίσωση 4

$$\begin{aligned} v_{ao1} &= L_1 \frac{d}{dt} i_{L11} + L \frac{d}{dt} i_{L21} + R i_{L11} + v_{c1} + v_{go} \\ v_{ao2} &= L_1 \frac{d}{dt} i_{L12} + L \frac{d}{dt} i_{L22} + R i_{L12} + v_{c2} + v_{go} \\ v_{ao3} &= L_1 \frac{d}{dt} i_{L13} + L \frac{d}{dt} i_{L23} + R i_{L13} + v_{c3} + v_{go} \end{aligned} \quad (4)$$

όπου (τα παρακάτω αναφέρονται στο σχήμα 2)

$$L = L_s + L_2$$

L_s η αυτεπαγωγή του δικτύου

$R = R_s$ η ωμική αντίσταση του δικτύου

v_{aoi} ($i=1,2,3$) η τάση μεταξύ του σημείου a της φάσης i και του σημείου o

v_{ci} η τάση μεταξύ του σημείου c της φάσης i και του σημείου g (γείωση)

v_{go} η τάση μεταξύ του σημείου g (γείωση) και του σημείου o

i_{L1i} το ρεύμα που διαρρέει τον επαγωγέα L_1 της φάσης i

i_{L2i} το ρεύμα που διαρρέει τον επαγωγέα L_2 της φάσης i .

Αθροίζοντας κατά μέλη τις εξισώσεις 4 και λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις 1, 3 προκύπτει η εξίσωση 5.

$$v_{ao1} + v_{ao2} + v_{ao3} = v_{c1} + v_{c2} + v_{c3} + 3v_{go} \quad (5)$$

Από την εξίσωση 5 προκύπτει ότι εφόσον

$$v_{c1} + v_{c2} + v_{c3} = 0 \quad (6)$$

ισχύει η εξίσωση 7

$$v_{go} = \frac{v_{ao1} + v_{ao2} + v_{ao3}}{3} \quad (7)$$

οπότε χρησιμοποιώντας την εξίσωση 7 στην εξίσωση 8

$$v_{aoi} = v_{ai} - v_{go}, i = 1, 2, 3 \quad (8)$$

προκύπτει η εξίσωση 9

$$\begin{pmatrix} v_{a1} \\ v_{a2} \\ v_{a3} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} v_{ao1} \\ v_{ao2} \\ v_{ao3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{ao1} \\ v_{ao2} \\ v_{ao3} \end{pmatrix} \quad (9)$$

όπου v_{ai} η τάση του σημείου a της φάσης i ως προς γη.

Εφαρμόζοντας πάλι το νόμο τάσεων του Kirchoff στο κύκλωμα του σχήματος 2 προκύπτει η εξίσωση 10.

$$\begin{aligned} \frac{1}{C} \int i_{C1} dt + v_{ng} &= L \frac{d}{dt} i_{L21} + R i_{L21} + v_{c1} \\ \frac{1}{C} \int i_{C2} dt + v_{ng} &= L \frac{d}{dt} i_{L22} + R i_{L22} + v_{c2} \\ \frac{1}{C} \int i_{C3} dt + v_{ng} &= L \frac{d}{dt} i_{L23} + R i_{L23} + v_{c3} \end{aligned} \quad (10)$$

οπότε πάλι αθροίζοντας κατά μέλη και λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις 1, 2, 3 προκύπτει η εξίσωση 11

$$v_{ng} = \frac{v_{c1} + v_{c2} + v_{c3}}{3} \quad (11)$$

οπότε συμπεραίνουμε ότι αν $v_{c1} + v_{c2} + v_{c3} = 0$ τότε $v_{ng} = 0$. Δηλαδή, αν η τάση δικτύου είναι συμμετρική η τάση του ουδετέρου είναι ίση με την τάση γης. Αυτό

4.2.4 Μέθοδοι συγχρονισμού της τάσης του αντιστροφέα με το δίκτυο

Η κυματομορφή της τάσης του δικτύου είναι δεδομένη και δεν μπορούμε να παρέμβουμε σε αυτή. Έτσι προκειμένου να υπάρχει συγχρονισμός των τάσεων μεταξύ του δικτύου και των ηλεκτρονικών στοιχείων θα ελέγξουμε στην έξοδο του Μ/Σ τις τάσεις προκειμένου να έχουμε την ίδια κυματομορφή με αυτή του δικτύου. Για να είναι ίδιες οι δύο αυτές κυματομορφές θα πρέπει να έχουνε:

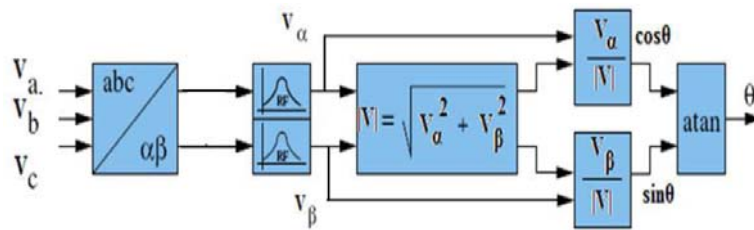
- i. Το ίδιο πλάτος
- ii. Την ίδια συχνότητα
- iii. Και την ίδια σειρά φάσεων

Υπάρχουνε δύο τρόποι συγχρονισμού των τάσεων: α)ανοιχτού βρόχου και β)κλειστού βρόχου.

4.2.4.1 Μέθοδος συγχρονισμού ανοιχτού βρόχου

Ο συγχρονισμός ανοιχτού βρόχου χωρίζεται σε α)φιλτράρισμα των τάσεων στο ακίνητο σύστημα α-β, β)φιλτράρισμα των τάσεων στο στρεφόμενο σύστημα d-q, γ)μέθοδος αντίχενυσης του μηδενός ενός συστήματος.

4.2.4.1.1 Φιλτράρισμα των τάσεων σε ακίνητο σύστημα α-β

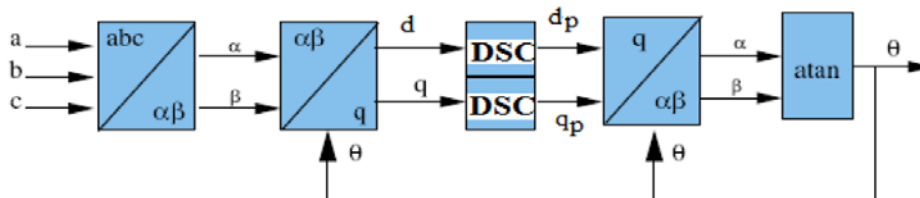


Εικόνα 4.7 Δομή φιλτραρίσματος συστήματος α-β

Με αυτό το σύστημα καταφέρνουμε την πληροφορία που έχουμε σε τρία διανύσματα να την μεταφέρουμε σε δύο απλοποιώντας την πολυπλοκότητα που είχαμε. για το φιλτράρισμα των τάσεων, εξαλείφοντας ή μειώνοντας τις αρμονικές, χρησιμοποιούνται τα εξής φίλτρα: 1)κατωδιαβατό, 2)space vector, 3)extended Kalman, 4)φίλτρο συγχρονισμού-PR ελεγκτής.

4.2.4.1.2 Φιλτράρισμα των τάσεων στο στρεφόμενο σύστημα D-Q

Η διαφορά αυτού του συστήματος με το προηγούμενο είναι ότι τα διανύσματα αυτού είναι συνεχής ποσότητες που σημαίνει ότι στρέφονται με μια γωνιακή ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του δικτύου. Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται είναι α)notch φίλτρο, β) ζωνοπερατό φίλτρο, γ)κατωδιαβατό φίλτρο(low pass filter), δ)Delay Signal Cancellation (DSC). Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να αντιμετωπίσει και ασυμμετρίες του δικτύου(μέσω της ανάλυσης των τριών συνιστωσών). Η θετική μας δίνει συνεχής ποσότητες, η αρνητική μας δίνει εναλλασσόμενες με συχνότητα 100HZ.



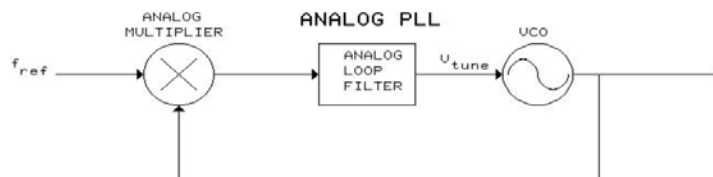
Εικόνα 4.8 Δομή φιλτραρίσματος συστήματος d-q

4.2.4.1.3 Μέθοδος ανίχνευσης του μηδενός ενός συστήματος

Η μέθοδος αυτή δημιουργεί παλμούς όταν μηδενίζεται η κυματομορφή της τάση. Άρα, η πληροφορία που παίρνουμε είναι όταν μηδενίζεται η τάση του δικτύου. Παρόλα αυτά επειδή η τάση μηδενίζεται κάθε μισό της περιόδου, η μέθοδος αυτή είναι αργή.

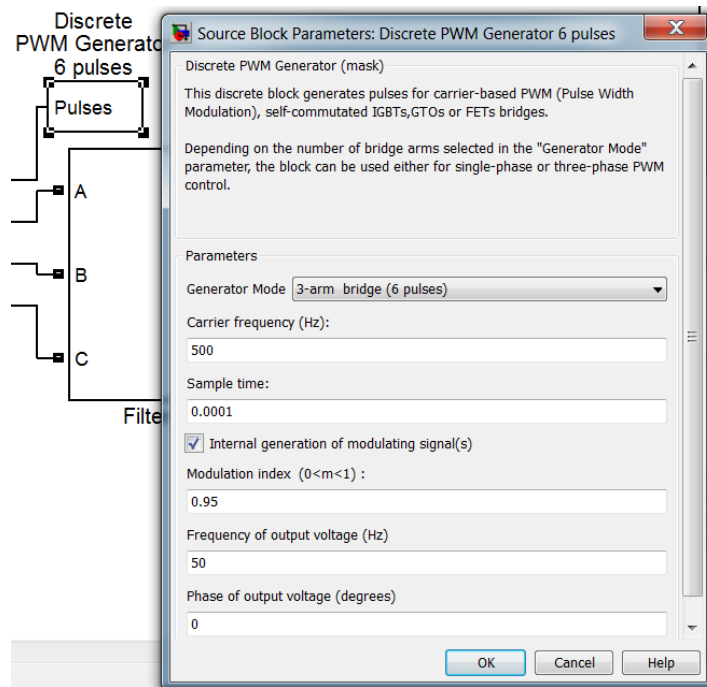
4.2.4.2 Μέθοδος συγχρονισμού κλειστού βρόχου

Η μέθοδος αυτή μεταφέρει την τάση που εμφανίζεται στην έξοδο μέσω ανάδρασης στην είσοδο, την συγκρίνει και το σφάλμα το διορθώνει στην μόνιμη κατάσταση. Ένα τέτοιο σύστημα είναι το Phase Locked Loop. Παρόλο που τα συστήματα ανοιχτού βρόχου είναι πιο απλά σε πολυπλοκότητα εντούτοις μειονεκτούν έναντι των συστημάτων κλειστού βρόχου σε διαταραχές που μπορεί να προκληθούν.

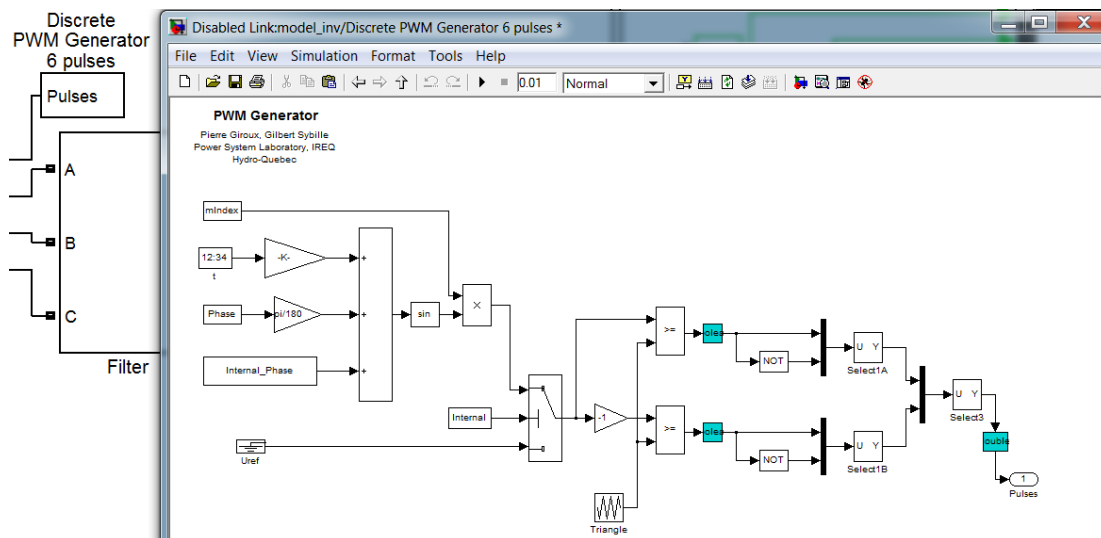


Εικόνα 4.9 Αναλογικό PLL

Το σύστημα συγχρονισμού που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



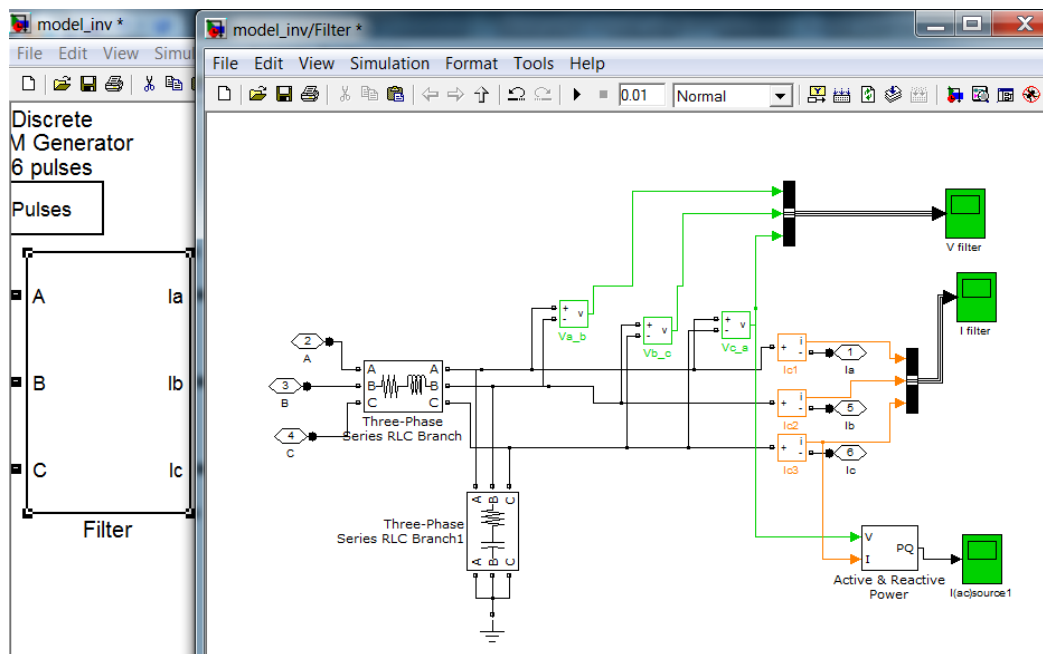
Εικόνα 4.10 Στοιχεία συστήματος συγχρονισμού



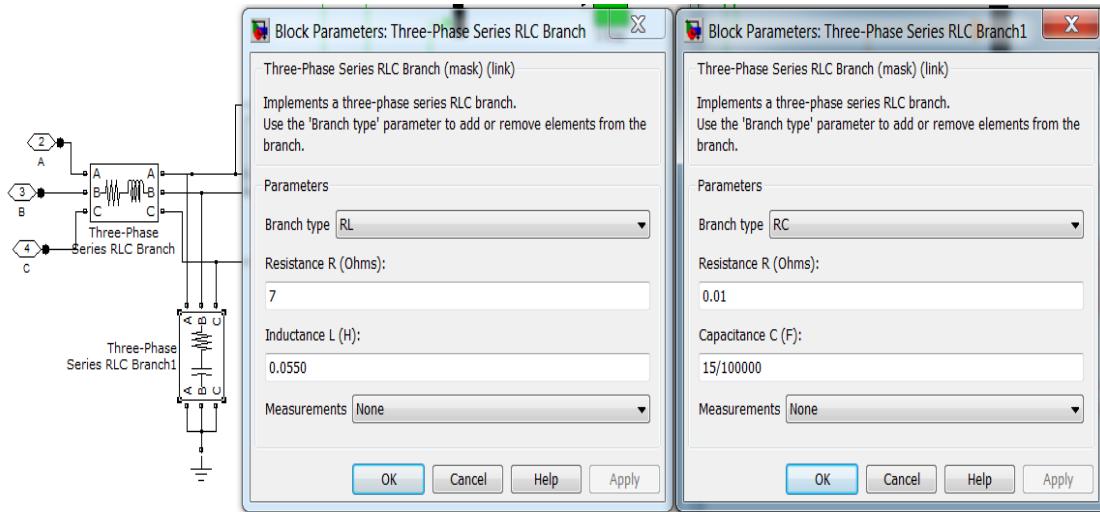
Εικόνα 4.11 Εσωτερική δομή του συστήματος συγχρονισμού

4.2.5 Φίλτρο εξομάλυνσης

Το φίλτρο στην έξοδο του αντιστροφέα δηλαδή στην πλευρά του εναλλασσόμενου τριφασικού δικτύου παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην εξομάλυνση της εναλλασσόμενης τάσης και του εναλλασσόμενου ρεύματος από τον αντιστροφέα προς το δίκτυο. Στην εργασία έχει επιλεγεί φίλτρο τύπου LC όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, μαζί με τα χαρακτηριστικά του. Σε σειρά με το δίκτυο έχει τοποθετηθεί μια αντίσταση σε σειρά με ένα πηνίο και παράλληλα με αυτό και το δίκτυο έχει τοποθετηθεί μια αντίσταση σε σειρά με ένα πυκνωτή. Η αντίσταση με το πηνίο αντισταθμίζουν το ρεύμα και η αντίσταση με το πυκνωτή αντισταθμίζουν την τάση.



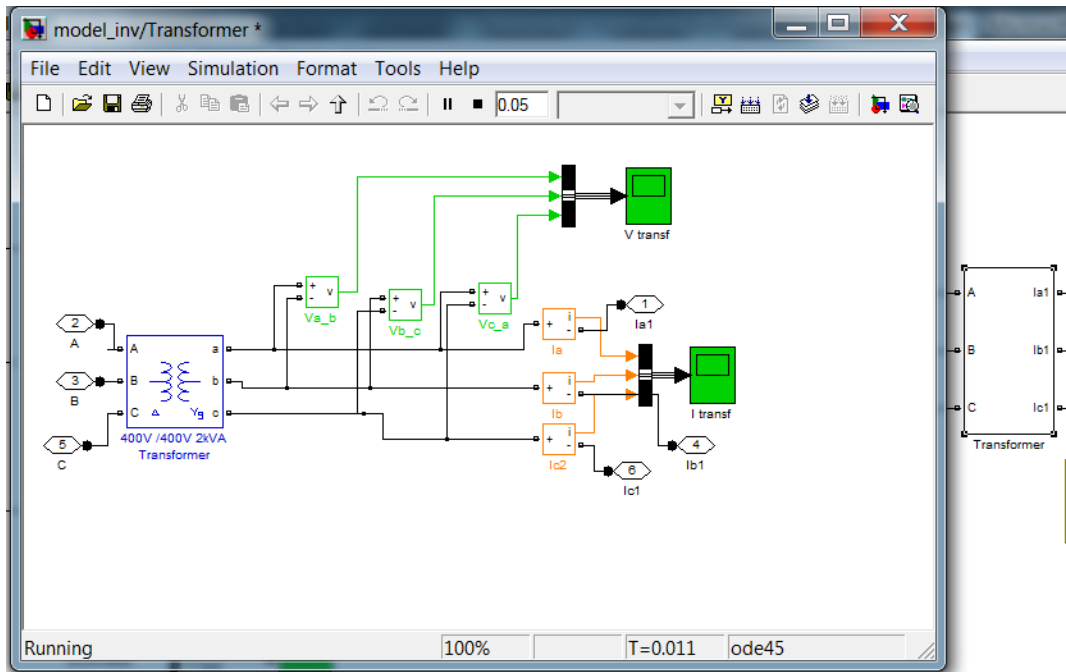
Εικόνα 4.12 Ισοδύναμο φίλτρο εξομάλυνσης



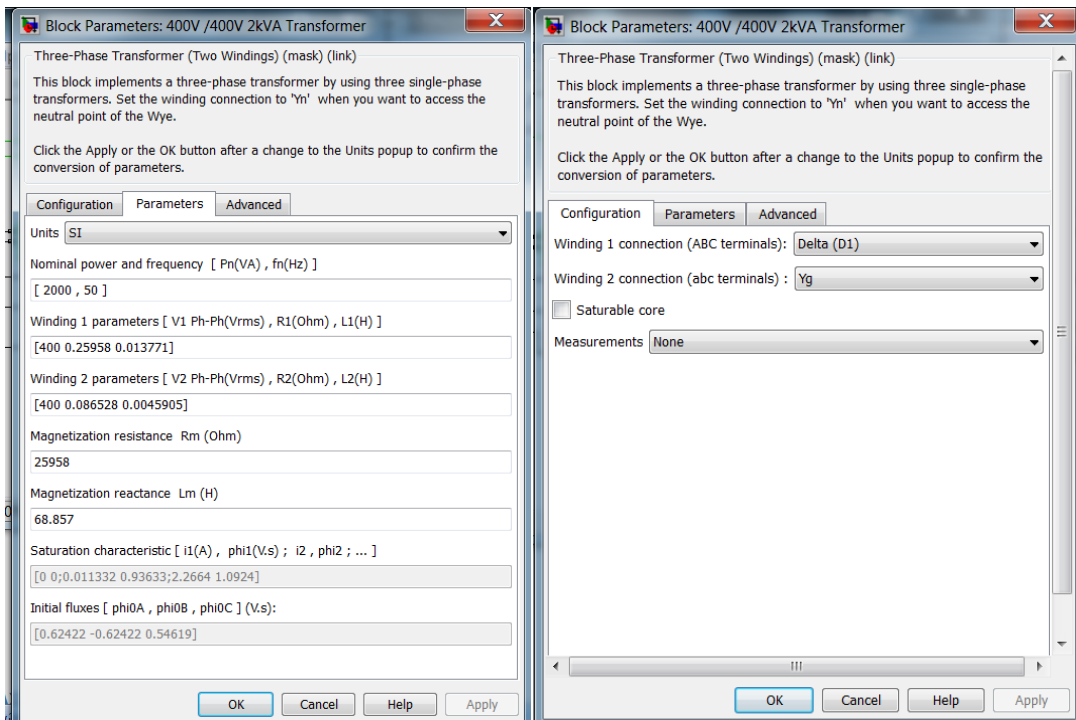
Εικόνα 4.13 Στοιχεία φίλτρου εξομάλυνσης

4.2.6 Τριφασικός μετασχηματιστής

Μετά το φίλτρο τοποθετείται ένας τριφασικός μετασχηματιστής με σκοπό να ανυψώσει την τάση και παράλληλα να προσφέρει και γαλβανική απομόνωση από το υπόλοιπο κύκλωμα σε περίπτωση σφάλματος. Στην εργασία ο μετασχηματιστής έχει επιλεγεί μόνο για την γαλβανική απομόνωση και όχι για την ανύψωση της τάσης με λόγο μετασχηματισμού 1:1.



Εικόνα 4.14 Ισοδύναμο τριφασικού Μ/Σ



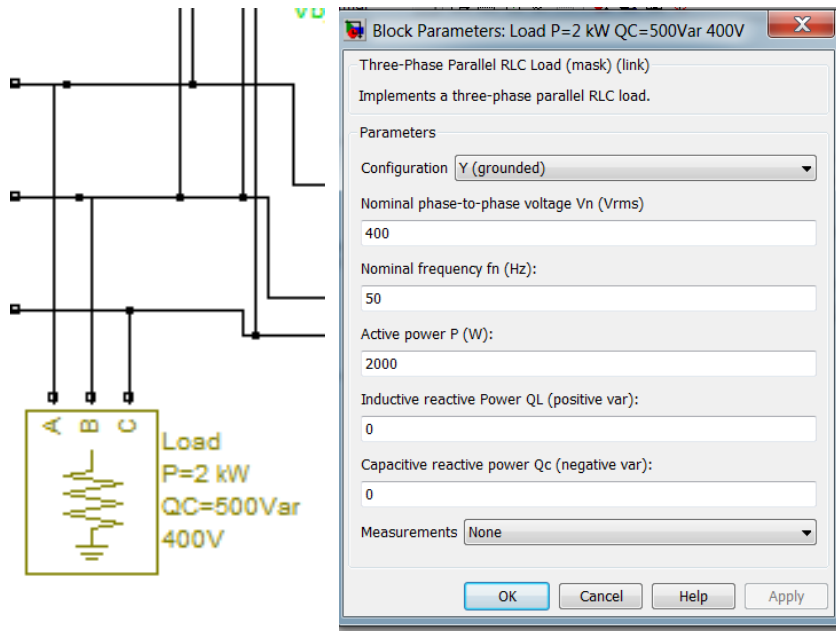
Εικόνα 4.15 Στοιχεία τριφασικού Μ/Σ

4.2.7 Τριφασικό φορτίο

Μετά τον μετασχηματιστή τοποθετήθηκε τριφασικό φορτίο στα 400V/50HZ, όπου οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν για ωμικό φορτίο($\cos\phi=1$) 2000VA, για ωμικό-επαγωγικό φορτίο ($\cos\phi=0.8$), οπότε

$$P = 0.8 * 2000VA = 1600W \text{ και } Q = \sqrt{2000^2 - 1600^2} = 1200VAR$$

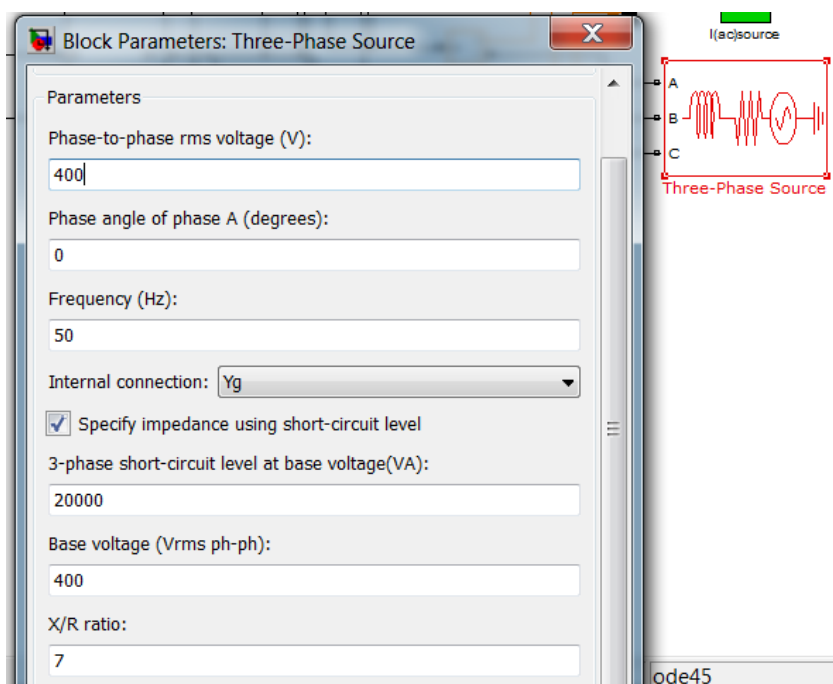
και για ωμικό-χωρητικό φορτίο ($\cos\phi=0.8$) με $Q=-1200VAR$.



Εικόνα 4.16 Στοιχεία τριφασικού φορτίου

4.2.8 Τριφασική πηγή τάσης

Μετά το φορτίο τοποθετείται το δίκτυο που προσομοιώνεται με μία τριφασική πηγή τάσης συνδεδεμένη σε αστέρα στα 400V/50HZ.

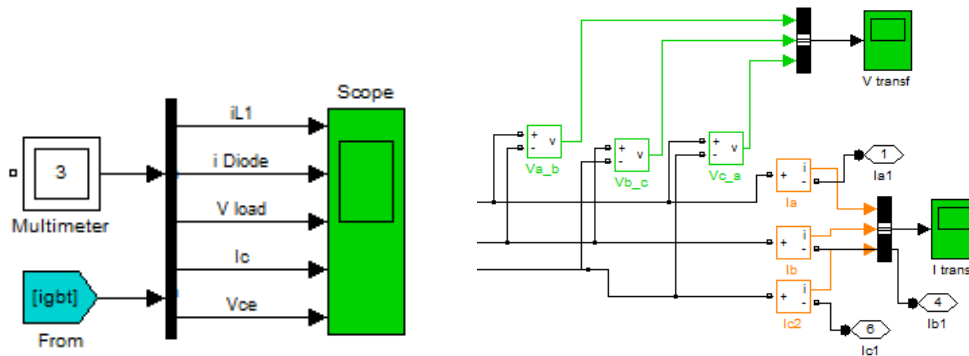


Εικόνα 4.17 Στοιχεία τριφασικής πηγής τάσης

4.2.9 Παρελκόμενα

Τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία είναι βολτόμετρα για την μέτρηση της τάσης είτε φασική είτε την πολική, αμπερόμετρο για την μέτρηση του ρεύματος ανά φάση, παλμογράφοι για την εξαγωγή των κυματομορφών τάσης ρεύματος, ισχύος.

Τα παραπάνω όργανα μέτρησης τοποθετήθηκαν τόσο στην πλευρά της συνεχής τάσης όσο και στην πλευρά της εναλλασσόμενης.



Εικόνα 4.18 Μετρητικές διατάξεις

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ”

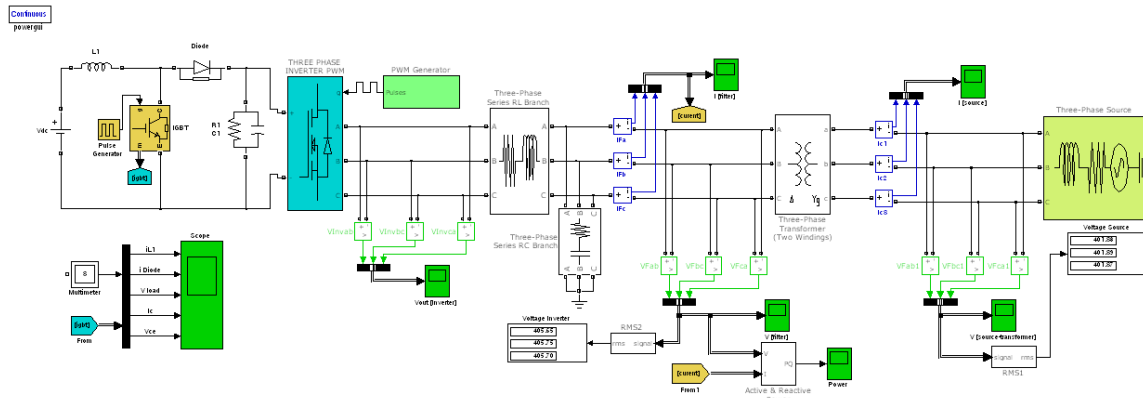
Κεφάλαιο 5

5.1 Εισαγωγή

Ο αντιστροφέας προσομοιώθηκε στο πρόγραμμα Matlab/Simulink. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις. Ξεκινώντας, έχουμε την μπαταρία των 24V συνεχούς τάσης, έπειτα έχουμε τον μετατροπέα συνεχούς τάσης σε συνεχή τάση όπου ανυψώνει και σταθεροποιεί την τάση στα 566V μέσω του διακοπτικού στοιχείου IGBT, της διόδου καθώς επίσης, το πηνίο και τον πυκνωτή στα εξομάλυνση του ρεύματος και της τάσης αντίστοιχα. Στην συνέχεια σε σειρά έχουμε τον αντιστροφέα που μετατρέπει την συνεχή τάση σε παλμική εναλλασσόμενη. Στην επόμενη βαθμίδα έχουμε το φίλτρο εξομάλυνσης στην έξοδο του αντιστροφέα, τύπου LC για το φιλτράρισμα της τάσης και του ρεύματος. Στην επόμενη βαθμίδα έχουμε τον μετασχηματιστή για να παρέχει γαλβανική απομόνωση από το υπόλοιπο σύστημα. Έπειτα έχουμε το τριφασικό φορτίο παράλληλα , και τέλος την τριφασική γεννήτρια στα 400V.

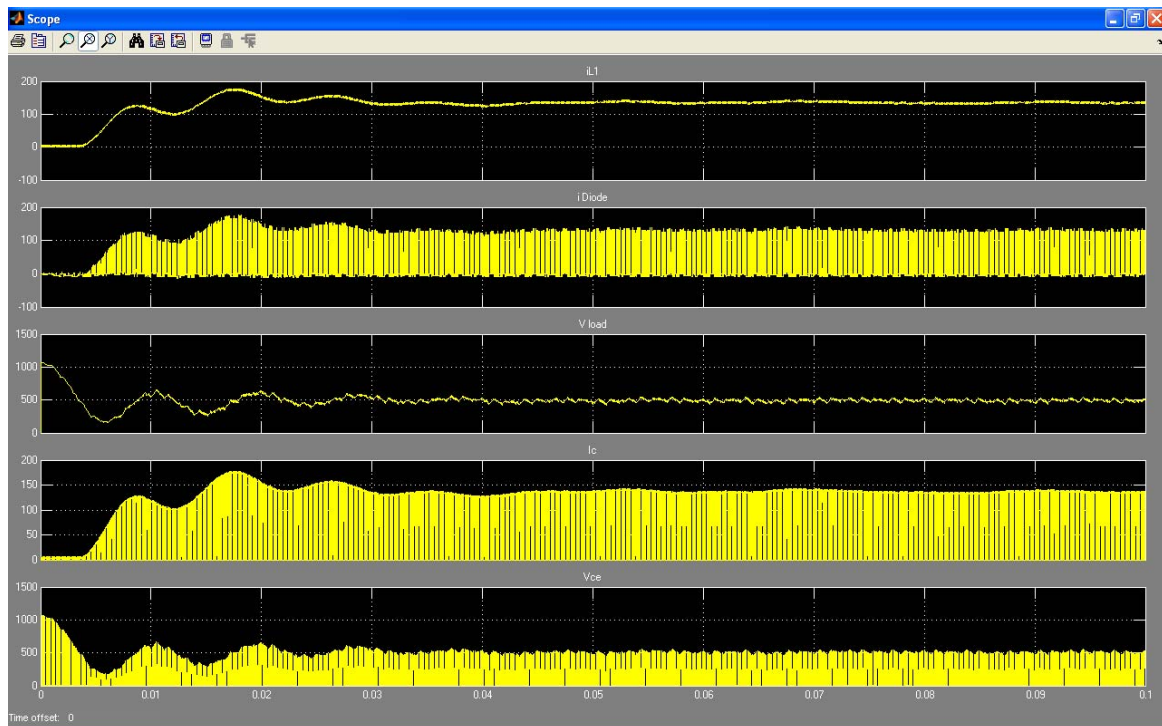
5.2 Ωμικό φορτίο 2000VA

5.2.1 Ισοδύναμο μοντέλο

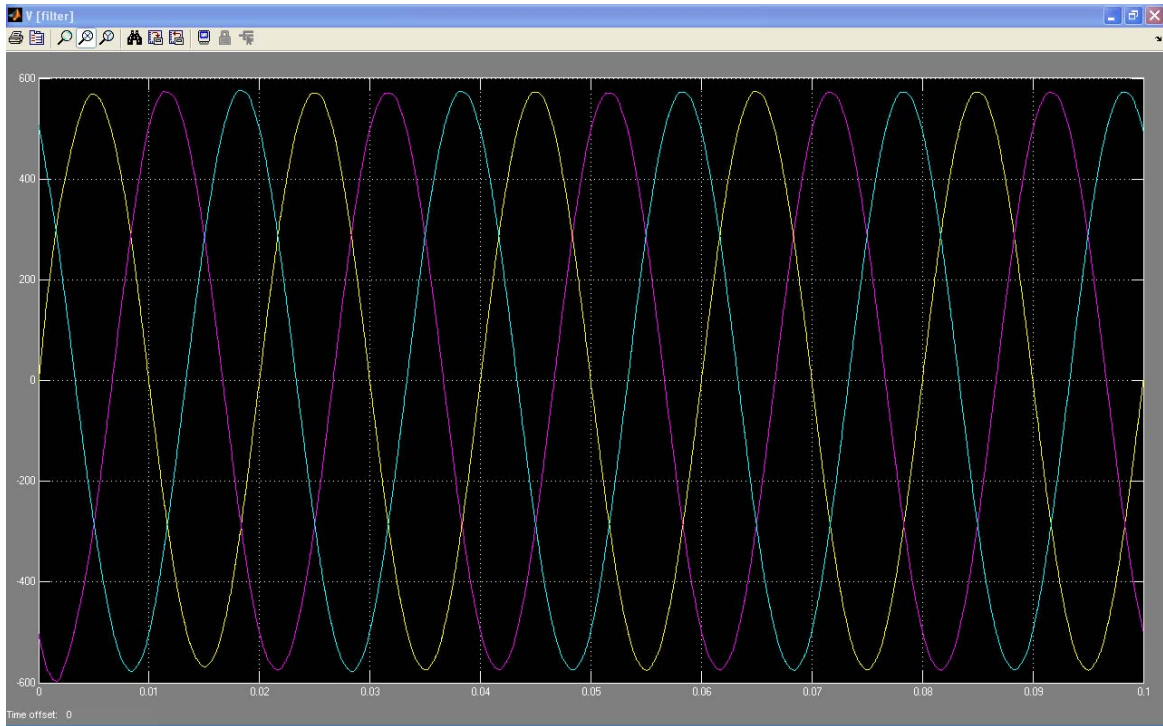


Εικόνα 5.1 Ισοδύναμο μοντέλο ωμικού φορτίου

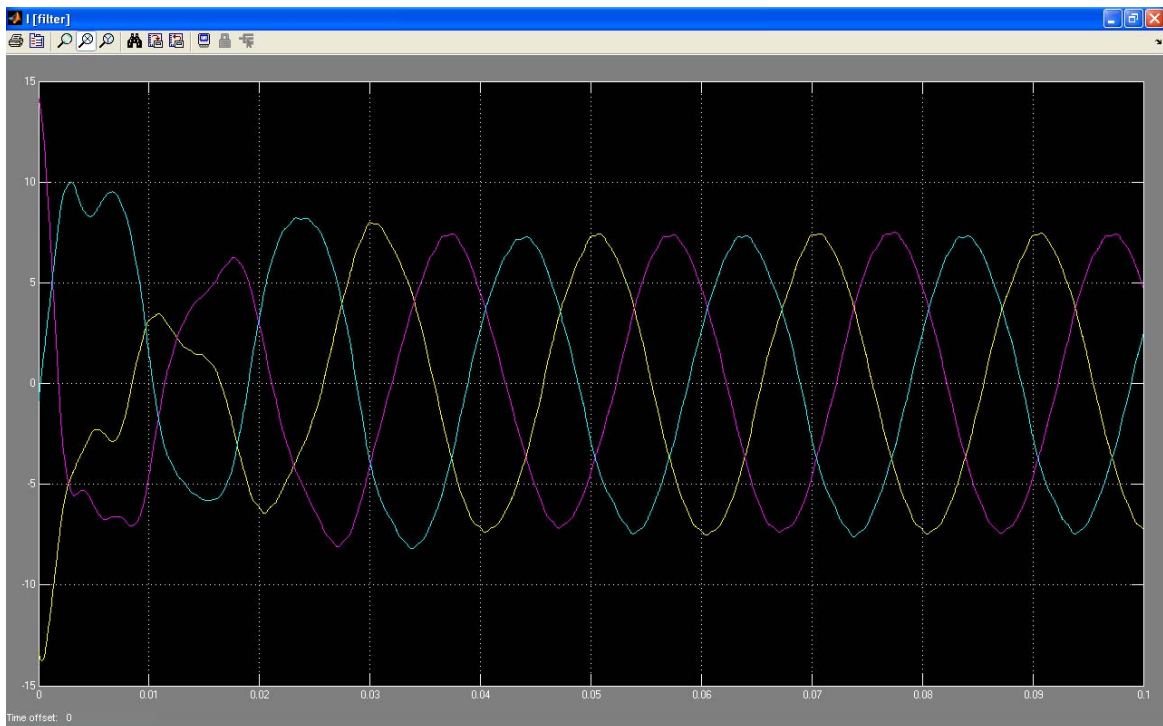
5.2.2 Αποτελέσματα Γραφικών



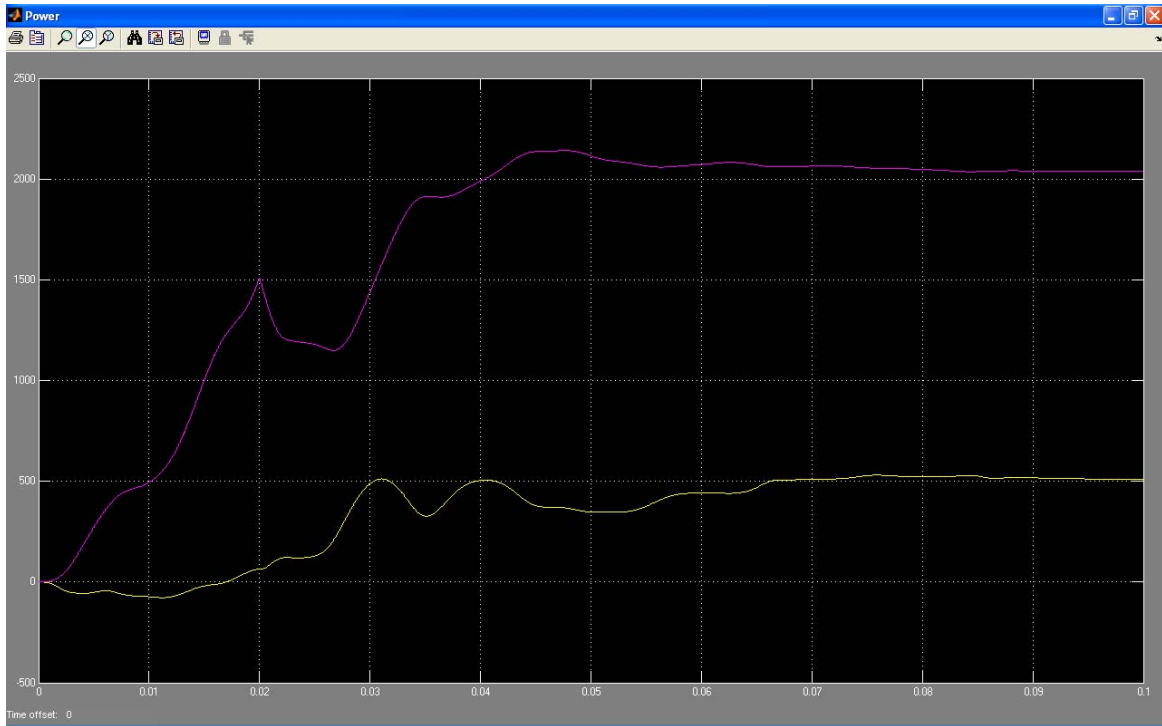
Εικόνα 5.2 Τα αποτελέσματα στην συνεχή τάση (ρεύμα πηνίου, ρεύμα διόδου, τάση στην είσοδο του αντιστροφέα, ρεύμα συλκκτη, τάση Vce του IGBT)



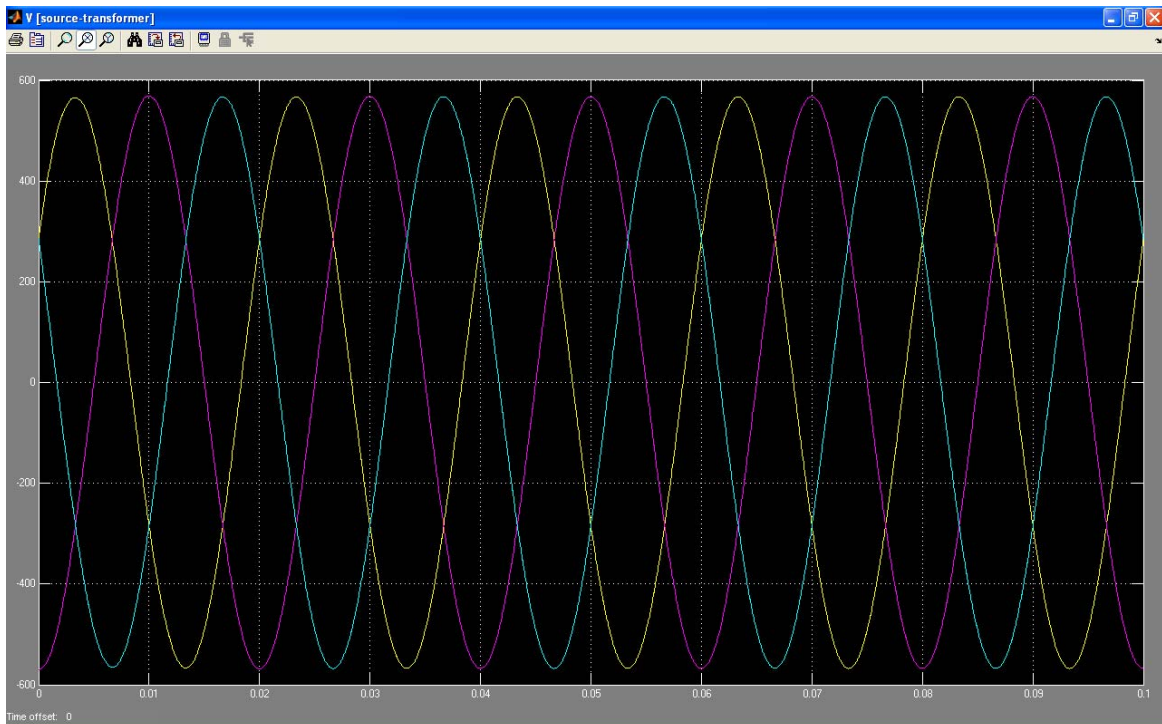
Εικόνα 5.3 Τάση στην έξοδο του αντιστροφέα μετά το φίλτρο



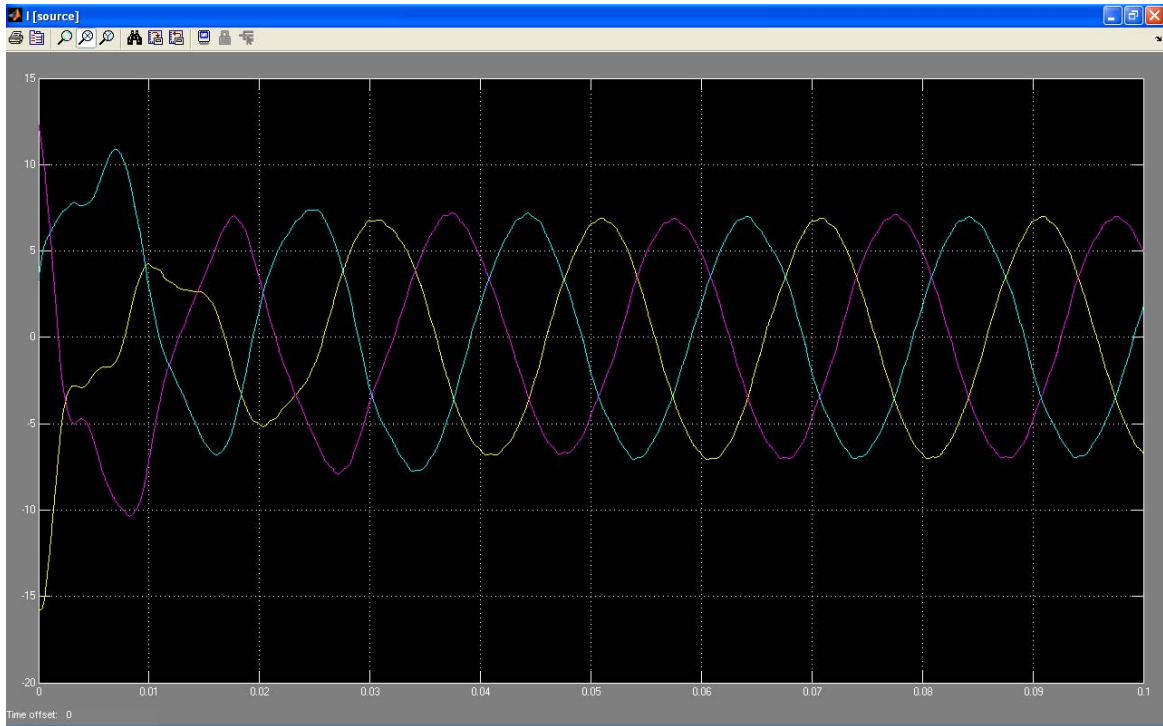
Εικόνα 5.4 Ρεύμα στην έξοδο του αντιστροφέα μετά το φίλτρο



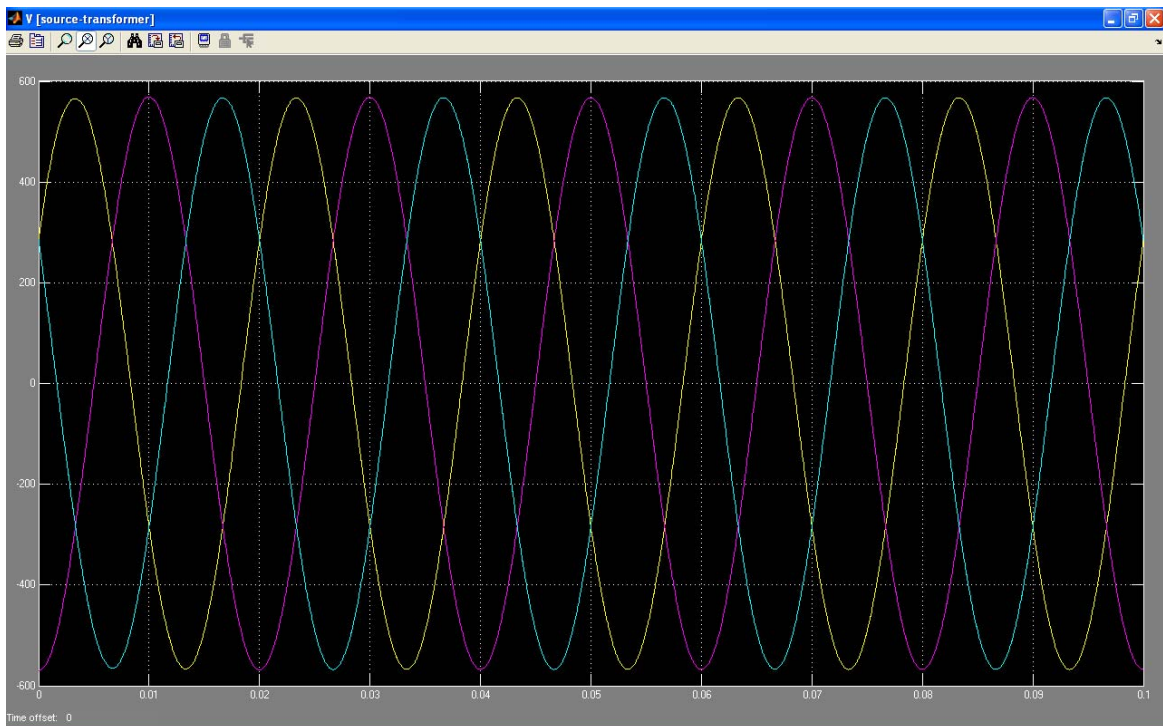
Εικόνα 5.5 Ισχύς στην έξοδο του αντιστροφέα μετά το φίλτρο



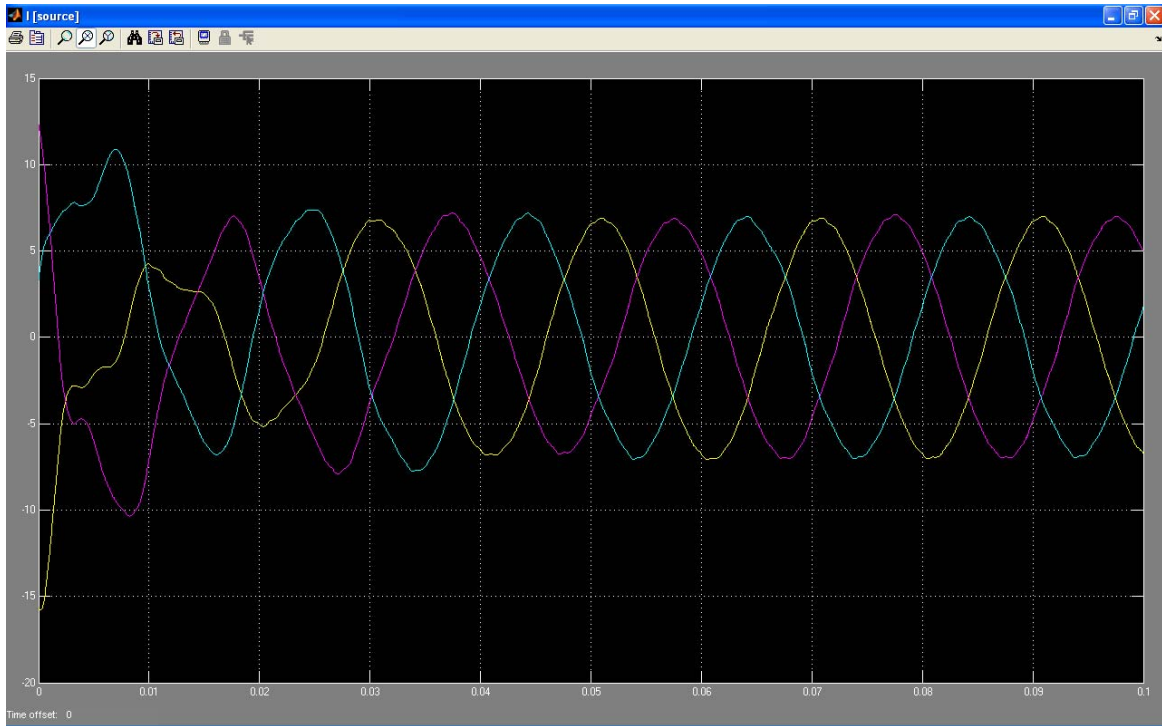
Εικόνα 5.6 Τάση στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ



Εικόνα 5.7 Ρεύμα στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ

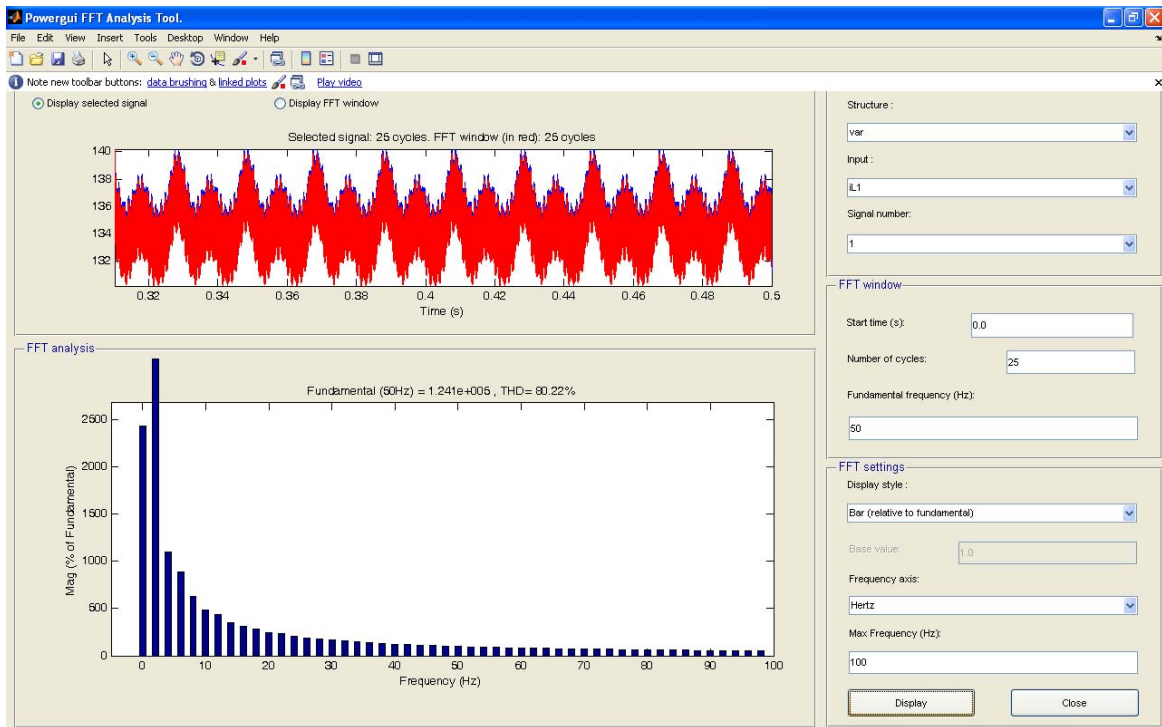


Εικόνα 5.8 Τάση στην έξοδο του δικτύου

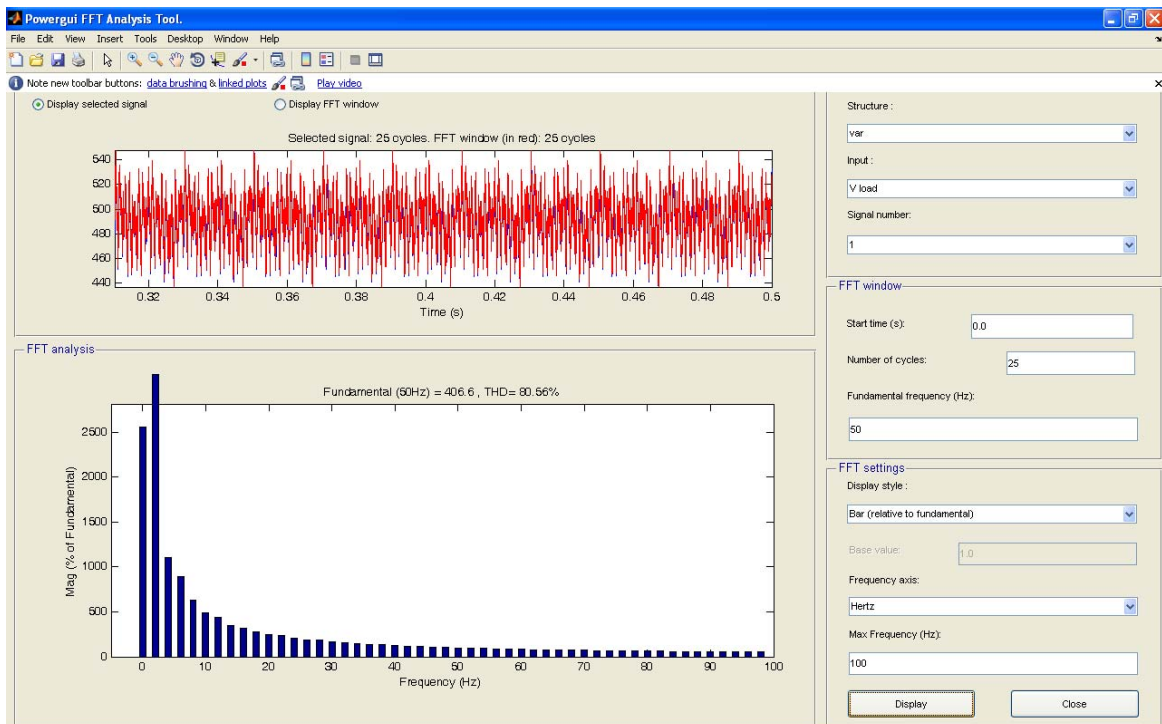


Εικόνα 5.9 Ρεύμα στις έξοδο του δικτύου

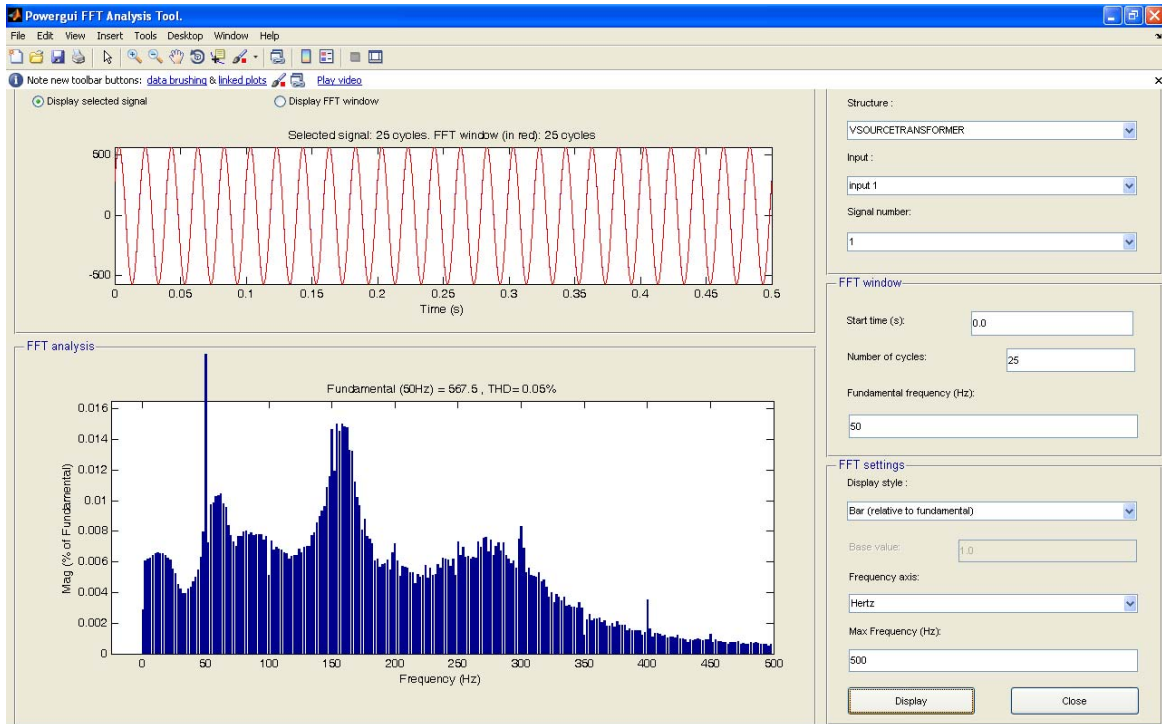
5.2.3 Αποτελέσματα Fourier



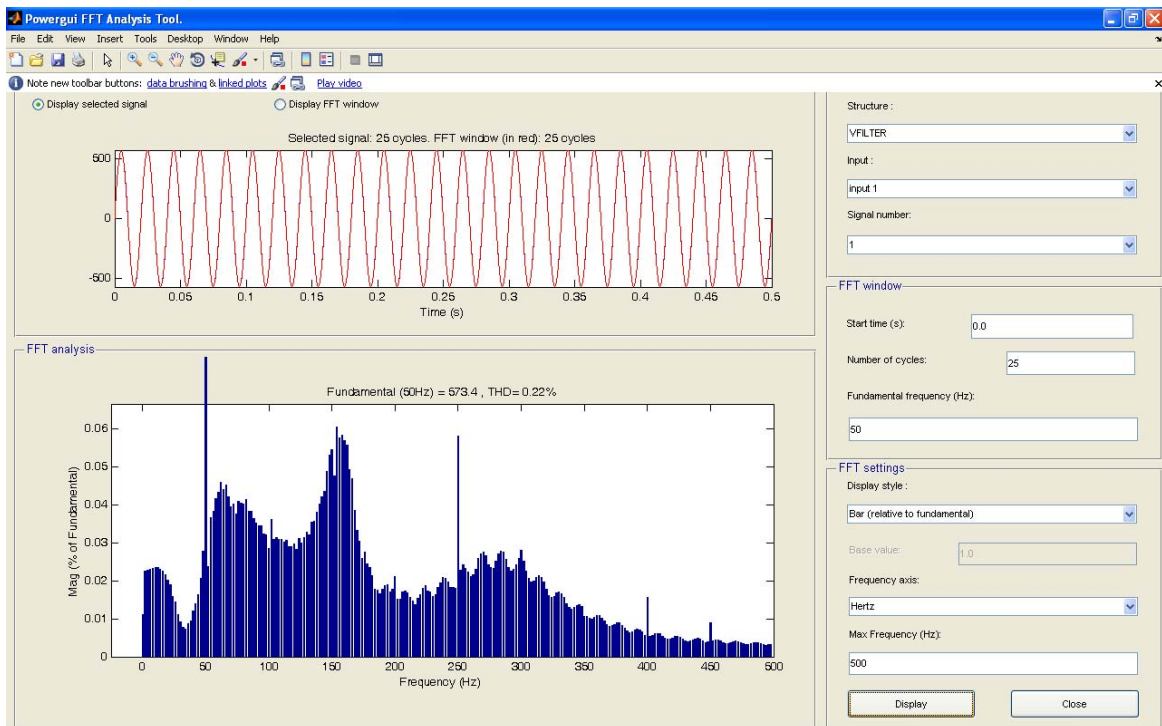
Εικόνα 5.10 Κυματομορφή του ρεύματος του



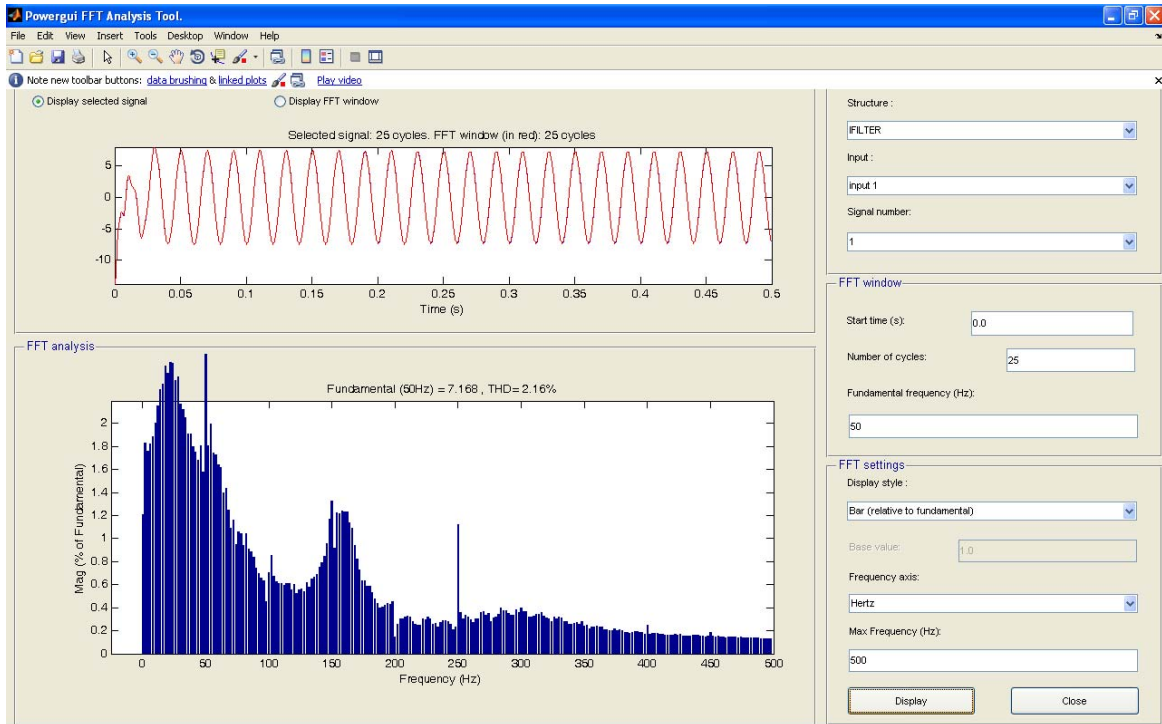
Εικόνα 5.11 Κυματομορφή της τάσης στην είσοδο του αντιστροφέα



Εικόνα 5.12 Κυματομορφή της τάσης στην έξοδο του



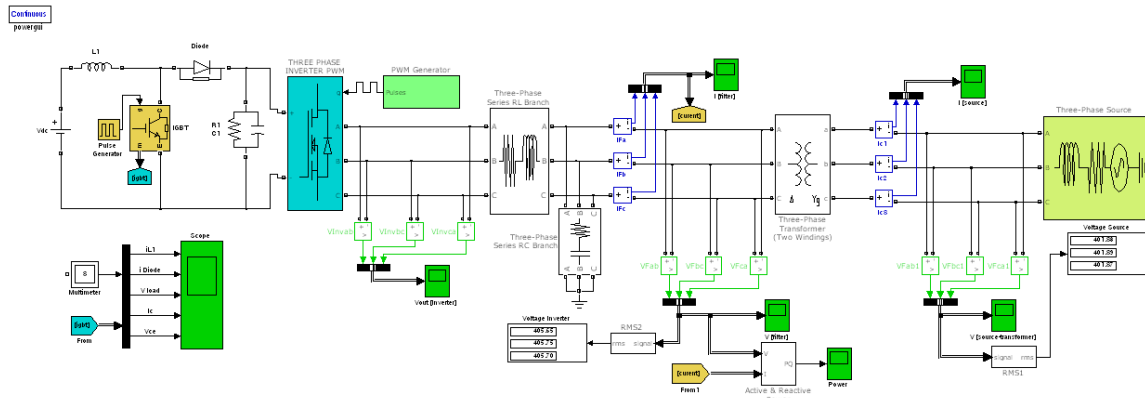
Εικόνα 5.13 Κυματομορφή της τάσης στην έξοδο του αντιστροφέα



Εικόνα 5.14 Κυματομορφή του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα

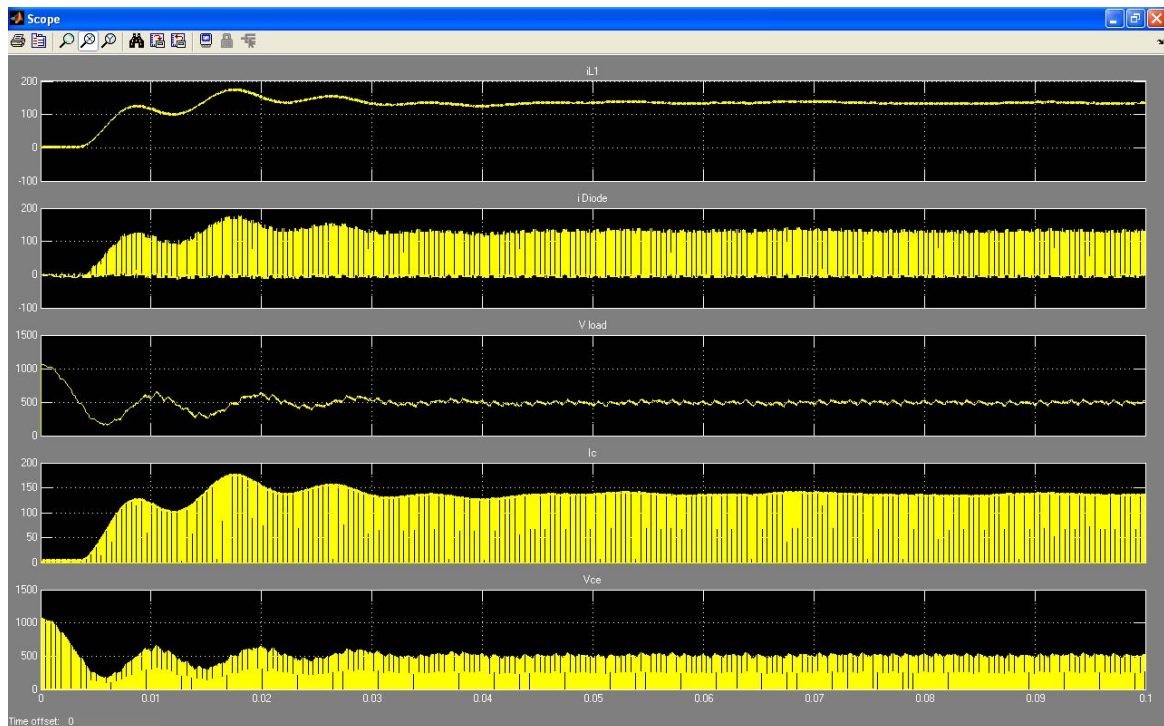
5.3 Ωμικό-επαγωγικό φορτίο 2000W/1200Var

5.3.1 Ισοδύναμο μοντέλο

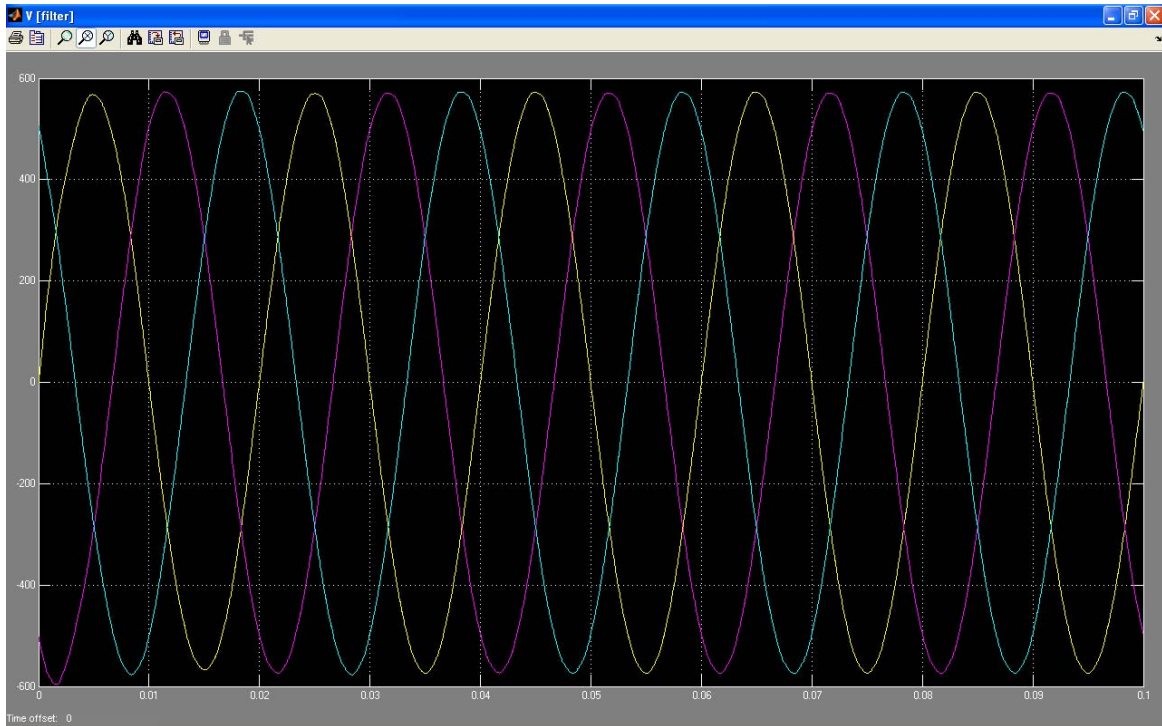


Εικόνα 5.15 Ισοδύναμο μοντέλο επαγωγικού φορτίου

5.3.2 Αποτελέσματα Γραφικών



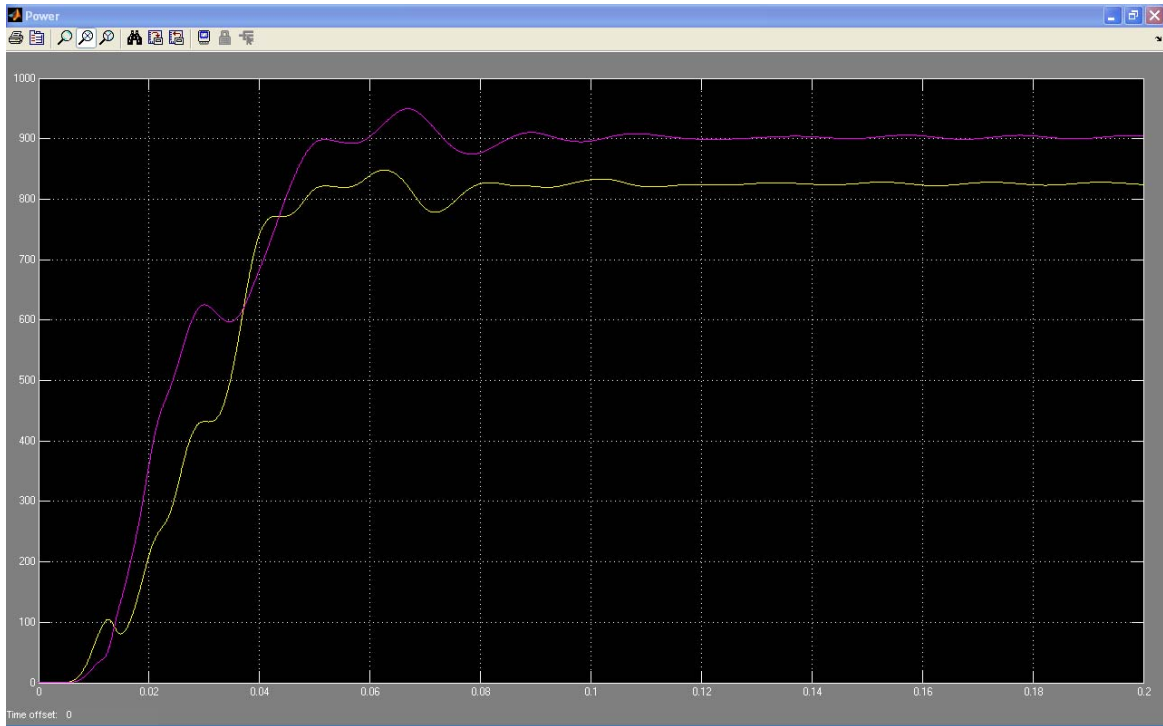
Εικόνα 5.16 Τα αποτελέσματα στην συνεχή τάση (ρεύμα πηνίου, ρεύμα διόδου, τάση στην είσοδο του αντιστροφέα, ρεύμα συλκκτη, τάση Vce του IGBT)



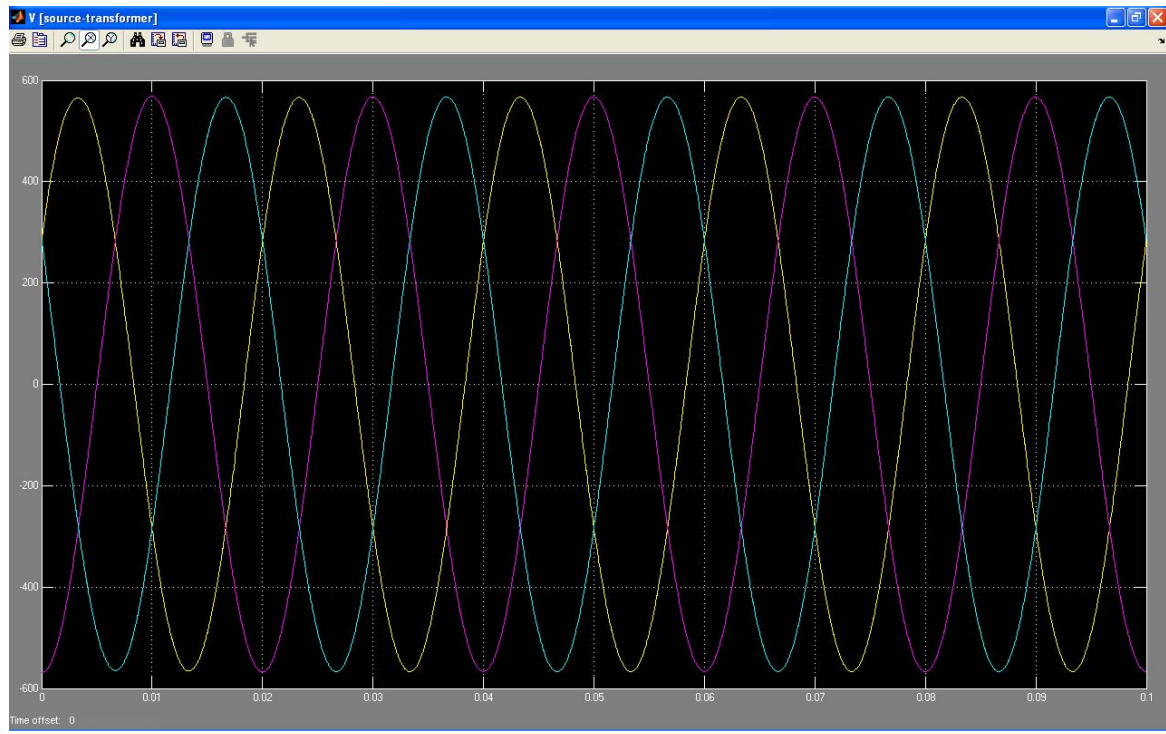
Εικόνα 5.17 Τάση στην έξοδο του αντιστροφέα μετά το φίλτρο



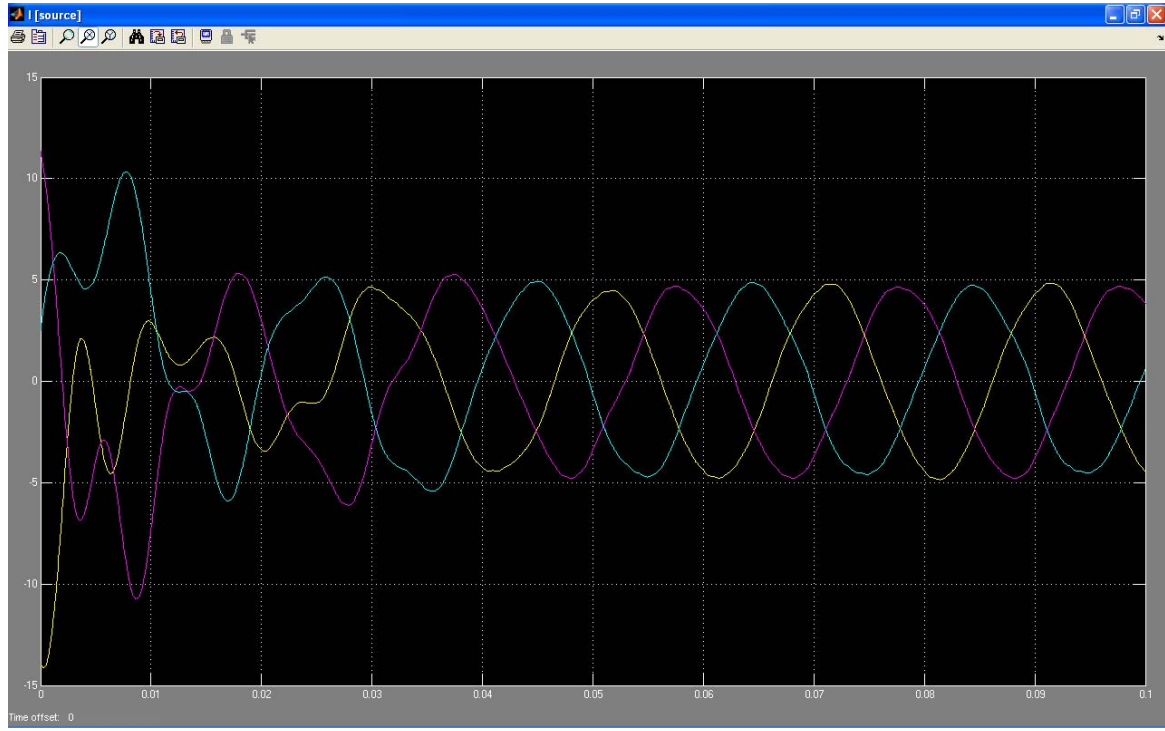
Εικόνα 5.18 Ρεύμα στην έξοδο του αντιστροφέα μετά το φίλτρο



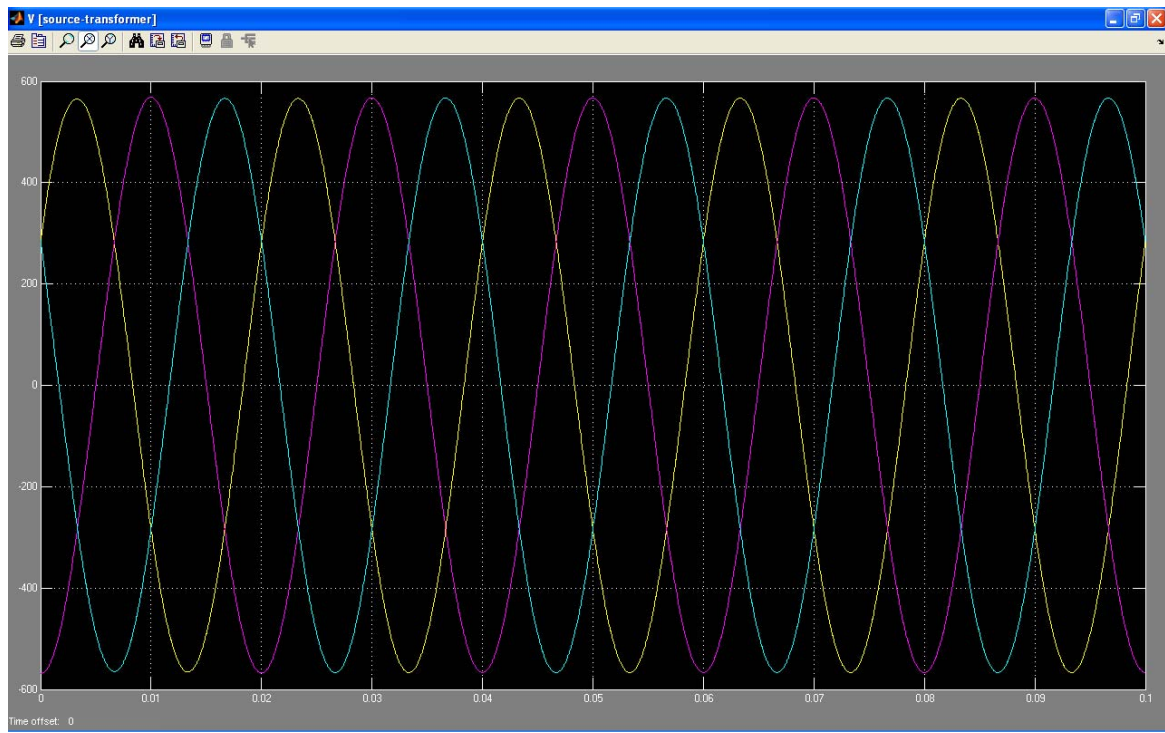
Εικόνα 5.19 Ισχύς στην έξοδο του αντιστροφέα μετά το φίλτρο



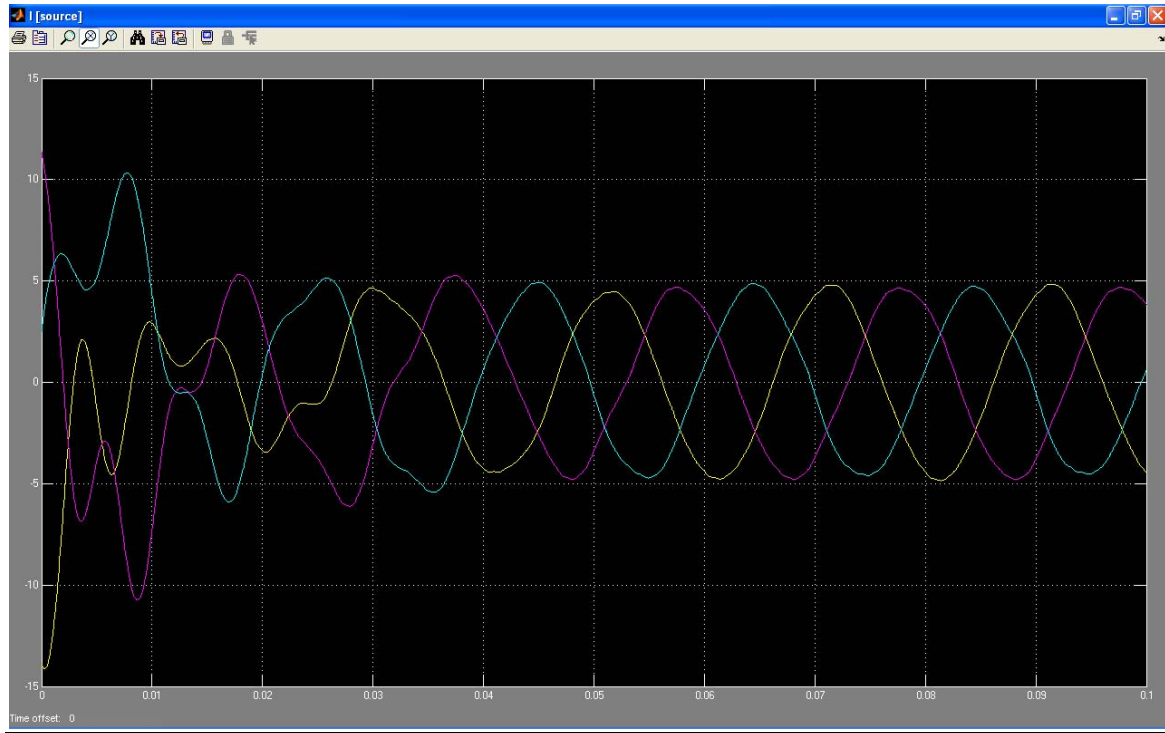
Εικόνα 5.20 Τάση στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ



Εικόνα 5.21 Ρεύμα στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ

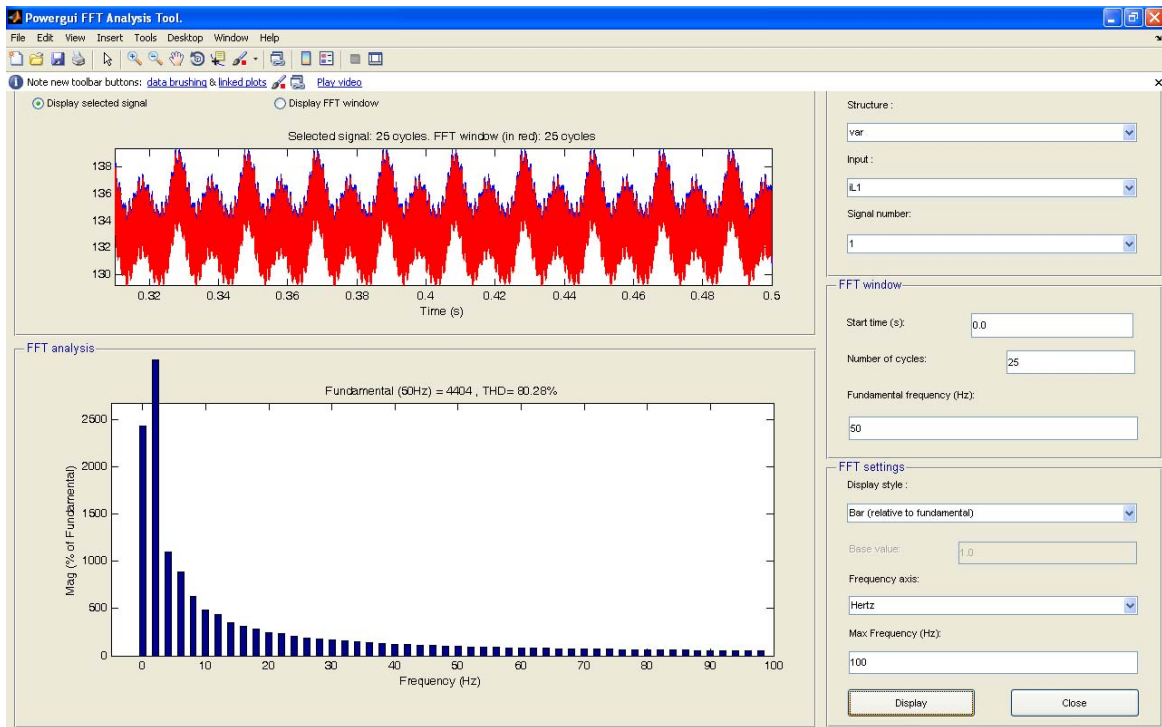


Εικόνα 5.22 Τάση στην έξοδο του δικτύου

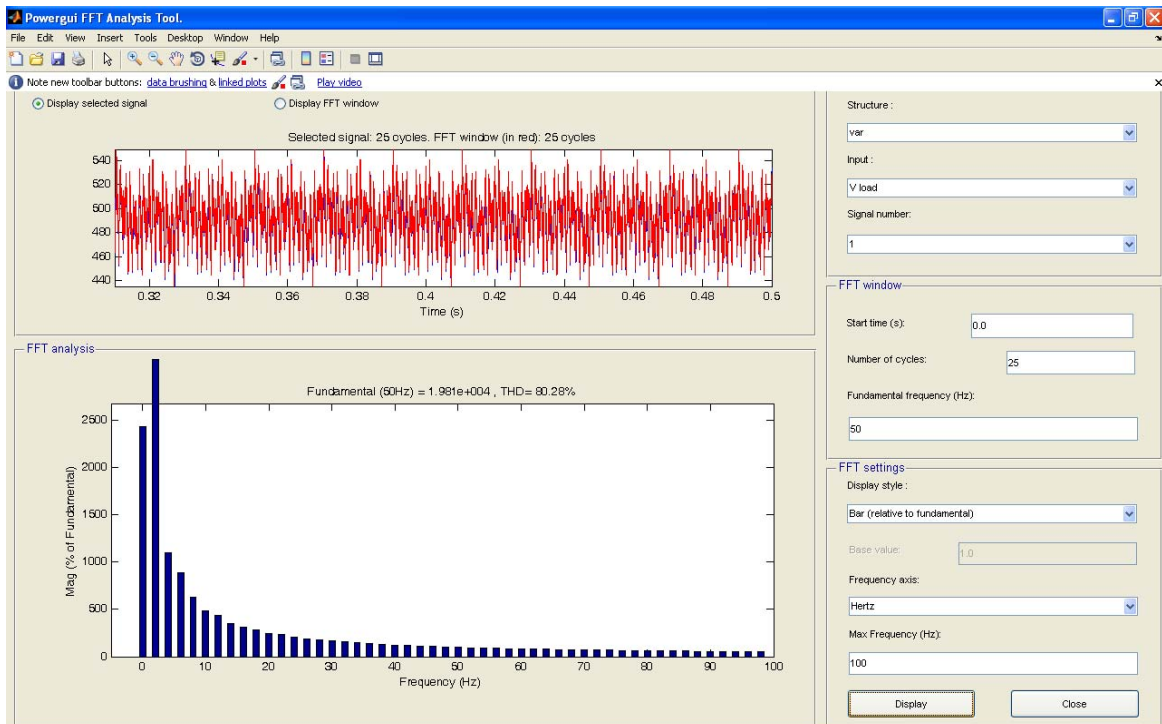


Εικόνα 5.23 Ρεύμα στις έξοδο του δικτύου

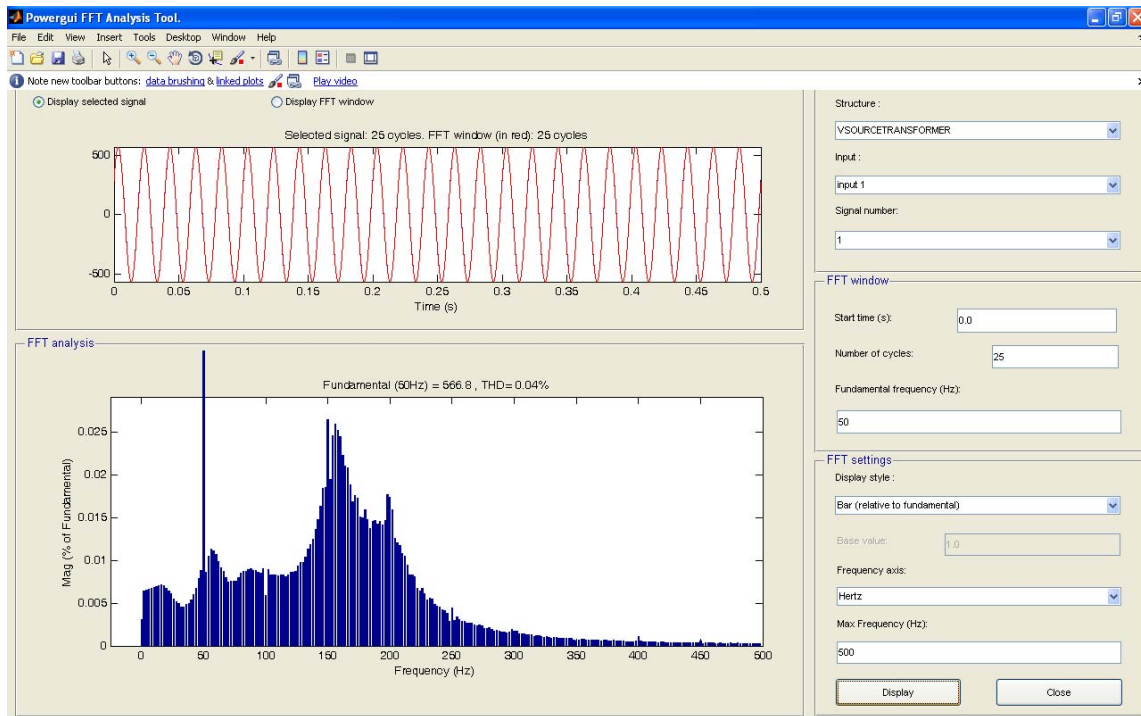
5.3.3 Αποτελέσματα Fourier



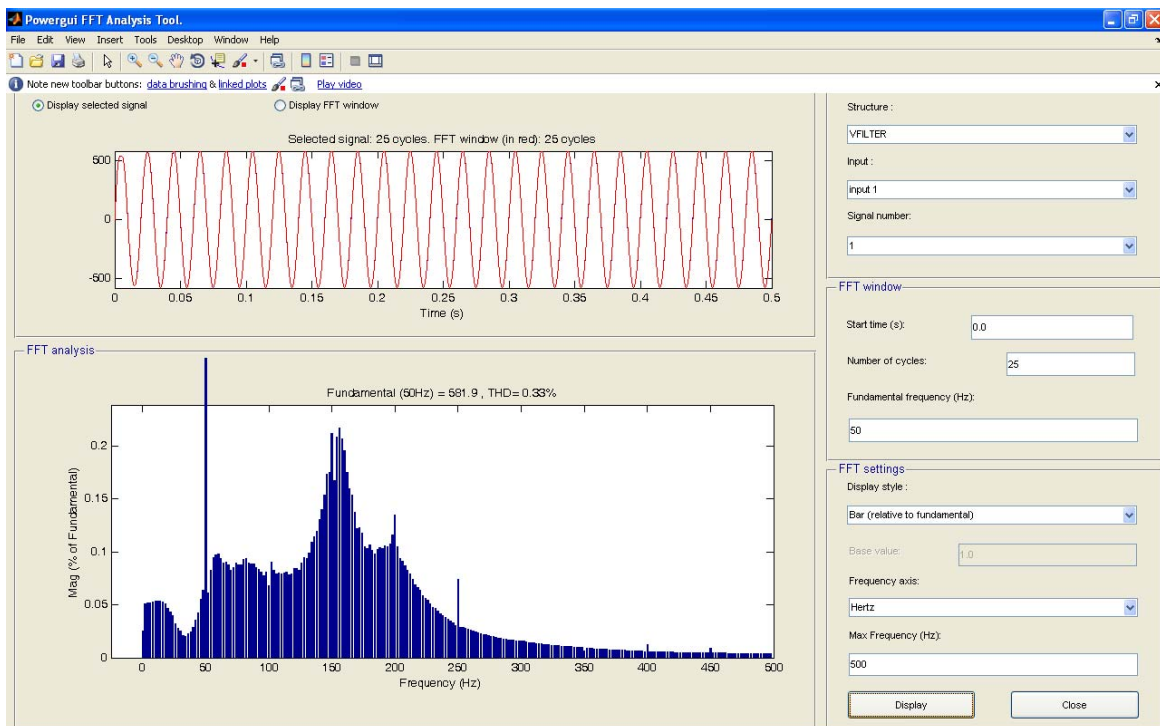
Εικόνα 5.24 Κυματομορφή του ρεύματος του πηνίου



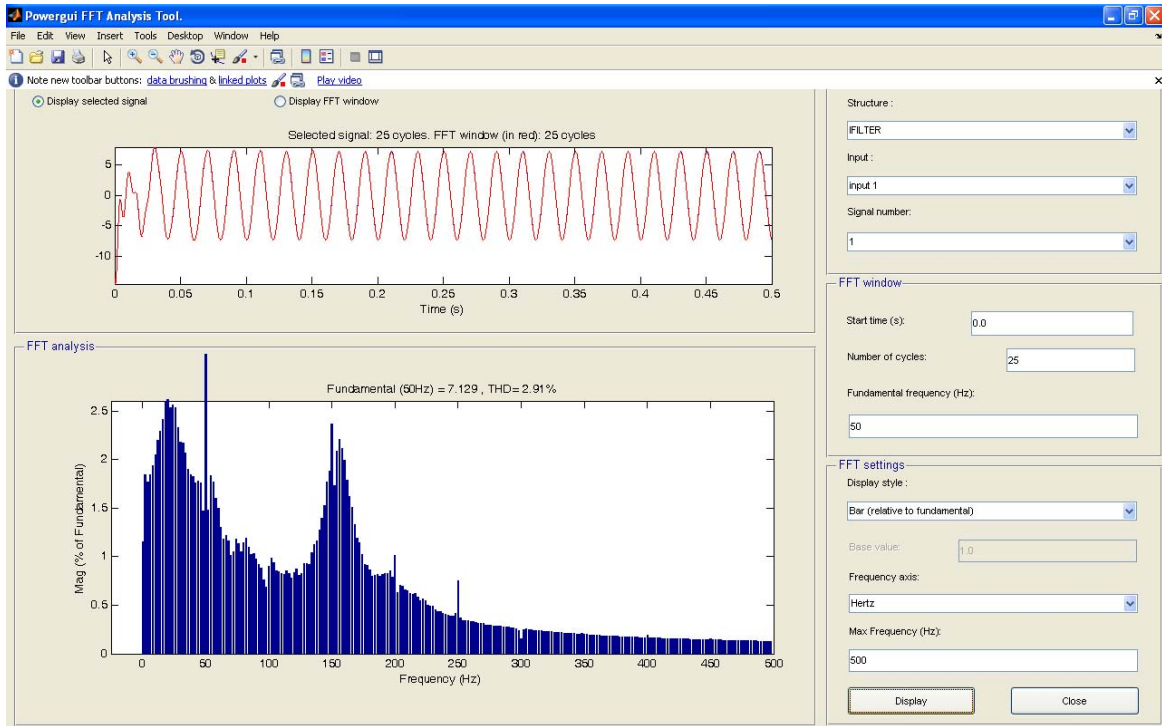
Εικόνα 5.25 Κυματομορφή της τάσης στην είσοδο του αντιστροφέα



Εικόνα 5.26 Κυματομορφή της τάσης στην έξοδο του δικτύου



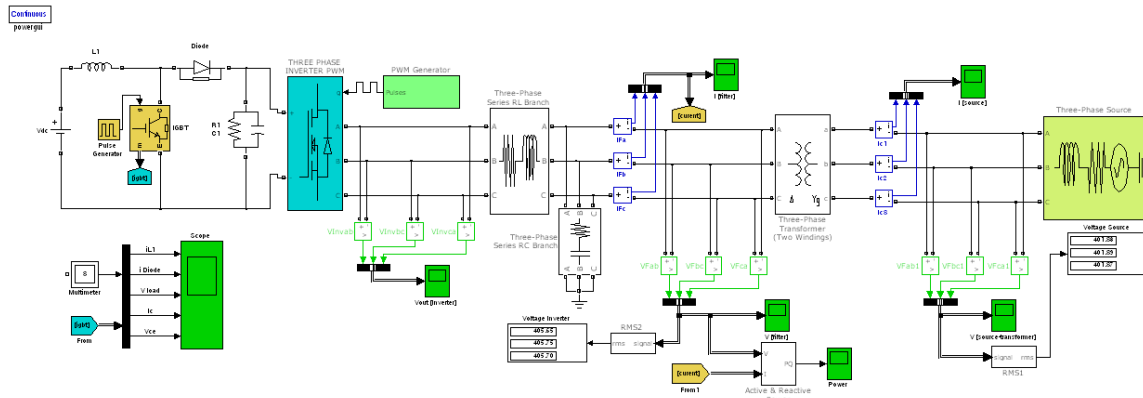
Εικόνα 5.27 Κυματομορφή της τάσης στην έξοδο του αντιστροφέα



Εικόνα 5.28 Κυματομορφή του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα

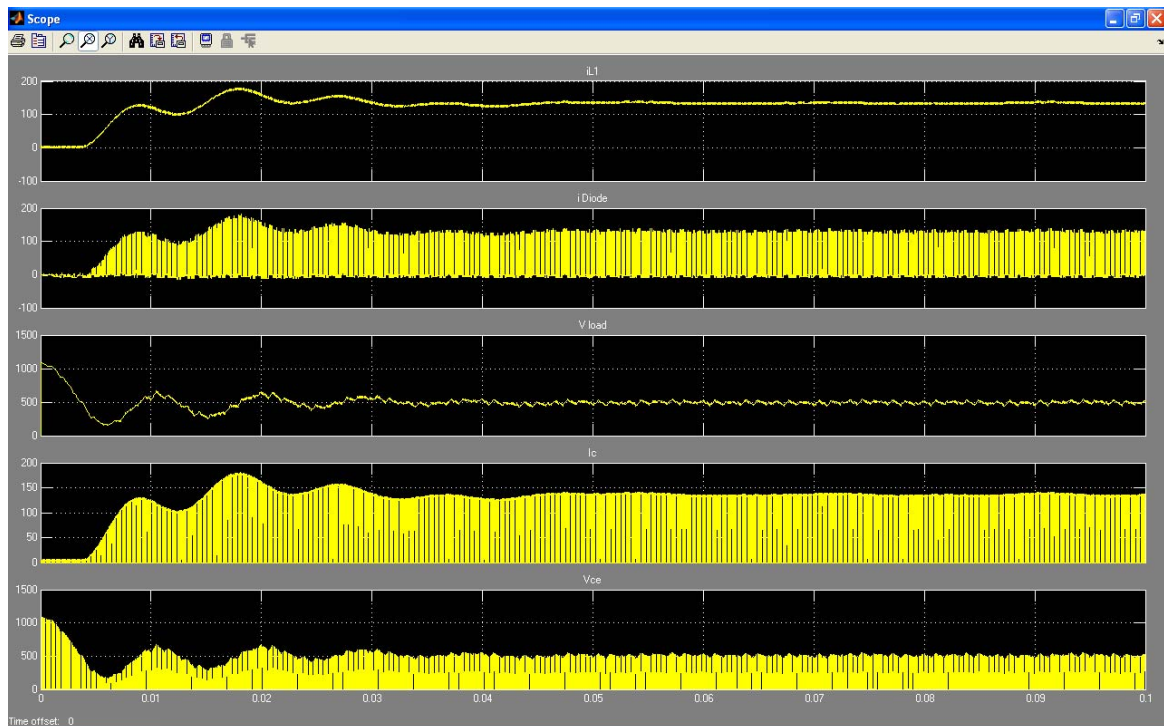
5.4 Ωμικό-χωρητικό φορτίο 2000W/-1200Var

5.4.1 Ισοδύναμο μοντέλο



Εικόνα 5.29 Ισοδύναμο μοντέλο χωρητικού φορτίου

5.4.2 Αποτελέσματα Γραφικών



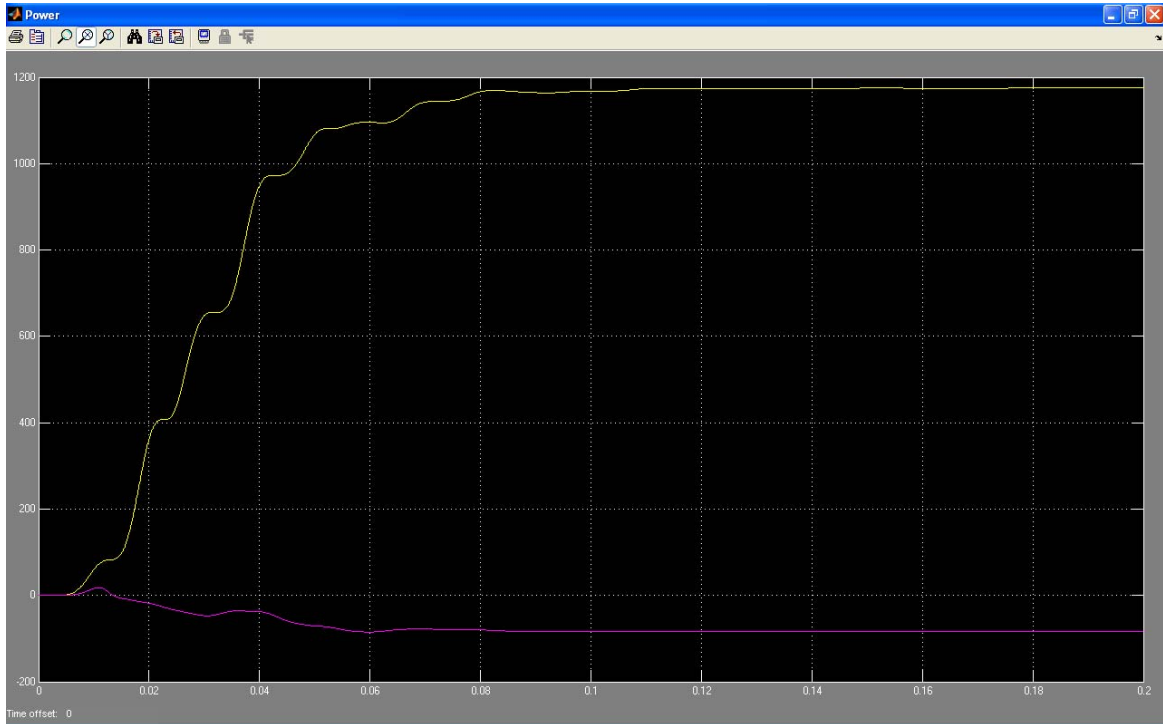
Εικόνα 5.30 Τα αποτελέσματα στην συνεχή τάση (ρεύμα πηνίου, ρεύμα διόδου, τάση στην είσοδο του αντιστροφέα, ρεύμα συλκτήη, τάση V_{ce} του IGBT)



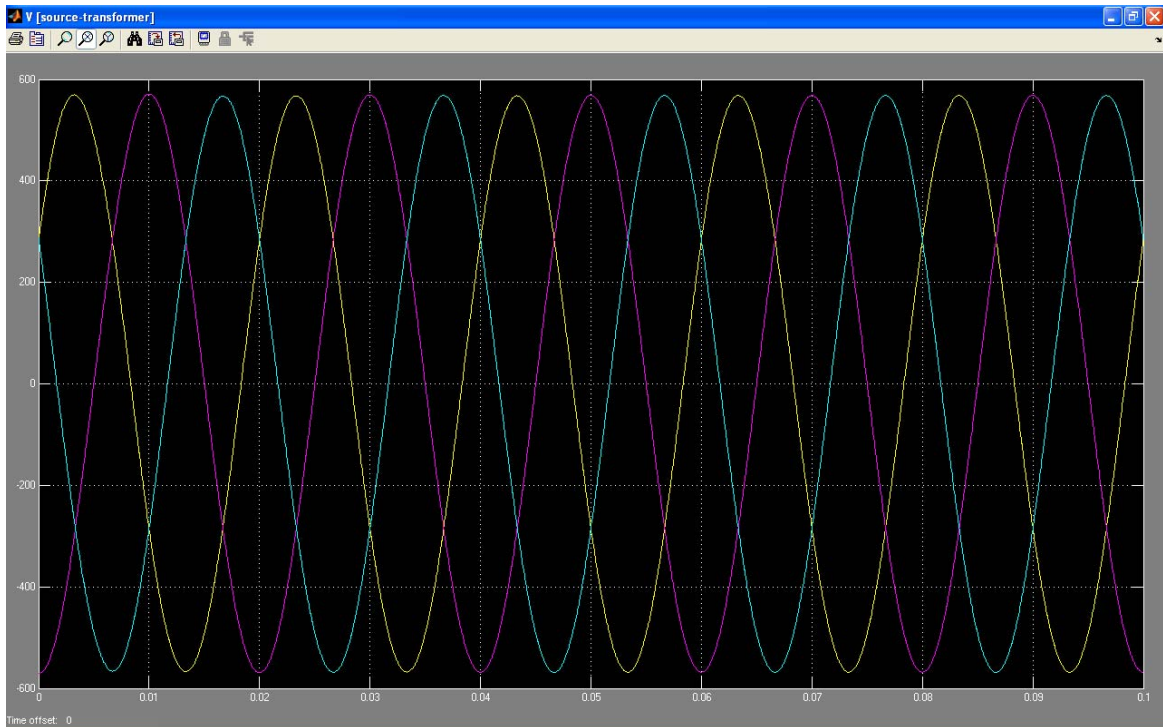
Εικόνα 5.31 Τάση στην έξοδο του αντιστροφέα μετά το φίλτρο



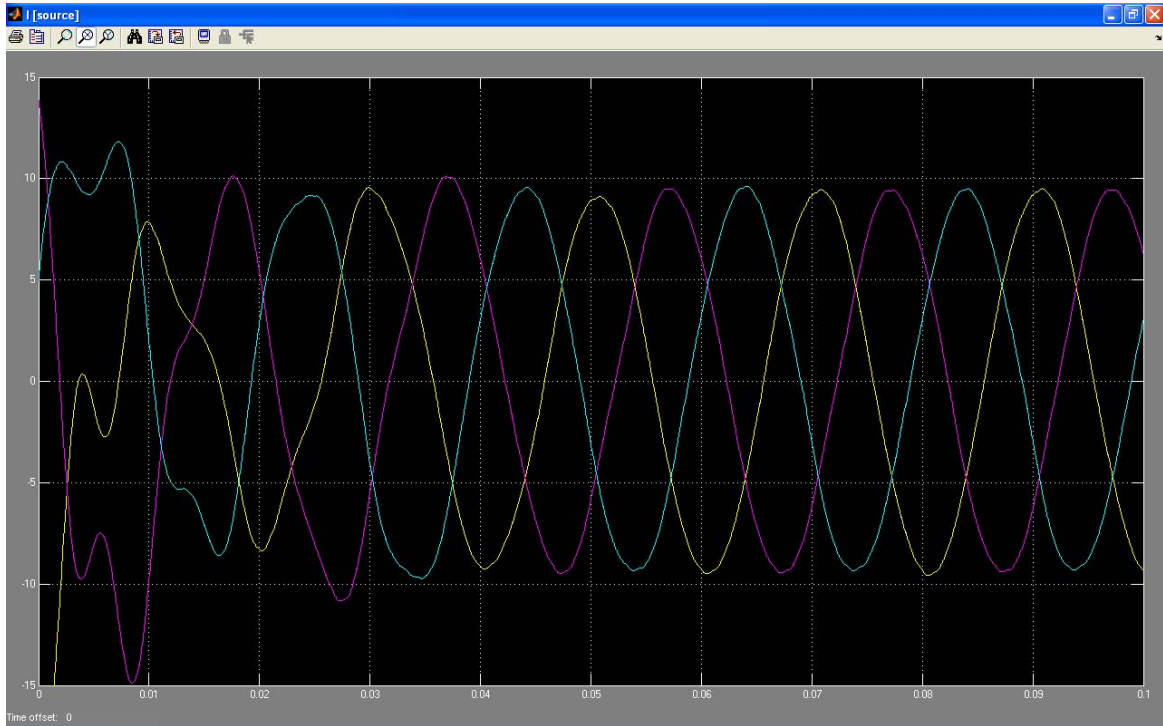
Εικόνα 5.32 Ρεύμα στην έξοδο του αντιστροφέα μετά το φίλτρο



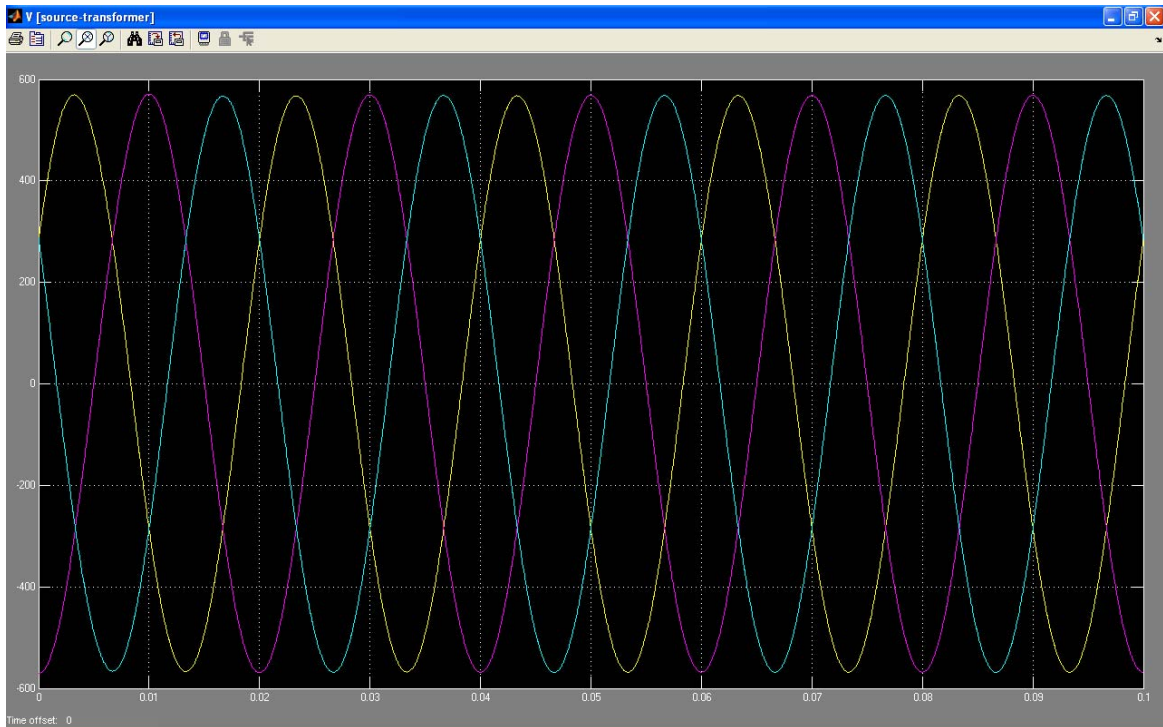
Εικόνα 5.33 Ισχύς στην έξοδο του αντιστροφέα μετά το φίλτρο



Εικόνα 5.34 Τάση στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ



Εικόνα 5.35 Ρεύμα στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ

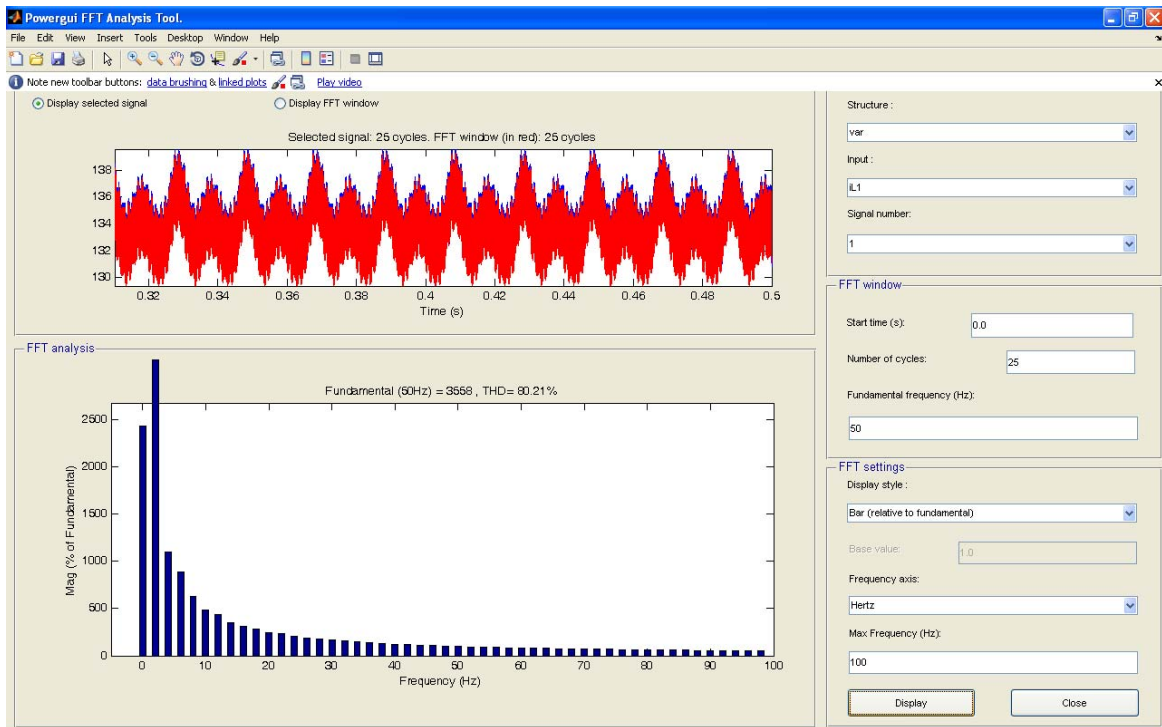


Εικόνα 5.36 Τάση στην έξοδο του δικτύου

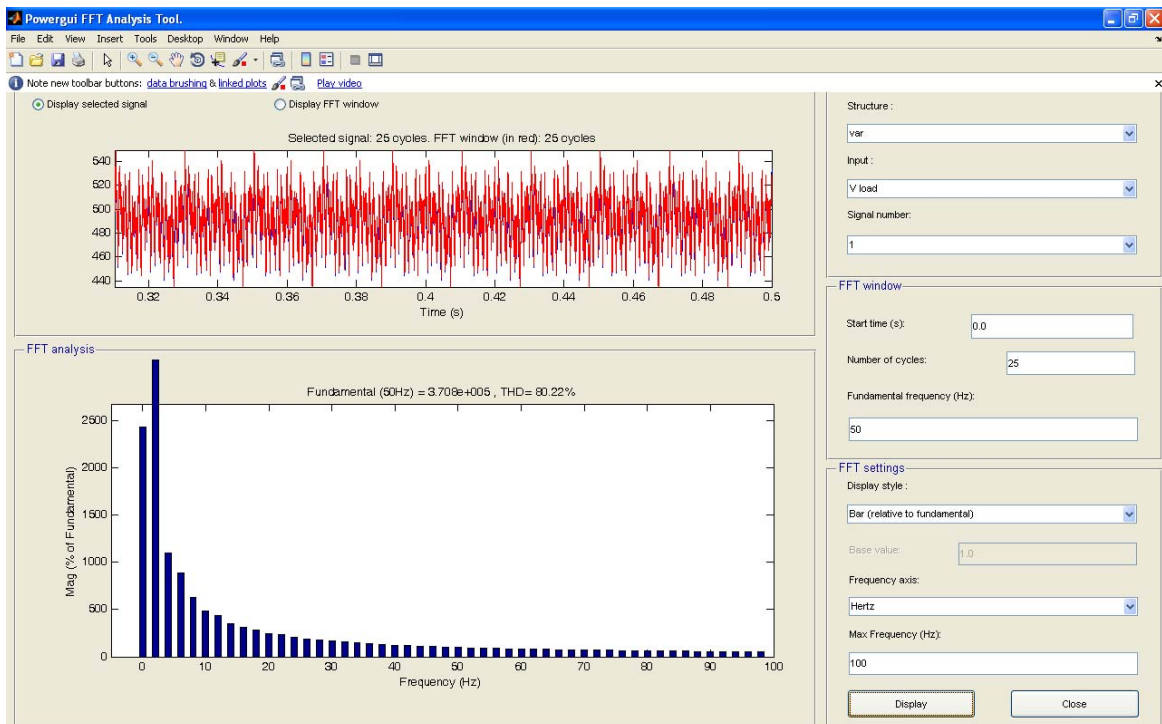


Εικόνα 5.37 Ρεύμα στις έξοδο του δικτύου

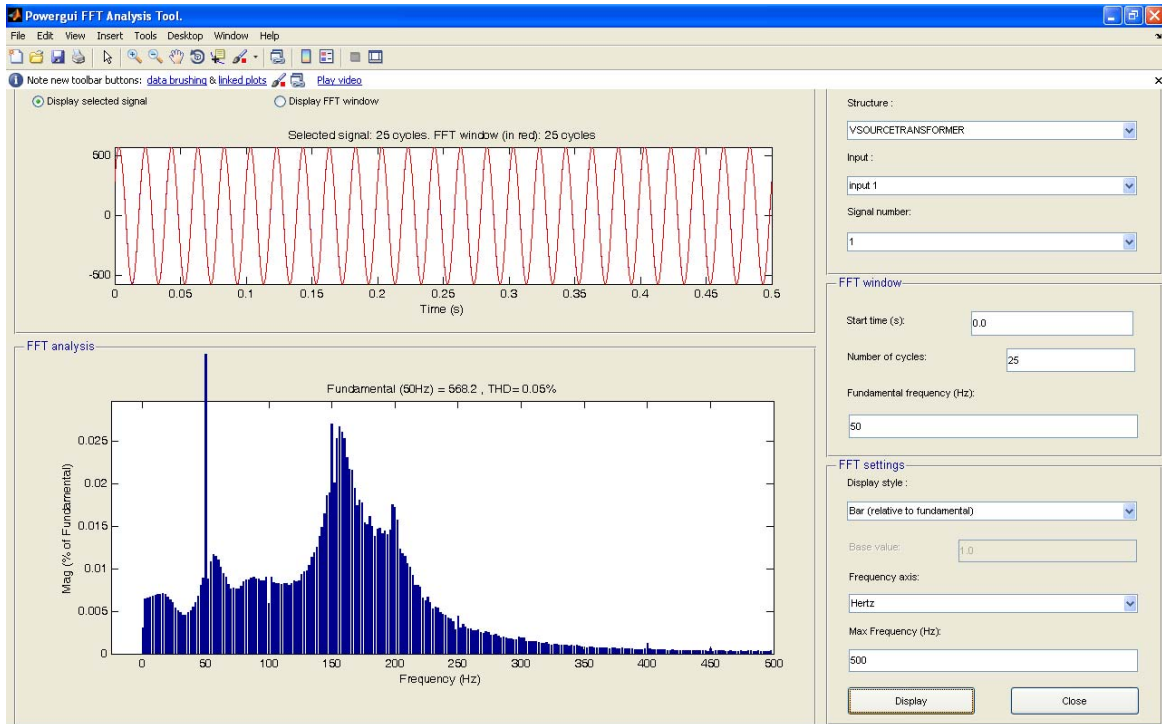
5.4.3 Αποτελέσματα Fourier



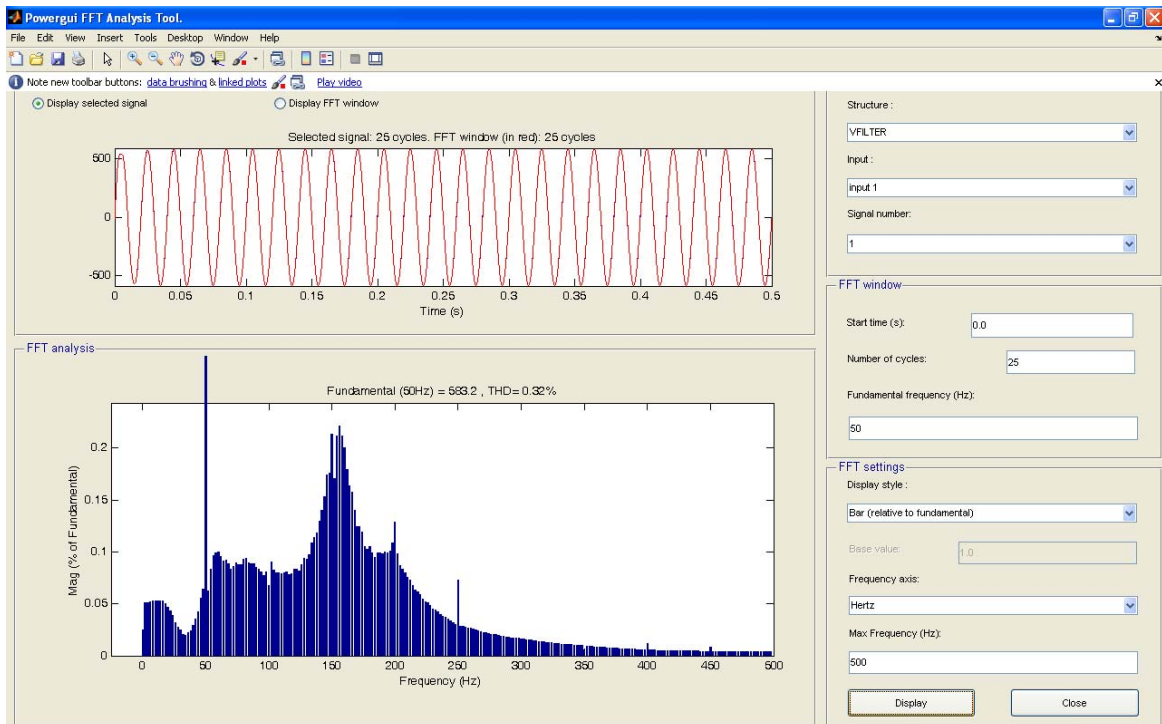
Εικόνα 5.38 Κυματομορφή του ρεύματος του πηνίου



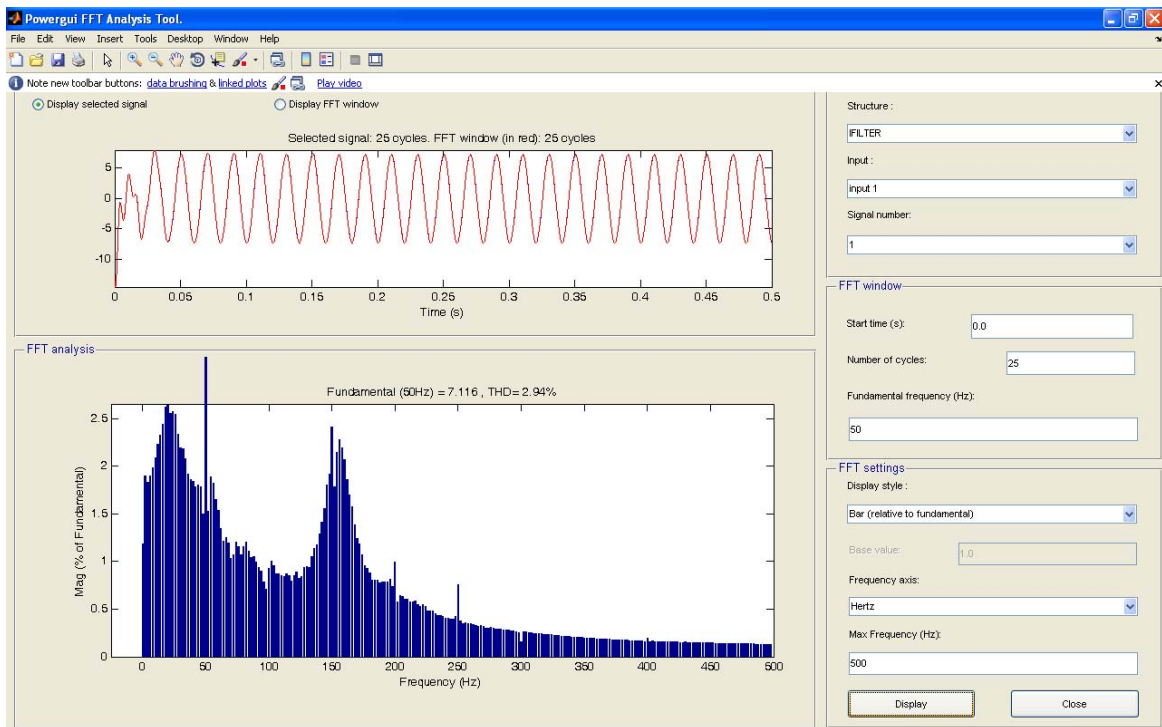
Εικόνα 5.39 Κυματομορφή της τάσης στην είσοδο του αντιστροφέα



Εικόνα 5.40 Κυματομορφή της τάσης στην έξοδο του δικτύου



Εικόνα 5.41 Κυματομορφή της τάσης στην έξοδο του αντιστροφέα



Εικόνα 5.42 Κυματομορφή του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι:

- Στην συνεχή πλευρά η έγχυση των αρμονικών για την τάση και το ρεύμα είναι αρκετά μεγάλη, περίπου στο 80%.
- Στην έξοδο του αντιστροφέα παρατηρούμε μια έγχυση αρμονικών στο δίκτυο που δεν ξεπερνά το ποσοστό του 3%.
- Στην έξοδο του αντιστροφέα τη μικρότερη έγχυση αρμονικών στο δίκτυο την έχει κάνει το ωμικό φορτίο με $THD[V]= 0.22\%$.
- Στην έξοδο του αντιστροφέα τη μεγαλύτερη έγχυση αρμονικών στο δίκτυο την έχει κάνει το χωρητικό φορτίο με $THD[I]= 2.94\%$.
- Το χωρητικό φορτίο όπως ήταν αναμενόμενο αύξησε το ρεύμα τόσο στη συνεχή πλευρά όσο και στην έξοδο του τριφασικού δικτύου.
- Η τάση και το ρεύμα στην έξοδο του αντιστροφέα από 0 έως 0.02sec βρίσκεται ακόμη στη μεταβατική κατάσταση και αυτό συνεισφέρει αρκετά στην αυξημένη έγχυση των αρμονικών στο δίκτυο, η οποία μετρήθηκε για 25 κύκλους, ενώ καθώς αυξάναμε τους κύκλους άνω των 5 η έγχυση μειώνονταν αρκετά.

5.5 Μεταφορά ισχύος πραγματικής και άεργης προς το δίκτυο

Στην περίπτωση που ένας inverter ο οποίος οδηγείται από ΑΠΕ, και παραλληλίζεται με το δίκτυο των 400 V.

Σε αυτή την περίπτωση ισχύει γενικά:

$S=P+jQ$, όπου S:φαινόμενη ισχύς, P πραγματική ισχύς και Q άεργος ισχύς (του inverter)

Τα P και Q εξαρτώνται από τη διαφορά φάσης β μεταξύ τάσης inverter και δικτύου και από το λόγο πλάτους τάσης εξόδου του inverter προς τάση δικτύου λ .

Τώρα ανάλογα με τα λ και β , έχουμε $P>0$ ή $P<0$ και $Q>0$ ή $Q<0$.

Διακρίνουμε τέσσερις περιπτώσεις:

A. $P>0$ και $Q<0$ - Το δίκτυο έχει ωμική-χωρητική συμπεριφορά και ο inverter τροφοδοτεί το δίκτυο, τόσο με πραγματική ισχύ, όσο και με επαγωγική άεργο ισχύ.

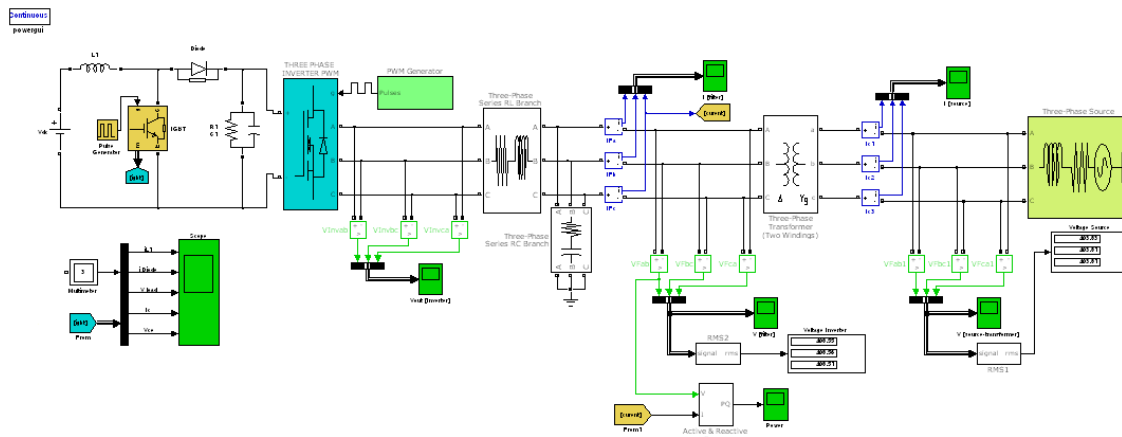
B. $P<0$ και $Q<0$ - Το δίκτυο έχει ωμική-χωρητική συμπεριφορά και ο inverter καταναλώνει πραγματική ισχύ, ενώ τροφοδοτεί το δίκτυο με επαγωγική άεργο ισχύ.

Γ. $P<0$ και $Q>0$ - Το δίκτυο έχει ωμική-επαγωγική συμπεριφορά και ο inverter καταναλώνει πραγματική ισχύ, ενώ τροφοδοτεί το δίκτυο με χωρητική άεργο ισχύ.

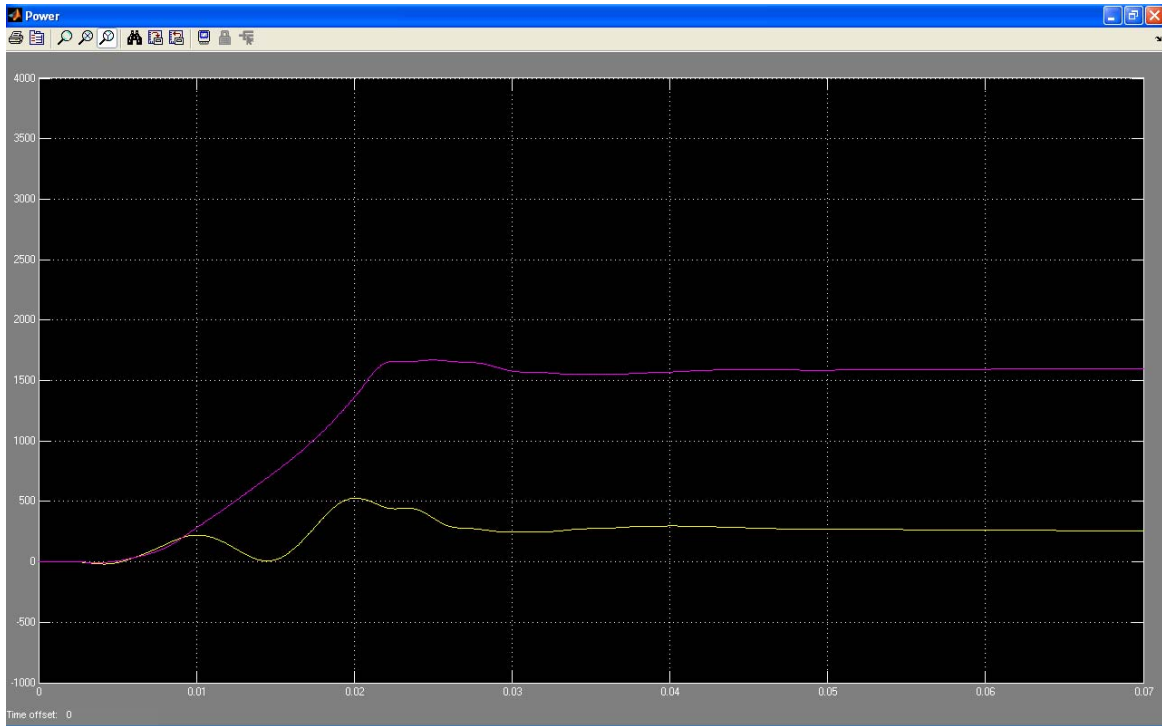
Δ. $P>0$ και $Q>0$ - Το δίκτυο έχει ωμική-επαγωγική συμπεριφορά και ο inverter τροφοδοτεί το δίκτυο, τόσο με πραγματική ισχύ, όσο και με χωρητική άεργο ισχύ.

Ουσιαστικά μας ενδιαφέρουν οι περιπτώσεις Α και Δ. Οπότε καθορίζονται τα λ και β έτσι ώστε να ισχύουν οι συνθήκες των Α και Δ. Επίσης με τις τέσσερις περιπτώσεις αυτές μπορούμε να ρυθμίσουμε και το $\cos\phi$ της κατανάλωσης μας με τρόπο ηλεκτρονικό (με έναν inverter δηλαδή).

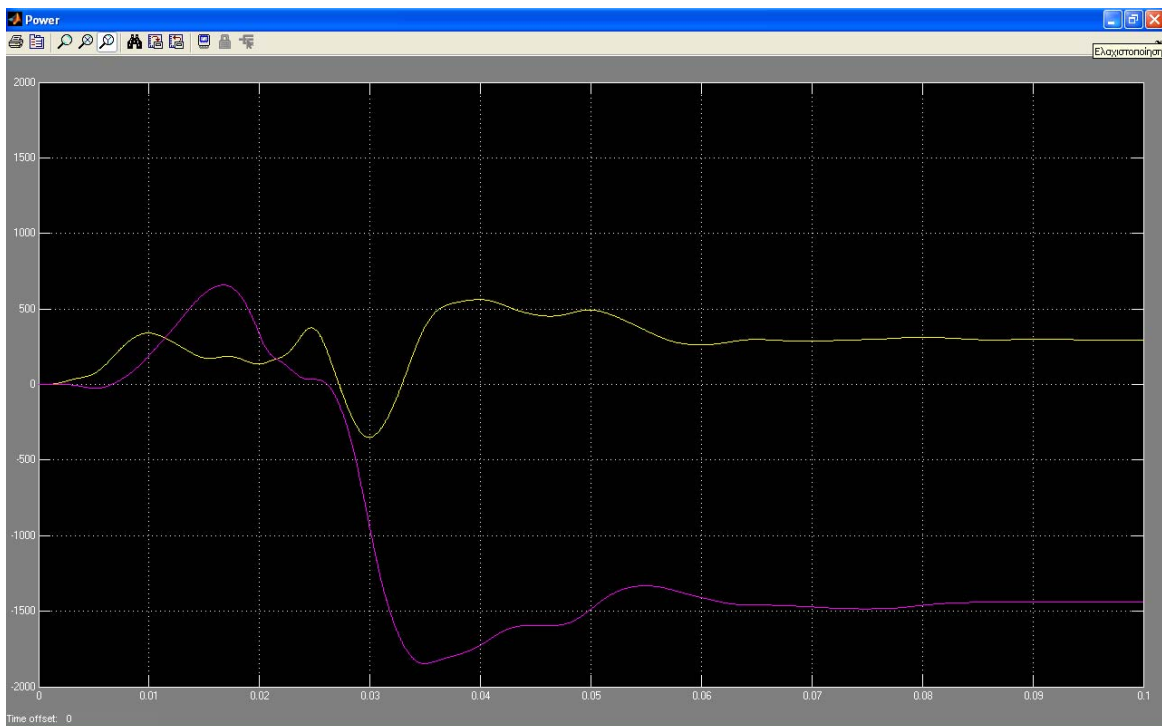
5.5.1 Προσομοίωση μεταφοράς ισχύος προς το δίκτυο



Εικόνα 5.43 Ισοδύναμο μοντέλο ωμικόχωρητικής και ωμικόεπαγωγικής συμπεριφοράς

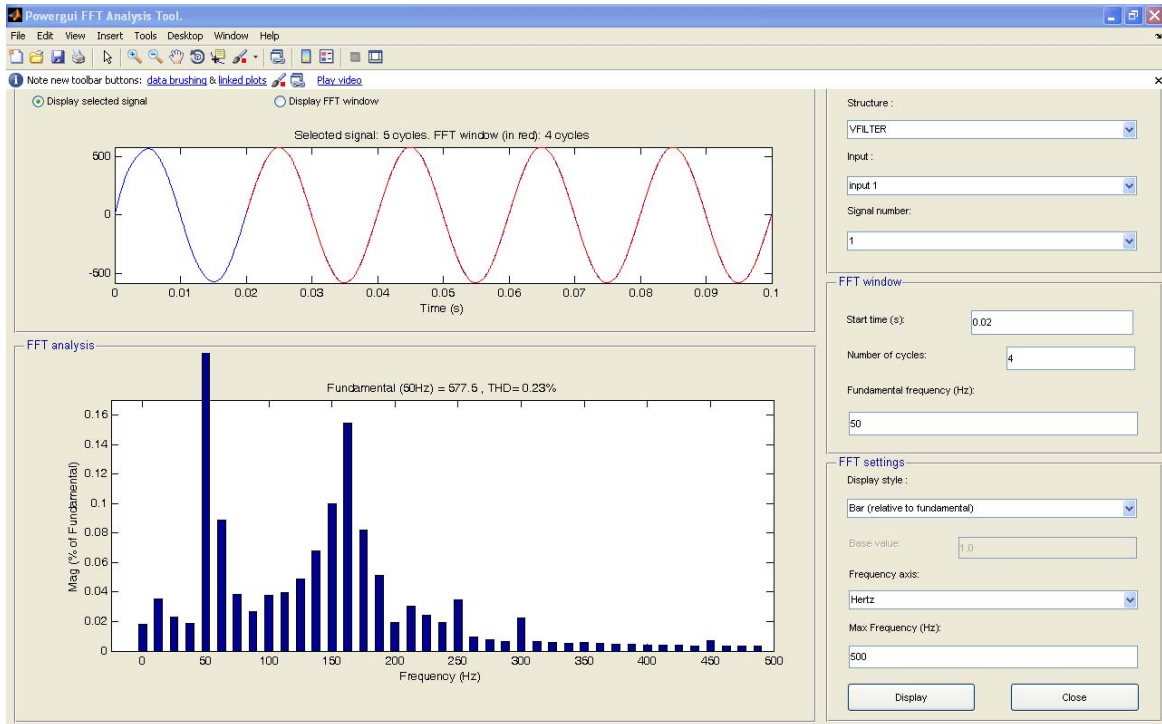


Εικόνα 5.44 Πραγματική και άεργος ισχύς ωμικόχωρητικής συμπεριφοράς δικτύου

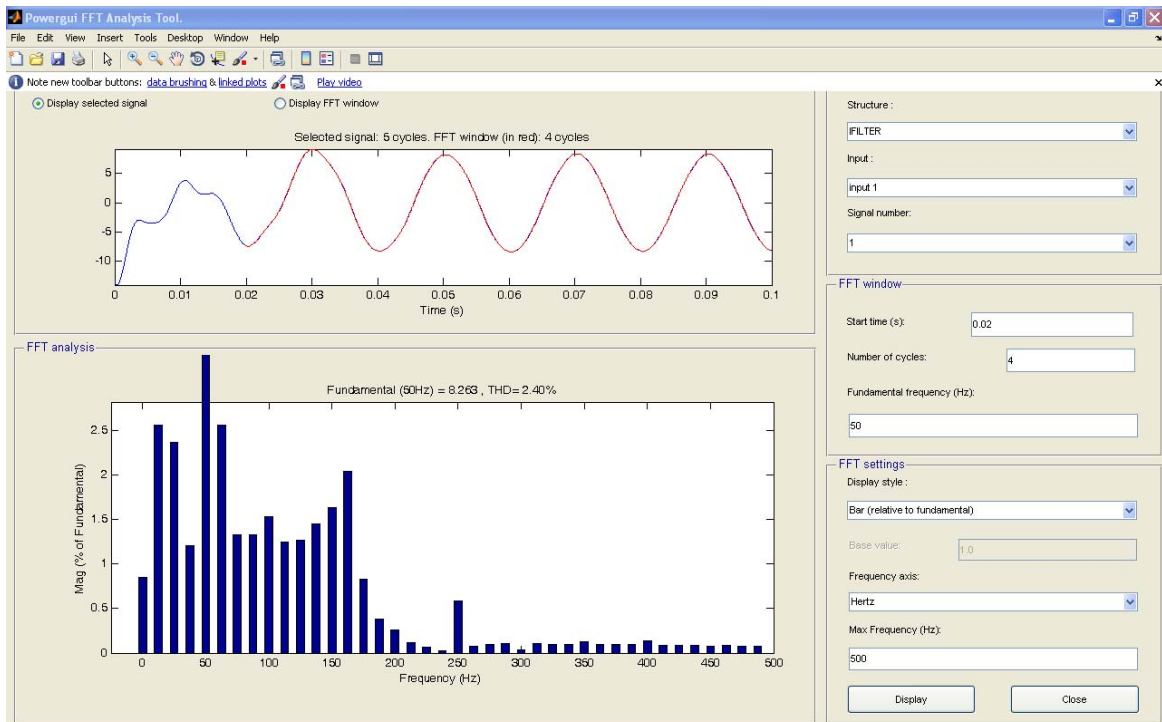


Εικόνα 5.45 Πραγματική και άεργος ισχύς ωμικόεπαγωγικής συμπεριφοράς δικτύου

5.5.2 Αποτελέσματα Fourier



Εικόνα 5.46 Κυματομορφή της τάσης στην έξοδο του αντιστροφέα

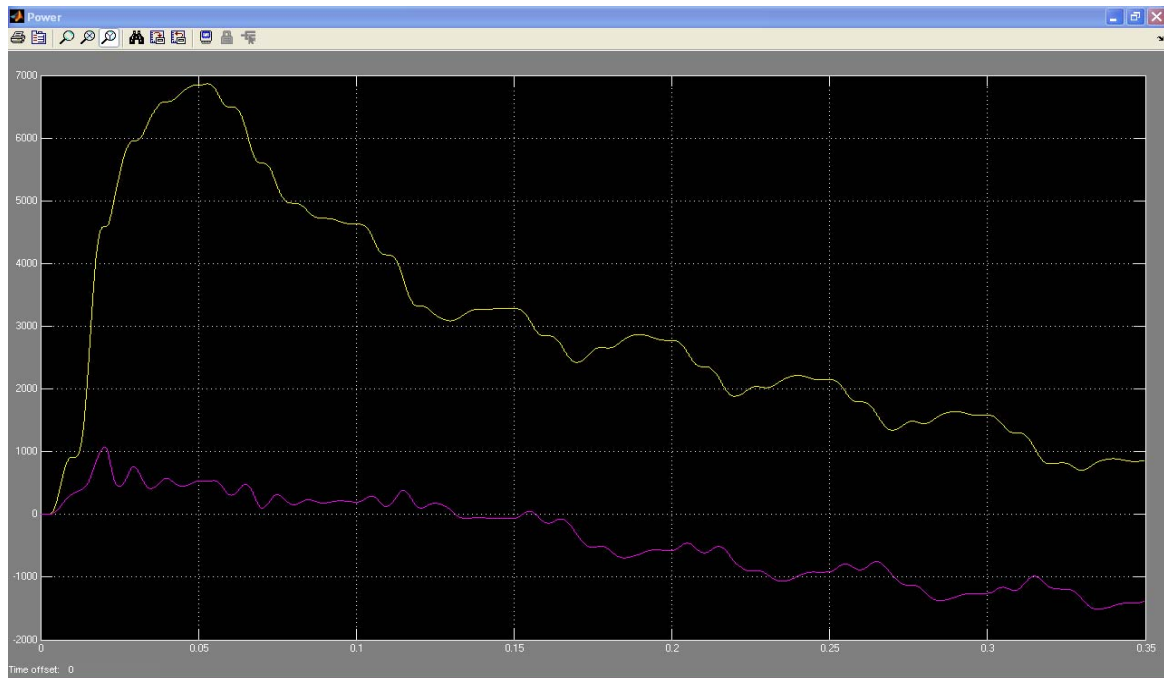


Εικόνα 5.47 Κυματομορφή του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα

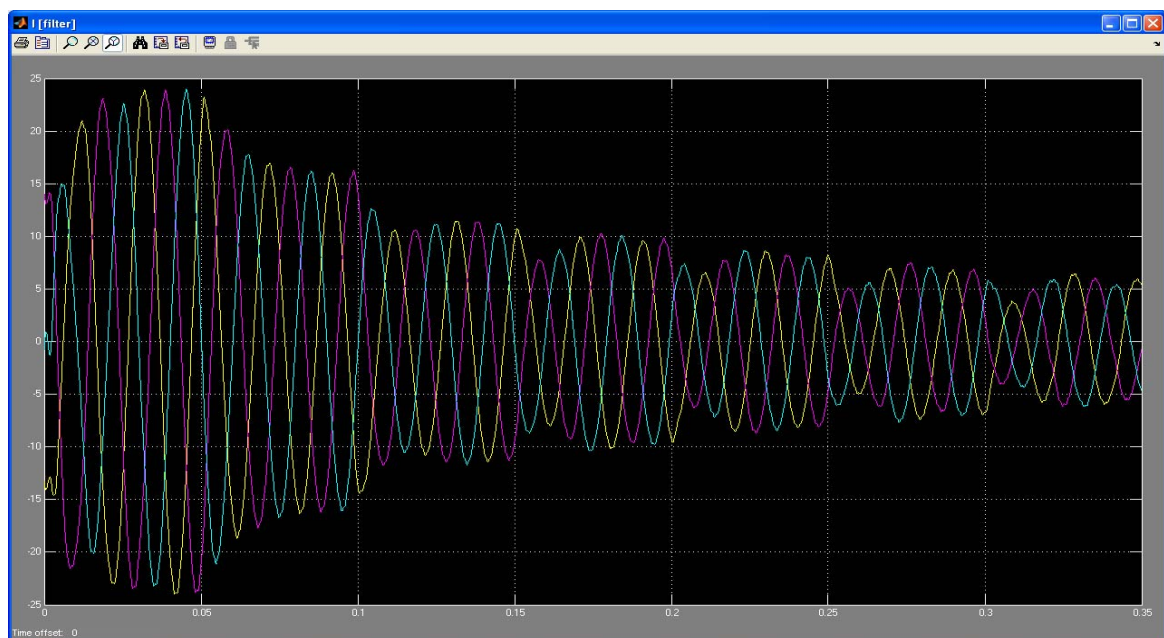
Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι :

- Παραπάνω στα δυο γραφήματα της ισχύος παρατηρούμε ότι όταν το δίκτυο έχει ωμικόχωρητική συμπεριφορά τότε ο inverter μπορεί να το τροφοδοτεί με επαγωγική άεργο ισχύ .
- Εν αντιθέσει με την περίπτωση που το δίκτυο έχει ωμικόεπαγωγική συμπεριφορά τότε ο inverter μπορεί και το τροφοδοτεί με χωρητική άεργο ισχύ.
- Ο έλεγχος για τη πραγματική ισχύ που προσφέρουμε προς το δίκτυο γίνεται μέσω της διαφοράς φάσης (inverter-πυγής).
- Ο έλεγχος για τη άεργη ισχύ που προσφέρουμε προς το δίκτυο γίνεται μέσω της διαφοράς τάσης (inverter-πυγής).

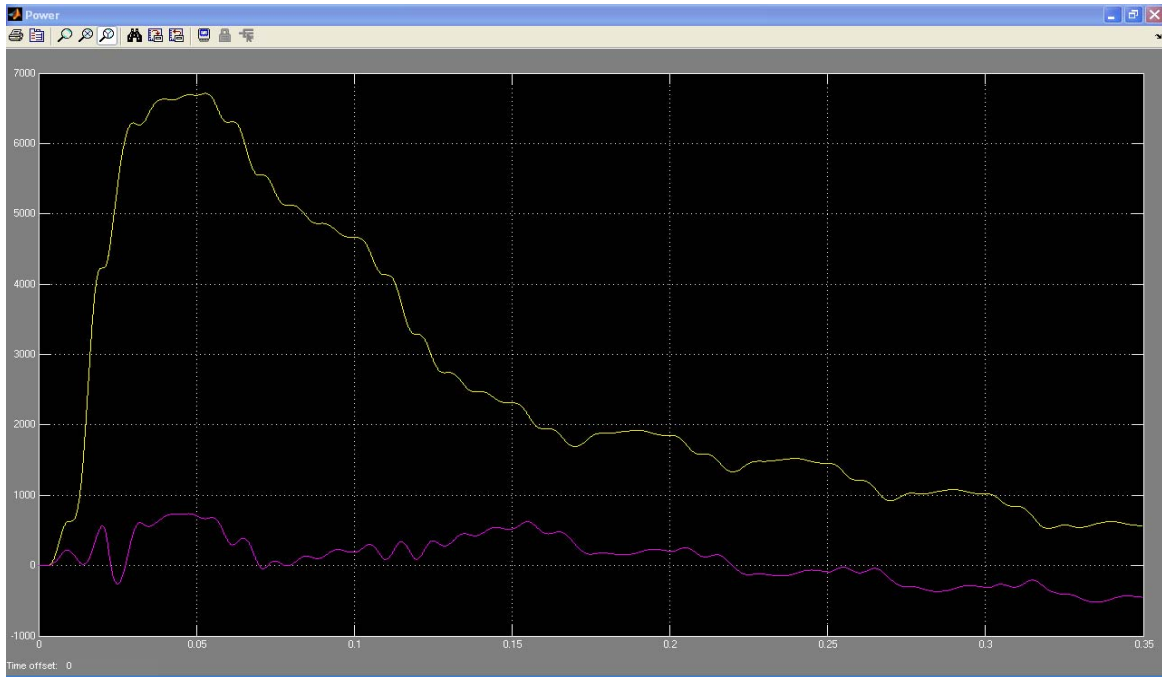
5.5.3 Αποτελέσματα έλεγχου μέσω μεταβλητών παραμέτρων



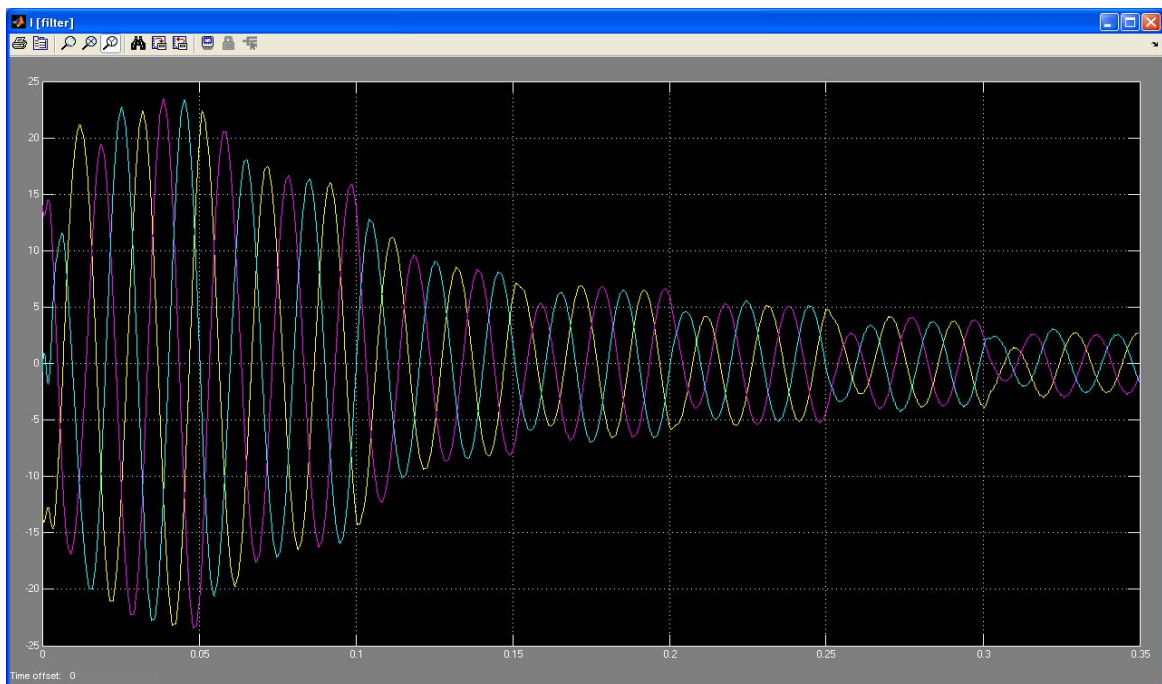
Εικόνα 5.48 Κυματομορφή της ισχύος στην έξοδο του αντιστροφέα για μεταβλητή φάση από $-40^{\circ} \rightarrow 20^{\circ}$ με ρυθμό μεταβολής $10^{\circ}/0.05\text{sec}$ και σταθερό $M_f=0.9$



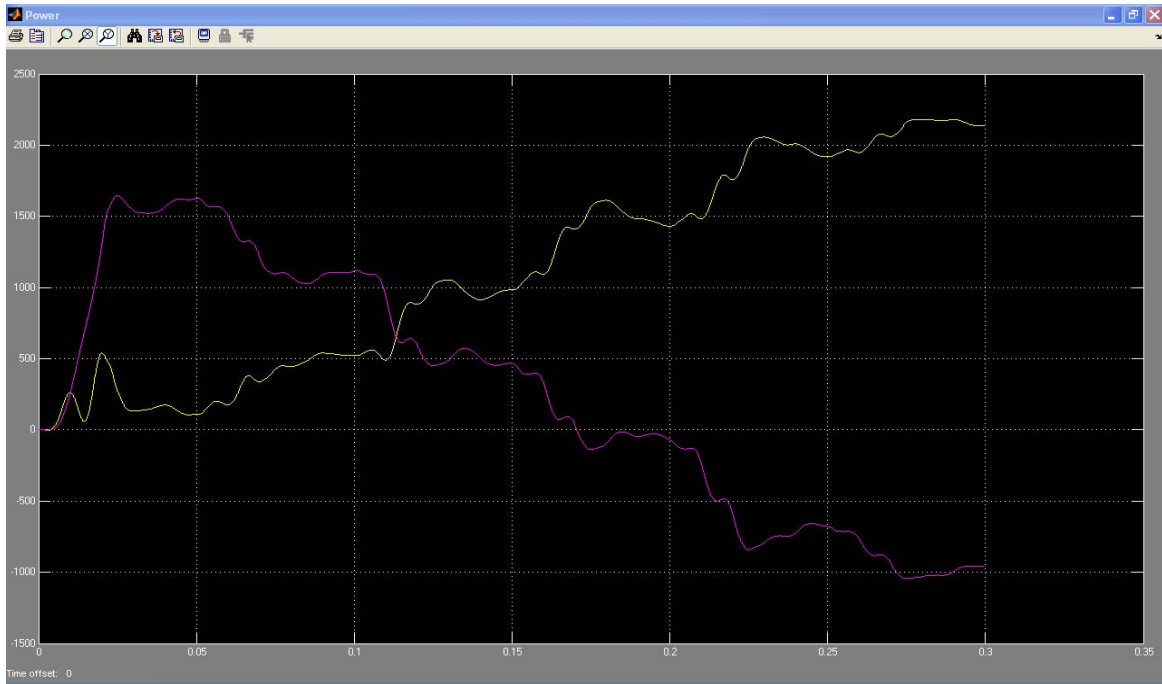
Εικόνα 5.49 Κυματομορφή του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα για μεταβλητή φάση από $-40^{\circ} \rightarrow 20^{\circ}$ με ρυθμό μεταβολής $10^{\circ}/0.05\text{sec}$ και σταθερό $M_f=0.9$



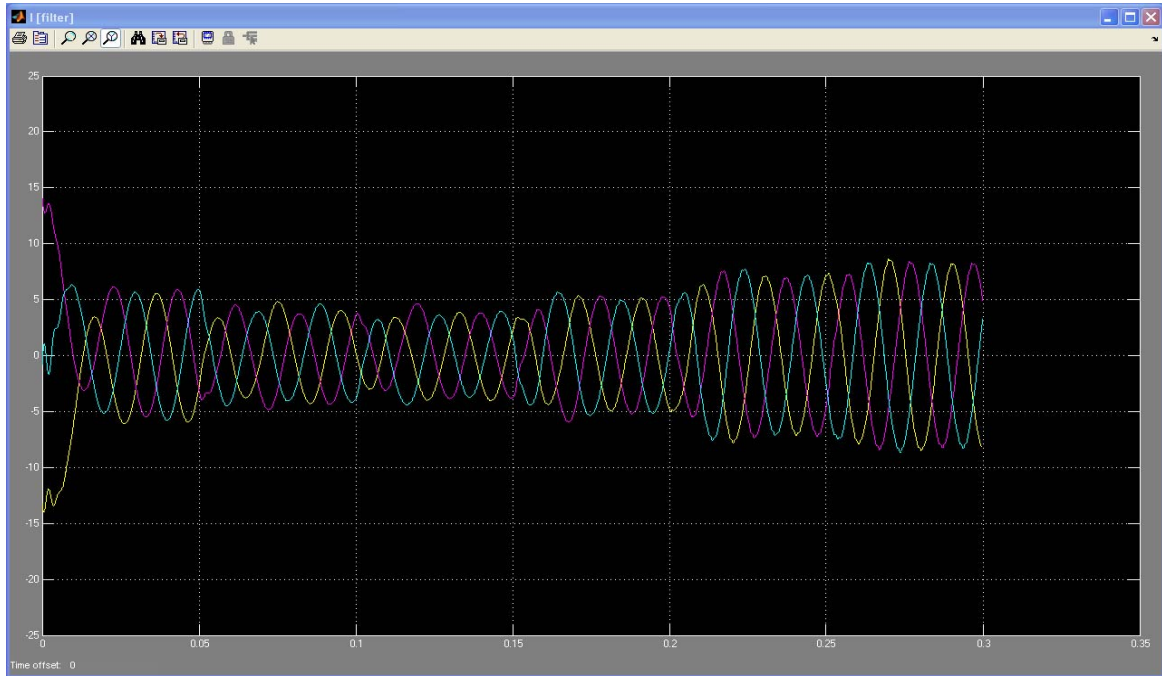
Εικόνα 5.50 Κυματομορφή της ισχύος στην έξοδο του αντιστροφέα για μεταβλητή φάση από $-40^{\circ} \rightarrow 20^{\circ}$ με ρυθμό μεταβολής $10^{\circ}/0.05\text{sec}$ και σταθερό $M_f=0.7$



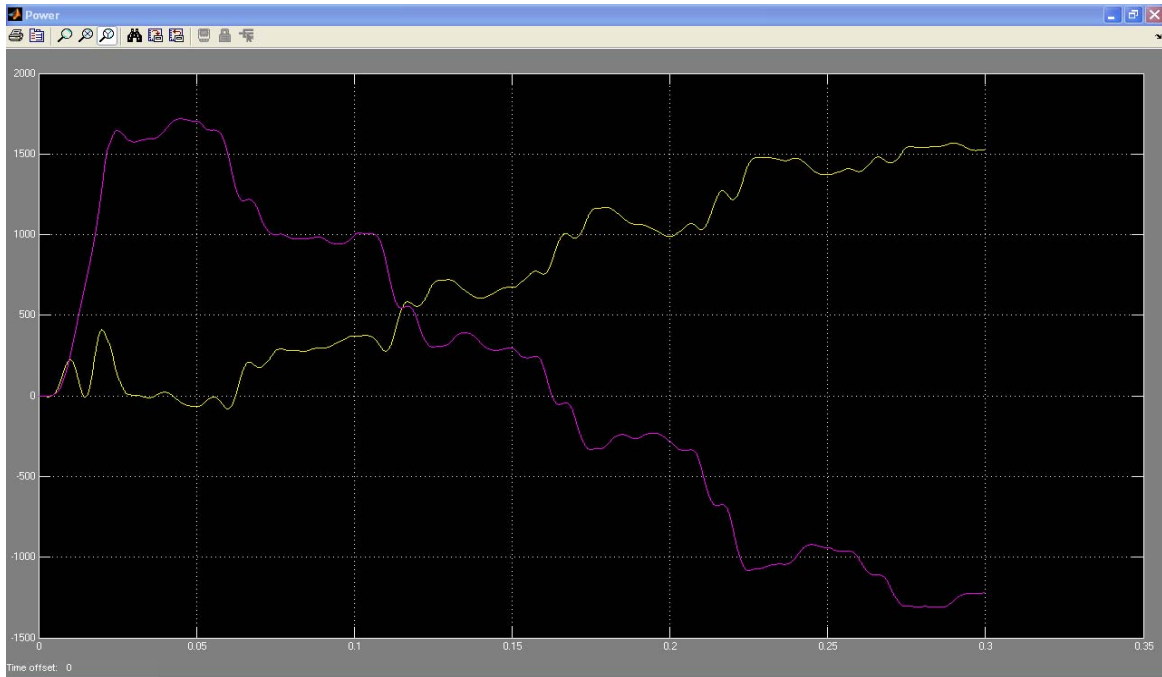
Εικόνα 5.51 Κυματομορφή του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα για μεταβλητή φάση από $-40^{\circ} \rightarrow 20^{\circ}$ με ρυθμό μεταβολής $10^{\circ}/0.05\text{sec}$ και σταθερό $M_f=0.7$



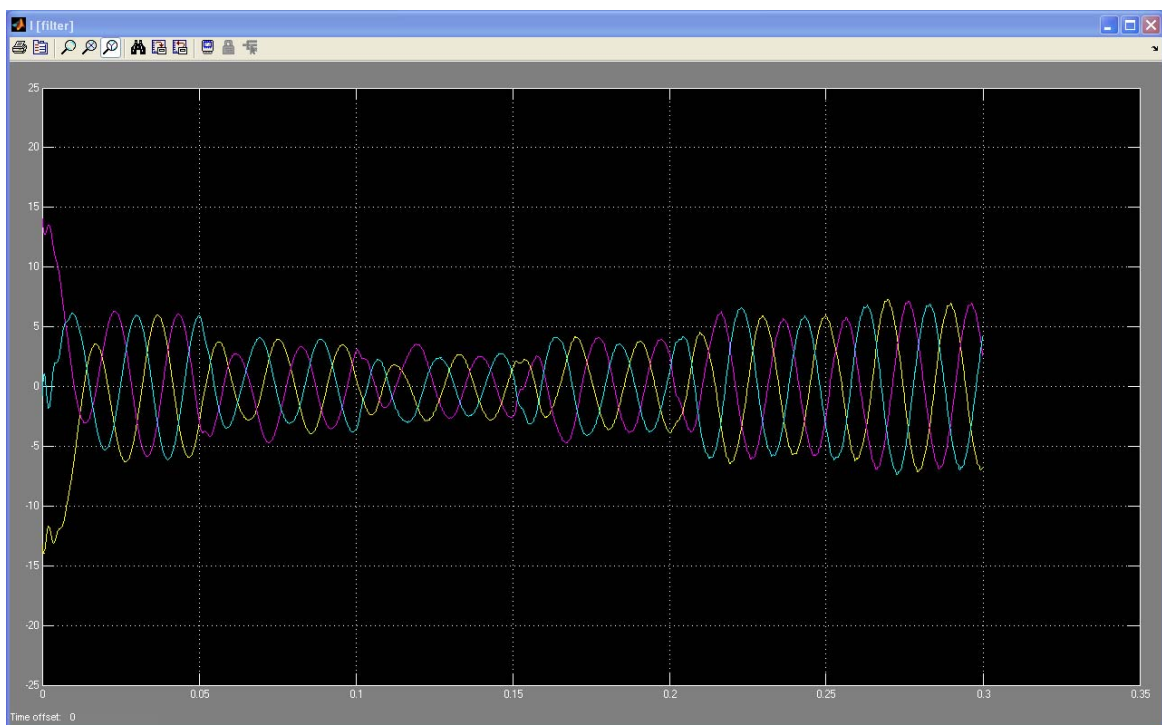
Εικόνα 5.52 Κυματομορφή της ισχύος στην έξοδο του αντιστροφέα για μεταβλητό M_f από $0.1 \rightarrow 0.9$ με ρυθμό μεταβολής $0.2/0.05\text{sec}$ και σταθερή φάση $=0^\circ$.



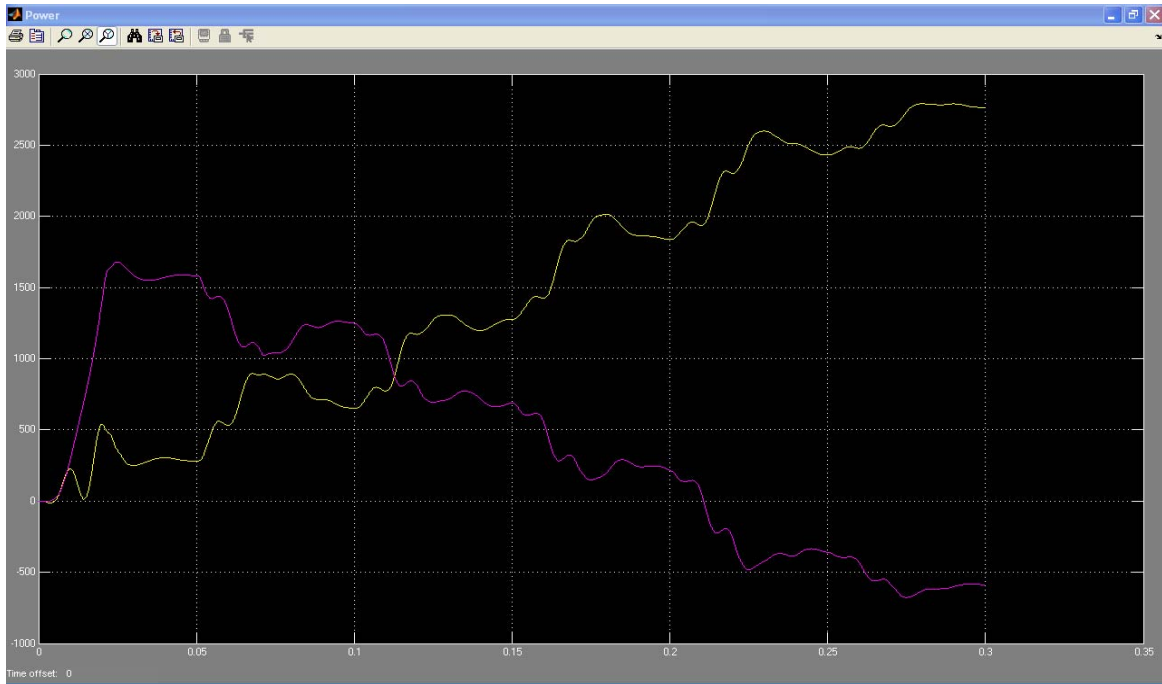
Εικόνα 5.53 Κυματομορφή του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα για μεταβλητό M_f από $0.1 \rightarrow 0.9$ με ρυθμό μεταβολής $0.2/0.05\text{sec}$ και σταθερή φάση $=0^\circ$.



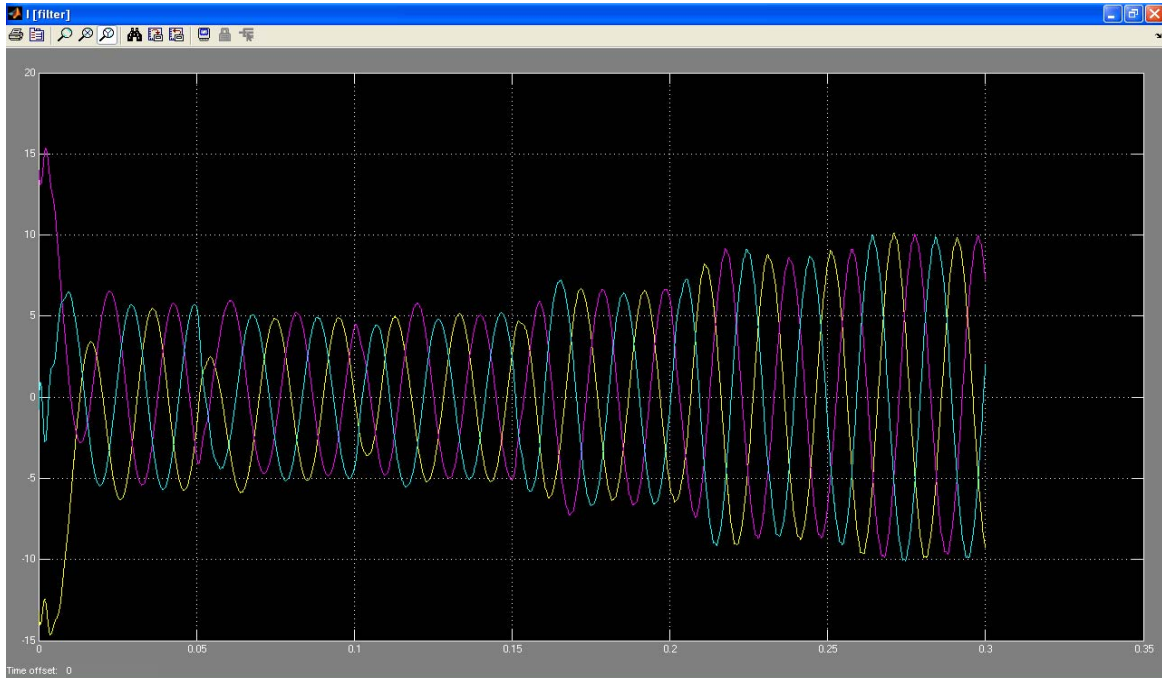
Εικόνα 5.54 Κυματομορφή της ισχύος στην έξοδο του αντιστροφέα για μεταβλητό M_f από $0.1 \rightarrow 0.9$ με ρυθμό μεταβολής $0.2/0.05\text{sec}$ και σταθερή φάση $=10^\circ$ (μεταπορείας).



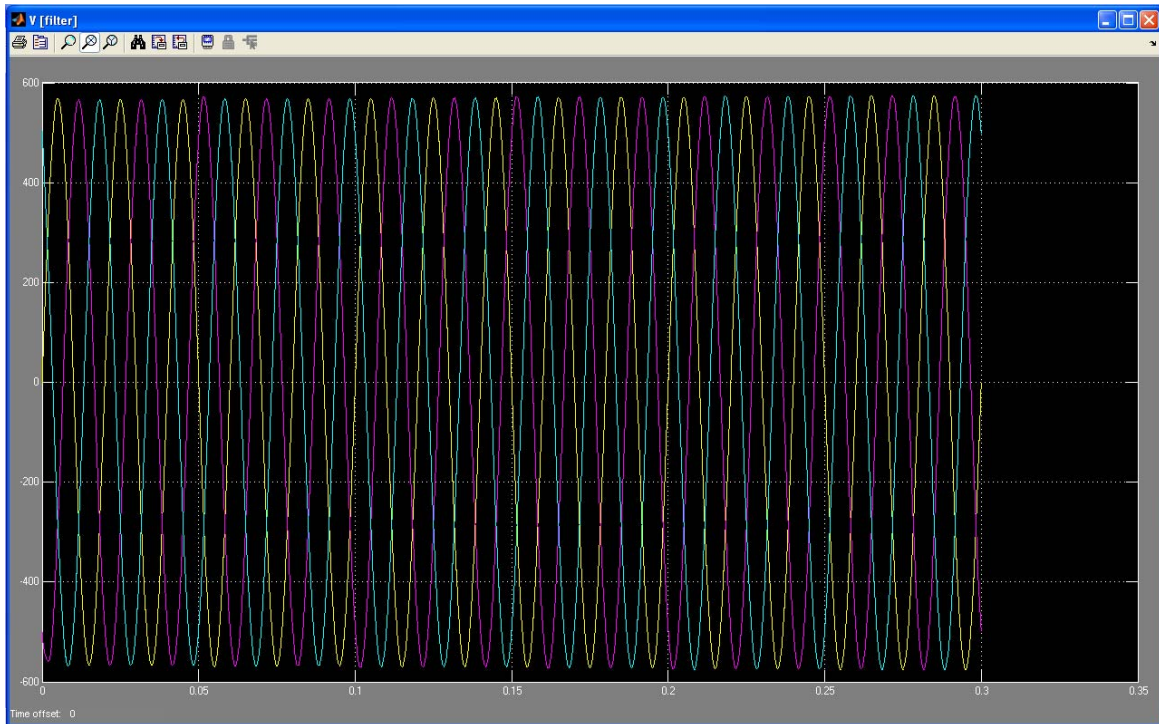
Εικόνα 5.55 Κυματομορφή του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα για μεταβλητό M_f από $0.1 \rightarrow 0.9$ με ρυθμό μεταβολής $0.2/0.05\text{sec}$ και σταθερή φάση $=10^\circ$ (μεταπορείας).



Εικόνα 5.56 Κυματομορφή της ισχύος στην έξοδο του αντιστροφέα για μεταβλητό M_f από $0.1 \rightarrow 0.9$ με ρυθμό μεταβολής $0.2/0.05\text{sec}$ και σταθερή φάση $=-10^\circ$ (προπορείας).



Εικόνα 5.57 Κυματομορφή του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα για μεταβλητό M_f από $0.1 \rightarrow 0.9$ με ρυθμό μεταβολής $0.2/0.05\text{sec}$ και σταθερή φάση $=-10^\circ$ (προπορείας).



Εικόνα 5.58 Κυματομορφή της τάσης στην έξοδο του αντιστροφέα για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι :

- Μεγίστη μεταφορά πραγματικής ισχύος προς το δίκτυο έχουμε όταν ο μετατροπέας προπορεύεται της τάσης του δικτύου.
- Μεταφορά άεργης ισχύος προς το δίκτυο μπορούμε να έχουμε είτε χωρητική ή επαγωγική ανάλογα με την διαφορά τάσης μετατροπέα δικτύου .
- Κάθε μεταβολή της άεργης ισχύος μεταβάλλει και την πραγματική, και αντίστροφα.
- Φυσικά ελέγχοντας την διαφορά τάσης και φάσης ταυτόχρονα μπορούμε να πετύχουμε οποιονδήποτε συνδυασμό ισχύος.
- Ακόμη γίνεται κατανοητό ,με βάση το προηγούμενο συμπέρασμα ότι με αυτή τη μέθοδο μπορούμε να κάνουμε διόρθωση του συντελεστή ισχύος με ηλεκτρονικό τρόπο .

Αγγλική ορολογία

Active	= ενεργητικός, δραστήριος
Active network	= ενεργό δίκτυο
Addition	= πρόσθεση
Admittance	= μιγαδική αγωγιμότητα
Alternating	= εναλλασσόμενος
Alternating current	= εναλλασσόμενο ρεύμα
Alternator	= γεννήτρια, εναλλακτήρας
Analysis	= ανάλυση
Angle	= γωνία
Angle of lead or lag	= γωνία προπορείας ή μεταπορείας
Angular velocity	= γωνιακή ταχύτητα
Apparent power	= φαινόμενη ισχύς
Argument	= δρισμα
Average	= μέσος όρος
Average value	= μέση τιμή
Balance	= ισορροπία
Balanced load	= συμμετρικό φορτίο
Bandwidth	= εύρος ζώνης
Bilateral	= αμφίπλευρος, διμερής
Bilateral network	= αμφίπλευρο δίκτυο
Branch	= κλάδος
Bridge	= γέφυρα
Bridge circuit	= κύκλωμα γέφυρας
Capacitance	= χωρητικότητα
Capacitive reactance	= χωρητική αντίδραση
Capacitor	= πυκνωτής
Case	= περίπτωση
Characteristic equation	= χαρακτηριστική εξίσωση
Charge	= φορτίο
Circuit	= κύκλωμα
Coefficient of coupling	= συντελεστής συζεύξεως
Coefficient of mutual inductance	= συντελεστής αλληλεπαγωγής
Cofactor	= αλγεβρικό συμπλήρωμα
Coil	= πηνίο
Compensation theorem	= θεώρημα της αντίσταθμίσεως
Complementary function	= γενική λύση όμογενοῦς διαφορικής εξισώσεως
Complex	= μιγαδικός
Complex conjugate	= συζυγής μιγαδικός
Complex number	= μιγαδικός αριθμός
Complex number system	= σύστημα μιγαδικῶν ἀριθμῶν
Condition	= συνθήκη, όρος
Conductance	= αγωγιμότητα
Conjugate	= συζυγής
Connection	= σύνδεση
Constant	= σταθερός
Constant current source	= πηγή σταθεροῦ ρεύματος
Constant voltage source	= πηγή σταθερῆς τάσεως
Continuity	= συνέχεια
Conversion	= μετατροπή
Correction	= διόρθωση
Cosine	= συνημίτονο
Cosine series	= σειρά συνημιτόνων
Couple	= ζεύγος
Coupled	= συζευγμένος

Coupled circuits = συζευγμένα κυκλώματα
 Coupling = σύζευξη
 Coupling coefficient = συντελεστής συζεύξεως
 Cramer's rule = κανόνας του Cramer
 Current = ρεύμα
 Current source = πηγή ρεύματος

 Damping = απόσβεση
 Definition = όρισμός
 Delta connection = σύνδεση τριγώνου
 Delta-ye conversion = μετατροπή τριγώνου-άστéρα
 Determinant = ορίζουσα
 Diagram = διάγραμμα
 Dielectric = διηλεκτρικός
 Dielectric constant = διηλεκτρική σταθερή
 Difference = διαφορά
 Differential equation = διαφορική εξίσωση
 Direct = άμεσος, εὐθύς
 Direct current = συνεχές ρεύμα
 Direction = φορά, διεύθυνση
 Dirichlet conditions = συνθήκες Dirichlet
 Displacement = μετατόπιση
 Displacement neutral method = μέθοδος μετατοπίσεως του οὐδέτερου
 Division = διαίρεση
 Domain = πεδίο
 Dot notation (or dot rule) = σύμβαση τελείας
 Double = διπλός
 Driving point admittance = μιγαδική αγωγιμότητα εισόδου
 Driving point impedance = (μιγαδική) σύνθετη αντίσταση εισόδου
 Drop = σταγόνα, πτώση

 Effective = αποτελεσματικός, άποδοτικός
 Effective value = ένδεικνύμενη τιμή
 Electric = ηλεκτρικός
 Electric field = ηλεκτρικό πεδίο
 Electron = ηλεκτρόνιο
 Element = στοιχείο
 Energy = ενέργεια
 Equal = ίσος
 Equality = ισότητα
 Equation = εξίσωση
 Equivalence = ισοδυναμία
 Equivalent = ισοδύναμος
 Equivalent admittance = ισοδύναμη μιγαδική αγωγιμότητα
 Equivalent circuit = ισοδύναμο κύκλωμα
 Equivalent impedance = ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση
 Euler's formula = τύπος του Euler
 Even = άρτιος
 Even function = άρτια συνάρτηση
 Expansion = ανάπτυξη, άνάπτυγμα
 Exponential = έκθετικός
 Exponential form = έκθετική μορφή
 Exponential function = έκθετική συνάρτηση

 Factor = παράγοντας, συντελεστής
 Faraday's law = νόμος του Faraday
 Field = πεδίο
 Final = τελικός
 Final value theorem = θεώρημα τελικής τιμής
 Flux = ροή
 Flux linkage = πλεγμένη ροή
 Form = μορφή, σχήμα
 Form factor = συντελεστής μορφής

Coupled circuits = συζευγμένα κυκλώματα
 Coupling = σύζευξη
 Coupling coefficient = συντελεστής συζεύξεως
 Cramer's rule = κανόνας του Cramer
 Current = ρεύμα
 Current source = πηγή ρεύματος

 Damping = απόσβεση
 Definition = όρισμός
 Delta connection = σύνδεση τριγώνου
 Delta-ye conversion = μετατροπή τριγώνου-άστéρα
 Determinant = ορίζουσα
 Diagram = διάγραμμα
 Dielectric = διηλεκτρικός
 Dielectric constant = διηλεκτρική σταθερή
 Difference = διαφορά
 Differential equation = διαφορική εξίσωση
 Direct = άμεσος, εϋθύς
 Direct current = συνεχές ρεύμα
 Direction = φορά, διεϋθυνση
 Dirichlet conditions = συνθήκες Dirichlet
 Displacement = μετατόπιση
 Displacement neutral method = μέθοδος μετατοπίσεως του οϋδέτερου
 Division = διαίρεση
 Domain = πεδίο
 Dot notation (or dot rule) = σύμβαση τελείας
 Double = διπλός
 Driving point admittance = μιγαδική αγωγιμότητα εισόδου
 Driving point impedance = (μιγαδική) σύνθετη αντίσταση εισόδου
 Drop = σταγόνα, πτώση

 Effective = αποτελεσματικός, άποδοτικός
 Effective value = ένδεικνύμενη τιμή
 Electric = ήλεκτρικός
 Electric field = ήλεκτρικό πεδίο
 Electron = ήλεκτρόνιο
 Element = στοιχείο
 Energy = ενέργεια
 Equal = ίσος
 Equality = ισότητα
 Equation = εξίσωση
 Equivalence = ισοδυναμία
 Equivalent = ισοδύναμος
 Equivalent admittance = ισοδύναμη μιγαδική αγωγιμότητα
 Equivalent circuit = ισοδύναμο κύκλωμα
 Equivalent impedance = ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση
 Euler's formula = τύπος του Euler
 Even = άρτιος
 Even function = άρτια συνάρτηση
 Expansion = ανάπτυξη, ανάπτυγμα
 Exponential = έκθετικός
 Exponential form = έκθετική μορφή
 Exponential function = έκθετική συνάρτηση

 Factor = παράγοντας, συντελεστής
 Faraday's law = νόμος του Faraday
 Field = πεδίο
 Final = τελικός
 Final value theorem = θεώρημα τελικής τιμής
 Flux = ροή
 Flux linkage = πλεγμένη ροή
 Form = μορφή, σχήμα
 Form factor = συντελεστής μορφής

Linear (circuit) element = γραμμικό στοιχείο (κυκλώματος)
Line current = ρεύμα γραμμής
Line impedance = σύνθετη αντίσταση γραμμής
Line spectrum = γραμμικό φάσμα
Line voltage = τάση γραμμής
Link = δεσμός, σύνδεσμος
Load = φορτίο
Locus = (γεωμετρικός) τόπος
Logarithm = λογάριθμος
Loop = βρόχος
Loop current = ρεύμα βρόχου
Low = χαμηλός
Low frequency of half power = χαμηλή συχνότητα μισής ισχύος
Lumped element = συγκεντρωμένο στοιχείο

Maclaurin series = σειρά Maclaurin
Magnetic coupling = μαγνητική σύζευξη
Magnetic field = μαγνητικό πεδίο
Matrix = πίνακας, μήτρα
Maximum = μέγιστος
Maximum impedance = μέγιστη σύνθετη αντίσταση
Maximum power transfer = μεταφορά μέγιστης ισχύος
Mean = μέσος
Mesh (of a circuit) = βρόχος (κυκλώματος)
Mesh current = ρεύμα βρόχου
Mesh current method = μέθοδος ρευμάτων βρόχων
Method = μέθοδος
Minimum = ελάχιστος
Minor = ελάσσων όριζουσα
Modulus = μέτρο, απόλυτη τιμή
Multiple = πολλαπλός
Multiplication = πολλαπλασιασμός
Mutual flux = κοινή ροή
Mutual inductance = αλληλεπαγωγή

Natural = φυσικός
Natural current = επαγόμενο ρεύμα
Natural frequency = ιδιοσυχνότητα
Network = δίκτυο
Neutral = ουδέτερος
Neutral current = ρεύμα ουδέτερου
Node = κόμβος
Node equation = εξίσωση κόμβου
Node voltage = τάση κόμβου
Node voltage method = μέθοδος τάσεων κόμβων
Non-sinusoidal = μη ήμιτονοειδής
Norton's theorem = θεώρημα του Norton
Notation = συμβολισμός
Number = αριθμός

Odd = περιττός
Odd function = περιττή συνάρτηση
Ohm's law = νόμος του Ohm
One-line equivalent (circuit) = ισοδύναμο μονοφασικό (κύκλωμα)
Order = τάξη
Oscillation = ταλάντωση

Parallel = παράλληλος
Parallel circuit = παράλληλο κύκλωμα
Parallel connection = παράλληλη σύνδεση
Part = μέρος, τμήμα
Partial = μερικός
Partial fraction expansion = ανάπτυξη σε άπλά κλάσματα
Particular solution (of a differential equation) = μερική λύση
 (διαφορικής εξίσωσης)

Passive = παθητικός
 Passive network = παθητικό δίκτυο
 Period = περίοδος
 Periodic = περιοδικός
 Periodic function = περιοδική συνάρτηση
 Periodic waveform = περιοδική κυματομορφή
 Permeability = μαγνητική διαπερατότητα
 Permittivity = διηλεκτρικότητα
 Phase = φάση
 Phase angle = φασική γωνία
 Phase difference = διαφορά φάσεως
 Phase sequence = διαδοχή φάσεων
 Phase shift = μετατόπιση φάσεως
 Phase voltage = φασική τάση
 Phasor = στρεφόμενο διάνυσμα
 Plane = επίπεδο
 Point = σημείο
 Polar form = πολική μορφή
 Polarity = πολικότητα
 Polyphase system = πολυφασικό σύστημα
 Potential = δυναμικό
 Potential difference = διαφορά δυναμικού, τάση
 Power = ισχύς
 Power factor = συντελεστής Ισχύος
 Power factor correction = διόρθωση (ή βελτίωση) του συντελεστή Ισχύος
 Power triangle = τρίγωνο Ισχύος
 Principal node = κύριος κόμβος, δεσμός
 Proton = πρωτόνιο

 Quality = ποιότητα
 Quality factor = συντελεστής ποιότητας
 Quantity = ποσότητα, μέγεθος

 Reactance = αντίδραση
 Reactive power = άεργος Ισχύς
 Real = πραγματικός
 Real number = πραγματικός αριθμός
 Real number system = σύστημα πραγματικών αριθμών
 Reciprocity theorem = θεώρημα της αμοιβαιότητας
 Rectangular = ορθογώνιος
 Rectangular form (of a complex number) = καρτεσιανή μορφή
 Reference = αναφορά (μιαδικού αριθμού)
 Reference node = κόμβος αναφοράς
 Relationship = σχέση
 Representation = παράσταση, εκπροσώπηση
 Resistance = αντίσταση
 Resistor = αντιστάτης
 Resonance = συντονισμός
 Rise = άνύψωση
 Root = ρίζα
 Root-mean-square value = μέση τετραγωνική τιμή
 Rotation = στροφή, περιστροφή
 Rule = κανόνας, χάρακας

 Sawtooth wave = πριονοειδές κύμα
 Self-inductance = αὐτεπαγωγή
 Sequence = ακολουθία, διαδοχή
 Series = σειρά
 Series circuit = κύκλωμα σειράς
 Series connection = σύνδεση σε σειρά
 Shift = μετατόπιση
 Sine = ήμιτονο
 Sine series = σειρά ήμιτόνων

Sine wave = ήμιτονοειδές κύμα
 Sinusoidal = ήμιτονοειδής
 Six-phase system = εξαφασικό σύστημα
 Slide rule = λογαριθμικός κανόνας
 Solution = λύση
 Source = πηγή
 Spectrum = φάσμα
 Square = τετράγωνο, τετραγωνικός
 Square matrix = τετραγωνικός πίνακας
 Square wave = τετραγωνικό κύμα
 State = κατάσταση
 Steady state = μόνιμη κατάσταση
 Step function = συνάρτηση άλματος
 Stored energy = αποθηκευμένη ενέργεια
 Subscript = δείκτης
 Substitution theorem = θεώρημα της αντικατάστασης
 Superposition theorem = θεώρημα της έπαλληλίας
 Susceptance = επιδεκτικότητα
 Symbol = σύμβολο
 Symmetry = συμμετρία
 Synthesis = σύνθεση
 System = σύστημα

 Theorem = θεώρημα
 Thevenin's theorem = θεώρημα του Thevenin
 Three-phase system = τριφασικό σύστημα
 Time = χρόνος
 Time constant = σταθερή χρόνου
 Time domain = πεδίο χρόνου
 Transfer = μεταφορά
 Transfer admittance = μιγαδική αγωγιμότητα μεταφοράς
 Transfer impedance = σύνθετη αντίσταση μεταφοράς
 Transform = μετασχηματισμένη
 Transformation = μετασχηματισμός
 Transient = μεταβατικό φαινόμενο
 Tree = δέντρο
 Triangle = τρίγωνο
 Trigonometric form = τριγωνομετρική μορφή
 Two-phase system = διφασικό σύστημα
 Two-wattmeter method = μέθοδος των δύο βαττομέτρων

 Unbalanced load = μή συμμετρικό φορτίο
 Unequal = άνισος
 Uniform = ομοιόμορφος, σταθερός
 Unit = μονάδα

 Value = τιμή
 Variable = μεταβλητή
 Vector = διάνυσμα
 Velocity = ταχύτητα
 Voltage = τάση
 Voltage drop = πτώση τάσεως
 Voltage rise = ανύψωση τάσεως
 Voltage transfer function = συνάρτηση μεταφοράς τάσεως

 Wattmeter = βαττόμετρο
 Wave = κύμα
 Waveform = κυματομορφή
 Winding = περιέλιξη
 Wire = σύρμα
 Wye connection = σύνδεση άστέρα

Βιβλιογραφία

- [1]: Σ. Ν. Μανιάς « Ηλεκτρονικά ισχύος » Εκ. Συμεών ,6^η έκδοση Αθήνα 2007.
- [2]: Θ. Γ. Σιανούδης « Βιομηχανικά ηλεκτρονικά και έλεγχος ηλεκτρονικής ισχύος » Εκ. ΙΩΝ , 2^η έκδοση 1995.
- [3]: Mohan-Undelan-Robbins « Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος » Εκ. Τζιόλα, 3η έκδοση 2007.
- [4]: Π. Β. Μαλατέστας –Η. Α. Βυλλιώτης « Εργαστηριακές ασκήσεις ηλεκτρονικών ισχύος » Εκ. Τζιόλα , έκδοση 2004.
- [5]: Σ. Ν. Μανιάς «Ανώτερα κεφάλαια ηλεκτρονικών ισχύος » Εκ. Παπασωτηρίου 1997 .
- [6]: Humphries James T., Sheets Leslie P. «Βιομηχανικά ηλεκτρονικά ισχύος » Εκ. ΙΩΝ , 4^η έκδοση 2003.
- [7]: Power Electronics: Converters, Applications, and Design, Ned Mohan, Tore M.Undeland, William P. Robbins , Wiley: 3 edition (October 10, 2002).
- [8]: Robert W. Erickson-Dragon Maksimovic, Fundamentals of power electronics, Kluwer Academic Publishers, New York 2004.
- [9]: Stephen J. Chapman « Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC » Εκ. Τζιόλα, έκδοση 2003.
- [10]: <http://www.hlektronika.gr>
- [11]: <http://www.coolcircuit.com>
- [12]: <http://www.mathworks.com>