

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗΣ ΠΛΗΡΩΣ
ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΑΔΑΜΙΔΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΠΑΛΑΝΤΖΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2013

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗΣ ΠΛΗΡΩΣ
ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΑΔΑΜΙΔΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΑΜ : 3865

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναλύσουμε τα μέρη και τον τρόπο κατασκευής μίας τριφασικής πλήρως ελεγχόμενης γέφυρας, την ιστορική αναδρομή των τεχνολογικών επιτευγμάτων που μας οδήγησαν στα υλικά από τα οποία κατασκευάστηκε η πτυχιακή αυτή (το πρακτικό μέρος της πτυχιακής) . Θα γίνει ανάλυση των μερών της, όπως είναι των ημιαγωγών στοιχείων (δίοδοι , θυρίστορ κ.λ.π.), των ανορθωτών (ελεγχόμενων και μη ελεγχόμενων από τον ανθρώπινο παράγοντα) και τα είδη τα οποία έχουμε . Θα αναφερθούμε τόσο στους μονοφασικούς ανορθωτές όσο και στους τριφασικούς ανορθωτές. Στους τριφασικούς ανορθωτές , θα αναπτύξουμε τα είδη τους και τις χρήσεις τους τόσο σε οικιακό όσο και σε βιομηχανικό περιβάλλον . Αναφορικά θα κατατάξουμε όλα αυτά τα στοιχεία σε σύντομες ομάδες για την ευκολότερη κατανόηση του αναγνώστη και θα καταλήξουμε στους τριφασικούς ελεγχόμενους ανορθωτές οι οποίοι είναι κυρίως και το αντικείμενο εργασίας της πτυχιακής αυτής . Με την βοήθεια του ηλεκτρολογικού σχεδίου θα αναλύσουμε τα μέρη από τα οποία αποτελείται η εργασία αυτή (πρακτικό αλλά και θεωρητικό μέρος) . Με την έννοια του όρου, σκοπός της επιστήμης των ηλεκτρικών Ισχύος, είναι η μετατροπή και ο έλεγχος της ηλεκτρικής ενέργειας από μια μορφή σε μία άλλη, εναλλασσόμενη σε συνεχές (**rectifiers**) και από συνεχές τάση σε εναλλασσόμενη (**inverters**) με ηλεκτρονικές διατάξεις που βασίζονται στην χρήση των ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος.

Abstract

In this thesis we will analyze the parts and how to construct a three-phase fully controlled bridge, the historical background of technological advances that have led us to the materials from which the thesis is built (the practical part of the thesis). We analyze the parts, like the semiconductors (diodes, thyristors, etc.), the rectifiers (controlled and uncontrolled by human factors) and the species which have. We will refer to both single-phase rectifiers and three-phase rectifiers. On three-phase rectifiers, we will analyze their types and uses of both residential and industrial environments. Reference would classify all these elements into short groups for easier understanding of the reader and will arrive in three phase controlled rectifiers which are mostly the subject of this final work. With the help of electrical plan will analyze the parts from whom they stayed this work (practical and theory). In the sense, the purpose of science electrical power is the conversion and control of electric energy from one from to another AC to DC (rectifiers) and DC voltage into (inverters) with electronic device based on the use of power semiconductors.

Πρόλογος

Για να μπορέσουμε να έχουμε τον αυτόματο έλεγχο των ηλεκτρικών μηχανών που λειτουργούν είτε σε συνεχές ρεύμα είτε σε εναλλασσόμενο ρεύμα χρειαζόμαστε κάποιες ειδικές διατάξεις που ονομάζονται “ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ”. Στα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν θα αναλυθούν όσο τον δυνατόν πιο αναλυτικά τα μέρη της πτυχιακής εργασίας τόσο το κατασκευαστικό μέρος όσο και το θεωρητικό . Θα παρουσιάσουμε όλους τους μετατροπείς ισχύος , από τους πρώτους που εφευρέθηκαν έως και τις μέρες μας που χρησιμοποιούνται τόσο σε βιομηχανικό επίπεδο όσο και σε οικιακό .Θα αρχίσουμε με μία ιστορική αναδρομή (πότε και από ποιους εφευρέθηκαν) , θα συνεχίσουμε με τα ημιαγωγά στοιχεία (δίοδοι , θυρίστορ) , με τους ανορθωτές (ελεγχόμενους και μη ελεγχόμενους) ,κατόπιν κάποια στοιχεία για τους μονοφασικούς ανορθωτές , για τους τριφασικούς ανορθωτές και τους τριφασικούς ελεγχόμενους ανορθωτές (κατηγορίες και χρήση τους) που είναι και το κυρίως αντικείμενο εργασίας στην παρούσα πτυχιακή εργασία .

Κεφάλαιο 1

Ιστορική αναδρομή των μετατροπών ισχύος .

Η ιστορία των ηλεκτρικών ισχύος αρχίζει από τις αρχές του αιώνα μας με την **ανακάλυψη του ανορθωτή υδραργύρου**, αφού τα προηγούμενα χρόνια, η μετατροπή της ενέργειας επιτυγχανόταν μέσω περιστρεφόμενων μετατροπών, τους λεγόμενους ηλεκτρομηχανικούς μετατροπείς ισχύος (δηλαδή, με τη βοήθεια ηλεκτρικών μηχανών π.χ. σύστημα Ward-Leonard).

Οι μετατροπείς αυτοί παρουσίαζαν αρκετά μειονεκτήματα όπως για παράδειγμα :

- 1) Οι φθορές στις ακίνητες και κινητές επαφές που οφείλονταν στις τριβές.
- 2) Οι μεγάλες απώλειες ενέργειας κατά την μετατροπή από την μία μορφή ενέργειας στην άλλη και ο μικρός συντελεστής απόδοσης.

3) Ο μεγάλος τους όγκος, η αδράνεια των περιστρεφόμενων μερών και το σημαντικό κόστος .Το 1913 κατασκευάζονται μετατροπείς μεγάλης ισχύος χρησιμοποιώντας ρυθμιζόμενα στοιχεία υδραργύρου. Το 1925 ανακαλύπτεται ο ανορθωτής σεληνίου και το 1926 ο ανορθωτής οξειδίου του χαλκού .Υπήρχε όμως ανάγκη για μεγαλύτερη χρήση των ημιαγωγών στο θέμα των βιομηχανικών ηλεκτρονικών, έχοντας ως αποτέλεσμα την ανακάλυψη και κατασκευή κρυσταλλικών εξαρτημάτων που αντικατέστησαν στις περισσότερες εφαρμογές τις ηλεκτρονικές λυχνίες κενού και αερίου, τους ανορθωτές οξειδίου του χαλκού και σεληνίου. Στη συνέχεια, ήρθε η εποχή των μαγνητικών ενισχυτών τη δεκαετία του 1940, αλλά η πραγματική επανάσταση στα ηλεκτρονικά ισχύος πραγματοποιήθηκε με την ανακάλυψη το 1956 στα εργαστήρια της Bell Laboratories, του ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου (*silicon-controlled rectifier*) ,ή αλλιώς θυρίστορ (*Thyristor*).Το 1958 η General electric εισάγει πρωτοποριακά στα ενεργειακά συστήματα τον ελεγχόμενο ανορθωτή πυριτίου SCR (Silicon Controlled Rectifier). Την συγκεκριμένη εκείνη περίοδο αρχίζει μια επανάσταση στον χώρο των ηλεκτρονικών ισχύος, όμοια με εκείνη που άρχισε πριν δέκα χρόνια με την ανακάλυψη του transistor. Τα πλεονεκτήματα των νέων διατάξεων ήταν εμφανή.

1. Μικρός όγκος,
2. Μικροί χρόνοι μεταγωγής,
3. Μικρές απώλειες στα κυκλώματα ελέγχου,
4. Μικρό κόστος συντήρησης,
5. Μεγάλη διάρκεια ζωής.

Κεφάλαιο 2

Ημιαγωγά στοιχεία

Από τότε μέχρι σήμερα η εξέλιξη στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών συστημάτων ισχύος υπήρξε σημαντική και ραγδαία. Η ανακάλυψη νέων ημιαγωγικών στοιχείων, υλικών, κυκλωμάτων, διατάξεων και συστημάτων ισχύος ελέγχου, η τεχνολογική βελτίωση των ήδη υπάρχοντων καθώς και η επινόηση νέων συστημάτων, συντέλεσαν ώστε η τεχνολογία των συστημάτων ισχύος να προβάλλει ως μία από τις βασικότερες τεχνολογικές επιστήμες της εποχής μας .

Μέχρι το 1970 το συμβατικό θυρίστορ χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά για τον έλεγχο της ισχύος στις βιομηχανικές εφαρμογές. Έτσι μετά το 1970 διάφοροι τύποι ημιαγωγών ισχύος εμφανίζονται στην αγορά και τους οποίους μπορούμε να ταξινομήσουμε σε πέντε κατηγορίες στον παρακάτω πίνακα [2.1] .

Πίνακας 2.1 : Διάφοροι τύποι ημιαγωγών ισχύος .

1) Δίοδοι ισχύος	Power diodes
2) Θυρίστορ	Thyristors
3) Διπολικά τρανζίστορ ισχύος	Power BJTs
4) MOSFETs ισχύος	Power MOSFETs
5) IGBTs ισχύος	Power IGBTs

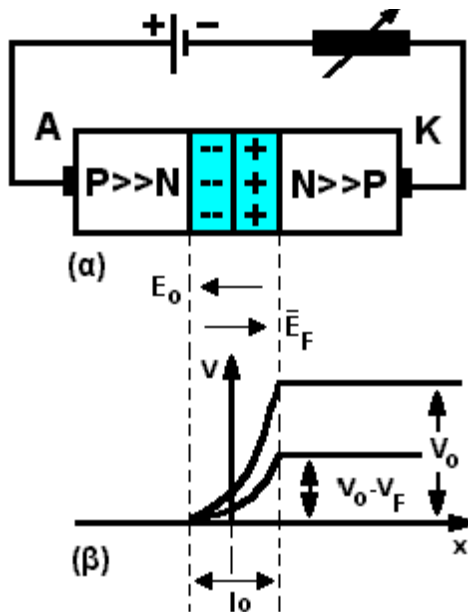
Διαπιστώνουμε μία μικρή πτώση τάσεως στα άκρα τους της τάξεως από 0,5 έως 1,2V (στην ορθή πόλωση) , με χρόνο ανάκτησης από 0,1 έως και 5 μs. Στις διατάξεις της ηλεκτρονικής ισχύος λειτουργούν ως διακόπτες , απομονωτές τάσης. Οι δίοδοι ισχύος έχουν σχεδόν τα ίδια χαρακτηριστικά με της απλές διόδους αλλά πολύ πιο μεγαλύτερες ικανότητες, αντοχές και επιδόσεις από την πλευρά της ισχύος της τάσης και του ρεύματος . Η συχνότητας λειτουργίας είναι πολύ μικρότερη από αυτή των απλών διόδων pn . Από την πλευρά της ιδιότητας και της χαρακτηριστικής της, καθορίζεται από την επαφή της διόδου P και N , την οποία μπορούμε να την πολώσουμε είτε ορθά είτε χωρίς πόλωση αλλά και ανάστροφα πολωμένη .

Έχουμε επαφή P – N :

1. Πολωμένη ορθά .
2. Χωρίς πόλωση .
3. Ανάστροφη πόλωση .

2.1 Πολωμένη ορθά .

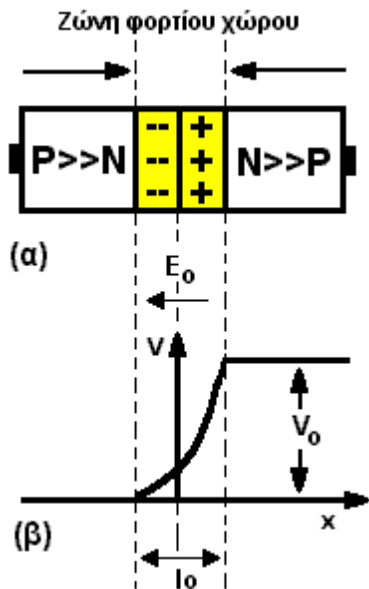
Όπως διαπιστώνουμε από την εικόνα [2.1] , έχουμε την περίπτωση επαφής πολωμένης ορθά . Εφαρμόζοντας μία εξωτερική τάση στα άκρα της διόδου (V_f) , δημιουργούμε στην περιοχή φορτίου χώρου ένα ηλεκτρικό πεδίο (E_f) και είναι αντίθετης φοράς του (E_o) . Έχουμε επομένως την ελάττωση του φράγματος δυναμικού , την ίδια διεύθυνση του (E_f) και η περιοχή του φορτίου χώρου να ελαττώνεται , αφήνοντας όμως αρκετή ενέργεια να περάσει . Όταν συμβαίνει αυτό τότε έχουμε μία επαφή αγώγιμη .



Εικόνα 2.1 : Δίοδος πολωμένα ορθά .

2.2 Χωρίς πόλωση .

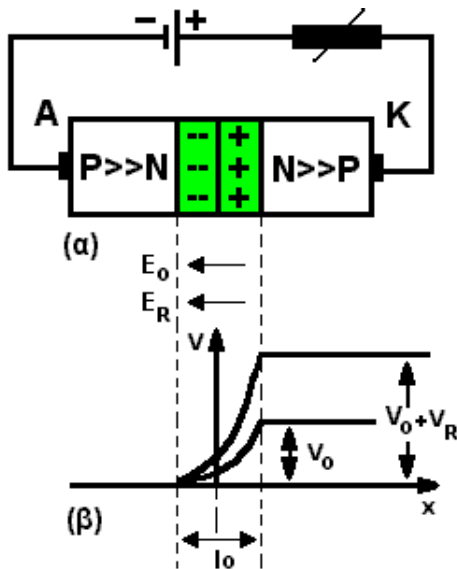
Επειδή η συγκέντρωση φορέων έχει διαφορά μέσα στις δύο περιοχές αφήνεται στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος να καθορίσει την διάχυση των φορέων στις δύο περιοχές , έτσι έχουμε την επανασύνδεση ηλεκτρονίων αλλά και οπών με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε ισορροπημένο αριθμό αρνητικών ιόντων και θετικών στις περιοχές (P – N) . Έχουμε λοιπόν και εδώ την δημιουργία ενός φράγματος δυναμικού (V_o) , εμποδίζοντας την μεταφορά των ηλεκτρονίων και των οπών από τις δύο περιοχές . Σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας εμφανίζεται ένα εσωτερικό φράγμα δυναμικού κοντά στην επαφή (περιοχή φορτίου χώρου) . Αυτή η περιοχή έχει μεγάλη αντίσταση (λόγω έλλειψης φορέων) , ενώ το πάχος της και τα ηλεκτρικά της χαρακτηριστικά είναι αποτέλεσμα διάφορων προσμίξεων , αυτό φαίνεται και στο σχέδιο που ακολουθεί , εικόνα [2.2] .



Εικόνα 2.2 Δίοδος χωρίς πόλωση .

2.3 Ανάστροφη πόλωση .

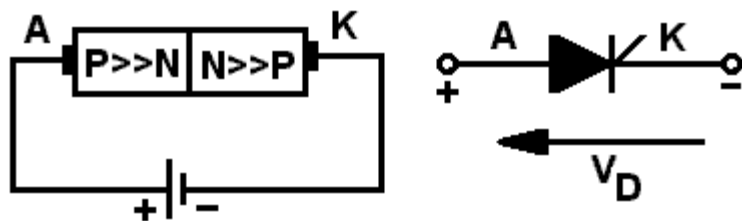
Όταν εφαρμόζουμε ανάστροφη εξωτερική τάση (V_R), εικόνα [2.3], έχουμε εσωτερικά της περιοχής φορτίου χώρου την δημιουργία ενός ηλεκτρικού πεδίου (E_R) ίδιας φοράς του E_0 . Το συνιστάμενο πεδίο καθορίζεται από την αύξηση πάχους της περιοχής ενώ το φράγμα δυναμικού αυξάνει την τιμή από V_0 σε $V_0 + V_R$. Όταν έχουμε αυτήν την περίπτωση μόνο ένας μικρός αριθμός φορέων μειονότητας θα διαπεράσει την επαφή υπό την επίδραση του συνιστάμενου ηλεκτρικού πεδίου .



Εικόνα 2.3 Δίοδος με ανάστροφη πόλωση .

Η δίοδος ισχύος είναι μία διάταξη δύο επαφών pn που επιτρέπει την διέλευση του ρεύματος πάντα κατά τη μία φορά από την άνοδο προς την κάθοδο. Απεικονίζεται μία δίοδος (επαφή P-N) και ο συμβολισμός της στην εικόνα [2.4].

ΔΙΟΔΟΣ ΙΣΧΥΟΣ



Εικόνα 2.4 Δίοδος ισχύος .

Δηλαδή συνοπτικά , εάν μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων που έχει η δίοδος δώσουμε μία τάση V_d στο A (+) και στο K (-) , τότε η δίοδος γίνεται αγωγίμη και το ρεύμα μεταφέρεται από το A προς το K και λέμε ότι η δίοδος είναι ορθά πολωμένη . Εάν τώρα η τάση στην δίοδο V_{AK} είναι αρνητική και έχουμε κατάσταση αποκοπής , τότε διαρρέεται από ένα πολύ μικρό ρεύμα διαρροής όπως λέγεται και είναι της τάξεως των microampere εάν συμβεί αυτό τότε λέμε ότι η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη .

2.4 Τα θυρίστορς και οι κατηγορίες τους .

Τα θυρίστορς ανήκουν σε μία μεγάλη ομάδα των ημιαγωγών στοιχείων ενώ ο όρος θυρίστορ χρησιμοποιείται κυρίως :

1. Για τον χαρακτηρισμό μίας ημιαγωγικής διάταξης δύο καταστάσεων (κατάσταση off και κατάσταση on) , που αποτελείται από τρεις και πάνω ενώσεις P-N .
2. Για την περιγραφή ενός ειδικού τύπου θυρίστορ , του ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου (SCR) .

Πίνακας 2.2 οι οκτώ κατηγορίες υποδιαίρεσης των θυρίστορ :

1.	Θυρίστορ εξαναγκασμένης μετάβασης	Forced commutated thyristor
2.	Θυρίστορ μετάβασης γραμμής	Line commutated thyristor
3.	GTO	Gate turn off thyristor
4.	RCI	Reverse conducting thyristor
5.	SITH	Static induction thyristor
6.	GATT	Gate assisted turn off thyristor
7.	LASCR	Light activated silicon controlled rectifier

8.	MCTs	Mos controlled thyristor
----	------	--------------------------

Σε όλες τις κατηγορίες των θυρίστορ έχουμε κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Αυτά είναι :

1. Αποτελούνται από τέσσερα ή περισσότερα επάλληλα στρώματα P-N, δηλαδή διαθέτουν τρεις ή περισσότερες ενώσεις PN.
2. Όπως αναφέραμε και παραπάνω όλα τα θυρίστορ είναι ημιαγωγικές διατάξεις που έχουν την δυνατότητα της ημιαγωγής από την κατάσταση (off) κλειστού σε κατάσταση (on) ανοιχτού, κατευθείαν και αντιστρόφως .
3. Έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν μεγάλα ποσά ενέργειας ενώ καταναλώνουν μικρά ποσά ισχύος ελέγχου (ειδικά αυτά που διαθέτουν περισσότερους από δύο ακροδέκτες) .
4. Οι χαρακτηριστικές της τάσεως στην ορθή φορά έχουν την ίδια γενική μορφή .
5. Σε καταστάσεις ανάστροφης πόλωσης συμπεριφέρονται σαν κοινοί δίοδοι με υψηλά ανάστροφα ρεύματα σε υψηλές ανάστροφες τάσεις συγκρίσιμες με την τάση αγωγιμότητας ορθής φοράς.,
6. Οι διατάξεις ανάστροφης πόλωσης έχουν συνήθως τέσσερα στρώματα PN, ενώ οι διατάξεις αντίστροφης αγωγιμότητας έχουν πέντε στρώματα .

Εφαρμογές των θυρίστορ :

Τα θυρίστορ και ιδιαίτερα τα μέλη που έχουν παραπάνω από δύο ακροδέκτες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στα κυκλώματα μετατροπής και ελέγχου της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι ημιαγωγικές διατάξεις καταλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών , τόσο στον χώρο της μικροηλεκτρονικής όσο και στον χώρο των ηλεκτρονικών ισχύος.

Οι κυριότερες εφαρμογές είναι :

- Μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας από εναλλασσόμενο σε συνεχές και αντίστροφα αλλά και σε άλλη μέση τιμή όμως και σε διαφορετικό πλάτος και συχνότητας . Σε τέτοιες διατάξεις υπάρχουν αντίστοιχα οι converters, τα inverters, τα choppers, οι cycloconverters, που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την ρύθμιση της ταχύτητας κινητήρων συνεχούς και εναλλασσομένου ρεύματος οικιακής ή βιομηχανικής χρήσης όπως είναι κινητήρες οχημάτων, τραίνων , για φόρτιση μπαταριών, για ρύθμιση του ρεύματος σε διατάξεις ηλεκτροσυγκόλλησης και ηλεκτρόλυσης, για ρύθμιση της τάσης σε τροφοδοτικά ισχύος .
- Χρησιμοποιούνται προς αντικατάσταση των ηλεκτρομηχανικών διατάξεων όπως ηλεκτρονόμων, dimmer λαμπτήρων, συστημάτων ανάφλεξης αυτοκινήτων και σε κυκλώματα προστασίας από υπερφορτίσεις.

- Χρησιμοποιούνται σε λογικά κυκλώματα, όπως υπολογιστές, διατάξεις συναγερμού, διατάξεις ελέγχου φωτισμού ασφαλείας.
- Κυκλώματα διαμόρφωσης γνωστά ως radar, γεννήτριες υπερηχητικών σημάτων, παλμοκυκλώματα Laser, και κυκλώματα οριζόντιας εκτροπής δεκτών TV.

Σε όλες αυτές τις εφαρμογές που έχουμε αναφερθεί πιο πάνω η ελεγχόμενη ισχύ μπορεί να φτάσει από μερικά mW έως και σε μερικές δεκάδες MW στις βιομηχανικές εφαρμογές.

Ιστορική αναδρομή της οικογένειας των thyristor :

Μέχρι και το 1960 τα μόνα thyristor που υπήρχαν ήταν η δίοδος τεσσάρων στρωμάτων (δίοδος SHOCKLEY) και ο ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου. Σήμερα βέβαια ο αριθμός των μελών της οικογένειας έχει αυξηθεί σημαντικά. Ακολουθεί ο πίνακας με τα χαρακτηριστικά στοιχεία της οικογένειας των thyristor πίνακας [2.3] και ο πίνακας με τον συμβολισμό των ημιαγωγών ισχύος [2.4].





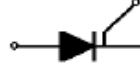
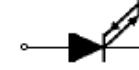
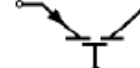




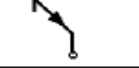

Πίνακας 2.3 τα χαρακτηριστικά στοιχεία των thyristorς .

ΧΑΡΑΚΗΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΦΕΡΟΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

ΤΥΠΟΣ ΗΜΙΑΓΩΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ		Τάση / Ρεύμα (V / A)	Μέγιστη συχνότητα Λειτουργίας (Hz)	Χρόνος Εναυσης (μsec)	Αντίσταση σε Κατάσταση αγωγής (Ω)
ΔΙΟΔΟΙ	General purpose	5000V / 5000A	1 K	100	0.16 m
	High speed	3000V / 1000A	10 K	2-5	1 m
	Schottky	100V / 300A	20 K	0.23	10 m
Forced turned-off Thyristors	Reverse blocking	5000V / 5000A	1 K	200	0.25 m
	High speed	1200V / 1500A	10 K	20	0.47 m
	Reverse blocking	2500V / 400A	5 K	40	2.16 m
	Reverse conducting	2500V / 1000A	5 K	40	2.1 m
	GATT	1200V / 400A	20 K	8	2.24 m
	Light triggered	600V / 1500A	400 K	200-400	0.53 m
TRIACs		1200V / 300A	400 K	200-400	3.57 m
Self turned-off Thyristors	GTO	4500V / 3000A	10 K	15	2.5 m
	SITH	4000V / 2200A	20 K	6.5	5.75 m
Power Transistors	Single	400V / 250A	20 K	9	4 m
		400V / 40A	20 K	6	31 m
		630V / 50A	25 K	1.7	15 m
	Darlington	1200V / 400A	10 K	30	10 m
SITs		1200V / 300A	100 K	0.55	1.2
Power MOSFETS	Single	500V / 8.6A	100 K	0.7	0.6
		1000V / 4.7A	100 K	0.9	2
		500V / 50A	100 K	0.6	0.4 m
IGBTs	Single	1200V / 400A	20 K	2.3	60 m
MCTs	Single	600V / 60A	20 K	2.2	18 m

Πίνακας 2.4 συμβολισμός των ημιαγωγών ισχύος .

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

 Diode	 DIODE SCHOKLEY
 DIAC	 Thyristor
 SITH	 GTO
 MCT	 TRIAC
 LASCR	 NPN BJT
 IGBT	 N-Chanel MOSFET
 SIT	

Κεφάλαιο 3

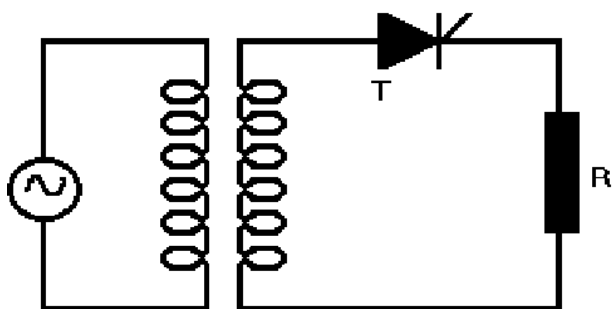
Ανορθωτές

Οι ανορθωτές είναι διατάξεις οι οποίες μετατρέπουν μια εναλλασσόμενη ισχύ εισόδου σε μία συνεχή ισχύ εξόδου .

Οι μετατροπείς χρησιμοποιούν στα κυκλώματά τους ως ημιαγωγούς διακόπτες, τις διόδους και τα θυρίστρος .Όταν χρησιμοποιούν μόνο διόδους τότε ονομάζονται μη ελεγχόμενες και από μια εναλλασσόμενη τάση εισόδου παράγουν στην έξοδο τους μία συνεχή αλλά σταθερή τάση , εάν όμως χρησιμοποιούν θυρίστρον τότε ονομάζονται πλήρως ελεγχόμενες επειδή παράγουν στην έξοδο τους συνεχή τάση η οποία τώρα είναι ρυθμιζόμενη.

Ακόμα μία κατηγορία είναι όταν στις διατάξεις τους έχουν και διόδους αλλά και θυρίστρον τότε έχουμε μία συνεχή ρυθμιζόμενη τάση εξόδου και ονομάζονται ημιελεγχόμενες.

Όπως αναφέραμε ένας ανορθωτής είναι μία διάταξη που μετατρέπει το εναλλασσόμενο σε συνεχές. Η πιο απλή διάταξη είναι αυτή της εικόνας [3.1] όπου φαίνεται το κύκλωμα ενός τέτοιου μετατροπέα για την περίπτωση που το φορτίο είναι ωμικό και για γωνία πυροδότησης $\varphi=0^\circ$.



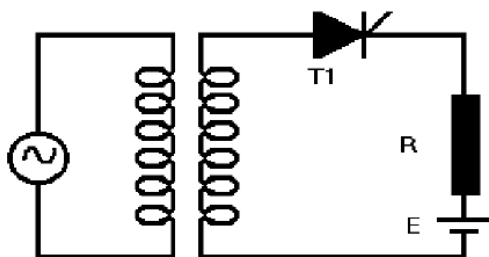
Εικόνα 3.1 κύκλωμα μετατροπέα με φορτίο ωμικό και γωνία πυροδότησης $\varphi = 0^\circ$.

3.1 Κύκλωμα φορτίου και πηγής συνεχούς ρεύματος :

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης της πηγής συνεχούς ρεύματος E σε σχέση με την φορά διέλευσης του ρεύματος διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

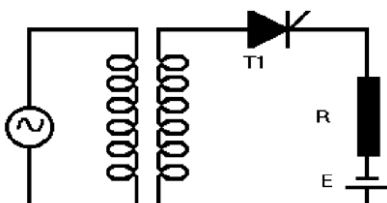
1. Η πηγή είναι συνδεδεμένη όπως φαίνεται στο σχήμα [3.2] . Σε αυτήν την περίπτωση η διάταξη λειτουργεί ως ανορθωτής, αφού έχουμε μεταφορά ενεργού ισχύος από την πλευρά του εναλλασσόμενου προς την πλευρά του συνεχούς

ρεύματος και η πηγή παίζει τον ρόλο της αντιηλεκτρεγερτικής δύναμης.



Εικόνα 3.2 Φορτίο ωμικό .

2. Η πηγή είναι συνδεδεμένη όπως φαίνεται στο σχήμα [3.3] . Στην περίπτωση αυτή η διάταξη λειτουργεί ως αναστροφέας, αφού έχουμε μεταφορά ισχύος από την πλευρά του συνεχούς προς την πλευρά του εναλλασσομένου ρεύματος και η πηγή παίζει τον ρόλο της ηλεκτρεγερτικής δύναμης.



Εικόνα 3.3 διάταξη αναστροφέα .

3.2 Είδη ανορθωτή

Η μετατροπή αυτή γίνεται με συνδυασμό τριών διατάξεων: του μετασχηματιστή, της ανορθωτικής διάταξης και του φίλτρου εξομάλυνσης.

Ο μετασχηματιστής υποβιβάζει ή ανυψώνει την εναλλασσόμενη τάση μέχρι την επιθυμητή τιμή.

Η ανορθωτική διάταξη επιτρέπει τη διέλευση του ρεύματος μόνο κατά μία φορά, δίνει δηλαδή ρεύμα ημιανορθωμένο. Αυτή του είδους η ανόρθωση είναι ανεπαρκής για πολλές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές.

Με τη χρήση του φίλτρου εξομάλυνσης οι διακυμάνσεις του ρεύματος είναι πολύ μικρές και το ρεύμα είναι πρακτικά συνεχές. Τα φίλτρα εξομάλυνσης αποτελούνται από πυκνωτές και αντιστάσεις. Είναι δηλαδή ηλεκτρικά κυκλώματα που εμποδίζουν τη διέλευση των εναλλασσόμενων ρευμάτων οποιασδήποτε συχνότητας εκτός από το προς κατανάλωση συνεχές ρεύμα.

Όλοι οι ανορθωτές παρά τις διαφορές τους στην εμφάνιση, μέγεθος και στην αρχή λειτουργίας τους, έχουν μια κοινή ιδιότητα: είναι αγωγοί στο ηλεκτρικό ρεύμα προς μια ορισμένη κατεύθυνση και καθόλου αγωγοί προς την αντίθετη κατεύθυνση. Οι κυριότεροι τύποι ανορθωτών είναι οι ακόλουθοι:

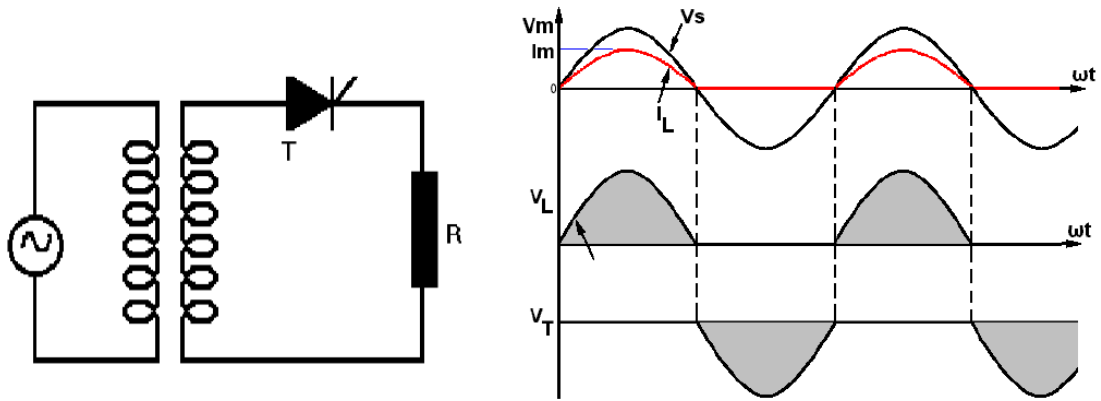
1. Ο ανορθωτής υδραργύρου. Είναι ο πιο συνηθισμένος στην τεχνική των ισχυρών ρευμάτων. Ο ανορθωτής αυτός αποτελείται από ένα γυάλινο δοχείο σε σχήμα αναποδογυρισμένου αχλαδιού και άδειο από αέρα, με δύο (για μονοφασικό ρεύμα) ή με τρεις (για τριφασικό) πλευρικούς βραχίονες. Οι βραχίονες αυτοί, που είναι κατασκευασμένοι από γραφίτη, αποτελούν την άνοδο. Η κάθοδος σχηματίζεται από υδράργυρο, που βρίσκεται στο κάτω μέρος του δοχείου. Για την τροφοδότησή του χρησιμοποιούμε πάντα μετασχηματιστή. Κατά τη λειτουργία του παρουσιάζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων του (άνοδος - κάθοδος) μια εκκένωση, που οφείλεται στους ατμούς του υδραργύρου, που σχηματίζονται μέσα στο δοχείο. Χάρη στην ιδιόμορφη αυτή εκκένωση ο ανορθωτής λειτουργεί σαν βαλβίδα. Γίνεται αγωγίμος, μόνον όταν το ρεύμα έχει ορισμένη φορά. Αν το ρεύμα αναστραφεί, ο ανορθωτής παρουσιάζει σ' αυτό πολύ μεγάλη αντίσταση και το ρεύμα μηδενίζεται πρακτικά.
2. Ο ξηρός ανορθωτής που χρησιμοποιείται σήμερα στις διάφορες εφαρμογές των ισχυρών ρευμάτων, αποτελείται από δυο μεταλλικές πλάκες χωρισμένες από ένα ημιαγωγό στρώμα. Στον ανορθωτή υποξειδίου του χαλκού, το ημιαγωγό στρώμα αποτελείται από υποξείδιο του χαλκού. Στον ανορθωτή σεληνίου, το ημιαγωγό στρώμα είναι από σελήνιο. Οι ανορθωτές αυτοί δεν αντέχουν σε υψηλές τάσεις ούτε σε υπερθέρμανση, γιατί καταστρέφεται το ημιαγωγό στρώμα.
3. Η διοδική λυχνία κενού. Σ' αυτή, για την ανόρθωση του εναλλασσόμενου ρεύματος, γίνεται εκμετάλλευση της ιδιότητάς της να είναι αγωγίμη, μόνον όταν η άνοδος έχει θετικό δυναμικό ως προς την κάθοδο.
4. Χρησιμοποιήθηκε κάποτε και ο ηλεκτρολυτικός ανορθωτής. Σήμερα ο ανορθωτής αυτός δε χρησιμοποιείται σχεδόν καθόλου.

Κεφάλαιο 4 Μονοφασικοί ανορθωτές .

4.1 Μονοφασικός ανορθωτής .

4.1.1 Μονοφασικός ανορθωτής με φορτίο καθαρά ωμικό .

Ο ανορθωτής είναι μία διάταξη που μετατρέπει το εναλλασσόμενο σε συνεχές , ο μονοφασικός ανορθωτής μετατρέπει το μονοφασικό ρεύμα εναλλασσόμενο σε συνεχές ρεύμα . Μία απλή διάταξη είναι αυτή της εικόνας [4.1] όπου φαίνεται το κύκλωμα ενός τέτοιου μετατροπέα για την περίπτωση που το φορτίο είναι ωμικό και για γωνία πυροδότησης $\varphi=0^\circ$. Στην ίδια εικόνα φαίνονται οι κυματομορφές της τάσης εισόδου, της τάσης στα άκρα του φορτίου και τέλος στα άκρα του θυρίστορ για $\varphi=0^\circ$. Από αυτές παρατηρούμε πως στη διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου της τάσης εισόδου, το θυρίστορ είναι ορθά πολωμένο και πυροδοτείται από το κύκλωμα παλμοδότησης για γωνία 0° , οπότε η τάση εισόδου εμφανίζεται στο φορτίο. Κατά την διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου της τάσης εισόδου το θυρίστορ είναι ανάστροφα πολωμένο και είναι σε κατάσταση αποκοπής (εκτός λειτουργίας). Στην περίπτωση αυτή η τάση στο φορτίο θα είναι μηδέν. Αντίθετα η τάση στα άκρα του θυρίστορ θα είναι μηδέν στην διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου (στην πραγματικότητα είναι περίπου 1V το οποίο βεβαίως θεωρείται αμελητέο μπροστά στο πλάτος της τάσης εισόδου που για την περίπτωση του δικτύου είναι περίπου 310 V) και ίση με την τάση εισόδου στην διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου.

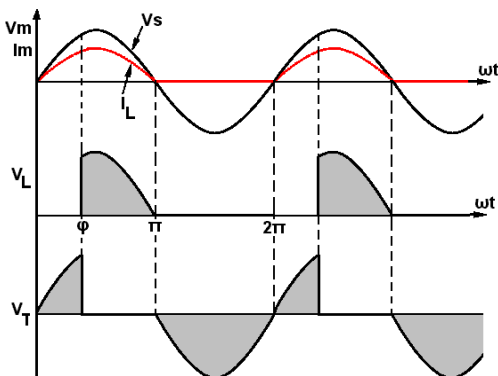


Εικόνα 4.1 Μονοφασικός ανορθωτής με φορτίο καθαρά ωμικό .

4.1.2 Φορτίο καθαρά ωμικό .

Στην περίπτωση αυτή η πυροδότηση γίνεται για γωνία $\varphi > 0^\circ$ που σημαίνει πως το θυρίστορ ενώ είναι ορθά πολωμένο η έναυση γίνεται με καθυστέρηση φ και επομένως η τάση στο φορτίο θα είναι τμήμα της θετικής ημιπεριόδου της ημιτονοειδούς τάσης του δικτύου. Στην εικόνα [4.2] φαίνονται οι κυματομορφές της τάσης εισόδου, της τάσης στα άκρα του φορτίου και τέλος στα άκρα του θυρίστορ για $\varphi > 0^\circ$ και στην εικόνα [4.3] χαρακτηριστική ελέγχου του μετατροπέα για διάφορες γωνίες πυροδότησης.

Η διάταξη αυτή δεν χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της μεγάλης κυμάτωσης εξόδου.



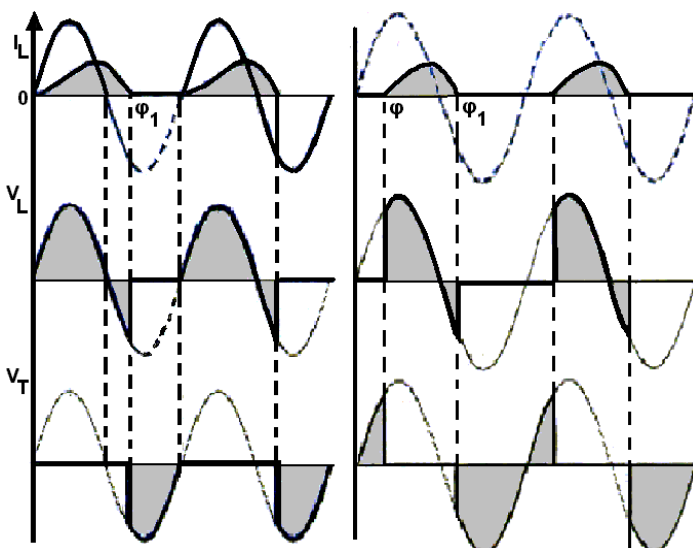
Εικόνα 4.2 Κυματομορφές μονοφασικού μετατροπέα ενός παλμού με φορτίο ωμικό $\varphi > 0^\circ$.



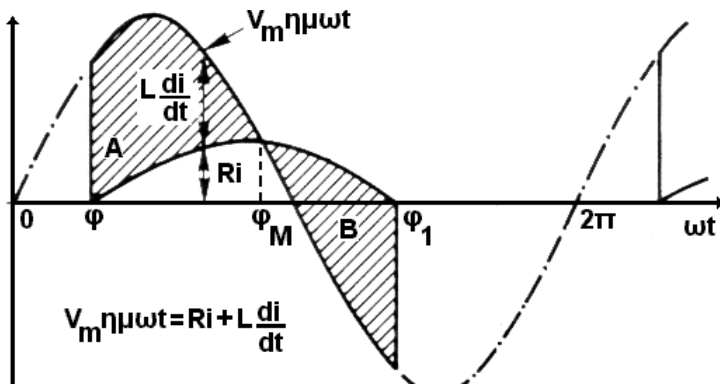
Εικόνα 4.3 Χαρακτηριστική ελέγχου του μετατροπέα για διάφορες γωνίες πυροδότησης.

4.1.3 Φορτίο ωμικό – επαγωγικό .

Στην περίπτωση που το φορτίο είναι ωμικό επαγωγικό, η συνάρτηση του ρεύματος δεν είναι πλέον καθαρά ημιτονοειδής, αλλά υπάρχει και ένας φθίνων εκθετικός όρος. Όπως στην περίπτωση του καθαρά επαγωγικού φορτίου έτσι και εδώ δεν υπάρχει περιορισμός στην περιοχή λειτουργίας του μετατροπέα, πράγμα που σημαίνει ότι η γωνία έναυσης του θυρίστορ μπορεί να μεταβάλλεται μεταξύ 0° και 180° . Στην εικόνα [4.4] βλέπουμε τις κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος στο φορτίο και της τάσης στα άκρα του θυρίστορ για την περίπτωση που το φορτίο είναι ωμικό επαγωγικό και για γωνία $\varphi=0^\circ$ ενώ στην εικόνα [4.5] βλέπουμε τις αντίστοιχες κυματομορφές για γωνία πυροδότησης μεγαλύτερης των 0° .



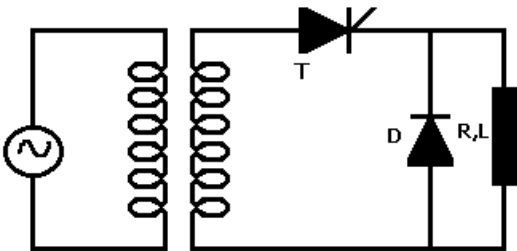
Εικόνα 4.4 Πυροδότηση για **α)** $\varphi = 0^\circ$ και **β)** $\varphi = 60^\circ$.



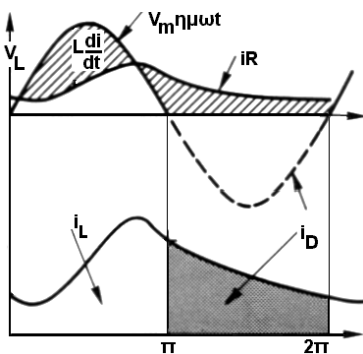
Εικόνα 4.5 Απλή μονοφασική ανόρθωση με φορτίο ωμικό – επαγωγικό .

4.1.4 Φορτίο ωμικό - επαγωγικό με δίοδο ελεύθερης ροής .

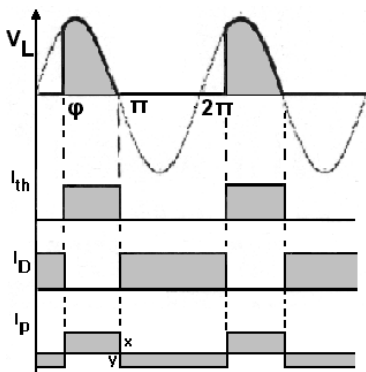
Στην εικόνα [4.6] βλέπουμε έναν μονοφασικό μετατροπέα με δίοδο ελεύθερης ροής, ενώ οι εικόνες [4.7] και [4.8] δείχνουν πώς η παρουσία της επηρεάζει τις κυματομορφές τάσης και ρεύματος, όταν το φορτίο είναι ωμικό επαγωγικό ή άπειρο επαγωγικό. Στην θετική ημιπερίοδο της τάσης του δικτύου η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη και επομένως βρίσκεται στην κατάσταση της αποκοπής. Επειδή όμως το φορτίο δεν είναι ωμικό, το θυρίστορ εξακολουθεί να άγει και πέρα από τις 180° , οπότε η τάση του δικτύου αλλάζει πολικότητα και η δίοδος πολώνεται ορθά. Στην κατάσταση αυτή η τάση στο φορτίο γίνεται ίση με τη πτώση τάσης στα άκρα της ορθά πολωμένης δόδου, δηλαδή $0.7V$ πράγμα που είναι ασήμαντο μπροστά στο πλάτος της τάσης του δικτύου. Ο ρόλος λοιπόν της δόδου είναι να προλαμβάνει την εμφάνιση αρνητικής τάσης στο φορτίο και να την κόβει .



Εικόνα 4.6 Απλή μονοφασική ανόρθωση με φορτίο ωμικό – επαγωγικό.



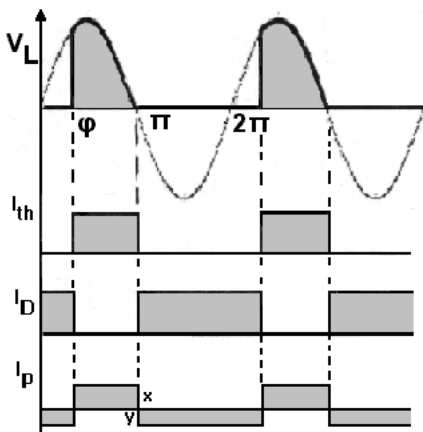
Εικόνα 4.7 Μονοφασικός μετατροπέας με δίοδο ελεύθερης ροής και φορτίο ωμικό επαγωγικό .



Εικόνα 4.8 Μονοφασικός μετατροπέας με δίοδο ελεύθερης ροής και φορτίο άπειρο επαγωγικό και γωνία πυροδότησης $\phi=60^\circ$.

4.1.5 Φορτίο άπειρο επαγωγικό με δίοδο ελεύθερης ροής .

Στην περίπτωση αυτή το ρεύμα στο φορτίο θεωρείται συνεχές και ίσο με I_{dc} . Το ρεύμα λοιπόν στο θυρίστορ αλλά και στη δίοδο ελεύθερης ροής θα είναι τετραγωνικός παλμός με πλάτος I_{dc} . Στην εικόνα [4.9] φαίνονται οι κυματομορφές της τάσης στο φορτίο και του ρεύματος μέσα από το θυρίστορ και την δίοδο ελεύθερης ροής στην περίπτωση του άπειρου επαγωγικού φορτίου.



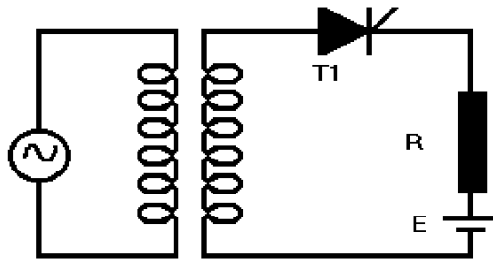
Εικόνα 4.9 Μονοφασικός μετατροπέας με δίοδο ελεύθερης ροής και φορτίο άπειρο επαγωγικό και γωνία πυροδότησης $\phi=60^\circ$.

4.1.6 Φορτίο και πηγή συνεχούς .

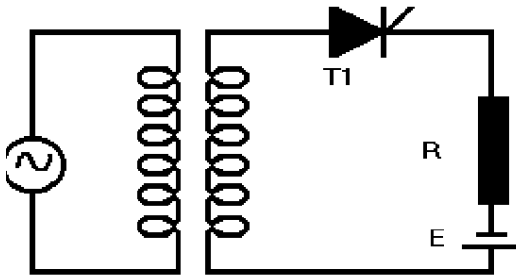
Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης της πηγής συνεχούς ρεύματος E σε σχέση με την φορά διέλευσης του ρεύματος διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

1. Η πηγή είναι συνδεδεμένη όπως φαίνεται στην εικόνα [4.10] . Στην περίπτωση αυτή η διάταξη λειτουργεί σαν ανορθωτής, αφού έχουμε μεταφορά ενεργού ισχύος από την πλευρά του εναλλασσομένου προς την πλευρά του συνεχούς ρεύματος και η πηγή παίζει τον ρόλο της αντιηλεκτρεγερτικής δύναμης.
2. Η πηγή είναι συνδεδεμένη όπως φαίνεται στην εικόνα [4.11] . Στην περίπτωση αυτή η διάταξη λειτουργεί σαν αναστροφέας, αφού έχουμε μεταφορά ισχύος από την

πλευρά του συνεχούς προς την πλευρά του εναλλασσομένου ρεύματος και η πηγή παίζει τον ρόλο της ηλεκτρεγερτικής δύναμης.



Εικόνα 4.10 Φορτίο ωμικό με Α.Η.Ε.Δ .

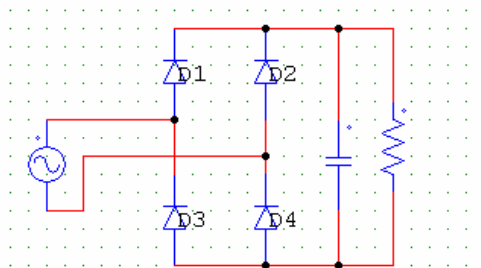


Εικόνα 4.11 Φορτίο ωμικό με Η.Ε.Δ .

4.1.7 Μη ελεγχόμενοι ανορθωτές .

Η μονοφασική ανορθωτική γέφυρα είναι από τις πιο απλές αλλά συχνά χρησιμοποιούμενες διατάξεις ισχύος . Η τάση εισόδου της γέφυρας είναι η ημιτονοειδής τάση του δικτύου . Η κυμάτωση στην έξοδο μπορεί να ελαττωθεί με την προσθήκη του πυκνωτή .

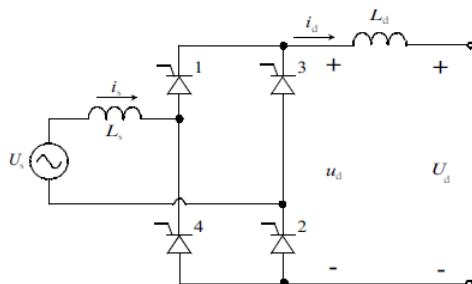
Η μονοφασική ανορθωτική γέφυρα χρησιμοποιείται σε όλα τα τροφοδοτικά οικιακών συσκευών που απαιτούν συνεχή τάση για να λειτουργήσουν και από ισχύ μερικών Watt . Όμως σε βιομηχανικό επίπεδο η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται μόνο για μικρή ισχύ . Η χρήση σε μεγαλύτερη ισχύ αποφεύγεται γιατί έχουμε κυμάτωση της τάσης εξόδου που δημιουργεί απαίτηση για ογκώδες διατάξεις εξομάλυνσης . Στην εικόνα [4.1.12] παρουσιάζεται η μονοφασική ανορθωτική διάταξη με διόδους, μη ελεγχόμενη .



Εικόνα 4.1.12 Μονοφασική ανορθωτική διάταξη με διόδους, μη ελεγχόμενη .

4.1.8 Ελεγχόμενοι ανορθωτές .

Μία τυπική διάταξη μονοφασικής γέφυρας βλέπουμε στην εικόνα [4.1.13] με τέσσερα θυρίστορ . Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της γέφυρας αυτής είναι η μεγάλη κυμάτωση στην τάση εξόδου και για τον λόγο αυτόν απαιτείται η χρήση διάταξης εξομάλυνσης στην έξοδο .



Εικόνα 4.1.13 Ελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα ανόρθωσης .

Κεφάλαιο 5

Τριφασικοί ανορθωτές γενικά (είδη – χρήσεις) .

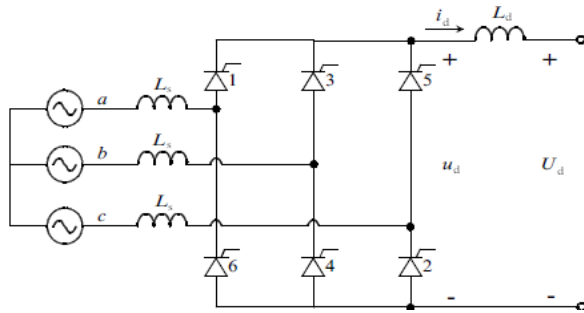
5.1 Τριφασικοί ανορθωτές (μη ελεγχόμενοι) .

Η τριφασική ανορθωτική γέφυρα παράγει στην έξοδο της μία συνεχή τάση πολύ καλής ποιότητας με ελάχιστες κυματώσεις (η κυμάτωση χωρίς εξομάλυνση είναι μόλις 6,5%) . Αφού στους βιομηχανικούς χώρους είναι δεδομένη η ύπαρξη τριφασικής παροχής , η τριφασική γέφυρα χρησιμοποιείται κατά κόρον σε βιομηχανικές εφαρμογές . Την χρησιμοποιούμε όπου χρειαζόμαστε συνεχή τάση σταθερού πλάτους . Επίσης αποτελεί την διάταξη που τροφοδοτεί τους αντιστροφείς ισχύος με την συνεχή τάση που χρειάζονται για την λειτουργία τους .

5.2 Τριφασικοί ανορθωτές (ελεγχόμενοι) .

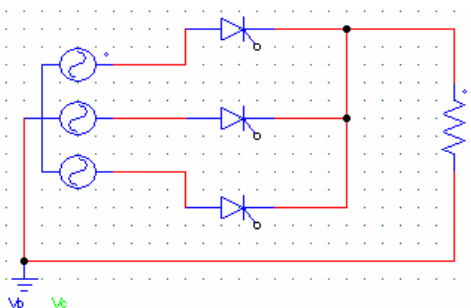
Στην εικόνα [5.2.1] παρουσιάζεται η τοπολογία της τριφασικής γέφυρας με έξι θυρίστορ . Μεταβάλλοντας την γωνία έναυσης των θυρίστορ μπορούμε να ελέγξουμε το πλάτος της τάσης εξόδου της γέφυρας . Αν στην έξοδο είναι συνδεδεμένο ένα ενεργητικό φορτίο (φορτίο που μπορεί να προσφέρει ισχύ) , η γέφυρα είναι δυνατόν να λειτουργήσει και ως αντιστροφήας προσφέροντας ισχύ στο δίκτυο τροφοδοσίας . Η τριφασική ανορθωτική γέφυρα με θυρίστορ αποτελεί βέλτιστη λύση για μετατροπή ισχύος από εναλλασσόμενη τάση σε συνεχής τάση . Χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία στην βιομηχανία σε ηλεκτροχημικές διαδικασίες όπως επιμεταλλώσεις , ανοδίωση

, παραγωγή υγραερίου , επεξεργασία αλουμινίου και επεξεργασία μετάλλων γενικότερα , στον έλεγχο μηχανών συνεχούς ρεύματος , στην μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας με συνεχές ρεύμα , σε ηλεκτρομαγνήτες , φορτιστές διαφόρων ειδών και σε πολλές ακόμα εφαρμογές .



Εικόνα 5.2.1 Ελεγχόμενη ανόρθωτική γέφυρα .

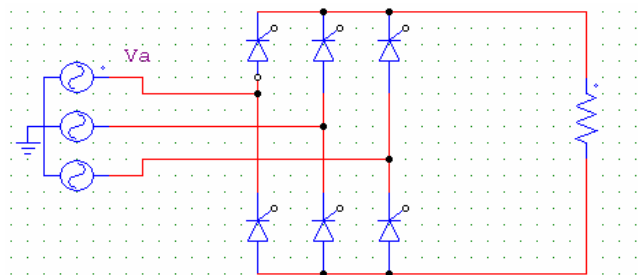
Στην εικόνα [5.2.2] παρουσιάζεται μια τριφασική ελεγχόμενη ανόρθωση κοινού σημείου. Η συνδεσμολογία δείχνει πως κάθε φάση εισόδου συνδέεται με ένα θυρίστορ. Οι κυματομορφές της ανόρθωσης αυτής παρουσιάζονται στην ίδια εικόνα . Εάν την τάση εισόδου αποτελούσαν m αριθμός φάσεων τότε η τάση εξόδου για κάθε κύκλο λειτουργίας έχει m αριθμό παλμών. Όταν αυξάνεται ο αριθμός των φάσεων αυξάνεται και ο αριθμός των παλμών της τάσης εξόδου, ενώ μειώνεται η κυμάτωση της τάσης εξόδου. Επομένως αν εφαρμοστεί κάποιο φίλτρο εξόδου για τη μείωση της κυμάτωσης αυτής, το μέγεθος του θα μειώνεται σε σχέση με την αύξηση του αριθμού φάσεων m . Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί, πως αυξάνοντας τον αριθμό φάσεων m αυξάνει ο αριθμός των θυρίστορ και το κόστος της ανόρθωσης, ενώ μειώνεται η αξιοπιστία του συστήματος. Το σοβαρότερο μειονέκτημα της ανόρθωσης αυτής, η οποία για την περίπτωση της τριφασικής εισόδου ονομάζεται και ανόρθωση τριών παλμών, αποτελεί η δημιουργία ρευμάτων εισόδου που περιέχουν συνεχή συνιστώσα, πράγμα που δημιουργεί το πρόβλημα του μαγνητικού κορεσμού, εφόσον στην είσοδο της χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με τη χρήση ενός μετασχηματιστή, του οποίου τα τυλίγματα του δευτερεύοντος είναι συνδεδεμένα σε συνδεσμολογία Zig-Zag.



Εικόνα 5.2.2 Τριφασική ανόρθωση κοινού σημείου, με φορτίο R και κυματομορφές τάσεων εισόδου και ρεύματος εξόδου, με $\alpha=0^\circ$.

5.3 Ελεγχόμενη τριφασική ανόρθωση σε συνδεσμολογία γέφυρας.

Το κύκλωμα της ανόρθωσης αυτής, το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα [5.3] , αποτελεί μια από τις καλύτερες επιλογές στη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές. Αυτό οφείλεται στις δυνατότητες παροχής υψηλής ισχύος εξόδου και της μικρής κυμάτωσης της τάσης εξόδου. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της ανόρθωσης αυτής είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής εισόδου χωρίς να υπάρχει το πρόβλημα του μαγνητικού κορεσμού, όπως στην περίπτωση της τριφασικής ανόρθωσης κοινού σημείου. Για κάθε περίοδο της τάσης εισόδου η τάση εξόδου αποτελείται από έξι παλμούς. Για το λόγο αυτό η ανόρθωση αυτή ονομάζεται πολλές φορές ανόρθωση έξι παλμών ή 6-παλμική ανορθωτική διάταξη.



Εικόνα 5.3 Ελεγχόμενη τριφασική ανόρθωση σε συνδεσμολογία γέφυρας, με φορτίο R (ωμικό) και κυματομορφές τάσεων εισόδου, τάσης και ρεύματος εξόδου .

Η τριφασική γέφυρα πλήρως ελεγχόμενη αποτελείται από διάφορα βασικά μέρη όπως :

- Ο μετασχηματιστής (τριφασικός και συνδεσμολογία τρίγωνου) , εικόνες [5.4] .
- Η γέφυρα (η οποία μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχές τάση) , εικόνα [5.5.1] .
- Το ροοστάτη (με τον οποίο ρυθμίζουμε την επιθυμητή τάση εξόδου συνεχές ρεύματος) , εικόνα [5.6.3] .
- Η ενδεικτική λυχνία λειτουργίας εικόνα [5.6.3.] .
- Ο γενικός διακόπτης λειτουργίας (κατάσταση on – off) εικόνα [5.6.3] .
- Την ενδεικτική λυχνία μεταβολής της τάσης από 0v έως και 220v εικόνα [5.6.3].
- Ασφάλεια διάταξης εικόνα [5.6.3] .
- Τον μετρητή της τάσης (voltmetro από 0 έως 300 volt) , εικόνες [5.6.3] και [5.6.4] (και πίσω πλευρά του μετρητή , πλευρά της συνδεσμολογίας του voltmetro) .
- Τους ακροδέκτες (μπόρνες , στις οποίες συνδέουμε το επιθυμητό μηχανήμα συνεχούς ρεύματος στο οποίο επιθυμούμε να δώσουμε ισχύ) , εικόνες [5.9] .

5.4 Ο μετασχηματιστής της τριφασικής γέφυρας .



Εικόνα 5.4 Ο μετασχηματιστής της τριφασικής γέφυρας .

Πρόκειται για έναν μετασχηματιστή τριών φάσεων στην είσοδο του , είναι συνδεσμολογίας τρίγωνου . Ανήκει στην κατηγορία του βιομηχανικού τύπου μετασχηματιστών , λειτουργεί από 400v με τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα και δίνει έξοδο 220v εναλλασσόμενου ρεύματος και δέχεται 300VA . Ουσιαστικά πρόκειται για τρεις μονοφασικούς μετασχηματιστές, στους οποίους συνδέουμε τα άκρα κατάλληλα. Κάθε μονοφασικός μετασχηματιστής μπορεί να έχει το δικό του πυρήνα, ή εναλλακτικά μπορούν και οι τρεις να μοιράζονται τον ίδιο. Για να προκύψει ο τριφασικός μετασχηματιστής ενώνονται τα τυλίγματα σε κάθε πλευρά (Υψηλή Τάση/Χαμηλή Τάση) με συγκεκριμένο τρόπο .Τα τυλίγματα σε κάθε πλευρά μπορούν να συνδεθούν σε:

- Αστέρα
- Τρίγωνο
- Τεθλασμένο Αστέρα (Ζιγκ-Ζαγκ) .

Ονοματολογία τριφασικών μετασχηματιστών:

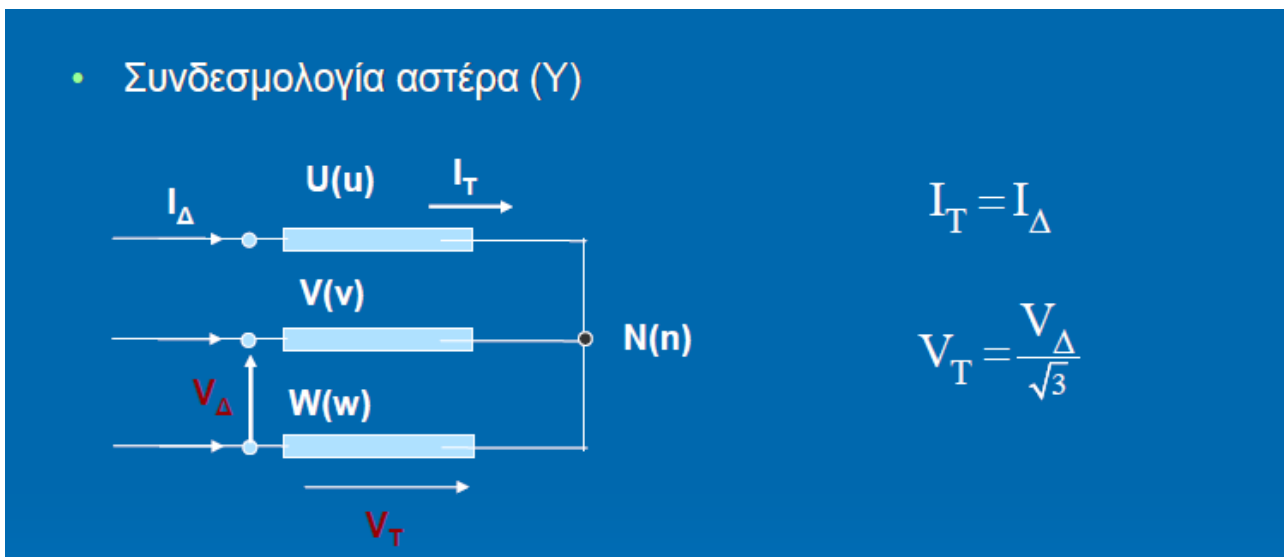
• **A:** Αναφέρεται στη σύνδεση των τυλιγμάτων στην πλευρά της YT. Οι δυνατές περιπτώσεις είναι:

- **Y:** Σύνδεση τυλιγμάτων κατά αστέρα
- **D:** Σύνδεση τυλιγμάτων κατά τρίγωνο
- **Z:** Σύνδεση τυλιγμάτων κατά ζιγκ-ζαγκ
- **N:** Υπάρχει όταν στην πλευρά της YT υπάρχει ουδέτερος

• **b:** Αναφέρεται στη σύνδεση των τυλιγμάτων στην πλευρά της XT. Οι δυνατές περιπτώσεις είναι:

- **y:** Σύνδεση τυλιγμάτων κατά αστέρα
- **d:** Σύνδεση τυλιγμάτων κατά τρίγωνο
- **z:** Σύνδεση τυλιγμάτων κατά ζιγκ-ζαγκ

- **n**: Υπάρχει όταν στην πλευρά της XT υπάρχει ουδέτερος
 - **k**: Λόγω της συνδεσμολογίας των τυλιγμάτων κάθε πλευράς στους μετασχηματιστές, τα διανύσματα τάσης της XT ακολουθούν αυτά της YT .
 - **Παράδειγμα**: Οι πιο συνηθισμένοι τύποι μετασχηματιστών στη βιομηχανία είναι οι:
 - **Dyn5**: Στην πλευρά της YT τα τυλίγματά του είναι συνδεδεμένα κατά τρίγωνο, στην πλευρά της XT κατά αστέρα (με ουδέτερο), και τα διανύσματα τάσης της XT ακολουθούν αυτά της YT κατά 150° (αριθμός $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$).
 - **Dyn11**: Ίδιες συνδεσμολογίες με τον προηγούμενο, αλλά τα διανύσματα τάσης της XT ακολουθούν αυτά της YT κατά 330° (αριθμός $11 \cdot 30^\circ = 330^\circ$).
- Στις εικόνες [5.5] , [5.6] και [5.7] έχουμε τις τρεις κατηγορίες των τριφασικών μετασχηματιστών βιομηχανικού τύπου που χρησιμοποιούνται σε ευρύ κλίμακα .

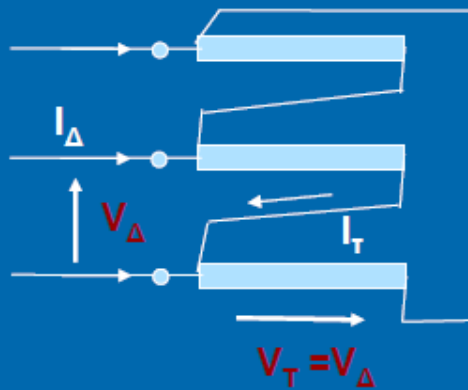


Εικόνα 5.5 Συνδεσμολογία τριφασικού μετασχηματιστή κατά αστέρα .

Με Δ χαρακτηρίζονται τα μεγέθη (τάσεις \ ρεύματα) του δικτύου ενώ με T τα αντίστοιχα των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή . Πλεονεκτήματα :

- Τα τυλίγματα έχουν μικρότερη τάση από αυτή του δικτύου .
- Υπάρχει και ουδέτερος άρα και δυνατότητα επιπλέον ασφάλειας .

- Συνδεσμολογία τριγώνου (D)



$$V_T = V_{\Delta}$$

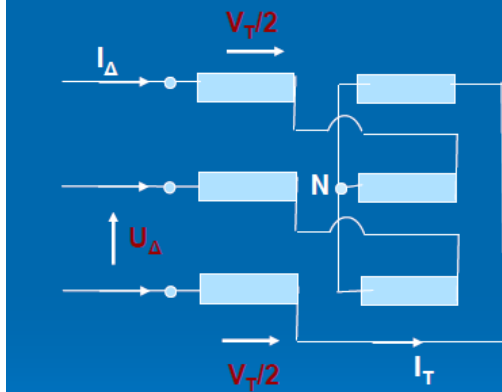
$$I_T = \frac{I_{\Delta}}{\sqrt{3}}$$

Εικόνα 5.6 Συνδεσμολογία τριφασικού μετασχηματιστή κατά τρίγωνο .

Πλεονεκτήματα :

- Μικρό ρεύμα τυλιγμάτων .
- Δεν επιτρέπει την διέλευση κάποιων παρασιτικών τάσεων και ρευμάτων

- Συνδεσμολογία τεθλασμένου αστέρα (Ζιγκ-Ζαγκ) (Z)



$$I_T = I_{\Delta}$$

$$V_T = \frac{2}{3} V_{\Delta}$$

Εικόνα 5.7 Συνδεσμολογία τριφασικού μετασχηματιστή κατά ζιγκ – ζαγκ .

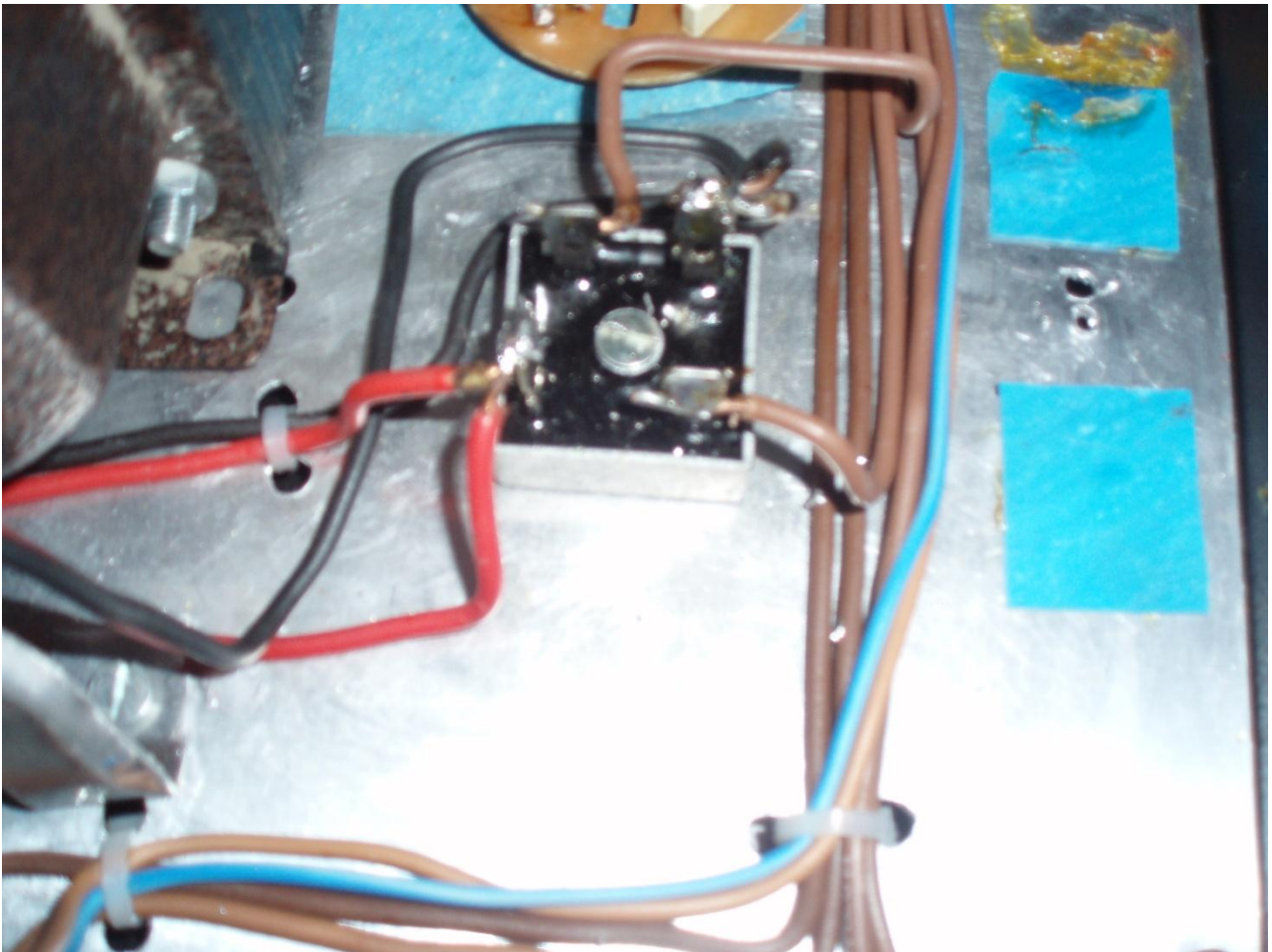
Ανάλογα με την διάταξη που έχουμε επιλέγουμε και τον εκάστοτε μετασχηματιστή , ο μετασχηματιστής μπορεί να λειτουργήσει στην ονομαστική του φορτίσει για τις εξής συνθήκες :

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος < 40 βαθμούς κελσίου .
- Μέση ετήσια θερμοκρασία < 20 βαθμούς κελσίου .
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία < 30 βαθμούς κελσίου .
- Υψόμετρο εγκατάστασης < 1000m .

Για διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας , η φόρτιση του μετασχηματιστή πρέπει να μειωθεί κατά συγκεκριμένους συντελεστές που αναγράφονται σε διάφορα βιβλία του κάθε εκάστοτε μετασχηματιστή .

5.5Η γέφυρα (μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές).

Η γέφυρα είναι υπεύθυνη για την μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές . Την συνδέουμε στην ηλεκτρική μας διάταξη μετά τον μετασχηματιστή της διάταξης μας , δέχεται την κατάλληλη τάση εναλλασσόμενου μονοφασικού ρεύματος και κατόπιν μόλις διέρχεται το ρεύμα εσωτερικά της γέφυρας γίνεται η μετατροπή του σε συνεχές ρεύμα . Στην εικόνα 5.5.1 βλέπουμε την γέφυρα που χρησιμοποιήθηκε στην τριφασική διάταξη αυτής της εργασίας .



Εικόνα 5.5.1 Γέφυρα της τριφασικής μας διάταξης .

5.6 Ροοστάτης με θυρίστορ .

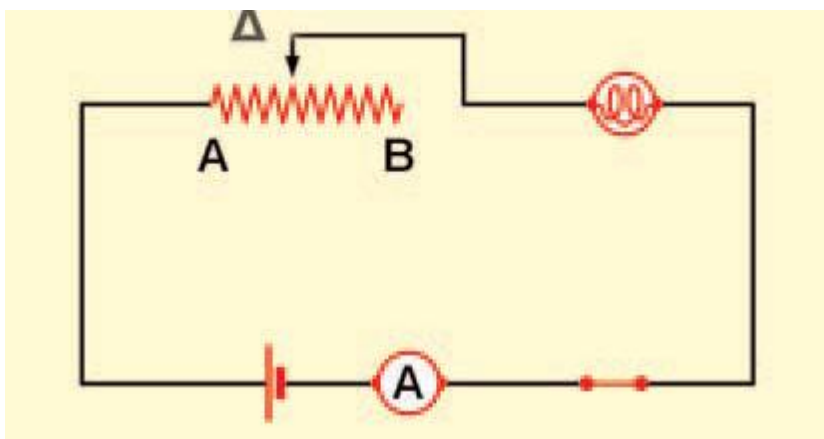
- Αρχές λειτουργίας του ροοστάτη :

Ο ροοστάτης είναι ένας αντιστάτης του οποίου μπορούμε να μεταβάλλουμε την αντίσταση , για αυτόν τον λόγο ονομάζεται μεταβλητή αντίσταση . Αποτελείται από ένα μεταλλικό σύρμα σταθερής διατομής , κατά το μήκος του οποίου μπορεί να μετακινείται ένα μεταλλικό στέλεχος που ονομάζεται δρομέας . Το σύρμα είναι τυλιγμένο γύρω από μονωτικό κύλινδρο . Κατά την μετακίνηση του δρομέα το μήκος του σύρματος (ΑΔ) από το ένα άκρο του (Α) μέχρι τον δρομέα

(Δ) μεταβάλλεται . Στην εικόνα [5.6.1] βλέπουμε τον ροοστάτη και στην εικόνα [5.6.2] βλέπουμε το σχέδιο του ροοστάτη .



Εικόνα 5.6.1 Ροοστάτης

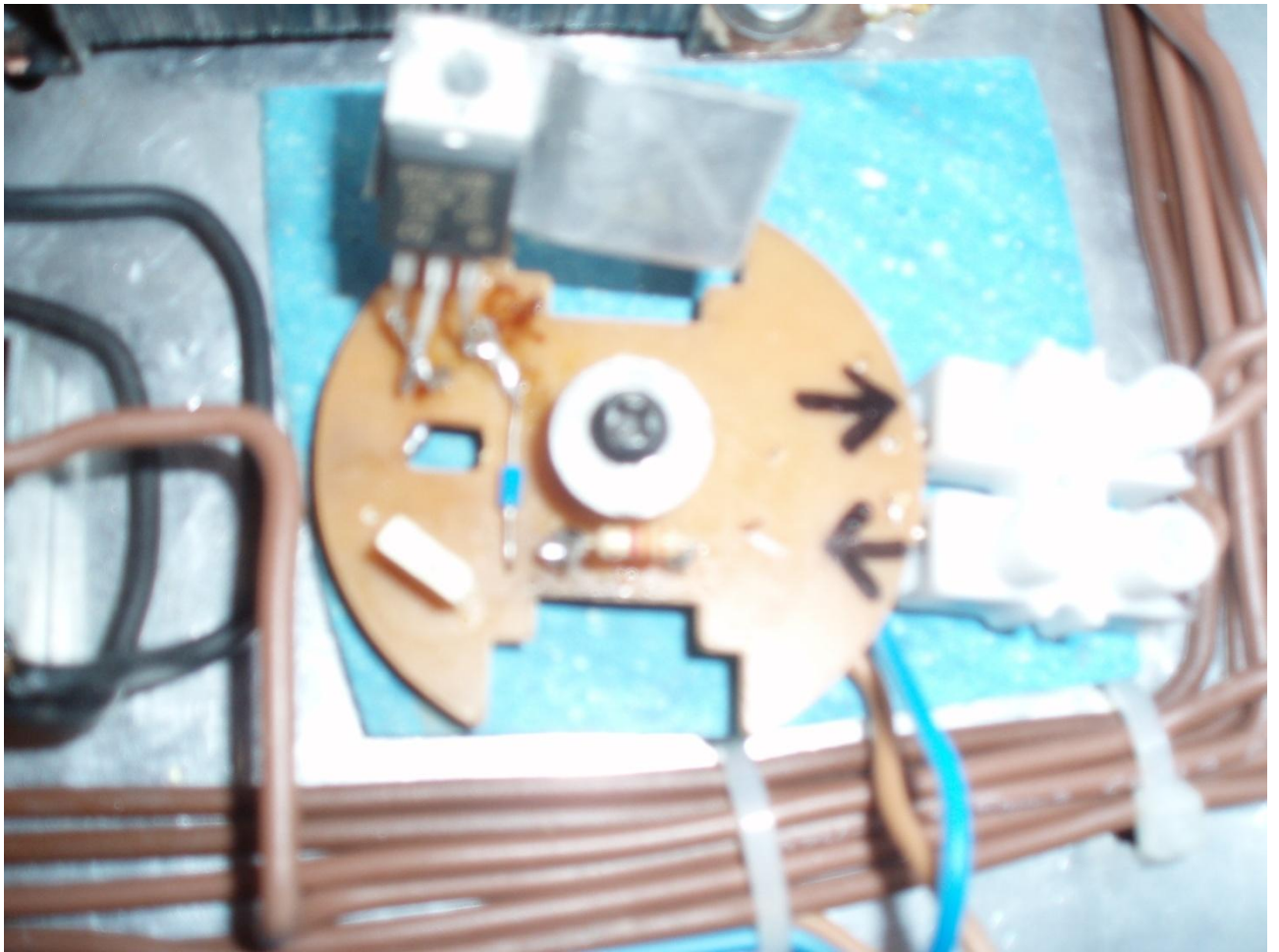


Εικόνα 5.6.2 Σχέδιο ροοστάτη .

Βέβαια στην παρούσα κατασκευή δεν χρησιμοποιήθηκε ο συγκεκριμένος ροοστάτης λόγω ότι έχει κάποια μειονεκτήματα :

- Σχετικά βαριά κατασκευή
- Έχει μεγάλο όγκο
- Είναι παλαιού τύπου και μηχανικός .
- Έχει αρκετό κόστος κατασκευής και αγοράς .

Για αυτούς τους λόγους χρησιμοποιήσαμε καινούργιου τύπου ροοστάτη , περιστροφικό (δεν χρειάζεται να έχουμε κύλινδρο) , είναι με μεταλλικούς ακροδέκτες (όχι με σύρμα) είναι ελαφρύς και με μικρό μέγεθος καθώς όμως και οικονομικός .Στην εικόνα [5.6.3] βλέπουμε τον ροοστάτη ο οποίος διαθέτει και θυρίστορ και στην εικόνα [5.6.4] φαίνεται ο ροοστάτης από την εξωτερική του πλευρά .



Εικόνα 5.6.3 Ροοστάτης της διάταξης μας με θυρίστορ .



Εικόνα 5.6.4 Εξωτερική μορφή ροοστάτη , εικόνα ενδεικτικής λυχνίας λειτουργίας ,ενδεικτικός διακόπτης λειτουργίας, λυχνία μεταβολής τάσης και ασφάλεια διάταξης .

Όργανα με τα οποία μετράμε διαφορές δυναμικού ή την ηλεκτρεγερτική δύναμη μιας πηγής. Τα βολτόμετρα δεν παρουσιάζουν βασικές διαφορές από τα αμπερόμετρα. Η μέτρηση της τάσης (διαφοράς δυναμικού) μ' ένα βολτόμετρο στηρίζεται στην ακόλουθη βασική αρχή: Αν η αντίσταση ενός οργάνου είναι σταθερή, η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το όργανο είναι ανάλογη με την τάση που εφαρμόζεται σ' αυτό. Επομένως, αν ένα αμπερόμετρο συνδεθεί στα όρια μιας πηγής που παρέχει τάση και αν η αντίστασή του είναι σταθερή, το ρεύμα που θα διαρρέει το όργανο θα είναι ανάλογο με την τάση που θα εφαρμόζεται στο όργανο. Έτσι, αντί να βαθμολογήσουμε την κλίμακα σε αμπέρ, μπορούμε να τη βαθμολογήσουμε σε βολτ και το όργανο να μεταβληθεί από αμπερόμετρο σε βολτόμετρο. Αντίθετα με ότι γίνεται στα αμπερόμετρα, η εσωτερική αντίσταση των βολτόμετρων πρέπει να είναι μεγάλη, για να μην παρουσιάζονται κατά τη σύνδεσή τους στα κυκλώματα σημαντικές μεταβολές στην κατανομή των ρευμάτων.

Η ευαισθησία των βολτόμετρων εκτιμάται σε Ω μ ανά βολτ. Η τιμή των Ω μ ανά βολτ βρίσκεται, αν διαιρέσουμε την ολική εσωτερική αντίσταση ενός βολτόμετρου με τη μέγιστη τάση που αναγράφεται στην κλίμακα του οργάνου.

Στην εσωτερική τους κατασκευή τα αμπερόμετρα και βολτόμετρα δεν έχουν διαφορές. Έτσι για τη μέτρηση των τάσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα θερμικά όργανα, καθώς και όλα τα άλλα που η αρχή της λειτουργίας τους στηρίζεται στα ηλεκτρομαγνητικά, ηλεκτροδυναμικά και επαγωγικά φαινόμενα (αμπερόμετρο).

Ένας τύπος βολτόμετρου που δεν υπάρχει αντίστοιχος στα αμπερόμετρα είναι το "ηλεκτροστατικό" βολτόμετρο. Το όργανο αυτό χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις με υψηλή τάση. Στο εσωτερικό αυτού του οργάνου υπάρχει ένας πυκνωτής με τον έναν οπλισμό του σταθερό και τον άλλο κινητό. Όταν εφαρμόσουμε στα όρια του οργάνου μια τάση μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή, δημιουργείται ανάμεσά τους μια έλξη, μικρή ή μεγάλη, ανάλογα με την εφαρμοζόμενη τάση. Ο κινητός οπλισμός πλησιάζει προς το σταθερό οπλισμό, παρασύροντας ταυτόχρονα και το δείκτη του οργάνου.



Εικόνα 5.6.4 Μετρητής volt από την πίσω πλευρά .

Ολοκληρωμένη μορφή της κατασκευής , εικόνα [5.6.5] .



Εικόνα 5.6.5 Ολοκληρωμένη μορφή της κατασκευής .

Επίλογος - Συμπεράσματα

Με την ιστορική αναδρομή γνωρίσαμε από που προήλθαν όλα τα ηλεκτρονικά ισχύος , γνωρίσαμε τους εφευρέτες που τα σκέφτηκαν και τα υλοποίησαν , τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν για να μπορέσουμε σήμερα να φτάσουμε σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο ηλεκτρονικών ισχύος με τα περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με το παρελθόν . Έπειτα γνωρίσαμε τα ακριβή μέρη που αποτελούνται τα ημιαγωγά στοιχεία , οι ανορθωτές , είδαμε τα είδη τους , φτάσαμε στην τριφασική γέφυρα πλήρως ελεγχόμενη , η οποία είναι και το αντικείμενο της εργασίας αυτής. Έπειτα αναλύσαμε την χρήση της τριφασικής γέφυρας τόσο σε οικιακό επίπεδο όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο .

Βιβλιογραφία

1. <http://oldwww.ee.teiath.gr/PowerElectronics/thyristor.html>
2. <http://el.wikipedia.org/wiki>
3. <http://el.wikipedia.org/wiki>
4. <http://physics.teiath.gr>
5. <http://el.wikipedia.org/wiki>
6. <http://www.ece.ucy.ac>
7. <http://nemertes.lis.upatras.gr>
8. <http://www.livepedia.gr>
9. <http://www.synekdot.gr/>

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	4
Πρόλογος	5
Κεφάλαιο 1: Ιστορική αναδρομή των μετατροπών ισχύος	6
Κεφάλαιο 2: Ημιαγωγός στοιχεία	7
2.1: Πολωμένα ορθά	8
2.2: Χωρίς πόλωση	8
2.3: Ανάστροφη πόλωση	9
2.4: Τα θυρίστορ και οι κατηγορίες τους	10
Κεφάλαιο 3: Ανορθωτές	13
3.1: Κύκλωμα φορτίου και πηγής συνεχούς ρεύματος	14
3.2: Είδη ανορθωτή	14
Κεφάλαιο 4: Μονοφασικοί ανορθωτές	15
4.1: Μονοφασικός ανορθωτής	16
4.1.1: Μονοφασικός ανορθωτής με φορτίο καθαρά ωμικό	16
4.1.2: Φορτίο καθαρά ωμικό	16
4.1.3: Φορτίο ωμικό – επαγωγικό	17
4.1.4: Φορτίο ωμικό – επαγωγικό με δίοδο ελεύθερης ροής	18
4.1.5: Φορτίο άπειρο επαγωγικό με δίοδο ελεύθερης ροής	19
4.1.6: Φορτίο και πηγή συνεχούς	20
4.1.7: Ελεγχόμενοι ανορθωτές	21
Κεφάλαιο 5: Τριφασικοί ανορθωτές γενικά (είδη – χρήσεις)	22
5.1: Τριφασικοί ανορθωτές (μη ελεγχόμενοι)	22
5.2: Τριφασικοί ανορθωτές (ελεγχόμενοι)	22
5.3.: Ελεγχόμενη τριφασική ανόρθωση σε συνδεσμολογία γέφυρας	23
5.4: Ο μετασχηματιστής της τριφασικής γέφυρας	24
5.5.: Η γέφυρα (μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές)	28
5.6.: Ροοστάτης με θυρίστορ	28
Επίλογος – Συμπεράσματα :	34
Βιβλιογραφία :	35