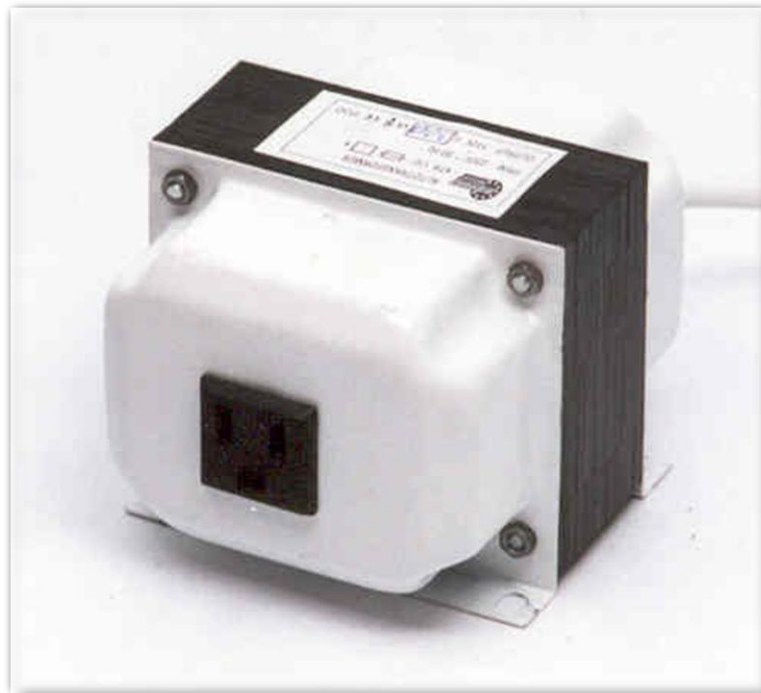




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

**'' ΜΕΛΕΤΗ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΚΡΟΥ
ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΣΤΙΣΤΗ ''**



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ , ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΜΠΟΥΡΗΣ Σ. ΜΙΧΑΗΛ , Α.Μ 3836

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2011

*«ΜΕΛΕΤΗ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΚΡΟΥ
ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ»*

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΠΟΥΡΗΣ Σ. ΜΙΧΑΗΛ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ
ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Ένα μεγάλο **Ευχαριστώ** στους γονείς μου και την αδερφή μου για την υποστήριξη , στους φίλους μου για την κατανόηση , και σε όλους τους καθηγητές μου που με βοήθησαν στην δύσκολη αυτή διαδρομή.....

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πιστοποιείται ότι η πτυχιακή εργασία με θέμα
«ΜΕΛΕΤΗ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΚΡΟΥ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ»

Του φοιτητή
Τμήματος Ηλεκτρολογίας
ΤΕΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

ΜΠΟΥΡΗ ΜΙΧΑΗΛ ΤΟΥ ΣΩΤΗΡΙΟΥ (Α.Μ 3836)

Παρουσιάστηκε δημόσια και εξετάστηκε στο ΤΜΗΜΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ στις

Εισηγητής:

Σταματάκης Γεώργιος
Καθηγητής Εφαρμογών

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 6 |
| ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ..... | 6 |
| ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ..... | 7 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο | 8 |
| <i>Αρχή λειτουργίας Μονοφασικών Μετασχηματιστών</i> | |
| 1.1 Γενικά Περί Μονοφασικών Μετασχηματιστών..... | 8 |
| 1.2 Αρχή Λειτουργίας Μετασχηματιστή..... | 8 |
| 1.3 Περιγραφή Λειτουργίας Ιδανικού Μετασχηματιστή..... | 9 |
| 1.4 Λειτουργία Ιδανικού Μετασχηματιστή Στο Κενό..... | 10 |
| 1.5 Λειτουργία Ιδανικού Μετασχηματιστή Υπό Φορτίο..... | 13 |
| 1.6 Παρατηρήσεις..... | 16 |
| 1.7 Διάκριση Μετασχηματιστών..... | 17 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο | 18 |
| <i>Ο Μονοφασικός Μετασχηματιστής Κατά Την Κενή Λειτουργία</i> | |
| 2.1 Ρεύμα Κενής Λειτουργίας..... | 18 |
| 2.2 Απώλειες σιδηρού και καθορισμός του ρεύματος της κενής λειτουργίας Ιο..... | 21 |
| 2.3 Υπολογισμός του ρεύματος μαγνητίσεως..... | 24 |
| 2.4 Ολικό ρεύμα στο κενό , συντελεστής ισχύος στο κενό..... | 25 |
| 2.5 Ωμική αντίσταση πρωτεύοντος και δευτερεύοντος..... | 27 |
| 2.6 Επαγωγική αντίσταση πρωτεύοντος και δευτερεύοντος..... | 28 |
| 2.7 Λειτουργία του μετασχηματιστή στο κενό..... | 31 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο | 35 |
| <i>Ο Μονοφασικός Μετασχηματιστής Κατά Τη Λειτουργία Υπό Φορτίο</i> | |
| 3.1 Λειτουργία του μετασχηματιστή υπό φορτίο..... | 35 |
| 3.2 Ισοδύναμο κύκλωμα δευτερεύοντος | 39 |
| 3.3 Ισοδύναμο κύκλωμα πρωτεύοντος | 43 |
| 3.4 Λειτουργία του μετασχηματιστή κατά το βραχυκύκλωμα..... | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5 Καθορισμός της μεταβολής της τάσεως . Διάγραμμα Καρρ. Εξωτερική χαρακτηριστική του μετασχηματιστή..... | 52 |
| 3.6 Υπολογισμός της μεταβολής της τάσεως | 56 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο | 61 |
| Ισχύς Και Απόδοση Μονοφασικού Μετασχηματιστή | |
| 4.1 Πραγματική ισχύς μονοφασικού μετασχηματιστή..... | 61 |
| 4.2 Άεργη ισχύς μονοφασικού μετασχηματιστή..... | 61 |
| 4.3 Απώλειες μονοφασικού μετασχηματιστή..... | 63 |
| 4.4 Απόδοση μονοφασικού μετασχηματιστή..... | 64 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5..... | 67 |
| Τριφασικοί Μετασχηματιστές | |
| 5.1 Τριφασικό Ρεύμα..... | 67 |
| 5.2 Τριφασικοί Μετασχηματιστές..... | 68 |
| 5.3 Συνδεσμολογία των Τυλιγμάτων στους Τριφασικούς Μετασχηματιστές..... | 68 |
| 5.4 Συνδεσμολογία Αστέρα – Αστέρα..... | 70 |
| 5.5 Συνδεσμολογία Αστέρα-Τρίγωνο..... | 72 |
| 5.6 Συνδεσμολογία Τρίγωνου-Αστέρα..... | 74 |
| 5.7 Συνδεσμολογία Τρίγωνου-Τρίγωνου..... | 75 |
| 5.8 Τριφασικοί Μετασχηματιστές Που Περιλαμβάνουν μόνο δυο Μετασχηματιστές..... | 77 |
| 5.8.1.Συνδεσμολογία ανοιχτού τριγώνου (V-V Συνδεσμολογία) | 77 |
| 5.8.2.Συνδεσμολογία Ανοιχτού Αστέρα – Ανοιχτού Τρίγωνου..... | 81 |
| 5.8.3.Συνδεσμολογία Scott-T..... | 83 |
| 5.8.4.Τριφασική T - Συνδεσμολογία | 84 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6..... | 86 |
| Αυτομετασχηματιστές | |
| 6.1 Εισαγωγή..... | 86 |
| 6.2 Σχέσεις μεταξύ των τάσεων και των ρευμάτων ενός Αυτομετασχηματιστή..... | 89 |
| 6.3 Πλεονέκτημα Φαινόμενης Ισχύος Στους Αυτομετασχηματιστές..... | 90 |
| 6.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Αυτομετασχηματιστή..... | 92 |
| 6.4.1 Πλεονεκτήματα..... | 92 |

| | |
|--|------------|
| 6.4.2 Μειονεκτήματα..... | 92 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7..... | 94 |
| <i>Κατασκευή Μονοφασικού Μετασχηματιστή</i> | |
| 7.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ..... | 95 |
| 7.2 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ..... | 110 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8..... | 124 |
| <i>Υπολογισμοί-Μετρήσεις</i> | |
| 8.1 Πρακτικός Υπολογισμός Μονοφασικού Μ/Σ..... | 124 |
| 8.2 Μετρήσεις-Πειράματα..... | 127 |
| 8.2.1 Πείραμα Βραχυκυκλώσεως..... | 127 |
| 8.2.2 Πείραμα Ανοιχτού Δευτερεύοντος..... | 127 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9..... | 131 |
| <i>Πινάκες-Καμπύλες Μ/Σ.....</i> | 131 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 155 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το πρώτο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στις ΗΠΑ αναπτύχθηκε από τον Thomas A. Edison και λειτούργησε με συνεχές ρεύμα στα 120 V , για να τροφοδοτηθεί ένα δίκτυο φωτισμού με λαμπτήρες πυρακτώσεως . Πάνω σε αυτό το δίκτυο του Edison στηρίχτηκε ο πρώτος σταθμός παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας που άρχισε να λειτουργεί στη Νέα Υόρκη το 1882 . Δυστυχώς αυτή η ενέργεια παραγόταν και διανέμονταν με τόσο χαμηλή τιμή της τάσης ώστε για την τροφοδοσία ενός σημαντικού φορτίου το ρεύμα στη γραμμή μεταφοράς να είναι αρκετά υψηλό . Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μεγάλες πτώσεις τάσεως και απώλειες στις γραμμές μεταφοράς γεγονός που μείωνε σημαντικά την περιοχή διανομής του σταθμού παραγωγής . Έτσι ο κάθε σταθμός παραγωγής εκείνη την εποχή τροφοδοτούσε λίγα μόνο οικοδομικά τετράγωνα της πόλης . Το γεγονός της αδυναμίας μεταφοράς συνεχούς τάσης με μεγάλο πλάτος είχε ως αποτέλεσμα οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να είναι μικρής ισχύος , τοπικοί και συνεπώς μικρής σχετικά αποδόσεως .



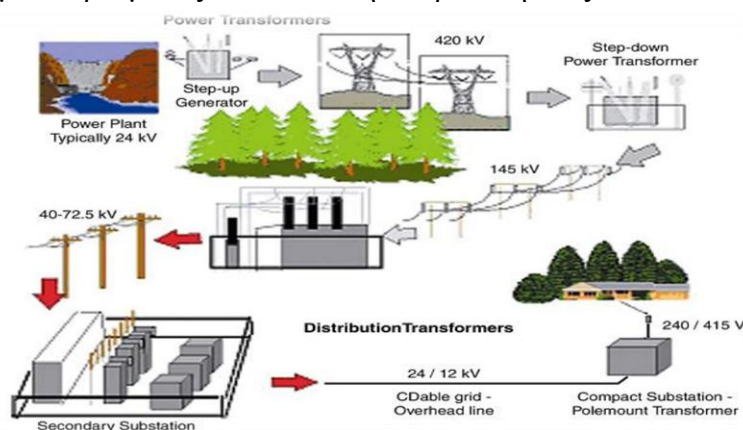
[Σχήμα 1]

Πρότυπο μοντέλο λαμπτήρα που χρησιμοποιήθηκε σε δημόσια επίδειξη στ Menlo Park τον Δεκέμβριο του 1879

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Η επικράτηση των εναλλασσόμενων ρευμάτων στο πεδίο των Βιομηχανικών Εφαρμογών οφείλεται ουσιαστικά στο γεγονός ότι η τάση των ρευμάτων αυτών μπορεί να μετασχηματίζεται δηλαδή να μεταβάλλεται από χαμηλή σε υψηλή και αντίστροφα . Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση στατικής μηχανής που είναι απλή στην κατασκευή και έχει αρκετά υψηλή απόδοση , η μηχανή αυτή ονομάζεται μετασχηματιστής .Οι λόγοι για τους οποίους οι μετασχηματιστές είναι αναγκαίοι γίνονται κατανοητοί με βάση τα ακόλουθα χαρακτηριστικά .Οι οικονομικές και τεχνικές ανάγκες , οι οποίες σχετίζονται με την παραγωγή και μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας , επιβάλλουν συχνά την κατασκευή κεντρικών σταθμών μεγάλης ισχύος μακριά από τα κέντρα καταναλώσεως . Το γεγονός αυτό οφείλεται στην επιδίωξη εκμεταλλεύσεως του συνόλου των μορφών ενέργειας . Οι εγκαταστάσεις παραγωγής , μεταφοράς και διανομής της ενέργειας οργανώνονται ως εξής:

Οι γεννήτριες οι οποίες είναι εγκατεστημένες στους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής παράγουν ηλεκτρική ενέργεια στην πιο συμφέρουσα οικονομικά και τεχνικά τιμή της τάσεως . Οι κεντρικοί αυτοί σταθμοί παραγωγής επιβάλλεται να συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα αλλά και με τα κέντρα καταναλώσεως . Η σύνδεση αυτή πραγματοποιείται με γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες κατασκευάζονται και λειτουργούν με την υψηλότερη δυνατή τάση . Η κατασκευή αυτή επιβάλλεται από τους λόγους που προαναφέραμε δηλαδή οικονομικούς αλλά και τεχνικούς . Κατά συνέπεια η παραγόμενη τάση για να μεταφερθεί υψώνεται λαμβάνοντας την καταλληλότερη τιμή μέσω ενός η περισσότερων μετασχηματιστών ανυψωτών της τάσεως . Όταν όμως η ηλεκτρική ενέργεια φτάσει στα κέντρα καταναλώσεως η επιδίωξη της καλύτερης δυνατής προσαρμογής στις οικονομικές δυνατότητες και στις επιταγές ασφάλειας των καταναλωτών επιβάλλει την εκ νέου μείωση της τάσεως μέσω άλλων μετασχηματιστών στα πλαίσια μερικών εκατοντάδων Volt .Η σημαντικότερη χρήση αυτών των μετασχηματιστών είχε σαν αποτέλεσμα την σχεδόν καθολική καθιέρωση του εναλλασσόμενου ρεύματος στα δίκτυα ηλεκτροδοτήσεως.



[Σχήμα 2]
Δίκτυο Ηλεκτροδοτήσεως

1^ο ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Μετασχηματιστής καλείται η συσκευή εκείνη που παραλαμβάνει ηλεκτρική ισχύ $P = V \cdot I \cdot \cos\theta$ από μια πηγή εναλλασσόμενης τάσης για να τη μεταφέρει προς μια ή περισσότερες καταναλώσεις μετασχηματίζοντας τους βασικούς της παράγοντες δηλαδή το ρεύμα και την τάση. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την πηγή στην κατανάλωση πραγματοποιείται με τη βοήθεια μαγνητικής σύζευξης.

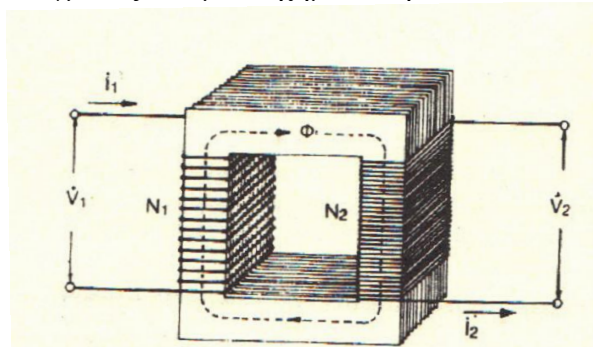
1.1 Γενικά περί μονοφασικών μετασχηματιστών

Ο μετασχηματιστής αποτελείται από δυο τυλίγματα που βρίσκονται σε μαγνητική σύζευξη μέσω ενός κοινού πυρήνα. Ο πυρήνας του μετασχηματιστή κατασκευάζεται από υλικά με μεγάλη διαπερατότητα, χωρίς κανένα διάκενο, και παρουσιάζει μικρή μαγνητική αντίσταση. Κατασκευάζεται πάντοτε από ελάσματα σιδηρού, γιατί μέσα από αυτόν διοχετεύεται εναλλασσόμενη ροή.

1.2 Αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή

Αν μια εναλλασσόμενη τάση V_1 η οποία πρόκειται να μετασχηματίσει, εφαρμοστεί στα άκρα του ενός από τα δυο τυλίγματα τότε στα άκρα του άλλου τυλίγματος εμφανίζεται μια μετασχηματισμένη τάση V_2 . Ο λόγος της τάσεως προς την άλλη λεγεται λόγος μετασχηματισμού και διαφέρει λίγο πολύ από τον λόγο του αριθμού των σπειρών N_1 προς N_2 των δυο τυλιγμάτων.

Το τυίγμα του μετασχηματιστή, που τροφοδοτείται με την τάση V_1 η οποία πρόκειται να μετασχηματίσει ονομάζεται πρωτεύον. Το άλλο τυίγμα που εμφανίζει στα άκρα του μετασχηματιστή τάση V_2 . Αντιστοίχα, οι τάσεις V_1 και V_2 μπορούν να ονομαστούν για συντομία τάση πρωτεύουσα και δευτερεύουσα έτσι τα δύο ρεύματα I_1 και I_2 που διαρρέουν τα δύο τυλίγματα θα αποτελούν τα ρεύματα πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του τυλίγματος του μετασχηματιστή.



[Σχήμα 1.1]

Αρχή λειτουργίας μονοφασικού μετασχηματιστή

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

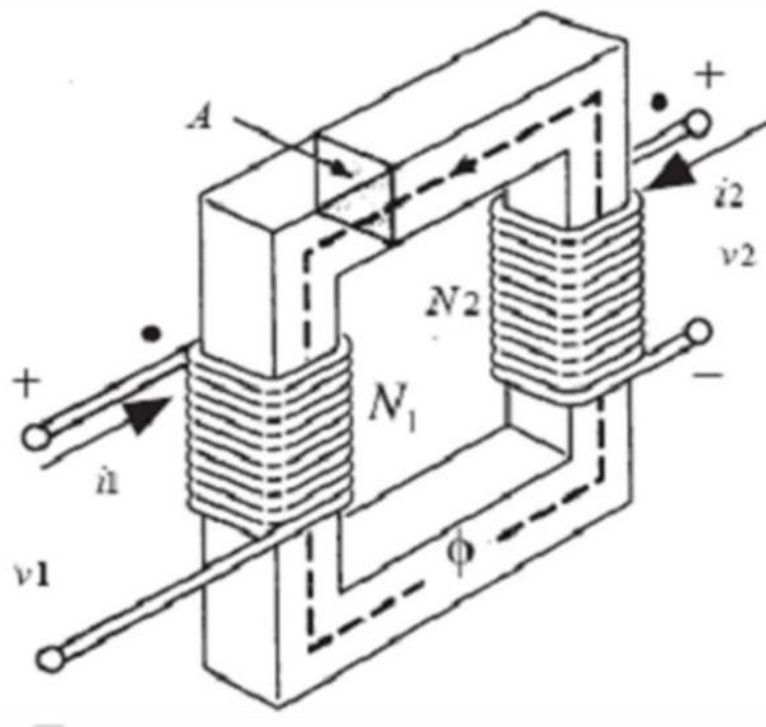
Ο μετασχηματιστής μπορεί να λειτουργήσει και αντίστροφα . Κατά συνέπεια η διάκριση των τυλίγμάτων σε πρωτεύον και δευτερεύον δεν αντιστοιχεί σε κάποιο κατασκευαστικό γεγονός εφ' όσον και στα δυο τυλίγματα μπορούν να λειτουργήσουν σαν πρωτεύον η σαν δευτερεύον .

Κατασκευαστικά τα δυο τυλίγματα του μετασχηματιστή διακρίνονται :

- Τυλίγματα υψηλής τάσεως
- Τυλίγματα χαμηλής τάσεως

1.3 Περιγραφή λειτουργίας ιδανικού μετασχηματιστή :

Ο μετασχηματιστής είναι το δίθυρο ηλεκτρικό στοιχείο στο οποίο εμφανίζεται το φαινόμενο της αλληλεπαγωγής . Ο μετασχηματιστής αποτελείται από δυο επαγωγής (πηνία) πολλών τυλιγμάτων (σπείρες) με κοινό πυρήνα. Ο μετασχηματιστής έχει τέσσερις ακροδέκτες και στις δυο θύρες από τις οποίες λαμβάνει η αποδίδει ενέργεια . Για το λόγο αυτό από άποψη συστημάτων είναι ένα ηλεκτρικό δίθυρο .



[Σχήμα 1.2]

Μετασχηματιστής με θετικό συντελεστή αλληλεπαγωγής .

Για να απλουστεύσουμε περισσότερο την βασική θεωρία του μετασχηματιστή φανταζόμαστε ότι είναι ιδανικός και ότι έχουμε μηδενικές :

- ✚ Ηλεκτρικές αντιστάσεις και στα δυο τυλίγματα
- ✚ Απώλειες σιδηρού
- ✚ Απώλειες σκεδάσεως

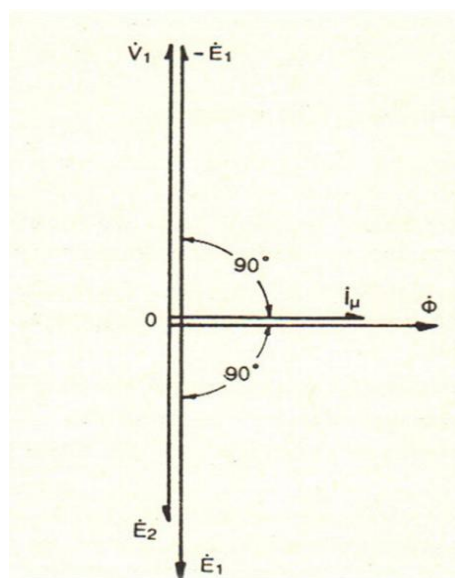
ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Όταν εξετάζουμε ένα μετασχηματιστή πρώτα μελετάμε την λειτουργία του στο κενό και κατόπιν τη λειτουργία του ίδιου του μετασχηματιστή υπό φορτίο . Η λειτουργία στο κενό επαληθεύεται όταν εφαρμόζεται μια καθορισμένη τάση V_1 στο πρωτεύον ενώ το δευτερεύον είναι ανοιχτό . Αντίθετα η υπό φορτίο λειτουργία επαληθεύεται , όταν το δευτερεύον τύλιγμα προσφέρει ενέργεια σε συνδεδεμένες καταναλώσεις .

1.4 Λειτουργία ιδανικού μονοφασικού μετασχηματιστή στο κενό

Έστω V_1 η εναλλασσόμενη τάση που εφαρμόζεται στο πρωτεύον τύλιγμα ιδανικού μετασχηματιστή και N_1 ο αριθμός των σπειρών αυτού του τυλίγματος . Το δευτερεύον τύλιγμα είναι ανοιχτό και κατά συνέπεια δεν διατρέχεται από κανένα ρεύμα με αποτέλεσμα να παραμένει τελείως ανενεργό .

Όταν ο μετασχηματιστής εργάζεται με ανοιχτό το δευτερεύον τύλιγμα η λειτουργία του ονομάζεται κενή . Κατά την κενή λειτουργία ο μετασχηματιστής συμπεριφέρεται όπως ένα κανονικό κύκλωμα καθαρά επαγωγικό . Στην περίπτωση αυτή ο μετασχηματιστής απορροφά ένα καθορισμένο ρεύμα I_μ με καθυστέρηση 90° ως προς την εφαρμοσμένη τάση V_1 . Το ρεύμα αυτό εφοδιάζει τον πυρήνα με μια εναλλασσόμενη ροή Φ , η οποία είναι σε φάση με το ρεύμα I_μ .



[Σχήμα 1.3]

Διανυσματικό διάγραμμα ιδανικού μετασχηματιστή που λειτουργεί στο κενό

Αν Φ_{max} είναι η μεγαλύτερη τιμή της ροής και $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, τότε κάθε σπείρα επάγεται μια Η.Ε.Δ, η οποία έχει ως μεγαλύτερη τιμή $\omega \cdot \Phi_{max}$ με καθυστέρηση 90° ως προς την ροή, που την επάγει. Στο πρωτεύον τύλιγμα που αποτελείται από N_1 σπείρες συνδεδεμένες σε σειρά, παράγεται μια ολική Η.Ε.Δ, που ονομάζεται Η.Ε.Δ πρωτεύουσα, και η μεγαλύτερη τιμή της είναι:

$$E_{1max} = \omega \cdot \Phi_{max} \cdot N_1 \quad (1.1)$$

Αυτή παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 1.3 με το διάνυσμα \vec{E}_1 με 90° καθυστέρηση ως προς το διάνυσμα Φ , που δείχνει τη ροή. Η ίδια ροή επάγει στο δευτερεύον τύλιγμα το οποίο αποτελείται από N_2 σπείρες, μια Η.Ε.Δ της οποίας η μεγαλύτερη τιμή είναι:

$$E_{2max} = \omega \cdot \Phi_{max} \cdot N_2 \quad (1.2)$$

Αυτή παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος [Σχήμα 2.3] με το διάνυσμα E_2 με 90° καθυστέρηση ως προς την ροή Φ . Συνεπώς είναι σε φάση με την E_1 . Οι ενεργές τιμές των δυο Η.Ε.Δ, πρωτεύουσας και δευτερεύουσας είναι:

$$E_1 = \frac{E_{1max}}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot \Phi_{max} \cdot N_1 = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_{max} \cdot N_1 \quad (1.3)$$

$$E_2 = \frac{E_{2max}}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot \Phi_{max} \cdot N_2 = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_{max} \cdot N_2 \quad (1.4)$$

Από τις δυο σχέσεις προκύπτει ότι:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.5)$$

Η παραπάνω σχέση μας δείχνει καθαρά ότι οι δυο Η.Ε.Δ (πρωτεύουσα, δευτερεύουσα) είναι ευθέως ανάλογες προς τον αριθμό των σπειρών των αντίστοιχων τυλιγμάτων. Συμφώνα με το διάγραμμα του σχήματος [Σχήμα 1.3] καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι δυο Η.Ε.Δ που επάγονται στα δυο τυλίγματα προκύπτουν σε αντίφαση με την τάση του πρωτεύοντος. Η Η.Ε.Δ του πρωτεύοντος E_1 αντιδρά ως προς την τάση V_1 , η οποία εφαρμόζεται όπως μια Α.Η.Ε.Δ. Κατά συνέπεια θα έχουμε $V_1 + E_1 = 0$ ή $V_1 = -E_1$, γιατί έχουμε υποθέσει ότι η ωμική αντίσταση είναι μηδενική, και για αυτό και η αντίστοιχη πτώση τάσεως θα είναι μηδενική. Μόλις κλείσει ο διακόπτης του πρωτεύοντος, αυτό θα απορροφήσει ένα ρεύμα I_μ το οποίο παράγει μια ροή στον πυρήνα. Η ροή αυτή, σε μικρό χρονικό διάστημα θα προσαρμόσει ώστε η Α.Η.Ε.Δ του πρωτεύοντος να φτάσει σε ισορροπία με την εφαρμοσμένη τάση V_1 . Μετά από αυτό δημιουργείται μια μόνιμη κατάσταση η οποία υποχρεώνει κατά την Η.Ε.Δ E_1 , που δημιουργείται στο πρωτεύον τύλιγμα, να γίνει ίση και αντίθετη με την εφαρμοσμένη τάση V_1 .

Η πιο πάνω συνθήκη καθορίζει την ποσότητα της ροής, που πρέπει να παραχθεί στον πυρήνα, με αποτέλεσμα να γίνεται η ενεργός τιμή $E_1 = V_1$. Αυτό

σημαίνει ότι η ροή στον πυρήνα πρέπει να πάρει την μεγαλύτερη τιμή Φ_{max} , που καθορίζεται από τη σχέση :

$$\Phi_{max} = \frac{E_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1} = \frac{V_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1} \quad (1.6)$$

Αφού έχει καθορισθεί η τάση του πρωτεύοντος V_1 , η ροή στον πυρήνα είναι εξ ολοκλήρου ανεξάρτητη από μια διαμόρφωση της μαγνητικής αντιστάσεως του ίδιου πυρήνα, χρησιμοποιείται μόνο για να καθορίσει το μέγεθος του ρεύματος I_μ το οποίο είναι αναγκαίο να παραχθεί. Αν \mathfrak{R} είναι η μαγνητική αντίσταση του πυρήνα, που αναφέρεται στη μεγαλύτερη τιμή της ροής, το ρεύμα I_μ πρέπει να πάρει τη μεγαλύτερη τιμή του $I_{\mu max}$, η όποια καθορίζεται από τη σχέση :

$$N_1 \cdot I_{\mu max} = \Phi_{max} \cdot \mathfrak{R} \quad (1.7)$$

Μπορούμε να πούμε ότι στην κενή λειτουργία του μετασχηματιστή, η τάση V_1 , εφαρμόζεται στο πρωτεύον τύλιγμα, παράγει και διατηρεί ένα ρεύμα I_μ με καθυστέρηση 90° , τέτοια ώστε να προκαλεί στον πυρήνα όλη τη ροή που χρειάζεται. Αυτή επάγει στο ίδιο τύλιγμα μια Η.Ε.Δ E_1 ίση και αντίθετη με την τάση που εφαρμόζεται. Αυτό το ρεύμα αποτελεί το ρεύμα μαγνητίσεως του μετασχηματιστή, και η αποστολή του είναι ανάλογη με εκείνη του ρεύματος διεγέρσεως οποιασδήποτε άλλης ηλεκτρικής μηχανής. Για να περιορίσει αυτό το ρεύμα στη μικρότερη δυνατή τιμή είναι αναγκαίο να μειωθεί στο ελάχιστο η μαγνητική αντίσταση στον πυρήνα.

Τελικά η Η.Ε.Δ του πρωτεύοντος E_1 είναι ίση με την τιμή της εφαρμοσμένης τάσεως V_1 , και η Η.Ε.Δ του δευτερεύοντος E_2 είναι ίση με την τάση του δευτερεύοντος V_2 . Άρα μπορούμε να γράψουμε :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.8)$$

Δηλαδή, εφαρμόζοντας στα άκρα του πρωτεύοντος μια τάση V_1 στα άκρα του δευτερεύοντος διατίθεται μια τάση :

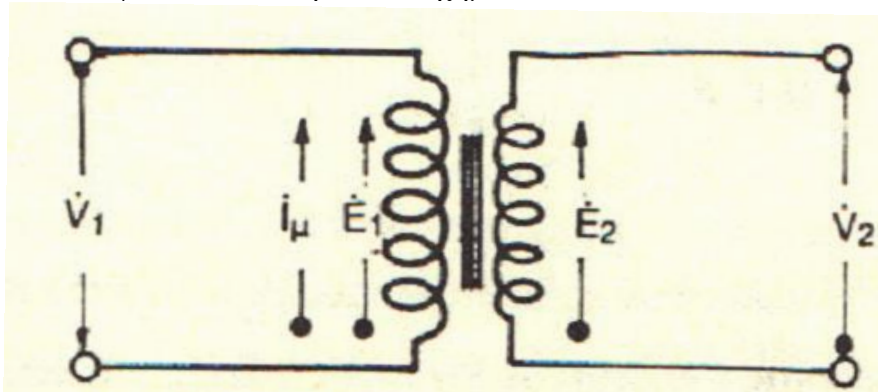
$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_1 \quad (1.9)$$

Στα άκρα του δευτερεύοντος μπορεί να επιτευχθεί μια μεγάλη τάση, ακόμη και όταν η τάση του πρωτεύοντος είναι πολύ χαμηλή, εφ' όσον το δευτερεύον τύλιγμα κατασκευάσει με ένα μεγάλο αριθμό σπειρών σε σχέση προς το πρωτεύον. Αντίθετα, αν τροφοδοτηθεί το τύλιγμα των πολλών σπειρών με τάση υψηλή, τότε στα άκρα του άλλου τυλίγματος διατίθεται μικρότερη τάση.

Έχουμε τη δυνατότητα να πετύχουμε οποιανδήποτε λόγο μετασχηματισμό καθορίζοντας το λόγο των σπειρών N_1/N_2 . Στη πράξη η σχέση αυτή συμπίπτει με το λόγο μεταξύ των Η.Ε.Δ E_1/E_2 , ενώ ο λόγος μεταξύ των τάσεων V_1/V_2 προκύπτει διαφορετικός, εξ αιτίας των πτώσεων τάσεων, που πραγματοποιούνται στα δυο τυλίγματα.

1.5 Λειτουργία ιδανικού μετασχηματιστή υπό φορτίο :

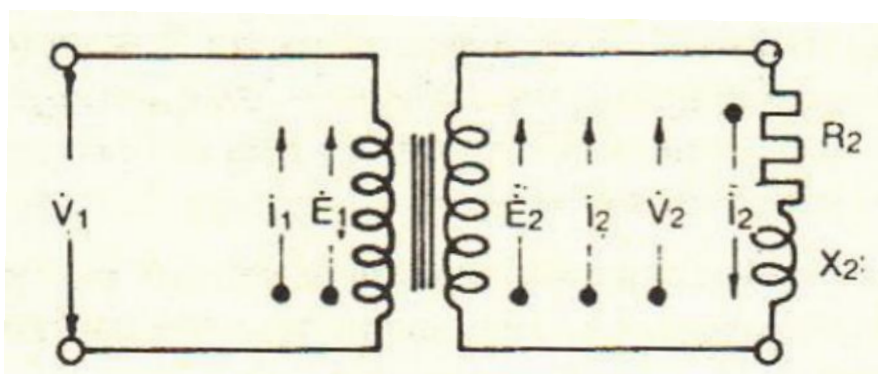
Τα μεγέθη , που χαρακτηρίζουν την κενή λειτουργία ενός μετασχηματιστή μπορούν να συνοψιστούν στο παρακάτω σχήμα :



[Σχήμα 1.3]

Μεγέθη ιδανικού μετασχηματιστή που λειτουργεί στο κενό

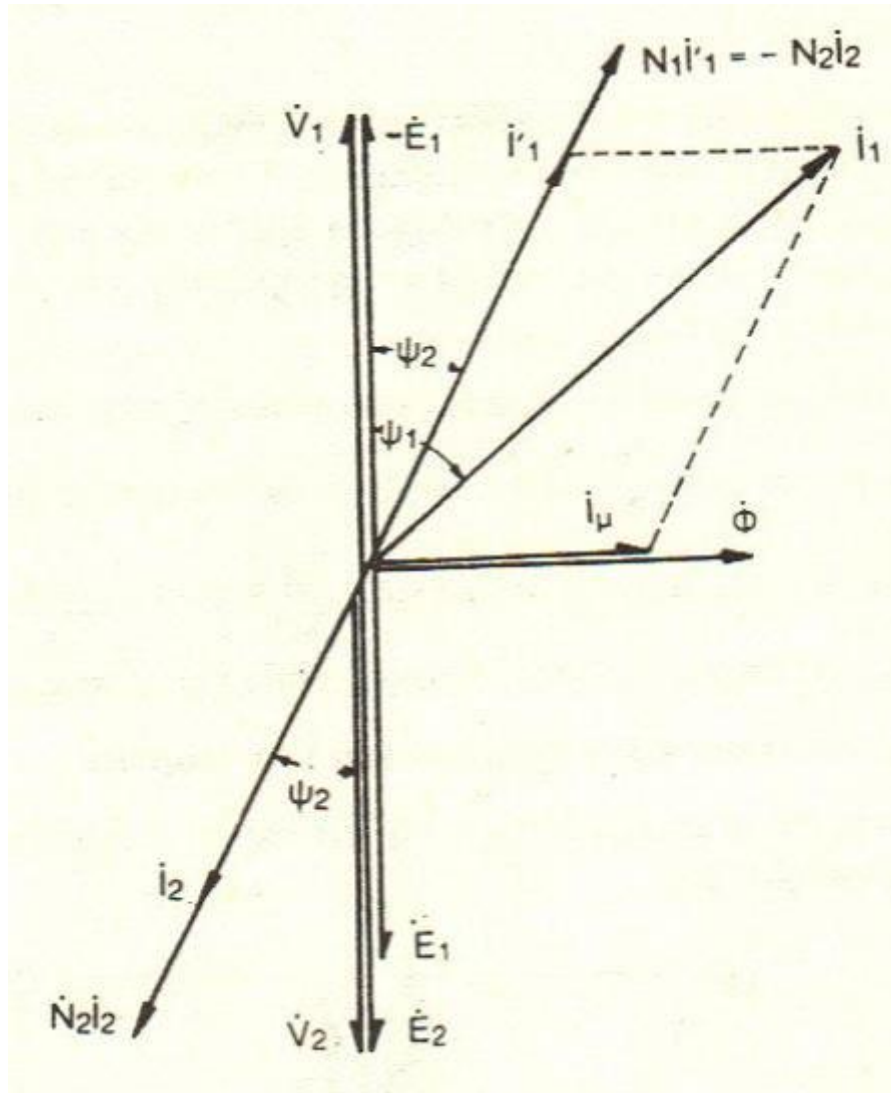
Στη λειτουργία υπό φορτίο του μετασχηματιστή στο [σχήμα 1.4] μετατρέπεται, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5, όπου φαίνεται συνδεδεμένο στα άκρα του δευτερεύοντος ένα φορτίο $Z_2 = R_2 + j \cdot X_2$



Σχήμα 1.4

Μεγέθη ιδανικού μετασχηματιστή που λειτουργεί υπό φορτίο

Εξ αιτίας της Η.Ε.Δ του δευτερεύοντος E_2 , κυκλοφορεί στο φορτίο ένα καθορισμένο ρεύμα I_2 με διαφορά φάσεως ίση με μια γωνία Ψ_2 ως προς την Η.Ε.Δ, όπως φαίνεται στο διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος [Σχήμα 1.6]



[Σχήμα 1.6]

Διανυσματικό διάγραμμα ιδανικού μετασχηματιστή που λειτουργεί υπό φορτίο .

Εξ αιτίας της κυκλοφορίας του δευτερεύοντος ρεύματος στις σπείρες του αντιστοίχου τυλίγματος , επιδρά στον πυρήνα μια νέα μαγνητοθερμική δύναμη, η οποία εκφράζεται από το γινόμενο $N_2 \cdot I_2$ και είναι σε φάση με το I_2 . Αυτή τείνει φανερά να αλλοιώσει τη ροή της μαγνητοθερμικής δυνάμεως $N_1 \cdot I_\mu$. Κατόπιν αλλοιώνονται οι Η.Ε.Δ, που επάγονται στα δύο τυλίγματα με αποτέλεσμα να προκληθεί στο πρωτεύον τυλίγμα μια στιγμιαία ανισορροπία μεταξύ της τάσεως V_1 και της Η.Ε.Δ E_1 . Έτσι το πρωτεύον τυλίγμα απορροφά μεγαλύτερο ρεύμα. Το νέο ρεύμα πρέπει να πάρει μια τέτοια τιμή, ώστε να ανακαθορίσει την προϋπάρχουσα ισορροπία μεταξύ της εφαρμοσμένης τάσεως V_1 και της αντίστοιχης Η.Ε.Δ E_1 .

Εύκολα κατανοούμε ότι μόλις αρχίσει η κυκλοφορία του δευτερεύοντος ρεύματος I_2 , στο πρωτεύον τύλιγμα ζητείται ένα καινούργιο ρεύμα I'_1 , του οποίου η μαγνητεργετική δύναμη μπορεί να ισορροπήσει τη δευτερεύουσα μαγνητεργετική δύναμη $N_2 I_2$. Στο διάγραμμα του σχήματος [Σχήμα 1.6] το διάνυσμα $N_2 I_2$ αντιτίθεται στο έσο $N_1 I'_1$. Κατά συνέπεια, το αποτέλεσμα της μαγνητεργετικής δυνάμεως ταυτίζεται με την προηγούμενη μαγνητεργετική δύναμη $N_1 I_\mu$, η ροή στον πυρήνα ξαναπαίρνει και διατηρεί μετά από αυτό την αρχική της τιμή, και με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται ξανά η αναγκαία ισορροπία μεταξύ της εφαρμοσμένης τάσεως V_1 στο πρωτεύον τυλιγμα και της Η.Ε.Δ E_1 . Μπορούμε να πούμε ότι η λειτουργία του μετασχηματιστή είναι καθορισμένη από την αναγκαιότητα με βάση το γεγονός ότι η πρωτεύουσα Η.Ε.Δ E_1 προκύπτει ίση και αντίθετη προς την εφαρμοσμένη τάση V_1 . Αν αυτή είναι σταθερή, και η E_1 πρέπει να παραμένει σταθερή γι' αυτό πρέπει να παραμένει αμετάβλητη η ροή στον πυρήνα, οποιοδήποτε και αν είναι το ρεύμα, που διατρέχει το δευτερεύον τύλιγμα. Αυτό το γεγονός δίνει τη δυνατότητα στο πρωτεύον τύλιγμα να παίρνει από τη γραμμή που το τροφοδοτεί, ένα άλλο ρεύμα I'_1 , του οποίου η μαγνητεργετική δύναμη προκύπτει σταθερή ώση και αντίθετη προς τη μαγνητεργετική δύναμη, που οφείλεται στο δευτερεύον ρεύμα σε κάθε περίπτωση φορτίσεως πρέπει να προκύπτει:

$$N_1 I'_1 = -N_2 I_2 \quad (1.9)$$

Το ρεύμα I'_1 , που ζητείται στο πρωτεύον τύλιγμα από τη μαγνητική αντίδραση, οφείλεται στο ρεύμα που παρέχει το δευτερεύον τύλιγμα, και αποτελεί το πρωτεύον ρεύμα της αντιδράσεως. Αυτό φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος [Σχήμα 1.6] με το διάνυσμα :

$$I'_1 = -\frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 \quad (1.10)$$

Το οποίο είναι κατ' ευθείαν αντίθετο προς το διάνυσμα I_2 . Το ρεύμα I'_1 μας παρουσιάζεται, υπό ευρεία έννοια, με λόγο καθορισμένο από την ακόλουθη σχέση :

$$\frac{I'_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (1.11)$$

Μπορούμε να πούμε ότι στους μετασχηματιστές υπό φορτίο ο μετασχηματισμός των Η.Ε.Δ συνοδεύεται πάντα από εκ διαμέτρου αντίθετο μετασχηματισμό του δευτερεύοντος ρεύματος I_2 και του πρωτεύοντος ρεύματος αντιδράσεως I'_1 . Από το γεγονός αυτό προκύπτει η ανάγκη ταυτότητας, η οποία πρέπει να υπάρχει μεταξύ της ηλεκτρικής ισχύος, που παρέχει στο δευτερεύον τύλιγμα, και της αντίστοιχης ισχύος, που απορροφάται από το πρωτεύον τύλιγμα. Οι σχέσεις, που έχουν αναφερθεί για ένα μετασχηματιστή υπό φορτίο όταν το δευτερεύον τύλιγμα διαρρέεται από καθορισμένο ρεύμα I_2 και το πρωτεύον τύλιγμα απορροφά ένα ολικό ρεύμα I_1 , από τη γραμμή που το τροφοδοτεί, είναι ένα αποτέλεσμα του ρεύματος μαγνητίσεως I_μ και του ρεύματος της αντιδράσεως I'_1 :

$$I_1 = I_\mu + I'_1 = I_\mu - \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 \quad (1.13)$$

Αυτό το ρεύμα αποτελεί το ρεύμα πρωτεύοντος , και προκύπτει με διαφορά φάσεως σε σχέση προς την τάση $V_1 = -E_1$ κατά τη γωνία Ψ_1 , της οποίας η τιμή εξαρτάται από την τιμή της διαφοράς φάσεως Ψ_2 του δευτερεύοντος ρεύματος . Όταν μεταβάλλεται το φορτίο του μετασχηματιστή , δηλαδή όταν μεταβάλλεται το ρεύμα , που παρέχει το δεύτερον τύλιγμα , παραμένει αμετάβλητο το ρεύμα μαγνητίσεως I_μ , ενώ μεταβάλλεται μαζί με το ρεύμα I_2 το ρεύμα της αντιδράσεως του πρωτεύοντος I'_1 .

1.6 Σπουδαία Παρατήρηση

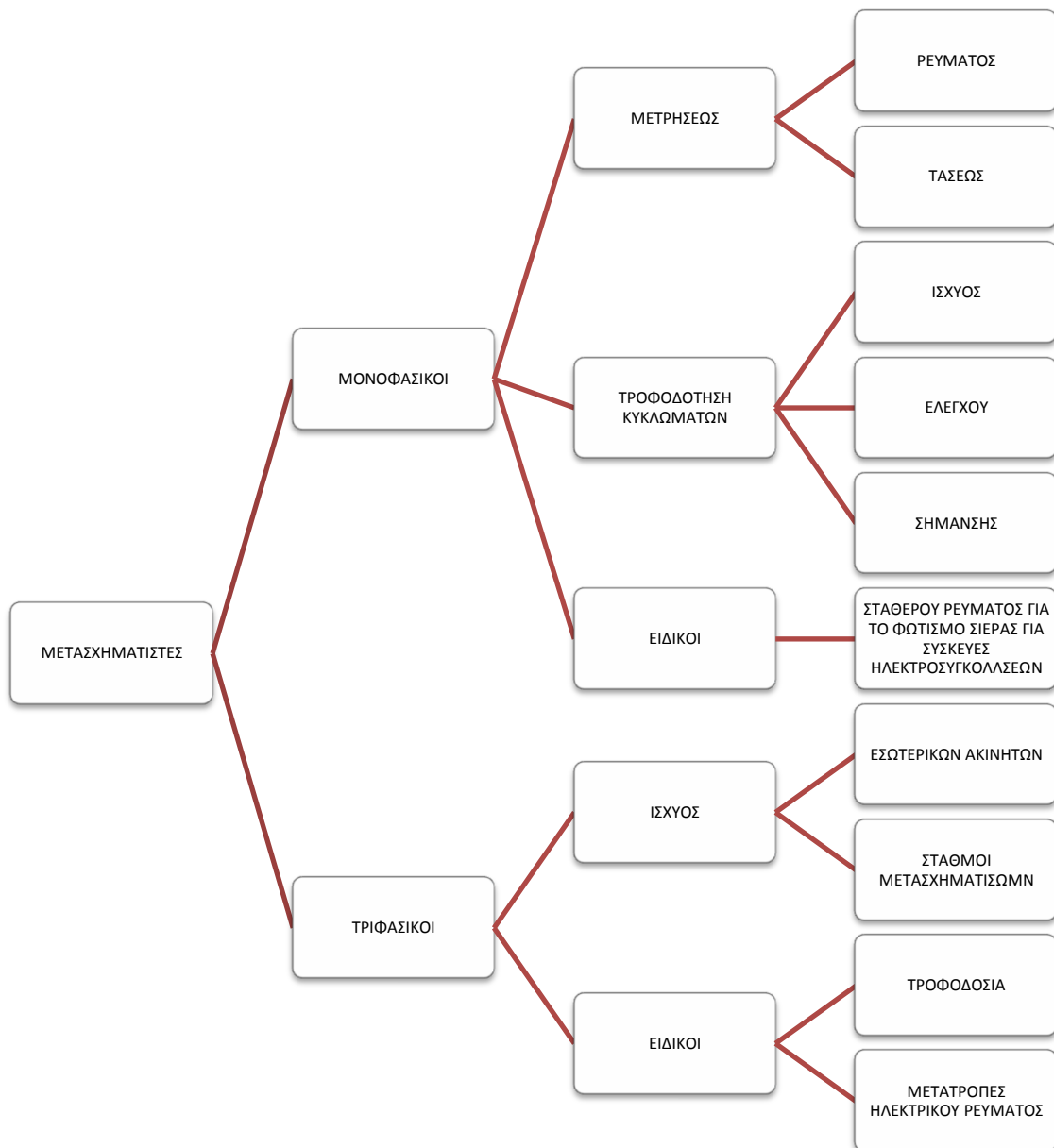
Όταν ο μετασχηματιστής εργάζεται με μειωμένο φορτίο, δηλαδή με μικρό ρεύμα δευτερεύοντος και με μικρό ρεύμα της αντιδράσεως , το ολικό ρεύμα πρωτεύοντος I_1 τείνει να πλησιάσει το ρεύμα μαγνητίσεως I_μ και η γωνία Ψ_1 να γίνει 90° . Αντίθετα, όταν ο μετασχηματισμός εργάζεται με πλήρες φορτίο, γενικά το ρεύμα μαγνητίσεως I_μ προκύπτει πολύ μικρό σε σχέση προς το ρεύμα της αντιδράσεως I'_1 , και γι αυτό το ολικό ρεύμα πρωτεύοντος I_1 διαφέρει πολύ λίγο από το ρεύμα I'_1 . Στη περίπτωση αυτή , μπορεί να αγνοηθεί το ρεύμα μαγνητίσεως , με αποτέλεσμα το ρεύμα πρωτεύοντος να δίνεται από τη σχέση :

$$I_1 = I_2 \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (1.14)$$

Όταν , αντίθετα ο μετασχηματιστής λειτουργεί με μειωμένο φορτίο ο ρεύμα μαγνητίσεως δεν είναι αμελητέο , με αποτέλεσμα ο λόγος $I_2 \cdot \frac{N_2}{N_1}$ να αναφέρεται στο ρευμα αντιδρασεως I'_1 , δηλαδή :

$$I'_1 = I_2 \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (1.15)$$

1.7 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ



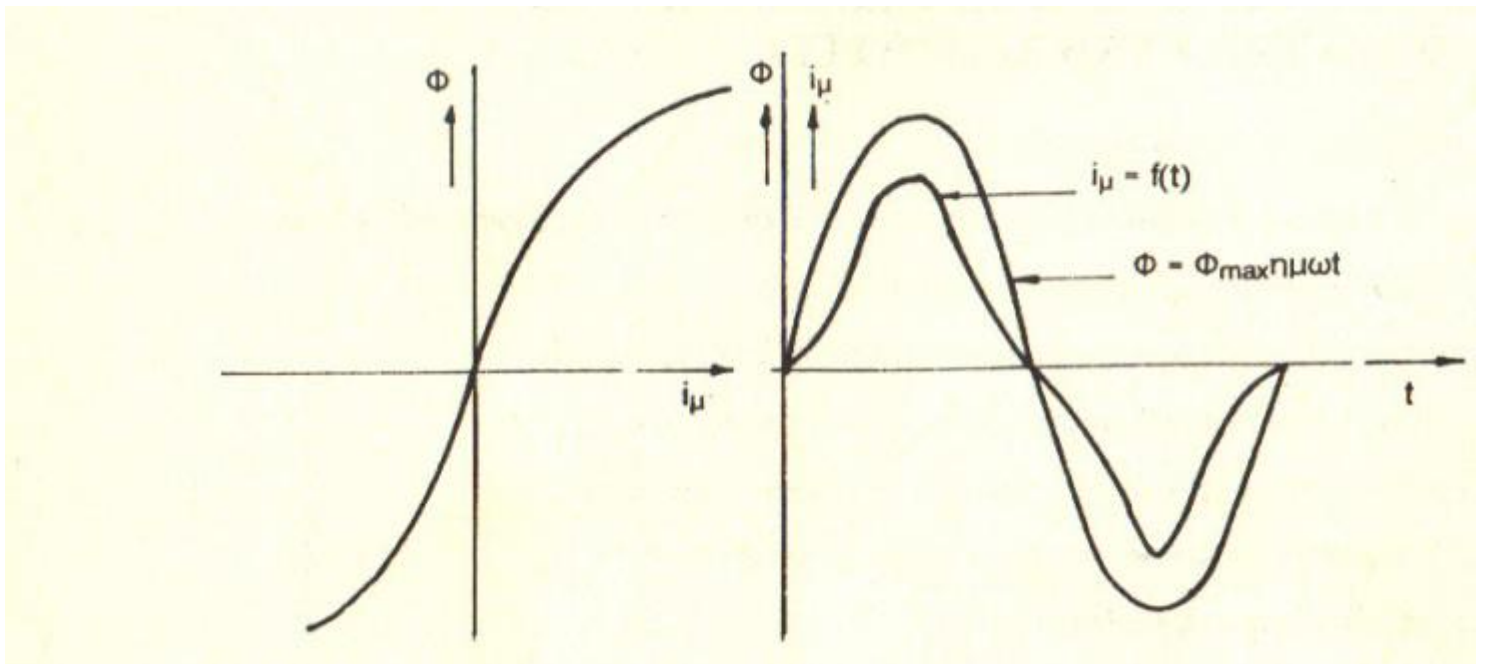
2^ο Ο ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΕΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

2.1 ΡΕΥΜΑ ΚΕΝΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Κατά την ανάπτυξη της κενής λειτουργίας του ιδανικού μετασχηματιστή δεν λάβαμε υπ' όψιν μας τις ωμικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων και τις απώλειες, που οφείλονται στην υστέρηση και στα παρασιτικά ρεύματα του πυρήνα. Σύμφωνα με την παραδοχή αυτή ο μετασχηματιστής, κατά την κενή λειτουργία, δεν απορροφά καμία ισχύ απορροφά όμως ένα καθορισμένο ρεύμα μαγνητίσεως I_{μ} , το οποίο παράγει τη ροή στον πυρήνα. Στην πραγματικότητα, η εναλλασσόμενη ροή στον πυρήνα προκαλεί αναπόφευκτα σπάταλη ενέργειας σε θερμότητα, εξ' αιτίας των φαινομένων της υστερήσεως και των παρασιτικών ρευμάτων. Για να εξετασθούν αυτά τα φαινόμενα χρειάζεται να προσδιορίσει πρώτα η μορφή της τάσεως τροφοδοτήσεως του πρωτεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή. Το πρωτεύον τύλιγμα των βιομηχανικών μετασχηματιστών γενικά τροφοδοτείται με μια εναλλασσόμενη τάση, πρακτικά ημίτονο με σταθερή ενεργό τιμή. Στην περίπτωση αυτή η Η.Ε.Δ, που επάγεται στο πρωτεύον τύλιγμα, για να ισορροπήσει την εφαρμοσμένη τάση πρέπει να προκύπτει και αυτή ημιτονική. Ακόμη, πρέπει να προκύπτει ημιτονική και η ροή που την προκαλεί. Υπενθυμίζεται ότι η μορφή του βρόχου υστερήσεως εξαρτάται από το είδος του υλικού, και είναι χαρακτηριστική για κάθε υλικό. Το μαγνητικό υλικό, συστατικό του πυρήνα, οδηγεί στην περιγραφή ενός βρόχου υστερήσεως συμμετρικού σε κάθε περίοδο της εφαρμοσμένης τάσεως. Αν αδιαφορήσουμε για τις απώλειες, μπορούμε να φαντασθούμε ότι το εμβαδόν του βρόχου υστερήσεως γίνεται ίσο με το μηδέν. Κατά συνέπεια, ο βρόχος εκφυλίζεται σε μια καμπύλη, που η μορφή της φαίνεται στο [σχήμα 2.1]

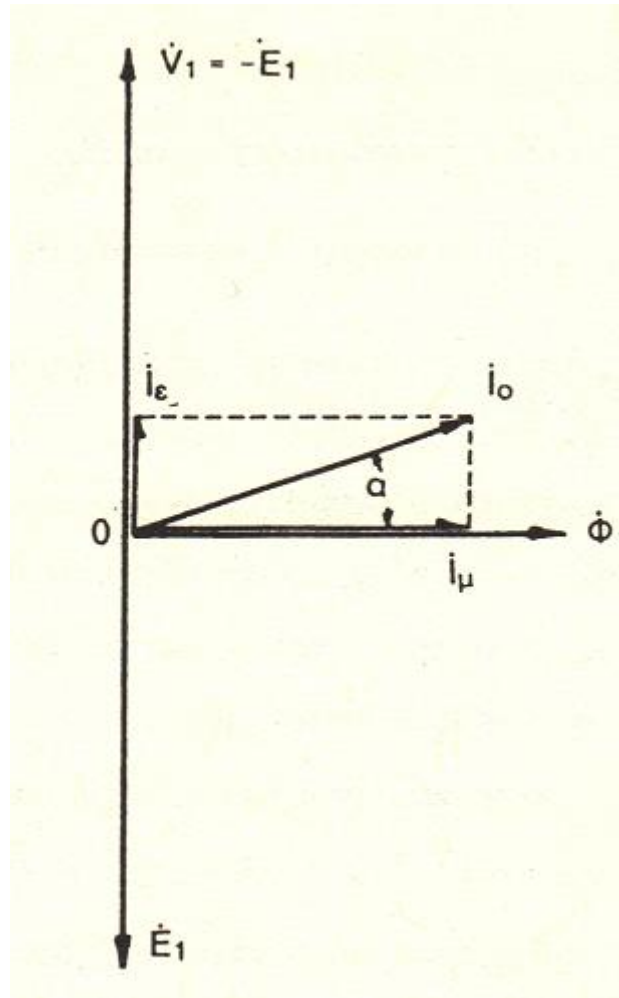
Οι τεταγμένες αυτής της καμπύλης με κατάλληλη κλίμακα μπορούν να αντιπροσωπεύσουν τις στιγμιαίες τιμές της ροής του πυρήνα και οι τετμημένος τις αντίστοιχες στιγμιαίες τιμές του ρεύματος μαγνητίσεως i_{μ} . Προκύπτει, λοιπόν, ότι η ροή είναι υποχρεωμένη να μεταβάλλεται στο χρόνο, ακλουθώντας την καμπύλη του ημίτονο $\Phi = \Phi_{max} \cdot \eta\mu\omega t$ [σχήμα 2.1]. Το ρεύμα μαγνητίσεως είναι υποχρεωμένο να μεταβάλλεται ακλουθώντας την καμπύλη $i_{\mu} = f(t)$. Το ρεύμα μαγνητίσεως, που απορροφά το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή, προκειμένου να προκαλέσει και να διατηρήσει τη ροή στον πυρήνα με πορεία ημιτόνιο, προκύπτει παραμορφωμένο, εξ αιτίας του μαγνητικού κορεσμού του υλικού του πυρήνα και της μη γραμμικότητας της χαρακτηριστικής μαγνητίσεως του σιδηροπυρήνα. Το ρεύμα μαγνητίσεως έτσι καθορισμένο βρίσκεται σε φάση με τη ροή. Στους συνηθισμένους

πρακτικούς υπολογισμούς το παραμορφωμένο ρεύμα μαγνητίσεως μπορεί να αντικατασταθεί με μια καμπύλη ημιτόνιο και μπορεί να παρασταθεί με ένα διάνυσμα I_{μ} σε φάση με το διάνυσμα Φ , που παριστάνει τη ροή που έχουμε στο [σχήμα 2.2] .



[Σχήμα 2.1]

Γραφική παράσταση που δείχνει την παραμόρφωση του ρεύματος μαγνητίσεως .



[Σχήμα 2.2]
 Διανυσματική παρουσίαση του ρεύματος κενής λειτουργίας I_0

Το πρωτεύον τύλιγμα απορροφά από την γραμμή , που το τροφοδοτεί , εκτός από το ρεύμα μαγνητίσεως I_{μ} ένα ρεύμα I_{ϵ} για την αντιμετώπιση των απωλειών του πυρήνα . Οι απώλειες του πυρήνα οφείλονται στην υστέρηση και στα παρασιτικά ρεύματα , και σύντομα , ονομάζονται απώλειες σιδηρού του μετασχηματιστή. Μπορούμε να πούμε ότι το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή κατά την κενή του λειτουργία απορροφά ένα ρεύμα I_o , που είναι αποτέλεσμα του ρεύματος μαγνητίσεως I_{μ} αναγκαίο για την παραγωγή της ροής και του ενεργού ρεύματος I_{ϵ} , αναγκαίο επίσης , για την αντιμετώπιση των απωλειών σιδηρού .Το ρεύμα κενής λειτουργίας I_o προπορεύεται της ροής Φ κατά μια γωνία α .Αυτή η γωνία είναι τόσο μεγαλύτερη , όσο μεγαλύτερος είναι και ο λόγος της ενεργού συνιστώσας I_{ϵ} προς τη συνιστώσα μαγνητίσεως I_{μ} . Η γωνία α ονομάζεται γωνία απωλειών του πυρήνα .

2.2 Απώλειες σιδηρού και καθορισμός του ρεύματος της κενής λειτουργίας I_o

Οι απώλειες στο μαγνητικό πυρήνα του μετασχηματιστή , όπως και σε κάθε άλλη ηλεκτρική μηχανή , διακρίνονται σε απώλειες από υστέρηση και σε απώλειες από παρασιτικά ρεύματα .

Οι απώλειες από υστέρηση είναι ανάλογες :

1. Προς το τετράγωνο της μεγαλύτερης τιμής της μαγνητικής επαγωγής B_{max} του πυρήνα .
2. Προς τη συχνότητα F

Ενώ είναι ανεξάρτητες από το πάχος των ελασμάτων

Ο Steinmetz έχει προτείνει τον εμπειρικό τύπο 2.1 για τον υπολογισμό σε Watt των απωλειών από υστέρηση .

$$P_u = a \cdot v f + B_{max}^{1.6} \quad (2.1)$$

Όπου :

V : ο όγκος του υλικού σε m^3

f : η συχνότητα του $E.P$ τροφοδοτήσεως σε Hz

B_{max} : η μεγαλύτερη τιμή της μαγνητικής επαγωγής σε $Weber/m^2$

Οι απώλειες από τα παρασιτικά ρεύματα είναι ανάλογες :

1^ο προς το τετράγωνο της μεγαλύτερης μαγνητικής επαγωγής

2^ο προς το τετράγωνο της συχνότητας f του ρεύματος τροφοδοτήσεως

3^ο προς το τετράγωνο του πάχους των ελασμάτων

Οι απώλειες από τα παρασιτικά ρεύματα υπολογίζονται από τον τύπο 2.2

$$P_{\alpha P} = \beta \cdot v \cdot (B_{max} \cdot f \cdot d)^2 \quad (2.2)$$

Όπου :

B_{max} : η μεγαλύτερη τιμή της μαγνητικής επαγωγής του εναλλασσόμενου

μαγνητικού πεδίου σε $weber/m^2$

f : η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος τροφοδοσίας σε Hz

d : το πάχος των ελασμάτων του υλικού σε m

β : ο συντελεστής , που έχει συνήθως τιμή $16,4 \cdot 10^6$

Στην πράξη υπολογίζουμε τις συνολικές απώλειες από τα παρασιτικά ρεύματα και υστέρηση με τη βοήθεια διαγραμμάτων . Επίσης , τις συνολικές απώλειες από υστέρηση και από παρασιτικά ρεύματα μπορούμε να τις υπολογίσουμε από τον τύπο (2.3)

$$P_{σιδ} = C_a \cdot B_{max}^2 \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^2 \cdot B \quad (2.3)$$

Όπου :

C_a : το ποσον των απωλειων των ελασματος σε W/kg

B_{max} : η μεγαλύτερη τιμή της μαγνητικής επαγωγής σε wb/m^2

f : η συχνότητα σε Hz

B : το βάρος του πυρήνα σε kg

Το C_a εκραζει το ποσον των απωλειων των ελασματος σε Watt , ανα χιλιογραμμο βαρους ελασματος , για τη μεγαλύτερη μαγνητικη επαγωγη $B_{max} = weber/m^2$ και συχνοτητα 50 Hz . Παιρνει την τιμη $1,1 \div 1,3 W/kg$, αναλογα με το παχος των ελασματος , όταν για την κατασκευή του πυρήνα χρησιμοποιούμε ελάσματα με πυρίτιο αντίθετα το C_a παιρνει την τιμη $0,6 \div 0,9 W/kg$, όταν χρησιμοποιουμε ελασματα με προσανατολισμένους κόκκους.

Η μεγαλύτερη τιμή της μαγνητικής επαγωγής υπολογίζεται ως εξής : Προσδιορίζουμε τη μεγαλύτερη ροή Φ_{max} με βάση την τάση τροφοδοτήσεως V_1 και το ανάλογο αριθμό σπειρών N_1 από τον παρακάτω τύπο (2.4)

$$\Phi_{max} = \frac{V_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1} \quad (2.4)$$

Η σχέση 2. 4 εκφράζει τη γνωστή συνθήκη , κατά την οποία η ροή πρέπει να δημιουργήσει μια Η.Ε.Δ , πρακτικά ίση με την εφαρμοσμένη τάση .

Όταν είναι γνωστή η μεγαλύτερη τιμή της ροής Φ_{max} στους κορμούς του πυρήνα , αν αυτοί έχουν διατομή S_k , τότε η τιμή της μεγαλύτερης μαγνητικής επαγωγής δίνεται από τη σχέση (2.5) .

$$B_{maxk} = \frac{\Phi_{max}}{S_k} \quad (2.5)$$

Σε μερικούς τύπους πυρήνων η ροή στο ζύγωμα είναι διαφορετική από τη ροή του κορμού Φ_{max} . Τότε, η τιμή δίνεται από τη σχέση (2.6)

$$\Phi_{maxj} = \frac{B_{maxj}}{S_j} \quad (2.6)$$

Το βάρος του πυρήνα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$B = K_\sigma \cdot S \cdot L \cdot P_\sigma \quad (2.7)$$

Όπου :

K_σ : ο συντελεστής στοιβάσματος ίσος με -0.9

S : εγκάρσια φαινομενική διατομή του κορμού σε m^2

L : μήκος σε m

P_σ : Ειδικό βάρος των ελασμάτων σε kg/m^3 $P_\sigma = \sim 7700$

Κατά την κενή λειτουργία του μετασχηματιστή, οι μόνες αισθητές απώλειες είναι οι απώλειες στο σίδηρο του πυρήνα, γιατί οι απώλειες που προέρχονται από το φαινόμενο Joule είναι ασήμαντες, αφού το ρεύμα κενής λειτουργίας I_o είναι παρα πολύ μικρό.

Ο μετασχηματιστής κατά την κενή λειτουργία, για να αντιμετωπίσει τις απώλειες, απορροφά ενεργό ρεύμα I_ε , το οποίο καθορίζεται από τον τύπο (2.8)

$$I_\varepsilon = \frac{P_o}{V_1} \quad (2.8)$$

Η ενεργή συνιστώσα I_ε του ρευματος κενής λειτουργίας ενός μονοφασικού μετασχηματιστή, προσδιορίζεται από τον λόγο των απωλειών κενής λειτουργίας προς την τάση τροφοδοσίας.

2.3 Υπολογισμός του ρεύματος μαγνητίσεως

Η μεγαλύτερη τιμή του ρεύματος μαγνητίσεως προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$I_{\mu max} = \frac{A_{\sigma\pi}}{N_1} \quad (2.9)$$

Η ενεργός τιμή αυτού του ρεύματος , παρ' όλο που είναι αλλοιωμένο , στους πρακτικούς υπολογισμούς προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$I_{\mu} = \frac{I_{\mu max}}{\sqrt{2}} = \frac{A_{\sigma\pi}}{\sqrt{2} \cdot N_1} \quad (2.10)$$

Κατά συνέπεια , ο υπολογισμός του ρεύματος μαγνητίσεως συνίσταται στον προσδιορισμό του αριθμού των αναγκαίων αμπεροσπειρών $A_{\sigma\pi}$, οι οποίες χρειάζονται ,για να παράγουν στον πυρήνα την απαιτούμενη ροή .

Ο ολικός αριθμός των αμπεροσπειρών $A_{\sigma\pi}$, ενός μονοφασικού πυρήνα με δυο κορμούς με δυο ζυγώματα και με τέσσερις συνδέσεις ,προκύπτει από το άθροισμα :

$$A_{\sigma\pi} = 2 \cdot H_{\kappa} \cdot I_{\kappa} + 2 \cdot H_j \cdot I_j + 4 \cdot H_{\delta} \cdot \delta_{\delta} \quad (2.11)$$

Όπου :

H_{κ} : αριθμός αμπεροσπειρών/cm του κορμου για μια επαγωγή $B_{max\kappa}$

I_{κ} : υψος ενός κορμου σε cm

H_j : αριθμός αμπεροσπειρών/cm του ζυγωματος για μια επαγωγή B_{maxj}

I_j : μήκος ενς ζυγωματος σε cm , μεταξύ δυο κορμων

δ_{δ} : παχος σε cm κάθε συνδεσεως

H_{δ} : αριθμός αμπεροσπειρών/cmτης συνδεσεως για μια επαγωγή ιση με εκείνη $B_{max\kappa}$ του κορμου

Οι συνδέσεις σε κάθε περίπτωση ,δείχνουν διαπερατότητα ιση με εκείνη του κενού , δηλαδή $\mu_o = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$

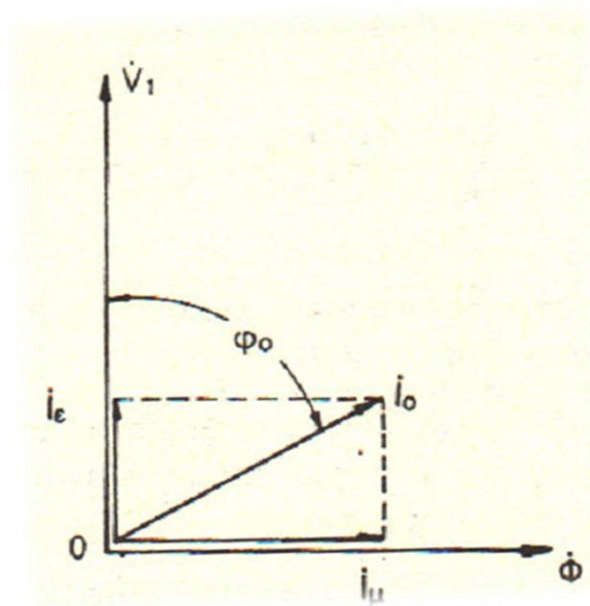
Κατά συνέπεια προκύπτει η σχέση :

$$H_{\delta} \cdot \frac{B_{max\kappa}}{\mu_o} = 0.8 \cdot 10^6 \cdot B_{max\kappa} [A_{\sigma\pi}/m] = 0.8 \cdot 10^4 \cdot B_{max} [A_{\sigma\pi}/cm]$$

2.4 Ολικό ρεύμα στο κενό , συντελεστής ισχύος στο κενό

Αφού έχουν προσδιοριστεί οι δυο συνιστώσες , δηλαδή η ενεργός I_ε και η μαγνητισεως I_μ μενει ακομα ο προσδιορισμός του ρεύματος I_o της κένης λειτουργίας του μετασχηματιστή . Με βάση το διάγραμμα του σχήματος [Σχήμα 2.3] προκύπτει η σχέση (2.12):

$$I_o = \sqrt{I_\varepsilon^2 + I_\mu^2} \quad (2.12)$$



[Σχήμα 2.3]

Ρεύμα κενής λειτουργίας μονοφασικού μετασχηματιστή

Η γωνία Φ_o του ρεύματος I_o σε σχέση με την τάση V_1 καθορίζεται από τη σχέση 2.13

$$\Phi_o = \text{τοξοεφ} \frac{I_\mu}{I_\varepsilon} \quad (2.13)$$

Το συνημίτονο της γωνίας Φ_o αποτελεί το συντελεστή ισχύος του μετασχηματιστή στην κενή λειτουργία του και καθορίζεται από τη σχέση (2.14) :

$$\text{συν}\varphi_o = \frac{P_o}{V_1 \cdot I_o} \quad (2.14)$$

Η σχέση που προκύπτει είναι η (2.15) , η οποία εκφράζει την ισχύ του μετασχηματιστή κατά την κενή λειτουργία του :

$$P_o = V_1 \cdot I_\varepsilon = V_1 \cdot I_o \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi_o \quad (2.15)$$

Μερικές φορές το ρεύμα I_o και η ισχύς P_o της κενής λειτουργίας του μετασχηματιστή εκφράζονται ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) του ονομαστικού ρεύματος πρωτεύοντος I_{1N} και της ονομαστικής ισχύος P_N , με βάση της ακόλουθες σχέσεις :

$$I_o \% = \frac{I_o}{I_{1N}} \cdot 100$$

$$P_o \% = \frac{P_o}{P_N} \cdot 100 \quad (2.16)$$

Η ονομαστική ισχύς του μετασχηματιστή ορίζεται σε VA και είναι το γινόμενο της τάσεως και του ρεύματος (πρωτεύοντος η δευτερεύοντος) :

$$P_N = V_1 \cdot I_{1N} = V_{o2} \cdot I_{2N} \quad (2.17)$$

Ο συντελεστής ισχύος $\sigma\upsilon\nu\varphi_o$ της κενής λειτουργίας του μετασχηματιστή μπορεί να καθარიσθεί και από την ακόλουθη σχέση :

$$\sigma\upsilon\nu\varphi_o = \frac{P_o \%}{I_o \%} \quad (2.18)$$

Η τιμή επί τοις εκατό (%) του ρεύματος κενής λειτουργίας περιλαμβάνεται κανονικά μεταξύ 6% και 12 % της τιμής του ονομαστικού ρεύματος .Ο συντελεστής της ισχύος $\sigma\upsilon\nu\varphi_o$ προκύπτει αντίστοιχα πάντα πολύ μικρός δηλαδή της τάξεως του 0,08 έως 0,13 . Γενικά ο συντελεστής ισχύος είναι μικρός για τους Μ/Σ με μεγαλύτερη ισχύ και μεγαλύτερος για του Μ/Σ με μικρή ισχύ.

2.5 Ωμική αντίσταση πρωτεύοντος και δευτερεύοντος

Τα τυλίγματα , πρωτεύον και δευτερεύον , του μετασχηματιστή παρουσιάζουν χωρίς αμφιβολία , κάποια ηλεκτρική αντίσταση . Αυτή ονομάζεται ωμική αντίσταση πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του μετασχηματιστή , οι αντιστάσεις αυτές έχουν στη λειτουργία του μετασχηματιστή , διπλή επίδραση :

1. προκαλούν πτώση τάσεως , η οποία ονομάζεται ωμική πτώση τάσεως πρωτεύοντος και δευτερεύοντος .
2. προκαλούν σπάταλη στην ενεργεία , εξ' αιτίας του φαινομένου Joule . Η ισχύς αυτή που σπαταλιέται , αποτελεί τις λεγόμενες απώλειες χαλκού πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του μετασχηματιστή . Για τον περιορισμό αυτών των απωλειών είναι αναγκαίο να είναι μικρές οι αντιστάσεις των δυο τυλιγμάτων του μετασχηματιστή . Κατά συνέπεια πρέπει να γίνει η εκλογή της κατάλληλης διατομής των αγωγών του τυλίγματος .

Τα τυλίγματα ψηλής τάσεως παρουσιάζει ωμική αντίσταση μεγαλύτερη από το τύλιγμα χαμηλής τάσεως , γιατί έχει μεγαλύτερο αριθμό σπειρών μικρής διατομής σε σχέση με το τύλιγμα χαμηλής τάσεως . Οι αντιστάσεις πρωτεύοντος και δευτερεύοντος R_1 και R_2 είναι πρακτικά ανάλογες σε τρόπο ώστε κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή σε πλήρες φορτίο οι απώλειες των δυο τυλιγμάτων να προκύπτουν σχεδόν όσες μεταξύ τους .Αρα για τα επόμενα θα ισχύει :

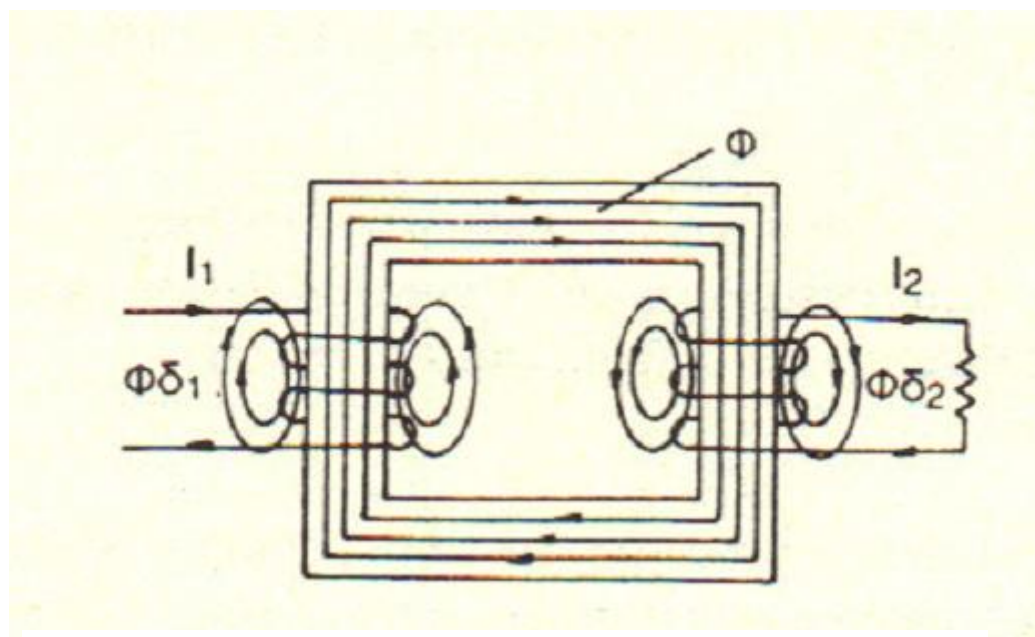
$$R_1 \cdot I_1^2 = R_2 \cdot I_2^2 \quad (2.19)$$

Η σχέση (2.19) δεν επαληθεύεται ποτέ ακριβώς , γιατί στην πράξη η εκλογή των αγωγών του τυλίγματος γίνεται μεταξύ των διατομών του εμπορίου , η διάφορα όμως γενικά δεν είναι πολύ μεγάλη .

2.6 Επαγωγική αντίσταση πρωτεύοντος και δευτερεύοντος

Κατά την εξέταση του ιδανικού μετασχηματιστή , υποτίθεται ότι ολόκληρη η ροή που ενδιαφέρει τη λειτουργία της μηχανής διοχετεύεται στον πυρήνα . Στην πραγματικότητα μερικές από τις μαγνητικές δυναμικές γραμμές βγαίνουν από το κύκλωμα στα άκρα του πηνίου και κλείνουν το κύκλωμα τους , γύρω από το τύλιγμα δια μέσου του αέρα.

Στο [σχήμα 2.4] φαίνεται η κατανομή της ροής ενός μονοφασικού μετασχηματιστή , που το πρωτεύον τύλιγμα ένια στον ένα κορμό , ενώ το δεύτερον βρίσκεται στον άλλο κορμό .



[Σχήμα 2.4]

Σχηματική παράσταση των μαγνητικών απωλειών

Στην αρχή , ροή Φ διοχετεύεται στον πυρήνα , με αποτέλεσμα να συνδέει τα δυο τυλίγματα , πρωτεύον και δευτερεύον . Αυτή είναι η ωφέλιμη ροή του μετασχηματιστή , δηλαδή η ροή εκείνη , που καθορίζει τη μεταφορά ενεργείας από το πρωτεύον στο δεύτερον και αυτή την ονομάζουμε κυρία ροή . Οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές , που ξεφεύγουν από τον πυρήνα και κλείνουν το κύκλωμα τους γύρω από το πρωτεύον τύλιγμα , δια μέσου του αέρα αντιπροσωπεύουν τη ροή σκεδάσεως η διαφυγής του πρωτεύοντος . Η ροή σκεδάσεως του πρωτεύοντος δεν παρουσιάζει το φαινόμενο του κορεσμού γιατί αναπτύσσεται στον αέρα είναι όμως ανάλογο προς το ρεύμα I_1 , που την παραγει . Συμβολίζοντας με $\Phi_{\delta 1}$ τη ροή σκεδασεως του πρωτευοντος και με L_1 ένα καταλληλο συντελεστη έχουμε τη σχέση (2.20) .

$$\Phi_{\delta 1} = I_1 \cdot L_1 \quad (2.20)$$

Ο συντελεστής L_1 , καθορισμένος έτσι αποτελεί την αυτεπαγωγή εκ σκεδάσεως του πρωτεύοντος και μετριέται σε Henry αντιστοιχεί στην επαγωγική αντίσταση εκ σκεδάσεως του πρωτεύοντος , που μετριέται σε Ohm και προσδιορίζεται από τη σχέση (2.21):

$$X_1 = \omega \cdot L_1 \quad (2.21)$$

Ανάλογα , στο δεύτερον συμβαίνουν τα ακόλουθα : όταν ο μετασχηματιστής δουλεύει στο κενό , τότε το δεύτερον του τύλιγμα δεν διαρρέεται από κανένα ρεύμα για αυτό δεν δημιουργείται καμία ροή . Στην περίπτωση αυτή το τύλιγμα βρίσκεται κάτω από την επίδραση τη κύριας ροής Φ , η οποία δημιουργείται από το ρεύμα μαγνητίσεως , που απορροφά το πρωτεύον τύλιγμα . Αντίθετα όταν το δεύτερον τύλιγμα του μετασχηματιστή συνδεθεί ένα φορτίο , τότε αυτό διαρρέεται από ένα καθορισμένο ρεύμα I_2 . Το ρεύμα I_2 δημιουργεί στον πυρήνα μια μαγνητεργετική δύναμη $N_2 \cdot I_2'$, η οποία ισορροπείται όπως είναι γνωστό από μια μαγνητεργετική δύναμη ίση και αντίθετη $N_2 \cdot I_1'$ η οποία οφείλεται στο πρωτεύον ρεύμα αντιδράσεως I_1' . Με τον τροπο αυτό , η κύρια ροή στον πυρήνα παραμένει αμετάβλητη . Επίσης το δευτερεύον τύλιγμα δημιουργεί μια ροή , η οποία κλείνει το μαγνητικό της κύκλωμα στον αέρα γύρω από το δευτερεύον τύλιγμα , χωρίς να περνά από το πρωτεύον τύλιγμα .Αυτή η ροή αποτελεί τη ροή σκεδάσεως ή διαφυγής του δευτερεύοντος και είναι ανάλογη και σε φάση με το ρεύμα I_2 που την προκαλεί . Συμβολίζοντας με $\Phi_{\delta 2}$ τη ροή πρωτεύοντος και με L_2 ένα κατάλληλο συντελεστή τότε έχουμε τη σχέση (2.22):

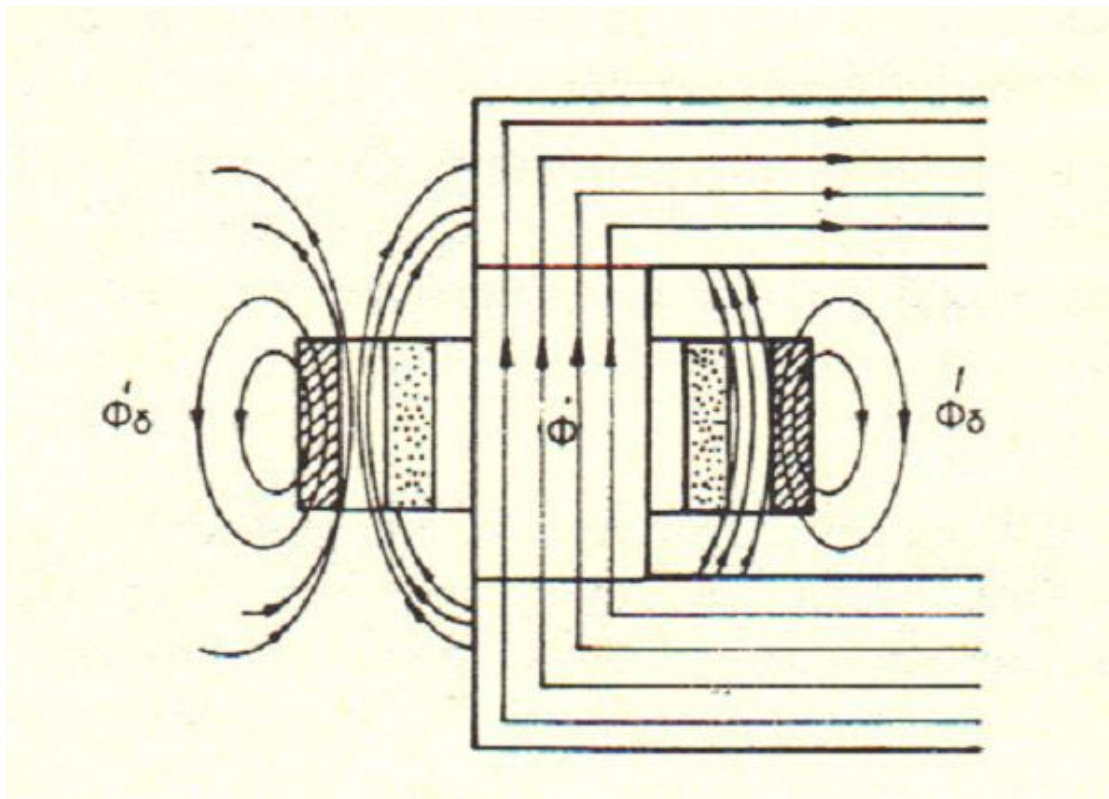
$$\Phi_{\delta 2} = L_2 \cdot I_2 \quad (2.22)$$

Ο συντελεστής L_2 καθορισμένος έτσι αποτελεί την αυτεπαγωγή εκ σκεδάσεως του δευτεροντος στην οποία αντιστοιχεί η επαγωγική αντίσταση εκ σκεδάσεως του δευτερεύοντος , που μετριέται σε Ω και προσδιορίζεται από τη σχέση (2.23) :

$$X_2 = \omega \cdot L_2 \quad (2.23)$$

Οι τιμές των δυο επαγωγικών αντιστάσεων εκ σκεδάσεως X_1 και X_2 εξαρτώνται , για μια δεδομένη συχνότητα , από την ποσότητα της ροής σκεδάσεως , και γιατί εξαρτώνται από τον τύπο και την διαμόρφωση των τυλιγμάτων . Οι ροές σκεδάσεως προκύπτουν τόσο μεγαλύτερες τόσο μεγαλύτερες , σε σχέση με άλλες συνθήκες όσο πιο απομακρυσμένα είναι μεταξύ τους τα δυο τυλίγματα του μετασχηματιστή . Η κατανομή των δυο τυλιγμάτων , ψηλής και χαμηλής τάσης , όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4 , προκαλεί μεγάλη σκέδαση και για το λόγο αυτό δεν εφαρμόζεται ποτέ στη πράξη .

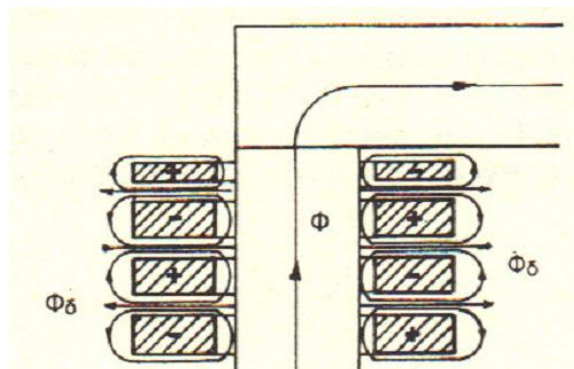
Στο [σχήμα 2.5] φαίνεται η πορεία της ροής σκεδάσεως των ομόκεντρων τυλιγμάτων .



[Σχήμα 2.5]

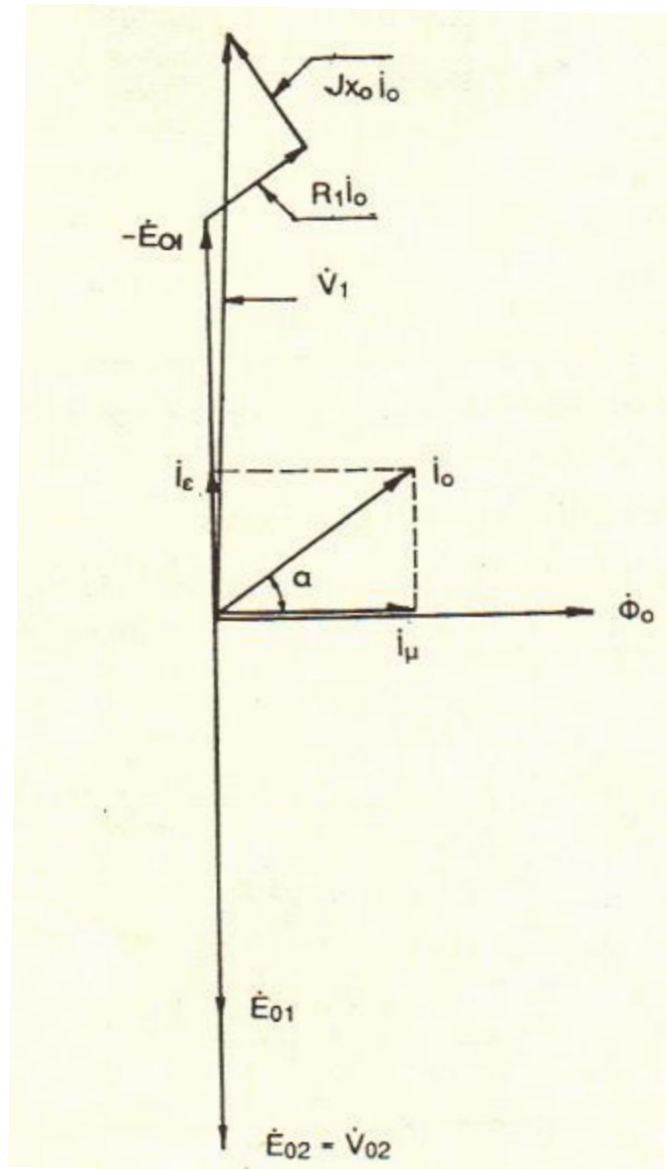
Ροές σκεδάσεως στα ομόκεντρα τυλίγματα

Στην περίπτωση αυτή η ροη σκεδάσεως αναπτύσσεται κυρίως στο διάστημα που περιλαμβάνεται μεταξύ των δυο τυλιγμάτων . Η σκέδαση προκύπτει μικρότερη , όταν το τύλιγμα χαμηλής τάσεως διαιρεθεί σε δυο μέρη , και τοποθετηθεί το ένα μέρος εσωτερικά και το άλλο εξωτερικά στο τύλιγμα υψηλής τάσεως . Στο [σχήμα 2.6] φαίνεται η πορεία της ροής σκεδάσεως των τυλιγμάτων με μπομπίνες εναλλάξ . Η σκέδαση στην περίπτωση αυτή είναι τόσο μικρή όσο πιο κοντά είναι μεταξύ τους οι μπομπίνες υψηλής και χαμηλής τάσεως .



[Σχήμα 2.6]

Ροη σκεδάσεως στα τυλίγματα με μπομπίνες εναλλάξ.



[Σχήμα 2.8]

Διανυσματικό διάγραμμα κενής λειτουργίας μονοφασικού μετασχηματιστή

Η ροή Φ_0 επάγει στα δυο τυλίγματα πρωτεύον και δευτερεύον, δυο Η.Ε.Δ, δηλαδή την Η.Ε.Δ E_{01} πρωτεύοντος και την Η.Ε.Δ E_{02} δευτερεύοντος. Αυτές αποτελούν τις Η.Ε.Δ της κενής λειτουργίας του μετασχηματιστή, και βρίσκονται σε καθυστέρηση 90° σε σχέση με την ροή Φ_0 . Η ενεργός τιμή των Η.Ε.Δ της κενής λειτουργίας του μετασχηματιστή προσδιορίζεται από τις σχέσεις:

$$E_{01} = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_{0max} \cdot N_1$$

$$E_{02} = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_{0max} \cdot N_2$$

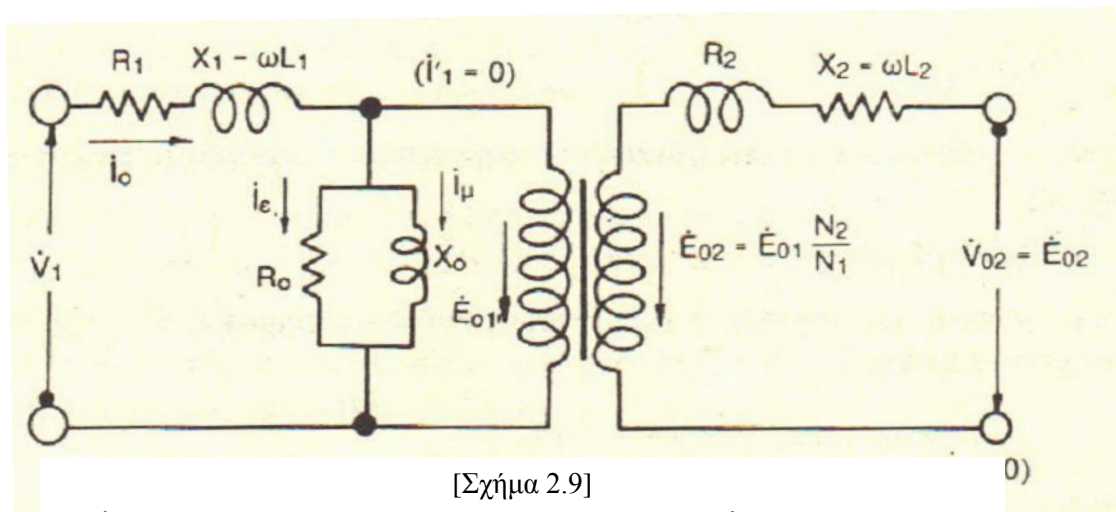
Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι :

$$\frac{E_{01}}{E_{02}} = \frac{N_1}{N_2} = m$$

Το δεύτερον τύλιγμα του μετασχηματιστή , κατά την κενή λειτουργία του δεν διαρρέεται από κανένα ρεύμα , γιατί είναι ανοιχτό , με αποτέλεσμα να μην δημιουργείται καμία πτώση τάσεως . Αν εφαρμόσουμε το νόμο του Ω στο κύκλωμα αυτό προκύπτει η διανυσματική σχέση (2.24)

$$V_{02} = E_{02} \quad (2.24)$$

Η σχέση 2.7.4 δείχνει ότι στην κενή λειτουργία του μετασχηματιστή η τάση V_{02} στα άκρα του δευτερεύοντος είναι ακριβώς ίση με την αντίστοιχη Η.Ε.Δ . Το πρωτεύον κύκλωμα του μετασχηματιστή στη κενή λειτουργία διαρρέεται από ρεύμα I_0 . Κατά συνέπεια δημιουργεί ωμική πτώση τάσεως , εξ' αιτίας της αντιστάσεως R_1 και επαγωγική πτώση τάσεως , εξ' αιτίας της επαγωγικής αντιστάσεως του πρωτεύοντος X_1



Ηλεκτρικό σχήμα μονοφασικού μετασχηματιστή , που λειτουργεί στο κενό

Αν εφαρμόσουμε το νόμο του Ohm στο πρωτεύον κύκλωμα του μετασχηματιστή , έχουμε την παρακάτω διανυσματική έκφραση:

$$\begin{aligned} V_1 + E_{01} &= R_1 \cdot I_0 + j \cdot X_1 \cdot I_0 \\ V_1 &= -E_{01} + R_1 \cdot I_0 + j \cdot X_1 \cdot I_0 \end{aligned} \quad (2.25)$$

Μπορούμε να εκφράσουμε σύντομα από το αποτέλεσμα λέγοντας ότι η τάση πρωτεύοντος V_1 πρέπει να νικήσει την αντιηλεκτρεγερτική δύναμη $-E_{01}$ και τις δυο πτώσεις τάσεως , ωμική και επαγωγική $R \cdot I_0$ και $j \cdot X_o \cdot I_0$. Το διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος [Σχήμα 2.8] προκύπτει από τη γραφική ερμηνεία των διανυσματικών εξισώσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος , και της ισότητας που συνδέει το ρεύμα I_0 με τη ροή . Η Η.Ε.Δ του πρωτεύοντος δεν προκύπτει ίση με τη

τάση που εφαρμόζεται αλλά αντίθετα , προκύπτει λίγο μικρότερη , για ένα μέρος της τάσεως χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των πτώσεων τάσεων που προκαλούνται από το ρεύμα κενής λειτουργίας του μετασχηματιστή I_o στην ωμική αντίσταση και στην επαγωγική αντίσταση εκ σκεδάσεως του πρωτεύοντος τυλίγματος . Στην κενή λειτουργία του μετασχηματιστή μπορούμε να πούμε ότι ισχύουν κατά προσέγγιση οι σχέσεις :

$$V_1 = -E_1$$

$$V_{02} = E_{02} = -V_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (2.26)$$

Για αυτό το ρεύμα κενής λειτουργίας του μετασχηματιστή I_o είναι πολύ μικρο , με αποτέλεσμα οι προκαλούμενες από αυτό πτώσεις τάσεως στο πρωτεύον να είναι επίσης πολύ μικρές , ουσιαστικά αμελητέες. Ο λόγος μετασχηματισμού της κενής λειτουργίας του μετασχηματιστή προσδιορίζεται από τη σχέση (2.27)

$$K_0 = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.27)$$

Η ισχύς που απορροφά ο μετασχηματιστής στην κενή λειτουργία , προσδιορίζεται από τη σχέση (2.28)

$$P_o = V_1 \cdot I_o \cdot \sigma \nu \nu \varphi_o \quad (2.28)$$

Από προσεκτική παρατήρηση του διανυσματικού διαγράμματος του σχήματος 2.8 μπορεί να ληφθέν η σχέση (2.29):

$$V_1 \cdot I_o \cdot \sigma \nu \nu \varphi_o = E_{01} \cdot I_o \cdot \sigma \nu \nu \psi_o + R_1 \cdot I_o^2 \quad (2.29)$$

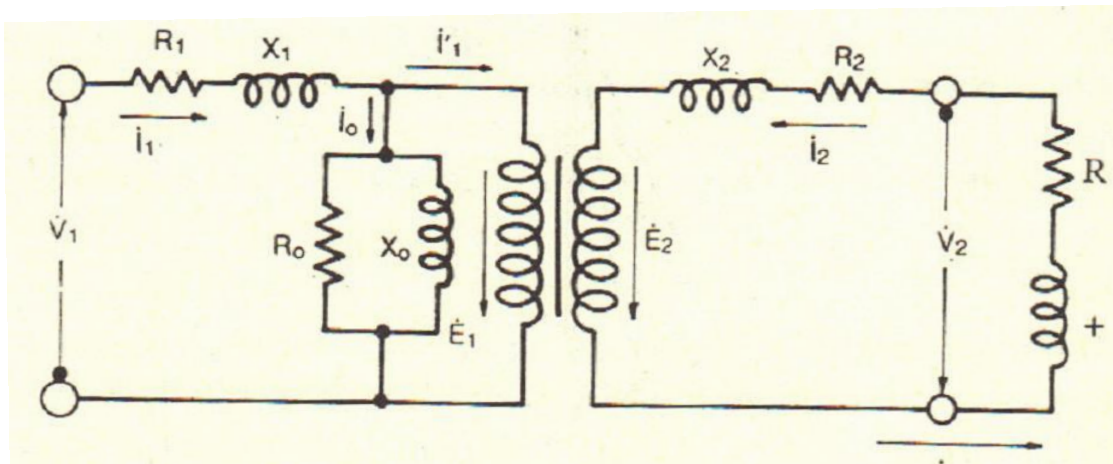
Προκύπτει , δηλαδή , ότι η απώλεια κατά την κενή λειτουργία P_o περιλαμβάνει τις απωλεις σιδηρου P_{Fe} , οπου $P_{Fe} = E_{01} \cdot I_o \cdot \sigma \nu \nu \psi_o$, και τις απωλεις εξ' αιτίας του φαινομενου Joule $P_j = R_1 \cdot I_o^2$. Οι απωλεις εξ' αιτίας του φαινομενου Joule είναι πολύ μικρές σε σχέση με τις απώλειες σιδηρού . Κατά συνέπεια , η ισχύς $P_o = V_1 \cdot I_o \cdot \sigma \nu \nu \varphi_o$, που απορροφά ο μετασχηματιστής στην κενή λειτουργία του , αντιστοιχεί μόνο με τις απώλειες σιδηρού .

3^ο Ο ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΟ ΦΟΡΤΙΟ

3.1 Λειτουργία του μετασχηματιστή υπό φορτίο

Στο μετασχηματιστή, που λειτουργεί υπό φορτίο αντιστοιχεί το σχήμα 3.1. Το πρωτεύον τυλίγμα του μετασχηματιστή τροφοδοτείται από την τάση V_1 , ενώ στα άκρα του δευτερεύοντος τυλίγματος έχει συνδεθεί σύνθετη αντίσταση Z , (ωμική επαγωγική ή χωρητική), η οποία καθορίζει μια σαφή σχέση μεταξύ της τάσεως V_2 στα άκρα του δευτερεύοντος και του ρεύματος I_2 . Η σχέση αυτή προσδιορίζεται από τη διανυσματική έκφραση (3.1)

$$V_2 = z \cdot I_2 = R \cdot I_2 + j \cdot x \cdot I_2 \quad (3.1)$$



[Σχήμα 3.1]

Ηλεκτρικό σχήμα μονοφασικού μετασχηματιστή, που λειτουργεί υπό φορτίο

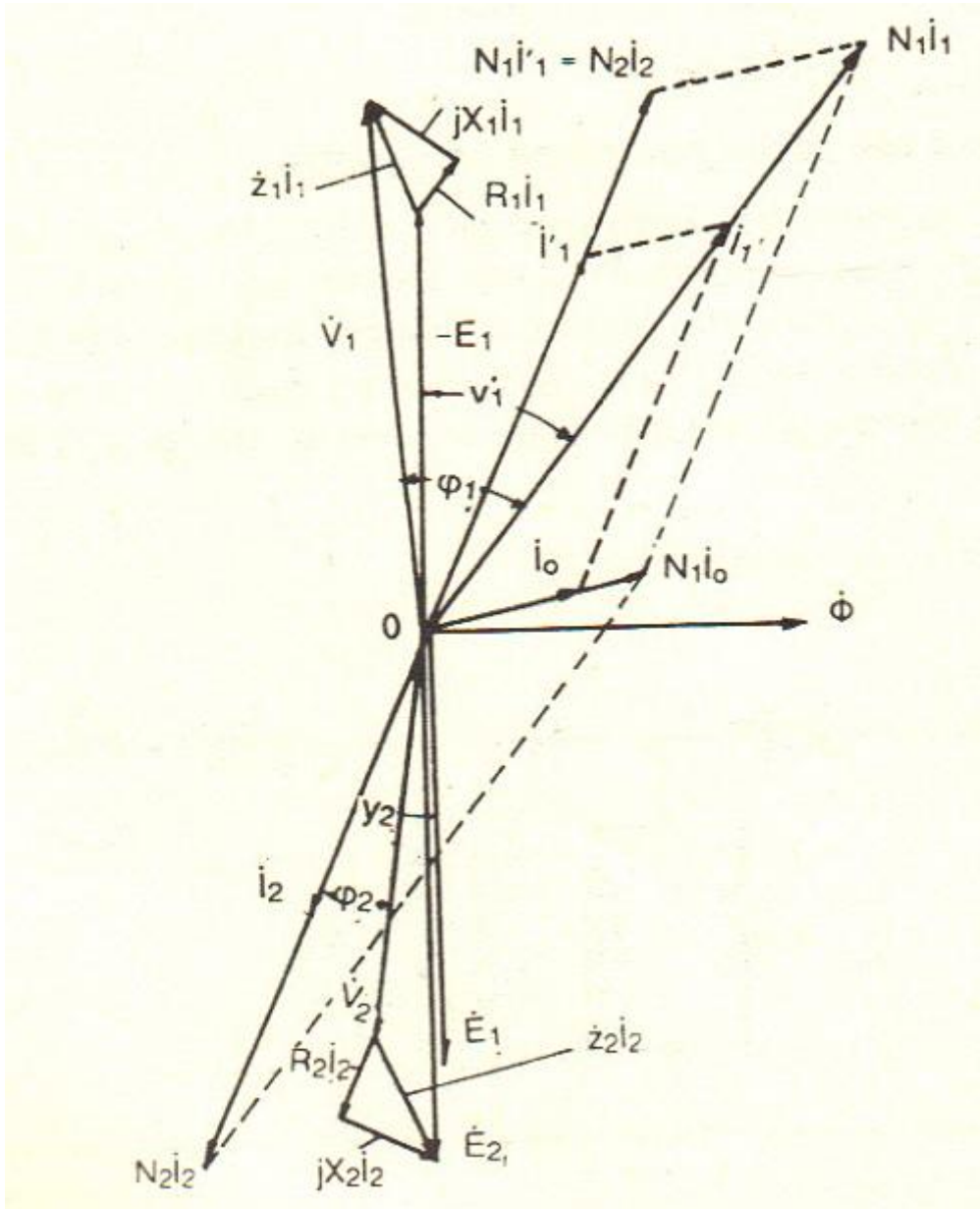
Η διάφορα φάσεως μεταξύ του ρεύματος I_2 και της τάσεως V_2 στα άκρα του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή εξαρτάται από τη φύση του φορτίου Z . Στο σχήμα 3.1 το φορτίο Z είναι επαγωγικό για αυτό το ρεύμα I_2 θα βρίσκεται σε διαφορά φάσεως ως προς την τάση V_2 κατά μια γωνία Φ_2 . Εφαρμόζοντας το νομο του Ohm στο δευτερον κυκλωμα προκυπτει η εκφραση (3.2)

$$V_2 = E_2 - R \cdot I_2 - j \cdot x_2 \cdot I_2$$

ή

$$E_2 = V_2 + R \cdot I_2 + j \cdot x_2 \cdot I_2 \quad (3.2)$$

Η εξίσωση (3.2) ερμηνεύεται από το διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος [3.2]. Σε αυτό το Η.Ε.Δ του δευτερεύοντος E_2 αποτελεί την κλειστή πλευρά του πολυγώνου, το οποίο έχει διαδοχικές πλευρές την τάση V_2 στα άκρα του δευτερεύοντος, την ωμική πτώση τάσεως $R_2 \cdot I_2$ σε φάση με το I_2 και την επαγωγική πτώση τάσεως $j \cdot x_2 \cdot I_2$ σε προπορεία 90° . Το αποτέλεσμα των δυο πτώσεων τάσεων αποτελεί τη συνολική πτώση τάσεως του δευτερεύοντος, η οποία εκφράζεται από το $Z_2 \cdot I_2$.



[Σχήμα 3.2]

Διανυσματικό διάγραμμα της λειτουργίας μονοφασικού μετασχηματιστή υπό φορτίο

Η γωνία φ_2 της διαφοράς φάσεως της τάσεως V_2 και του ρευματος I_2 εξαρτάται μόνο από τη φύση του φορτίου και καθορίζεται από τη σχέση (3.3)

$$\varepsilon\varphi\varphi_2 = X/R \quad (3.3)$$

Όπου αντίστοιχα X και R είναι αντίστοιχα η επαγωγική και η ωμική αντίσταση του κυκλώματος, που τροφοδοτείται από το δεύτερο τύλιγμα. Το συνημίτονο της γωνία φ_2 (συν φ_2) αποτελεί το συντελεστή ισχύος του χρησιμοποιούμενου κυκλώματος. Η γωνία ψ_2 της διαφοράς φάσεως της Η.Ε.Δ E_2 και του ρευματος I_2 αποτελεί την ολική διαφορά φάσεως του δευτεροντος. Εξαρτάται δε τόσο από το εξωτερικό κύκλωμα όσο και από την ωμική και επαγωγική αντίσταση, την οποία παρουσιάζει το δεύτερο τύλιγμα και καθορίζεται από τη σχέση (3.4)

$$\text{συν}\psi_2 = \frac{X + X_2}{R + R_2} \quad (3.4)$$

Η τιμή της ροής Φ_{max} , με βάση την Η.Ε.Δ του δευτεροντος, καθορίζεται από τη σχέση (3.5)

$$\Phi_{max} = E_2 / 4,44 \cdot f \cdot N_2 \quad (3.5)$$

Η Η.Ε.Δ του δευτερεύοντος E_2 βρίσκεται σε καθυστέρηση 90° ως προς τη ροή που την προκαλεί. Η ροή καθορισμένη με τον τρόπο αυτό παριστάνεται με ένα διάνυσμα Φ σε προπόμενα 90° ως προς την Η.Ε.Δ E_2 . Σε φάση με τη E_2 βρίσκεται η Η.Ε.Δ του πρωτεύοντος E_1 , η τιμή της οποίας προσδιορίζεται από τη σχέση (3.6).

$$E_1 = E_2 \cdot \frac{N_1}{N_2} = E_2 \cdot m \quad (3.6)$$

Για να παρόχθιη η ροή Φ , αν το ρεύμα του δευτερεύοντος είναι μηδέν, το πρωτεύον τύλιγμα θα έπρεπε να απορροφήσει ρεύμα I_o σε προπορεία κατά μια γωνία α ως προς τη ροή. Η παρουσία, όμως, του δευτερεύοντος ρεύματος I_2 δημιουργεί στον πυρήνα μια μαγνητεργετική δύναμη $N_2 \cdot I_2$, η οποία τείνει να αλλοιώσει την μαγνητεργετική δύναμη $N_1 \cdot I_o$. Για να αντισταθμιστεί η μαγνητεργετική δύναμη $N_2 \cdot I_2$ είναι αναγκαίο το πρωτεύον τύλιγμα να απορροφήσει από τη γραμμή, που το τροφοδοτεί, ρεύμα I'_1 το οποίο δημιουργεί στον πυρήνα μια μαγνητεργετική δύναμη $N_1 \cdot I'_1$, ίση και αντίθετη με τη μαγνητεργετική δύναμη $N_2 \cdot I_2$. Έτσι λοιπόν προκύπτει η σχέση (3.7)

$$N_1 \cdot I'_1 = -N_2 \cdot I_2 \quad (3.7)$$

Αν οι δυο μαγνητεργετικές δυνάμεις ισορροπούν, τότε η μονή μαγνητεργετική δύναμη, που παραμένει είναι η $N_1 \cdot I_o$. Το ρεύμα I'_1 , αποτελεί το

ρεύμα εξ' αντιδράσεως . Το ολικό ρεύμα του πρωτεύοντος I_1 προσδιορίζεται από τη σχέση (3.8)

$$I_1 = I'_1 + I_0 \quad (3.8)$$

Πολλαπλασιάζοντας τα δυο μελή της σχέσεως (3.8) με τον αριθμό των σπειρών N_1 προκύπτει η σχέση (3.9) όπου λόγω της σχέσεως (3.7) προκύπτουν τα εξής :

$$N_1 \cdot I_1 = N_1 \cdot I'_1 + N_1 \cdot I_0 \quad (3.9)$$

$$N_1 \cdot I_1 + N_2 \cdot I_2 = N_1 \cdot I_0 \quad (3.10)$$

Αυτή αποτελεί την εξίσωση του μαγνητικού κυκλώματος του μετασχηματιστή υπό φορτίο . Εάν εφαρμόσει ο νομός του Ohm στο πρωτεύον κύκλωμα , θα προκύψει η έκφραση (3.11) .

$$V_1 = -E_1 + R_1 \cdot I_1 + jx_1 \cdot I_1 \quad (3.11)$$

Η παραπάνω σχέση (3.11) εκφράζει το γεγονός ότι η τάση V_1 του πρωτευοντος πρέπει να ισορροπήσει την αντί-ηλεκτρεγερτική δύναμη $-E_1$ και τις δυο πτώσεις τάσεως , ωμική και επαγωγική , τις οποίες προκαλεί το ρευμα I_1 στο πρωτεύον τύλιγμα . Στο διανυσματικό διάγραμμα , το διάνυσμα V_1 προσδιορίζεται , εάν τοποθετηθούν τα διανύσματα $-E_1$ της ωμικής πτώσης τάσεως $R \cdot I_1$ σε φαση με το I_1 , και της επαγωγικής πτώσεως τάσεως $jx_1 \cdot I_1$ σε προπορεία 90° . Το άθροισμα των δυο πτώσεων τάσεων , $R_1 \cdot I_1$ και $jx_1 \cdot I_1$, αποτελεί την ολικη πτώση τάσεως του πρωτευοντος , η οποία εκφράζεται από το $z_1 \cdot I_1$. Το ρευμα του πρωτευοντος I_1 προκυπτει σε διάφορα φάσεως κατά μια γωνία ως προς την τάση V_1 . Το συνημίτονο της γωνίας αυτής αποτελεί το συντελεστή ισχύος του πρωτεύοντος και εξαρτάται από την ένταση και από τη διάφορα φάσεως του δευτερεύοντος ρεύματος . Αυτό συμβαίνει , γιατί εάν μεταβληθεί το δευτερεύον ρεύμα, μεταβάλλεται το αντίστοιχο ρεύμα το πρωτεύοντος εξ' αντιδράσεως I'_1 και για αυτό μεταβάλλεται και το πλάτος και η φαση του ολικου ρευματος του πρωτευοντος I_1 .

Τα φαινόμενα , τα όποια επιδρούν στη λειτουργία εξωτερικών ηλεκτρικών συστημάτων , που συνδέονται με το μετασχηματιστή είναι το αυξημένο ρεύμα , που απορροφά το πρωτεύον , και η μεταβολή της τάσεως στο δευτερεύον . Η αύξηση του ρεύματος στο πρωτεύον προκαλείται από το γνωστό φαινόμενο της αντιδράσεως , την όποια προκαλεί στο πρωτεύον ρεύμα , που διαρρέει το δευτερεύον . Η μεταβολή της τάσεως του δευτερεύοντος είναι αντίθετα μια άμεση συνέπεια αυξήσεως του ρεύματος των τυλιγμάτων : αφ' ενός , το ρεύμα του πρωτεύοντος I_1 προκαλεί τις πτώσεις τάσεως $R_1 \cdot I_1$ και $jx_1 \cdot I_1$, *(οι οποίες είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες πτώσεις τάσεως της κενής λειτουργιάς)* , οι οποίες επιφέρουν μεταβολή στην Η.Ε.Δ του πρωτεύοντος E_1 , και κατοπιν αναλογη μεταβολη στη ροη και στην Η.Ε.Δ του δευτερεύοντος $E_2 = E_1/m$ αφ' ετερου , η μειωμενη Η.Ε.Δ του δευτερεύοντος E_2 μειωνεται παλι από τις πτώσεις τάσεως του δευτερεύοντος $R_2 \cdot I_2$ και $jx_2 \cdot I_2$. Τελος , η ταση V_2 , που διατιθεται στα ακρα του δευτερεύοντος , υφίσταστε τόσο την άμεση

επίδραση των πτώσεων τάσεων του δευτερεύοντος όσο και των πτώσεων τάσεως του ; πρωτεύοντος .

Προκύπτει λοιπόν ,ότι , ενώ ο λόγος των Η.Ε.Δ E_1/E_2 συμπίπτει πάντα με το λόγο των σπειρών $m = N_1/N_2$, ο πραγματικός λογος μετασχηματισμου της τασεως V_1 , που εφαρμοζεται στα ακρα του πρωτευοντος προς την ταση V_2 , που διατιθεται στα ακρα του δευτερευοντος είναι διαφορετικός . Στην κενή λειτουργία του μετασχηματιστή οι πτώσεις της τάσεως του πρωτεύοντος είναι αμελητέες και του δευτερεύοντος μηδενικές . Κατά συνέπεια, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ισχύει :

$$K_0 = \frac{V_1}{V_{02}} = \frac{E_{01}}{E_{02}} = \frac{N_1}{N_2} = m$$

Άρα ο λόγος κενής λειτουργίας K_0 συμπίπτει με το λογο των σπειρων m . Στη λειτουργία υπό φορτίο ο πραγματικός λόγο μετασχηματισμού είναι :

$$K = \frac{V_1}{V_2}$$

και ονομάζεται σύντομα λόγοσ υπό φορτίο . Όταν $V_2 < V_{02}$, τοτε ο λογος υπο φορτιο προκυπτει μεγαλυτερος από το λογο στο κενο . Η αριθμητική διάφορα μεταξύ της τάσεως του δευτερεύοντος στο κενό V_{02} και της τασεως του δευτερευοντος υπό φορτίο V_2 , όταν η ταση του πρωτευοντος V_1 είναι σταθερη , καθοριζει τη μεταβολή της τάσεως του μετασχηματιστή στο πέρασμα από το κενό στο φορτίο και μας δίνει την σχέση (3.12) :

$$\Delta V = V_{02} - V_2 \quad (3.12)$$

Η αντίστοιχη σχετική μεταβολή της τάσεως αναφερόμενη στη τάση του δευτερεύοντος στο κενό από τον λόγο :

$$\Delta v = \frac{\Delta V}{V_{02}} = \frac{V_{02} - V_2}{V_{02}} \quad (3.14)$$

3.2 Ισοδύναμο κύκλωμα δευτερεύοντος

Στο διανυσματικό διάγραμμα της λειτουργίας μετασχηματιστή υπό φορτίο δεν φαίνεται το διάνυσμα V_{02} , που παριστανει την ταση του δευτευροντος κατά την κενη λειτουργια του μετασχηματιστη . Κατά συνπεια , στο διαγραμμα αυτό δεν είναι δυνατον να δειχθει το διάνυσμα :

$$\Delta \dot{V} = \dot{V}_{02} - \dot{V}_2$$

που δείχνει την πτώση τάσεως από το κενό στο φορτίο . Επίσης δεν είναι δυνατόν να γίνει άμεση σύγκριση του πλάτους των διανυσμάτων V_{02} και V_2 , και τέλος δεν μπορεί να γίνει υπολογισμός της μεταβολής της τάσεως :

$$\Delta V = V_{02} - V_2$$

Μπορεί όμως να γίνει σύγκριση μεταξύ των διανυσμάτων V_{02} και V_2 , εάν μετατραπεί το ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή κατά τροπο , ώστε οι πτώσεις τάσεις του πρωτεύοντος ΔV_1 , που οφείλεται στο ρεύμα εξ'αντιδρασεως m να φανουν ως δευτερευουσες πτώσεις τάσεως . Για το σκοπό αυτό , πρέπει να νοηθεί ένα πρωτεύον κύκλωμα , χωρίς ωμική αντίσταση εκ σκεδάσεως , στο οποίο δεν πραγματοποιείται καμία πτώση τάσεως , και ένα δευτερεύον κύκλωμα στο οποίο , αντίθετα , πραγματοποιούνται , εκτός από τις πραγματικές πτώσεις τάσεως του δευτερεύοντος ΔV_2 , και οι πτώσεις τάσεως του πρωτεύοντος , οι οποίες έχουν ανηχθεί στο δευτερεύον $\Delta V'_2$. Έτσι , η πτώση τάσεως του πρωτεύοντος μπορεί να θεωρηθεί ως πτώση τάσεως , που αναφέρεται στο δευτερεύον και πραγματοποιείται υπό την επίδραση του ρεύματος I_2 δια μεσου μιας φανταστικής ωμικής αντιστάσεως R'_2 και μια φανταστικής επαγωγικής αντιστάσεως X'_2 , που καθορίζονται αντιστοιχα από τις σχέσεις :

$$\begin{aligned} R'_2 &= \frac{R_1}{m^2} \\ X'_2 &= \frac{Z_1}{m^2} \end{aligned} \quad (3.15)$$

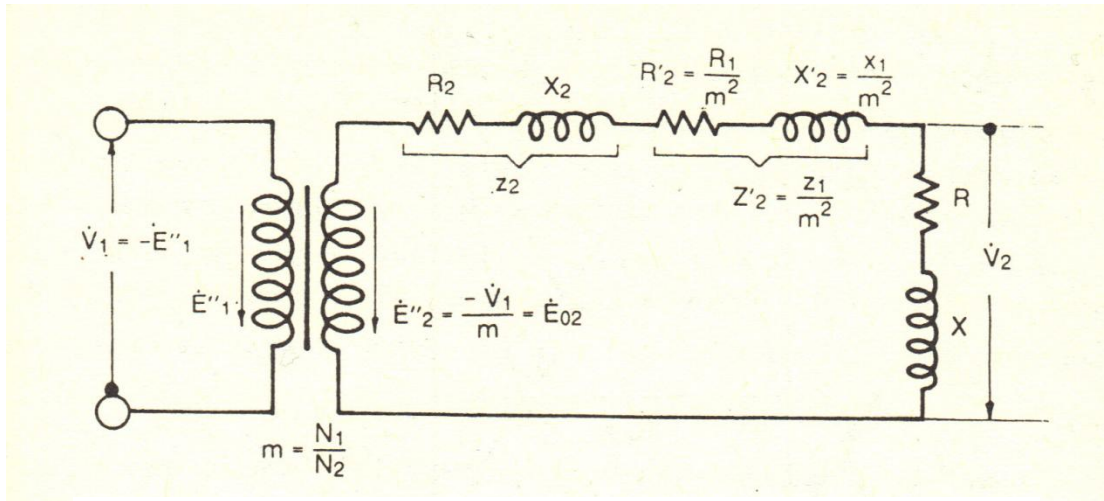
Η R'_2 ονομάζεται αντιστάση πρωτεύοντος "ανηγμένη" στο δευτερεύον η X'_2 με αναλογο τροπο ονομάζεται επαγωγική αντιστάση πρωτεύοντος στο δευτερεύον . Η R'_2 και η X'_2 μαζί αποτελούν τη συνθετη αντιστάση πρωτεύοντος "ανηγμένη" στο δευτευρον , η οποία εκφράζεται από τη σχέση :

$$Z_2 = \frac{Z_1}{m^2} \quad (3.16)$$

Η πτώση της τάσεως , που πραγματοποιείται στα άκρα του δευτερεύοντος , μπορεί να εκφράσει ως διανυσματικό άθροισμα με τη σχέση :

$$\Delta V = \Delta V'_2 + \Delta V''_2 = z_2 \cdot I_2 + \frac{Z_1}{m^2} \cdot I_2 \quad (3.17)$$

Στον πραγματικό μετασχηματιστή αντιστοιχεί ένα ισοδύναμο κύκλωμα , που φαίνεται στο σχήμα [3.3]



[Σχήμα 3.3]

Ισοδύναμο Κύκλωμα δευτερεύοντος, μονοφασικού μετασχηματιστή

Στο πρωτεύον του μετασχηματιστή δεν πραγματοποιείται καμία πτώση τάσεως, αλλά ολόκληρη η τάση V_1 , που έχει εφαρμοσθεί, μετασχηματίζεται, τόσο στην κενή λειτουργία όσο και στη υπό φορτίο, σε μια Η.Ε.Δ δευτερεύουσα E_2'' , η οποία πρακτικά, συμπίπτει με την E_{02} και υπολογίζεται από την σχέση :

$$E_{02} = -\frac{V_1}{K_0} = -\frac{V_1}{m}$$

Η αντίστοιχη Η.Ε.Δ του πρωτεύοντος E_1'' προκύπτει με τη σειρά της, πρακτικά ίση με την Η.Ε.Δ κενής λειτουργίας $E_{01} = -V_1$. Το διανυσματικό διαγράμμα, που φαίνεται στο σχήμα (3.4), αναφέρεται στο δευτερεύον κύκλωμα και δείχνει την πτώση τάσεως, που πραγματοποιείται από την κενή υπό φορτίο λειτουργία, η οποία καθορίζεται από το διάνυσμα :

$$\Delta V = E_{02} - V_2$$

Η ολική πτώση τάσεως αποτελείται από μια ωμική πτώση τάσεως $R_2 \cdot I_2 + R_2' \cdot I_2 = (R_2 + R_2') \cdot I_2$, σε φάση με το ρεύμα I_2 , και από μια πτώση τάσεως επαγωγική $jx_2 \cdot I_2 + jx_2' \cdot I_2 = j(x_2 + x_2) \cdot I_2$, σε προπορεία 90° . Εάν τεθεί

$$(R_2 + R_2') = R_{i\sigma}''$$

και

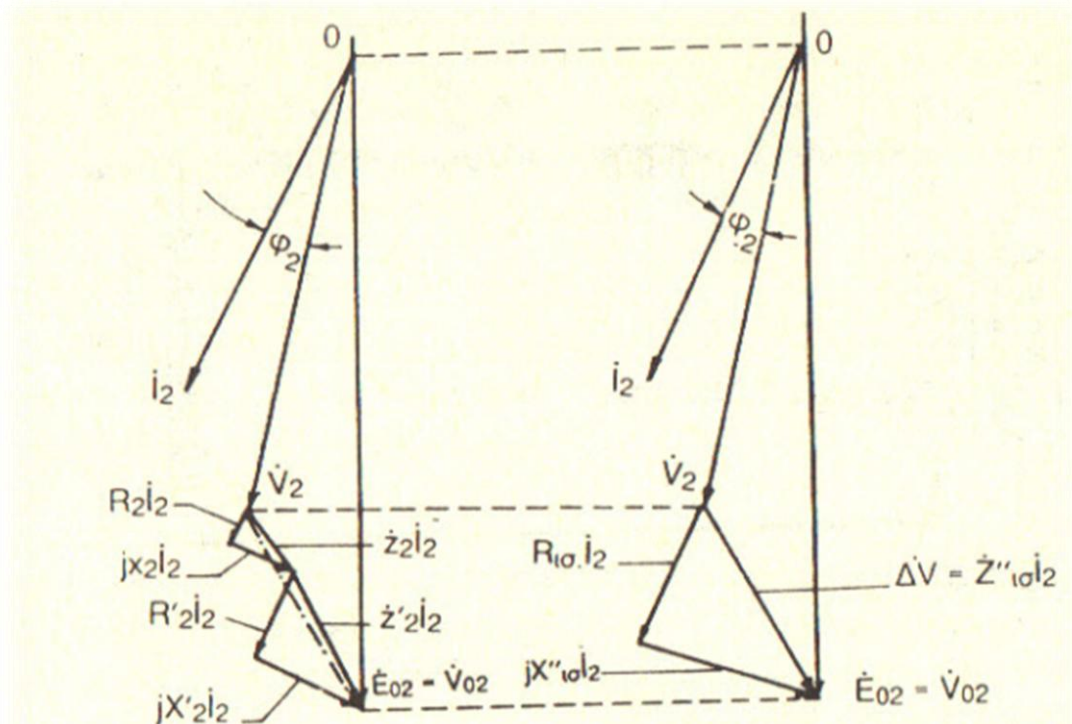
$$(x_2 + x_2') = X_{i\sigma}''$$

προκύπτουν

$$\Delta V = R_{i\sigma}'' \cdot I_2 + jX_{i\sigma}'' \cdot I_2$$

ή

$$\Delta V = Z_{i\sigma}'' \cdot I_2 \quad (3.18)$$



[Σχήμα 3.4]

Σχετικό διανυσματικό διάγραμμα του ισοδύναμου κυκλώματος δευτερεύοντος μονοφασικού μετασχηματιστή.

Η ωμική αντίσταση $R''_{i\sigma}$ και η επαγωγική αντίσταση $X''_{i\sigma}$ αποτελούν , αντίστοιχα , την ισοδύναμη ωμική και επαγωγική αντίσταση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή , και η τιμή τους καθορίζεται από τις σχέσεις :

$$R''_{i\sigma} = R_2 + \frac{R_1}{m^2}$$

$$X''_{i\sigma} = x_2 + \frac{x_1}{m^2} \quad (3.19)$$

Η σύνθετη αντίσταση $Z''_{i\sigma}$ αποτελεί ,αναλογα , με την ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση δευτερεύοντος του μετασχηματιστή , και η τιμή της καθορίζεται από τη σχέση :

$$Z''_{i\sigma} = \sqrt{R''_{i\sigma}{}^2 + X''_{i\sigma}{}^2} = \sqrt{\left(R_2 + \frac{R_1}{m^2}\right)^2 + \left(X_2 + \frac{X_1}{m^2}\right)^2}$$

Το διανυσματικό διάγραμμα του ισοδύναμου κυκλώματος του δευτερεύοντος επιτρέπει τον εύκολο υπολογισμό της μεταβολής της τάσεως σε όλες τις συνθήκες φορτίσεως .

3.3 Ισοδύναμο κύκλωμα πρωτεύοντος

Μπορεί να γίνει η αντίστροφη σκέψη από την προηγούμενη, δηλαδή, να υποθεθεί ότι όλες οι πτώσεις τάσεως φέρονται στο πρωτεύον τύλιγμα. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να νοηθεί κύκλωμα φανταστικό (σχήμα 3.3), το οποίο αποτελεί το ισοδύναμο κύκλωμα πρωτεύοντος του μετασχηματιστή, το κύκλωμα αυτό περιλαμβάνει την ωμική και την επαγωγική αντίσταση του πρωτεύοντος τυλίγματος R_1 και x_1 , και σε σειρά με αυτές την ωμική και την επαγωγική αντίσταση του δευτερεύοντος, οι οποίες έχουν αναχθεί στο πρωτεύον R_1'' και x_1'' . Αντίστοιχα, το δευτερεύον τύλιγμα δεν παρουσιάζει καμία σύνθετη αντίσταση. Θεωρούμε ότι $m = \frac{N_1}{N_2}$ και έχοντας $R_2 \cdot I_2$ και $jx_2 \cdot I_2$, γίνεται φανερό ότι για να μεταφερθούν οι δυο πτώσεις τάσεως, στο πρωτεύον πρέπει να πολλαπλασιασθούν με το $-m$. Κατά συνέπεια, γίνονται $-m \cdot R_2 \cdot I_2$ και $-mjx_2 \cdot I_2$. Ακόμη (παραβλεποντας το ρεύμα στο κενό) έχουμε $I_2 = -m \cdot I_1$, και για αυτό οι πτώσεις τάσεως του δευτερεύοντος, όταν έχουν αναφθεί στο πρωτεύον δίνονται από τις εκφράσεις $m^2 \cdot R_2 \cdot I_1$ και $jm^2 \cdot x_2 \cdot I_1$. Η ωμική και η επαγωγική αντίσταση του δευτερεύοντος, όταν αναφθούν στο πρωτεύον, προκύπτουν καθορισμένες από τις σχέσεις $R_1'' = m^2 \cdot R_2$ και $x_1'' = m^2 \cdot x_2$. Η ολική ωμική αντίσταση αποτελεί την ισοδύναμη ωμική αντίσταση πρωτεύοντος του μετασχηματιστή προκύπτει από τη σχέση (3.20):

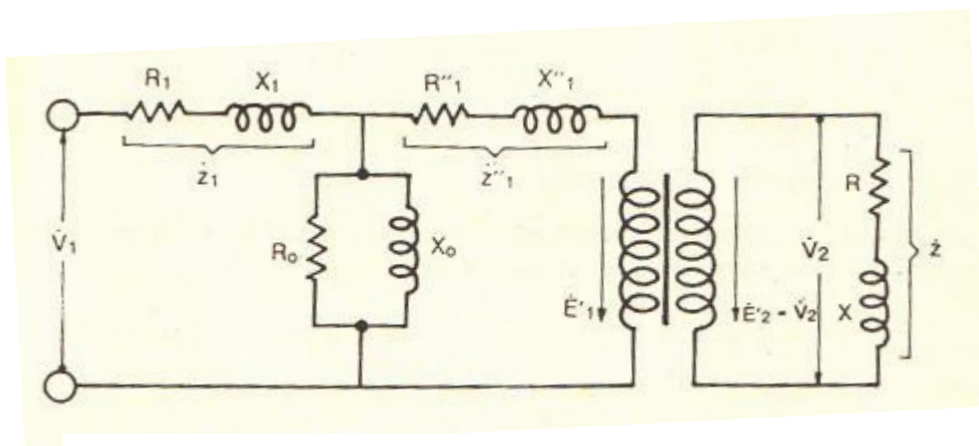
$$R'_{l\sigma} = R_1 + R_1'' = R_1 + m^2 \cdot R_2 \quad (3.20)$$

Η επαγωγική αντίσταση αποτελεί την ισοδύναμη επαγωγική αντίσταση του πρωτεύοντος.

$$X'_{l\sigma} = X_1 + X_1'' = X_1 + m^2 \cdot X_2 \quad (3.21)$$

Τέλος η σύνθετη αντίσταση του πρωτεύοντος καθορίζεται από τη σχέση (3.22) και αποτελεί την ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση πρωτεύοντος.

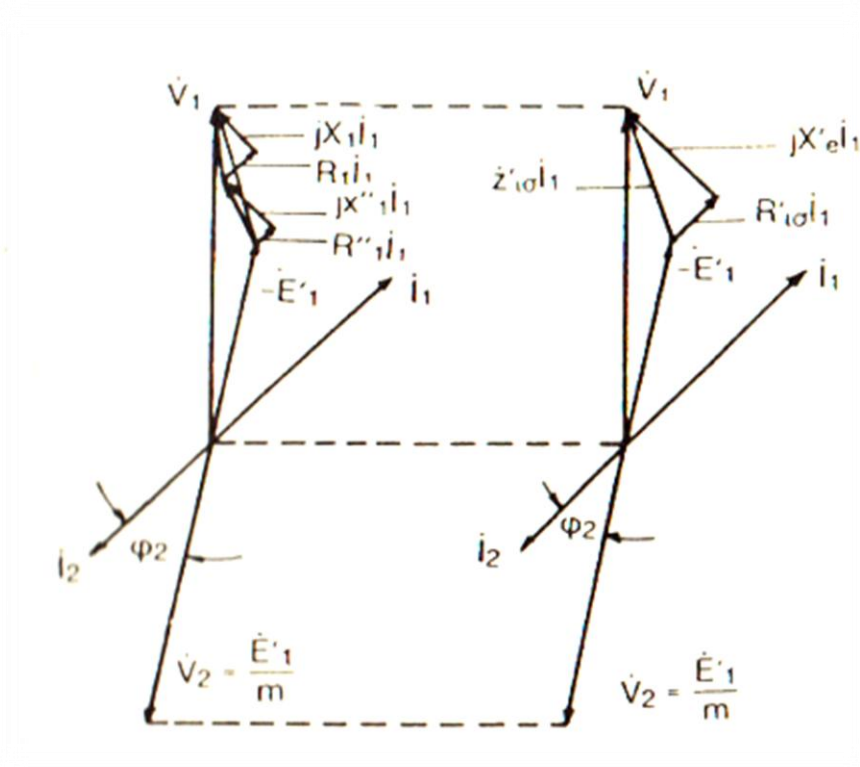
$$Z'_{l\sigma} = \sqrt{(R_1 + m^2 \cdot R_2)^2 + (x_1 + m^2 \cdot x_2)^2} \quad (3.22)$$



[Σχήμα 3.5]

Ισοδύναμο κύκλωμα πρωτεύοντος, μονοφασικού μετασχηματιστή.

Εάν ληφθέν υπ' όψη η επίδραση του ρεύματος κενής λειτουργίας στο διπλό άκρο R_o, x_o το διανυσματικό διάγραμμα του μετασχηματιστή παίρνει τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα [3.6]



[Σχήμα 3.6]

Σχετικό διανυσματικό διάγραμμα του ισοδύναμου κυκλώματος πρωτεύοντος μονοφασικού μετασχηματιστή

Στο διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος 3.6 αντιστοιχούν οι διανεμίστηκες εξισώσεις :

$$V_2 = E'_2 = \frac{E_1}{m} = z \cdot I_2 \quad (3.23)$$

$$V_1 = -E'_1 + R'_{1\sigma} \cdot I_1 + jx'_{1\sigma} \cdot I_1 = -m \cdot V_2 + Z_{1\sigma} \cdot I_1$$

Στην κενή λειτουργία του μετασχηματιστή όπου $I_2 = 0$ και $I_1 = 0$, αφού αδιαφορούμε για το ρευμα I_0 , οι προηγούμενες σχέσεις γίνονται :

$$V_{02} = E'_{02} = \frac{E_{01}}{m}$$

$$V_{01} = -E'_{01} = -m \cdot V_{02} \quad (3.24)$$

Κατά συνέπεια , οι εκφράσεις των τάσεων του δευτερεύοντος V_{02} και V_2 κατά το περασμα από την κενη στην υπο φορτιο λειτουργια προσδιοριζονται , εάν τεθει :

$$V_{02} = \frac{V_1}{m}$$

$$V_2 = -\frac{V_1 - Z'_{i\sigma} \cdot I_1}{m} \quad (3.25)$$

Η διάφορα τους δίνει την πτώση τάσεως του δευτερεύοντος :

$$\Delta V = V_{02} - V_2 = \frac{Z''_{i\sigma} \cdot I_1}{m} \quad (3.26)$$

αντικαθιστώντας το I_1 με τη σχέση $-\frac{I_2}{m}$ βρίσκουμε:

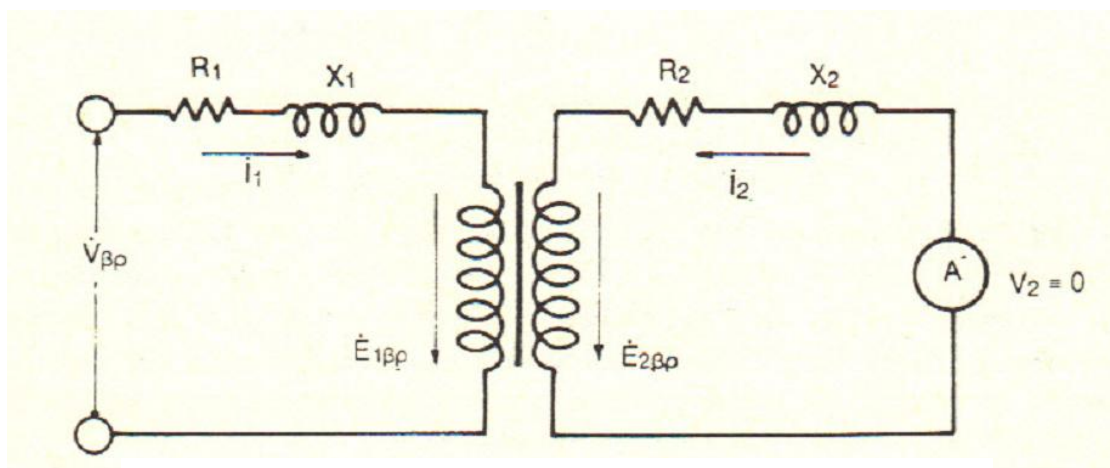
$$\Delta V = \frac{Z'_{i\sigma} \cdot I_2}{m^2} = Z''_{i\sigma} \cdot I_2$$

Έτσι αποδεικνύεται ότι μεταξύ ισοδύναμων συνθετών αντιστάσεων δευτερεύοντος και πρωτεύοντος υπάρχει η σχέση :

$$Z'_{i\sigma} = m^2 \cdot Z''_{i\sigma} \quad (3.27)$$

3.4 Λειτουργία του μετασχηματιστή κατά το βραχυκύκλωμα

Αν βραχυκυκλώσουμε τα άκρα του δευτερεύοντος ενός μετασχηματιστή , συνδέοντας μόνο ένα αμπερόμετρο για τη μέτρηση του δευτερεύοντος ρεύματος , η τάση του δευτερεύοντος προκύπτει , πρακτικά , ίση με το μηδέν .(σχήμα 3.7)



Σχήμα 3.7

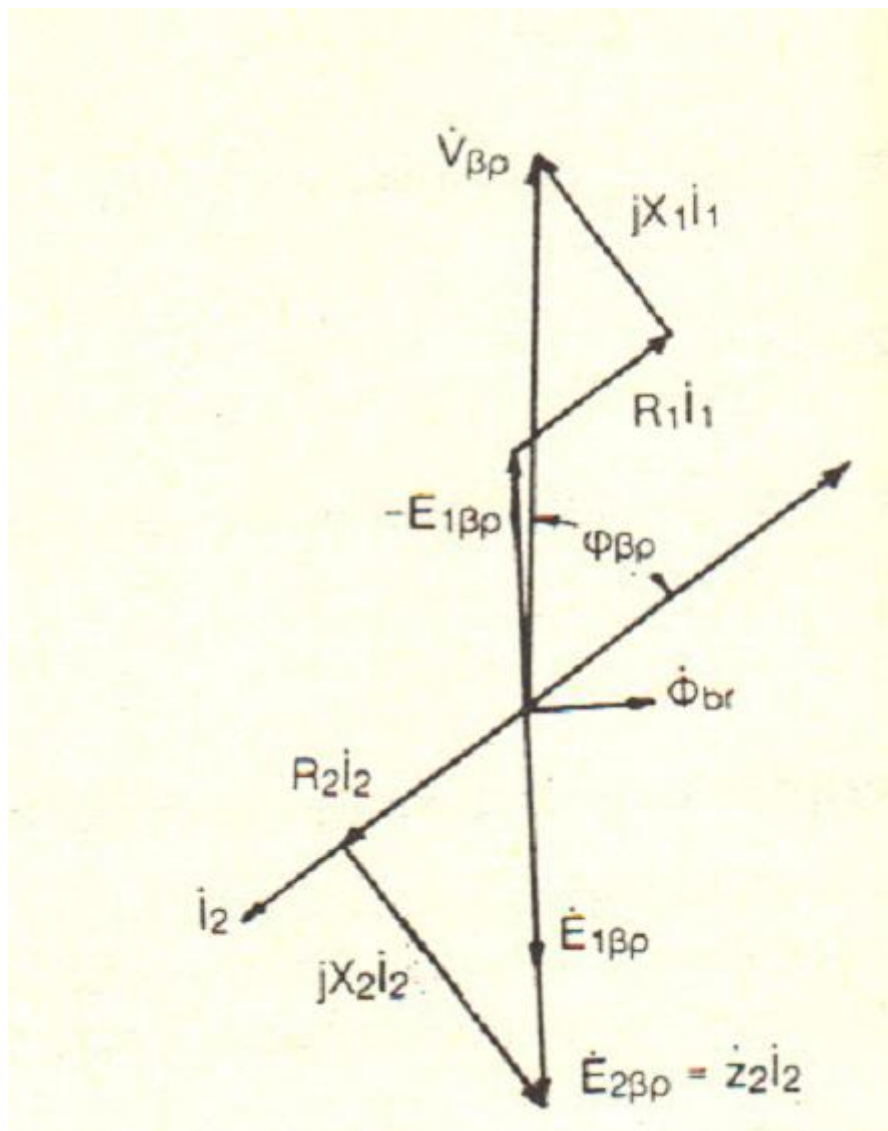
Λειτουργία μονοφασικού μετασχηματιστή κατά το βραχυκύκλωμα

Με τις συνθήκες αυτές ολόκληρη η Η.Ε.Δ του δευτερεύοντος χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την αντιμετώπιση της σύνθετης αντίστασης

αντιστάσεως του δευτερεύοντος Z_2 , όπως φαίνεται στο διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος 3.8. Το δευτερεύον ρεύμα βρίσκεται σε διάφορα φάσεως ως προς την Η.Ε.Δ κατά μια γωνία $\Phi_{2\beta\rho}$ η οποία καθορίζεται από τη σχέση

$$\varepsilon\varphi\varphi_{2\beta\rho} = X_2/R_2$$

Για να αποκτησει το δευτερεύον ρεύμα προκαθορισμένη ενταση I_2 , πρέπει η Η.Ε.Δ του δευτερεύοντος να έχει μια τιμη $E_{2\beta\rho} = Z_2 \cdot I_2$. Η Η.Ε.Δ αυτή παιρνει το ονομα Η.Ε.Δ δευτερεύοντος βραχυκυκλωσεως για το προκαθορισμενο ρευμα I_2 .



Σχήμα 3.8

Διανυσματικό διάγραμμα μονοφασικού μετασχηματιστή στη λειτουργία του κατά το βραχυκύκλωμα

Η ροη $\Phi_{\beta\rho}$, που είναι αναγκαία για να προκαλέσει, αυτή την Η.Ε.Δ ονομάζεται βραχυκυκλώσεως καθορισμένη από τη σχέση $E_{1\beta\rho} = m \cdot E_{2\beta\rho}$, από την οποία συναγεται η ταση του πρωτεύοντος $V_{1\beta\rho}$. Η ταση $V_{1\beta\rho}$, καθορισμενη κατά τον τροπο αυτό, δειχνει την ταση, που πρέπει να εφαρμοσθει στα ακρα του πρωτεύοντος

,για να κυκλοφορησει στο βραχυκυκλωμενο δευτερευον το προκαθορισμενο I_2 . Στην τεχνικη ορολογια ονομαζεται ταση βραχυκυκλώσεως του μετασχηματιστή η ταση $V_{\beta\rho}$, η οποια πρεπει να εφαρμοσθει στα ακρα του πρωτευοντος , για να κυκλοφορησει στο βραχυκυκλωμενο δευτερευον το ονομαστικό ρεύμα πλήρους φορτίου του ίδιου μετασχηματιστή . Η ταση βραχυκυκλώσεως προκύπτει πάντα πολύ μικρη και η τιμη της περιλαμβάνεται μεταξύ του 5% και 10% της τιμης της ονομαστικης τασεως του πρωτευοντος του μετασχηματιστή . Η εκατοστιαια τιμη της τασεως βραχυκυκλώσεως προσδιοριζεται από τη σχέση (3.28)

$$U_{\beta\rho} \% = \frac{V_{\beta\rho}}{V_1} \cdot 100 \quad (3.28)$$

Οι τιμες των Η.Ε.Δ βραχυκυκλώσεως πρωτευοντος και δευτερευοντος είναι πολύ μικροτερες από τις αντιστοιχες κανονικες τιμες , και η ροη στον πυρήνα είναι επισης μικρη η τιμη της , δηλαδη είναι 2-5% της αντιστοιχης τιμης , την οποια θα ειχε η ροη , εάν ο μετασχηματιστής λειτουργουσε κανονικα . Η τιμη του ρεύματος $I_{o\beta\rho}$, που χρειαζεται για να γεννηθει αυτή η μικρη ροη , είναι αμελητα , εάν συγκριθει με την τιμη του ρευματος του βραχυκυκλωμένου δευτερευοντος , με αποτελεσμα να μπορεί πρακτικά να γραφεί :

$$N_1 \cdot I_1 + N_2 \cdot I_2 = N_1 \cdot I_{o\beta\rho} \cong 0$$

Επομένως , μπορεί να γίνει δεκτό ότι οι περιστροφείς του πρωτευοντος είναι περίπου όσες με τις αμπεροστροφές του δευτερευοντος :

$$N_1 \cdot I_1 \cong -N_2 \cdot I_2$$

και κατά προσέγγιση επαληθευτεί η σχέση :

$$\frac{I_2}{I_1} \cong -\frac{N_1}{N_2} = m \quad (3.29)$$

Οι απώλειες στο σίδηρο του πυρήνα του μετασχηματιστή κατά τη λειτουργία του με βραχυκυκλωμένο το δευτερευον είναι αμελητέες , γιατί η μαγνητικη επαγωγή στον πυρήνα είναι μικρη . Κατά συνέπεια προκύπτει ότι όλη η ισχύς , που απορροφά ο μετασχηματιστής από το δίκτυο , ξοδεύεται θερμαίνοντας τα δυο τυλίγματα η , με λίγα λόγια , περιλαμβάνεται στις απώλειες του χαλκού του μετασχηματιστή. Συμβολίζοντας την ισχύ αυτή με $P_{\beta\rho}$ θα εχουμε :

$$P_{\beta\rho} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2$$

αντικαθιστώντας το $I = \frac{I_2}{m}$ θα εχουμε :

$$P_{\beta\rho} = R_1 \cdot \left(\frac{I_2}{m}\right)^2 + R_2 \cdot I_2^2 = \left(\frac{R_1}{m^2} + R_2\right) \cdot I_2^2$$

και τέλος :

$$P_{\beta\rho} = R''_{i\sigma} \cdot I_2^2 \quad (3.30)$$

η $R''_{i\sigma} = \frac{R_1}{m^2} + R_2$ είναι ισοδύναμη ωμική αντίσταση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή . Άρα μετρώντας την ισχύ βραχυκυκλώσεως $P_{\beta\rho}$ και το ρεύμα I_2 , μπορούμε να υπολογίσουμε την ισοδύναμη ωμική αντίσταση του δευτερεύοντος με την έκφραση :

$$R''_{i\sigma} = \frac{P_{\beta\rho}}{I_2^2} \quad (3.31)$$

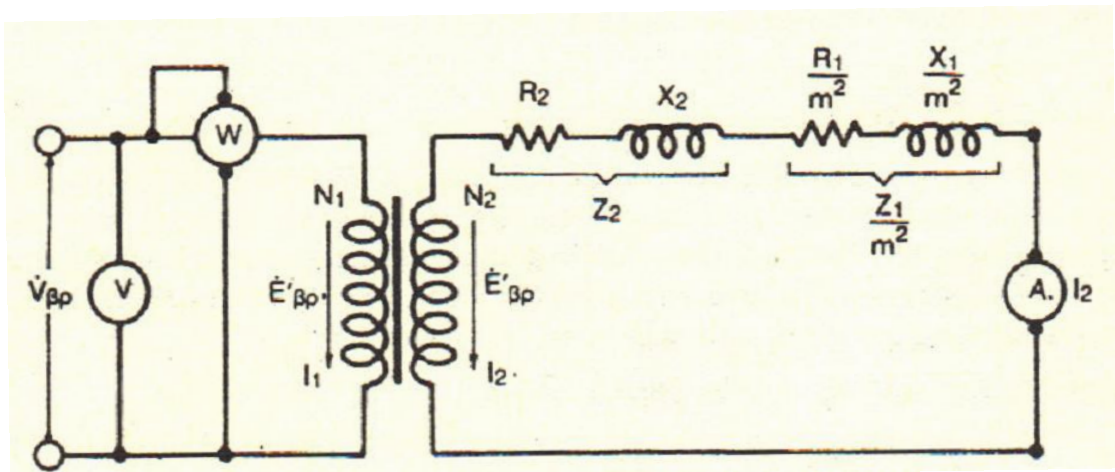
Με βάση το διάγραμμα του σχήματος (3.8) η ισχύς $P_{\beta\rho}$ προσδιορίζεται από την εκφραση :

$$P_{\beta\rho} = V_{\beta\rho} \cdot I_1 \cdot \cos\phi_{\beta\rho} \quad (3.32)$$

Και μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια ενός βαρομέτρου , συνδεδεμένου στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή , όπως φαίνεται στο σχήμα (3.9) . Η εκατοστιαία έκφραση της ισχύος , που απορροφάται κατά το βραχυκύκλωμα , σε σχέση με την ονομαστική P_{ov} του μετασχηματιστή , προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$P_{\beta\rho} \% = \frac{P_{\beta\rho}}{P_{ov}} \cdot 100 \quad (3.33)$$

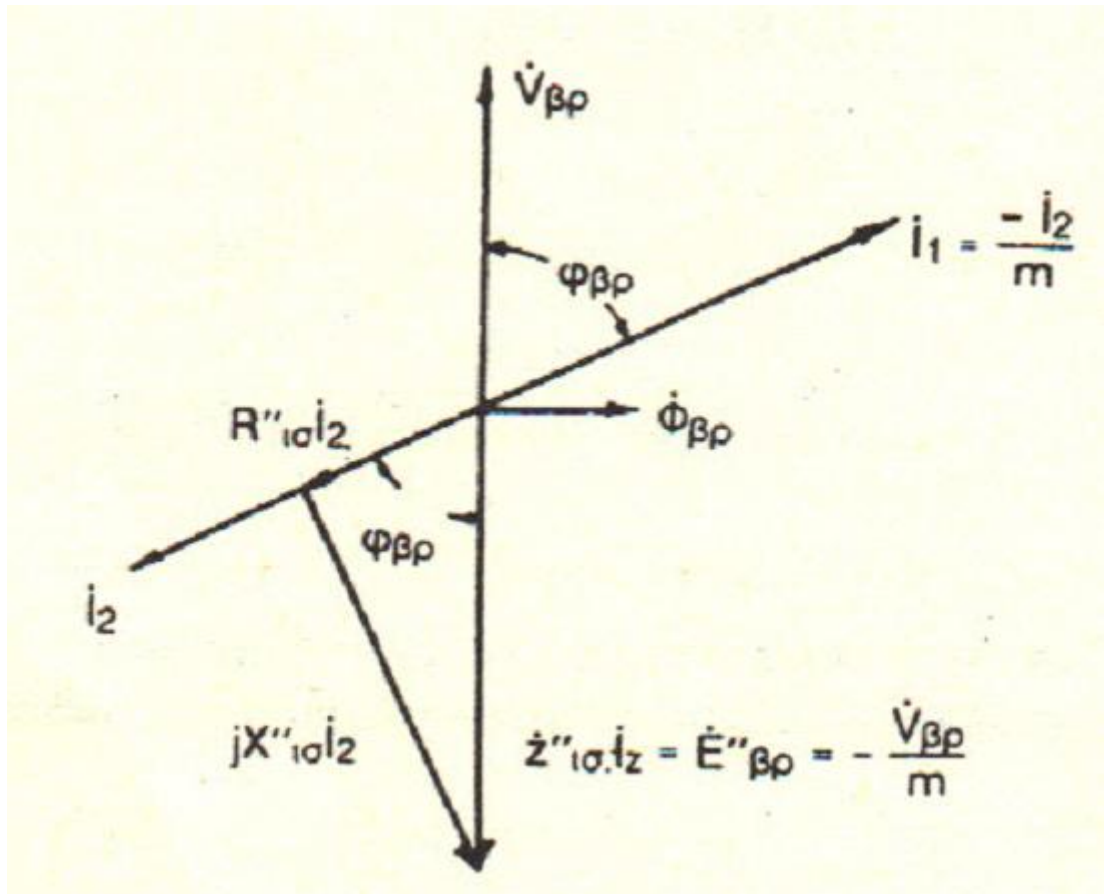
Αν μεταφέρουμε , τις πτώσεις τάσεως του πρωτεύοντος στο δευτερέον κατά την λειτουργία του μετασχηματιστή με βραχυκυκλωμένο το δευτερέον , τότε προκύπτει το αντίστοιχο ισοδύναμο κύκλωμα , που φαίνεται στο σχήμα [3.9]



Σχήμα 3.9

Ισοδύναμο κύκλωμα δευτερεύοντος μετασχηματιστή κατά το βραχυκύκλωμα

Το σχετικό διανυσματικό διάγραμμα παίρνει τη μορφή , που φαίνεται στο σχήμα [3.10]



Σχήμα 3.10

Διανυσματικό διάγραμμα ισοδύναμου κυκλώματος δευτερεύοντος μετασχηματιστή κατά το βραχυκύκλωμα

Η τάση βραχυκυκλώσεως $V_{\beta\rho}$ μετασχηματισμένη στη φανταστική Η.Ε.Δ $E''_{\beta\rho} = -\frac{V_{\beta\rho}}{m}$ αποτελεί την τάση βραχυκυκλώσεως , η οποία έχει αναφθεί στο δευτερεύον . Η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση του δευτερεύοντος είναι :

$$Z''_{1\sigma} = \sqrt{R''_{1\sigma}{}^2 + \chi''_{1\sigma}{}^2}$$

Άρα , έχουμε

$$E''_{\beta\rho} = Z''_{1\sigma} \cdot I_2$$

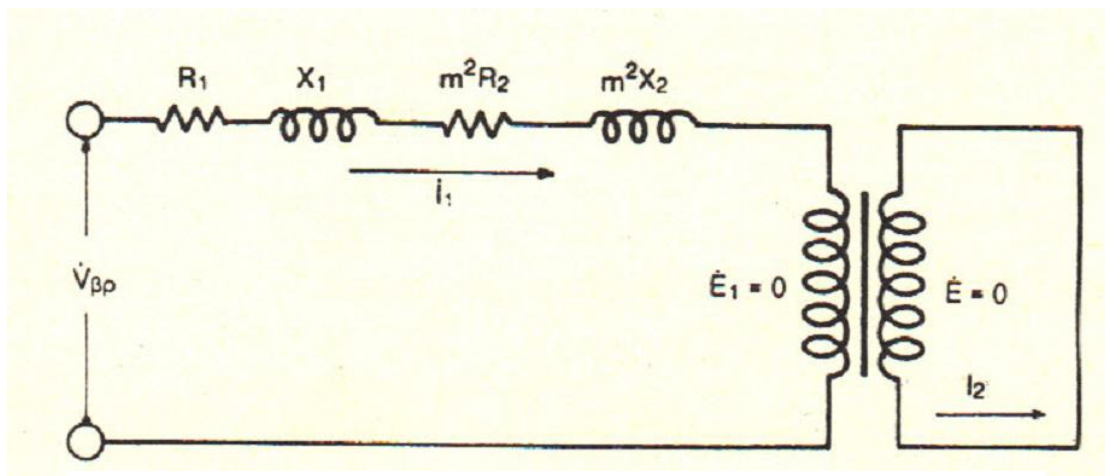
Μετρώντας με ένα βολτόμετρο την τάση βραχυκυκλώσεως $V_{\beta\rho}$ που εφαρμόζεται στα ακρα του πρωτεύοντος , μπορούμε να καθορίσουμε την ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση του δευτερεύοντος $Z''_{1\sigma}$, με τη σχέση :

$$Z''_{1\sigma} = \frac{E''_{\beta\rho}}{I_2} = \frac{V_{\beta\rho}}{m \cdot I_2} \quad (3.34)$$

Μένει , λοιπόν να καθορίσουμε την ισοδύναμη επαγωγική αντίσταση του δευτερεύοντος $\chi''_{i\sigma}$:

$$\chi''_{i\sigma} = \sqrt{Z''_{i\sigma}{}^2 + R''_{i\sigma}{}^2} \quad (3.35)$$

Μπορεί κατά συνέπεια να θεωρηθεί ότι η δόκιμη βραχυκυκλώσεως του μετασχηματιστή είναι αρκετή , για τον καθορισμό όλων των μεγεθών , που χρειάζονται για τον προσδιορισμό του αντιστοίχου ισοδύναμου κυκλώματος δευτερεύοντος , δηλαδή , της πτώσεως τάσεως , που πραγματοποιούνται κατά το πέρασμα του ίδιου του μετασχηματιστή από το κενό στο φορτίο . Για να βρεθούν , αντίθετα , τα στοιχεία του ισοδύναμου κυκλώματος του πρωτεύοντος αρκεί να ληφθεί υπ' όψη το σχήμα (3.11) και με βάση αυτό προκύπτει :



[Σχήμα 3.11]

Ισοδύναμο κύκλωμα πρωτεύοντος , μετασχηματιστή κατά το βραχυκύκλωμα

$$Z'_{i\sigma} = \frac{V_{\beta\rho}}{I_1}, R'_{i\sigma} = \frac{P_{\beta\rho}}{I_1^2}, X'_{i\sigma} = \sqrt{Z'_{i\sigma}{}^2 - R'_{i\sigma}{}^2} \quad (3.36)$$

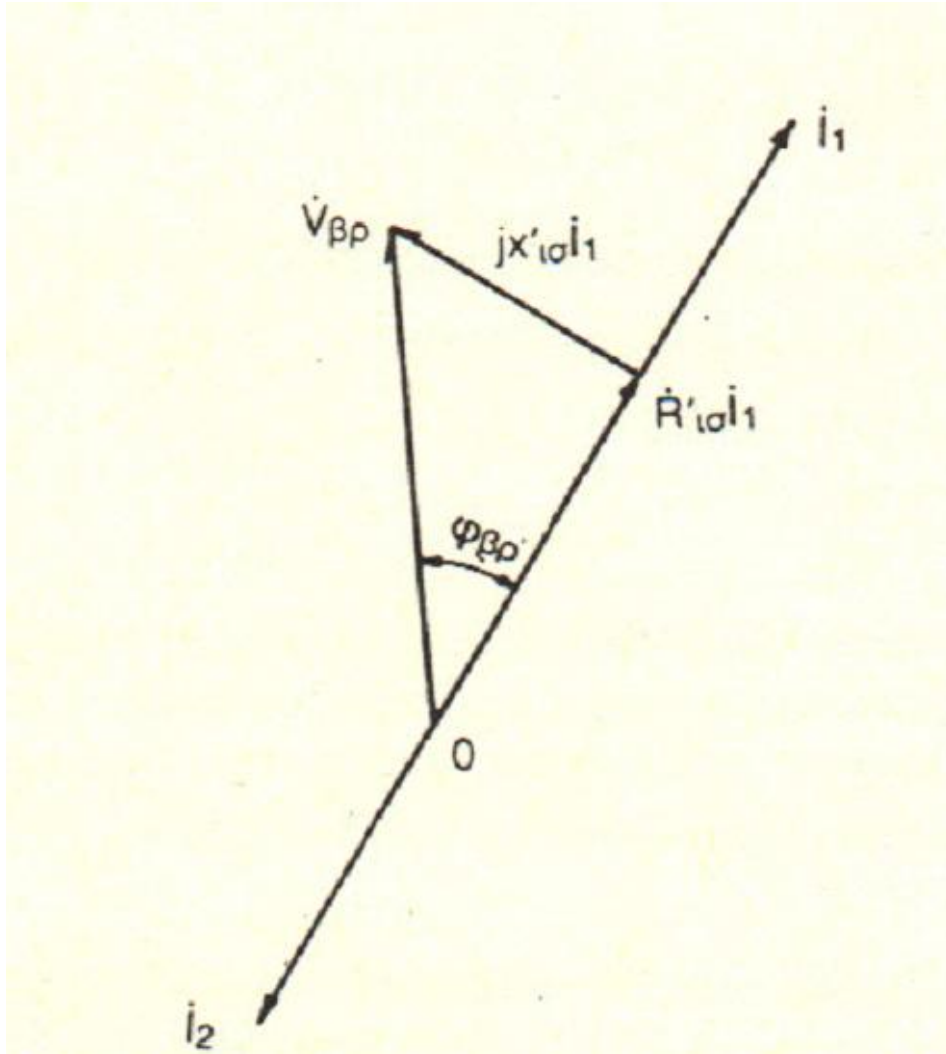
Ο συντελεστής ισχύος βραχυκυκλώσεως καθορίζεται από τις σχέσεις:

$$\sigma_{\beta\rho} = \frac{P_{\beta\rho}}{V_{\beta\rho} \cdot I_1} = \frac{P_{\beta\rho}}{V_{\beta\rho} \cdot I_2} \cdot m \quad (3.37)$$

Επίσης , από τα διανυσματικά διαγράμματα των σχημάτων (3.10,3.12) και από τα ισοδύναμα κυκλώματα πρωτεύοντος και δευτερεύοντος στη λειτουργία του βραχυκυκλώματος συνάγονται οι σχέσεις :

$$\sigma_{\beta\rho} = \frac{R''_{i\sigma}}{Z''_{i\sigma}} \quad (3.38)$$

$$\sigma_{\beta\rho} = \frac{R_{i\sigma}}{Z'_{i\sigma}}$$



Είναι επίσης , εύκολο να αποδειχθεί ότι είναι ορθή η ισότητα :

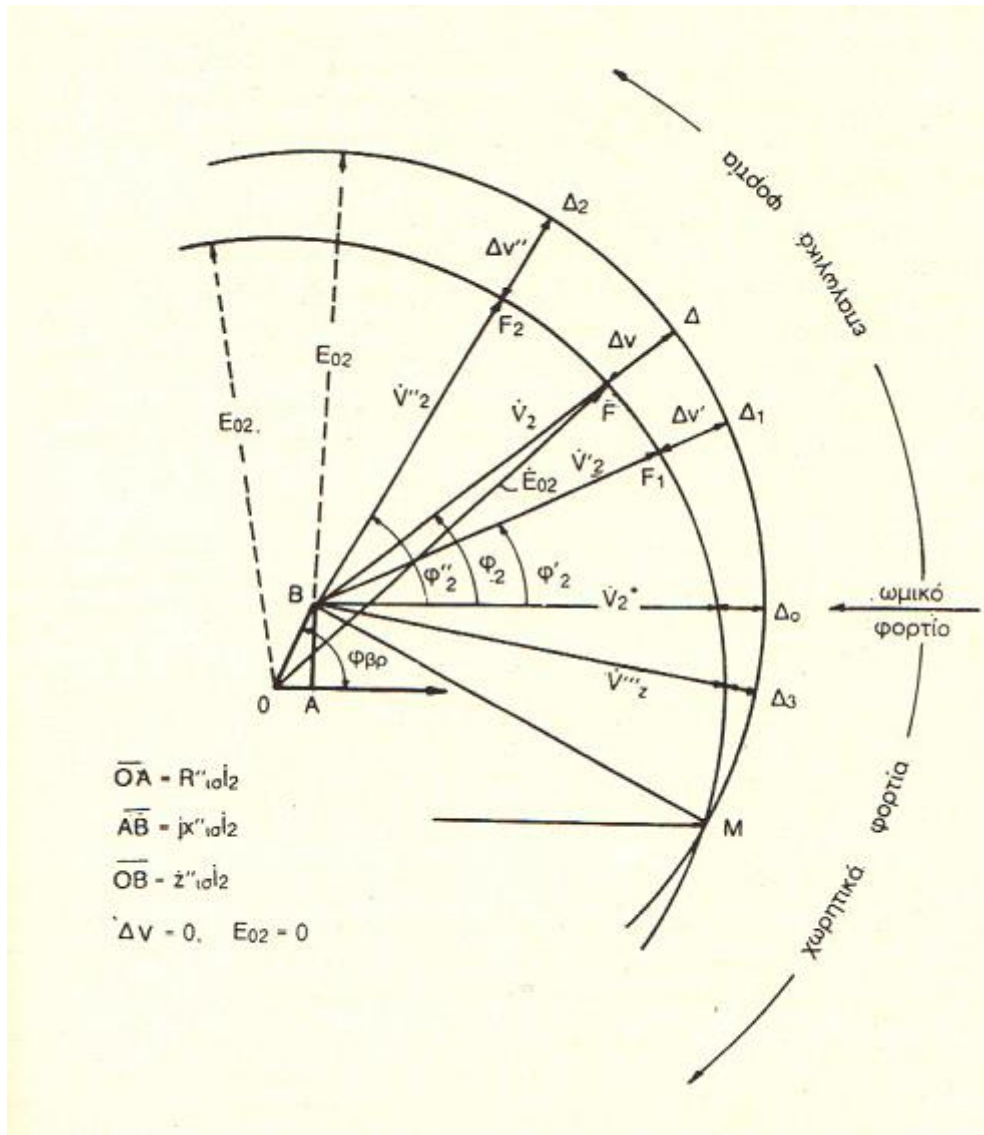
$$\sigma\upsilon\nu\varphi_{\beta\rho} = \frac{P_{\beta\rho}\%}{U_{\beta\rho}\%} \quad (3.39)$$

Η αλήθεια της παραπάνω σχέσης προκύπτει διαδοχικά ως εξής :

$$\frac{P_{\beta\rho}\%}{U_{\beta\rho}\%} = \frac{\frac{P_{\beta\rho}}{P_{ov}} \cdot 100}{\frac{V_{\beta\rho}}{V_1} \cdot 100} = \frac{P_{\beta\rho} \cdot V_1}{V_{\beta\rho} \cdot P_{ov}} = \frac{P_{\beta\rho} \cdot V_1}{V_{\beta\rho} \cdot V_1 \cdot I_1} = \frac{P_{\beta\rho}}{V_{\beta\rho} \cdot I_1} = \sigma\upsilon\nu\varphi_{\beta\rho} \quad (3.40)$$

3.5 Καθορισμός της μεταβολής της τάσεως . Διάγραμμα Καρρ. Εξωτερική χαρακτηριστική του μετασχηματιστή

Υπενθυμίζεται ότι η μεταβολή της τάσεως ενός μετασχηματιστή παριστάνεται από την αριθμητική διάφορα μεταξύ των τιμών της τάσεως του δευτερεύοντος της κενής λειτουργίας και της τάσεως του δευτερεύοντος της λειτουργίας υπό φορτίο . Τη μεταβολή της τάσεως μπορούμε να τη βρούμε και με το λεγόμενο διάγραμμα του Καρρ .



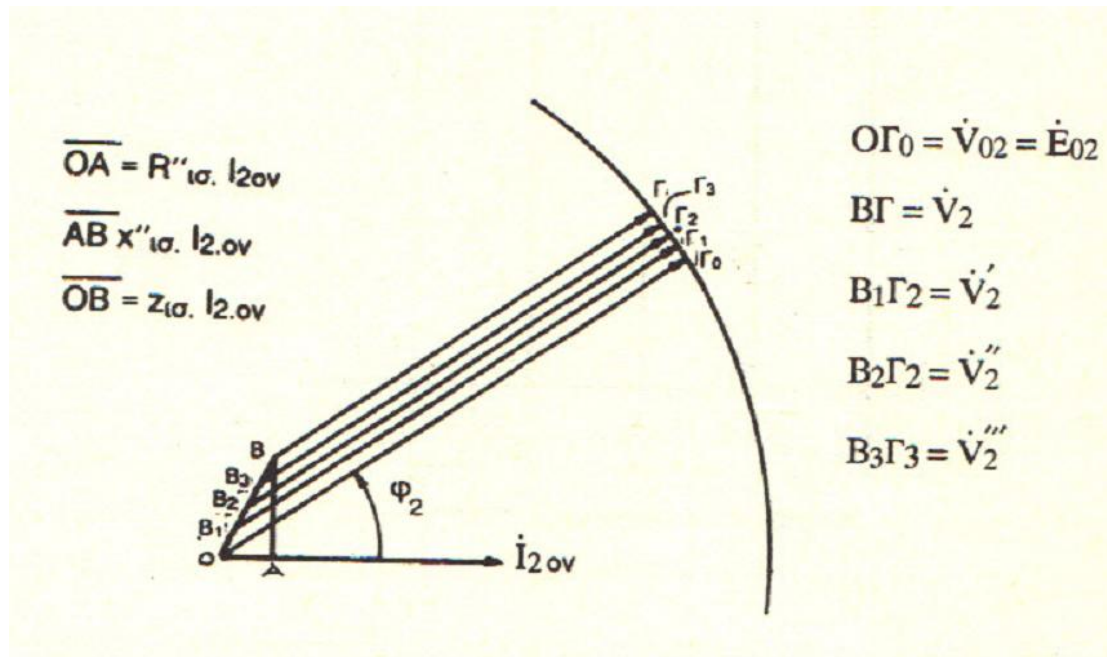
[Σχήμα 3.13]

Διάγραμμα Καρρ με το ρεύμα I_2 σταθερό και μεταβλητή τη διαφορά φασεως

Για την κατασκευή αυτού του διαγράμματος είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε αρχικά την ισοδύναμη ωμική αντίσταση του δευτερεύοντος $R''_{i\sigma}$, την ισοδύναμη επαγωγική αντίσταση του δευτερεύοντος $X''_{i\sigma}$, και την ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση του δευτερεύοντος $Z''_{i\sigma}$. Με άξονα αναφοράς την τιμή του ρεύματος του δευτερεύοντος στο πλήρες φορτίο I κατασκευάζεται το ορθογώνιο τρίγωνο, το οποίο έχει κάθετες πλευρές $\overline{OA} = R''_{i\sigma} \cdot I_2$ και $\overline{AB} = X''_{i\sigma} \cdot I_2$ (σχήμα 3.13). Αυτό το τρίγωνο παίρνει το όνομα θεμελιώδες τρίγωνο του μετασχηματιστή. Με κέντρο το O και ακτίνα την αντίστοιχη τάση της κενής λειτουργιάς E_{02} γραφουμε ένα κύκλο. Κάθε διανυσμα σαν το \overline{BC} δείχνει την τάση V_2 , που διατίθεται στα άκρα του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Όταν το δευτερεύον τύλιγμα διαρρέεται από ένα ρεύμα I_2 , τότε δημιουργείται μια διαφορά φάσεως ίση με μια γωνία Φ_2 . Αν τώρα με κέντρο το B και ακτίνα την τάση της κενής λειτουργιάς E_{02} και V_2 , δηλαδή, το τμήμα \overline{CD} δείχνει τη μεταβολή της τάσεως ΔV , όπου $\Delta V = E_{02} - V_2$, που αντιστοιχεί στη λειτουργία του πλήρους φορτίου του μετασχηματιστή επί ενός φορτίου με συντελεστή ισχύος ίσο με το $\cos\varphi_2$. Αν μεταβάλλεται ο συντελεστής ισχύος, ενώ παραμένει αμεταβλητό το ρεύμα του δευτερεύοντος, η μεταβολή της τάσεως καθορίζεται από τα τμήματα $\overline{C_1D_1}, \overline{C_2D_2} \dots$ κλπ, στα οποία αντιστοιχούν οι διαφορές φάσεως $\varphi'_2, \varphi''_2 \dots$ κλπ. Όταν αυξηθεί η γωνία καθυστέρησης του ρεύματος ως προς την τάση, δηλαδή, όταν μικρύνει ο συντελεστής ισχύος, η μεταβολή της τάσεως αυξάνει γίνεται δε η πιο μεγάλη, όταν η διάφορα φάσεως φ_2 είναι ίση με την διαφορά φάσεως $\varphi_{\beta\rho}$ κατά το βραχυκύκλωμα του μετασχηματιστή. Αν ο μετασχηματιστής λειτουργεί με φορτίο καθαρά ωμικό, η μεταβολή παριστάνεται με το τμήμα $\overline{G_0D_0}$ παραλληλο προς το διανυσμα I_2 . Αν λειτουργεί, αντίθετα, με το φορτίο χωρητικό, η τάση στα άκρα του δευτερεύοντος βρίσκεται σε καθυστέρηση ως προς το ρεύμα, καθορίζεται από το τμήμα $\overline{BG_3}$ και η μεταβολή της τάσεως, αντίστοιχα, είναι $\overline{G_3D_3}$.

Συμπεραίνουμε ότι στη λειτουργία με φορτίο χωρητικό η μεταβολή της τάσεως μικραίνει με την αύξηση της διαφοράς φάσεως με προπορεία του ρεύματος της τάσεως γίνεται δε μηδέν, δηλαδή, η τάση στα άκρα του δευτερεύοντος παραμένει η ίδια τόσο στην κενή όσο και στην υπό φορτίο λειτουργία, όταν το σημείο G_3 περασει στο M . Για διάφορα φύσει με μεγαλύτερη προπορεία, η τάση στα άκρα του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή κατά την υπό φορτίο λειτουργία του γίνεται μεγαλύτερη από την τάση της κενής λειτουργιάς, δηλαδή, όταν φορτίζεται ο μετασχηματιστής, η τάση του δευτερεύοντος μεγαλώνει αντί να μικραίνει. Κατά συνέπεια, το διάγραμμα του Καρρ μας δίνει τη δυνατότητα να γνωρίζουμε τον τρόπο μεταβολής της τάσεως του μετασχηματιστή, όταν με σταθερή τάση πρωτεύοντος V_1 και σταθερο ρεύμα δευτερεύοντος I_2 μεταβάλλεται ο συντελεστής ισχύος $\cos\varphi_2$. Αν εξετασθεί ο τρόπος μεταβολής της τάσεως του δευτερεύοντος ενός μετασχηματιστή, όταν με σταθερό συντελεστή ισχύος μεταβάλλεται το ρεύμα του δευτερεύοντος, τότε το διάγραμμα του Καρρ παίρνει τη μορφή, που φαίνεται στο σχήμα [3.14]

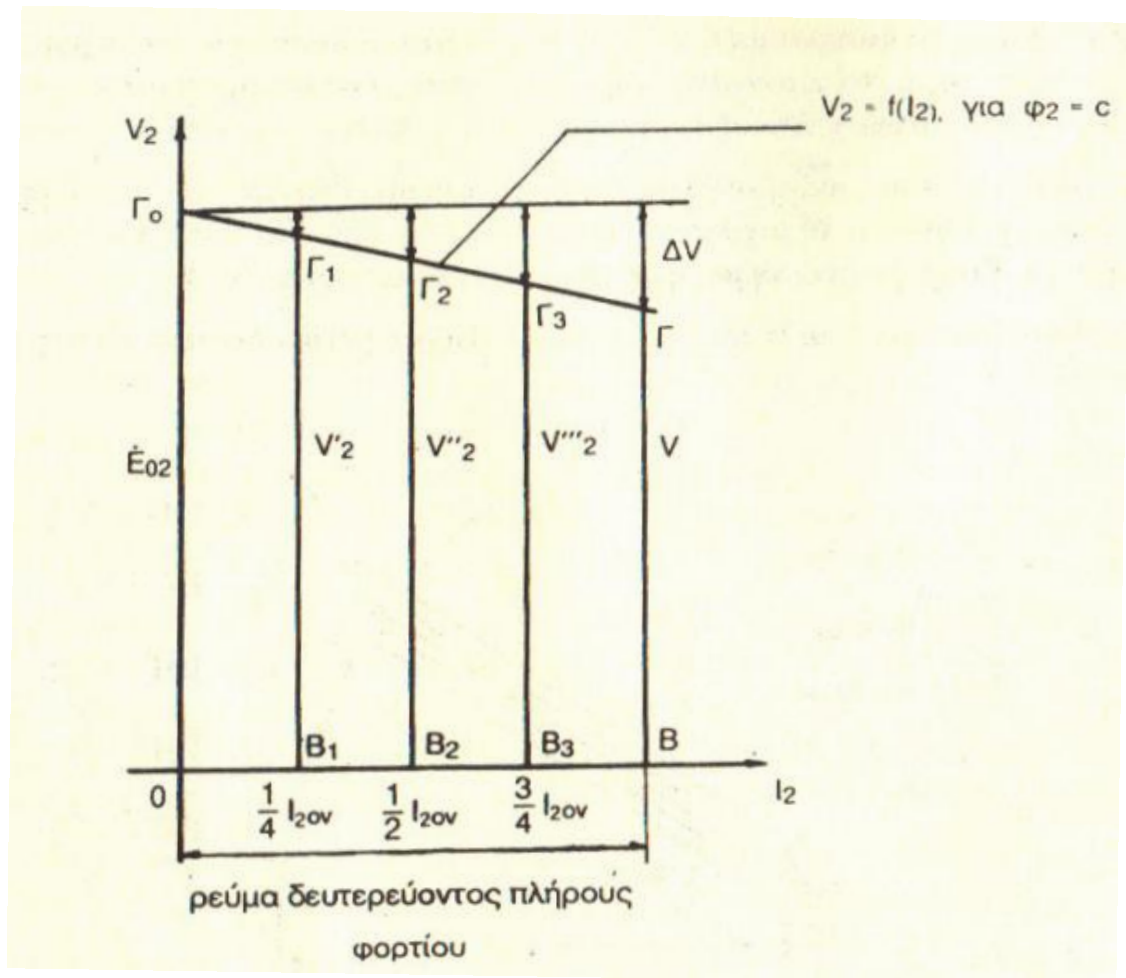
Κατασκευάζουμε το θεμελιώδες τρίγωνο OAB για το ρεύμα δευτερεύοντος πλήρους φορτίου .



[Σχήμα 3.14]

Θεμελιώδες τρίγωνο για το ρεύμα δευτερεύοντος πλήρους φορτίου

Είναι φανερό ότι , αν διαιρεθεί η υποτείνουσα \overline{OB} του τριγώνου σε τέσσερα ίσα μέρη τα διανύσματα $\overline{OB_1}, \overline{OB_2}, \overline{OB_3}$ παριστανουν , αντίστοιχα , την πτώση τάσεως , που αντιστοιχεί στο τέταρτο , το μισό και στα τρία τέταρτα του φορτίου . Αν η τιμη φ_2 της διαφορας φασεως παραμενει σταθερη , τοτε η ταση του δευτερεύοντος παριστάνεται , αντίστοιχα , από τα διανύσματα $\overline{B_1\Gamma_1}, \overline{B_2\Gamma_2} \dots$ κλπ . Οι τάσεις του δευτερεύοντος καθορισμένες με τον τροπο αυτό μπορούν να μεταφερθούν ως τεταγμένες σε ένα διάγραμμα , που έχει ως τετμημένος τα αντίστοιχα ρεύματα (βλέπε σχήμα 3.15) . Η καμπύλη , που προκύπτει , αποτελεί την εξωτερική χαρακτηριστική του μετασχηματιστή , που λειτουργει με φορτίο επαγωγικό και με συντελεστή ισχύος σταθερό και έσο με $\sin\varphi_2$. Τα τμήματα , που περιλαμβάνονται μεταξύ της καμπύλης , η οποια παριστάνει την εξωτερική χαρακτηριστική του μετασχηματιστή , και της οριζόντιας , η οποια έχει την ταση κενής λειτουργιάς E_{02} ως καθετο , παριστανουν τις μεταβολες της τάσεως ΔV , που αντιστοιχουν στις διαφορες τιμες του ρεύματος I_2 , οποιες παρουσιάζονται ως τετμημενες .



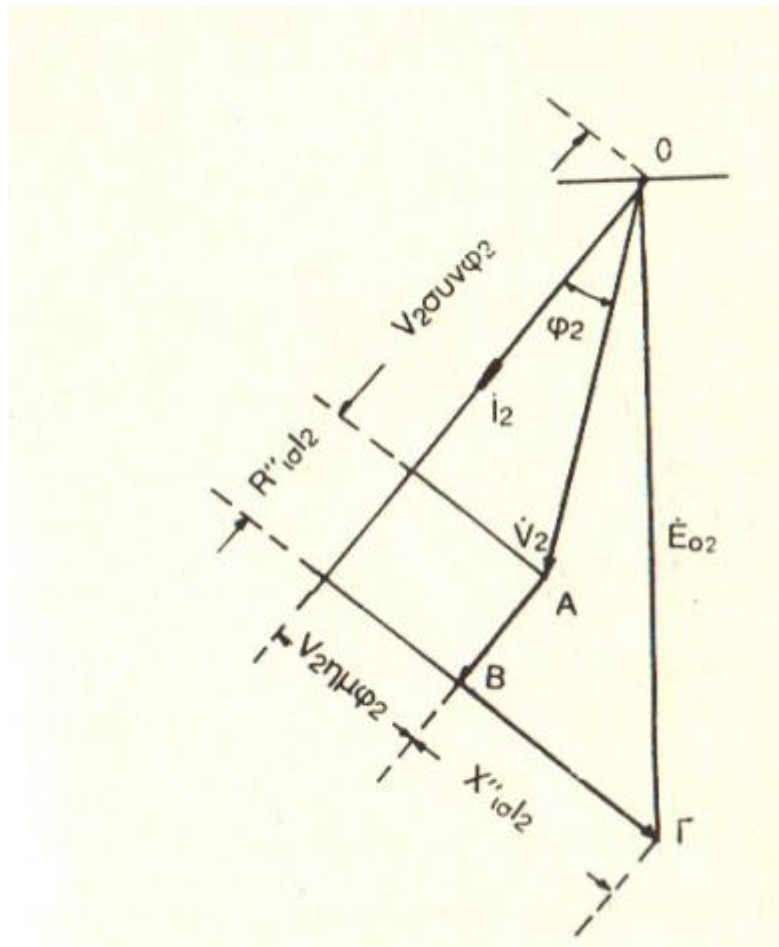
[Σχήμα 3.15]

Εξωτερική χαρακτηριστική μετασχηματιστή $V_2 = f(I_2)$ για $\varphi_2 = C$

Το διάγραμμα του σχήματος (3.14) επιτρέπει τον καθορισμό της εξωτερικής χαρακτηριστικής με οποιοδήποτε συντελεστή ισχύος . Αυτό επιτυγχάνεται , ένα μεταβληθεί απλά η διεύθυνση του διανύσματος , το οποίο παριστάνει την ταση του δευτερεύοντος ως προς τη σταθερή διεύθυνση του διανύσματος , που αντιπροσωπεύει το ρεύμα I_2 . Αν μικραίνει η γωνία φ_2 (σχήμα 3.14) , η εξωτερική χαρακτηριστική προκύπτει με μικρότερη πτώση . Κατά τη χωρητική φόρτιση , όταν το ρεύμα υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο όριο , η εξωτερική χαρακτηριστική προκύπτει αύξουσα .

3.6 Υπολογισμός της μεταβολής της τάσεως

Τα προηγούμενα διαγράμματα έχουν ως σκοπό να δείξουν τον τρόπο μεταβολής της τάσεως του δευτερεύοντος ενός μετασχηματιστή, όταν μεταβάλλεται το φορτίο. Δεν είναι, όμως, δυνατόν να υπάρξουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στην πράξη, γιατί οι διαστάσεις του θεμελιώδους τριγώνου του μετασχηματιστή είναι πάντα πολύ μικρές σε σχέση με την τάση στα άκρα. Για τον πραγματικό καθορισμό της τάσεως του δευτερεύοντος υπό φορτίο είναι αναγκαίο να εξακολουθήσουμε τον αναλυτικό υπολογισμό. Αυτός μπορεί να στηρίζεται στο διάγραμμα του δευτερεύοντος κυκλώματος [σχήμα 3.16]



[Σχήμα 3.16]

Διάγραμμα του ισοδύναμου κυκλώματος δευτερεύοντος του μετασχηματιστή

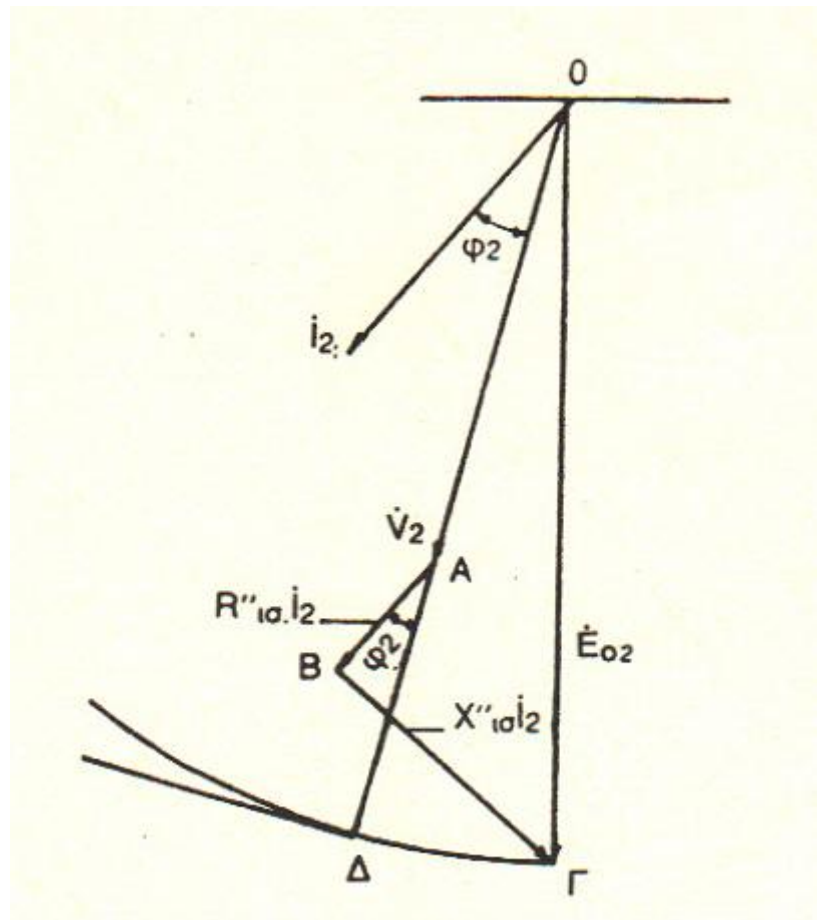
Από το διάγραμμα του σχήματος [3.16] εξάγεται η εξίσωση :

$$E_{02}^2 = (V_2 \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi_2 + R'_{i\sigma} \cdot I_2)^2 + (V_2 \cdot \eta\mu\varphi_2 + \chi'_{i\sigma} \cdot I_2)^2 \quad (3.41)$$

Λύνοντας ως προς την V_2 την πιο πάνω σχέση βρίσκουμε την τάση του δευτερεύοντος σε συνάρτηση με το ρεύμα I_2 και με τη γωνία της διαφοράς φάσεως

φ_2 . Γνωρίζοντας την τάση V_2 η αριθμητική διαφορά $\Delta V = E_{02} - V_2$ εκφράζει τη μεταβολή της τάσεως του μετασχηματιστή στις εξεταζόμενες συνθήκες φορτίσεως μέθοδος , που προκύπτει έχει το μειονέκτημα ότι είναι πολύ κοπιαστική . Για τον πρακτικό υπολογισμό της μεταβολής είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται μια μέθοδος απλή , αλλά ικανοποιητική κατά προσέγγιση . Η μέθοδος αυτή είναι η ακόλουθη. Στο διανυσματικό διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα [3.17] , διαγράφοντας το τόξο κύκλου με κέντρο O και ακτίνα E_{02} η αριθμητική διαφορά μεταξύ E_{02} και V_2 δηλώνεται από το τμήμα $\overline{A\Delta}$ κατά συνέπεια , ο υπολογισμός της μεταβολής της τάσεως ανάγεται στον υπολογισμό του μήκους αυτού του τμήματος . Κατά πρώτη προσέγγιση μπορούμε να παραλείψουμε το μικρό τμήμα $\overline{Z\Delta}$ και για να θεωρήσουμε ότι $\Delta V \cong \overline{AZ}$. Άρα το σχήμα [3.18] εξάγεται η σχέση :

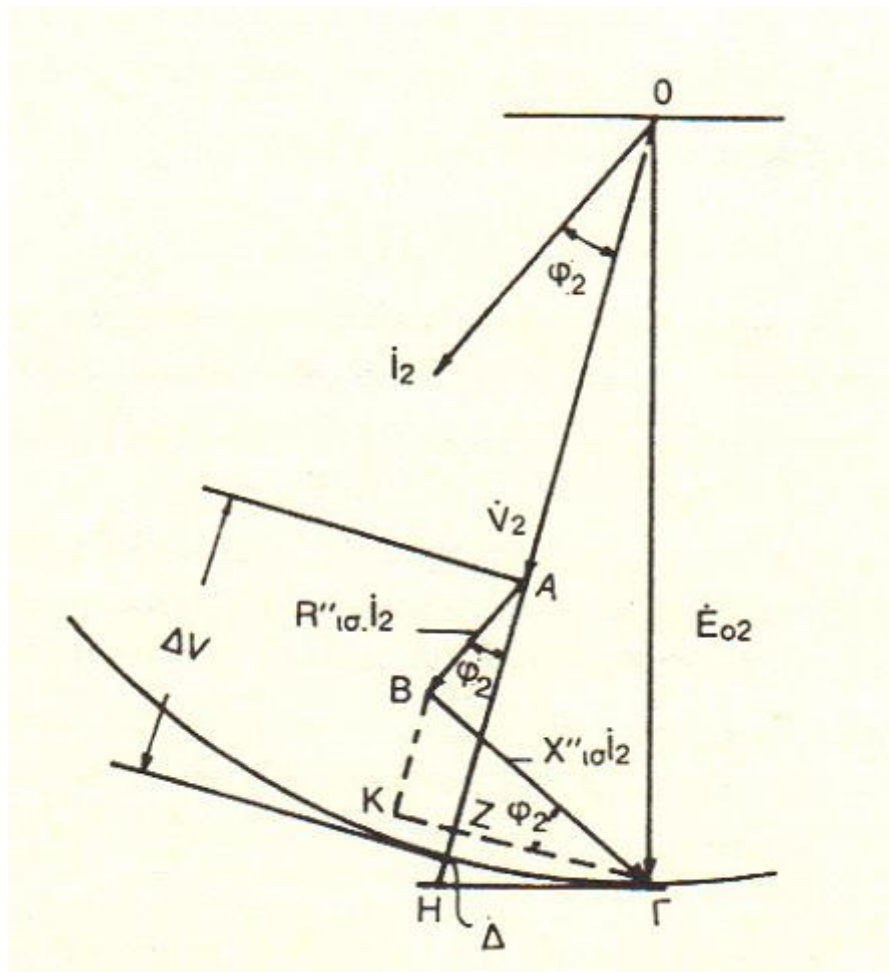
$$\Delta V \cong R''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \sigma \nu \varphi_2 + \chi''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \eta \mu \varphi_2 \quad (3.42)$$



[Σχήμα 3.17]

Τρόπος καθορισμού της πτώσεως τάσεως στη βιομηχανία

Για τον ακριβή υπολογισμό είναι αναγκαίο να προσθέσουμε ακόμη την τιμή , που αντιστοιχεί στο μικρό τμήμα $\overline{Z\Delta}$.



[Σχήμα 3.18]

Τρόπος καθορισμούς της πτώσεως τάσεως στη βιομηχανία

Με την προσέγγιση περισσότερο ικανοποιητική αυτό μπορεί να θεωρηθεί έσο με το μισό του τμήματος \overline{ZH} , και καθορίζεται από την αναλογία $\overline{ZH} : \overline{\Gamma Z} = \overline{\Gamma Z} : \overline{OZ}$. Κατά συνεπεια θεωρούμε :

$$\overline{Z\Delta} \cong -\frac{1}{2}\overline{ZH} = \frac{1}{2}\frac{\overline{\Gamma Z}^2}{\overline{OZ}}$$

Από το σχήμα [3.17] εξάγεται ότι $\overline{\Gamma Z} = \overline{\Gamma K} - \overline{ZK}$ και αυτό :

$$\overline{\Gamma Z} = \chi''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \sigma \nu \nu \varphi_2 - R''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \eta \mu \varphi_2$$

Επισης το \overline{OZ} μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένα τμήμα $\overline{O\Delta} = E_{02}$. Με τον τροπο αυτό μπορεί να γραφτεί :

$$\overline{Z\Delta} \cong \frac{1}{2} \cdot \frac{(\chi''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 - R''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \eta\mu\varphi_2)^2}{E_{02}}$$

Η μεταβολή της τάσεως , λοιπόν , εκφράζεται ως εξής :

$$\Delta V = R''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 + \chi''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \eta\mu\varphi_2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(\chi''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 - R''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \eta\mu\varphi_2)^2}{E_{02}}$$

Και η μεταβολή επί τοις εκατό προκύπτει :

$$\Delta U\% = 100 \cdot \frac{R''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 + \chi''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \eta\mu\varphi_2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(\chi''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 - R''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \eta\mu\varphi_2)^2}{E_{02}}}{E_{02}}$$

Και ακόμα καλύτερα :

$$\Delta U = 100 \cdot \frac{I_2}{E_{02}} \cdot (R''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 + \chi''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \eta\mu\varphi_2) + 50 \cdot \frac{I_2^2}{E_{02}^2} \cdot (\chi''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 - R''_{i\sigma} \cdot I_2 \cdot \eta\mu\varphi_2)^2$$

Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιείται για τον πρακτικό υπολογισμό της μεταβολής της τάσεως των μετασχηματιστών , σε συνάρτηση με το ρεύμα I_2 , που διαρρέει το δευτερεύον , και με τη διάφορα φάσεως φ_2 . Η ίδια μεταβολή μπορεί να εκφράσει επί τοις εκατό σε με την τάση και το ρεύμα του πρωτεύοντος V_1 και I_1 . Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη ωμική και επαγωγική αντίσταση του πρωτεύοντος $R'_{i\sigma}$ και $X'_{i\sigma}$. Κατά συνεπεία θα έχουμε :

$$\Delta U = 100 \cdot \frac{I_1}{V_1} \cdot (R'_{i\sigma} \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 + \chi'_{i\sigma} \cdot \eta\mu\varphi_2) + 50 \cdot \frac{I_2^2}{E_{02}^2} \cdot (\chi'_{i\sigma} \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 - R'_{i\sigma} \cdot \eta\mu\varphi_2)^2$$

Προσεκτική παρατήρηση του σχήματος [3.12] καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι οροί $R'_{i\sigma} I_1$ και $X'_{i\sigma} I_1$ παριστανουν αντιστοιχα τις δυο συνιστωσεις , ενεργο και αεργο , της τάσεως βραχυκυκλώσεως $V_{\beta\rho} = Z'_{i\sigma} I_1$. Άρα , μπορεί επίσης να γραφει :

$$R_{i\sigma} \cdot I_1 = V_{\beta\rho} \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_{\beta\rho}$$

$$\chi'_{i\sigma} \cdot I_1 = V_{\beta\rho} \cdot \eta\mu\varphi_{\beta\rho}$$

Η πτώση τάσεως μπορεί να εκφράσει σε συνάρτηση με τα στοιχεία , που λαμβάνονται από τη δόκιμη βραχυκυκλώσεως του μετασχηματιστή με τη σχέση :

$$\Delta U\% = 100 \cdot \frac{V_{\beta\rho}}{V_1} \cdot (\sigma\upsilon\upsilon\varphi_{\beta\rho} \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 + \eta\mu\varphi_{\beta\rho} \cdot \eta\mu\varphi_2) + 50 \cdot \left(\frac{V_{\beta\rho}}{V_1}\right)^2 \cdot (\eta\mu\varphi_{\beta\rho} \cdot \sigma\upsilon\upsilon\varphi_2 - \sigma\upsilon\upsilon\varphi_{\beta\rho} \cdot \eta\mu\varphi_2)^2$$

Στη σχέση αυτή παρατηρούμε ότι η έκφραση $100 \cdot \frac{V_{\beta\rho}}{V_1}$ παριστάνει την τιμή επί τοις εκατό της τάσεως βραχυκυκλώσεως $U_{\beta\rho} \%$. Εξ' άλλου, η μεταβολή επί τοις εκατό της τάσεως μπορεί να δοθεί από τη σχέση :

$$\Delta U\% = (U_{\beta\rho}\%) \cdot (\text{συν}\varphi_{\beta\rho} \cdot \text{συν}\varphi_2 + \eta\mu\varphi_{\beta\rho} \cdot \eta\mu\varphi_2) + \frac{(U_{\beta\rho}\%)^2}{200} \cdot (\eta\mu\varphi_{\beta\rho} \cdot \text{συν}\varphi_2 - \text{συν}\varphi_{\beta\rho} \cdot \eta\mu\varphi_2)^2$$

Η τιμή επί τοις εκατό $U_{\beta\rho} \%$ της τάσεως βραχυκυκλώσεως, γενικά, αναγράφεται από τον κατασκευαστή στην πινακίδα του μετασχηματιστή και αναφέρεται στο πλήρες φορτίο. Για ρεύμα μικρότερο από το πλήρες φορτίο η τάση βραχυκυκλώσεως μειώνεται ανάλογα. Η μείωση εκφράζεται από το λόγο $\alpha = \frac{I_2}{I_{2\eta}}$ με αποτέλεσμα η μειωμένη τιμή της τάσεως βραχυκυκλώσεως να προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$\alpha \cdot U_{\beta\rho} \% = \frac{I_2}{I_{2\eta}} \cdot U_{\beta\rho} \%$$

Ο συντελεστής ισχύος βραχυκυκλώσεως ($\text{συν}\varphi_{\beta\rho}$) αναγράφεται από τον κατασκευαστή στην πινακίδα του μετασχηματιστή, και είναι ανεξάρτητος από την τιμή του ρεύματος. Γι' αυτό παραμένει σταθερός οποιοδήποτε και αν είναι το φορτίο του μετασχηματιστή.

4^ο ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

4.1 Πραγματική ισχύς μονοφασικού μετασχηματιστή

Η πραγματική ισχύς, που παρέχει ένας μονοφασικός μετασχηματιστής, προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$P_2 = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\phi_2 \quad (4.1)$$

Τα V_2, I_2 και $\cos\phi_2$ παριστανουν τις ενεργες τιμες της τασεως και του ρευματος καθώς και το συντελεστή ισχύος, και μετριοούνται στη γραμμή παροχής του μετασχηματιστή. Η πραγματική ισχύς, που απορροφά ένας μονοφασικός μετασχηματιστής, προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$P_1 = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi_1 \quad (4.2)$$

Τα V_1, I_1 και $\cos\phi_1$ παριστανουν τις ενεργες τιμες της τασεως και του ρευματος καθώς και το συντελεστή ισχύος, τα οποια μετριοούνται στη γραμμή τροφοδοτήσεως του μετασχηματιστή. Μεταξύ της ισχύος που απορροφά ο μετασχηματιστής και της ισχύος, που παρέχει βάσει της αρχής της διατηρήσεως της ενεργείας, ισχύει η σχέση:

$$P_1 = P_2 + P_{απ} = P_2 + P_{Fe} + P_x \quad (4.3)$$

Η σχέση αυτή δειχνει ότι ο μετασχηματιστής πρέπει να απορροφήσει ισχύ P_1 , ικανή να εξισορροπήσει, εκτός από την ισχύ P_2 , που παρεχει ο μετασχηματιστής, την ισχυ απωλειων σιδηρου P_{Fe} και την ισχυ απωλειων χαλκου P_x .

4.2 Άεργη ισχύς μονοφασικού μετασχηματιστή

Η άεργη ισχύς, που παρέχει ένας μονοφασικός μετασχηματιστής, εκφράζεται από τη σχέση :

$$P_{a2} = V_2 \cdot I_2 \cdot \eta\mu\phi_2 \quad (4.4)$$

Ανάλογα , η άεργη ισχύς , που απορροφά ο μετασχηματιστής , εκφράζεται από τη σχέση :

$$P_{a1} = V_1 \cdot I_1 \cdot \eta \mu \varphi_1 \quad (4.5)$$

Η άεργη ισχύς , την οποία απορροφά ο μετασχηματιστής , προκύπτει από τη σύνθεση των εξής άεργων ισχύων :

1. Της άεργης ισχύος , που παρέχει ο μετασχηματιστής .
2. Της άεργης ισχύος , που δεσμεύει η κυρία μαγνητική ροη .
3. Της άεργης ισχύος , που δεσμεύει η ροη σκεδάσεως .

Κατά συνέπεια , η άεργη ισχύς , που απορροφά ο μετασχηματιστής , μπορεί να καθαρισθεί από τη σχέση :

$$P_{a1} = P_{a2} + P_{aFe} + P_{ax} \quad (4.6)$$

Η άεργη ισχύς P_{aFe} καθώς και η P_{ax} είναι επαγωγικής φύσεως και προκύπτουν παντοτε θετικές , ενώ η αεργη ισχυς P_{a2} , την οποία απορροφα το φορτιο , μπορεί να είναι χωρητικης φύσεως , αρα αρνητικη . Επομένως , η άεργη ισχύς P_{a1} , που απορροφά ο μετασχηματιστής , μπορεί να προκύψει μικρότερη από εκείνη που παρέχει . Στην περίπτωση , κατά την οποία η χωρητική ισχύς του φορτίου έχει την τιμη ίση η μεγαλύτερη από το άθροισμα της άεργης ισχύος επαγωγικής φύσεως της κύριας ροής του μετασχηματιστή και της ροής σκεδάσεως , η άεργη ισχύς P_{a1} προκυπτει αντιστοιχα , μηδεν η αρνητικη.Ειναι γνωστο , ότι η κυρια μαγνητικη ροη ενός μετασχηματιστή διατηρεί πλάτος πρακτικά , ανεξάρτητο από το φορτίο και ίσο με την τιμη της ροής Φ_0 της κενης λειτουργιας . Η αεργη ισχυς , που έχει σχέση με την ροη αυτή , μπορεί να υποστηριχτεί ότι ισούται με εκείνη , η οποία απορροφάται στο κενό και εκφράζεται από τη σχέση :

$$P_{aFe} = P_{a0} = V_1 \cdot I_0 \cdot \eta \mu \varphi_0 = V_1 \cdot I_\mu = P_0 \cdot \varepsilon \varphi \varphi_0 \quad (4.7)$$

Η άεργη ισχύς , που έχει σχέση με τη ροη σκεδάσεως , είναι αντίθετα ανάλογη προς το ρεύμα φορτίου , και αντιστοιχεί , ουσιαστικά , προς την άεργη ισχύ , που απορροφά ο μετασχηματιστής με ίσο ρεύμα στη λειτουργία του κατά το βραχυκύκλωμα . Συμφώνα με τη συνθήκη αυτή η άεργη ισχύς , που παρέχει ο μετασχηματιστής , είναι πρακτικά μηδέν . Επίσης η άεργη ισχύς , που έχει σχέση με την κυρία ροη , είναι πολύ μικρη . Η άεργη ισχύς P_{ax} εκφράζεται από τη σχέση :

$$P_{ax} = P_{\beta\rho} = \chi''_{i\sigma} \cdot I_2^2 = P_x \cdot \varepsilon \varphi \varphi_{\beta\rho} \quad (4.8)$$

όπου $\chi''_{\sigma} = \eta$ ισοδύναμη δευτερεύουσα επαγωγική αντίσταση
 $P_x =$ οι απώλειες, εξ' αιτίας του φαινομένου Joule στα τυλίγματα.

Με βάση τις προηγούμενες εκφράσεις μπορεί να καθариσθεί ο συντελεστής ισχύος $\text{συν}\varphi_1$ από τις σχέσεις :

$$\text{συν}\varphi_1 = \text{συντοξεφ} + \frac{P_{a1}}{P_1} = \text{συντοξεφ} \cdot \frac{P_2 \cdot \varepsilon\varphi\varphi_2 + P_0 \cdot \varepsilon\varphi\varphi_0 + P_x \cdot \varepsilon\varphi\varphi_{\beta\rho}}{P_2 + P_0 + P_x}$$

Έτσι, μπορεί να υπολογίσει το ρεύμα του πρωτεύοντος I_1 από τη σχέση :

$$I_1 = \frac{P_1}{V_1 \cdot \text{συν}\varphi_1} \quad (4.10)$$

4.3 Απώλειες μονοφασικού μετασχηματιστή

Οι απώλειες της ισχύος κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή απαρτίζονται όπως παρατηρούμε :

1. Από τις απώλειες Joule, οι οποίες οφείλονται στην ωμική αντίσταση των τυλιγμάτων και ονομάζονται απώλειες χαλκού.
2. Από τις απώλειες από υστέρηση και από παρασιτικά ρεύματα του πυρήνα, που ονομάζονται απώλειες σιδηρού.

Για ένα μονοφασικό μετασχηματιστή οι απώλειες χαλκού προσδιορίζονται από τη σχέση :

$$P_x = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 \quad (4.11)$$

όπου R_1, R_2 οι ωμικές αντιστάσεις πρωτεύοντος και δευτερεύοντος, και I_1, I_2 τα αντιστοιχα ρευματα. Επίσης, οι απώλειες χαλκού προσδιορίζονται και από τις σχέσεις :

$$P_x = R''_{\sigma} \cdot I_2^2$$

$$P_x = R'_{\sigma} \cdot I_1^2 \quad (4.12)$$

όπου $R''_{\sigma}, R'_{\sigma}$ οι ισοδύναμες ωμικές αντιστάσεις δευτερεύοντος και πρωτεύοντος, αντιστοιχα. Επειδή οι ωμικές αντιστάσεις αυξάνουν με την αύξηση της θερμοκρασίας, ο υπολογισμός των απωλειών χαλκού αναφέρεται στην τιμή, που παίρνουν οι ωμικές αντιστάσεις στη θερμοκρασία, που επικρατεί. Για τον καθορισμό αυτών των απωλειών μπορούν να μετρηθούν χωριστά οι αντιστάσεις R_1, R_2 , για να γίνει ο υπολογισμός με τους πιο πάνω τύπους, η αντίθετα, μπορεί να

μετρηθεί ισχύς, την οποία απορροφά ο μετασχηματιστής στη δόκιμη της βραχυκυκλώσεως, για να καθαρισθεί, με βάση αυτή, άμεσα η τιμή της ισοδύναμης ωμικής αντιστάσεως πρωτεύοντος ή δευτερεύοντος. Η πείρα, όμως, δείχνει ότι τα δυο αποτελέσματα δεν συμπίπτουν ακριβώς. Οι πωλείς χαλκού που υπολογίζονται από τη δόκιμη βραχυκυκλώσεως, προκύπτουν πάντοτε λίγο μεγαλύτερες από την τιμή, που λαμβάνεται, όταν ακολουθητέ η μέθοδος της χωριστής μετρήσεως των αντιστάσεων R_1, R_2 . Αυτό το γεγονός οφείλεται στις προσθετες απωλειες, που παρουσιάζονται στα τυλίγματα από την επίδραση των παρασιτικών ρευμάτων, τα οποία επάγονται στη μάζα των αγωγών από τις ροές σκεδάσεως. Τα περαστικά ρεύματα καθορίζουν μια ανισόρροπη κατανομή των κύριων ρευμάτων στη διατομή των αντιστοιχών αγωγών, και η επίδραση τους ισοδυναμεί με αύξηση της ωμικής αντιστάσεως στα τυλίγματα. Προκύπτει, λοιπόν, ότι ο καθορισμός των ισοδύναμων αντιστάσεων του μετασχηματιστή με τη μέθοδο της δοκιμής βραχυκυκλώσεως δίνει πιο αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα των φαινομένων, που συμβαίνουν μέσα στο μετασχηματιστή, από το αποτέλεσμα, που δίνει η μέτρηση χωριστά των δυο ωμικών αντιστάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος.

4.4 Απόδοση μονοφασικού μετασχηματιστή

Η απόδοση ενός μονοφασικού μετασχηματιστή προσδιορίζεται από το λόγο μεταξύ της ηλεκτρικής ισχύος P_2 , που παρέχει το δευτερεύον, και της ηλεκτρικής ισχύος P_1 που απορροφά, αντιστοιχα, το πρωτευον. Η ισχύς, που παρέχει ένας μονοφασικός μετασχηματιστής, προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$P_2 = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2$$

Τα V_2, I_2 και $\cos\varphi_2$ παριστανουν αντιστοιχα, την τάση, το ρεύμα και το συντελεστη ισχύος, και μετριουνται στα ακρα του δευτερεύοντος. Η ισχύς, που απορροφά το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή, προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$P_1 = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$$

Τα V_1, I_1 και $\cos\varphi_1$ παριστανουν την τάση, το ρεύμα και το συντελεστη ισχύος, και μετριουνται στη γραμμη τροφοδοτησεως στα ακρα του πρωτεύοντος. Αντίστοιχα, η απόδοση του μετασχηματιστή εκφράζεται από τη σχέση

$$n = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \quad (4.13)$$

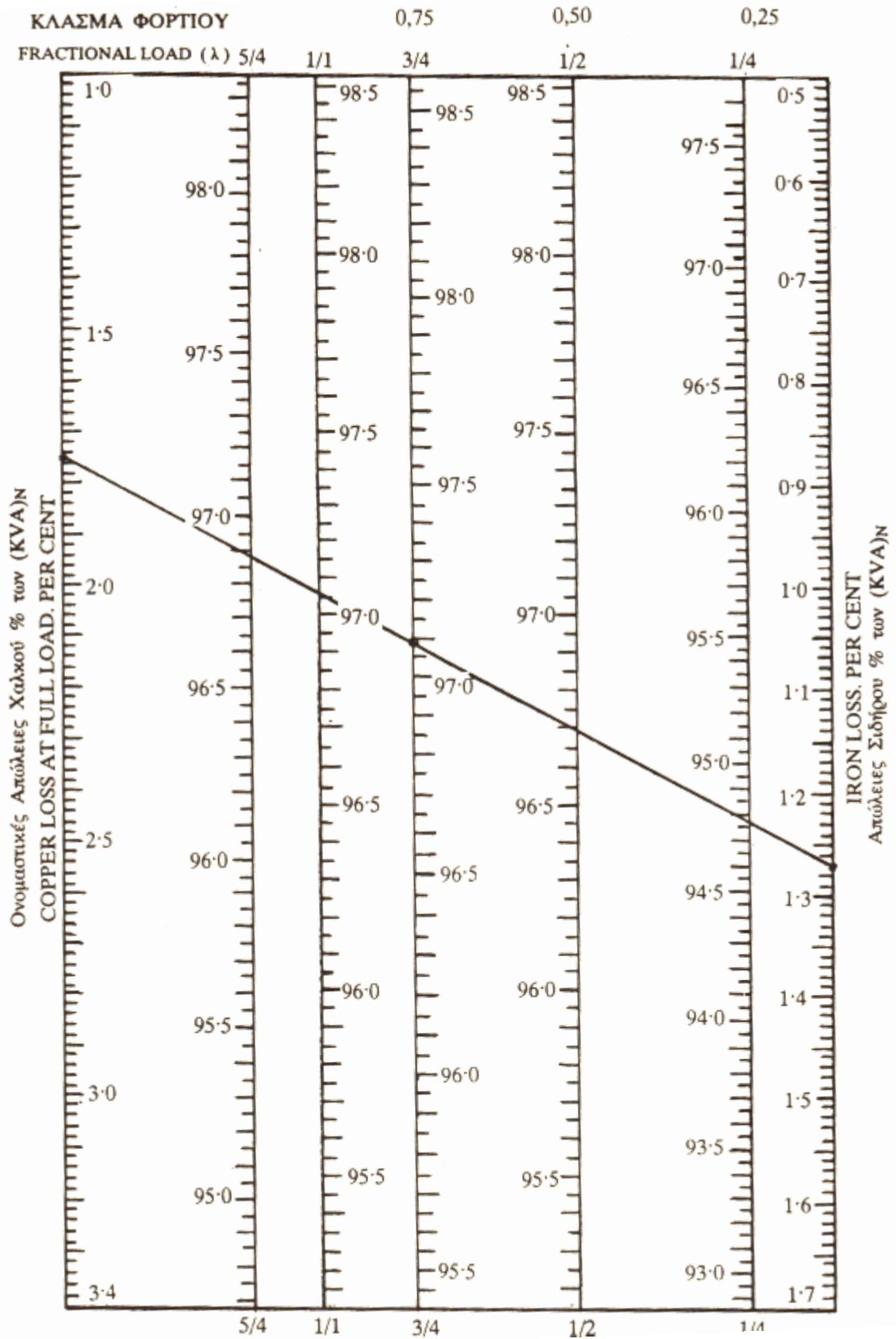
Στη πράξη , είναι προτιμότερο να προσδιορίζεται η τιμή της ισχύος του πρωτεύοντος P_1 από το άθροισμα της ισχύος του δευτερεύοντος P_2 , της ισχύος απωλειών στο κενό P_0 και της ισχύος απωλειών χαλκού $P_x = R''_{i\sigma} \cdot I_2^2$. Κατά συνεπεία, θα έχουμε :

$$P_1 = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 + P_0 + R''_{i\sigma} \cdot I_2^2$$

Η απόδοση του μετασχηματιστή εκφράζεται από τη σχέση :

$$n = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 + P_0 + R''_{i\sigma} \cdot I_2^2} \quad (4.14)$$

Η σχέση (4.14) επιτρέπει τον προσδιορισμό της αποδόσεως του μετασχηματιστή σε όλες τις συνθήκες φορτίσεως , αφού προηγουμένως έχει καθαρισθεί η ισχύς , που απορροφάται στο κενό P_0 και η ισοδύναμη ωμική αντίσταση $R''_{i\sigma}$. Η απόδοση καθορισμένη με τον τρόπο αυτό ονομάζεται συμβατική απόδοση , γιατί ο καθορισμός της βασίζεται στη ξεχωριστή πρακτική μέτρηση των απωλειών σιδηρού μέσω της δοκιμής στο κενό (ισχύς που απορροφήθηκε P_0) και των απωλειών χαλκού μέσω της δοκιμής μέσω δοκιμής βραχυκυκλώσεως (ισχύς , που απορροφήθηκε $P_{\beta\rho} = P_x = R''_{i\sigma} \cdot I_2^2$)



Σχήμα 4.1

Νομογράφημα για το βαθμό απόδοσης $\eta\%$ συναρτήσει των απωλειών Fe και Cu και του κλάσματος φορτίου

5^ο Τριφασικοί Μετασχηματιστές

5.1 Τριφασικό Ρεύμα

Τριφασικό ρεύμα ονομάζεται το ρεύμα εκείνο το οποίο συνίσταται από τρία επί μέρους ανεξάρτητα ρεύματα της συχνότητας, που διαφέρουν φασικά κατά γωνία ίση με 120° και διαφορετικού πλάτους. Επομένως το άθροισμα των τριών ρευμάτων γράφεται :

$$i = I_1 \cdot \eta\mu\omega t + I_2 \cdot \eta\mu(\omega t + 120^\circ) + I_3 \cdot \eta\mu(\omega t + 240^\circ) \quad (5.1)$$

Αποδεικνύεται μαθηματικός ότι εάν τα πλάτη των τριφασικών ρευμάτων είναι ΙΣΑ, δηλαδή $I_1 = I_2 = I_3 = I_o$, το άθροισμα τους, στην συγκεκριμένη χρονική στιγμή, είναι μηδενικό. Έτσι λοιπόν η σχέση (5.1) γράφεται ως εξής :

$$i = I_o [I_1 \cdot \eta\mu\omega t + I_2 \cdot \eta\mu(\omega t + 120^\circ) + I_3 \cdot \eta\mu(\omega t + 240^\circ)] \quad (5.2)$$

Η ανάπτυξη του $\eta\mu(\omega t + 120^\circ)$ δίνει την παρακάτω σχέση (5.3) :

$$\begin{aligned} \eta\mu(\omega t + 120^\circ) &= \eta\mu\omega t \cdot \sigma\upsilon\nu 120^\circ + \eta\mu\omega t 120^\circ \cdot \sigma\upsilon\nu\omega t = \\ &= -\eta\mu\omega t \cdot \sigma\upsilon\nu 60^\circ + \eta\mu 60^\circ \cdot \sigma\upsilon\nu\omega t \end{aligned}$$

Και τελικά η σχέση (5.3) :

$$\eta\mu(\omega t + 120^\circ) = -\frac{1}{2} \cdot \eta\mu\omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sigma\upsilon\nu\omega t \quad (5.3)$$

Το $\eta\mu(\omega t + 240^\circ)$ αναλυεται και μας δίνει την σχέση (5.4) :

$$\begin{aligned} \eta\mu(\omega t + 240^\circ) &= \eta\mu\omega t \cdot \sigma\upsilon\nu 240^\circ + \eta\mu\omega t 240^\circ \cdot \sigma\upsilon\nu\omega t = \\ &= -\eta\mu\omega t \cdot \sigma\upsilon\nu 60^\circ - \eta\mu 60^\circ \cdot \sigma\upsilon\nu\omega t \end{aligned}$$

Και τελικά η σχέση (5.4) :

$$\eta\mu(\omega t + 120^\circ) = -\frac{1}{2} \cdot \eta\mu\omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sigma\upsilon\nu\omega t \quad (5.4)$$

Εισάγοντας της σχέσεις (5.3) και (5.4) στη σχέση (5.1) έχουμε την σχέση (5.5)

:

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad (5.5)$$

Η ιδιότητα αυτή του τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος παρέχει το πλεονέκτημα στην εξοικονόμηση σε χάλκινους αγωγούς , επειδή μας δίνεται η δυνατότητα να καταργηθούν οι αγωγοί επιστροφής και κατά συνέπεια από εξ αγωγοί που χρησιμοποιούνται στις μονοφασικές γραμμές μεταφοράς να χρησιμοποιούνται τρεις για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας και για τις τρεις φάσεις του δικτύου . Συνήθως , όμως , τα πλάτη των ρευμάτων i_1, i_2, i_3 δεν είναι αυτά , λόγω ασύμμετρης φορτίσεως των φάσεων , όποτε , για μια συγκεκριμένη σύνδεση των φάσεων (*κατά αστέρα) χρησιμοποιείται κοινός αγωγός επιστροφής και των τριών παραπάνω συνιστωσών ο όποιος καλείται “ουδέτερος αγωγός” .

5.2 Τριφασικοί Μετασχηματιστές

Σχεδόν όλα τα συστήματα παράγωγης και διανομής ηλεκτρικής ισχύος σήμερα είναι τριφασικά συστήματα εναλλασσόμενης τάσης . Γι’ αυτό το λόγο είναι ανάγκη να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας των μετασχηματιστών σ’ αυτά τα τόσο σημαντικά συστήματα .

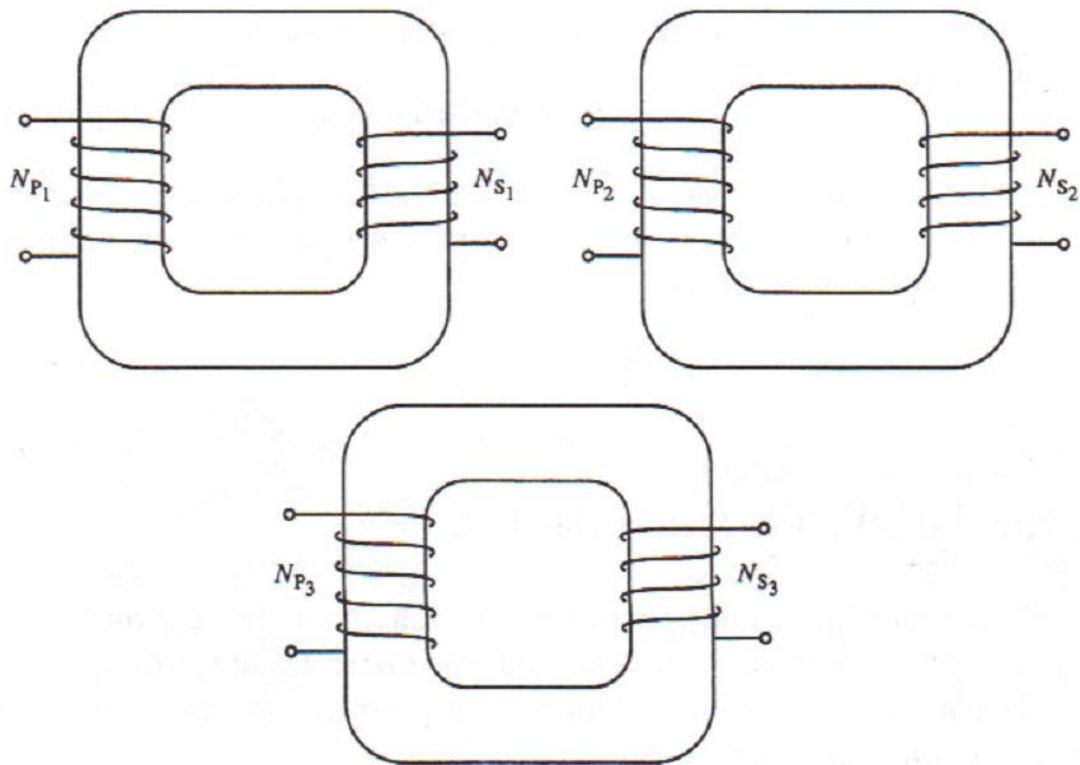
Οι τριφασικοί μετασχηματιστές κατασκευάζονται με δυο βασικούς τρόπους . Στον πρώτο απ’ αυτούς , τρεις απλοί μονοφασικοί μετασχηματιστές συνδέονται μεταξύ τους σε μια τριφασικοί συστοιχία (bank) . Στη δεύτερη μέθοδο κατασκευής τριφασικών μετασχηματιστών τρία διπλά τυλίγματα τοποθετούνται γύρω από ένα κοινό πυρήνα . Οι δυο παραπάνω τεχνικές παρουσιάζονται στο [σχήμα 5.1] και [σχήμα 5.2] . Η δεύτερη τεχνική είναι αυτή που χρησιμοποιείται πιο συχνά στις μέρες μας , επειδή παρουσιάζει μικρότερο βάρος και όγκο , είναι πιο φθηνή και λειτουργεί με κάπως μεγαλύτερη απόδοση . Ο παλαιότερος τρόπος κατασκευής παρουσίαζε το πλεονέκτημα εύκολης επισκευής για τον καθένα από τους ξεχωριστούς μετασχηματιστές , μιας και η απομάκρυνση του από τη συστοιχία ήταν απλούστατη . Όμως τα πλεονεκτήματα του μετασχηματιστή που διαθέτει έναν μόνο πυρήνα είναι περισσότερο σημαντικά . Τελικά , ακόμη και στις μέρες μας , σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές κατασκευασμένοι με την πρώτη από τις παραπάνω τεχνικές .

5.3 Συνδεσμολογία των Τυλιγμάτων στους Τριφασικούς Μετασχηματιστές

Ένας τριφασικός μετασχηματιστής αποτελείται από τρεις μετασχηματιστές που είτε λειτουργούν ο καθένας ξεχωριστά είτε συνδέονται όλοι μαζί σε ένα κοινό πυρήνα . Τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα τυλίγματα των τριών μετασχηματιστών

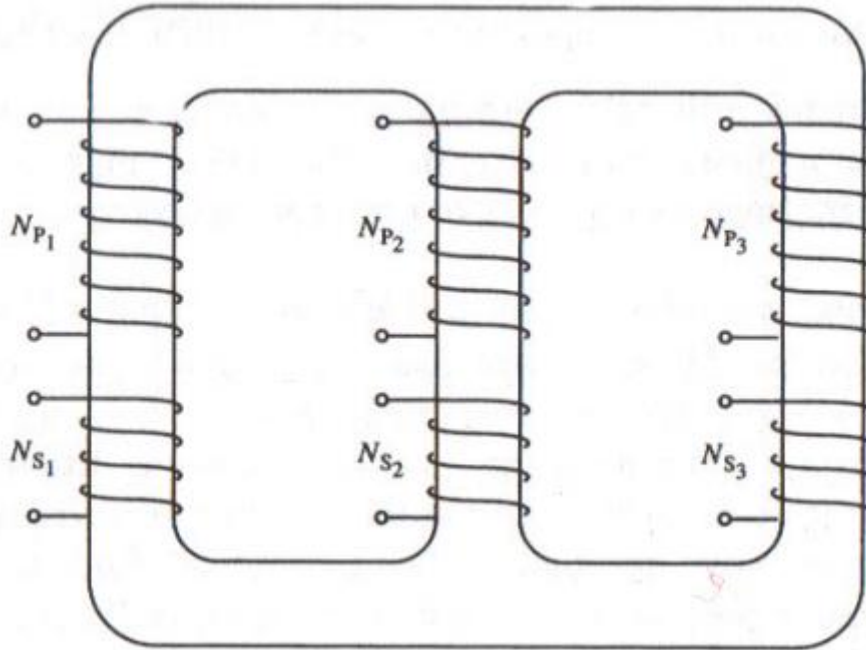
είναι δυνατό να συνδέονται τόσο σε αστέρα (Y) όσο και σε τρίγωνο (Δ) . Έτσι οι τέσσερις πιθανές συνδεσμολογίες των τυλιγμάτων :

1. Αστέρας - Αστέρας (Y-Y)
2. Αστέρας - Τρίγωνο (Y- Δ)
3. Τρίγωνο - Αστέρας (Δ -Y)
4. Τρίγωνο - Τρίγωνο (Δ - Δ)



[Σχήμα 5.1]

Τριφασική συστοιχία μετασχηματιστών που αποτελείται από ανεξαρτήτους μετασχηματιστές



[Σχήμα5.2]

Τριφασικός μετασχηματιστής τοποθετημένος πάνω σε ένα πυρήνα με τρία σκέλη

Το κλειδί για την ανάλυση ενός τριφασικού μετασχηματιστή είναι η παρατήρηση του καθενός από τους τρεις μετασχηματιστές ξεχωριστά . Όμως , ο καθένας μετασχηματιστής συμπεριφέρεται όπως ακριβώς ο απλός μονοφασικός μετασχηματιστής . Έτσι οι υπολογισμοί της σύνθετης αντίστασης , της διακύμανσης τάσης , της απόδοσης και των άλλων ποσοτήτων του τριφασικού μετασχηματιστή αναφέρονται σε κάποια συγκεκριμένη τιμή βάσης (pu) και χρησιμοποιούν τις μεθόδους του μονοφασικού μετασχηματιστή . Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε συνδεσμολογίας του τριφασικού μετασχηματιστή .

5.4 Συνδεσμολογία Αστέρα – Αστέρα

Η συνδεσμολογία (Y-Y) φαίνεται στο [σχήμα 5.3] . Εδώ η τάση στα άκρα της κάθε φάσης του μετασχηματιστή δίνεται από την σχέση $V_{\phi P} = V_{LP}/\sqrt{3}$. Ο λόγος των φασικών τάσεων στις δυο πλευρές του μετασχηματιστή δίνεται από το λόγο μετασχηματισμού . Επίσης η σχέση της πολικής τάσης του δευτερεύοντος με την αντίστοιχη φασική τάση είναι $V_{LS} = \sqrt{3} \cdot V_{\phi S}$. Δηλαδή ο συνολικός λόγος τάσεων σε αυτό τον τριφασικό μετασχηματιστή είναι :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{\phi P}}{\sqrt{3} \cdot V_{\phi S}} = \alpha (Y - Y) \quad (5.6)$$

Όμως η συνδεσμολογία (Y-Y) παρουσιάζει δυο πολύ σημαντικά προβλήματα:

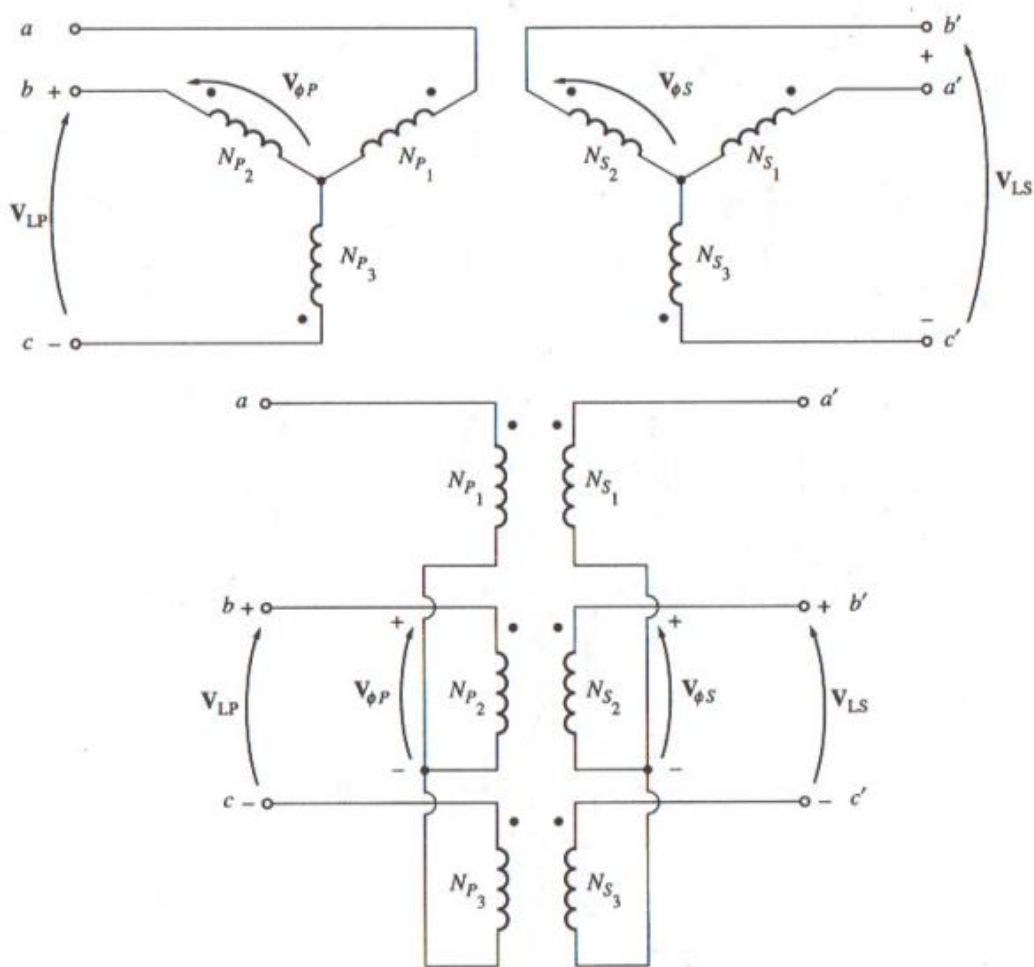
1. Αν το τριφασικό φορτίο του μετασχηματιστή δεν είναι συμμετρικό , οι φασικές τάσεις του μετασχηματιστή γίνονται σε μεγάλο βαθμό μη συμμετρικές .
2. Οι τάσεις τρίτης αρμονικής μπορεί να είναι πολύ μεγάλες .

Σε ένα τριφασικό σύστημα η τάση της καθώς φάσης παρουσιάζει διάφορα φάσης 120° από τις άλλες δυο . Όμως , οι τρίτες αρμόνικες της τάσης στο τριφασικό σύστημα δεν παρουσιάζουν διάφορα φάσης μεταξύ τους , επειδή σε τρεις περιόδους της τρίτης αρμονικής αντιστοιχεί μια περίοδος της βασικής αρμονικής . Έτσι και αλλιώς πάντα η τρίτη αρμονική της τάσης είναι παρούσα στους μετασχηματιστές , πράγμα που οφείλεται στη μη γραμμικότητα του πυρήνα τους . Εδώ ειδικά , καθώς οι τρίτες αρμόνικες προστίθενται μεταξύ τους και με τη βασική αρμονική της τάσης , είναι δυνατό να προκαλέσουν σε αυτή ισχυρές παραμορφώσεις που είναι ανάλογες με το πλάτος τους . Μάλιστα σε μερικές περιπτώσεις το πλάτος της τρίτης αρμονικής μπορεί να υπερβαίνει ακόμη και αυτό της βασικής αρμονικής . Τόσο το πρόβλημα της συμμετρίας των τάσεων , όσο κι αυτό της τρίτης αρμονικής της τάσης είναι δυνατό να λυθούν με τις παρακάτω τεχνικές :

1. Με γείωση των ουδετέρων του μετασχηματιστή , ιδιαίτερα με τη γείωση του ουδέτερου στο πρωτεύον τυλίγμα . Με αυτό τον τρόπο η τρίτη αρμονική της τάσης αντί να αυξάνει τη συνολική τάση του τυλίγματος , προκαλεί κάποιο ρεύμα προς τη γη μέσω του ουδέτερου . Ο ουδέτερος , επίσης , προσφέρει μια οδό επιστροφής στα μη συμμετρικά ρεύματα που παράγει το φορτίο .
2. Με την πρόσθεση ενός τρίτου τυλίγματος (τριτεύον) που συνδέεται σε τρίγωνο και τοποθετείται στο ζύγωμα του μετασχηματιστή . Σε αυτή την περίπτωση οι τρίτες αρμόνικες της τάσης εμφανίζονται στο τριτεύον τυλίγμα και προκαλούν κάποιο παρασιτικό ρεύμα (circulating current) στο εσωτερικό του . Αυτή η μέθοδος λειτουργεί το ίδιο αποτελεσματικά με τη γείωση των ουδετέρων του μετασχηματιστή .

Το τριτεύον τυλίγμα που εισάγεται στην παραπάνω περίπτωση δε χρησιμοποιείται γενικά για την τροφοδοσία κάποιου φορτίου , όμως πολύ συχνά αναλαμβάνει την τροφοδοσία του φωτισμού η και όλων των φορτίων του υποσταθμού στον οποίο είναι τοποθετημένο . Ακόμη το τριτεύον τυλίγμα θα πρέπει να είναι αρκετά ισχυρό , ώστε να μη παρουσιάζει προβλήματα με τα αρκετά παρασιτικά ρεύματα . Ο πιο συνηθισμένος περιορισμός κατά την επιλογή ενός τέτοιου τυλίγματος είναι να διαθέτει ονομαστική ισχύ ίση με το $\frac{1}{3}$ της ονομαστικής ισχύος των δυο άλλων τυλιγμάτων . Κατά την κατασκευή οποιουδήποτε μετασχηματιστή αυτού του είδους είναι αναγκαία η χρήση της μια από τις παραπάνω μεθόδους για τη σωστή λειτουργία του . Όμως , έτσι και αλλιώς , η επιλογή ενός

μετασχηματιστή σε συνδεσμολογία (Y-Y) είναι πολύ σπάνια , μια και τις ίδιες ακριβώς απαιτήσεις μπορούν να τις ικανοποιήσουν και οι υπόλοιπες συνδεσμολογίες.



[Σχήμα 5.3]

Συνδεσμολογίες τριφασικών μετασχηματιστών (α) Συνδεσμολογία αστέρα-αστέρα.

5.5 Συνδεσμολογία Αστέρα-Τρίγωνο

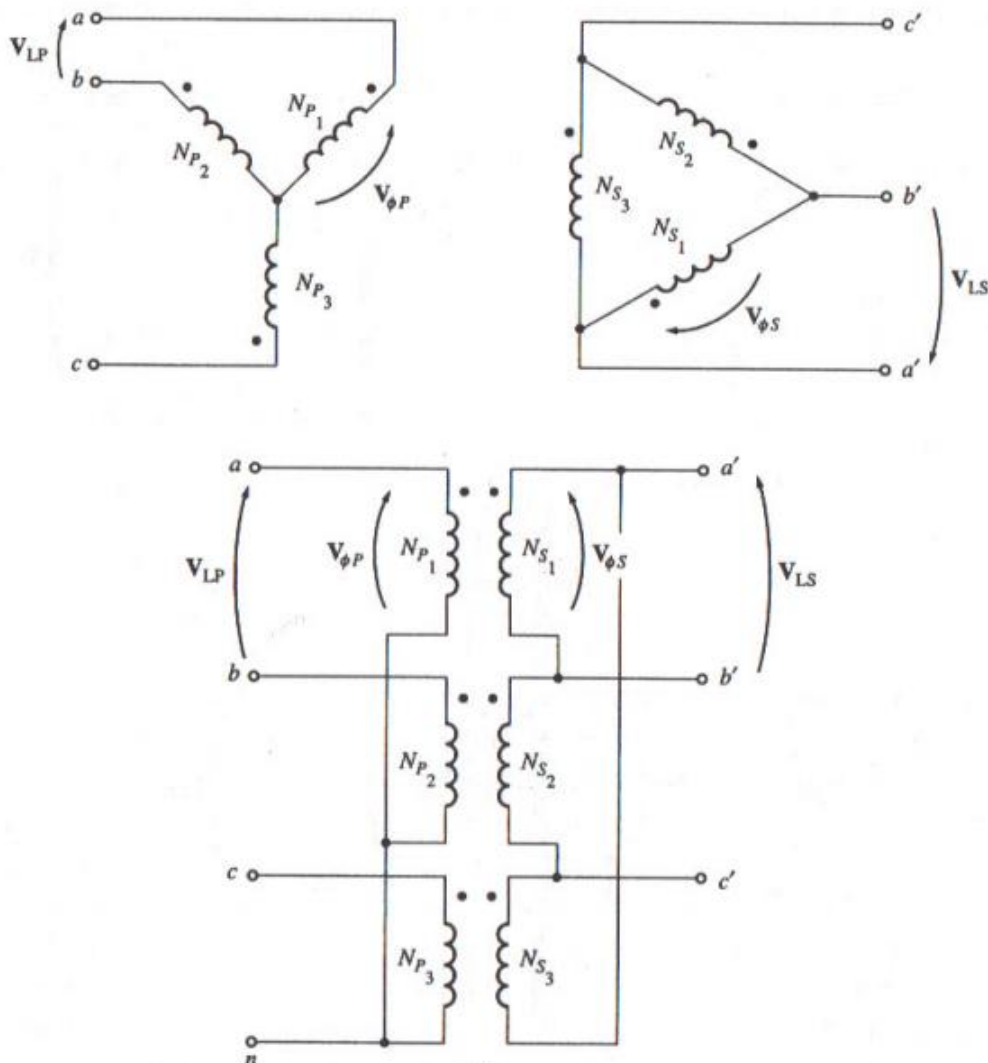
Η συνδεσμολογία (Y-Δ) φαίνεται στο [σχήμα 5.4] . Εδώ η πολική τάση του πρωτεύοντος συνδέεται με την αντίστοιχη φασική τάση μέσω της σχέσης $V_{LP} = \sqrt{3} \cdot V_{\phi P}$. Επίσης , η πολική τάση του δευτερεύοντος είναι ίση με τη φασική του φάση $V_{LS} = V_{\phi S}$. Ακομη ο λόγος των φασικών τάσεων είναι άσος με το λόγο μετασχηματισμού .

$$\frac{V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = a \quad (5.7)$$

Έτσι , ο συνολικός λόγος των πολικών τάσεων της μια πλευράς του τριφασικού μετασχηματιστή προς τις πολικές τάσεις της άλλης πλευράς είναι :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{\phi P}}{V_{\phi S}}$$

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \sqrt{3} \cdot a (Y - \Delta) \quad (5.8)$$



[Σχήμα 5.4]

Συνδεσμολογία αστέρα-τρίγωνου(Y-Δ)

Αυτή η συνδεσμολογία δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα με τις τρίτες αρμόνικες της τάσης , καθώς αυτές καταναλώνονται με τη μορφή παρασιτικών ρευμάτων στο τρίγωνο του μετασχηματιστή . Ακόμη , ευστάθεια της συνδεσμολογίας κατά τη λειτουργία με μη συμμετρικά φορτία είναι πολύ μεγαλύτερη , επειδή το τρίγωνο συνεισφέρει στην ανακατανομή τις παραπάνω ασυμμετρίας .

Ειδικά στις ΗΠΑ πολύ συχνά οι μετασχηματιστές κατασκευάζονται , ώστε η τάση στο δευτερεύον τους να έπεται της τάσεις στο πρωτεύον κατά 30° . Αν και αυτός ο τρόπος κατασκευής έχει πια τυποποιηθεί , πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη η διαφοράς φάσης κατά τον παραλληλισμό μετασχηματιστών που έχουν κατασκευαστεί παλαιότερα . Στη συνδεσμολογία , που φαίνεται στο **[Σχήμα 5.5]** η τάση του δευτερεύοντος θα καθυστερεί σε σχέση με την τάση του πρωτεύοντος , αν η διάδοχη των φάσεων είναι η abc . Αν αντίθετα η διάδοχη των φάσεων είναι η abc , η τάση του δευτερεύοντος θα προάγεται της τάσης του πρωτεύοντος κατά 30° .

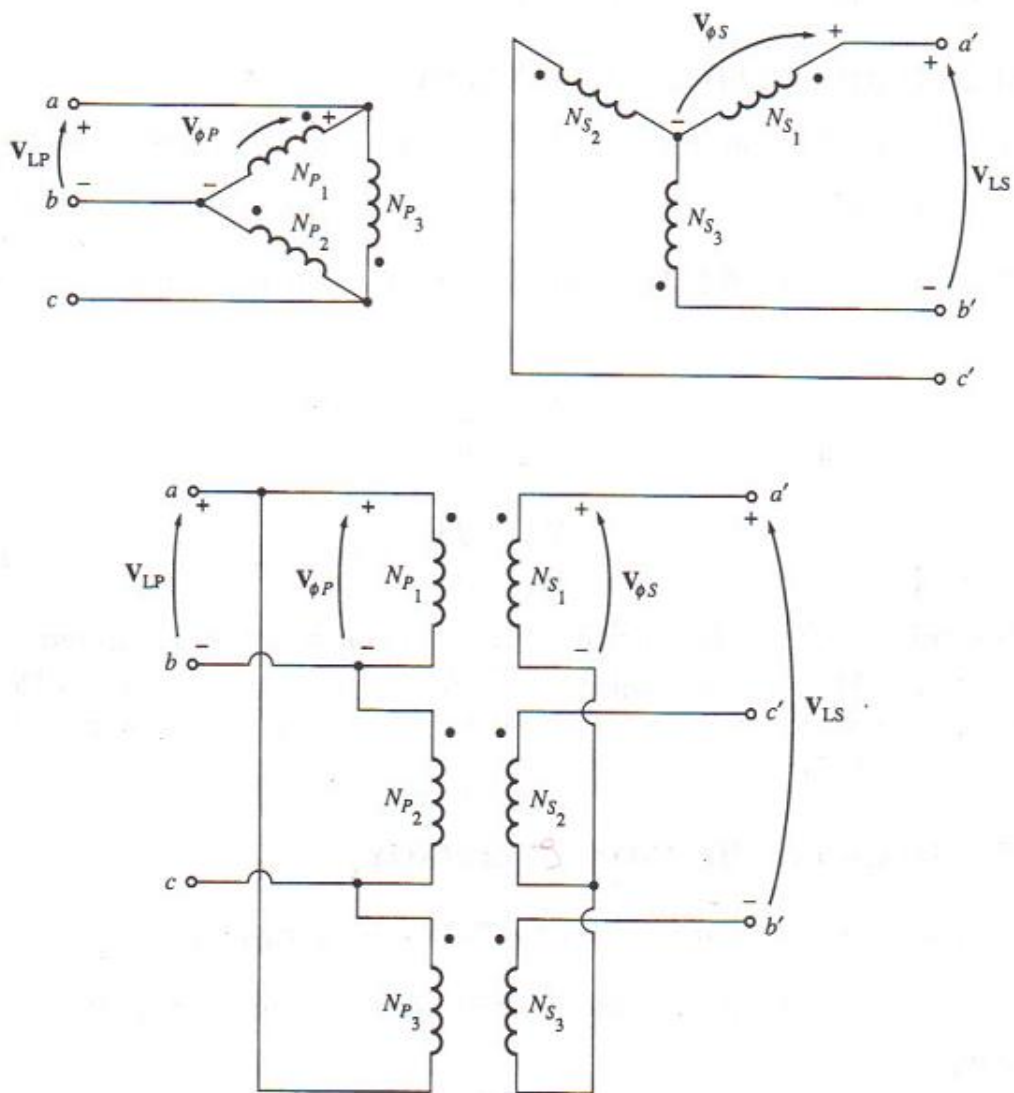
5.6 Συνδεσμολογία Τρίγωνου-Αστέρα

Η συνδεσμολογία (Δ-Υ) φαίνεται στο **[Σχήμα 5.5]** . Εδώ η πολική τάση είναι ίση με την φασική τάση στο πρωτεύον $V_{LP} = V_{\phi P}$, ενώ οι αντιστοιχες τάσεις στο δευτερεύον συνδέονται μέσος της σχέσης $V_{LS} = \sqrt{3} \cdot V_{\phi S}$. Έτσι ο λόγος των δυο πολικών τάσεων θα είναι :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi P}}{\sqrt{3} \cdot V_{\phi S}}$$

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}}{\alpha} (\Delta - Y) \quad (5.9)$$

Η παραπάνω συνδεσμολογία παρουσιάζει τα ίδια πλεονεκτήματα και την ίδια μετατόπιση φάσης με τη συνδεσμολογία Υ-Δ . Στο μετασχηματιστή **[Σχήμα 5.5]** ειδικότερα , η τάση του δευτερεύοντος θα καθυστερεί σε σχέση με την τάση του πρωτεύοντος κατά 30° .



[Σχήμα 5.5]

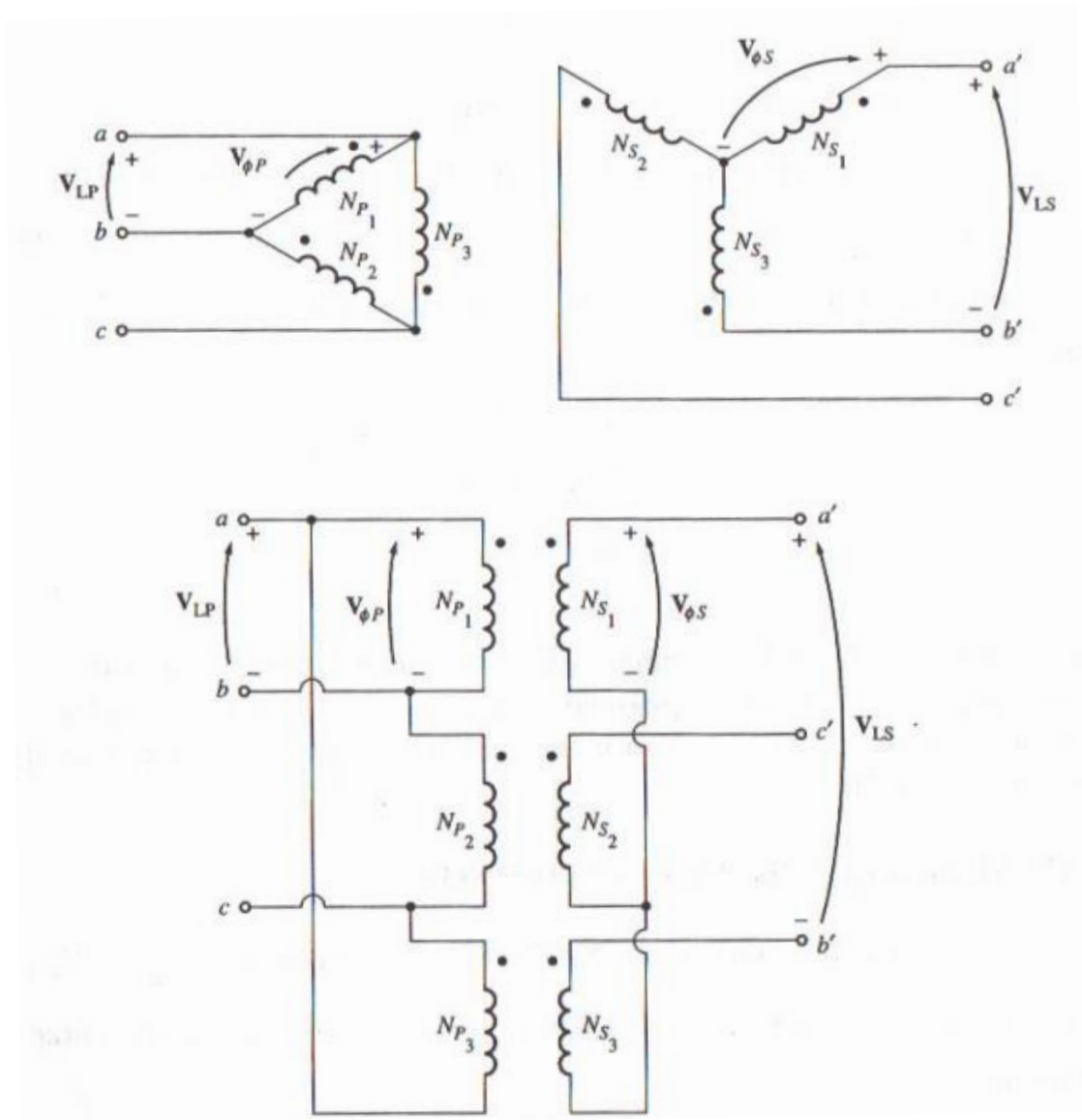
Συνδεσμολογία τρίγωνου-αστέρα (Δ-Y)

5.7 Συνδεσμολογία Τρίγωνου-Τρίγωνου

Η Δ-Δ συνδεσμολογία φαίνεται στο [Σχήμα 5.6]. Εδώ ισχύουν οι $V_{LP} = V_{\phi P}$, και $V_{LS} = V_{\phi S}$, όποτε η σχέση μεταξύ των πολικών τάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος θα είναι :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = \alpha (\Delta - \Delta) \quad (5.10)$$

Σε αυτό τον μετασχηματιστή δεν εμφανίζεται μετατόπιση της τάσης του πρωτεύοντος σε σχέση με αυτή του δευτερεύοντος, ενώ επίσης δεν εμφανίζονται τα προβλήματα της τρίτης αρμονικής και της ασυμμετρίας των τάσεων.



[Σχήμα 5.6]
Συνδεσμολογία τρίγωνου-Αστέρα(Δ-Y)

5.8 Τριφασικοί Μετασχηματιστές Που Περιλαμβάνουν μόνο δυο Μετασχηματιστές

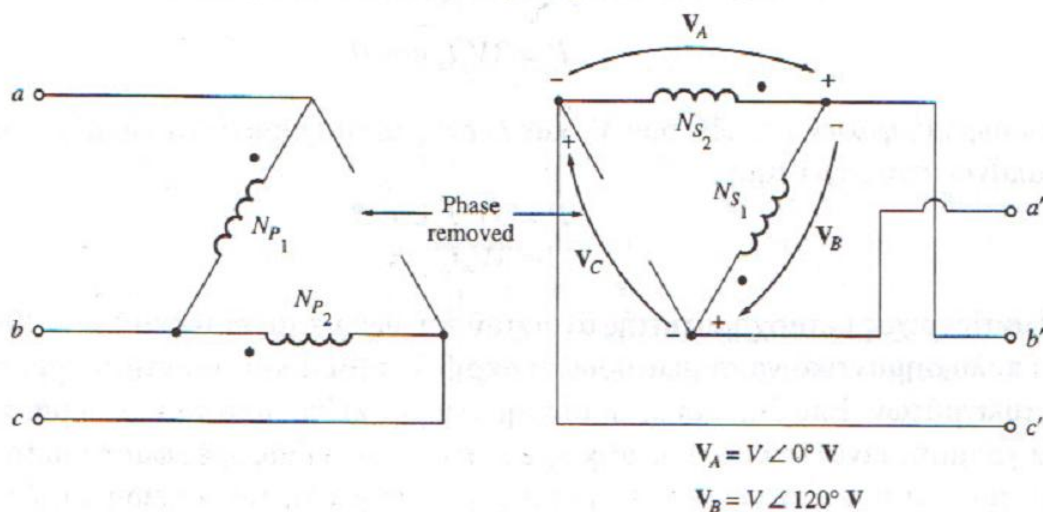
Εκτός από τις βασικές συνδεσμολογίες τριφασικών μετασχηματιστών υπάρχουν και άλλες τεχνικές τριφασικού μετασχηματισμού με χρήση μόνο δυο μετασχηματιστών. Αυτές οι τεχνικές παρουσιάζουν μειωμένη ονομαστική ισχύ σε σχέση με τις αντίστοιχες τριφασικές μεθόδους αλλά σε μερικές περιπτώσεις αναδεικνύονται ως οι οικονομικότερες λύσεις . Μερικές από τις πιο σημαντικές συνδεσμολογίες τριφασικών μετασχηματιστών είναι οι παρακάτω .

1. Συνδεσμολογία ανοιχτού τριγώνου (V-V συνδεσμολογία)
2. Συνδεσμολογία ανοιχτού αστέρα-ανοιχτού τρίγωνου
3. Συνδεσμολογία Scott-T
4. Τριφασική T-συνδεσμολογία

5.8.1. Συνδεσμολογία ανοιχτού τριγώνου (V-V Συνδεσμολογία)

Σε μερικές περιπτώσεις μετασχηματισμού κάποιας τριφασικής τάσης δε χρησιμοποιείται ο πλήρης τριφασικό μετασχηματιστής. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα στην περίπτωση που ένας από τους τρεις διακεκριμένους μετασχηματιστές ενός τριφασικού συστήματος πρέπει να απομακρυνθεί από το κύκλωμα για να επισκευαστείτε κύκλωμα που προκύπτει φαίνεται στο [σχήμα 5.7] . Αν οι τάσεις στα δυο δευτερεύοντα των μετασχηματιστών που παραμένουν είναι $V_A = V^{0^\circ}$ και $V_B = V^{-120^\circ} V$, η τάση στη θέση όπου θα ήταν ο τρίτος μετασχηματιστής έχει τιμή :

$$\begin{aligned} V_C &= -V_A - V_B = -V^{0^\circ} - V^{120^\circ} = -V - (-0.5 - j0.0866V) \\ &= -0.5V + j0.0866V = V^{120^\circ} \end{aligned} \quad (5.11)$$



[Σχήμα 5.10]

Η συνδεσμολογία ενός μετασχηματιστή ανοιχτού τρίγωνου (V-V)

Αυτή είναι η τάση που θα εμφανιζόταν αν ο μετασχηματιστής ήταν ακόμη στη θέση του . Για αυτόν ακριβώς το λόγο η φάση C πολλές φορές ονομάζεται “φάση φάντασμα” . Με το παραπάνω τρόπο η συνδεσμολογία ανοιχτού τριγώνου επιτρέπει αφενός τη λειτουργία του τριφασικού μετασχηματιστή με δυο μόνο μετασχηματιστές και αφετέρου τη ροή κάποιου μέρους της ονομαστικής ισχύος , ακόμη και όταν ένας από τους μετασχηματιστές βρίσκεται για επισκευή . Θα έλεγε κανείς ότι η ονομαστική ισχύς του συστήματος που βρίσκεται τώρα σε λειτουργία είναι ίση με τα δυο τρίτα του πλήρους συστήματος , αφού λειτουργούν ακριβώς τα δυο τρίτα του αρχικού μετασχηματιστή . Τα πράγματα , όμως , δεν είναι τόσο απλά , και η ανάλυση που θα κάνουμε βασίζεται στο [σχήμα 5.11] :

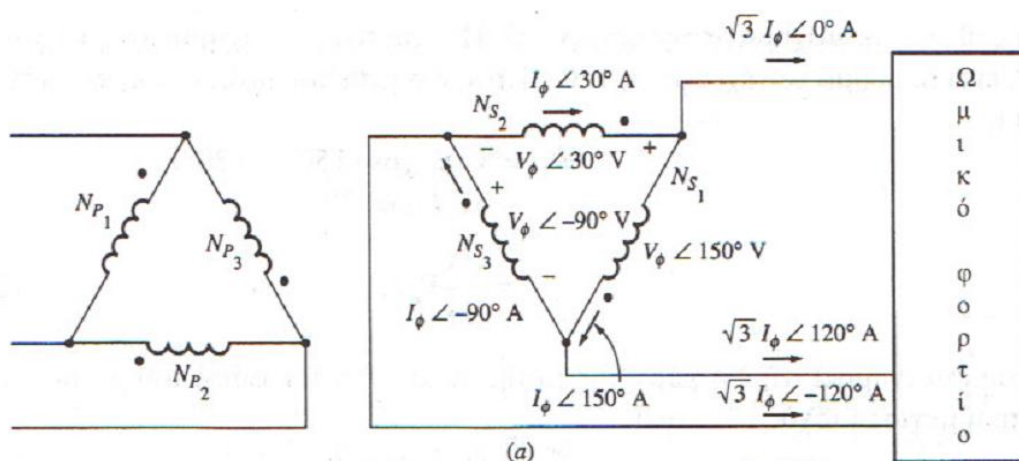
Στο [σχήμα 5.11] φαίνεται ο αρχικός τριφασικός μετασχηματιστής που είναι συνδεδεμένος με κάποιο ωμικό φορτίο . Αν οι ονομαστικές τιμές της τάσης και του ρεύματος ενός από τους μετασχηματιστές είναι V_ϕ και I_ϕ αντιστοίχα , η μέγιστη ενεργός ισχύς που μπορεί να προσφέρει ο μετασχηματιστής στο φορτίο είναι :

$$P = 3 \cdot V_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos\theta \quad (5.12)$$

Η διάφορα φάσης μεταξύ των V_ϕ και I_ϕ ενός μετασχηματιστή είναι 0° , όποτε η παραπάνω ισχύς έχει τιμή :

$$P = 3 \cdot V_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos\theta$$

$$P = 3 \cdot V_\phi \cdot I_\phi \quad (5.13)$$



[Σχήμα 5.11]

Οι τάσεις και τα ρεύματα σε έναν μετασχηματιστή τριγώνου-τριγώνου

Ο αντίστοιχος μετασχηματιστής ανοιχτού τριγώνου φαίνεται στο [σχήμα 5.12]. Εδώ είναι πολύ σημαντικό να σημειωθούν οι ακριβείς τάσεις και τα αντίστοιχα ρεύματα των τυλιγμάτων . Επειδή , ο ένας μετασχηματιστής λείπει από το κύκλωμα ,

τα ρεύματα γραμμής είναι ίσα με τα φασικά ρεύματα , ενώ οι διαφορές φάσης μεταξύ των ρευμάτων και των τάσεων σε κάθε μετασχηματιστή είναι 30° . Επειδή οι τάσεις και τα ρεύματα του κάθε μετασχηματιστή έχουν διαφορετικές φάσεις , ο υπολογισμός της συνολικής ισχύος πρέπει να γίνει , αφού πρώτα υπολογιστεί η ισχύς που προσφέρει ο καθένας μετασχηματιστής ξεχωριστά. Η τάση του μετασχηματιστή 1 έχει φάση 150° , ενώ το ρεύμα του έχει φάση 120° . Έτσι η σχέση που δίνει τη μέγιστη ισχύ του είναι :

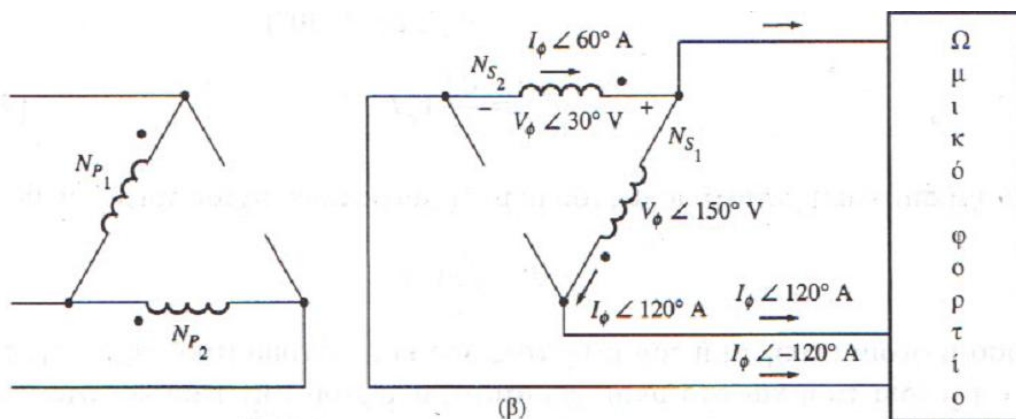
$$\begin{aligned}
 P_1 &= 3 \cdot V_\varphi \cdot I_\varphi \cdot \cos (150^\circ - 120^\circ) \\
 &= 3 \cdot V_\varphi \cdot I_\varphi \cdot \cos 30^\circ \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_\varphi \cdot I_\varphi
 \end{aligned}
 \tag{5.14}$$

Στο μετασχηματιστή 2 η φάση της τάσης είναι 30° και η φάση του ρεύματος 60° . Οποτε η μέγιστη ισχύς τους θα είναι :

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 3 \cdot V_\varphi \cdot I_\varphi \cdot \cos (30^\circ - 60^\circ) \\
 &= 3 \cdot V_\varphi \cdot I_\varphi \cdot \cos (-30^\circ) \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_\varphi \cdot I_\varphi
 \end{aligned}
 \tag{5.15}$$

Έτσι η συνολική μέγιστη ισχύς του μετασχηματιστή ανοιχτού τριγώνων θα είναι :

$$P = \sqrt{3} \cdot I_\varphi \cdot V_\varphi
 \tag{5.16}$$



[Σχήμα 5.12]

Οι τάσεις και τα ρεύματα σε έναν μετασχηματιστή ανοιχτού τριγώνου

Τόσο η ονομαστική τιμή του ρεύματος όσο και η ονομαστική τιμή της τάσης έχουν την ίδια τιμή και στο μετασχηματιστή ανοιχτού τριγώνου και στον πλήρη τριφασικό μετασχηματιστή ανοιχτού τριγώνου προς την ισχύ εξόδου που προσφέρει ο αντίστοιχος τριφασικός μετασχηματιστής είναι :

$$\frac{P_{open\Delta}}{P_{3phase}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi}}{3 \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577 \quad (5.17)$$

Δηλαδή , η δυνατότητα του μετασχηματιστή ανοιχτού τριγώνου για πρόσφορα ισχύος είναι μόλις 57.7% της δυνατότητας του τριφασικού μετασχηματιστή .

Με ποιον τρόπο , όμως , καταναλώνεται το υπόλοιπο ποσοστό της παραπάνω ισχύος . Έτσι και αλλιώς η συνολική ισχύς που είναι δυνατό να προσφέρουν οι δυο μετασχηματιστές είναι πραγματικά ίση με τα δυο τρίτα της ονομαστικής ισχύος του τριφασικού μετασχηματιστή . Για να δοθεί μια απάντηση σε αυτό το ερώτημα , θα υπολογιστεί η άεργος ισχύς που προσφέρει στο φορτίο του ο μετασχηματιστής ανοιχτού τριγώνου . Η άεργος ισχύς που αντιστοιχεί στο μετασχηματιστή 1 θα είναι :

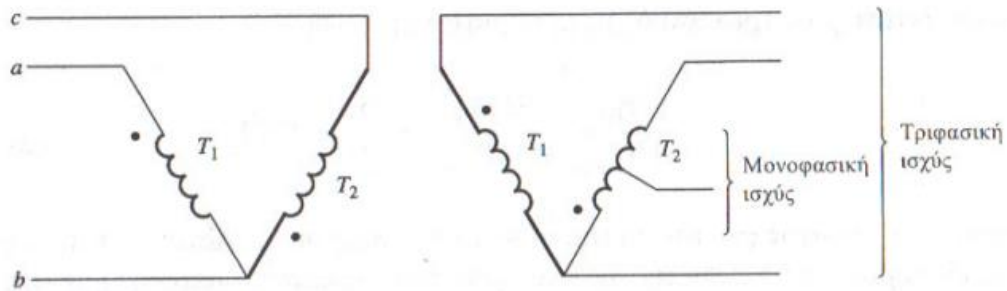
$$\begin{aligned} Q_1 &= 3 \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin(150^{\circ} - 120^{\circ}) \\ &= 3 \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin 30^{\circ} \\ &= \frac{1}{2} \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi} \end{aligned} \quad (5.18)$$

Ενώ η άεργος ισχύς που αντιστοιχεί στο μετασχηματιστή 2 θα είναι :

$$\begin{aligned} Q_2 &= 3 \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin(30^{\circ} - 60^{\circ}) \\ &= 3 \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin(-30^{\circ}) \\ &= -\frac{1}{2} \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi} \end{aligned} \quad (5.19)$$

Δηλαδή , ο ένας από τους μετασχηματιστές παράγει την άεργο ισχύ που ο άλλος καταναλώνει . Αυτή η ανταλλαγή άεργου ισχύος μεταξύ των δυο μετασχηματιστών είναι ακριβώς ο λόγος που περιορίζει την ισχύ εξόδου του μετασχηματιστή ανοιχτού τριγώνου στα 57% της αρχικής ονομαστικής ισχύος του κανονικού τριφασικού μετασχηματιστή . Το ποσοστό που αναμενόταν , αντί του 57.7% ήταν το 66.7% της αρχικής ισχύος . Οι παραπάνω παρατηρήσεις εκφράζονται και με τον εξής εναλλακτικό τρόπο :

Στην περίπτωση του ανοιχτού τριγώνου χρησιμοποιείται μόνο το 86.6% της ονομαστικής ισχύος των δυο μετασχηματιστών που βρίσκονται σε λειτουργία . Η συνδεσμολογία ανοιχτού τριγώνου χρησιμοποιείται συνήθως όταν ένα μονοφασικό φορτίο θα πρέπει να τροφοδοτηθεί με κόποι μικρό ποσοστό τριφασική ισχύος . Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιείται η συνδεσμολογία του [Σχήμα 5.13] , όπου ο μετασχηματιστής T_2 είναι πολύ μεγαλύτερος του T_1 .

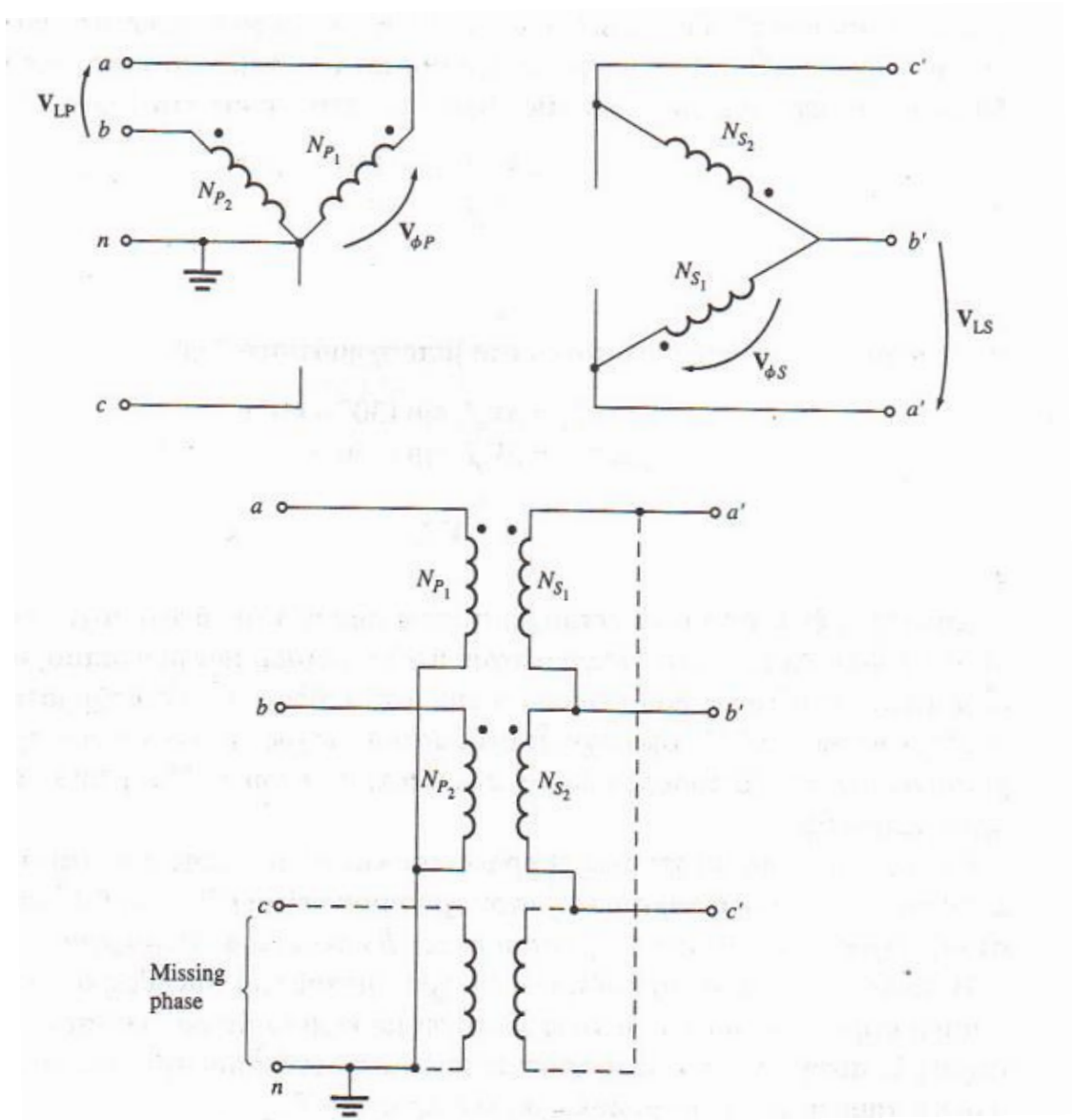


[Σχήμα 5.13]

Χρήση ενός μετασχηματιστή ανοιχτού τριγώνου για την τροφοδοσία μικρής ποσότητας ισχύος ταυτόχρονα με την τροφοδοσία μεγάλης ποσότητας μονοφασικής ισχύος . Ο μετασχηματιστής T_2 είναι πολύ μεγαλύτερος από τον T_1

5.8.2.Συνδεσμολογία Ανοιχτού Αστήρα – Ανοιχτού Τρίγωνου

Η συνδεσμολογία ανοιχτού αστήρα-ανοιχτού τριγώνου , μοιάζει πολύ με τη συνδεσμολογία ανοιχτού τριγώνου και η μονή διάφορα τους είναι ότι στην πρώτη συνδεσμολογία οι τάσεις του πρωτεύοντος προέρχονται από τις δυο φάσεις και τον ουδέτερο . Η συνδεσμολογία ανοιχτού αστήρα – ανοιχτού τριγώνου φαίνεται στο [σχήμα 5.14] . Χρησιμοποιείται συνήθως για την εξυπηρέτηση μικρών τριφασικών καταναλωτών σε αγροτικές περιοχές , όπου δεν έχουν τοποθετηθεί ακόμη και οι τρεις φάσεις του δικτύου. Με αυτή την συνδεσμολογία ο καταναλωτής μπορεί να εξυπηρετηθεί με κάποιον προσωρινό τροπο μέχρι η τοποθέτηση και των τριών φάσεων να γίνει απολύτως αναγκαία . Το σημαντικό μειονέκτημα αυτής της συνδεσμολογίας είναι ότι αναπτύσσεται υψηλό ρεύμα επιστροφής στον ουδέτερο του πρωτεύοντος .



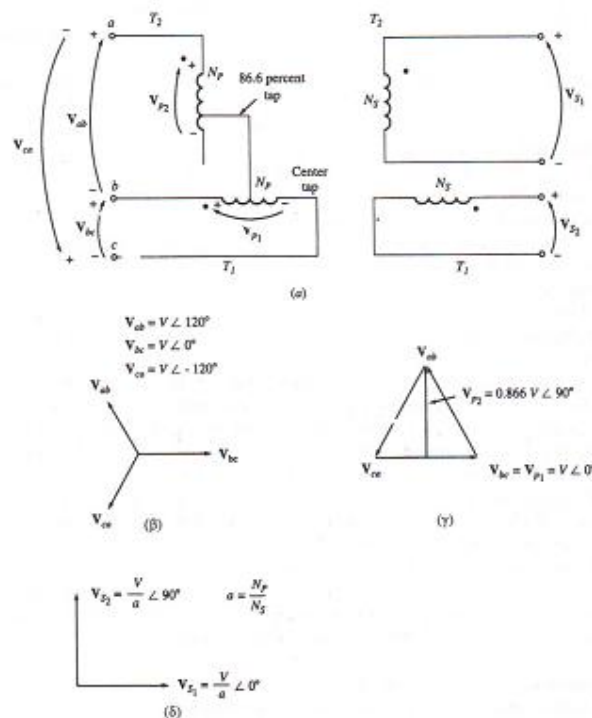
[Σχήμα 5.15]

Η συνδεσμολογία ανοιχτού αστέρα – ανοιχτού τριγώνου και το αντίστοιχο κυκλωματικό διάγραμμα. Φαίνεται ότι αυτή η συνδεσμολογία είναι όμοια με την συνδεσμολογία αστέρα-τριγώνου, με τη διάφορα ότι λείπει ο τρίτος μετασχηματιστής και υπάρχει ουδέτερος.

5.8.3. Συνδεσμολογία Scott-T

Με τη συνδεσμολογία Scott-T είναι δυνατή η παράγωγη δυο φάσεων που διαφέρουν κατά 90° από ένα τριφασικό σύστημα τάσεων . Στα πρώτα χρόνια της ιστορίας της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας τα συστήματα δυο φάσεων ήταν το ίδιο κοινά με τα τριφασικά συστήματα . Τότε , η σύνδεση συστημάτων δυο φάσεων με τα τριφασικά συστήματα , ήταν μια υπόθεση ρουτίνας και η συνδεσμολογία Scott-T αναπτύχθηκε για αυτόν ακριβώς το σκοπό .Στις μέρες μας τα συστήματα δυο φάσεων χρησιμοποιούνται ακόμη σε κάποιες εφαρμογές έλεγχου , όπου η συνδεσμολογία Scott-T είναι απαραίτητη για τη λειτουργία τους .

Αυτή η συνδεσμολογία αποτελείται από δυο μετασχηματιστές που παρουσιάζουν εντελώς όμοια ονομαστικά στοιχεία . Ο ένας από αυτούς διαθέτει μια ενδιάμεση λήψη στο πρωτεύον του η οποία αντιστοιχεί στο 86.6% της τάσης του στην πλήρη φόρτιση . Οι δυο μετασχηματιστές συνδέονται , όπως φαίνεται στο [Σχήμα 5.16α] . Η ενδιάμεση λήψη του μετασχηματιστή T_1 που βρίσκεται στο κεντρο του πρωτευοντος τυλιγματος του . Στο [Σχήμα 5.16β] φαίνονται οι τάσεις που εφαρμόζονται στο πρωτεύον τύλιγμα της συσκευής , ενώ οι τάσεις που εφαρμόζονται στο πρωτεύοντα τυλίγματα των δυο μετασχηματιστών , φαίνονται στο [Σχήμα 5.16γ]. Επειδή αυτές οι τάσεις διαφέρουν κατά 90° σε φάση , προκαλούν έξοδο δυο φασκέλωνε την ίδια συνδεσμολογία είναι επίσης δυνατή η μετατροπή ενός συστήματος δυο φάσεων σε τριφασικό σύστημα . Επειδή , όμως , υπάρχουν ελάχιστες γεννήτριες δυο φάσεων , αυτή η περίπτωση συναντάται πολύ σπάνια .



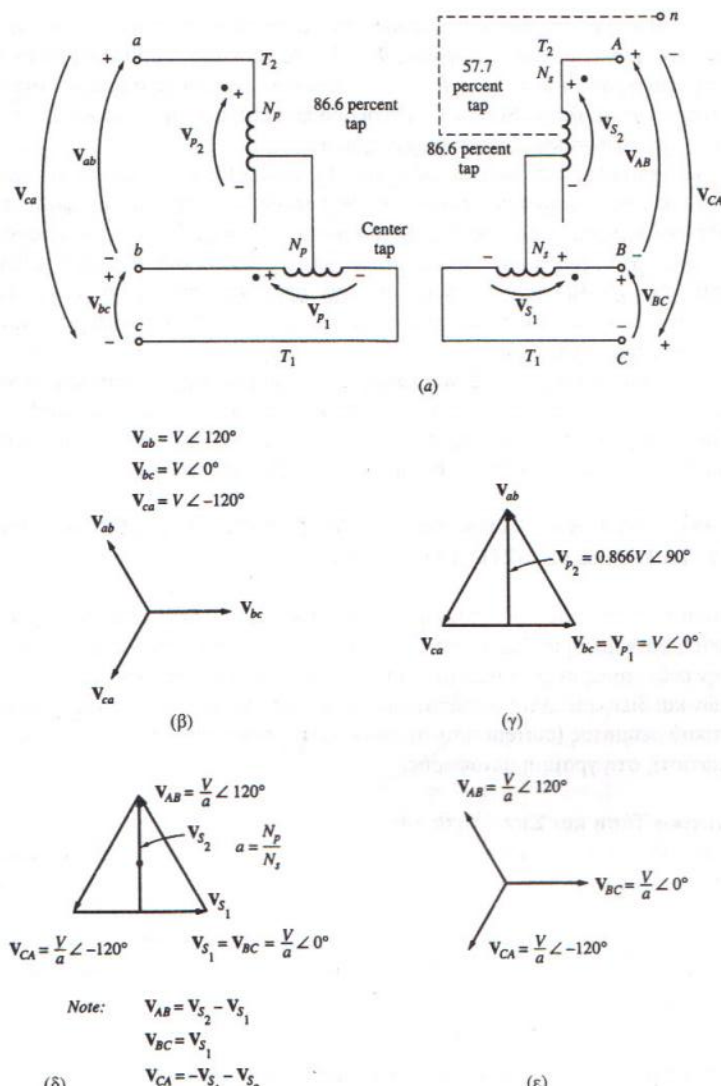
[Σχήμα 5.16]

Συνδεσμολογία μετασχηματιστή Scott-T

(α) Κυκλωματικό διάγραμμα. (β) Οι τριφασικές τάσεις εισόδου. (γ) Οι τάσεις στα πρωτεύοντα τυλίγματα του μετασχηματιστή (δ) Οι τάσεις των δυο φάσεων στο δευτερεύον .

5.8.4. Τριφασική T - Συνδεσμολογία

Η συνδεσμολογία Scott-T χρησιμοποιείται για το μετασχηματισμό τριφασικής ισχύος σε ηλεκτρική ισχύ συστήματος δυο φάσεων το οποίο βρίσκεται σε διαφορετικό επίπεδο τάσης. Με μια μικρή παραλλαγή στη συνδεσμολογία Scott-T οι δυο μετασχηματιστές μπορούν να μετατρέψουν τριφασική ισχύ ενός επιπέδου τάσης σε τριφασική ισχύ διαφορετικού επιπέδου τάσης. Αυτή ακριβώς η παραλλαγή φαίνεται στο [Σχήμα 5.17]. Εδώ τόσο το πρωτεύον όσο και το δευτερεύον τυλίγματα του μετασχηματιστή T_2 διαθέτουν ενδιάμεσες λήψεις στις θέσεις 86.6%, οι οποίες συνδέονται με τις ενδιάμεσες λήψεις των αντιστοιχών τυλιγμάτων του μετασχηματιστή T_1 . Σε αυτή τη συνδεσμολογία ο μετασχηματιστής T_1 ονομάζεται κυρίως (main) μετασχηματιστής, ενώ ο T_2 ονομάζεται μετασχηματιστής παρεμβολής (teaser).



[Σχήμα 5.17]

Η συνδεσμολογία τριφασικού T- μετασχηματιστή

- (α) Κυκλωματικό διάγραμμα .
- (β) Οι τριφασικές τάσεις εισόδου .
- (γ) Οι τάσεις στα πρωτεύοντα τυλίγματα του μετασχηματιστή .
- (δ) Οι τάσεις στα δευτερεύοντα τυλίγματα του μετασχηματιστή .
- (ε) Οι τελικές τριφασικές τάσεις στο δευτερεύον

Όπως ακριβώς και στη συνδεσμολογία Scott-T , στα πρωτεύοντα τυλίγματα εφαρμόζονται δυο τάσεις με διάφορα φάσης 90° . Αυτές προκαλούν δυο τάσεις στα δευτερεύοντα τυλίγματα του, επίσης , διαφέρουν κατά 90° . Αντίθετα , όμως , από ότι συμβαίνει στη συνδεσμολογία Scott-T , εδώ οι δυο παραπάνω τάσεις συνδυάζονται και παράγουν την τριφασική έξοδο του μετασχηματιστή .

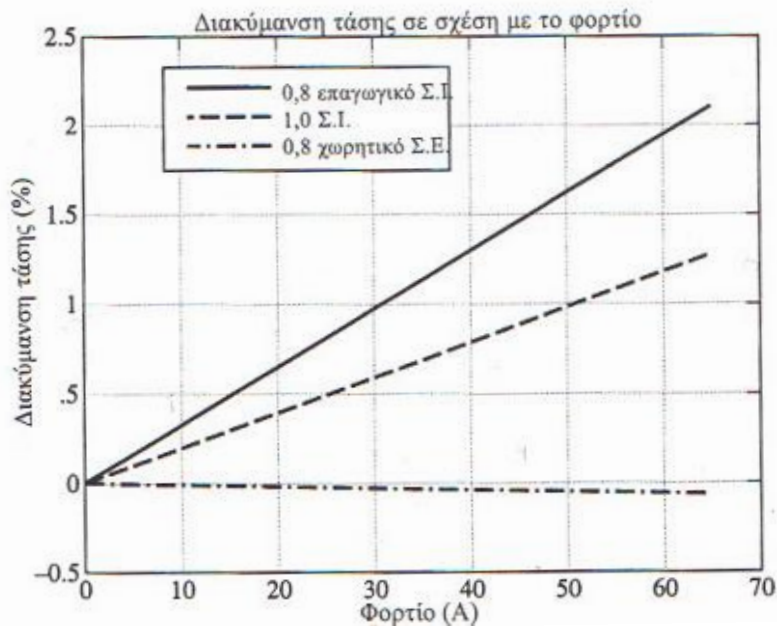
Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της συνδεσμολογίας απέναντι στις άλλες τριφασικές συνδεσμολογίες δυο μετασχηματιστών (Ανύτου τριγώνου και ανοιχτού αστέρα-ανοιχτού τριγώνου) είναι το γεγονός ότι απαιτείται ένας μόνο ουδέτερος για τη σύνδεση του πρωτευοντος και του δευτερεύοντος της . Αυτή η συνδεσμολογία συνήθως χρησιμοποιείται σε αυτονόμους μετασχηματιστές διανομής , επειδή ακριβώς το κόστος κατασκευής είναι πολύ μικρότερο από αυτό του πλήρους τριφασικού μετασχηματιστή .

Τέλος , επειδή το κάτω μέρος των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή παρεμβολής δε χρησιμεύει στο μετασχηματισμό των τάσεων , είναι δυνατό να παραλειφτεί , χωρίς να μεταβληθούν τα χαρακτηριστικά του μετασχηματιστή . Αυτό γίνεται στην κατασκευή των περισσότερων μετασχηματιστών διανομής ισχύος .

6.1 Εισαγωγή

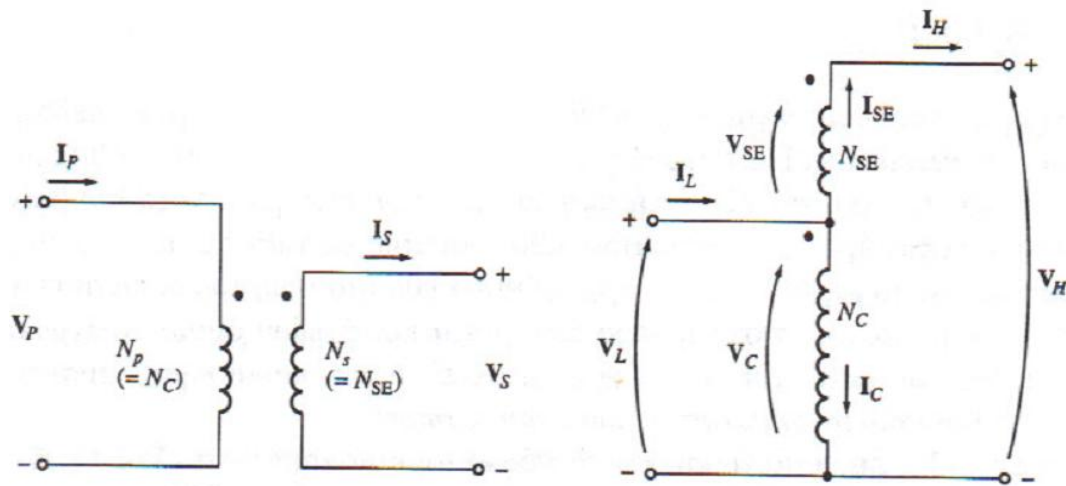
Σε μερικές εφαρμογές είναι απαραίτητη κάποια μικρή αλλαγή στο επίπεδο της τάσης ενός κυκλώματος . Για παράδειγμα , έστω ότι η τάση ενός δικτύου θα πρέπει να αυξηθεί από τα 100 V στα 120 V η από τα 13.2 KV στα 13.8 KV . Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα όταν πρέπει να αποκατασταθούν οι πτώσεις τάσης μιας μεγάλης σε μήκος γραμμής μεταφοράς . Σε αυτή τη περίπτωση θα ήταν φοβερά δαπανηρή η κατασκευή ενός μετασχηματιστή με δυο ξεχωριστά και σχεδόν όμοια τυλίγματα . Στη θέση αυτού του μετασχηματιστή χρησιμοποιείται μια παραπλήσια συσκευή που ονομάζεται αυτομετασχηματιστή .

Στο [Σχήμα 6.1] φαίνεται το κύκλωμα ενός μετασχηματιστή . Στο [Σχήμα 6.1 α] το κύκλωμα αυτό σχεδιάζεται με το γνωστό τροπο , ενώ το [Σχήμα 6.1 β] , το πρώτο τυλίγμα του μετασχηματιστή προστίθεται σε σειρά με το δεύτερο . Η σχέση των τάσεων στα ακρα των δυο τυλιγμάτων δίνεται από το λόγο μετασχηματισμού . Εδώ, όμως , η τάση στην έξοδο του μετασχηματιστή είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων στο πρώτο και το δεύτερο τυλίγμα του . Το πρώτο τυλίγμα του μετασχηματιστή ονομάζεται εδώ κοινό τυλίγμα , επειδή ακριβώς η τάση του εμφανίζεται τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του αυτομετασχηματιστή . Το δεύτερο τυλίγμα του μετασχηματιστή ονομάζεται τυλίγμα σειρά , επειδή συνδέεται σε σειρά με το κοινό τυλίγμα .



[Σχήμα 6]

Γράφημα διακύμανσης τάσης σε σχέση με το φορτίο για τον μετασχηματιστή

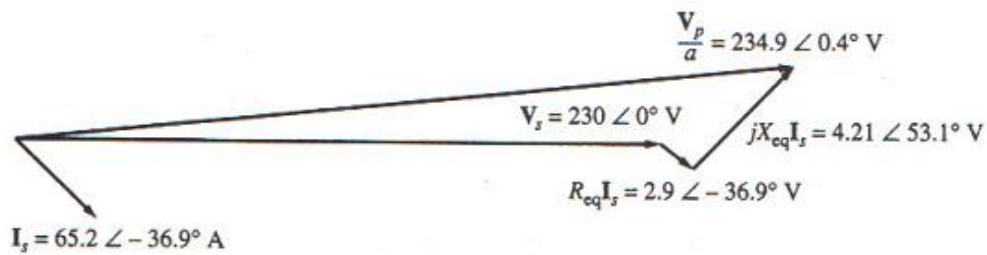


[Σχήμα 6.1]

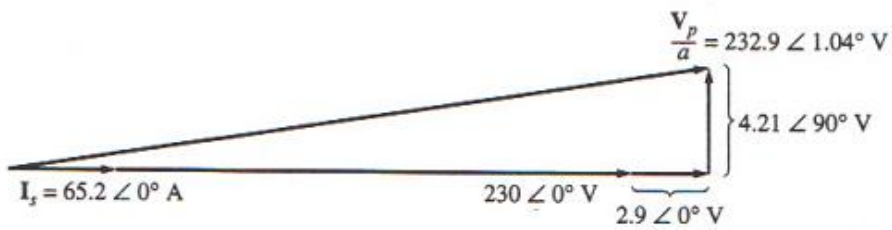
Ένας μετασχηματιστής με τα τυλίγματα του

(α) κανονικά συνδεδεμένα

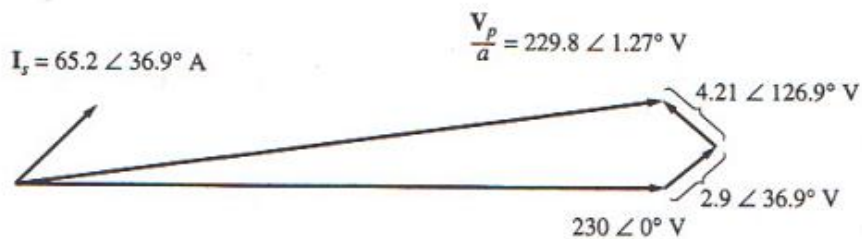
(β) επανασυνδεδεμένα ώστε να λειτουργεί ως αυτομετασχηματιστής .



(α)



(β)



(γ)

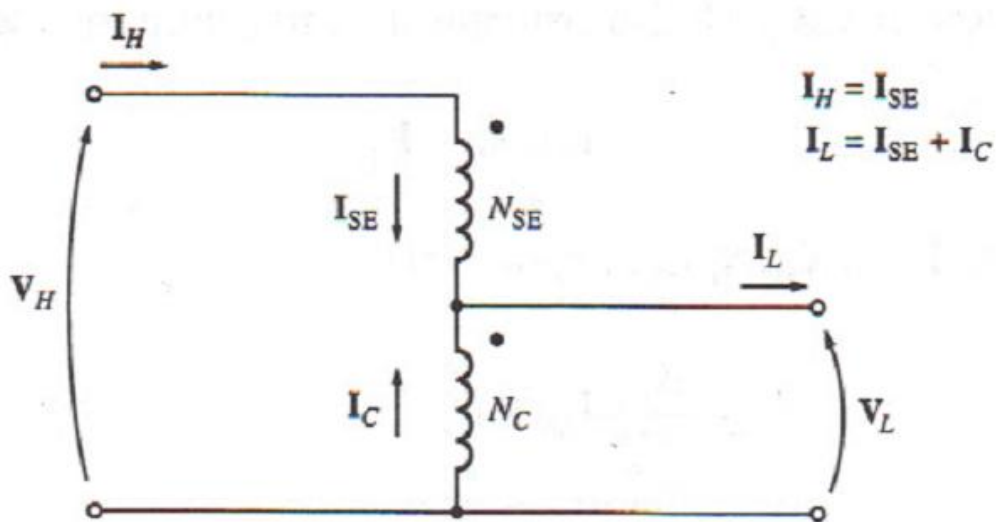
[Σχήμα 6.2]

Τα διανυσματικά διαγράμματα για τα μετασχηματιστή

Στο [Σχήμα 6.3], φαίνεται ένας αυτομετασχηματιστής υποβιβασμού. Εδώ, η τάση εισόδου είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων στα δυο τυλίγματα, ενώ η τάση εξόδου είναι η τάση του κοινού τυλίγματος. Επειδή τα δυο τυλίγματα του μετασχηματιστή είναι φυσικά συνδεδεμένα μεταξύ τους, οι οροί που χρησιμοποιούνται για τις ηλεκτρικές ποσότητες του αυτομετασχηματιστή είναι διαφορετικοί από αυτούς που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα. Πιο συγκεκριμένα η τάση στα ακρα του κοινού τυλίγματος ονομάζεται κοινή τάση V_C , ενώ το ρεύμα του ονομάζεται κοινό ρεύμα I_C . Αντίστοιχα, η τάση στα ακρα του τυλίγματος σειράς ονομάζεται τάση σειράς V_{SE} και το ρεύμα του ρεύμα σειράς I_{SE} . Ακόμη η τάση και το ρεύμα του μετασχηματιστή στην πλευρά που εμφανίζει την υψηλότερη τάση συμβολίζοντας ως V_H και I_H αντίστοιχα, ενώ το ρεύμα και η τάση στην πλευρά με τη χαμηλότερη τάση συμβολίζοντας ως V_L και I_L αντίστοιχα. Η πρωτεύουσα πλευρά του μετασχηματιστή (στα ακρα της οποίας εφαρμόζεται η τάση) μπορεί να είναι αυτή που εμφανίζει την υψηλότερη τάση, αλλά και αυτή που εμφανίζει τη χαμηλότερη. Αυτό εξαρτάται φυσικά από το αν ο μετασχηματιστής είναι μετασχηματιστής ανύψωσης ή υποβιβασμού τάσης. Από το [σχήμα 6.2β] εξηγούνται οι σχέσεις μεταξύ των τάσεων στα ακρα των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή καθώς και των ρευμάτων τους.

$$\frac{V_C}{V_{SE}} = \frac{N_C}{N_{SE}}$$

$$N_C \cdot I_C = N_{SE} \cdot I_{SE} \quad (6.1)$$



[Σχήμα 6.3]

Η συνδεσμολογία ενός αυτομετασχηματιστή υποβιβασμού.

Οι τάσεις στα ακρα των τυλιγμάτων συνδέονται με τις τάσεις στα ακρα του μετασχηματιστή μέσω των σχέσεων :

$$V_L = V_C$$

$$V_H = V_C + V_{SE} \quad (6.2)$$

Εντελώς ανάλογα τα ρεύματα των δυο τυλιγμάτων συνδέονται με τα ρεύματα εισόδου και εξόδου του μετασχηματιστή μέσω των σχέσεων :

$$I_L = I_C + I_{SE}$$

$$I_H = I_{SE} \quad (6.3)$$

6.2 Σχέσεις μεταξύ των τάσεων και των ρευμάτων ενός Αυτομετασχηματιστή

Ο υπολογισμός της σχέσης μεταξύ της V_H και V_L είναι αρκετά εύκολος . Η σχέση που δίνει την υψηλή τάση του αυτομετασχηματιστή είναι :

$$V_H = V_C + V_{SE} \quad (6.4)$$

Αλλά ισχύει το εξής :

$$\frac{V_C}{V_{Se}} = \frac{N_C}{N_{SE}}$$

Όποτε έχουμε την σχέση :

$$V_H = V_C + \frac{N_{SE}}{N_C} \cdot V_C \quad (6.5)$$

Τελικά , επειδή είναι $V_L = V_C$ ισχύει η σχέση :

$$V_H = V_L + \frac{N_{SE}}{N_C} \cdot V_L$$

$$= \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} \cdot V_L \quad (6.6)$$

Η αλλιώς :

$$\frac{V_L}{V_H} = \frac{N_C}{N_{SE} + N_C} \quad (6.7)$$

Η σχέση μεταξύ των ρευμάτων στις δυο πλευρές του αυτομετασχηματιστή υπολογίζεται και αυτή αρκετά καλά . Η εξίσωση του δίνει το ρεύμα στην πλευρά χαμηλής τάσης είναι η :

$$I_L = I_C + I_{SE} \quad (6.8)$$

Από την εξίσωση (6.1) προκύπτει ότι :

$$I_L = \frac{N_{SE}}{N_C} \cdot I_{SE} + I_{SE} \quad (6.9)$$

Επειδή , όμως , είναι $I_H = I_{SE}$ η σχέση (6.9) γίνεται :

$$\begin{aligned} I_L &= \frac{N_{SE}}{N_C} \cdot I_H + I_H \\ &= \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} \cdot I_H \end{aligned} \quad (6.10)$$

$$\frac{I_L}{I_H} = \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} \quad (6.11)$$

6.3 Πλεονέκτημα Φαινόμενης Ισχύος Στους Αυτομετασχηματιστές

Μια πολύ σημαντική ιδιότητα του αυτομετασχηματιστή , που φαίνεται και με την απλή εξέταση του κυκλώματος τους , είναι το ότι από τα τυλίγματα του δε διέρχεται όλη η ισχύς που μεταφέρεται από τη μια πλευρά του στην άλλη . Αυτό σημαίνει ότι αν τα τυλίγματα ενός συμβατικού μετασχηματιστή επανασυνδεθούν με τη συνδεσμολογία του αυτομετασχηματιστή , η ονομαστικής ισχύς της συσκευής αυξάνεται . Για να γίνει κατανοητό αυτό εξετάζεται και πάλι το [Σχήμα 6.1β] . Η φαινόμενη ισχύς εισόδου στο κύκλωμα είναι :

$$S_{in} = V_L \cdot I_L \quad (6.12)$$

και η φαινόμενη ισχύς εξόδου του είναι :

$$S_{out} = V_H \cdot I_H \quad (6.13)$$

Το γεγονός ό τι η φαινόμενη ισχύς εισόδου είναι και εδώ ιση με τη φαινόμενη ισχύ εξόδου είναι αρκετά εύκολο να αποδειχθεί μέσω των σχέσεων (6.7) (6.11)

$$S_{in} = S_{out} = S_{IO} \quad (6.14)$$

Όπου S_{IO} ορίζεται σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση (6.14) . Όμως η φαινόμενη ισχύς που διέρχεται από τα τυλίγματα του αυτομετασχηματιστή έχει τιμή :

$$S_W = V_C \cdot I_C = V_{SE} \cdot I_{SE} \quad (6.15)$$

Η ισχύς μεταξύ της φαινόμενης ισχύος που μεταφέρει ο μετασχηματιστής από το πρωτεύον στο δευτερεύον του και της φαινόμενης ισχύος που εμφανίζεται στα δυο τυλίγματα του μπορεί εύκολα να υπολογιστεί :

$$\begin{aligned} S_W &= V_C \cdot I_C \\ &= V_L \cdot (I_L - I_H) \\ &= V_L \cdot I_L - V_L \cdot I_H \end{aligned} \quad (6.16)$$

Εδώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση (6.11) :

$$\begin{aligned} S_W &= V_L \cdot I_L - V_L \cdot I_L \cdot \frac{N_C}{N_{SE} + N_C} \\ &= V_L \cdot I_L \cdot \frac{(N_{SE} + N_C) - N_C}{N_{SE} + N_C} \\ &= S_{IO} \cdot \frac{N_C}{N_{SE} + N_C} \end{aligned} \quad (6.17)$$

Η σχέση μεταξύ της φαινόμενης ισχύος , που μεταφέρει ο μετασχηματιστής από το πρωτεύον στο δευτερεύον , και της φαινόμενης ισχύος που εμφανίζεται στα δυο τυλίγματα του είναι η εξής :

$$\frac{S_{IO}}{S_W} = \frac{N_{SE} + N_C}{N_{SE}} \quad (6.18)$$

Η σχέση (6.18) , εκφράζει το πλεονέκτημα φαινόμενης ισχύος που εμφανίζει ο αυτομετασχηματιστής έναντι του συμβατικού μετασχηματιστή . Σε αυτή την εξίσωση η S_{IO} είναι η ισχύς που μεταφέρεται από το πρωτεύον στο δευτερεύον του μετασχηματιστή , ενώ η S_W είναι η ισχύς που διέρχεται από τα δυο τυλίγματα του μετασχηματιστή (η υπόλοιπη ισχύς οδηγείται από τη μια πλευρά του μετασχηματιστή στην άλλη , χωρίς την παρέμβαση των δυο τυλιγμάτων) . Ακόμη φαίνεται ότι όσο μικρότερο είναι το τύλιγμα σειράς , τόσο μεγαλύτερο είναι το πλεονέκτημα αυτό .

6.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Αυτομετασχηματιστή

6.4.1 Πλεονεκτήματα

1. Οικονομία σιδηρού : Η οικονομία στο σιδηρομαγνητισμό υλικό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αυτομετασχηματιστής υπολογίζεται για μικρότατη ισχύ από εκείνη την οποία καλείται να προσφέρει προς το φορτίο του , εξαρτωμένη από τον συντελεστή αναγωγής Σ_a . Εφόσον λοιπόν ο αυτομετασχηματιστής υπολογίζεται για πολύ μικρότερη ισχύ προφανές είναι ότι ο σιδηροπυρίτες θα είναι μικρότερης διάστασης αλλά και βάρους .
2. Οικονομία χαλκού : Εφ' όσον ο αυτομετασχηματιστής διαθέτει μόνο ένα τύλιγμα προφανές είναι ότι ο συνολικός αριθμός σπειρών θα είναι λιγότερες και το μήκος του σύρματος θα είναι μικρότερο . Επίσης , λόγω ότι στο μεγαλύτερο τμήμα του τυλίγματος διέρχονται τα ρεύματα I_1 και I_2 και είναι αντιθετης φοράς , το συνολικο ρευμα θα είναι μικροτερο και αντιστοιχα θα είναι μικρότερη και η διατομή του χρησιμοποιημένου σύρματος . Έτσι λοιπόν οι διαστάσεις και το βάρος λόγω χαλκού θα είναι μικρότερα .
3. Χαμηλές πτώσεις τάσης . Λογά ελαττωμένου μήκους του σύρματος και του μειωμένου ρεύματος οι ωμικές αντιστάσεις , οι επαγωγικές εκ σκεδάσεως αντιστάσεις και αντίστοιχα οι πτώσεις τασεως αυτών εμφανίζονται μειωμένες .
4. Υψηλότερος βαθμός απόδοσης : Εφ' όσον τα βάρη του σιδηρού και χαλκού καθώς επίσης και το ρεύμα είναι μειωμένα οι αντιστοιχες απώλειες σιδηρού και χαλκού είναι μειωμένα . Κατά συνέπεια ο βαθμός απόδοσης του αυτομετασχηματιστή θα εμφανίζεται υψηλότερος .
5. Μικρότερος Όγκος
6. Μικρότερο Βάρος
7. Χαμηλότερο Κόστος

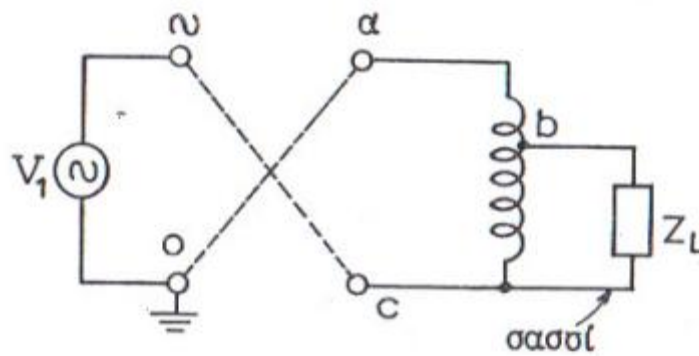
} Η αιτιολόγηση είναι προφανή
βάσει των παραπάνω

6.4.2 Μειονεκτήματα

1. Εμφάνιση της φάσης του δικτύου στο δευτερεύον : Εφ' όσον το πρωτεύον και το δευτερεύον ανήκουν στο ίδιο τύλιγμα η φάσης του δικτύου εμφανίζεται και στο δευτερεύον κύκλωμα (και στους αγωγούς συνδέσεως και στο φορτίο). Εάν μάλιστα η βάση του φορτίου δεν είναι προσγειωμένη και ο τρόπος συνδέσεως είναι τούτος ώστε η φάση του

δικτύου να εμφανίζεται επ' αυτήν , τότε υπάρχει αμέσως κίνδυνος ηλεκτροπληξίας [Σχήμα 6.4] . Εάν πάλι το φορτίο είναι προσγειωμένο αλλά η φάση του δικτύου βρίσκεται επ' αυτού , υπερφορτίζεται η γραμμή του δικτύου με συνέπεια την πτήση της τάσεως η την καταστροφή των ασφαλειών της εγκατάστασεως. Κατά συνέπεια επιβάλλεται για τη σωστή σύνδεση του αυτομετασχηματιστή να γίνεται η αναγνώριση των πόλων του δικτύου και να γίνει η σύνδεση με τον ορθόν τροπο .

2. Μεγαλύτερο ρεύμα βραχυκυκλώσεως : Συγκρίνοντας τις σχέσεις των συνθετών αντιστάσεων εισόδου Z_1 του μετασχηματιστή και αυτομετασχηματισμού , διαπιστώνουμε ότι σε περίπτωση βραχυκυκλώσεως του φορτίου Z_L , το ρεύμα I_1 του δευτερου θα είναι μεγαλύτερο του πρωτου .



[Σχήμα 6.4]

Επικίνδυνη εγκατάσταση του αυτομετασχηματιστή στο δίκτυο

7^ο

Κατασκευή Μονοφασικού Μετασχηματιστή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα δείξουμε το πώς κατασκευάστηκε ο μετασχηματιστής μας , μέσα από ένα μεγάλο πλήθος φωτογραφιών που τραβηχτήκαν σε όλες τις φάσεις της κατασκευής του. Επίσης θα δείξουμε και κάποιες τροποποιήσεις που κάναμε ώστε ο μετασχηματιστής μας να αποτελέσει στο μέλλον κομμάτι εργαστηριακής άσκησης για το Τμήμα Ηλεκτρολογίας . Το 8^ο κεφάλαιο μπορεί να χωριστεί σε δυο υποενότητες :

- 1.Κατασκευη Μετασχηματιστή
2. Τροποποίηση Μετασχηματιστή

Η κατασκευή του μετασχηματιστή έγινε κυρίως με το χέρι παρόλο που σήμερα χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα για την περιέλιξη των σπειρών ,με το χέρι έγινε και η τοποθέτηση των E και I του μετασχηματιστή .Τα μόνο μηχανήματα που χρησιμοποιήσαμε ήταν στην διαδικασία της περιέλιξης ώστε οι σπείρες να μην πάτωνα η μια πάνω στην άλλη αλλά και για να είναι πλήρως τεντωμένες και όχι χαλαρές . Και είναι σημαντικό οι σπείρες να είναι τεντωμένες για να έχει ο μετασχηματιστής μας τις προδιαγραφές που έχουμε θέσει εξ αρχής .

Η τροποποίηση του μετασχηματιστή ήταν ένα σημαντικό κομμάτι της συγκεκριμένης πτυχιακής γιατί μέσα από κάποιες ενέργειες που κάναμε ξεφύγαμε από ένα τυπικό μετασχηματιστή του εμπορίου και δώσαμε τη δυνατότητα και σε κάποιον που δεν γνωρίζει να δει και να μάθει για το εσωτερικό αλλά και για το πώς λειτουργεί ο μετασχηματιστής . Άδω πρέπει να ευχαριστήσω τον πατέρα μου Μπούρη Σωτήριο Μηχανικό Γραφικών Τεχνών ο οποίος με βοήθησε στην συγκεκριμένη τροποποίηση μιας που όλη η εργασία έγινε στο μηχανουργείο του . Τέλος θέλω να επισημάνω ότι όλες οι ενέργειες που έκανα για την κατασκευή αλλά και για την τροποποίηση του μετασχηματιστή είχαν την έγκριση του καθηγητή μου Σταματάκη Γεώργιου.

7.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Παρακάτω θα δείξουμε φωτογραφίες με τις εργασίες που κάναμε για την διαδικασία τυλίγματος του μετασχηματιστή μας . Η διαδικασία του τυλίγματος μπορεί εύκολα και γρήγορα να περιγράψει σε 9 απλά βήματα :

1. Τύλιγμα των σπειρών στην ειδική μηχανή περιέλιξης , και συγκεκριμένα για το μετασχηματίζει μας χρησιμοποιήσαμε αγωγό διαμέτρου **1.25 mm²** και **322 σπείρες** για το πρωτεύον μας στα **230 V**.
2. Μόνωση με Prespan , ειδικό χαρτί που μας προσφέρει μόνωση μεταξύ πρωτευοντος και δευτερεύοντος .
3. Τύλιγμα σπειρών πάλι στην ειδική μηχανή περιέλιξης για το δευτερεύον όπου χρησιμοποιήσαμε αγωγό διαμέτρου **1.9 mm²** και **154 σπείρες** στα **110 V**.
4. Μόνωση δευτερεύοντος πάλι με υλικό Prespan . Εδώ έχει τελειώσει η διαδικασία της περιέλιξης και κοιτάμε οι σπείρες να μην πάτωνα η μια πάνω στην άλλη και στο πρωτεύον και στο δευτερεύον .
5. Μέσα από υπολογισμούς που ιάνανε διαλέξαμε πυρήνα τύπου **EI 150** , όπου περνούσαμε πρώτα τα E μια δεξιά μια αριστερά εναλλάξ στην καρκασα .
6. Αφού τελειώσαμε με όλα τα E , μέσα στα κενά βάλαμε τα I για να καλύψουμε όλα τα αυλάκια έτσι ώστε να μην βουίζει ο μετασχηματιστής μας .Ακόμα και η μη σωστή τοποθέτηση E και I μπορεί να κάνει τον μετασχηματιστή να βουίζει .
7. Πριν προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα κοιτάμε όλα τα αυλάκια να μην έχουν κενό και σε όσα χρειάζεται βάζουμε και διπλό I ανάμεσα στα E .
8. Περνάμε με ειδική μογιά για μόνωση αλλά και για χρώμα .
9. Τοποθετούμε τα καπάκια .Στο πρωτεύον βάζουμε καπάκι το οποίο έχει είσοδο παροχή 230 V και στο δευτερεύον βάζουμε καπάκι με πρίζα για 110 V .

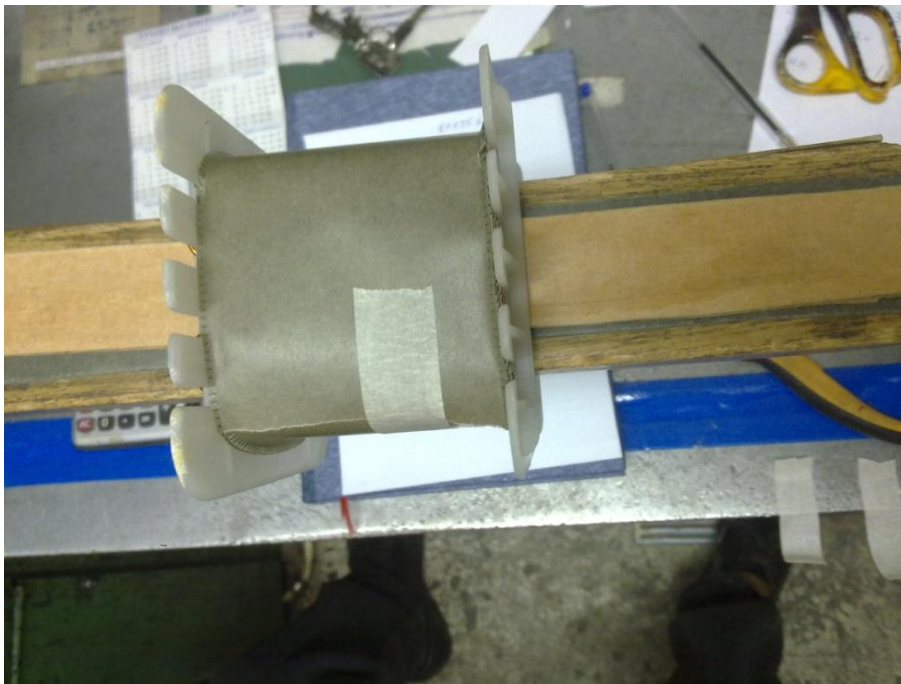
1. Διαδικασία περιέλιξης πρωτευοντος



[Φωτογραφία 1]

Μηχανή περιέλιξης και τύλιγμα πρωτεύοντος με αγωγό διαμέτρου 1.25 mm^2

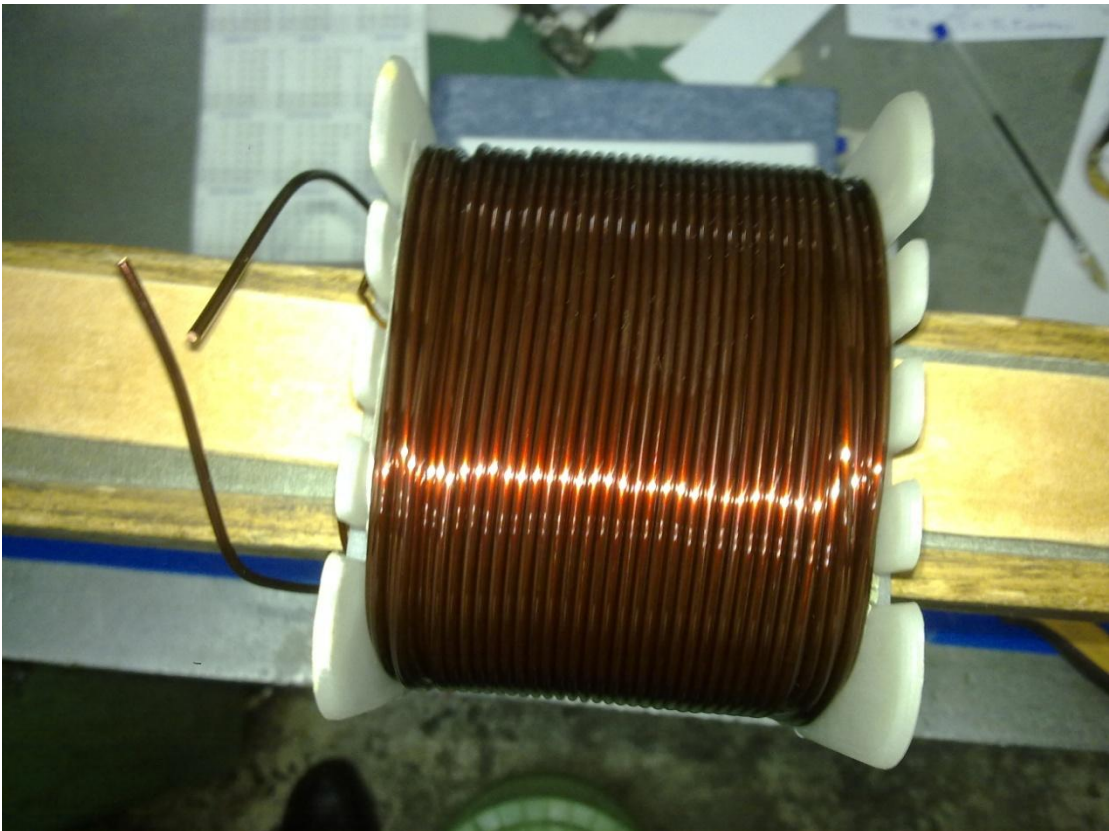
2. Μόνωση με Prespan



[Φωτογραφία 2]

Στην διαδικασία του τυλίγματος σημαντικό κομμάτι είναι μόνωση του πρωτεύοντος από το δευτερεύον

3. Διαδικασία περιέλιξης δευτερεύοντος



[Φωτογραφία 3]

Περιέλιξη δευτερεύοντος με αγωγό διαμέτρου 1.9 mm^2 και σπείρες 154

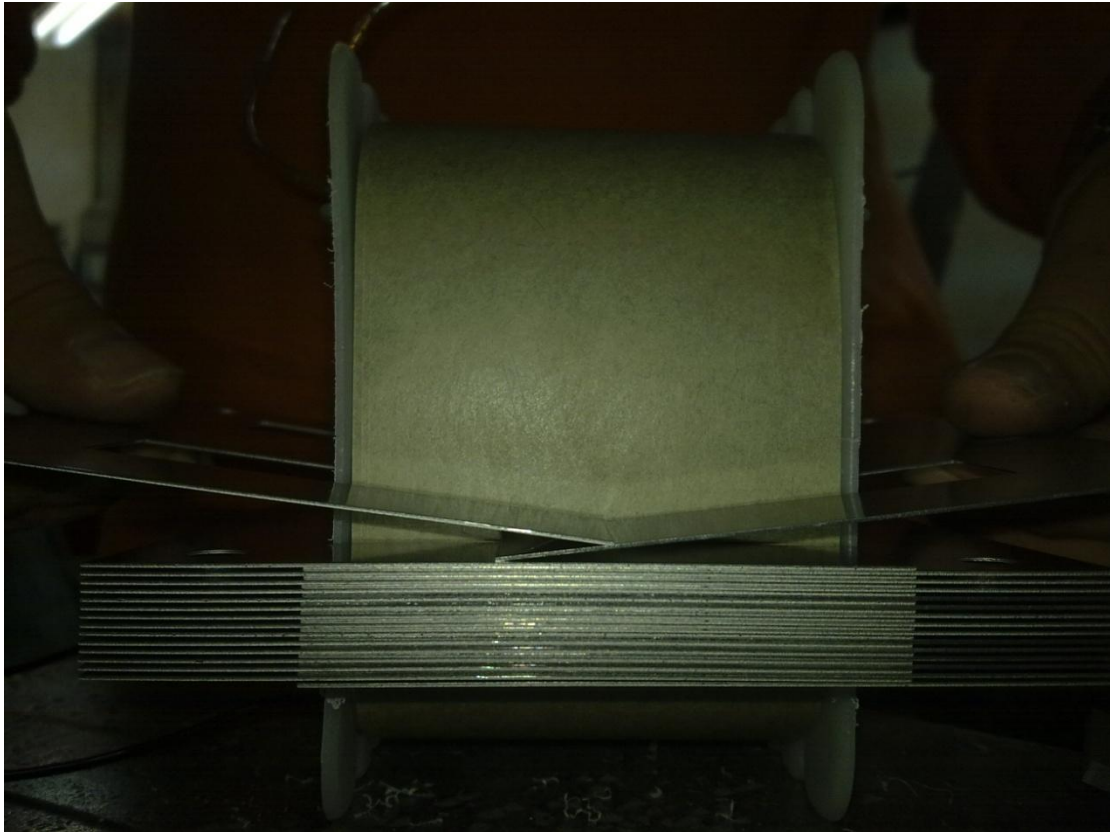
4. Μορφή μετασχηματιστή χωρίς E και I



[Φωτογραφία 4]

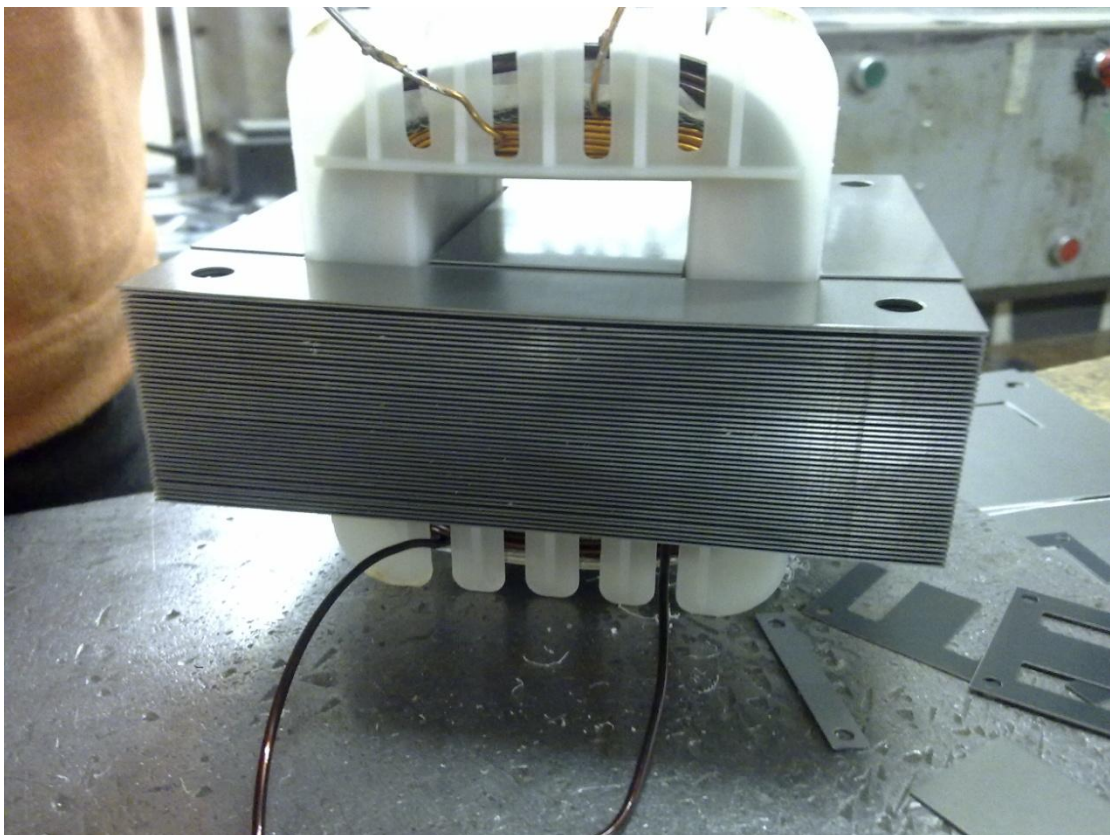
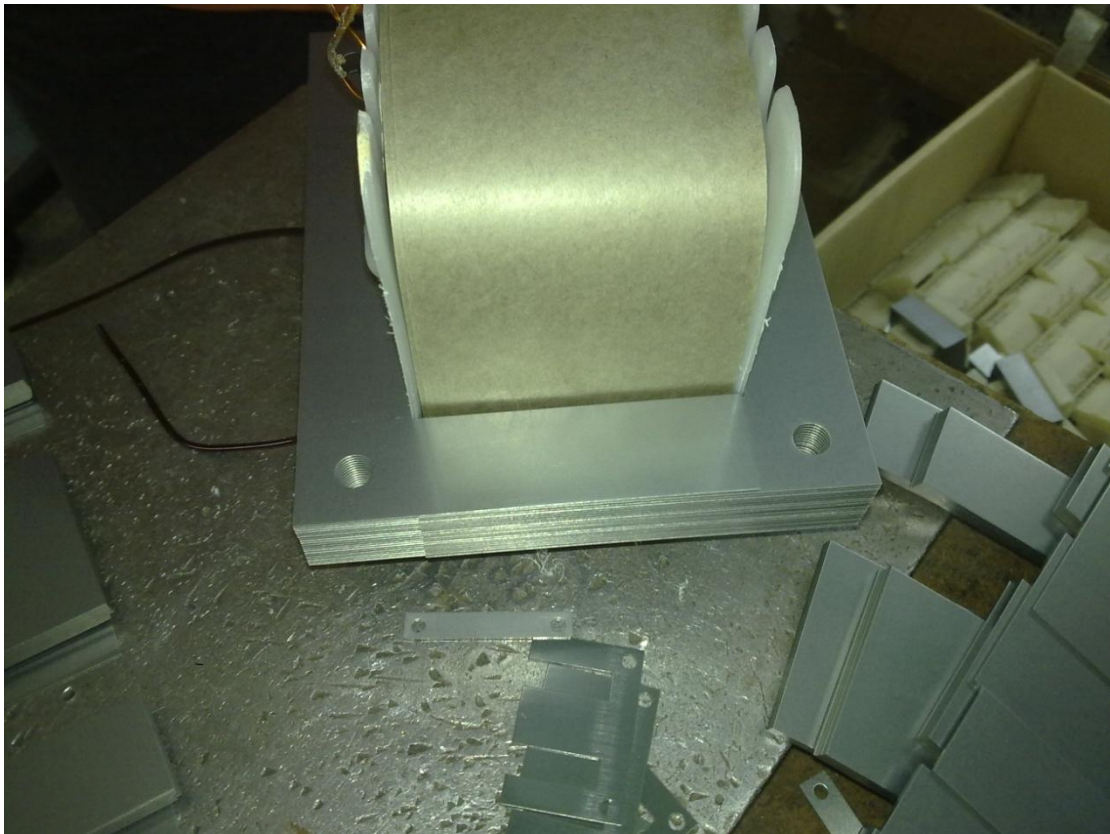
Μετασχηματιστής χωρίς τα E , I έχοντας βγάλει τις άκρες του 230V και του 110V για να κάνουμε στο τέλος τις συνδέσεις μας .

5. Διαδικασία τοποθέτησης ελασμάτων E150

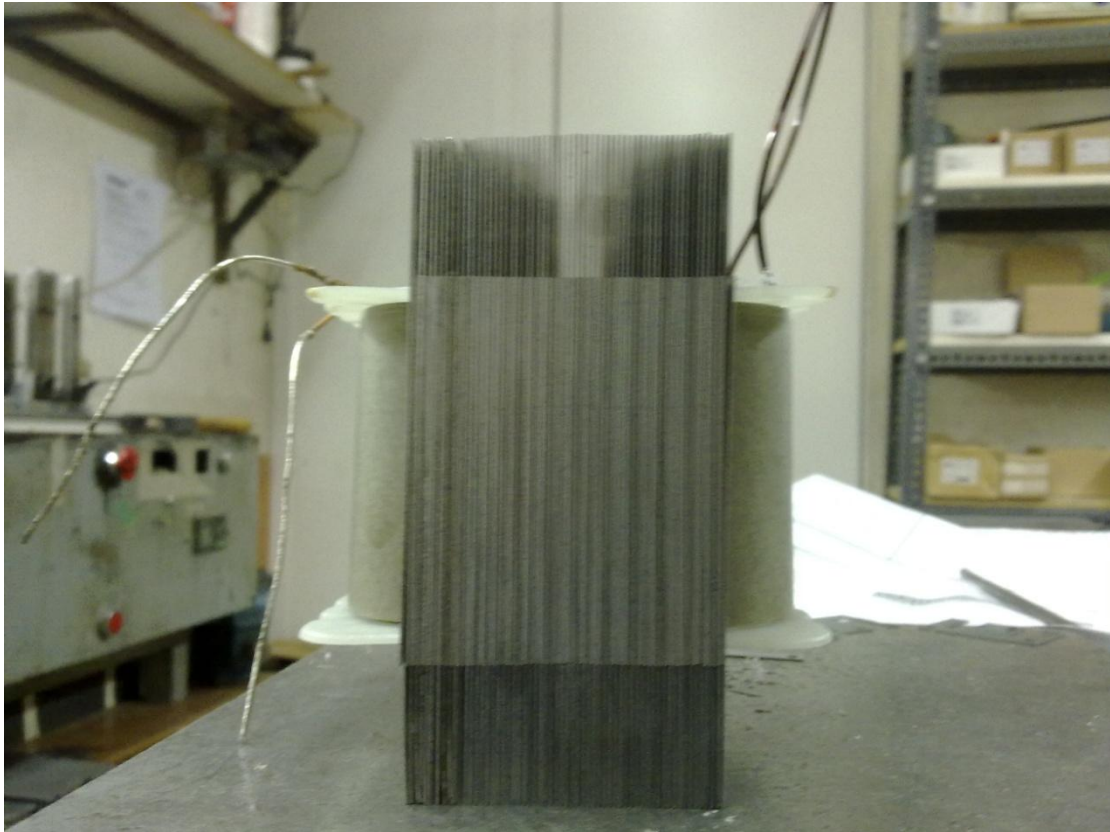


[Φωτογραφία 5]

Τοποθέτηση ελασμάτων E 150 εναλλάξ μια αριστερά μια δεξιά ώστε να έχουμε τον κατάλληλη διατομή πυρήνα .



[Φωτογραφία 6-7]
Κατόψεις μετασχηματιστή μετά από την τοποθέτηση E 150
[99]

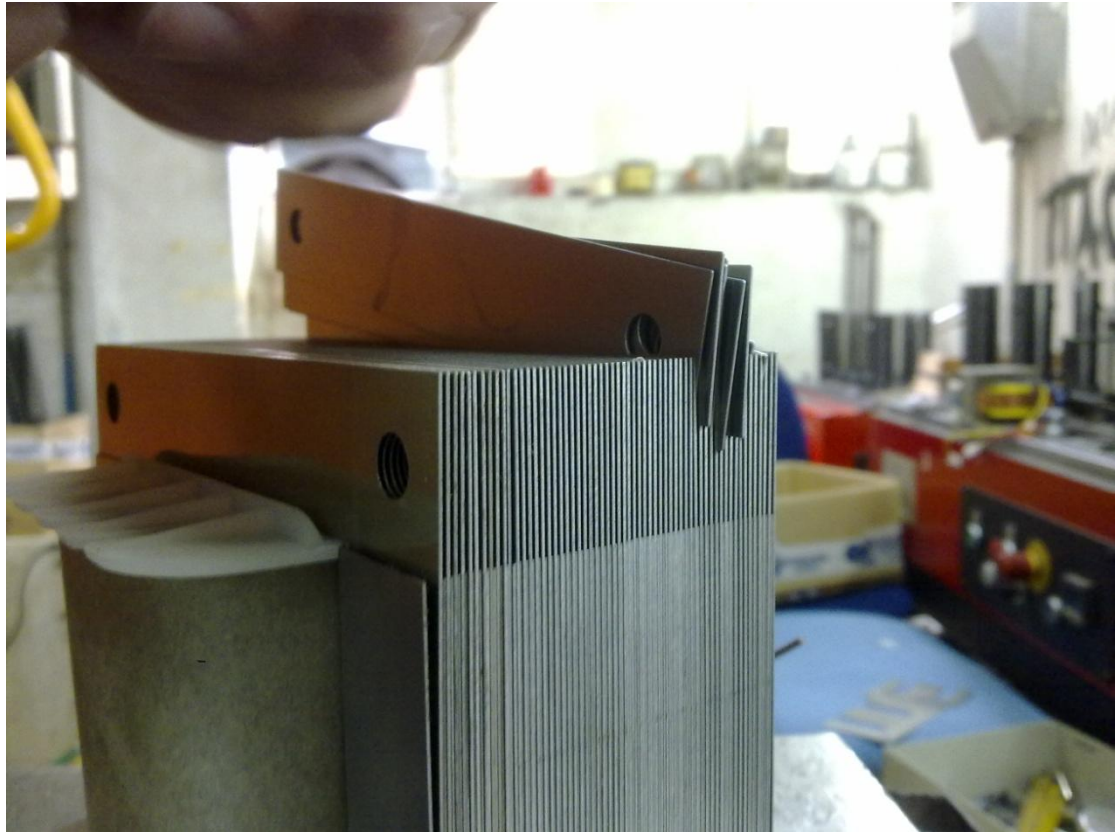


[Φωτογραφία 8]
Τελική μορφή μετασχηματιστή μετά από τοποθέτηση E150

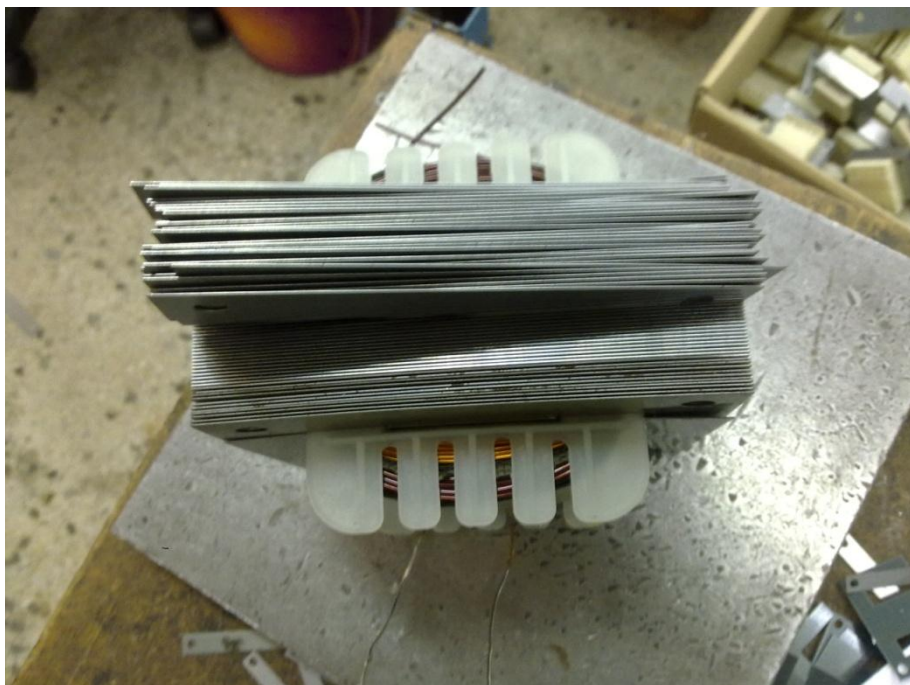
6. Τοποθέτηση ελασμάτων I 150



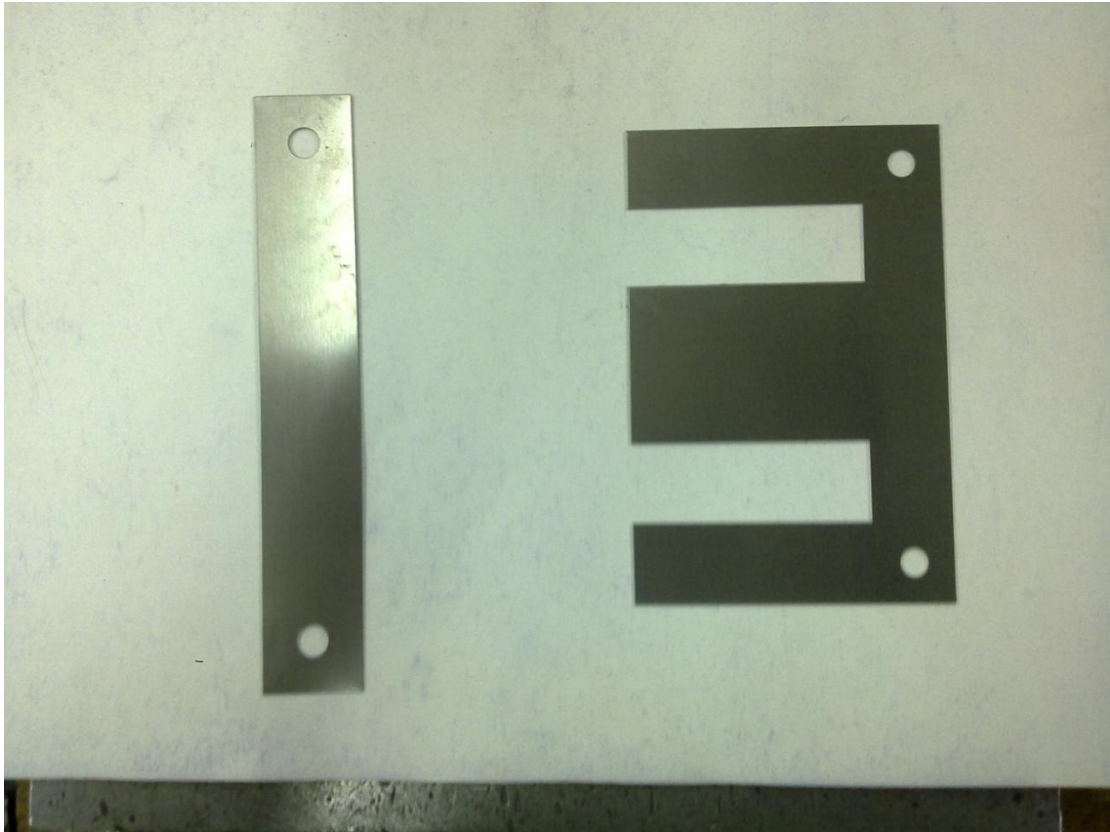
[Φωτογραφία 9]
Τοποθέτηση ελασμάτων I 150



[Φωτογραφία 10]
Διαδικασία τοποθέτησης I 150



[Φωτογραφία 11]
Μορφή μετασχηματιστή μετά από τοποθέτηση αρκετών I 150

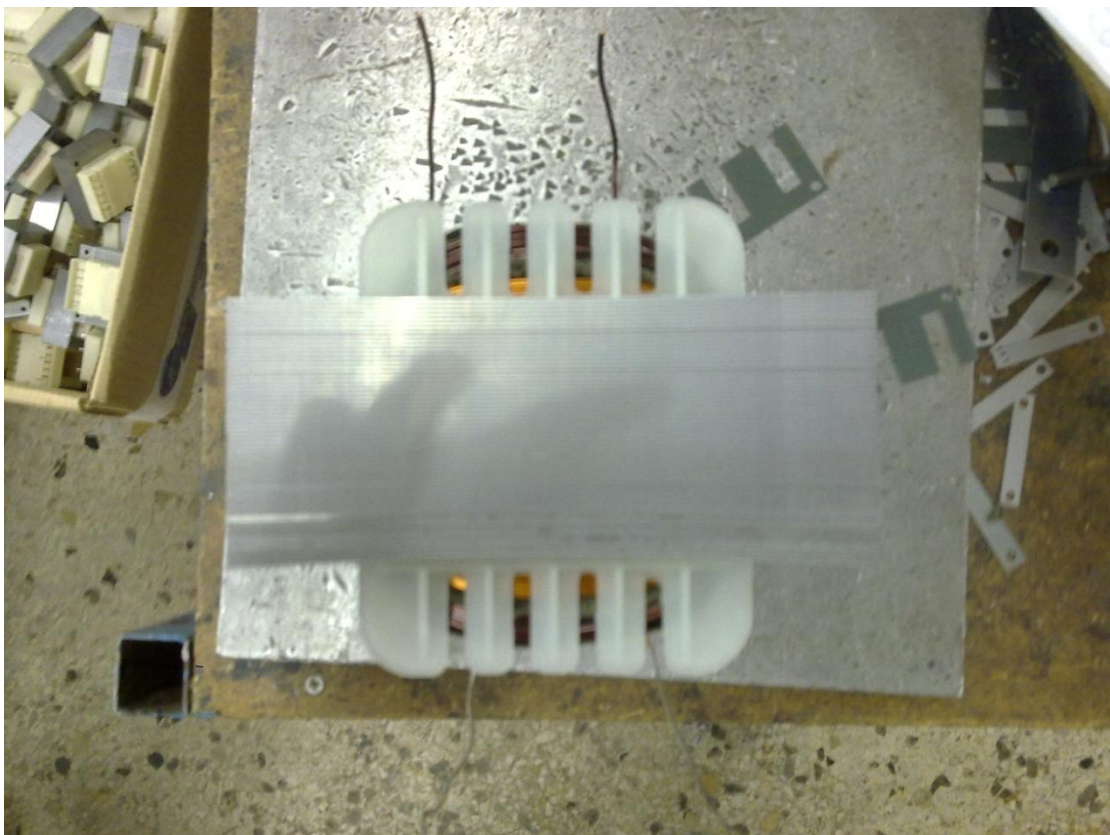
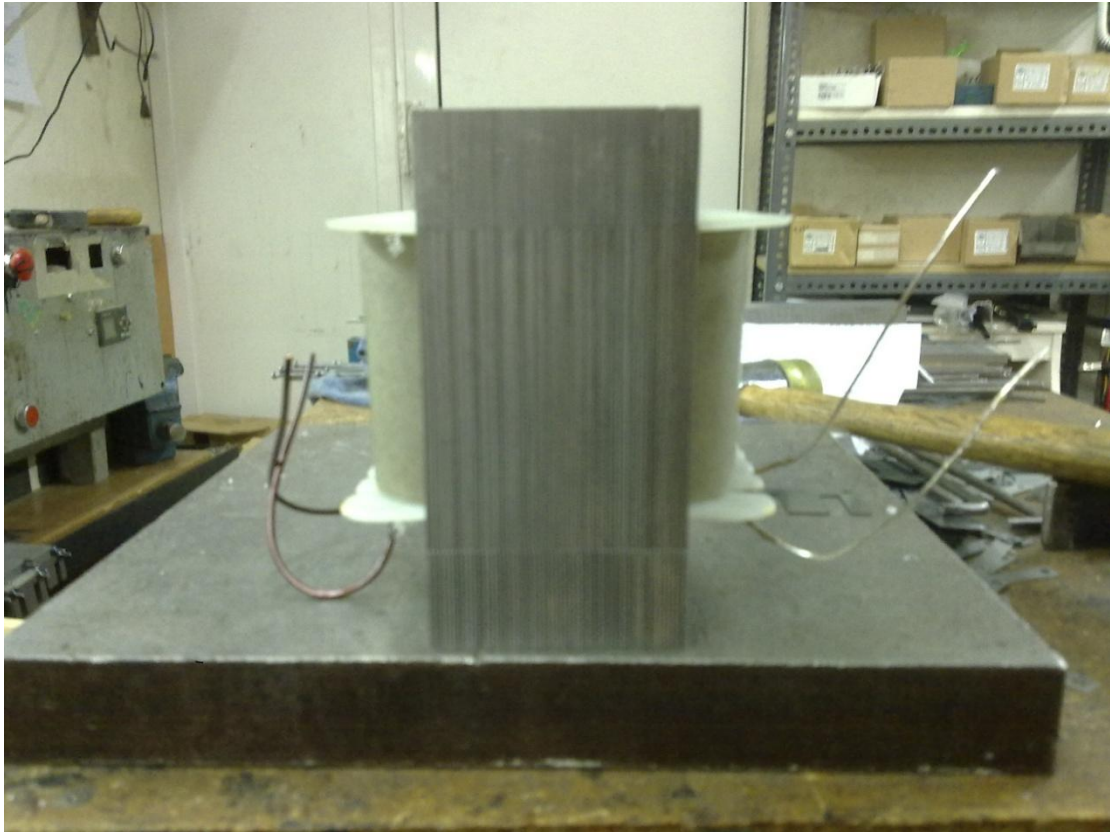


[Φωτογραφία 12]

ΕΙ 150 τα όποια χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μετασχηματιστή
μας :

Τάσεις Λειτουργίας
230 V / 110 V
Ισχύς 1 KVA

7. Έλεγχος μετασχηματιστή για τυχόν κενά

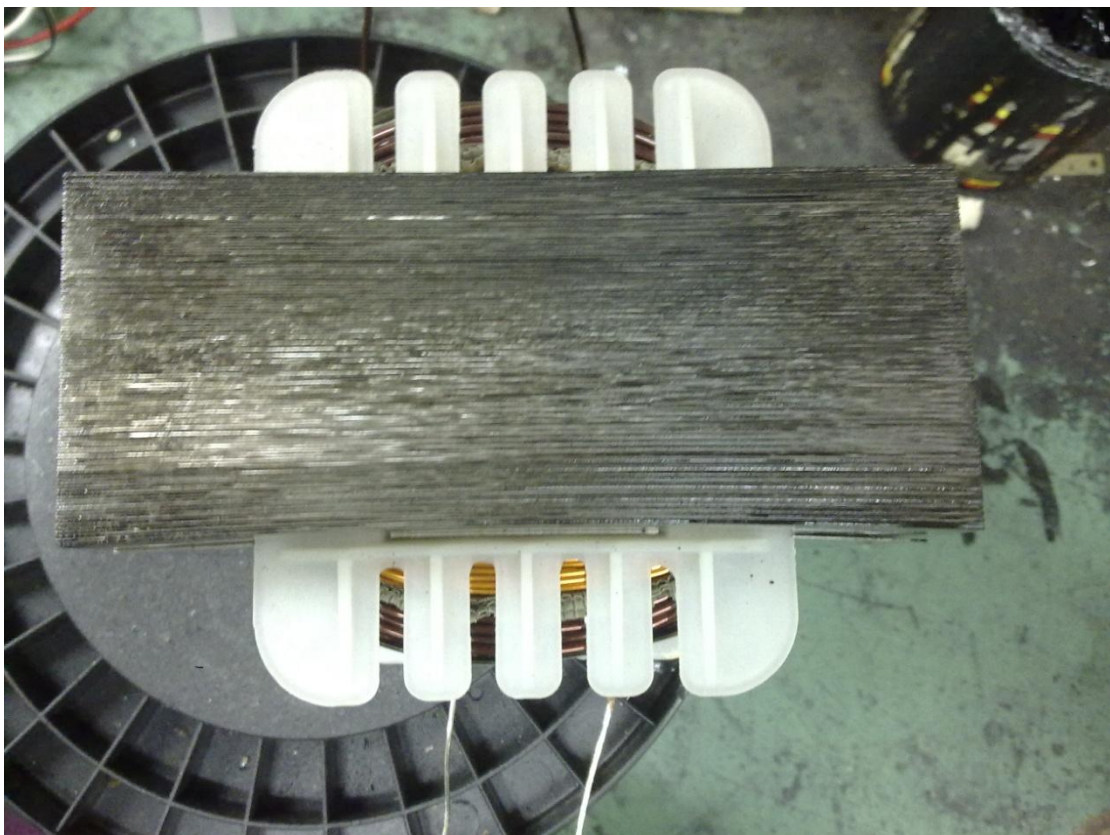


[Φωτογραφίες 13-14]

Τελική μορφή μετασχηματιστή μετά από τοποθέτηση ελασμάτων EI 150

[103]

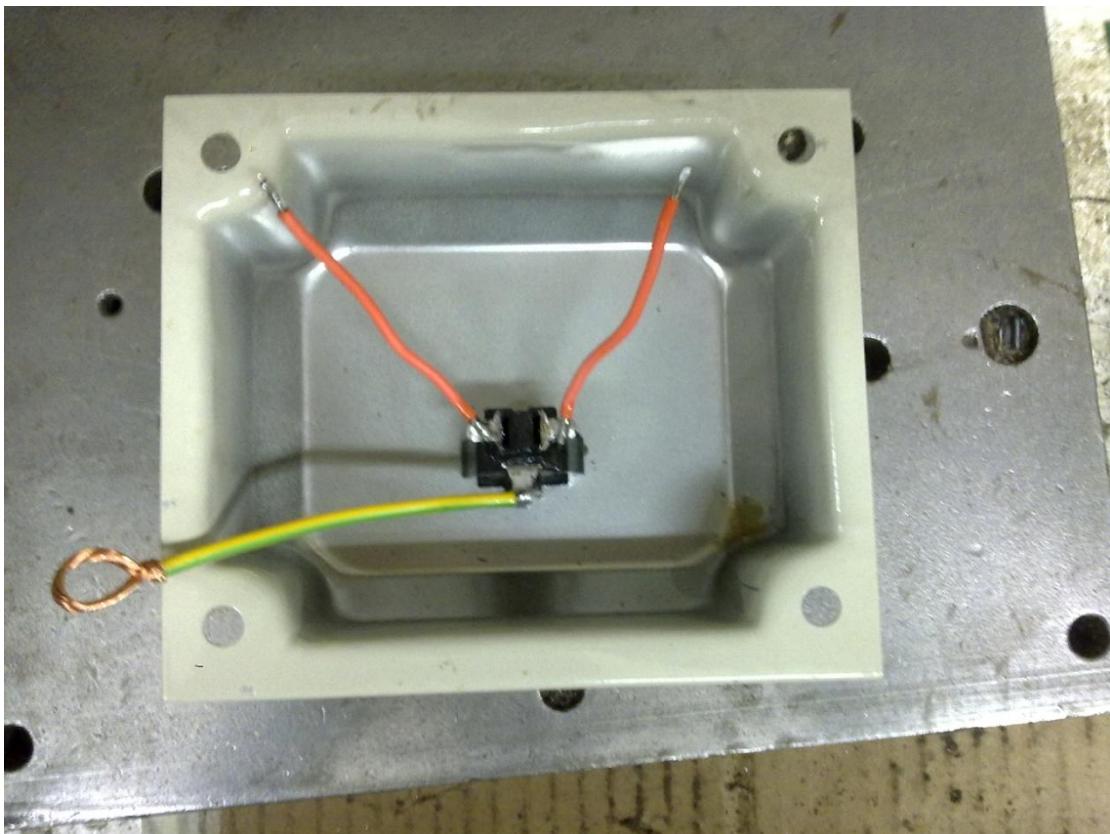
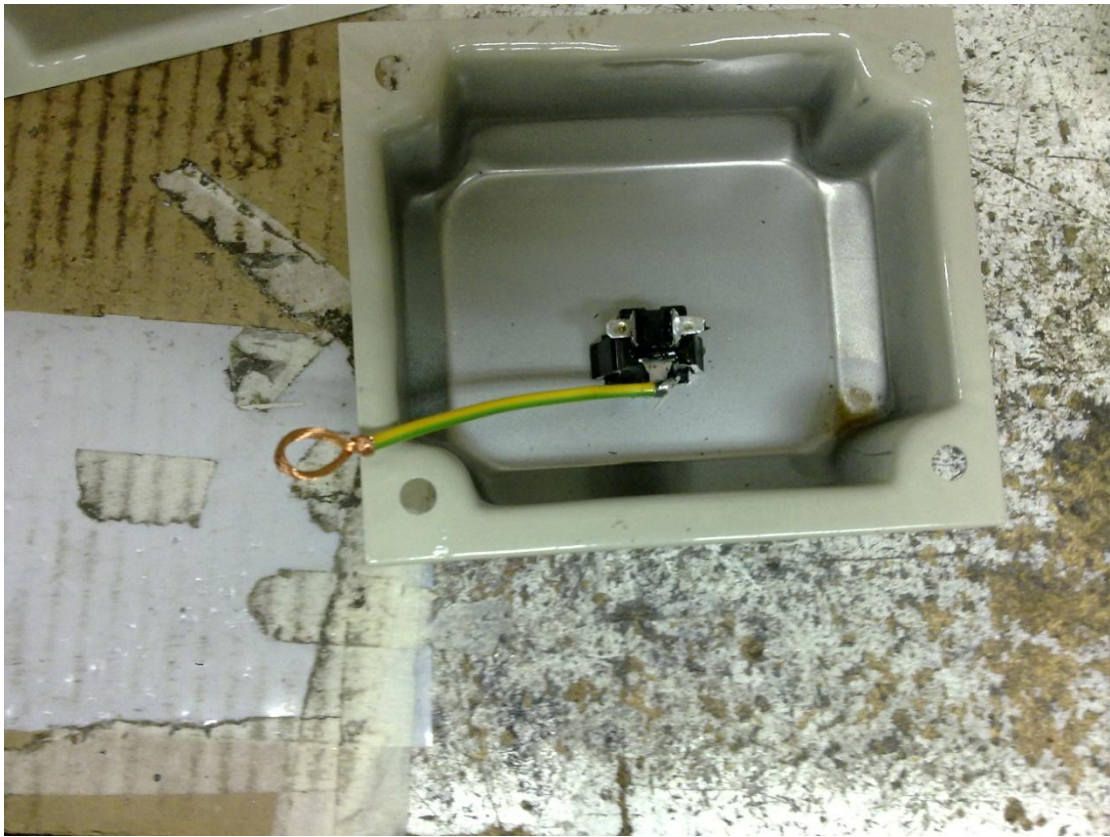
8. Μόνωση με ειδική μπογιά

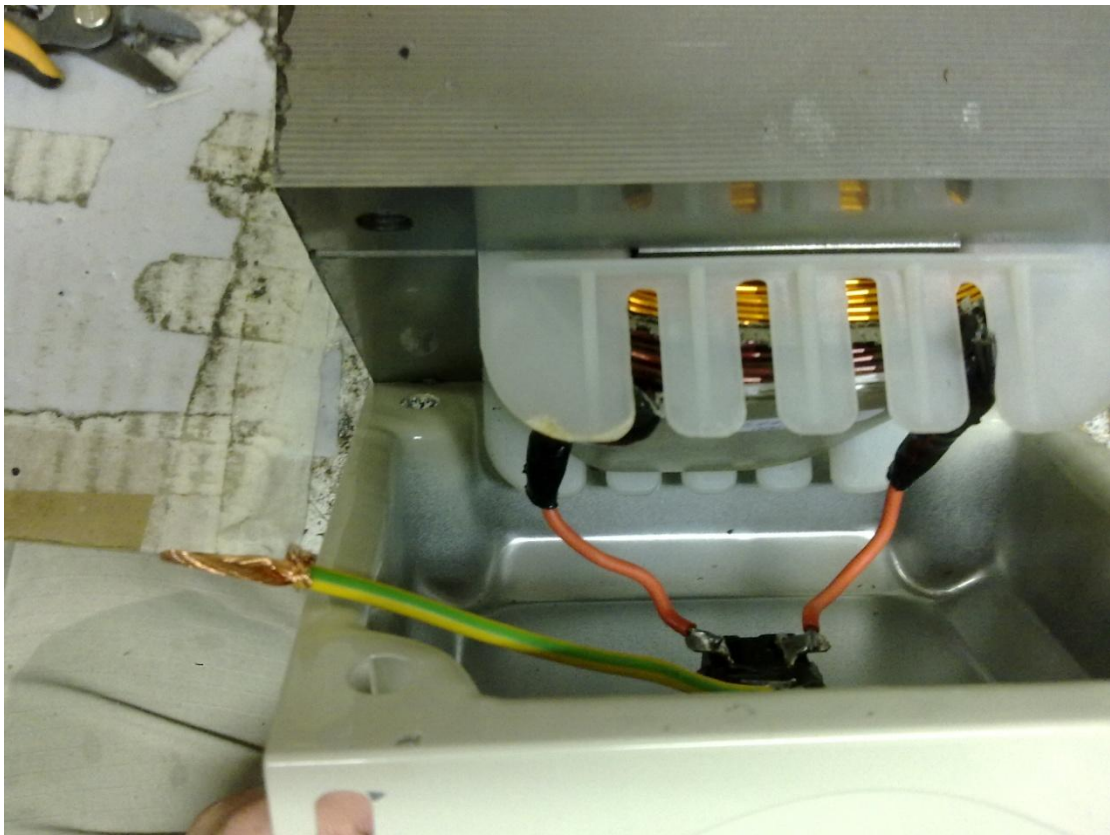
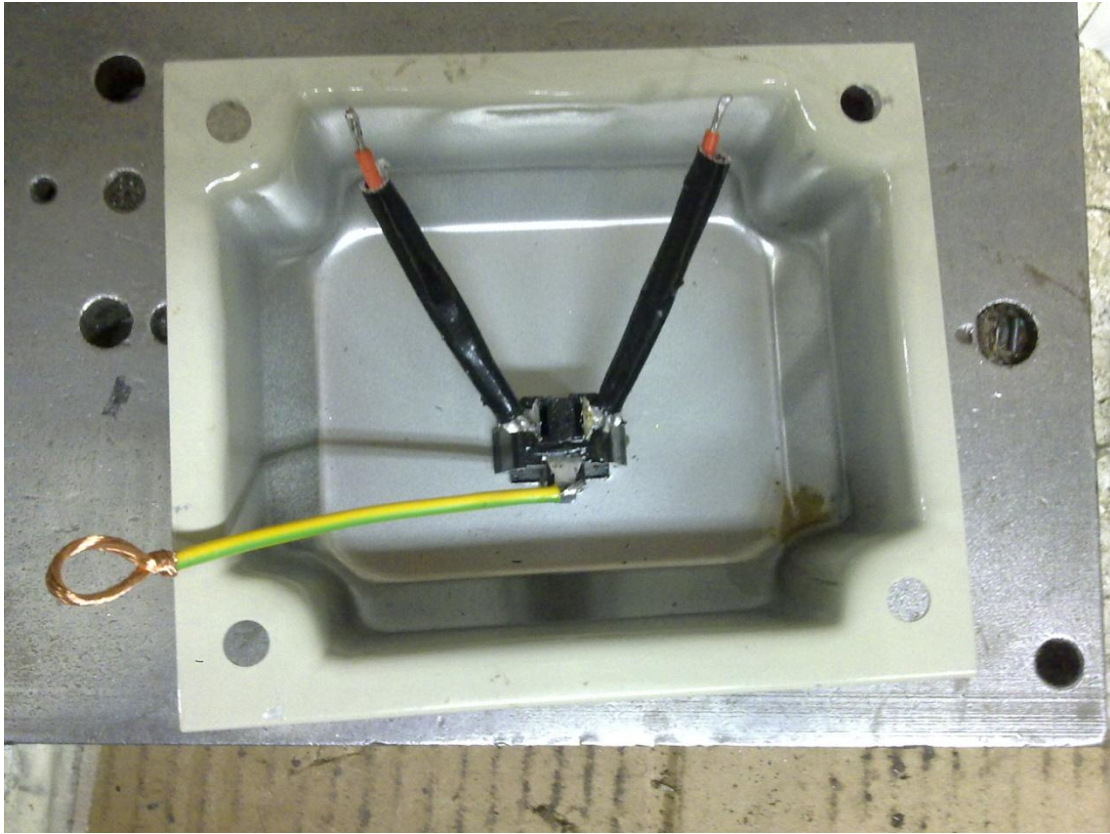


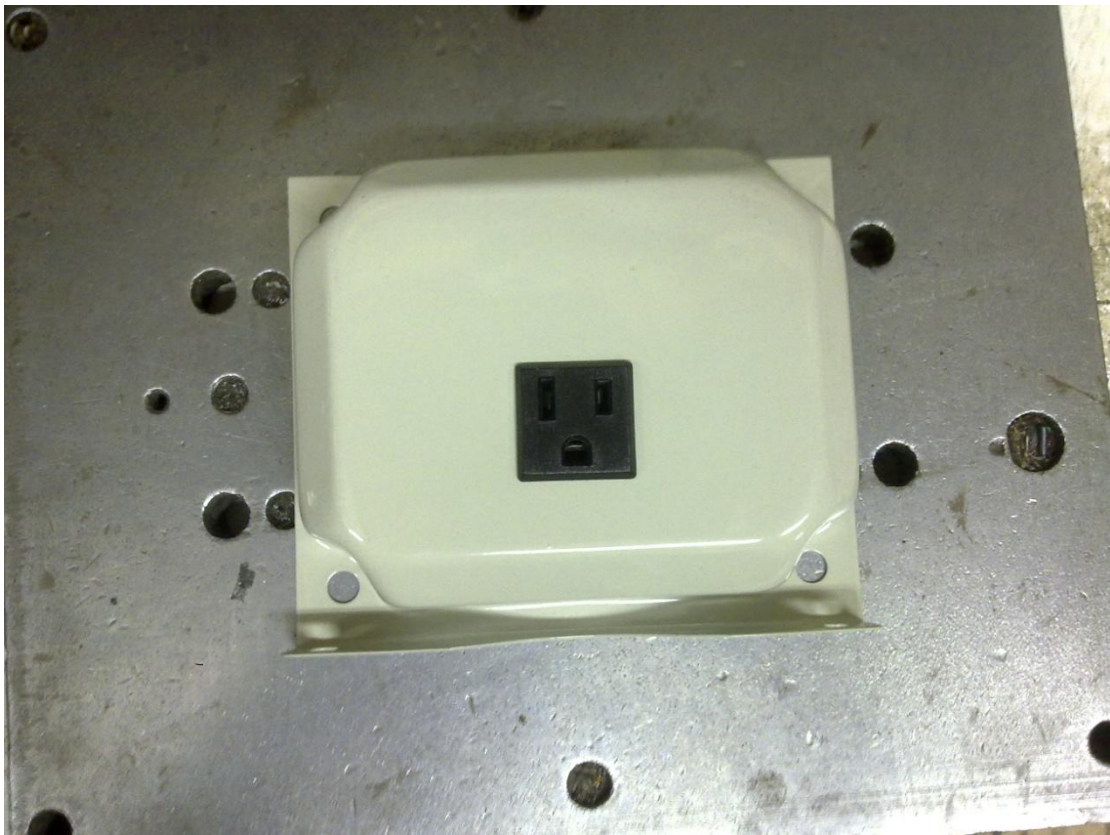
[Φωτογραφίες 15-16]

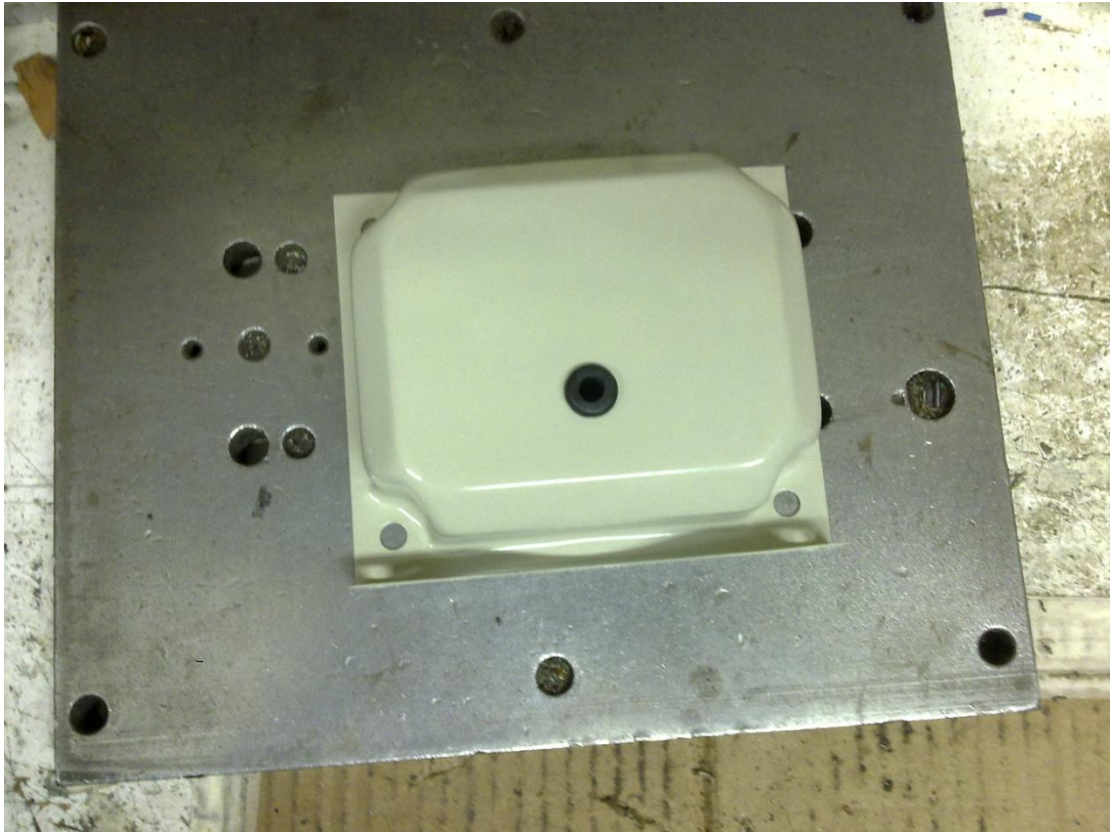
Επικάλυψη με ειδική μπογιά για μόνωση αλλά και για εμφάνιση.

9. Τοποθέτηση καπακίων – Σύνδεση παροχής 230 V και πρίζας 110 V









[Φωτογραφίες 17-18-19-20-21-22-23]
Καπάκια που χρησιμοποιήσαμε και διαδικασία σύνδεσης παροχής 230 V
και σύνδεσης πρίζας 110V

10. Τελική Μορφή Μετασχηματιστή



[Φωτογραφίες 24-25]

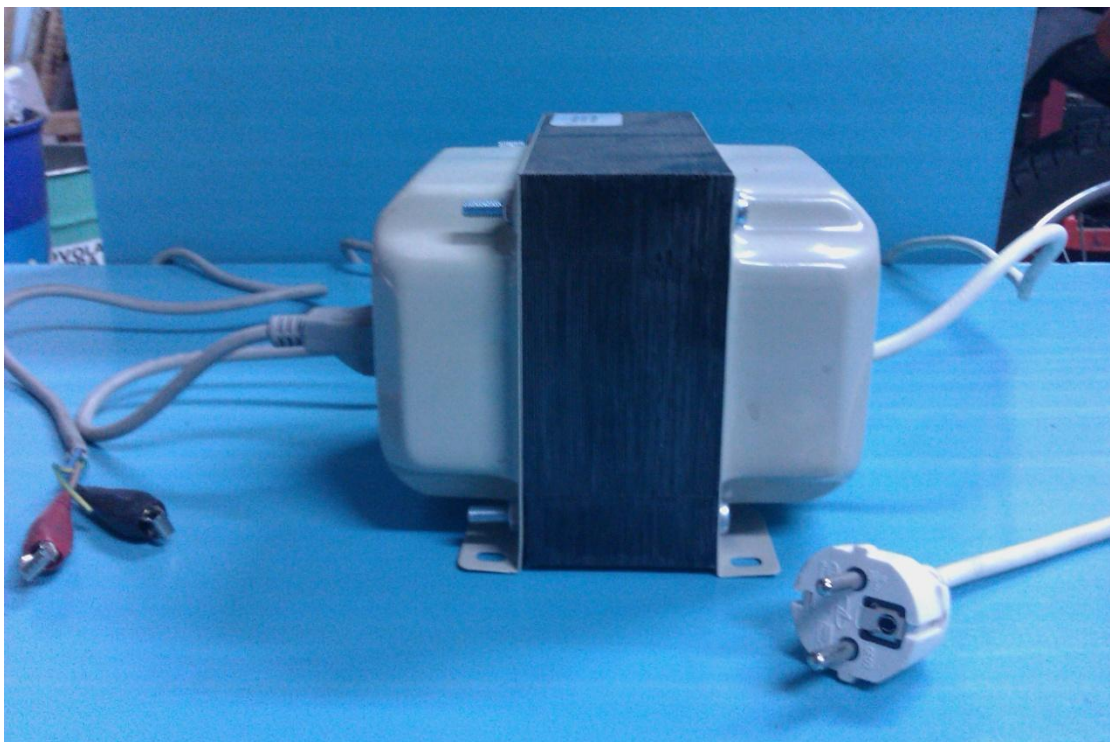
Κατόψεις μετασχηματιστή στην τελική μορφή πριν την τροποποίηση του .

7.2 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Όπως προαναφέραμε , στο μετασχηματιστή μας κάναμε κάποιες σημαντικές αλλαγές ώστε να μην είναι ένας απλός μετασχηματιστής του εμπορίου . Οι αλλαγές αυτές αφορούν την όψη του μετασχηματιστή , τον τρόπο που παρέχετε η ταση των 230 V αλλά και ο τρόπος που έχουμε την έξοδο των 110 V. Η τροποποίηση του μετασχηματιστή μας αναλύεται σε 6 βήματα :

1. Τοποθέτηση του μετασχηματιστή σε καθαρή επιφάνεια ώστε να μετρήσουμε τις διαστάσεις του και να αποφασίσουμε που θα κάνουμε ακριβώς τις αλλαγές μας .
2. Ξεβίδωμα των καπακιών για να τα επεξεργαστούμε αλλά και για να αλλάξουμε τον τρόπο εισόδου αλλά και εξόδου της ηλεκτρικής ενέργειας .
3. Αφαίρεση της συνδεσμολογίας της πρίζας 110 V και της παροχής 230 V .
4. Κόψιμο των καπακιών στην πάνω μεριά με σκοπό τοποθέτηση ειδικού πλαστικού plexiglass υλικού για να μπορεί να φαίνεται το εσωτερικό του μετασχηματιστή όταν είναι τα καπάκια βιδωμένα .
5. Κόψιμο των καπακιών στη μέση και τοποθέτηση ειδικού μονωτικού υλικού το οποίο θα επεξεργαστούμε κατάλληλα και θα τοποθετήσουμε ειδικές μπόρνες για να μπορούμε μέσα στο εργαστήριο να παρέχουμε τα 230 V στην είσοδο αλλά και να παίρνουμε την έξοδο των 110V
6. Τοποθέτηση εσωτερικά των καπακιών ειδικούς λαμπτήρες στην πλευρά των 230 V αλλά και των 110 V για να δείξουμε εμπράκτως ότι η ταση στην κάθε πλευρά του μετασχηματιστή είναι η ανάλογη .**(ΣΗΜΕΙΩΣΗ ο ένας λαμπτήρας είναι για 230 V και ο άλλος είναι για 110 V)**

1. Τοποθέτηση μετασχηματιστή σε κατάλληλη επιφάνεια



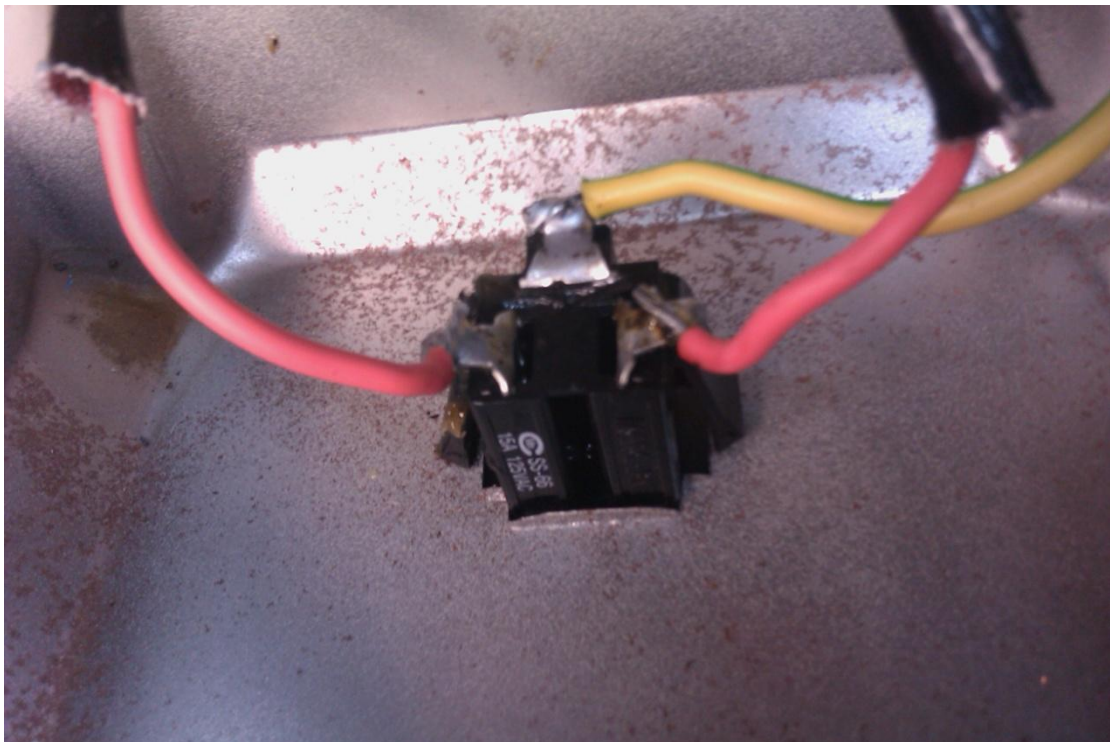
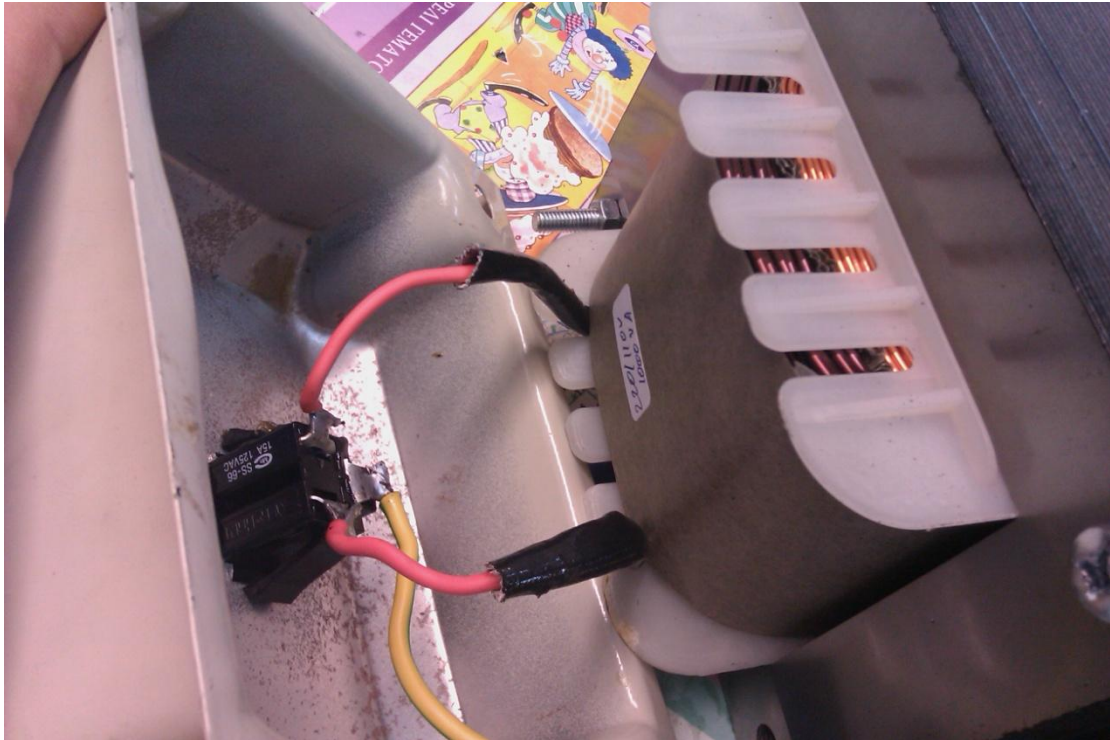


[Φωτογραφίες 26-27]

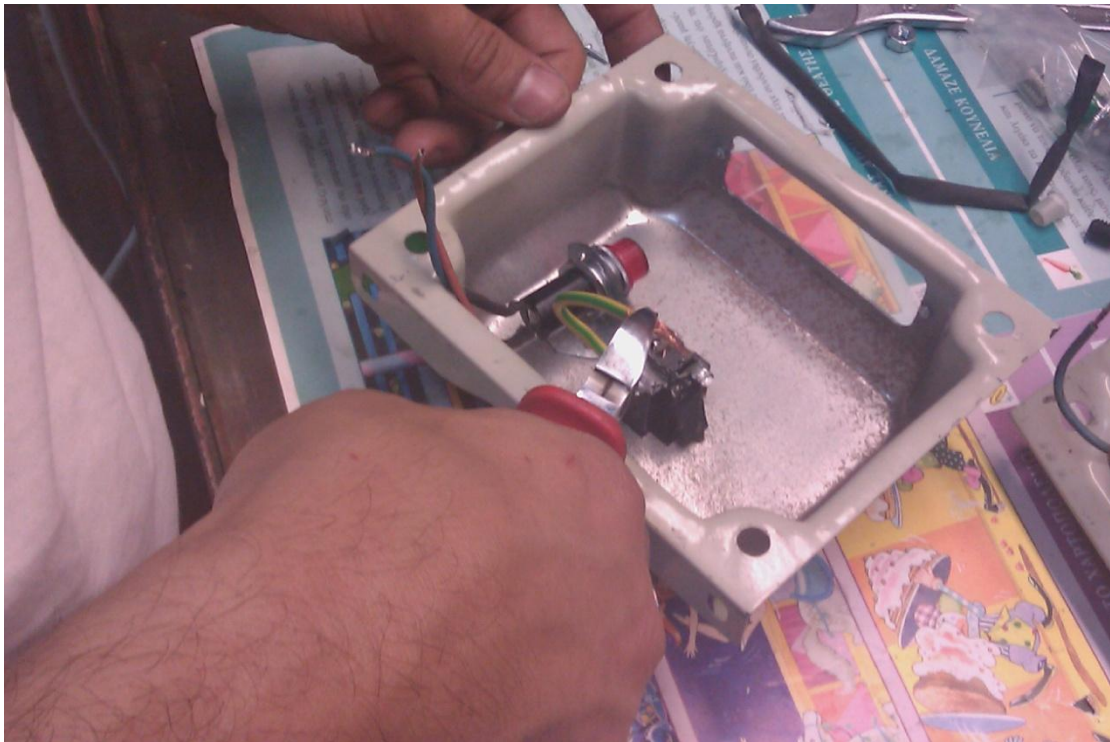
Τοποθέτηση σε καθαρή επιφάνεια ώστε να αποφασίσουμε για τις τροποποιήσεις

2. Ξεβίδωμα των καπακιών





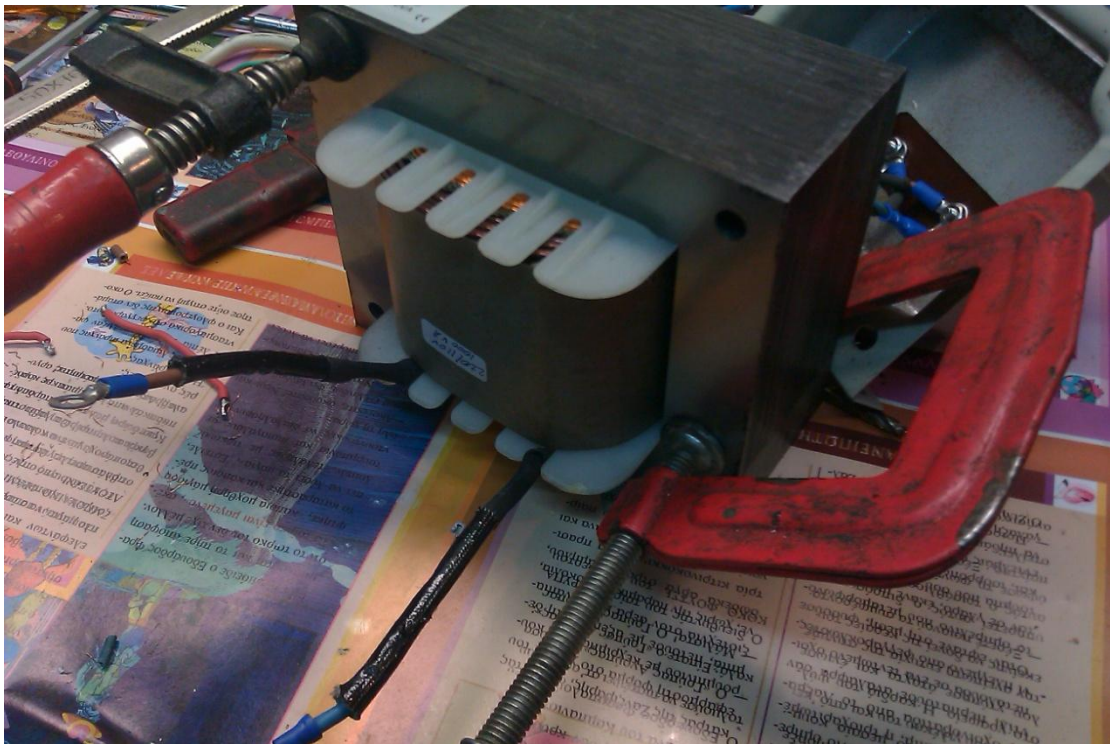
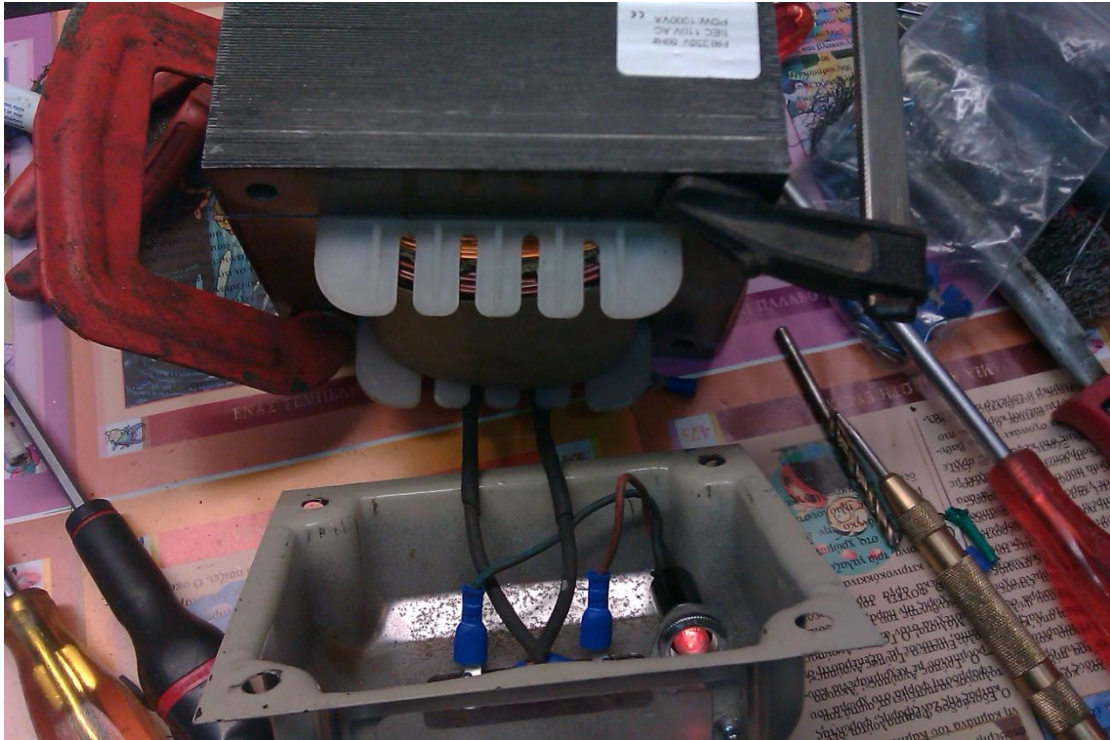
3. Αφαίρεση των συνδεσμολογιών των 230 V και 110 V.

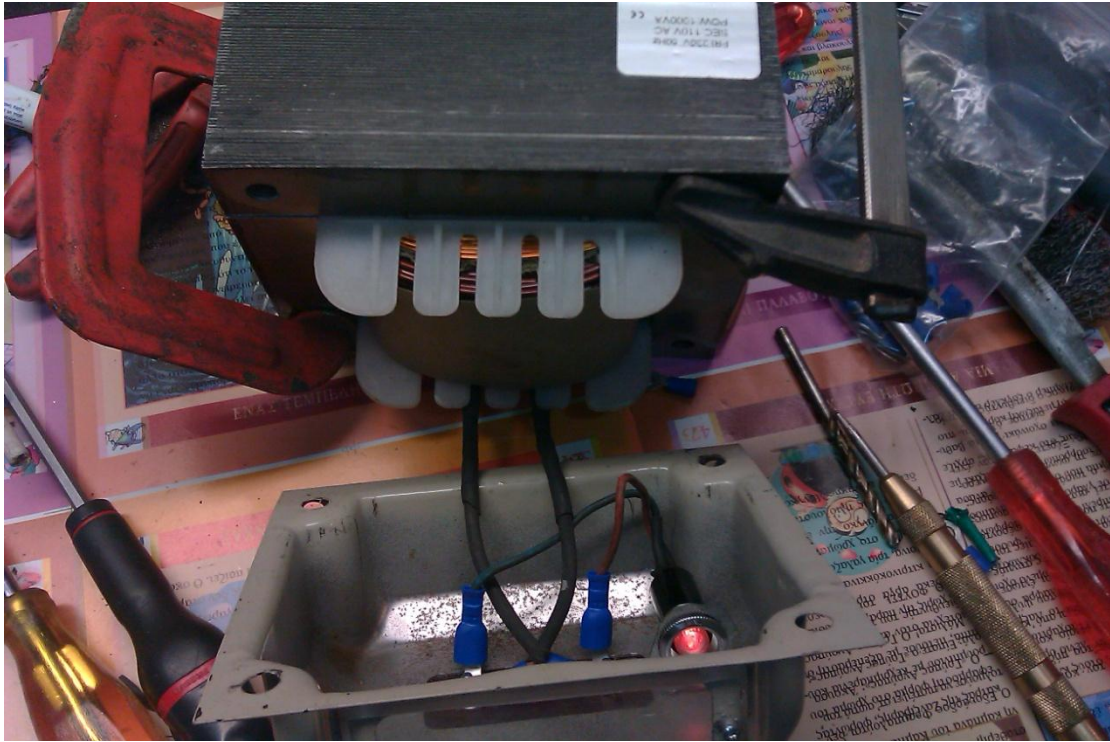


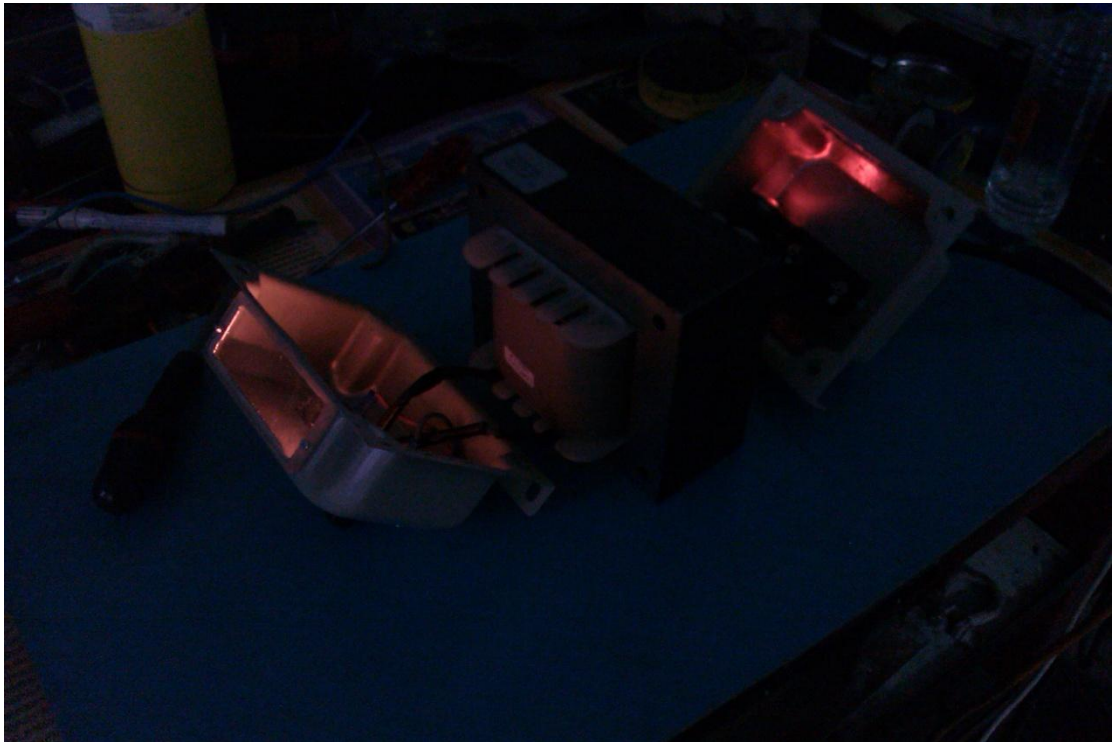
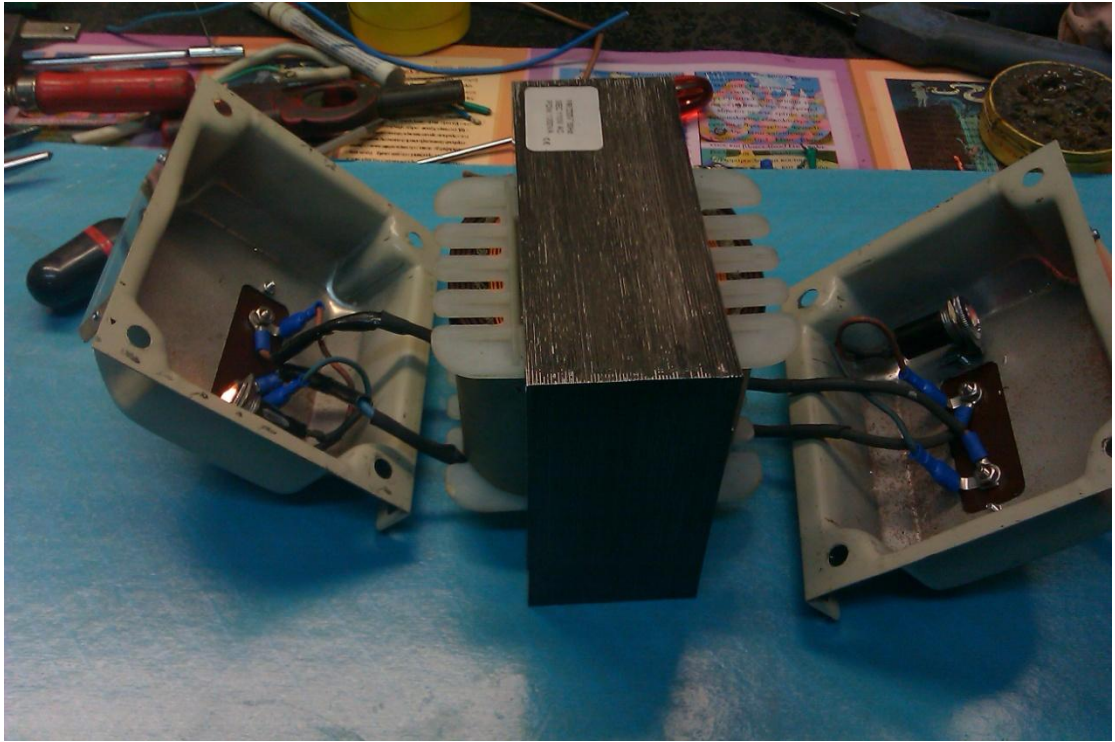


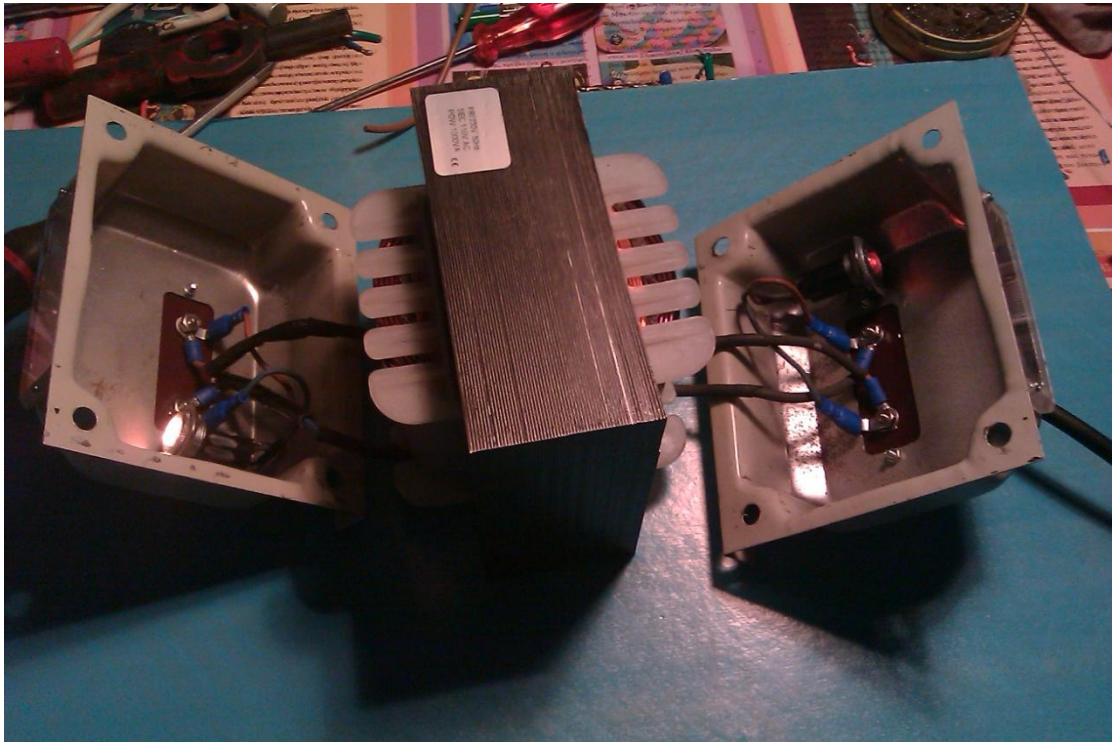
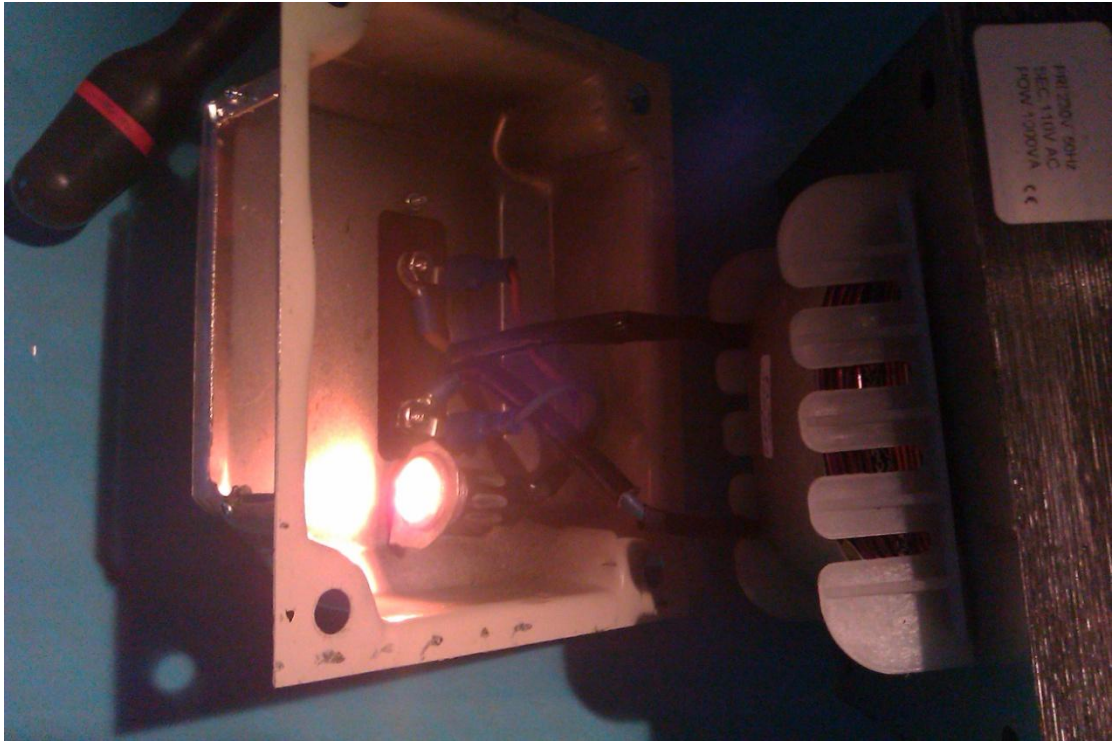
4. Κόψιμο των καπακιών, τοποθέτηση μπόρνων και ειδικών λαμπτήρων





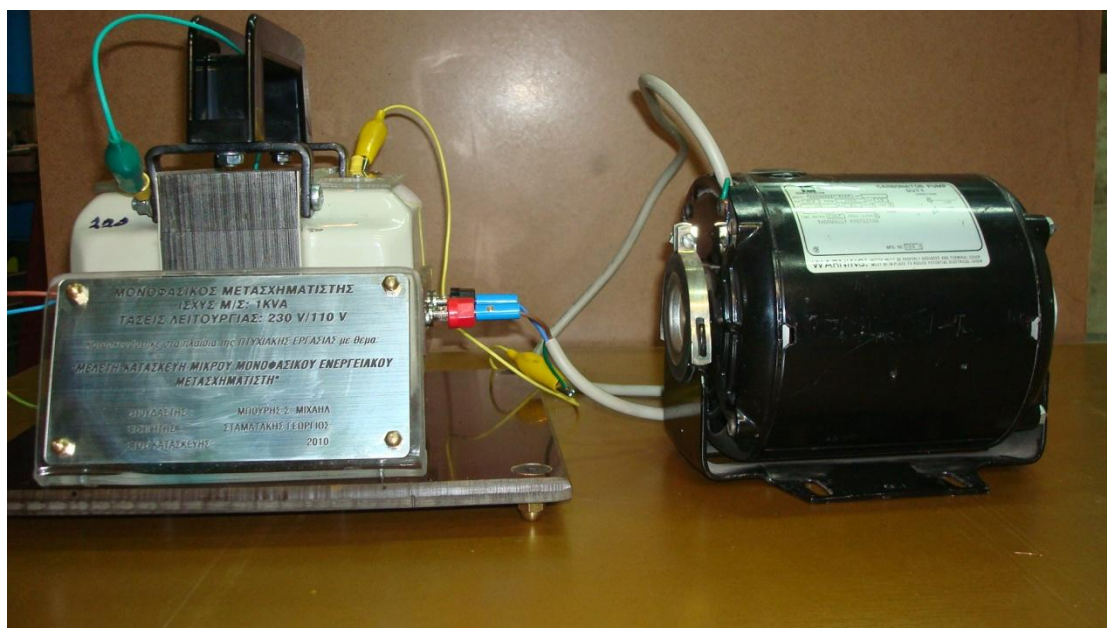


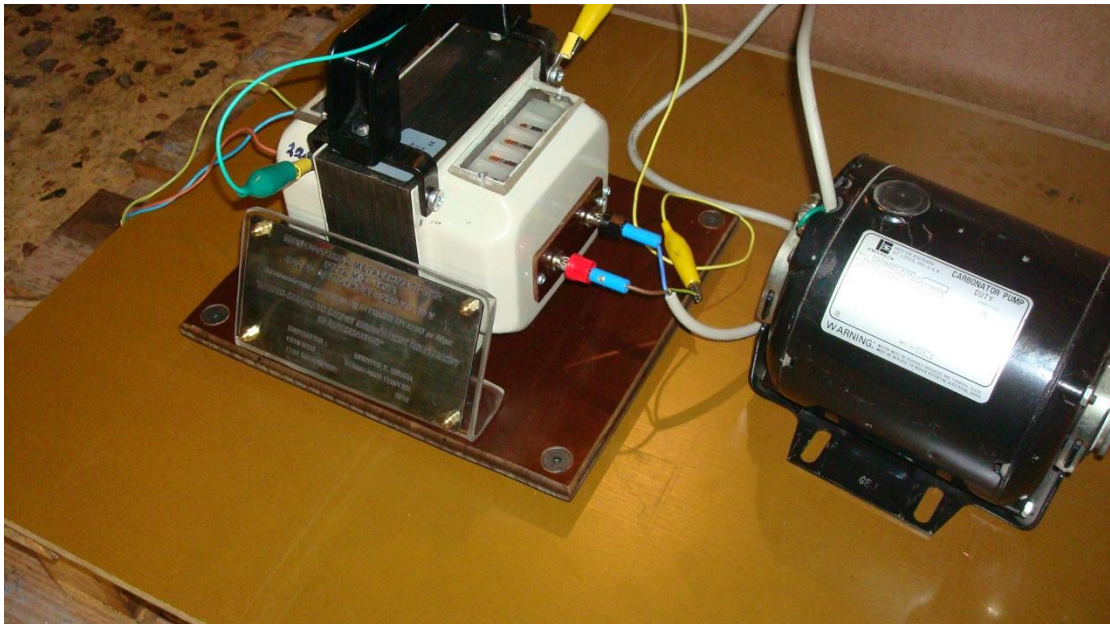
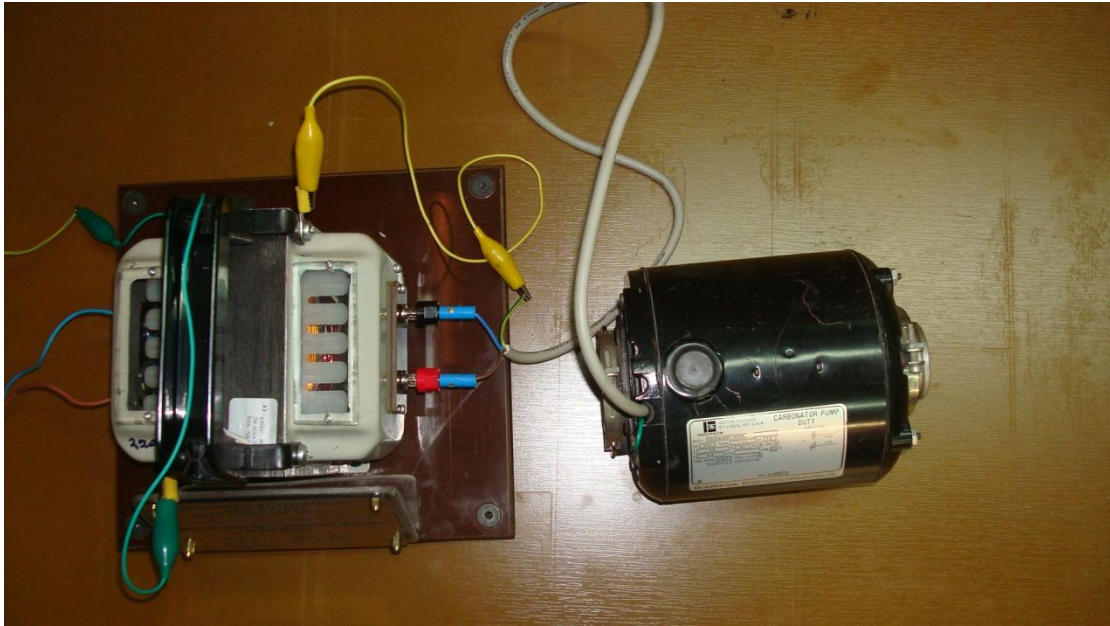


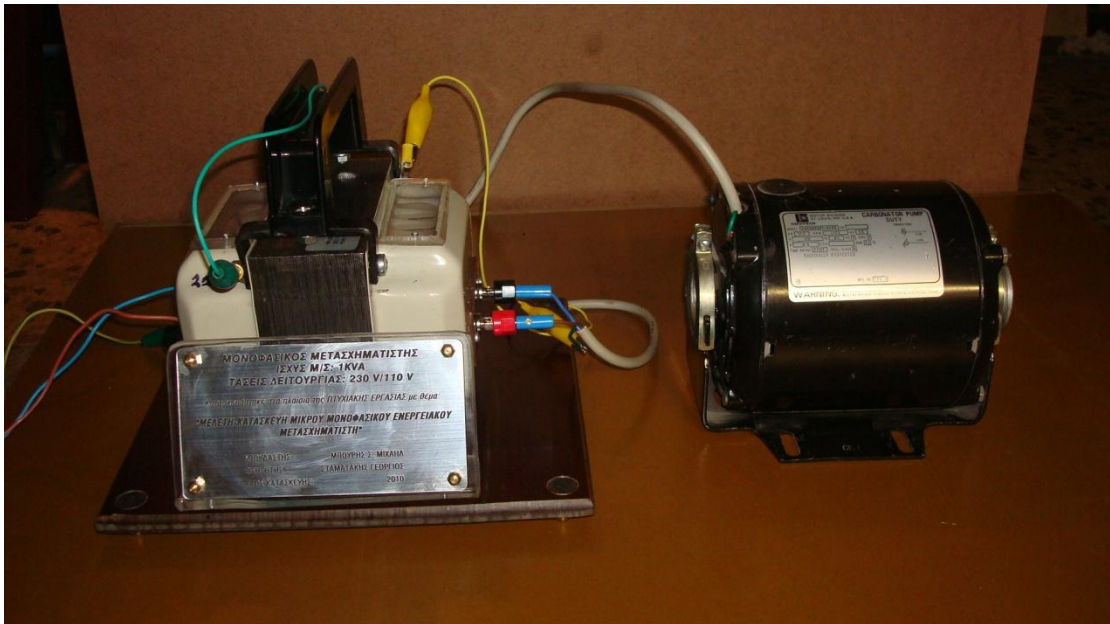
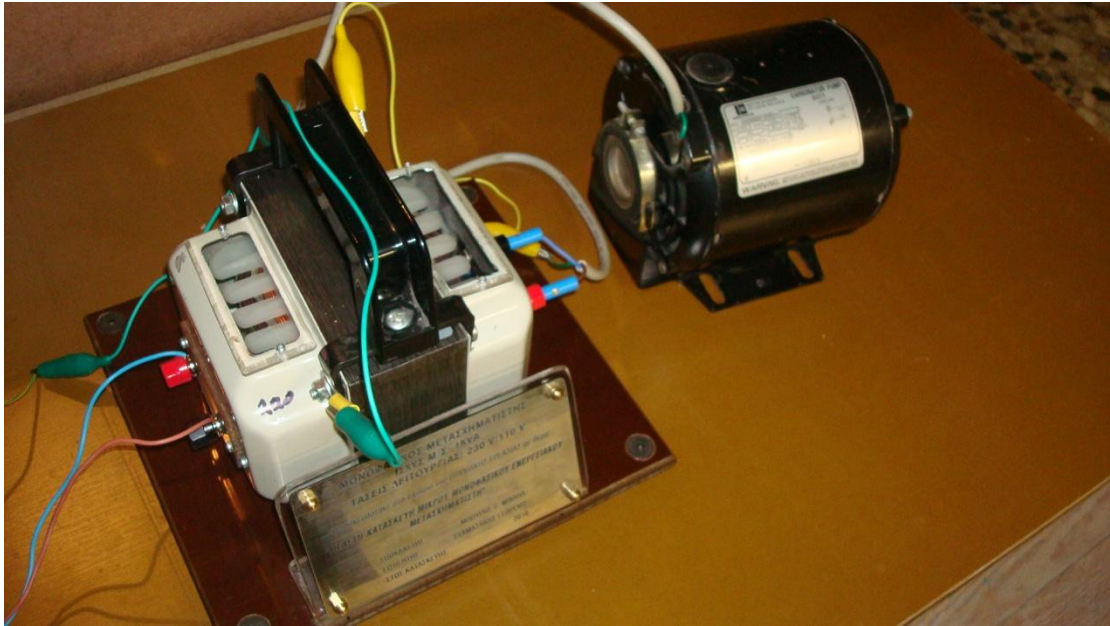


7.3 .ΤΕΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Με την ολοκλήρωση όλων των ενεργειών ,*κατασκευής και τροποποίησης*, του μετασχηματιστή μας τον τοποθετήσαμε σε μια βάση και φτιάξαμε ένα ταμπελάκι που αναφέρει τα σχετικά της πτυχιακής εργασίας αλλά και τις προδιαγραφές του μετασχηματιστή .Τέλος συνδέσαμε και ένα ειδικό μοτέρ 110 V για να δούμε εμπράκτως τον μετασχηματισμό της τάσεως από 230 V σε 110 V .







8^ο

Μελέτη Μετασχηματιστή-Μετρήσεις

8.1 Πρακτικός Υπολογισμός Μικρού Μονοφασικού Μετασχηματιστή

Για τον υπολογισμό των διαστάσεων του μαγνητικού κυκλώματος και των τυλιγμάτων των μονοφασικών μετασχηματιστών με ισχύ μέχρι 1000 VA χρησιμοποιούνται συνήθως απλοί υπολογισμοί . Στη συνέχεια θα δείξουμε μια μέθοδο υπολογισμού που επιτρέπει την πλήρωση των εξής θεμελιωδών συνθηκών :

1. Καλής λειτουργίας
2. Χαμηλό κόστος

Το πρόβλημα του υπολογισμού των μικρών μονοφασικών μετασχηματιστών τίθεται ως εξής :

Ορίζονται :

1. Η τάση V_1 , με την οποία τροφοδοτείται το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή
2. Η τάση V_2 , που διατίθεται στα ακρα του δευτερεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή
3. Η συχνότητα f του ρεύματος τροφοδοτήσεως σε Hz
4. Η φαινόμενη ισχύς P_ϕ του μετασχηματιστή σε VA

Ζητούνται :

1. Η διατομή του πυρήνα
2. Ο αριθμός σπειρών του πρωτεύοντος
3. Ο αριθμός σπειρών του δευτερεύοντος
4. Η διάμετρος των αγωγών του πυρήνα
5. Οι διαστάσεις του πυρήνα

Για τον υπολογισμό των παραπάνω ζητούμενων κάνουμε κάποιες παραδοχές

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

1. $B_{max} = 1 \text{ Vs/m}^2$ [Χρησιμοποιούμε συνήθως κοινά ελάσματα με τη συγκεκριμένη
μεγίστη επιτρεπόμενη τιμή της μαγνητικής επαγωγής]
2. $K_{\sigma} = 0,85$ [εξαιτίας ορθογώνιας διατομής πυρήνα]
3. $K_{\chi} = 0,48$ [εξαιτίας περιοχής λειτουργίας 500-1000 VA]
4. $\zeta = 2,5 \text{ A/m}^2$ [7-8 ώρες λειτουργίας]
5. $f = 50 \text{ Hz}$ [Συχνότητα Δικτύου]
6. $\chi = 1,3$ [Ορθογώνια διατομή πηνίου]
7. $\psi = 5$ [Ορθογώνια διατομή πηνίου]
8. $K = 113.22 \cdot 10^6 \text{ VA/m}^4$ [Σταθερά]
9. Μικτο ποσοστό πτώσης τάσεως $\varepsilon = 5\%$
10. Συντελεστής πληρωσεως σιδηρου $K_{\sigma} = 0,85$
11. Ελαχιστη αποδοση $N = 85\%$
12. Ποιοτητα ελασματος $K_L = 2.3W /Kgr$
14. $\cos\theta = 0,85$

Προσδιορισμός σταθεράς K :

$$K = 2,22 \cdot f \cdot K_{\sigma} \cdot K_{\chi} \cdot B_{max} \cdot \zeta$$

$$K = 2,22 \cdot 50 \cdot 0,85 \cdot 0,48 \cdot \frac{1Vs}{m^4} \cdot 2,5 \cdot 10^6 A =$$
$$K = 113.22 \cdot 10^6 \text{ VA/m}^4$$

Συνεπώς :

$$F_{\sigma} = \sqrt{\frac{P_{\varphi} \cdot \chi}{K}} = \sqrt{\frac{P_{\varphi} \cdot 1,3}{127.35 \cdot 10^6}} \text{ σε } m^2$$

$$\left[F_{\sigma} = 1.2 \sqrt{P_{\varphi}} \text{ σε } cm^2 \right]$$

Αρχικά υπολογίζουμε την ισχύ στο δευτερεύον τύλιγμα :

$$P_{\phi 2} = 110 \text{ V} \cdot 9 \text{ A} = 900 \text{ VA}$$

Μετά υπολογίζω την φαινόμενη ισχύ :

$$P_{\phi o \lambda 2} = \frac{990}{0,85} = 1164 \text{ VA}$$

Υπολογισμός διατομής πυρήνα :

$$F_{\sigma} = 1,2 \cdot \sqrt{1164} = 40.94 \text{ cm}^2$$

Επιλεγώ σιδηροπυρήνα του εμπορίου που είναι κοντά με το αποτέλεσμα που βρήκαμε $F_{\sigma} = 41$.Επιλεγώ σιδηροπυρήνα τύπου EI 150 .

Υπολογισμός σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος

$$N_1 = \frac{E_1}{4.44 \cdot f \cdot B \cdot S_{\sigma}} = \frac{230}{4.44 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 41} = 297,54 \approx 300 \text{ σπειρες}$$

$$N_2 = \frac{E_2}{4.44 \cdot f \cdot B \cdot S_{\sigma}} = \frac{110}{4.44 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 41} = 142,17 \approx 145 \text{ σπειρες}$$

Υπολογισμός διατομής σύρματος πρωτεύοντος και δευτερεύοντος

Συμφώνα με τη θεωρία μας ο μετασχηματιστής μας θα λειτουργεί 7-8 ώρες την ημέρα όποτε ο τύπος που θα μας δίνει την διατομή του σύρματος θα είναι :

$$d_{SPRI} = 0.7 \cdot \sqrt{I_{Pri}} = 0.7 \cdot \sqrt{4.35} = 0.7 \cdot 2.08 = 1.46 \text{ mm}^2$$

$$d_{sSEC} = 0.7 \cdot \sqrt{I_{SEC}} = 0.7 \cdot \sqrt{9} = 0.7 \cdot 3 = 2.1 \text{ mm}^2$$

Το μονωτικό υλικό που χρησιμοποιήσαμε είναι Prespan και έχει διατομή 0,02 mm (λόγο της τάσης λειτουργίας με μέγιστο τα 250 V)

ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Συμφώνα με τη θεωρία μας και τους υπολογισμούς μας έπρεπε να έχουμε 300 σπείρες στο πρωτεύον με διατομή 1.46 mm^2 και 145 στο δευτερεύον με διατομή 2.1 mm^2 . Στην πραγματικότητα όμως για να έχουμε μετασχηματιστή με τάσεις λειτουργίας 230V/110V στα 1000 VA τυλίξαμε τον μετασχηματιστή μας με 322 σπείρες στο πρωτεύον (με διατομή 1.25 mm^2) και στο δευτερεύον 154 (με διατομή 1.9 mm^2).Οι αποκλίσεις αυτές είναι σημαντικές αλλά οφείλονται κυρίως στην αλλαγή κάποιων συντελεστών στους τύπους που χρησιμοποιήσαμε και στην αλλαγή των σιδηρομαγνητικών υλικών που χρησιμοποιήσαμε .

8.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

ΠΕΙΡΑΜΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ

Ενταση Πρωτεύοντος $I_{PRI} = 4.8 A$

Τάση Πρωτεύοντος $V_{PRI} = 12.1 V$

Ισχύς Πρωτεύοντος $P_{PRI} = 52.5 W$

$$n\% = \frac{V_{PRI}}{V_{in}} \% = \frac{12.1 V}{230 V} \% = 5.26\%$$

Η σημασία του πειράματος βραχυκυκλώσεως είναι μεγάλη για τον μετασχηματιστή επειδή :

1. Η τάση βραχυκύκλωσης καθορίζει την διανομή των φορτίων σε μετασχηματιστές που λειτουργούν παράλληλα .
2. Όταν γνωρίζουμε την τάση βραχυκύκλωσης ,μπορούμε να υπολογίσουμε το πιθανό ρεύμα βραχυκύκλωσης στο δευτερεύον του μετασχηματιστή , όταν το πρωτεύον τροφοδοτείται με την ονομαστική του τάση .
3. Τέλος με το πείραμα βραχυκύκλωσης που περιγράψαμε , μπορούμε να μετρήσουμε τις ηλεκτρικές απώλειες του μετασχηματιστή στο κανονικό του φορτίο . Η ένδειξη ενός βαρομέτρου συνδεδεμένου στο πρωτεύον του μετασχηματιστή δίνει αυτές τις απώλειες , όταν η ενταση στο βραχυκυκλωμενο δευτερεύον γίνει ιση με την ονομαστική του ενταση I_{2on}

ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΟΣ

Στο ανοιχτό δευτερεύον έχουμε:

Τάση πρωτεύοντος $V'_{Pri} = 230 V$

Ενταση πρωτεύοντος $I'_{Pri} = 0,22 A$

Τάση δευτερεύοντος $V'_{Sec} = 114 V$

Ενταση δευτερεύοντος $I'_{Sec} = 0A$

Ισχύς $P = 22.5 W$

Μετά δίνουμε συνεχές ρεύμα από το τροφοδοτικό μας με μέγιστη ενταση ρεύματος τα $I=5 A$ και έτσι έχουμε :

Τάση πρωτεύοντος $V_1 = 6 V$

Αντίσταση πρωτεύοντος $R_1 = 1.2 \Omega$

Τάση δευτερεύοντος $V_2 = 1.6 V$

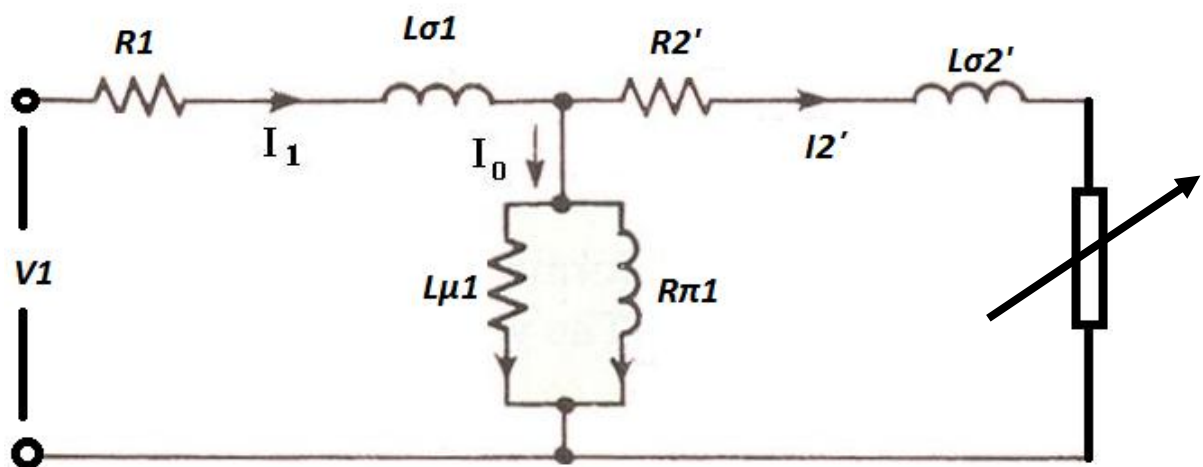
Αντίσταση πρωτεύοντος $R_1 = 0.32 \Omega$

Μετά τροφοδοτούμε με εναλλασσόμενο ρεύμα τον μετασχηματιστή μας και παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα :

$230 V \rightarrow I=0.215 A , Z_1=j1069 \Omega$

$110 V \rightarrow I=0.4 A , Z_2=j275 \Omega$

Προσδιορισμός Ισοδύναμου Κυκλώματος Ανοιγμένο Στο πρωτεύον



[Σχήμα 8.1]

Ισοδύναμο κύκλωμα πραγματικού Μ/Σ με τα στοιχεία ανοιγμένα στο πρωτεύον

Όπου :

R_1 : Ωμικη αντίσταση πρωτευοντος

$L_{\sigma 1}$: Συντελεστής αυτεπαγωγής σκεδασεως πρωτευοντος

R'_2 : Ωμικη αντίσταση δευτερευοντος ανηγμενη στο πρωτευον

$L'_{\sigma 2}$: Συντελεστής αυτεπαγωγής σκεδασεως του δευτερευοντος ανηγμενος στο πρωτευον

$R_{\pi 1}$: Ωμικη αντισταση του κλαδου μαγνητισεως

$L_{\mu 1}$: Αυτεπαγωγη του κλαδου μαγνητισεως

Έτσι έχουμε τις εξής σχέσεις :

$$R_{\pi 1} = \frac{U_1^2}{P_{ak}} \quad (8.1)$$

$$L_{\mu 1} = \frac{1/\omega}{\sqrt{(Y_{1\alpha\kappa}^2 - G_{\pi 1}^2)}} \quad (8.2)$$

$$Y_{1\alpha\kappa} = \frac{I_{1\alpha\kappa}}{U_1} \quad (8.3)$$

$$G_{\pi 1} = \frac{1}{R_{\pi 1}} \quad (8.4)$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} \quad (8.5)$$

$$R'_2 = a^2 \cdot R_2 \quad (8.6)$$

$$L'_{\sigma 2} = a^2 \cdot L_{\sigma 2} \quad (8.7)$$

Σημείωση : Από τις μετρήσεις μας γνωρίζουμε ότι :

- $Z_1 = j1069 \Omega hm$,
- $Z_2 = j275 \Omega hm$
- $R_1 = 1.2 \Omega hm$,
- $R_2 = 0.32 \Omega hm$
- $U_1 = 230V$
- $f = 50Hz$
- $a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{230}{110} = 2.09$

Από τις παραπάνω σχέσεις θα έχουμε :

$$1. X_{L1} = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} = \sqrt{1069^2 - 1.2^2} = j1068.9 \Omega$$

$$2. L_{\sigma 1} = \frac{X_{L1}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{1068.9}{314} = 3.40 H$$

$$3. R'_2 = a^2 \cdot R_2 = 2.09^2 \cdot 0.32 = 1.39 \Omega hm$$

$$4. L'_{\sigma 2} = \alpha^2 \cdot L_{\sigma 2} = 2.09^2 \cdot 275 = 1201 H$$

$$5. R_{\pi 1} = \frac{U_1^2}{P_{ak}} = \frac{230^2}{22.5} = 2351 \Omega hm$$

$$6. Y_{1ak} = \frac{I_{1ak}}{V_1} = \frac{0.22}{230} = 0.00095 S$$

$$7. G_{\pi 1} = \frac{1}{R_{\pi 1}} = \frac{1}{2351} = 0,00042 S$$

$$8. L_{\mu 1} = \frac{0,00310}{0,00085} = 3,638 H$$

$$X_{L1} = j1068.9 \Omega$$

$$L_{\sigma 1} = 3.40 H$$

$$R'_2 = 1.39 \Omega hm$$

$$L'_{\sigma 2} = 1201 H$$

$$R_{\pi 1} = 2351 \Omega hm$$

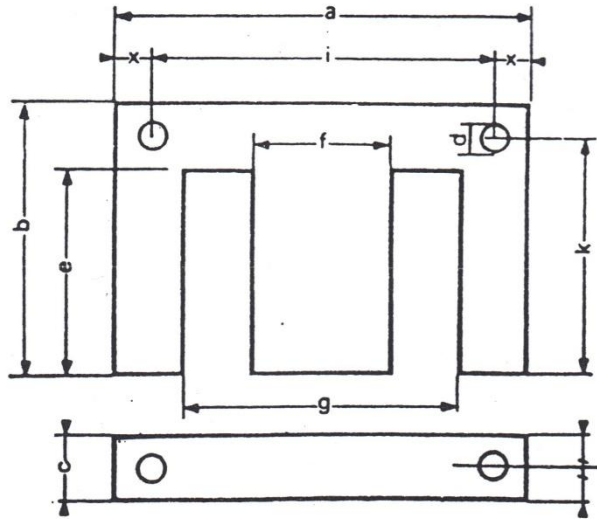
$$Y_{1ak} = 0.00095 S$$

$$G_{\pi 1} = 0,00042 S$$

$$L_{\mu 1} = 3,638 H$$

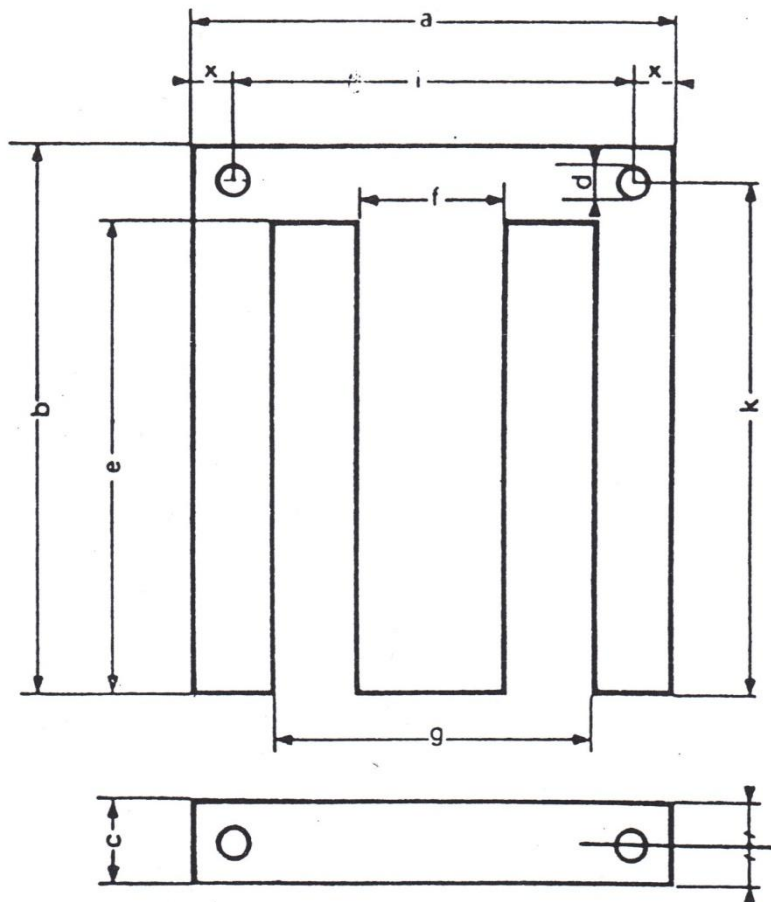
9^ο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

| | |
|---------------|--|
| Πίνακας Π1 | Μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες) για μετασχηματιστές |
|---------------|--|



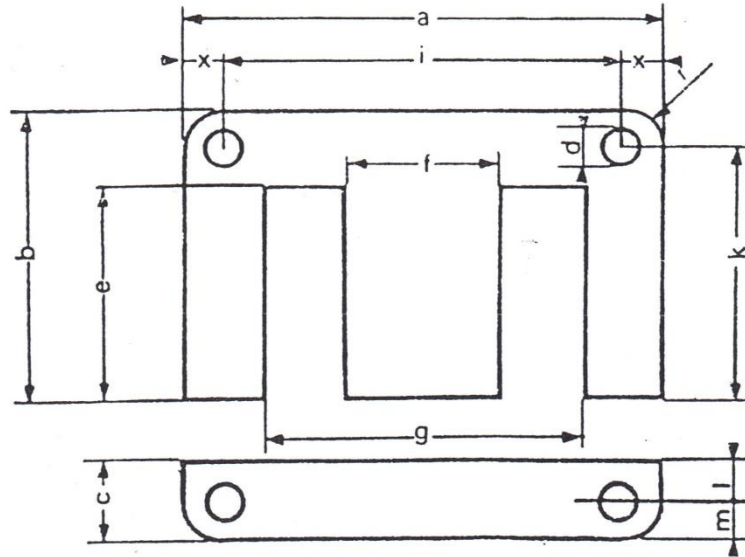
| Τύπος | a | b | c | d | e | f | g | i | k | Διάκενο |
|---------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|--------|---------------------|
| EI 30 | 30 | 20 | 5 | - | 15 | 10 | 20 | - | - | 0,45 |
| EI 38 | 38,4 | 25,6 | 6,4 | - | 19,2 | 12,8 | 25,6 | - | - | |
| EI 42 | 42 | 28 | 7 | 3,5 | 21 | 14 | 28 | 35 | 24,5 | |
| EI 45 | 45 | 30 | 7,5 | 3,1 | 22,5 | 15 | 30 | 37,5 | 26,25 | |
| EI 48 | 48 | 32 | 8 | 3,1 | 24 | 16 | 32 | 40 | 28 | |
| EI 52,5 | 52,5 | 35 | 8,75 | 3,4 | 26,25 | 17,5 | 35 | 43,75 | 30,625 | |
| EI 54 | 54 | 36 | 9 | 3,5 | 27 | 18 | 36 | 45 | 31,5 | |
| EI 60 | 60 | 40 | 10 | 3,6 | 30 | 20 | 40 | 50 | 35 | 0,5-0,8-0,9-0,55 |
| EI 66 | 66 | 44 | 11 | 4,6 | 33 | 22 | 44 | 55 | 38,5 | |
| EI 75 | 75 | 50 | 12,5 | 4,3 | 37,5 | 25 | 50 | 62,5 | 43,75 | 0,75-1,10-1,30-2,50 |
| EI 78 | 78 | 52 | 13 | 4,6 | 39 | 26 | 52 | 65 | 45,5 | |
| EI 84 | 84 | 56 | 14 | 4,5 | 42 | 28 | 56 | 70 | 49 | 1,60-1,30-0,75 |
| EI 96 | 96 | 64 | 16 | 4,6 | 48 | 32 | 64 | 80 | 56 | 1,25-2,20-0,8 |
| EI 105 | 105 | 70 | 17,5 | 5,5 | 52,5 | 35 | 70 | 87,5 | 61,25 | |
| EI 108 | 108 | 72 | 18 | 5,6 | 54 | 36 | 72 | 90 | 63 | 1,65-1,75-2 |
| EI 120 | 120 | 80 | 20 | 7 | 60 | 40 | 80 | 100 | 70 | 1,85-1,90-4,10 |
| EI 126 | 126 | 84 | 21 | 6,5 | 63 | 42 | 84 | 105 | 73,5 | |
| EI 150 | 150 | 100 | 25 | 9,1 | 75 | 50 | 100 | 125 | 87,5 | 4,40-5,30-6,20-4,20 |
| EI 180 | 180 | 120 | 30 | 9 | 90 | 60 | 120 | 150 | 105 | |
| EI 192 | 192 | 128 | 32 | 11 | 96 | 64 | 128 | 160 | 112 | 6,20-3,70 |
| EI 240 | 240 | 160 | 40 | 11,5 | 120 | 80 | 160 | 200 | 140 | |

| | |
|---------------|--|
| Πίνακας Π2 | Μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες) για μετασχηματιστές |
|---------------|--|



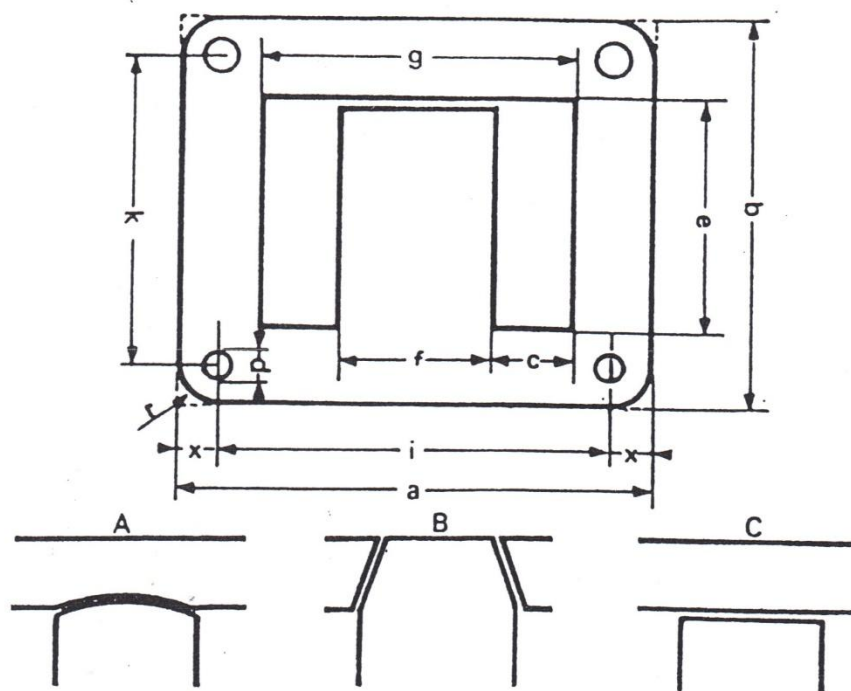
| Τύπος | a | b | c | d | e | f | g | i | k |
|---------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|--------|
| 60x80 | 60 | 70 | 10 | 3,6 | 60 | 20 | 40 | 50 | 65 |
| 60x90 | 60 | 80 | 10 | 3,6 | 70 | 20 | 40 | 50 | 75 |
| 66x88 | 66 | 77 | 11 | 4,6 | 66 | 22 | 44 | 55 | 71,5 |
| 84x102 | 84 | 88 | 14 | 4,6 | 74 | 28 | 56 | 70 | 81 |
| 84x112 | 84 | 98 | 14 | 4,6 | 84 | 28 | 56 | 70 | 91 |
| 96x143 | 95,4 | 127,2 | 15,9 | 5,6 | 111,3 | 31,8 | 63,6 | 79,5 | 119,25 |
| 108x144 | 108 | 126 | 18 | 5,6 | 107,8 | 36 | 72 | 90 | 117 |
| 108x162 | 108 | 144 | 18 | 5,6 | 126 | 36 | 72 | 90 | 135 |
| 126x168 | 126 | 146,8 | 21 | 6,50 | 125,8 | 42 | 84 | 105 | 136,3 |
| 126x189 | 126 | 168 | 21 | 6,50 | 147 | 42 | 84 | 105 | 157,5 |
| 150x200 | 150 | 174,8 | 25 | 9,10 | 149,8 | 50 | 100 | 125 | 162,3 |
| 180x240 | 180 | 210 | 30 | 9 | 179,8 | 60 | 120 | 150 | 194,8 |
| 180x270 | 180 | 240 | 30 | 9 | 209,8 | 60 | 120 | 150 | 224,8 |
| 240x320 | 240 | 280 | 40 | 11,5 | 240 | 80 | 160 | 200 | 260 |

| | |
|---------------|--|
| Πίνακας Π3 | Μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες) για μετασχηματιστές |
|---------------|--|



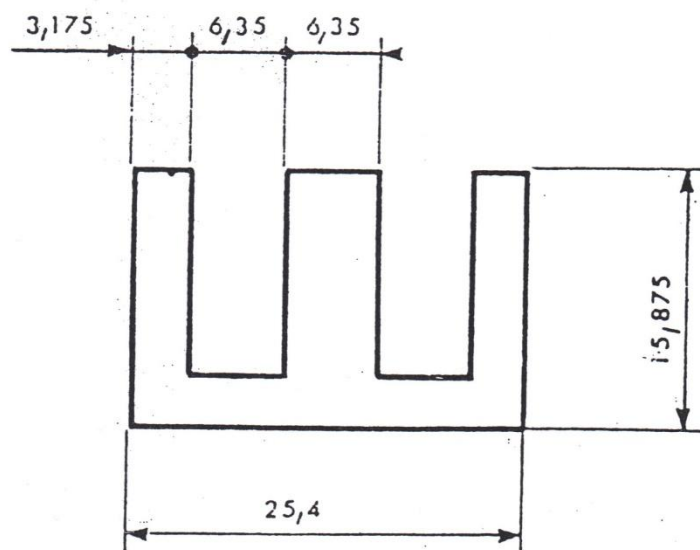
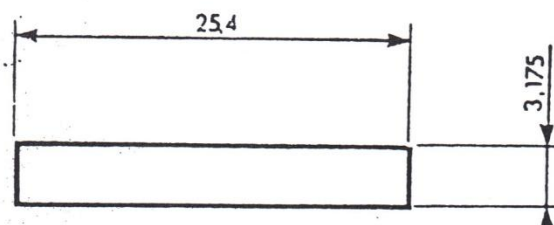
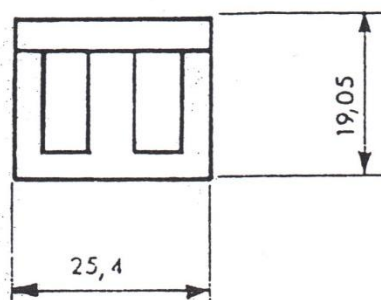
| Τύπος | a | b | c | d | e | f | g | i | k | r | l | m |
|-----------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|-------|-----|------|------|
| 15,8x19,2 | 19,2 | 13,4 | 2,4 | - | 11 | 4,8 | 14,4 | - | - | 0 | - | - |
| 28x32 | 32 | 23,5 | 4,5 | - | 19 | 9 | 23 | - | - | 0 | - | - |
| 35x44 | 44 | 28 | 7 | 3,3 | 21 | 14 | 30 | 37 | 24,5 | 0 | 3,5 | 3,5 |
| 38x44 | 44 | 30 | 8 | 3,1 | 22 | 14 | 30 | 36 | 26 | 0 | 4 | 4 |
| 63x73 | 73 | 52 | 11 | 4,6 | 41 | 22 | 52,4 | 63 | 47 | 5 | 6 | 5 |
| 75x75 | 75 | 65 | 10 | 4,6 | 55 | 20 | 55 | 65 | 60 | 5 | 5 | 5 |
| 86,5x139 | 139 | 61 | 25,5 | 6,5 | 35,5 | 51 | 88 | 123 | 53 | 4 | 17,5 | 8 |
| 90x90 | 90 | 77,5 | 12,5 | 5,1 | 65 | 25 | 65 | 77 | 71 | 6,5 | 6 | 6,5 |
| 90x155 | 90 | 142 | 13 | 5,1 | 129 | 27 | 64 | 77 | 135,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 |
| 91x108 | 108 | 72 | 19 | 5,1 | 53 | 32 | 70 | 89 | 62,5 | 0 | 9,5 | 9,5 |
| 92x105 | 92 | 93,5 | 11,5 | 4,1 | 82 | 23 | 69 | 80,5 | 87,75 | 0 | 5,75 | 5,75 |
| 93x107 | 93 | 95,5 | 11,5 | 5,1 | 80 | 31 | 62 | 80 | 89 | 0 | 5,75 | 5,75 |
| 100x121 | 100 | 106 | 15 | 6,2 | 91 | 30 | 70 | 85 | 98,5 | 6 | 7,5 | 7,5 |
| 104x104 | 104 | 90 | 14 | 5,2 | 76 | 28 | 76 | 88 | 82 | 8 | 6 | 8 |
| 104x104 | 104 | 89 | 15 | 5,6 | 74 | 30 | 74 | 88 | 81 | 8 | 7 | 8 |
| 110x127 | 127 | 92,6 | 17,4 | 4,6 | 75,7 | 31 | 95,2 | 111,1 | 84,6 | 0 | 9,4 | 8 |
| 125x125 | 125 | 107 | 18 | 6,6 | 89 | 36 | 89 | 107 | 98 | 0 | 9 | 9 |
| 150x150 | 150 | 128 | 22 | 6,6 | 106 | 44 | 106 | 130 | 118 | 0 | 12 | 10 |
| 175x205 | 205 | 150 | 25 | - | 125 | 72 | 150 | - | - | 10 | 15 | 10 |
| 180x180 | 180 | 155 | 25 | 9,1 | 130 | 50 | 130 | 155 | 142,5 | 5 | 12,5 | 12,5 |
| 197x268 | 268 | 150 | 47 | 12,5 | 104 | 92 | 176 | 148 | 131 | 0 | 23,5 | 23,5 |
| 200x210 | 210 | 175 | 25 | 9,1 | 150 | 50 | 160 | 192 | 166 | 9,5 | 16 | 9 |

| | |
|---------------|--|
| Πίνακας Π4 | Μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες) για μετασχηματιστές |
|---------------|--|



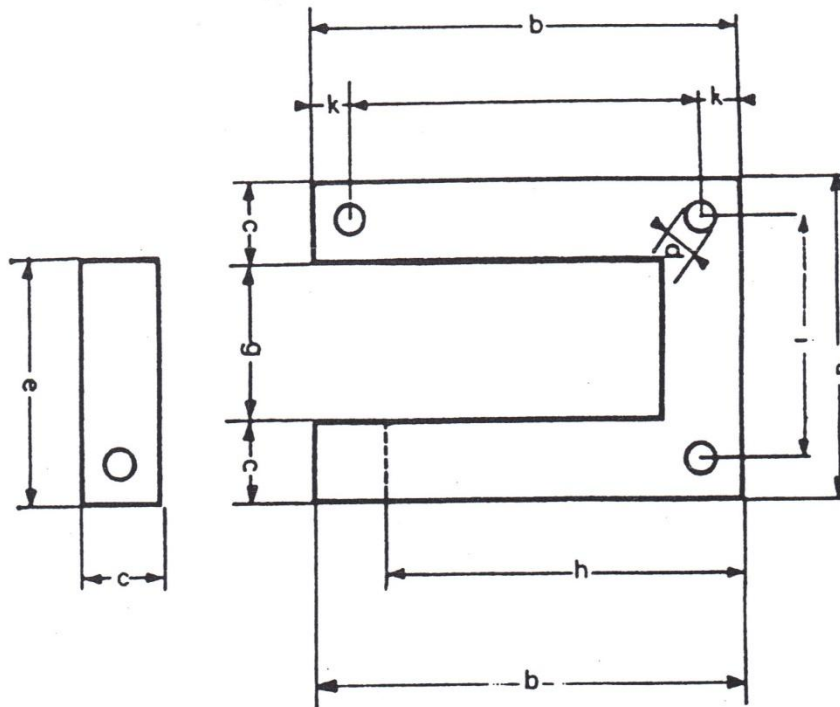
| Τύπος | a | b | c | d | e | f | g | i | k | Διατομή | r |
|---------|------|------|------|-----|------|----|------|-------|-----------|---------|-----|
| 42x46 | 26,8 | 41,7 | 3,5 | - | 32 | 10 | 17 | - | - | 8 | 0 |
| 42x42 | 42 | 42 | 9 | 3,5 | 30 | 12 | 30 | - | 36 | C | 2,5 |
| 42x42 | 42 | 42 | 9 | 2,6 | 30 | 12 | 30 | 36 | 36 | C | 2,5 |
| 44x53 | 44 | 53 | 8 | 3,6 | 39 | 14 | 30 | - | voic plan | B | 6 |
| 46x50 | 46 | 50 | 8 | 4 | 35 | 15 | 31 | - | 44 | A | 0 |
| 46x50 | 46 | 50 | 8 | 4 | 35 | 15 | 31 | - | 44 | C | 0 |
| 47x99 | 47 | 99 | 10 | 3,1 | 79 | 15 | 35 | 40 | 92 | A | 3,5 |
| 55x55 | 55 | 55 | 10,5 | 3,5 | 38 | 17 | 38 | 47 | 47 | C | 3 |
| 55x55 | 55 | 55 | 10,5 | 3,5 | 38 | 17 | 38 | 47 | 47 | B | 3 |
| 65x65 | 65 | 65 | 12,5 | 4,5 | 45 | 20 | 45 | 56 | 56 | C | 3 |
| 75x75 | 75 | 75 | 17,5 | 4,6 | 55 | 20 | 55 | 65 | 65 | B | 5 |
| 90x88 | 90 | 88 | 20 | 5,1 | 63 | 25 | 65 | 77 | 77 | B | 6 |
| 90x90 | 90 | 90 | 20 | 5,2 | 65 | 25 | 65 | 77 | 77 | B | 6,5 |
| 100x121 | 100 | 121 | 20 | 6,2 | 91 | 30 | 70 | 85 | 106 | A | 6 |
| 110x97 | 110 | 97 | 25 | 4,6 | 67 | 30 | 80 | 95 | 82 | A | 10 |
| 127x110 | 127 | 110 | 32,1 | 4,6 | 76,2 | 31 | 95,2 | 111,1 | 94 | B | 0 |
| 138x118 | 138 | 118 | 27 | 6,5 | 74 | 40 | 94 | 116 | 96 | B | 0 |
| 150x150 | 150 | 150 | 31 | 6,6 | 106 | 44 | 106 | 130 | 130 | B | 0 |

| | |
|---------------|--|
| Πίνακας Π5 | Μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες) για μετασχηματιστές |
|---------------|--|



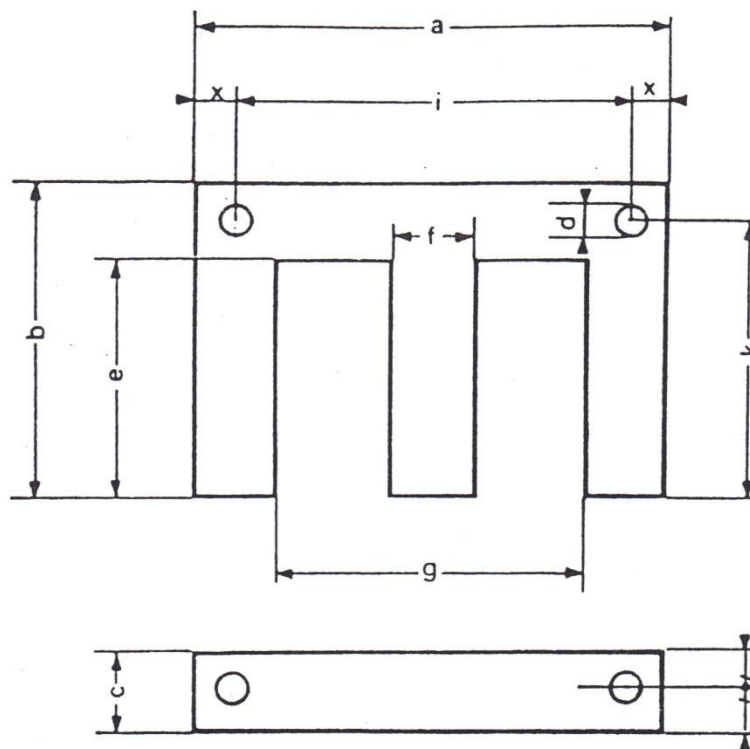
25,4 × 19,05

| | |
|---------------|--|
| Πίνακας Π6 | Μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες) ορθογώνια για μετασχηματιστές |
|---------------|--|



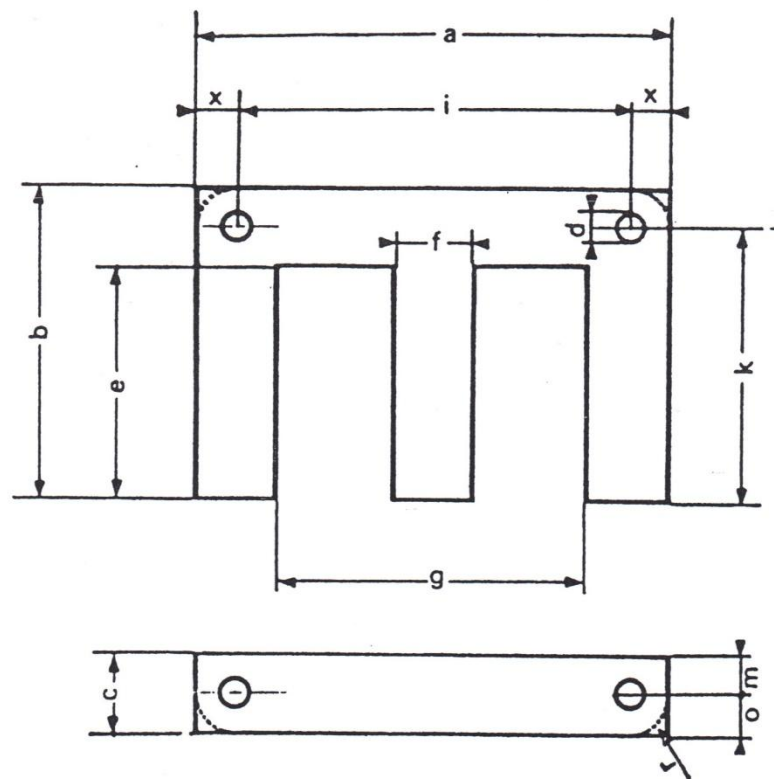
| Τύπος | a | b | c | d | e | g | h | i | k |
|---------|-----|-----|----|-------|------|----|-----|-----|------|
| 55x90 | 55 | 90 | 15 | 5,10 | 38,5 | 25 | 74 | 40 | 7,5 |
| 60x100 | 60 | 80 | 20 | 4,5 | 60 | 20 | | 40 | 10 |
| 75x125 | 75 | 100 | 25 | 5,10 | 75 | 25 | | 45 | 12,5 |
| 78x120 | 78 | 120 | 28 | 7,10 | | 22 | | 50 | 14 |
| 110x180 | 110 | 180 | 30 | 10,10 | 80 | 50 | 150 | 80 | 15 |
| 140x220 | 140 | 220 | 35 | 12 | 105 | 70 | 185 | 105 | 17,5 |
| 150x240 | 150 | 195 | 45 | 12 | 150 | 60 | | 105 | 22,5 |

| | |
|---------------|--|
| Πίνακας Π6 | Μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες) για τριφασικούς μετασχηματιστές |
|---------------|--|



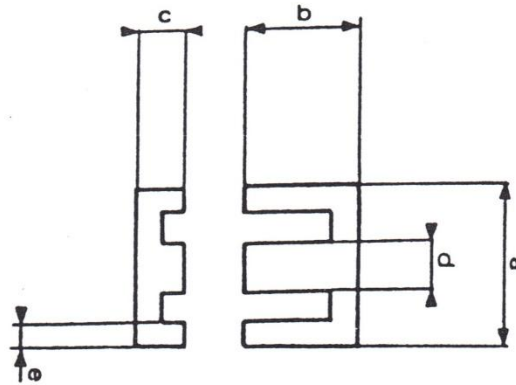
| Τύπος | a | b | c | d | e | f | g | i | k |
|----------|-----|-----|----|------|-----|----|-----|-----|------|
| EI 126 T | 126 | 84 | 21 | 6,5 | 63 | 21 | 84 | 105 | 73,5 |
| EI 150 T | 150 | 100 | 25 | 9,1 | 75 | 25 | 100 | 125 | 87,5 |
| EI 180 T | 180 | 120 | 30 | 9 | 90 | 30 | 120 | 150 | 105 |
| EI 192 T | 192 | 128 | 32 | 11 | 96 | 32 | 128 | 160 | 112 |
| EI 240 T | 240 | 160 | 40 | 11,5 | 120 | 40 | 160 | 200 | 140 |
| EI 300 T | 300 | 225 | 69 | 20 | 156 | 59 | 182 | 200 | 195 |

| | |
|---------------|--|
| Πίνακας Π7 | Μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες) E J για μετασχηματιστές |
|---------------|--|



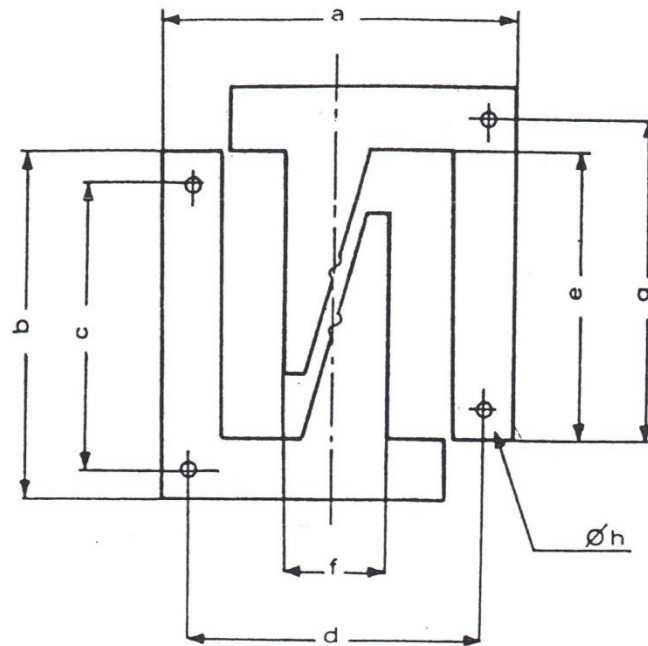
| Τύπος | a | b | c | d | e | f | g | i | k | m | o | r |
|--------|-----|-------|------|------|-----|----|-----|-----|-------|------|------|---|
| EI 130 | 130 | 87,5 | 17,5 | 6,8 | 70 | 35 | 95 | 115 | 80 | 10 | 7,5 | |
| EI 150 | 150 | 100 | 20 | 7,8 | 80 | 40 | 110 | 135 | 92,5 | 12,5 | 7,5 | |
| EI 170 | 170 | 117,5 | 22,5 | 8 | 95 | 45 | 125 | 150 | 107,5 | 12,5 | 10 | |
| EI 174 | 174 | 116 | 29 | 10,5 | 87 | 58 | 116 | 145 | 101,5 | 14,5 | 14,5 | |
| EI 195 | 195 | 152,5 | 27,5 | 11 | 125 | 55 | 140 | 170 | 140 | 15 | 12,5 | |

| | |
|---------------|---|
| Πίνακας Π8 | Μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες) 2E για μετασχηματιστές |
|---------------|---|



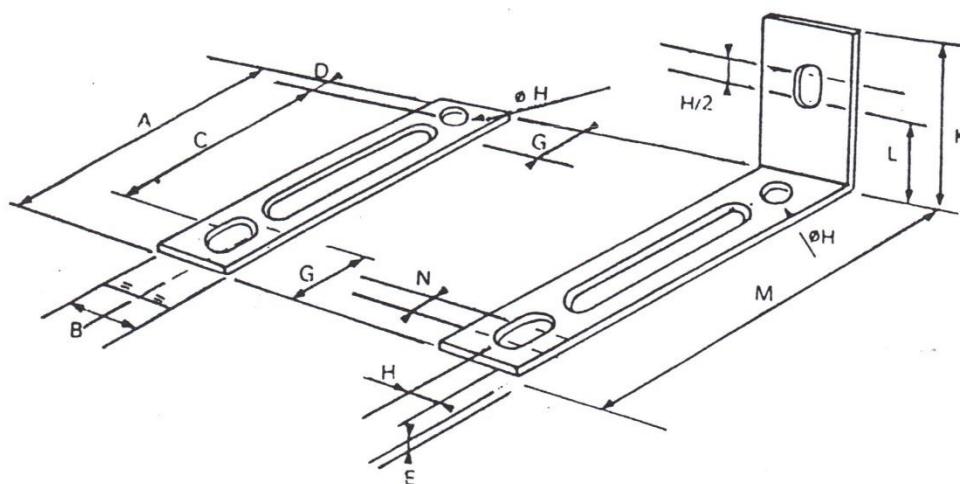
| Τύπος | a | b | c | d | c | |
|-----------|------|------|-----|-----|-----|--|
| 19,1x25,6 | 25,6 | 12,8 | 6,3 | 6,4 | 3,2 | |
| 20x20 | 20 | 14 | 6 | 6 | 3 | |
| 25x25 | 25 | 17 | 8 | 76 | 38 | |

| | |
|---------------|--|
| Πίνακας Π9 | Μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες) F για μετασχηματιστές |
|---------------|--|



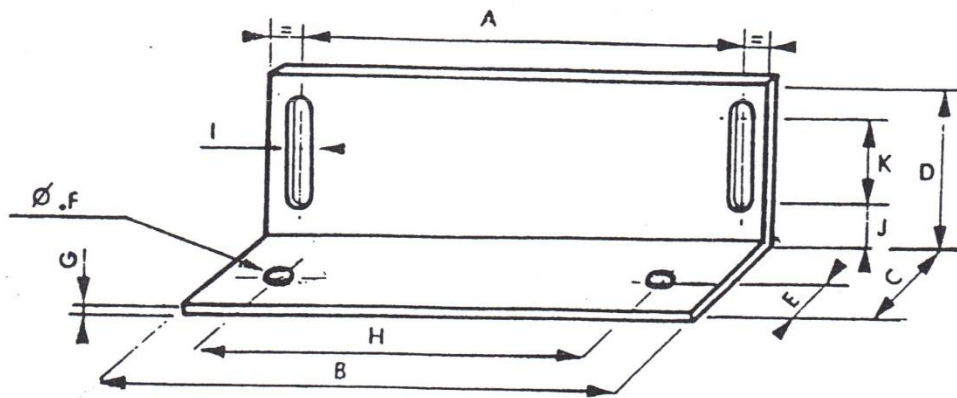
| Τύπος | a | b | c | d | e | f | g | h |
|---------|------|----|------|------|------|------|-------|-----|
| 55x55 | 55 | 55 | 45,5 | 45,5 | 45,5 | 17 | 50,25 | 3,5 |
| 25x30 | 30 | 25 | - | - | 20 | 10 | - | - |
| 32x38,4 | 38,4 | 32 | - | - | 25,6 | 12,8 | - | - |
| 35x42 | 42 | 35 | 28 | 35 | 28 | 14 | 31,4 | 3,5 |
| 40x48 | 48 | 40 | 32 | 40 | 32 | 16 | 36 | 3,1 |
| 50x60 | 60 | 50 | 40 | 50 | 40 | 20 | 45 | 3,6 |

| | |
|----------------|---|
| Πίνακας Π10 | Ευθύγραμμο και γωνιακά στηρίγματα για την στερέωση και εγκατάσταση των μετασχηματιστών |
|----------------|---|



| Κύκλωμα | A | B | C | D | E | G | H/2 | H | K | L | M | N |
|---------|-------|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|------|-------|------|
| 52,5X44 | 43,75 | 8,5 | 35 | 4,35 | 0,9 | 9 | 1,7 | 3,4 | | | | 0,85 |
| 60X50 | 50 | 10 | 40 | 5 | 0,9 | 12 | 1,85 | 3,7 | 17,7 | 12,1 | 51 | 0,92 |
| 66X55 | 55 | 11 | 44 | 5,5 | 1 | 13 | 2,4 | 4,8 | 22,3 | 15,1 | 56 | 1,2 |
| 75X62,5 | 62,5 | 12,5 | 50 | 6,25 | 1 | 14,9 | 2,4 | 4,8 | 22,5 | 15,3 | 63,7 | 1,2 |
| 84X70 | 70 | 14 | 56 | 7 | 1,2 | 16,4 | 2,4 | 4,8 | 22,5 | 15,3 | 71,2 | 1,2 |
| 96X80 | 80 | 16 | 64 | 8 | 1,2 | 18,8 | 2,9 | 5,8 | 27,3 | 18,6 | 81,5 | 1,45 |
| 108X90 | 90 | 18 | 72 | 9 | 1,2 | 21,2 | 2,9 | 5,8 | 28,3 | 19,6 | 91,6 | 1,45 |
| 120X100 | 100 | 20 | 80 | 10 | 1,2 | 23,6 | 4 | 5,8 | 39,1 | 22,1 | 101,8 | 2 |
| 126X105 | 105 | 21 | 84 | 10,5 | 1,2 | 24,6 | 3,4 | 6,8 | 32,6 | 22,4 | 106,8 | 1,7 |
| 150X125 | 125 | 25 | 100 | 12,5 | 1,5 | 29,4 | 4,3 | 8,6 | 41,6 | 28,7 | 127,5 | 2,15 |
| 180X150 | 150 | 30 | 120 | 15 | 3 | 36 | 4,75 | 9,5 | 44,7 | 30,5 | 153 | 4,75 |
| 240X200 | 200 | 40 | 160 | 20 | 3 | 47 | 6 | 12 | 55,5 | 37,5 | 203 | 6 |

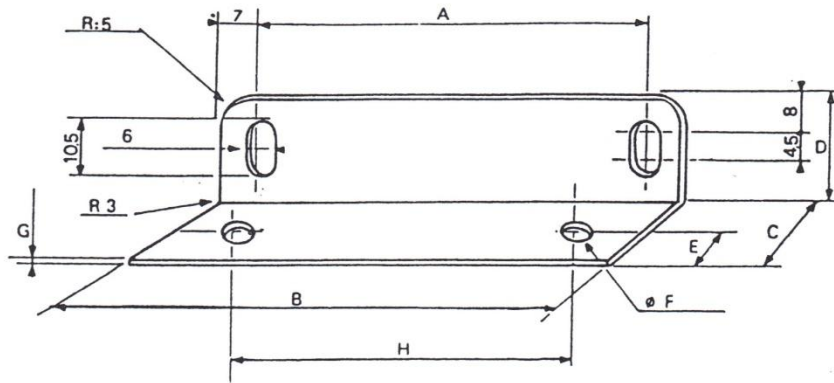
| | |
|----------------|---|
| Πίνακας Π11 | Ορθογώνια στηρίγματα για την εγκατάσταση των μετασχηματιστών |
|----------------|---|



| Τύπος | Κύκλωμα | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|-------|---------|-------|-----|------|----|------|---|-----|-----|---|------|----|
| 108 | 90x108 | 90 | 180 | 21,5 | 45 | 9 | 6 | 1,5 | 90 | 7 | 18 | 17 |
| 126 | 105x126 | 105 | 126 | 25 | 44 | 10,5 | 7 | 1,5 | 105 | 7 | 17 | 17 |
| 150 | 125x150 | 127,5 | 150 | 28,5 | 48 | 12 | 9 | 1,5 | 125 | 7 | 22 | 17 |
| 180 | 150x180 | 150 | 180 | 35 | 50 | 15 | 9 | 2 | 150 | 9 | 22,5 | 17 |

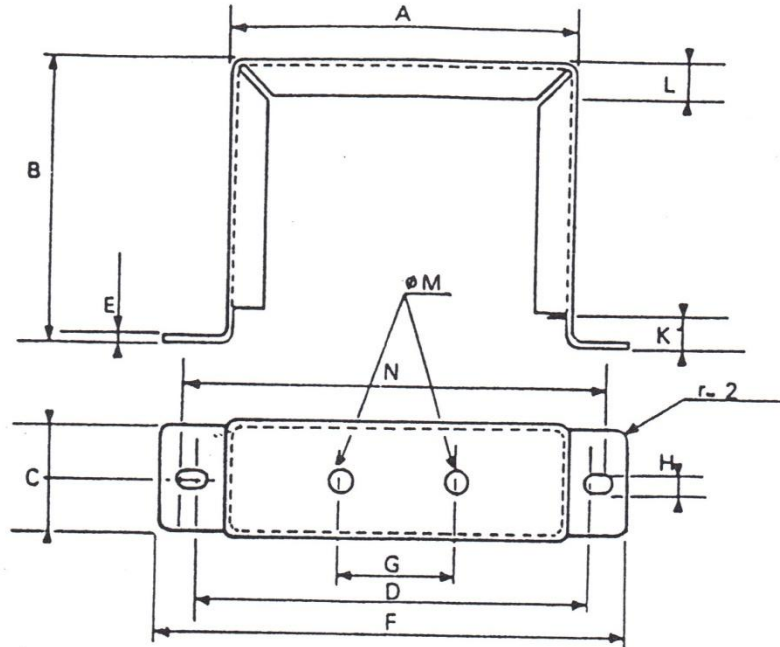
υλικό : ψευδάργυρος

| | |
|----------------|---|
| Πίνακας Π12 | Γωνιακά ελάσματα για την εγκατάσταση των μετασχηματιστών |
|----------------|---|



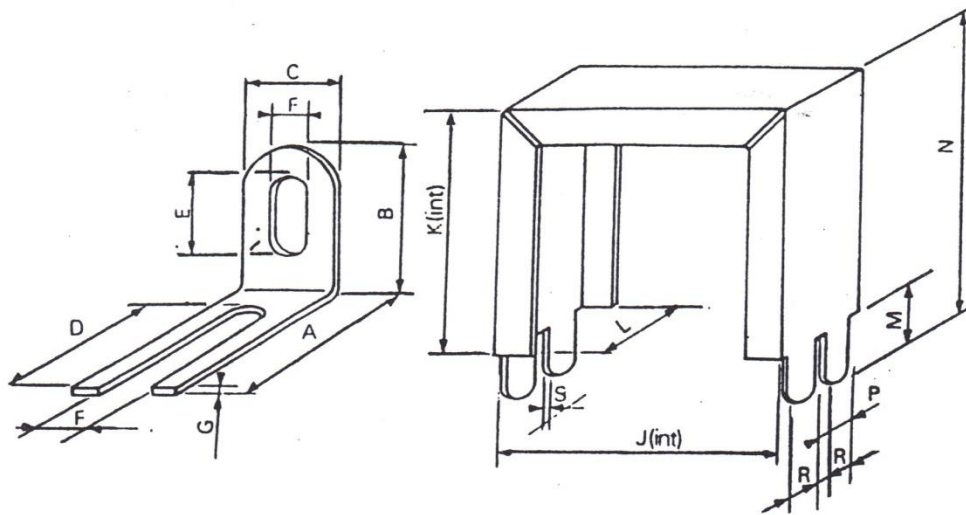
| Τύπος | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---------|-----|-----|-------|-------|-------|------|-----|-------|
| 50X60 | 46 | 60 | 12,50 | 20 | 5 | 3,70 | 1 | 50 |
| 62,5X75 | 61 | 75 | 15,50 | 22,50 | 6,50 | 5 | 1 | 62,50 |
| 70X84 | 70 | 84 | 17,50 | 21 | 7 | 5 | 1 | 70 |
| 80X96 | 82 | 96 | 18 | 23,50 | 8 | 6 | 1 | 80 |
| 90X108 | 94 | 108 | 21,50 | 25 | 9 | 6 | 1 | 90 |
| 105X126 | 112 | 126 | 25 | 26,50 | 10,50 | 7 | 1,2 | 105 |
| 125X150 | 136 | 150 | 28,50 | 26,50 | 12 | 9,50 | 1,2 | 125 |
| 150X180 | 166 | 180 | 35 | 30 | 15 | 9 | 1,2 | 150 |

| | |
|----------------|--|
| Πίνακας Π13 | Περιβλήματα για την εγκατάσταση των μετασχηματιστών |
|----------------|--|



| Κύκλωμα | A | B | C | D | E | F | G | H | K | L | M | N |
|---------|------|------|------|----|-----|------|----|-----|-----|-----|-----|------|
| 30x25 | 30,5 | 25,4 | 10,2 | 39 | 0,5 | 48 | 20 | 3,5 | 2,5 | 3,5 | 3,2 | 42 |
| 32x28 | 32 | 28 | 9,2 | 40 | 0,6 | 49 | | 3,5 | 2,5 | 3,5 | | 43 |
| 32x28 | 32 | 28 | 13,2 | 40 | 0,6 | 49 | 20 | 3,5 | 2,5 | 3,5 | 3,2 | 43 |
| 32x28 | 32 | 28 | 14,4 | 40 | 0,6 | 49 | 20 | 3,5 | 2,5 | 3,5 | 3,2 | 43 |
| 36x30 | 36,5 | 30,3 | 12,2 | 45 | 0,5 | 54 | 20 | 3,5 | 3 | 4 | 3,2 | 48 |
| 42x35 | 42,5 | 35,3 | 14,2 | 52 | 0,8 | 61 | 25 | 3,5 | 3,5 | 5 | 4,2 | 55 |
| 44x37 | 44 | 37 | 16,8 | 52 | 0,8 | 62 | 25 | 3,5 | 3,7 | 4,7 | 4,2 | 55 |
| 48x40 | 48,5 | 40,3 | 16,2 | 58 | 0,8 | 67 | 25 | 3,5 | 4 | 5,5 | 4,2 | 61 |
| 52,5x44 | 52,5 | 44 | 18 | 63 | 0,8 | 74,5 | 25 | 4,1 | 4 | 5 | 4,2 | 68,1 |
| 54x45 | 54,5 | 45,3 | 18,3 | 64 | 0,8 | 73 | 25 | 3,5 | 4,5 | 6 | 4,2 | 67 |
| 60x50 | 60,5 | 50,3 | 20,8 | 73 | 1 | 85 | 25 | 4,5 | 5 | 6,5 | 4,2 | 77 |
| 60x50 | 60,5 | 50,3 | 25,8 | 73 | 1 | 85 | 25 | 4,5 | 5 | 6,5 | 4,2 | 77 |
| 60x50 | 60,5 | 50,3 | 30 | 73 | 1 | 85 | 25 | 4,5 | 5 | | 4,2 | 77 |
| 66x55 | 66,5 | 55,4 | 22,5 | 79 | 1 | 91 | 25 | 4,5 | 5,5 | 7,5 | 4,2 | 83 |
| 75x62,5 | 76,5 | 63 | 25,8 | 90 | 1 | 105 | 25 | 5,5 | 6 | 8,5 | 4,2 | 95 |
| 75x62,5 | 75,5 | 63 | 30 | 90 | 1 | 105 | 25 | 5,5 | 6 | | 4,2 | 95 |

| | |
|----------------|---|
| Πίνακας Π14 | Γωνιακά ελάσματα και περιβλήματα για την εγκατάσταση των μετασχηματιστών |
|----------------|---|



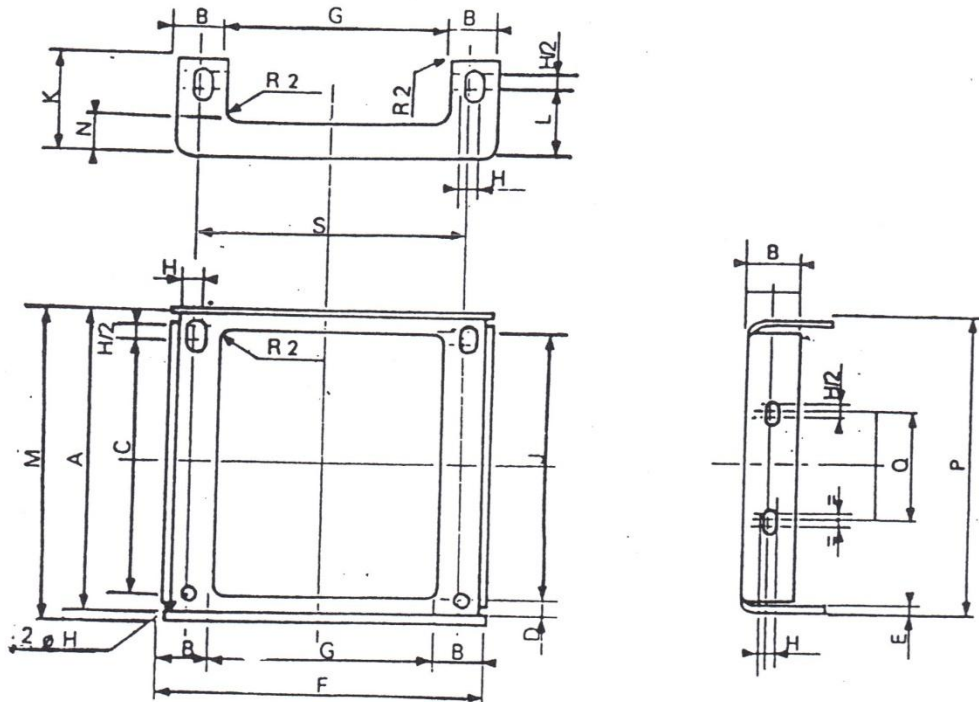
Γωνιακά ελάσματα

| Κύκλωμα | A | B | C | D | E | F | G |
|---|-------|-------|-------|-------|----|------|------|
| μικρά μοντέλα 50x60 - 75x62,5 70x84 - 80x96 | 17 | 14 | 10,50 | 10,50 | 8 | 4,20 | 1,20 |
| Μεγάλα Μοντέλα 90x108 - 105x126 125x150 | 21,80 | 19,50 | 12,50 | 15 | 10 | 5,30 | 1,20 |

Περιβλήματα

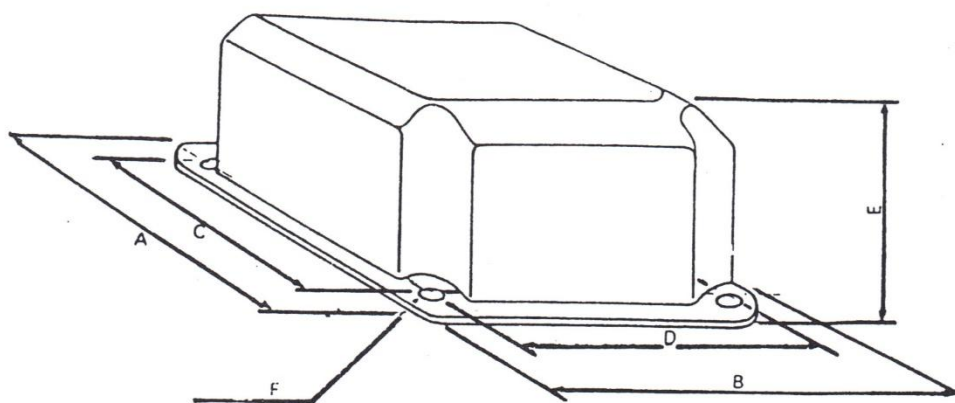
| Κύκλωμα | J | K | L | M | N | P | R | S |
|-----------|-------|-------|-----------|------|-------|---------------------|------|------|
| 15,8x19,2 | 19,50 | 15,0 | 5,10 | 5,00 | 20,50 | 1 Γλοσίδιο | 2,80 | 3/10 |
| 15,8x19,2 | 19,50 | 15,50 | 7,40 | 6,00 | 22 | 2,80 | 2,10 | 6/10 |
| 28x32 | 32 | 27 | 9,20 | 8,50 | 36 | 3 | 5 | 6/10 |
| 28x32 | 32 | 26 | 13,20 | 8,50 | 34 | 3 | 5 | 6/10 |
| 28x32 | 32 | 26 | 14,50 | 8,50 | 34 | 3 | 5 | 6/10 |
| 28x32 | 28 | 30,80 | 13,2/14,5 | 8,40 | 39,2 | 4 | 4,5 | 6/10 |
| 38,5x32 | 38,50 | 32 | 15 | 8 | 40 | 1 Γλοσίδιο | 6 | 6/10 |
| 44x38 | 44 | 34 | 17,20 | 8 | 44,50 | Πλαϊνό γλοσίδιο : 4 | | 6/10 |

| | |
|----------------|---|
| Πίνακας Π15 | Στηρίγματα για την εγκατάσταση των μετασχηματιστών |
|----------------|---|



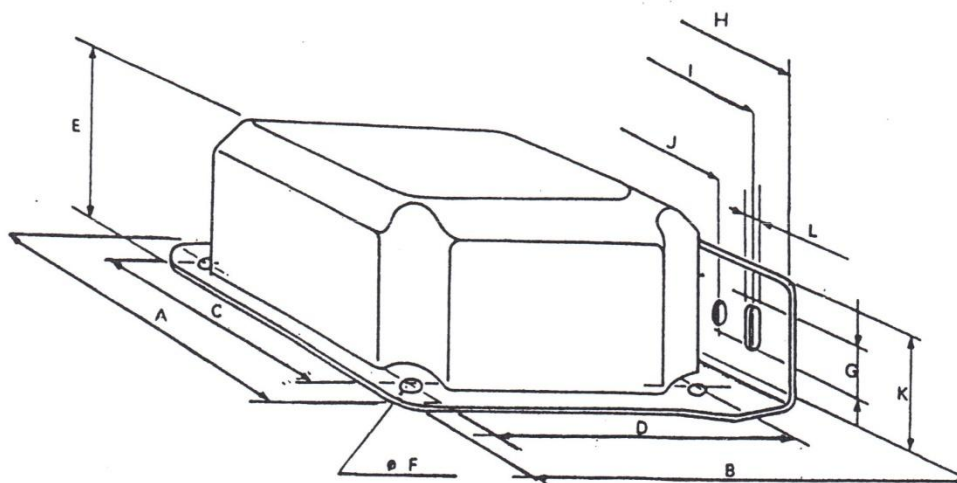
| Κύβλιωμα | A | B | C | D | E | F | G | H | H/2 | J | K | L | M | N | P | O | S |
|----------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|--------|------|------|-------|----|------|-----|------|
| 60x50 | 50 | 10 | 40 | 5 | 1,2 | 60 | 40 | 3,7 | 1,85 | 41,85 | 17,7 | 12,1 | 51,2 | 6 | 52,4 | 20 | 50 |
| 66x55 | 55 | 11 | 44 | 5,5 | 1,2 | 66 | 44 | 4,8 | 2,4 | 46,4 | 22,3 | 15,1 | 56,2 | 6 | 57,4 | 25 | 55 |
| 75x62,5 | 62,5 | 12,5 | 50 | 6,25 | 1,5 | 75 | 50 | 4,8 | 2,4 | 52,4 | 22,5 | 15,3 | 64 | 6 | 65,5 | 28 | 62,5 |
| 84x70 | 70 | 14 | 56 | 7 | 1,5 | 84 | 56 | 4,8 | 2,4 | 58,4 | 22,5 | 15,3 | 71,5 | 7 | 73 | 30 | 70 |
| 96x80 | 60 | 16 | 64 | 8 | 2 | 96 | 64 | 5,8 | 2,9 | 66,9 | 27,3 | 18,6 | 82 | 7 | 84 | 38 | 80 |
| 108x90 | 90 | 18 | 72 | 9 | 2 | 108 | 72 | 5,8 | 2,9 | 74,9 | 28,3 | 19,6 | 92 | 8 | 94 | 45 | 90 |
| 120x100 | 100 | 20 | 80 | 10 | 2 | 120 | 80 | 8 | 4 | 83,4 | 29,1 | 22,1 | 102 | 8 | 104 | 52 | 100 |
| 126x105 | 105 | 21 | 84 | 10,5 | 2 | 126 | 84 | 6,8 | 3,4 | 87,4 | 32,6 | 22,4 | 107 | 10 | 109 | 56 | 105 |
| 150x125 | 125 | 25 | 100 | 12,5 | 2 | 150 | 100 | 8,6 | 4,3 | 104,3 | 41,6 | 28,7 | 127,5 | 10 | 129 | 66 | 125 |
| 180x150 | 150 | 30 | 120 | 15 | 2 | 180 | 120 | 9,5 | 4,75 | 124,75 | 44,7 | 30,5 | 152,5 | 12 | 154 | 86 | 150 |
| 240x200 | 200 | 40 | 160 | 20 | 2 | 240 | 160 | 12 | 6 | 166 | 55,5 | 37,5 | 202 | 15 | 204 | 126 | 200 |

| | |
|----------------|--|
| Πίνακας Π17 | Καλύμματα (καπάκια) για μετασχηματιστές |
|----------------|--|



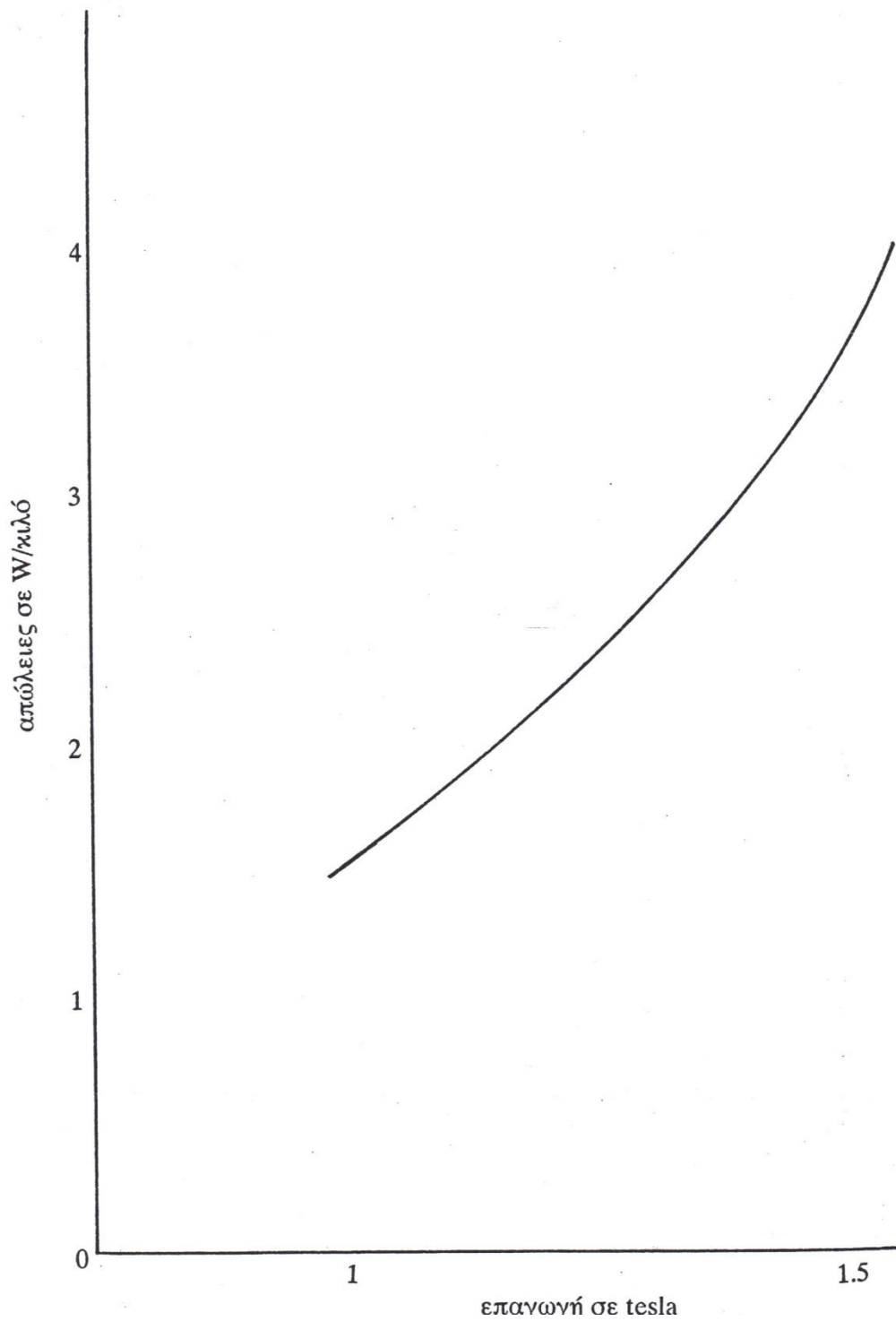
| Τύπος | A | B | C | D | E | Ø F |
|-----------|-----|------|------|-----|----|-----|
| 50x60 | 60 | 50 | 50 | 40 | 24 | 4 |
| 55x66 | | | | | | |
| 75x62,5 | 75 | 62,5 | 62,5 | 50 | 27 | 4,5 |
| 70x84 | 84 | 70 | 70 | 56 | 35 | 5,5 |
| 80x96 | 96 | 80 | 80 | 64 | 36 | 6 |
| 90x108 | 108 | 90 | 90 | 72 | 38 | 6 |
| 100x120 | | | | | | |
| 105x126 | 126 | 105 | 105 | 84 | 43 | 6,5 |
| 112,5x135 | | | | | | |
| 125x150 | 150 | 125 | 125 | 100 | 50 | 9 |
| 150x180 | 180 | 150 | 150 | 120 | 54 | 9 |

| | |
|----------------|---|
| Πίνακας Π18 | Καλύμματα με βάση για την τοποθέτηση (εγκατάσταση) των μετασχηματιστών |
|----------------|---|

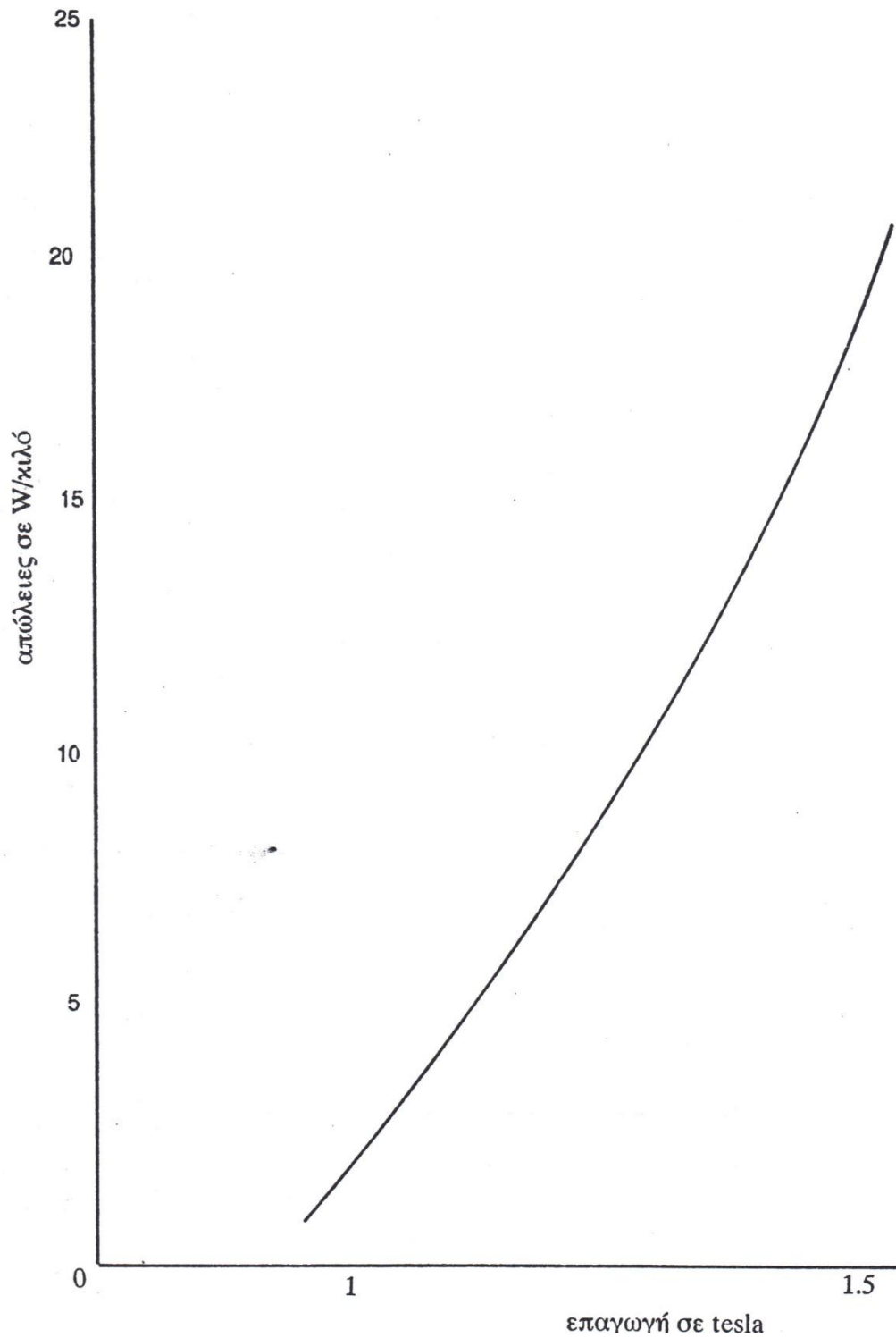


| Τύπος | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|-----------|-----|-----|------|-----|----|-----|----|------|-----|-----|------|-----|
| 50x60 | 60 | 57 | 50 | 40 | 24 | 4 | 8 | 75 | 60 | 43 | 15,5 | 4,5 |
| 55x66 | | | | | | | | | | | | |
| 75x62,5 | 75 | 69 | 62,5 | 50 | 27 | 4,5 | 8 | 89,5 | 75 | 55 | 16 | 5 |
| 70x84 | 84 | 74 | 70 | 56 | 35 | 5,5 | 10 | 98,5 | 84 | 60 | 18,5 | 5,5 |
| 80x96 | 96 | 87 | 80 | 64 | 36 | 6 | 10 | 111 | 96 | 72 | 17,5 | 6 |
| 90x108 | 108 | 95 | 90 | 72 | 38 | 6 | 11 | 123 | 108 | 84 | 22 | 6 |
| 100x120 | | | | | | | | | | | | |
| 105x126 | 126 | 112 | 105 | 84 | 43 | 6,5 | 12 | 141 | 126 | 101 | 23 | 6 |
| 112,5x135 | | | | | | | | | | | | |
| 125x150 | 150 | 128 | 125 | 100 | 49 | 9 | 12 | 167 | 150 | 122 | 25 | 7 |
| 150x180 | | | | | | | | | | | | |

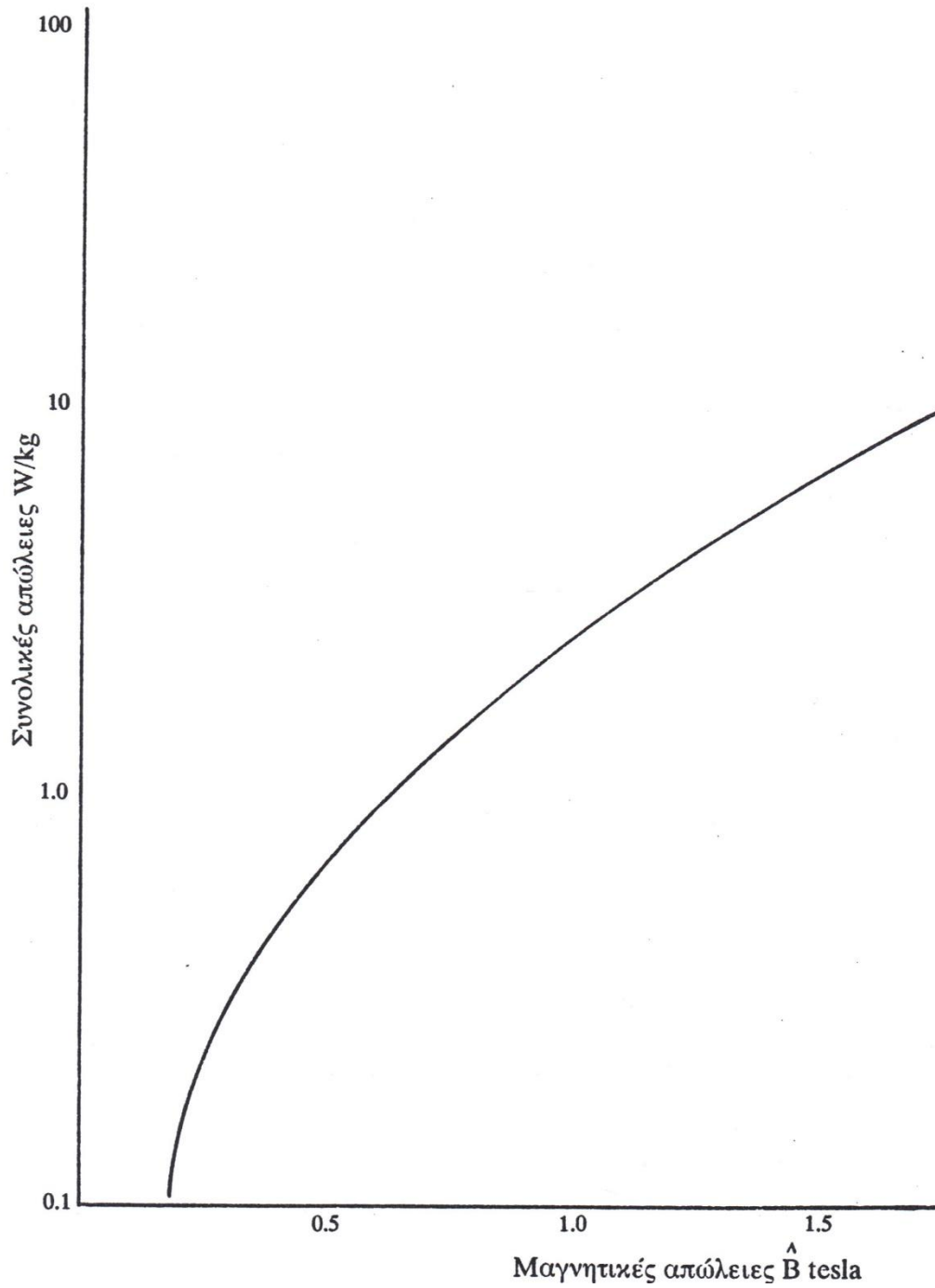
Τυπική καμπύλη απωλειών σε W/kg σε σχέση με την επαγωγή
για συχνότητα 50HZ, ελασμάτων Μετασχηματιστών F.E.V 160-50



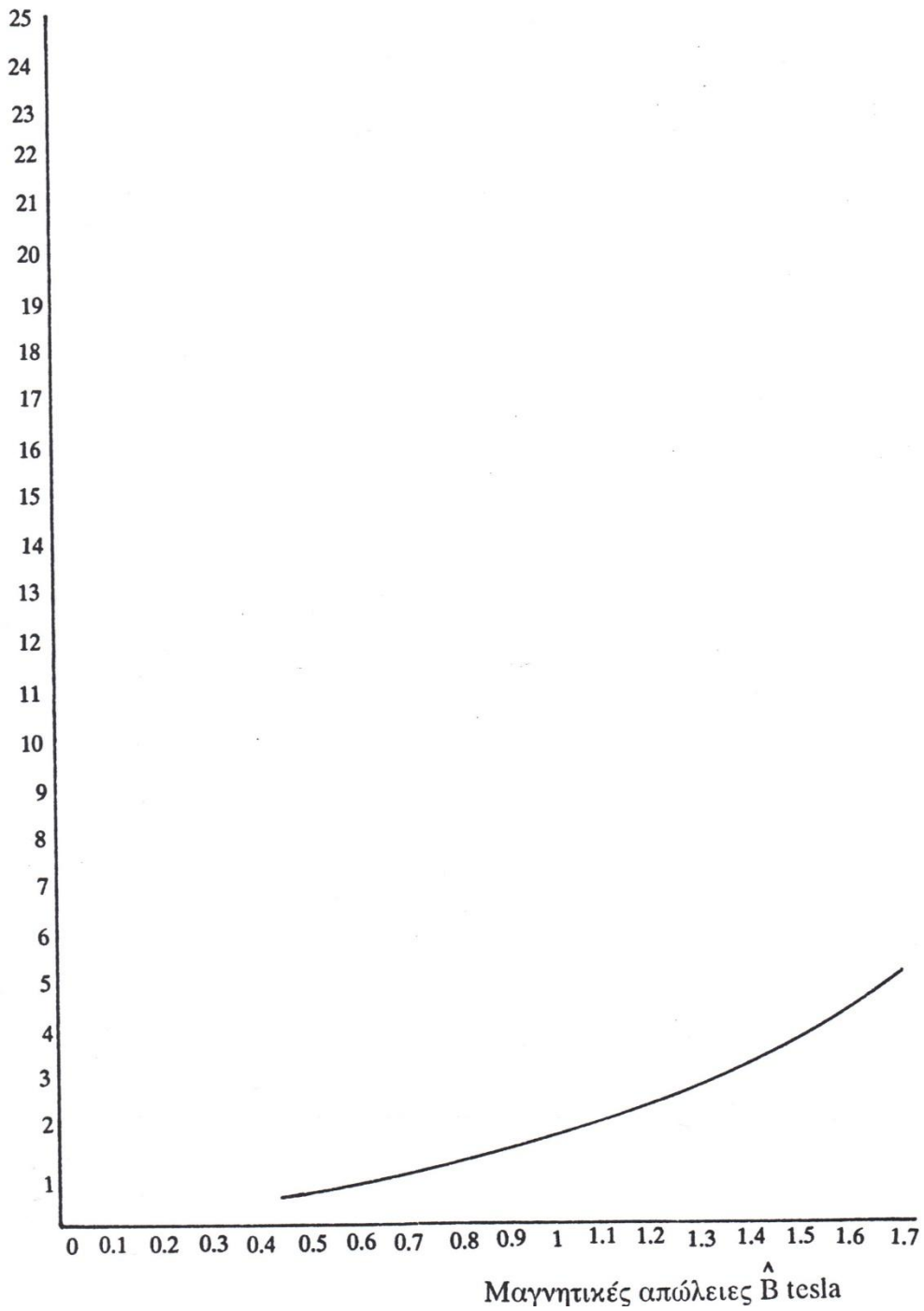
Τυπική καμπύλη απωλειών σε W/kg σε σχέση με την επαγωγή για συχνότητα 50HZ, ελασμάτων Μετασχηματιστών F.E.V 260-50



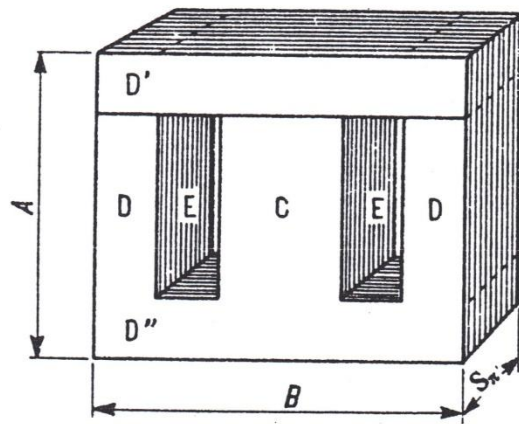
Τυπική καμπύλη απωλειών σε W/kg σε σχέση με την επαγωγή
για συχνότητα 50HZ, ελασμάτων πάχους 0,5 mm Μετασχηματιστών SF.26



Τυπική καμπύλη απωλειών σε W/kg σε σχέση με την επαγωγή
για συχνότητα 50HZ ελασμάτων πάχους 0,5mm Μετασχηματιστών SF23



Μετασχηματιστές τύπου μανδύα και τύποι ελασμάτων



- A - ύψος
- B - πλάτος
- C - κεντρική κολώνα
- D - πλευρικές κολώνες
- D' - πάνω ζύγωμα
- D'' - κάτω ζύγωμα
- E - παράθυρο
- S_π - πάχος πυρήνα

Τύποι ελασμάτων και σύστημα συναρμολόγησής τους

| | | | |
|----------------|--|--|--|
| Στρώσεις ζυγές | | | |
| Στρώσεις μονές | | | |

Βιβλιογραφία

- **ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΑΙ** : Ευάγγελος Κ. Σερβιέτας , Ηλεκτρονικός-Φυσικός ,Κ.Π.Ε «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»
- **ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ**: Στέλιος Αντωνόπουλος ΕΚΔΟΣΕΙΣ «ΙΩΝ»
- **ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ DC-AC** : Charman, Stephen J. ΕΚΔΟΣΕΙΣ «ΤΖΙΟΛΑ»
- **ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ 1** (Σημειώσεις εργαστηρίου) : Γεώργιος Σταματάκης , Καθηγητής Εφαρμογών Τ.Ε.Ι ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ.