



Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ (1Φ)

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ (2ΚVA)

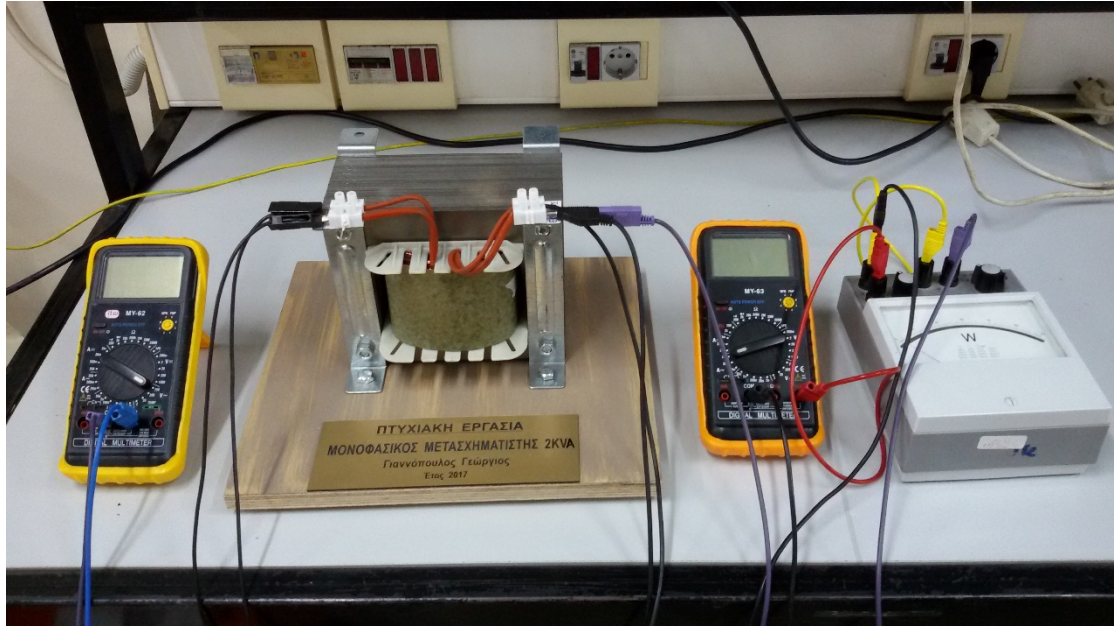
STUDY AND CONSTRUCTION OF SINGLE PHASE (1F)
ALTERNATE CURRENT TRANSFORMER (2KVA)

Σπουδαστής: *ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ*

ΑΜ: 37504

Επιβλέπων Καθηγητής Εφαρμογών : *ΒΥΛΛΙΩΤΗΣ ΗΡΑΚΛΗΣ*

Πειραιάς Δεκέμβριος 2017



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία διαπραγματεύεται την μελέτη και τη κατασκευή Μονοφασικού Μετασχηματιστή 2KVA. Η εργασία αυτή θα περιλαμβάνει 4 κεφάλαια από τα οποία, το πρώτο θα είναι η θεωρητική ανάπτυξη ενός μονοφασικού μετασχηματιστή σε όλες τις πτυχές του .

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει η μελέτη του, ώστε να έχουμε έναν οδηγό για το που θα κινηθούμε όταν αρχίσουμε την κατασκευή του . Το τρίτο κεφάλαιο μετά από συλλογική προσπάθεια θα ασχοληθεί με την πειραματική διάταξη του μετασχηματιστή μας με πραγματικές τιμές, στο εργαστήριο .

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η κατασκευή του σύμφωνα με την μελέτη μας και την ισχύ που θέλουμε, ώστε να πετύχουμε όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες και μία άρτια λειτουργία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα συγχαρώ και να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κύριο Βυλλιώτη Ηρακλή για την συμμετοχή του, την βοήθειά του, την εμπειρία του, τις πηγές και την βιβλιογραφία που μου δάνεισε , για να βγει εις πέρας αυτή η πτυχιακή εργασία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το μαγαζί Μοτέρ και περιελίξεις στο κέντρο της Αθήνας ,στην οδό Σάμου 4 του φίλου κύριου Στέφου Ευάγγελου, για την προσωπική του πείρα και συμβουλές, ώστε να καταφέρω να κατασκευάσω έναν μονοφασικό μετασχηματιστή 2KVA.

Τέλος τις ευχαριστίες μου και πάλι στον κύριο Βυλλιώτη για την παραχώρηση του εργαστηρίου Ηλεκτρικής κίνησης και την συμμετοχή του, στην πειραματική διαδικασία για τις τελικές μας τιμές.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- 1.1 Γενικά-Εισαγωγή.
- 1.2 Κατασκευή του Μ/Τ.
- 1.3 Τύποι και μορφές Τυλιγμάτων.
- 1.4 Είδη Πυρήνων.
- 1.5 Μονοφασικός Ιδανικός Μ/Τ σε εν κενό λειτουργία.
- 1.6 Λειτουργία Μ/Τ με φορτίο.
- 1.7 Εν κενό λειτουργία πραγματικού Μ/Τ.
- 1.8 Απώλειες πραγματικού Μ/Τ.
- 1.9 Μ/Τ με φορτίο.
- 1.10 Λειτουργία σε βραχυκύκλωμα.
- 1.11 Πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα και διανυσματικό διάγραμμα Μ/Τ με φορτίο.
- 1.12 Μεταβολή της τάσης του Μ/Τ με φορτίο.
- 1.13 Βαθμός Απόδοσης.
- 1.14 Παράλληλη λειτουργία Μ/Τ.
- 1.15 Παράλληλη λειτουργία Μ/Τ με διαφορετική τάση εν κενό.
- 1.16 Γενική περίπτωση παράλληλης λειτουργίας.
- 1.17 Αυτομετασχηματιστές.
- 1.18 Ψύξη Μ/Τ.
- 1.19 Θόρυβος Μ/Τ.
- 1.20 Προστασία των Μετασχηματιστών :
 - α) Σε βραχυκύκλωμα
 - β) Σε υπερφόρτιση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Μελέτη Μονοφασικού Μ/Τ 2ΚVΑ

- 2.1 Σκοπός.
- 2.2 Υπολογισμός Μ/Τ 2ΚVΑ 1:1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Πειραματικό μέρος

3.1 Προσδιορισμός των παραμέτρων του ισοδύναμου κυκλώματος μονοφασικού μετασχηματιστή.

3.1.1 Ισοδύναμο κύκλωμα.

3.1.2 Δοκιμή ανοικτού κυκλώματος.

3.1.3 Δοκιμή βραχυκύκλωσης.

3.1.4 Δοκιμή ανοικτού κυκλώματος.

3.1.5 Σύνδεση για Δοκιμή βραχυκύκλωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Πρακτικό-Κατασκευαστικό Μέρος

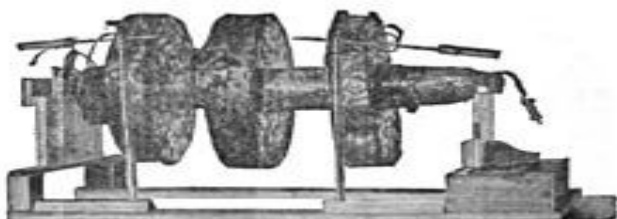
(ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΔΙΑΔΥΚΤΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.21 Γενικά-Εισαγωγή.

Η αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή διατυπώθηκε το 1831 από τον Μάικλ Φαραντέι, αν και την χρησιμοποίησε μόνο για επίδειξη των αρχών της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, χωρίς να προβλέψει την πρακτική της σημασία. Ο πρώτος μετασχηματιστής σε ευρεία χρήση ήταν το πηνίο επαγωγής, το οποίο εφηύρε ο Ιρλανδός κληρικός Νίκολας Κάλαν το 1836. Ήταν ένας από τους πρώτους που κατάλαβαν την αρχή πως όσο περισσότερες περιελίξεις έχει το τύλιγμα ενός μετασχηματιστή, τόσο μεγαλύτερη ηλεκτρεγερτική δύναμη παράγει. Τα πηνία επαγωγής δημιουργήθηκαν από τις προσπάθειες των επιστημόνων για παροχή υψηλότερων τάσεων από μπαταρίες. Δεν τροφοδοτούνταν από εναλλασσόμενο ρεύμα, αλλά από συνεχές, προερχόμενο από μπαταρίες, το οποίο διακόπτονταν από ένα δονούμενο διακοπτικό μηχανισμό. Μεταξύ 1830-1870 οι προσπάθειες για δημιουργία καλύτερων επαγωγικών πηνίων, κυρίως με τη μέθοδο της δοκιμής και αποτυχίας (trial and error), αποκάλυψαν σταδιακά τις βασικές αρχές της λειτουργίας του μετασχηματιστή. Αποδοτικοί σχεδιασμοί δεν ανακαλύφθηκαν παρά μετά το 1880, όμως μέσα σε λιγότερο από μια δεκαετία ο μετασχηματιστής αποδείχτηκε ουσιώδης στην επικράτηση των συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος έναντι αυτών του συνεχούς, θέση την οποία κρατούν μέχρι και σήμερα.

Το πηνίο του Κάλαν, 1836



Ο Ρώσος μηχανικός Πάβελ Γιαμπλότσκοφ εφηύρε το 1876 ένα σύστημα φωτισμού, βασισμένο σε ένα σύνολο από πηνία επαγωγής, όπου τα πρωτεύοντα τυλίγματα ήταν συνδεδεμένα σε πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ τα δευτερεύοντα μπορούσαν να συνδεθούν σε αρκετά "κεριά Γιαμπλότσκοφ" (είδος ηλεκτρικού λαμπτήρα τόξου). Στην πατέντα ισχυριζόταν ότι το σύστημα μπορούσε να "παρέχει ανεξάρτητα ισχύ σε διάφορους λαμπτήρες, με διαφορετική ισχύ φωτεινότητας, από μία πηγή ηλεκτρικής ισχύος". Προφανώς, το πηνίο επαγωγής σε αυτό το σύστημα λειτουργούσε ως μετασχηματιστής.

Οι Λουσιέν Γκολάρ και Τζον Ντίξον Γκιμπς επέδειξαν πρώτοι το 1882 στο Λονδίνο μια συσκευή με ανοιχτό πυρήνα σιδήρου που αποκαλούσαν "δευτερεύουσα γεννήτρια", ιδέα που πούλησαν στη συνέχεια στην αμερικανική εταιρεία Ουέστινγκχαους. Την ίδια συσκευή επέδειξαν και το 1884 στο Τορίνο, όπου υιοθετήθηκε για ένα ηλεκτρικό σύστημα φωτισμού.

Οι Ούγγροι μηχανικοί Κάρολι Ζιπερνόφσκι, Όττο Μπλάθι και Μίσα Ντέρι, από την εταιρεία Γκαντζ στην Βουδαπέστη δημιούργησαν το αποδοτικό μοντέλο κλειστού πυρήνα "ZBD" το 1885, βασισμένοι σε ένα σχέδιο των Γκολάρ και Γκιμπς.

Ένας φυσικός της Ουέστινγκχαους, ο Ουίλλιαμ Στάνλεϊ, δημιούργησε την πρώτη εμπορική υλοποίηση μετασχηματιστή το 1885, μετά την αγορά από τον Τζορτζ Ουέστινγκχαους των πατεντών των Γκολάρ και Γκιμπς. Ο πυρήνας ήταν κατασκευασμένος από πλάκες σιδήρου σχήματος "E", οι οποίες έμπαιναν η μία μέσα στην άλλη. Αυτό το σχέδιο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο εμπόριο το 1886. Η αίτηση ευρεσιτεχνίας έκανε για πρώτη φορά αναφορά στη λέξη "μετασχηματιστής". Ο Ρώσος μηχανικός Μικαΐλ Ντόλιβο-Ντομπροβόλσκι ανέπτυξε τον πρώτο τριφασικό μετασχηματιστή το 1889. Το 1891 ο Νίκολα Τέσλα εφηύρε το πηνίο Τέσλα, ένα μετασχηματιστή συντονισμού με πυρήνα αέρα, για την παραγωγή πολύ υψηλών τάσεων σε υψηλές συχνότητες. Μετασχηματιστές ακουστών συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκαν για τα πρώτα πειράματα της ανάπτυξης του τηλεφώνου.

Παρότι νέες τεχνολογίες έχουν καταστήσει τους μετασχηματιστές παρωχημένους για ορισμένες ηλεκτρονικές εφαρμογές, μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται ακόμα σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές. Οι μετασχηματιστές είναι επίσης βασικοί στην μετάδοση ρευμάτων υψηλής τάσης, τεχνική που κάνει οικονομικά βιώσιμη τη μετάδοση ηλεκτρικής ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις.

1.22 Κατασκευή του Μ/Τ. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ - ΟΡΙΣΜΟΣ

Οι μετασχηματιστές είναι ηλεκτρικές μηχανές, οι οποίες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια την οποία παίρνουν (Α.С.) μιας ορισμένης τάσεως σε ηλεκτρική ενέργεια (Α.С.) μιας άλλης τάσεως (μικρότερης ή μεγαλύτερης) της ίδιας συχνότητας, χωρίς ενδιάμεσα να έχουμε μετατροπή σε μηχανική ενέργεια (δηλαδή χωρίς κινητά μέρη).

Ο μετασχηματισμός αυτός έχει την ακόλουθη σειρά:

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ → ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ →
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.

Στους αυτομετασχηματιστές συμβαίνει αυτή η μετατροπή για ένα μέρος της ηλεκτρικής ισχύος, ενώ το υπόλοιπο μεταδίδεται απ' ευθείας. Σκοπός των ΜΙΓ είναι η προσαρμογή της ηλεκτρικής ενέργειας στην εκάστοτε τάση. Χωρίς τους Μ/Τ θα ήταν αδύνατη η παροχή ενέργειας στους διάφορους καταναλωτές από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτό συμβαίνει γιατί η τάση στους ακροδέκτες μιας μεγάλης σύγχρονης γεννήτριας (Στροβιλογεννήτριες φθάνει τα 27 [KV] και το ρεύμα τα 5.000 [A]).

Επειδή στις γραμμές μεταφοράς υπάρχουν απώλειες πρέπει το ρεύμα να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο (επειδή οι απώλειες είναι εξάρτηση του ρεύματος). Για να πετύχουμε όμως αυτό πρέπει να υψωθεί η τάση για να μεταφερθεί η ισχύς που θέλουμε.

Ο ΜΙΤ χρησιμοποιείται στα ασθενή ρεύματα (ηλεκτρικά κυκλώματα, επεξεργασία και μεταφορά πληροφοριών). Επίσης παρέχει την δυνατότητα της μαγνητικής ζεύξεως δυο κυκλωμάτων και αποφεύγεται έτσι η ηλεκτρική σύνδεση. Στον τομέα της ενέργειας χρησιμοποιείται για την σύνδεση δυο δικτύων.

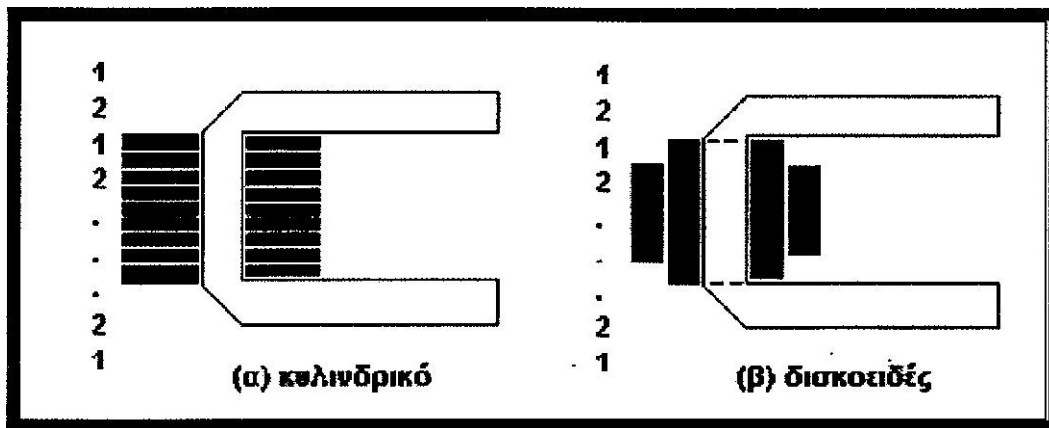
1.23 Τύποι και μορφές Τυλιγμάτων.

Εδώ διακρίνουμε τα κυλινδρικά και δισκοειδή τυλίγματα.

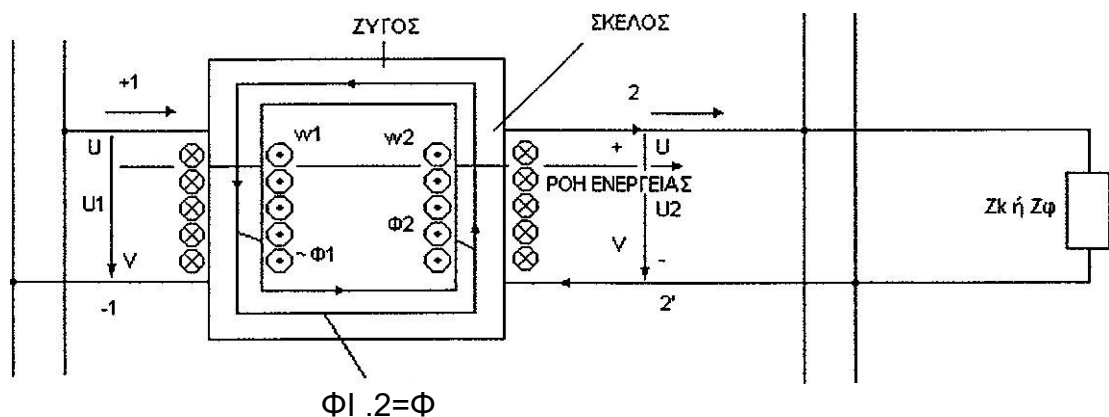
Πάντα στα κυλινδρικά τυλίγματα το τύλιγμα υψηλής τάσης είναι από την εξωτερική πλευρά και περιβάλλει το τύλιγμα χαμηλής τάσης, ώστε να είναι εξασφαλισμένη η μόνωση από τον πυρήνα.

Στα δισκοειδή το πρωτεύον ή το δευτερεύον υποδιαιρούνται σε μικρότερα ή περισσότερα τυλίγματα ή τοποθετούνται διαδοχικά το ένα κάτω από το άλλο.

Το κυλινδρικό λόγω απλούστερης κατασκευής χρησιμοποιείται περισσότερο.



ΑΡΧΗ ΛΗΤΟΥΡΓΙΑΣ



Όπως είπαμε ο Μ/Τ έχει ένα πρωτεύον και ένα δευτερεύον τύλιγμα. Ότι στοιχείο αναφέρεται στο πρωτεύον θα παίρνει τον δείκτη "1" και ότι στο δευτερεύον το δείκτη "2".

Οι ακροδέκτες Υ.Τ (υψηλή τάση) συμβολίζονται με τα γράμματα U,V,W - Η1,Η2,Η3 - 1V1,1V2,1V3) (Α,Β,С ενώ του δευτερεύοντος X1,X2,X3 - 2V1,2V2,2V3). Η φορά τ (a,b,c u,v,w -Η φορά περιέλιξης των τυλιγμάτων πρέπει να είναι τέτοια ώστε εάν στους ομώνυμους ακροδέκτες του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος εισέλθει ρεύμα, η μαγνητική ροή που θα δημιουργηθεί από το πρωτεύον Φ1 και από το δευτερεύον Φ2 σε οποιοδήποτε σημείο του πυρήνα να έχει την ίδια φορά.

Οι Μ/Τ αν έχουν μια φάση τους λέμε μονοφασικούς ή αν έχουν τρεις φάσεις τριφασικούς.

1.24 Είδη Μετασχηματιστών - Είδη Πυρήνων.

Ο Μ/Τ αποτελείται βασικά από ένα πυρήνα από σίδηρο ο οποίος σχηματίζεται από λεπτά ελάσματα. Γύρω από τον πυρήνα τυλίγονται το πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα που βρίσκεται σε μαγνητική σύζευξη μέσω του κοινού πυρήνα.

Πρωτεύον τύλιγμα είναι το τύλιγμα το οποίο προσλαμβάνει ενέργεια, Δευτερεύον το τύλιγμα που αποδίδει ενέργεια.

Ο πυρήνας είναι ο φορέας της εναλλασσόμενης μαγνητικής ροής η οποία διαρρέει και τα δυο τυλίγματα και επάγει σε αυτά τάσεις.

Κατασκευάζεται από υλικό με μεγάλη διαπερατότητα και παρουσιάζει μικρή μαγνητική αντίσταση. Τα υλικά αυτά είναι ελάσματα σιδήρου πάχους 0,3 mm για να περιορίζουν τα δινορεύματα τα οποία δημιουργούν αυξημένες απώλειες. Στην μια πλευρά τους έχουν μονωτικό υλικό για να εξασφαλίζεται η μεταξύ τους μόνωση.

Α) ΕΙΔΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Ο σκοπός για τον οποίο προορίζεται κάθε φορά ο μετασχηματιστής υπαγορεύει τα χαρακτηριστικά του αλλά και τον τρόπο κατασκευής του. οι πλέον συνήθεις μετασχηματιστές είναι:

- Μετασχηματιστές ισχύος για τη μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μετασχηματιστές για την τροφοδότηση διατάξεων στατικών μετατροπών.

- Μετασχηματιστές μετρήσεων, για τη σύνδεση οργάνων μετρήσεως σε δίκτυα.
- Μετασχηματιστές τηλεπικοινωνιών.

Οι μετασχηματιστές ισχύος διακρίνονται περεταίρω:

1. Ως προς τον αριθμό των φάσεων τους σε ,
 - Τριφασικούς Μετασχηματιστές: Χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της τάσεως σε τριφασικό σύστημα.
 - Μονοφασικούς Μετασχηματιστές: Χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της τάσεως μίας φάσεως του τριφασικού συστήματος.

2. Ως προς τον τρόπο ψύξης τους σε:

- Ξηρούς Μετασχηματιστές: Οι ξηροί μετασχηματιστές ψύχονται με αέρα.
- Μετασχηματιστές λαδιού: Οι Μετασχηματιστές λαδιού ψύχονται με κυκλοφορία λαδιού.

3) Ως προς τον χώρο τοποθέτησής τους σε:

- Μετασχηματιστές υπαίθρου.
- Μετασχηματιστές κλειστού χώρου.

4) Ως προς τη χρήση τους στο σύστημα ηλεκτροδότησης σε:

- Μετασχηματιστές μονάδος ή ανυψώσεως: Συνδέονται στην έξοδο των γεννητριών και ανυψώνουν την τάση ώστε να οδηγηθεί στη γραμμή μεταφοράς.
- Μετασχηματιστές υποσταθμών ή υποβιβασμού: Συνδέονται στο τέλος των γραμμών μεταφοράς και υποβιβάζουν την τάση στα επίπεδα διανομής.
- Μετασχηματιστές διανομής: Υποβιβάζουν την τάση στα επίπεδα χρησιμοποίησης.

5) Ως προς τον τύπο του πυρήνα σε:

- Μετασχηματιστές τύπου πυρήνα: Τα τυλίγματα του μετασχηματιστή τοποθετούνται γύρω από τις δύο πλευρές (σκέλη) ενός ορθογώνιου πυρήνα.
- Μετασχηματιστές τύπου κελύφους ή μανδύα : Σε αυτού του τύπου τους μετασχηματιστές τα τυλίγματα του μετασχηματιστή τοποθετούνται στο μεσαίο σκέλος και η ροή κλείνει κύκλωμα από τα ακριανά σκέλη και το ζύγωμα . Ο πυρήνας περιβάλλει τα τυλίγματα.

Ανεξάρτητα από τον τύπο στον οποίο ανήκει ένας μετασχηματιστής, ο πυρήνας του είναι κατασκευασμένος από λεπτά σιδηρομαγνητικά ελάσματα πυριτιούχου χάλυβα πάχους 0.5 mm ή 0.3 mm. Τα ελάσματα αυτά είναι μονωμένα μεταξύ τους με ειδικό μονωτικό βερνίκι για την ελάττωση των δινορευμάτων που

επάγονται στον πυρήνα. Όταν τα ελάσματα τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο έτσι ώστε τα κενά μεταξύ του τέλους των ελασμάτων του ενός στρώματος να επικαλύπτονται από το έλασμα του επόμενου στρώματος τότε ο πυρήνας ονομάζεται στοιβαχτός πυρήνας.

Όταν τα ελάσματα τυλίγονται σε μορφή πυρήνα με αποκομμένες λωρίδες μαγνητικού υλικού, τότε ο πυρήνας ονομάζεται τυλιχτός πυρήνας.

ΤΑ ΤΥΛΙΓΜΑΤΑ ΥΨΗ-ΙΛΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗ-ΙΣ ΤΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ-Ι ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΟΥΝ ΜΕ ΔΥΟ ΤΡΟΠΟΥΣ:

- Ομόκεντρα ή συγκεντρικά: Το τύλιγμα χαμηλής τάσης τοποθετείται στο εσωτερικό του τυλίγματος υψηλής τάσης.
- Σε δίσκους: Τα δύο τυλίγματα χωρίζονται σε υποπηνία (δίσκους) οι οποίοι τοποθετούνται εναλλάξ ένας δίσκος χαμηλής τάσης ένας υψηλής τάσης κλπ. οι δίσκοι χαμηλής τάσης συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους ομοίως και οι δίσκοι υψηλής τάσης. Έτσι έχουμε δύο άκρα για τη χαμηλή τάση και δύο για την υψηλή.

Τα ομόκεντρα τυλίγματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Λύνουν το πρόβλημα της μόνωσης μεταξύ του πυρήνα και του τυλίγματος υψηλής τάσης.
- Η μαγνητική ροή σκεδάσεως μειώνεται σημαντικά σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο τρόπο κατασκευής.
- Το τύλιγμα χαμηλής τάσης το οποίο θα δεχτεί τις μεγαλύτερες καταπονήσεις κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος στερεώνεται γερά γύρω από τον πυρήνα έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του τυλίγματος υψηλής τάσης που βρίσκεται εξωτερικά.

ΔΟΜΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Το ενεργό μέρος ενός στοιχειώδους μετασχηματιστή αποτελείται από δύο τυλίγματα μονωμένα ηλεκτρικά μεταξύ τους. Το ένα από τα δύο τυλίγματα του Μ/Σ συνδέεται με μια εναλλασσόμενη πηγή τάσεως, το μέγεθος της οποίας πρόκειται να μετασχηματιστεί, ενώ το άλλο συνδέεται με ένα φορτίο το οποίο πρόκειται να τροφοδοτηθεί με την μετασχηματισμένη τάση.

Το πρώτο τύλιγμα καλείται «πρωτεύον ή τύλιγμα εισόδου» ενώ το δεύτερο τύλιγμα καλείται «δευτερεύον ή τύλιγμα εξόδου». Ωστόσο ο μετασχηματιστής μπορεί να λειτουργήσει και αντίστροφα, επομένως η διάκριση των τυλιγμάτων σε πρωτεύον και δευτερεύον δεν αντιστοιχεί σ' ένα κατασκευαστικό γεγονός, εφόσον και τα δύο τυλίγματα μπορούν να λειτουργήσουν σαν πρωτεύον ή σαν δευτερεύον.

Κατασκευαστικά τα δύο τυλίγματα του ΜΙΣ διακρίνονται σε: (α) τύλιγμα υψηλής τάσεως (Υ.Τ) και (β) τύλιγμα χαμηλής τάσεως (Χ. Τ), το οποίο αποτελείται από μικρότερο αριθμό σπειρών σε σχέση με το τύλιγμα Υ.Τ. Τα τυλίγματα αυτά τυλίγονται σε κοινό μαγνητικό πυρήνα, που αποτελείται από λεπτά μαγνητικά ελάσματα. Το πάχος τους ποικίλλει από 0,3 ως 0,5 mm (στις χαμηλές συχνότητες) μαλακού σιδηρομαγνητικού υλικού, ενώ ταυτόχρονα μονώνονται μεταξύ τους με ένα στρώμα βερνικιού ή με λεπτό κατάλληλο χαρτί. Τα κύρια μέρη του μετασχηματιστή είναι:

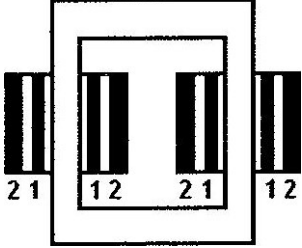
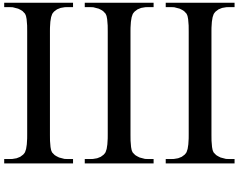
- Ο Πυρήνας που αποτελείται από λεπτά ελάσματα σιδηρομαγνητικού υλικού και παρέχει μαγνητικό κύκλωμα με χαμηλή αντίσταση στην κυκλοφορία της μαγνητικής ροής. Η υψηλή μαγνητική διαπερατότητα του σιδηρομαγνητικού πυρήνα εξασφαλίζει ότι ένα μεγάλο ποσοστό της μαγνητικής ροής που παράγεται μέσα στον πυρήνα, από ένα ρεύμα που ρέει μέσα στο ένα τύλιγμα, θα συνδέεται με το άλλο τύλιγμα. Με άλλα λόγια η υψηλή μαγνητική διαπερατότητα του σιδηρομαγνητικού πυρήνα παρέχει ένα υψηλό βαθμό μαγνητικής σύζευξης μεταξύ των τυλιγμάτων.
- Το Πρωτεύον Τύλιγμα, που παραλαμβάνει την ενέργεια από την πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος και δημιουργεί ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.
- Το Δευτερεύον Τύλιγμα, που παραλαμβάνει την ενέργεια με αμοιβαία επαγωγή από το πρωτεύον και τη μεταφέρει στο φορτίο.

- το Περίβλημα.
Τα χαρακτηριστικά του τυλίγματος Υψηλής Τάσης είναι ο μεγαλύτερος αριθμός σπειρών από λεπτό σύρμα σε σχέση με το τύλιγμα χαμηλής τάσης το οποίο έχει μικρότερο αριθμό σπειρών από χοντρό σύρμα. οι σπείρες κάθε τυλίγματος είναι ηλεκτρικά μονωμένες μεταξύ τους. Η μόνη σύζευξη μεταξύ τους πραγματοποιείται μέσω του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σιδηρομαγνητικού πυρήνα.

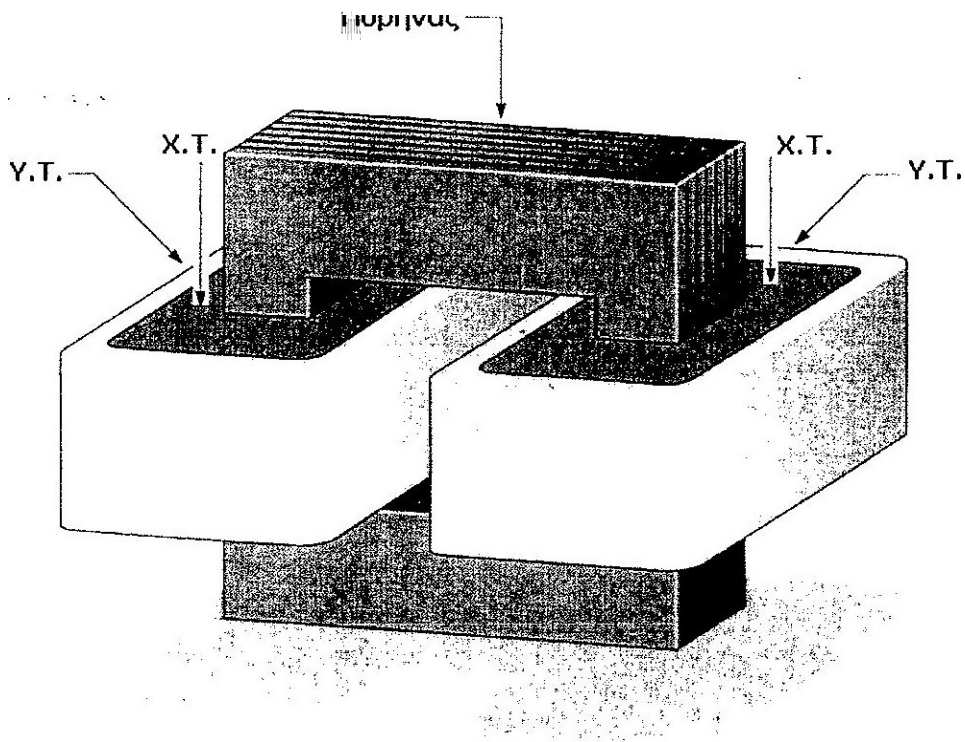
B) ΕΙΔΗ ΠΗΡΥΝΩΝ

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΤΥΠΟΥ ΠΗΡΥΝΑ-ΤΥΠΟΥ ΜΑΝΔΥΑ

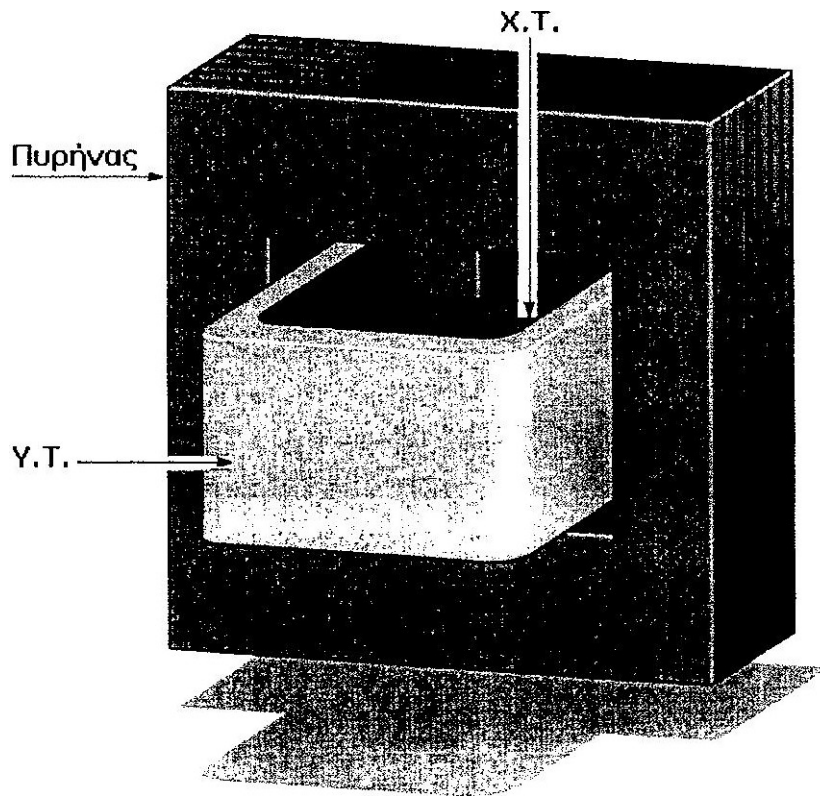
Υπάρχουν δυο είδη πυρήνων:

	
<p>M/T τύπου πυρήνα</p>	<p>MTG τύπου κελύφους - μανδύα</p>

Στον πρώτο τύπο τα τυλίγματα τοποθετούνται γύρω από τα δυο στελέχη, και με τέτοιο τρόπο ώστε στο κάθε στέλεχος να βρίσκεται ο μισός αριθμός σπειρών. Τα στελέχη αυτά ενώνονται μεταξύ τους με τα ζυγώματα.



Στον δεύτερο τύπο τα τυλίγματα τοποθετούνται στο μεσαίο στέλεχος και περιβάλλονται από τα δυο εξωτερικά στελέχη.

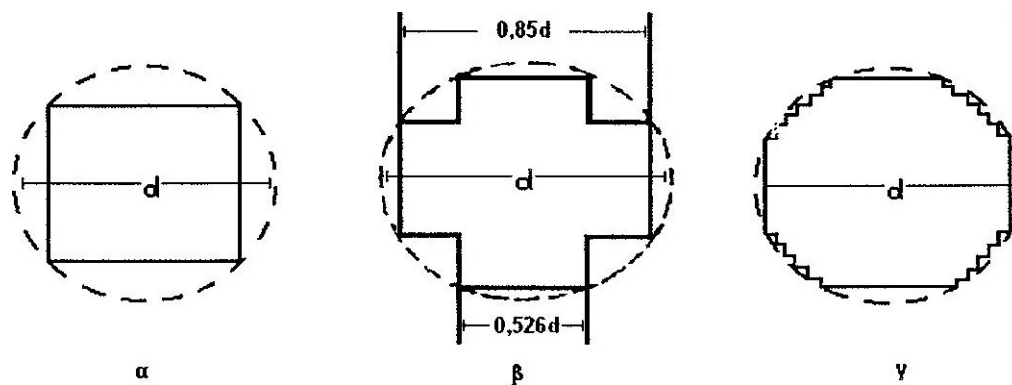


Όπως φαίνεται και στο σχήμα η διατομή του μεσαίου στελέχους είναι διπλάσια της διατομής των δυο άλλων και των ζυγωμάτων επειδή η μαγνητική ροή που διέρχεται από το μεσαίο στέλεχος είναι διπλάσια της ροής των άλλων τμημάτων.

Υπάρχουν επίσης και άλλοι τύποι πυρήνων που φαίνονται στο σχήμα.

Μικρής και μεσαίας ισχύος

Υψηλής ισχύος

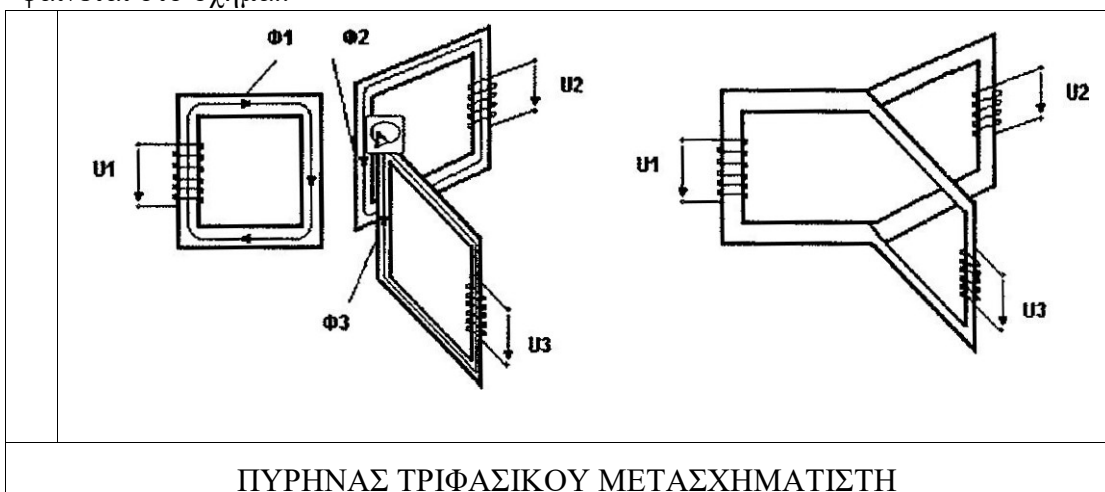


Όλα αυτά που αναφέραμε πιο πάνω αφορούν τους μονοφασικούς μετασχηματιστές (δηλ. για τους πυρήνες), θα δούμε τώρα πως είναι ο πυρήνας ενός τριφασικού μετασχηματιστή.

ΠΥΡΗΝΑΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

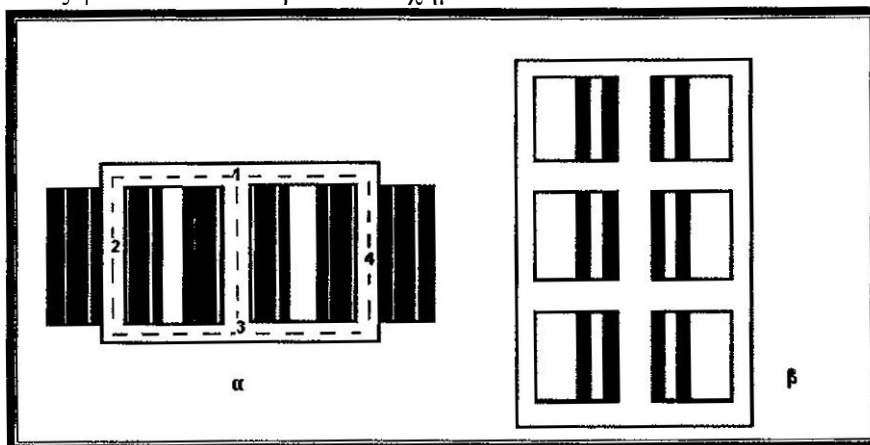
Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τρεις μονοφασικούς Μ/Τ για να κάνουμε ένα τριφασικό αν τοποθετήσουμε το πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα κάθε μονοφασικού σε ένα στέλεχος και με τα τρία ελεύθερα στελέχη να δημιουργήσουμε ένα κοινό στέλεχος μέσα από το οποίο θα διέρχονται τρεις μαγνητικές ροές.

Αν οι τρεις τάσεις που θα εφαρμοστούν είναι συμμετρικές τότε η συνολική ροή είναι μηδέν, οπότε το μεσαίο στέλεχος δεν χρειάζεται και παίρνουμε την διάταξη που φαίνεται στο σχήμα..



Μια τέτοια όμως κατασκευή είναι ασύμφορη για λόγους κατασκευαστικούς και οικονομικούς.

Γι' αυτό το λόγο έχει επικρατήσει η κατασκευή των τριών στελεχών στο ίδιο επίπεδο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

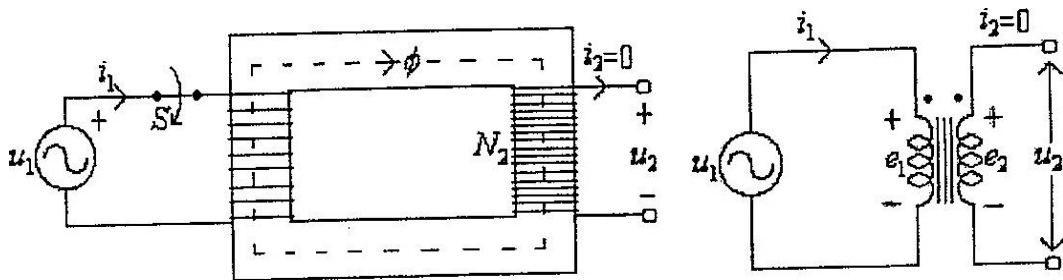


Η κατασκευή αυτή είναι ασύμμετρη γιατί το μήκος της μαγνητικής γραμμής του μεσαίου στελέχους είναι μικρότερο του μήκους των άλλων δύο και επομένως η μαγνητική αντίσταση είναι μικρότερη στο μεσαίο στέλεχος (μαγνητική αντίσταση)

$$R = \frac{1}{\mu_0 \mu_r S}$$

1.25 Μονοφασικός Ιδανικός Μ/Τ σε εν κενό λειτουργία

Ονομάζουμε «εν κενό λειτουργία» την λειτουργία του μετασχηματιστή κατά την οποία το πρωτεύον τύλιγμα του τροφοδοτείται με μια ημιτονοειδή πηγή τάσης και το δευτερεύον τύλιγμα του παραμένει ανοιχτό ($i_2 = 0$). Στο Σχήμα δείχνεται το κυκλωματικό διάγραμμα της εν κενό λειτουργίας του μονοφασικού μετασχηματιστή, ενώ στο Σχήμα δείχνεται το αντίστοιχο ισοδύναμο κύκλωμα.



Σε αυτή την λειτουργία ο ΜΙΤ τροφοδοτείται με την φάση του δικτύου δηλ. U_1 και στο δευτερεύον δεν έχουμε συνδέσει αντίσταση δηλαδή $R_{\phi} = \infty$. Η τάση του δικτύου είναι $U_1 = T_1 j \omega t$ και εφόσον μιλάμε για ιδανικό Μ/Τ, δεν υπάρχει ωμική αντίσταση και έτσι θα περάσει ένα ρεύμα

$$I_{10} = \frac{U_1}{j \omega \cdot L_1} = -j \frac{U_1}{\omega \cdot L_1} \quad U_2 \neq 0 ,$$

το οποίο προπορεύεται της IA κατά 90° . Το ρεύμα αυτό στην εν κενό λειτουργία το οποίο ονομάζεται ρεύμα μαγνήτισης και συμβολίζεται με $I_m = I_{10}$.

Το ρεύμα αυτό δημιουργεί ένα ομόρροπο διάρρευμα $\Theta_{10} = I_m W_1$ και αυτό μια ομόρροπη ροή

$$\Phi_1 = \Phi \frac{U_{10}}{R_m}$$

η οποία είναι η μοναδική μαγνητική ροή στο κύκλωμα και είναι μεταφερόμενη ημιτονοειδές.

Αν λοιπόν η στιγμιαία ροή είναι: $\Phi(t) = \Phi_{\max} \cdot \sin \omega t$ η παραγόμενη Η.Ε.Δ. είναι για το πρωτεύον ή το δευτερεύον

$$U_1 = e_1 = W_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (1) \quad U_2 = e_2 = W_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_1 = -w_1 \omega \Phi_{\max} \cos \omega t$$

$$e_2 = -w_2 \omega \Phi_{\max} \cos \omega t$$

$$\omega = 2 \pi f$$

Η ενεργός τιμή της παραγόμενης ΗΕΔ είναι:

$$E_1 = \frac{e_1}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot W_1 \cdot \Phi_{\max} \quad E_1 = 4,44 \cdot F \cdot W_1 \cdot \Phi_{\max}$$

$$E_2 = \frac{e_2}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot W_2 \cdot \Phi_{\max} \quad E_2 = 4,44 \cdot F \cdot W_2 \cdot \Phi_{\max}$$

$$= \frac{V_1}{4,44 \cdot F \cdot W_1}$$

Από τον λόγο των (1) και (2) προκύπτει:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

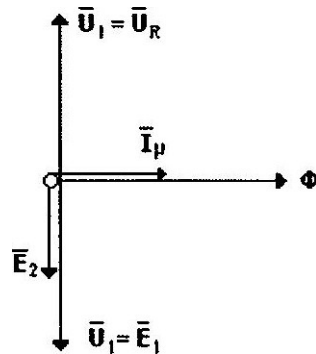
επειδή στον ιδανικό ΜΙΤ ισχύει η σχέση:

$$U_1 = -E_1$$

Εδώ έχουμε την εφαρμογή του νόμου του LENZ που είναι ο εξής :

Η ένταση του ρεύματος μαγνήτισης I_m είναι τέτοια ώστε η προκύπτουσα από αυτήν μαγνητική ροή να δίνει μια ΗΕΔ = 4,44 F W 1 Φ ίση και αντίθετη της τάσεως U_{I_0}

Βάσει των παραπάνω εξισώσεων φτιάχνουμε το διανυσματικό διάγραμμα της εν κενό λειτουργίας .



Λόγω της εν κενό λειτουργίας έχουμε και $E_2 = -jI_2 X_2$.Συνεπώς στον ιδανικό Μ/Τ από την σχέση που αναφέραμε .

$$\frac{U_1}{U_{20}} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad \frac{W_1}{W_2} = K$$

Ο λόγος σπειρών λέγεται συντελεστής μεταφοράς ή λόγος μετασχηματισμού .

1.26 Λειτουργία Μ/Τ με φορτίο.

Κατά τη λειτουργία χωρίς φορτίο (με ελεύθερα τα άκρα του δευτερεύοντος πηνίου), ο λόγος των τάσεων δεν επηρεάζεται. Όταν όμως συνδεθεί ένας καταναλωτής στο δευτερεύον πηνίο του μετά σχηματιστή, τότε αυτόματα εκείνο διαρρέεται από ρεύμα. Αποδεικνύεται ότι αν I_p, I_s είναι το ρεύμα στο πρωτεύον και το δευτερεύον πηνίο αντίστοιχα, τότε ισχύει η σχέση

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{1}{a}$$

δηλαδή ο λόγος των ρευμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογος του λόγου των τάσεων στα δύο πηνία. Αν ένας μετασχηματιστής ανυψώνει την τάση στο δευτερεύον πηνίο, θα υποβιβάζει το ρεύμα με τον ίδιο βαθμό.

Το τύλιγμα χαμηλής τάσης και μεγάλης έντασης έχει μικρό αριθμό σπειρών και αγωγό μεγάλης διατομής. Αντίθετα το τύλιγμα υψηλής τάσης και χαμηλής έντασης θα έχει μεγάλο αριθμό σπειρών και αγωγό μικρής διατομής.

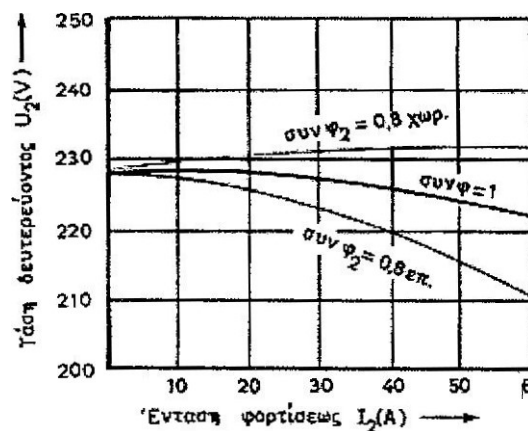
. Πρέπει να σημειωθεί ότι η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος παραμένει η ίδια και στα δύο πηνία κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή. Στην περίπτωση του ιδανικού μετασχηματιστή η ενεργός, άεργος και φαινόμενη ισχύς είναι η ίδια και στα δύο πηνία. Επίσης, ο συντελεστής ισχύος είναι ο ίδιος και στις δύο περιπτώσεις και ίσος με το συντελεστή ισχύος του καταναλωτή που συνδέεται στο δευτερεύον πηνίο.

Όταν ο μετασχηματιστής λειτουργεί με φορτίο, τότε σε κάθε τύλιγμα εμφανίζεται πτώση τάσης λόγω της ωμικής αντίστασης που παρουσιάζουν οι αγωγοί των πηνίων και λόγω της αυτεπαγωγής τους. Συνεπώς, η τάση στο δευτερεύον πηνίο με φορτίο δεν είναι ποτέ ίση με την τάση στο δευτερεύον χωρίς φορτίο. Αντίθετα, όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα που διαρρέει το δευτερεύον τύλιγμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφοροποίηση από την τάση εν κενώ. Ορίζεται έτσι η διακύμανση τάσης για έναν μετασχηματιστή που δίνεται από τη σχέση

$$VR(\%) = \frac{V_{20} - V_{2N}}{V_{2N}} \cdot 100\%$$

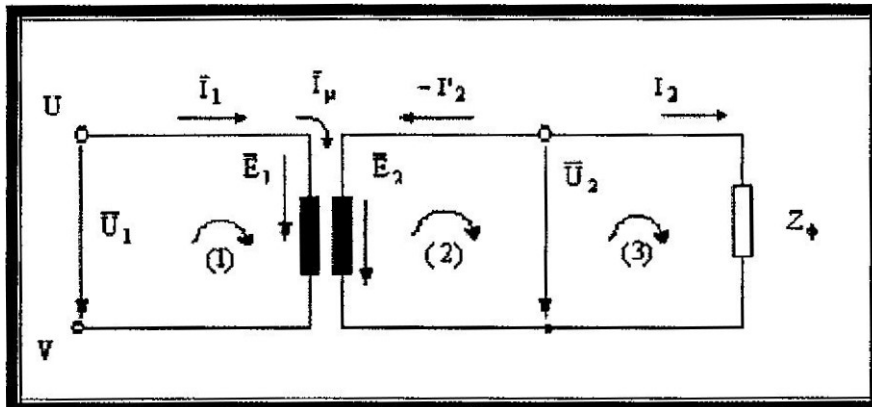
όπου V_{20} , V_{2N} είναι η τάση στα άκρα του δευτερεύοντος κατά την εν κενώ και την ονομαστική λειτουργία αντίστοιχα. Όσο μικρότερη είναι η διακύμανση τάσης τόσο ποιοτικά καλύτερος είναι ένας μετασχηματιστής.

Χαρακτηριστική φορτίου ενός μετασχηματιστή ονομάζεται η γραφική παράσταση της τάσης του δευτερεύοντος ως προς την έντασή του όταν η τάση του πρωτεύοντος και ο συντελεστής ισχύος του φορτίου παραμένουν σταθερά. Στο σχήμα I.ε απεικονίζεται η χαρακτηριστική φορτίου για τρεις περιπτώσεις. Γενικά η τάση με φορτίο είναι χαμηλότερη της τάσης χωρίς φορτίο. Υπάρχει περίπτωση, όμως, για μεγάλα χωρητικά φορτία να παρατηρηθεί μικρή ανύψωση.

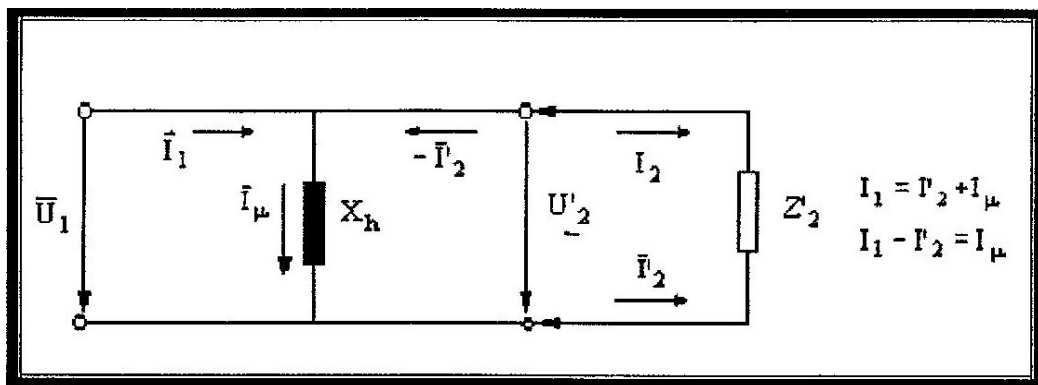


Σχήμα: Χαρακτηριστική φορτίου μονοφασικού μετασχηματιστή.

Το σχέδιο του ιδανικού ΜΠΤ με φορτίο είναι το παρακάτω:



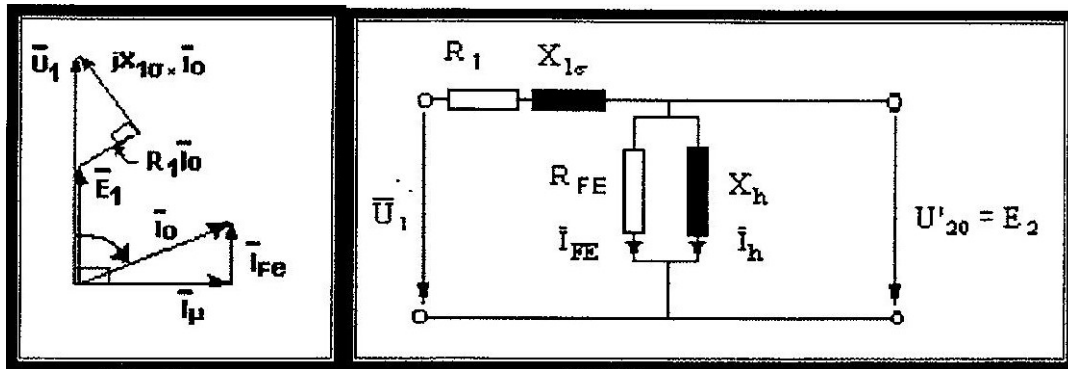
Το ισοδύναμο κύκλωμα ιδανικού Μ/Τ τώρα είναι το παρακάτω:



1.27 Εν κενό λειτουργία πραγματικού Μ/Τ.

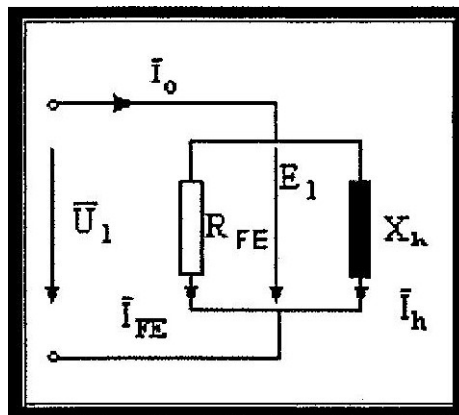
Στην εν κενό λειτουργία του ΜΠΤ επειδή υπάρχει η ωμική αντίσταση του τυλίγματος έχουμε απώλειες που είναι ίσες με

$$I_{cuo} = P_o = I_0^2 R_1$$



Εδώ πρέπει να πούμε ότι το ρεύμα εν κενό I_0 δεν είναι ημιτονοειδές, επειδή περιέχει ανώτερες αρμονικές λόγω της μη γραμμικής χαρακτηριστικής της καμπύλης μαγνήτισης. Το ρεύμα I_0 αναλύεται σε δύο συνιστώσες στο ρεύμα μαγνήτισης I_m και στο ρεύμα σιδήρου I_{Fe} .

Η πτώση τάσης στην R_1 και $X_{1\sigma}$ είναι μικρή και έτσι μπορούμε να γράψουμε ότι $U_1 = E_1$. Αν μετρήσουμε το I_0 την U_1 , P_0 εν κενώ μπορούμε να υπολογίσουμε τα στοιχεία R_{Fe} , X_h ,



$$U_1 = I_{FE} R_{FE} = j X_h I$$

$$P_o = \frac{U_1^2}{R_{FE}} = j + X_h I_m$$

$$I_{I_0}^2 = I_{FE}^2 + I_h^2$$

Από τις σχέσεις αυτές προκύπτει:

$$R_{FE} = \frac{U_1^2}{P_o} \quad I_{FE} = \frac{U_1}{R_{FE}} \quad I_h = \sqrt{I_{I_0}^2 - I_{FE}^2}$$

Αν δοθεί επίσης το $\cos \phi_o$ και οι ενδείξεις του βατόμετρου:

$$P = \sqrt{3} U_1 I_o \cos \phi_o \Rightarrow I_o = \frac{P}{\sqrt{3} U_1 \cos \phi_o}$$

$$I_{FE} = I_o \cos \phi_o \Rightarrow R_{FE} = \frac{U_1}{I_{FE}}$$

$$I_h = I_o \sin \phi_o \Rightarrow X_h = \frac{U_1}{I_h}$$

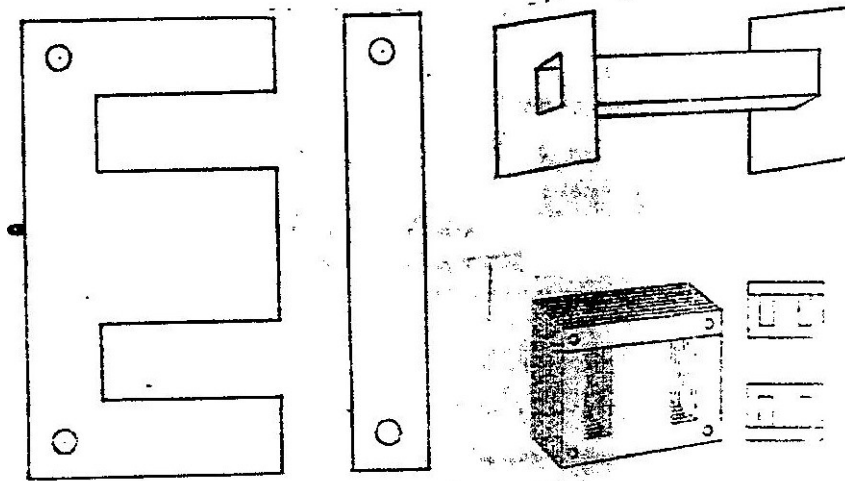
Τα ρεύματα I_{FE} και I_h που υπολογίζουμε εν κενό θεωρούμε ότι διατηρούν την τιμή τους και στη λειτουργία με φορτίο επειδή η μεταβολή τους είναι μικρή σε σύγκριση με την μεταβολή του ρεύματος. Επομένως για κάθε μελέτη μονοφασικού ή τριφασικού μετασχηματιστή τα μεγέθη αυτά είναι σταθερά και έχουν τις τιμές που υπολογίσαμε εν κενό.

1.28 Απώλειες πραγματικού Μ/Τ.

Ο πραγματικός μετασχηματιστής, σε αντίθεση με τον ιδανικό παρουσιάζει απώλειες κατά τη λειτουργία του. οι πιο σημαντικές από αυτές είναι οι ακόλουθες :

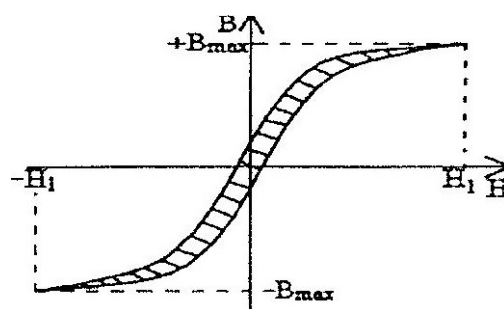
- Απώλειες από σίδηρο. οι απώλειες αυτές προέρχονται από το υλικό του πυρήνα και τις αντιλαμβανόμαστε όταν ακουμπώντας τον πυρήνα, βλέπουμε ότι ζεσταίνεται. Έχουμε δε δύο ειδών απώλειες σιδήρου(του πυρήνα).
α) δινορεύματα Φουκά : Μπορούμε να πούμε απλά ότι μεταβαλλόμενης της μαγνητικής ροής δημιουργούνται στον πυρήνα επί μέρους πηγές (Η.Ε.Δ.) από επαγωγή με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ρεύματα. Έτσι χάνουμε ενέργεια. Το χάσιμο της ενέργειας αυτής το αντιλαμβανόμαστε με την θερμότητα που αναπτύσσεται στον πυρήνα .

Ο περιορισμός της απώλειας αυτής επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση ελασμάτων για τον σχηματισμό πυρήνων και όχι συμπαγούς υλικού. Ένας επί πλέον παράγον που επηρεάζει τις απώλειες δινορευμάτων και τις αυξάνει είναι και η συχνότητα.. Γι 'αυτό στις υψηλές συχνότητες οι μετασχηματιστές έχουν ειδικό τρόπο κατασκευής του πυρήνα από κόκκους μονωμένους μεταξύ τους.

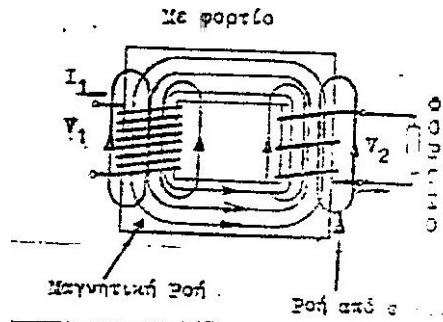
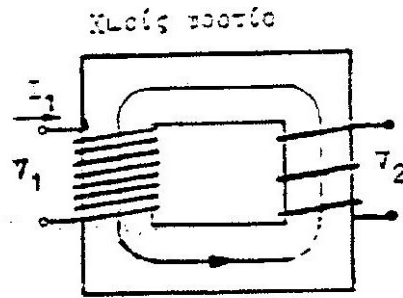


β) Μαγνητική υστέρηση : Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο μέρος της μαγνητικής επαγωγής εξακολουθεί να υπάρχει, ενώ μηδενίστηκε η ένταση H του πεδίου που την προκάλεσε.

- Απώλειες χαλκού : πρόκειται για τις θερμικές απώλειες στις αντιστάσεις των τυλιγμάτων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή και είναι ανάλογες με το τετράγωνο του ρεύματος στα τυλίγματά του (I^2R).
- Απώλειες δινορευμάτων : είναι οι θερμικές απώλειες που οφείλονται στην αντίσταση του μετάλλου του πυρήνα και είναι ανάλογες με το τετράγωνο της τάσης η οποία εφαρμόζεται στην είσοδο του μετασχηματιστή.
- Απώλειες υστέρησης : οφείλονται στην αναδιάταξη των μαγνητικών τμημάτων στο εσωτερικό του πυρήνα και συμβαίνει σε κάθε ημιπερίοδο της τάσης εισόδου. Η μεταβολή τους με το χρόνο είναι μία πολύπλοκη μη γραμμική συνάρτηση της τάσης που εφαρμόζεται στο μετασχηματιστή.



- Ροή σκέδασης πρόκειται για την μαγνητική ροή που "ξεφεύγει" από τον πυρήνα προς τον αέρα που τον περιβάλλει. Η ροή αυτή παράγει τις αυτεπαγωγές των τυλιγμάτων του πυρήνα που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή.



Από τα παραπάνω προκύπτουν οι παράμετροι του ισοδύναμου κυκλώματος του μετασχηματιστή. οι απώλειες χαλκού, που είναι θερμικές απώλειες ενσωματώνονται στο ισοδύναμο κη3κλωμα με την προσθήκη δύο αντιστάσεων : της R_p , που αντιστοιχεί στην ωμική αντίσταση του πρωτεύοντος και της R_s , που αντιστοιχεί σ' αυτήν του δευτερεύοντος. Η ροή σκέδασης του πρωτεύοντος παράγει την τάση e_{LE} , η οποία υπολογίζεται με εφαρμογή του νόμου του Faraday:

$$e_{L1} = N_1 \cdot \left(\frac{d \cdot \Phi_{L1}}{D_t} \right)$$

και αντίστοιχα για το δευτερεύον θα ισχύει

$$e_{L2} = N_2 \cdot \left(\frac{d \cdot \Phi_{L2}}{D_t} \right)$$

Αποδεικνύεται τελικά ότι οι παραπάνω σχέσεις λαμβάνουν την μορφή :

$$e_{L1} = L_1 \cdot \left(\frac{d \cdot i_1}{D_t} \right)$$

$$e_{L2} = L_2 \cdot \left(\frac{d \cdot i_2}{D_t} \right)$$

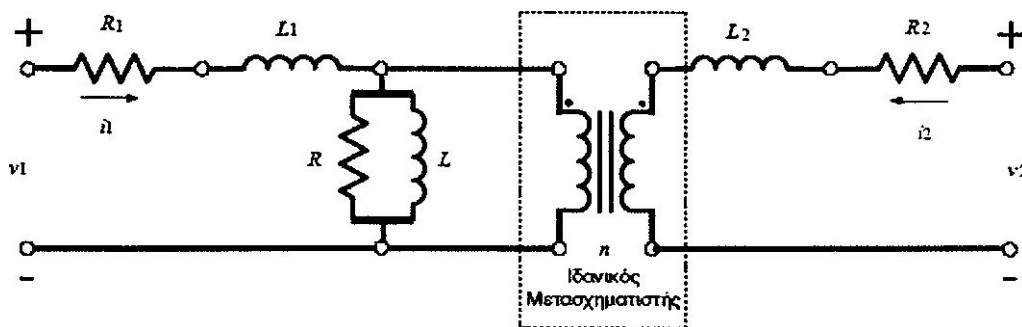
όπου είναι $L_1 = N_1^2 \chi P$ η αυτεπαγωγή του πρωτεύοντος τυλίγματος, $L_2 = N_2^2 \chi P$ η αυτεπαγωγή του δευτερεύοντος τυλίγματος και P η μαγνητική αγωγιμότητα της διαδρομής της μαγνητικής ροής.

Παρατηρούμε ότι οι δύο ροές σκέδασης αντιστοιχίζονται στο ισοδύναμο κύκλωμα σε αυτεπαγωγές.

Το ρεύμα μαγνήτισης i_m είναι ανάλογο της τάσης που εφαρμόζεται στον πυρήνα του μετασχηματιστή, ενώ η κυματομορφή του έπεται αυτής της τάσης κατά 90° . Έτσι το ρεύμα αυτό αντιστοιχίζεται σε μία αντίδραση X_m , τοποθετημένη εγκάρσια.

Το ρεύμα απωλειών του πυρήνα i_{h+e} (απώλειες που οφείλονται σε δινορεύματα και στο φαινόμενο της μαγνητικής υστέρησης), είναι ανάλογο της τάσης που εφαρμόζεται στον πυρήνα του μετασχηματιστή, ενώ η κυματομορφή του είναι ίδια με αυτήν της τάσης. Έτσι το ρεύμα αυτό μπορεί να παρουσιάζεται με μία αντίσταση R_c τοποθετημένη παράλληλα στην πηγή τάσης.

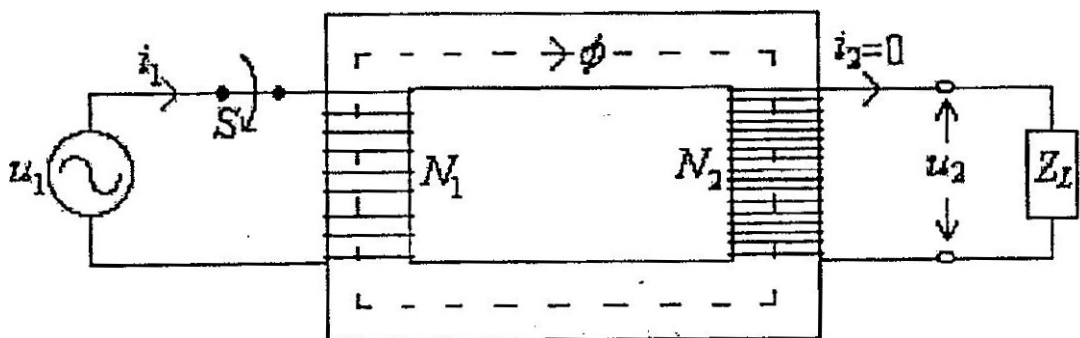
Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζεται το ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή, που χρησιμοποιείται στην πράξη για υπολογισμούς :



Εικόνα: Ισοδύναμο κύκλωμα πραγματικού Μ/Σ

1.29 Μ/Τ με φορτίο

Στο Σχήμα βλέπουμε έναν ιδανικό μετασχηματιστή που συνδέεται με ένα φορτίο σύνθετης αντίστασης. Το πρωτεύον τυλίγμα του συνδέεται με την πηγή εναλλασσόμενης τάσης U_1 , ενώ το δευτερεύον συνδέεται με φορτίο $Z = R + jX$ και σε αυτό κυκλοφορεί ρεύμα $I = E / Z$ το οποίο δημιουργεί ένταση μαγνητικού πεδίου $H = N_2 I / l$. Σύμφωνα με την συνδεσμολογία των τυλιγμάτων, η φορά των ρευμάτων μέσα στα τυλίγματα είναι τέτοια ώστε η μαγνητεγερτική δύναμη του δευτερεύοντος τυλίγματος να είναι αντίθετη από την αντίστοιχη του πρωτεύοντος.



Σχήμα Ιδανικός μετασχηματιστής υπό φορτίο.

Ως εκ τούτου η συνολική μαγνητεγερτική δύναμη που προκύπτει και η οποία προκαλεί την δημιουργία της μαγνητικής ροής μέσα στον πυρήνα, είναι η διαφορά των μαγνητεγερτικών δυνάμεων των δύο τυλιγμάτων. Επομένως:

$$F_{ολ} = \Sigma F = F_1 - F_2 = N_1 i_1 - N_2 i_2$$

και η προκύπτουσα μαγνητική ροή μέσα στον πυρήνα υπολογίζεται από

την σχέση:

$$F_{ολ} = R\Phi \Rightarrow N_1 i_1 - N_2 i_2 = R\Phi$$

Εάν η τάση της πηγής που εφαρμόζεται στην είσοδο παραμένει αμετάβλητη, τότε, για να διατηρηθεί η ισορροπία των τάσεων στην πλευρά του πρωτεύοντος πρέπει και η επαγόμενη ΗΕΔ e να παραμείνει σταθερή. Με άλλα λόγια το αναγκαίο ποσό της μαγνητικής ροής μέσα στον πυρήνα, το οποίο επάγει την συγκεκριμένη τιμή της ΗΕΔ e που ισορροπεί την τάση της πηγής, πρέπει να παραμείνει σταθερό. Επομένως το αναγκαίο ποσό του ρεύματος μαγνητίσεως i , για την δημιουργία της συγκεκριμένης τιμής -της μαγνητικής ροής, είναι το ίδιο με αυτό κατά την εν κενώ λειτουργία του Μ/Σ. Άρα:

$$N_1 i_m = R\Phi$$

Από τις σχέσεις και προκύπτει:

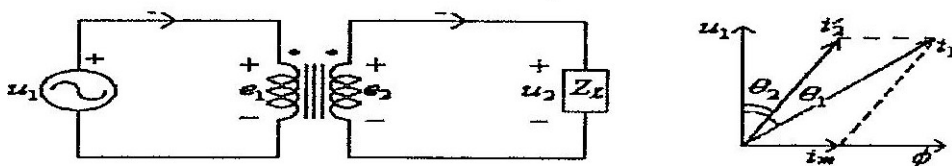
$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = N_1 i_m = N_1 i_m + N_2 i_2 - i_m + \frac{N_2}{N_1} i_2 = i_m + i_2'$$

Επομένως βλέπουμε ότι για να διατηρηθεί η ισορροπία των τάσεων στην πλευρά του πρωτεύοντος πρέπει τα μέτρα των τάσεων αυτών να παραμείνουν τα ίδια όπως ήταν κατά την εν κενώ λειτουργία. Για αυτόν το λόγο, το ρεύμα του πρωτεύοντος αυξάνεται κατά $i_2' = (N_2/N_1)i_2$ ώστε να αντισταθμίζει την μαγνητεγερτική δύναμη του δευτερεύοντος τυλίγματος. Το ποσό του ρεύματος αυτού, i_2' , καλείται «ρεύμα

αντιδράσεως». Είναι φανερό δε ότι, καθώς μεταβάλλεται το μέγεθος του φορτίου Z_L , μεταβάλλεται το ρεύμα του δευτερεύοντος τυλίγματος

Στο Σχήμα δείχνεται το διανυσματικό διάγραμμα του ιδανικού Μ/Σ κατά την λειτουργία υπό φορτίο, σύμφωνα με το οποίο το διάνυσμα του ρεύματος του πρωτεύοντος τυλίγματος i_1 προκύπτει από το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων μαγνήτισης i_m και αντιδράσεως i'_2 . Το διάνυσμα του i_m είναι συμφασικό με αυτό της Φ , ενώ και τα δύο μαζί καθυστερούν του διανύσματος της τάσεως κατά γωνία 90° . Το διάνυσμα του i'_2 καθυστερεί του διανύσματος της τάσης u_1 , κατά γωνία θ_2 , ενώ το διάνυσμα του ρεύματος του πρωτεύοντος καθυστερεί του αντίστοιχου της τάσης κατά γωνία θ_1 .

Μια αξιοσημείωτη παρατήρηση που προκύπτει από το διανυσματικό διάγραμμα είναι η εξής: όταν ο ιδανικός μετασχηματιστής λειτουργεί με μειωμένο φορτίο, δηλαδή με μειωμένο ρεύμα δευτερεύοντος και μικρό ρεύμα αντιδράσεως, το ολικό ρεύμα του πρωτεύοντος τείνει να πλησιάσει το ρεύμα μαγνήτισεως και η γωνία θ_1 να γίνει 90° . Αντίθετα όταν ο ιδανικός Μ/Σ εργάζεται με πλήρες φορτίο, γενικά, το ρεύμα μαγνήτισεως είναι πάρα πολύ μικρό σε σχέση με το ρεύμα αντιδράσεως και το ολικό ρεύμα του πρωτεύοντος διαφέρει ελάχιστα από το ρεύμα αντιδράσεως. i_2 και εφόσον το ρεύμα μαγνήτισης i_m παραμένει σταθερό, το ρεύμα αντιδράσεως i'_2 ακολουθεί αυτήν την μεταβολή ώστε να αντισταθμίζει την αντίστοιχη μαγνητεγερτική δύναμη του δευτερεύοντος τυλίγματος και να αποκαθίσταται η ισορροπία των τάσεων.



Σχήμα Ιδανικός μετασχηματιστής υπό φορτίο και το διανυσματικό του.

Στην περίπτωση αυτή το ρεύμα μαγνήτισης μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο και το ρεύμα του πρωτεύοντος μπορεί κατά προσέγγιση να θεωρηθεί:

$$i_1 \approx \left(\frac{N_2}{N_1} \right) i_2 = i'_2$$

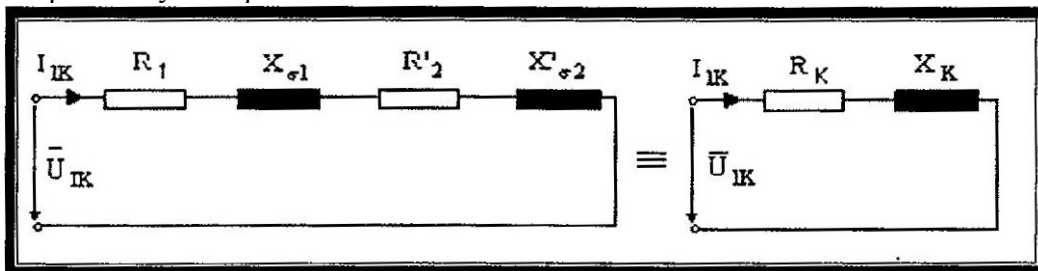
Αντίθετα όταν ο μετασχηματιστής λειτουργεί με μειωμένο φορτίο, το ρεύμα μαγνήτισης δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο, με αποτέλεσμα ο λόγος $(N_2/N_1)i_2$ να αναφέρεται στο ρεύμα αντιδράσεως i'_2 .

1.10 Λειτουργία σε βραχυκύκλωμα.

Λέγοντας βραχυκύκλωμα εννοούμε ότι τα δυο άκρα του πρωτεύοντος ή του δευτερεύοντος συνδέονται με αγωγίμη σύνδεση, οπότε η τάση αυτών των άκρων μηδενίζεται ενώ στο άλλο τύλιγμα εφαρμόζεται ορισμένη τάση επειδή ισχύει η αναλογία:

$$R_1, R'_2 : X_{\sigma 1} : X_{\sigma 2} : R_{Fe} : 1 : 1 : 1 : 2 : 1000 : 10000$$

δηλαδή οι R_{Fe} , X_{σ} είναι πολύ μεγάλες σε σχέση με τις υπόλοιπες έπεται ότι το I_0 θα είναι πολύ μικρό σε σχέση με το i και I'_2 και μπορούμε να παραλείψουμε τα στοιχεία αυτά οπότε έχουμε το ισοδύναμο κύκλωμα με ανοιγμένα τα στοιχεία του δευτερεύοντος στο πρωτεύον.

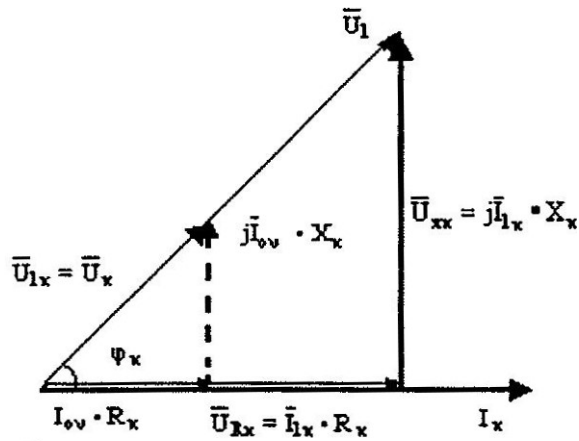


$$\bar{I}_1 \approx -\bar{I}'_2 \frac{W_2}{W_1}$$

$$R_{\kappa} \approx R_1 + R'_2$$

$$X_{\kappa} \approx X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2}$$

Το διανυσματικό διάγραμμα είναι το παρακάτω:



$$R_K = R_1 + R'_2$$

$$X_K = X_1 + X'_2$$

$$Z_K = R_K + jX_K \text{ με}$$

$$R_K = R_1 + R_2$$

$$X_K = X'_1 + X'_2$$

(ανοιγμένα στο πρωτεύον και στο δευτερεύον αντίστοιχα)

$$U_{1K} = I_{1ov} Z_K$$

$$U_{2K} = I_{2ov} Z_K$$

$$I_{1K} = I_{1ov} = \frac{U_{1K}}{Z_K}$$

$$U_{1K} = I_{1ov} (R_K$$

$$I_{2K} = I_{2ov} = \frac{U_{2K}}{Z_K}$$

$$U_{2K} = I_{2ov} (R_K$$

$$Z_K = R_K + jX_K$$

+jXX)

+jXW)

$$I_{1K} = \frac{U}{Z_K}, \quad I_{1K} = (R_K + jX_K) I_{1K} = I_{1K} Z_K = I_{ov} Z_K$$

Επειδή οι U_{1K} , είναι πολύ μικρές έπεται ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης θα είναι πολύ μεγάλο. Για να υπολογιστούν τα στοιχεία $R_1, R'_2, X_{σ1}, X'_{σ2}, R_K, X_K$ αρκεί να μετρηθούν τα $U_{1K}, I_{1K}, P_{1K} = U_{1K} I_{1K} \cos \phi_{1K}$ το $I_{1K} = I_{1K}$

Ορίζουμε " τάση βραχυκύκλωσης " την τάση που πρέπει να δώσουμε στο πρωτεύον (όταν το δευτερεύον είναι βραχυκυκλωμένο) ώστε από το πρωτεύον να περνάει ρεύμα ίσο με το ονομαστικό. Η ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης ορίζεται από τη σχέση:

$$\tilde{U}_{1K} (\%) = 100 \frac{U_{1Kov}}{U_{1ov}} \quad \tilde{U}_{1K} = \left[U_{1K} = \frac{U_{1Kov} Z_K}{U_{1ov}} \cdot 100 \right] = \frac{U_{1Kov} Z_K}{U_{1ov}} \cdot 100 (\%)$$

οι τιμές στις UK στους ΜΠΤ είναι 3 - 8% για μέχρι 5000 ΚνΑ και η τάση μέχρι 50KV 8 -12% .Η μεγάλους ΜΠΤ. Επίσης από το διανυσματικό διάγραμμα έχουμε:

$$\frac{I_{1ov} Z_K}{\cos \phi_{1K}} = \frac{U_{1Kov} R_K}{U_{1ov}} = \frac{I_{1ov}}{I_{1ov}} = \frac{P_K}{U_{1ov} I_{1ov}}$$

Οπου

P_K : οι απώλειες βραχυκύκλωσης στη δοκιμή. $U_{1K} = U_{1ov}$ και $I_{1K} = I_{1ov}$

Η UK είναι η συνολική πτώση τάσης στη δοκιμή βραχυκύκλωσης .Αυτή αναλύεται στις συνιστώσες .

α) Ωμική πτώση τάσης του Μ/Τ

$$\bar{U}_R = \bar{I}_{1ov} R_K = \bar{I}_{1ov} (R_1 + R'_2)$$

$$U_{R=i20vRK} \quad (R_1 + R'_2)$$

β) Την επαγωγική πτώση τάσης σκεδασμού:

$$U_{\sigma 1} = U_{\gamma \sigma 1} = j \bar{I}_{1ov} X_K = I_{1ov} (X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2}) \quad (1) \quad U_{\gamma \sigma} = I_{2ov} (X'_{\sigma 1} + X_{\sigma 2})$$

Αυτές όμως προκύπτουν και από τις σχέσεις:

$$U_R = U_K \cos \phi_K$$

$$\text{ή} \\ U'_R = U'_K \cos \phi_K (\%)$$

$$\text{ή}$$

$$U_{\chi\sigma} = U_{\kappa} \sin \phi_{\kappa} = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_{\text{R}}^2}$$

Το πραγματικό ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{\kappa} = I'$ ή ονομαστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι το ρεύμα που διέρχεται από το πρωτεύον όταν το δευτερεύον βραχυκυκλωθεί και στο πρωτεύον έχουμε την ονομαστική τάση.

$$I_{\kappa} = \frac{U_1}{Z_{\kappa}}$$

$$X_{\kappa} = X_{\sigma} = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_{\text{R}}^2}$$

$$U_{\chi\sigma} = I_{\kappa} X_{\kappa}$$

ή αριθμητικώς

$$\frac{U_1}{Z_{\kappa}}$$

$$\frac{I_{\text{πραγμ.βραχ.}}}{I_{\text{ον}}} = \frac{U_1}{I_{\text{ον}} Z_{\kappa}}$$

$$I_{\text{πραγμ.βραχ.}} = I_{\text{ον}} \frac{1}{\frac{I_{\chi\sigma} Z_{\kappa}}{U_1}} = I_{\text{ον}} \frac{1}{\tilde{U}_{\kappa}}$$

Η τάση βραχυκύκλωσης του Μ/Τ καθορίζει συνεπώς και την ονομαστική ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης, από την οποία προσδιορίζεται η ισχύς διακοπής των διακοπών Χ,Τ. και η ηλεκτρική αντοχή των οργάνων Χ. Τ. (Μ/Τ έντασης κ.λπ.)

ΟΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΑΛΚΟΥ ΕΙΝΑΙ :

$$P_{\text{CU2}} = I_2^2 R_2$$

$$P_{\text{CU1}} = I_1^2 R_1$$

$$P_{\text{CU}} = P_{\text{CU1}} + P_{\text{CU2}}$$

$$R = R_1' + R_2 \quad \text{CU2}$$

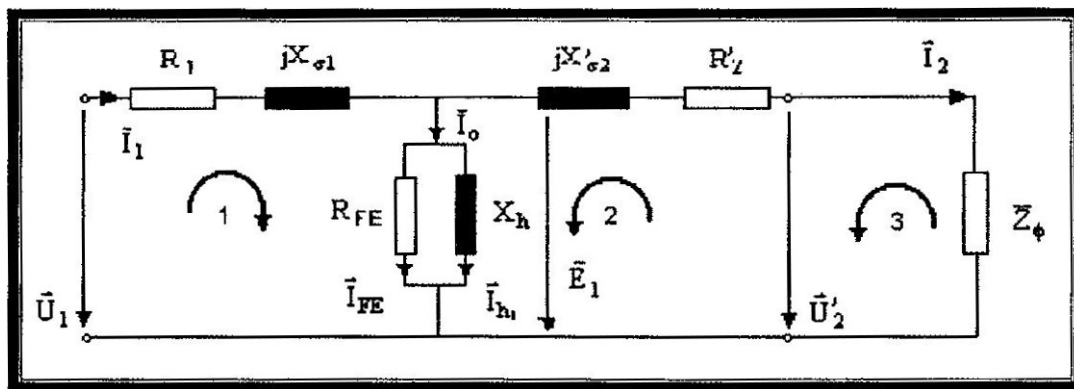
Από τη σχέση

$$\frac{P_{CU}}{S} = \frac{I_{ov}^2 R}{I_{ov} U_{ov}} = \frac{I_{ov} R}{U_{ov}} = \frac{U_R}{U_{ov}}$$

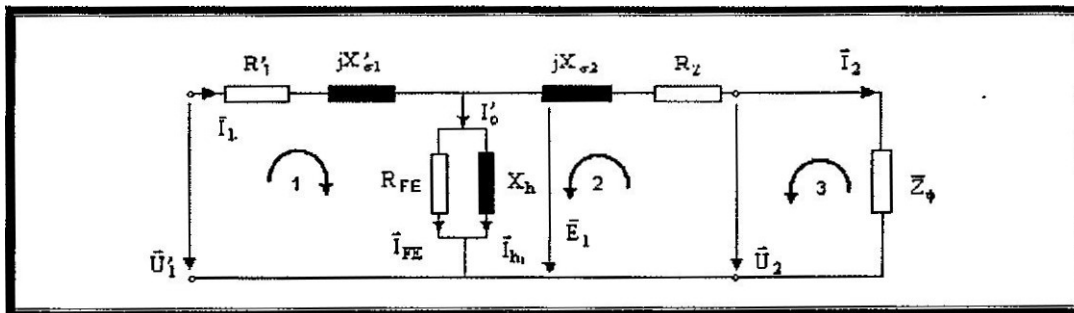
$$\check{U}_R = \frac{U_R}{U} \cdot 100 \% = \frac{P_{CU}}{S} \cdot 100$$

Αυτή είναι η σχετική ωμική πτώση τάση

1.11 Πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα και διανυσματικό διάγραμμα M/T με φορτίο.

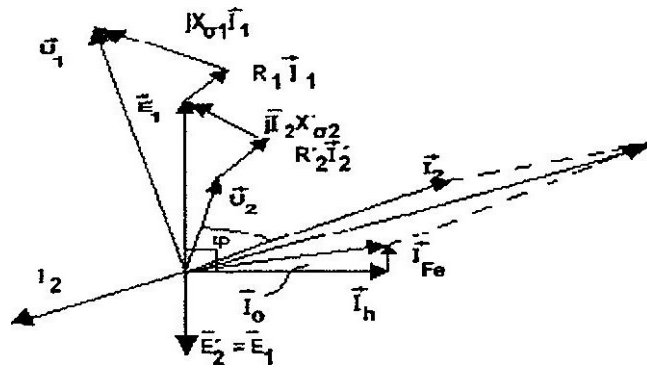


Ανοιγμένο στο πρωτεύον



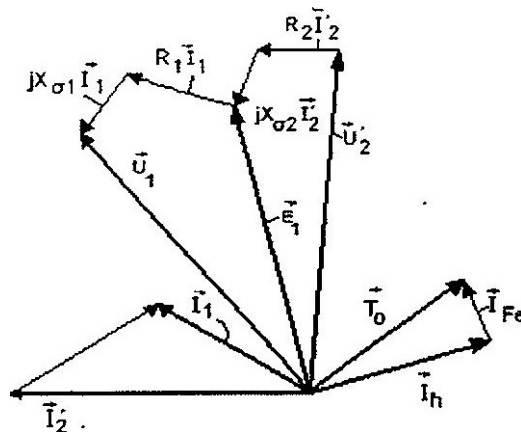
Ανοιγμένο στο δευτερεύον

Η αντίσταση Z_{ϕ}' παριστάνει την ανοιγμένη αντίσταση του φορτίου. Αν υποθέσουμε ότι το φορτίο είναι ωμικό-επαγωγικό τότε το ρεύμα προπορεύεται της τάσης και από τις σχέσεις των βρόχων (1), (2), (3), κατασκευάζουμε το διανυσματικό διάγραμμα του κυκλώματος.



Το ρεύμα I_0 που είναι η διαφορά μεταξύ του ρεύματος στο πρωτεύον και του ρεύματος στο δευτερεύον μπορεί να θεωρηθεί ίσο με το ρεύμα εν κενό, διότι το μαγνητικό πεδίο στο σίδηρο και οι απώλειες αυτού παραμένουν αμετάβλητες, όταν μεταβαίνουμε από την κατάσταση εν κενό στο φορτίο.

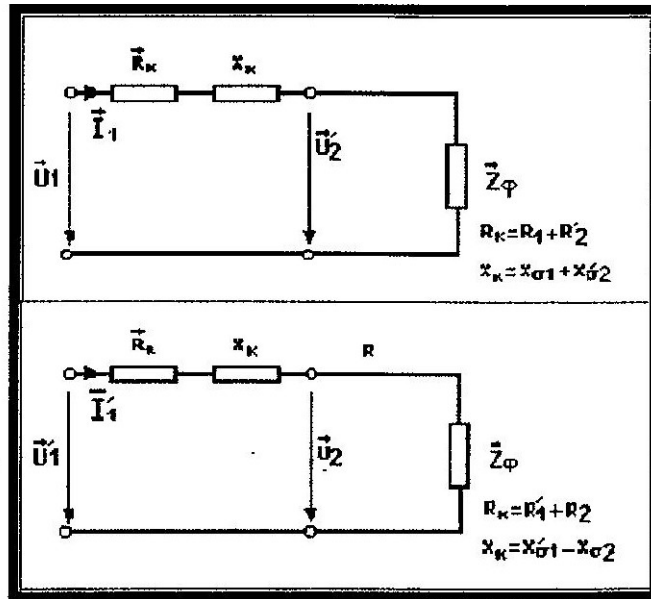
Αν το φορτίο είναι χωρητικό τότε το ρεύμα προπορεύεται της τάσεως και η τάση $V' 2$ είναι μεγαλύτερη της $U 1$ στο πρωτεύον.



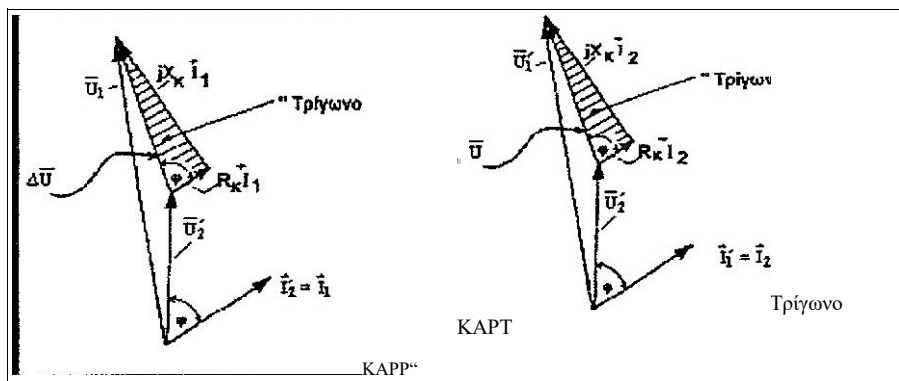
Αυτό σημαίνει ότι για μια σταθερή τάση τροφοδότησης του πρωτεύοντος έχουμε αύξηση της τάσης στο δευτερεύον αν αυτός φορτιστεί με χωρητικό φορτίο, δηλ. η τάση με φορτίο θα είναι μεγαλύτερη της τάσης εν κενό στο δευτερεύον.

1.12 Μεταβολή της τάσης του M/T με φορτίο.

Όταν στον ΜΤ συνδεθεί φορτίο Z παραλείπουμε χωρίς σοβαρό λάθος τα I_f, I_m δηλαδή τις απώλειες σιδήρου και το ρεύμα μαγνήτισης για να εξετάσουμε την μεταβολή της τάσης του Μ/Τ στο δευτερεύον ενώ η τάση πρωτεύοντος παραμένει σταθερή. Έτσι χρησιμοποιούμε το παρακάτω ισοδύναμο κύκλωμα.



Πριν συνδέσουμε το φορτίο εν κενό δηλαδή έχουμε $U' 2$.Όταν συνδεθεί το φορτίο το ρεύμα I δημιουργεί την πτώση τάσης $(R_x + jX_K) I$ και έτσι έχουμε μια άλλη τάση $U' 2$ της οποίας η διαφορά υπολογίζεται όπως παρακάτω



$$R_k = R_1 + R'_2$$

$$X_k = X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2}$$

$$X_{\sigma 1} \approx X'_{\sigma 2}$$

$$R_1 \approx R'_2$$

Το τρίγωνο που σχηματίζεται ονομάζεται τρίγωνο του KAPP και μας δείχνει την διαφορά της ανοιγμένης τάσης $U' 2$ από την $U I$.Η τάση $U I = U' 2$ δηλαδή την εν κενό και έτσι παίρνουμε με προσέγγιση την μεταβολή της τάσης ενός M/T με φορτίο. Αυτή είναι εξάρτηση της γωνίας ϕ . Η εκατοστιαία πτώση τάσης ϵ ορίζεται ως εξής:

$$\varepsilon \frac{U_1 - U_2}{U_1} * 100\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} * 100\% = \frac{U_1 - U_2}{U_1} * 100\% = \frac{U_1 - U_2}{U_1} * 100\%$$

Ορίζοντας την διεύθυνση της τάσης $U' 2$ ως άξονα πραγματικών αριθμών και σύμφωνα με το διανυσματικό διάγραμμα έχουμε:

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= \bar{U}'_2 + I_1 \angle \varphi^0 \cdot Z_k = U'_2 + I_1 (\cos \varphi + j \sin \varphi) (R_k + j X_k) \\ \bar{U}_1 &= U'_2 + R_k I_1 \cos \varphi + X_k I_1 \sin \varphi + j X_k I_1 \cos \varphi - R_k I_1 \sin \varphi \end{aligned}$$

και έτσι για λόγους συντομίας μπορούμε να γράψουμε:

$$\frac{R_k I_1}{U_1} = \varepsilon_\chi = U_\chi$$

Ωμική πτώση τάσης (σχετική).

$$\frac{X_k I_1}{U_1} = \varepsilon_\chi = U_\chi$$

Η επαγωγική πτώση τάσης (σχετική).

$$\begin{aligned} \varepsilon' &= \varepsilon_R \cos \phi + \varepsilon \sin \phi \\ \varepsilon'' &= \varepsilon_\chi \cos \phi - \varepsilon_R \sin \phi \end{aligned}$$

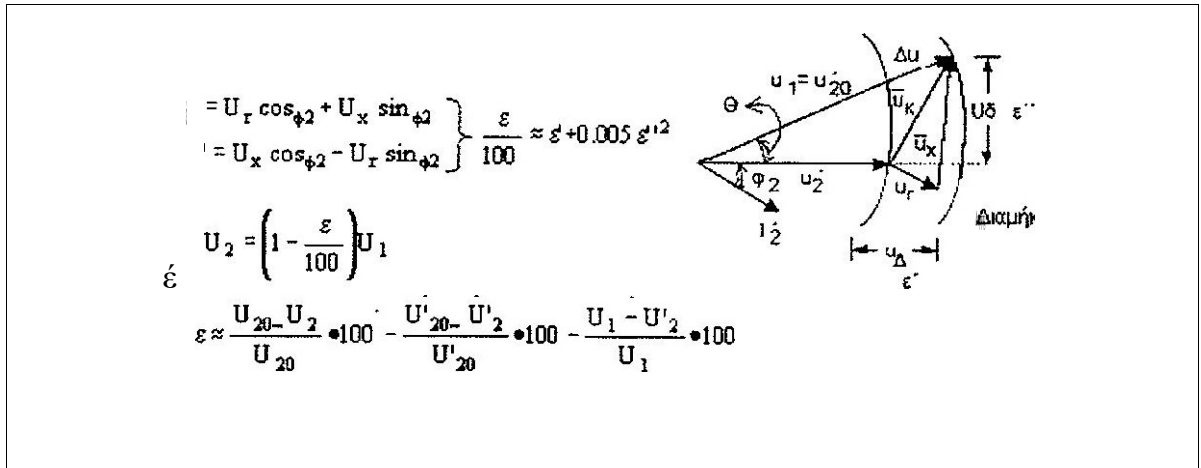
Έτσι καταλήγουμε στην εξίσωση

$$\frac{\bar{U}_1}{U_1} = \frac{U'_2}{U_1} + \varepsilon' + j \varepsilon''$$

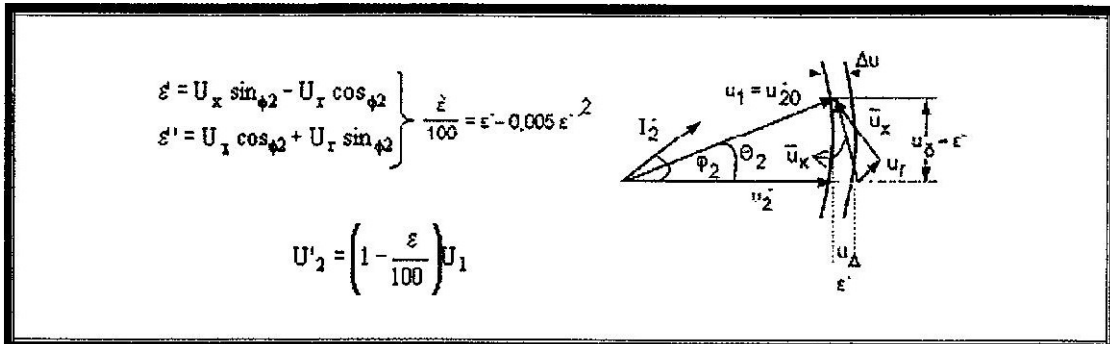
Εδώ θα παραλείψουμε ορισμένες μαθηματικές πράξεις που δεν μας ενδιαφέρουν και που καταλήγουν στη σχέση:

$$1 - \frac{U'_2}{U_1} = \varepsilon \quad \text{ή} \quad U'_2 = \left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right) U_1 \quad \varepsilon = \frac{U_1 - U'_2}{U_1} \quad \text{με} \quad \varepsilon \approx \varepsilon' \pm \frac{1}{2} \varepsilon'^2$$

ΓΙΑ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ



ΓΙΑ ΧΩΡΗΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ



1.13 Βαθμός Απόδοσης.

Στις ηλεκτρικές μηχανές όσο και στους μετασχηματιστές εμφανίζονται απώλειες που αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια δηλαδή οι απώλειες χαλκού και οι απώλειες σιδήρου (υστέρησης δινορευμάτων).

$$P_{απ} = P_{cu} + P_{FE} = I_1 R_1 + I_2^2 R_2$$

οι απώλειες σιδήρου μπορούν να υπολογιστούν από την λειτουργία του MIT εν κενό τις οποίες μετρούμε με ένα βατόμετρο ($P_o = U \chi I_o$ Για τριφασικό M/T θα είναι $P_o = P \chi f_e \chi U I_o \cos \chi \phi \chi o$.Τις απώλειες χαλκού μπορούμε, να τις μετρήσουμε με την βραχυκύκλωση του δευτερεύοντος και με τάση τόση ώστε να διέρχεται το ονομαστικό ρεύμα ή και μικρότερο ρεύμα. οι απώλειες αυτές μετριούνται με ένα βατόμετρο. Ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P_{απ}} = \frac{P_2}{P_2 + P_o + P_{cu}} = \frac{P_2}{P_2 + P_{FE} + P_{cu}} = \frac{P_1 - P_{FE} - P_{cu}}{P_1}$$

Ο βαθμός, απόδοσης εξαρτάται από το φορτίο και είναι μεγαλύτερος όταν $P_{FE} = P_{cu}$. Αυτό μπορεί να προκύψει από την:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = 100 - 100 \cdot \frac{P_{FE} + P_{cu}}{P_2 + P_{FE} + P_{cu}}$$

$$P_{cu} = P_{cuov} \cdot \left[\frac{I}{I_{ov}} \right]^2 \quad (1) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_{cu}}{P_{cuov}} = \frac{I^2 R}{I_{ov}^2 R} \Rightarrow P_{cu} = P_{cuov} \cdot \left[\frac{I}{I_{ov}} \right]^2 \end{array} \right\}$$

$$P_1 = P_2 + P_{FE} + P_{cu}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{P_1 - (P_{FE} + P_{cu})}{P_1} \cdot 100 \Rightarrow \eta = 100 - 100 \cdot \frac{P_{FE} + P_{cu}}{P_1} \quad (2)$$

$$\eta_{FE} \text{ ανεξαρτι. } \left\{ \begin{array}{l} P_{FE} \text{ ανεξαρτι. το } u(I_2, I_1) \\ P_{cu} = f(I) = I^2 R \end{array} \right\} \quad \text{Βρίσκω το max ή παραγωγίζοντας την (2)}$$

$$\frac{d\eta}{dI} = -100 \frac{P_1 (P_{FE} + P_{cu})' - P_1' (P_{FE} + P_{cu})}{P_1^2} = 0$$

$$\text{επειδή } P_1 = U_1 I \cos \phi_1 \quad \text{ή} \quad P_1' = U_1 \cos \phi_1$$

$$\Rightarrow \text{αφού } P_{FE} = \sigma I^2 \Rightarrow U_1 I \cos \phi_1 2IR - U_1 \cos \phi_1 (P_{FE} + P_{cu}) = 0 \quad (3)$$

$$\Rightarrow U_1 I \cos \phi_1 2IR = U_1 \cos \phi_1 (P_{FE} + P_{cu})$$

$$2I^2 R = P_{FE} + P_{cu} \Rightarrow P_{FE} = P_{cu} = I^2 R \quad (4)$$

$$(4) \xrightarrow{(1)} P_{FE} = P_{cuov} \left[\frac{I}{I_{ov}} \right]^2 \Rightarrow I = I_{ov} \sqrt{\frac{P_{FE}}{P_{cuov}}} \quad (5) \quad \text{Αυτό είναι το ρεύμα για να έχουμε } \eta_{max}$$

$$\chi. \quad \frac{P_{FE}}{P_{cuov}} = \frac{1}{4} \Rightarrow I = \frac{1}{2} I_{ov} \quad \text{για } \eta_{max}$$

Για τη σύγκριση 2 ΜΙΣ ως προς τον συντελεστή απόδοσης θεωρούμε τον συντελεστή απόδοσης υπό ονομαστικό φορτίο ίσο για όλους τους Μ/Σ.

Δηλαδή .

$$\frac{P_{FE} + P_{CUov}}{P_{CIov}} = \text{σταθ}$$

μεταβάλλουμε τον λόγο

$$\frac{P_{FE}}{P_{CUov}} = \lambda$$

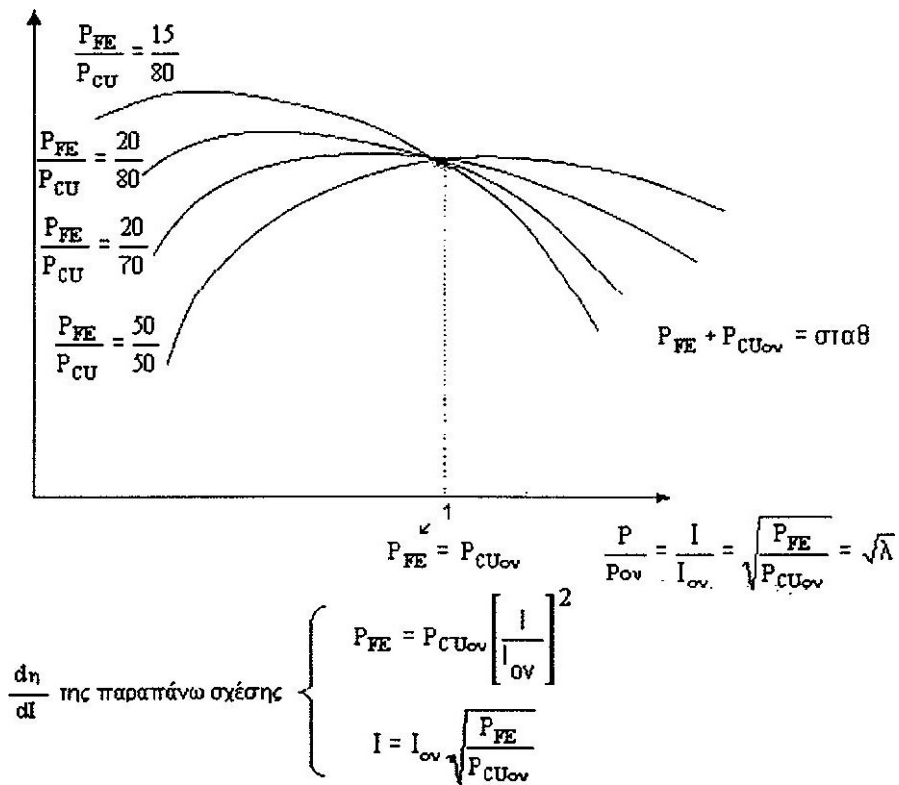
τότε από την (2) για το η και της συνθήκες (2), (5) προκύπτει για μια ορισμένη τιμή του λ το ω

$$\eta = 100 - 100 \cdot \frac{2\sqrt{P_{FE} \cdot P_{CUov}}}{P_{Iov}}$$

αυτή η τιμή λαμβάνεται για φορτίο:

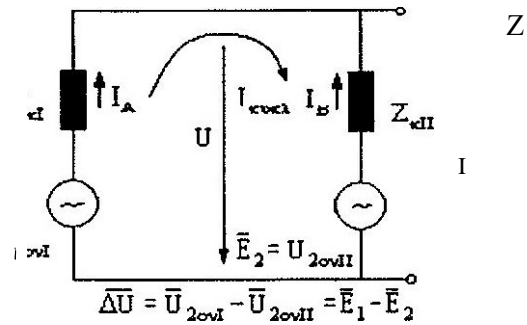
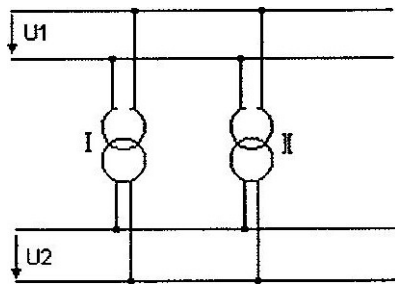
$$\frac{P}{P_{ov}} = \frac{I}{I_{ov}} = \sqrt{\frac{P_{FE}}{P_{CUov}}}$$

Έτσι προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος $\eta = f(\lambda)$.



1.14 Παράλληλη λειτουργία M/T.

Δύο ή περισσότεροι M/T μπορούν να συνδεθούν παράλληλα αν απαιτεί η κατανάλωση δηλαδή το πρωτεύον και το δευτερεύον αυτών από την ίδια τάση. θα εξετάσουμε την περίπτωση δυο μονοφασικών μετασχηματιστών που είναι παράλληλα συνδεδεμένοι. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και τριφασικούς M/T.



Στο σχήμα ο κάθε ΜΤ παριστάνεται με μια πηγή της οποίας η τάση εν κενό u_{20} εσωτερική αντίσταση είναι ίση με την αντίσταση βραχυκύκλωσης

$$Z = (R_1 + R_2) + j(X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2})$$

Όταν το ρεύμα του ΜΤ $I_2 = 0$ για να μην υπάρχει ρεύμα στον βρόχο που σχηματίζεται πρέπει $U_{201} = U_{2011}$

Η σχέση αυτή σημαίνει ότι οι τάσεις πρέπει να έχουν την ίδια φάση και το ίδιο μέτρο. Αυτό γίνεται εάν οι δύο ΜΤ έχουν τον ίδιο λόγο μετασχηματισμού. Εάν οι ΜΤ είναι τριφασικοί πρέπει επί πλέον να έχουν την ίδια συνδεσμολογία των τυλιγμάτων.

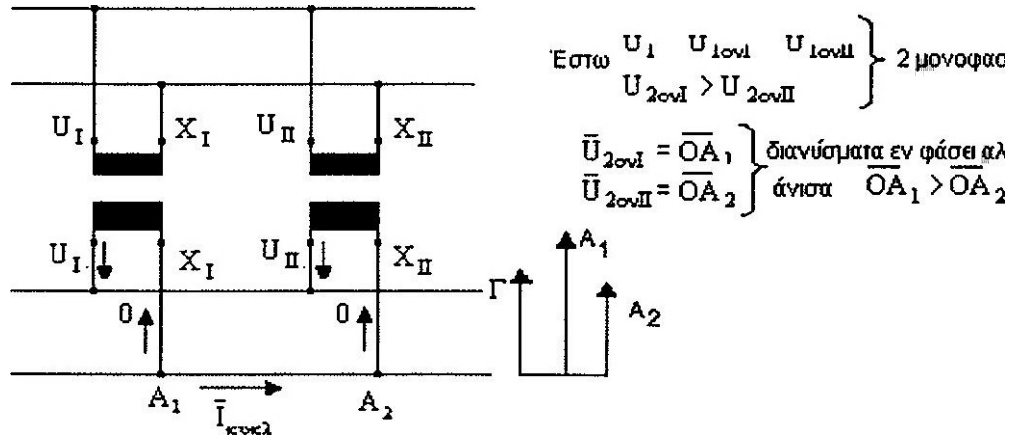
Δηλαδή συνοψίζοντας για να γίνει η παράλληλη σύνδεση θα πρέπει να ισχύουν 4 συνθήκες :

- Ίδια ομάδα σύνδεσης και χαρακτηριστικό αριθμό
- οι ακροδέκτες τους τόσο στην Υ.Τ. όσο και στην Χ. Τ. να είναι ομώνυμοι
- Οι τάσεις πρωτεύοντων και δευτερευόντων τυλιγμάτων να έχουν το ίδιο μέτρο και ίδια φάση
- οι τάσεις βραχυκύκλωσης να είναι ίσες ή με απόκλιση 10%

Όταν ισχύουν αυτές οι συνθήκες οι Μ/Τ φορτίζονται ανάλογα με την ονομαστική τους ισχύ και το συνολικό ρεύμα είναι ίσο με το αριθμητικό άθροισμα των επιμέρους ρευμάτων χωρίς να κυκλοφορεί ρεύμα μεταξύ του (κυκλικό ρεύμα).

Λόγω της 4ης συνθήκης οι κανονισμοί επιτρέπουν παραλληλισμό Μ/Τ με λόγο ισχύος 3:1 οπότε το κυκλικό ρεύμα είναι μέσα σε επιτρεπτά όρια.

1.15 Παράλληλη λειτουργία Μ/Τ με διαφορετική τάση εν κενό.



$$\Delta U = U_{2ovI} - U_{2ovII} = OA_1 - OA_2 = A_2A_1$$

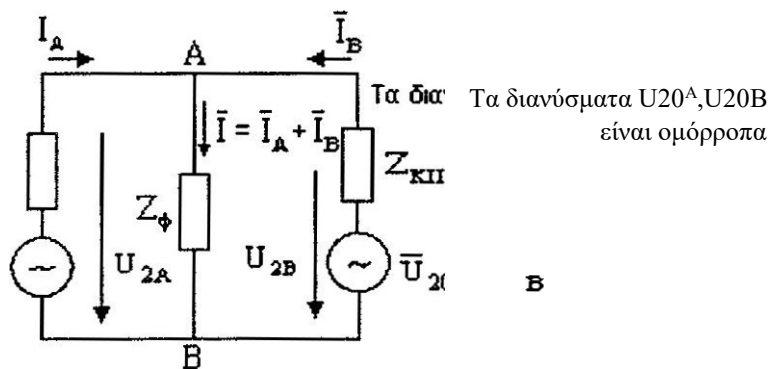
ρεύμα εκ του ΑΙ Α2 μέσω των δευτερευόντων των Μ/Σ => ρεύμα εν κενό και αντιστοιχεί προς το ρεύμα βραχυκύκλωσης εκάστου Μ/Σ

$$I_{κυκλ} = \frac{\Delta U}{Z_{k1} + Z_{k2}} \rightarrow$$

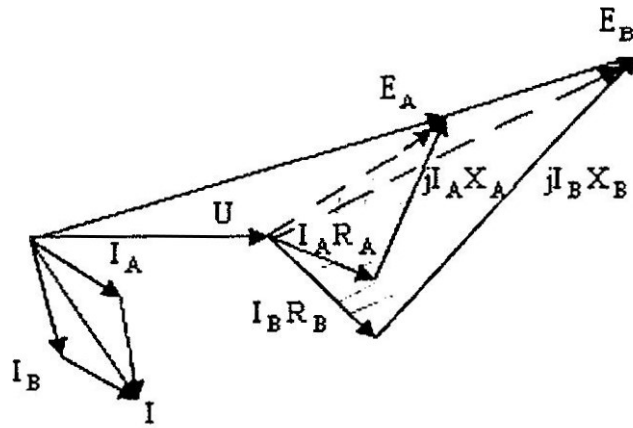
$$Z_{κI} = R_{κ} + jX_{κ} = (R'_1 + R_2) + j(X'_{σ1} + X_{σ2})$$

$$Z_{κII} = R_{II1} + R_{II2} + j(X'_{IIσ} + X_{IIσ2})$$

Φορτίο $Z_{φ} = R_{φ} + jX_{φ}$ τροφοδοτηθεί από ΜΠ Α όπου $U_{20A} = U_{20B}$ & $U_{KA} \neq U_{KB}$



το διανυσματικό διάγραμμα



Επίλυση:

$$\begin{aligned}\bar{E}_A &= \bar{I}_A Z_{\kappa A} + (\bar{I}_A + \bar{I}_B) Z_{\phi} = \bar{I}_A (Z_{\kappa A} + Z_{\phi} + \bar{I}_B Z_{\phi}) \\ &= \bar{I}_B Z_{\kappa B} + (\bar{I}_A + \bar{I}_B) Z_{\phi} = \bar{I}_A Z_{\phi} + Z_{\kappa B} + Z_{\phi}\end{aligned}$$

Λύση (3)

$$\bar{I}_A = \frac{\bar{E}_A Z_{\kappa B} + (\bar{E}_A - \bar{E}_B) Z_{\phi}}{(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}) Z_{\phi} + Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}} = \frac{\bar{E}_A - \bar{E}_B}{Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B} + \frac{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}}{Z_{\phi}}} + \frac{\bar{E}_A Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_{\phi} + Z_{\kappa B} Z_{\phi}}$$

$$(4) \bar{I}_B = \frac{\bar{E}_B Z_{\kappa A} + (\bar{E}_B - \bar{E}_A) Z_{\phi}}{(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}) Z_{\phi} + Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}} = \frac{\bar{E}_B - \bar{E}_A}{Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B} + \frac{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}}{Z_{\phi}}} + \frac{\bar{E}_B Z_{\kappa A}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_{\phi} + Z_{\kappa B} Z_{\phi}}$$

Τα ρεύματα I_A , I_B περιέχουν την συνιστώσα

Ικυκλ =

$$= -\bar{I}_{\kappa\alpha\kappa\beta} = -\frac{\bar{E}_A - \bar{E}_B}{(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}) + \frac{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}}{Z_\phi}}$$

δεν εξέρχεται προς το φορτίο Z_ϕ διότι απαλείφονται στην πρόσθεση

$$\therefore \bar{I} = \bar{I}_A + \bar{I}_B = \frac{\bar{E}_B Z_{\kappa A} + \bar{E}_B Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_\phi + Z_{\kappa B} Z_\phi}$$

Η τάση

$$\bar{U} = \bar{I} \cdot Z_\phi = (5) \cdot Z_\phi = \frac{\frac{\bar{E}_A}{Z_{\kappa A}} + \frac{\bar{E}_B}{Z_{\kappa B}}}{\frac{1}{Z_{\kappa A}} + \frac{1}{Z_{\kappa B}} + \frac{1}{Z_\phi}}$$

Ο (6) επεκτείνεται και στην περίπτωση πολλών M/T .

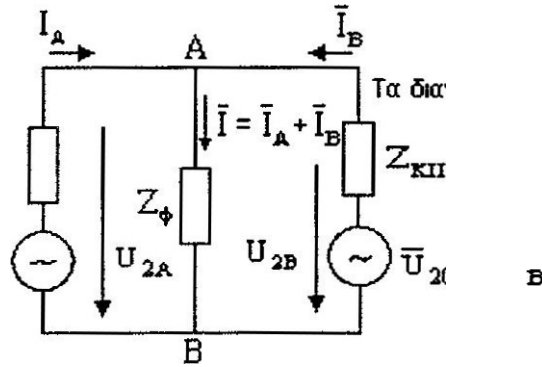
ΕΙΔΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

$$\bar{U}_{20A} = \bar{U}_{20B} \ \& \ \bar{U}_{\kappa A} \neq \bar{U}_{\kappa B}$$

Στην περίπτωση αυτή οι τύποι (3) — (6) γίνονται:

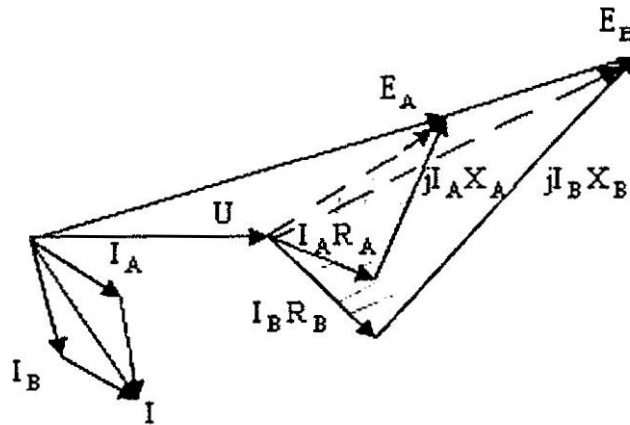
1.16 Γενική περίπτωση παράλληλης λειτουργίας.

Φορτίο $Z_\phi = R_\phi + jX_\phi$ τροφοδοτηθεί από ΜΠ Α όπου $U_{20A} = U_{20B}$ & $U_{KA} = U_{KB}$



Τα διανύσματα U_{20A} , U_{20B} είναι ομόρροπα

το διανυσματικό διάγραμμα



Επίλυση:

$$\begin{aligned} \bar{E}_A &= \bar{I}_A Z_{\kappa A} + (\bar{I}_A + \bar{I}_B) Z_\phi = \bar{I}_A (Z_{\kappa A} + Z_\phi + \bar{I}_B Z_\phi) \\ &= \bar{I}_B Z_{\kappa B} + (\bar{I}_A + \bar{I}_B) Z_\phi = \bar{I}_A Z_\phi + \bar{I}_B (Z_{\kappa B} + Z_\phi) \end{aligned}$$

$$\bar{I}_A = \frac{\bar{E}_A Z_{\kappa B} + (\bar{E}_A - \bar{E}_B) Z_\phi}{(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}) Z_\phi + Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}} = \frac{\bar{E}_A - \bar{E}_B}{Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B} + \frac{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}}{Z_\phi}} + \frac{\bar{E}_A Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_\phi + Z_{\kappa B} Z_\phi}$$

$$(4) \bar{I}_B = \frac{\bar{E}_B Z_{\kappa A} + (\bar{E}_B - \bar{E}_A) Z_\phi}{(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}) Z_\phi + Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}} = \frac{\bar{E}_A - \bar{E}_B}{Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B} + \frac{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}}{Z_\phi}} + \frac{\bar{E}_A Z_{\kappa A}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_\phi + Z_{\kappa B} Z_\phi}$$

Τα ρεύματα I_A , I_B περιέχουν την συνιστώσα

$$I_{\text{κυκλ}} =$$

$$= -\bar{I}_{\text{κυκλB}} = -\frac{\bar{E}_A - \bar{E}_B}{(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}) + \frac{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}}{Z_\phi}}$$

δεν εξέρχεται προς το φορτίο Z_ϕ διότι απαλείφονται στην πρόσθεση

$$\therefore \bar{I} = \bar{I}_A + \bar{I}_B = \frac{\bar{E}_B Z_{\kappa A} + \bar{E}_B Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_\phi + Z_{\kappa B} Z_\phi}$$

Η τάση

$$\bar{U} = \bar{I} \cdot Z_\phi = (5) \cdot Z_\phi = \frac{\frac{\bar{E}_A}{Z_{\kappa A}} + \frac{\bar{E}_B}{Z_{\kappa B}}}{\frac{1}{Z_{\kappa A}} + \frac{1}{Z_{\kappa B}} + \frac{1}{Z_\phi}}$$

Ο (6) επεκτείνεται και στην περίπτωση πολλών M/T .

ΕΙΔΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

$$\bar{U}_{20A} = \bar{U}_{20B} \ \& \ \bar{U}_{\kappa A} \neq \bar{U}_{\kappa B}$$

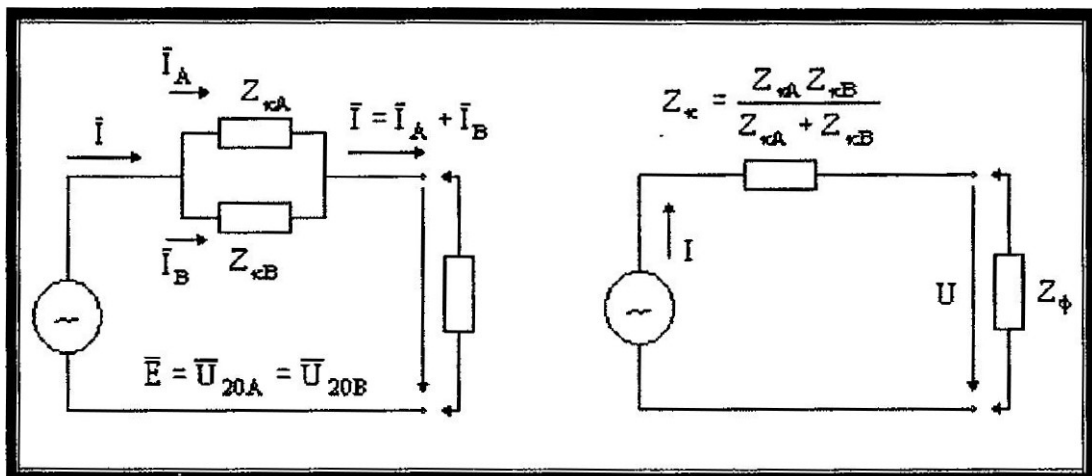
Στην περίπτωση αυτή οι τύποι (3) — (6) γίνονται:

$$\bar{I}_A = \frac{\bar{E} Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_{\phi} + Z_{\kappa B} Z_{\phi}} \quad 3(\alpha)$$

$$\bar{I}_B = \frac{\bar{E} Z_{\kappa A}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_{\phi} + Z_{\kappa B} Z_{\phi}} \quad (4\alpha)$$

δηλαδή εξαφανίζεται το κυκλικό ρεύμα μεταξύ των 2 Μ/Τα

$$\bar{I}_A = \frac{\bar{E}(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B})}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_{\phi} + Z_{\kappa B} Z_{\phi}} \quad 5(\alpha)$$



3α), (4α) → προκύπτει (ισότης πτώσης τάσης βραχυκύκλωσης).

$$U = \dot{i} \cdot Z_{\phi} = (5) \cdot E = \frac{\frac{1}{Z_{\kappa A}} + \frac{1}{Z_{\kappa B}}}{\frac{1}{Z_{\kappa A}} + \frac{1}{Z_{\kappa B}} + \frac{1}{Z_{\phi}}}$$

$$I_A Z_{\kappa A} = I_B Z_{\kappa B} \quad (7)$$

και

$$\bar{I}_A = \bar{I} \cdot \frac{Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}} \quad \bar{I}_B = \bar{I} \cdot \frac{Z_{\kappa A}}{Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}}$$

Επειδή η τάση U είναι κοινή τόσο για τους A, B όσο και για τον υποθετικό που τους αντικαθιστά οι S ανάλογες του $I_{SA} = U_{\bar{I}}$

$$I_{\alpha} Z_{\kappa \alpha} = I_{\beta} Z_{\kappa \beta} \Rightarrow$$

Τα ρεύματα είναι αντιστρόφως ανάλογα των αντίστοιχων βραχυκύκλωσης

$$\frac{I_A}{I_{Aov}} \cdot \frac{I_{Aov} Z_A}{U_{ov}} = \frac{I_A}{I_B} \cdot \frac{Z_A}{Z_B} = \frac{I_B}{I_{Bov}} \cdot \frac{I_{Bov} Z_B}{U_{ov}} \quad (9) \quad U_{\kappa A} = \frac{I_{Aov} Z_A}{U_{ov}} \quad \& \quad U_{\kappa B} = \frac{I_{Bov} Z_B}{U_{ov}} \quad (10)$$

$$\frac{I_A}{I_{Aov}} \cdot U_{\kappa A} = \frac{I_B}{I_{Bov}} \cdot U_{\kappa B} \quad (11) \quad \frac{I_A}{I_B} = \frac{I_{Aov}}{I_{Bov}} \cdot \frac{U_{\kappa B}}{U_{\kappa A}} \quad (12) \quad \frac{I_{Aov}}{I_{Bov}} \cdot \frac{U_{ov}}{U_{ov}} \cdot \frac{U_{\kappa B}}{U_{\kappa A}} = \dots$$

$$\frac{U_{\kappa B}}{U_{\kappa A}} \cdot \frac{S_A}{S_B} \text{ και } \frac{S_A}{S_{AON}} = \frac{S_B}{S_{BON}} \cdot \frac{U_{\kappa B}}{U_{\kappa A}}$$

Υπολογισμός της ισοδύναμης UK

$$\frac{S}{\tilde{U}_\kappa} = \frac{S_{1ov}}{\tilde{U}_{\kappa 1}} + \frac{S_{2ov}}{\tilde{U}_{\kappa 2}} + \dots + \frac{S_{\nu ov}}{\tilde{U}_{\kappa \nu}} \Rightarrow \tilde{U}_\kappa = \frac{S}{\frac{S_{1ov}}{\tilde{U}_{\kappa 1}} + \frac{S_{2ov}}{\tilde{U}_{\kappa 2}} + \dots + \frac{S_{\nu ov}}{\tilde{U}_{\kappa \nu}}}$$

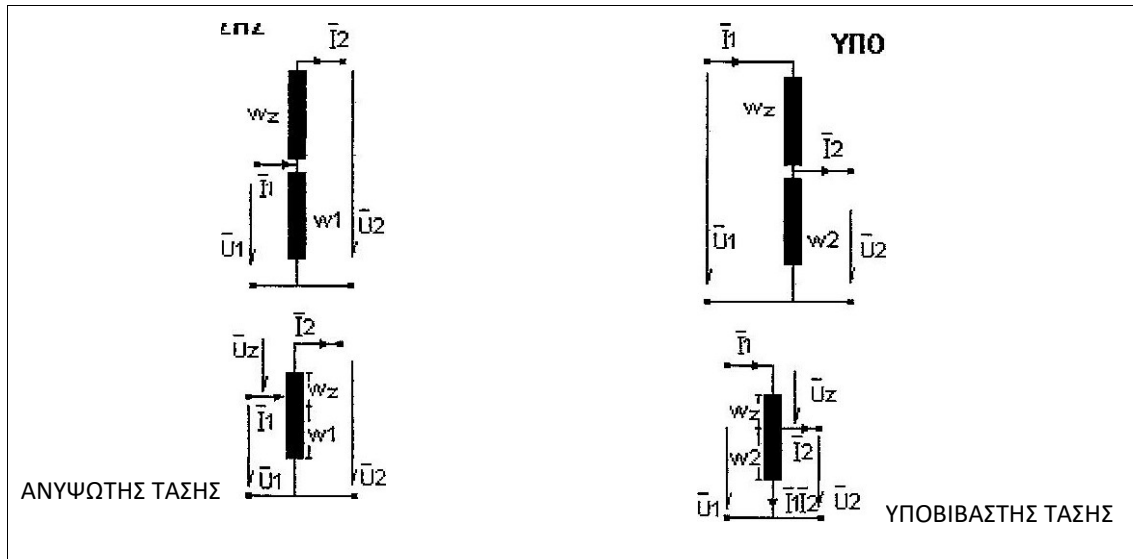
$$\frac{S}{S_A} = \frac{I_A Z_{\kappa A}}{I_A Z}$$

$$\frac{S}{S_{Aov}} = \frac{\tilde{U}_\kappa}{\tilde{U}_{\kappa A}} \Rightarrow S_A = S_{Aov} \frac{\tilde{U}_\kappa}{\tilde{U}_{\kappa A}}$$

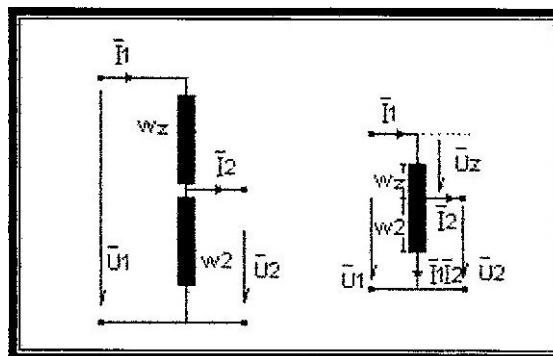
$$\frac{S_B}{S_{Bov}} = \frac{I_A}{I_B} \cdot \frac{Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A}} = \frac{\tilde{U}_\kappa}{\tilde{U}_{\kappa B}} \quad S_B = S_{Bov} \frac{\tilde{U}_\kappa}{\tilde{U}_{\kappa B}}$$

1.17 Αυτομετασχηματιστές.

Ο Μ/Τ που αναφέραμε στα προηγούμενα (ο μονοφασικός) έχει δυο τυλίγματα με w_1 και w_2 σπείρες, οι οποίες δεν συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους. Μπορούμε αυτόν τον ΜΙΤ να τον μετατρέψουμε κατάλληλα και να δημιουργήσουμε ένα αυτομετασχηματιστή όπως φαίνεται στα σχήματα κάτω. Υπάρχει άλλος τύπος αυτομετασχηματιστή ο οποίος αποτελείται από ένα τύλιγμα και μία κινητή επαφή, ώστε στην έξοδο να παίρνουμε διάφορες τιμές τάσης από μηδέν μέχρι την τάση εισόδου.



Οι αυτομετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για να εξουδετερώνουν διακυμάνσεις των τάσεων στα δίκτυα, για την εκκίνηση ασύγχρονων κινητήρων καθώς και για τη σύνδεση δικτύων με διαφορετική τάση. Ας δούμε τι συμβαίνει σε ένα αυτομετασχηματιστή εξετάζοντας το σχήμα του.



Θεωρούμε ότι οι ωμικές απώλειες, το ρεύμα μαγνήτισης και η σκέδαση είναι αμελητέα μεγέθη, τότε έχουμε:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{W_2 + W_z}{W_2} = 1 + \frac{W_z}{W_2}$$

Το τύλιγμα w_z λέγεται τύλιγμα σειράς με ρεύμα I_1 και είναι το πρωτεύον, ενώ το τύλιγμα w_2 δευτερεύον τύλιγμα και λέγεται παράλληλο με ρεύμα I_2 . Αν πάρουμε το νόμο διαρρέυματος θα έχουμε :

$$w_z I_1 + w_2 I_2 = 0 \Rightarrow I_1 = -\frac{w_2 + w_z}{w_2} \cdot I_2 = -\frac{w_2}{w_1} \cdot I_2$$

Ο αυτομετασχηματιστής προσλαμβάνει από ένα δίκτυο την ισχύ S_D και την αποδίδει στο άλλο. Αυτή η ισχύς λέγεται ισχύς διέλευσης. Ένα μέρος από αυτή μεταφέρεται επαγωγικά μέσω του τυλίγματος σειράς και ονομάζεται ιδιοισχύς S_E

Η S_E καθορίζει το μέγεθος του αυτομετασχηματιστή. Από το σχήμα έχουμε .

$$S_D(t) = U_1 \cdot I_1$$

$$S_E(t) = U_z \cdot I_1 = \frac{w_z}{w_2 + w_z} \cdot U_1 I_1 = \frac{U_1 - U_2}{U_1} U_1 \cdot I_1 = (U_1 - U_2) \cdot I_1$$

Αν πάρουμε τον λόγο των S_D , S_E θα έχουμε :

$$\frac{S_E}{S_D} = \frac{\frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot I_1}{U_1 I_1} = \frac{U_1 - U_2}{U_1}$$

$$S_E = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot S_D = \left[1 - \frac{U_2}{U_1} \right] \cdot S_D$$

Από τη σχέση αυτή βλέπουμε ότι το μέγεθος των M/T είναι τόσο μικρότερο όσο μικρότερη είναι η διαφορά των τάσεων U_1/U_2 . Σύγκριση τώρα ενός M/T και ενός AMT που πρέπει να μεταφέρουν την ίδια ισχύ S_D και οι οποίοι στο πρωτεύον και στο δευτερεύον έχουν τις ίδιες τάσεις ο AMT πρέπει να είναι ίσος με $1 - \frac{U_2}{U_1}$ του κανονικού. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε τον AMT μια ανύψωση τάσης τότε η σχέση των

είναι η εξής :

$$\frac{S_E}{S_D} = \frac{U_1 - U_2}{U_1} = 1 - \frac{U_2}{U_1}$$

Στον AMT οι απώλειες είναι μειωμένες καθώς και το ρεύμα εν κενό

1.18 Ψύξη M/T .

Οι απώλειες σε ένα M/T όπως και στις ηλεκτρικές μηχανές εκδηλώνονται τελικά σε ανάπτυξη θερμότητας. Στις στρεφόμενες μηχανές παράγεται συγχρόνως λόγω της περιστροφής, ρεύμα αέρα το οποίο βοηθά στην απαγωγή της παραγόμενης από τις

απώλειες θερμότητας. Επειδή όμως οι μετασχηματιστές δεν έχουν κινούμενα μέρη το πρόβλημα ψύξης είναι σοβαρό, και για αυτό δίνεται ιδιαίτερη προβολή στις συνθήκες ψύξης του. Το ψυκτικό μέσο μπορεί να είναι αέρας ή λάδι. Έτσι διακρίνουμε από άποψη ψύξης δύο είδη ΜΓΓ.

- Ξηρούς μετασχηματιστές με μέσο ψύξης τον σέρα
- Ελαίου μετασχηματιστές με μέσο ψύξης το λάδι και έτσι οι απώλειες χαλκού και σιδήρου μεταδίδονται στο λάδι. Αντί λαδιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το κλοφέν (Clophen).

1-1 ΑΠΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΝΕΤΑΙ ΜΕ ΤΡΕΙΣ ΤΡΟΠΟΥΣ : • Δια της αγωγιμότητας όπου η θερμότητα μεταφέρεται από σημείο σε σημείο μέσα σε ένα σώμα

- Δια ροής ή μεταφοράς, μεταφέροντας η θερμότητα με την κίνηση του αερίου ή του υγρού και
- Δια ακτινοβολίας μετατρέπεται η θερμική ενέργεια σε ενέργεια ακτινοβολίας και μεταφέρεται χωρίς μεσολάβηση υλικού από σώμα σε σώμα. Στην ψύξη • των ΜΙΣ μετέχουν συνήθως και τα τρία είδη μετάδοσης θερμότητας.

ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΛΑΔΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΕΞΗΣ :

Λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους, της μεγαλύτερης ειδικής θερμότητας και της μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας του λαδιού η θερμότητα μπορεί να απομακρυνθεί ευκολότερα αλλά και να συσσωρευτεί μεγάλη ποσότητα θερμότητας όπως είναι δυνατό να συμβεί σε προσωρινές υπερφορτίσεις Το λάδι έχει καλύτερες μονωτικές ικανότητες επειδή η τάση διάσπασης έξι φορές μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα. Το λάδι όμως πρέπει να συντηρείται με μεγάλη επιμέλεια επειδή προσβάλλεται από τον αέρα και την υγρασία. οι ίνες που έχει απορροφούν νερό και αυτό μειώνει την μονωτική αντοχή. Εξάλλου αν ένα θερμό λάδι έρθει σε επαφή με τον αέρα, τότε αυτό αλλοιώνεται αφού οξειδώνεται με την πρόσληψη οξυγόνου.

Η προστασία του λαδιού από τον σέρα και την υγρασία εξασφαλίζεται με την βοήθεια ενός δοχείου προστασίας λαδιού το οποίο τοποθετείται στο επάνω μέρος του Μ/Τ και γίνεται δοχείο διαστολής.

Ο ΜΥΓ συνδέεται με το δοχείο αυτό μέσω ενός σωλήνα με τρόπο ώστε ο σωλήνας να καταλήγει λίγο πιο πάνω από τον πυθμένα του δοχείου. Όταν ο ΜΙΤ βρίσκεται σε κρύα κατάσταση πρέπει το λάδι να καταλαμβάνει ένα μέρος από το δοχείο διαστολής. Εάν περάσει ρεύμα στα τυλίγματα και το λάδι θερμανθεί τότε θα επέλθει διαστολή αυτού και η -στάθμη του λαδιού στο δοχείο διαστολής θα ανέβει.

Έτσι ο λέβητας του λαδιού μέσα στον οποίο βρίσκεται ο πυρήνας και τα τυλίγματα είναι διαρκώς γεμάτα με λάδι και δεν δημιουργείται κενό αέρος. Το λάδι του δοχείου είναι διαρκώς λιγότερο ζεστό σε σύγκριση με το λάδι του λέβητα. Έτσι είμαστε σίγουροι πως με την επαφή του με τον αέρα δεν διατρέχει κίνδυνο να οξειδωθεί.

Εάν τυχόν με την υγρασία που υπάρχει στον αέρα μέσα στο δοχείο διαστολής σχηματιστεί νερό, αυτό κατακάθεται στον πυθμένα του δοχείου και από εκεί φεύγει μέσω βαλβίδων τις οποίες ανοίγουμε. Το νερό αυτό δεν μπορεί πάει στον λέβητα του λαδιού γιατί ο σωλήνας που συνδέει τον μετασχηματιστή με το δοχείο διαστολής καταλήγει όπως είπαμε παραπάνω από τον πυθμένα αυτού.

1.19 Θόρυβος M/T.

Ο θόρυβος των μετασχηματιστών οφείλεται στο φαινόμενο της μαγνητοσυστολής, δηλαδή στη μεταβολή των διαστάσεων των σιδερένιων ελασμάτων του πυρήνα από την επίδραση του πεδίου. Αυτή η μαγνητική επιμήκυνση παρατηρείται σε κλάσματα που περιέχουν πυρίτιο, και είναι ανάλογη της μαγνητικής επαγωγής και επίσης εξαρτάται από τον τρόπο επεξεργασίας του υλικού.

Σε κάθε ημιπερίοδο του μαγνητικού πεδίου δημιουργείται μια πλήρη μηχανική ταλάντωση του πυρήνα και των ζυγωμάτων. Έτσι η συχνότητα των μηχανικών ταλαντώσεων είναι διπλάσια της συχνότητας του πεδίου εκτός από αυτή την ταλάντωση υπάρχουν οι ανώτερες ταλαντώσεις των οποίων η συχνότητα είναι πολλαπλάσια της βασικής.

Ο πυρήνας ενός μετασχηματιστή αποτελείται από μάζα με ιδιότητες ελατηρίου και επομένως έχει την ικανότητα να ταλαντώνεται. Επειδή η ελαστική αυτή μάζα είναι συνεχώς κατανεμημένη έχει άπειρες ιδιοσυχνότητες. Εάν τώρα οι συχνότητες διέγερσης μαγνητικής προέλευσης συμπίπτουν με μια τουλάχιστον ιδιοσυχνότητα τότε δημιουργείται συντονισμός κα' ο πυρήνας ταλαντώνεται με το μέγιστο πλάτος. Οι ταλαντώσεις του πυρήνα μεταδίδονται μέσω του λαδιού, στο λέβητα και μετά στον αέρα και έτσι δημιουργείται ο θόρυβος.

Η αντιμετώπιση του θορύβου γίνεται με διάφορα μέσα και τεχνικές.

- με βελτίωση των ελασμάτων
- με προσεκτική κατασκευή του πυρήνα όσον αφορά την τοποθέτηση των ελασμάτων και την σύνδεση των στελεχών με τα ζυγώματα
- με κατάλληλο σχεδιασμό, Έχει διαπιστωθεί ότι κατασκευάζοντας τον πυρήνα από τρία ξεχωριστά πλαίσια η μαγνητική και ακουστική ζεύξη μεταξύ τους μειώνει αρκετά την ένταση του ήχου.

1.20 Προστασία των Μετασχηματιστών :

Ένας μετασχηματιστής μπορεί να υποστεί βλάβη στις εξής περιπτώσεις :

- 1) Παρατεταμένο βραχυκύκλωμα μέσα ή έξω από το δοχείο στην πλευρά της χαμηλής ή της υψηλής τάσης
- 2) Από διαρκή υπερφόρτιση
- 3) Από σφάλμα στην μόνωση, όπως βραχυκύκλωμα σπειρών και τυλιγμάτων ως προς τη γη. Η προστασία ενός μετασχηματιστή σε βραχυκυκλώματα πρέπει να γίνει οπωσδήποτε γιατί μπορεί να δημιουργηθεί πυρκαγιά.

α) Σε βραχυκύκλωμα

Οι Μ/Σ αντέχουν χωρίς βλάβες ή άλλα μειονεκτήματα σε ρεύματα βραχυκυκλωμάτων για 2-3 δευτερόλεπτα όπως δείχνει ο πίνακας.

Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα βραχυκύκλωσης ΜΙΣ για διάφορους χρόνους κατά VDE 0532, τείβ1

Ισχύς (KVA)	0-630	630-1250	1250-3150
Τάση βραχυκύκλωσης (%)	4	5	6,25
Μέγιστος χρόνος βραχυκύκλωσης (sec)	2	3	4
Ρεύμα βραχυκύκλωσης / ονομ. ρεύμα = I kl I N	25	20	16

και μάλιστα όταν το βραχυκύκλωμα γίνεται στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος οπότε τα ρεύματα είναι 16-25 φορές μεγαλύτερα του ονομαστικού.

Η προστασία γίνεται με ασφάλειες σκόνης ή με διακόπτες ισχύος στην μέση τάση. οι ασφάλειες δεν προστάτευαν όμως τον ΜΙΣ σε συνεχή υπερφόρτιση, γιατί η ελάχιστη ένταση στην οποία τήκονται είναι 2,5-3 φορές η ονομαστική ένταση τους.

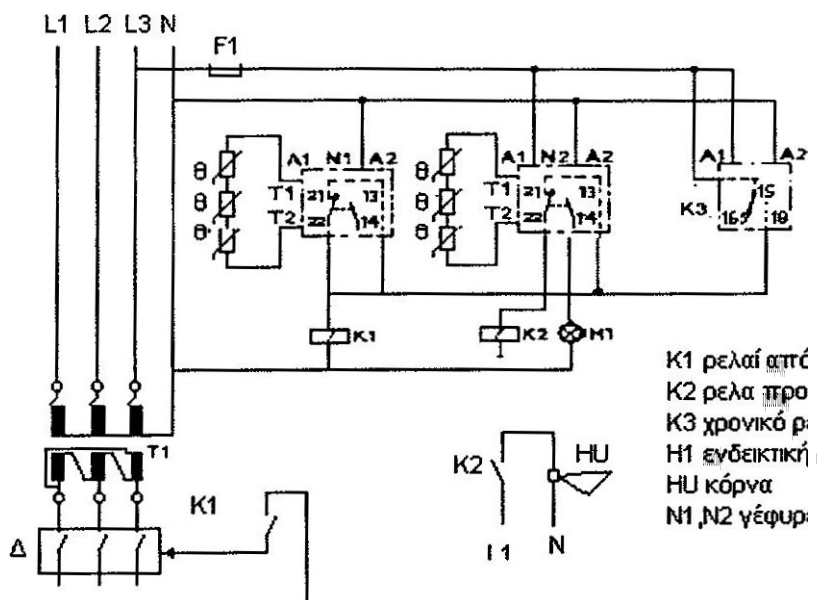
Ασφάλειες προτιμώνται έναντι των διακοπών ισχύος σαν μέσα προστασίας γιατί. περιορίζουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Δεν μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν ασφάλειες για απόξευση υπό φορτίο, γι' αυτό πρέπει να συνδυάζονται με διακόπτες φορτίου.

β) Σε υπερφόρτιση

Η προστασία σε παρατεταμένη συνεχή υπερφόρτιση γίνεται χρησιμοποιώντας θερμόμετρο λαδιού ή θερμίστορες που είναι εμφυτευμένοι στα τυλίγματα του ΜΙΣ όταν κατασκευάζεται.

Επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται αυτόματοι Δ. Ισχύος στην Χ.Τ. ή και ασφάλειες που έχουν σκοπό να περιορίζουν την υπερφόρτιση. οι ασφάλειες χρησιμοποιούνται μέχρι 400 Α, έχουν την ονομαστική ένταση του δευτερεύοντος και είναι τύπου ΝΗ. Οι αυτόματοι ρυθμίζονται στην ονομαστική σύσταση του Μ/Σ. Τα θερμόμετρα λαδιού παρακολουθούν τη θερμοκρασία του ανωτέρου στρώματος λαδιού.

Αυτή πρέπει να είναι κατώτερη των 100 °C. Μπορεί να έχουμε σε υπερθερμοκρασίες μια σήμανση οπτική, ακουστική ή και υψηλότερες θερμοκρασίες απόξευση του Μ/Σ. Έτσι σε κάθε θερμόμετρο υπάρχουν συνήθως δυο οριακοί δείκτες, ο μπλε για σήμανση και ο κόκκινος για απόξευση



γέφυρες
ενισχυτών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

ΜΕΛΕΤΗ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ (Μ/Τ)

2.1 ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός της ενότητας αυτής είναι η υπολογισμός των διαστάσεων του μαγνητικού κυκλώματος και των τυλιγμάτων των μονοφασικών μετασχηματιστών με ισχύ μέχρι 2000VA με χρήση απλών υπολογισμών.

Στη συνέχεια, εκτίθεται μία απλή και σύντομη μέθοδος υπολογισμού που στηρίζεται στην χρησιμοποίηση διαγραμμάτων και πληροί τις εξής θεμελιώδεις συνθήκες.

1. Καλής Λειτουργίας
2. Χαμηλού Κόστους

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

Ορίζονται :

1. Η τάση V_{1N} , με την οποία τροφοδοτείται το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή.
2. Η τάση V_{2N} , που διατίθεται στα άκρα του δευτερεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή.
3. Η συχνότητα του ρεύματος τροφοδοτήσεως σε Hz.
4. Η φαινόμενη ισχύς S_{2N} , του μετασχηματιστή σε VA
5. Απώλειες πυρήνα P_{Fe} και Απώλειες Χαλκού P_{Cu}

Ζητούνται :

1. Διατομή Πυρήνα $A_{Fe}(r) = 1.2\sqrt{S_{2N}} = C^2$ σε cm^2
2. Αριθμός σπειρών πρωτεύοντος
3. Αριθμός σπειρών δευτερεύοντος
4. Η διάμετρος των αγωγών πρωτεύοντος & δευτερεύοντος
5. Οι διαστάσεις του πυρήνα

2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ Μ/Τ 2ΚΝΑ 1:1

<u>ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ Μ/Τ</u>

$$\begin{aligned} V_{1N} &= 230V & \rho &= \frac{1}{56} \Omega \text{ mm}^2/m \text{ (Ειδική Αντίσταση)} \\ V_{2N} &= 216V & K_{Fe} &= 0.85 \text{ (Συντελεστής Σιδήρου)} \\ S_{2N} &= 2000VA & P_{Fe} &= 2\% \\ \varepsilon &= 6\% & P_{Cu} &= 2\% \end{aligned}$$

Διατομή Πυρήνα:

$$\begin{aligned} 1. \quad A_{Fe}(r) &= 1.2\sqrt{S_{2N}} = 1.2\sqrt{2000} = 44.7\text{cm}^2 = C^2 \\ C &= 6.7\text{cm} \rightarrow C = 0.067\text{m} \end{aligned}$$

Από Πίνακα : for $C = 67\text{mm}$

Ο πυρήνας με $C=67\text{mm}$ έχει βάρος 10.98kgr.

Για $C=67\text{mm}$ $A_{Fe(r)} = C^2 = 0.00447\text{m}^2 = 4.47 \times 10^{-3}\text{m}^2$

$$\begin{aligned} 2. \quad \text{Απόδοση: } n &= 100 - (\rho_{Fe} + \rho_{Cu}) = 100 - 4 = 96\% \\ \text{Άρα: } n &= \frac{S_{2N}}{S_{1N}} \rightarrow S_{1N} = \frac{S_{2N}}{n} = \frac{2000}{0.96} = 2083VA \end{aligned}$$

$$3. \quad S_{1N} = V_{1N} \times I_{1N} \rightarrow I_{1N} = \frac{S_{1N}}{V_{1N}} = \frac{2083}{230} = 9.05A$$

$$4. \quad I_{2N} = \frac{S_{2N}}{V_{2N}} = \frac{2000}{216} = 9.26A$$

$$5. \quad P_{Fe} = 2083 \frac{2}{100} = 41.66W$$

$$6. \quad P_{Cu} = 2083 \frac{2}{100} = 41.66W$$

$$41.66W + 41.66W = 83.3W$$

$$S_{1N} - S_{2N} = 2083 - 2000 \cong 83VA$$

7. Από το Διάγραμμα Υλικού Ποιότητας 1,5 W/kgf
και για Βάρος 10.98kgf

$$\text{Οριζόντιος άξονας} \rightarrow \frac{P_{Fe}}{KGr} = \frac{41.66}{10.98} = 3.80 W/Kgr$$

Για αυτό, από το γράφημα η Μαγνητική Επαγωγή (Μέγιστη Τιμή) $B=1.3$ Tesla

$$B_{rms} = \frac{B_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{1.3}{\sqrt{2}} = 0.92 \text{ Tesla}$$

Αρά, από την άλλη γραφική παράσταση έχουμε Ένταση μαγνητικού Πεδίου $H = 1300At$

$$8. N_1 = \frac{V_1}{4.44fK_{Fe}B_{max}A_{Fe(r)}} = \frac{230}{4.44 \cdot 50 \cdot 0.96 \cdot 0.00447} = 241 \text{ Σπείρες}$$

$$N_2 = \frac{V_{2N}}{V_{1N}} N_1 (1 + \varepsilon) = \frac{216}{230} 241 (1 + 0.02) = 231 \text{ Σπείρες}$$

Άρα $241 + 231 = 472$ Συνολικές Σπείρες για τον Μ/Τ

9. Μέση διαδρομή Μαγνητικής Ροής Πρωτεύοντος :

$$I_{1\mu} = \left(\frac{\alpha}{4} + 2\alpha + \frac{\alpha}{4} \right) \cdot 4 = 5C(m)$$

Το ίδιο μέγεθος για το Δευτερεύον :

$$I_{2\mu} = \left(\frac{3\alpha}{4} + 2\alpha + \frac{3\alpha}{4} \right) \cdot 4 = 7C(m)$$

Έτσι : $I_{1\mu} = 0.335m$ και $I_{2\mu} = 0.47m$

Συνολικό Μήκος : $L_1 = N_1 I_{1\mu} = 241 \cdot 0.335 = 80.7m$

& $L_2 = N_2 I_{2\mu} = 231 \cdot 0.47 = 108.5m$

10. Πυκνότητα Ρεύματος : J (A/mm^2)

$$P_{Cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \rightarrow P_{Cu} = I_1 I_1 p \frac{L_1}{q_1} + I_2 I_2 p \frac{L_2}{q_2} \rightarrow P_{Cu}$$

$$= JpL_1 I_{1N} + JpL_2 I_{2N} \rightarrow P_{Cu} = Jp(L_1 I_{1N} + L_2 I_{2N})$$

$$\rightarrow J = \frac{P_{Cu}}{p(L_1 I_{1N} + L_2 I_{2N})} \rightarrow$$

$$J = 1.41 A/mm^2$$

$$11. J = \frac{I_{1N}}{q_1} \rightarrow q_1 = \frac{9.05}{1.41} = 6.4 \text{ mm}^2$$

(Εμβαδόν Διατομής Πρωτεύοντος Σύρματος)

$$\text{Ομοίως, } q_2 = \frac{I_{2N}}{J} = \frac{9.26}{1.41} = 6.57 \text{ mm}^2$$

12. Διάμετροι :

$$q_1 = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow d_1 = \sqrt{8.15} \rightarrow d_1 = 2.85 \text{ mm}$$

$$q_2 = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow d_2 = \sqrt{8.36} \rightarrow d_2 = 2.9 \text{ mm}$$

Λαμβάνοντας υπόψιν την μόνωση του σύρματος $d_1 = 2.85 - 2.9$

$$13. I_{Fe} = \frac{P_{Fe}}{V_1} = \frac{41.66}{230} = 0.18 \text{ A}$$

$$14. H \cdot l_m = I_m \cdot N_1 \rightarrow I_m = \frac{1300 \cdot 0.8}{241} \rightarrow I_m = 4.32 \text{ A}$$

(Μέγιστη τιμή) Άρα ενεργός τιμή $I_m = \frac{4.32}{\sqrt{2}} = 3.05 \text{ A}$

$$15. I_0 = \sqrt{I_m^2 + I_{Fe}^2} = \sqrt{9.30 + 0.032} = 3.055 \text{ A}$$

16. Ωμικές Αντιστάσεις συρμάτων

$$R_1 = p \frac{L_1}{q_1} = 0.017 \frac{80.7}{6.4} = 0.21 \Omega$$

$$R_2 = p \frac{L_2}{q_2} = 0.017 \frac{108.5}{6.57} = 0.29 \Omega$$

$$17. m = \frac{220}{216} \cong 1 \quad (\text{Λόγος Μετασχηματισμού})$$

$$18. \quad S_{1N} = S_{2N} \rightarrow R_{1N}J_{1N}^2 = R_{2N}J_{2N}^2 \rightarrow R_1 = R_2 \frac{J_{2N}^2}{J_{1N}^2} \rightarrow$$

$$R_1 = R_2 m^2 \rightarrow R_2 = \frac{R_1}{m^2}$$

Ισοδύναμες Αντιστάσεις:

$$R_{eq1} = R_1 + m^2 R_2 = 0.5\Omega$$

$$R_{eq2} = \frac{R_1}{m^2} + R_2 = 0.5\Omega$$

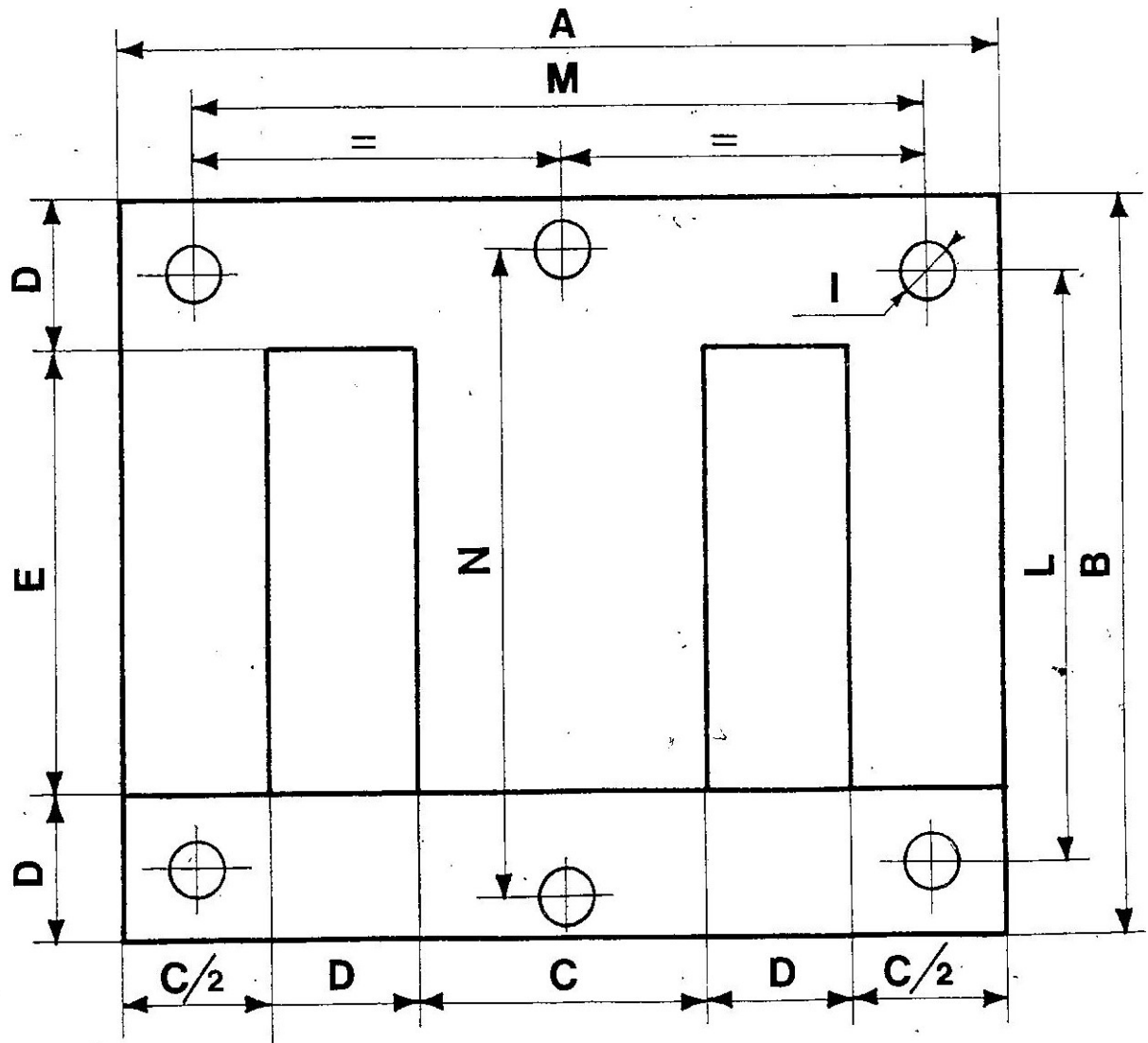
Χωρητική Αντίσταση (βλέπε σημειώσεις) :

$$19. \quad n = \max imum \Rightarrow P_{Cu} = P_{Fe} \Rightarrow (\text{βλέπε σημειώσεις})$$

$$\Rightarrow I_{1\max} = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{R_{eq1}}} \Rightarrow I_{2\max} = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{R_{eq2}}}$$

LAMIERINI PER TRASFORMATORI MONOFASE

El single phase



A con 4 fori-with 4 holes con 2 - 4 - 6 fori
 with 2 - 4 - 6 holes

	TIPO	A	B	C	D	E	I	L	M	N	PESO x 10mm gr.
△	EI 48	48	40	16	8	24	3,5	32	40		114
△	EI 54	54	45	18	9	27	3,5	36	45		147
△	EI 57	57	47,5	19	9,5	28,5	3,5	38	47,5	38	162
△	EI 66	66	55	22	11	33	4,5	44	55		210
□	EI 75	75	62,5	25	12,5	37,5	4,2	50	62,5	54,2	283
□	EI 84	84	70	28	14	42	5	56	70	61	320
□	EI 96	96	80	32	16	48	5,5	64	80	70	467
□	EI 100	100	86	32	18	50	6	70	84	76	488
□	EI 108	108	90	36	18	54	6	72	90	78	570
△	EI 114	114,3	95,25	38,1	19,5	57,15	5,5	76,2	95,25		620
□	EI 120	120	100	40	20	60	7	80	100	87	715
△	EI 130	130	115	40	25	65	6	95	110		890
△	EI 126	126	105	42	21	63	7	84	105		804
△	EI 135	135	112,5	45	22,5	67,5	7,5	90	112,5		905
△	EI 150	150	125	50	25	75	9,5	100	125		1063
□	EI 180	180	150	60	30	90	9,5	120	150	129,5	1640
□	EI 192	192	160	64	32	96	9,5	128	160	137,5	1864
△	EI 60	60	50	20	10	30	4	40	50		186

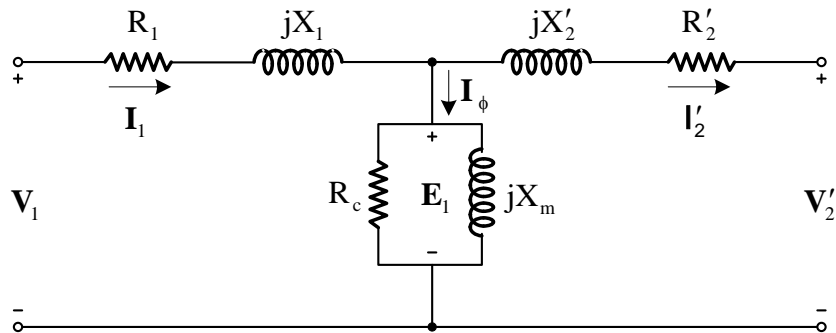
Κεφάλαιο 3ο

Πειραματικό μέρος

3.1. Προσδιορισμός των παραμέτρων του ισοδύναμου κυκλώματος μονοφασικού μετασχηματιστή

3.1.1. Ισοδύναμο κύκλωμα

Το ισοδύναμο κύκλωμα μονοφασικού Μ/Σ, **ανηγμένο στο πρωτεύον**, έχει τη μορφή του σχ1.



σχ1: Ισοδύναμο κύκλωμα μονοφασικού Μ/Σ.

Όπου :

R_1 = η ωμική αντίσταση του πρωτεύοντος τυλίγματος, (Ω)

X_1 = αυτεπαγωγή σκέδασης πρωτεύοντος, (Ω)

R_2' = ωμική αντίσταση του δευτερεύοντος ανηγμένη στο πρωτεύον, (Ω)

X_2' = αντίδραση σκέδασης του δευτερεύοντος ανηγμένη στο πρωτεύον, (Ω)

R_c = αντίσταση η οποία παριστάνει τις ισοδύναμες απώλειες σίδηρου, υπό κενό φορτίο, (Ω)

X_m = αντίδραση μαγνήτισης, (Ω)

V_1 = η τάση που εφαρμόζεται στο πρωτεύον τύλιγμα, (V)

I_1 = το ρεύμα πρωτεύοντος, (A)

$V'_2 =$ η τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος ανηγμένη στο
πρωτεύον , (V)
 $I'_2 =$ το ρεύμα του δευτερεύοντος ανηγμένο στο πρωτεύον, (A)
 $I_\phi =$ ρεύμα διέγερσης, (A)

Έστω N_1 , N_2 οι αριθμοί των σπειρών των δύο τυλιγμάτων.
Ισχύει ότι:

$$R'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_2 = \alpha^2 R_2$$

$$X'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 X_2 = \alpha^2 X_2$$

$$V'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right) V_2 = \alpha V_2$$

$$I'_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) I_2 = \alpha I_2$$

Οι παράμετροι του ισοδύναμου κυκλώματος ενός μονοφασικού
M/Σ, μπορούν πολύ εύκολα να προσδιορισθούν με τη βοήθεια δύο
απλών δοκιμών.

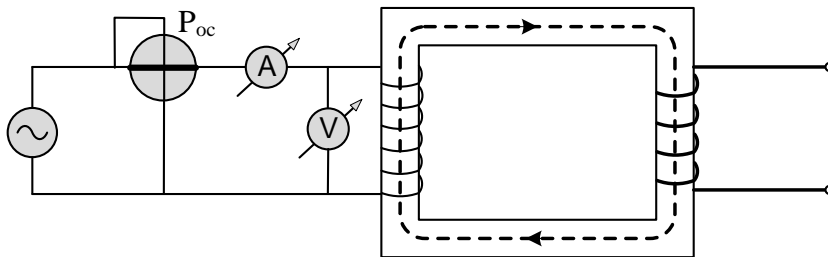
Οι δοκιμές αυτές είναι,

- η δοκιμή **ανοικτού κυκλώματος** ή **δοκιμή κενού φορτίου**
και
 - η δοκιμή **κλειστού κυκλώματος** ή **δοκιμή βραχυκύκλωσης**.

Στη συνέχεια ακολουθεί μια λεπτομερής ανάλυση των επιμέρους
αυτών δοκιμών.

3.1.2. Δοκιμή ανοικτού κυκλώματος

Για δεδομένη επιβαλλόμενη τάση V_1 στο πρωτεύον του μετασχηματιστή, η μαγνητική ροή στον πυρήνα δεν μεταβάλλεται σημαντικά με το φορτίο. Αυτό σημαίνει ότι, πρακτικά οι απώλειες του πυρήνα (απώλειες σιδήρου) είναι δυνατόν να θεωρηθούν με αρκετά καλή προσέγγιση, σταθερές και ανεξάρτητες του φορτίου. Οι απώλειες του πυρήνα μπορούν να μετρηθούν από τη δοκιμή ανοικτού κυκλώματος, σχ.2.



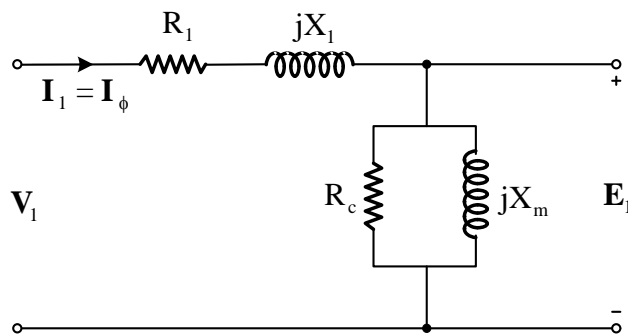
Σχήμα 2: Συνδεσμολογία δοκιμής ανοικτού κυκλώματος

Σύμφωνα λοιπόν με τη δοκιμή ανοικτού κυκλώματος, στο πρωτεύον τύλιγμα εφαρμόζεται ονομαστική τάση και συχνότητα, ενώ το δευτερεύον τύλιγμα είναι ανοιχτό.

Στην περίπτωση αυτή το ισοδύναμο κύκλωμα παίρνει τη μορφή του σχ. 2.

Επειδή η συνιστώσα φορτίου I_2 του ρεύματος στο πρωτεύον είναι μηδενική, σύμφωνα με το σχ.3, ισχύει ότι:

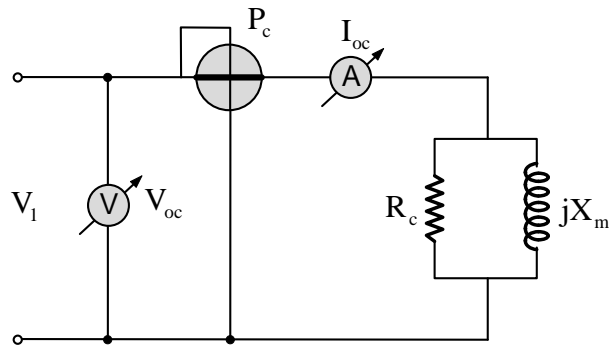
$$V_1 = I_1(R_1 + jX_1) + E_1 = I_\phi(R_1 + jX_1) + E_1$$



Σχήμα 3: Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή σε κενή λειτουργία.

Δεδομένου ότι το ρεύμα διέγερσης, αντιπροσωπεύει το 2–5 % του ρεύματος κανονικής λειτουργίας οι πτώσεις τάσης στην ωμική αντίσταση και την αντίδραση σκέδασης στο πρωτεύον μπορούν με αρκετά καλή προσέγγιση να αμεληθούν. Στην περίπτωση αυτή η επιβαλλόμενη τάση είναι πρακτικά ίση με την αναπτυσσόμενη Α.Η.Ε.Δ., E_1 . Αμελώντας λοιπόν τις απώλειες χαλκού του πρωτεύοντος, **η πραγματική ισχύς του βατομέτρου κατά τη δοκιμή κενού φορτίου, αντιπροσωπεύει τις απώλειες του πυρήνα**. Από τις ενδείξεις των τριών οργάνων του σχ. 1-8 και σύμφωνα με τις παραπάνω παραδοχές, ισχύει ότι

$$P_{oc} = \frac{V_{oc}^2}{R_c} \Rightarrow R_c = \frac{V_{oc}^2}{P_{oc}}$$



Σχήμα 4: Προσεγγιστικό ισοδύναμο κύκλωμα δοκιμής κενού φορτίου

Η φαινόμενη ισχύς κατά την εν κενώ λειτουργία είναι

$$S_{oc} = V_{oc} I_{oc}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η άεργος ισχύς καταναλίσκεται στην αντίδραση μαγνήτισης, έχουμε:

$$Q_{oc} = \frac{V_{oc}^2}{X_m} \Rightarrow X_m = \frac{V_{oc}^2}{Q_{oc}} \quad \text{όπου} \quad Q_{oc} = \sqrt{S_{oc}^2 - P_{oc}^2}$$

3.1.3. Δοκιμή βραχυκύκλωσης

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής αυτής το τύλιγμα του δευτερεύοντος **βραχυκυκλώνεται** και μια αρκετά μικρή τάση εφαρμόζεται στο τύλιγμα του πρωτεύοντος, ονομαστικής συχνότητας. Η τάση αυτή καλείται **τάση βραχυκύκλωσης** και έχει τέτοια τιμή έτσι ώστε με βραχυκυκλωμένο το δευτερεύον **οι εντάσεις του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος να είναι ίσες με τις αντίστοιχες ονομαστικές τιμές** (τιμές ονομαστικού φορτίου). Συνήθως η τάση αυτή κυμαίνεται από 6 % – 10 % την ονομαστικής τάσης.

$$V_{1,sc.} = 6 \div 10 \% V_{1,no}$$

Σύμφωνα με τα όσα αναφέραμε προηγούμενα η εφαρμοζόμενη τάση και κατά συνέπεια η αντίστοιχη επαγόμενη Η.Ε.Δ. έχουν πολύ μικρές τιμές σε σχέση με τις αντίστοιχες ονομαστικές. Αυτό έχει σαν συνέπεια όπως φαίνεται και από τη σχέση (17) η κοινή ροή που εμπλέκει τα τυλίγματα του πυρήνα να είναι αρκετά μικρή με αποτέλεσμα να έχουμε ελάχιστες απώλειες σιδήρου.

$$\Phi = \frac{E}{4.44 f N} \quad (\text{Wb})$$

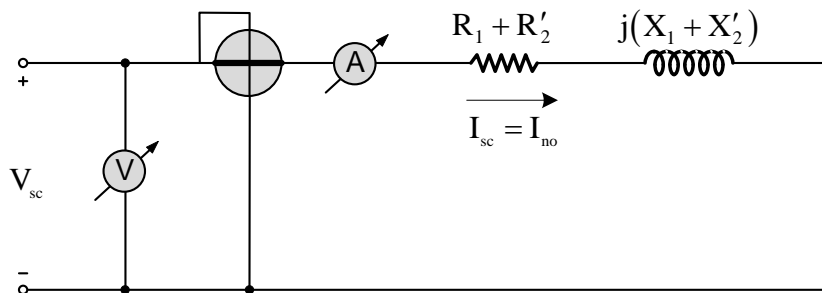
Δηλαδή

$$V_{sc} \ll V_{no} \Rightarrow \Phi_{sc} \ll \Phi_{oc} \approx \Phi_{no} \Rightarrow P_{c,sc.} \ll P_{co}$$

Επομένως κατά τη διάρκεια της δοκιμής αυτής η ισχύς εισόδου καταναλίσκεται σαν απώλειες χαλκού στις ωμικές αντιστάσεις των δύο τυλιγμάτων του Μ/Σ. Δηλαδή

$$P_{1,sc.} = P_{cu,1} + P_{cu,2} = I_{sc}^2 (R_1 + R'_2)$$

Επίσης επειδή η αντίσταση του παραλλήλου κλάδου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της σύνθετης αντίστασης του δευτερεύοντος (ανηγμένης στο πρωτεύον), μπορούμε να αμελήσουμε το ρεύμα αυτό και κατά συνέπεια τον παράλληλο κλάδο και έτσι προκύπτει το εξής προσεγγιστικό ισοδύναμο κύκλωμα για τη δοκιμή βραχυκύκλωσης.



Σχήμα 4 Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή κατά τη δοκιμή βραχυκύκλωσης

Με βάση το σχ.4, ισχύουν οι σχέσεις

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad ,$$

$$R'_{eq} = R_1 + R'_2 = \frac{P_{1,sc}}{I_{sc}^2}$$

και

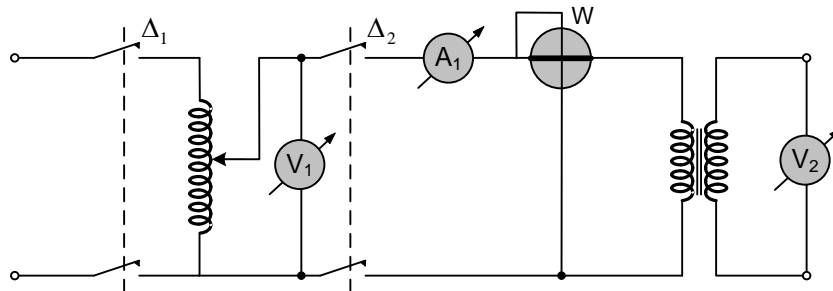
$$X'_{\text{eq}} = X_1 + X_2 = \sqrt{Z_{\text{sc}}^2 - R_{\text{eq}}^2}$$

Μετρώντας λοιπόν τα μεγέθη, τάση, ρεύμα και πραγματική ισχύ, με τη δοκιμή αυτή υπολογίζουμε τα αθροίσματα $R'_{\text{eq}} = R_1 + R_2$ και $X'_{\text{eq}} = X_1 + X_2$ των συνθέτων αντιστάσεων των δύο τυλιγμάτων. Παραπέρα διαχωρισμός δεν μπορεί να γίνει, ισχύει όμως με πάρα πολύ καλή προσέγγιση ότι:

$$R_1 = R_2 = \frac{R'_{\text{eq}}}{2}$$

και $X_1 = X_2 = \frac{X'_{\text{eq}}}{2}$

3.1.4 Δοκιμή ανοικτού κυκλώματος



Σχήμα 5

Συνδέσεις για δοκιμή ανοικτού κυκλώματος

V₁ (V)	V₂ (V)	I_{oc} (A)	P_{oc} (W)
230	236	0.21	27

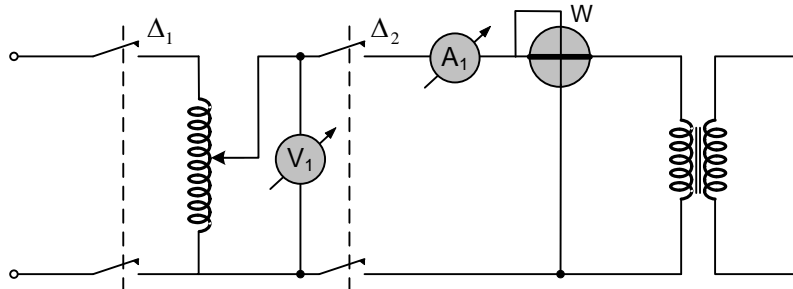
$$P_{oc} = \frac{V_{oc}^2}{R_c} \Rightarrow R_c = \frac{V_{oc}^2}{P_{oc}} = \frac{230^2}{27} = 1960\Omega$$

$$S_{oc} = V_{oc} I_{oc} = 230 \times 0.21 = 48.3VA$$

$$Q_{oc} = \sqrt{S_{oc}^2 - P_{oc}^2} = \sqrt{48.3^2 - 27^2} = 40VAr$$

$$Q_{oc} = \frac{V_{oc}^2}{X_m} \Rightarrow X_m = \frac{V_{oc}^2}{Q_{oc}} = \frac{230^2}{40} = 1322\Omega$$

3.1.5 Δοκιμή βραχυκύκλωσης



Σχήμα 6: Συνδέσεις για δοκιμή βραχυκύκλωσης

V_{sc} (V)	I_{sc} (A)	$P_{1,sc}$ (W)
19	8.7	156

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \frac{19}{8,7} = 2,18 \Omega$$

$$R'_{eq} = R_1 + R'_2 = \frac{P_{1,sc}}{I_{sc}^2} = \frac{156}{8,7^2} = 2,06 \Omega$$

και $X'_{eq} = X_1 + X'_2 = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{2,18^2 - 2,06^2} = 0,71$

$$R_1 = R'_2 = \frac{R'_{eq}}{2} = \frac{2,06}{2} = 1,03 \Omega$$

και $X_1 = X'_2 = \frac{X'_{eq}}{2} = \frac{0,71}{2} = 0,35 \Omega$

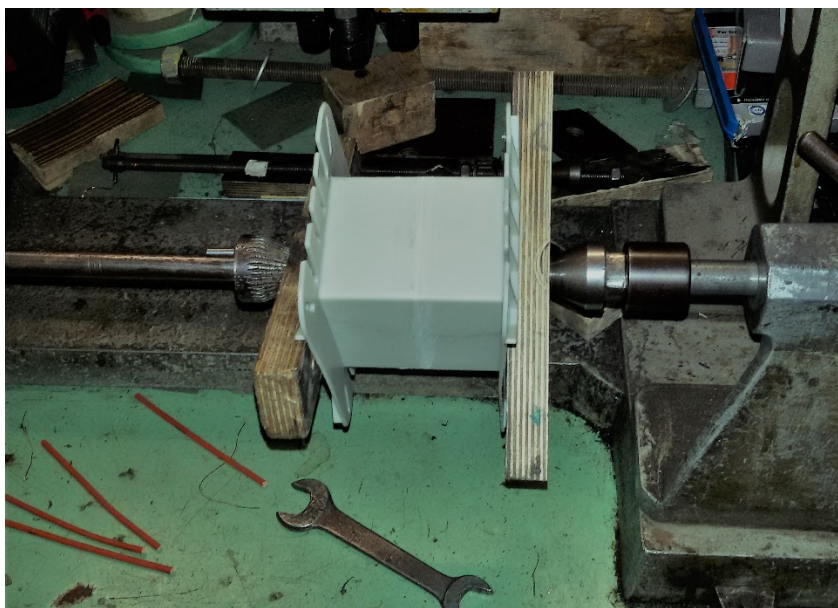
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

(ΠΡΑΚΤΙΚΟ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ)

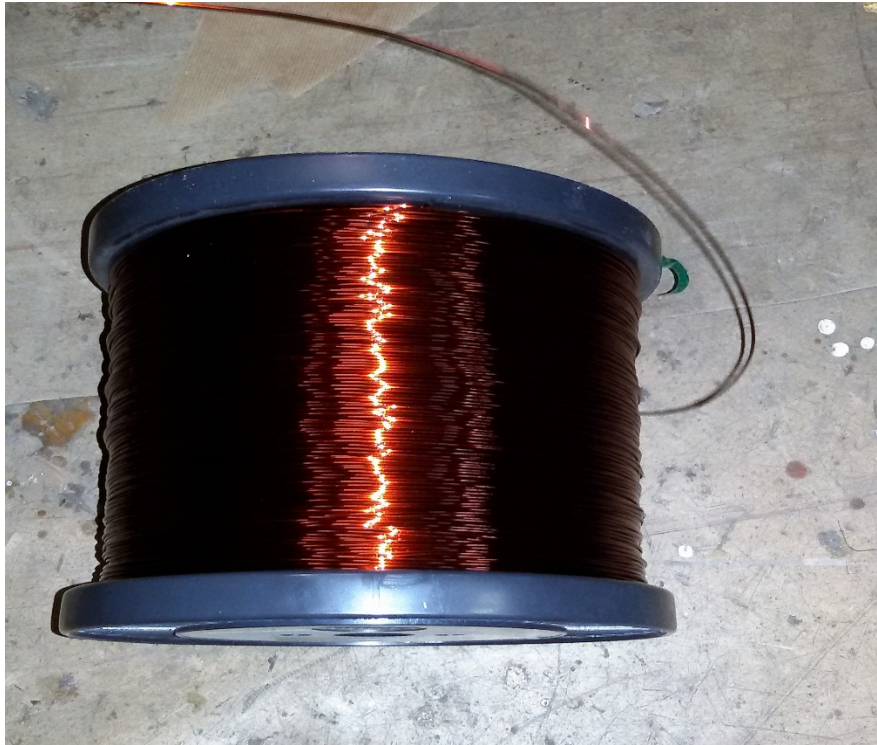
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ:

1. κάσα (καρακάσα)
2. χαλκός τύλιξης (1,40mm)
3. ελάσματα σιδήρου με πάχος 0.5mm (6cm x 8cm) εσωτ.
4. χαρτί μόνωσης (πρεσπάν)
5. κλέμες 10αρες
6. βίδες για τα ελάσματα και μόνωση για τα καλώδια

Αρχίζουμε την κατασκευή τοποθετώντας την καρακάσα στην (πομπινέζα) μηχανή τύλιξης και παίρνουμε το καρούλι με τον χαλκό και τον δένουμε καλά από την μία άκρη της καρακάσας.

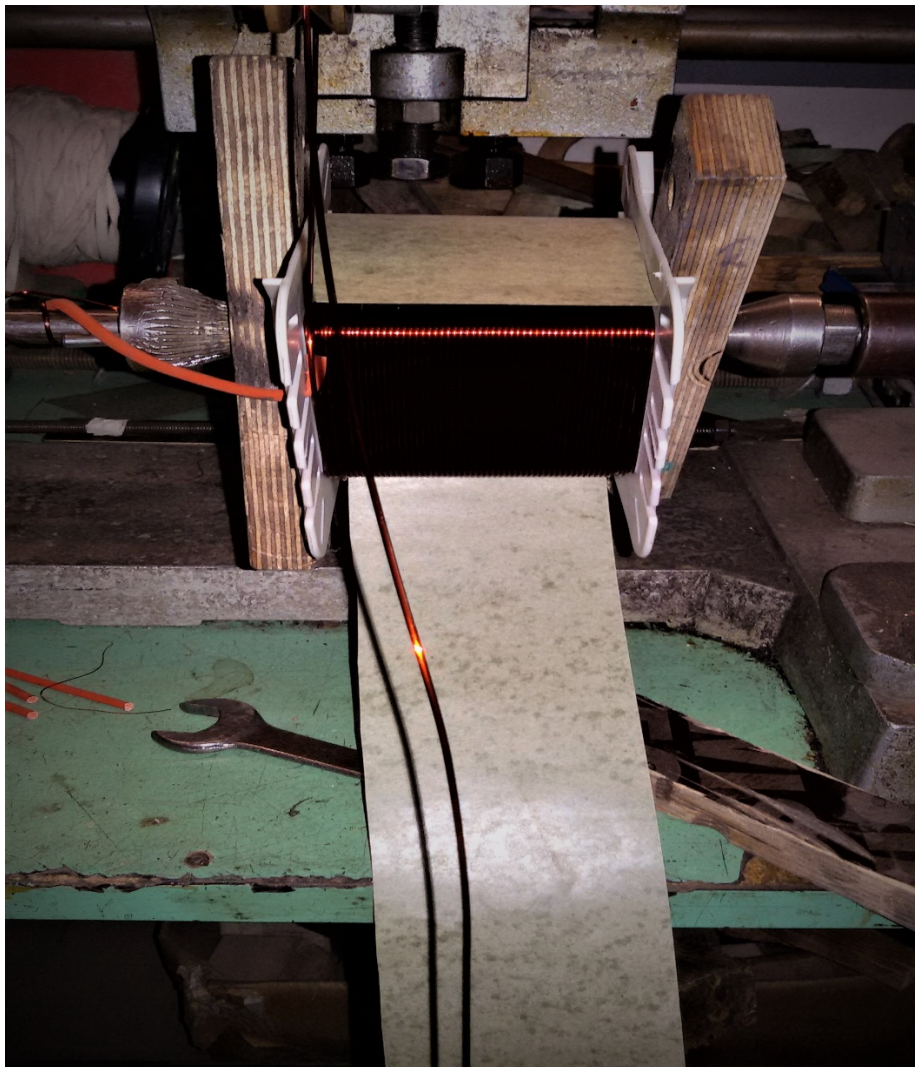
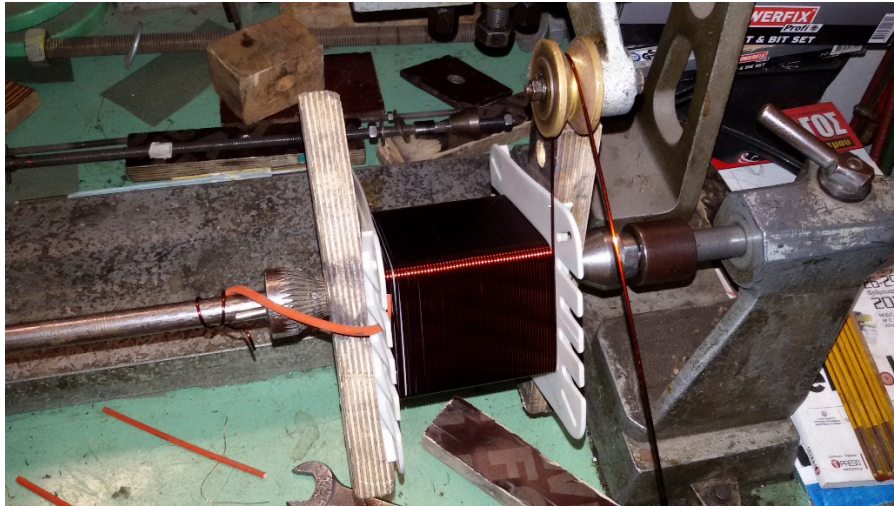


(Καρακάσα)



Καρούλι χαλκού πάχος 1.4mm

Στην συνέχεια αρχίζουμε με το ποδόφρενο το τύλιγμα προσεκτικά και κάθε στροφή που τελειώνουμε μονώνουμε με χαρτί μόνωσης (πρεσπάν). Τελειώνουμε το πρωτεύον με 220 σπείρες μονώνουμε πάλι και ξεκινάμε το δευτερεύον .

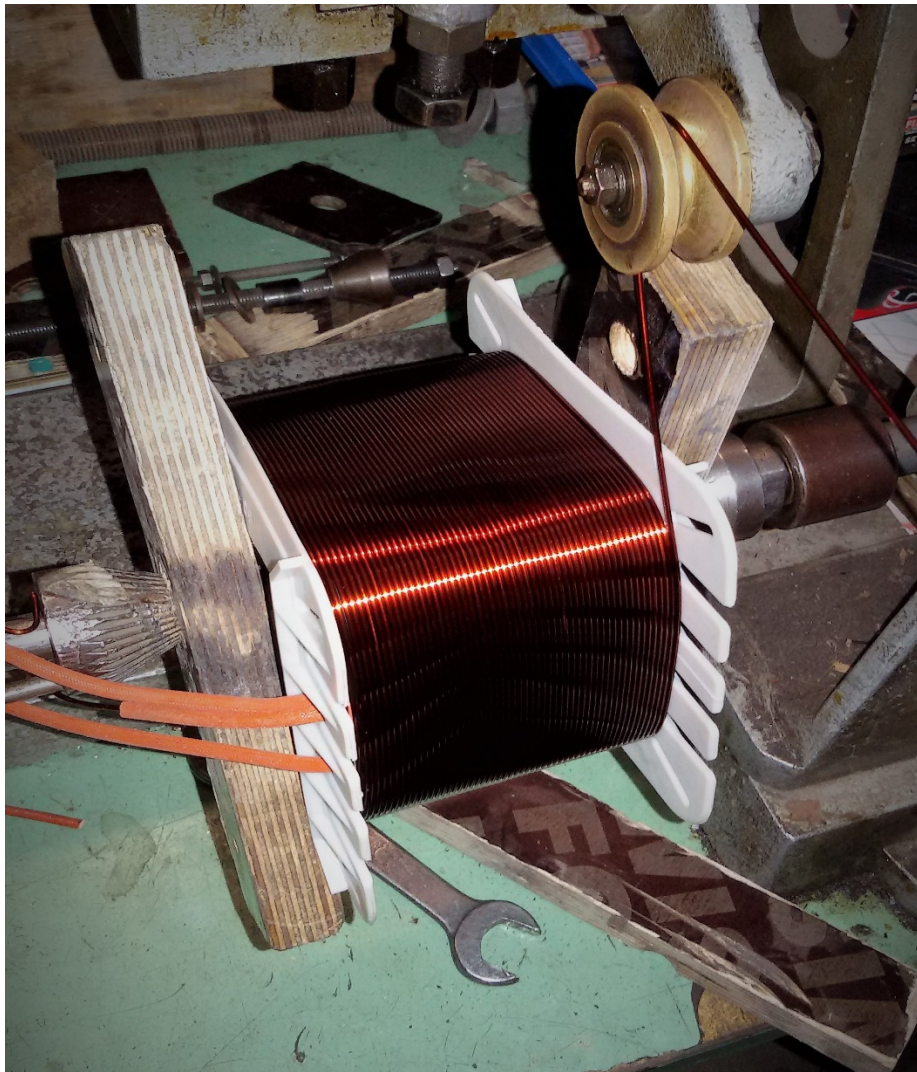


Μόνωση με χαρτί (πρεσπάν)



220 σπείρες πρωτεύοντος

Τυλίγουμε και το δευτερεύον και το φτάνουμε στις 226 σπείρες



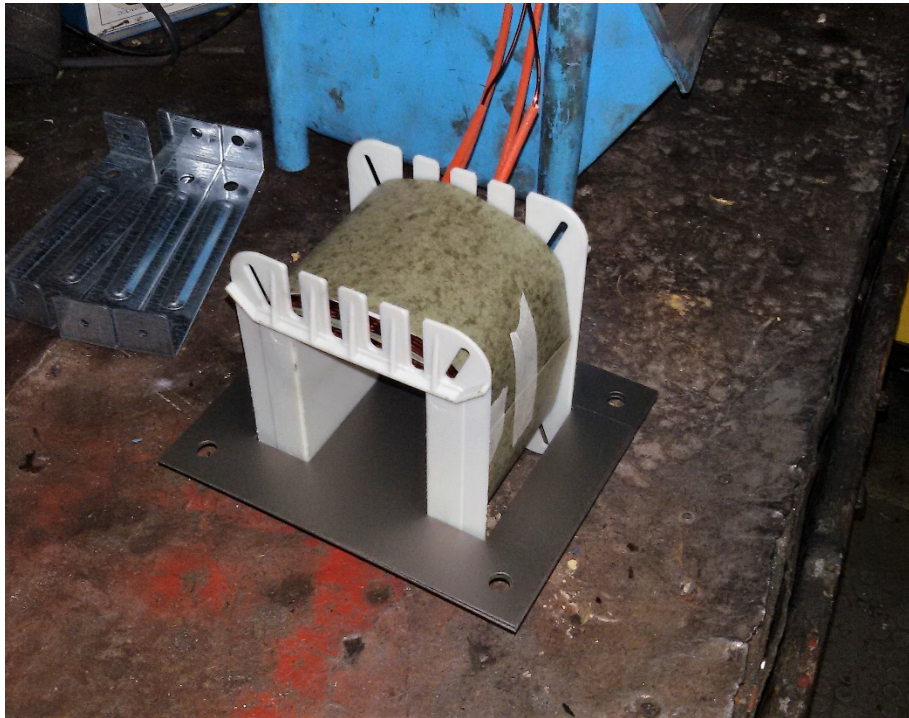
Τύλιγμα δευτερεύοντος 226 σπείρες



Τέλος ξανά μονώνουμε καλά και το δευτερεύον έχοντας αφήσει τις αναμονές μας, για να τοποθετήσουμε τις κλέμες ώστε να μπορούμε να πάρουμε τιμές και να δώσουμε ρεύμα στον μετασχηματιστή μας.



Παίρνουμε τα ελάσματα σιδήρου και τα περνάμε ανά δύο σταυρωτά στην καρακάσα

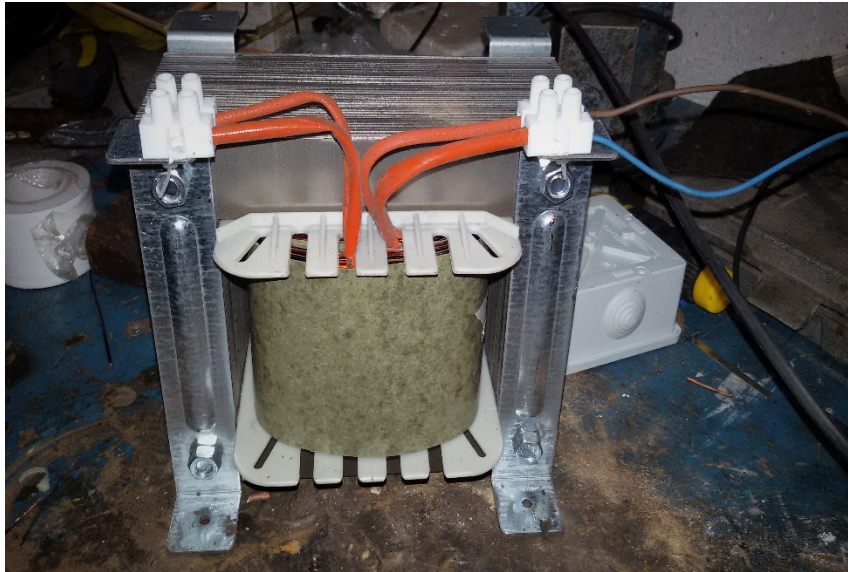


Τα γεμίζουμε μέχρι πάνω και όσο μπορούμε τα σφηνώνουμε.

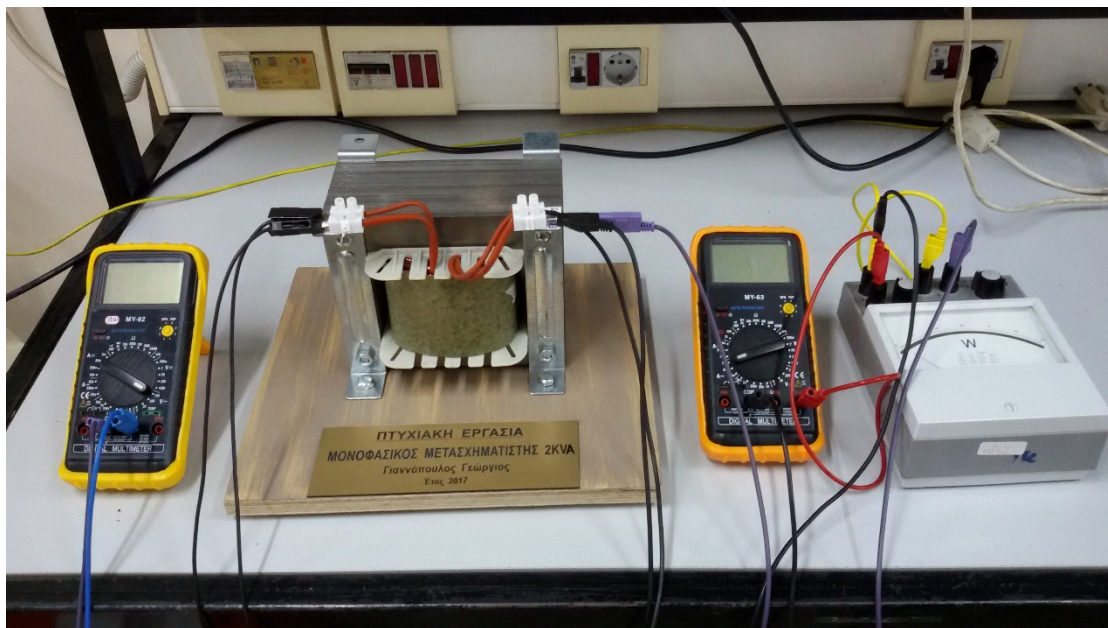




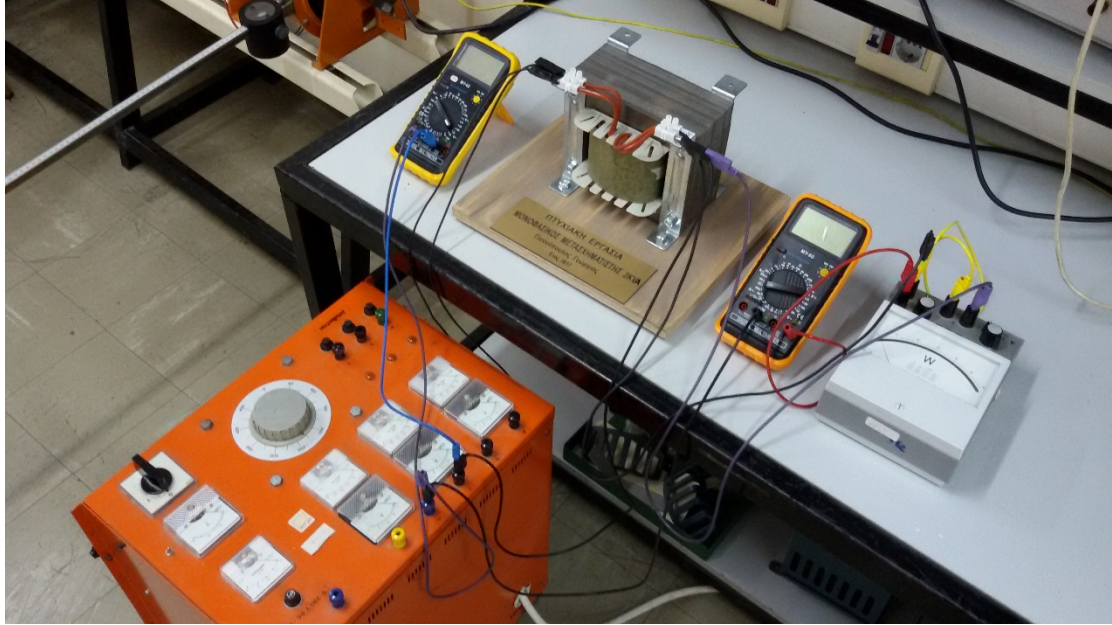
Βιδώνουμε καλά τα ελάσματα μεταξύ τους και τοποθετούμε τις κλέμες ώστε να έχουμε είσοδο από το πρωτεύον και έξοδο από το δευτερεύον.



Τέλος δίνουμε 220v στην είσοδο και βάζουμε το βολτόμετρο στην έξοδο και βλέπουμε ότι δείχνει κοντά στα 220v .Συγκεκριμένα 216v άρα βλέπουμε ότι έχουμε κάποιες απώλειες της τάξεως του 2% και ο Μετασχηματιστής μας είναι 1 προς 1 δηλαδή ότι δίνουμε παίρνουμε.



(Τελικές μετρήσεις του Μ/Τ με φορτίο στο εργαστήριο Ηλεκτρικής Κίνησης)



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΔΙΑΔΥΚΤΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Ηλεκτρικές Μηχανές , Παντελής Β. Μαλατέστας
- Ηλεκτρικές Μηχανές , Stephen J. Charman 3^η έκδοση , Εκδόσεις Τζιόλα
- Ηλεκτρικές Μηχανές , Stephen J. Charman 4^η έκδοση , Εκδόσεις Τζιόλα
- Ηλεκτρικές Μηχανές , Ι.Α. Τεγόπουλος Εκδόσεις Συμμετρία
- Ηλεκτρικές Μηχανές Ι , Πολλάλης Α. Γεώργιος , Εκδόσεις Ίων
- <https://el.wikipedia.org/wiki/Μετασχηματιστής>
- <http://www.electroniccircuits.gr/metaximatistes.html>