

## 3.7. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ (TRANSFORMERS)

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι **μετασχηματιστές** (Μ/Σ) είναι στατές ηλεκτρικές μηχανές που αποτελούνται από μαγνητικό κύκλωμα και από δύο ή περισσότερα τυλίγματα,· μπορεί δε να είναι μονοφασικού ή τριφασικού τύπου.

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στον Νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Οι Μ/Σ χρησιμοποιούνται για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ δύο κυκλωμάτων επαγωγικά συνεζευγμένων. Πρόκειται για ηλεκτρικές συσκευές, οι οποίες παρουσιάζουν πολύ μεγάλη απόδοση και βρίσκουν εφαρμογή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αλλά και στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις εμπορικών πλοίων.

Στην εποχή μας οι Μ/Σ κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη, τύπους και παραλλαγές και χρησιμοποιούνται σ' όλους σχεδόν τους τομείς δραστηριότητας του ανθρώπου. Από τα συστήματα ηλ. ενέργειας και τη βαριά βιομηχανία (π.χ. Μ/Σ διανομής), τη βιοτεχνία (π.χ. Μ/Σ ηλεκτροσυγκολλήσεων, φόρτισης συσσωρευτών κ.α.), το γραφείο (π.χ. Μ/Σ ηλεκτρονικών υπολογιστών), τις **συγκοινωνίες** και **μεταφορές** (π.χ. Μ/Σ ηλ. έλξης), το **σπίτι** (π.χ. Μ/Σ ηλ. κουδουνιού, ηλεκτρονικών συσκευών κ.α.), **μέχρι τις τηλεπικοινωνίες** (π.χ. Μ/Σ τροφοδοτικού κινητού τηλεφώνου).

### 2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ -ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ – ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Κάθε μετασχηματιστής (Μ/Σ) αποτελείται από:

- **έναν πυρήνα, που αποτελεί το μαγνητικό κύκλωμα** και
- **δύο τυλίγματα, το τύλιγμα υψηλής τάσης (Υ.Τ) και το τύλιγμα χαμηλής τάσης (Χ.Τ)**

Τα δύο τυλίγματα ενός Μ/Σ λέγονται **πρωτεύον** και **δευτερεύον**

Συγκεκριμένα **πρωτεύον** λέγεται το τύλιγμα που **συνδέεται με την ηλεκτρική πηγή** (δίκτυο ηλεκτροδότησης) και **δευτερεύον** το τύλιγμα που μας **δίνει την μετασχηματισμένη τάση**. Έτσι π.χ. στην περίπτωση των Μ/Σ υποβιβασμού τάσης, πρωτεύον είναι το τύλιγμα της Υ.Τ. και δευτερεύον το τύλιγμα Χ.Τ.

Προκειμένου να λειτουργήσει ένας Μ/Σ απαιτούνται τα ακόλουθα:

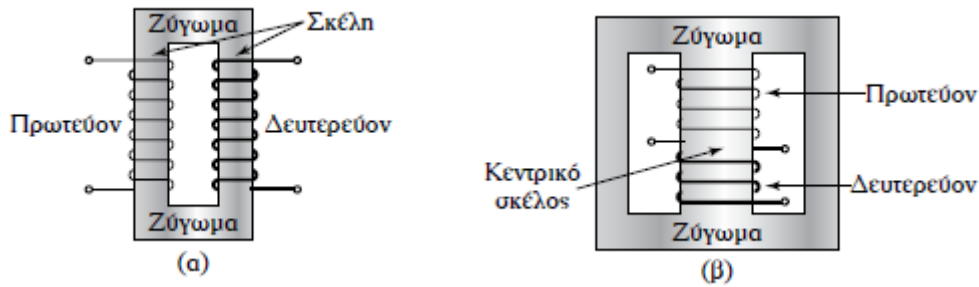
- 1) Εναλλασσόμενη ημιτονοειδής τάση τροφοδοσίας.
- 2) Ηλεκτρικά κυκλώματα.
- 3) Εναλλασσόμενη κοινή μαγνητική ροή και
- 4) κατάλληλο μαγνητικό κύκλωμα, το οποίο συνδέει τα ηλεκτρικά κυκλώματα μεταξύ τους.

Στους Μ/Σ ισχύος το μαγνητικό κύκλωμα υλοποιείται μέσω ενός σιδηροπυρήνα, για τους εξής λόγους:

- 1) Διότι το σιδηρομαγνητικό υλικό συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος της μαγνητικής ροής σε μια καθορισμένη διαδρομή και εμπλέκει όλα τα τυλίγματα του Μ/Σ.
- 2) Διότι για την παραγωγή της μαγνητικής ροής απαιτείται μικρό ρεύμα διεγέρσεως.

Από κατασκευαστικής απόψεως υπάρχουν δύο κατηγορίες μονοφασικών Μ/Σ: οι **Μ/Σ τύπου πυρήνα** και οι **Μ/Σ τύπου μανδύα**.

Στην πρώτη κατηγορία (σχήμα 3.7.1.α) τα ηλεκτρικά κυκλώματα (τυλίγματα), πρωτεύον (εκείνο στο οποίο εφαρμόζεται η εναλλασσόμενη τάση) και δευτερεύον (εκείνο στο οποίο συνδέεται το φορτίο) τοποθετούνται στα δύο σκέλη του μαγνητικού κυκλώματος, το οποίο έχει ορθογώνιο σχήμα. Τα δύο σκέλη ενώνονται με δύο ζυγώματα, τα οποία κλείνουν το μαγνητικό κύκλωμα.



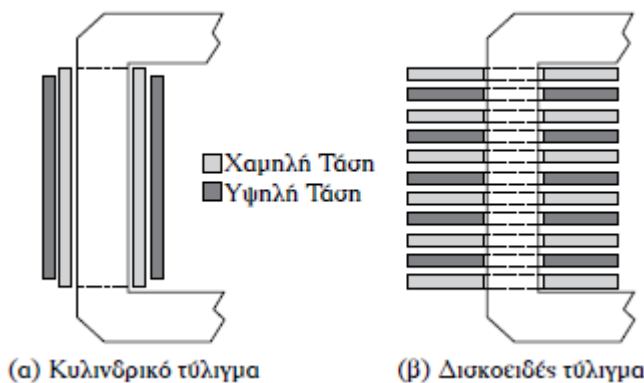
ΣΧΗΜΑ: 3.7.1. (α) Μ/Σ τύπου πυρήνα και (β) τύπου μανδύα

Στη δεύτερη κατηγορία (σχήμα 3.7.1.β) τα δύο τυλίγματα, πρωτεύον και δευτερεύον, τοποθετούνται στο μεσαίο σκέλος. Το μαγνητικό κύκλωμα αποτελείται από τρία σκέλη.

Η διατομή του μεσαίου σκέλους είναι διπλάσια της διατομής των δύο άλλων σκελών και ζυγωμάτων. Αυτό συμβαίνει γιατί η μαγνητική ροή του μεσαίου σκέλους πρέπει να διαμερίζεται συμμετρικά στα εξωτερικά σκέλη και στα ζυγώματα. Γενικά, ο πυρήνας των Μ/Σ, που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πλοίων, κατασκευάζεται από έλασμα πάχους 0,25 έως 0,50 mm με τη μορφή δέσμης για τη μείωση των απωλειών από δινορρέυματα. Τα ελάσματα κατασκευάζονται από πυριπιούχο χάλυβα και από τη μία πλευρά είναι μονωμένα με μονωτικό χαρτί ή με επίχρισμα κατάλληλου μονωτικού υλικού (βερνίκια κ.λπ.), ώστε να υπάρχει μόνωση μεταξύ τους.

Τα τυλίγματα των μετασχηματιστών είναι:

- 1) Τα **κυλινδρικά** ή **σωληνωτά τυλίγματα** (σχήμα 3.7.2.α.), στα οποία οι σωλήνες του τυλίγματος της υψηλής τάσεως (ΥΤ) περιβάλλουν τους σωλήνες του τυλίγματος χαμηλής τάσεως (ΧΤ) και
- 2) τα **δισκοειδή τυλίγματα** (σχήμα 3.7.2.β.), στα οποία τόσο το πρωτεύον, όσο και το δευτερεύον τύλιγμα διαιρείται σε περισσότερα πηνία, που έχουν την μορφή δίσκων.



ΣΧΗΜΑ: 3.7.2 . Τυλίγματα μετασχηματιστών χαμηλή τάσεως και υψηλής τάσεως.

### 3. ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ.

Τα βασικά θεμελιώδη ονομαστικά μεγέθη ενός πραγματικού μονοφασικού Μ/Σ είναι:

- 1) Η **ονομαστική τάση πρωτεύοντος**, που είναι η μεγαλύτερη δυνατή τάση τροφοδοσίας του μονοφασικού Μ/Σ.

- 2) Η **ονομαστική τάση δευτερεύοντος**, που είναι η τάση στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος του Μ/Σ όταν αυτός λειτουργεί χωρίς φορτίο, ενώ τροφοδοτείται με την ονομαστική του τάση.
- 3) Τα **ονομαστικά ρεύματα πρωτεύοντος και δευτερεύοντος**, που είναι τα αναγραφόμενα στην πινακίδα και υπολογίζονται με βάση τις ονομαστικές τιμές της ισχύος και της τάσεως.
- 4) Η **ονομαστική ικανότητα** ενός Μ/Σ που είναι η ισχύς στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος σε kiloVoltAmperes (kVA).

#### 4. ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

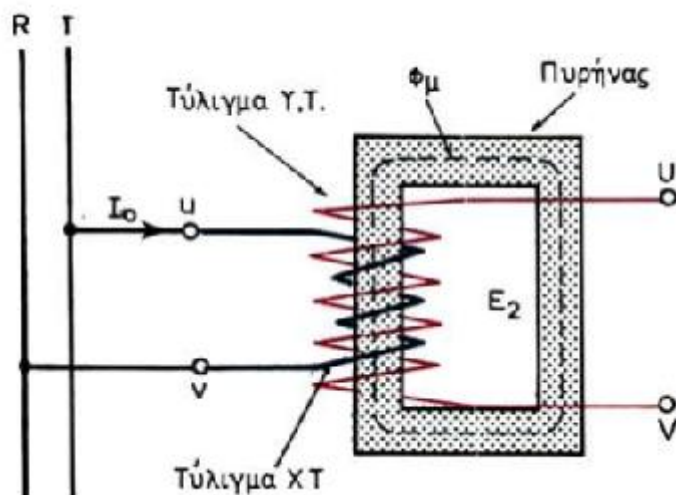
Ο τρόπος κατασκευής των Μ/Σ προσδιορίζει το πεδίο εφαρμογής τους. Οι προδιαγραφές κατασκευής τους υπαγορεύονται από την ανάγκη υπάρξεως ηλεκτρικών και μαγνητικών χαρακτηριστικών, τα οποία να εγγυώνται την κανονική τους λειτουργία. Για τους μονοφασικούς Μ/Σ, μικρής ισχύος, το ζήτημα της θερμάνσεως έχει μικρή σημασία. Στους Μ/Σ ισχύος, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, η θέρμανση είναι ο κύριος παράγοντας για τον καθορισμό των διαστάσεών τους. Από τους Μ/Σ ισχύος απαιτούμε **μεγάλη απόδοση, μικρή εκατοστιαία πτώση τάσεως** κ.λπ..

Οι τύποι των Μ/Σ, που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι:

- 1) Οι **Μ/Σ ισχύος**, για τη μεταφορά και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.
- 2) Οι **αυτομετασχηματιστές (ΑΜ/Σ)**, για τη μετατροπή τάσεων μέσα σε μικρά όρια, για εκκίνηση κινητήρων εναλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ) και άλλες εφαρμογές.
- 3) Οι **Μ/Σ δοκιμών** και
- 4) Οι **Μ/Σ με εφαρμογές στις τηλεπικοινωνίες**.

#### 5. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Το σχήμα 3.7.3. παριστάνει ένα μονοφασικό μετασχηματιστή, στον οποίο χάρη



ΣΧΗΜΑ: 3.7.3.: Λειτουργία μονοφασικού μετασχηματιστή χωρίς φορτίο

απλότητας δεχόμαστε ότι υπάρχουν τυλίγματα μόνο στον ένα κορμό του πυρήνα. Το πρωτεύον τύλιγμα (Χ.Τ. στο σχήμα) τροφοδοτείται από δίκτυο με εναλλασσόμενη τάση που έχει ενδεικνυμένη τιμή  $U_1$ . Το δευτερεύον τύλιγμα (Υ.Τ. στο σχήμα) είναι ανοικτό, δηλαδή δεν έχει συνδεθεί κατανάλωση σε αυτό.

Η εναλλασσόμενη τάση  $U_1$  δημιουργεί στο πρωτεύον τύλιγμα μία εναλλασσόμενη ένταση  $I_0$ . Αποτέλεσμα της εντάσεως αυτής είναι, όπως γνωρίζουμε από την Ηλεκτροτεχνία, να αναπτυχθεί μέσα στον πυρήνα του μετασχηματιστή μαγνητική ροή  $\Phi_\mu$ , που κλείνει κύκλωμα όπως φαίνεται στο σχήμα. Μπορούμε να δεχθούμε ότι η μαγνητική αντίσταση του κυκλώματος αυτού είναι σταθερή. Αυτό πλησιάζει πολύ στην πραγματικότητα, όταν η μαγνητική επαγωγή στον πυρήνα δεν είναι μεγάλη. Τότε η μαγνητική ροή που δημιουργείται από την εναλλασσόμενη ένταση  $I_0$  θα είναι και αυτή εναλλασσόμενη, δηλαδή η μεταβολή της με το χρόνο θα παριστάνεται από μία ημιτονοειδή καμπύλη. Η συχνότητα  $f$  της εναλλασσόμενης αυτής μαγνητικής ροής θα είναι η ίδια με τη συχνότητα της  $I_0$ , δηλαδή με τη συχνότητα του δικτύου τροφοδοτήσεως.

Μέσα από το δευτερεύον τύλιγμα περνά συνεπώς μία εναλλασσόμενη, δηλαδή μεταβαλλόμενη με το χρόνο μαγνητική ροή. Γνωρίζουμε από την Ηλεκτροτεχνία ότι μέσα σε αυτό θα αναπτυχθεί ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή, που είναι και αυτή εναλλασσόμενη της ίδιας συχνότητας  $f$ . Η ενδεικνυμένη τιμή της δίνεται από τη σχέση:

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_\mu \quad \text{σε } V$$

όπου:  $f$  είναι η συχνότητα σε Hz,

$w_2$  ο αριθμός σπειρών του δευτερεύοντος τυλίγματος και

$\Phi_\mu$  η μέγιστη τιμή σε Vs της (ημιτονοειδούς) μαγνητικής ροής.

Μπορούμε να πούμε ότι **το δευτερεύον τύλιγμα λειτουργεί σαν μια μονοφασική γεννήτρια με ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E_2$ , από την οποία μπορούμε να τροφοδοτήσουμε μονοφασικό καταναλωτή**, συνδέοντας τα άκρα του στους ακροδέκτες U και V.

Όπως παρατηρούμε, η ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E_2$  είναι ανάλογη του αριθμού των σπειρών  $w_2$  του δευτερεύοντος. Άρα είναι δυνατό να γίνει όσο θέλουμε μεγάλη, αρκεί να τοποθετήσουμε τον κατάλληλο αριθμό σπειρών (και οι μονώσεις να αντέχουν στην τάση που θα δημιουργηθεί).

Η μαγνητική ροή  $\Phi_\mu$  υπολογίζεται από τη μέγιστη τιμή  $B_\mu$  της μαγνητικής επαγωγής, την οποία θέλουμε να έχουμε στον κορμό του πυρήνα και από την πραγματική διατομή (διατομή σιδήρου) του κορμού:

$$\Phi_\mu = s \cdot B_\mu \quad \text{σε } Vs$$

όπου:  $s$  είναι η πραγματική διατομή του πυρήνα σε  $m^2$  και

$B_\mu$  η μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής σε  $Vs/m^2$ .

Στους μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος η διατομή του κορμού του πυρήνα είναι μεγάλη. Συνεπώς και η μαγνητική ροή είναι μεγάλη, δεδομένου ότι το  $B_\mu$  εκλέγεται συνήθως μέσα σε ορισμένα όρια. Άρα για ορισμένη τάση δευτερεύοντος  $E_2$ , ο μεγάλος μετασχηματιστής θα έχει μικρότερο αριθμό σπειρών  $w_2$  από το μικρό μετασχηματιστή.

Με όμοιο τρόπο, όπως εξηγήθηκε για το δευτερεύον τυλίγμα, δημιουργείται και

στο πρωτεύον ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή  $E_1$ , η οποία όμως δρα εδώ σαν αντιηλεκτρεγερτική δύναμη προς την τάση  $U_1$ . Η ενδεικνυμένη τιμή της δίνεται από τη σχέση:

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_{\mu} \quad \text{σε V}$$

όπου:  $w_1$  είναι ο αριθμός σπειρών του πρωτεύοντος τυλίγματος  
 $\Phi_{\mu}$  η μέγιστη τιμή σε Vs της μαγνητικής ροής και  
 $f$  η συχνότητα του ρεύματος σε Hz.

Η μαγνητική ροή  $\Phi_{\mu}$  (σχήμα 3.7.3.) είναι η χρήσιμη **μαγνητική ροή του μετασχηματιστή**, γιατί συντελεστεί στην δημιουργία των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων. Η ένταση  $I_0$  όμως διερχόμενη από το πρωτεύον τυλίγμα δημιουργεί και μία πρωτεύουσα ροή σκεδάσεως  $\Phi_1$ , η οποία κλείνει κύκλωμα με τον αέρα, όπως φαίνεται σχήμα (3.7.3). Αν και η ροή αυτή είναι μικρό ποσοστό της χρήσιμης μαγνητικής ροής (κάτω από 0,5%), έχει ιδιαίτερη σημασία στην λειτουργία του μετασχηματιστή, γιατί δημιουργεί αυτεπαγωγική πτώση τάσεως.

### Παράδειγμα.

Μετασχηματιστής έχει διατομή κορμού  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ . Αν η μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής είναι  $B_{\mu} = 1 \text{ Vs/m}^2$  και η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που τροφοδοτεί το πρωτεύον είναι  $f = 50 \text{ Hz}$  να βρεθεί:

α) Ποια ηλεκτρεγερτική δύναμη δημιουργείται στο δεύτερευον, όταν αυτό έχει  $w_2 = 200$  σπείρες και β) ποιος πρέπει να είναι ο αριθμός των σπειρών  $w_2$  του δευτερεύοντος για να δίνει την ίδια ηλεκτρεγερτική δύναμη, όταν η διατομή του κορμού έχει διαστάσεις  $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ .

### Λύση.

α) Η διατομή του κορμού είναι:

$$s' = 0,1 \times 0,1 = 0,01 \text{ m}^2$$

Για να βρούμε την πραγματική διατομή του πυρήνα στον κορμό, μετά την αφαίρεση των επιφανειακών μονώσεων των ελασμάτων κλπ. παίρνουμε συνήθως το  $9/10$  της  $s'$ . Δηλαδή είναι:

$$s = 0,9 \cdot s' = 0,9 \times 0,01 = 0,009 \text{ m}^2$$

Άρα:  $\Phi_{\mu} = s \cdot B_{\mu} = 0,009 \times 1 = 0,009 \text{ Vs}$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_{\mu} = 4,44 \times 50 \times 200 \times 0,009 = 399 \text{ V}$$

β) Τώρα είναι:  $s = 0,9 \cdot s' = 0,9 \times 0,15 \times 0,15 = 0,02 \text{ m}^2$

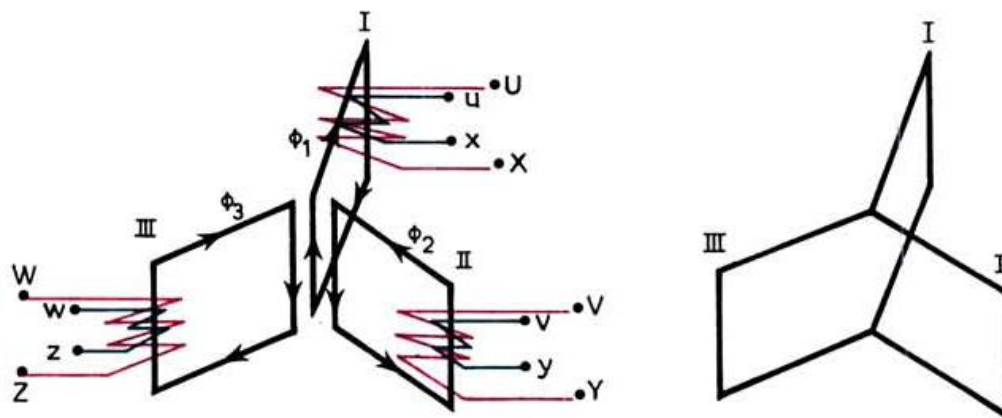
Άρα:  $\Phi_{\mu} = s \cdot B_{\mu} = 0,02 \times 1 = 0,02 \text{ Vs}$

και  $w_2 = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot \Phi_{\mu}} = \frac{399}{4,44 \times 50 \times 0,02} \cong 90 \text{ σπείρες}$

## 6. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Τρεις όμοιοι μονοφασικοί μετασχηματιστές είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε τριφασικό σύστημα για τη μετατροπή της τάσεως. Η λύση αυτή χρησιμοποιείται για μεγάλες ισχύεις και πολύ υψηλές τάσεις.

Για να εξηγήσουμε την αρχή λειτουργίας των τριφασικών μετασχηματιστών, ας πάρουμε τρεις μονοφασικούς μετασχηματιστές με τυλίγματα μόνο στον ένα κορμό. Οι μετασχηματιστές έχουν τοποθετηθεί σε διάταξη ακτινωτή έτσι, ώστε οι κορμοί, οι οποίοι δεν έχουν τυλίγματα, να είναι ενωμένοι, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 3.7.4. Αν τα πρωτεύοντα τυλίγματα, π.χ. τα τυλίγματα χαμηλής τάσεως  $u-x$ ,  $v-y$  και  $w-z$  τα ενώσουμε μεταξύ τους σε αστέρα ή σε τρίγωνο και τα συνδέσουμε σε τριφασικό δίκτυο, τότε, όπως γνωρίζουμε από την Ηλεκτροτεχνία, οι εντάσεις, που θα περάσουν από αυτά, θα έχουν κάθε στιγμή άθροισμα μηδέν. Άρα μηδενικό άθροισμα θα έχουν και οι στιγμιαίες τιμές  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  και  $\Phi_3$  των μαγνητικών ροών, που θα δημιουργηθούν στους τρεις πυρήνες από τις εντάσεις αυτές.

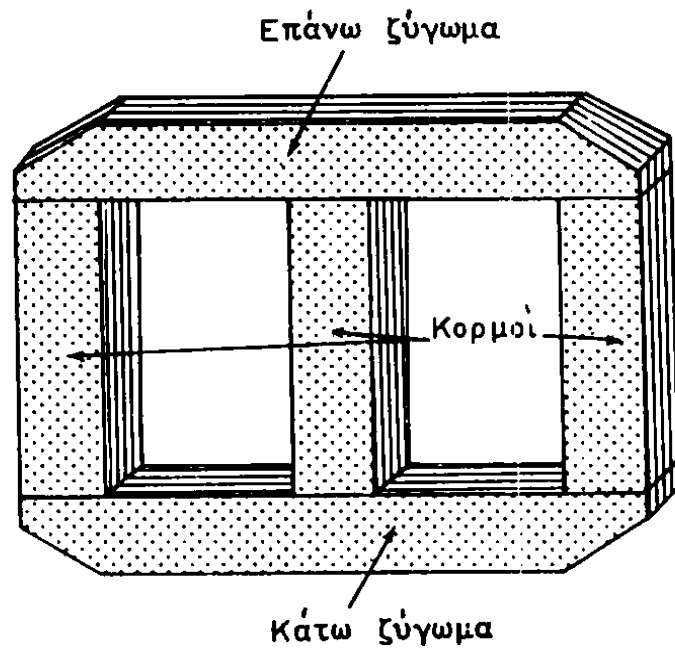


ΣΧΗΜΑ: 3.7.4.: Τριφασικός μετασχηματιστής

Δηλαδή από τους τρεις ενωμένους κορμούς δεν θα περνά μαγνητική ροή. Συνεπώς μπορούμε να αφαιρέσουμε τους κορμούς αυτούς και να έχουμε τριφασικό μετασχηματιστή με πυρήνα, όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 3.7.4

Η κατασκευή του πυρήνα όπως τον δείχνει το σχήμα παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, ενώ ταυτόχρονα ένας μετασχηματιστής με τέτοιο πυρήνα θα είχε μεγάλο όγκο. Γι' αυτούς τους λόγους, τους τριφασικούς μετασχηματιστές τους κατασκευάζουν με πυρήνα που έχει τη μορφή του σχήματος 3.7.5 Αυτό συνεπάγεται μια μικρή ασυμμετρία στις μαγνητικές ροές, χωρίς όμως ιδιαίτερη σημασία.

Σε κάθε κορμό του πυρήνα του τριφασικού μετασχηματιστή τοποθετείται, όπως εξηγήσαμε, ένα τύλιγμα Χ.Τ. και ένα Υ.Τ. Έτσι κάθε κορμός συμπεριφέρεται σαν μονοφασικός μετασχηματιστής. Στα επόμενα, όπου θα ασχοληθούμε με τη λειτουργία των μετασχηματιστών, θα εξετάσουμε μονοφασικούς μετασχηματιστές. Τα συμπεράσματα όμως, στα οποία θα καταλήξουμε, εφαρμόζονται εύκολα και στους τριφασικούς μετασχηματιστές. Αρκεί να έχουμε υπόψη μας, ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη, η τάση και η ένταση του μονοφασικού μετασχηματιστή είναι τα αντίστοιχα φασικά μεγέθη για τους τριφασικούς μετασχηματιστές. Ανάλογα με τη σύνδεση των τυλιγμάτων των μετασχηματιστών αυτών, είναι εύκολο τα φασικά μεγέθη να μετατραπούν σε πολικά.



ΣΧΗΜΑ: 3.7.5.: Πυρήνας τριφασικού μετασχηματιστή

## 7. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ – ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Όταν ο μετασχηματιστής εργάζεται χωρίς φορτίο στο δευτερεύον (σχήμα 3.7.3.)

ένταση  $I_0$  είναι μικρό ποσοστό της ονομαστικής του εντάσεως (1 ως 5% για τους μέτριου και μεγάλου μεγέθους μετασχηματιστές, φθάνει μέχρι 10% για τους μικρούς). Άρα, είναι πολύ μικρές τόσο η ωμική πτώση τάσεως ( $I_0 \cdot R_1$ ) στο πρωτεύον τύλιγμα λόγω της ωμικής αντιστάσεως του αγωγού, όσο και η αυτεπαγωγική πτώση τάσεως ( $I_0 \cdot X_1$ ) λόγω της ροής σκεδάσεως. Συνεπώς στη λειτουργία χωρίς φορτίο η τάση  $U_1$  είναι ίση με μεγάλη προσέγγιση προς την ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E_1$  που δημιουργείται στο πρωτεύον:

$$U_1 = E_1$$

Στο δευτερεύον τύλιγμα στη λειτουργία χωρίς φορτίο είναι:

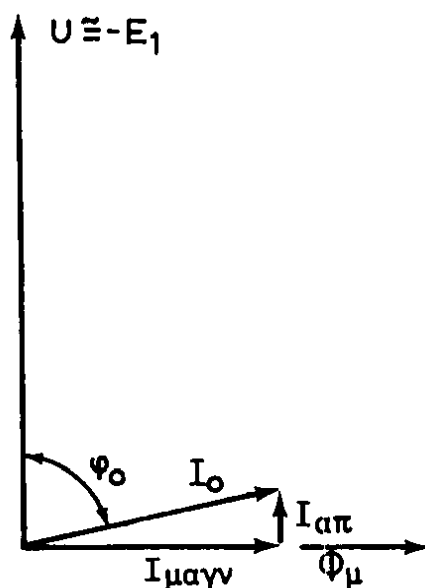
$$U_2 = E_2$$

Άρα μπορούμε να γράψουμε:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_{\mu}}{4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_{\mu}} = \frac{w_1}{w_2} = K$$

Δηλαδή στη λειτουργία χωρίς φορτίο του μετασχηματιστή ο λόγος των τάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος είναι ίσος με το λόγο των αριθμών σπειρών των αντιστοίχων τυλιγμάτων. Ο τελευταίος αυτός λόγος  $w_1/w_2$  ονομάζεται σχέση μεταφοράς  $K$  του μετασχηματιστή.

Στη λειτουργία χωρίς φορτίο η ένταση  $I_0$  έχει φασική απόκλιση  $\varphi_0$  προς την τάση  $U_1$ , περίπου ίση με  $90^\circ$ . Στην πραγματικότητα, λόγω των μαγνητικών απωλειών του μετασχηματιστή, η  $\varphi_0$  είναι μικρότερη από  $90^\circ$ , όπως φαίνεται στο σχήμα. Η  $I_0$  αναλύεται σε μία ένταση  $I_{\text{μαγν}}$ , η οποία προκαλεί τη μαγνήτιση του πυρήνα και δεν ξοδεύει ισχύ, και σε μία ένταση  $I_{\text{απ}}$ , η οποία είναι σε φάση με την τάση  $U_1$  και δίνει την ισχύ για τις μαγνητικές απώλειες στον πυρήνα (από υστέρηση και δινορρέυματα). Η  $I_{\text{απ}}$  είναι περίπου 10% της  $I_0$ , οπότε είναι  $\cos\varphi_0 \cong 0,1$ .



ΣΧΗΜΑ: 3.7.6.: Φασική απόκλιση ρεύματος με τάση

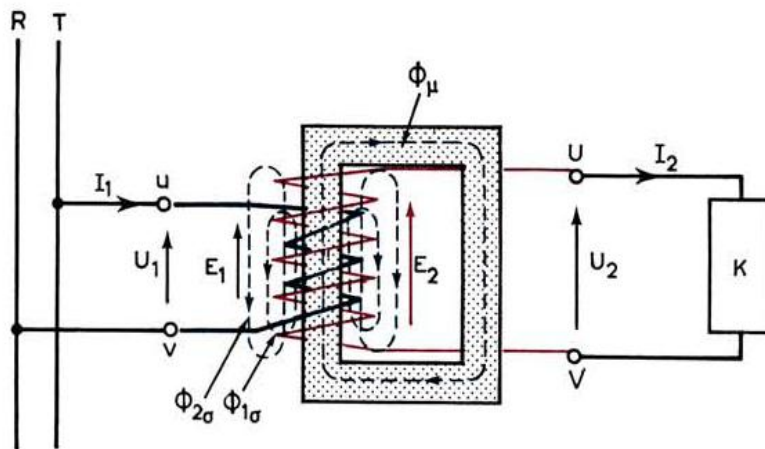
## 8. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ

### Φόρτιση μετασχηματιστή

Όταν συνδέσουμε έναν καταναλωτή  $K$  στο δευτερεύον του μετασχηματιστή (σχήμα 3.7.7) που το πρωτεύον του τροφοδοτείται με σταθερή τάση  $U_1$ , από το δευτερεύον τύλιγμα θα περάσει μια εναλλασσόμενη ένταση με ενδεικνυμένη τιμή  $I_2$ . Ταυτόχρονα η ένταση, την οποία το πρωτεύον απορροφά από το δίκτυο τροφοδοτήσεως, θα αυξηθεί *αυτόματα* από  $I_0$  σε  $I_1$ . Αυτό, που μπορούμε να το διαπιστώσουμε πειραματικά, εξηγείται και θεωρητικά, και οφείλεται στα φαινόμενα της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Τελικά **την ισχύ, την οποία απορροφά ο καταναλωτής από το δευτερεύον τύλιγμα, μαζί με τις απώλειες του μετασχηματιστή, την δίνει το δίκτυο, που τροφοδοτεί το πρωτεύον τύλιγμα.**

Χωρίς να επεκταθούμε περισσότερο, θα αναφέρουμε μόνο, ότι στη φόρτιση του μετασχηματιστή η μαγνητική ροή  $\Phi_\mu$ , που περνά μέσα από τον πυρήνα μένει περίπου η ίδια, όση ήταν στη λειτουργία χωρίς φορτίο. Η  $\Phi_\mu$  εξαρτάται μόνο από τα κατασκευαστικά στοιχεία του μετασχηματιστή και όχι από τις συνθήκες φορτίσεώς του. Αυτό γίνεται, γιατί όταν η  $I_0$  γίνει  $I_1$  τα περισσότερα αμπερελίγματα του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή εξουδετερώνονται από τα αντίθετα αμπερελίγματα, που δημιουργούνται από το δευτερεύον τύλιγμα λόγω της εντάσεως φορτίσεως  $I_2$ .





Σχήμα.: 3.7.7.: Λειτουργία μετασχηματιστή με φορτίο

### Σχέσεις μεταξύ εντάσεων και τάσεων.

Αν μετρήσουμε τις εντάσεις  $I_1$  και  $I_2$ , θα διαπιστώσουμε ότι με αρκετή προσέγγιση ισχύει η σχέση:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad \text{ή} \quad I_2 = K \cdot I_1$$

Με προσέγγιση επίσης ισχύει και με φορτίο η σχέση, που είδαμε ότι ισχύει χωρίς φορτίο:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad \text{ή} \quad U_2 = \frac{U_1}{K}$$

Η προσέγγιση στις σχέσεις αυτές είναι τόσο μεγαλύτερη όσο οι απώλειες και οι ροές σκεδάσεως του μετασχηματιστή είναι μικρότερες. Δηλαδή σε ένα **ιδανικό μετασχηματιστή**, χωρίς απώλειες και σκεδάσεις, οι σχέσεις θα ίσχυαν απόλυτα.

Από τις παραπάνω σχέσεις βγάζουμε το συμπέρασμα, ότι **αν ένας μετασχηματιστής ανυψώνει την τάση στο δευτερεύον, θα υποβιβάζει με την ίδια περίπου σχέση την ένταση, που κυκλοφορεί σε αυτό**. Επίσης, επειδή η πυκνότητα του ρεύματος

πρέπει να είναι η ίδια στους αγωγούς και των δυο τυλιγμάτων, μπορούμε να πούμε, ότι: **Το τύλιγμα χαμηλής τάσεως και μεγάλης εντάσεως έχει μικρό αριθμό σπειρών και αγωγό μεγάλης διατομής. Το τύλιγμα υψηλής τάσεως και χαμηλής εντάσεως έχει μεγάλο αριθμό σπειρών και αγωγό μικρής διατομής.**

Αν θεωρήσουμε αμελητέες τις απώλειες του μετασχηματιστή τότε η ισχύς  $N_1$ , που απορροφά το πρωτεύον από το δίκτυο, είναι ίση περίπου με την ισχύ  $N_2$ , που δίνει το δευτερεύον:

$$N_1 = N_2 \quad \text{ή} \quad U_1 \cdot I_1 \cdot \text{συν}\phi_1 = U_2 \cdot I_2 \cdot \text{συν}\phi_2$$

Έχουμε όμως  $U_2 = \frac{U_1}{K}$  και  $I_2 = K \cdot I_1$

Άρα:  $U_2 \cdot I_2 = U_1 \cdot I_1$  και συνεπώς:

$$\text{συν}\phi_1 = \text{συν}\phi_2$$

Δηλαδή η φασική απόκλιση  $\phi_1$  μεταξύ τάσεως και εντάσεως του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή είναι ίση περίπου με τη  $\phi_2$  που προκύπτει από το συντελεστή ισχύος του καταναλωτή ( $\text{συν}\phi_2$ ). Περίπου ίση είναι και η φαινόμενη ισχύς του πρωτεύοντος ( $N_{s_1} = U_1 \cdot I_1$ ) με τη φαινόμενη ισχύ του δευτερεύοντος ( $N_{s_2} = U_2 \cdot I_2$ ):

$$N_{s_1} = N_{s_2}$$

### Παράδειγμα.

Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής δίνει ένταση δευτερεύοντος  $I_2 = 2 \text{ A}$  με τάση  $U_2 = 20 \text{ V}$ , όταν η τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως είναι  $U_1 = 220 \text{ V}$ . Ποια σύνθετη αντίσταση παρουσιάζει ο μετασχηματιστής αυτός στο δίκτυο τροφοδοτήσεως, αν θεωρηθούν αμελητέες οι απώλειες του;

· Η σύνθετη αντίσταση που ζητάμε είναι:

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{K \cdot U_2}{I_2/K} = K^2 \cdot \frac{U_2}{I_2}$$

όπου:  $K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{20} = 11$

Άρα:  $Z_1 = 11^2 \times \frac{20}{2} = 1210 \ \Omega$

Κατά τη λύση του παραπάνω παραδείγματος προέκυψε η πολύ ενδιαφέρουσα σχέση ότι:

$$Z_1 = K^2 \cdot Z_2$$

όπου:  $Z_2$  είναι η σύνθετη αντίσταση του καταναλωτή:  $Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$

Όπως αναφέραμε, οι σχέσεις, που δώσαμε στην παράγραφο αυτή, είναι σχέσεις που ισχύουν με προσέγγιση. Τα πραγματικά μεγέθη διαφέρουν λίγο από εκείνα που προκύπτουν από τις σχέσεις αυτές. Δηλαδή μπορούμε να τις χρησιμοποιούμε όταν δεν υπάρχει ανάγκη μεγάλης ακρίβειας. Σημειώνουμε επίσης ότι για τον ακριβή υπολογισμό των μεγεθών πρέπει να γίνει χρήση συνθέτων διανυσματικών διαγραμμάτων.

### Χαρακτηριστική φορτίου - Πτώση τάσεως.

Κάθε ένα από τα δυο τυλίγματα ενός μετασχηματιστή έχει ορισμένη ωμική αντίσταση και δημιουργεί ορισμένη ροή σκεδάσεως ( $\Phi_{1\sigma}$  και  $\Phi_{2\sigma}$  στο σχήμα 3.7.7). Αποτέλεσμα αυτών είναι, όταν ο μετασχηματιστής εργάζεται με φορτίο, να δημιουργείται σε κάθε τύλιγμά του μια ωμική και μια αυτεπαγωγική (λόγω της ροής σκεδάσεως) πτώση τάσεως. Συνεπώς η τάση  $U_2$  με φορτίο δεν είναι ποτέ ακριβώς ίση με την τάση του δευτερεύοντος χωρίς φορτίο. Δηλαδή η  $U_2$  με φορτίο δεν είναι ακριβώς ίση με  $U_1/K$ .

Τη μεταβολή της τάσεως του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή από τη λειτουργία χωρίς φορτίο στη λειτουργία με το κανονικό φορτίο του, για ορισμένο συντελεστή ισχύος του φορτίου και σταθερή τάση πρωτεύοντος, την ονομάζουμε **διακύμανση τάσεως** και την εκφράζουμε ως ποσοστό επί τοις εκατό της τάσεως του δευτερεύοντος με το κανονικό φορτίο.

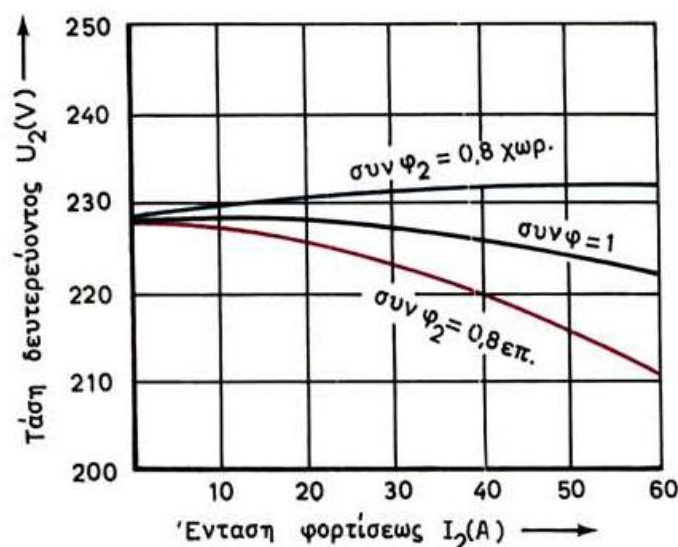
Επειδή στη λειτουργία χωρίς φορτίο, η τάση του δευτερεύοντος είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική του δύναμη, για τη διακύμανση τάσεως έχουμε:

$$\epsilon\% = \frac{E_2 - U_{2N}}{U_{2N}} \cdot 100$$

Όσο μικρότερη είναι η διακύμανση τάσεως, τόσο ποιοτικά καλύτερος είναι ο μετασχηματιστής. Στους μετασχηματιστές μέσου και μεγάλου μεγέθους, η διακύμανση τάσεως είναι κάτω του 5%.

**Χαρακτηριστική φορτίου** ενός μετασχηματιστή ονομάζουμε την καμπύλη, η οποία δείχνει πώς μεταβάλλεται η τάση του δευτερεύοντός του, όταν μεταβάλλεται το φορτίο του, με σταθερή τάση του πρωτεύοντος και σταθερό συντελεστή ισχύος του φορτίου.

Το σχήμα 3.7.8 δίνει τις χαρακτηριστικές φορτίου ενός μετασχηματιστή για τρεις διαφορετικούς συντελεστές ισχύος του φορτίου, δηλαδή για  $\cos\phi_2 = 0,8$  χωρητικό, για  $\cos\phi_2 = 1$  και για  $\cos\phi_2 = 0,8$  επαγωγικό. Γενικά η τάση με φορτίο είναι χαμηλότερη της τάσεως χωρίς φορτίο. Είναι όμως δυνατό να παρουσιασθεί και μεγαλύτερη τάση, όταν το φορτίο είναι πολύ χωρητικό (π.χ. πυκνωτής).



Σχήμα: 3.7.8.: Χαρακτηριστικές φορτίου μετασχηματιστή

### Παράδειγμα.

Να υπολογισθεί η διακύμανση τάσεως του μετασχηματιστή, ο οποίος έχει χαρακτηριστικές φορτίου τις καμπύλες του σχήματος 3.7.8 αν το κανονικό του φορτίο είναι  $I_{2N} = 50 \text{ A}$ .

### Λύση.

$$\text{Για συν}\phi_2 = 0,8 \text{ επαγ.} \quad \epsilon_1 \% = \frac{228 - 217}{217} \times 100 = 5\%$$

$$\text{Για συν}\phi_2 = 1 \quad \epsilon_2 \% = \frac{228 - 224}{224} \times 100 = 1,8\%$$

$$\text{Για συν}\phi_2 = 0,8 \text{ χωρ.} \quad \epsilon_3 \% = \frac{228 - 232}{232} \times 100 = -1,7\%$$

## 9. ΤΑΣΗ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΕΩΣ

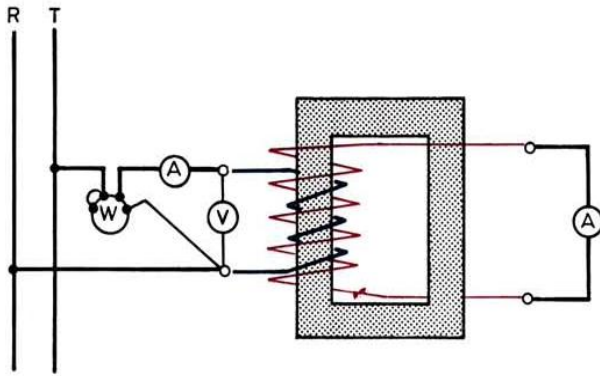
Εκτελούμε το ακόλουθο πείραμα: Σε ένα μετασχηματιστή βραχυκυκλώνουμε το δευτερεύον τύλιγμα αφού παρεμβάλλομε ένα αμπερόμετρο στον αγωγό της βραχυκυκλώσεως (σχ.3.7.9). Έπειτα τροφοδοτούμε το πρωτεύον τύλιγμα με τάση (που έχει συχνότητα ίση με την ονομαστική), την οποία αυξάνομε σιγά - σιγά αρχίζοντας από πολύ μικρές τιμές. Για κάποια τιμή  $U_{1K}$  της τάσεως του πρωτεύοντος, την οποία μετρούμε με βολτόμετρο, η ένταση στο βραχυκυκλωμένο δευτερεύον θα γίνει ίση με την ονομαστική ένταση  $I_{2N}$  του μετασχηματιστή. Τότε και η ένταση του πρωτεύοντος θα είναι ίση με την ονομαστική του ένταση  $I_{1N}$ . Την τάση αυτή  $U_{1K}$ , η οποία ξοδεύεται ολόκληρη για εσωτερική πτώση τάσεως μέσα στο μετασχηματιστή, τον ονομάζομε **τάση βραχυκυκλώσεως**. Συνήθως την εκφράζομε σαν

ποσοστό επί τοις εκατό της ονομαστικής τάσεως του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή:

$$u_K \% = \frac{U_{1K}}{U_{1N}} \cdot 100$$

Όταν γνωρίζομε την τάση βραχυκυκλώσεως, μπορούμε να υπολογίσομε την πιθανή ένταση ενός βραχυκυκλώματος στο δευτερεύον του μετασχηματιστή, όταν το πρωτεύον τροφοδοτείται με την ονομαστική του τάση, από τη σχέση:

$$I_{2K} = \frac{I_{2N}}{u_K \%} \cdot 100$$



Σχήμα: 3.7.9.: Πείραμα βραχυκυκλώσεως μετασχηματιστή

**Παράδειγμα.**

Ποια είναι η τάση βραχυκυκλώσεως ενός μετασχηματιστή 6000/400 V, στον οποίο κατά το πείραμα βραχυκυκλώσεως, για να έχουμε την ονομαστική ένταση στο δευτερεύον, χρειάσθηκε να τροφοδοτήσουμε το πρωτεύον με τάση 240 V;

**Λύση.**

$$u_K \% = \frac{U_{1K}}{U_{1N}} \cdot 100 = \frac{240}{6000} \times 100 = 4\%$$

**Παράδειγμα.**

Στο μετασχηματιστή του προηγούμενου παραδείγματος να υπολογισθεί σε ποια τιμή μπορεί να φθάσει η ένταση βραχυκυκλώσεως στο δευτερεύον με την ονομαστική τάση τροφοδοτήσεως στο πρωτεύον, όταν η ονομαστική ένταση του δευτερεύοντος είναι  $I_{2N} = 200$  A.

**Λύση.**

Είναι:

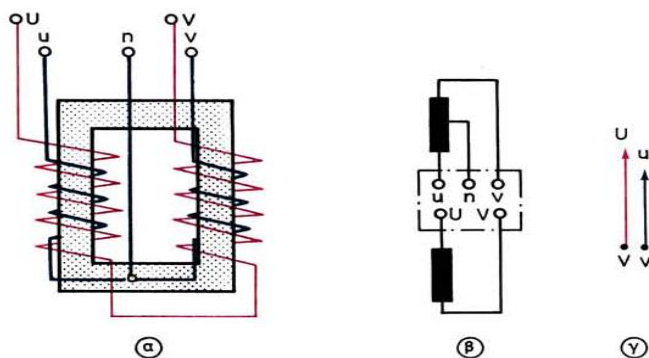
$$I_{2K} = \frac{I_{2N} \cdot 100}{u_K \%} \cdot 100$$

**10. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ**

**Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μονοφασικών μετασχηματιστών**

Το σχήμα (3.7.10.α.) παριστάνει πως είναι συνομολογημένα τα τυλίγματα ενός μονοφασικού μετασχηματιστή, τα οποία δεχόμαστε ότι είναι περιελιγμένα κατά

την ίδια φορά και, όπως γνωρίζουμε, είναι τοποθετημένα στους δύο κορμούς του πυρήνα. Στο (β) του σχήματος φαίνεται μία άλλη (συμβολική) σχεδίαση των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή. Στη σχεδίαση αυτή τα τυλίγματα πρέπει να θεωρηθούν ότι πηγαίνουν στην πραγματική τους (φυσική) θέση, αν στραφούν προς τα κάτω.



Σχήμα: 3.7.10.: Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μονοφασικού μετασχηματιστή

Οι ακροδέκτες του τυλιγματος Υ.Τ. σημειώνονται στο κάλυμμα του μετασχηματιστή με τα κεφαλαία γράμματα  $U$  και  $V$  (ή  $A$  και  $B$  ή  $H_1$  και  $H_2$ ). Οι ακροδέκτες του τυλιγματος Χ.Τ. σημειώνονται με τα μικρά γράμματα  $u$  και  $v$  (ή  $a$  και  $b$  ή  $x_1$  και  $x_2$ ). Αν γίνεται και **μεσαία λήψη**, όπως στο σχήμα, ο αντίστοιχος ακροδέκτης τοποθετείται μεταξύ των άλλων δυο και σημειώνεται με τα μικρά γράμματα  $n$  (ή  $n_p$  ή  $x_0$ ).

Απέναντι ακριβώς από τον ακροδέκτη  $U$  της Υ.Τ. τοποθετείται ο ακροδέκτης  $u$  της Χ.Τ., ο οποίος έχει πάντοτε την ίδια πολικότητα με τον  $U$ . Δηλαδή τα παραστατικά **διανύσματα των τάσεων  $VU$  και  $vu$  είναι σε φάση (ανωτέρω σχήμα)**

Στους μετασχηματιστές με μεσαία λήψη, μεταξύ του ακροδέκτη της  $n$  και ενός από τους δύο άλλους ακροδέκτες  $u$  και  $v$  επικρατεί το μισό της τάσεως του δευτερεύοντος. Αν π.χ. η τάση του δευτερεύοντος είναι  $220\text{ V}$ , τότε μεταξύ  $n$  και  $u$  καθώς και μεταξύ  $n$  και  $v$  έχουμε τάση  $110\text{ V}$ . Δηλαδή ο μετασχηματιστής δίνει στο δευτερεύον στις περιπτώσεις αυτές δύο τάσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ( $110$  και  $220\text{ V}$ ). Μικροί μετασχηματιστές με μεσαία λήψη χρησιμοποιούνται πολύ στις **ανορθωτικές διατάξεις** των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

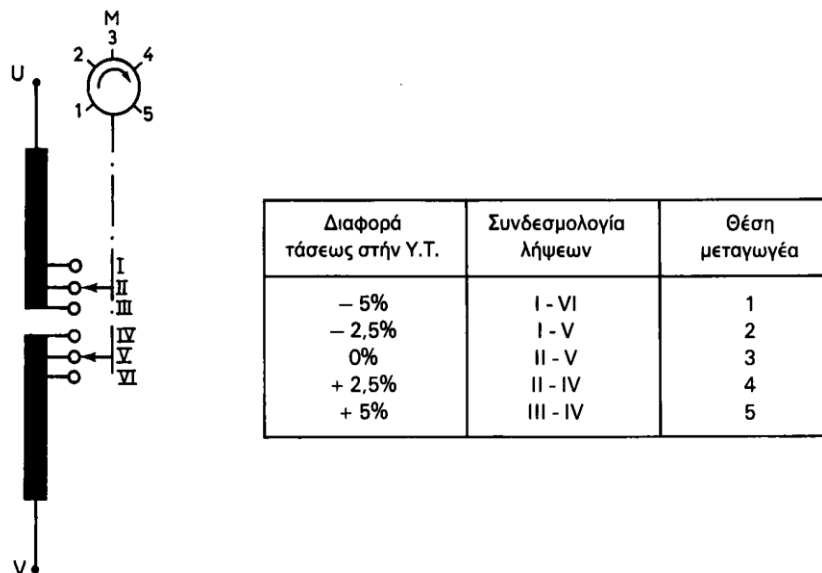
Με τον ίδιο τρόπο, όπως έχουμε τη μεσαία λήψη, είναι δυνατό από το δευτερεύον του μετασχηματιστή να πάρουμε **περισσότερες λήψεις**. Έχουμε τότε ένα μετασχηματιστή ο οποίος μπορεί να δώσει πολλές τάσεις στο δευτερεύον του. Το μέγεθος κάθε μιας από τις τάσεις αυτές εξαρτάται από τον αριθμό των σπειρών του αντίστοιχου σημείου λήψεως.

Η τάση ενός δικτύου διανομής από το οποίο τροφοδοτούνται μετασχηματιστές, δεν είναι η ίδια σε όλη την έκταση του δικτύου, λόγω πτώσεως της τάσεως (η τάση στην αρχή κάθε γραμμής είναι μεγαλύτερη από ό,τι είναι στο τέλος της). Για να μην επιδρά η ανομοιομορφία αυτή στην τάση του δευτερεύοντός τους, οι μετασχηματιστές των δικτύων διανομής κατασκευάζονται με λήψεις στο πρωτεύον, για τάσεις τροφοδοτήσεως που κυμαίνονται μέσα σε ορισμένα όρια, οι οποίες τους επιτρέπουν να δίνουν την ίδια τάση δευτερεύοντος.

Οι μετασχηματιστές διανομής της ΔΕΗ, που είναι ονομαστικής τάσεως πρωτεύοντος 15 000 V, έχουν λήψεις  $\pm 5\%$  και  $\pm 2,5\%$ . Αυτό σημαίνει ότι, όταν η τάση του δικτύου στη θέση που θα τοποθετηθεί ο μετασχηματιστής είναι π.χ. 14 250 V, θα χρησιμοποιηθεί η λήψη  $- 5\%$ . Αν είναι 15 375 V, θα χρησιμοποιηθεί η λήψη  $+ 2,5\%$  κ.ο.κ.

Το σχήμα 3.7.11. δείχνει το τύλιγμα Υ.Τ. ενός μετασχηματιστή (της μίας φάσεως αν ο μετασχηματιστής είναι τριφασικός) και τον τρόπο, με τον οποίο παίρνονται οι λήψεις. Το τύλιγμα είναι διαιρεμένο σε δύο μισά και η συνδεσμολογία των λήψεων γίνεται με μηχανισμό, ο οποίος κινείται από μεταγωγέα Μ, που βρίσκεται στο κάλυμμα του μετασχηματιστή. Για τη θέση του μεταγωγέα, που δείχνει το σχήμα, συνδέονται οι λήψεις II και V. Όπως βλέπομε από τον πίνακα, που είναι στο δεξιό μέρος του σχήματος η σύνδεση αυτή δίνει διαφορά τάσεως στο πρωτεύον 0%, δηλαδή είναι η θέση που πρέπει να έχει ο μεταγωγέας όταν η τάση του δικτύου Υ.Τ. είναι 15 000 V.

Το σχήμα 3.7.11. δείχνει το τύλιγμα Υ.Τ. ενός μετασχηματιστή (της μίας φάσεως,



Σχήμα.: 3.7.11.: Λήψεις πρωτεύοντος μετασχηματιστή διανομής

Τέλος σημειώνομε ότι στην κατασκευή αυτή η αλλαγή των λήψεων πρέπει να γίνεται, όταν ο μετασχηματιστής δεν είναι σε λειτουργία. Υπάρχουν άλλες κατασκευές, που επιτρέπουν την αλλαγή των λήψεων του μετασχηματιστή όταν λειτουργεί ή ακόμη και την αυτόματη αλλαγή των λήψεων, όταν η τάση του δικτύου μεταβάλλεται.

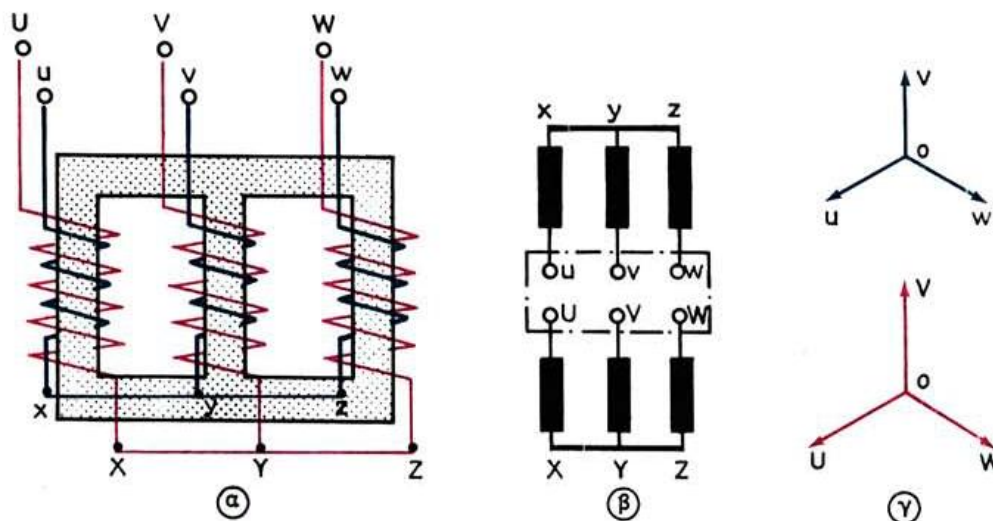
Όσα αναφέραμε στο εδάφιο αυτό για τις λήψεις των μετασχηματιστών και για τα πολλαπλά τυλίγματα, είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς ότι εφαρμόζονται και στους τριφασικούς μετασχηματιστές

Στην πράξη, οι τάσεις λειτουργίας των Μ/Σ είναι τυποποιημένες, ανάλογα με το σκοπό και την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Έτσι, π.χ. οι Μ/Σ Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.) κατασκευάζονται για τάσεις πρωτεύοντος 220V και δευτερεύοντος 6, 12, 24 ή 40V, ενώ οι Μ/Σ διανομής Μέσης Τάσης (Μ.Τ.) για τάσεις πρωτεύοντος 15, 20 ή 25kV και τάσεις δευτερεύοντος 380/220V.

### Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων τριφασικών μετασχηματιστών.

Το σχήμα (3.7.12) παριστάνει σχηματικά πως είναι τοποθετημένα τα τρία τυλίγματα (φάσεις) Υ.Τ. και τα τρία τυλίγματα (φάσεις) Χ.Τ. στον τριφασικό μετασχηματιστή. Τα τυλίγματα αυτά δεχόμαστε ότι είναι περιελιγμένα κατά την ίδια φορά, όπως γίνεται συνήθως στην πράξη. Στην περίπτωση του σχήματος, τόσο τα τυλίγματα Υ.Τ. όσο και τα τυλίγματα Χ.Τ. είναι συνδεσμολογημένα σε αστέρα. Δηλαδή πρόκειται για μετασχηματιστή **ζεύξεως αστέρα-αστέρα**, όπως λέμε.

Τα ελεύθερα άκρα των τριών φάσεων της Υ.Τ. έχουν συνδεθεί στους τρεις αντίστοιχους ακροδέκτες του καλύμματος του μετασχηματιστή, οι οποίοι είναι χαρακτηρισμένοι με τα κεφαλαία γράμματα U, V, W (ή Α, Β, C, ή Η<sub>1</sub>, Η<sub>2</sub>, Η<sub>3</sub>). Αντίστοιχα



Σχήμα: 3.7.12.: Τριφασικός μετασχηματιστής ζεύξεως αστέρα - αστέρα



οι τρεις ακροδέκτες της Χ.Τ. είναι χαρακτηρισμένοι με τα μικρά γράμματα u, v, w (ή a, b, c, ή  $x_1, x_2, x_3$ ). Οι συνδέσεις των άκρων X, Y, Z και x, y, z, γίνονται μέσα στο μετασχηματιστή και σχηματίζουν τους ουδέτερους κόμβους Υ.Τ. και Χ.Τ. Σε ορισμένους μετασχηματιστές οι ουδέτεροι κόμβοι συνδέονται με ιδιαίτερους ακροδέκτες πάνω στο κάλυμμα, οι οποίοι φέρουν τότε το γράμμα N (ή  $N_p$  ή  $H_0$ ) για την Υ.Τ. και n (ή  $n_p$  ή  $x_0$ ) για την Χ.Τ.

Το σχήμα (β) δίνει τη συμβολική σχεδίαση των τυλιγμάτων μετασχηματιστή ζεύξεως αστέρα-αστέρα. Στο (γ) του ίδιου σχήματος φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα υψηλής και χαμηλής τάσεως. Όπως παρατηρούμε, στη ζεύξη αυτή η φασική απόκλιση μεταξύ των διανυσμάτων των αντιστοίχων φάσεων είναι μηδενική.

Στη συνδεσμολογία του αστέρα (για την υψηλή ή χαμηλή τάση) ισχύουν οι γνωστές σχέσεις:

$$U_{\phi} = \frac{U}{1,73}$$

$$I_{\phi} = I$$

### Παράδειγμα.

Ένας τριφασικός μετασχηματιστής κατασκευάστηκε για να τροφοδοτείται από δίκτυο τάσεως 380 V. Στο πλήρες φορτίο του το πρωτεύον τυλίγμα, που είναι συνδεσμολογημένο σε αστέρα, απορροφά από το δίκτυο ένταση 10 A. Για ποια τάση και ποια ένταση κατασκευάστηκε κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος;

### Λύση.

Ο αριθμός των σπειρών κάθε φάσεως του πρωτεύοντος τυλίγματος υπολογίστηκε για τάση:

$$U_{1\phi} = \frac{U_1}{1,73} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ V}$$

Η διατομή του αγωγού, από τον οποίο είναι κατασκευασμένη κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος, υπολογίστηκε για ένταση:

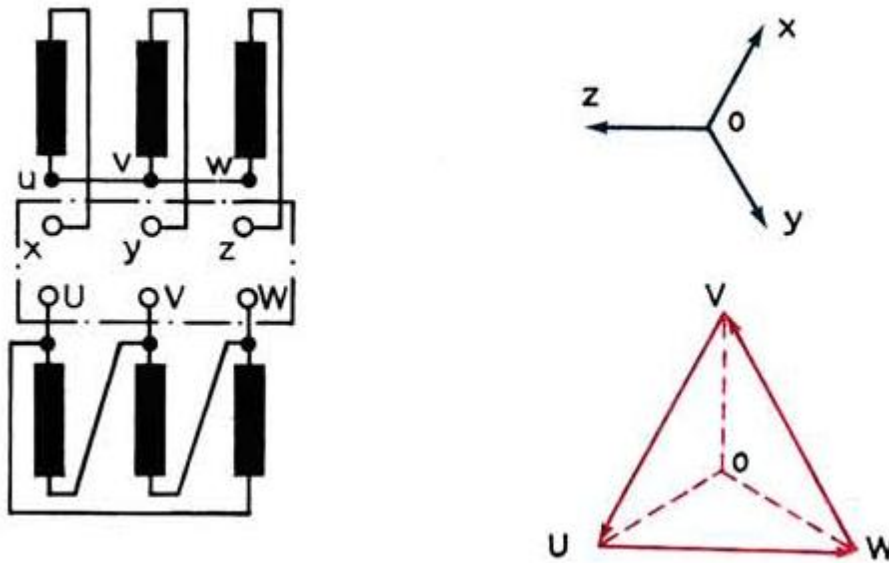
$$I_{1\phi} = I_1 = 10 \text{ A}$$

Στους τριφασικούς μετασχηματιστές τα τυλίγματα Υ.Τ. ή Χ.Τ. ή και τα δύο μπορεί να συνδεσμολογηθούν και σε τρίγωνο. Στο σχήμα(3.7.13)παριστάνεται μετασχηματιστής ζεύξεως **τριγώνου-αστέρα**, δηλαδή τριγώνου στην Υ.Τ. και αστέρα στη Χ.Τ.

Σε κάθε φάση του τυλίγματος Υ.Τ. εφαρμόζονται τώρα οι πολικές τάσεις του δικτύου. Συνεπώς ισχύουν οι γνωστές σχέσεις:

$$U_{\phi} = U$$

$$I_{\phi} = \frac{I}{1,73}$$



Σχήμα: 3.7.13.: Τριφασικός μετασχηματιστής ζεύξεως τριγώνου – αστέρα

**Παράδειγμα.**

Αν ο μετασχηματιστής του προηγούμενου παραδείγματος έχει το πρωτεύον τυλίγμα συνδεσμοποιημένο σε τρίγωνο, για ποια τάση και για ποια ένταση κατασκευάστηκε κάθε φάση του τυλίγματος αυτού;

**Λύση.**

Στην περίπτωση αυτή, ο αριθμός των σπειρών κάθε φάσεως του πρωτεύοντος τυλίγματος υπολογίσθηκε για τάση:

$$U_{1\phi} = U_1 = 380 \text{ V}$$

Η διατομή του αγωγού, από τον οποίο είναι κατασκευασμένη κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος, υπολογίσθηκε για ένταση:

$$I_{1\phi} = \frac{I_1}{1,73} = \frac{10}{1,73} = 5,78 \text{ A}$$

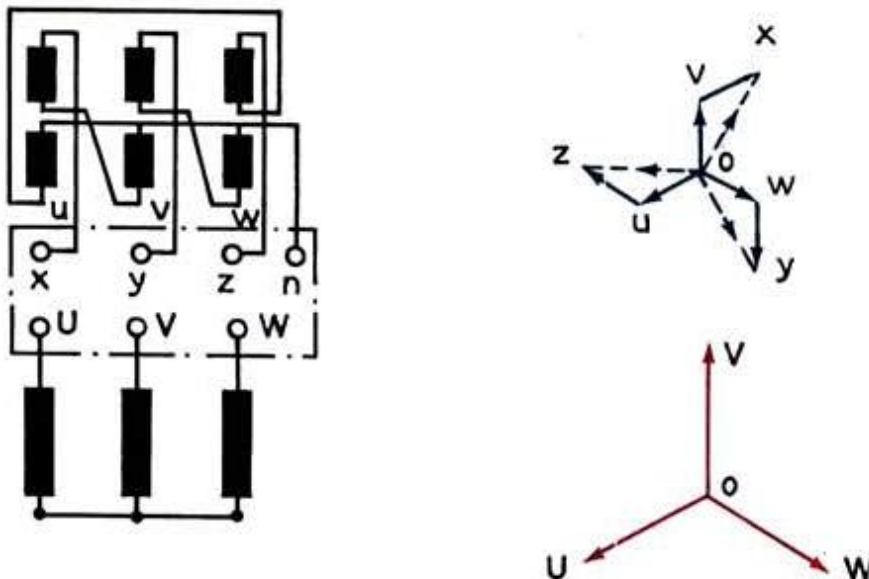
Δηλαδή τώρα κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος θα έχει μεγαλύτερο αριθμό σπειρών με αγωγό μικρότερης διατομής από ό,τι ο μετασχηματιστής του προηγούμενου παραδείγματος.

Πρέπει να παρατηρήσουμε, ότι ο μετασχηματιστής του σχήματος (3.7.13) έχει τον ουδέτερο κόμβο στα επάνω άκρα  $u, v, w$  των τυλιγμάτων Χ.Τ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι τάσεις στα τυλίγματα αυτά να έχουν φασική απόκλιση  $180^\circ$  προς τις τάσεις των αντιστοίχων τυλιγμάτων Υ.Τ., δηλαδή το διανυσματικό διάγραμμα του μετασχηματιστή αυτού είναι όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος (3.7.13)

Στα τριφασικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με ουδέτερο, πολλές φορές χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές υποβιβασμού, οι οποίοι έχουν το δευτερεύον τους, δηλαδή τη Χ.Τ., συνδεσμολογημένο σε **τεθλασμένο αστέρα** (ζιγκ - ζαγκ). Στη συνδεσμολογία αυτή το τύλιγμα Χ.Τ. κάθε κορμού αποτελείται από δύο τμήματα. Κάθε τμήμα συνδέεται σε σειρά με ένα τμήμα από το τύλιγμα χαμηλής τάσεως άλλου κορμού. Το σχήμα<sub>(3.7.14)</sub> δείχνει μετασχηματιστή ζεύξεως **αστέρα-τεθλασμένου αστέρα**.

Στο δεξιό μέρος του ίδιου σχήματος φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων. Όπως παρατηρούμε, το διάνυσμα της φασικής τάσεως  $U_{2\phi} = ox$  του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή αποτελείται από ένα διάνυσμα  $ov$  παράλληλο προς την πρωτεύουσα τάση  $OU$  και από ένα διάνυσμα  $vx$  με φασική απόκλιση  $180^\circ$  προς την πρωτεύουσα τάση  $OU$ . Αυτό προκύπτει από τον τρόπο, που είναι συνδεσμολογημένα τα δύο μέρη, από τα οποία αποτελείται το τύλιγμα Χ.Τ. της φάσεως  $px$  (αριστερό μέρος του σχήματος). Το ίδιο συμβαίνει και με τις υπόλοιπες φάσεις. Άρα κάθε ένα από τα δύο τμήματα του τυλιγματος Χ.Τ., που έχει κάθε κορμός, είναι κατασκευασμένο για τάση:

$$u_{2\phi} = ov = vx = \frac{ox}{1,73} = \frac{U_{2\phi}}{1,73}$$



Σχήμα: 3.7.14.: Τριφασικός μετασχηματιστής ζεύξεως αστέρα – τεθλασμένου αστέρα

### Παράδειγμα.

Για ποια τάση πρέπει να κατασκευασθεί κάθε τμήμα του δευτερεύοντος τυλίγματος ζεύξεως τεθλασμένου αστέρα σε ένα μετασχηματιστή, που δίνει πολική τάση 400 V; Πόσο τοις εκατό περισσότερες σπείρες έχει το τυλίγμα αυτό σχετικά με το δευτερευον τυλίγμα ζεύξεως σε αστέρα ενός άλλου μετασχηματιστή που δίνει την ίδια πολική τάση;

### Λύση.

$$\text{Έχομε:} \quad U_{2\phi} = \frac{U_2}{1,73} = \frac{400}{1,73} = 231 \text{ V}$$

$$\text{Άρα:} \quad \text{ον} = \text{vx} = \frac{U_{2\phi}}{1,73} = \frac{231}{1,73} = 133 \text{ V}$$

Στη ζεύξη τεθλασμένου αστέρα σε κάθε κορμό έχουμε δύο τυλίγματα, κάθε ένα από τα οποία δίνει τάση 133 V, όπως προέκυψε παραπάνω. Άρα ο αριθμός σπειρών και των δύο τυλιγμάτων θα αντιστοιχεί σε τάση  $2 \times 133 = 266 \text{ V}$ . Ο αριθμός σπειρών κάθε τυλίγματος Χ.Τ. στη συνδεσμολογία αστέρα θα αντιστοιχεί σε τάση 231 V, όταν η πολική τάση είναι 400 V. Συνεπώς η συνδεσμολογία τεθλασμένου αστέρα έχει περισσότερες σπείρες κατά:

$$\frac{266 - 231}{231} \times 100\% = \frac{35}{231} \times 100\% = 15\%$$

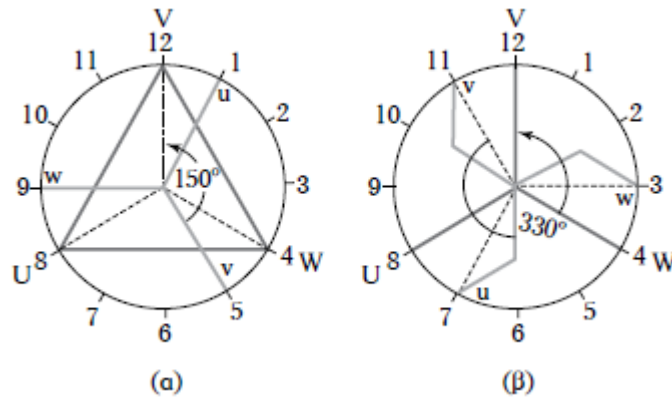
Το ότι απαιτούν περισσότερες σπείρες αποτελεί μειονέκτημα των μετασχηματιστών τεθλασμένου αστέρα. Χρησιμοποιούνται όμως, όταν έχουμε μεγάλη ανομοιομορφία στη φόρτιση των τριών φάσεων του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή, οπότε περιορίζουν την κακή λειτουργία του μετασχηματιστή που προκαλείται από την ανομοιόμορφη φόρτιση. Επίσης με τη συνδεσμολογία τεθλασμένου αστέρα, όπως και με τη συνδεσμολογία αστέρα, μπορούμε να έχουμε ουδέτερο κόμβο, που είναι απαραίτητος στα τριφασικά δίκτυα διανομής με τέσσερεις αγωγούς.

### Κατάταξη των τριφασικών μετασχηματιστών σε ομάδες

Από όσα αναφέραμε στο προηγούμενο εδάφιο συμπεραίνουμε, ότι υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί στη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων των τριφασικών μετασχηματιστών. Ο Πίνακας [δίνει](#) τις συνδεσμολογίες που χρησιμοποιούνται στην πράξη. Ο συμβολισμός κάθε μετασχηματιστή που αναφέρεται στον πίνακα αυτό είναι ο **διεθνής συμβολισμός**. Τα γράμματα που χρησιμοποιούνται δίνουν αμέσως και το είδος της συνδεσμολογίας. Το πρώτο γράμμα (κεφαλαίο) δίνει τη ζεύξη του τυλίγματος Υ. Τ. και το δεύτερο (μικρό) του τυλίγματος Χ. Τ., ως εξής:

Σε τρίγωνο	= D, d
Σε αστέρα	= Y, y
Σε τεθλασμένο αστέρα	= Z, z

Η φασική απόκλιση μεταξύ των φάσεων ΥΤ και ΧΤ χαρακτηρίζεται με έναν αριθμό, ο οποίος αν πολλαπλασιαστεί επί 30ο δίνει τη φασική απόκλιση σε μοίρες (σχήμα: 3.7.15.), και προσδιορίζει τον τύπο της συνδεσμολογίας του τυλίγματος ΥΤ και του αντιστοίχου τυλίγματος ΧΤ.



Σχήμα.: 3.7.15.: (α) Σύνδεση Dy5 και (β) σύνδεση Yz11.

Ομάδα των τριφασικών Μ/Σ ονομάζεται ο αριθμός, ο οποίος προκύπτει διαιρώντας τη φασική απόκλιση, μεταξύ των φάσεων ΥΤ, και των αντιστοίχων της ΧΤ, με 30ο. Οι ομάδες που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι 0, 1, 2, ..., 11.

**Μετά τα δύο γράμματα ακολουθεί ένας αριθμός (0,5,6,11), που είναι ο αριθμός της ομάδας, στην οποία ανήκει ο μετασχηματιστής και έχει την ακόλουθη σημασία: Αν τον αριθμό αυτό τον πολλαπλασιάσουμε επί 30°, μας δίνει τη γωνία κατά την οποία καθυστερούν τα διανύσματα της Χ.Τ. ως προς τα αντίστοιχα διανύσματα της Υ.Τ. Ο μετασχηματιστής π.χ. του σχήματος (3.7.12) έχει συμβολισμό Υγ0, γιατί η γωνία μεταξύ των αντιστοίχων διανυσμάτων Υ.Τ. και Χ.Τ είναι μηδενική.**

Από την παραπάνω σημασία, που έχει ο χαρακτηριστικός αριθμός της ομάδας, συμπεραίνουμε ότι όλοι οι μετασχηματιστές, που ανήκουν σε μία ομάδα, έχουν τάσεις στο δευτερεύον, οι οποίες είναι σε φάση μεταξύ τους, όταν τα πρωτεύοντά τους τροφοδοτούνται από το ίδιο δίκτυο. Αυτό φαίνεται και από τα διανυσματικά διαγράμματα του Πίνακα , στα οποία δεν έχουν σημειωθεί χάρη απλότητας τα βέλη των διανυσμάτων.

**Συνδεσμολογίες τριφασικών μετασχηματιστών**

Αριθμός ομάδας	Συμβολισμός	Διανυσματικό διάγραμμα		Συνδεσμολογία	
		Υ.Τ.	Χ.Τ.	Υ.Τ.	Χ.Τ.
0	Dd 0				
	Yy 0				
	Dz 0				
5	Dy 5				
	Yd 5				
	Yz 5				
6	Dd 6				
	Yy 6				
	Dz 6				
11	Dy 11				
	Yd 11				
	Yz 11				

## 11. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Στην πινακίδα που έχει κάθε μετασχηματιστής, δείχνει μια τέτοια πινακίδα μετασχηματιστή διανομής της ΔΕΗ) εκτός από το όνομα του εργοστασίου κατασκευής και τον αριθμό κατασκευής, αναγράφονται συνήθως και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στοιχεία:

α) Η **ονομαστική ισχύς** του μετασχηματιστή σε VA ή kVA. Είναι η φαινόμενη ισχύς, την οποία μπορεί να δίνει συνεχώς το δευτερεύον του μετασχηματιστή με την ονομαστική τάση, χωρίς κίνδυνο υπερθερμάνσεως, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος δεν υπερβαίνει ορισμένα όρια.

β) Ο **αριθμός των φάσεων** του μετασχηματιστή.

γ) Η **ονομαστική συχνότητα**, δηλαδή η συχνότητα του ρεύματος, για την οποία ισχύουν τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μετασχηματιστή.

δ) Η **ονομαστική τάση πρωτεύοντος** και η **ονομαστική τάση δευτερεύοντος** για τη λειτουργία χωρίς φορτίο. Όταν π.χ. στην πινακίδα αναφέρεται ονομαστική τάση 20.000 V-231/400 V, σημαίνει ότι ο μετασχηματιστής (πρόκειται προφανώς για τριφασικό μετασχηματιστή), όταν τροφοδοτηθεί στο πρωτεύον από τριφασικό δίκτυο (πολικής) τάσεως 20.000 V, θα δώσει στο δευτερεύον χωρίς φορτίο τάση φασική μεν 231 V πολική δε 400 V. Σε ορισμένους μετασχηματιστές αντί της τάσεως του δευτερεύοντος χωρίς φορτίο δίνεται η τάση με το ονομαστικό φορτίο.

ε) Η **τάση βραχυκυκλώσεως** του μετασχηματιστή επί τοις εκατό, σύμφωνα με όσα έχουμε αναφέρει

στ) Η **ομάδα** στην οποία ανήκει από άποψη **συνδεσμολογίας** (ζεύξεως) των τυλιγμάτων του ο (τριφασικός) μετασχηματιστής, π.χ. Dy1.

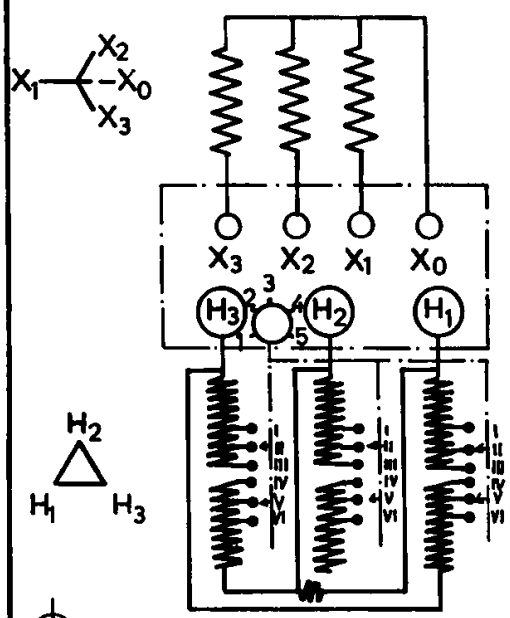
Η πινακίδα των μετασχηματιστών δεν γράφει συνήθως τις ονομαστικές εντάσεις πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του μετασχηματιστή, είναι όμως εύκολο να τις υπολογίσουμε από την ονομαστική ισχύ και τις ονομαστικές τάσεις.



(ΟΝΟΜΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ)

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ  
DISTRIBUTION TRANSFORMER

Ιδιοκτησία Property of	<input type="text" value="Δ Ε Η"/>	Τάση βραχυκυκλ. Impedance	<input type="text" value="4,5 %"/>
Αυξοντας αριθμος Serial number	<input type="text"/>	Αύξηση θερμ. λαδιού Oil temperature rise	<input type="text" value="55 °C"/>
KVA	<input type="text" value="150"/>	Ζεύξη Vector relation	<input type="text" value="DY 1"/>
Τύπος Type	<input type="text"/>	Οδηγίες Instruction card	<input type="text"/>
Φάσεις Phase	<input type="text" value="3"/>	Patent No	<input type="text"/>
Συχνότητα Frequency	<input type="text" value="50"/>	Ολικού βάρους Total weight	<input type="text"/>
Ονομ. τάση Rated voltage	<input type="text" value="20000&lt;br/&gt;231/400V"/>	Βάρος ανυψώσεως Untanking weight	<input type="text"/>
Λήψεις Υ.Τ. H.V. Tappings	<input type="text" value="± 25%&lt;br/&gt;± 5 %"/>	Βάρος λαδιού Oil weight	<input type="text"/>
		Έτος κατασκευής YAR of construction	<input type="text"/>
		Αριθμ. συμβάσεως Contract No	<input type="text"/>



Θέση διακόπτη Switch position	Συνδεσμολογία για Υ.Τ. ⊕ HV Connection	Λήψεις Taps
1	I - VI	-5%
2	I - V	-25%
3	II - V	0%
4	II - IV	+25%
5	III - IV	+5%

Ενδεικτική Πινακίδα μετασχηματιστή ιδιοκτησίας ΔΕΗ



## 12. ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Όταν ένας μετασχηματιστής δεν επαρκεί για την τροφοδότηση ενός φορτίου, π.χ. ενός δικτύου, τότε ή πρέπει να τον αντικαταστήσουμε με άλλο μεγαλύτερης ισχύος ή να συνδέσουμε παράλληλα με αυτόν ένα δεύτερο μετασχηματιστή, ο οποίος να πάρει ένα μέρος του φορτίου.

Για να μπορούν δύο ή περισσότεροι μετασχηματιστές να λειτουργήσουν παράλληλα πρέπει να εκπληρώνουν τις ακόλουθες συνθήκες:

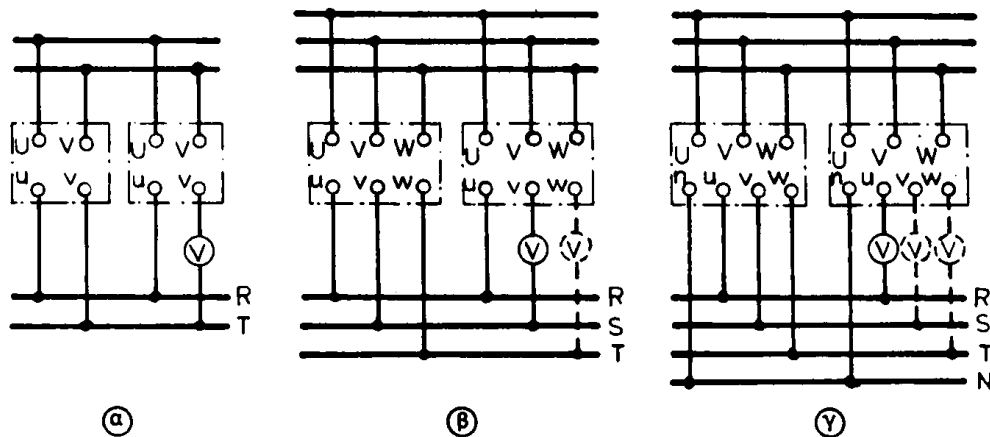
α) **Να είναι κατασκευασμένοι για την ίδια τάση πρωτεύοντος και για την ίδια τάση δευτερεύοντος.**

β) **Να ανήκουν στην ίδια ομάδα συνδεσμολογίας**

γ) **Να έχουν ίσες τάσεις βραχυκυκλώσεως.**

δ) **Να γίνει σωστή σύνδεση των αντιστοιχών ακροδεκτών.**

Οι τρεις πρώτες συνθήκες μπορούν εύκολα να εξακριβωθούν από τα στοιχεία, που είναι γραμμένα στις πινακίδες των μετασχηματιστών. Η εξακρίβωση της τέταρτης συνθήκης, αν δεν είμαστε βέβαιοι για την αντιστοιχία των ακροδεκτών, γίνεται με τη βοήθεια ενός βολτόμετρου που να έχει κλίμακα μετρήσεων διπλάσια της τάσεως του δευτερεύοντος των μετασχηματιστών. Το σχήμα 1 δείχνει τη χρήση του βολτόμετρου για το σκοπό αυτό στην περίπτωση μονοφασικών μετασχηματιστών (α), τριφασικών μετασχηματιστών χωρίς ουδέτερο (β) και τριφασικών μετασχηματιστών με ουδέτερο (γ).



Σχήμα.: 3.7.16: Ορθή σύνδεση ακροδεκτών

Δηλαδή συνδέομε τόν ένα ακροδέκτη τής Χ.Τ. του μετασχηματιστή πού πρόκειται νά παραλληλισθεί με τον αντίστοιχο ζυγό Χ.Τ. και έπειτα τοποθετούμε τό βολτόμετρο διαδοχικά μεταξύ τών λοιπών ακροδεκτών καί των αντίστοιχων ζυγών Χ.Τ. Σε καμιά περίπτωση το βολτόμετρο δεν πρέπει να δείξει τάση.

Αν εκπληρώνονται όλες οι συνθήκες που αναφέραμε, οι μετασχηματιστές θα λειτουργήσουν παράλληλα με απόλυτα ικανοποιητικό τρόπο και **καθένας θα αναλάβει από το συνολικό φορτίο ένα μέρος ανάλογο προς την ονομαστική του ισχύ.**

Στην πράξη όμως σπάνια συμβαίνει να έχουμε μετασχηματιστές με απόλυτα ίσες τάσεις βραχυκυκλώσεως. Γι' αυτό δεχόμαστε ότι η τρίτη συνθήκη ισχύει όταν οι τάσεις βραχυκυκλώσεως δεν διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 10%. Όταν η διαφορά είναι μεγαλύτερη, ο μετασχηματιστής με τη μικρότερη τάση βραχυκυκλώσεως θα αναλάβει φορτίο μεγαλύτερο από αυτό που του αναλογεί με βάση την ισχύ του. Έτσι υπάρχει ενδεχόμενο ένας μικρός μετασχηματιστής που εργάζεται παράλληλα με ένα μεγάλο να υπερφορτωθεί. Για το λόγο αυτό δεν βάζουμε παράλληλη λειτουργία μετασχηματιστές που έχουν σχέση ονομαστικής ισχύος μεγαλύτερη από 3 : 1. Θα πρέπει μάλιστα ο μικρότερος μετασχηματιστής να έχει λίγο μεγαλύτερη τάση βραχυκυκλώσεως για να μην δημιουργούνται συνθήκες υπερφορτίσεώς του.

Όταν έχουμε μεγάλες διαφορές στις τάσεις βραχυκυκλώσεως, συνδέομε σε σειρά με το μετασχηματιστή, που έχει τη μικρότερη τάση βραχυκυκλώσεως, ειδικά **στραγγαλιστικά πηνία**. Το μέγεθος αυτών των πηνίων προσδιορίζεται από τη διαφορά των τάσεων βραχυκυκλώσεως και από την ισχύ.

Τέλος πρέπει να σημειώσουμε ότι, όταν οι μετασχηματιστές έχουν μεταγωγείς με λήψεις τυλιγμάτων , θα πρέπει οι μεταγωγείς σε όλους τους μετασχηματιστές που λειτουργούν παράλληλα να είναι στην ίδια θέση. Διαφορετικά θα κυκλοφορήσουν ρεύματα μεταξύ των δευτερευόντων τυλιγμάτων των μετασχηματιστών, έστω και αν εκπληρώνονται οι συνθήκες παράλληλης λειτουργίας, που αναφέραμε στη αρχή αυτής της παραγράφου.

### **Παράδειγμα.**

Δύο μετασχηματιστές με ονομαστική ισχύ  $N_1 = 40 \text{ kVA}$  και  $N_{II} = 80 \text{ kVA}$  έχουν την ίδια τάση βραχυκυκλώσεως 4%. Αν οι μετασχηματιστές αυτοί εργασθουν παράλληλα για να τροφοδοτήσουν φορτίο  $N' = 90 \text{ kVA}$ , πόση ισχύ θα δώσει ο καθένας;

### **Λύση.**

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο καθένας μετασχηματιστής δίνει μέρος της ισχύος ανάλογο με την ονομαστική του ισχύ. Αν ονομάσουμε τα μέρη αυτά  $N'_1$  και  $N'_{II}$  αντίστοιχα θα έχουμε:

$$\frac{N'_I}{N_{II}} = \frac{N'_{II}}{N_{II}} \quad \text{και} \quad N'_I + N'_{II} = N'$$

ή  $\frac{N'_I}{40} = \frac{N'_{II}}{80} \quad \text{και} \quad N'_I + N'_{II} = 90 \text{ kVA}$

ή  $N'_{II} = 2 N'_I \quad \text{και} \quad N'_I + 2 N'_I = 90 \text{ kVA}$

ή  $N'_I = \frac{90}{3} = 30 \text{ kVA} \quad \text{και} \quad N'_{II} = 2 \times 30 = 60 \text{ kVA}$

### 13. ΙΣΧΥΣ – ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

#### **Ισχύς.**

Η πραγματική ισχύς που δίνει ένας μετασχηματιστής στο δευτερεύον του, όταν τροφοδοτεί κατανάλωση με τάση  $U_2$ , ένταση  $I_2$  και  $\cos\phi_2$ , δίνεται από τις σχέσεις:  
Για μονοφασικό μετασχηματιστή:

$$N_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\phi_2$$

Για τριφασικό μετασχηματιστή:

$$N_2 = 1,73 \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\phi_2$$

Αντίστοιχα, η πραγματική ισχύς που ο μετασχηματιστής απορροφά από το δίκτυο είναι:

Για μονοφασικό μετασχηματιστή:

$$N_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi_1$$

Για τριφασικό μετασχηματιστή:

$$N_1 = 1,73 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi_1$$

όπου  $U_1$  και  $I_1$  είναι η τάση και η ένταση στο πρωτεύον του μετασχηματιστή και  $\cos\phi_1$  ο αντίστοιχος συντελεστής ισχύος. Για τον υπολογισμό της φαινόμενης και άεργης ισχύος καθώς και του  $\cos\phi$ , τόσο στο πρωτεύον όσο και στο δευτερεύον των μετασχηματιστών, ισχύουν οι ίδιες ακριβώς σχέσεις που δίνονται για τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος.

#### **Απώλειες.**

Οι απώλειες στους μετασχηματιστές είναι δυο ειδών:

α) **Ηλεκτρικές απώλειες ή απώλειες χαλκού** ( $N_{\eta}$ ), είναι αυτές που οφείλονται στο φαινόμενο Τζουλ, το οποίο δημιουργείται από το ρεύμα που κυκλοφορεί στα τυλίγματα (πρωτεύον και δευτερεύον). Οι απώλειες αυτές προσδιορίζονται με το πείραμα βραχυκυκλώσεως, που περιγράψαμε ..... Όταν η ένταση στο βραχυκυκλωμένο δευτερεύον γίνει ίση με την ονομαστική ένταση, η ένδειξη του βατομέτρου στο πρωτεύον δίνει τις ηλεκτρικές απώλειες για το ονομαστικό φορτίο του μετασχηματιστή. Στο πείραμα βραχυκυκλώσεως, επειδή έχει μικρή τιμή η τάση βραχυκυκλώσεως (συνήθως μέχρι 6 ή 7% της ονομαστικής τάσεως πρωτεύοντος), οι μαγνητικές απώλειες που θα δούμε παρακάτω είναι αμελητέες.

β) **Μαγνητικές απώλειες ή απώλειες σιδήρου** ( $N_{\mu}$ ), είναι αυτές που οφείλονται

στην υστέρηση και στα δινορρέυματα του σιδερένιου πυρήνα του μετασχηματιστή. Οι απώλειες αυτές προσδιορίζονται με ένα πείραμα λειτουργίας του μετασχηματιστή χωρίς φορτίο στο δευτερεύον. Στο πρωτεύον, που τροφοδοτείται με την ονομαστική τάση, τοποθετούνται τα όργανα. Η ένδειξη του βατομέτρου δίνει τώρα τις μαγνητικές απώλειες του μετασχηματιστή, γιατί οι ηλεκτρικές απώλειες ( $I_0^2 \cdot R_1$ ) είναι τώρα αμελητέες.

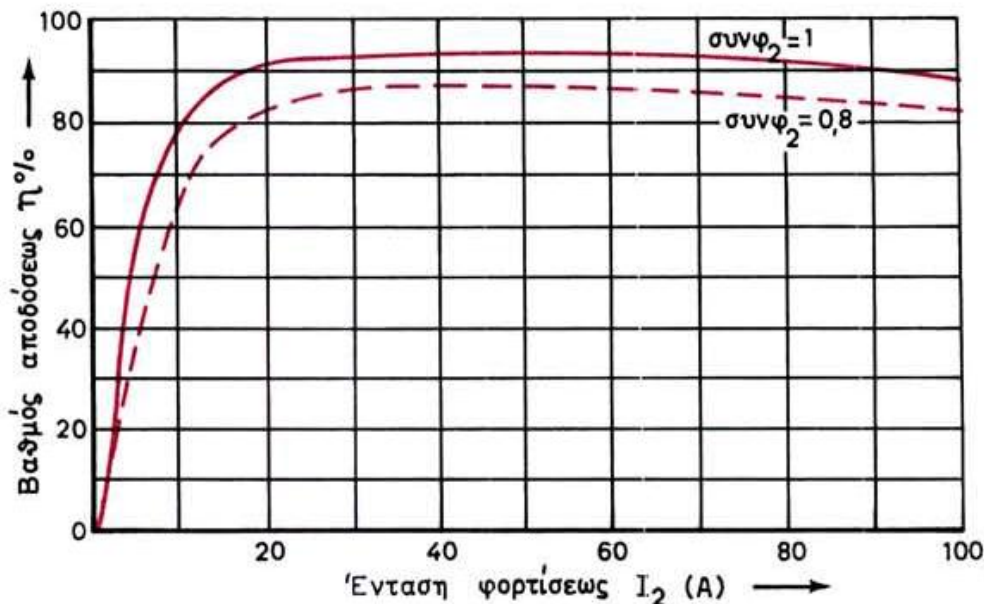
### **Βαθμός αποδόσεως.**

**Βαθμός αποδόσεως ενός μετασχηματιστή είναι ο λόγος της πραγματικής ισχύος που δίνει το δευτερεύον προς την πραγματική ισχύ που απορροφά το πρωτεύον, όταν αυτό τροφοδοτείται με την ονομαστική του τάση.**

$$\eta = \frac{N_2}{N_1} = \frac{N_2}{N_2 + N_\eta + N_\mu}$$

Για να προσδιορίσουμε τις ακριβείς συνθήκες κάτω από τις οποίες ισχύει ορισμένος βαθμός αποδόσεως ενός μετασχηματιστή, πρέπει να γνωρίζουμε την ένταση φορτίσεως του δευτερεύοντος καθώς και το συντελεστή ισχύος του φορτίου, γιατί όταν μεταβάλλεται είτε η ένταση φορτίσεως, είτε ο συντελεστής ισχύος, είτε και τα δύο μαζί, μεταβάλλεται και ο βαθμός αποδόσεως του μετασχηματιστή.

Το σχήμα(3.7.17) δίνει τη μεταβολή του βαθμού αποδόσεως ενός μετασχηματιστή, όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεως του δευτερεύοντος με σταθερό συντελεστή ισχύος του φορτίου  $\cos\phi_2 = 1$ . Όταν ο συντελεστής ισχύος του φορτίου είναι μικρότερος π.χ.  $\cos\phi_2 = 0,8$  έχουμε άλλη καμπύλη (διακοπτόμενη στο σχήμα), η οποία δίνει μικρότερες τιμές του βαθμού αποδόσεως. Σε κάθε περίπτωση ο μεγαλύτερος βαθμός αποδόσεως, δηλαδή το μέγιστο της καμπύλης, βρίσκεται συνήθως κοντά στο ονομαστικό φορτίο του μετασχηματιστή.



Σχήμα.: 3.7.17.: Καμπύλη βαθμού αποδόσεως του μετασχηματιστή

Τις καμπύλες του σχήματος (3.7.17) μπορούμε να τις προσδιορίσουμε πειραματικά με μέτρηση (με βατόμετρα) των ισχύων  $N_1$  και  $N_2$  για διάφορες εντάσεις φορτίσεως του δευτερεύοντος, με σταθερό συντελεστή ισχύος του καταναλωτή.

Άλλος τρόπος είναι, αν γνωρίζουμε τις απώλειες  $N_\eta$  και  $N_\mu$  ή αν τις έχουμε μετρήσει, όπως αναφέραμε παραπάνω, να υπολογίσουμε το βαθμό αποδόσεως από τη σχέση:

$$\eta = \frac{N_2}{N_2 + N_\eta + N_\mu}$$

#### 14. ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στα εμπορικά πλοία γίνεται μέσω τριφασικών γεννητριών με τάσεις 380/220 V, 50 Hz (ευρωπαϊκού τύπου) ή 440,450/110, 127 V, 60 Hz (αμερικανικού τύπου). Υπάρχουν συσκευές όμως, οι οποίες λειτουργούν σε διαφορετική τάση από αυτή που παράγεται από τις γεννήτριες πλοίων. Όταν είναι ανάγκη να τροφοδοτηθούν με τάση μικρότερη από την τάση εξόδου των γεννητριών χρησιμοποιούνται Μ/Σ υποβιβαστές τάσεως. Όταν τα ηλεκτρικά δίκτυα πλοίων περιλαμβάνουν μονοφασικά φορτία, η τροφοδοσία τους επιτυγχάνεται μέσω των Μ/Σ. Αυτά συνδέονται μεταξύ των δύο φάσεων του δευτερεύοντος των Μ/Σ. Αν επιλεγεί η κατάλληλη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων ενός Μ/Σ (όπως αναφερθήκαμε στις συνδεσμολογίες των τριφασικών Μ/Σ), τότε ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα που δημιουργούν οι μονοφασικές συσκευές στο δίκτυο, όπως η ασυμμετρία φορτίσεως μεταξύ των τριών φάσεων.

Οι τριφασικοί Μ/Σ υποβιβασμού τάσεως χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία του συστήματος φωτισμού, το οποίο αποτελεί μία μονοφασική διάταξη χαμηλότερης τάσεως από εκείνη της παραγωγής.

Οι τριφασικοί Μ/Σ 440/220 V οι οποίοι προορίζονται για το σύστημα φωτισμού, συνήθως αποτελούνται από τρεις μονοφασικούς, ξεχωριστούς Μ/Σ, οι οποίοι συνδέονται για να σχηματίσουν μία διάταξη 3-φάσεων. Αυτό επιτρέπει την εύκολη αντικατάσταση ενός μονοφασικού Μ/Σ αν εμφανιστεί κάποιο σφάλμα. Μία εναλλακτική λύση είναι να χρησιμοποιηθεί ένας 3-φασικός Μ/Σ με τα τυλιγμάτά του τοποθετημένα σε έναν κοινό μαγνητικό πυρήνα. Αυτός ο τύπος Μ/Σ πρέπει να απομονωθεί εντελώς στην περίπτωση ενός σφάλματος σε μία μόνο φάση.

Όταν ένα πλοίο έχει **δίκτυα υψηλής τάσεως**, τότε οι γεννήτριες πλοίων παράγουν τάσεις επιπέδου 3,3 kV, 6,6 kV ή και 11 kV.

Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητη η παρουσία των τριφασικών Μ/Σ για την τροφοδότηση φορτίων, τα οποία λειτουργούν με χαμηλότερη τάση από εκείνη της παραγωγής. Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πλοίων, οι οποίες διαθέτουν δίκτυα υψηλής τάσεως η παρουσία των Μ/Σ είναι ευεργετική, γιατί λόγω της σύνθετης αντιστάσεώς τους περιορίζεται η τιμή των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως σε όλη την εγκατάσταση. Συνήθως στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πλοίων,

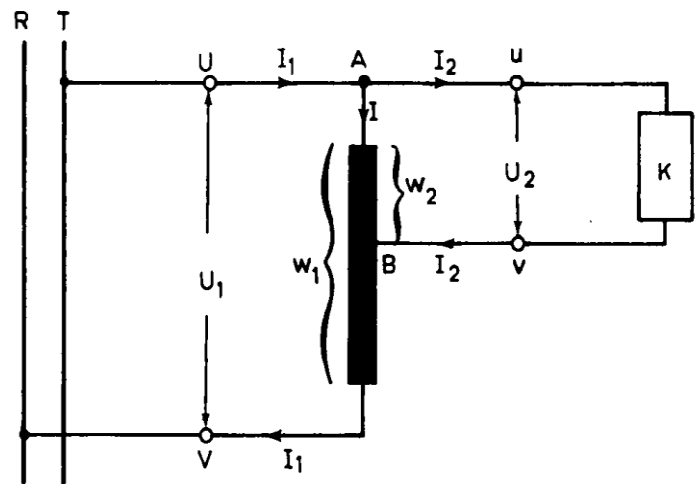
όπου χρησιμοποιούνται τριφασικοί Μ/Σ, η συνδεσμολογία των τυλιγμάτων τους είναι: D/Y ή D/D. Σημειώνουμε ότι για διαφορετικούς λόγους, όπως περιορισμοί βάρους και όγκου ή και για κρίσιμα φορτία, τα οποία απαιτούν τροφοδότηση απευθείας από τις γεννήτριες πλοίων, δεν συνηθίζεται η παράλληλη λειτουργία των Μ/Σ.

Οι νηογνώμονες δίνουν οδηγίες, με βάση τις οποίες οι Μ/Σ πρέπει να καλύπτουν συγκεκριμένες διατάξεις. Αυτές αναφέρονται στον χώρο όπου θα εγκατασταθούν, στον επαρκή εξαερισμό τους, στην αποφυγή βραχυκυκλωμάτων τους και στην απαίτηση της διπλής τους παρουσίας για λόγους ασφαλείας. Στη συγκεκριμένη διάταξη πρέπει να αποφευχθεί η παράλληλη λειτουργία τους.

Οι Μ/Σ οι οποίοι χρησιμοποιούνται στους χώρους ενδιαίτησεως πρέπει να είναι ξηρού τύπου με φυσική ψύξη. Οι Μ/Σ, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση μεγάλης ισχύος κινητήρων θα πρέπει να είναι διπλού τυλίγματος, με δύο ξεχωριστά τυλίγματα στο δευτερεύον.

### 15. ΑΥΤΟΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Αυτομετασχηματιστής (μονοφασικός) είναι ο μετασχηματιστής, ο οποίος έχει ένα μόνο τυλίγμα, του οποίου τα άκρα αποτελούν τους ακροδέκτες U και V της υψηλής τάσεως. Οι ακροδέκτες u και v της χαμηλής τάσεως είναι συνδεδεμένοι με το ένα άκρο A του τυλίγματος και με μία ενδιάμεση λήψη B αυτού, όπως φαίνεται στο σχήμα ( 3.7.18) . Άρα το τμήμα AB του τυλίγματος ανήκει και στο πρωτεύον και στο δευτερεύον του μετασχηματιστή



Σχήμα.: 3.7.18.α.:Συνδεσμολογία μονοφασικού αυτομετασχηματιστή

Όσα έχουμε αναφέρει για τις σχέσεις τάσεων και εντάσεων για το μονοφασικό μετασχηματιστή με δυο ξεχωριστά τυλίγματα, ισχύουν και για το μονοφασικό αυτομετασχηματιστή. Ισχύουν δηλαδή και εδώ κατά προσέγγιση οι σχέσεις:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad \eta \quad U_2 = \frac{U_1}{K}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad \eta \quad I_2 = K I_1$$

όπου:  $U_1$ ,  $I_1$  και  $w_1$  είναι τα γνωστά μεγέθη του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή και  $U_2$ ,  $I_2$ ,  $w_2$ , τα αντίστοιχα του δευτερεύοντος.

Το κοινό τμήμα AB του τυλίγματος διαρρέεται από ένταση  $I$ , που είναι ίση με τη διαφορά των δύο εντάσεων  $I_1$  και  $I_2$ :

$$I = I_1 - I_2$$

Παράδειγμα

Ένας αυτομετασχηματιστής τροφοδοτείται με τάση  $U_1 = 120V$ . Ο αριθμός σπειρών του πρωτεύοντος είναι  $w_1 = 100$ . Το όλο τυλίγμα έχει  $w_2 = 200$  σπείρες. Αν στο δευτερεύον του μετασχηματιστή είναι συνδεδεμένος ένας καταναλωτής που έχει

ωμική αντίσταση  $20\Omega$ , να υπολογισθούν η ένταση που απορροφά ο αυτομετασχηματιστής από το δίκτυο και η ένταση στο κοινό μέρος του τυλίγματος του

### Λύση

Στον αυτομετασχηματιστή αυτό το δευτερεύον είναι το τύλιγμα Υ.Τ. (σχήμα 3.7.18.β). Οι σχέσεις ισχύουν όπως δόθηκαν. Συνεπώς έχουμε:

$$K = \frac{w_1}{w_2} = \frac{100}{200} = \frac{1}{2}$$

Άρα: 
$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{120}{1/2} = 240 \text{ V}$$

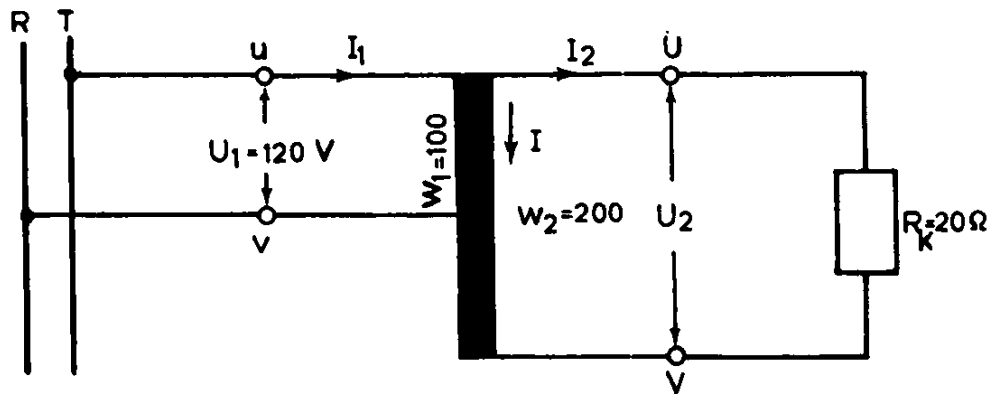
Αφού η ωμική αντίσταση του καταναλωτή είναι  $R_K = 20 \Omega$  θα έχουμε:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_K} = \frac{240}{20} = 12 \text{ A}$$

Συνεπώς η ένταση που απορροφά ο αυτομετασχηματιστής από το δίκτυο τροφοδότησεως, είναι:

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{12}{1/2} = 24 \text{ A}$$

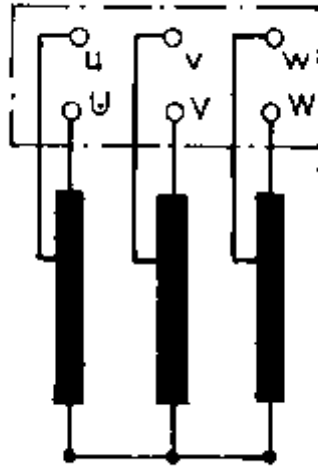
και 
$$I = I_1 - I_2 = 24 - 12 = 12 \text{ A}$$



Σχήμα.:3.7.18.β.

Αποτέλεσμα της μειωμένη εντάσεως στο κοινό τμήμα του τυλίγματος των αυτομετασχηματιστών είναι ότι αυτό κατασκευάζεται με αγωγό μικρότερης διατομής. Συνεπώς οι αυτομετασχηματιστές απαιτούν μικρότερο βάρος αγωγών χαλκού από τους μετασχηματιστές με δύο τυλίγματα. Άλλο πλεονέκτημα των αυτομετασχηματιστών είναι ότι έχουν μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες, δηλαδή έχουν καλύτερο βαθμό αποδόσεως. Έχουν όμως και ένα σοβαρό μειονέκτημα. Επειδή υπάρχει το κοινό τμήμα του τυλίγματος, **η πλευρά της χαμηλής τάσεως δεν είναι ηλεκτρικά μονωμένη από την πλευρά της υψηλής τάσεως**. Αυτό δημιουργεί κινδύνους κατά τη χρήση τους. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε ειδικές μόνο περιπτώσεις και κατασκευάζονται για σχέσεις μεταφοράς πού πλησιάζουν τη μονάδα (π.χ. 1/2).

Το σχήμα (3.7.18.γ) δείχνει την συνδεσμολογία τριφασικού αυτομετασχηματιστή, ο οποίος σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στους μονοφασικούς αυτομετασχηματιστές, έχει σε κάθε ένα από τους τρεις κορμούς του πυρήνα από ένα μόνο τύλιγμα



Σχήμα.: 3.7.18.γ.: Τριφασικός αυτομετασχηματιστής.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1.  
Πού (και πώς) χρησιμοποιούνται οι Μ/Σ στην παραγωγή ηλ. ενέργειας;
2.  
Από τι αποτελείται βασικά κάθε Μ/Σ; Τι λέμε πρωτεύον και τι δευτερεύον;
3.  
Πώς λειτουργεί με λίγα λόγια ένας (1~) Μ/Σ;
4.  
Πότε λέμε ότι ένας Μ/Σ λειτουργεί χωρίς φορτίο και πότε με φορτίο;



5.

Ποια η σχέση μεταξύ των τάσεων, των εντάσεων και των σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ενός Μ/Σ και πώς προκύπτει αυτή;

6.

Τι ονομάζουμε τάση βραχυκύκλωσης και σε τι μας χρησιμεύει;

7.

Μ/Σ με 300 σπείρες στο πρωτεύον και 60 στο δευτερεύον, όταν τροφοδοτείται από δίκτυο 220V, δίνει στο δευτερεύον του:

- α. τάση 44V.
- β. τάση 22V.
- γ. ένταση 20A.
- δ. ένταση 4A.

8.

Στους μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούμε Μ/Σ ανύψωσης της τάσης, π.χ. από 22kV σε 220kV, με σκοπό να μειώσουμε το ρεύμα δευτερεύοντος (στη γραμμή μεταφοράς) κατά:

- α. 2 φορές.
- β. 5 φορές.
- γ. 10 φορές.
- δ. 20 φορές.

9.

Ο λόγος (πηλίκο) των σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος ενός Μ/Σ λέγεται:

- α. τάση βραχυκύκλωσης.
- β. ρεύμα βραχυκύκλωσης.
- γ. σχέση μεταφοράς.
- δ. σχέση μεταξύ  $U$  και  $I$ .

10.

Σε 3~ Μ/Σ **Dy** σημειώνεται η ένδειξη 15kV/380-220V.

Τι σημαίνει αυτό;

11

Το τύλιγμα Υ.Τ. των Μ/Σ τοποθετείται πάνω από το τύλιγμα Χ.Τ. και αποτελείται από αγωγούς με:

- α. λίγες σπείρες μεγάλης σχετικά διατομής.
- β. πολλές σπείρες μικρής σχετικά διατομής.
- γ. λίγες σπείρες μικρής διατομής.
- δ. πολλές σπείρες μεγάλης διατομής.

12.

Ο 3~ Μ/Σ υποβιβασμού, στον οποίο οι 3 φάσεις της Χ.Τ. συνδέονται σε τρίγωνο και οι αντίστοιχες της Υ.Τ. σε αστέρα, λέμε ότι έχει ζεύξη:

**α. Υd.**

**γ. Υz.**

**β. Dy.**

**δ. Dz.**

13.

Στο πείραμα βραχυκύκλωσης ενός Μ/Σ 220/9.900V “φωτεινών επιγραφών”, για να έχουμε τα κανονικά ρεύματα φόρτισης 2,25A/50mA χρειάστηκε να τροφοδοτήσουμε το πρωτεύον του τύλιγμα με τάση 11V.

Ποια είναι **α.** η σχέση μεταφοράς του Μ/Σ και  
**β.** η τάση βραχυκύκλωσης;

14.

Το πρωτεύον τύλιγμα ενός Μ/Σ έχει 300 σπείρες και το δευτερεύον 1.500 σπείρες. Αν η τάση του πρωτεύοντος είναι 12V και διαρρέεται από ρεύμα εντάσεως 2A, πόση είναι η τάση και η ένταση του ρεύματος στο δευτερεύον;

Ποιο πηνίο έχει σύρμα με αγωγό μεγαλύτερης διατομής;

15.

Η ένταση του ρεύματος στο πρωτεύον ενός 1~ Μ/Σ είναι 2A και η τάση του  $U_1=220V$ . Πόση είναι η ένταση στο δευτερεύον, αν αυτό δίνει τάση  $U_2=44V$ ;

16..

Ένας 1~ Μ/Σ έχει στο πρωτεύον τύλιγμα  $W_1=5.000$  σπείρες και στο δευτερεύον  $W_2=500$  σπείρες. Αν τροφοδοτηθεί με τάση  $U_1=200V$ , τι τάση θα μας δώσει στο δευτερεύον του (στη λειτουργία χωρίς φορτίο); Τι είδους είναι ο Μ/Σ;

17. Ένας μετασχηματιστής έχει 500 σπείρες στο πρωτεύον και 3000 σπείρες στο δευτερεύον. Εάν η τάση πρωτεύοντος είναι 240 V, προσδιορίστε την τάση του δευτερεύοντος, αποδεχόμενοι ότι έχετε έναν ιδανικό μετασχηματιστή.

18. Ένας ιδανικός μετασχηματιστής έχει λόγο μετασχηματισμού 2:7 και τροφοδοτείται από τάση 240V. Προσδιορίστε την τάση εξόδου του μετασχηματιστή

19. Ένας ιδανικός μετασχηματιστής έχει λόγο μετασχηματισμού 8:1 και το ρεύμα στο πρωτεύον είναι 3 A εάν τροφοδοτηθεί με τάση 240 V. Υπολογίστε την τάση και το ρεύμα στο δευτερεύον

20. Ένας ιδανικός μετασχηματιστής συνδέεται σε δίκτυο 240V και τροφοδοτεί μία λάμπα 12 V, 150W. Υπολογίστε τον λόγο μετασχηματισμού και το ρεύμα που τραβάει από το δίκτυο

21. Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής έχει λόγο μετασχηματισμού 10:1 και τροφοδοτείται από δίκτυο τάσης 2,5 KV. Αμελώντας τις απώλειες προσδιορίστε:

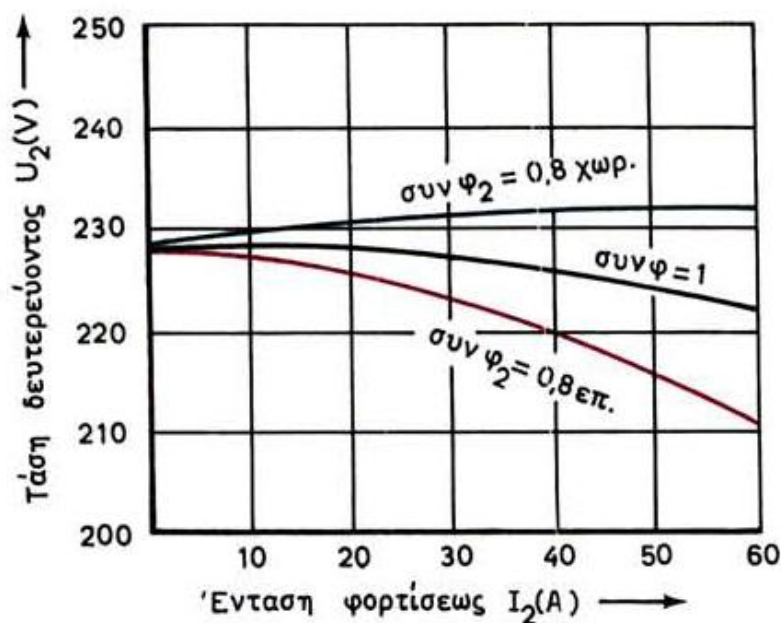
**α.** Το ρεύμα στο δευτερεύον για όλη την ισχύ του μετασχηματιστή

**β.** Την μικρότερη αντίσταση φορτίου που μπορούμε να συνδέσουμε στο δευτερεύον για να πάρουμε όλη την ισχύ

**γ.** Το ρεύμα στο πρωτεύον για όλη την ισχύ του μετασχηματιστή.

22. Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής δίνει ένταση δευτερεύοντος  $I_2=4A$  με τάση  $U_2= 40V$ , όταν η τάση του δικτύου είναι  $440V$ . Ποια σύνθετη αντίσταση παρουσιάζει ο μετασχηματιστής αυτός στο δίκτυο τροφοδοτήσεως εάν θεωρηθούν αμελητέες οι απώλειες του.

23. Να υπολογισθεί η διακύμανση τάσεως του μετασχηματιστή, ο οποίος έχει χαρακτηριστικές φορτίου τις καμπύλες που φαίνονται κατωτέρω εάν το κανονικό του φορτίο είναι  $I_{2N} = 40A$ .



24. Ένας 100KVA, 400V / 200V, 50Hz μονοφασικός μετασχηματιστής έχει 100 σπείρες στο δευτερεύον του. Προσδιορίστε:

- Το ρεύμα στο πρωτεύον και στο δευτερεύον
- Τις σπείρες στο πρωτεύον τύλιγμα
- Την μέγιστη τιμή της μαγνητικής ροής.

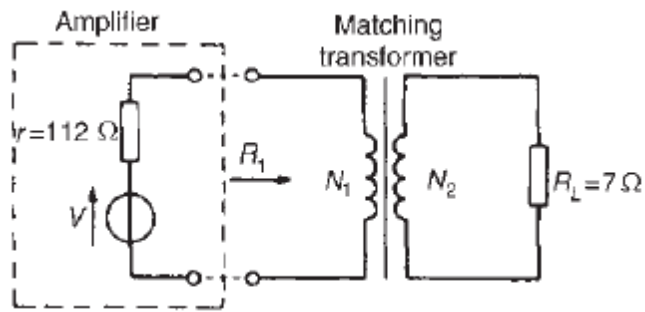
25. Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής 50 Hz έχει 25 σπείρες στο πρωτεύον και 300 σπείρες στο δευτερεύον. Η επιφάνεια εγκάρσιας τομής είναι  $300\text{cm}^2$ . Εάν το πρωτεύον τύλιγμα συνδέεται σε τάση 250V, προσδιορίστε:

- Την μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής στον πυρήνα
- την τάση εξ επαγωγής στο δευτερεύον τύλιγμα.

26. Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής 500V/100V, 50Hz έχει μέγιστη μαγνητική επαγωγή  $1.5 \text{ T}$  και η επιφάνεια εγκάρσιας τομής είναι  $50\text{cm}^2$ . Προσδιορίστε τον αριθμό των σπειρών στο πρωτεύον και στο δευτερεύον.

27. Ένας μετασχηματιστής έχει λόγο μετασχηματισμού 4:1 και τροφοδοτεί ένα φορτίο  $100 \Omega$ . Προσδιορίστε την ισοδύναμη αντίσταση του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή

28. Η αντίσταση εξόδου του ενισχυτή του σχήματος είναι  $112\Omega$ . Προσδιορίστε τον λόγο μετασχηματισμού εάν η αντίσταση φορτίου είναι  $7\Omega$



29. Δύο μετασχηματιστές με ονομαστική ισχύ 80 KVA και 160 KVA έχουν την ίδια τάση βραχυκυκλώσεως 4%. Αν οι μετασχηματιστές αυτοί εργασθούν παράλληλα για να τροφοδοτήσουν φορτίο 180 KVA, πόση ισχύ θα δώσει ο καθένας.

30. Ένας τριφασικός μετασχηματιστής κατασκευάσθηκε για να τροφοδοτείται από δίκτυο τάσεως 440V. Στο πλήρες φορτίο το πρωτεύον τύλιγμα, που είναι συνδεδεμένος σε αστέρα, απορροφά από το δίκτυο ένταση 20A. Για ποια τάση και ποια ένταση κατασκευάσθηκε κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος.

31. Ένας τριφασικός μετασχηματιστής κατασκευάσθηκε για να τροφοδοτείται από δίκτυο τάσεως 440V. Στο πλήρες φορτίο το πρωτεύον τύλιγμα, που είναι συνδεδεμένος σε τρίγωνο, απορροφά από το δίκτυο ένταση 20A. Για ποια τάση και ποια ένταση κατασκευάσθηκε κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος.

32. Στο πρωτεύον τύλιγμα ενός Μ/Σ εφαρμόζεται τάση 90KV, οπότε το δευτερεύον του δίνει τάση 1000V. Σε κάποια στιγμή στο δευτερεύον μετράμε τάση 980V. Στο πρωτεύον εφαρμόσθηκε τάση:

- α. 8,82 KV
- β. 88200 V
- γ. 1,088 V
- δ. 1,088 KV