

## Τριφασικοί Μετασχηματιστές

Από την στιγμή που το τριφασικό ρεύμα χρησιμοποιείται τόσο συχνά στα συστήματα διανομής Ηλεκτρικής Ισχύος, προκύπτει εύλογα η ανάγκη για τριφασικούς μετασχηματιστές. Έτσι θα έχουμε την δυνατότητα ανύψωσης και υποβιβασμού τάσης όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο . Αυτό όμως , ισχύει εν μέρει , καθώς οι μονοφασικοί μετασχηματιστές μπορούν να συνδεθούν από κοινού για να μετατρέψουν τριφασική τάση μιας τιμής σε τριφασική τάση άλλης τιμής.

Οι 3~ Μ/Σ κατασκευάζονται κυρίως σαν Μ/Σ τύπου πυρήνα και αποτελούνται, όπως και οι 1~ Μ/Σ από τον πυρήνα και τα τυλίγματα. Ο πυρήνας των 3~ Μ/Σ έχει την ίδια κατασκευή και το ίδιο δέσιμο, μ' αυτόν των 1~ Μ/Σ, με την διαφορά ότι τα ελάσματα σχήματος Ε αποτελούνται τώρα από 3 όμοιους κορμούς .



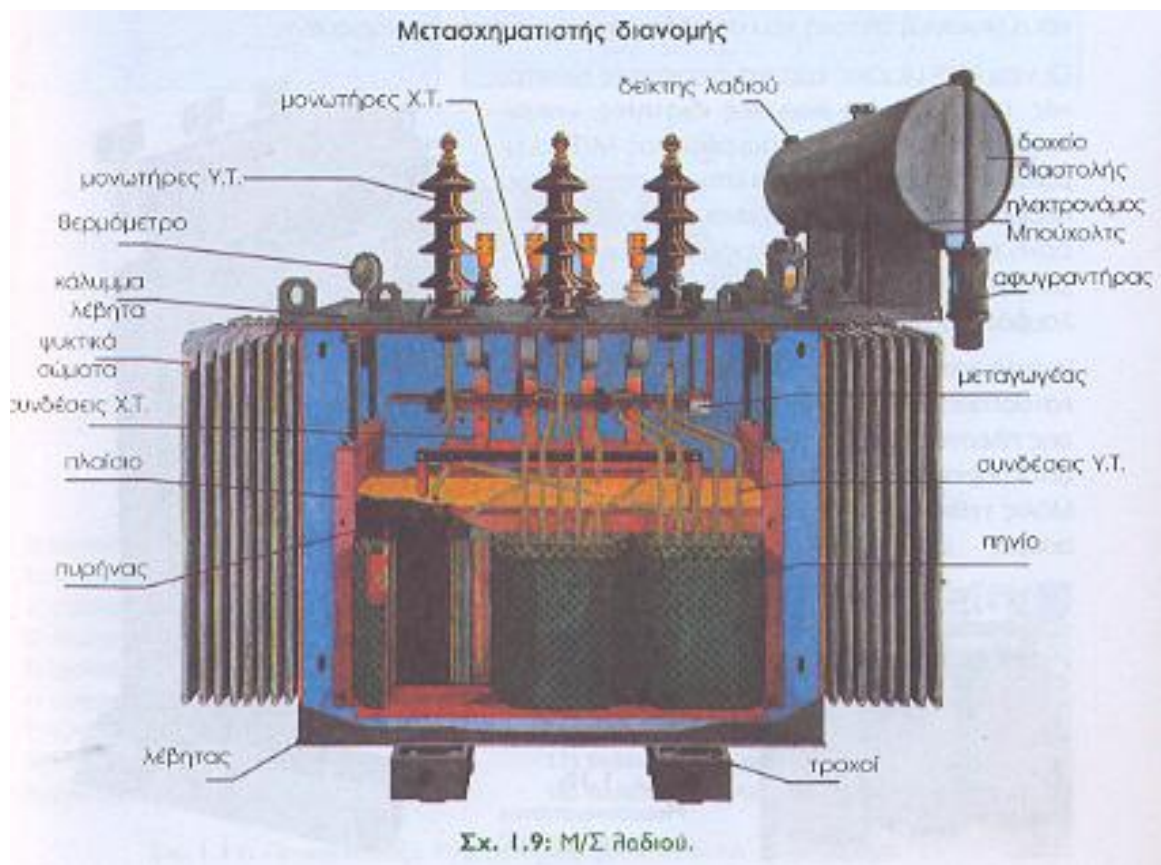
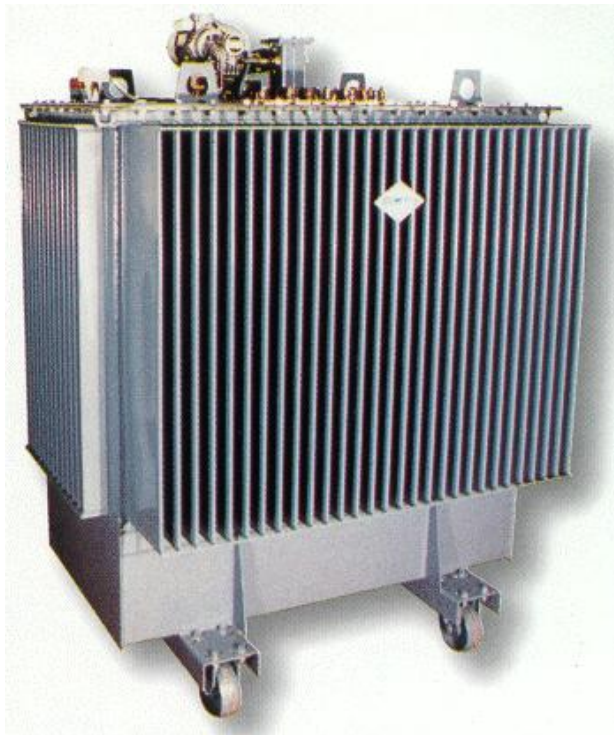
Οι τριφασικοί μετασχηματιστές που συνδέονται γύρω από κοινό σιδηροπυρήνα είναι ελαφρύτεροι, μικρότεροι και φτηνότεροι από τρεις μονοφασικούς που αποτελούν έναν τριφασικό.



- Ένας τριφασικός μετασχηματιστής αποτελείται από τρία σετ πρωτεύοντα και δευτερεύοντα τυλίγματα . Κάθε ένα από αυτά τα σετ των τυλιγμάτων τοποθετείται γύρω από ένα κορμό επί συνόλου τριών που έχει ο τριφασικός μετασχηματιστής. Τα τυλίγματα των Μ/Σ μετά την τοποθέτησή τους στους πυρήνες, βερνικώνονται και στην συνέχεια ξηραίνονται σε ειδικούς φούρνους (στους 100 έως 120 °C), ώστε να απομακρύνεται και η ελάχιστη υγρασία που μπορεί να έχουν τα μονωτικά.

## Δεξαμενές

Οι δεξαμενές των Μετασχηματιστών ποικίλλουν σε μέγεθος και σχήμα ,ανάλογα με τον κατασκευαστή του και την ηλικία του μετασχηματιστή. Οι παλαιότεροι μετασχηματιστές κατασκευάζονται από βαριά μέταλλα και είχαν μεγάλο όγκο, ενώ οι νεώτερης τεχνολογίας, κατασκευάζονται από χαλύβδινα ελάσματα. Η δεξαμενή περιέχει τον πυρήνα, τα τυλίγματα, τους αγωγούς σύνδεσης μεταξύ των τυλιγμάτων ,συγκρατεί τους ακροδέκτες, και διατηρεί το λάδι που μονώνει και ψύχει τον μετασχηματιστή. Οι δεξαμενές έχουν εξαρτήματα πίσω, έτσι ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν δοκοί ή χειρολαβές για την ανέγερση των μετασχηματιστών. Η πινακίδα με τα ονομαστικά στοιχεία του μετασχηματιστή και το διάγραμμα των συνδέσεων τοποθετείται έξω από την δεξαμενή . Ένα επικάλυμμα συγκρατείται με ασφάλεια στη θέση του με κοχλίες, για να αποτρέπει ξένα σωματίδια να εισχωρήσουν στο εσωτερικό του μετασχηματιστή αλλά και το νερό της βροχής από το να προκαλέσει σκουριά και διάβρωση . Ένας αγωγός γείωσης , συχνά τοποθετείται στο κάτω μέρος της δεξαμενής , έτσι ώστε να παρέχεται ασφάλεια κατά την εγκατάστασή του.



## Τριφασικές συνδέσεις

Τα σετ τυλιγμάτων (πρωτεύοντα – δευτερεύοντα) μπορούν να συνδεθούν είτε σε τρίγωνο (  $\Delta$  ) είτε σε αστέρα (  $Y$  ) για να επιτελέσουν μια ολοκληρωμένη μονάδα τριφασικού μετασχηματιστή. Οι διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης των τυλιγμάτων καθώς και οι σχέσεις μεταξύ των τάσεων και ρευμάτων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος αναλύονται παρακάτω.

- **πρωτεύον- δευτερεύον**

- $Y$  -  $Y$
- $Y$  -  $\Delta$
- $\Delta$  -  $Y$
- $\Delta$  -  $\Delta$

Οι λόγοι επιλογής ενός συνδυασμού  $Y$  ή  $\Delta$  για τα τυλίγματα του τριφασικού μετασχηματιστή είναι ίδιοι όπως και κάθε άλλη τριφασική εφαρμογή:

Η συνδεσμολογία αστέρα (  $Y$  ) παρέχει τη δυνατότητα διαφορετικών τάσεων, την στιγμή που η συνδεσμολογία τριγώνου (  $\Delta$  ) παρέχει ένα υψηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας ( μπορεί να αποδώσει την πολική τάση ακόμη και αν αποσυνδεθεί η μια από τις τρεις φάσεις) .

## Συνδέσεις

Για να ξεχωρίζουν οι ακροδέκτες μεταξύ τους χρησιμοποιούνται συμβολικά γράμματα ή και αριθμοί.

Στους τριφασικούς μετασχηματιστές, τα 3 τυλίγματα (φάσεις) της Υ.Τ. και τα αντίστοιχα της Χ.Τ. συνδέονται εσωτερικά μεταξύ τους είτε σε αστέρα είτε σε τρίγωνο.

Οι ακροδέκτες των τυλιγμάτων Υ.Τ. σημειώνονται με U-V-W ή A-B-C ή H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>-H<sub>3</sub> ενώ οι ακροδέκτες των τυλιγμάτων Χ.Τ. με u-v-w ή a-b-c ή x<sub>1</sub>-x<sub>2</sub>-x<sub>3</sub>

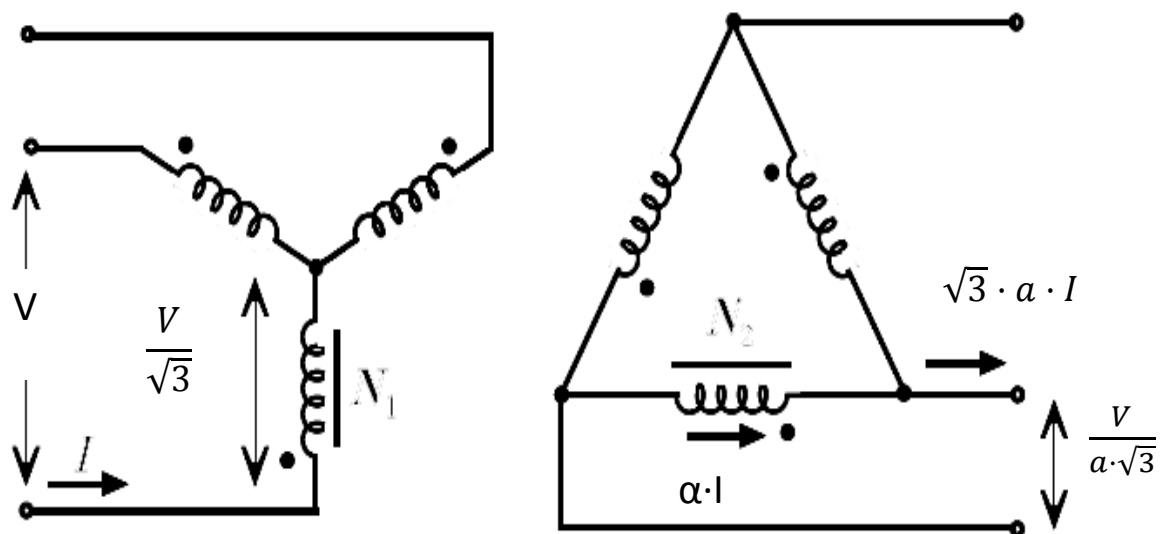
### 1) **Αστέρα – Τριγώνου** (Υ - Δ) (Wye-Delta):

Χρησιμοποιούνται συχνά σε μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης. Ο αστέρας συνδέεται στην υψηλή τάση και έτσι μειώνει το κόστος της μόνωσης ενώ το κοινό σημείο του αστέρα μπορεί να γειωθεί, με σεβασμό πάντα σε μη ισορροπημένα φορτία.

Για μετασχηματιστή με λόγο μετασχηματιστή ( $\alpha$ ) θα ισχύει:

$$\frac{U_p}{U_s} = \alpha \Rightarrow \quad \mathbf{U_s = \frac{U_p}{\alpha}} \quad \text{και}$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \alpha \Rightarrow \quad \mathbf{I_s = I_p \cdot \alpha}$$



2) **Τριγώνου – Αστέρα (Δ - Υ) (Delta-Wye):**

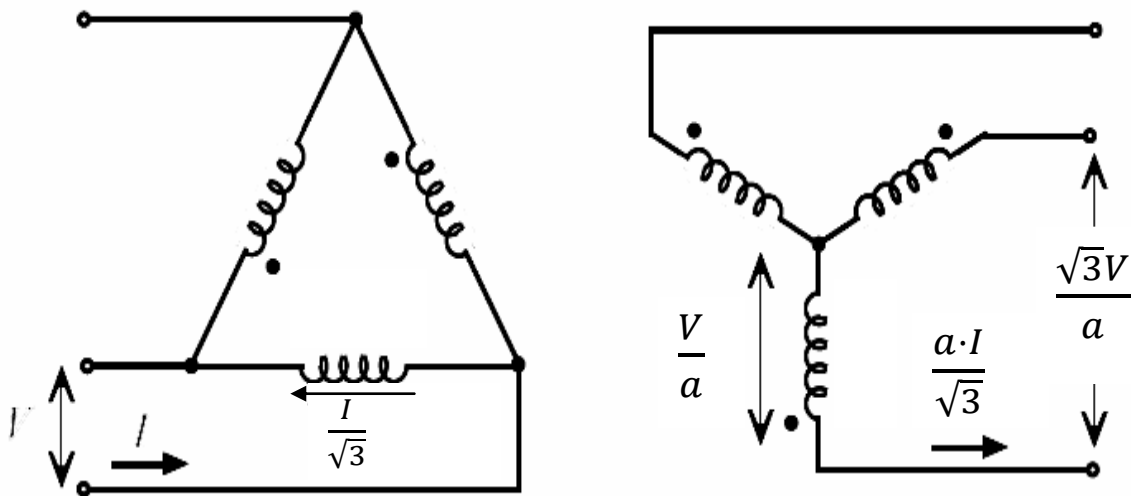
Χρησιμοποιούνται συχνά σε μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ομοίως έχουμε:

Για μετασχηματιστή με λόγο μετασχηματιστή ( $\alpha$ ) θα ισχύει:

$$\frac{U_p}{U_s} = \alpha \Rightarrow \quad \mathbf{U_s = \frac{U_p}{\alpha}} \quad \text{και}$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \alpha \Rightarrow \quad \mathbf{I_s = I_p \cdot \alpha}$$



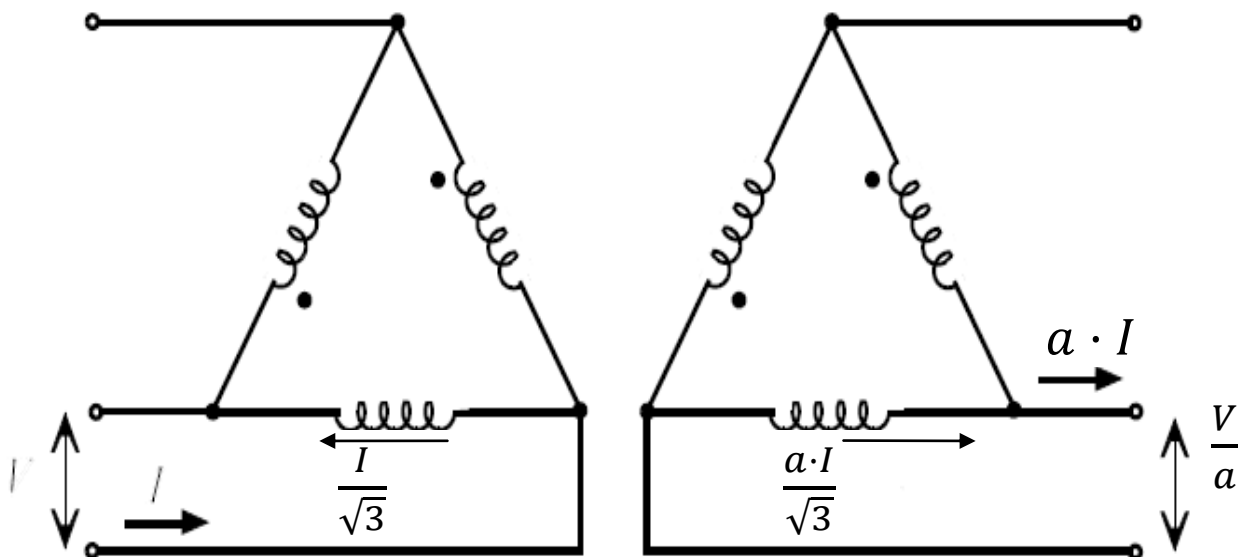
### 3) Τριγώνου – Τριγώνου ( Δ - Δ ) (Delta-Delta):

Προσφέρει το πλεονέκτημα ότι ένας από τις μετασχηματιστές μπορεί να αφαιρεθεί και οι υπόλοιποι δύο να αποδίδουν τριφασική τάση στο 58% της πραγματικής αρχικής ισχύος.

Για μετασχηματιστή με λόγο μετασχηματιστή ( $\alpha$ ) θα ισχύει:

$$\frac{U_p}{U_s} = \alpha \Rightarrow \quad \mathbf{U_s = \frac{U_p}{\alpha}} \quad \text{και}$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \alpha \Rightarrow \quad \mathbf{I_s = I_p \cdot \alpha}$$

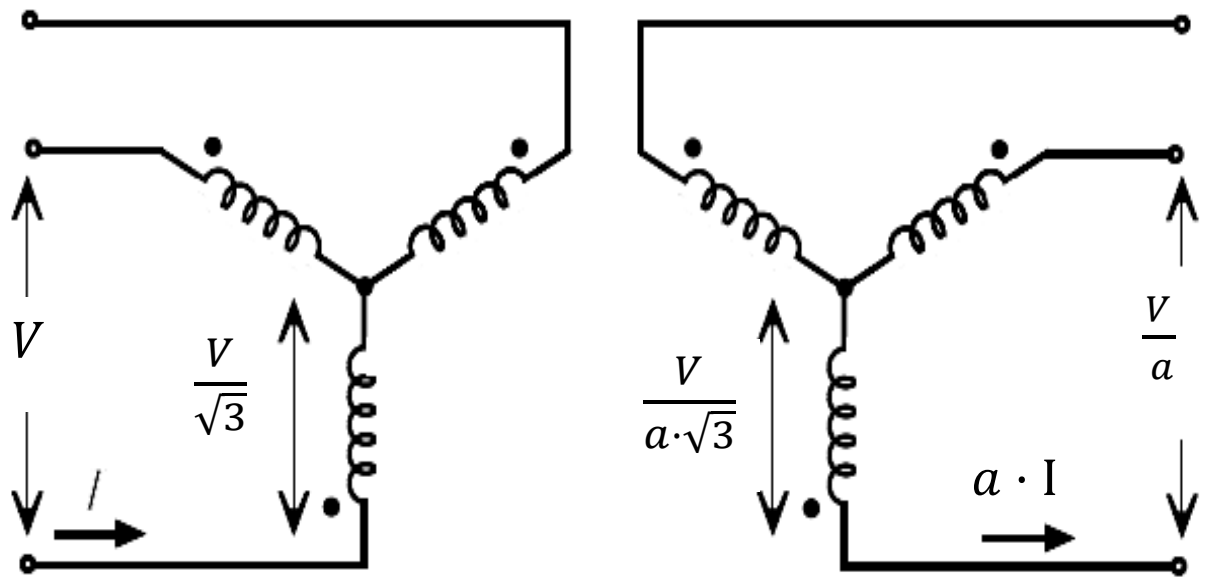




#### 4) Αστέρα – Αστέρα ( Y - Y) (Wye-Wye):

Σπάνια χρησιμοποιούνται , λόγω των προβλημάτων που παρουσιάζουν με τα ασύμμετρα φορτία.

Ομοίως ισχύει:



Με τα κεφαλαία γράμματα Y (αστέρας) ή D (τρίγωνο) συμβολίζεται η σύνδεση των τυλιγμάτων του πρωτεύοντος (Y.T. σε M/Σ υποβιβασμού).

Με τα μικρά γράμματα y (αστέρας) ή d (τρίγωνο) συμβολίζεται η σύνδεση των τυλιγμάτων του δευτερεύοντος (X.T. σε M/Σ υποβιβασμού)

Η φαινόμενη ισχύς για τριφασικό δίκτυο δίνεται από την σχέση:

$$\mathbf{S} = \sqrt{3} \cdot \mathbf{U}_L \cdot \mathbf{I}_L = \mathbf{3} \cdot \mathbf{U}_p \cdot \mathbf{I}_p \quad (\mathbf{V A})$$

Η πραγματική ισχύς δίνεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} \mathbf{P} &= \sqrt{3} \cdot \mathbf{U}_L \cdot \mathbf{I}_L \cdot \mathbf{cos} \varphi \\ &= \mathbf{3} \cdot \mathbf{U}_p \cdot \mathbf{I}_p \cdot \mathbf{cos} \varphi \quad (\mathbf{Watt}) \end{aligned}$$

Η άεργος ισχύς δίνεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q} &= \sqrt{3} \cdot \mathbf{U}_L \cdot \mathbf{I}_L \cdot \mathbf{sin} \varphi \\ &= \mathbf{3} \cdot \mathbf{U}_p \cdot \mathbf{I}_p \cdot \mathbf{sin} \varphi \quad (\mathbf{VAR}) \end{aligned}$$

## Παράδειγμα

Τρεις μονοφασικοί μετασχηματιστές 50 kVA, 2300/230 V 60 Hz συνδέονται για να λειτουργήσουν σαν ένας τριφασικός μετασχηματιστής 4000/230 V (πολικές τάσεις) που αποδίδουν 120 kVA, 230 V, σε τριφασικό φορτίο με συντελεστή ισχύος ( $\cos\phi$ ) 0.85 επαγωγικό. Η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση για κάθε μετασχηματιστή που αναφέρεται στην πλευρά υψηλής τάσης είναι  $(1.2 + j1.6)\Omega$ .

(α.) εξετάστε την συνδεσμολογία που απαιτείται και σχεδιάστε το κυκλωματικό ισοδύναμο ανά φάση.

(β.) υπολογίστε τα ρεύματα των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή.

(γ.) υπολογίστε την τάση του πρωτεύοντος, που απαιτείται για την παραγωγή της ονομαστικής τάσης στο δευτερεύον τύλιγμα .

### Λύση

(α.) μονοφασικοί μετασχηματιστές:

Ονομαστική τάση πρωτεύοντος  $U_p = 2300V$

Ονομαστική τάση δευτερεύοντος  $U_s = 230V$

Λόγος μετασχηματισμού  $\frac{U_p}{U_s} = a = 2300/230 = 10$

Τριφασικός μετασχηματιστής:

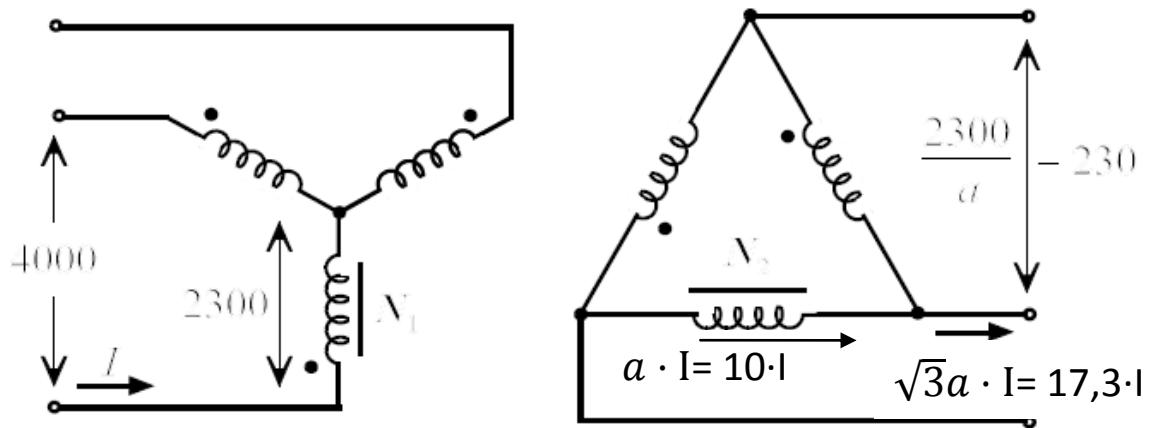
Ονομαστική πολική τάση πρωτεύοντος  $U_p = 4000 V = 2300 \times \sqrt{3}$

Ονομαστική πολική τάση δευτερεύοντος  $U_s = 230 V$

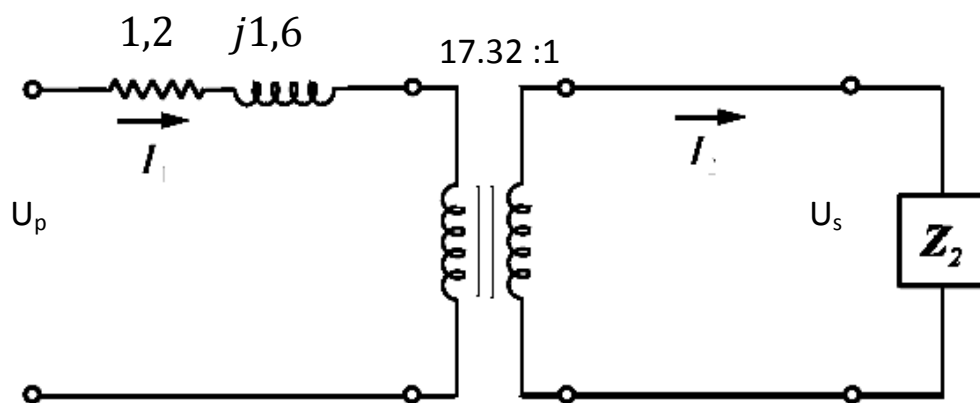
**Δεν μπορεί** να είναι σύνδεσης **αστέρα – αστέρα (Y-Y)** γιατί τότε

θα είχα  $\frac{U_p}{U_s} = a = 4000/230 = 17.39 \neq 10$ .

**Άρα η απαιτούμενη σύνδεση του τριφασικού μετασχηματιστή είναι Αστέρος – Τριγώνου (Wye-Delta).**



Το μονοφασικό ισοδύναμο ανά φάση λοιπόν είναι:



β) Το ρεύμα γραμμής που παραδίδεται στο τριφασικό φορτίο είναι:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \Rightarrow I_{s(\text{γραμμής})} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_s} = \frac{120000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 301.23 \text{ A}$$

Το ρεύμα του τυλίγματος του δευτερεύοντος είναι :

$$I_{s(\text{phase})} = \frac{I_{s(\text{γραμμής})}}{\sqrt{3}} = \frac{301.23}{\sqrt{3}} = 173.92 \text{ A}$$

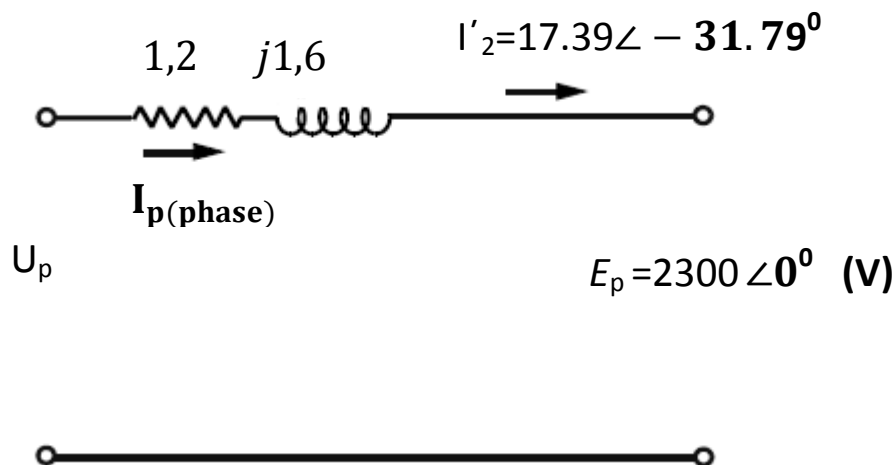
Το αντίστοιχο ρεύμα στο πρωτεύον τύλιγμα είναι:

$$I_{p(\text{phase})} = \frac{I_{s(\text{phase})}}{a} = \frac{173.92}{10} = 17.39 \text{ A}$$

$$c) \quad U_s = E_s = 230 \angle 0^\circ \text{ (V)} \quad \phi = \cos^{-1}(0.85) = 31.79^\circ$$

$$\text{\acute{a}\rho\alpha} \quad I_{s(\text{phase})} = 173.92 \angle -31.79^\circ \text{ (A)}$$

το κύκλωμα πλέον μετά την αναγωγή των στοιχείων του δευτερεύοντος στο πρωτεύον, αποκτά τα εξής στοιχεία:



$$E_p = E_s \cdot a = 230 \cdot 10 = 2300 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} U_{p(\text{phase})} &= E_p + I_{p(\text{phase})} \cdot (1.2 + j1.6) = \\ &= 2300 \angle 0^\circ + 17.39 \angle -31.79^\circ (1.2 + j1.6) = \\ &= 2300 \angle 0^\circ + 17.39 \angle -31.79^\circ \cdot 2 \angle 53.13^\circ = \\ &= 2300 \angle 0^\circ + 34.78 \angle 21.34^\circ = 2300 \angle 0^\circ + 32.39 + j12.656 = \\ &= 2300 + j0 + 32.39 + j12.656 = 2332.39 + j12.656 = \mathbf{2332.4 \angle 0.31^\circ \text{ (V)}} \end{aligned}$$

$$U_{p(\text{γραμμής})} = \sqrt{3} \cdot U_{p(\text{phase})} = \sqrt{3} \cdot 2332.4 \angle 0.31^\circ = \mathbf{4039.8 \text{ (V)}}$$