

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Συσκευές οι οποίες μετασχηματίζουν το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης

Μετασχηματιστές ανύψωσης:

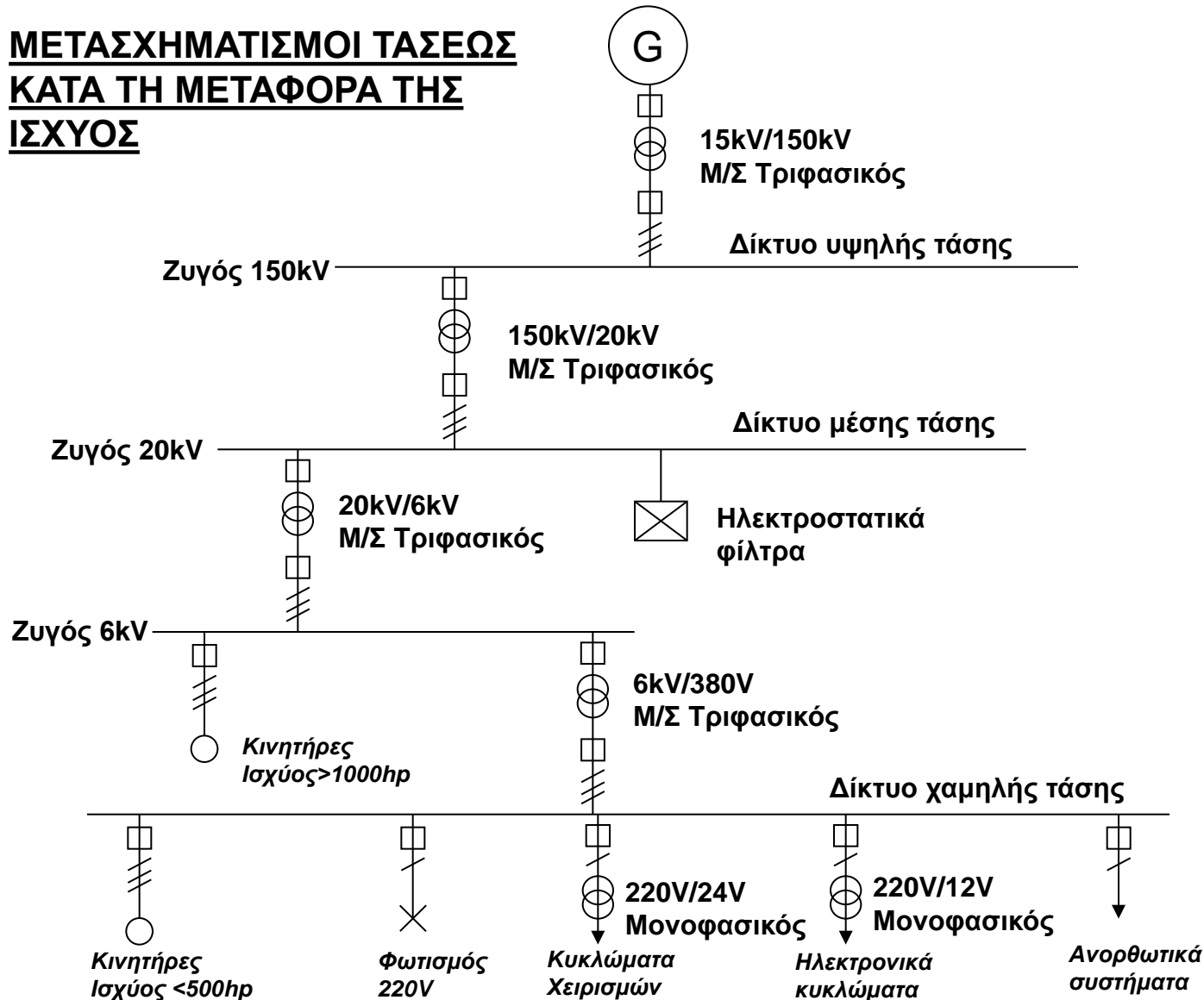
Χρησιμοποιούνται για τη μείωση των απωλειών γραμμής στα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Μετασχηματιστές υποβιβασμού:

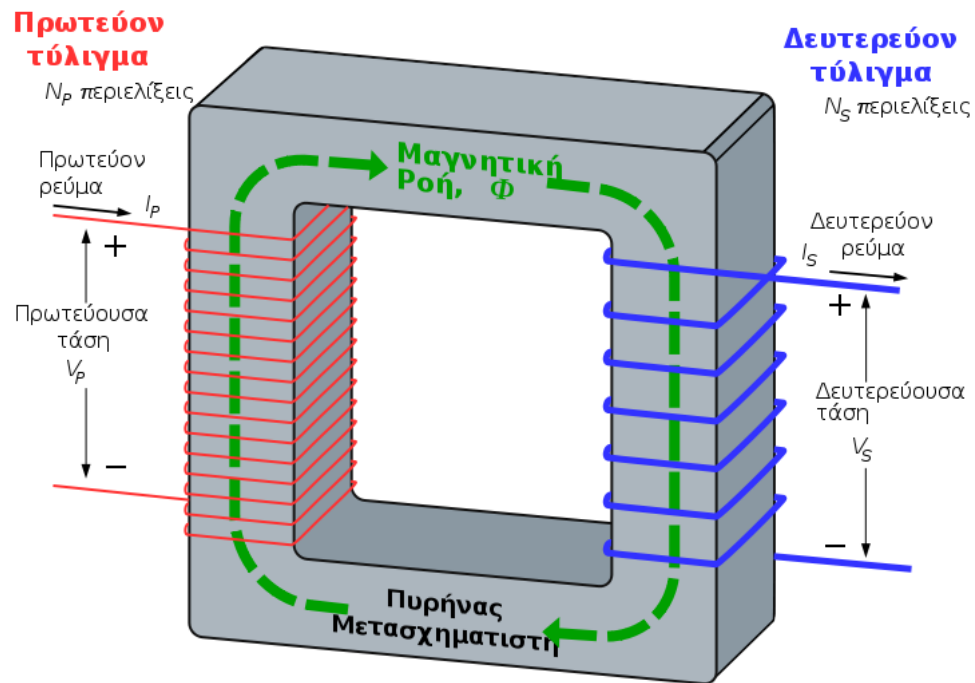
Χρησιμοποιούνται για τον υποβιβασμό της υψηλής τάσης στα επίπεδα που τίθενται για την ασφαλή χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από τους διάφορους καταναλωτές (βιομηχανία, οικιακή χρήση, μετρήσεις κλπ).

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΑΣΕΩΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

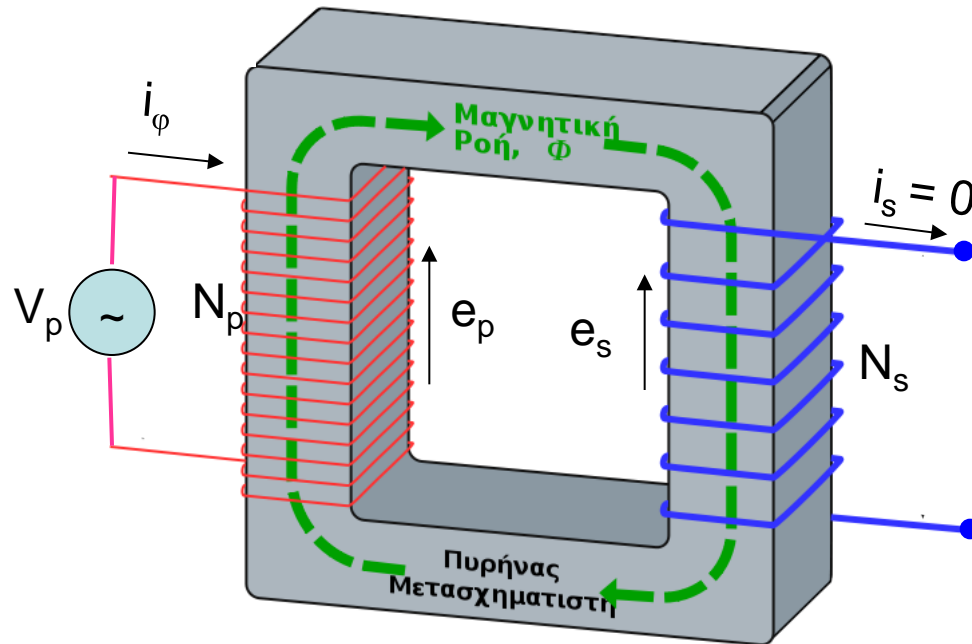


ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΙΔΑΝΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ



Αρχή λειτουργίας \Rightarrow Νόμος Faraday: $e_{ind} = -N \frac{d\Phi}{dt}$

ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ / ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ



$$e_p = N_p \frac{d\Phi}{dt}$$

$$V_p - i_\varphi R_p = e_p$$

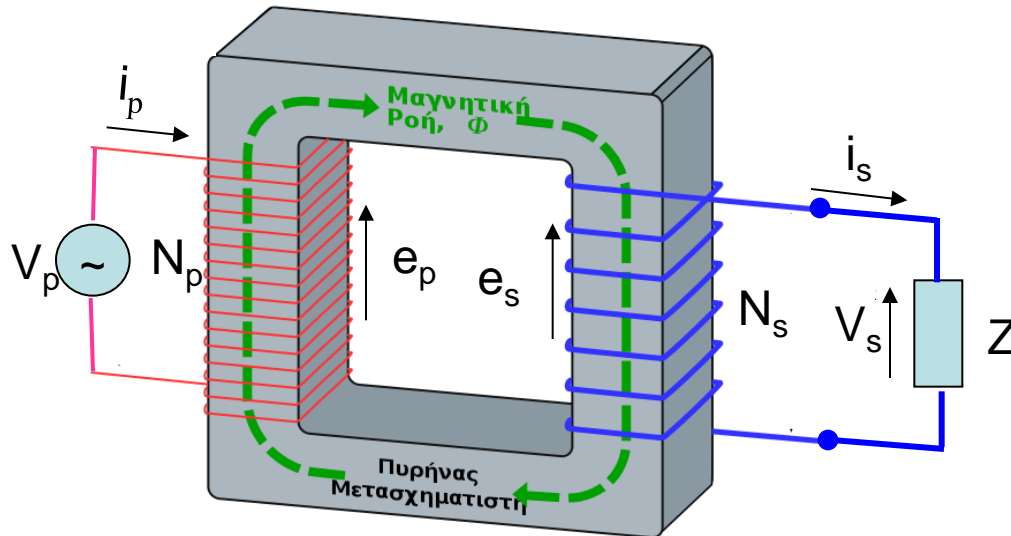
$$R_p \rightarrow 0$$

$$\Rightarrow V_p = e_p = N_p \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = |\Phi| \sin \omega t$$

$$\Rightarrow V_p = N_p \omega |\Phi| \cos \omega t$$

ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ / ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ



$$\left. \begin{aligned} V_p = e_p &= N_p \frac{d\Phi}{dt} \\ V_s = e_s &= N_s \frac{d\Phi}{dt} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \alpha$$

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ, ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

$$\left. \begin{array}{l} N_p i_p = N_s i_s \\ \frac{N_p}{N_s} = \alpha \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{i_p}{i_s} = \frac{1}{\alpha}$$

$$\left. \begin{array}{l} Z' = V_p / I_p = \alpha V_s / (I_s / \alpha) = \alpha^2 \frac{V_s}{I_s} \\ Z = V_s / I_s \end{array} \right\} \Rightarrow Z' = \alpha^2 Z$$

ΙΣΧΥΣ ΣΤΟΥΣ ΙΔΑΝΙΚΟΥΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Πραγματική Ισχύς

$$P_{in} = V_p I_p \cos\theta$$

$$P_{out} = V_s I_s \cos\theta$$

$$V_p = \alpha V_s$$

$$I_s = \alpha I_p$$



$$P_{out} = V_p I_p \cos\theta = P_{in}$$

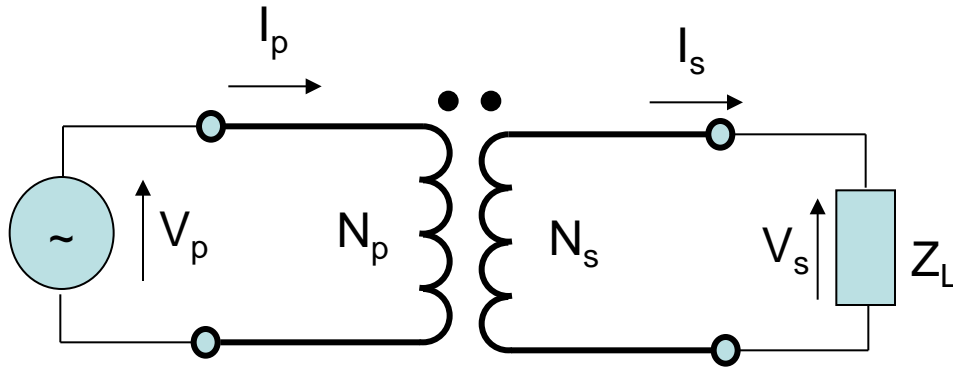
Άεργος Ισχύς

$$Q_{out} = Q_{in} = V_s I_s \sin\theta$$

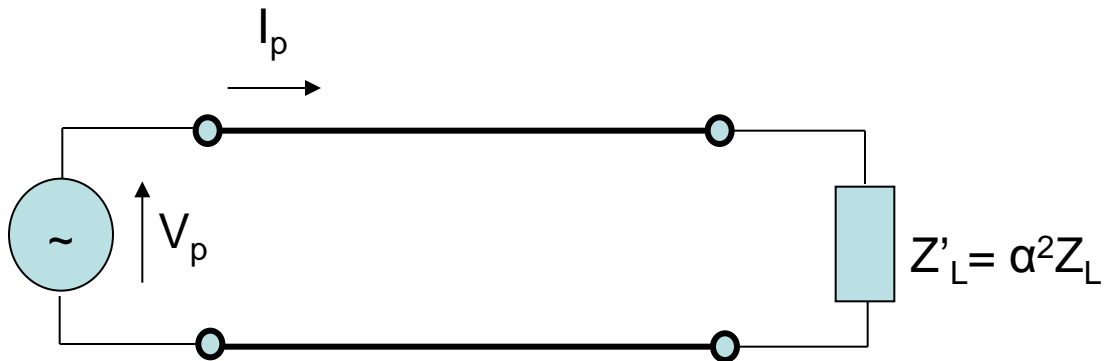
Φαινόμενη Ισχύς

$$S_{out} = S_{in} = V_s I_s$$

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΙΔΑΝΙΚΟΥΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ



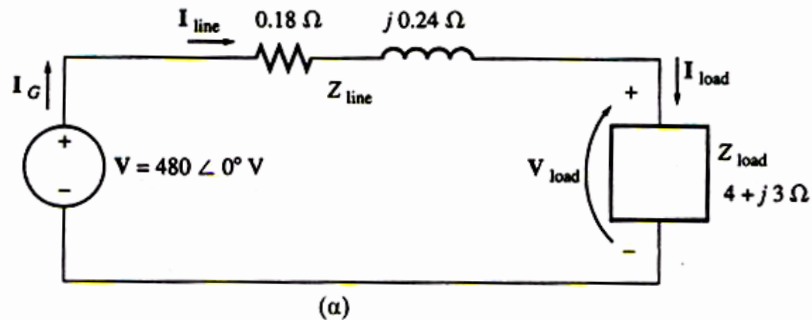
Ισοδύναμο κύκλωμα / Μέθοδος ανάκλασης



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΙΔΑΝΙΚΟΥ Μ/Σ

Παράδειγμα 2-1. Ένα μονοφασικό σύστημα ισχύος περιλαμβάνει μια γεννήτρια των 480 V στα 60 Hz, που τροφοδοτεί φορτίο με $Z_{load} = 4 + j3 \Omega$ μέσω μιας γραμμής μεταφοράς η οποία παρουσιάζει σύνθετη αντίσταση $Z_{line} = 0,18 + j0,24 \Omega$. Να απαντηθούν τα παρακάτω ερωτήματα.

(α) Ποια θα είναι η τιμή της τάσης στα άκρα του φορτίου, αν το σύστημα λειτουργεί όπως ακριβώς περιγράφηκε παραπάνω (Σχ. 2-6α); Ποιες θα είναι οι απώλειες μεταφοράς στη γραμμή;



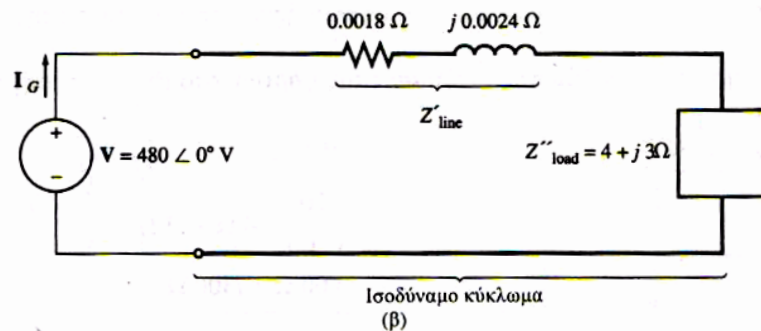
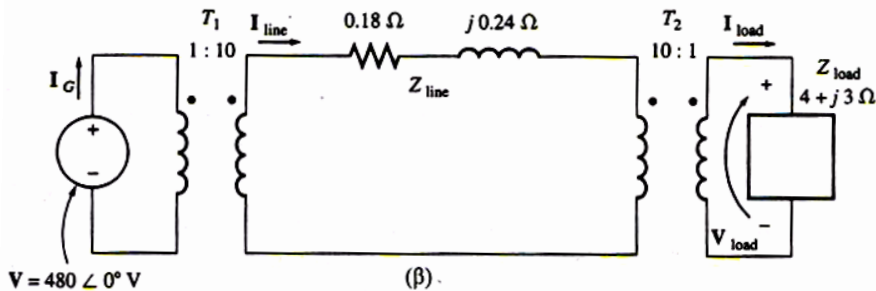
$$I_{line} = V / (Z_{line} + Z_{load}) = 480e^0 / 5.29e^{37.8} = 90.8e^{-37.8} \text{ A}$$

$$V_{load} = I_{line} Z_{load} = 90.8e^{-37.8} 5e^{36.9} = 454e^{-0.9} \text{ V}$$

$$P_{loss} = (I_{line})^2 R_{line} = 90.8^2 0.18 = 1484 \text{ W}$$

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

(β) Ας υποθεθεί ότι στην έξοδο της γεννήτριας τοποθετείται μετασχηματιστής ανυψωσης με λόγο μετασχηματισμού 1:10, ενώ στην είσοδο του φορτίου τοποθετείται μετασχηματιστής υποβιβασμού με λόγο μετασχηματισμού 10:1 (Σχ. 2-6β). Ποια θα είναι τώρα η τάση στα άκρα του φορτίου; Ποιες θα είναι οι απώλειες μεταφοράς στη γραμμή;



$$I_G = V/Z_{eq} = 480e^0/5.003e^{j36.88} = 95.94e^{-j36.88} \text{ A}$$

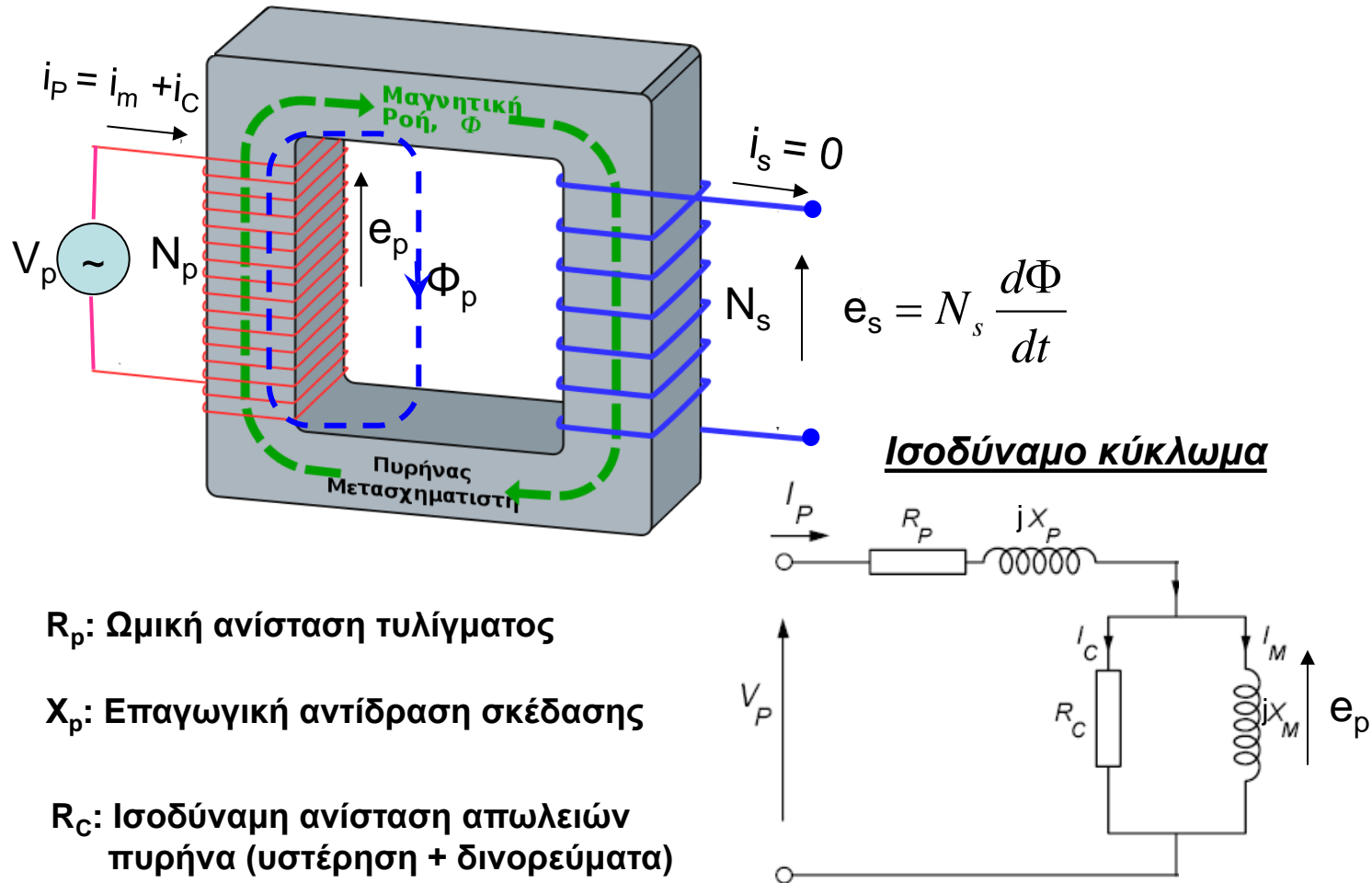
$$I_{line} = \frac{N_{p1}}{N_{s1}} I_G = (1/10) 95.94e^{-j36.88} = 9.594e^{-j36.88} \text{ A}$$

$$I_{Load} = \frac{N_{p2}}{N_{s2}} I_{line} = 10 * 9.594e^{-j36.88} = 95.94e^{-j36.88} \text{ A}$$

$$V_{Load} = I_{Load} Z_{load} = 479.7e^{j0.01}$$

$$P_{loss} = (I_{line})^2 R_{line} = 16.7 \text{ W}$$

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ/ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ



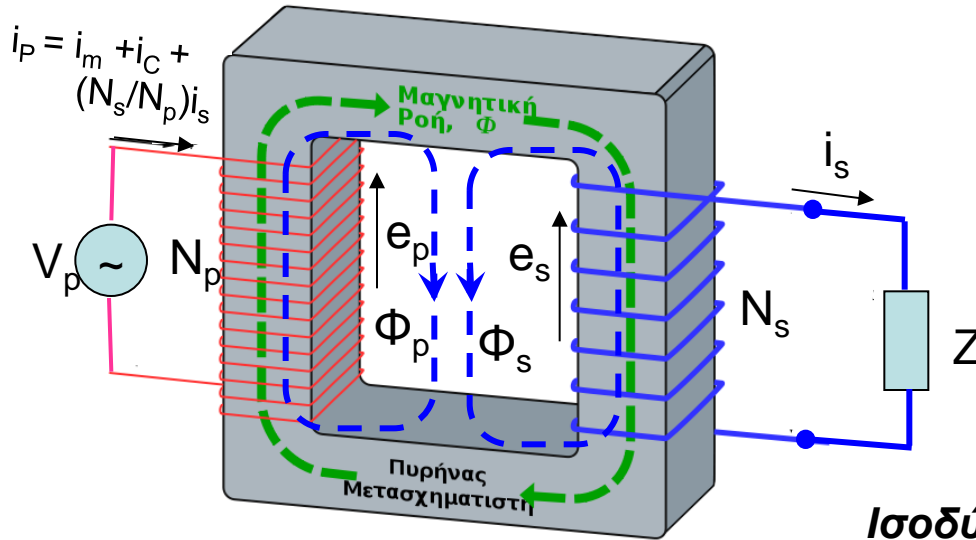
R_p : Ωμική αντίσταση τυλίγματος

X_p : Επαγωγική αντίδραση σκέδασης

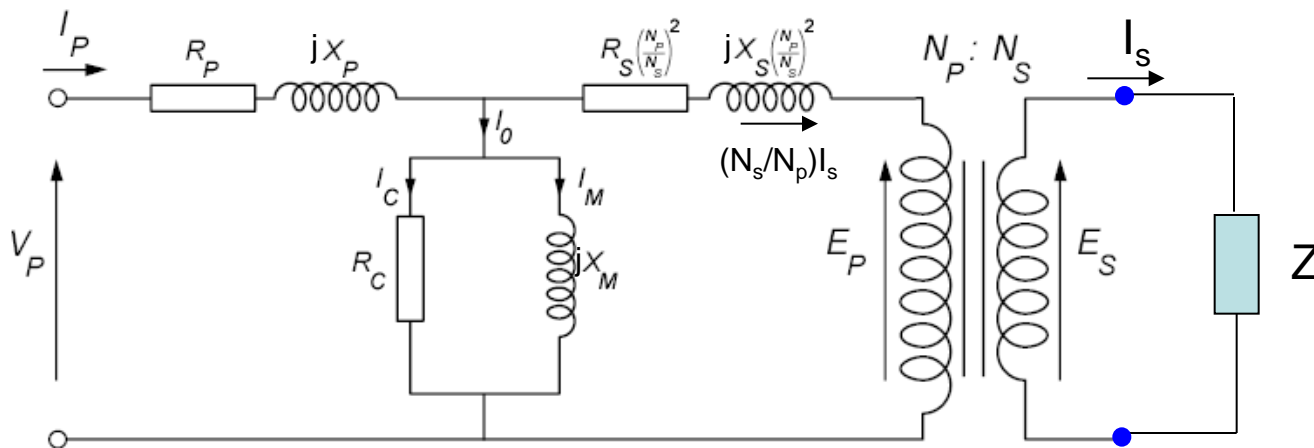
R_c : Ισοδύναμη αντίσταση απωλειών πυρήνα (υστέρηση + δινореύματα)

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ/ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ

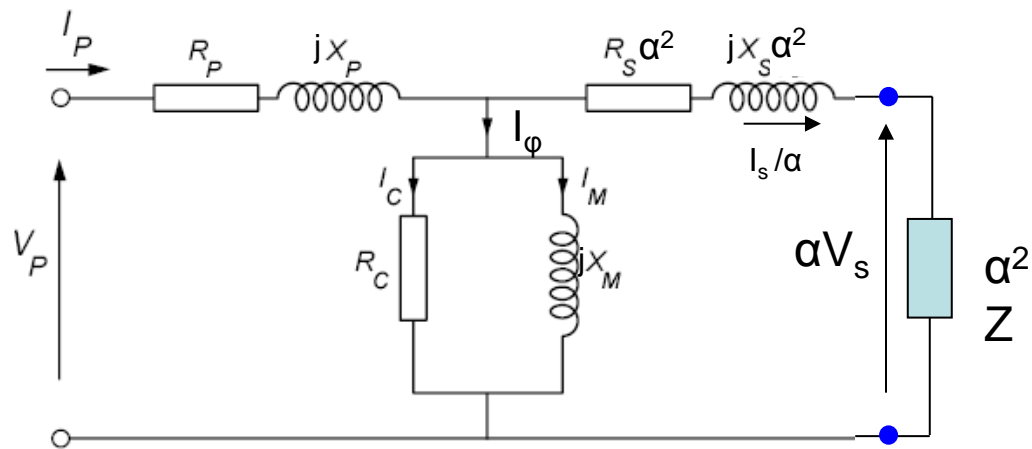
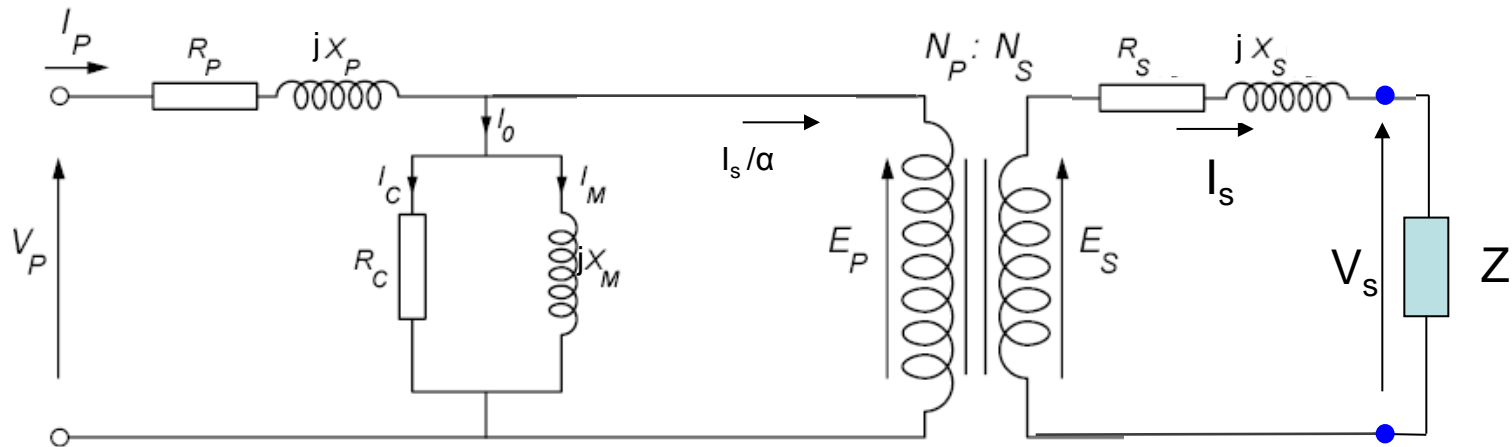


Ισοδύναμο κύκλωμα



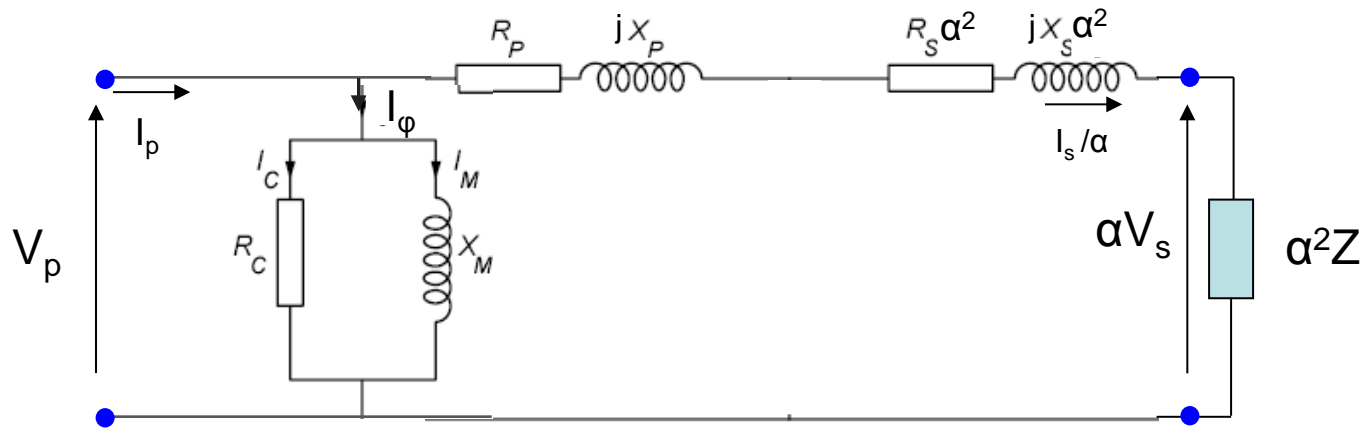
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Ισοδύναμο κύκλωμα πραγματικού μετασχηματιστή / Μέθοδος ανάκλασης

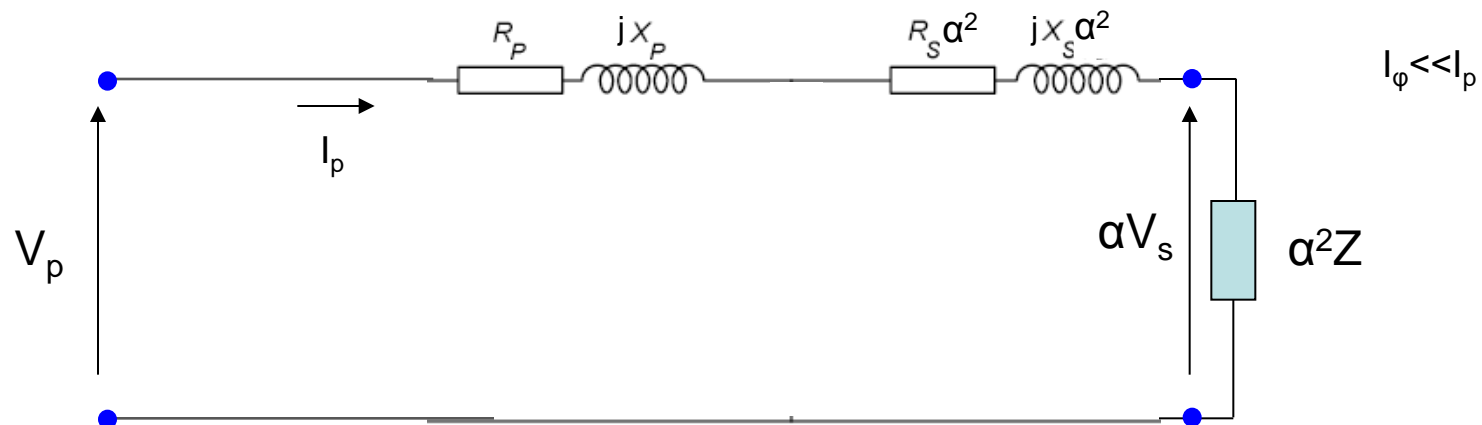


ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα πραγματικού μετασχηματιστή



Απλοποιημένο Ισοδύναμο κύκλωμα - παράλειψη παράλληλου κλάδου



ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ Μ/Σ

Βαθμός απόδοσης

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} = \frac{V_s I_s \cos\theta_s}{P_w + P_{core} + V_s I_s \cos\theta_s}$$

P_w : απώλειες χαλκού

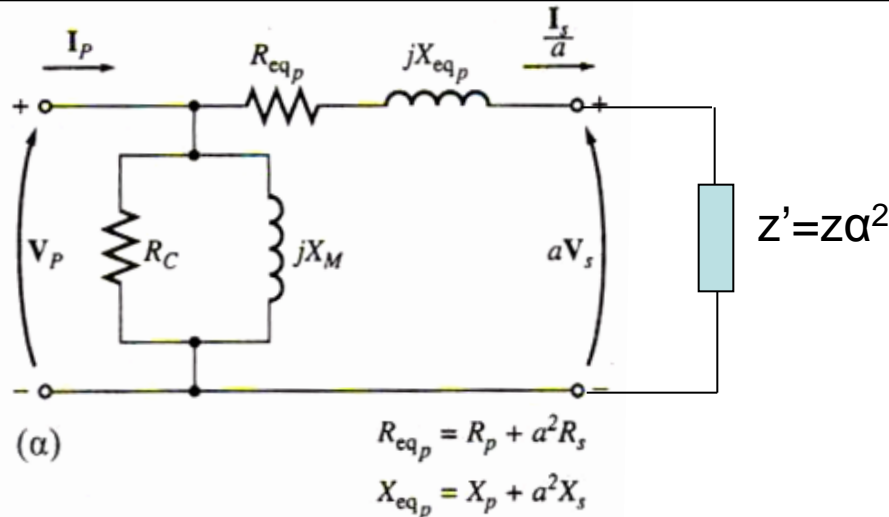
P_{core} : απώλειες δινορρευμάτων + υστέρησης

Διακύμανση τάσης

$$VR = \frac{V_{S, no load} - V_{S, rated load}}{V_{S, rated load}} = \frac{V_p / \alpha - V_{S, rated load}}{V_{S, rated load}}$$

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ



$$\alpha = 1/5$$

$$V_p = 120\text{VAC}, f=60\text{Hz}, \varphi=0^\circ$$

$$z = 30\Omega$$

$$R_{eqp} = 0.05\Omega$$

$$R_C = 40\Omega$$

$$X_m = 24\Omega$$

$$X_{eqp} = 0.3\Omega$$

$$z' = z\alpha^2$$

$$I_c = 120/40 = 3\text{A}$$

$$I_M = 120/j24 = -j5\text{A}$$

$$I_s = (1/5) \frac{120}{1.2 + 0.05 + j0.3} = 18.68e^{-j13.5}\text{A}$$

$$I_p = I_c + I_M + 5I_s = 97.6e^{-j15.9}\text{A}$$

$$V_s = I_s z = 18.68e^{-j13.5} * 30 = 560.4e^{-j13.5}\text{V}$$

$$P_L = |z| * |I_s|^2 = 10.47\text{kW}$$

$$|S| = |V_p| * |I_p| = 11.71\text{ kVA}$$

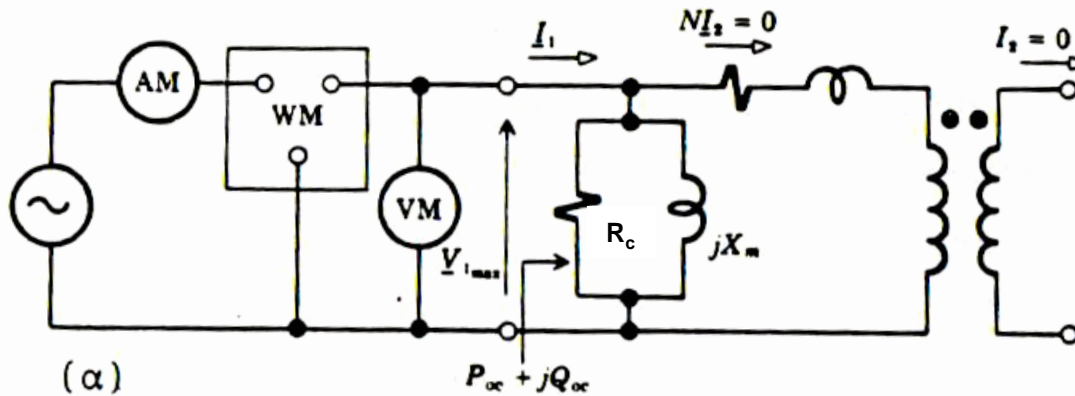
$$P = |S| * \cos\theta = 11.26\text{kW}$$

$$Q = |S| * \sin\theta = 3.21\text{kVAR}$$

$$n = P_L/P = 0.93$$

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥΣ

Μετρήσεις με ανοιχτοκυκλωμένο δευτερεύον



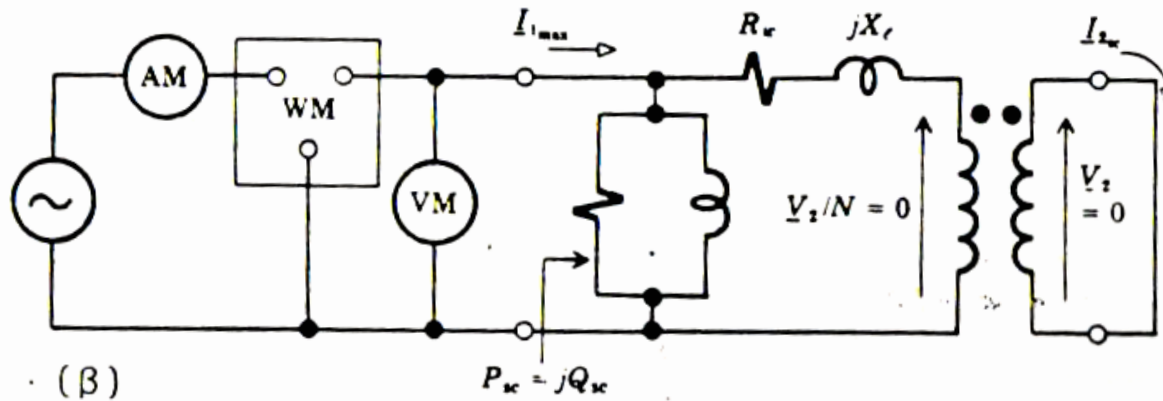
$$R_c = \frac{|V_1|^2}{P_{OC}}$$

$$\cos\theta = \frac{P_{OC}}{|V_1||I_1|}$$

$$Q_{OC} = |V_1| |I_1| \sin\theta = \frac{|V_1|^2}{X_m}$$

$$X_m = \frac{|V_1|^2}{Q_{OC}}$$

Μετρήσεις με βραχυκυκλωμένο δευτερεύον



Επειδή R_w και $X_\ell \ll R_C$ και X_m

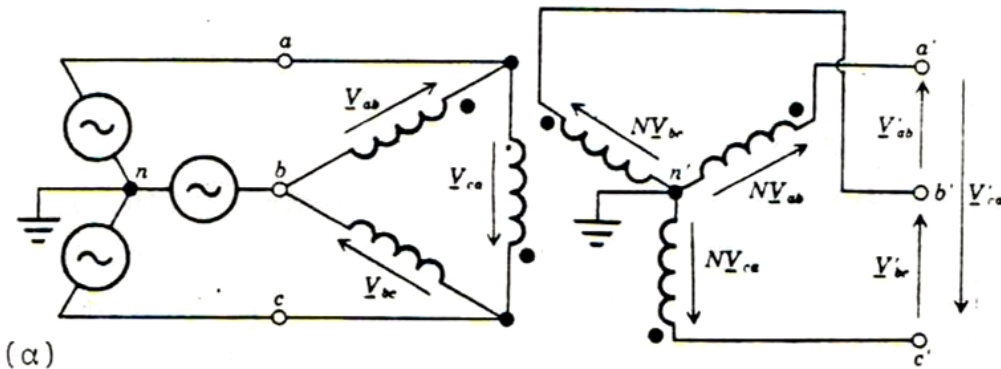
$$R_w = \frac{P_{sc}}{|I_1|^2}$$

$$Q_{sc} = |V_1| |I_1| \sin\theta$$

$$\cos\theta = \frac{P_{sc}}{|V_1| |I_1|}$$

$$X_\ell = \frac{Q_{sc}}{|I_1|^2}$$

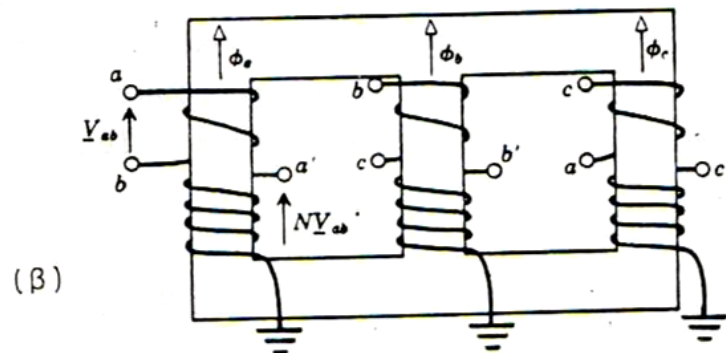
ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ (ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΡΙΓΩΝΟ-ΑΣΤΕΡΑΣ)



$$\underline{V}_{ab} = V_{\ell p} e^{j0}$$

$$\underline{V}_{bc} = V_{\ell p} e^{-j120}$$

$$\underline{V}_{ca} = V_{\ell p} e^{j120}$$



$$\underline{V}'_{ab} = N\sqrt{3} V_{\ell p} e^{j30}$$

$$\underline{V}'_{bc} = N\sqrt{3} V_{\ell p} e^{-j90}$$

$$\underline{V}'_{ca} = N\sqrt{3} V_{\ell p} e^{j150}$$

$$V_{\ell s} = N\sqrt{3} V_{\ell p}$$

$$\frac{V_{\ell p}}{V_{\ell s}} = \frac{N_p}{N_s \sqrt{3}}$$

Σχ. 2.18. (α) Τριφασικός μετασχηματιστής ανύψωσης
(β) Διαμόρφωση πυρήνα.

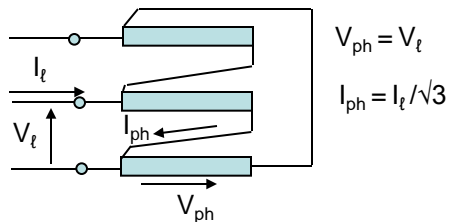
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

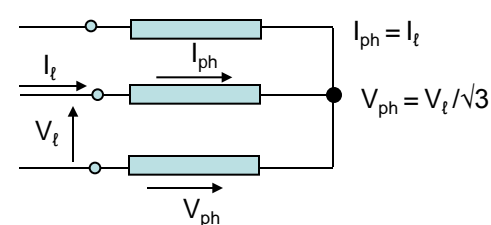
Όμας	Συμβολισμός	Διανυσματικόν διάγραμμα		Συνδεσμολογία		Σχέσις μεταφοράς
		Υ.Τ.	Χ.Τ.	Υ.Τ.	Χ.Τ.	
0	Dd0					N_1/N_2
	Yy0					N_1/N_2
	Dz0					$2N_1/3N_2$
5	Dy5					$N_1/\sqrt{3}N_2$
	Yd5					$\sqrt{3}N_1/N_2$
	Yz5					$2N_1/\sqrt{3}N_2$

6	Dd6					N_1/N_2
	Yy6					N_1/N_2
	Dz6					$2N_1/3N_2$
11	Dy11					$N_1/\sqrt{3}N_2$
	Yd11					$\sqrt{3}N_1/N_2$
	Yz11					$2N_1/\sqrt{3}N_2$

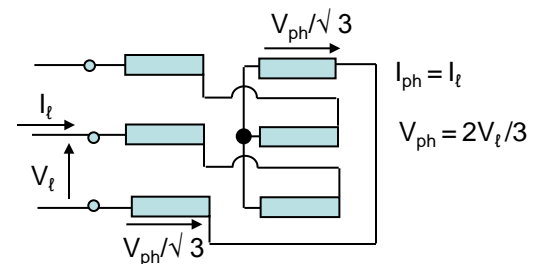
ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΡΙΓΩΝΟΥ (D)



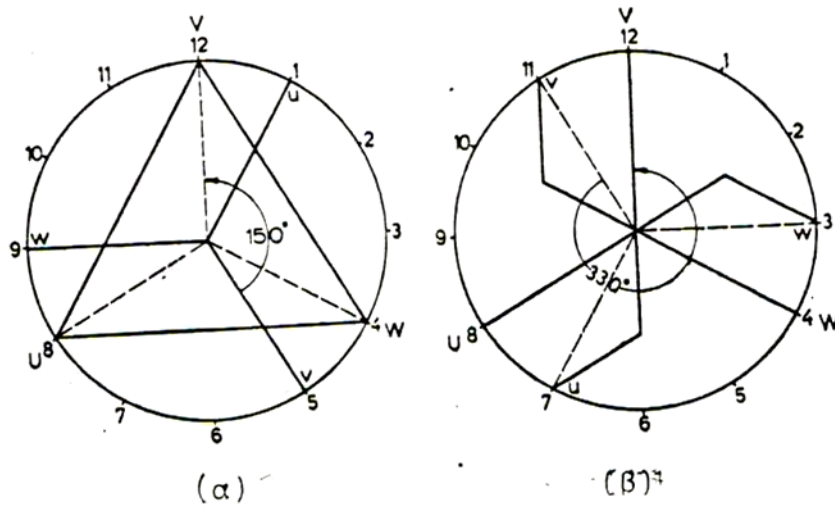
ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΣΤΕΡΑ (Y)



ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΕΘΛΑΣΜΕΝΟΥ ΑΣΤΕΡΑ (Z)

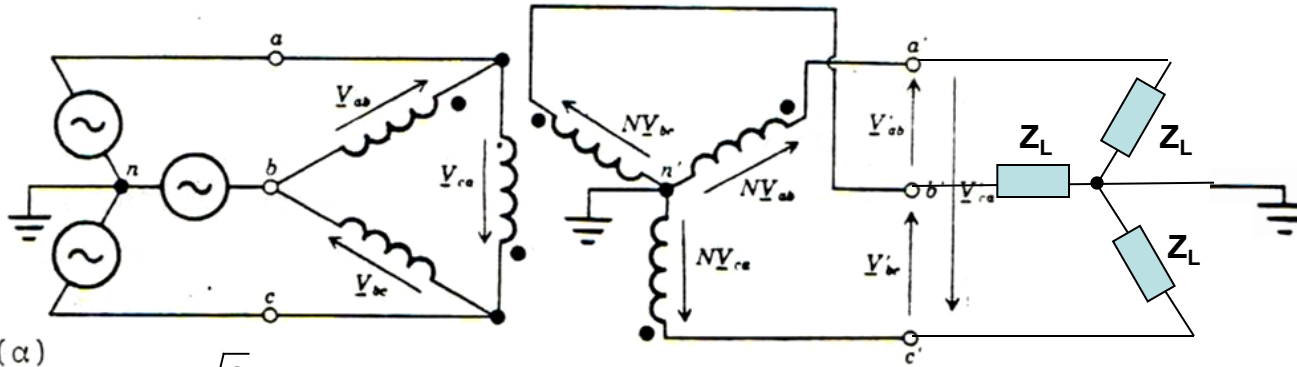


ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΦΑΣΙΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΦΑΣΕΩΝ Υ.Τ. ΚΑΙ Χ.Τ. ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΜΣ



Σχ. 2.21. α) Σύνδεση $D_y 5$
β) Σύνδεση $Y_z 11$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ



$$P_L = 200\text{MW}$$

$$\cos\theta = 1$$

$$V_{\ell s} = 550\text{kV}$$

$$V_{\ell p} = 20\text{kV}$$

(α)

$$\alpha = \frac{V_{\ell p} \sqrt{3}}{V_{\ell s}} = \frac{1}{15.9}$$

$$V_{\text{ph},s} = 1/\alpha V_{\ell p} = 318\text{kV}$$

$$I_{\ell s} = P_L / V_{\text{ph},s} = 0.629\text{kA}$$

$$I_{\text{ph},p} = 1/\alpha I_{\ell s} = 10\text{kA}$$

$$R_c = \frac{|V_p|^2}{P_{OC}} = 391\Omega \quad X_m = \frac{|V_p|^2}{Q_{OC}} = 202\Omega$$

$$R_w = \frac{P_{sc}}{|I_p|^2} = 0.0097\Omega \quad X_l = \frac{Q_{sc}}{|I_1|^2} = 0.486\Omega$$

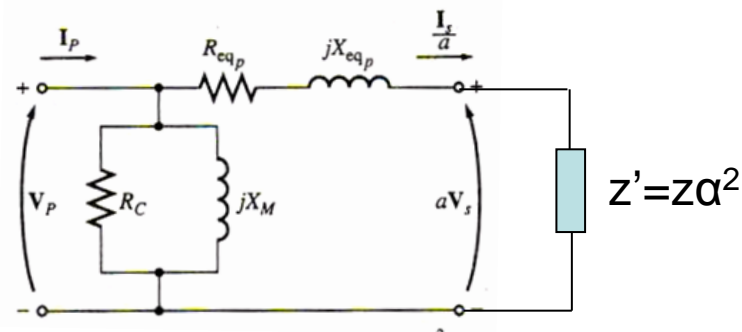
Επιλέγεται τύπος ΜΣ:

400/25kV, 300MVA/phase

$\alpha = 1/16$, $V_p = 25\text{kV}$, $V_s = 400\text{kV}$, $I_p = 12\text{kA}$

$P_{OC} = 1.6\text{MW}$, $Q_{OC} = 3.1\text{MVAR}$

$P_{SC} = 1.4\text{MW}$, $Q_{SC} = 70\text{MVAR}$



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Έλεγχος καταλληλότητας επιλεγμένου ΜΣ

Επίλυση στις συνθήκες λειτουργίας: $\underline{V}_s = 318e^0kV$ $I_s = 0.629e^0kA$

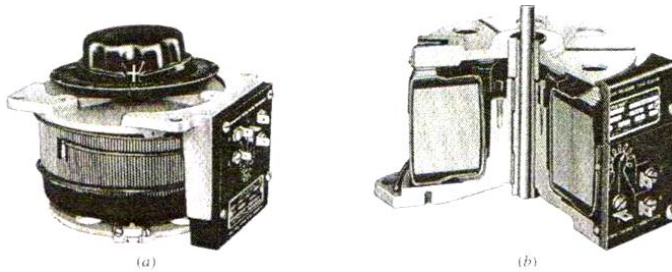
$$\underline{V}_p = (R_w + jX_l)I_s/\alpha + \alpha\underline{V}_s = 20.56e^{j13,8} kV \quad \Rightarrow \quad V_{tp} = 20.56kV$$

$$P_{loss} = R_w \left(\frac{I_s}{\alpha} \right)^2 + \frac{V_p^2}{R_C} = 2.06MW$$

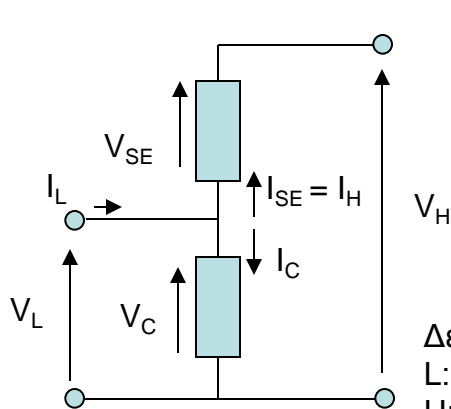
$$P_{in} = P + P_{loss} = 202.06MW$$

$$n = P/P_{in} = 99\%$$

ΑΥΤΟΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ



ΣΧΗΜΑ 2-35 (α) Ένας αυτομετασχηματιστής μεταβλητής τάσης. (β) Τομή του αυτομετασχηματιστή (Superior Electric Company).



Δείκτες:
L: πλευρά ΧΤ
H: πλευρά ΥΤ
SE: τύλιγμα σειράς
C: κοινό τύλιγμα

$$\left. \begin{aligned} V_H &= V_C + V_{SE} \\ V_C/V_{SE} &= N_C/N_{SE} \\ V_L &= V_C \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} \frac{V_L}{V_H} &= \frac{N_C}{N_{SE} + N_C} \\ \frac{I_L}{I_H} &= \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} S_w &= V_C I_C \\ S_{io} &= V_L I_L \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{S_{io}}{S_w} = \frac{N_{SE} + N_C}{N_{SE}}$$

Πλεονέκτημα
φαινόμενης ισχύος

Παράλληλη σύνδεση Μετασχηματιστών

Ενδείκνυται στις περιπτώσεις κάλυψης αύξησης ισχύος.

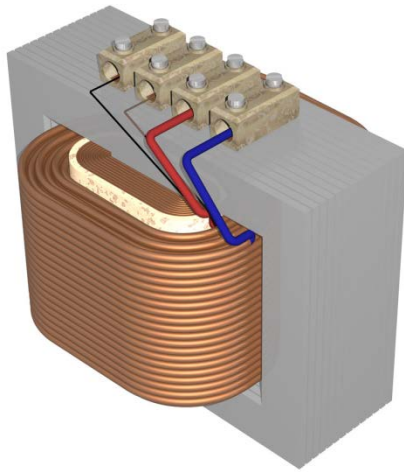
Προυποθέσεις που πρέπει να πληρούνται:

1. Να ανήκουν στην ίδια ομάδα συνδεσμολογίας και οι συνδεσμολογίες να γίνουν με την σύνδεση των αντίστοιχων ακροδεκτών
2. Να έχουν κατασκευαστεί έτσι ώστε να έχουν τις ίδιες τάσεις πρωτεύοντος και δευτερεύοντος αντίστοιχα. Επιτρεπόμενη απόκλιση $\pm 0.5\%$.
3. Να έχουν ίσες τάσεις βραχυκύκλωσης
4. Ο λόγος ονομαστικών ισχύων να μην είναι μεγαλύτερος του 3:1

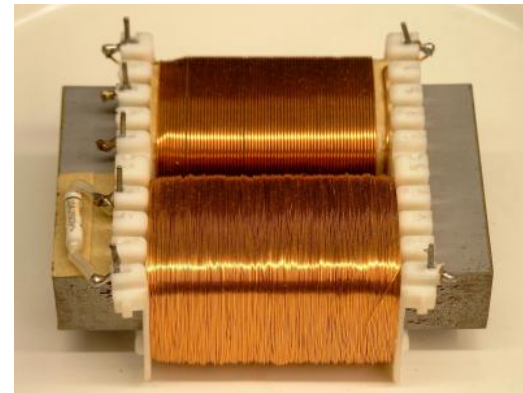
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Τύπου Μανδύα με συγκεντρικά τυλίγματα



Τύπου Πυρήνα



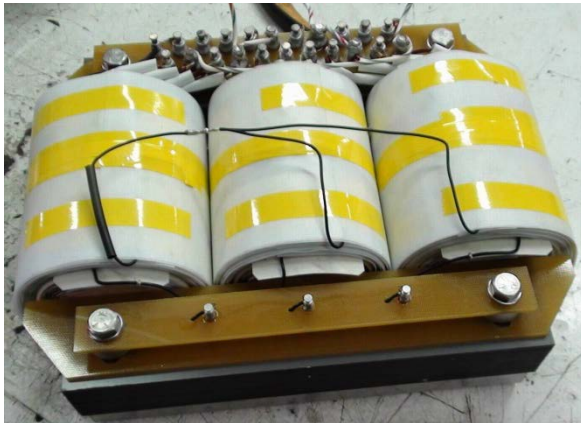
Τύπου Πυρήνα
τοροειδούς μορφής



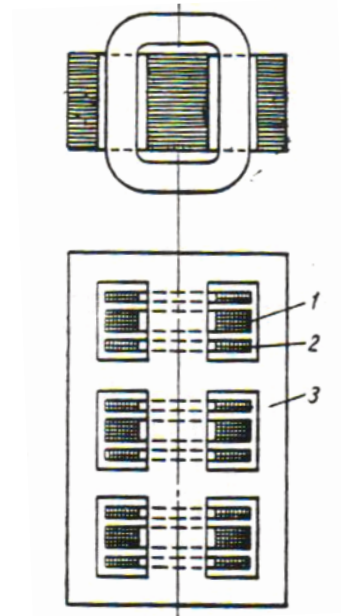
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Τύπου Πυρήνα με συγκεντρικά τυλίγματα

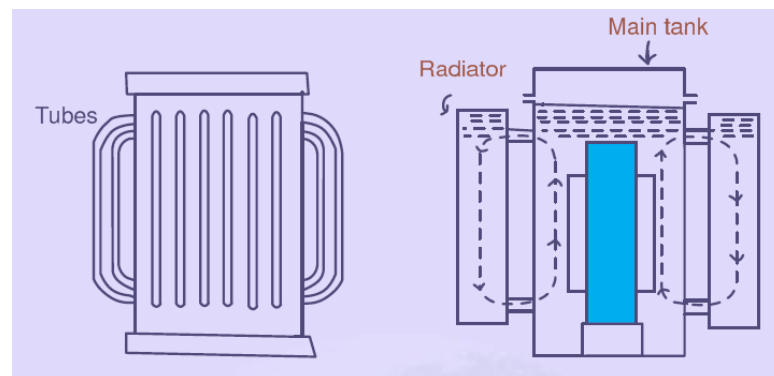
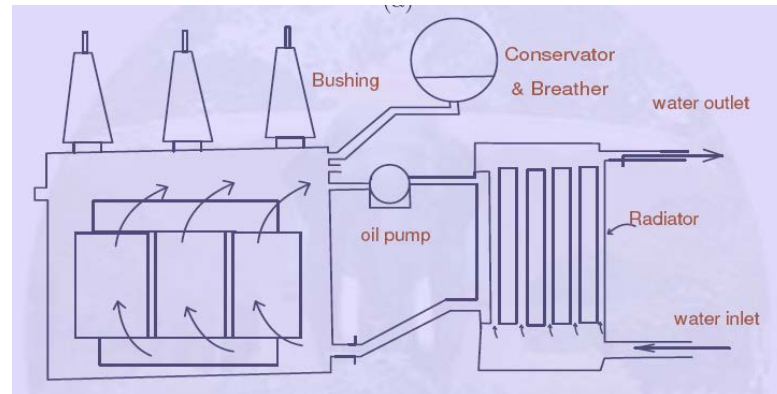


Τύπου Μανδύα με δισκοειδή τυλίγματα



ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΜΕ ΨΥΞΗ ΛΑΔΙΟΥ



ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΞΗΡΟΥ ΤΥΠΟΥ

