



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ενότητα 5: Ο Μετασχηματιστής Ισχύος

Γαβριήλ Γιαννακόπουλος, Νικόλαος Βοβός

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιον Πατρών, Γαβριήλ
Γιαννακόπουλος, Νικόλαος Βοβός, 2015. «Εισαγωγή στα
Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ο μετασχηματιστής
ισχύος». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη
δικτυακή
διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE695/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο
- Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

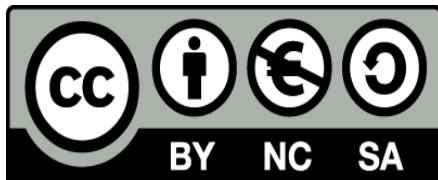
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης creative commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειες χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

- Χαρακτηριστικά μετασχηματιστών ισχύος
- Σύντομη ανασκόπηση μαγνητικών κυκλωμάτων
- Μονοφασικός μετασχηματιστής δυο τυλιγμάτων
- Τριφασικοί μετασχηματιστές
- Παράλληλη σύνδεση μετασχηματιστών
- Μετασχηματιστές πολλών τυλιγμάτων
- Αυτομετασχηματιστές
- Ο μετασχηματιστής ως συσκευή έλεγχου

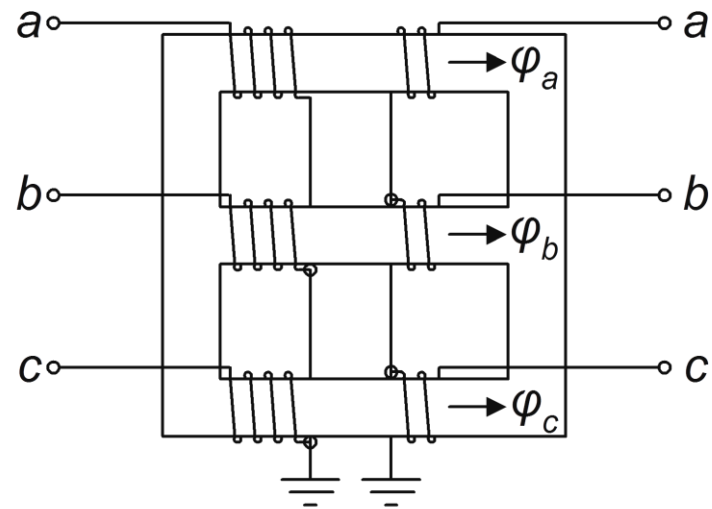
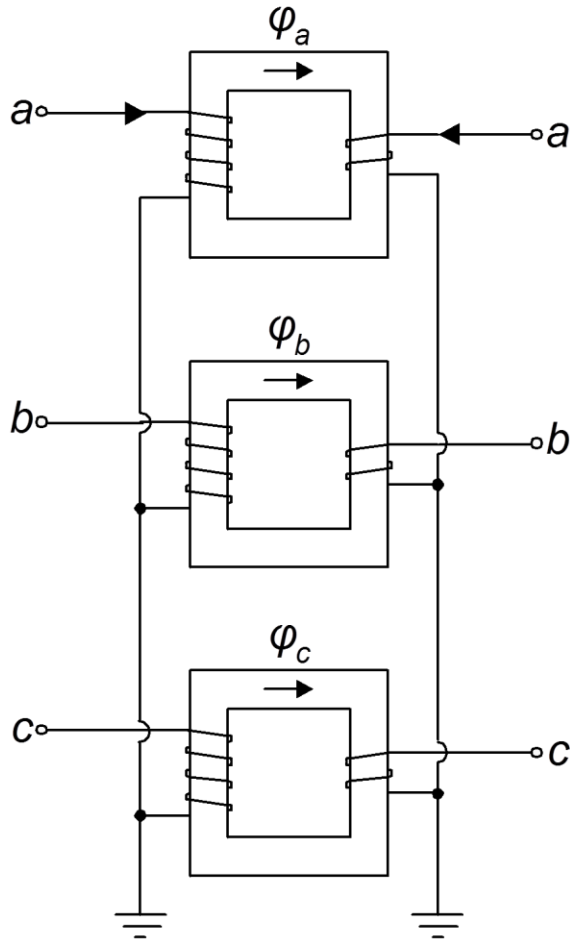


ΕΙΔΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

- *Μετασχηματιστές ισχύος*
 - *Μετασχηματιστές γεννήτριας*
 - *Μετασχηματιστές μεταφοράς*
 - *Μετασχηματιστές διανομής*
- *Μετασχηματιστές ρύθμισης τάσης*

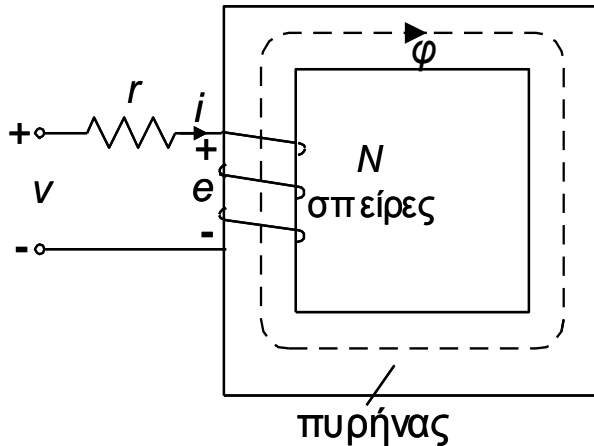


ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ



ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

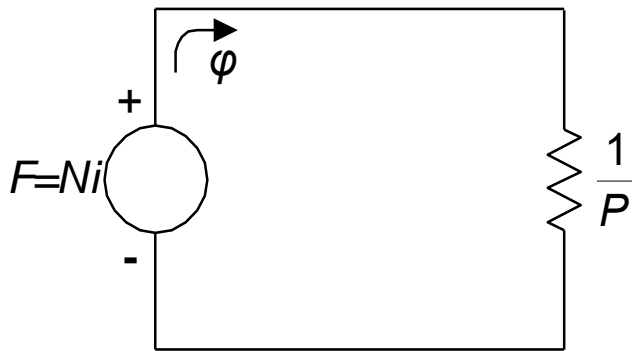


Πεπλεγμένη ροή: $\lambda = N\phi$

Μαγνητεγερτική δύναμη : $F=Ni$

Για σταθερή διαπερατότητα μ , ισχύουν :

$$\left. \begin{array}{l} \lambda = N\phi = Li \\ \phi = PF = PNi \end{array} \right\} \rightarrow L = \frac{N\phi}{i} = \frac{NPNi}{i} = PN^2$$

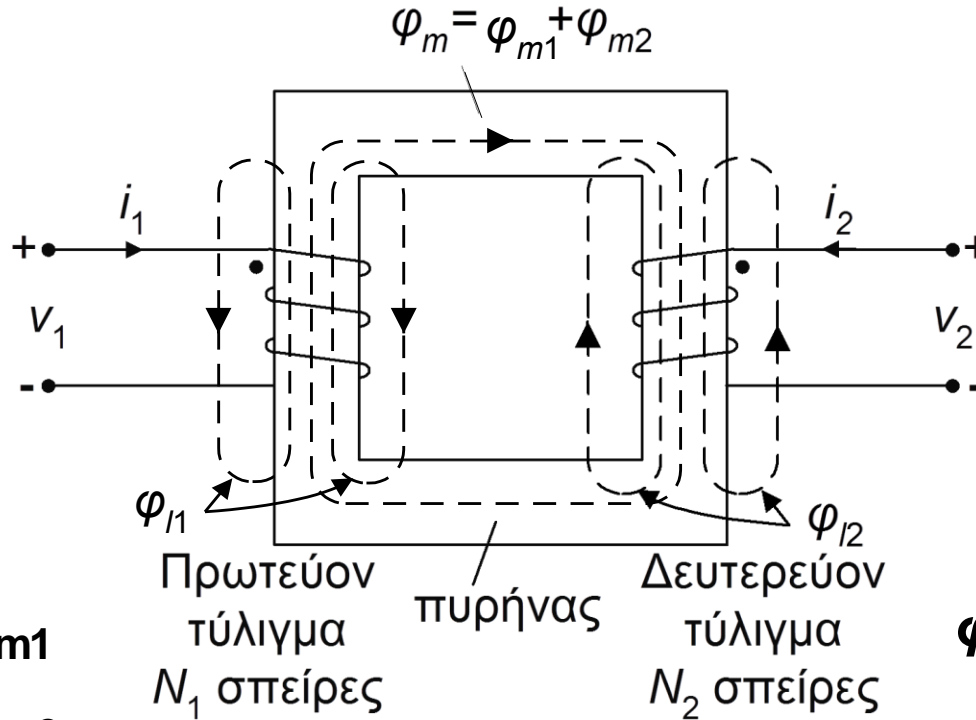


$$\begin{aligned} v = ri + e &= ri + \frac{d\lambda}{dt} \\ &= ri + N \frac{d\phi}{dt} = ri + L \frac{di}{dt} \end{aligned}$$



Ο ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

ΔΥΟ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ



$$\varphi_{11} = \varphi_{11} + \varphi_{m1}$$

$$\varphi_1 = \varphi_{11} + \varphi_{m2}$$

$$= \varphi_{11} + \varphi_{m1} + \varphi_{m2}$$

$$= \varphi_{11} + \varphi_m$$

$$\varphi_{22} = \varphi_{12} + \varphi_{m2}$$

$$\varphi_2 = \varphi_{22} + \varphi_{m1}$$

$$= \varphi_{12} + \varphi_{m2} + \varphi_{m1}$$

$$= \varphi_{12} + \varphi_m$$



ΣΥΝΕΠΩΣ

$$\lambda_1 = N_1 \varphi_1 = N_1 \varphi_{l1} + N_1 \varphi_m$$

$$\lambda_2 = N_2 \varphi_2 = N_2 \varphi_{l2} + N_2 \varphi_m$$

ΟΠΌΤΕ

$$\begin{aligned} v_1 &= r_1 i_1 + \frac{d\lambda_1}{dt} = r_1 i_1 + N_1 \frac{d\varphi_{l1}}{dt} + N_1 \frac{d\varphi_m}{dt} \\ v_2 &= r_2 i_2 + \frac{d\lambda_2}{dt} = r_2 i_2 + N_2 \frac{d\varphi_{l2}}{dt} + N_2 \frac{d\varphi_m}{dt} \end{aligned}$$

και

$$F = N_1 i_1 + N_2 i_2 = \frac{\varphi_m}{P_m}$$

όπου P_m η μαγνητική αγωγιμότητα του πυρήνα



Ο ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

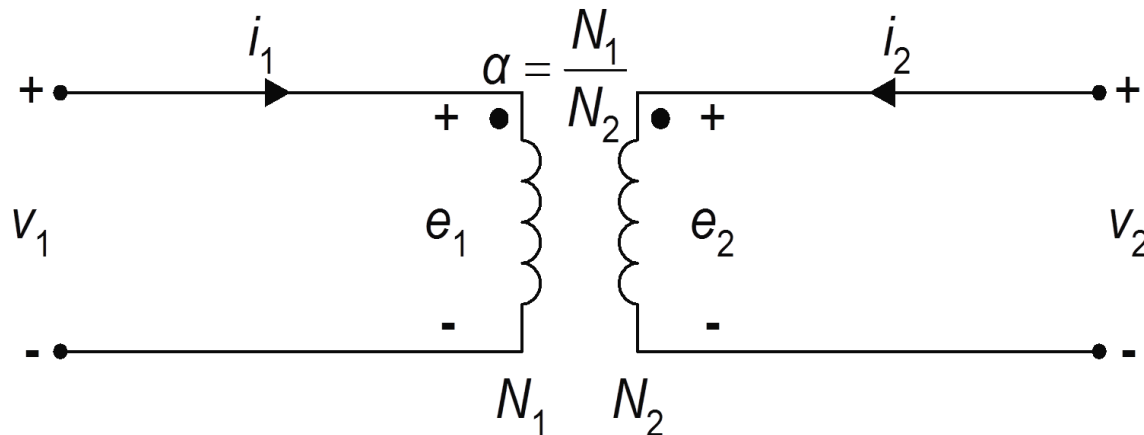
1. $r_1 = r_2 = 0$

2. $\phi_{l1} = \phi_{l2} = 0$

3. $\mu \rightarrow \infty$

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= \cancel{r_1 i_1} + N_1 \frac{d\cancel{\phi_{l1}}}{dt} + N_1 \frac{d\phi_m}{dt} = N_1 \frac{d\phi_m}{dt} = e_1 \\ v_2 &= \cancel{r_2 i_2} + N_2 \frac{d\cancel{\phi_{l2}}}{dt} + N_2 \frac{d\phi_m}{dt} = N_2 \frac{d\phi_m}{dt} = e_2 \end{aligned} \right\} \rightarrow \boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} = a}$$

$$F = N_1 i_1 + N_2 i_2 = \frac{\phi_m}{P_m} = 0 \rightarrow \boxed{\frac{i_1}{i_2} = -\frac{N_2}{N_1} = -\frac{1}{a}}$$



Ο ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

1. $r_1, r_2 \neq 0$

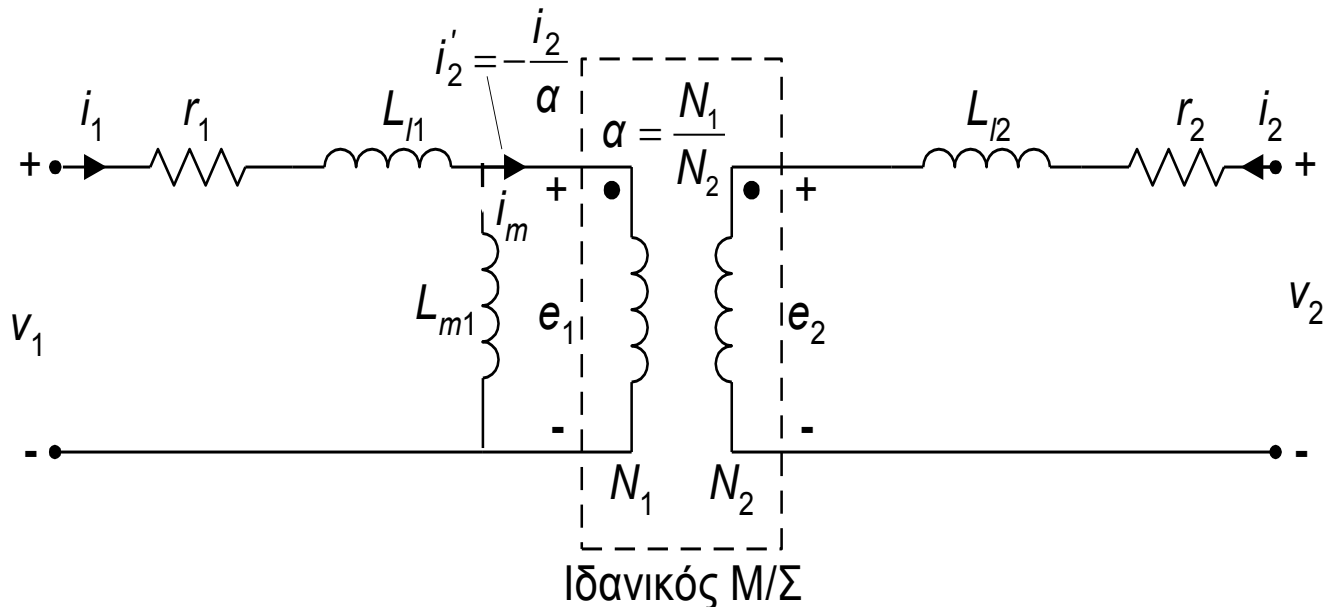
2. $\varphi_{I1}, \varphi_{I2} \neq 0$

3. $\mu \neq \infty$

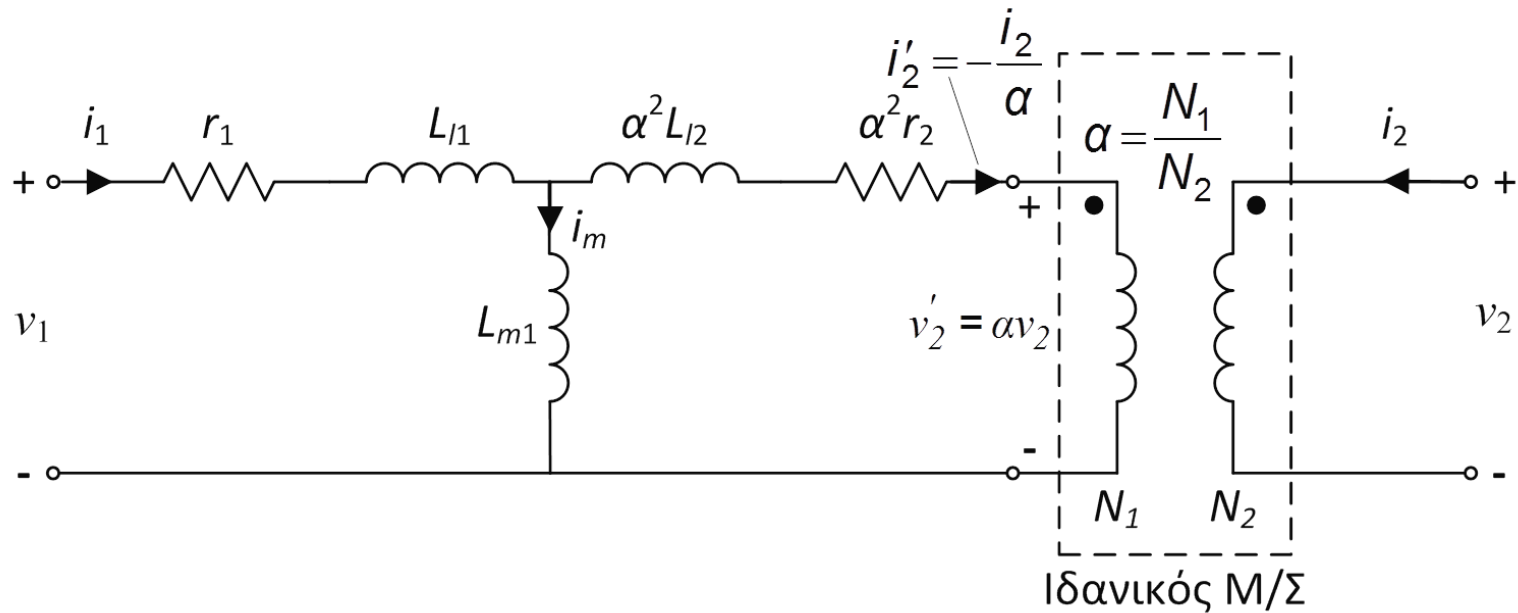
$$\lambda_{I1} = N_1 \varphi_{I1} = L_{I1} i_1 \quad v_1 = r_1 i_1 + L_{I1} \frac{di_1}{dt} + e_1$$

$$\lambda_{I2} = N_2 \varphi_{I2} = L_{I2} i_2 \quad v_2 = r_2 i_2 + L_{I2} \frac{di_2}{dt} + e_2$$

$$\varphi_m = P_m N_1 \left(i_1 + \frac{N_2}{N_1} i_2 \right) \quad e_1 = N_1 \frac{d\varphi_m}{dt} = P_m N_1^2 \frac{d}{dt} \left(i_1 + \frac{N_2}{N_1} i_2 \right) = L_{m1} \frac{d}{dt} i_m$$



ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΑΝΗΓΜΕΝΟ ΣΤΟ ΠΡΩΤΕΥΟΝ

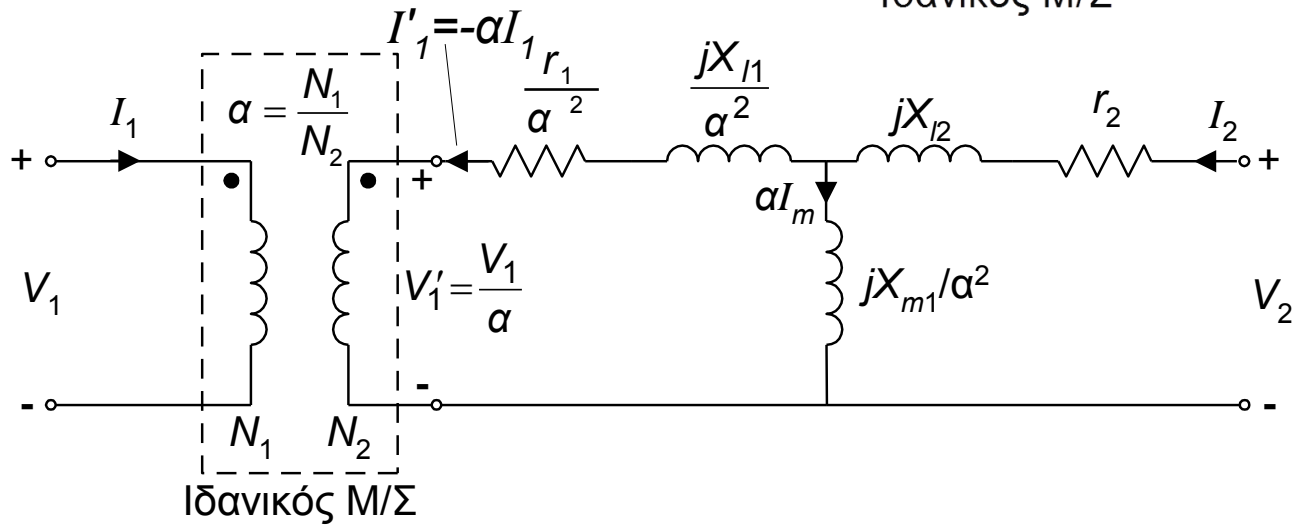
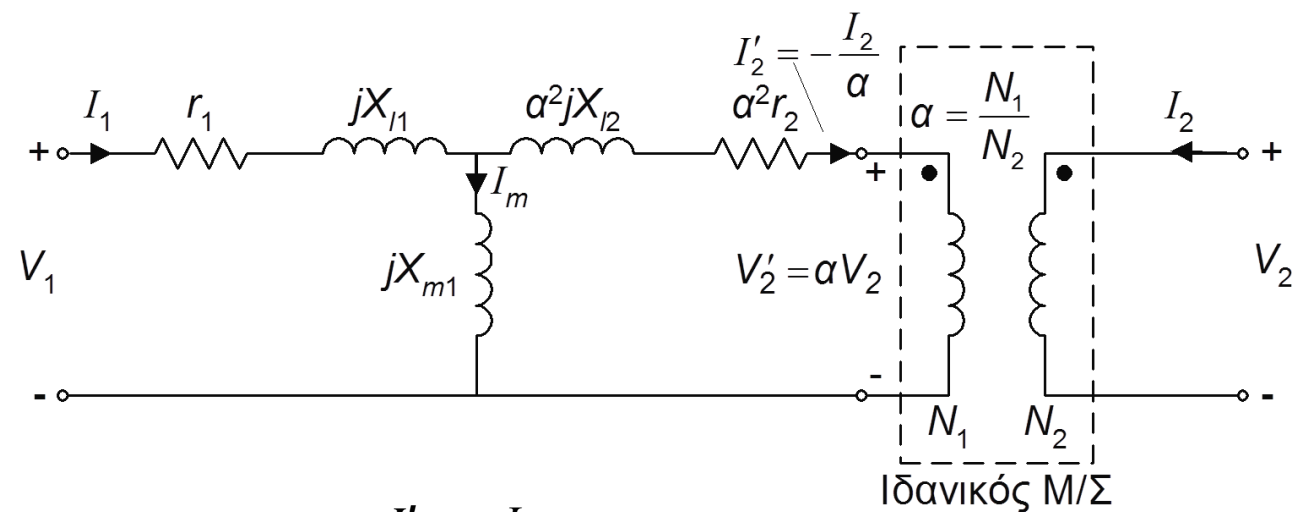


ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΣΤΗ ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

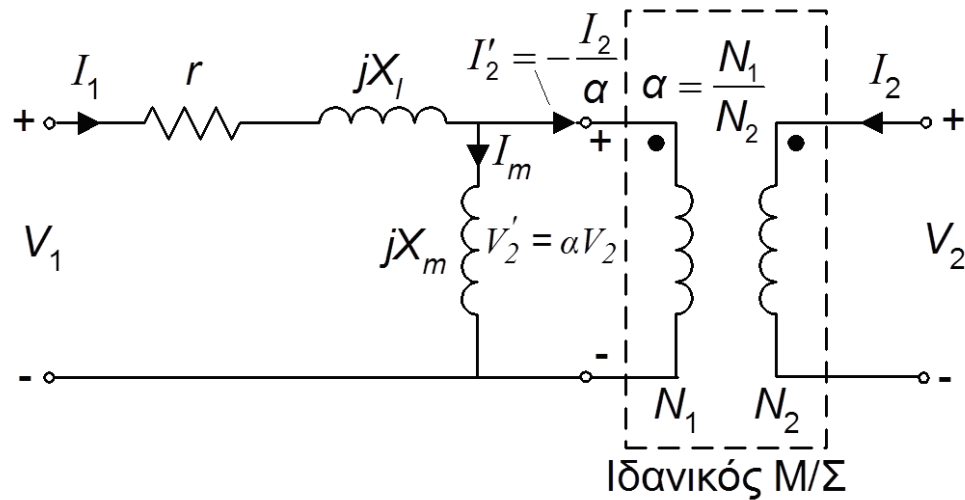
$$X_{l1} = \omega L_{l1}$$

$$X_{l2} = \omega L_{l2}$$

$$X_{m1} = \omega L_{m1}$$



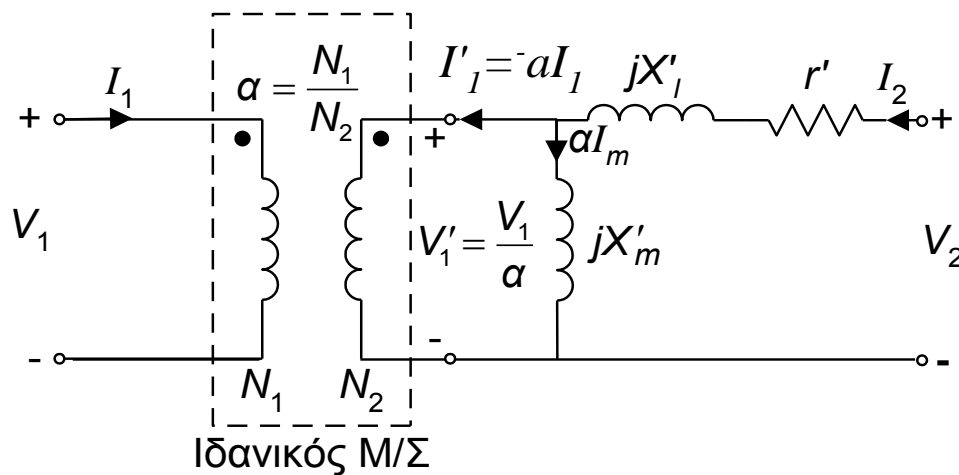
ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ



$$r = r_1 + \alpha^2 r_2$$

$$X_l = X_{l1} + \alpha^2 X_{l2}$$

$$X_m = X_{m1}$$



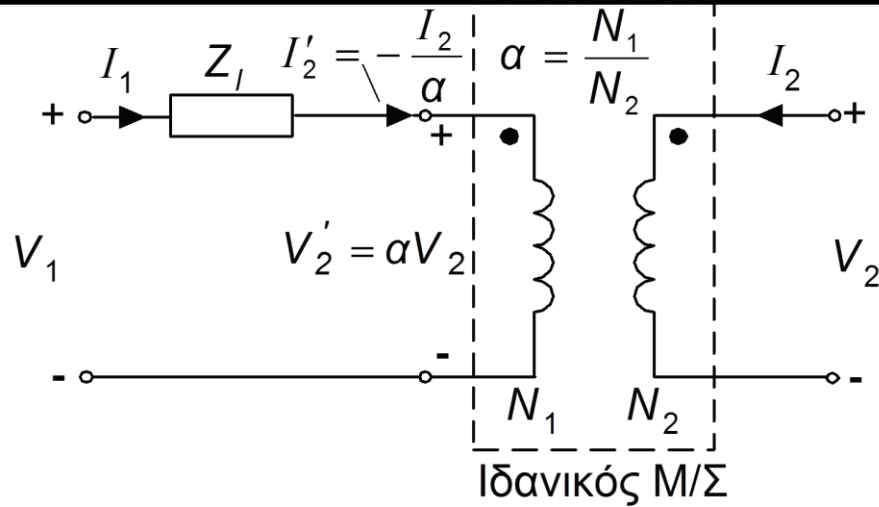
$$r' = \frac{r}{\alpha^2} = \frac{r_1}{\alpha^2} + r_2$$

$$X'_l = \frac{X_l}{\alpha^2} = \frac{X_{l1}}{\alpha^2} + X_{l2}$$

$$X'_m = \frac{X_m}{\alpha^2}$$

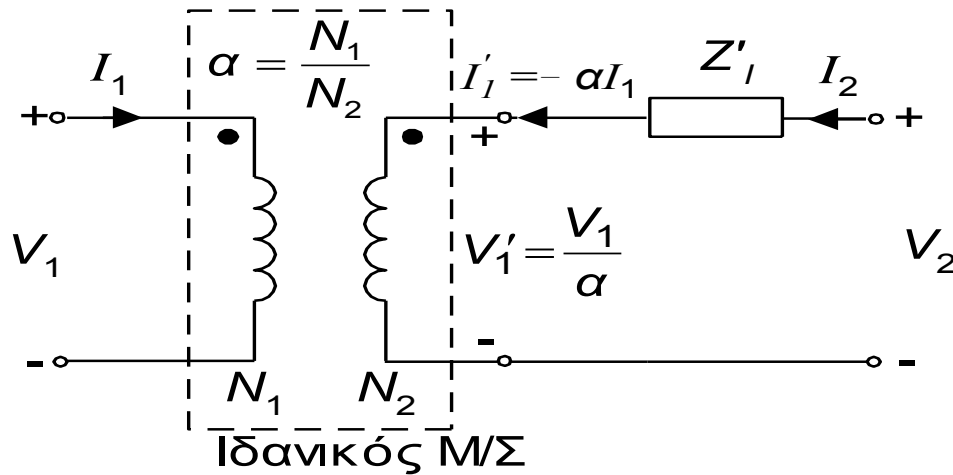


ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ



$$Z_l = r_l + jX_l$$

$$Z_l \approx jX_l$$



$$Z'_l = r'_l + jX'_l$$

$$Z'_l \approx jX'_l$$



ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Δοκιμή βραχυκύκλωσης

- *Τύλιγμα χαμηλής τάσης: βραχυκύκλωμα*
- *Τύλιγμα υψηλής τάσης: εφαρμόζεται τάση $|V_{2\beta}|$ τέτοια ώστε να ρεύσει ονομαστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης*

$$|Z_1| = \frac{a |V_{2\beta}|}{|I_{1ov}|}$$

$$r = \frac{P_2}{(|I_{1ov}|)^2}$$

$$X_1 = \sqrt{|Z_1|^2 - r^2}$$



Δοκιμή ανοικτοκύκλωσης

- Τύλιγμα υψηλής τάσης: ανοικτό κύκλωμα
- Τύλιγμα χαμηλής τάσης: εφαρμόζεται ονομαστική τάση

$$|Z| = \frac{\sqrt{r^2 + (X_l + X_m)^2}}{|I_{1\alpha}|} = \frac{|V_{10V}|}{|I_{1\alpha}|}$$

$$X_m = \sqrt{|Z|^2 - r^2} - X_l$$



Παράδειγμα 1(I)

Να προσδιοριστούν οι παράμετροι X_l , X_m και r ενός μονοφασικού μετασχηματιστή δύο τυλιγμάτων με ονομαστικά χαρακτηριστικά 30 MVA, 13.2/66.4kV που υφίσταται:

α) Δοκιμή βραχυκύκλωσης με $|V_{2\beta}|=7.97$ kV και $P_2=206$ kW.

β) Δοκιμή ανοικτοκύκλωσης με $|I_{1\alpha}|=70.17$ A.

$$|I_{10v}| = \frac{|S_1|}{|V_1|} = \frac{30000}{13.2} = 2272.7 \text{ A}$$

$$|Z_l| = \frac{a |V_{2\beta}|}{|I_{10v}|} = \frac{13.2}{66.4} \times \frac{7970}{2272.7} = 0.7 \text{ } \Omega$$

$$r = \frac{P_2}{(|I_{10v}|)^2} = \frac{206000}{2272.7^2} = 0.04 \text{ } \Omega$$

$$X_l = \sqrt{|Z_l|^2 - r^2} = \sqrt{0.7^2 - 0.04^2} = 0.7 \text{ } \Omega$$



Παράδειγμα 1(II)

$$|Z| = \sqrt{r^2 + (X_l + X_m)^2} = \frac{|V_{1ov}|}{|I_{1\alpha}|} = \frac{13200}{70.17} = 188.1 \Omega$$

$$X_m = \sqrt{|Z|^2 - r^2} - X_l = \sqrt{188.1^2 - 0.04^2} - 0.7 \approx 187.4 \Omega$$

$$V_{Xl} = X_l |I_{1ov}| = 0.7 \times 2272.7 \approx 1.591 \text{ kV} \quad \Rightarrow \quad \frac{1.591}{13.2} \times 100 \approx 12\%$$

$$|I_m| = \frac{|V_{1ov}|}{X_m} = \frac{13200}{187.4} \approx 70.4 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad \frac{70.4}{2272.7} \times 100 \approx 3\%$$



Παράδειγμα 2 (I)

**Μονοφασικός Μ/Σ δύο τυλιγμάτων 100 kVA, 400/2000 V
έχει παραμέτρους :**

$$r_1 = 0.01 \Omega, r_2 = 0.25 \Omega, X_{l1} = 0.03 \Omega, X_{l2} = 0.75 \Omega, X_m = 160 \Omega$$

**Αν ο Μ/Σ τροφοδοτεί φορτίο 90 kVA στα 2000 V με $\cos\phi=0.8$ επαγ.,
να υπολογιστεί η τάση και το ρεύμα πρωτεύοντος.**

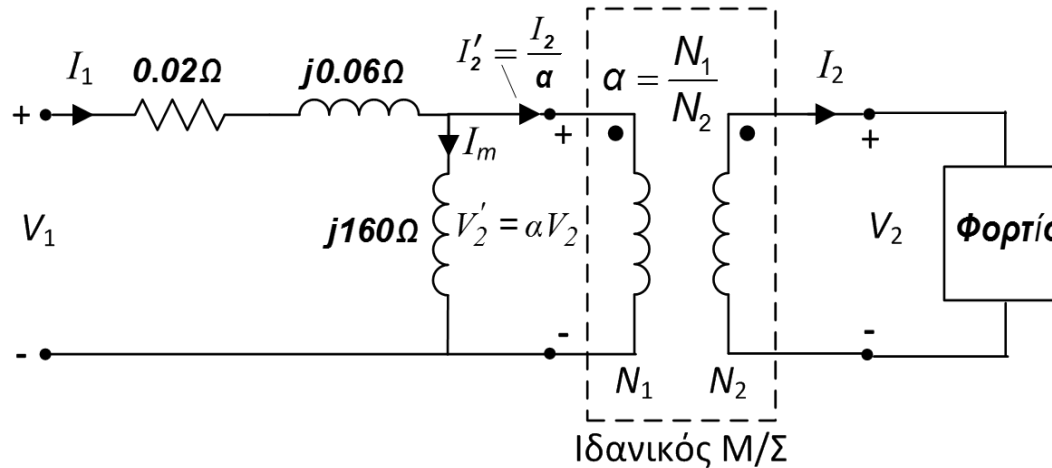
$$\alpha = \frac{400}{2000} = \frac{1}{5} = 0.2$$

$$r = r_1 + \alpha^2 r_2 = 0.01 + 0.2^2 \times 0.25 = 0.02 \Omega$$

$$X_l = X_{l1} + \alpha^2 X_{l2} = 0.03 + 0.2^2 \times 0.75 = 0.06 \Omega$$



Παράδειγμα 2 (II)



$$V_2' = \alpha V_2 = 0.2 \times 2000 \angle 0^\circ = 400 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$|I_2| = \frac{|S_2|}{|V_2|} = \frac{90}{2} = 45 \text{ A}$$

$$I_2' = \frac{I_2}{\alpha} = \frac{45 \angle -36.87^\circ}{0.2} = 225 \angle -36.87^\circ \text{ A}, \quad I_m = \frac{V_2'}{jX_m} = \frac{400 \angle 0^\circ}{j160} = 2.5 \angle -90^\circ \text{ A}$$

$$I_1 = I_2' + I_m = 225 \angle -36.87^\circ + 2.5 \angle -90^\circ = 226.5 \angle -37.37^\circ \text{ A}$$

$$V_1 = V_2' + (r + jX_l)I_1 = 400 \angle 0^\circ + (0.02 + j0.06) \times 226.5 \angle -37.37^\circ = 411.38 \angle 1.07^\circ \text{ V}$$



ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

$$|V_{b1}|_{1\Phi} = a |V_{b2}|_{1\Phi} \longrightarrow$$

$$|I_{b1}|_{1\Phi} = \frac{|S_b|_{1\Phi}}{|V_{b1}|_{1\Phi}} = \frac{|S_b|_{1\Phi}}{a |V_{b2}|_{1\Phi}} = \frac{|I_{b2}|_{1\Phi}}{a}$$

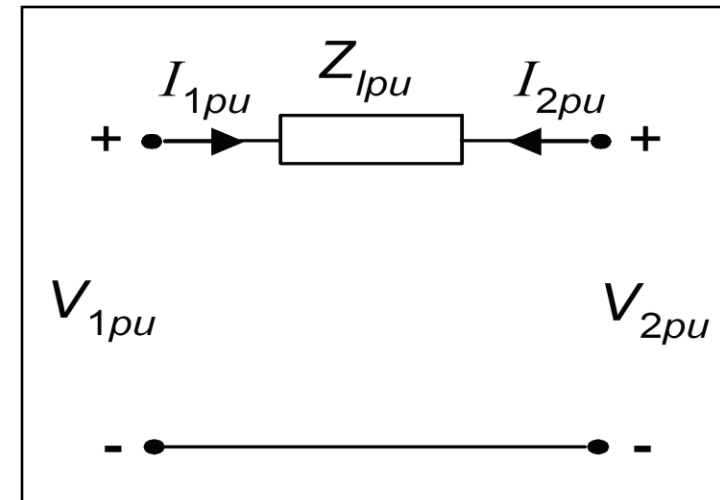
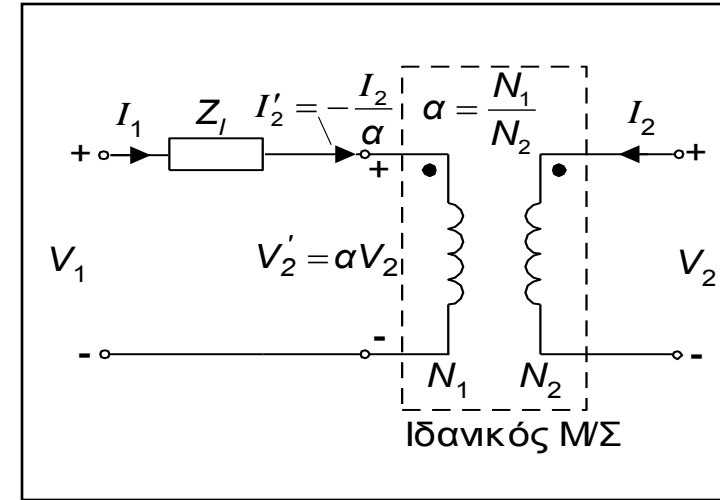
$$|Z_{b1}|_{1\Phi} = \frac{|V_{b1}|_{1\Phi}^2}{|S_b|_{1\Phi}} = \frac{a^2 |V_{b2}|_{1\Phi}^2}{|S_b|_{1\Phi}} = a^2 |Z_{b2}|_{1\Phi}$$

ΟΠΟΤΕ

$$V_{2pu} = \frac{V_2}{|V_{b2}|_{1\Phi}} = \frac{aV_2}{a |V_{b2}|_{1\Phi}} = \frac{V'_2}{|V_{b1}|_{1\Phi}} = V'_{2pu}$$

$$I_{2pu} = \frac{I_2}{|I_{b2}|_{1\Phi}} = \frac{I_2/a}{|I_{b2}|_{1\Phi}/a} = \frac{-I'_2}{|I_{b1}|_{1\Phi}} = -I'_{2pu}$$

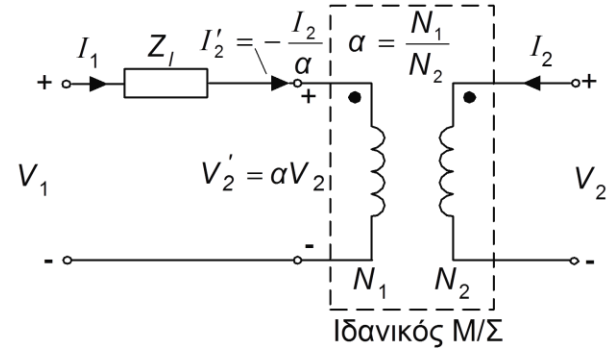
$$Z_{1pu} = \frac{Z_1}{|Z_{b1}|_{1\Phi}} = \frac{Z_1}{a^2 |Z_{b2}|_{1\Phi}} = \frac{Z'_1}{|Z_{b2}|_{1\Phi}} = Z'_{1pu}$$



Π-ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

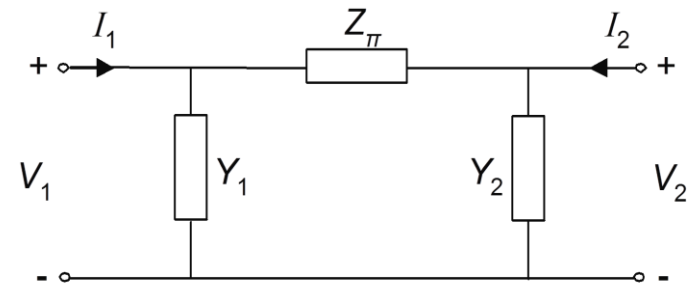
$$I_1 = \left(\frac{1}{Z_1}\right) V_1 - \left(\frac{a}{Z_1}\right) V_2$$

$$I_2 = -aI_1 = -\frac{a}{Z_1} V_1 + \left(\frac{a^2}{Z_1}\right) V_2$$



$$I_1 = \left(\frac{1}{Z_\pi} + Y_1\right) V_1 - \left(\frac{1}{Z_\pi}\right) V_2$$

$$I_2 = -\frac{1}{Z_\pi} V_1 + \left(\frac{1}{Z_\pi} + Y_2\right) V_2$$



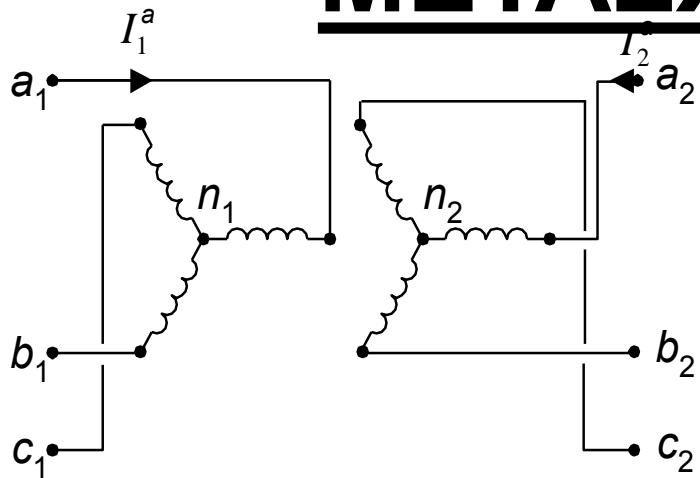
$$Z_\pi = \frac{Z_1}{a} = aZ_1'$$

$$Y_1 = \frac{1}{Z_1} (1-a) = \frac{1}{Z_1'} \frac{1-a}{a^2}$$

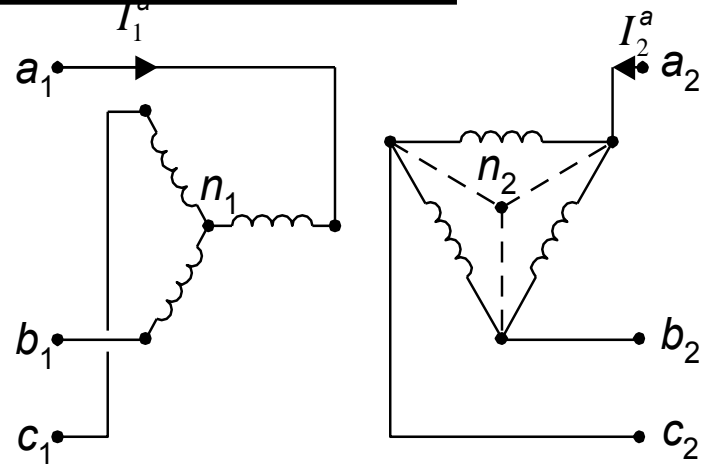
$$Y_2 = \frac{1}{Z_1} a(a-1) = -aY_1 = \frac{1}{Z_1'} \frac{a-1}{a}$$



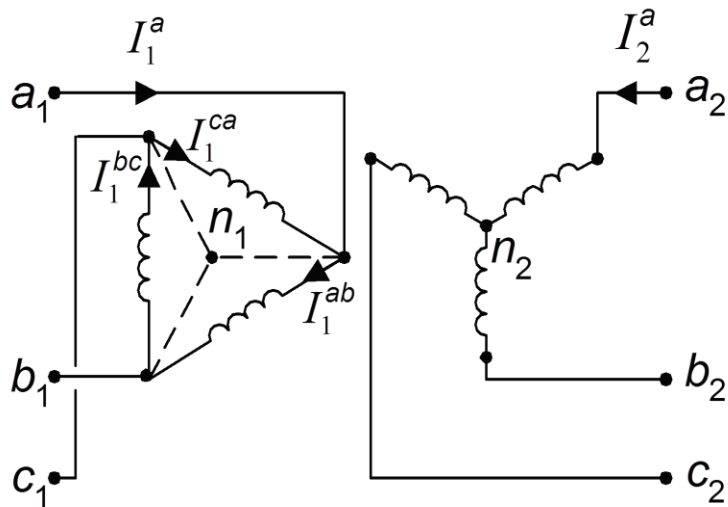
ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ



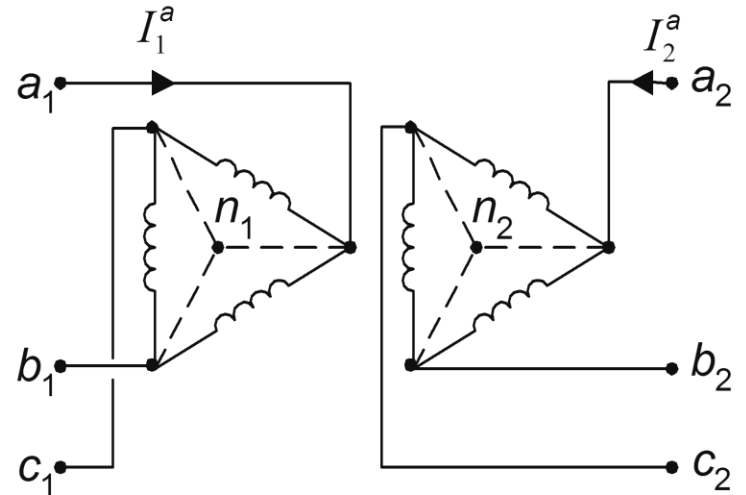
Υ-Υ συνδεσμολογία



Υ-Δ συνδεσμολογία



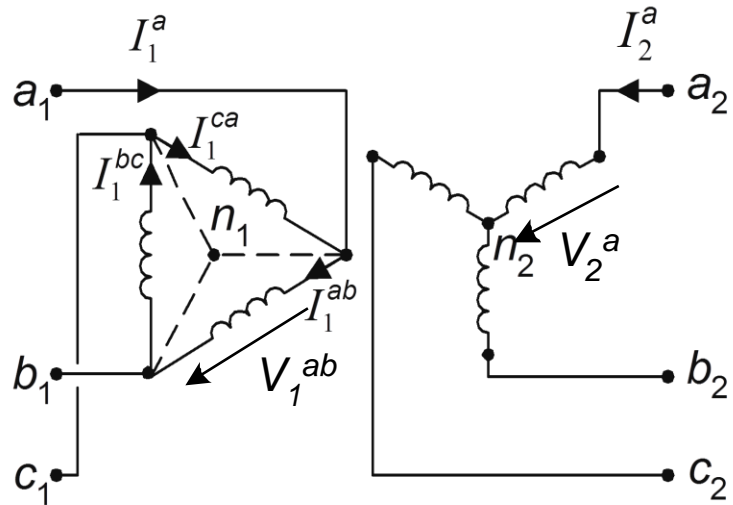
Δ-Υ συνδεσμολογία



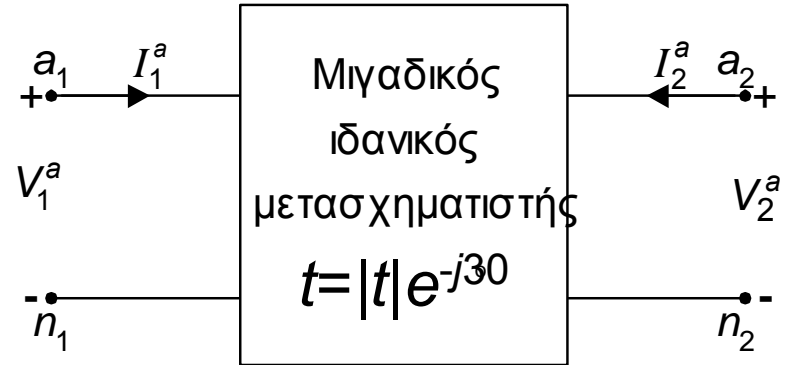
Δ-Δ συνδεσμολογία



Ο ΜΙΓΑΔΙΚΟΣ ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ



Δ-Υ συνδεσμολογία



$$\frac{\sqrt{3}V_1^a e^{j30^\circ}}{V_2^a} = \frac{V_1^{ab}}{V_2^a} = \frac{N_1}{N_2} \longrightarrow$$

$$\frac{V_1^a}{V_2^a} = \frac{N_1}{N_2 \sqrt{3}} e^{-j30^\circ} = \frac{a}{\sqrt{3}} e^{-j30^\circ} = t$$

Κατά παρόμοιο τρόπο \longrightarrow

$$\frac{I_1^a}{I_2^a} = -\frac{N_2}{N_1} \sqrt{3} e^{-j30^\circ} = -\frac{1}{t^*}$$



ΛΟΓΟΣ ΦΑΣΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ, t ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ Υ-Υ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΩΝ

Συνδεσμολογία
μετασχηματιστή

$$t = V_1^a / V_2^a$$

Υ-Υ

$$N_1 : N_2 = a$$

Υ-Δ

$$(N_1 : N_2 / \sqrt{3}) e^{-j30^\circ} = \sqrt{3} a e^{-j30^\circ}$$

Δ-Υ

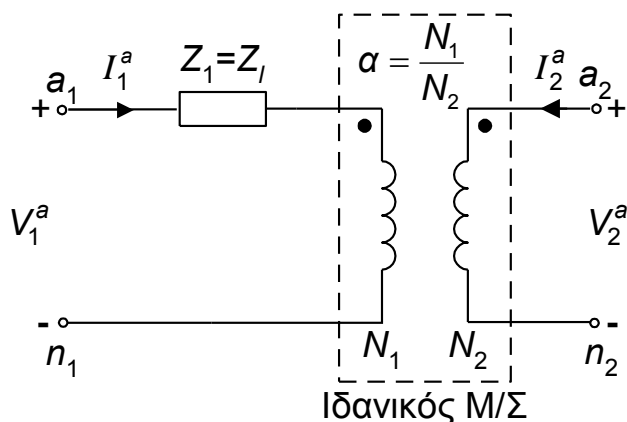
$$(N_1 / \sqrt{3} : N_2) e^{-j30^\circ} = \frac{a}{\sqrt{3}} e^{-j30^\circ}$$

Δ-Δ

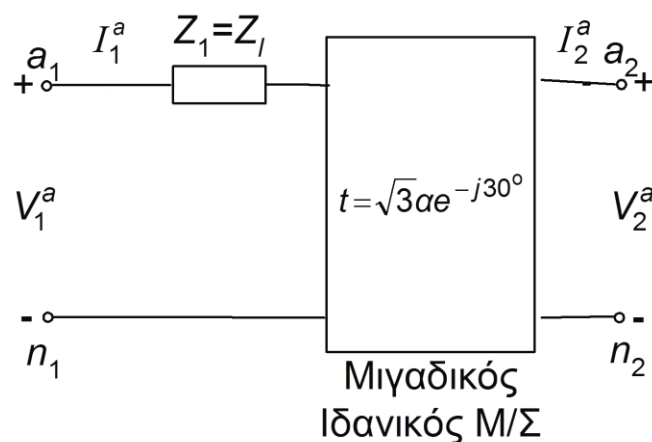
$$(N_1 / \sqrt{3} : N_2 / \sqrt{3}) = a$$



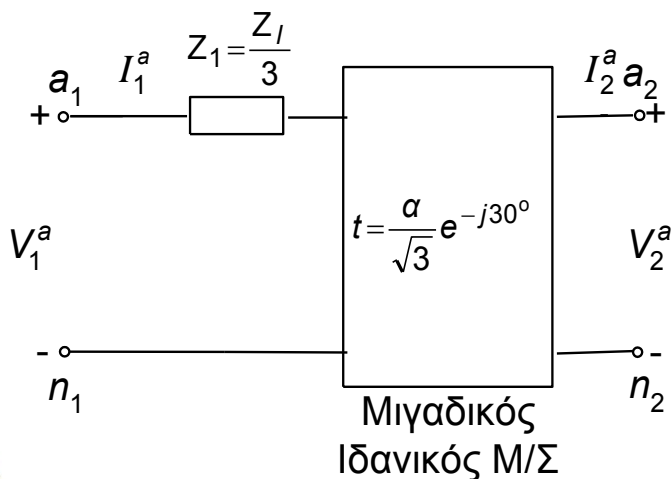
ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ



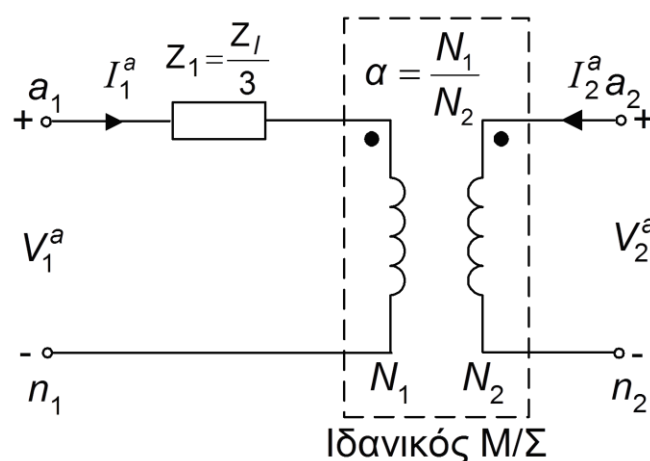
Υ-Υ συνδεσμολογία



Υ-Δ συνδεσμολογία



Δ-Υ συνδεσμολογία

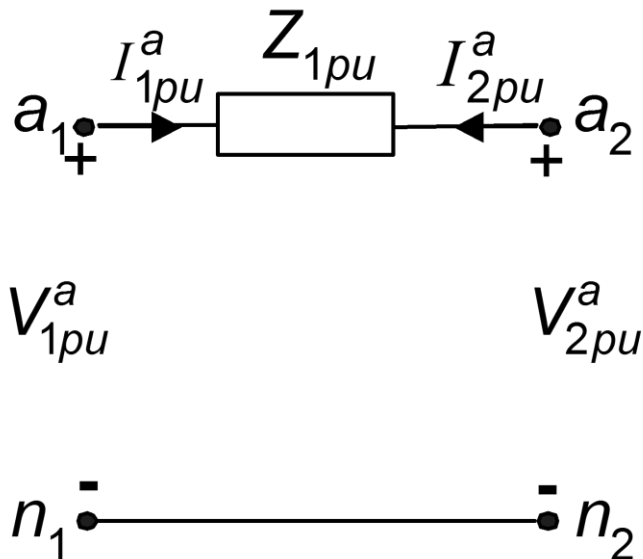


Δ-Δ συνδεσμολογία

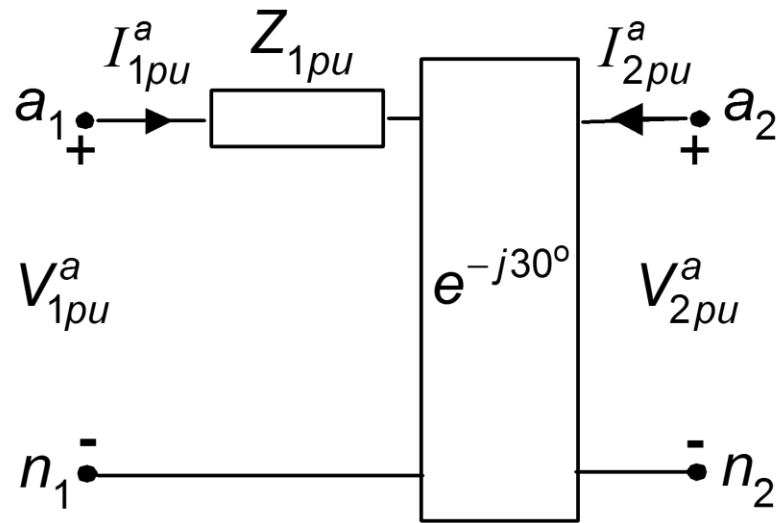


ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

$$\frac{|V_{b1}|_{1\Phi}}{|V_{b2}|_{1\Phi}} = \begin{cases} a & \text{για τις } Y-Y \text{ και } \Delta-\Delta \text{ συνδεσμολογίες} \\ \sqrt{3}a & \text{για τη } Y-\Delta \text{ συνδεσμολογία} \\ a/\sqrt{3} & \text{για τη } \Delta-Y \text{ συνδεσμολογία} \end{cases}$$



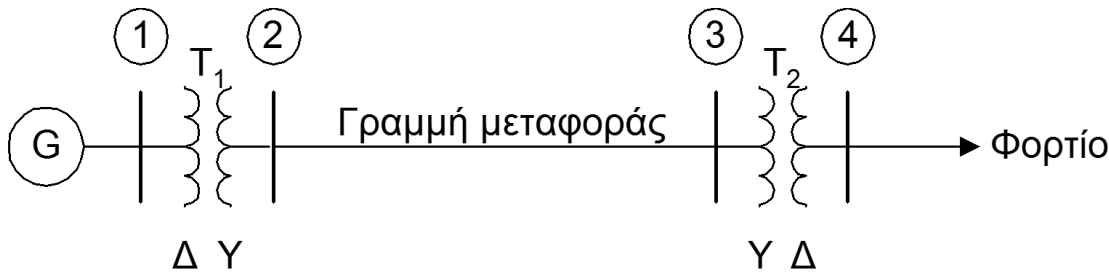
Y-Y, Δ-Δ συνδεσμολογίες



Y-Δ, Δ-Y συνδεσμολογίες



Παράδειγμα 3(I)



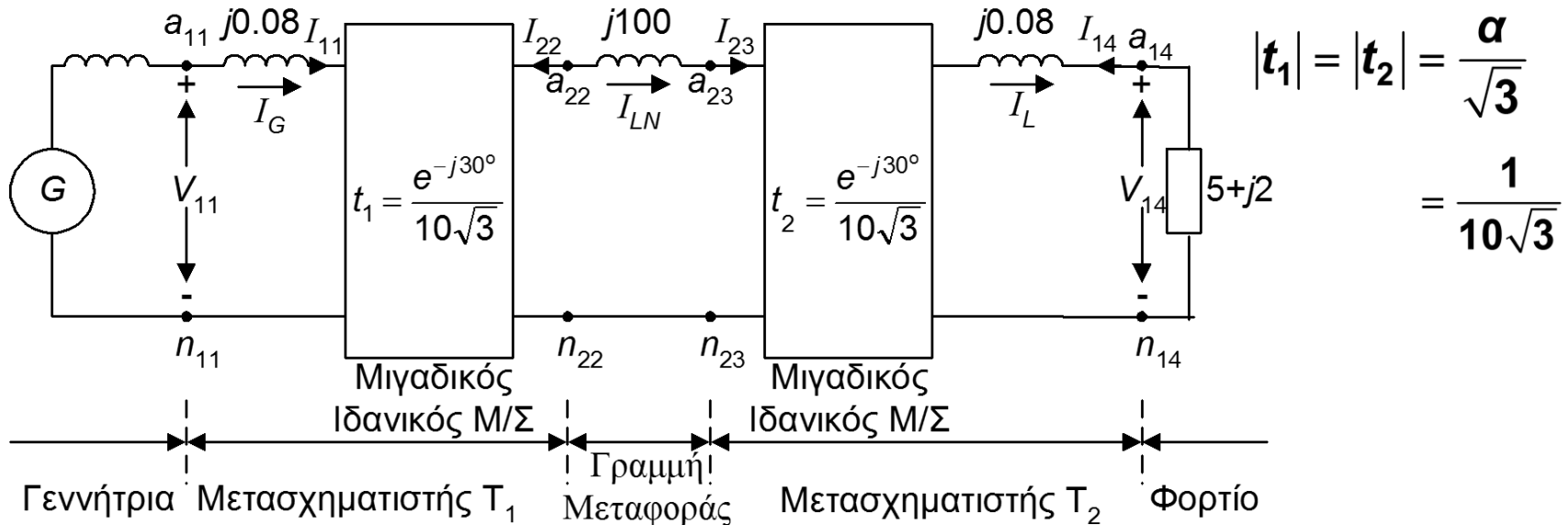
$$Z_L = 5 + j2 \ \Omega$$

$$Z_{LN} = j100 \ \Omega$$

$$|V_1| = 13.2 \text{ kV}$$

$$X_l = 0.24 \ \Omega, \quad \alpha = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{10}$$

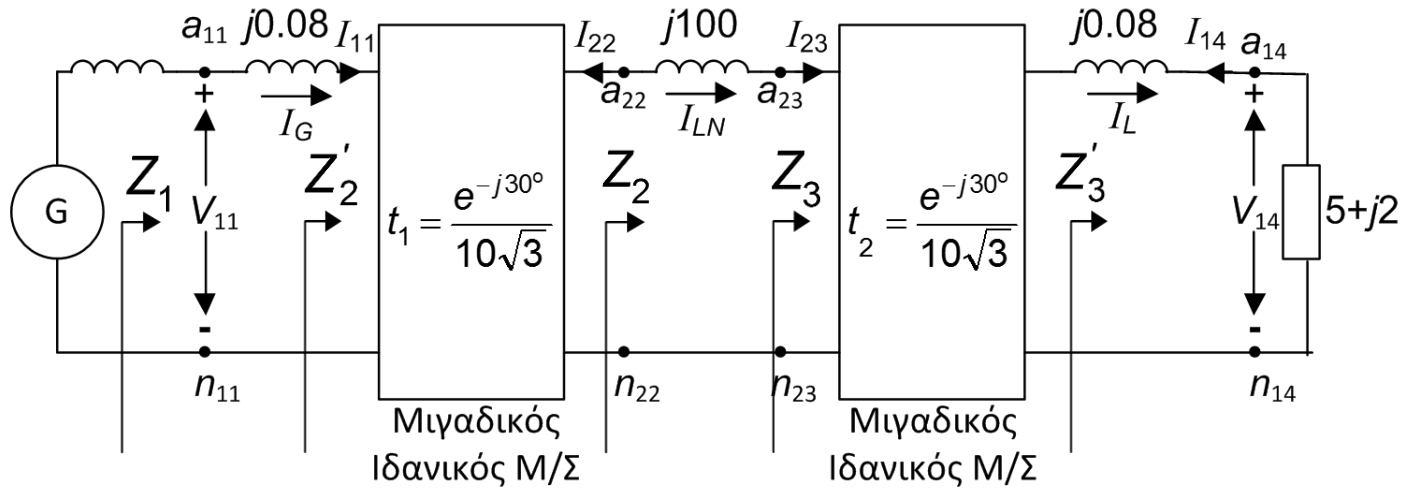
Να βρεθούν τα ρεύματα I_G , I_{LN} , I_L και η ισχύς φορτίου S_L



$$|t_1| = |t_2| = \frac{\alpha}{\sqrt{3}} = \frac{1}{10\sqrt{3}}$$



Παράδειγμα 3(II)



$$\mathbf{Z'_3 = 5 + j2 + j0.08 = 5 + j2.08 \ \Omega}$$

$$\mathbf{Z_3 = \frac{Z'_3}{|t_2|^2} = (10\sqrt{3})^2 (5 + j2.08) = 1500 + j624 \ \Omega}$$

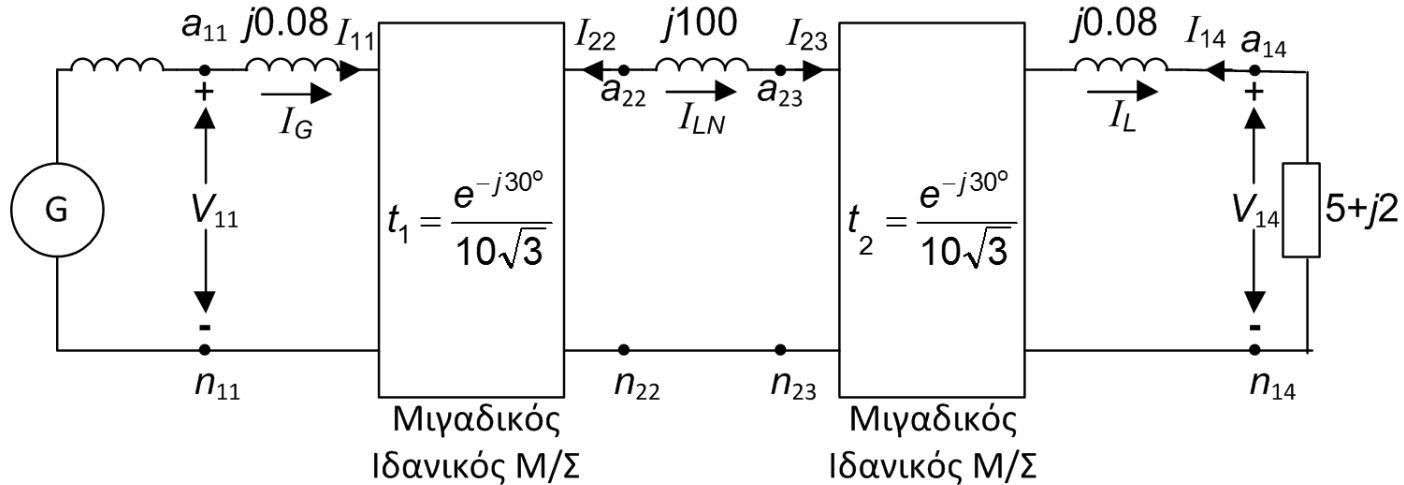
$$\mathbf{Z_2 = Z_3 + j100 = 1500 + j724 \ \Omega}$$

$$\mathbf{Z'_2 = |t_1|^2 Z_2 = \left(\frac{1}{10\sqrt{3}}\right)^2 (1500 + j724) = 5 + j2.413 \ \Omega}$$

$$\mathbf{Z_1 = Z'_2 + j0.08 = 5 + j2.493 = 5.59 \angle 26.5^\circ \ \Omega}$$



Παράδειγμα 3(III)



$$I_G = \frac{V_{11}}{Z_1} = \frac{(13200 / \sqrt{3}) \angle 0^\circ}{5.59 \angle 26.5^\circ} = 1363.15 \angle -26.5^\circ \text{ A}$$

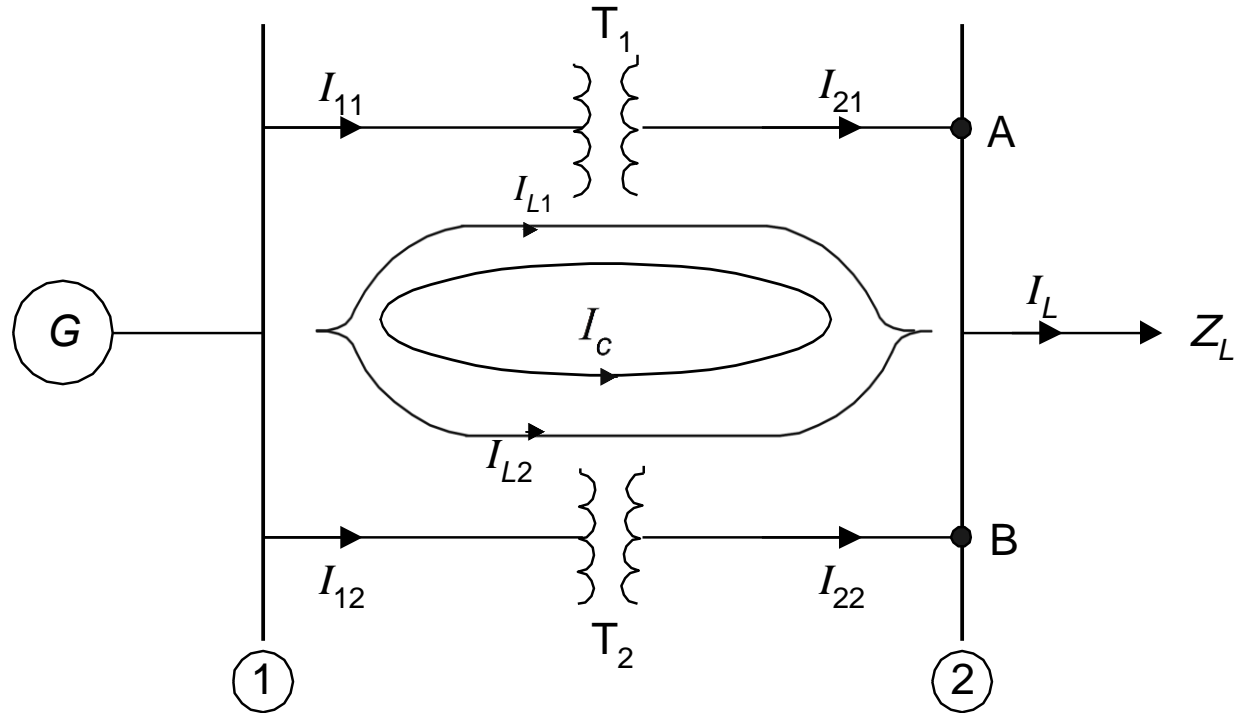
$$I_{LN} = t_1^* I_G = \left(\frac{1}{10\sqrt{3}} e^{j30^\circ} \right) (1363.15 \angle -26.5^\circ) = 78.7 \angle 3.5^\circ \text{ A}$$

$$I_L = \frac{I_{LN}}{t_2^*} = \left(10\sqrt{3} e^{-j30^\circ} \right) (78.7 \angle 3.5^\circ) = 1363.15 \angle -26.5^\circ \text{ A}$$

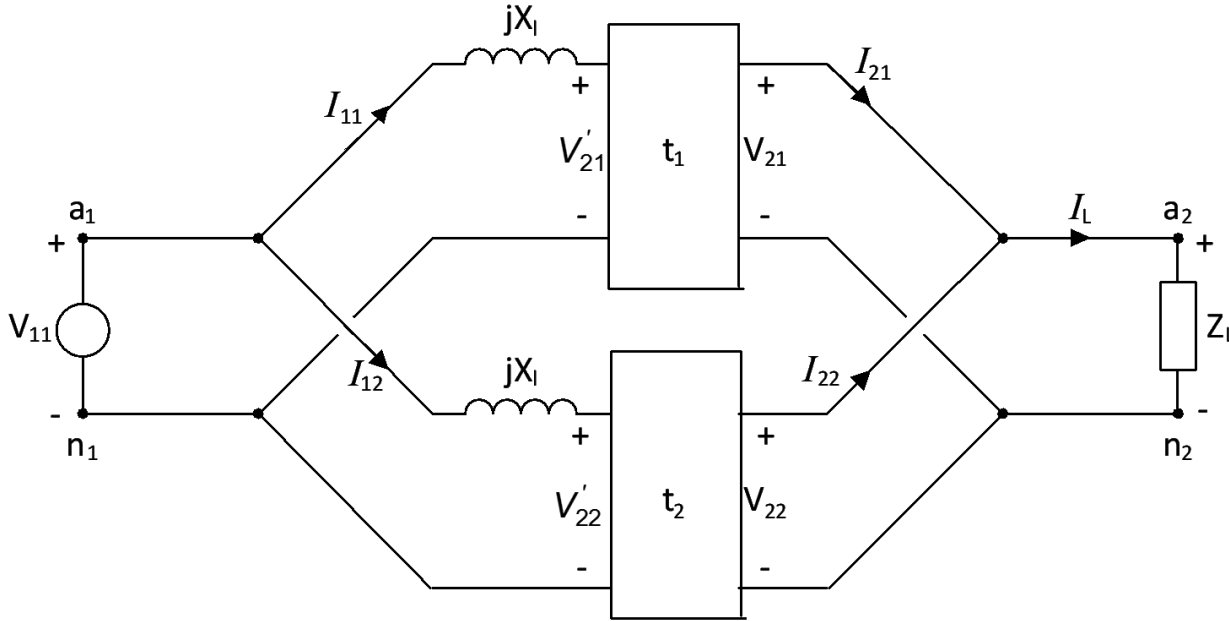
$$S_L = Z_L |I_L|^2 = (5 + j2)(1363.15)^2 = 10 \angle 21.8^\circ \text{ MVA}$$



ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ



Παράδειγμα 4(I)



$$|V_{11}| = 13.2 \text{ kV}$$

$$X_l = 0.1 \Omega$$

$$Z_L = 100 + j80 \Omega$$

$$V_{11} = \frac{(t_1 Z_L + j \frac{X_l}{*}) I_{21} + t_1 Z_L I_{22}}{t_1}$$

$$V_{11} = \frac{t_2 Z_L I_{21} + (t_2 Z_L + j \frac{X_l}{*}) I_{22}}{t_2}$$



Παράδειγμα 4(II)

$$T_1 : Y - Y, \alpha_1 = 1:10 \Rightarrow t_1 = 1:10$$

$$T_2 : Y - Y, \alpha_2 = 1:16 \Rightarrow t_2 = 1:16$$

$$I_{21} = 1789.88 \angle 69.38^\circ \text{ A}$$

$$I_{22} = 2451.72 \angle -84.23^\circ \text{ A}$$

$$I_L = 1162 \angle -41.08^\circ \text{ A}$$

$$T_1 : Y - Y, \alpha_1 = 1:10 \Rightarrow t_1 = 1:10$$

$$T_2 : Y - \Delta, \alpha_2 = 1:10\sqrt{3} \Rightarrow t_2 = 1 / \left(10e^{j30^\circ} \right)$$

$$I_{21} = 3062.50 \angle -159.1^\circ \text{ A}$$

$$I_{22} = 3799.56 \angle 10.25^\circ \text{ A}$$

$$I_L = 971 \angle -25.36^\circ \text{ A}$$

$$T_1 : Y - Y, \alpha_1 = 1:10 \Rightarrow t_1 = 1:10$$

$$T_2 : Y - Y, \alpha_2 = 1:10 \Rightarrow t_2 = 1:10$$

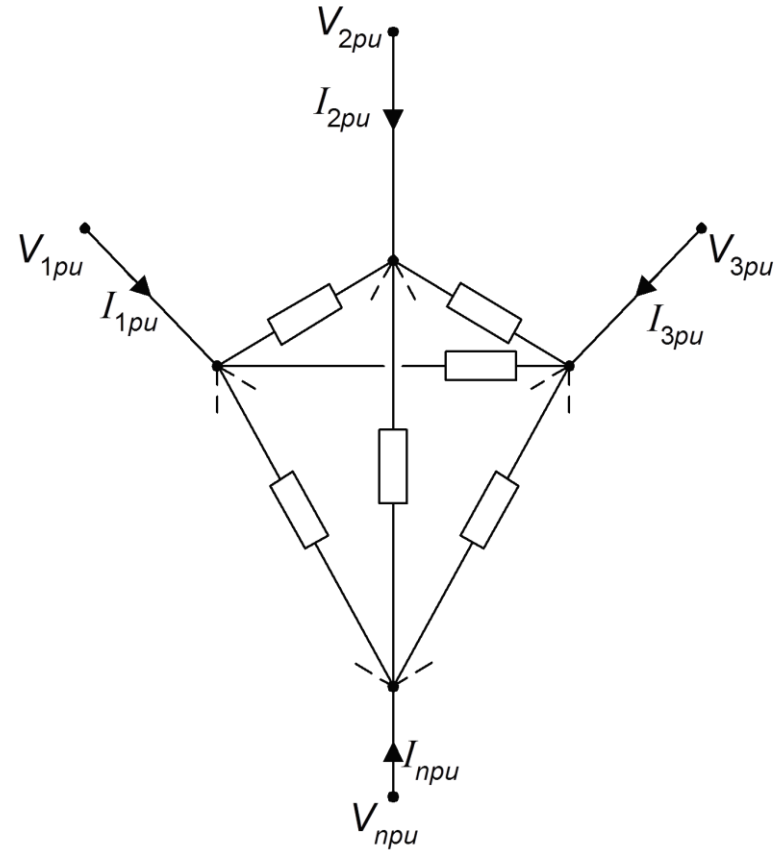
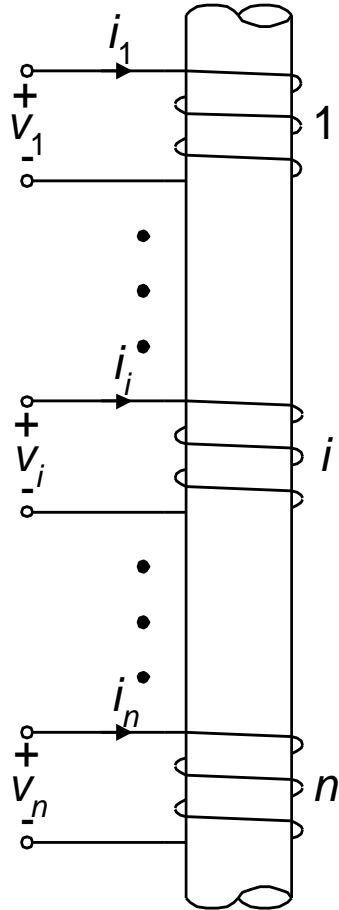
$$I_{21} = 502.89 \angle -40.36^\circ \text{ A}$$

$$I_{22} = 502.89 \angle -40.36^\circ \text{ A}$$

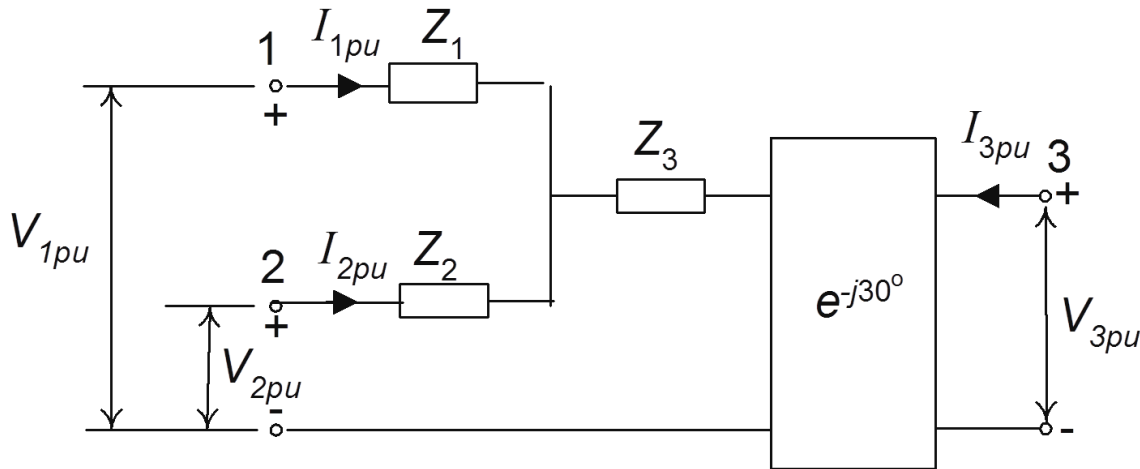
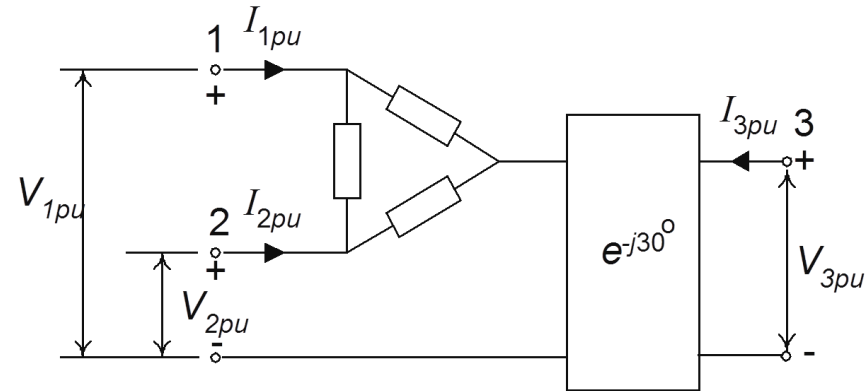
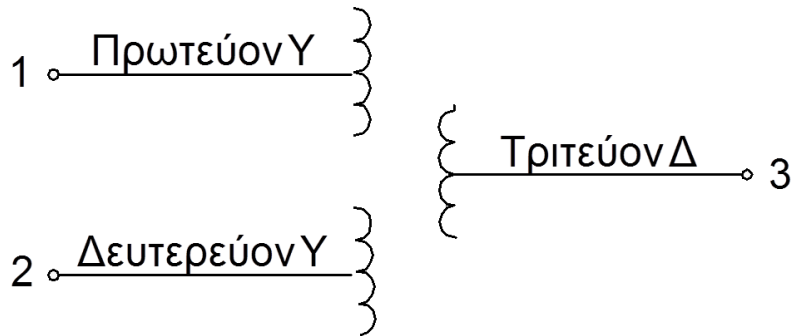
$$I_L = 1005.8 \angle -40.36^\circ \text{ A}$$



ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΠΟΛΛΩΝ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ



ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΤΡΙΩΝ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ



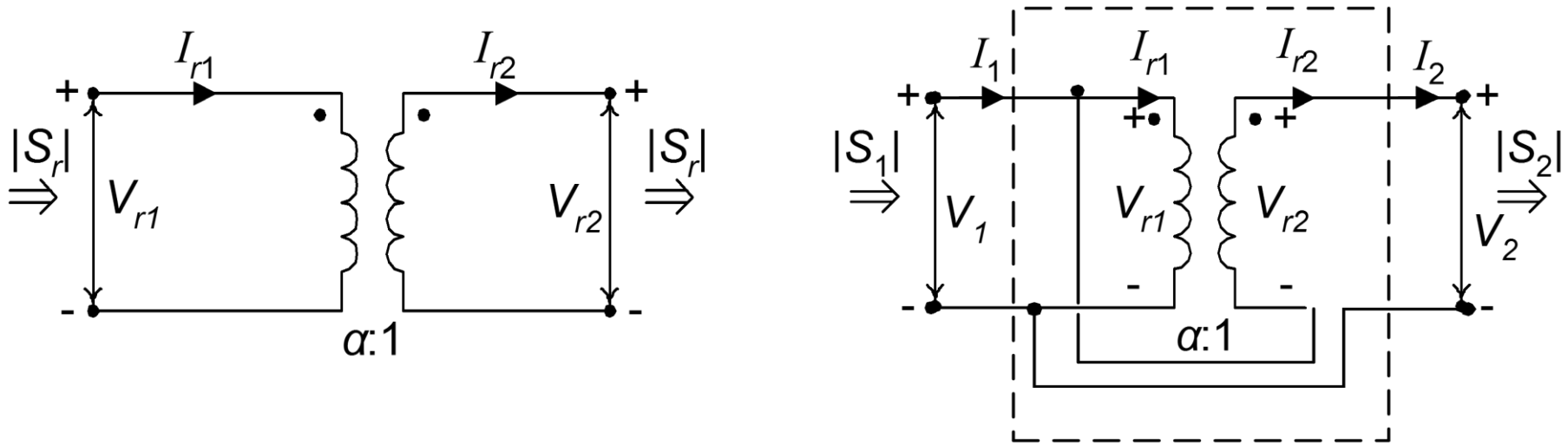
$$Z_1 = \frac{1}{2}(Z_{12} + Z_{13} - Z_{23})$$

$$Z_2 = \frac{1}{2}(Z_{12} + Z_{23} - Z_{13})$$

$$Z_3 = \frac{1}{2}(Z_{13} + Z_{23} - Z_{12})$$



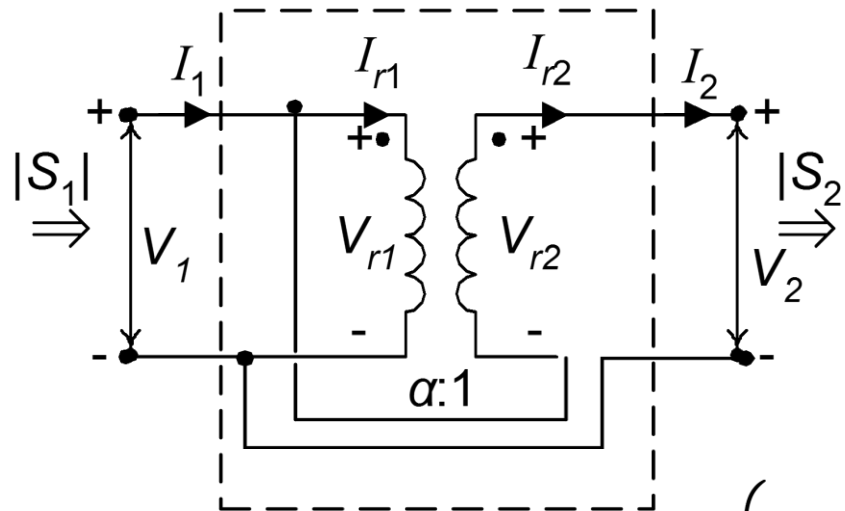
ΑΥΤΟΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ (I)



- Χαμηλότερο κόστος
- Μικρότερο μέγεθος
- Μικρότερο βάρος
- Υψηλότερη απόδοση
- Καλύτερη ρύθμιση τάσης



ΑΥΤΟΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ (II)



$$|S_1| = |V_1| |I_1| = |V_{r1}| (|I_{r1}| + |I_{r2}|) = |V_{r1}| |I_{r1}| \left(1 + \frac{|I_{r2}|}{|I_{r1}|} \right) = |S_r| (1 + a)$$

$$|S_2| = |V_2| |I_2| = (|V_{r1}| + |V_{r2}|) |I_{r2}| = |V_{r2}| |I_{r2}| \left(1 + \frac{|V_{r1}|}{|V_{r2}|} \right) = |S_r| (1 + a)$$

$$a' = \frac{|V_1|}{|V_2|} = \frac{|V_{r1}|}{|V_{r1}| + |V_{r2}|} = \frac{|V_{r1}| / |V_{r2}|}{|V_{r1}| / |V_{r2}| + 1} = \frac{a}{a + 1}$$

$$|Z_{bnew}| = \frac{|V_2|^2}{|S_2|} = \frac{(1 + a)^2 |V_{r2}|^2}{(1 + a) |S_r|} = (1 + a) |Z_{bold}|$$



Παράδειγμα 5

$$|I_{r1}| = \frac{|S_r|}{|V_{r1}|} = \frac{60}{2.4} = 25 \text{ A}$$

$$|I_{r2}| = \frac{|S_r|}{|V_{r2}|} = \frac{60}{0.24} = 250 \text{ A}$$

$$|V_2| = |V_{r1}| + |V_{r2}| = 0.24 + 2.4 = 2.64 \text{ kV}$$

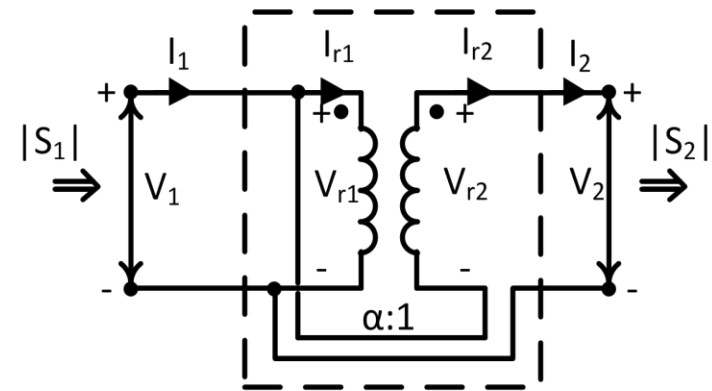
$$|I_1| = |I_{r1}| + |I_{r2}| = 25 + 250 = 275 \text{ A}$$

$$|S_1| = |V_1| |I_1| = 2.4 \times 275 = 660 \text{ kVA}$$

$$|S_2| = |V_2| |I_2| = 2.64 \times 250 = 660 \text{ kVA}$$

$$P_2 = |S_2| \cos \varphi = 660 \times 0.8 = 528 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\alpha\pi}} \times 100 = \frac{528}{528 + 1.004} \times 100 = 99.81\%$$



60 kVA, 2.4 / 0.24 kV

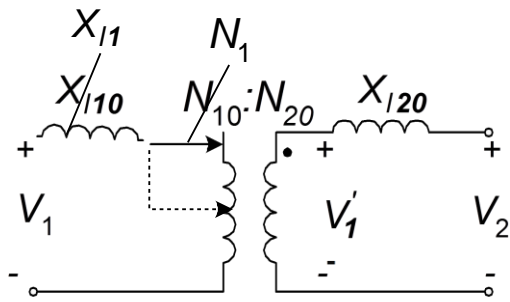
$\Sigma I = 0.8$

$P_{\alpha\pi} = 1.004 \text{ kW}$

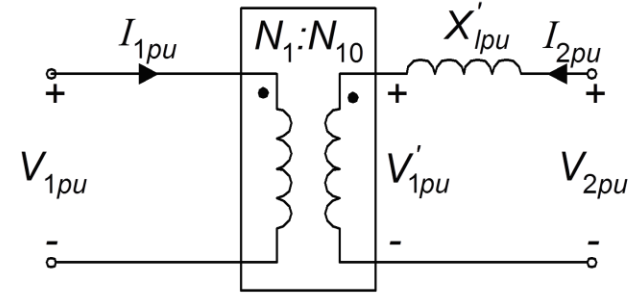
**Να βρεθεί η απόδοση
του αυτομετασχηματιστή**



ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΜΕ ΜΗ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΛΟΓΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ



$$\frac{X_{l1}}{X_{l10}} = \left(\frac{N_1}{N_{10}} \right)^2$$



Ιδανικός Μ/Σ

$$a_0 = \frac{N_{10}}{N_{20}} \longrightarrow X'_{10} = X_{l20} + \frac{X_{l10}}{a_0^2} = X_{l20} + \left(\frac{N_{20}}{N_{10}} \right)^2 X_{l10}$$

$$a = \frac{N_1}{N_{20}} \longrightarrow X'_1 = X_{l20} + \frac{X_{l1}}{a^2} = X_{l20} + \left(\frac{N_{20}}{N_1} \right)^2 \left(\frac{N_1}{N_{10}} \right)^2 X_{l10} = X'_{10}$$

Η X_l αναφερόμενη στο δευτερεύον είναι σταθερή και ανεξάρτητη της λήψης πρωτεύοντος

$$A_V \frac{|V_{b1}|_{1\Phi}}{|V_{b2}|_{1\Phi}} = \frac{N_{10}}{N_{20}} = a_0 \longrightarrow |Z_{b1}|_{1\Phi} = \frac{|V_{b1}|_{1\Phi}^2}{|S_b|_{1\Phi}} = \frac{a_0^2 |V_{b2}|_{1\Phi}^2}{|S_b|_{1\Phi}} = a_0^2 |Z_{b2}|_{1\Phi}$$

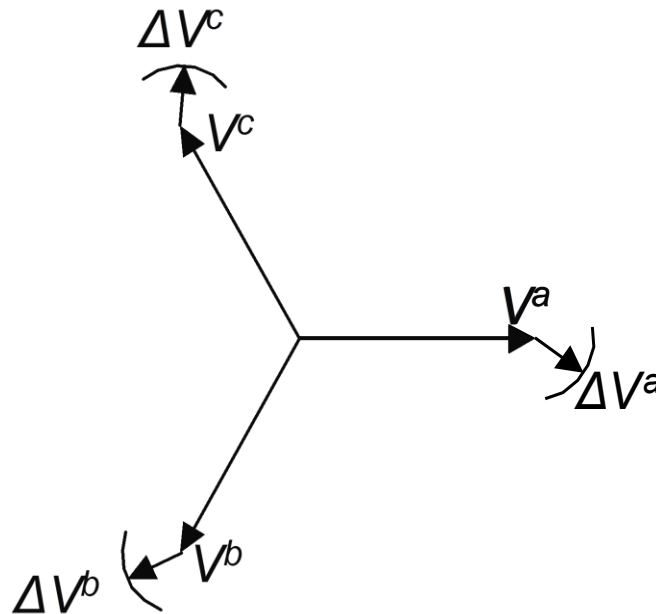
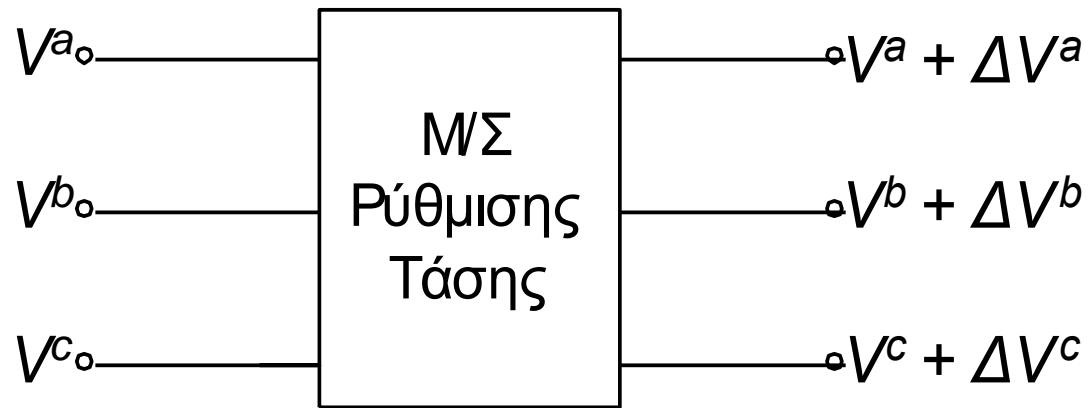
$$V_{1pu} = \frac{V_1}{|V_{b1}|_{1\Phi}} = \frac{V_1/a}{|V_{b1}|_{1\Phi}/a} = \frac{V'_1}{|V_{b2}|_{1\Phi} (a_0/a)} = \frac{N_1}{N_{10}} V'_{1pu}$$

$$X'_{1pu} = \frac{X'_1}{|Z_{b2}|_{1\Phi}} = \frac{X'_{10}}{|Z_{b2}|_{1\Phi}} = \frac{X_{l20}}{|Z_{b2}|_{1\Phi}} + \frac{X_{l10}}{a_0^2 |Z_{b2}|_{1\Phi}} = X_{l20pu} + X_{l10pu}$$

Η X'_{1pu} είναι σταθερή, ανεξάρτητη της λήψης και ίση με το άθροισμα των αντιδρ. σκέδασης πρωτ.-δευτ. ανηγμένων στις αντίστοιχες βάσεις

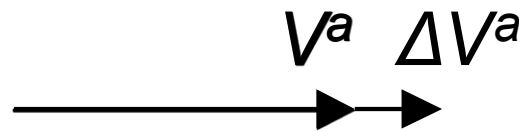
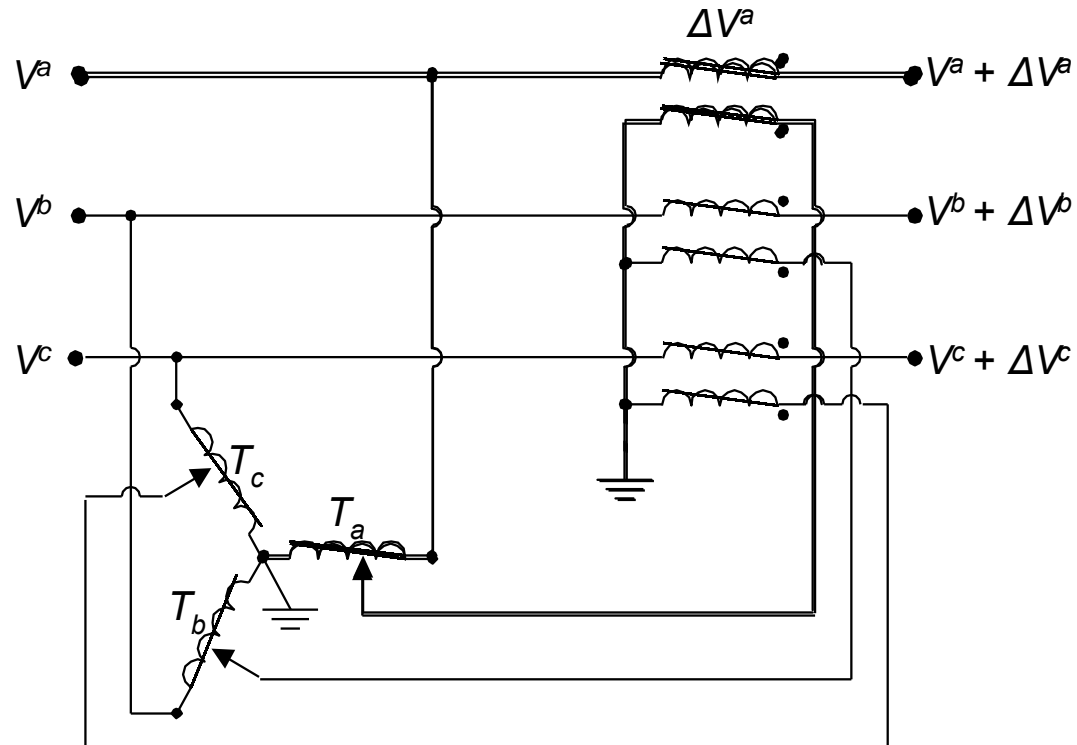


ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΤΑΣΗΣ



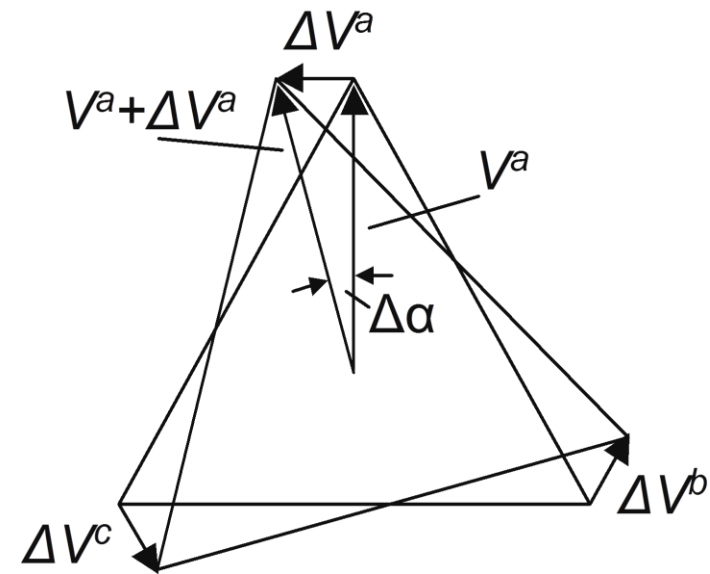
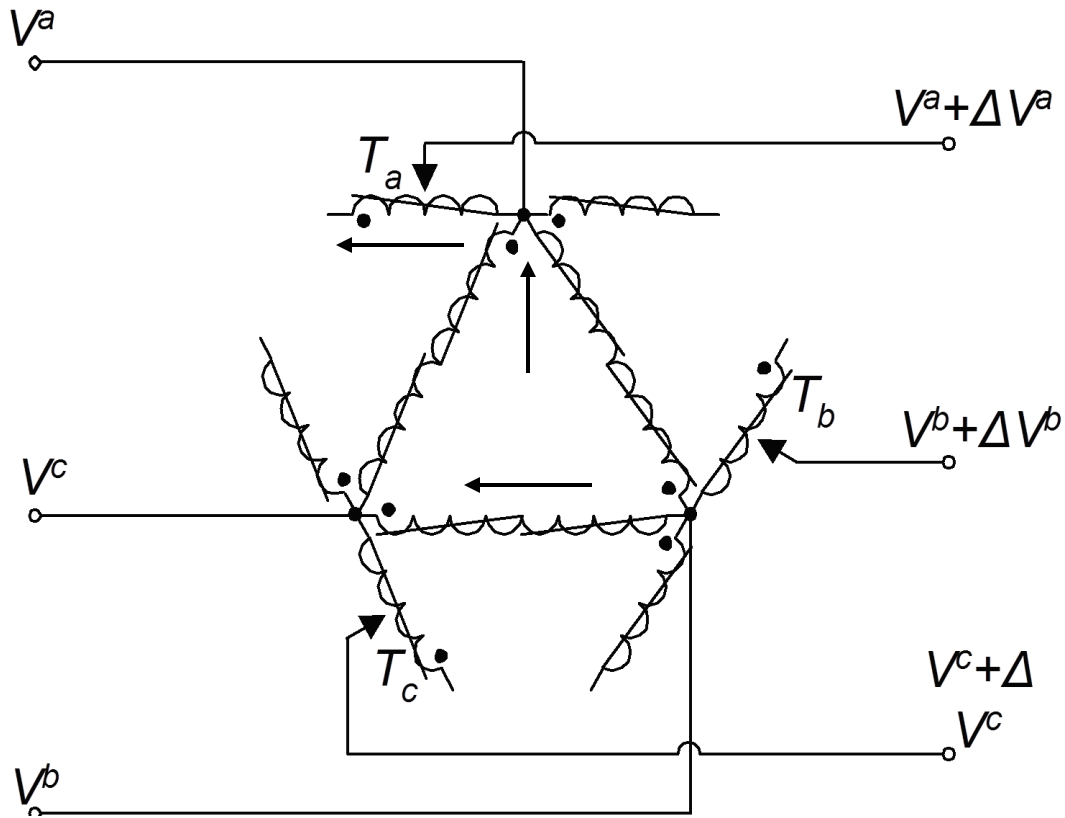
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

ΜΕΤΡΟΥ ΤΑΣΗΣ

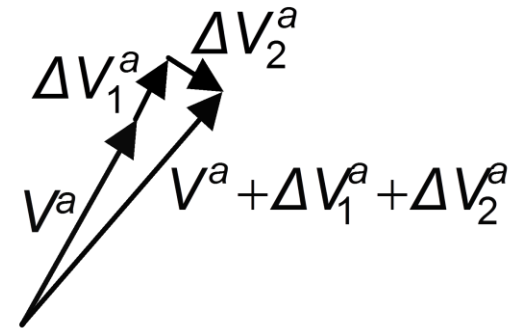
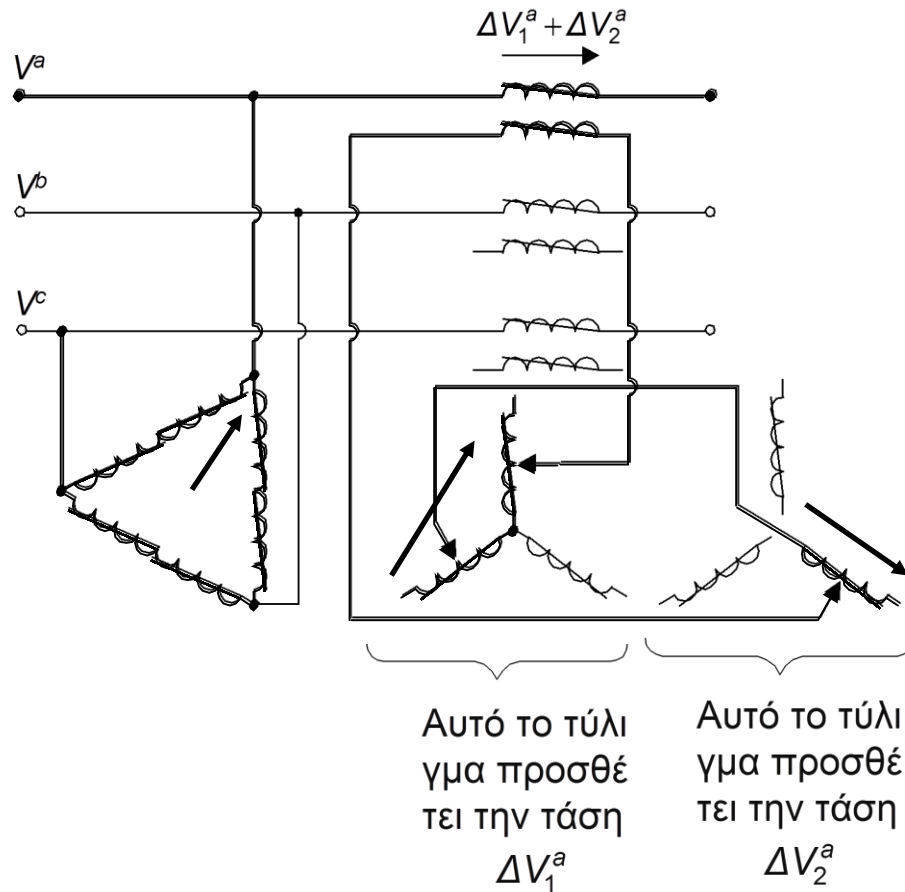


ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

ΦΑΣΙΚΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΤΑΣΗΣ



ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΦΑΣΙΚΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΤΑΣΗΣ



Βιβλιογραφία

- Όλα τα σχήματα, οι εικόνες και τα γραφήματα που παρουσιάστηκαν σε αυτή την ενότητα είναι από το βιβλίο «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Γ.Β. Γιαννακόπουλος, Ν.Α. Βοβός, Εκδόσεις ΖΗΤΗ.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

