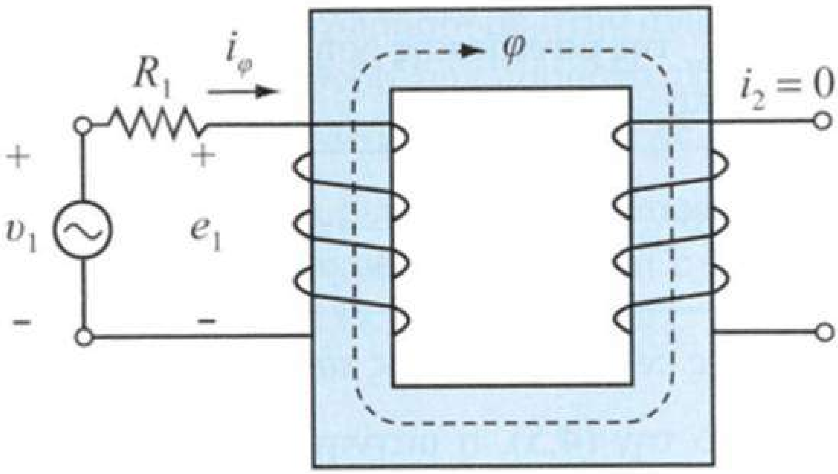
Μονοφασικός Μετασχηματιστής

- Μία από τις κυριότερες αιτίες για τη γενικευμένη επικράτηση του Εναλλασσόμενου Ρεύματος (ΕΡ) στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) είναι η ευκολία **αλλαγής του επιπέδου τάσης** χωρίς σημαντικές απώλειες, μέσω των μετασχηματιστών (Μ/Σ)
- Η αλλαγή του επιπέδου τάσης εξυπηρετεί σημαντικά τη **Μεταφορά (σε Υψηλή Τάση για μειωμένες απώλειες)** και τη **Χρήση** της ηλεκτρικής ενέργειας **(σε Χαμηλή Τάση για λόγους ασφάλειας)**

Λειτουργία σε Κενό Φορτίο – Ρεύμα Διέγερσης



$$e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$u_1 = e_1 + R_1 \cdot i_\varphi$$

$$R_1 \cdot i_\varphi \approx 0$$

$$u_1 = e_1$$

$$u_1 = \sqrt{2} \cdot E_1 \cdot \cos \omega \cdot t$$

$$e_1 = N_1 \cdot \frac{d\varphi}{dt}$$

Λειτουργία σε Κενό Φορτίο – Ρεύμα Διέγερσης

$$N_1 \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \sqrt{2} \cdot E_1 \cdot \cos\omega \cdot t \Rightarrow \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\sqrt{2} \cdot E_1}{N_1} \cdot \cos\omega \cdot t \Rightarrow$$

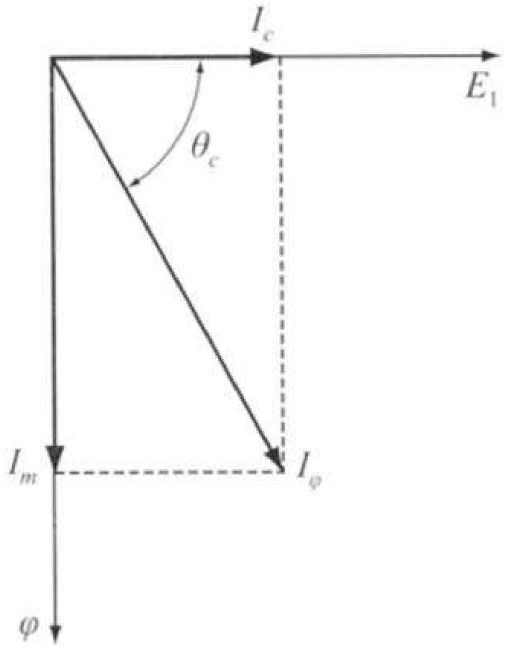
$$\varphi(t) = \frac{\sqrt{2} \cdot E_1}{N_1 \cdot \omega} \cdot \sin\omega \cdot t = \Phi_{\max} \cdot \sin\omega \cdot t$$

$$\varphi(t) = \frac{\sqrt{2} \cdot E_1}{N_1 \cdot \omega} \cdot \sin\omega \cdot t = \Phi_{\max} \cdot \sin\omega \cdot t$$

$$\Phi_{\max} = \frac{\sqrt{2} \cdot E_1}{N_1 \cdot \omega} = \frac{E_1}{\left(\frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}}\right) \cdot f \cdot N_1} \Rightarrow$$

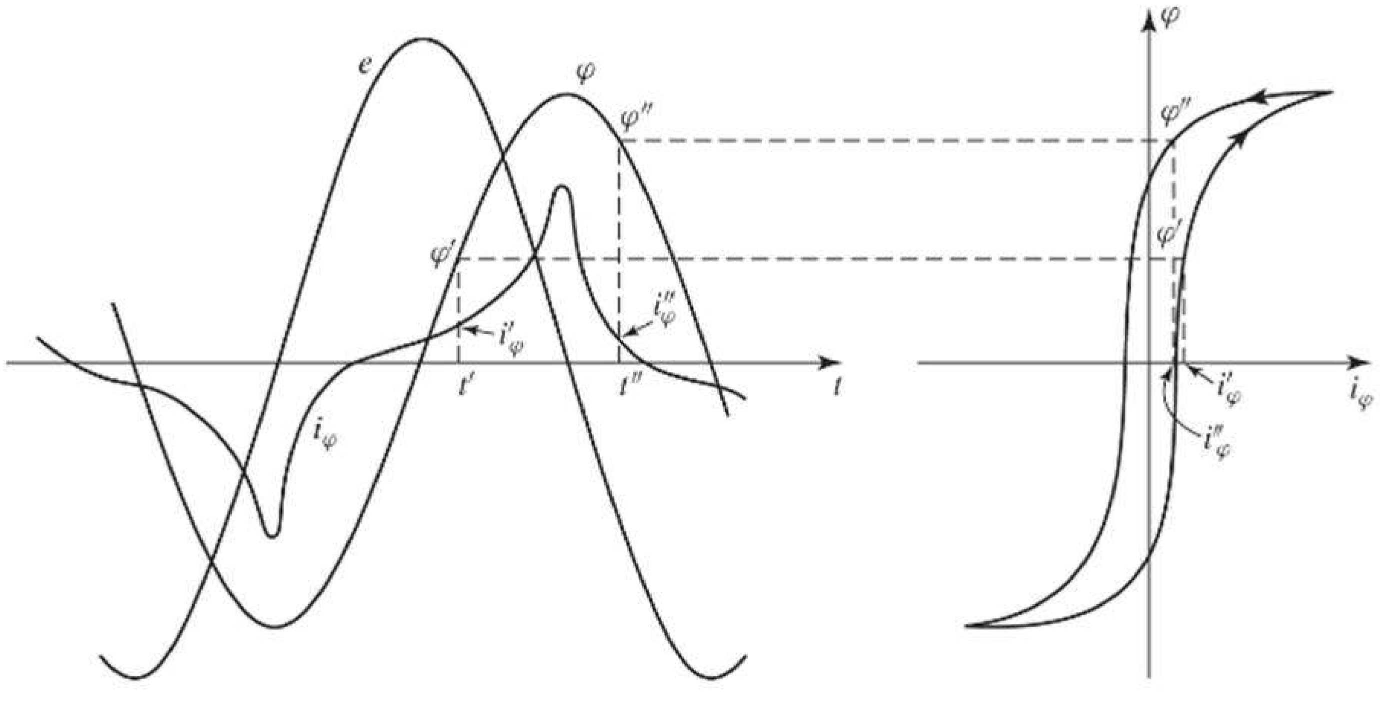
$$\boxed{\Phi_{\max} = \frac{E_1}{4{,}44 \cdot f \cdot N_1}}$$

Λειτουργία σε Κενό Φορτίο – Ρεύμα Διέγερσης



- I_c (σε A): ρεύμα απωλειών πυρήνα
- I_m (σε A): ρεύμα μαγνήτισης
- θ_c: γωνία απωλειών πυρήνα
- I_φ (σε A): ρεύμα διέγερσης

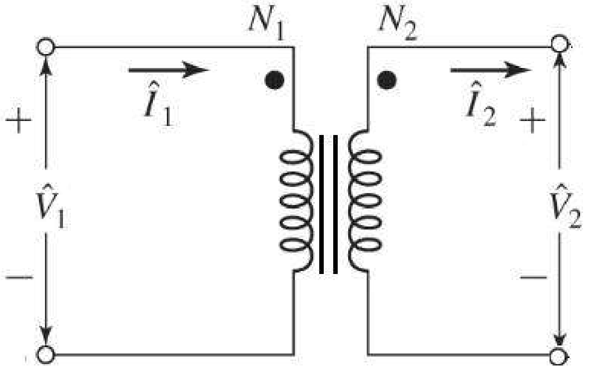
Λειτουργία σε Κενό Φορτίο – Ρεύμα Διέγερσης



Ιδανικός Μετασχηματιστής

Για τον ιδανικό Μ/Σ υποθέτουμε ότι ισχύουν οι παρακάτω παραδοχές:

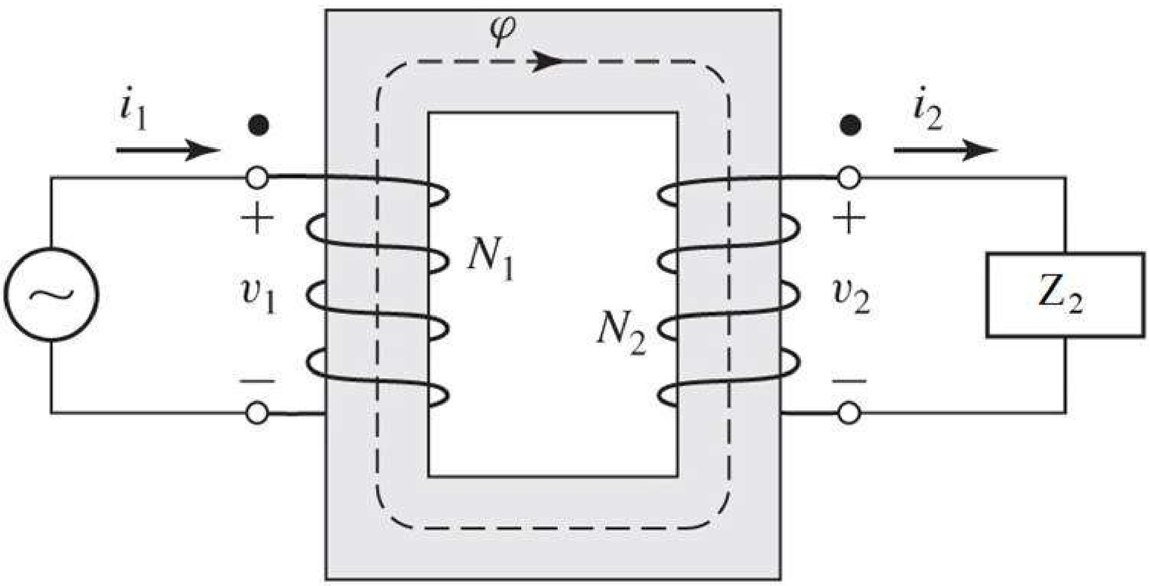
1. Οι ωμικές αντιστάσεις R_1 και R_2 των δύο τυλιγμάτων είναι αμελητέες (**$R_1 \approx 0, R_2 \approx 0$**)
2. Η μαγνητική ροή του πυρήνα εμπλέκει εξίσου και τα δύο τυλίγματα (**$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$**)
3. Οι απώλειες του πυρήνα αμελούνται (**$I_c \approx 0$**)
4. Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του πυρήνα είναι τόσο μεγάλη ($\mu_r \to \infty$), ώστε η μαγνητική του αντίσταση θεωρείται αμελητέα ($R_m \to 0$) και συνεπώς το ρεύμα μαγνήτισης έχει τιμή μηδέν (**$I_m \approx 0$**)



$$\boxed{\frac{\hat{V}_1}{\hat{V}_2} = \frac{\hat{I}_2}{\hat{I}_1} = \frac{N_1}{N_2}}$$

$$\boxed{P_1 = P_2}$$

Ιδανικός Μετασχηματιστής υπό Φορτίο



Αναγωγή Αντιστάσεων

1 : πρωτεύον τύλιγμα

2 : δευτερεύον τύλιγμα

' : τιμή μεγέθους ανηγμένη στο πρωτεύον

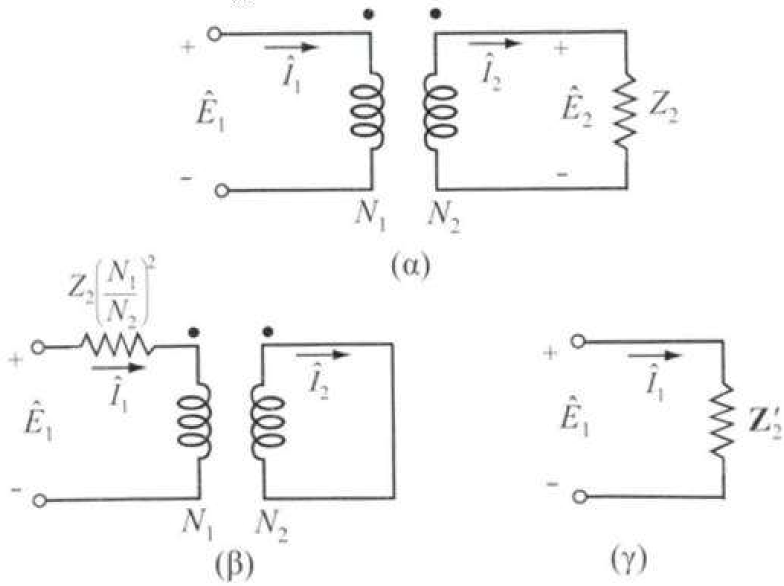
" : τιμή μεγέθους ανηγμένη στο δευτερεύον

Z'_2 : σύνθετη αντίσταση δευτερεύοντος ανηγμένη στο πρωτεύον

Z''_1 : σύνθετη αντίσταση πρωτεύοντος ανηγμένη στο δευτερεύον

Αναγωγή Αντιστάσεων στο Πρωτεύον Τύλιγμα

$$\hat{Z}_2' = \frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} = \frac{a \cdot \hat{V}_2}{\dfrac{\hat{I}_2}{a}} = a^2 \cdot \frac{\hat{V}_2}{\hat{I}_2} = a^2 \cdot \hat{Z}_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot \hat{Z}_2$$



(α) (β) (γ)

Αναγωγή Αντιστάσεων στο Δευτερεύον Τύλιγμα

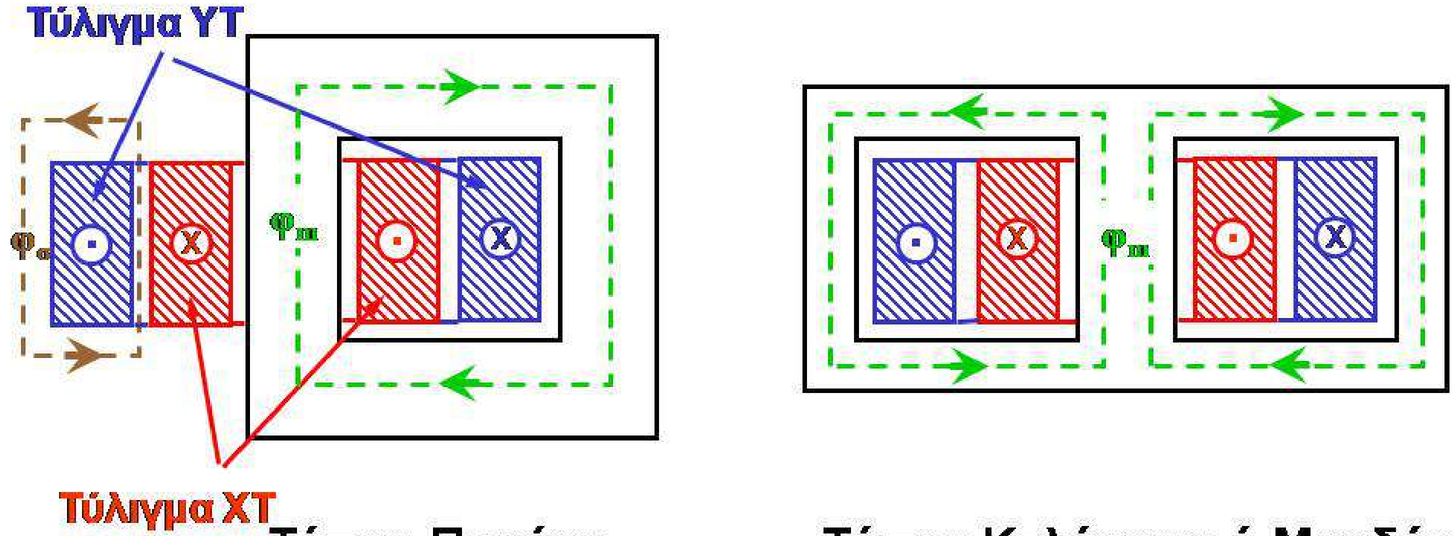
$$\boxed{\hat{Z}_1'' = \frac{1}{a^2} \cdot \hat{Z}_1 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \cdot \hat{Z}_1}$$

Z_1 : μία σύνθετη αντίσταση συνδεμένη στο πρωτεύον του Μ/Σ

Z''_1: σύνθετη αντίσταση συνδεμένη στο πρωτεύον και ανηγμένη στο δευτερεύον του Μ/Σ

Πραγματικός Μετασχηματιστής

Διαμόρφωση Πυρήνα



Τύπου Πυρήνα

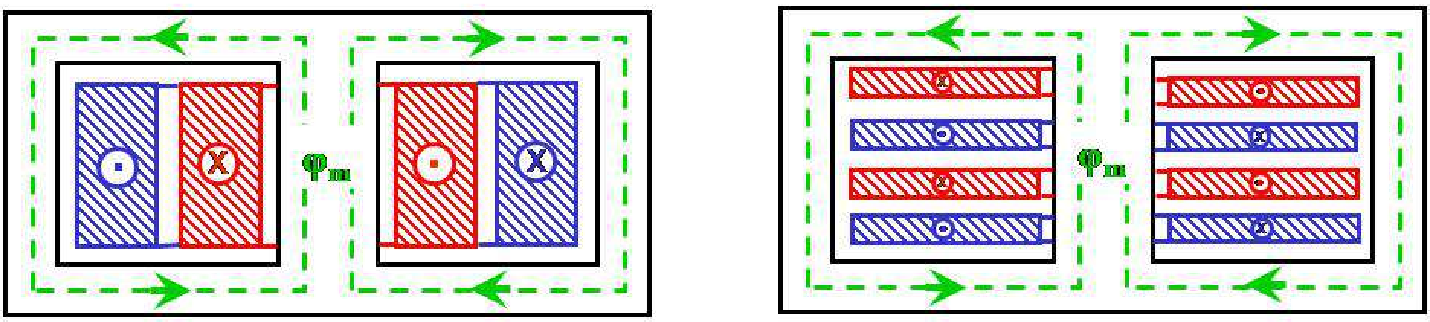
(δύο σκελών)

Τύπου Κελύφους ή Μανδύα

(τριών σκελών)

Πραγματικός Μετασχηματιστής

Διαμόρφωση Τυλιγμάτων

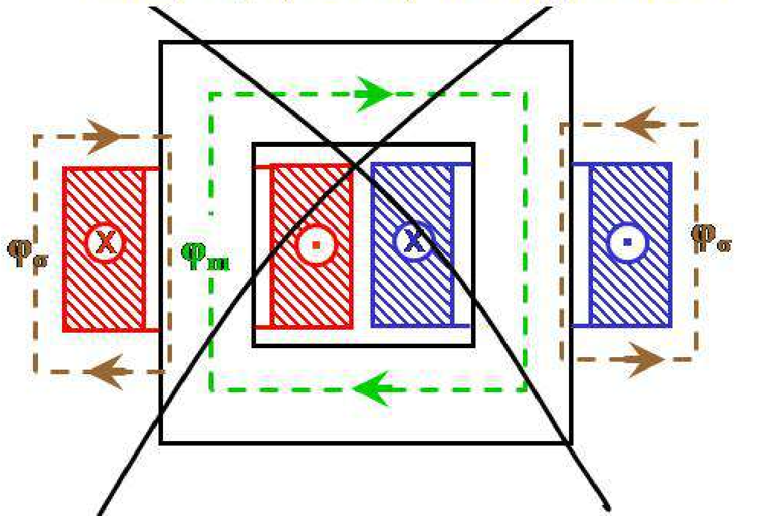


Κυλινδρικό Τύλιγμα

Δισκοειδές Τύλιγμα

Πραγματικός Μετασχηματιστής

Διαμόρφωση Τυλιγμάτων



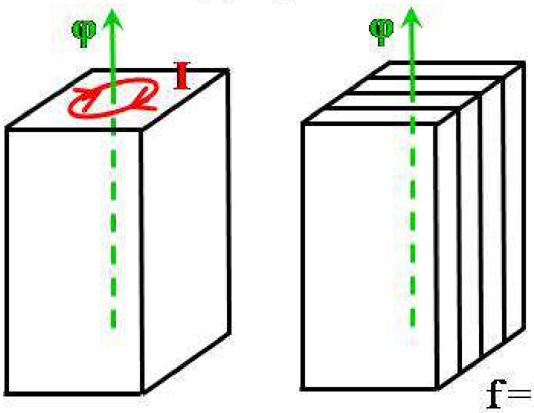
Αναπαράσταση στη βιβλιογραφία: τα τυλίγματα σε διαφορετικά πόδια του πυρήνα διευκολύνουν την κατανόηση των μαγνητικών ροών μαγνήτισης και σκέδασης αλλά **ΔΕΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ (εμφανίζεται μεγάλη ροή σκέδασης)**

Πραγματικός Μετασχηματιστής: Απώλειες

1) Τυλιγμάτων – Χαλκού – Μεταβλητές ~ (r1+r2') I_1^2

2) Πυρήνα – Σιδήρου – Σταθερές ~ V_1^2

Δινορρευμάτων



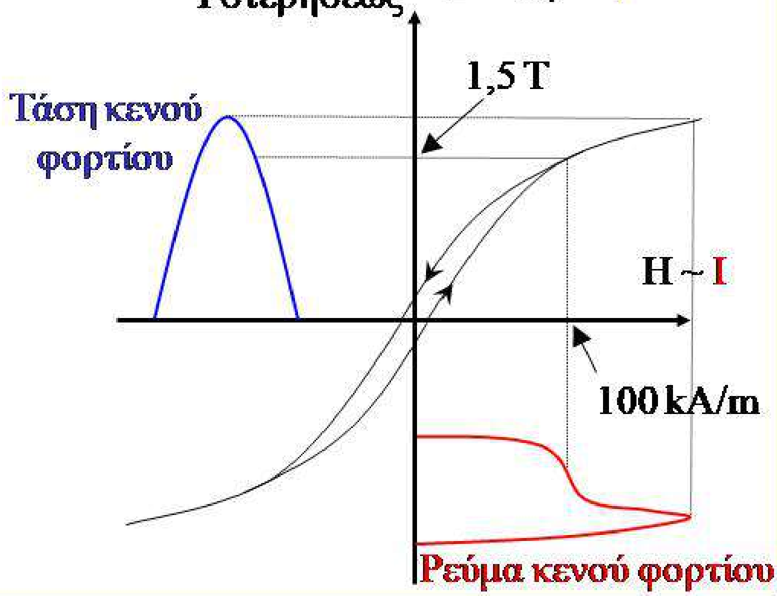
Επιδερμικό φαινόμενο
$\delta = (2/\mu\sigma\omega)^{1/2}$

f= 50 Hz

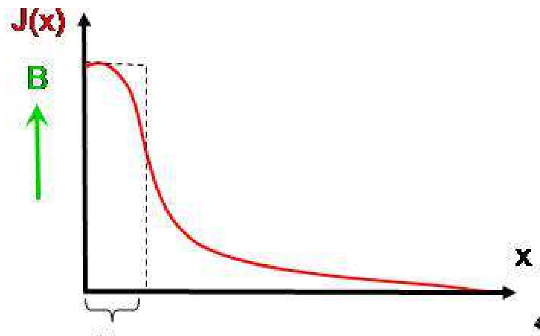
δ_{Cu} = 1 cm

δ_{Fe} = 1 mm

Υστερήσεως



Πραγματικός Μετασχηματιστής: Απώλειες



δ

Πάχος επιδερμικού φαινομένου

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\sigma\,\omega\,\mu}}$$

μ = μαγνητική διαπερατότητα

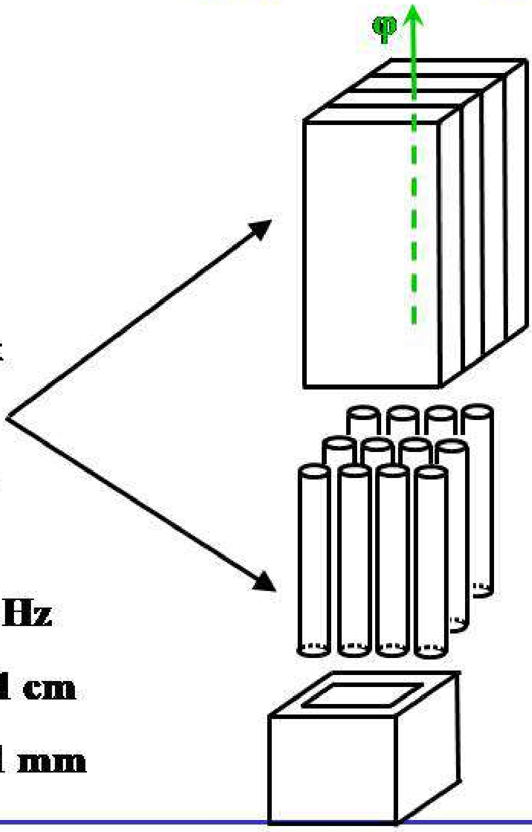
σ = ηλεκτρική αγωγιμότητα

ω = κυκλική συχνότητα

f = 50 Hz

δ_{Cu} = 1 cm

δ_{Fe} = 1 mm



Σίδηρος

Μαγνητική λαμαρίνα μέγιστου πάχους **0,5 mm**

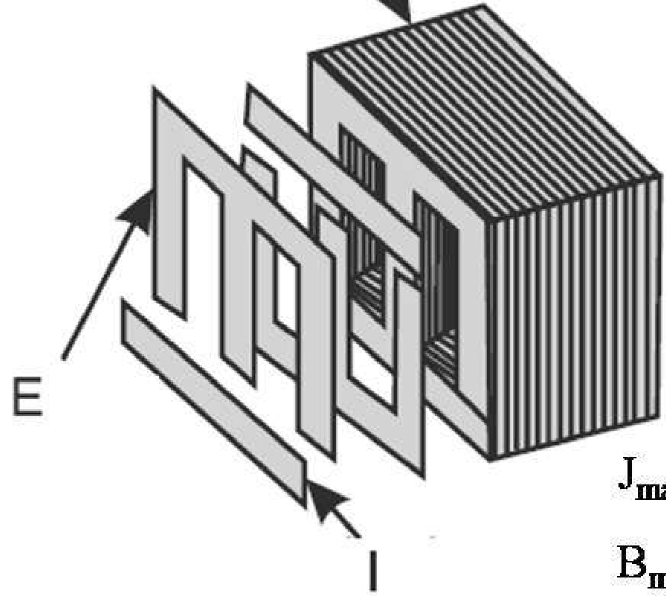
Χαλκός

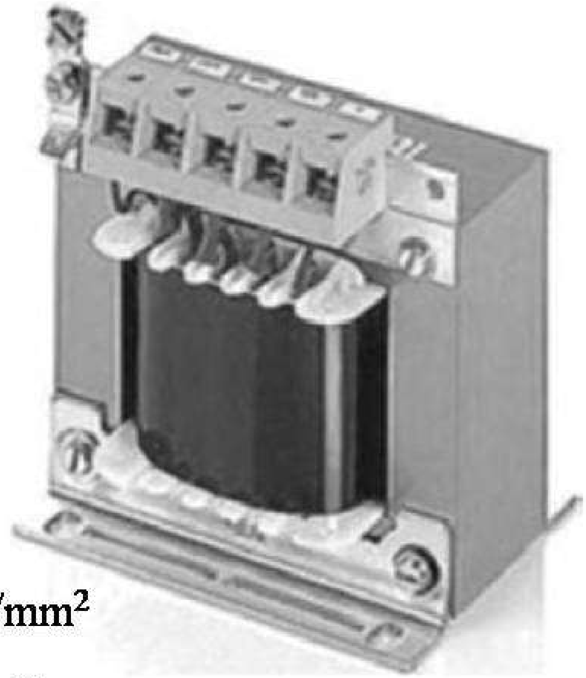
Τυλίγματα από:

- πολύκλωνους συνεστραμένους αγωγούς ή
- κοίλους αγωγούς

μέγιστου πάχους **0,5 cm**

Πραγματικός Μετασχηματιστής: Διαμόρφωση

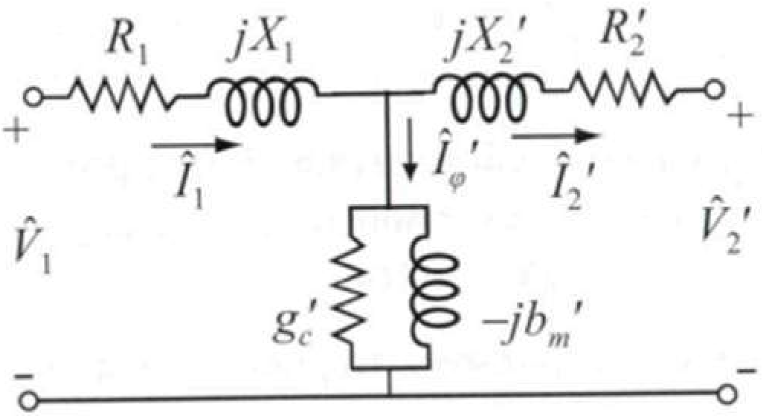




$J_{max} = 4\ A/mm^2$

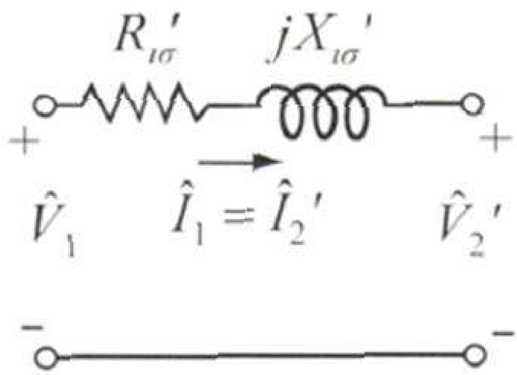
$B_{max} = 1.5\ T$

Πραγματικός Μετασχηματιστής:
Πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα ανηγμένο στο πρωτεύον



$\boxed{\hat{V}_2' = a \cdot \hat{V}_2}$ $\boxed{\hat{I}_2' = \dfrac{\hat{I}_2}{a}}$ $\boxed{R_2' = a^2 \cdot R_2}$ $\boxed{X_2' = a^2 \cdot X_2}$

Πραγματικός Μετασχηματιστής:
Απλουστευμένο ισοδύναμο κύκλωμα ανηγμένο στο πρωτεύον



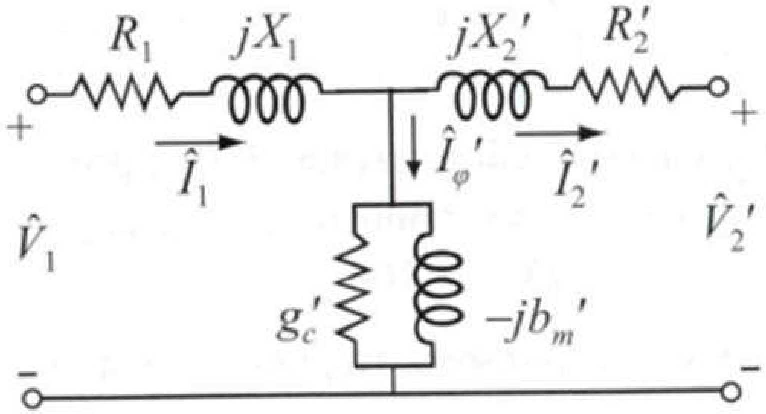
$$\boxed{\hat{V}_2' = a \cdot \hat{V}_2}$$

$$\boxed{\hat{I}_2' = \frac{\hat{I}_2}{a}}$$

$$\boxed{R_{\iota\sigma}' = R_1 + R_2' = R_1 + a^2 \cdot R_2}$$

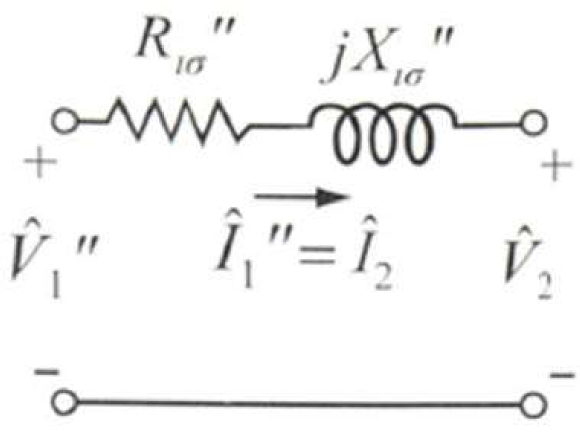
$$\boxed{X_{\iota\sigma}' = X_1 + X_2' = X_1 + a^2 \cdot X_2}$$

Πραγματικός Μετασχηματιστής:
Πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα ανηγμένο στο δευτερεύον



$\boxed{\hat{V}_2' = a \cdot \hat{V}_2}$ $\boxed{\hat{I}_2' = \dfrac{\hat{I}_2}{a}}$ $\boxed{R_2' = a^2 \cdot R_2}$ $\boxed{X_2' = a^2 \cdot X_2}$

Πραγματικός Μετασχηματιστής:
Απλουστευμένο ισοδύναμο κύκλωμα ανηγμένο στο δευτερεύον



$$\boxed{\hat{V}_1'' = \frac{\hat{V}_1}{a}}$$

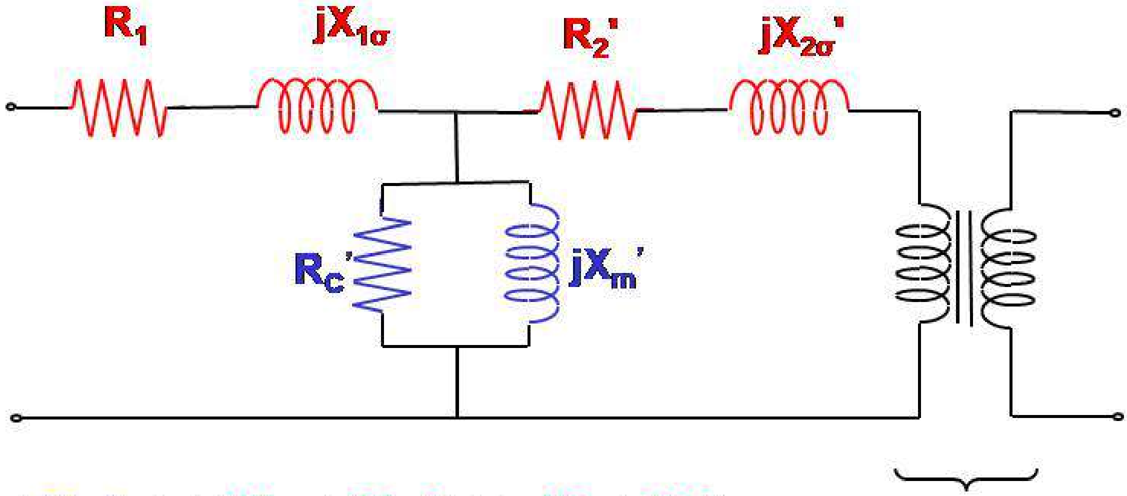
$$\boxed{\hat{I}_1'' = a \cdot \hat{I}_1}$$

$$\boxed{R_{1\sigma}'' = R_1'' + R_2 = \frac{R_1}{a^2} + R_2}$$

$$\boxed{X_{1\sigma}'' = X_1'' + X_2 = \frac{X_1}{a^2} + X_2}$$

Πραγματικός Μετασχηματιστής:

Ισοδύναμο κύκλωμα (παράμετροι πυρήνα και τυλιγμάτων)



$$R_C' >> j\,X_m' >> j\,(X_{1\sigma} + X_{2\sigma}') >> (R_1 + R_2')$$

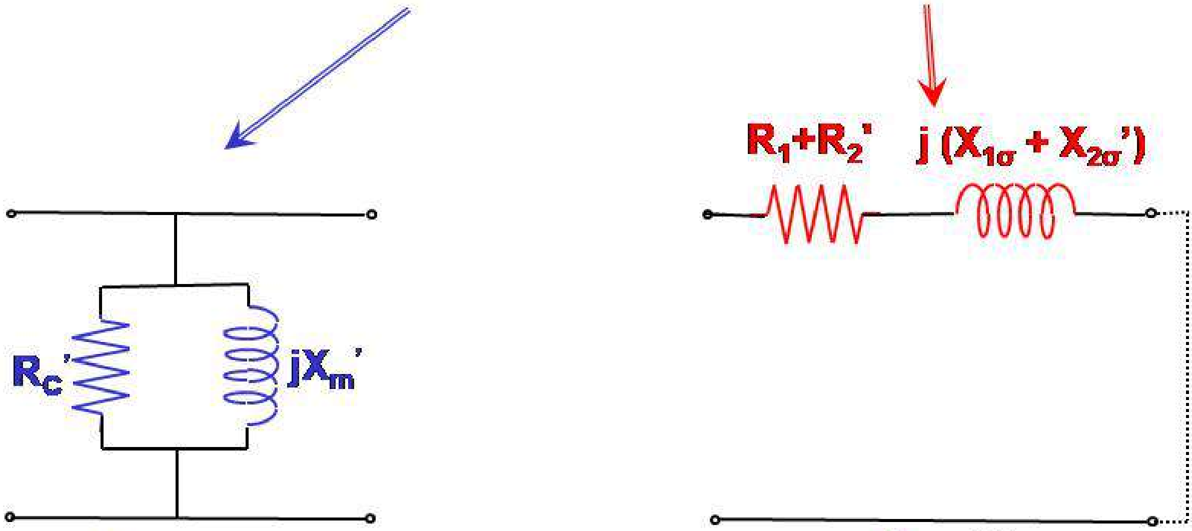
Ιδανικός μετασχηματιστής

$$X_{1\sigma} \approx X_{2\sigma}' \quad , \quad R_1 \approx R_2'$$

Πραγματικός Μετασχηματιστής:

προσδιορισμός παραμέτρων ισοδυνάμου κυκλώματος

Δοκιμές (ανοικτού κυκλώματος και βραχυκυκλώματος)



$V_1 = \mathbf{V_N}$

$I_1 \ll \mathbf{I_N}$

$V_1 < \mathbf{V_N}$

$I_1 = \mathbf{I_N}$

Πραγματικός Μετασχηματιστής:
προσδιορισμός παραμέτρων πυρήνα από τη δοκιμή ανοικτού κυκλώματος

Μετρώνται τα μεγέθη: V_1, I'_φ, P οπότε

$$Y'_\varphi = \frac{I'_\varphi}{V_1}$$

$$\boxed{g'_c = \frac{P}{V_1^2} = \frac{P_\pi}{V_1^2}}$$

$$\boxed{b'_m = \sqrt{(Y'_\varphi)^2 - (g'_c)^2}}$$

$$I'_C = \frac{P_\pi}{V_1}$$

$$I'_m = \sqrt{(I'_\varphi)^2 - (I'_c)^2}$$

Πραγματικός Μετασχηματιστής:

προσδιορισμός παραμέτρων τυλιγμάτων από τη δοκιμή βραχυκύκλωσης

Μετρώνται τα μεγέθη: V_1, I_1, P οπότε:

$$Z'_{\iota\sigma} = \frac{V_1}{I_1}$$

$$\boxed{R'_{\iota\sigma} = \frac{P}{I_1^2}}$$

$$\boxed{X'_{\iota\sigma} = \sqrt{(Z'_{\iota\sigma})^2 - (R'_{\iota\sigma})^2}}$$

$$\boxed{R_1 \approx R'_2 \approx \frac{R'_{\iota\sigma}}{2}}$$

$$\boxed{X_1 \approx X'_2 \approx \frac{X'_{\iota\sigma}}{2}}$$

Πτώση τάσεως και Βαθμός Αποδόσεως

$$\boxed{r = \left(\frac{V_1 / \alpha - V_2}{V_1 / \alpha} \right) \cdot 100\ \%}$$

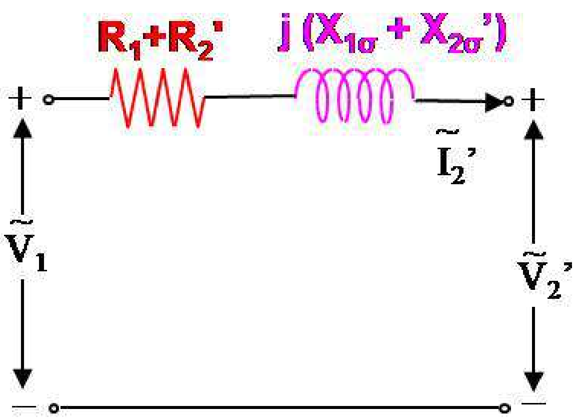
V_2 : τάση δευτερεύοντος όταν ο Μ/Σ είναι υπό φορτίο

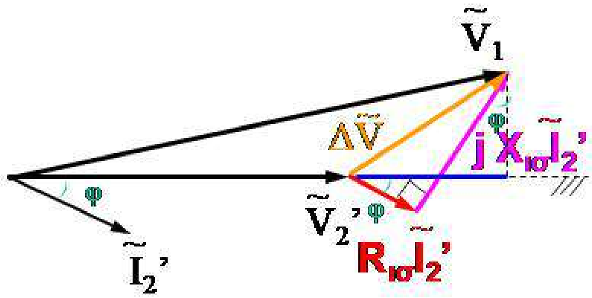
V_1/α : τάση δευτερεύοντος όταν ο Μ/Σ είναι υπό κενό φορτίο

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\theta_2}{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\theta_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P_{\alpha\pi\omega\lambda}} \Rightarrow$$

$$\boxed{\eta = \frac{P_2}{P_2 + I_2^2 \cdot R''_{\iota\sigma} + P_\pi}}$$

Υπολογισμός πτώσεως τάσεως:
Λειτουργία με επαγωγικό φορτίο



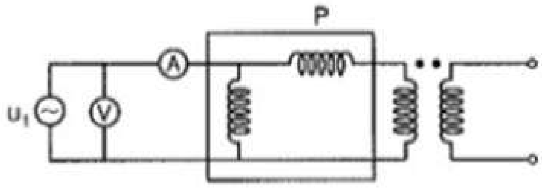


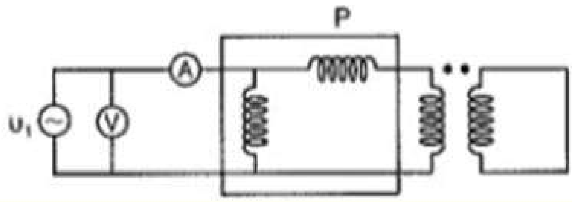
$$\text{ΕΠΤ} = \frac{|\tilde{V}_1| - |\tilde{V}_2'|}{|\tilde{V}_2'|} \times 100\% \approx \frac{R_{\iota\sigma} I_2' \cos\varphi + X_{\iota\sigma} I_2' \sin\varphi}{|\tilde{V}_2'|} \times 100\%$$

Εφαρμογή: Ανάλυση Μονοφασικού Μ/Σ

Ένας μετασχηματιστής με ονομαστική ισχύ 15 kVA και ονομαστικό λόγο τάσεων 2300/230 V υποβάλλεται στα πειράματα ανοιχτού κυκλώματος και βραχυκύκλωσης με σκοπό να υπολογιστούν τα στοιχεία του κλάδου διέγερσης, η σύνθετη αντίσταση σειράς και η εκατοστιαία πτώση τάσης. Τα πιο κάτω αποτελέσματα των πειραμάτων μετρήθηκαν στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστη:

Πείραμα ανοιχτού κυκλώματος	Πείραμα βραχυκύκλωσης
$V_{ακ} = 2300$ V	$V_{βρ} = 47$ V
$I_{ακ} = 0{,}21$ A	$I_{βρ} = 6{,}0$ A
$P_{ακ} = 50$ W	$P_{βρ} = 160$ W



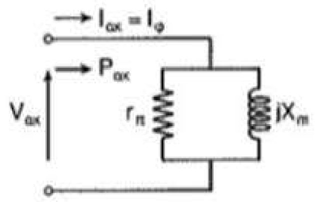


Εφαρμογή: Ανάλυση Μονοφασικού Μ/Σ

α) Να υπολογιστεί το πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ.
β) Να υπολογιστεί το ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή ως προς την πλευρά υψηλής τάσης.
γ) Να υπολογιστεί το ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή ως προς το δευτερεύον.
δ) Να υπολογιστεί το απλουστευμένο ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ ως προς το δευτερεύον.
ε) Να υπολογιστεί η εκατοστιαία πτώση τάσεως της συσκευής όταν το φορτίο της είναι ονομαστικό και έχει συντελεστή ισχύος 0,8 επαγωγικό, 1,0 και 0,8 χωρητικό.
στ) Ποια είναι η απόδοση του μετασχηματιστού στην πλήρη φόρτιση και με συντελεστή ισχύος 0,8 επαγωγικό;
ζ) Να υπολογιστεί το απλουστευμένο ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ ως προς το πρωτεύον.

Λύση

α) Κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή στο κενό φορτίο, το ισοδύναμο κύκλωμα που παριστά το ΜΣ είναι:



⇒ σύνθετη αγωγιμότητα του κλάδου διέγερσης έχει τιμή

$$\dot{Y}_{\alpha\kappa} = \frac{I_{\alpha\kappa}}{V_{\alpha\kappa}} \angle -\theta$$

όπου

$$\theta = \cos^{-1} \frac{P_{\alpha\kappa}}{V_{\alpha\kappa} I_{\alpha\kappa}} = \cos^{-1} \frac{50\ \text{W}}{(2300\ \text{V})\,(0{,}21\ \text{A})} = 84^\circ$$

$$\Rightarrow \dot{Y}_{\alpha\kappa} = \frac{0{,}21\ \text{A}}{2300\ \text{V}} \angle 84^\circ = 9{,}13 \times 10^{-5} \angle -84^\circ\ \text{V}$$

$$= 0{,}0000095 + j\,0{,}0000908\ \text{V}$$

$$\Rightarrow r_n = \frac{1}{0{,}0000095} = 105\ \text{K}\Omega, \quad X_m = \frac{1}{0{,}0000908} = 11\ \text{K}\Omega$$

Λύση

ή (δεύτερη μέθοδος)

$$r_{\pi} = \frac{V_{\alpha\kappa}^2}{P_{\alpha\kappa}} = \frac{2300^2}{50} = 105\ \text{K}\Omega$$

$$Y_{\alpha\kappa} = \frac{I_{\alpha\kappa}}{V_{\alpha\kappa}} = \frac{0{,}21}{2300} = 9{,}13 \times 10^{-5} = \sqrt{\left(\frac{1}{r_{\pi}}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_m}\right)^2}$$

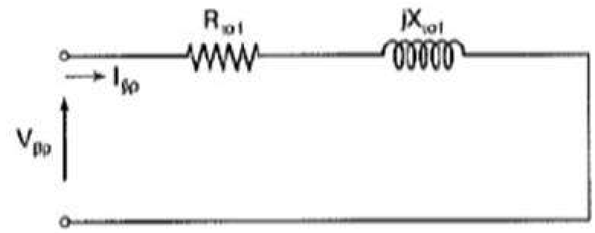
$$\Rightarrow \frac{1}{X_m} = \sqrt{83{,}36 \times 10^{-10} - \left(\frac{10^{-5}}{1{,}05}\right)^2} = 9{,}08 \times 10^{-5}$$

$$\Rightarrow X_m = 11\ \text{K}\Omega$$

Κατά τη βραχυκύκλωση το ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ ως προς το πρωτεύον (υψηλή τάση) θα είναι:

Λύση

Κατά τη βραχυκύκλωση το ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ ως προς το πρωτεύον (υψηλή τάση) θα είναι:



$$\Rightarrow P_{\beta\rho} = I_{\beta\rho}^2 \cdot R_{\iota\sigma 1} \Rightarrow R_{\iota\sigma 1} = \frac{P_{\beta\rho}}{I_{\beta\rho}^2} = \frac{160}{6^2} = 4{,}45\ \Omega$$

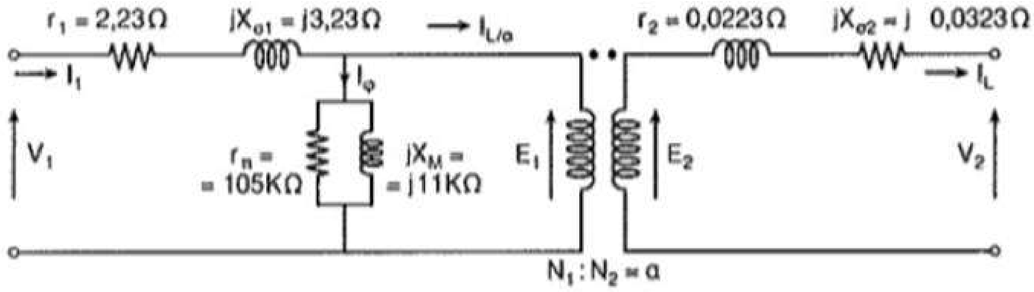
$$Z_{\beta\rho} = \frac{V_{\beta\rho}}{I_{\beta\rho}} = \frac{47}{6} = 7{,}83\ \Omega = \sqrt{R_{\iota\sigma 1}^2 + X_{\iota\sigma 1}^2} \quad \Rightarrow X_{\iota\sigma 1} = \sqrt{7{,}83^2 - R_{\iota\sigma 1}^2} = 6{,}45\ \Omega$$

$$\Rightarrow r_1 = \frac{R_{\iota\sigma 1}}{2} = 2{,}23\ \Omega, \qquad r_2 = 0{,}0223\ \Omega\ (r_1 = \alpha^2 r_2)$$

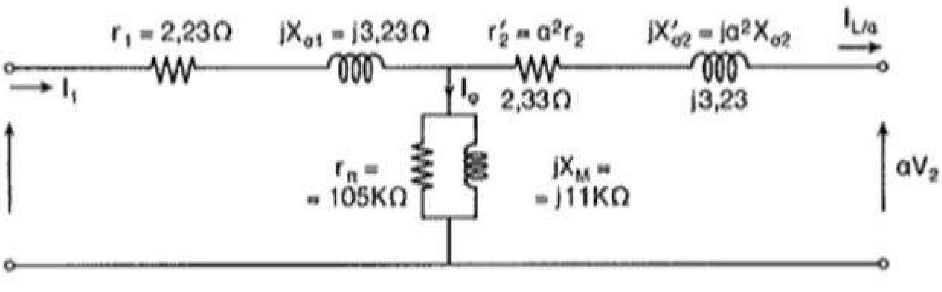
$$x_{\sigma 1} = \frac{X_{\iota\sigma 1}}{2} = 3{,}23\ \Omega \qquad\qquad x_{\sigma 2} = 0{,}0323\ \Omega\ \ (x_{\sigma 1} = \alpha^2 x_{\sigma 2})$$

Λύση

Άρα το πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ θα είναι

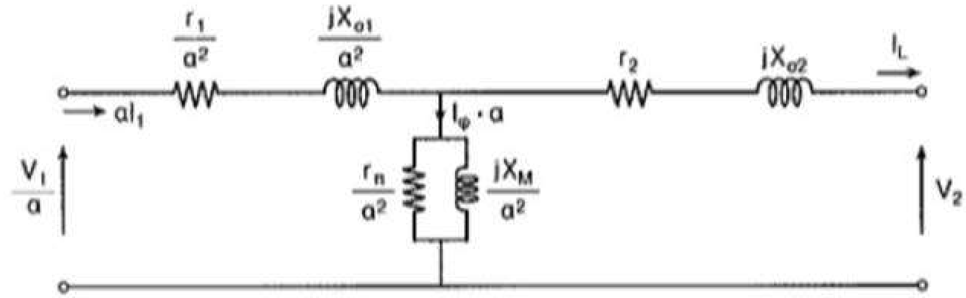


β) Το ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ ως προς το πρωτεύον είναι

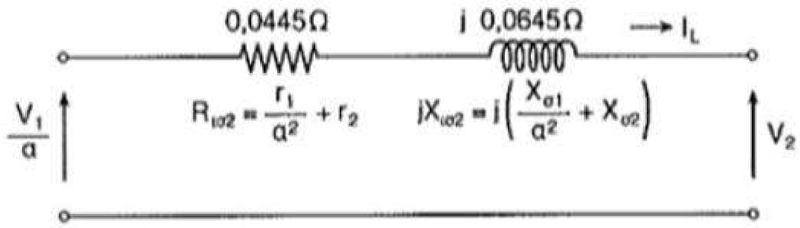


Λύση

γ) Το ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ ως προς το δευτερεύον είναι

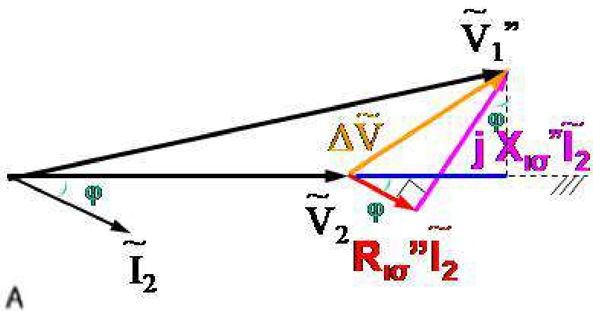


δ) Από το ερώτημα (γ) προκύπτει το πιο κάτω απλουστευμένο ισοδύναμο κύκλωμα:



Λύση

ε) Χρησιμοποιώντας το κύκλωμα στο ερώτημα (δ)



$$ΕΠΤ = \frac{\frac{V_1}{a} - V_{2ov}}{V_{2ov}}$$

όπου

$$\frac{\dot{V}_1}{a} = V_{2ov} + R_{ισ2}\dot{I}_L + jX_{ισ2} \cdot \dot{I}_L \quad \text{και} \quad I_{Lov} = \frac{15 \times 10^3}{230} = 65{,}2 \text{ A}$$

$$= 230 \angle 0° + (0{,}0445\ \Omega)(65{,}2 \angle -36{,}9° \text{ A})$$

$$+ j(0{,}0645\ \Omega)(65{,}2 \angle -36{,}9° \text{ A}) \qquad (\Sigma.\text{I.} = 0{,}8 \text{ επαγ.}, I_L = I_{Lov})$$

$$= 230 \angle 0° \text{ V} + 2{,}90 \angle -36{,}9° \text{ V} + 4{,}21 \angle 53{,}1° \text{ V}$$

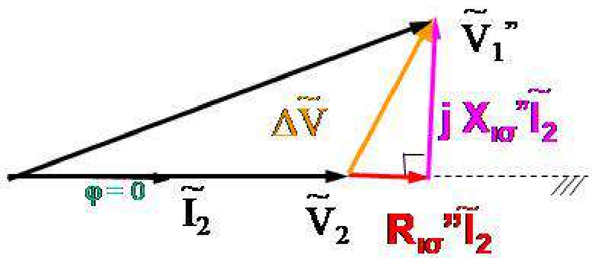
$$= 234{,}84 + j1{,}62 = 234{,}85 \angle 0{,}40° \text{ V}$$

$$\Rightarrow ΕΠΤ = \frac{234{,}85 - 230}{230} \times 100\% = 2{,}1\%$$

Λύση

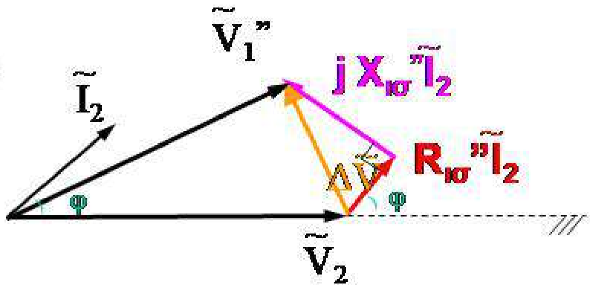
Όταν ο Σ.Ι. = 1,0, $\dot{I}_L = 65,2 \angle 0°$ A

$$\Rightarrow \frac{\dot{V}_1}{a} = 230 \angle 0° \text{ V} + (0,0445\ \Omega)(65,2 \angle 0° \text{ A}) +$$
$$+ j(0,0645\ \Omega)(65,2 \angle 0° \text{ A})$$
$$= 230 \angle 0° \text{ V} + 2,90 \angle 0° \text{ V} + 4,21 \angle 90° \text{ V}$$
$$= 232,9 + j4,21 = 232,94 \angle 1,04° \text{ V}$$
$$\Rightarrow \text{ΕΠΤ} = \frac{232,94 - 230}{230} \times 100\% = 1,28\%$$



Όταν ο Σ.Ι. = 0,8 χωρητικός, $\dot{I}_L = 65,2 \angle 36,9°$ A

$$\Rightarrow \frac{\dot{V}_1}{a} = 230 \angle 0° \text{ V} + (0,0445\ \Omega)(65,2 \angle 36,9° \text{ A}) +$$
$$+ j(0,0645\ \Omega)(65,2 \angle 36,9° \text{ A})$$
$$= 230 + 2,32 + j1,74 - 2,52 + j3,36$$
$$= 229,8 + j5,10 = 229,85 \angle 1,27° \text{ V}$$
$$\Rightarrow \text{ΕΠΤ} = \frac{229,85 \text{ V} - 230 \text{ V}}{230 \text{ V}} \times 100\% = -0,062\%$$



Δεύτερη μέθοδος υπολογισμού ΕΠΤ (προσεγγιστική)

i) $$\text{ΕΠΤ} = \frac{I_L R_{ισ2} \cos\theta_L + I_L X_{ισ2} \sin\theta_L}{V_{2ον}}$$ για επαγωγικό φορτίο

Με $\cos\theta_L = 0{,}8 \Rightarrow \sin\theta_L = 0{,}6$

$$\Rightarrow \text{ΕΠΤ} = \frac{(65{,}2\ A)(0{,}0445\ \Omega)(0{,}8) + (65{,}2\ A)(0{,}0645\ \Omega)(0{,}6)}{230} \times 100\%$$

$$= \frac{2{,}32 + 2{,}52}{230} \times 100\% = 2{,}1\%$$

ii) $$\text{ΕΠΤ} = \frac{I_L R_{ισ2} \cos\theta_L}{V_{2ον}}$$ για Σ.Ι. = 1

Με $\cos\theta_L = 1$

$$\Rightarrow \text{ΕΠΤ} = \frac{(65{,}2\ A)(0{,}0445\ \Omega)\,1}{230} = \frac{2{,}9}{230} \times 100\% = 1{,}26\%$$

iii) $$\text{ΕΠΤ} = \frac{I_L R_{ισ2} \cos\theta_L - I_L X_{ισ2} \sin\theta}{V_{2ον}}$$ για χωρητικό φορτίο

Με $\cos\theta_L = 0{,}8 \Rightarrow \sin\theta_L = 0{,}6$

$$\Rightarrow \text{ΕΠΤ} = \frac{(65{,}2\ A)(0{,}0445\ \Omega)(0{,}8) - (65{,}2\ A)(0{,}0645\ \Omega)(0{,}6)}{230} \times 100\%$$

$$= \frac{2{,}32 - 2{,}52}{230} = \frac{-0{,}2}{230} \times 100\% = -0{,}09\%$$

Λύση

στ) $$\eta = \frac{\text{έξοδος}}{\text{είσοδος}} = \frac{V_{2ov} I_{L_{ov}} \cos\theta_L}{V_{2ov} I_{L_{ov}} \cos\theta_L + \underbrace{P_\pi}_{\text{απώλειες πυρήνα}} + \underbrace{P_x}_{\text{απώλειες χαλκού}}} =$$

$$= \frac{V_{2ov} I_{L_{ov}} \cos\theta_L}{V_{2ov} I_{L_{ov}} \cos\theta_L + P_\pi + I_{L_{ov}}^2 R_{\iota\sigma 2}}$$

Όμως P_π = ισχύς που απορροφά ΜΣ στο κενό φορτίο υπό V_{1ov}
= 50 W (θεωρείται περίπου σταθ. για οποιοδήποτε φορτίο)

$P_x = I_{L_{ov}}^2 R_{\iota\sigma 2}$ = ισχύς που απορροφά ο ΜΣ στο βραχυκύκλωμα υπό $I_{L_{ov}}$.
$= (65{,}2\ \text{A})^2\ (0{,}0445\ \Omega) = 189$ W

$V_{2ov} I_{L_{ov}} \cos\theta_L = (230\ \text{V})\ (65{,}2\ \text{A})\ 0{,}8 = 12.000$ W

$$\Rightarrow \eta = \frac{12.000\ \text{W}}{12.000\ \text{W} + 50\ \text{W} + 189\ \text{W}} = 98{,}04\%$$

Λύση

ζ) Από ερώτημα (β) προκύπτει μεταφέροντας τον παράλληλο κλάδο: