

Εισαγωγή στα ΣΗΕ

Δημέας Άρης Διάλεξη #6

18/10/2024

Βασισμένο στο βιβλίο

Εισαγωγή στα ΣΗΕ (Βουρνά και Κονταξή)



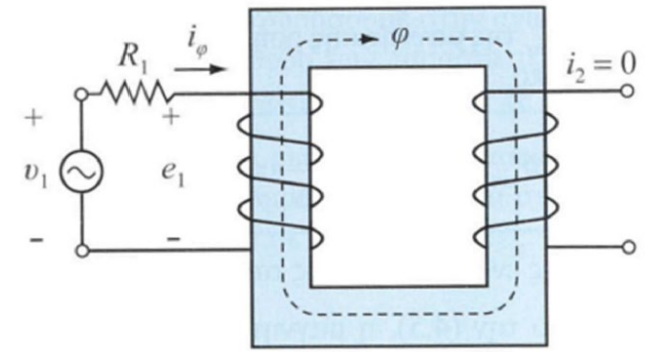
Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
- Βασικοί ορισμοί
- Ιδανικός μετασχηματιστής
- Αναγωγή Αντιστάσεων
- Ισοδύναμο Κύκλωμα Μετασχηματιστή
- Πτώση τάσεως και βαθμός απόδοσης
- Δοκιμές

Μετασχηματιστές

- Επιτρέπουν την αλλαγή τάσης χωρίς σημαντικές απώλειες
- Βασική αιτία της επικράτησης του Εναλλασσόμενου ρεύματος έναντι του συνεχούς

Βασικοί ορισμοί

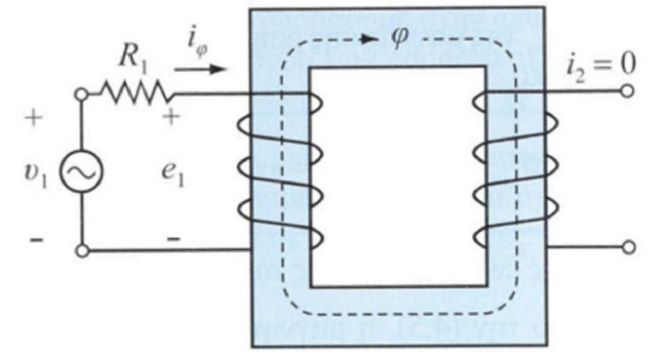


- Στο σχήμα παρουσιάζεται ένας μονοφασικός Μ/Τ
- Αποτελείται από 2 τυλίγματα συζευγμένα μέσω ενός κοινού μαγνητικού κυκλώματος
- Το ένα κύκλωμα που παρέχει την τάση λέγεται πρωτεύον ενώ το άλλο δευτερεύον
- Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να υπάρχει και τριτεύον κύκλωμα
- Αν N_1 είναι ο αριθμός των ελιγμάτων του πρωτεύοντος και N_2 του δευτερεύοντος τότε ορίζεται ο λόγος μετασχηματισμού

$$n = \frac{N_1}{N_2} \quad (4.1)$$

- Ο λόγος μετασχηματισμού μπορεί να είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος της μονάδας, ανάλογα αν έχουμε Μ/Τ ανύψωσης ή υποβίβασης τάσης

Βασικοί ορισμοί

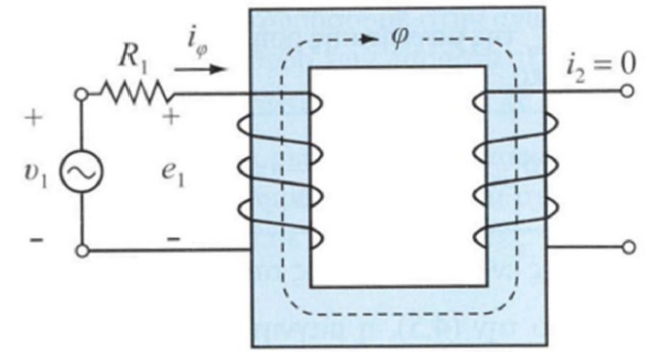


- Έστω ότι ο Μ/Τ του σχήματος τροφοδοτείται από μία τάση u_1 στο πρωτεύον, ενώ το δευτερεύον είναι ανοιχτοκυκλωμένο ($i_2 = 0$)
- Στην κατάσταση αυτή, λέμε ότι ο Μ/Τ λειτουργεί εν κενώ ή χωρίς φορτίο
- Κατά τη λειτουργία αυτή το πρωτεύον απορροφά ένα πολύ μικρό ρεύμα το οποίο το λέμε ρεύμα διεγέρσεως i_φ
- Το ρεύμα διεγέρσεως i_φ θα δημιουργήσει μία μαγνητική ροή φ στον πυρήνα
- Οπότε στο πρωτεύον με βάση τον νόμο του Faraday, δημιουργείται μία ΗΕΔ

$$e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = N_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad (4.2)$$

- Η e_1 τείνει να δημιουργήσει ένα ρεύμα αντίθετης φοράς από το i_φ , για αυτό λέγεται ΗΕΔ

Βασικοί ορισμοί



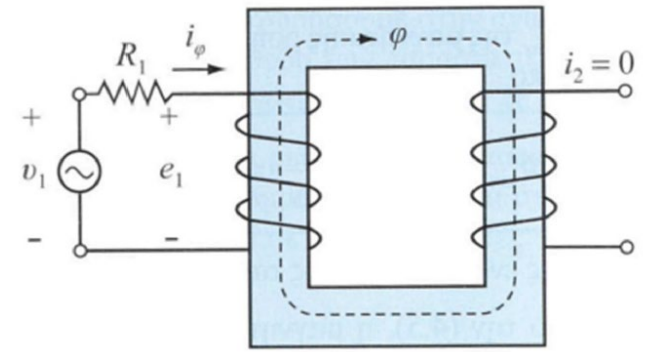
- Θεωρώντας τον νόμο τάσεων του έχουμε
- $u_1 = e_1 + R_1 i_\varphi$ (4.3)
- Θεωρώντας ότι η R_1 και η i_φ είναι πολύ μικρές $u_1 = e_1$
- Θεωρώντας ότι η επιβαλλόμενη τάση είναι ημιτονοειδής τότε

$$u_1 = \sqrt{2} E_1 \cos \omega t = N_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad (4.4)$$

- Ολοκληρώνοντας την προηγούμενη σχέση προκύπτει

$$\phi(t) = \frac{\sqrt{2} E_1}{N_1 \omega} \sin \omega t \quad (4.5)$$

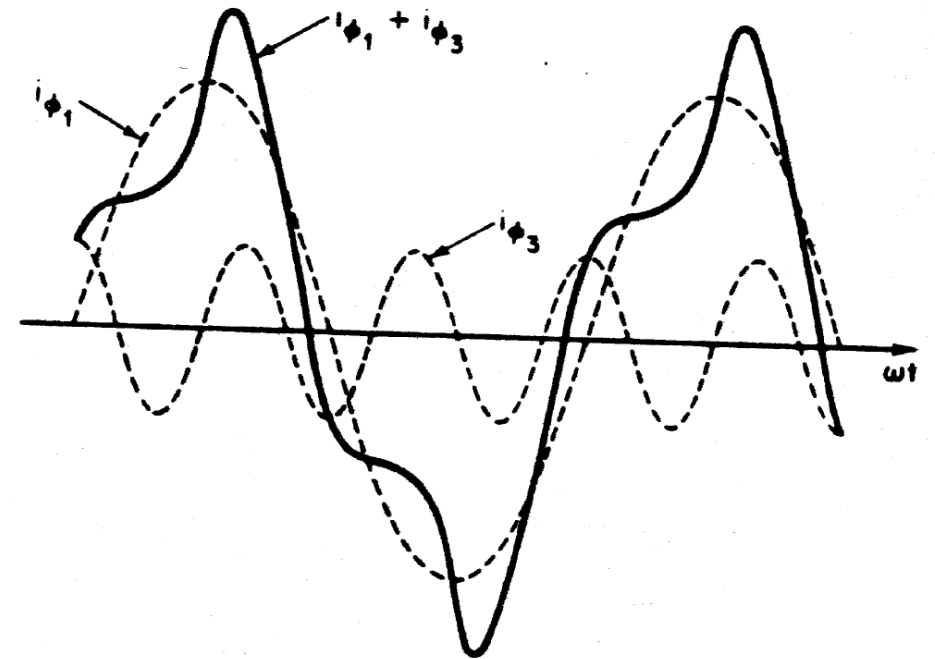
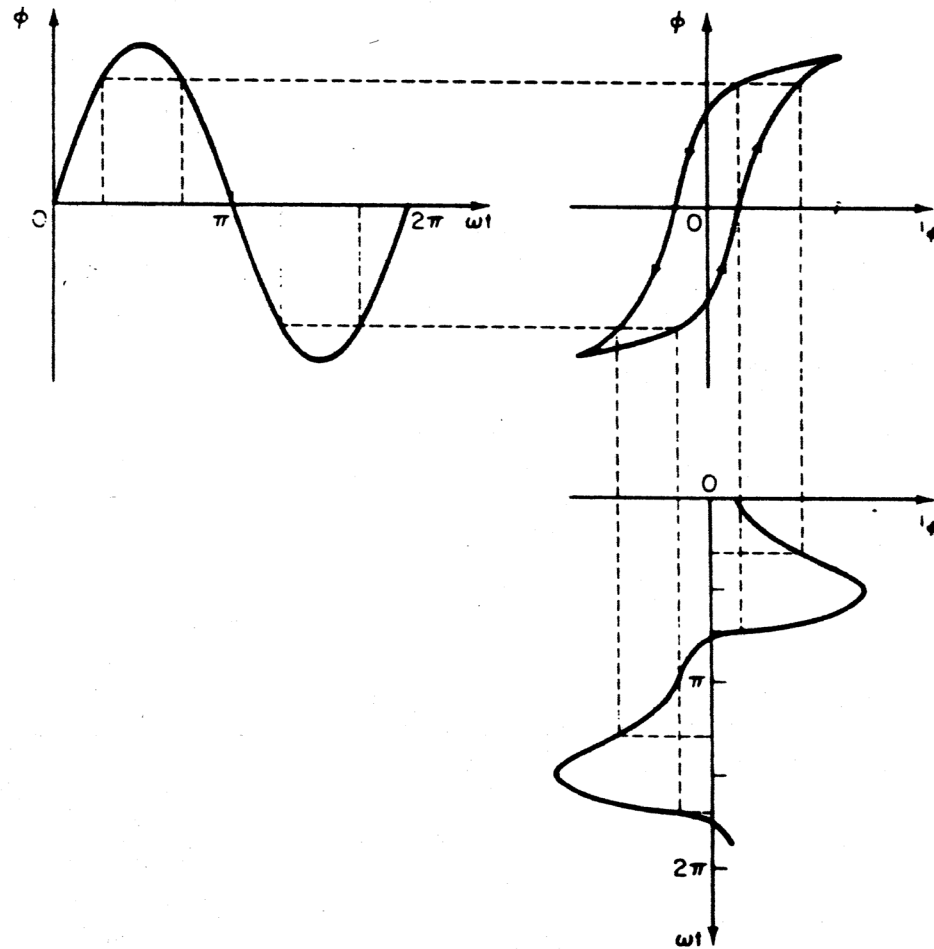
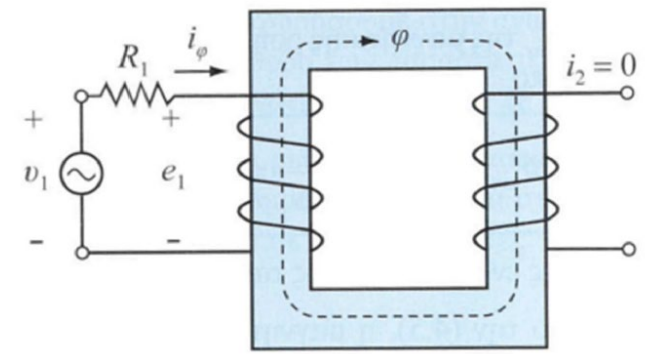
Βασικοί ορισμοί



- Η μέγιστη τιμή την μαγνητικής ροής ϕ_{max} δίνεται από τη σχέση

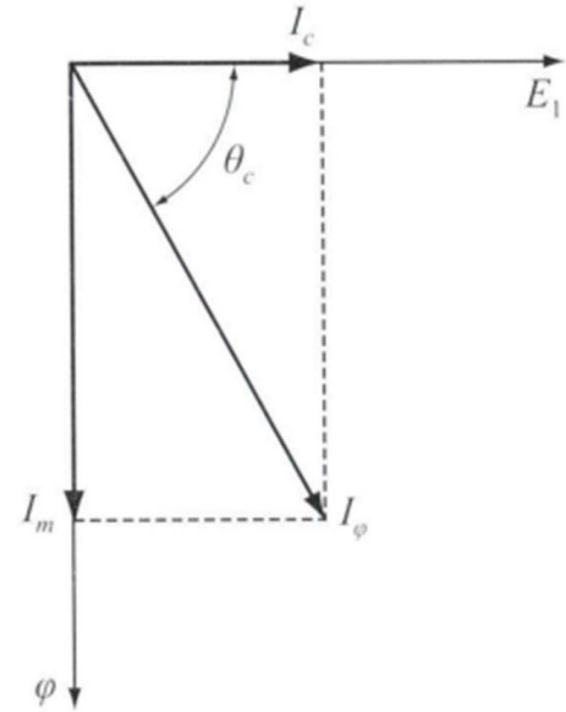
- $$\phi_{max} = \frac{E_1}{\left(\frac{2\pi}{\sqrt{2}}\right)f N_1} = \frac{E_1}{4.44 f N_1} \quad (4.6)$$

Λειτουργία σε κενό φορτίο



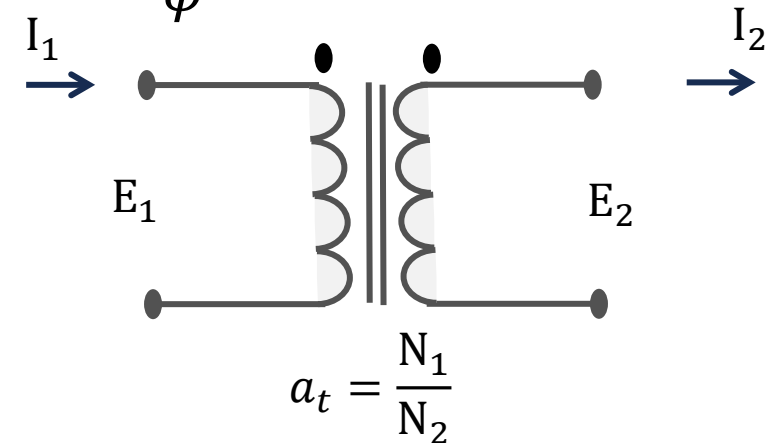
Λειτουργία σε κενό φορτίο: Ρεύμα διέγερσης

- Ρεύμα διέγερση i_φ (σε A)
- Ρεύμα απωλειών πυρήνα i_c (σε A)
- Ρεύμα μαγνήτισης i_m (σε A)
- Γωνία απωλειών πυρήνα θ_c



Ιδανικός Μετασχηματιστής

1. Οι ωμικές αντιστάσεις R_1 και R_2 των 2 τυλιγμάτων είναι αμελητέες
 2. Η μαγνητική ροή εμπλέκει εξίσου και τα δύο τυλίγματα
 3. Οι απώλειες πυρήνα αμελούνται $I_c = 0$
 4. Η μαγνητική διαπερατότητα $\mu_r \rightarrow \infty$, και άρα το ρεύμα μαγνητίσεως $I_m = 0$
- Από 3 και 4 προκύπτει ότι το ρεύμα διεγέρσεως είναι $I_\phi = 0$



Ιδανικός Μετασχηματιστής

- Από τις υποθέσεις 1 και 2 έχουμε ότι οι στιγμιαίες τάσεις είναι ίσες με τις αντίστοιχες ΗΕΔ. Δηλαδή

- $u_1 = e_1 = N_1 \frac{d\varphi}{dt}$ (4.9)

- $u_2 = e_2 = N_2 \frac{d\varphi}{dt}$ (4.10)

- Διαιρώντας τις παραπάνω σχέσεις

$$\alpha = \frac{u_1}{u_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} = n \quad (4.11)$$

- α λόγος μετασχηματισμού

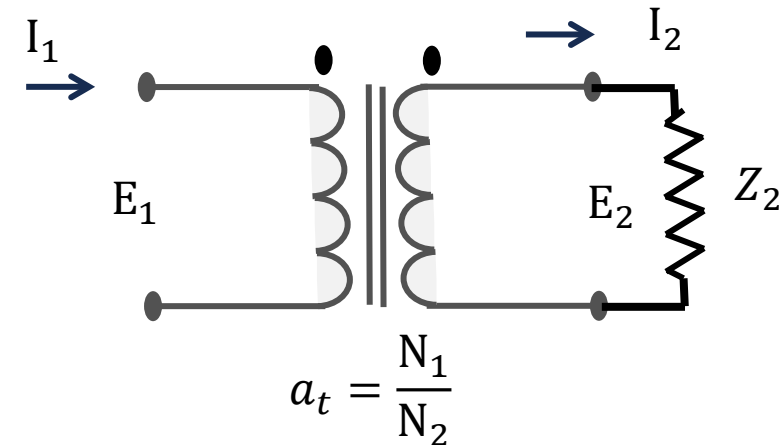
Ιδανικός Μετασχηματιστής

- Η μαγνητική αντίσταση του πυρήνα είναι μηδενική
- $R = \frac{F}{\varphi} = 0 \Rightarrow F = 0 = NI \Rightarrow F = I_1 N_1 - I_2 N_2 \Rightarrow I_1 N_1 = I_2 N_2$
- Άρα $\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$
- Και επίσης προκύπτει εύκολα

$$p_1 = u_1 i_1 = u_2 i_2 = p_2$$

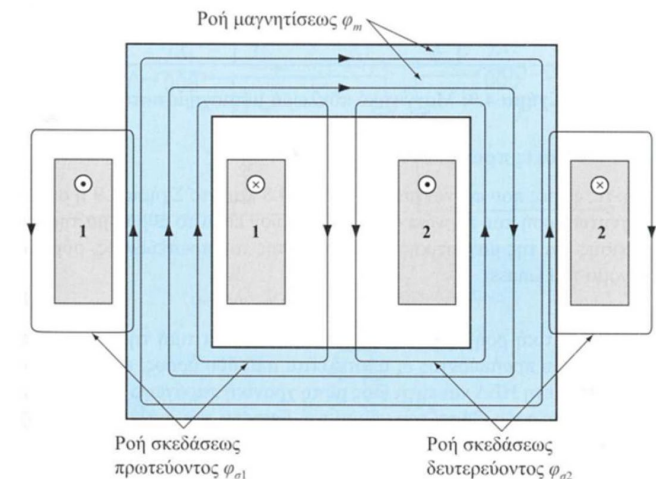
Αναγωγή Αντιστάσεων

- Αντίστοιχες σχέσεις ισχύουν και όταν έχουμε παραστατικούς μιγαδικούς
- $\frac{\hat{V}_1}{\hat{V}_2} = a = \frac{\hat{I}_1}{\hat{I}_2}$
- Έστω τώρα μία σύνθετη αντίσταση Z_2 συνδεδεμένη στο δευτερεύον
- Η σύνθετη αντίσταση που θα βλέπει το πρωτεύον θα είναι
- $Z'_2 = \frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} = \frac{a\hat{V}_2}{\hat{I}_2/a} = a^2 Z_2$
- Λέμε ότι η Z'_2 είναι η αντίσταση του δευτερεύοντος ανηγμένη στο πρωτεύον.
- Αντίστοιχα Z''_1 είναι η αντίσταση του πρωτεύοντος ανηγμένη στο δευτερεύον $Z''_1 = \frac{Z_1}{a}$



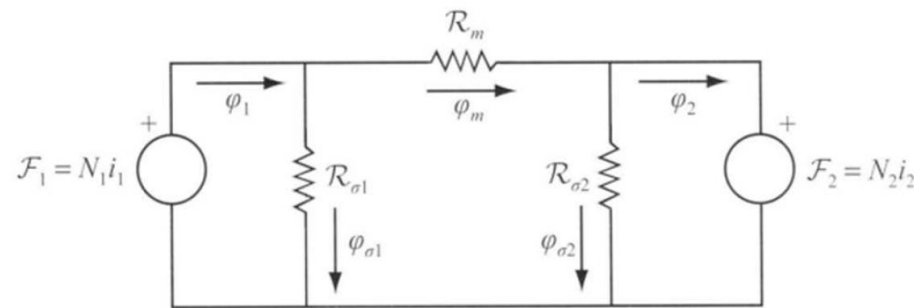
Ισοδύναμο Κύκλωμα Μετασχηματιστή

- Η παραδοχή στον ιδανικό μετασχηματιστή «Η μαγνητική ροή εμπλέκει εξίσου και τα δύο τυλίγματα» δεν ισχύει
- Η μαγνητική ροή που εμπλέκει μόνο το ένα από τα 2 τυλίγματα ονομάζεται ροή σκεδάσεως του πρωτεύοντος ή του δευτερεύοντος αντίστοιχα
- Η μαγνητική ροή που παραμένει στον πυρήνα και διατρέχει και τα 2 τυλίγματα ονομάζεται ροή μαγνητίσεως



Ισοδύναμο Κύκλωμα Μετασχηματιστή

- Η μαγνητική αντίσταση που συναντά η μαγνητική ροή σκεδάσεως ονομάζεται μαγνητική αντίσταση σκεδάσεως R_σ
- Αντίστοιχα ορίζεται η μαγνητική αντίσταση μαγνητίσεως R_m
- Προφανώς $R_{\sigma 1}, R_{\sigma 2} \gg R_m$



Ισοδύναμο Κύκλωμα Μετασχηματιστή

- Από τον νόμο του Gauss: $\varphi_1 = \varphi_{\sigma 1} + \varphi_m$ (4.18)
- Και από τον νόμο του Faraday $u_1 = N_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + R_1 i_1$ (4.19), όπου R_1 η ομική αντί
- Χρησιμοποιώντας την 4.18

$$u_1 = N_1 \frac{d\varphi_{\sigma 1}}{dt} + N_1 \frac{d\varphi_m}{dt} + R_1 i_1$$

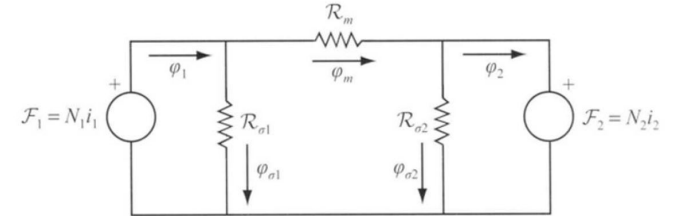
- Ο όρος $N_1 \frac{d\varphi_{\sigma 1}}{dt}$ δεν συμμετέχει στη μετατροπή των τάσεων και αντιστοιχεί σε μία πτώση τάσεως σε μία αυτεπαγωγή
- Την ονομάζουμε αυτεπαγωγή σκεδάσεως του πρωτεύοντος L_1
- Ο όρος $N_1 \frac{d\varphi_m}{dt}$ αντιστοιχεί στην ΗΕΔ του πρωτεύοντος.

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + e_1 + R_1 i_1 \quad (4.21)$$

- Θεωρώντας εναλλασσόμενο ρεύμα, η προηγούμενη μπορεί να γραφτεί

$$\hat{V}_1 = jX_1 \hat{I}_1 + \hat{E}_1 + R_1 \hat{I}_1 \quad (4.22)$$

Όπου $X_1 = \omega L_1$ είναι η αντίδραση σκεδάσεως του πρωτεύοντος

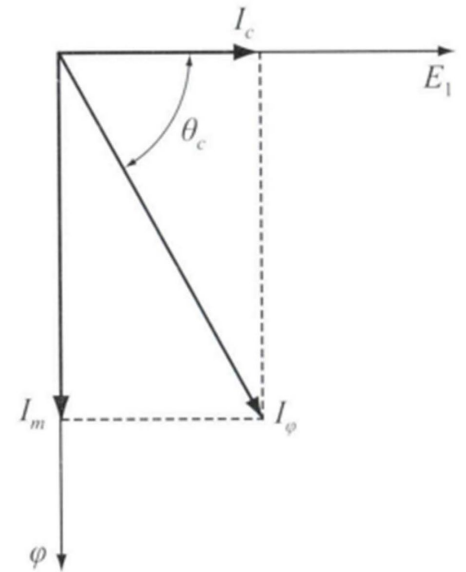
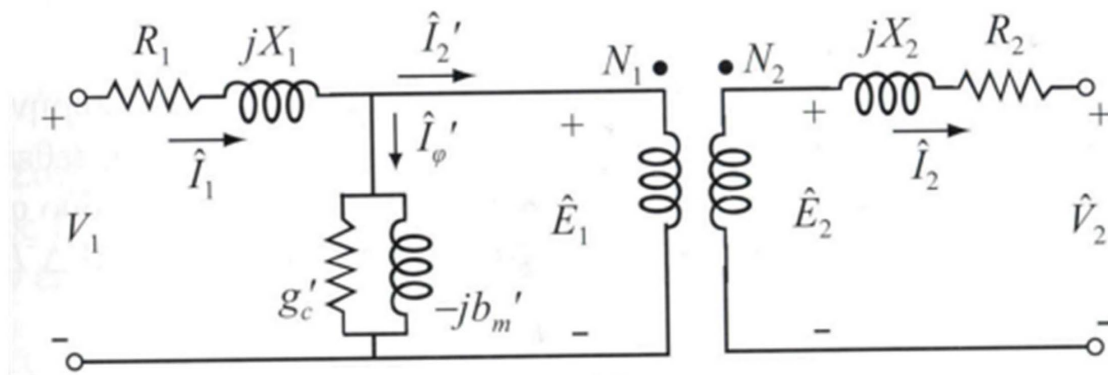


Ισοδύναμο Κύκλωμα Μετασχηματιστή

- Στον ιδανικός μετασχηματιστή, η συνολική ΜΕΔ ήταν μηδενική αφού και η μαγνητική αντίσταση ήταν μηδενική
- Στον πραγματικό Μετασχηματιστή η αντίσταση μαγνητίσεως R_m έχει πεπερασμένη τιμή.
- $F_m = I_1 N_1 - I_2 N_2 = N_1 i'_\varphi$ (4.23)
- Όπου i'_φ το ρεύμα διεγέρσεως ανηγμένο στο πρωτεύον

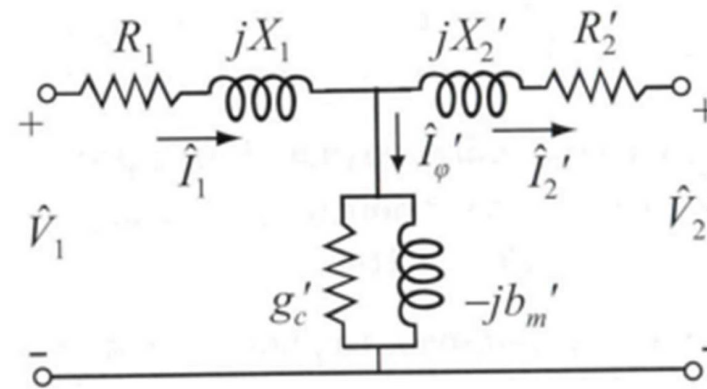
Ισοδύναμο Κύκλωμα Μετασχηματιστή

- Το ρεύμα διεγέρσεως i'_φ έχει δύο συνιστώσες
- $\hat{I}'_\varphi = \hat{I}'_c - j\hat{I}'_m = (g'_c - jb'_m) \hat{E}_1$
- Επίσης $\hat{I}_1 = \hat{I}'_\varphi + \frac{N_2}{N_1} \hat{I}_2 = \hat{I}'_\varphi + \hat{I}'_2$



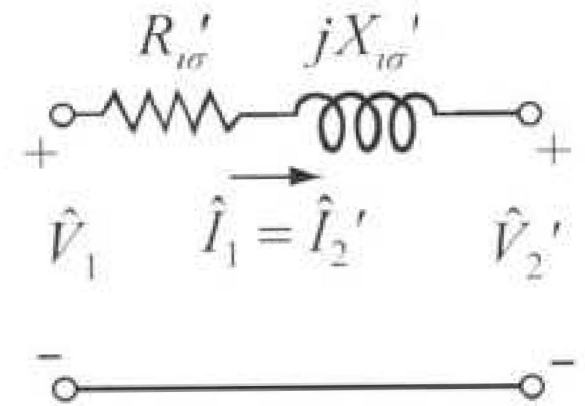
Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα I

- Το ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή, απλοποιείται σημαντικά αν απαλείψουμε τον ιδανικό μετασχηματιστή
- Αυτό γίνεται ανάγοντας όλα τα μεγέθη στο πρωτεύον
- Τότε:
 - $\hat{V}'_2 = \alpha \hat{V}_2$
 - $\hat{I}'_2 = \frac{\hat{I}_2}{\alpha}$
 - $R'_2 = a^2 R_2$
 - $X'_2 = a^2 X_2$



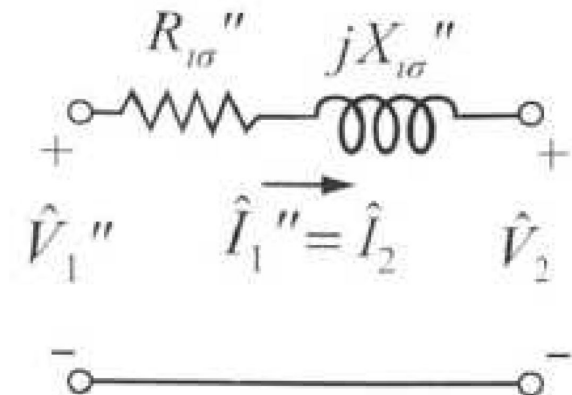
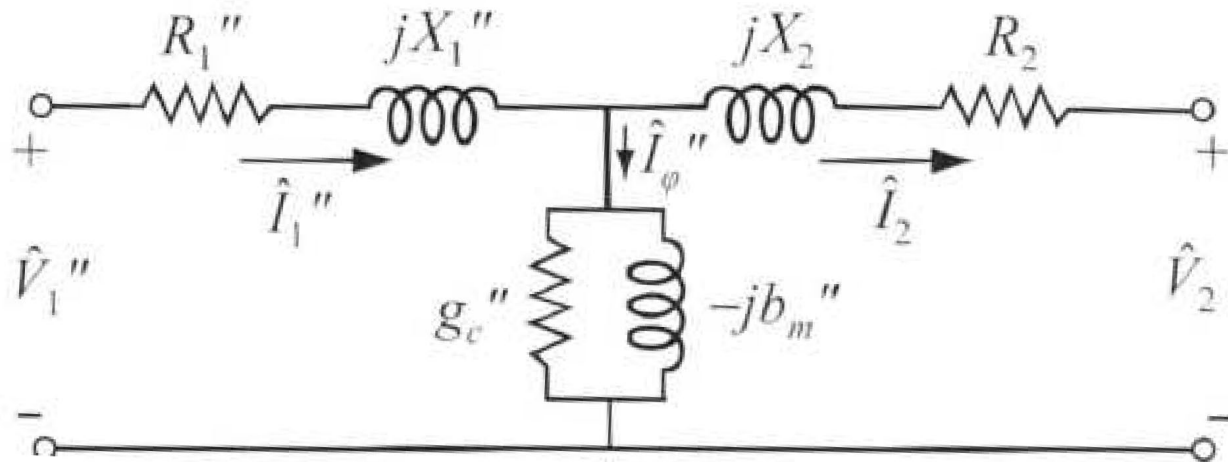
Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα I

- Στην κανονική λειτουργία $I_\varphi \ll I_1, I_2$
- Οπότε μπορούμε να παραλείψουμε τον εγκάρσιο κλάδο
- Τότε
 - $\hat{V}'_2 = \alpha \hat{V}_2$
 - $\hat{I}'_2 = \frac{\hat{I}_2}{\alpha}$
 - $R'_{\iota\sigma} = R_1 + R'_2 = R_1 + a^2 R_2$
 - $X'_{\iota\sigma} = X_1 + X'_2 = X_1 + a^2 X_2$



Ισοδύναμο κύκλωμα ανηγμένο στο δευτερεύον

- $\widehat{V}''_1 = \alpha \widehat{V}_1$
- $\widehat{I}''_1 = \frac{\widehat{I}_1}{\alpha}$
- $R''_{1\sigma} = R''_1 + R_2 = \frac{R_1}{a^2} + R_2$
- $X''_{1\sigma} = X''_1 + X_2 = \frac{X_1}{a^2} + X_2$



Πτώση τάσεως και βαθμός απόδοσης

- Η εκατοστιαία πτώση τάσεως μας δείχνει πόσο μεταβάλλεται η τάση του δευτερεύοντος, όταν το πρωτεύον τροφοδοτείται με σταθερή τάση και το φορτίο μεταβάλλεται από το μηδέν μέχρι το ονομαστικό
- Ειδικότερα

$$r = \frac{\frac{V_1}{a} - V_2}{V_2} 100\%$$

- V_2 είναι η τάση του δευτερεύοντος, όταν δουλεύει στο ονομαστικό
- Η τάση του δευτερεύοντος, σε κενό φορτίο είναι $\frac{V_1}{a}$

Βαθμός απόδοσης

- Είναι ο λόγος της εξερχόμενης προς την εισερχόμενη ισχύ

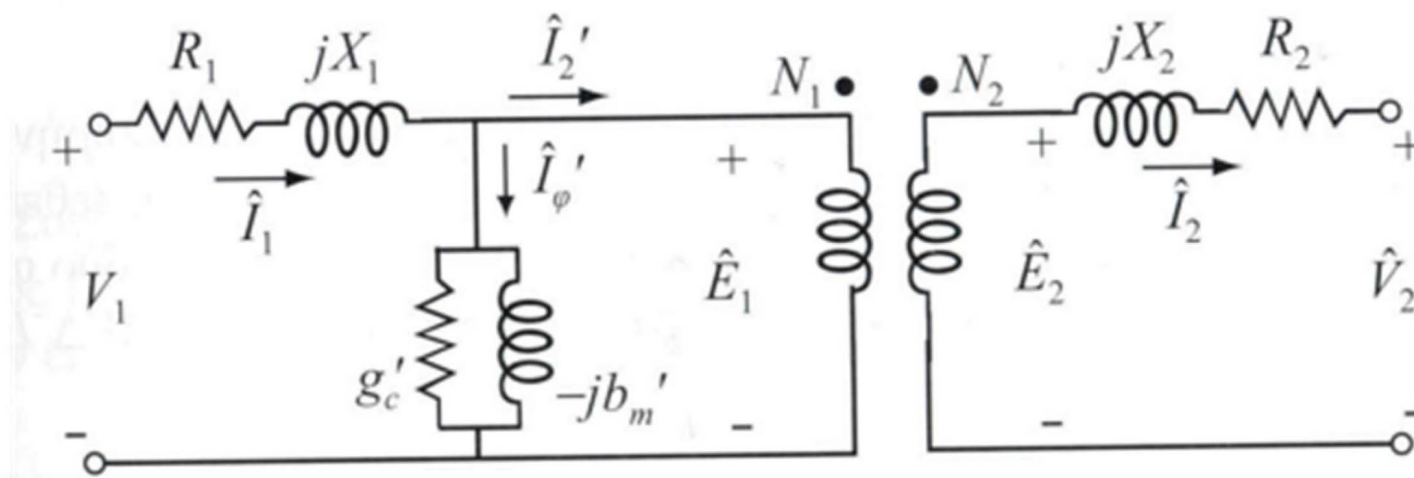
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2 I_2 \cos \theta_2}{V_1 I_1 \cos \theta_1} \quad (4.37)$$

- Αν αμελήσουμε τον κλάδο μαγνητίσεως και τις απώλειες πυρήνα, ισχύς που εισέρχεται στο πρωτεύον του μετασχηματιστή αποτελείται από
- Την ισχύ που αποδίδεται στο δευτερεύον (φορτίο P_2)
- Απώλειες χαλκού $I_1^2 R'_{\iota\sigma} = I_2^2 R''_{\iota\sigma}$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + I_2^2 R''_{\iota\sigma}} \quad (4.38)$$

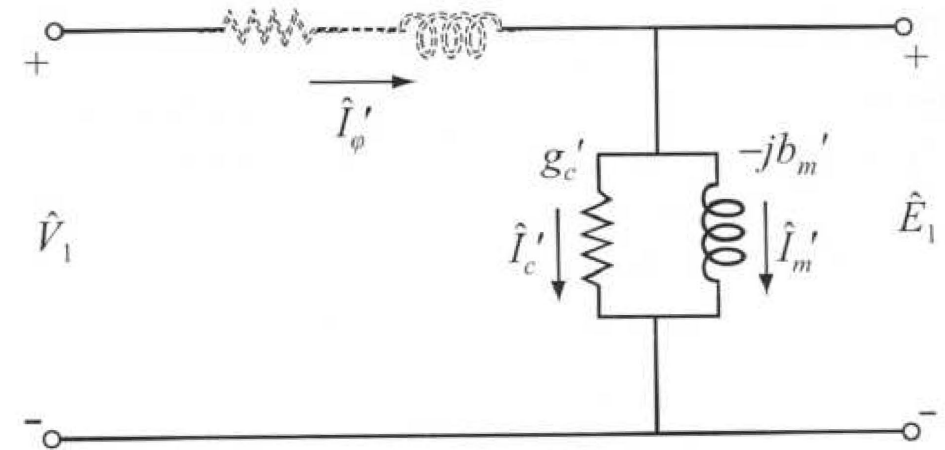
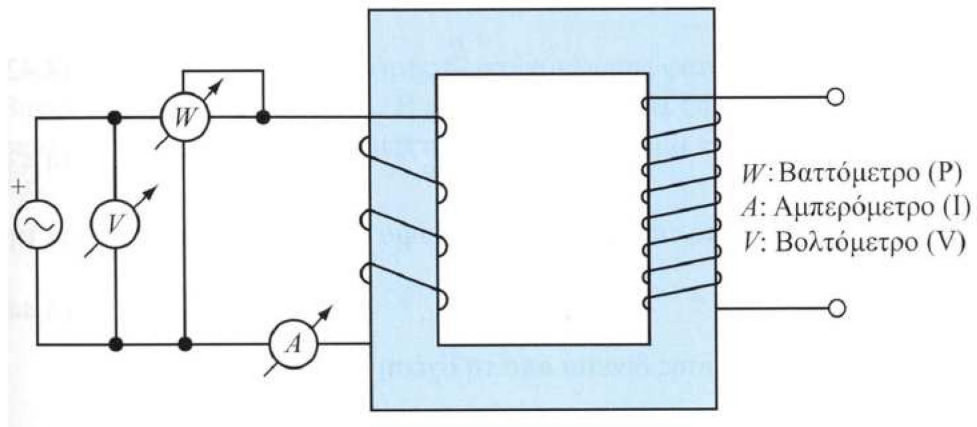
Πειραματικός προσδιορισμός παραμέτρων

- Θέλουμε να προσδιορίσουμε πειραματικά τα μεγέθη R_1 , X_1 , R_2 , X_2 , g_c , b_c .



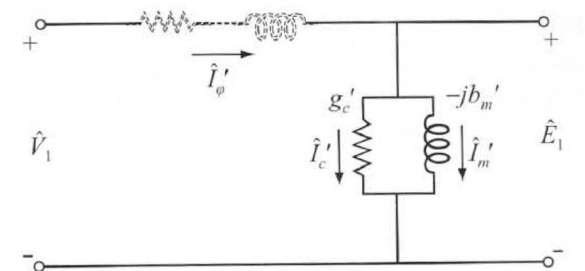
Δοκιμή Ανοικτού Κυκλώματος

- Υπολογίζονται οι απώλειες πυρήνα ή απώλειες σιδήρου
- Μετρούμε τα μεγέθη: V_1 , I'_φ , P .



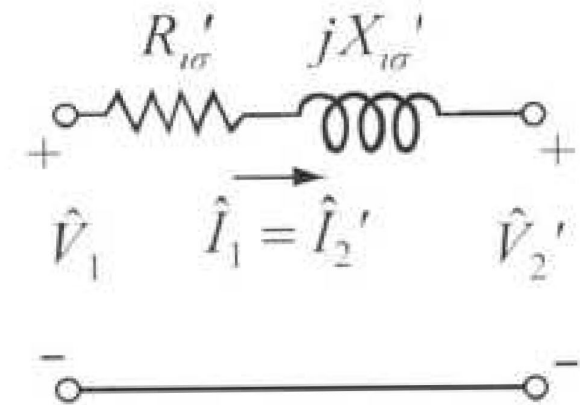
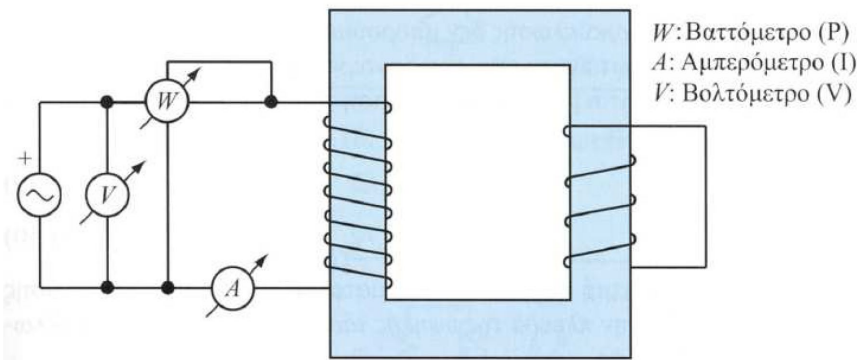
Δοκιμή Ανοικτού Κυκλώματος

- Μετρούμε τα μεγέθη: V_1 , I'_φ , P .
- Η σύνθετη αγωγιμότητα διεγέρσεως Y'_φ μπορεί να υπολογιστεί από
- $Y'_\varphi = \frac{I'_\varphi}{V_1}$
- Οπότε
- $g'_c = \frac{P}{V_1^2} = \frac{P_\pi}{V_1^2}$
- $b'_m = \sqrt{Y'^2_\varphi - g'^2_c}$



Δοκιμή Βραχυκύκλωσης

- Υπολογίζονται οι απώλειες χαλκού ή απώλειες τυλιγμάτων
- Βραχυκυκλώνουμε το δευτερεύον. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε μία μικρή τάση στο πρωτεύον που να προκαλεί ονομαστικό ρεύμα στο δευτερεύον
- Μετρούμε τα μεγέθη: V_1 , I_1 , P .

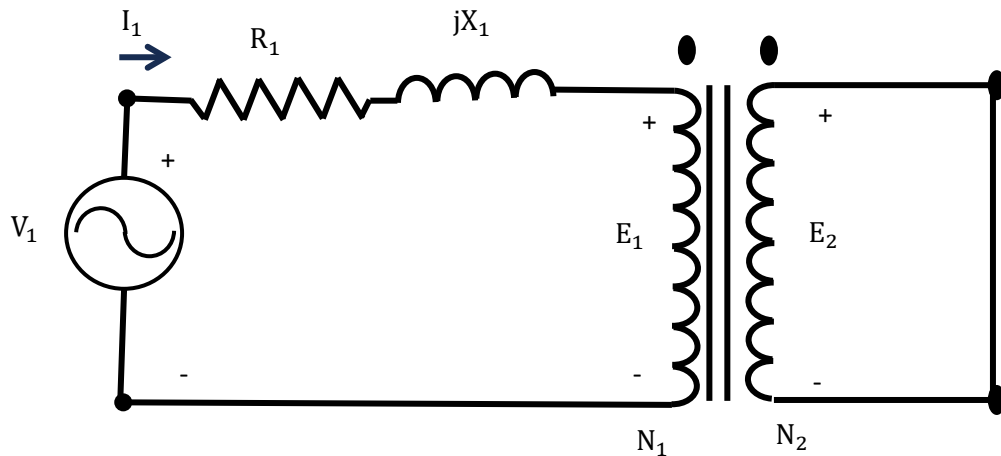


Δοκιμή Βραχυκύκλωσης

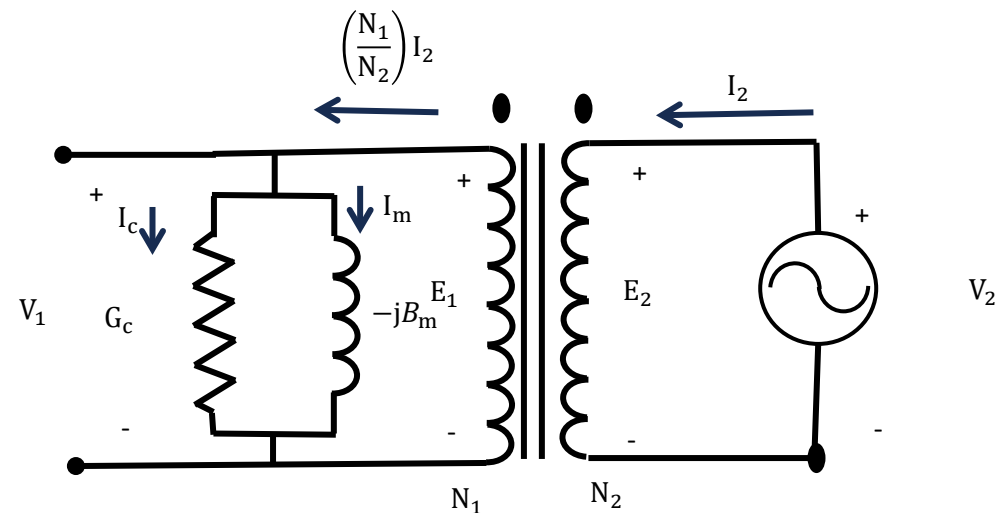
- Μετρούμε τα μεγέθη: V_1 , I_1 , P .
- Οπότε
- $Z'_{\iota\sigma} = \frac{V_1}{I_1}$
- $R'_{\iota\sigma} = \frac{P}{I_1^2}$
- $X'_{\iota\sigma} = \sqrt{Z'^2_{\iota\sigma} + R'^2_{\iota\sigma}}$
- $R_1 = R'_2 = R'_{\iota\sigma}/2$
- $X_1 = X'_2 = X'_{\iota\sigma}/2$

Παράδειγμα

- Έστω μονοφασικός ΜΤ με 2 τυλίγματα ισχύος 20kVA, 480/120V. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής βραχυκυκλώσεως (ονομαστικό ρεύμα στο πρωτεύον, δευτερεύον βραχυκυκλωμένο) λάβαμε τις εξής μετρήσεις: $V_1 = 35V$, $P_1 = 300W$. Αντίστοιχα στη δοκιμή ανοικτοκυκλώσεως (πρωτεύον ανοιχτοκυκλωμένο, ονομαστική τάση στο δευτερεύον) λάβαμε $I_1 = 12A$ και $P_2 = 200W$
- Από τη δοκιμή βραχυκυκλώσεως να υπολογιστεί η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση σειράς αγνοώντας την εγκάρσια αγωγιμότητα ($Z_{eq1} = R_{eq1} + jX_{eq1}$)
- Από τη δοκιμή ανοικτοκυκλώσεως να υπολογιστεί η εγκάρσια αγωγιμότητα $Y_m = G_c - jB_m$ αγνοώντας τη σύνθετη αντίσταση σειράς



δοκιμή βραχυκυκλώσεως



δοκιμή ανοικτοκυκλώσεως

Δοκιμή βραχυκυκλώσεως

Μετασχηματιστές

<u>A/K:</u> $Y = \frac{I}{V}$ $g_c = \frac{P}{V^2}$	<u>B/K:</u> $Z = \frac{V}{I}$ $R = \frac{P}{I^2}$
$b_m = \sqrt{Y^2 - g_c^2}$	$X = \sqrt{Z^2 - R^2}$

$$V_1 = 35V, P_1 = 300W.$$

$$\bullet I_{1rated} = \frac{S_{rated}}{V_{1rated}} = \frac{20.000}{480} = 41,667A$$

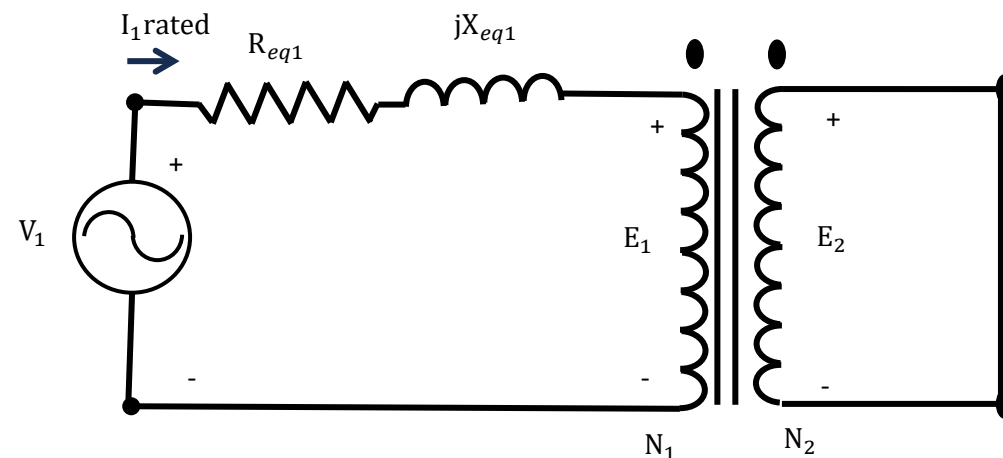
Οπότε

$$\bullet R_{eq1} = \frac{P_1}{I_{1rated}^2} = \frac{300}{41,667^2} = 0,1728\Omega$$

$$\bullet |Z_{1eq}| = \frac{V_1}{I_{1rated}} = \frac{35}{41,667} = 0,84\Omega$$

$$\bullet X_{1eq} = \sqrt{Z_{1eq}^2 - R_{1eq}^2} = 0,8220\Omega$$

$$\text{Άρα } Z_{1eq} = 0,1728 + j0,8220$$



$$\begin{array}{l|l} \text{Α/Κ: } Y = \frac{I}{V} & g_c = \frac{P}{V^2} \\ b_m = \sqrt{Y^2 - g_c^2} & \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Β/Κ: } Z = \frac{V}{I} \\ R = \frac{P}{I^2} \\ X = \sqrt{Z^2 - R^2} \end{array}$$

Δοκιμή ανοικτοκυκλώσεως

- Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε
- $V_1 = E_1 = \alpha_t E_2 = \frac{N_1}{N_2} V_{2\text{rated}} = \frac{480}{120} (120) = 480\text{V}$
- $G_c = \frac{P_2}{V_1^2} = \frac{200}{480^2} = 0,000868 \text{ S}$
- $|Y_m| = \frac{\frac{N_1}{N_2} I_2}{V_1} = \frac{\frac{120}{480} 12}{480} = 0,00625 \text{ S}$
- $B_m = \sqrt{Y_m^2 - G_c^2} = \sqrt{0,00625^2 - 0,000868^2} = 0,00619 \text{ S}$
- $Y_m = G_c - j G_c = 0,000868 - j 0,00619 \text{ S}$

