

1)  $V_1 = 110V$   
 $f = 50Hz$

1)  $\phi = j$   
 $w_1 = 400$   
 2)  $w_2 = 100$   
 $Z = 10\Omega$   
 $I_1, I_2 = ?$

ΜΕΤΑΒΙΒΑΤΙΣΤΕΣ

1)  $V_1 = 4,44 \cdot F \cdot w_1 \cdot \phi$

$\Rightarrow \phi = \frac{V_1}{4,44 \cdot F \cdot w_1} = \frac{110}{4,44 \cdot 50 \cdot 400} \Rightarrow \phi = 0,0012 \text{ Wb}$

2)  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{w_1}{w_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \cdot w_2}{w_1} = \frac{110 \cdot 100}{400} \Rightarrow V_2 = 27,5V$

$V_2 = I_2 \cdot Z_2 \Rightarrow I_2 = \frac{V_2}{Z_2} \Rightarrow I_2 = \frac{27,5}{10} = 2,75A$

$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} \Rightarrow I_1 = \frac{w_2}{w_1} \cdot I_2 \Rightarrow I_1 = \frac{100}{400} \cdot 2,75 = 0,6875A$

$I_1 = 0,63A$

ΠΟΤΙΜΟΤΗΤΕΣ  
 ΑΣΚΗΣΗ 2

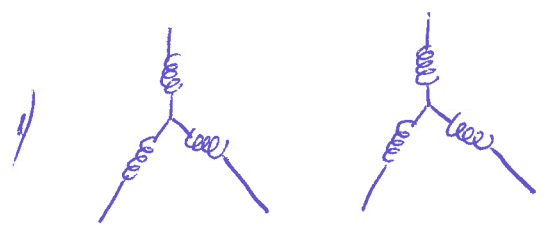
20000/400V 1,2kVA

$U_1 = 20000V$   
 $U_2 = 400V$   
 $S_2 = 1,2kVA$

• Y-Y • Y-Δ • Δ-Y • Δ-Δ

$S_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{1,2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400}$

$\Rightarrow I_2 = 10,4A$



$I_{2\pi} = 10,4A = I_{2\phi}$

$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} \Rightarrow \frac{w_1}{w_2} = \frac{20000}{\frac{400}{\sqrt{3}}} \Rightarrow \frac{w_1}{w_2} = \frac{20000 \cdot \sqrt{3}}{400}$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{400}{20000}$$

$$\Rightarrow \frac{I_1}{10,4} = \frac{400}{20.000} \Rightarrow I_{1\phi} = 0,2 \text{ A.}$$

$$I_{1\phi} = I_{1\eta} = 0,2 \text{ A.}$$

$$U_{1\eta} = 20000 \text{ V}$$

$$U_{1\phi} = \frac{20000}{\sqrt{3}} = 11560 \text{ V}$$

$$U_{2\eta} = 400 \text{ V}$$

$$U_{2\phi} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231 \text{ V}$$

2) Y-Δ



$$U_{1\eta} = 20000 \text{ V}$$

$$U_{2\eta} = 400 \text{ V}$$

$$U_{2\phi} = U_{2\phi} = 400 \text{ V}$$

$$U_{1\eta} = \sqrt{3} U_{1\phi} \Rightarrow U_{1\phi} = \frac{20000}{\sqrt{3}} = 11560 \text{ V}$$

$$S_2 = \sqrt{3} U_{2\eta} I_{2\eta} \Rightarrow I_{2\eta} = \frac{S_2}{\sqrt{3} U_{2\eta}} \Rightarrow I_{2\eta} = 10,4 \text{ A.}$$

$$I_{2\phi} = \frac{I_{2\eta}}{\sqrt{3}} \Rightarrow I_{2\phi} = \frac{10,4}{\sqrt{3}} \Rightarrow I_{2\phi} = 6,01 \text{ A}$$

$$\frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{w_1}{w_2} \Rightarrow \frac{11560}{400} = \frac{w_1}{w_2}$$

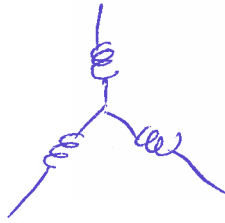
$$\frac{I_{1\phi}}{I_{2\phi}} = \frac{w_2}{w_1} \rightarrow \frac{I_{1\phi}}{6,01} = \frac{400}{11560}$$

$$\rightarrow I_{1\phi} = 0,20 \text{ A.}$$

$$I_{1\phi} = I_{1\eta} = 0,20 \text{ A}$$

3)  $\Delta-Y$

3)



$$U_{2\eta} = 400V$$

$$U_{1\eta} = 20000V$$

~~$$U_{2\phi} = \sqrt{3} U_{2\eta}$$~~

$$U_{2\phi} = \frac{U_{2\eta}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231V$$

$$U_{1\eta} = U_{1\phi} = 20000V$$

$$S_2 = \sqrt{3} U_{2\eta} \cdot I_{2\eta} \Rightarrow I_{2\eta} = \frac{7,2kVA}{\sqrt{3} \cdot 400}$$

$$\Rightarrow I_{2\eta} = 10,4A$$

$$I_{2\eta} = I_{2\phi} = 10,4A$$

$$\frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{w_1}{w_2} \Rightarrow \frac{20000}{231} = \frac{w_1}{w_2}$$

$$\frac{I_{1\phi}}{I_{2\phi}} = \frac{w_2}{w_1} \Rightarrow \frac{I_{1\phi}}{10,4} = \frac{231}{20000}$$

$$\Rightarrow I_{1\phi} = I_{2\phi} \cdot \frac{231}{20000} = P$$

$$I_{1\phi} = 0,12A$$

$$I_{1\eta} = \sqrt{3} I_{1\phi} \Rightarrow I_{1\eta} = 0,12 \cdot \sqrt{3} = 0,2A$$

$$U_{2\eta} = 400V$$

$$U_{1\eta} = 20000V$$

$$U_{2\phi} = 400V$$

$$U_{1\phi} = 20000V$$

$$S_2 = \sqrt{3} U_{2\eta} \cdot I_{2\eta} \Rightarrow I_{2\eta} = 10,4A$$

$$I_{2\phi} = \frac{I_{2\eta}}{\sqrt{3}} = \frac{10,4}{\sqrt{3}} = 6,02A$$

4)  $\Delta-\Delta$



$$\frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{w_1}{w_2} \Rightarrow \frac{20.000}{400} = \frac{w_1}{w_2}$$

$$\frac{I_{1\phi}}{I_{2\phi}} = \frac{w_2}{w_1} \Rightarrow \frac{I_{1\phi}}{6,0\text{L}} = \frac{400}{20.000}$$

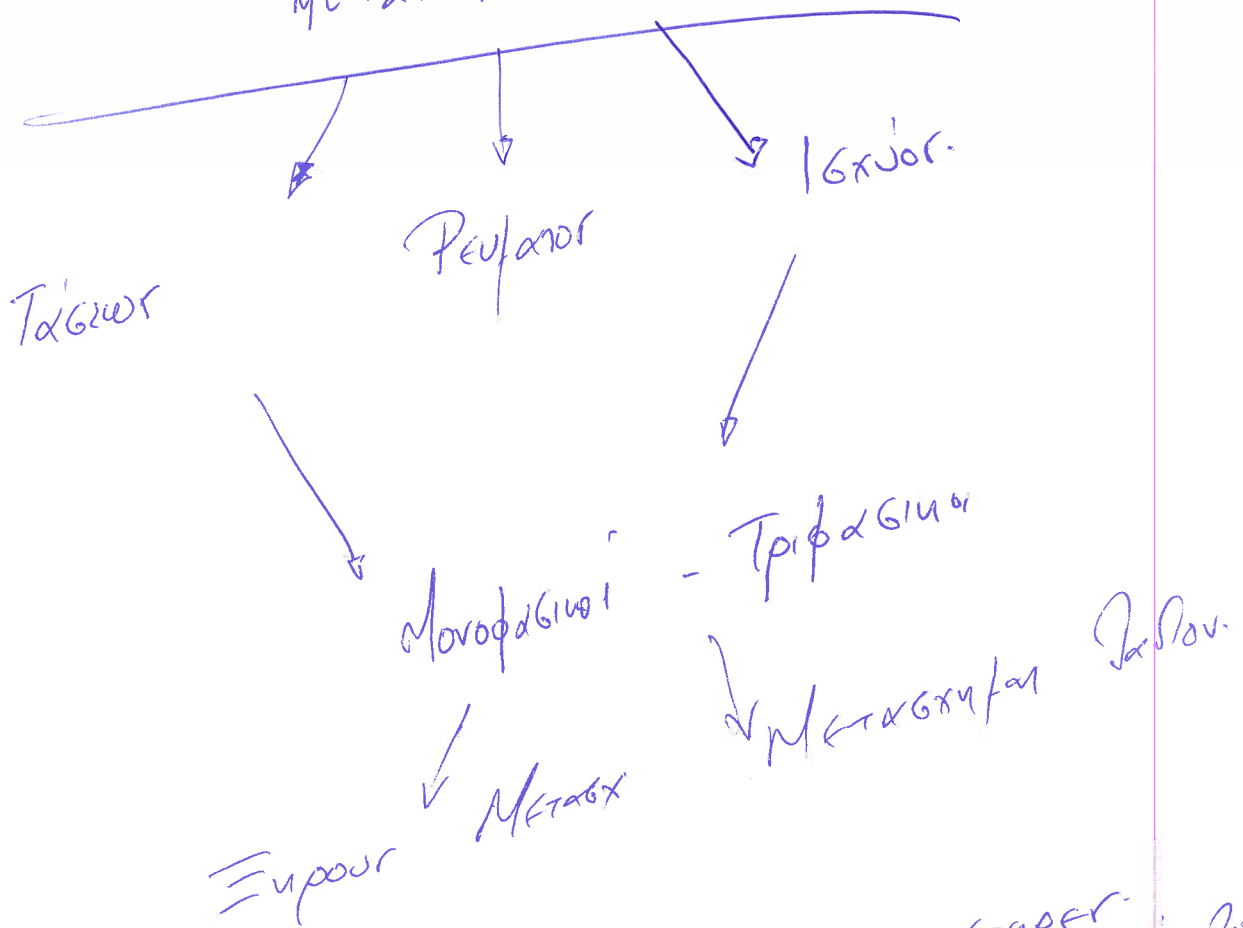
$$\Rightarrow I_{1\phi} = 0,12\text{A}$$

$$I_{1\eta} = \sqrt{3} I_{1\phi} \Rightarrow \sqrt{3} \cdot 0,12 = \sqrt{3}$$

$$I_{1\eta} = 0,2\text{A}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{37,5} \Rightarrow I_{1\phi} = \frac{417,6}{37,5}$$

# ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ



## ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

- Δύο πυρήνες
- Τσιγγά Y.T
- Πυλώτες ωυ

• Τσιγγά X.T  
 για επιφανειακή φόρτιση  
 για χαμηλή σφύξη

• Βάσεις  
 • καύση  
 • τσιγγά  
 • τσιγγά

$$S_1 = U_1 \cdot I_1$$

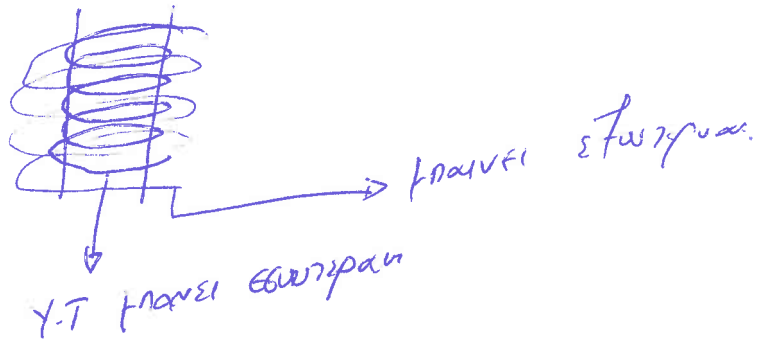
$$S_2 = U_2 \cdot I_2 \quad 2200VA.$$

$$S_1 = S_2$$

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

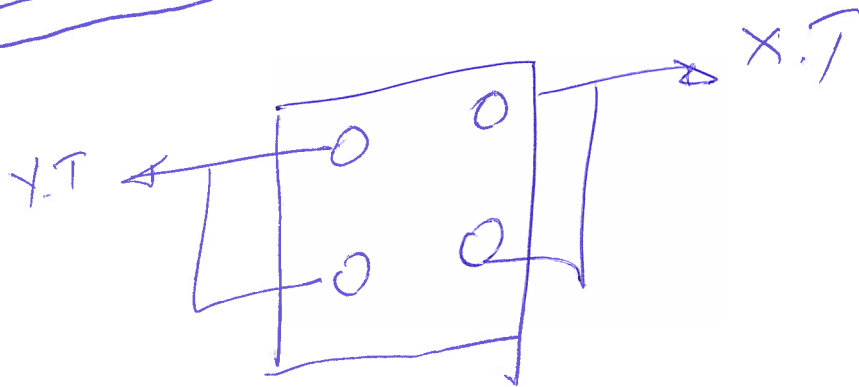
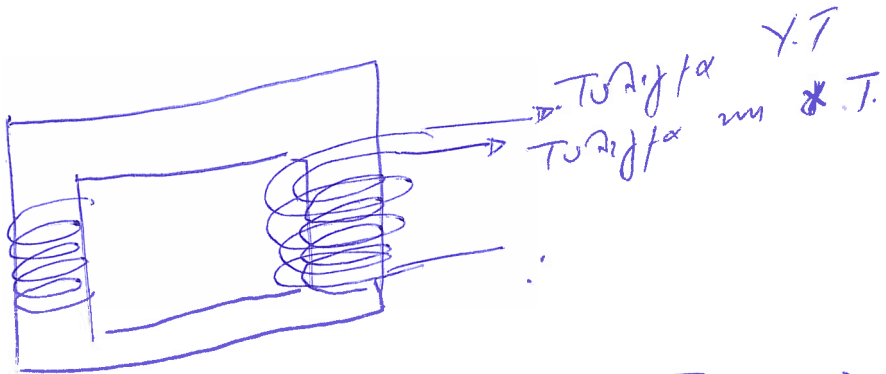
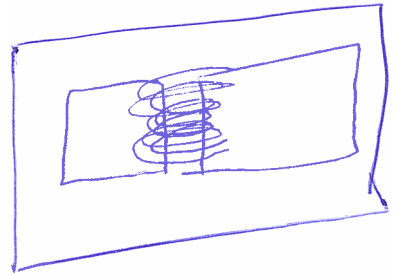
$\downarrow$       $\downarrow$       $\downarrow$       $\downarrow$   
 220V   10A   22V   100

Τσιγγά X.T     τσιγγά     2200VA     220V     10A     22V     100     Y.T.

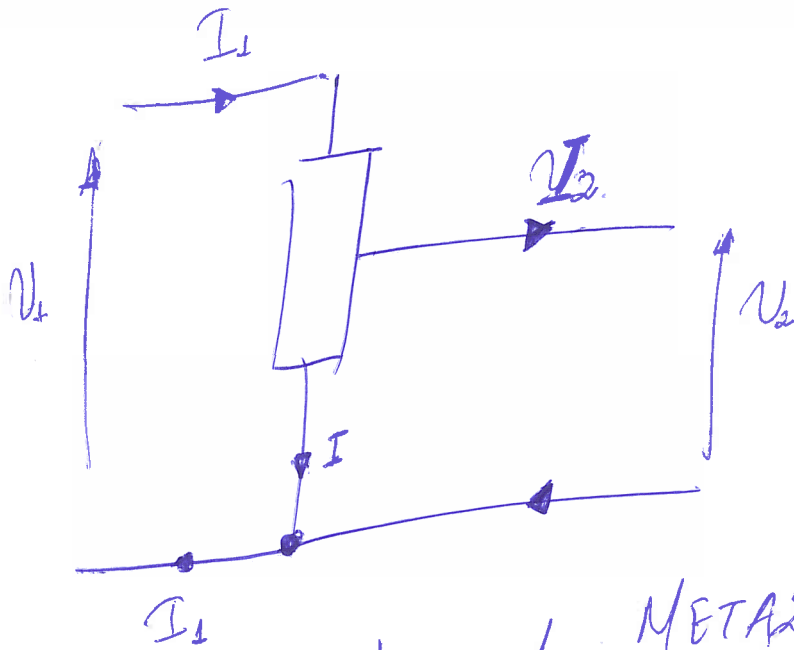


Πυρήνα  
 3  
 πυρήνα

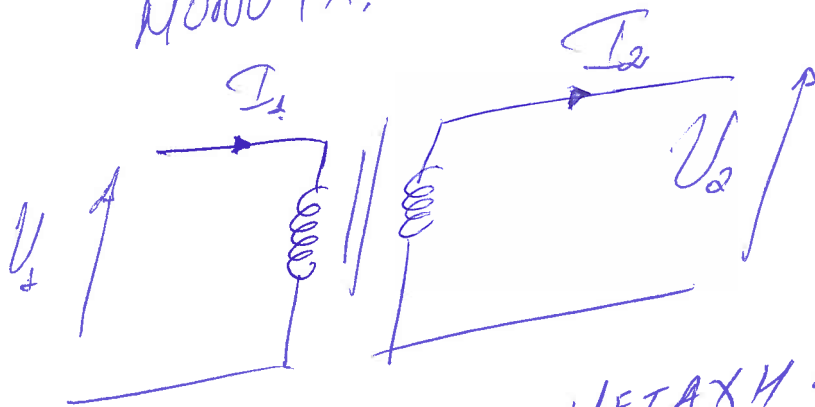
Μανδύα



# ΑΥΤΟΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ



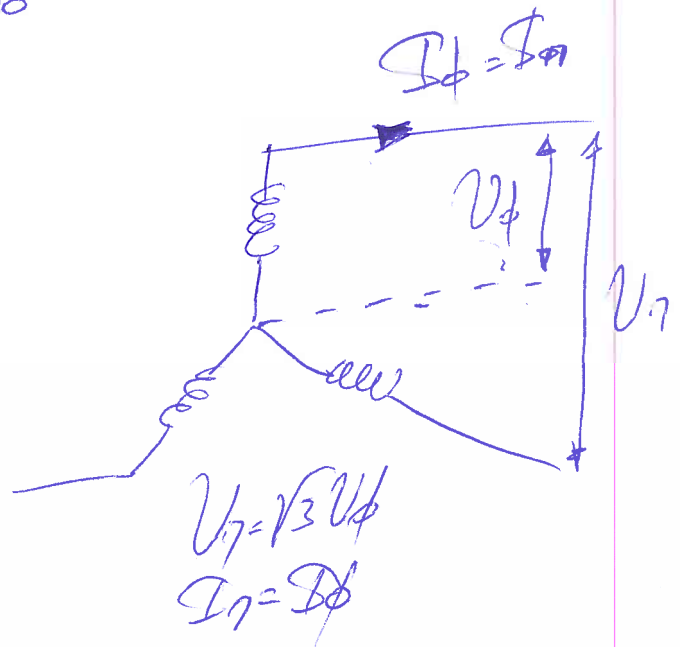
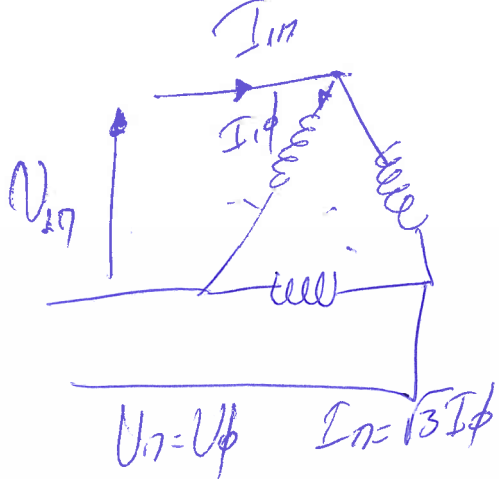
ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

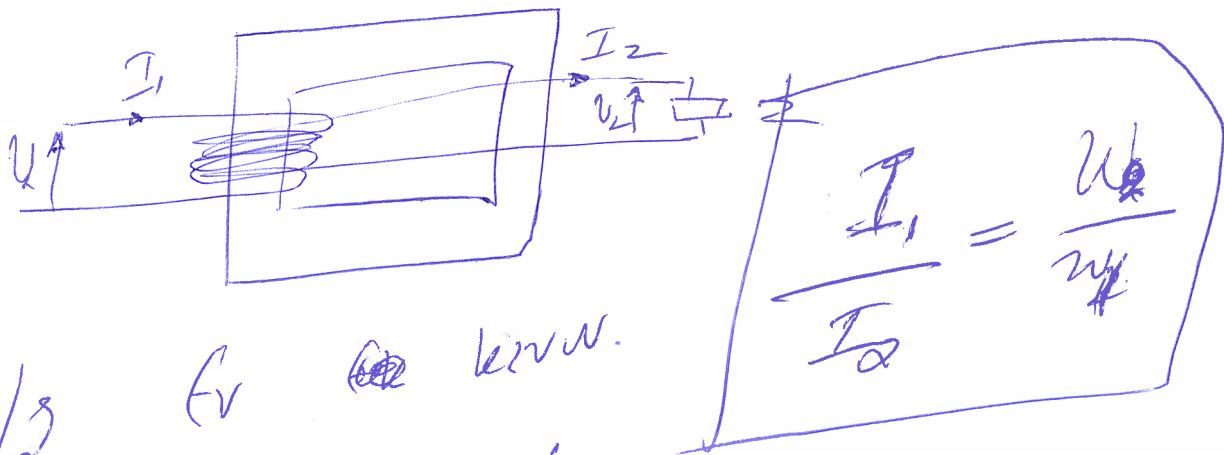


ΤΡΙΑΦΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

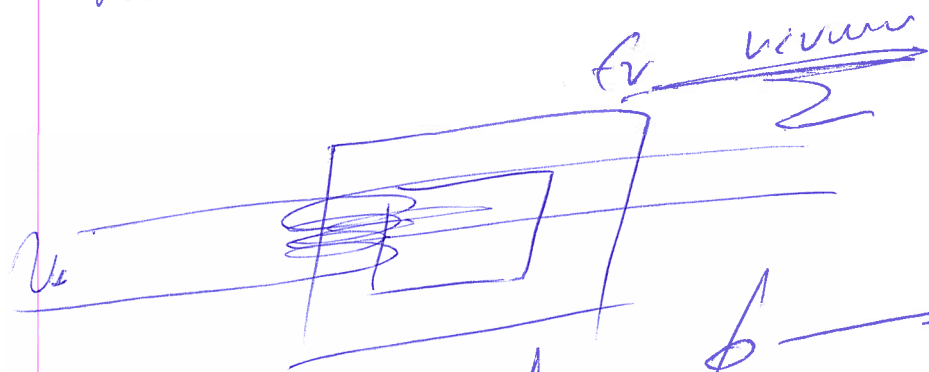
- Y-Y
- Y-Δ
- Δ-Y
- Δ-Δ

Τρεις φάσεις με παρρηθύνωση





$N_1/2$   $E_v$  ~~koru~~ koru.  
 $N_1/2$   $E_v$  fozvio.



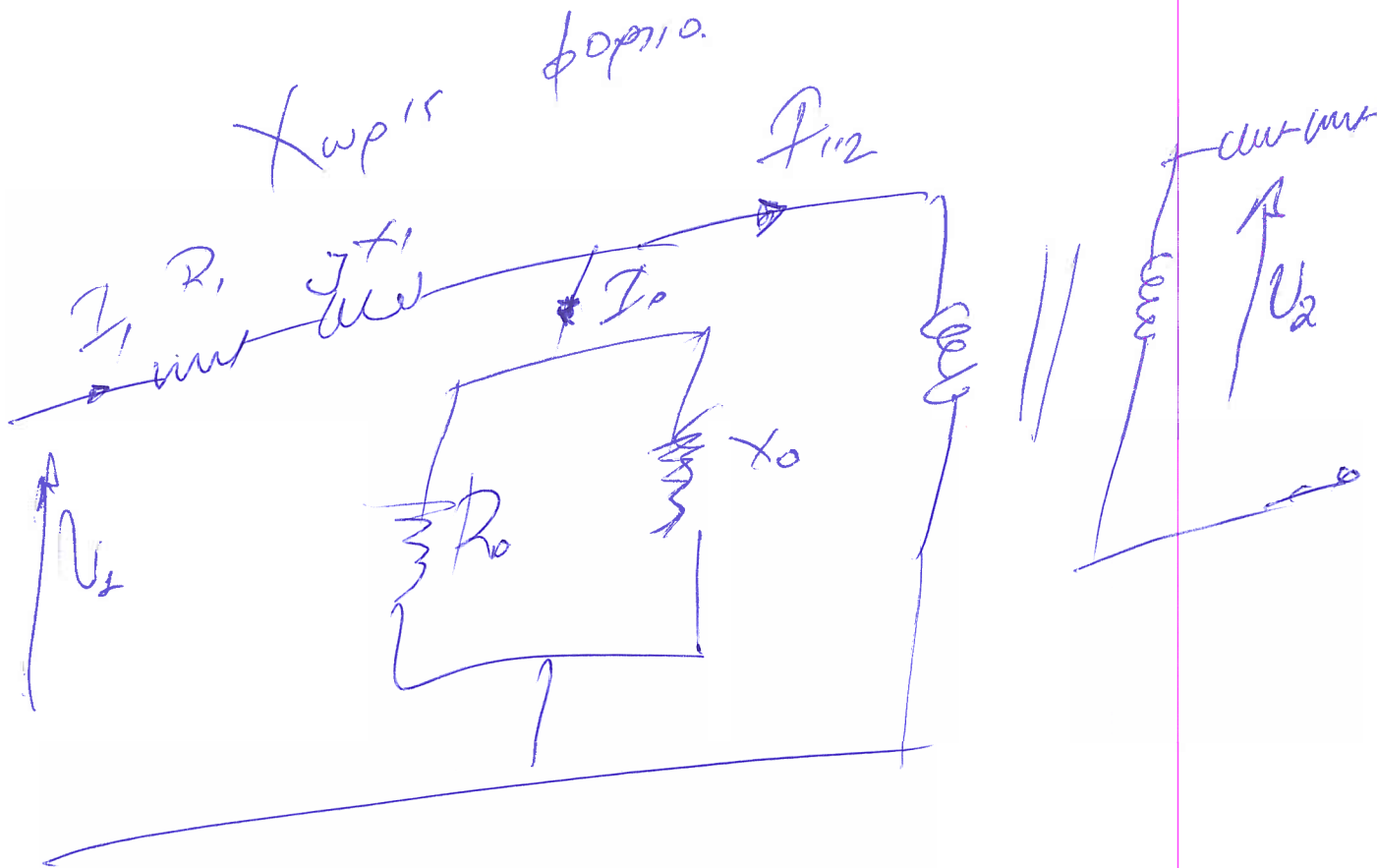
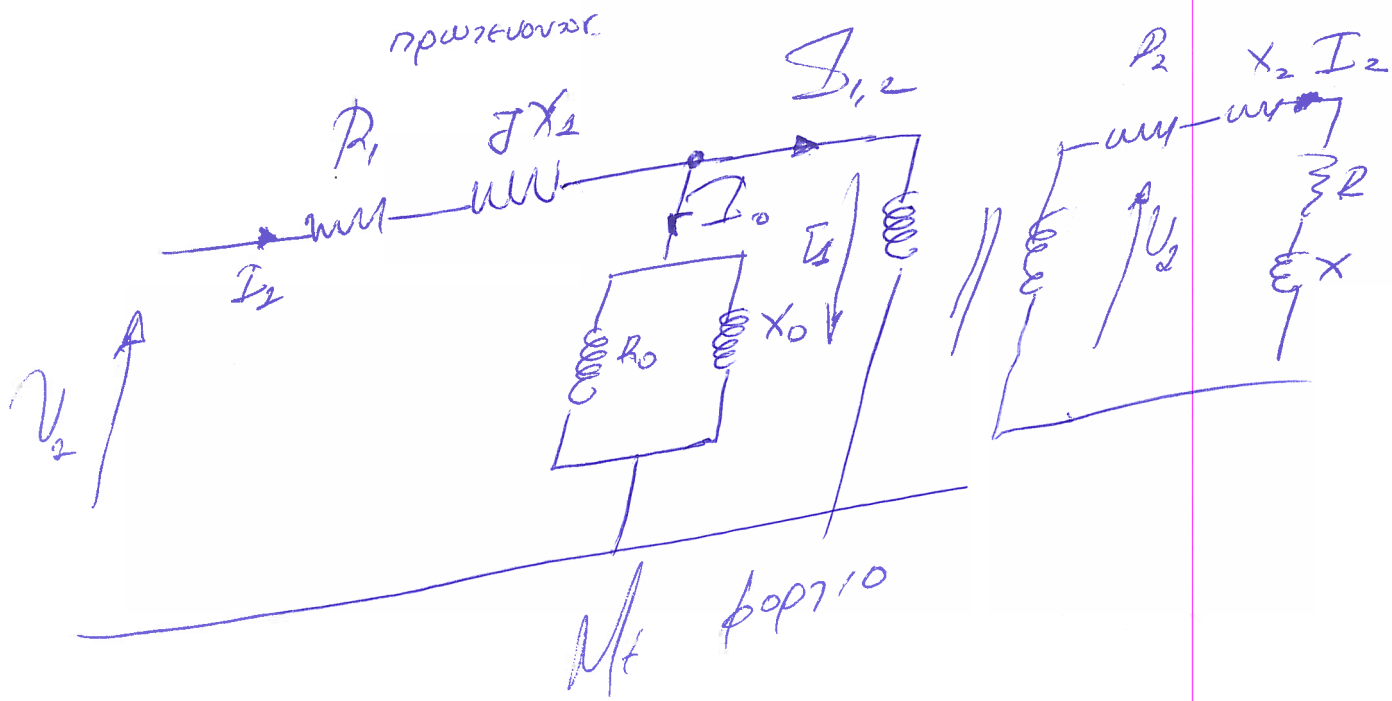
$U_2 = E_2 = 4.44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \phi$  —  $\phi$  —  $f$   $\phi$   $w_2$  pot.

$\downarrow$   $\downarrow$   
 Guxum  $\phi$   $w_2$   $\phi$   
 apu  $\phi$   $w_2$   $\phi$   
 Guxum  $\phi$   $w_2$   $\phi$

$U_1 = E_1 = 4.44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \phi$

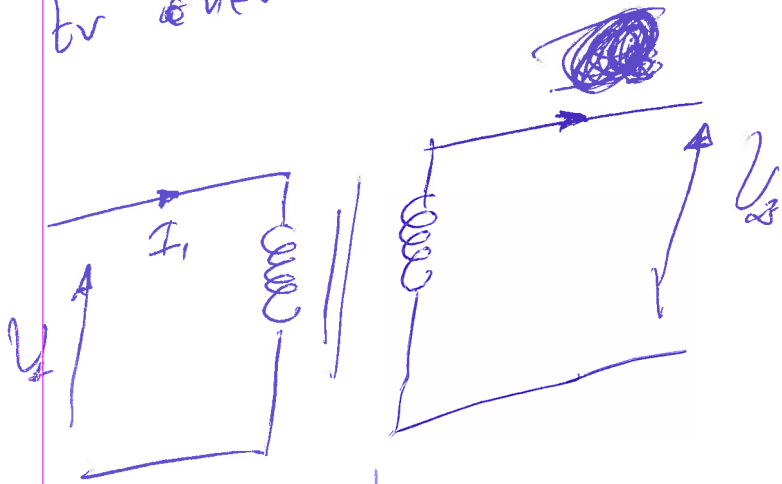
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$



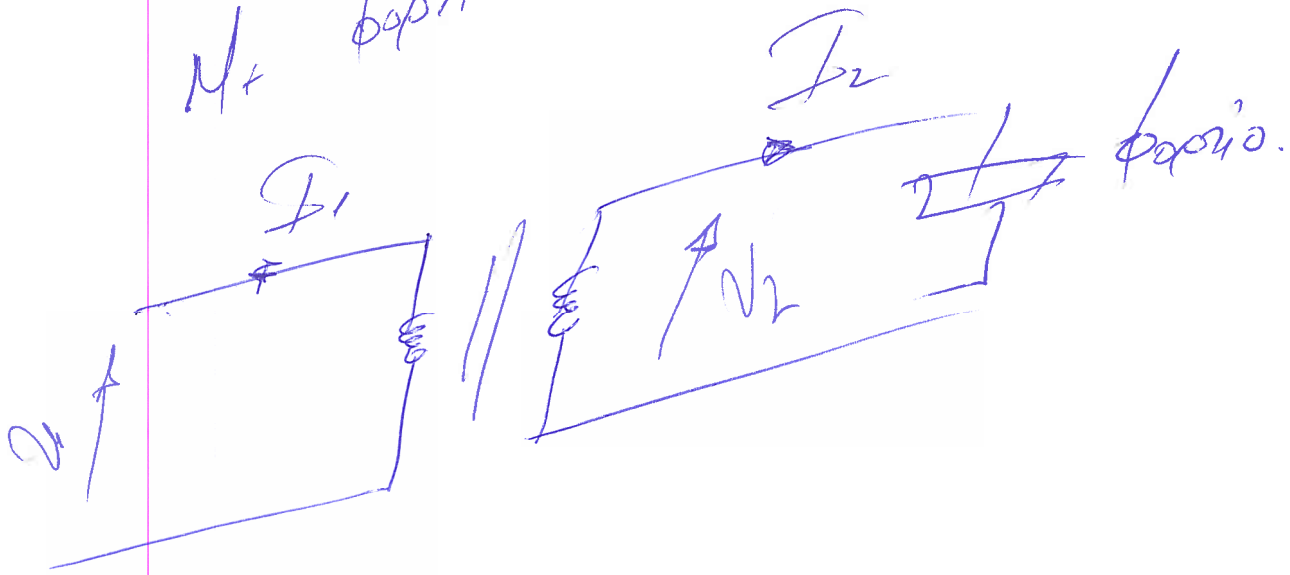


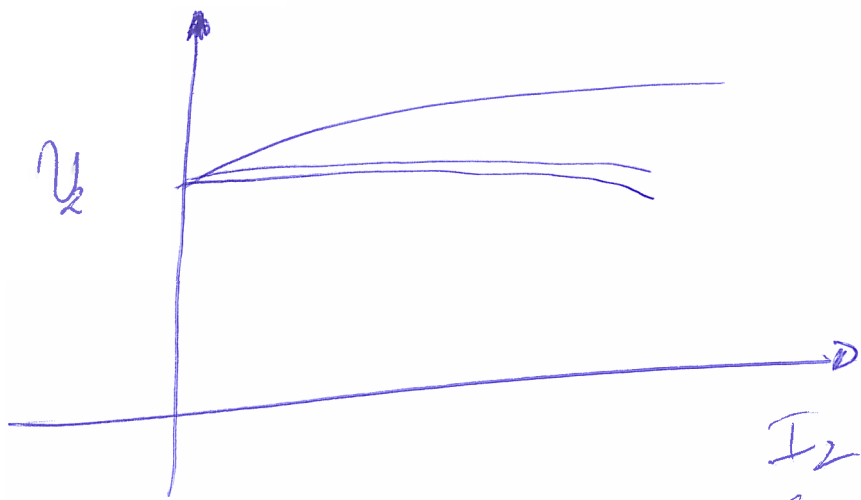
# 1 Σειρές Μεταβλητών Χωρίς ανώμαλο.

Εν κενώ



Με φορτίο





капитал попроси M/D

$$y = \frac{P_{eI}}{P_{e16}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{eI}}{P_{eI} + P_{eD}}$$

$$= \frac{P_{eI}}{P_{eI} + P_{eD} + P_{eD}}$$

$$E_1 = V_1 = 4.44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \phi$$

$$V_2 = 4.44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \phi$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1}$$

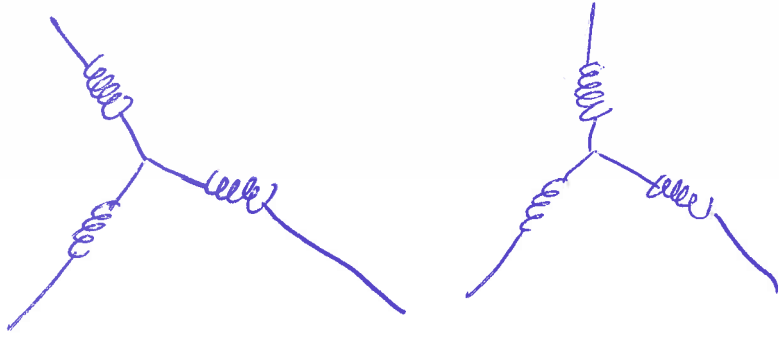
$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left( \frac{w_1}{w_2} \right)^2$$

Μόνο για  
πίνακα

Ποιες σχέσεις ισχύουν στον φασματικό χώρο και στο πρισματικό;

και αναφέρεται στην φασματική απόδοση με τη βοήθεια της σχέσης

φασματικό



$N_1 = 40$

$V_{1\phi} = 8.7 \text{ kV}$

$S_2 = 4.8 \text{ kVA}$

$V_{1\phi} = 8.7 \text{ kV}$

$V_{1\eta} = \sqrt{3} V_{1\phi} = \sqrt{3} \cdot 8.7 \text{ kV}$

$\frac{V_{1\phi}}{V_{2\phi}} = \frac{N_1}{N_2}$

$\Rightarrow V_{2\phi} = \frac{N_2}{N_1} V_{1\phi}$

$V_{2\eta} = \sqrt{3} V_{2\phi}$

$S_2 = \sqrt{3} \cdot V_{2\eta} \cdot I_{2\eta} \Rightarrow$

$I_{2\eta} = \dots$

$I_{2\eta} = I_{2\phi}$

$\frac{I_{1\phi}}{I_{2\phi}} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow I_{1\phi} = I_{2\phi} \frac{N_2}{N_1}$

$I_{1\eta} = I_{1\phi}$

| АОНУОУ 1<sup>ч</sup> 2017 94 |

$$S_2 = 10 \text{ kVA}$$

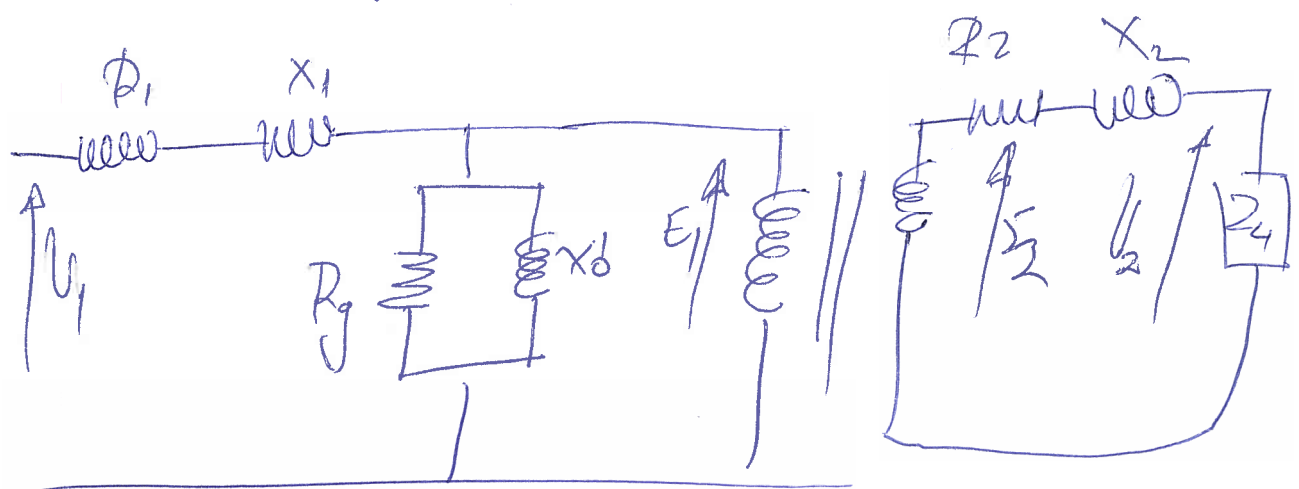
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{8000}{230}$$

$$R_1 + jX_1 = 90 + j400$$

$$R_g = 500 \text{ k}\Omega$$

$$X_b = 60 \text{ k}\Omega$$

$$Z_2 = 4,2 + j3,15 \Omega$$



$$R_1 = 90 \Omega \quad X_1 = 400 \Omega$$

$$Z_1 = R_1 + jX_1$$

$$R_g = 500 \text{ k}\Omega \quad X_b = 60 \text{ k}\Omega$$

$$Z_2 = R_2 + jX_2$$

$R_2$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \Rightarrow \frac{90 + j400}{Z_2} = \left( \frac{8000}{230} \right)^2$$

$$\Rightarrow \frac{90 + j400}{Z_2} = 1209,8$$

$$\Rightarrow Z_2 = \frac{90 + j400}{1209,8} \Rightarrow$$

$$Z_2 = 0,07 + j0,33$$

Αβλυσή 1<sup>η</sup> ΣΕΠ 94

ε)  $E_1 = 7967V$  Δεσφω οτι δυνάμει είναι  
υ τάση  $E_1$  δυνάμει 0  $\mu k/s$

Στην είναι ιδιότητα.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow \frac{7967}{E_2} = \frac{8000}{230}$$

$$\Rightarrow E_2 = 229, V$$

$$E_2 = V_2 + I_2 (R_2 + jX_2)$$

$$\Rightarrow E_2 = I_2 \cdot Z_2 + I_2 (R_2 + jX_2)$$

$$\Rightarrow E_2 = I_2 (4,2 + j3,15) + I_2 (0,07 + j0,33)$$

$$\Rightarrow 229 = I_2 (4,27 + j3,48)$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{229 \angle 0}{4,27 + j3,48}$$

$$U_2^* = I_2 \cdot Z_L \Rightarrow U_2 = I_2 (4,2 + j3,15)$$

$$\sqrt{(4,2)^2 + (3,48)^2} \angle \tan^{-1} \frac{3,48}{4,27} = \sqrt{18,23 + 12,11} \angle 39,5^\circ$$

$$= 5,5 \angle 43,5^\circ$$

$$\frac{999 \angle 0^\circ}{5,5 \angle 43,5^\circ} = 41,6 \angle -43,5^\circ$$

$$41,6 \cdot \cos(-43,6^\circ) + j 41,6 \sin(-43,6^\circ)$$

$$= (33,01 - j 26,31)$$

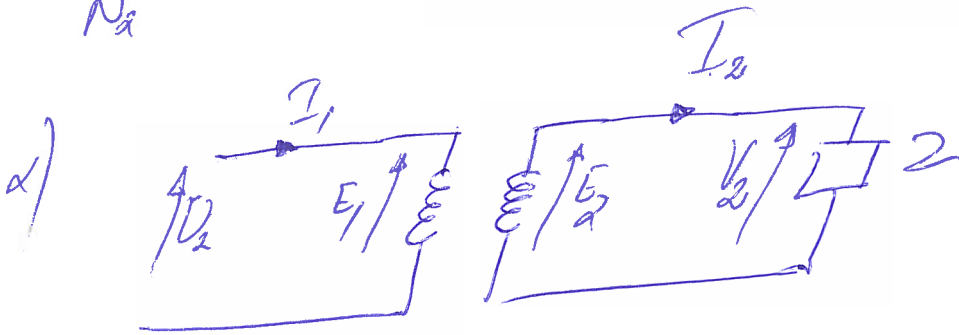
$$(33,01 - j 26,31)(4,2 + j 3,15)$$

=



A2KH2H 21 (Mapur 99)

$$\frac{N_1}{N_2} = 40 \quad U_1 = 8.7 \text{ kV} \quad E_1 = E_2 \quad U_2, I_2 \quad I_1 = 0.5 \text{ A}$$



$$U_1 = 8.7 \text{ kV}$$

$$U_1 = E_1 = 8.7 \text{ kV}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{8.7 \text{ kV}}{E_2} = 40 \Rightarrow E_2 = \frac{8.7}{40} = 0.2175 \text{ kV}$$

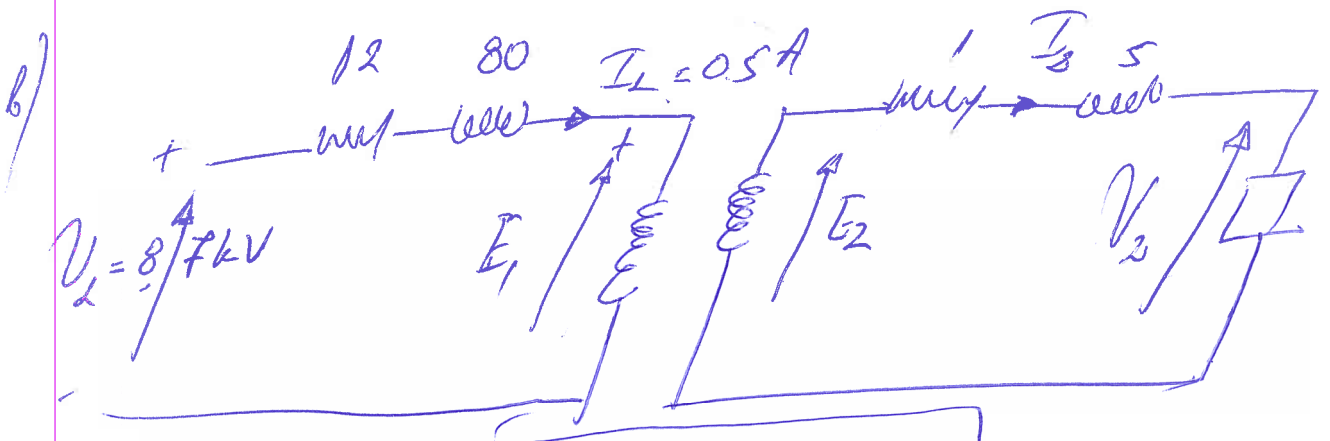
$$I_1 = 0.5 \text{ A}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\Rightarrow \frac{0.5}{I_2} = \frac{1}{40}$$

$$\Rightarrow I_2 = 40 \cdot 0.5 \Rightarrow I_2 = 20 \text{ A}$$

$$U_2 = E_2 \Rightarrow U_2 = 0.2175 \text{ kV}$$



$$V_1 = E_1 + I_1 (12 + j80)$$

$$\Rightarrow E_1 = V_1 - I_1 (12 + j80)$$

$$\Rightarrow E_1 = 8 \text{ kV} - 0.5 (12 + j80)$$

$$\Rightarrow E_1 = 8700 - 6 - j40$$

$$\Rightarrow E_1 = 8694 - j40 \Rightarrow E_1 = \dots$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow E_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot E_1 \Rightarrow E_2 = \frac{1}{40} E_1$$

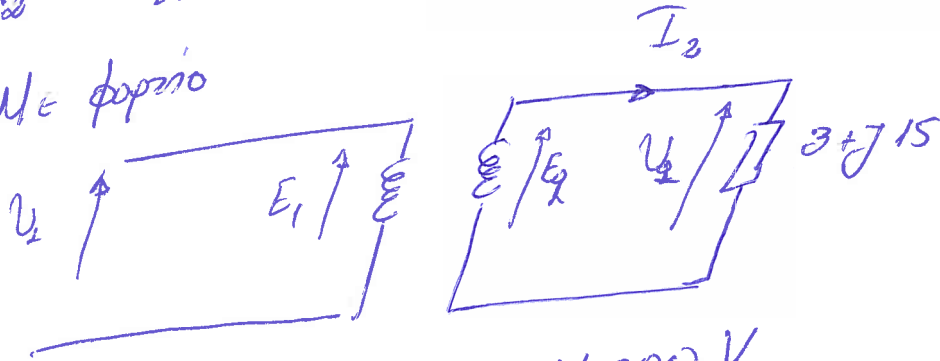
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow I_2 = \dots$$

~~$$V_2 = I_2 Z$$~~

$$E_2 = V_2 + I_2 (R_2 + jX_2)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{11000}{220}$$

1) Me φορτισ



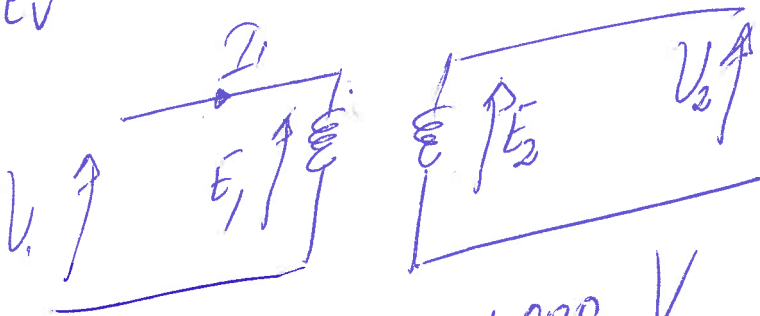
$$E_1 = U_1 \Rightarrow E_1 = U_1 = 11.000 \text{ V}$$

$$E_2 = U_2 \Rightarrow 220 = E_2 = U_2$$

$$U_2 = I_2 (3 + j15) \Rightarrow I_2 = \frac{U_2}{3 + j15}$$

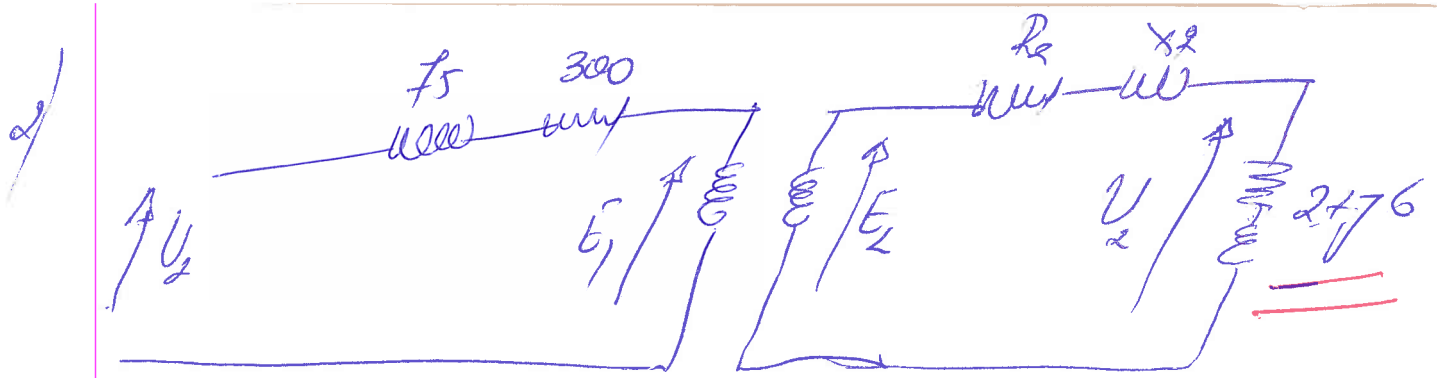
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow I_1 = \dots$$

Ev kerw.



$$E_1 = U_1 = 11.000 \text{ V}$$

$$E_2 = U_2 = 220 \text{ V}$$



$$U_1 = E_1 + I_1 (75 + j300) \quad (1)$$

$$\rightarrow E_2 = U_2 + I_2 (R_2 + jX_2) \quad (2)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \Rightarrow \frac{75 + j300}{Z_2} = 2500$$

$$* \Rightarrow Z_2 = \frac{75 + j300}{2500} \Rightarrow Z_2 = 0.03 + j0.12$$

$$(2) \quad E_2 = I_2 (2 + j6) + I_2 (0.03 + j0.12)$$

$$\Rightarrow 220 = I_2 (2.03 + j6.12)$$

$$\rightarrow I_2 = \dots$$

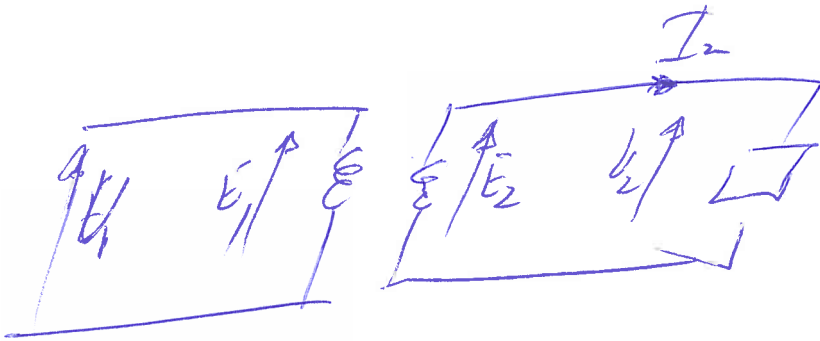
$$U_2 = I_2 \cdot (2 + j6) = \dots$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{X_2}{N_2} \Rightarrow I_1 = \dots$$

$$(1) \quad U_1 = 11.000 + I_1 (75 + j300)$$

$R = 12 \Omega$

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{220}{32}$$

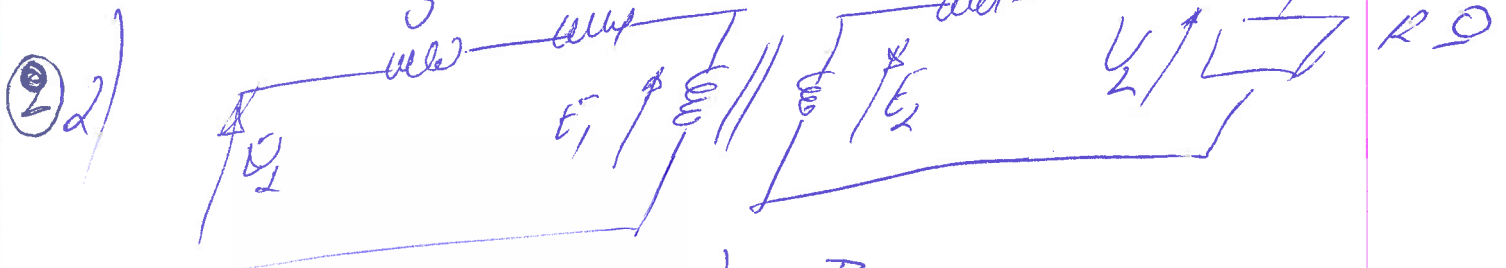


$V_1 = E_1 = 220V$

$V_2 = E_2 = 32V$

$V_2 = I_2 \cdot R \Rightarrow I_2 = \frac{32}{12}$

$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow I_1 = \dots$



$E_2 = V_2 + I_2 (1 + j3) \Rightarrow$

$E_2 = I_2 \cdot R + I_2 (1 + j3) \Rightarrow E_2 = \frac{I_2 \cdot (13 + j3)}{32}$

$V_2 = I_2 \cdot R$

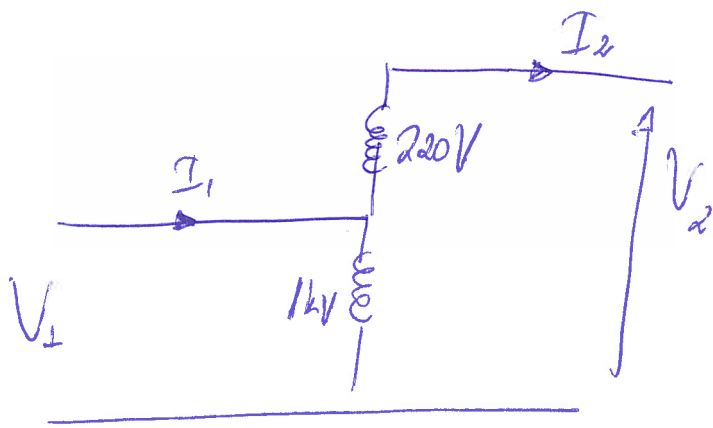
$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$

$V_1 = E_1 + I_1 (R_1 + jX_1)$

$\Rightarrow V_1 = \dots$

247. 93

Apr 3



$$V_1 = 1kV = 1000V$$

$$V_2 = 220V$$

$S_1 = S_2 = 30kVA$  (power conservation)

$$S_2 = 30kVA \text{ (given)}$$

$$S_1 = 30kVA$$

$$S_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{S_1}{V_1} \Rightarrow \frac{30kVA}{1kVA}$$

$$\Rightarrow I_1 = 30A$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow$$

$$\frac{1000}{220} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow I_2 = \dots$$

2019 95 - Map. 96

$$3) \frac{U_1}{\frac{1}{2}} = \frac{220}{32}$$

$$R_2 = 12 \Omega$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2 \Rightarrow U_2 = I_2 \cdot 12$$

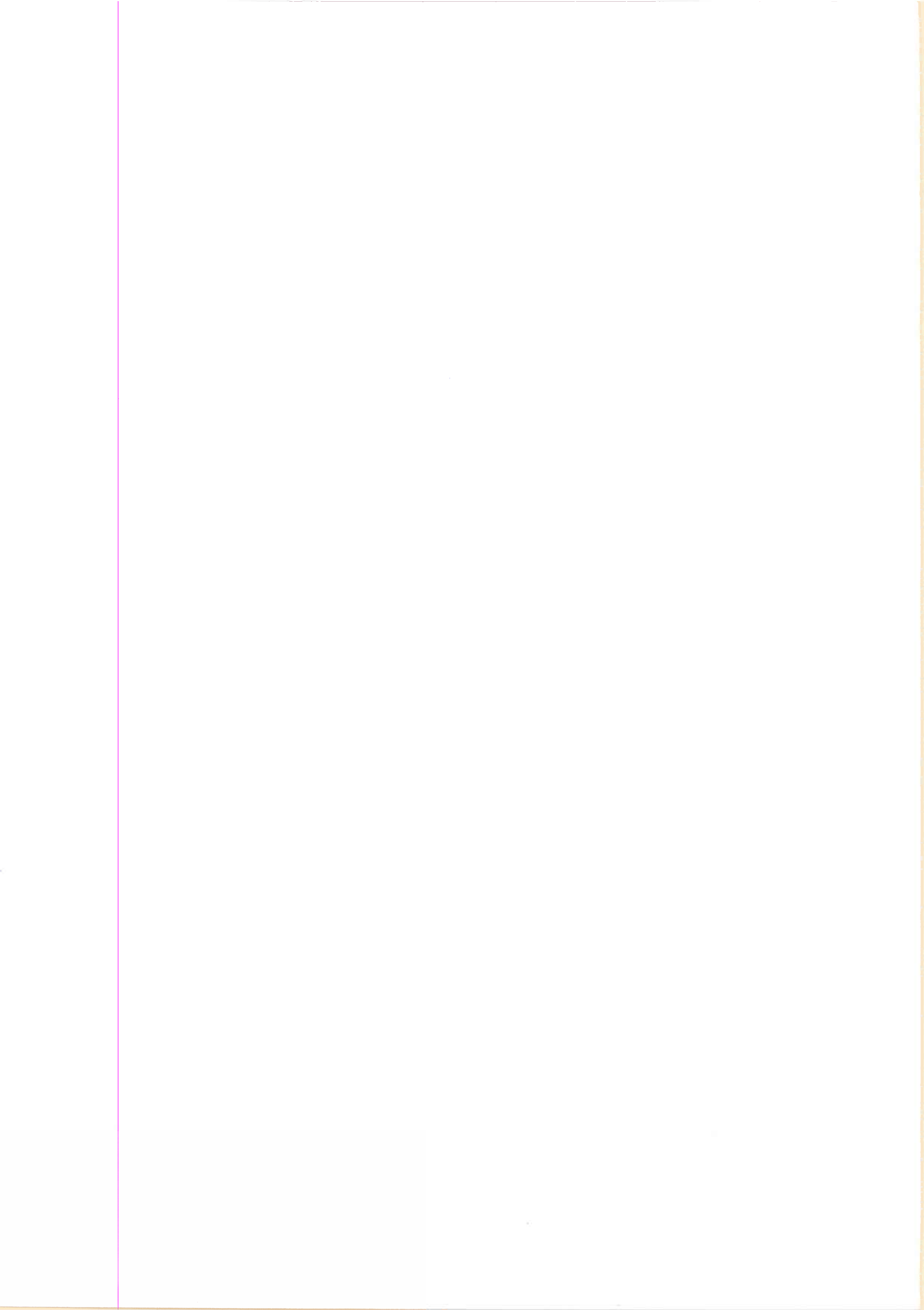
$$\Rightarrow I_2 = \frac{32}{12}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow I_1 = \dots$$

To prufa korovo zuby 4

$$I = I_1 - I_2$$

korovo.





$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow I_1 = I_2 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

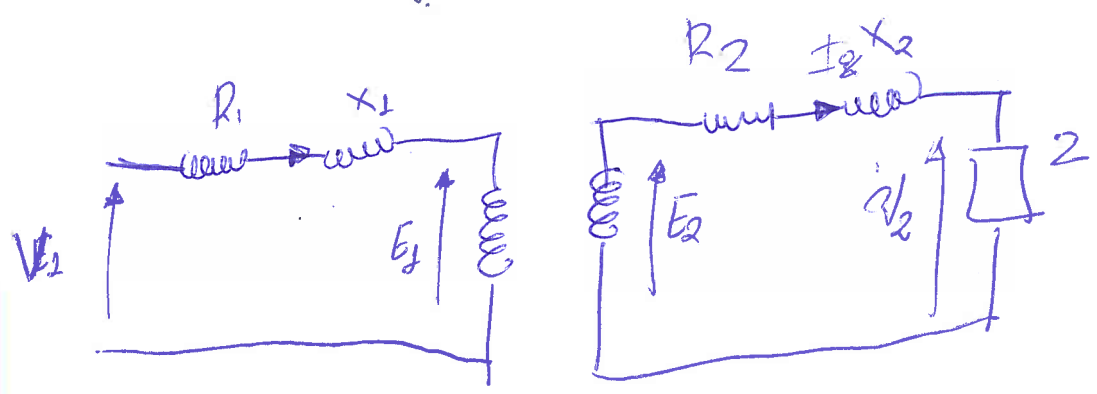
$$\Rightarrow I_1 = 20.65 \angle -49.87^\circ \cdot \frac{1}{10}$$

$$\Rightarrow I_1 = 2.065 \angle -49.87^\circ$$

$$\frac{N_1}{N_2} = 10$$

$L_1 = 0,0266 \text{ H}$   
 $L_2 = 0,0005 \text{ H}$   
 $Z = 8 + j8$   
 $E_1 = 2400 \text{ V}$

$R_1 = 10 \Omega, R_2 = 0,2 \Omega$



1)  $R_1 = 10 \Omega$   
 $X_1 = L_1 \cdot \omega = L_1 \cdot 2\pi f = 0,0266 \cdot 2\pi \cdot 50 = \dots$   
 $R_2 = 0,2 \Omega$   
 $X_2 = L_2 \cdot \omega = L_2 \cdot 2\pi f = 0,0005 \cdot 2\pi \cdot 50 = \dots = 0,16 \Omega$   
 $E_1 = 2400 \text{ V}$

6)  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow E_2 = E_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow$   
 $E_2 = E_1 \cdot \frac{1}{10} \Rightarrow E_2 = 2400 \cdot \frac{1}{10}$   
 $\Rightarrow E_2 = 240 \text{ V}$

$$E_2 = V_2 + I_2 (R_2 + jX_2)$$

$E_2 = I_2 \cdot Z + I_2 (R_2 + jX_2)$   
 $\Rightarrow E_2 = I_2 (8 + j8 + 0,2 + j0,16)$   
 $\Rightarrow 240 = I_2 (8,2 + j8,16)$   
 $I_2 = \frac{240 \angle 0^\circ}{11,63 \angle 49,8^\circ} \Rightarrow I_2 = 20,63 \angle -49,8^\circ$

- β) Τι τιμή παίρνει η ένταση βραχυκυκλώσεως, αν η ποδική τάση της γεννήτριας μικρύνει και φτάει μέχρι μηδενισμού (βραχυκύκλωμα της γεννήτριας)
- γ) Πώς μπορεί ν' αλλάξει η φορά περιστροφής του επαγωγίσιμου της γεννήτριας χωρίς ν' αλλάξει η ποδικότητα της παραγόμενης τάσης,  
(Αλλάζει η φορά του διεγερτικού ρεύματος).
- δ) Πώς μπορεί ν' αλλάξει η ποδικότητα της γεννήτριας χωρίς αυτή ν' αναστραφεί  
(Αλλάζει η φορά του διεγερτικού ρεύματος).
- ε) Πώς μπορεί ν' αλλάξει η ποδικότητα της γεννήτριας χωρίς ν' αλλάξει η φορά του διεγερτικού ρεύματος;  
(Αναστρέφεται η γεννήτρια).

### Γεννήτριες Παράλληλης Διέγερσης

2) Οι παρακάτω μετρήσεις έγιναν για μία γεννήτρια Σ.Ρ. παράλληλης διέγερσης με 4 πόλους και βοηθητικούς πόλους, με ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm.

Ρεύμα Διέγερσης	0	0.1	0.4	0.6	0.8	1.0	1.14	1.32	1.56	1.92	2.4	3.04
Ποδική τάση εν κενώ	0	20	80	120	160	200	220	240	260	280	300	320

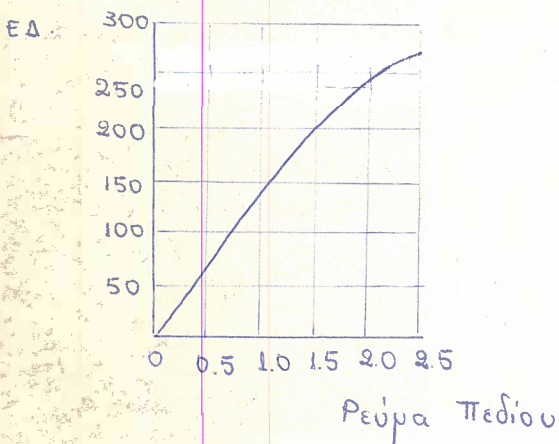
Να μελεταστεί η στατική χαρακτηριστική και να υπολογιστούν: α) την τάση που θα αναπτύξει η γεννήτρια, εάν η αντίσταση διέγερσης είναι 125 Ω. β) Η υψίστη τιμή της αντίστασης διέγερσης γ) η στατική χαρακτηριστική της γεννήτριας όταν περιστρέφεται με ταχύτητα 1000 rpm δ) η εν κενώ τάση της γεννήτριας στις 1000 rpm με αντίσταση διέγερσης 125 Ω. ε) εάν η εσωτερική αντίσταση του τυρόπνου είναι 0.4 Ω, να υπολογιστεί η ποδική τάση της μηχανής όταν το ρεύμα στο επαγωγίσιμο είναι 40A και η αντίσταση διέγερσης 125 Ω.

# ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

## ΜΗΧΑΝΕΣ Σ.Ρ.

### Γεννήτριες Ανεξάρτητης Διέγερσης

- 1) Μια μηχανή Σ.Ρ. 25 kW - 250V έχει αντίσταση τυρπάνου 0.10 Ω. Η στατική χαρακτηριστική της, για σταθερή ταχύτητα 1200 rpm, δίδεται στο σχήμα. Η μηχανή διεγείρεται ανεξάρτητα και τρέφεται σε 1200 rpm σταθερά από κινητήρα. α) Να χαραχθεί το ερμός των αρμοδίων της τάσης που δίδει η μηχανή συναρτήσει του ρεύματος του τυρπάνου, για σταθερά ρεύματα πεδίου 2.5, 2.0, 1.5, 1.0 A.



$$V = E - I_a R_a$$

$$\text{Για } I_f = 2.5 \text{ A} \quad E = 260 \text{ V}$$

$$I_f = 2.0 \text{ A} \quad E = 230 \text{ V}$$

$$I_f = 1.5 \text{ A} \quad E = 200 \text{ V}$$

$$I_f = 1.0 \text{ A} \quad E = 140 \text{ V}$$

$$V = E - 0.1 I_a$$

$$I_f = 2.5 \text{ A}$$

$$V = 260 - 0.1 I_a$$

$$V = 0$$

$$I_a = 260 / 0.1 = 2600 \text{ A}$$

$$I_a = 0$$

$$V = 260 \text{ V}$$

$$V = 60 \text{ V}$$

$$I_a = 200 / 0.1 = 2000 \text{ A}$$

$$I_f = 2.0 \text{ A}$$

$$V = 230 - 0.1 I_a$$

$$V = 0$$

$$I_a = 230 / 0.1 = 2300 \text{ A}$$

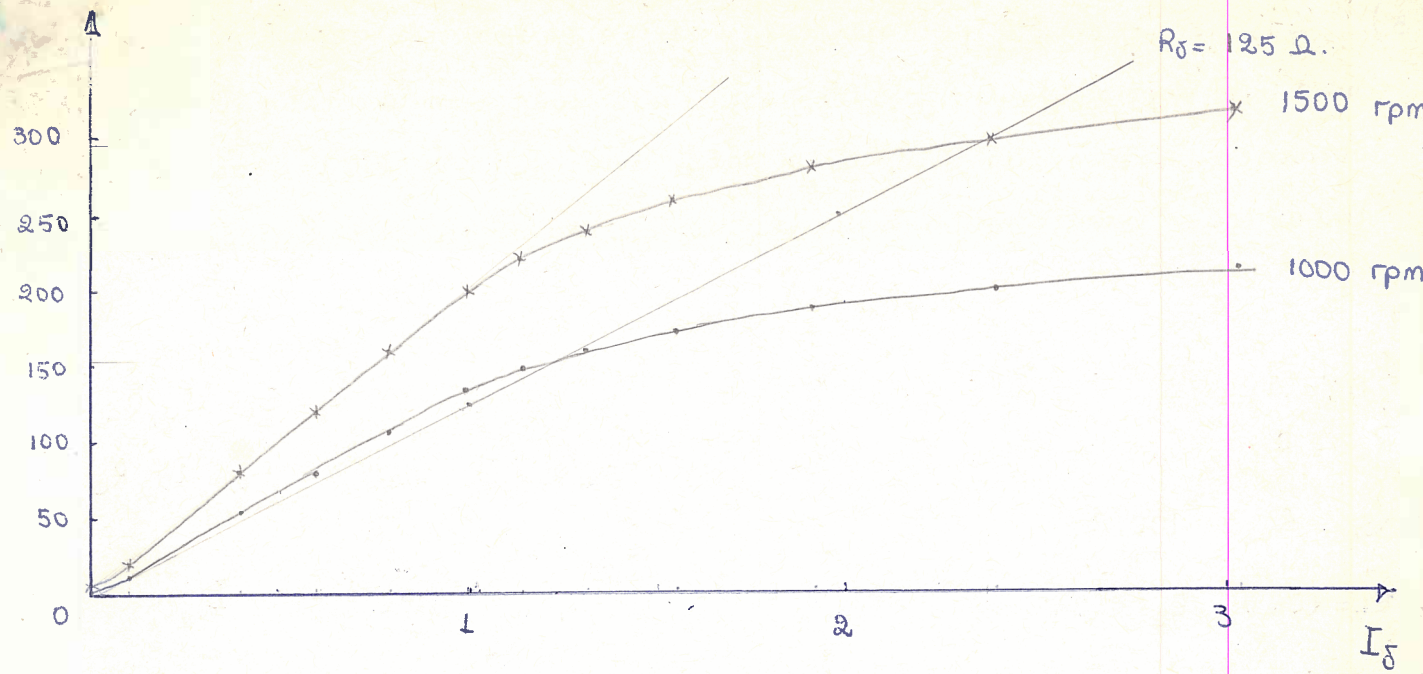
$$V = 30 \text{ V}$$

$$I_a = 200 / 0.1 = 2000 \text{ A}$$

$$I_a = 0$$

$$V = 230 \text{ V}$$

V



a)  $R_f = 125 \Omega$        $I_f = 1 A$        $V = I_f R_f = 125 V$   
     $I_f = 2 A$        $V = 2 \times 125 = 250 V$

b)  $V = 298 V$  όταν  $R_f = 125 \Omega$  και  $n = 1500 \text{ rpm}$ .

γ)  $R_f$  κρίσιμη =  $160 / 0.8 = 200 \Omega$ .

δ)  $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{1.5} \Rightarrow V_2 = V_1 / 1.5$

$V = 155 V$

ε)  $V = E - I_a R_a$

$E_v$  μένω :

$$\left\{ \begin{array}{l} V = 298 V \\ I_a = I_f = 2.38 A \\ \text{όταν } R_f = 125 \Omega. \end{array} \right. \quad 298 = E - 2.38 \times 0.4 \Rightarrow E = 299 V$$

$V = 299 - 0.4 \times 40 = 283 V$ .

β). Δύο γεννήτριες Σ.Ρ. με παράλληλη διέγερση δουλεύουν εν παράλληλω και τροφοδοτούν φορτίο 3000 A. Κάθε μηχανή έχει εσωτερική αντίσταση 0.05 Ω και αντίσταση διέγερσης 100 Ω. Εάν οι ΗΕΔ. είναι 200 και 210 V αντίστοιχα, βρείτε την κοινή τάση και το ρεύμα τερμάνου κάθε μηχανής κατά τη λειτουργία υπό φορτίο.

$$I_{\varphi_1} + I_{\varphi_2} = 3000 \text{ A}$$

$$R_{a_1} = R_{a_2} = 0.05 \text{ } \Omega$$

$$R_{\delta_1} = R_{\delta_2} = 100 \text{ } \Omega$$

$$E_1 = 200 \text{ V} \quad E_2 = 210 \text{ V}$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= E_1 - I_{a_1} R_{a_1} \\ V_2 &= E_2 - I_{a_2} R_{a_2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} V &= E_1 - I_{a_1} R_a \\ V &= E_2 - I_{a_2} R_a \end{aligned}$$

$$I_{a_1} = I_{\varphi_1} + I_{\delta_1}$$

$$I_{a_2} = I_{\varphi_2} + I_{\delta_2}$$

$$2V = (E_1 + E_2) - (I_{a_1} + I_{a_2}) R_a =$$

$$= (E_1 + E_2) - (I_{\varphi_1} + I_{\delta_1} + I_{\varphi_2} + I_{\delta_2}) R_a = (E_1 + E_2) - \left( I_{\varphi_1} + I_{\varphi_2} + \frac{V}{R_{\delta_1}} + \frac{V}{R_{\delta_2}} \right) R_a$$

$$2V = (E_1 + E_2) - \left( I_{\varphi_1} + I_{\varphi_2} + \frac{2V}{R_{\delta}} \right) R_a \Rightarrow 2V = 410 - \left( 3000 + \frac{2V}{100} \right) 0.05$$

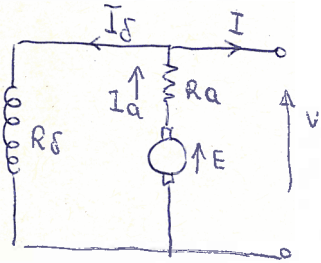
$$2V = 410 - (150 + 0.001V) \Rightarrow 2V + 0.001V = 260 \Rightarrow 2.001V = 260$$

$$\Rightarrow V = 130 \text{ V.}$$

$$V_1 = E_1 - I_{a_1} R_a \Rightarrow 130 = 200 - I_{a_1} 0.05 \Rightarrow I_{a_1} = \frac{70}{0.05} = 1400 \text{ A.}$$

$$V_2 = E_2 - I_{a_2} R_a \Rightarrow 130 = 210 - I_{a_2} 0.05 \Rightarrow I_{a_2} = \frac{80}{0.05} = 1600 \text{ A.}$$

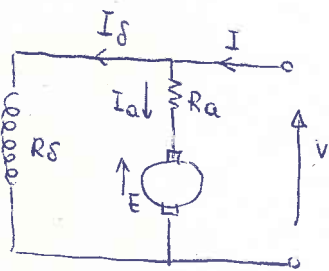
- 4) Μία μηχανή Σ.Ρ. με παράλληλη διέγερση έχει εσωτερική αντίσταση  $0.1\Omega$  και αντίσταση διέγερσης  $100\Omega$  και λειτουργεί με ποδική τάση  $200V$ . Εάν η μηχανή δουλεύει με ρεύμα στη γραμμή  $60A$ , βρείτε το λόγο της ταχύτητας όταν η μηχανή δουλεύει σαν γεννήτρια προς την ταχύτητα όταν η μηχανή δουλεύει σαν κινητήρας.



Γεννήτρια :  $V = E - I_a R_a$

$$I_a = I + I_f = 60 + \frac{200}{100} = 62 A$$

$$200 = E - 62 \times 0.1 \Rightarrow E = 206.2 V$$



Κινητήρας  $V = E + I_a R_a$

$$I = I_a + I_f \Rightarrow I_a = 60 - \frac{200}{100} = 58 A$$

$$200 = E + 58 \times 0.1 \Rightarrow E = 194.2 V$$

$$\frac{E_f}{E_k} = \frac{k\phi\omega_f}{k\phi\omega_k} \Rightarrow \frac{\omega_f}{\omega_k} = \frac{206.2}{194.2} = 1.06$$

- 5) Ένας κινητήρας Σ.Ρ. παράλληλης διέγερσης  $200V$  έχει αντίσταση τυρπάνου  $0.5\Omega$  και αντίσταση διέγερσης  $180\Omega$ . Η μηχανή λειτουργεί με πλήρες φορτίο στις  $950$  rpm με ρεύμα τυρπάνου  $40A$ . Εάν θέλουμε να μειώσουμε την ταχύτητα στις  $700$  στροφές/λεπτό, να υπολογιστεί η αντίσταση που πρέπει να προσεθεί σε σειρά με το τυρπάνο. Δίδεται ότι η ροπή φορτίου  $T$  είναι ανάλογη της ταχύτητας.

$$V = E + I_a R_a \Rightarrow E = 200 - 40 \times 0.5 = 200 - 20 \Rightarrow E = 180 V$$

~~$$E = k I_f \omega \Rightarrow E = k \frac{V}{R_f} \omega \Rightarrow k = \frac{180 \times 180 \times 60}{200 \times 950 \times 2\pi} = 1.6284$$~~

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \rightarrow E_2 = \frac{700 \times 180}{950} = 132.6 V$$





$$T = k' \omega \quad \left. \begin{array}{l} T_1 = k' \omega_1 = k' I_{\delta} I_{a_1} \\ T_2 = k' \omega_2 = k' I_{\delta} I_{a_2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{I_{a_1}}{I_{a_2}} \Rightarrow$$

$$I_{a_2} = \frac{700 \times 40}{950} = 29.47 \text{ A.}$$

$$V = E + I_a R_a \Rightarrow V = k I_{\delta} \omega + I_a R_a \Rightarrow R_a = \frac{V - k I_{\delta} \omega}{I_a}$$

$$R_a = \frac{200 - 1.628 \times \frac{200}{180} \times \frac{700 \times 2\pi}{60}}{29.47} = 2.286 \Omega.$$

$$200 = 132.6 + 29.47 R \rightarrow R = 2.285 \Omega.$$

$$R_s = 2.286 - 0.5 = 1.786 \Omega.$$

6) Ένας κινητήρας Σ.Ρ. με διέγερση βραβείας, όταν συνδεθεί με μία παροχή Σ.Ρ. 230 V, περιστρέφεται με ταχύτητα 700 rpm και αναπτύσσει ροπή 150 Nm. Θεωρώντας την εσωτερική του αντίσταση αρεθιτήα, υπολογίστε την ταχύτητα του εάν αυτός συνδεθεί με παροχή 240 V και το ρεύμα τυρπάνου είναι 35 A. Επίσης υπολογίστε την ροπή που θα αναπτύξει στις προηγούμενες συνθήκες, αν η ολική αντίστασή του είναι 0.25 Ω.

$$T = k I_a^2$$

$$E = k I_a \omega \Rightarrow I_a = \frac{E}{k \omega} = \frac{V}{k \omega}$$

$$\left. \begin{array}{l} T = k I_a^2 \\ E = k I_a \omega \Rightarrow I_a = \frac{E}{k \omega} = \frac{V}{k \omega} \end{array} \right\} \Rightarrow T = k \frac{V^2}{k^2 \omega^2} \Rightarrow k = \frac{V^2}{T \omega^2}$$

$$= \frac{230^2 \times 60^2}{150 \times (700 \times 2\pi)^2} = 0.0656$$

$$T' = k I_a'^2 = 0.0656 \times 35^2 = 80.36 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{V - I_a R_a}{k I_a} = \frac{240 - 35 \times 0.25}{0.0656 \times 35} = 100.72 \text{ rad/sec} = 962 \text{ rpm.}$$

$$T_1 = k I_{a_1}^2$$

$$E_2 = V_2 = k I_{a_2} \omega_2$$

$$\frac{T_1}{V_1} = \frac{I_{a_1}}{\omega_1} \rightarrow I_{a_1} = \frac{150 \times \frac{700 \times 2\pi}{60}}{230} = 47.8 \text{ A.}$$

$$k = \frac{T_1}{I_{a_1}^2} = \frac{150}{47.8^2} = 0.06565$$

$$\omega_2 = \frac{V_2}{k I_{a_2}} = \frac{240}{0.06565 \times 35} = 104.45 \text{ rad/sec} = 997.42 \text{ rpm}$$

$$\omega_2' = \frac{V_2 - I_{a_2} R_a}{k I_{a_2}} = \frac{240 - 35 \times 0.25}{0.0656 \times 35} = 100.72 \text{ rad/sec} \quad T = k I_{a_2}^2 = 0.0656 \times 35^2 = 80.36 \text{ Nm}$$

7) Κινητήρας λειτουργεί με τάση 110 V, και κατά την κανονική λειτουργία έχει ΑΗΕΔ 104 V. Η ολική αντίσταση τυρπάνου και ψηκτρών είναι 0.6 Ω.

- a) Ποιά είναι η ένταση κατά την κανονική λειτουργία;  
 b) Ποιά είναι η ένταση που θα απορροφάει ο κινητήρας από το δίκτυο όταν ξεκινήσει χωρίς εκκίνηση;  
 γ) Πόση αντίσταση πρέπει να συνδεθεί εν σειρά για να είναι η εκκίνηση οραλή;

$$a) I_a = \frac{V - E}{R_a} = \frac{110 - 104}{0.6} = 10 \text{ A.}$$

$$b) I'_a = \frac{V}{R_a} = \frac{110}{0.6} = 183.3 \text{ A.}$$

$$γ) V = I_a R_E + E + I_a R_a \Rightarrow R_E = \frac{V - I_a R_a - E}{I_a} = \frac{110 - 10 \times 0.6 - 104}{10} = 10.4 \Omega.$$

8). Κινητήρας παράλληλης διέγερσης με τάση  $V = 240 \text{ V}$  δίνει ισχύ 20 hp και η απόδοσή του είναι 84%. Οι απώλειες συνολικά ανέρχονται σε 9% και οι απώλειες μόνο στη διέγερση σε 4% της ολικής ισχύος που απορροφά. Ζητούνται:

- a) Το ρεύμα τροφοδότησης του κινητήρα b) Τα ρεύματα και οι αντιστάσεις επαγωγεία και επαγωγίσιμου γ) Η ΑΗΕΔ του κινητήρα δ) Πόση πρέπει να είναι η ελάχιστη αντίσταση του εκκινήτη για να έχουμε μέγιστο ρεύμα στο τυρπάνο 75 A.

$$20 \text{ hp} = 20 \times 746 = 14920 \text{ Watt.}$$

$$0.84 = \frac{P_{\text{ηκ}}}{P_{\text{Ηη}}} = \frac{14920}{P_{\text{Ηη}}} \Rightarrow P_{\text{Ηη}} = \frac{14920}{0.84} = 17762 \text{ Watt.}$$

$$VI = P_{\text{Ηη}} \Rightarrow I = \frac{17762}{240} \Rightarrow I = 74 \text{ A.}$$

$$I_{\delta}^2 R_{\delta} = \frac{4}{100} \times 17762 \Rightarrow \frac{V^2}{R_{\delta}} = 0.04 \times 17762 \Rightarrow R_{\delta} = \frac{240^2}{0.04 \times 17762} \Rightarrow R_{\delta} = 81 \Omega$$

$$I_{\delta} = \frac{240}{81} = 2.96 \text{ A}$$

$$I_{\alpha} = I - I_{\delta} \Rightarrow I_{\alpha} = 71 \text{ A}$$

$$I_{\alpha}^2 R_{\alpha} + I_{\delta}^2 R_{\delta} = 0.09 \times 17762 \Rightarrow I_{\alpha}^2 R_{\alpha} = 889 \Rightarrow R_{\alpha} = 0.176 \Omega$$

$$V = E + I_{\alpha} R_{\alpha} \Rightarrow E = 240 - 71 \times 0.176 \Rightarrow E = 227.5 \text{ V}$$

$$V = I_{\alpha} (R_{\alpha} + R_E) \Rightarrow 240 = 75 (0.176 + R_E) \Rightarrow R_E = 3 \Omega$$

- 9) Ένας κινητήρας παράλληλης διέγερσης έχει αντίσταση διέγερσης  $180 \Omega$ , εσωτερική αντίσταση  $0.1 \Omega$  και λειτουργεί με τάση  $200 \text{ V}$ . Ο κινητήρας λειτουργεί με ταχύτητα  $1000$  στροφές/λεπτό και το απορροούμενο ρεύμα από το τώρο είναι  $5 \text{ A}$ . Να βρεθεί η ταχύτητα, όταν η αντίσταση διέγερσης γίνει  $200 \Omega$ . και η ΗΑΗΕΔ παραμείνει ίδια

$$E = k\phi\omega = kI_f\omega$$

$$V = E + I_a R_a \Rightarrow 200 = E + 5 \times 0.1 \Rightarrow E = 200 - 0.5 \Rightarrow E = 199.5 \text{ V}$$

$$E = kI_f\omega \rightarrow k = \frac{199.5}{\frac{200}{180} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 1000} = \frac{199.5}{116.355} = 1.715$$

$$E = kI_f'\omega' \rightarrow \omega' = \frac{199.5}{1.715 \cdot \frac{200}{200}} \rightarrow \omega' = 116.327 \text{ rad/sec}$$

$$\times \frac{60}{2\pi} = 1110.8 \text{ rpm}$$



15.1.85

- 1) Μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης δίνει εν κενώ τάση  $150\text{V}$  όταν το ρεύμα διέγερσης είναι  $1.5\text{A}$ . Να βρεθεί η τάση εν κενώ όταν η αντίσταση διέγερσης είναι  $200\Omega$ .  
Δίδεται ότι η εν κενώ τάση της γεννήτριας δίνεται από τη σχέση:

$$V = \frac{200 I_d}{k + I_d} \quad (k: \text{σταθερός αριθμός}).$$

- 2) Ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος  $220\text{V}$ ,  $50\text{hp}$ , έχει εσωτερική αντίσταση τυμπάνου και ψηκτρών  $0.1\Omega$ . Να βρεθεί το ρεύμα του τυμπάνου.

$$(1\text{hp} = 746\text{Watt})$$

- 3) Τι εννοούμε λέγοντας τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου μίας μηχανής; Αναφέρατε τους τύπους τυλιγμάτων του επαγωγικού τυμπάνου (όνομα και ορισμός).

Δίδονται :

$$E = k\phi\omega \quad \eta' \quad E = K I_d \omega$$

$$T = k\phi I_a \quad \eta' \quad T = K I_d I_a$$

$$P_{\text{μηχανική}} = T\omega$$



$$1) \quad \left. \begin{aligned} V &= \frac{200 I_{\delta}}{\kappa + I_{\delta}} \\ V &= 150 \text{ V} \\ I_{\delta} &= 1.5 \text{ A} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} 150 &= \frac{200 \times 1.5}{\kappa + 1.5} \Rightarrow 150(\kappa + 1.5) = 200 \times 1.5 \\ &\Rightarrow 150\kappa + 225 = 300 \Rightarrow \kappa = \frac{75}{150} = 0.5 \end{aligned}$$

$$V = \frac{200 \frac{V}{R_{\delta}}}{\kappa + \frac{V}{R_{\delta}}} \Rightarrow V = \frac{200 \frac{V}{200}}{0.5 + \frac{V}{200}} \Rightarrow 0.5V + \frac{V^2}{200} = V \Rightarrow \frac{V^2}{200} - 0.5V = 0$$

$$\Rightarrow V \left( \frac{V}{200} - 0.5 \right) = 0 \begin{cases} \rightarrow V = 0 \\ \rightarrow V = 200 \times 0.5 = 100 \text{ V} \end{cases}$$

$$2) \quad P_{E=3} = 50 \times 746 = 37300 \text{ W}$$

$$V = E + I_{\alpha} R_{\alpha} \quad \therefore \quad V I_{\alpha} = E I_{\alpha} + I_{\alpha}^2 R_{\alpha}$$

$$220 I_{\alpha} = 37300 + I_{\alpha}^2 \cdot 0.1 \Rightarrow 2200 I_{\alpha} = 373000 + I_{\alpha}^2 \Rightarrow I_{\alpha}^2 + 373000 - 2200 I_{\alpha} = 0$$

$$I_{\alpha} = 1100 \pm \sqrt{1100^2 - 373000} \quad \begin{cases} 2015 \text{ A} \\ 185 \text{ A} \end{cases}$$





a)  $\eta = 85\%$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{VI} = \frac{P_{out}}{V(I_a + I_f)} = \frac{P_{out}}{V(I_a + \frac{V}{R_f})} = \frac{P_{out}}{VI_a + \frac{V^2}{R_f}}$$

$$0.85 = \frac{7460}{220I_a + \frac{220^2}{100}} \Rightarrow 187I_a + 411.4 = 7460 \Rightarrow \underline{I_a = 37.693 \text{ A}}$$

$$V = E + I_a R_a \Rightarrow E = 220 - 37.693 \times 0.4 = 204.9 \text{ V}$$

$$E = k\phi\omega = k\omega \Rightarrow k = \frac{204.9 \times 60}{1000 \times 2\pi} = 1.96$$

$$T = k\phi I_a = k I_a = 1.96 \times 37.693 = \underline{73.76 \text{ Nm}}$$

b)  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} \Rightarrow \frac{73.76}{T_2} = \frac{\omega_1^2 \times 4}{\omega_1^2} \Rightarrow T_2 = \frac{73.76}{4} = 18.44 \text{ Nm}$

$$T_2 = k I_{a2} \Rightarrow I_{a2} = \frac{18.44}{1.96} \Rightarrow I_{a2} = 9.4 \text{ A}$$

$$E_2 = k\omega_2 =$$

$$= 1.96 \times 500 \times \frac{2\pi}{60} = 102.6 \text{ V}$$

$$V = E_2 + I_{a2} R_a = 102.6 + 9.4 \times 0.4 = \underline{106.36 \text{ V}}$$

c)  $\frac{T_1}{T_3} = \frac{\omega_1}{\omega_3} \Rightarrow \frac{73.76}{T_3} = \frac{\omega_1 \times 2}{\omega_1} \Rightarrow T_3 = \frac{73.76}{2} = 36.88 \text{ Nm}$

$$T_3 = k I_{a3} \Rightarrow I_{a3} = \frac{36.88}{1.96} = 18.82 \text{ A}$$

$$V = E_2 + I_{a3} R_{a3} \Rightarrow R_{a3} = \frac{220 - 102.6}{18.82} = 6.24 \Omega$$

$$R = 6.24 - 0.4 = \underline{5.84 \Omega}$$

Ένας κινητήρας Ε.Ρ. παράλληλης διέγερσης 220V, 1000 rpm, 10 Hp, έχει απόδοση 85%. Η αντίσταση του κυκλώματος του τυρπάνου είναι 0.4 Ω και η αντίσταση του κυκλώματος διέγερσης 100 Ω. α) Να υπολογιστούν οι τιμές του ρεύματος του τυρπάνου και της ροπής εξόδου. β) Να υπολογιστεί η κοιλική τάση που απαιτείται για να μειωθούν οι εστροφές στο μισό αν η ροπή είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας γ) Να υπολογιστεί η πρόσθετη αντίσταση στο τυρπάνο που απαιτείται για να μειωθούν οι εστροφές στο μισό αν η ροπή είναι ανάλογη της ταχύτητας.   
 Νδ θεωρούμε ότι  $\Phi = \text{σταθμική} = \frac{L \omega B}{2\pi}$

$$\eta = \frac{P_{\text{ελ}}}{P_{\text{ελβ}}} \Rightarrow I = \frac{P_{\text{ελ}}}{V \cdot \eta} \quad I_s = \frac{V}{I_s} \quad I_T = I - I_s$$

$$E = k \cdot \Phi \cdot \omega \Rightarrow E = k \cdot I_s \cdot \omega \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \Rightarrow k = \dots$$

$$V = E + I_T \cdot R_T \Rightarrow E = \dots$$

$$T = k \cdot \Phi \cdot I_T \Rightarrow T = k \cdot I_s \cdot I_T$$

$$T = k \omega^2 \Rightarrow \left. \begin{array}{l} T_1 = k \omega_1^2 \\ T_2 = k \omega_2^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\cancel{k} \cdot \Phi_1 \cdot I_{T1}}{\cancel{k} \cdot \Phi_2 \cdot I_{T2}} = \frac{\cancel{k} \omega_1^2}{\cancel{k} \omega_2^2}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{k \omega_1^2}{k \omega_2^2} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{k \omega_1^2}{k \left(\frac{\omega_1}{2}\right)^2} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{4 \omega_1^2}{\omega_1^2}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{4}$$

$$T_2 = k \cdot \Phi \cdot I_{T2} \Rightarrow T_2 = k I_{T2} \Rightarrow I_{T2} = \dots$$

$$E = k \cdot \Phi \cdot \omega_2 \Rightarrow E_2 = k \cdot \frac{\omega_1}{2}$$

$$V = E + I_T \cdot R_T$$

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = k \omega_1 \\ T_2 = k \omega_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{\omega_1}{\frac{\omega_1}{2}} \Rightarrow T_2 = \dots$$

$$T_2 = k I_{T2} \Rightarrow I_{T2} = \dots \quad E = k \omega \omega$$

$$V = E + I_T (R_T + R_a)$$

$$\Rightarrow R_a = \dots$$