

- 1.** Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:
- Στροβιλογεννήτρια G (21kV, 100MVA, $x_s=1.2$ pu)
 - Μ/Σ Ανύψωσης T (20/400 kV, 100MVA, $x_T=0.15$ pu)
 - 2 παράλληλες Γραμμές Μεταφοράς με αντίδραση $X_L=j100 \Omega$ η καθεμία
 - Απειρο Ζυγό 400kV στον οποίο τροφοδοτείται μεγάλη βιομηχανία με $P=75\text{MW}$, $\cos\phi=0.8$ επαγωγικό
- (α) Χρησιμοποιώντας κοινή βάση της επιλογής σας, σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα και υπολογίστε όλες τις αντιδράσεις σε pu.
- (β) Εάν η τάση του άπειρου ζυγού είναι 400 kV να βρεθεί η ΗΕΔ της γεννήτριας (μέτρο σε kV & φάση).
- (γ) Με χρήση συστοιχίας πυκνωτών το $\cos\phi$ της βιομηχανίας γίνεται 0.9 επαγωγικό. Τι θα αλλάξει και πόσο στη λειτουργία της γεννήτριας; Να γίνει σχετικό διανυσματικό διάγραμμα με το E, V_{b1} και I πριν και μετά.
- (Η συχνότητα είναι 50Hz. Όλες οι ωμικές αντιστάσεις αγνοούνται)

(3 μονάδες)

a). Εστω $S_b = 100 \text{ MVA}$, $V_{b1} = 20 \text{ kV}$, $V_{b2} = 400 \text{ kV}$

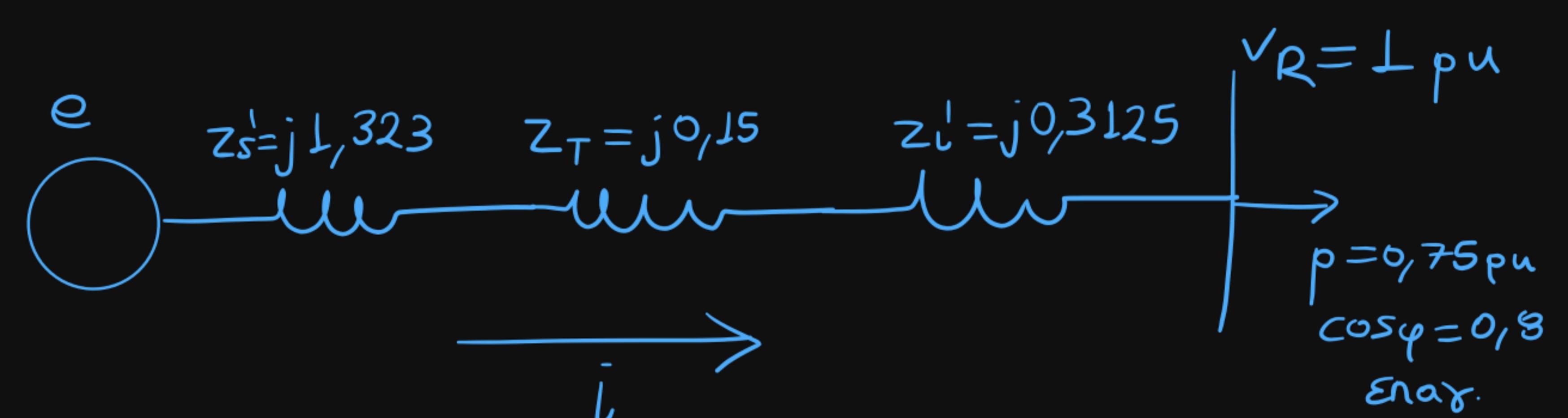
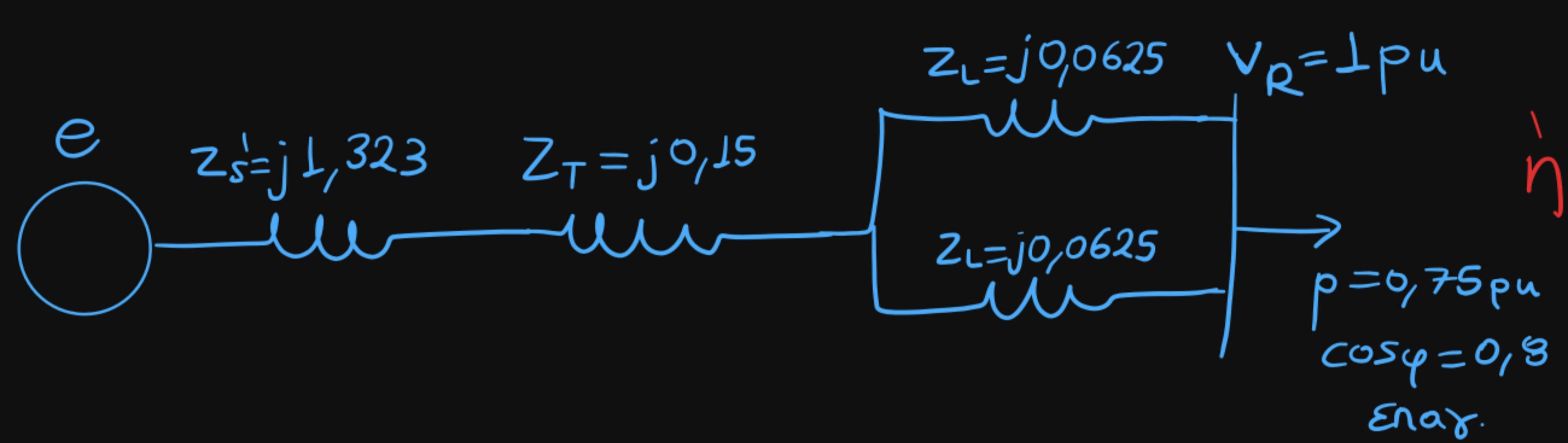
Τοτε για την γεννήτρια G έχω αλλαγή βάσης: $X_s' = X_s \left(\frac{100}{100} \right) \left(\frac{20}{20} \right)^2 = 1,2 \cdot 1,1025 \Rightarrow X_s' = 1,323 \text{ pu}$

$Z_{b2} = \frac{V_{b2}^2}{S_b} = \frac{(400 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 10^6} = \frac{400^2}{100} \Rightarrow Z_{b2} = 1600 \Omega$

$z_L = \frac{Z_L}{Z_{b2}} = \frac{j100}{1600} \Rightarrow z_L = j0,0625 \text{ pu}$

$p = \frac{P}{S_b} = \frac{75}{100} \Rightarrow p = 0,75 \text{ pu}$

$$Z_L' = \frac{Z_L \cdot Z_L}{Z_L + Z_L} = \frac{j^2 0,0625^2}{j 0,125} \Rightarrow Z_L' = j 0,3125 \text{ pu}$$



β). $V_R = 400 \text{ kV}$ ή $V_R = \frac{V_R}{V_{b2}} = \frac{400}{400} = 1 \text{ pu}$

. $I_{\text{οχυει}} \bar{e} = \bar{U}_R + \bar{i} \cdot (Z_s' + Z_T + Z_L')$ οπου $\bar{i} = \frac{p}{U_R \cdot \cos\phi} = \frac{0,75}{1 \cdot 0,8} \Rightarrow \bar{i} = 0,937 \text{ pu}$

Και $\cos\phi = 0,8 \Rightarrow \phi = \arccos(0,8) = 36,86^\circ$, αφού επαρχικό
σημ. $\bar{i} = 0,937 \angle -36,86^\circ \text{ pu}$

οποτε $\bar{e} = 1 \angle 0^\circ + 0,937 \angle -36,86^\circ \cdot 1,7855 \angle 90^\circ \Rightarrow \bar{e} = 2,4 \angle 33,74^\circ \text{ pu}$

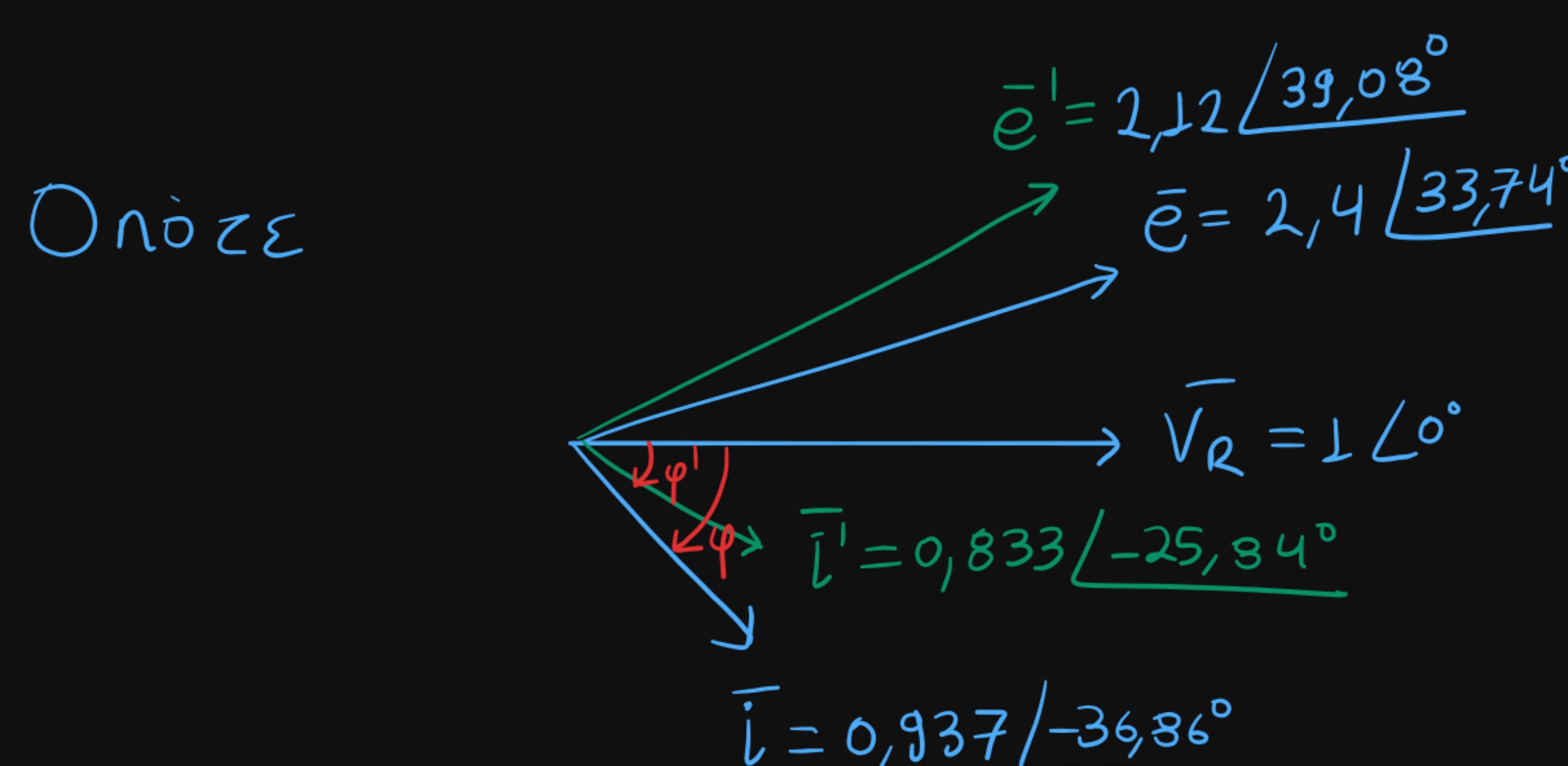
Αρα $E = e \cdot V_{b1} = 2,4 \cdot 20 \text{ kV} \Rightarrow E = 48 \text{ kV}$ και φάση $33,74^\circ$ (νολική)

. $A_v \cos\phi = 0,9$, $\cos\phi = 25,84^\circ$

. $\bar{i}' = \frac{p}{U_R \cdot \cos\phi} = \frac{0,75}{1 \cdot 0,9} \Rightarrow \bar{i}' = 0,833 \text{ pu}$

$\bar{i}' = 0,833 \angle -25,84^\circ \text{ pu}$

. $\bar{e}' = \bar{U}_R + \bar{i}' \cdot (Z_s' + Z_T + Z_L') = 1 \angle 0^\circ + 0,833 \angle -25,84^\circ \cdot 1,7855 \angle 90^\circ \Rightarrow \bar{e}' = 2,12 \angle 39,08^\circ \text{ pu}$

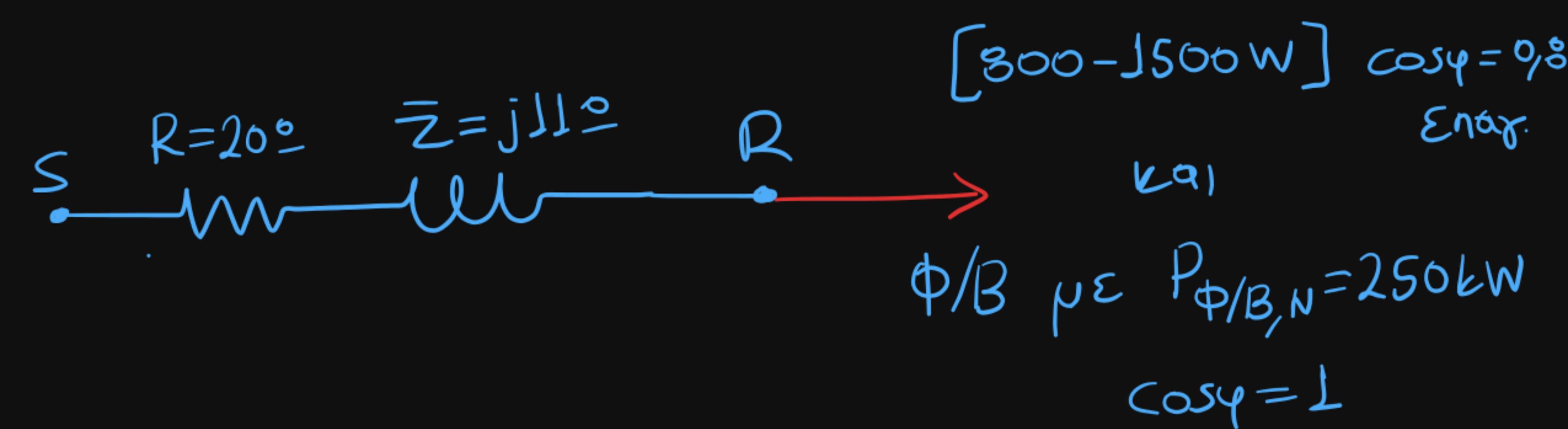


Με το $\cos\phi = 0,9$ αλλάζει τη \bar{i} και \bar{e}

$e \downarrow$, $\bar{e} \uparrow$
 $i \downarrow$, $\bar{i} \uparrow$ (μετρητα)

$$\cdot R' = \frac{1\Omega}{km} \rightarrow R = 1 \cdot 20 \Leftrightarrow R = 20 \Omega$$

$$\cdot X' = \frac{0,55\Omega}{km} \rightarrow X = 0,55 \cdot 20 \Leftrightarrow X = 11 \Omega$$



2. Μια τριφασική γραμμή μεταφοράς SR έχει $R' = 1 \Omega/km$, $X' = 0,55 \Omega/km$ και μήκος 20 km. Η γραμμή τροφοδοτεί στο άκρο R βιομηχανική μονάδα με 24ωρη λειτουργία και

Μεταβαλλόμενο Φορτίο από 800kW έως 1500 kW, Σταθερό $\cos \phi = 0,8$ επαγωγικό και

Συνδεδεμένη Φ/B μονάδα με $P_{Φ/B,N} = 250 \text{ kW}$, $\cos \phi_{Φ/B} = 1$.

(α) Πόση είναι η χαμηλότερη τάση που θα εμφανιστεί στο άκρο R, αν η τάση στο άκρο S ρυθμιστεί στα 21 kV;

(β) Τι μέσα αντιστάθμισης πρέπει να συνδεθούν στο άκρο R σε αστέρα έτσι ώστε η τάση στο άκρο R να μην πέφτει ποτέ κάτω από 20kV;

(Η συχνότητα του δικτύου είναι 50 Hz)

(3 μονάδες).

a). Θα θεωρήσω πώς οι παραπάνω ισχύς αναφέρονται σε τάση 20kV για να μηρέσσουμε να βρούμε σημείωση αντίσταση

• Την χαρακτηριστική τάση στο άκρο R θα είναι $V_R = 20 \text{ kV}$ για $P = 1500 \text{ kW}$ $\left(\begin{array}{l} \text{αφού } P \uparrow, Z_{eq} \downarrow, I \uparrow, V_R \downarrow \\ \text{δες τους τύπους παρακάτω \end{array} \right)$

$$\cdot \psi_1 = \arccos(0,8) = 36,86^\circ \rightarrow \tan \psi_1 = \frac{3}{4}$$

$$\cdot \psi_2 = \arccos(1) = 0^\circ \rightarrow \tan \psi_2 = 0$$

$$\cdot Q_1 = P_1 \cdot \tan \psi_1 = 1500 \cdot \frac{3}{4} \Leftrightarrow Q_1 = 1125 \text{ kVAr}$$

$$\cdot Q_2 = 0$$

$$\cdot Z_{line} = 20 + j11 = 22,82 \angle 28,81^\circ$$

$$\cdot Z_{eq} = \frac{V_R^2}{S^*} = \frac{(20 \cdot 10^3)^2}{(1750 - j1125) \cdot 10^3} \Leftrightarrow Z_{eq} = 192 \angle 32,73^\circ \quad \square$$

$$\text{Άρα } V_R = V_S \cdot \frac{Z_{eq}}{Z_{eq} + Z_{line}} = \frac{21 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{192 \angle 32,73^\circ}{192 \angle 32,73^\circ + 22,82 \angle 28,81^\circ} \Leftrightarrow V_R = 10,8 \angle 0,41^\circ \text{ kV} \quad (330) \quad (2)$$

$$\begin{matrix} 10,8 \\ j7,8 \end{matrix}$$

$$\text{Πολική τάση } V_R = 10,8 \cdot \sqrt{3} \Leftrightarrow V_R = 18,7 \text{ kV}$$

B) Μεγιστηριακή τάση στον άκρο R $P_R = 1750 \text{ kW}$, συνολική:

$$\cdot P_R = 1750 \text{ kW} = \frac{V_R \cdot V_S}{Z} \cos(\psi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \cos \psi = \frac{20 \cdot 21 \cdot 10^6}{22,82} \cos(28,81 - \theta) - \frac{20^2 \cdot 10^6}{22,82} \cos(28,81)$$

$$\Leftrightarrow 1750 = 18,7 \cos(28,81 - \theta) - 16,15 \Leftrightarrow \cos(28,81 - \theta) = 0,97 \Leftrightarrow 28,81 - \theta = 14,06 \Leftrightarrow \theta = 42,87^\circ$$

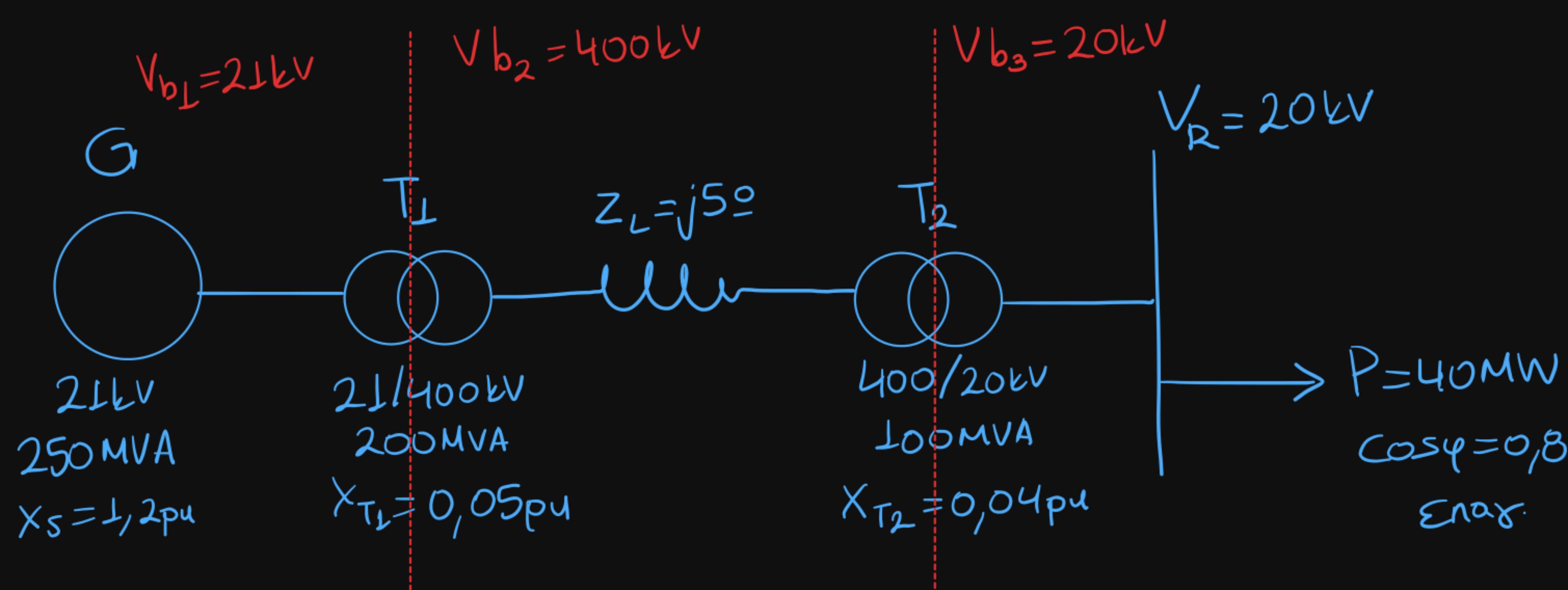
$$\cdot Q_R = \frac{V_R \cdot V_S}{Z} \sin(\psi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin \psi = \frac{20 \cdot 21 \cdot 10^6}{22,82} \sin(28,81 - 42,87) - \frac{20^2 \cdot 10^6}{22,82} \sin(28,81)$$

$$\Leftrightarrow Q_R = -12,9 \text{ MVAr} \quad (\text{η αεργή ισχύς που πρέπει να εχουμε στο άκρο R})$$

$$\cdot \text{Εχουμε } Q_R = Q_{od} + Q_A \Leftrightarrow -12,9 = 1,125 + Q_A \Leftrightarrow Q_A = -14,025 \text{ MVAr}$$

$$\cdot \text{Θα συνδέσουμε πυκνωτές σε αστέρα με } C_y = \frac{|Q_A|}{V_R^2 \cdot \omega} = \frac{14,025}{20^2 \cdot 2 \pi \cdot 50} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow C_y = 0,11 \text{ mF/φάση}$$



$$\cdot X_L = 0,1^\circ / \text{km} \Rightarrow X_L' = 0,1 \cdot 50 \Leftrightarrow X_L' = 5^\circ$$

a) Θεωρούμε $S_b = 100 \text{ MVA}$, οπότε έχουμε αλλαγές βάσεων:

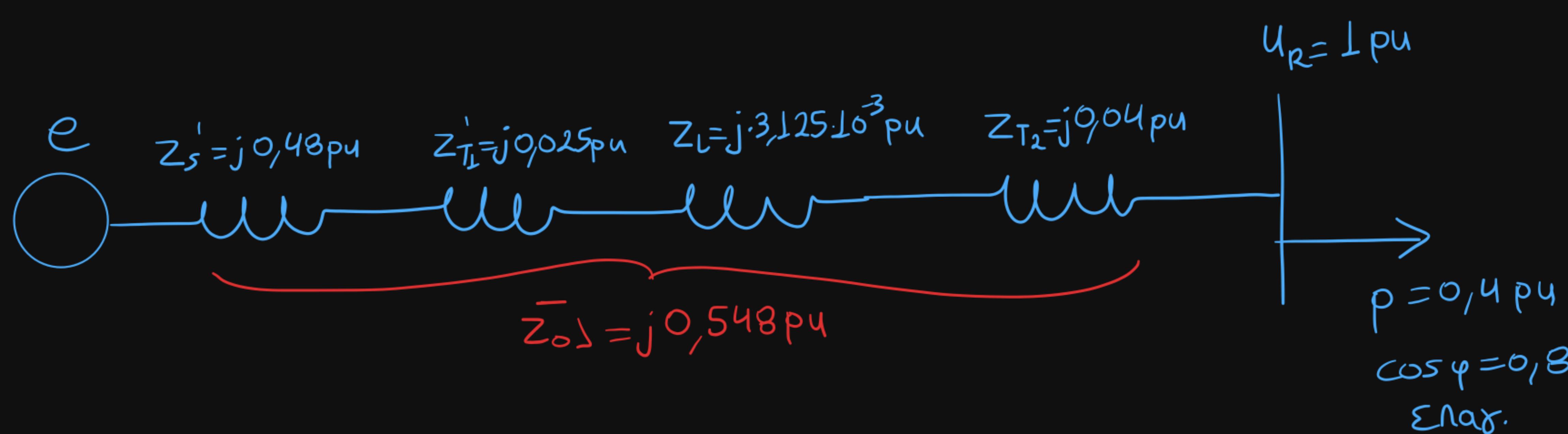
$$\cdot X_s' = X_s \cdot \left(\frac{100}{250} \right) = 1,2 \cdot 0,4 \Leftrightarrow X_s' = 0,48 \text{ pu}$$

$$\cdot X_{T1}' = X_{T1} \left(\frac{100}{200} \right) = 0,05 \cdot 0,5 \Leftrightarrow X_{T1}' = 0,025 \text{ pu}$$

$$\cdot Z_{b2} = \frac{V_{b2}^2}{S_{b2}} = \frac{400^2}{100} \Leftrightarrow Z_{b2} = 1600^\circ$$

$$\cdot Z_L = \frac{Z_L}{Z_{b2}} = \frac{j5}{1600} \Leftrightarrow Z_L = j3,125 \cdot 10^{-3} \text{ pu}$$

$$\cdot P = \frac{P}{S} = \frac{40}{100} \Leftrightarrow P = 0,4 \text{ pu}$$



$$b) \cdot \bar{e} = \bar{u}_R + \bar{i} \cdot \bar{Z}_{02} \quad \text{όπου} \quad i = \frac{P}{U_R \cdot \cos \varphi} = \frac{0,4}{1 \cdot 0,8} \Leftrightarrow i = 0,5 \text{ pu} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{i} = 0,5 \angle -36,86^\circ \text{ pu} \\ \text{και} \quad \varphi = \arccos(0,8) \Leftrightarrow \varphi = 36,86^\circ \end{array} \right.$$

$$\text{οπότε} \quad \bar{e} = 1 \angle 0^\circ + 0,5 \angle -36,86^\circ \cdot 0,548 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{e} = 1,18 \angle 10,66^\circ$$

$$\cdot \text{Από} \quad \bar{E} = \bar{e} \cdot V_{b1} = 1,18 \cdot 21 \angle 10,66^\circ \Leftrightarrow \boxed{\bar{E} = 24,78 \angle 10,66^\circ \text{ kV}}, \text{ πολική σάση} \quad E_n = 24,78 \cdot \sqrt{3} \Leftrightarrow \boxed{E_n = 42,92 \text{ kV}}$$

$$g) \cdot \bar{e}' = 1,18 \bar{e} \Leftrightarrow \bar{e}' = 1,3 \angle 6,58^\circ \text{ pu}$$

$$\text{Οπότε} \quad \bar{e}' = \bar{u}_R + \bar{i}' \cdot \bar{Z}_{02} \Leftrightarrow 1,3 \angle 6,58^\circ = 1 \angle 0^\circ + \bar{i}' \cdot 0,548 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{i}' = 0,597 \angle -62,92^\circ \text{ pu}$$

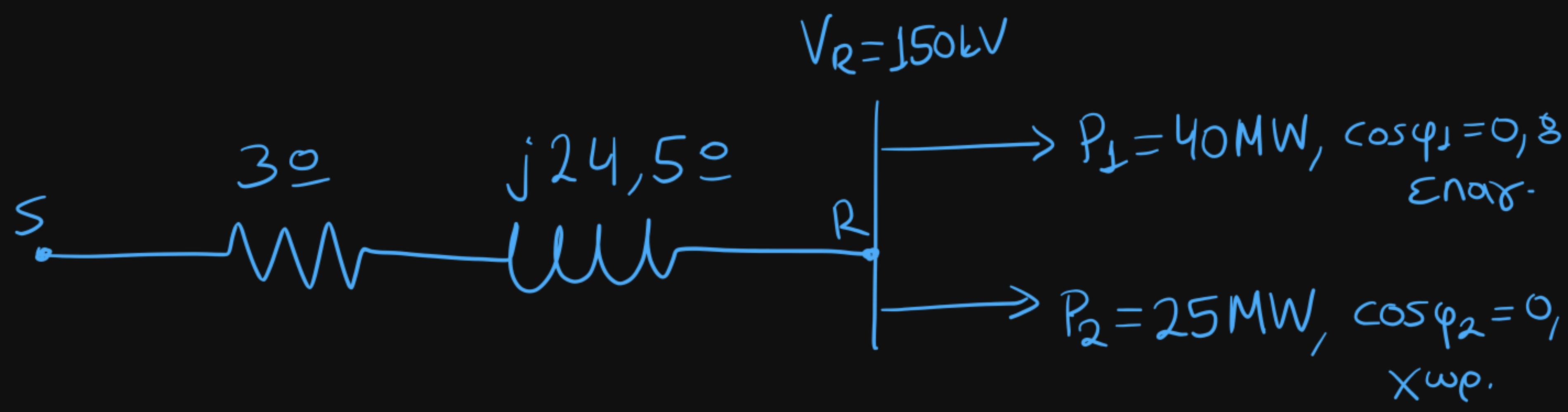
$$\cdot \text{Από} \quad \bar{I} = \bar{i} \cdot I_b = \bar{i} \cdot \frac{S_b}{\sqrt{3} V_{b1}} = 0,597 \angle -62,92^\circ \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 21 \cdot 10^3} \Leftrightarrow \boxed{\bar{I} = 1,64 \angle -62,92^\circ \text{ kA}}$$

1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:
- Στροβιλογεννήτρια G (21kV, 250MVA, $x_s=1.2 \text{ pu}$)
 - Μ/Σ Ανύψωσης T1 (21/400 kV, 200MVA, $x_{T1}=0,05 \text{ pu}$)
 - Γραμμή Μεταφοράς 50km με αντίδραση $X_L=0,1 \Omega/\text{km}$
 - Μ/Σ υποβιβασμού T2 (400/20 kV, 100MVA, $x_{T2}=0,04 \text{ pu}$)
 - Άπειρο Ζυγό 20kV στον οποίο τροφοδοτείται φορτίο 40MW, $\cos \varphi=0.8$ επαγωγικό
- (α) Χρησιμοποιώντας κοινή βάση της επιλογής σας, σχεδιάστε το ισοδύναμο ικύλωμα και υπολογίστε όλες τις αντιδράσεις σε pu.
- (β) Να υπολογίσετε την ΗΕΔ της γεννήτριας (κατά μέτρο και φάση) σε φυσικές τιμές.
- (γ) Κάποια μεταβολή του φορτίου προκαλεί αύξηση της ΗΕΔ κατά 10% ενώ η μηχανική ισχύς στον άξονα της γεννήτριας παραμένει σταθερή. Υπολογίστε το νέο ρεύμα (κατά μέτρο και φάση) σε φυσικές τιμές στους ακροδέκτες της γεννήτριας.

(Η συχνότητα είναι 50Hz. Όλες οι ωμικές αντιστάσεις αγνοούνται)

(3 μονάδες)

- $R' = \frac{50\text{ m}\Omega}{\text{km}} \rightarrow R = 50 \cdot 10^3 \cdot 60 \Leftrightarrow R = 3\Omega$
- $L' = \frac{1.3\text{ mH}}{\text{km}} \rightarrow L = 1.3 \cdot 10^3 \cdot 60 \Leftrightarrow L = 78\text{ mH}$
- Όποιες $X = \omega L = 2\pi f \cdot L = 2\pi \cdot 50 \cdot 78 \cdot 10^{-3} \Leftrightarrow X = 24.5\Omega$



2. Δύο βιομηχανικές μονάδες τροφοδοτούνται από κοινό ζυγό ονομαστικής τάσης 150kV κι έχουν τα πάρακάτω χαρακτηριστικά:

1η μονάδα: $P_1 = 40 \text{ MW}, \cos \varphi_1 = 0.8$ επαγωγικό.

2η μονάδα: $P_2 = 25 \text{ MW} \cos \varphi_2 = 0.9$ χωρητικό.

Η τριφασική γραμμή μεταφοράς που τροφοδοτεί τον παραπάνω ζυγό μήκος 60 km, $R' = 50 \text{ m}\Omega/\text{km}$, $L' = 1.3 \text{ mH/km}$. Η συχνότητα του δικτύου είναι 50 Hz.

α) Ύπολογίστε την πτώση τάσης στην γραμμή καθώς και τις ωμικές απώλειες.

β) Ποια είναι η απαιτούμενη αντιστάθμιση στο ζυγό ώστε η πτώση τάσης στη γραμμή να μειωθεί στο μισό.

(3 μονάδες).

a). Εχουμε $P_{\text{ολ}} = P_1 + P_2 = 40 + 25 \Leftrightarrow P_{\text{ολ}} = 65 \text{ MW}$

- $\varphi_1 = \arccos(0.8) \Leftrightarrow \varphi_1 = 36.86^\circ \rightarrow \text{οποιες } \tan \varphi_1 = \frac{3}{4}$
- $\varphi_2 = -\arccos(0.9) \Leftrightarrow \varphi_2 = -25.84^\circ \rightarrow \text{kai } \tan \varphi_2 = -\frac{1}{2}$

- $Q_1 = P_1 \tan \varphi_1 = 40 \cdot \frac{3}{4} \Leftrightarrow Q_1 = 30 \text{ MVar}$

- $Q_2 = P_2 \tan \varphi_2 = -25 \cdot \frac{1}{2} \Leftrightarrow Q_2 = -12.5 \text{ MVar}$

- Όποιες $\bar{I} = \left(\frac{\bar{S}}{\sqrt{3} V_R} \right)^*$ $\Leftrightarrow \bar{I} = \frac{(65 - j17.5) \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 150 \angle 0^\circ \cdot 10^3} \Leftrightarrow \bar{I} = 259 \angle -15^\circ \text{ A}$

- Αρχα $\bar{V}_{S,\text{par}} = \bar{V}_{R,\text{par}} + \bar{I} \cdot \bar{Z}_{\text{line}} = \frac{150 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} + 259 \angle -15^\circ \cdot (3 + j24.5) \Leftrightarrow V_{S,\text{par}} = 89.1 \angle 38.1^\circ \text{ kV}$
ή $V_{S,n} = 89.1 \cdot \sqrt{3} \Leftrightarrow V_{S,n} = 154.3 \text{ kV}$

- Πτώση τάσης: $\frac{V_S - V_R}{V_R} \cdot 100\% = \frac{154.3 - 150}{150} \cdot 100\% = 0.028 \cdot 100\% = 2.8\%$

- Ομικές απώλειες: $P_{\text{loss}} = 3 I^2 \cdot R = 3 \cdot 259^2 \cdot 3 \Leftrightarrow P_{\text{loss}} = 603.7 \text{ kW}$

β). Θέλουμε την μισή ημίτονη τάση, δηλ. 1,4%, οποιες $\frac{V_S' - V_R}{V_R} = 0.014 \Leftrightarrow V_S' = 1.014 V_R$

$$\Leftrightarrow V_S' = 152.1 \text{ kV}$$

ψ

$$\bar{Z}_{\text{line}} = 3 + j24.5 = 24.6 \angle 83^\circ$$

- $P_R = 65 \text{ MW} = \frac{V_R \cdot V_S'}{Z_{\text{line}}} \cos(\psi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z_{\text{line}}} \cos \psi = \frac{150 \cdot 152.1 \cdot 10^6}{24.6} \cos(83^\circ - \theta) - \frac{150^2 \cdot 10^6}{24.6} \cos(83^\circ) = 65 \cdot 10^6$

$$\Leftrightarrow \cos(83^\circ - \theta) = 0.19 \Leftrightarrow 83 - \theta = 79 \Leftrightarrow \theta = 4^\circ$$

- $Q_R' = \frac{V_R \cdot V_S'}{Z_{\text{line}}} \sin(\psi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z_{\text{line}}} \sin \psi = \frac{150 \cdot 152.1 \cdot 10^6}{24.6} \sin(83^\circ - 4^\circ) - \frac{150^2 \cdot 10^6}{24.6} \sin(83^\circ) \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow Q_R' = 2.58 \text{ MVar} \quad (\text{απρηγωτικός το θέλουμε στο ακρο R})$$

Θα συνδέσουμε πλευρές
σε ασύρματα

- $Q_A = -14.92 \text{ MVar}$

Αρχα $C_y = \frac{|Q_A|}{V_R^2 \cdot \omega} = \frac{14.92 \cdot 10^6}{150^2 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot 50} \Leftrightarrow C_y = 2.11 \mu F/\text{φάση}$