

- 1.** Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:

 - Στροβιλογεννήτρια G (21kV, 100MVA, $x_s=1.2\text{pu}$)
 - Μ/Σ Ανύψωσης T (20/400 kV, 100MVA, $x_T=0.15\text{pu}$)
 - 2 παράλληλες Γραμμές Μεταφοράς με αντίδραση $X_L=j100 \Omega$ η καθεμία
 - Άπειρο 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 το E , $V_{\zeta u y}$ και I πριν και μετά.

(3 μονάδες)

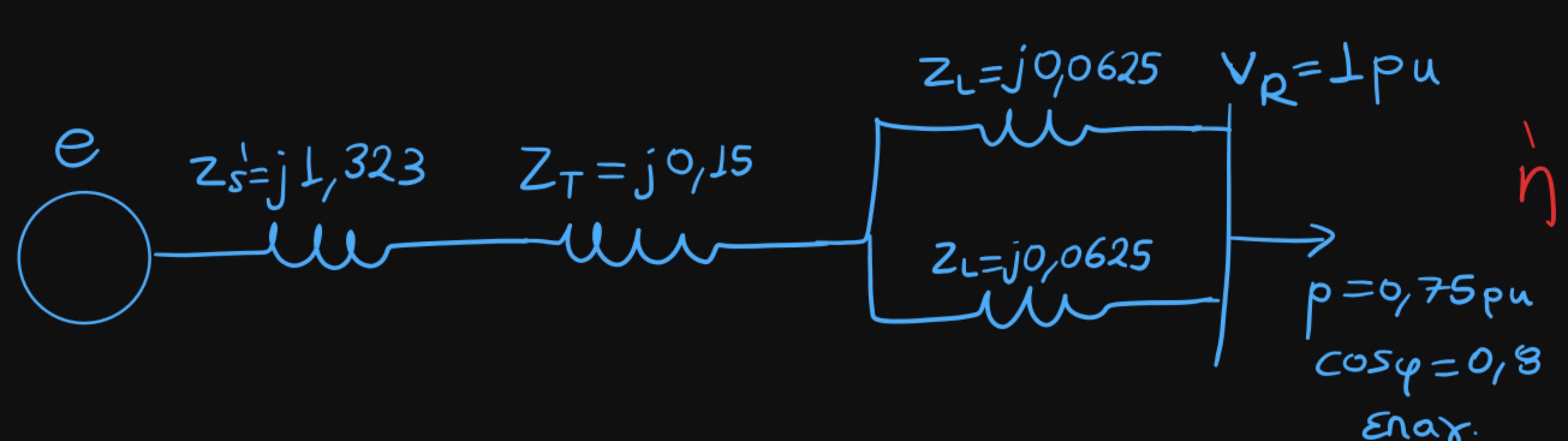
$$a) \cdot E_{\sigma\omega} \quad S_b = 100 \text{ MVA} , \quad V_{b_1} = 20 \text{ kV} , \quad V_{b_2} = 400 \text{ kV}$$

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

$$\cdot z_L = \frac{Z_L}{Z_1} = \frac{j100}{1600} \Leftrightarrow Z_L = j0,0625 \text{ pu}$$

$$\cdot P = \frac{P}{S_h} = \frac{75}{100} \Leftrightarrow P = 0,75 \text{ Pa}$$

$$Z_L' = \frac{Z_L \cdot Z_U}{Z_L + Z_U} = \frac{j^{20,0625^2}}{j^{0,125}} \Leftrightarrow Z_L' = j^{0,3125} \text{pu}$$



$$\beta) \cdot V_R = 400 \text{ kV} \quad | \quad V_R = \frac{V_R}{V_{ba}} = \frac{400}{400} = 1 \text{ pu}$$

$$\bar{v} = 0,833 \angle -25,84^\circ \text{ m}$$

Onices

Diagram illustrating the decomposition of vector \bar{e} into components \bar{e}^1 , \bar{e} , \bar{l}^1 , and \bar{j} .

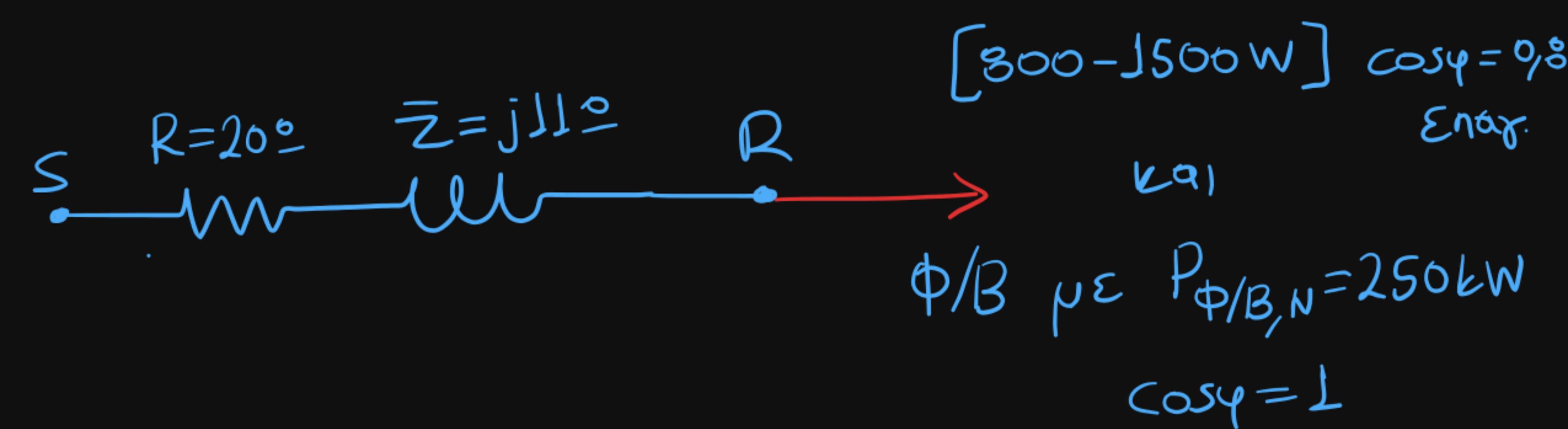
The vectors are shown originating from the same point:

- $\bar{e}^1 = 2,12 \angle 39,08^\circ$ (green arrow)
- $\bar{e} = 2,4 \angle 33,74^\circ$ (blue arrow)
- $\bar{l}^1 = 0,833 \angle -25,84^\circ$ (green arrow)
- $\bar{j} = 0,937 \angle -36,86^\circ$ (blue arrow)

Angle φ' is indicated between the horizontal projection of \bar{e}^1 and the horizontal projection of \bar{e} .

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

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



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 $P_{\Phi/B,N} = 250 kW$, $\cos\phi_{\Phi/B} = 1$.

(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 $V_R = 20kV$ $\left(\begin{array}{l} \text{αφού } P \uparrow, Z_{eq} \downarrow, I \uparrow, V_R \downarrow \\ \text{δες τους τύπους παρακάτω \end{array} \right)$

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

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

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

$$\cdot Q_2 = 0$$

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

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

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

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

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

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

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

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

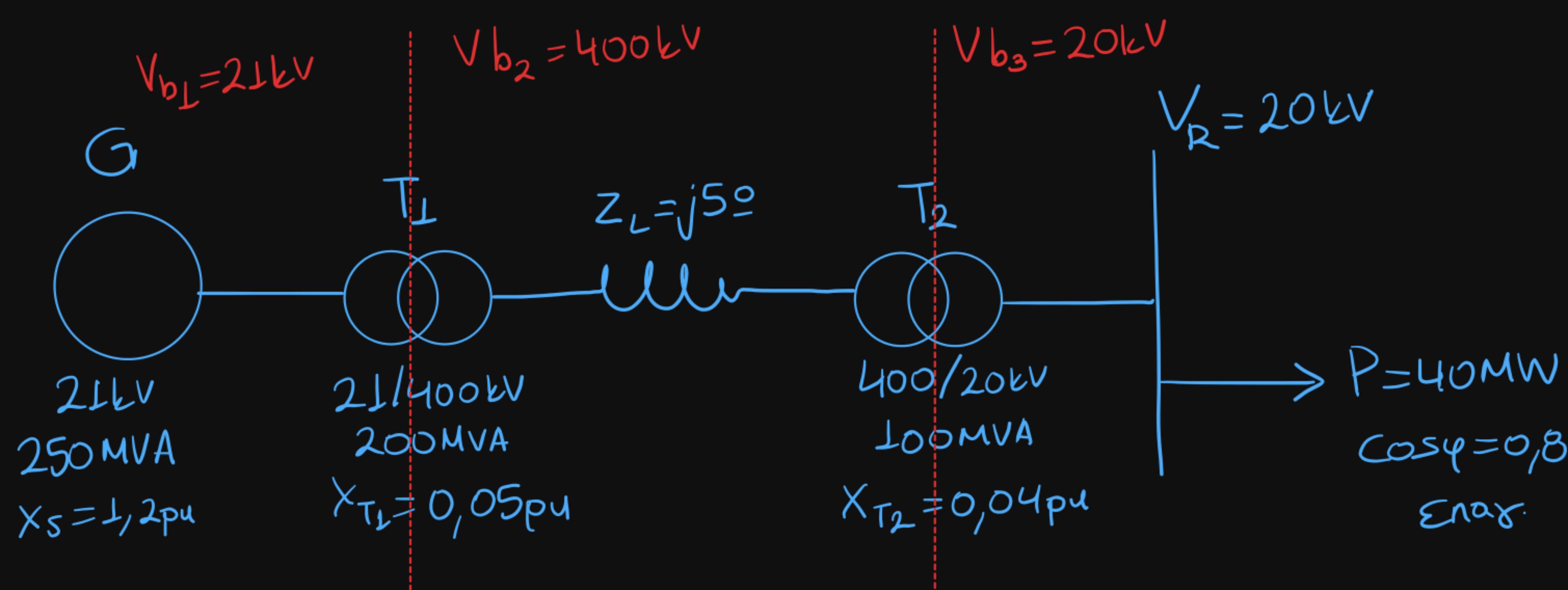
$$\cdot Q_R = \frac{V_R \cdot V_S}{Z} \sin(\psi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin\psi = \frac{20 \cdot 21 \cdot 10^6}{22,82} \sin(28,81 - 42,87) - \frac{20^2 \cdot 10^6}{22,82} \sin(28,81)$$

$$\Leftrightarrow Q_R = -12,9 \text{ MVar} \quad (\text{η αεργητική ισχύς που πρέπει να εξουψεύσει στο άκρο R})$$

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

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

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



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

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

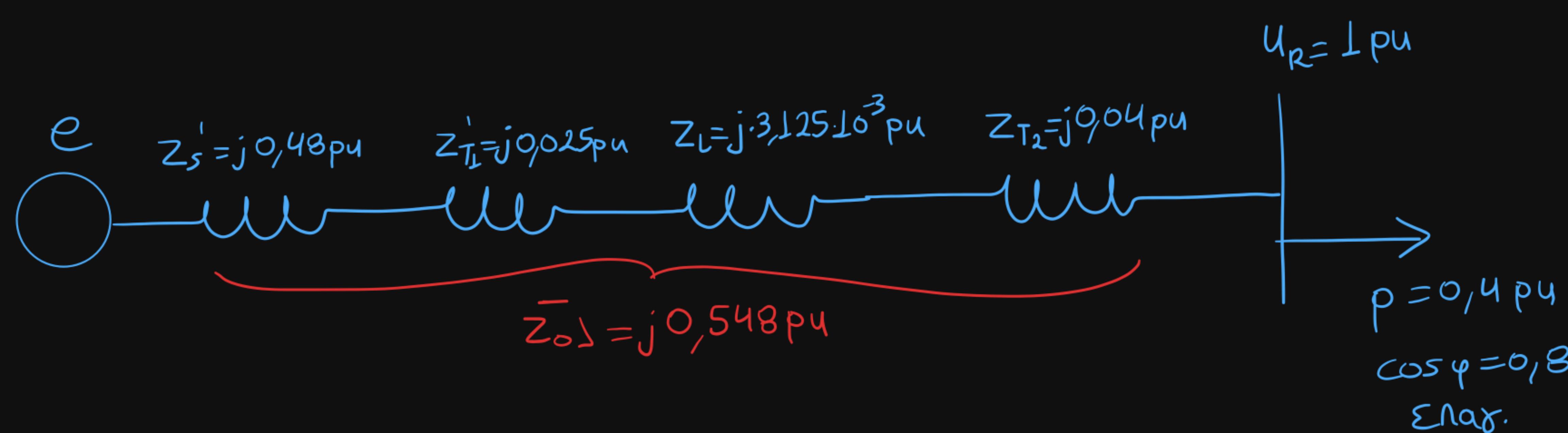
$$\cdot X_s' = X_s \cdot \left(\frac{100}{250} \right) = 1,2 \cdot 0,4 \Leftrightarrow X_s' = 0,48 \text{ pu}$$

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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)

2. Δύο βιομηχανικές μονάδες τροφοδοτούνται από κοινό ζυγό ονομαστικής τάσης 150kV κι έχουν τα παρακάτω 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, $R' = 50$ m Ω /km, $L' = 1.3$ mH/km. Η συχνότητα του δικτύου είναι 50 Hz.

g) Υπολογίστε 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).

$$q) \text{ Exkoupe } P_{o\Delta} = P_1 + P_2 = 40 + 25 \Leftrightarrow \underline{P_{o\Delta} = 65 \text{ MW}}$$

$$\cdot Q_2 = P_2 \tan \varphi_2 = -25 \cdot \frac{1}{2} \Leftrightarrow \underline{\underline{Q_2 = -12,5 \text{ MVA}_r}}$$

$$\Leftrightarrow \underline{V_s^1 = 152, \perp UV}$$

$$\therefore \bar{Z}_{\text{line}} = 3 + j24,5 = 24,6 \angle 83^\circ$$