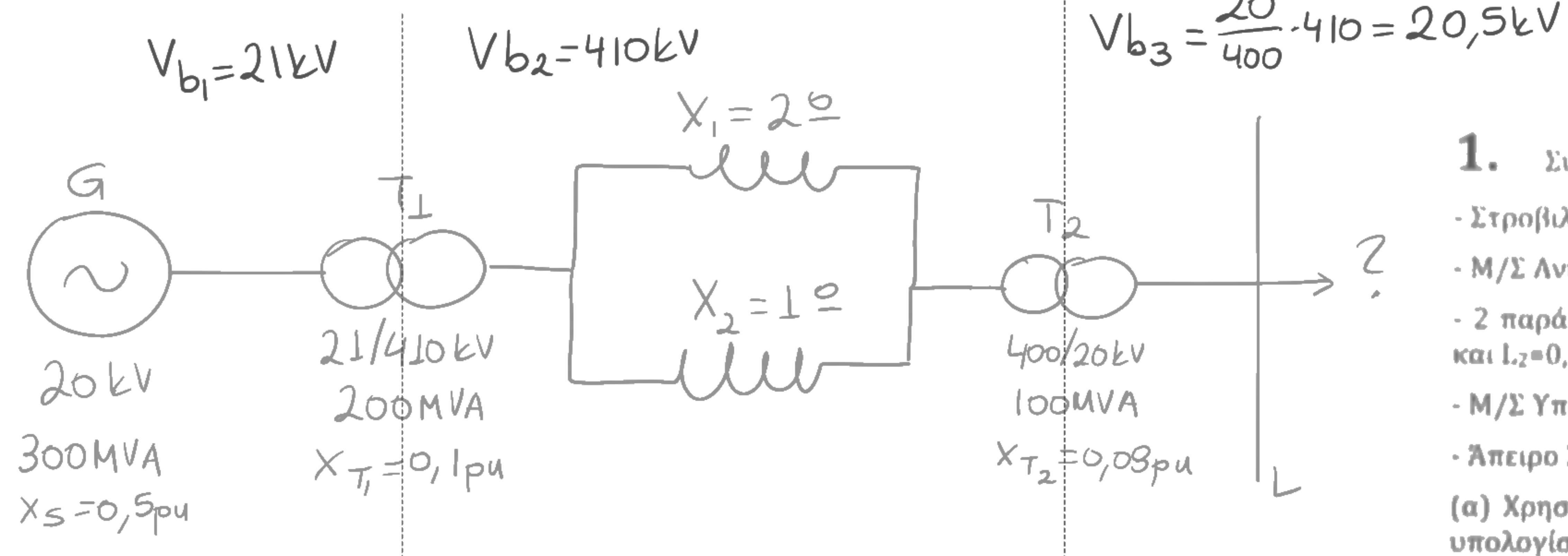


# Λύσεις Ιουνίου 2024(A)



$$\begin{aligned} \cdot \omega \cdot L_1 &= 2n \cdot 50 \cdot 0.32 = 100^{\text{m}\Omega/\text{km}} \rightarrow \text{άρα } X_1 = 100 \cdot 20 = 2 \Omega \\ \cdot \omega \cdot L_2 &= 2n \cdot 50 \cdot 0.16 = 50^{\text{m}\Omega/\text{km}} \rightarrow \text{άρα } X_2 = 50 \cdot 20 = 1 \Omega \end{aligned}$$

a) Επιλέγουμε  $V_{b_1} = 21 \text{ kV}$ , οπού  $V_{b_2} = 410 \text{ kV}$  και  $V_{b_3} = 20.5 \text{ kV}$

και επιλέγουμε  $S_b = 200 \text{ MVA}$

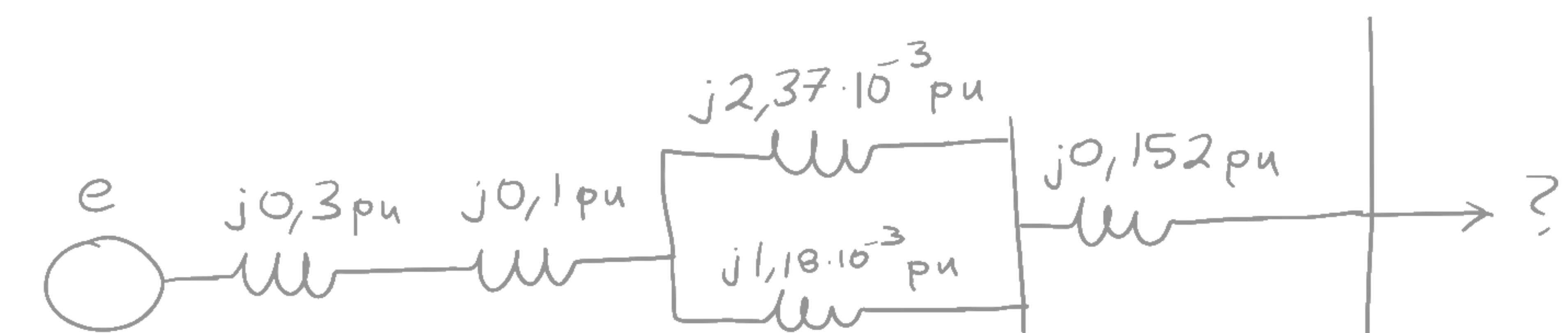
$$\begin{aligned} \cdot X_s' &= 0.5 \left( \frac{200}{300} \right) \left( \frac{20}{21} \right)^2 \Leftrightarrow X_s' = 0.3 \text{ pu} \\ \cdot X_{T_2}' &= 0.08 \left( \frac{200}{100} \right) \left( \frac{20}{20.5} \right)^2 \Leftrightarrow X_{T_2}' = 0.152 \text{ pu} \\ \cdot Z_{b_2} &= \frac{V_{b_2}^2}{S_b} = \frac{410^2}{200} \Leftrightarrow Z_{b_2} = 840.5 \Omega \end{aligned}$$

$$\text{άρα } \bar{Z}_1 = \frac{\bar{Z}_1}{Z_{b_2}} = \frac{j2}{840.5} \Leftrightarrow \bar{Z}_1 = j2.37 \cdot 10^{-3} \text{ pu}$$

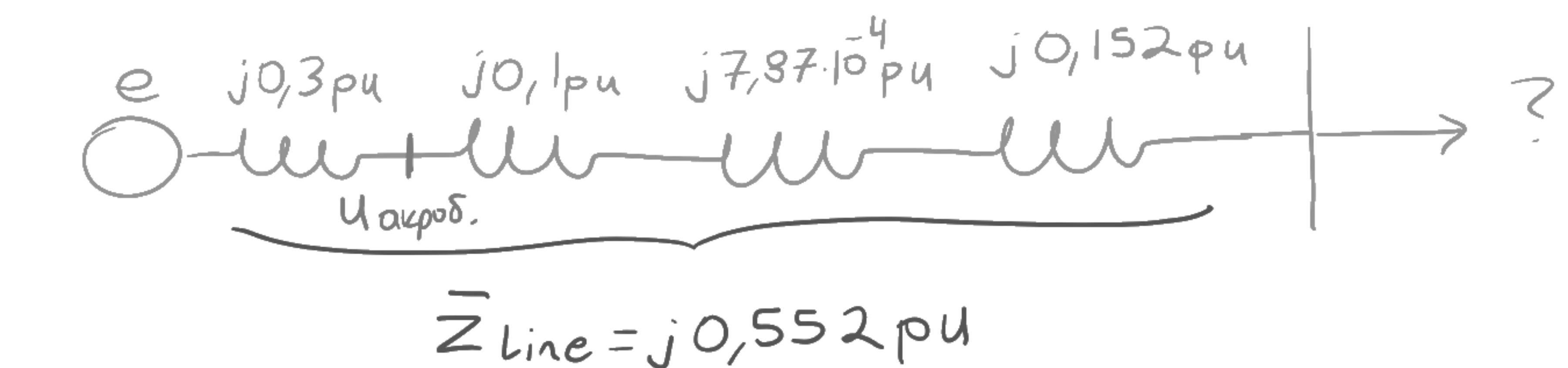
$$\text{και } \bar{Z}_2 = \frac{\bar{Z}_2}{Z_{b_2}} = \frac{j1}{840.5} \Leftrightarrow \bar{Z}_2 = j1.18 \cdot 10^{-3} \text{ pu}$$

- Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:
  - Στροβιλογεννήτρια G (20kV, 300MVA,  $x_s=0.5$ pu)
  - Μ/Σ Λανύφωσης T1 (21/410 kV, 200MVA,  $x_T=0.1$ pu)
  - 2 παράλληλες Γραμμές Μεταφοράς μήκους 20km η καθεμία με αντίθεση  $L_1=0.32\text{mH/km}$  και  $L_2=0.16\text{mH/km}$  αντίστοιχα
  - Μ/Σ Υποβιβασμού T2 (400/20 kV, 100MVA,  $x_T=0.08$ pu)
  - Άπειρο Ζυγό L όπου συνδέεται άγνωστο φορτίο
- (a) Χρησιμοποιώντας κοινή βάση της επιλογής σας, σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα και υπολογίστε όλες τις αντιδράσεις σε pu.
- (b) Αν η γεννήτρια λειτουργεί με  $E=22\text{kV}$ , Βακροδ=20kV και γωνία φόρτισης  $\theta=4^\circ$  να υπολογιστεί (β) το ρεύμα σε pu κατά μέτρο και φάση.
- (γ) η τάση στο ζυγό L (σε pu) κατά μέτρο και φάση και το cosφ του φορτίου στο ζυγό. (Η συχνότητα είναι 50Hz. Όλες οι ωμικές αντιστάσεις αγνοούνται)

(3 μονάδες)



$$\cdot \frac{2.37 \cdot 10^{-3} \cdot 1.18 \cdot 10^{-3}}{2.37 \cdot 10^{-3} + 1.18 \cdot 10^{-3}} = 7.87 \cdot 10^{-4}, \text{ οπού}$$



$$B) \text{Έχουμε } e = \frac{E}{V_{b_1}} = \frac{22}{21} \Leftrightarrow e = 1.04 \text{ pu} \quad \text{και} \quad \text{Μακροδ.} = \frac{V_{\text{μακροδ.}}}{V_{b_1}} = \frac{20}{21} \Leftrightarrow \text{Μακροδ.} = 0.95 \text{ pu}$$

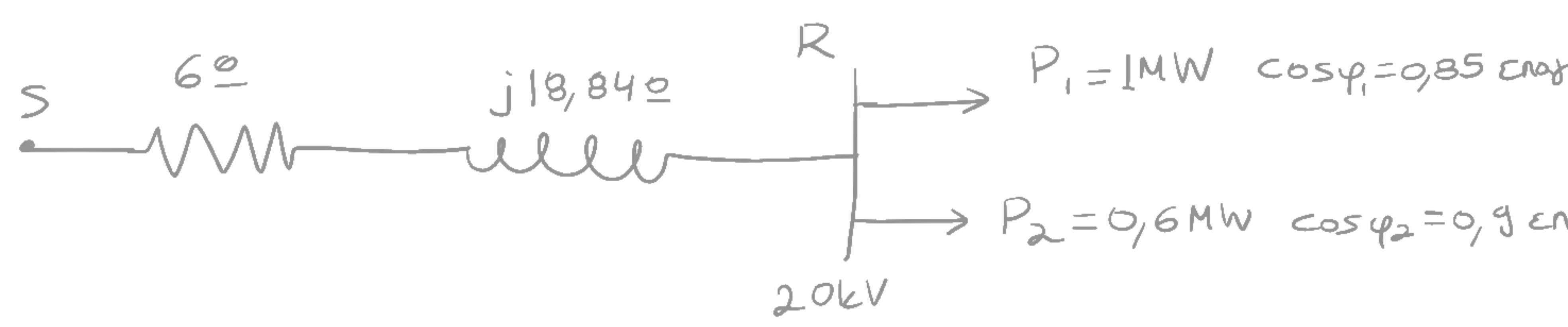
• Θεωρούμε ότι  $\bar{U}_{\text{μακροδ.}} = 0.95 \angle 0^\circ$  αλλιώς δεν δύνεται

$$\cdot \text{Όποις } \bar{e} = \bar{U}_{\text{μακροδ.}} + \bar{i} \cdot 0.3 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{i} = \frac{1.04 \angle 4^\circ - 0.95}{0.3 \angle 90^\circ} \Leftrightarrow \bar{i} = 0.37 \angle -50.32^\circ \text{ pu}$$

$$\cdot \bar{U}_L = 0.88 \angle -3.76^\circ$$

$$\cdot \varphi = \angle \bar{U}_L - \angle \bar{i} = -3.76 + 50.32 \Leftrightarrow \varphi = 46.56^\circ, \text{ άρα} \quad \cos \varphi = 0.687 \text{ ελαγχικό}$$

$$R = R' \cdot 40 = 0,15 \cdot 40 = 6 \Omega \quad \text{kai} \quad X = 2n50 \cdot 1,5 \cdot 40 = 18,84 \Omega$$



$$\alpha) \cdot P_0 = P_1 + P_2 \Leftrightarrow P_0 = 1,6 \text{ MW}$$

$$\cdot \varphi_1 = \arccos(0,85) = 31,78^\circ \rightarrow \tan \varphi_1 = 0,61$$

$$\cdot \varphi_2 = \arccos(0,9) = 25,84^\circ \rightarrow \tan \varphi_2 = \frac{1}{2}$$

$$\cdot Q_1 = P_1 \cdot \tan \varphi_1 = 1 \cdot 0,61 \Leftrightarrow Q_1 = 0,61 \text{ MVar}$$

$$\cdot Q_2 = P_2 \cdot \tan \varphi_2 = 0,6 \cdot \frac{1}{2} \Leftrightarrow Q_2 = 0,3 \text{ MVar}$$

$$\cdot \text{Έχουμε } \bar{I} = \left( \frac{\bar{S}}{\sqrt{3} V_R} \right)^* = \frac{(1,6 - j0,41) \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \angle 0^\circ} \Leftrightarrow \bar{I} = 47,68 \angle -14,37^\circ \text{ A}$$

$$\text{Οπού } \bar{V}_{S,q} = \bar{V}_{R,q} + \bar{I} \cdot \bar{Z}_{\text{line}} = \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 47,68 \angle -14,37^\circ (6 + j18,84) \Leftrightarrow V_{S,q} = 12,07 \angle 3,79^\circ \text{ kV}$$

$$\therefore V_{S,n} = 12,07 \cdot \sqrt{3} \Rightarrow V_{S,n} = 20,9 \text{ kV}$$

$$\text{Άρα η πώση γάρος: } \frac{V_S - V_R}{V_R} \cdot 100\% = \frac{20,9 - 20}{20} \cdot 100\% = 4,5\%$$

$$\beta) \cdot Z_{\text{line}} = 6 + j18,84 = 19,77 \angle 72,33^\circ \Omega$$

$$\cdot P_R = 1,6 \text{ MW} = \frac{V_R \cdot V_S}{Z} \cos(\varphi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \cos \varphi = \frac{20^2 \cdot 10^6}{19,77} \cos(72,33 - \theta) - \frac{20^2 \cdot 10^6}{19,77} \cos(72,33) = 1,6 \cdot 10^6$$

$$\Leftrightarrow 20,23 \cos(72,33 - \theta) - 6,14 = 1,6 \Leftrightarrow \cos(72,33 - \theta) = 0,382 \Leftrightarrow 72,33 - \theta = 67,54 \Leftrightarrow \theta = 4,78^\circ$$

$$\cdot Q_R = \frac{V_R \cdot V_S}{Z} \sin(\varphi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin \varphi = \frac{20^2 \cdot 10^6}{19,77} \sin(72,33 - 4,78) - \frac{20^2 \cdot 10^6}{19,77} \sin(72,33) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Q_R = -0,57 \text{ MVar} \quad (\text{αρχη για τον θέλει να εξουμε στο άκρο R})$$

$$\cdot \text{Έχουμε } Q_R = Q_0 + Q_A \Leftrightarrow Q_A = -0,57 - 0,41 \Leftrightarrow Q_A = -0,98 \text{ MVar}$$

$$\cdot \text{Θα συνδέσουμε πυκνωτές σε ασφέρα με } C_y = \frac{|Q_A|}{V_R^2 \cdot \omega} = \frac{0,98 \cdot 10^6}{20^2 \cdot 10^6 \cdot 2n50} \Leftrightarrow C_y = 7,79 \mu F / \text{φάση}$$

$$\gamma) \cdot \text{Θα έχουμε καινούργιο } Q_0 = Q_2 - Q_C = 0,3 - 0,5 \Leftrightarrow Q_0 = -0,2 \text{ MVar}$$

$$\text{kai } P_R' = 0,6 \text{ MW} \Leftrightarrow \dots \Leftrightarrow \cos(72,33 - \theta') = 0,333 \Leftrightarrow 72,33 - \theta' = 70,54 \Leftrightarrow \theta' = 1,78^\circ$$

$$\text{kai } Q_R' \Leftrightarrow \dots \Leftrightarrow Q_R' = -0,2 \text{ MVar}$$

$$\text{kai } Q_R' = Q_0 + Q_A' \Leftrightarrow Q_A' = -0,2 + 0,2 \Leftrightarrow Q_A' = 0$$

Δεν χρειαζόμαστε κάνοια αντιστάθμιση

Edit: μάλλον η ασκηση θέλει νως να κάνουμε το σύστημα καλύτερο, δηλαδή να έχουμε ελάχιστες απώλειες πάνω στη γραμμή.

Για την σημερινή θέλουμε  $Q_R' = 0$ , οπού  $Q_A' = -Q_0 = 0,2 \text{ MVar} \rightarrow$  πηνία σε ασφέρα

$$L = \frac{V_R^2}{Q_A' \cdot \omega} = \frac{20^2 \cdot 10^6}{0,2 \cdot 10^6 \cdot 2n50} \Leftrightarrow L = 6,36 \text{ H/φάση}$$

2. Μια τριφασική γραμμή μεταφοράς SR έχει  $R' = 0,15 \Omega/\text{km}$ ,  $L' = 1,5 \text{ mH/km}$  και μήκος 40 km. Η γραμμή τροφοδοτεί στο άκρο R στα 20kV δύο βιομηχανικές μονάδες

$P_1 = 1 \text{ MW}$ ,  $\cos \varphi_1 = 0,85$  επαγγελματικό και

$P_2 = 0,6 \text{ MW}$ ,  $\cos \varphi_2 = 0,9$  επαγγελματικό

και πυκνωτές αντιστάθμισης 0,5 MVar

(α) Πόση είναι η πτώση τάσης στη γραμμή;

(β) Τι μέσα αντιστάθμισης πρέπει να προστεθούν στο άκρο R σε αστέρα έτσι ώστε να μην υπάρχει πτώση τάσης πάνω στη γραμμή στην παραπάνω περίπτωση;

(γ) Ποτέσσο η μονάδα 1 ένα μήνα αργότερα παύει πλέον να λειτουργεί. Τι προτείνετε για την αντιστάθμιση;

(Η συχνότητα του δικτύου είναι 50 Hz)

(3 μονάδες)

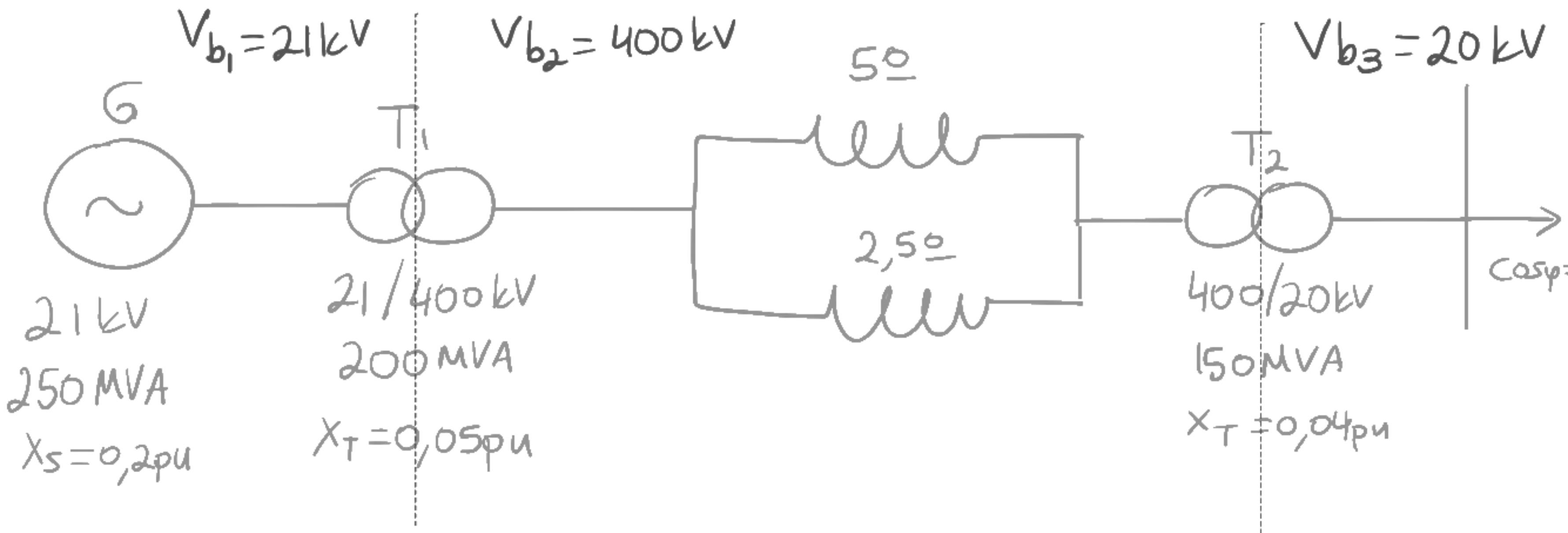
πυκνωτές αντιστάθμισης



$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} Q_0 = Q_1 + Q_2 - Q_C = 0,61 + 0,3 - 0,5 \Leftrightarrow Q_0 = 0,41 \text{ MVar}$$

(3 μονάδες)

(B)



$$\cdot X_1 = 2\pi f \cdot L \cdot 50 = 100 \pi \cdot 0.32 \cdot 50 \Leftrightarrow X_1 = 5 \Omega$$

$$\cdot X_2 = 2\pi f \cdot L_2 \cdot 50 = 100 \pi \cdot 0.16 \cdot 50 \Leftrightarrow X_2 = 2.5 \Omega$$

a) Επιλέγω  $S_b = 250 \text{ MVA}$ ,  $V_{b_1} = 21 \text{ kV}$  ( $V_{b_2} = 400 \text{ kV}$ ,  $V_{b_3} = 20 \text{ kV}$ )

$$\cdot X_{T_1}' = 0.05 \left( \frac{250}{200} \right) \left( \frac{21}{21} \right)^2 \Leftrightarrow X_{T_1}' = 0.0625 \text{ pu}$$

$$\cdot X_{T_2}' = 0.04 \left( \frac{250}{150} \right) \left( \frac{20}{20} \right)^2 \Leftrightarrow X_{T_2}' = 0.066 \text{ pu}$$

$$\cdot Z_b = \frac{V_{b_2}^2}{S_b} = \frac{400^2}{250} \Leftrightarrow Z_b = 640 \Omega$$

$$\cdot z_1 = \frac{Z_1}{Z_b} = \frac{j5}{640} \Leftrightarrow z_1 = j7,8125 \cdot 10^{-3} \text{ pu}$$

$$\cdot z_2 = \frac{Z_2}{Z_b} = \frac{j2.5}{640} \Leftrightarrow z_2 = j3,9062 \cdot 10^{-3} \text{ pu}$$

1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:

- Στροβιλογεννήτρια G (21kV, 250MVA,  $x_s=0.2\text{pu}$ )

- M/S Ανυψωσης T1 (21/400 kV, 200MVA,  $x_T=0.05\text{pu}$ )

- 2 παράλληλες Γραμμές Μεταφοράς μήκους 50km η καθεμία με αντίδραση  $L_1=0.32\text{mH/km}$  και  $L_2=0.16\text{mH/km}$  αντίστοιχα

- M/S Υποβιβασμού T2 (400/20 kV, 150MVA,  $x_T=0.04\text{pu}$ )

- Άπειρο Ζυγό L όπου συνδέεται καθαρά ωμικό φορτίο

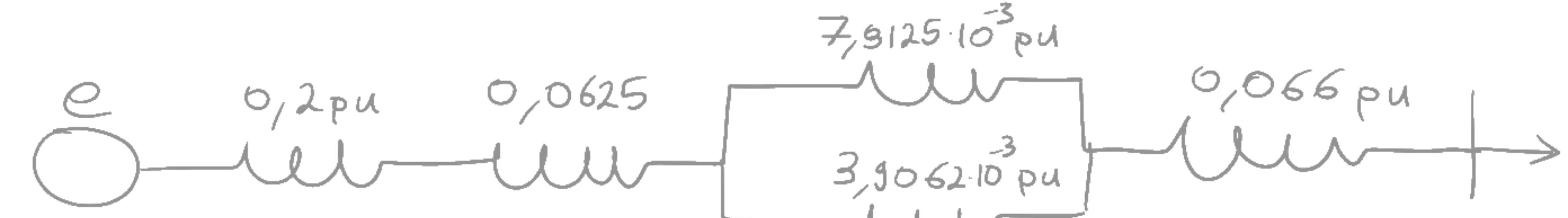
(α) Χρησιμοποιώντας κοινή βάση της επιλογής σας, σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα και υπολογίστε όλες τις αντίδρασεις σε pu.

Αν η ΗΕΔ της γεννήτριας είναι  $E=20\text{kV}$  και η τάση στον ζυγό L  $V_L=19\text{kV}$  να υπολογιστεί

(β) η ενεργός ισχύς στο φορτίο

(γ) η άεργος ισχύς στους ακροδέκτες της γεννήτριας

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



$$\cdot \frac{7,8125 \cdot 3,9062 \cdot 10^{-6}}{7,8125 \cdot 10^3 + 3,9062 \cdot 10^{-3}} = 2,604 \cdot 10^{-3} \text{ pu}$$

Apa

$$\begin{aligned} & \text{O} = \frac{0,95(0,952 \cdot \cos \theta - 0,95)}{0,331} \Leftrightarrow \cos \theta = \frac{0,95}{0,952} \Leftrightarrow \theta = 4,052^\circ \\ & \text{P} = \frac{e \cdot u \cdot \sin \theta}{X_{line}} = \frac{0,952 \cdot 0,95 \cdot \sin(4,052^\circ)}{0,331} \Leftrightarrow P = 0,193 \text{ pu} \quad \text{η} \quad P = p \cdot S_b = 0,193 \cdot 250 \Leftrightarrow \\ & P = 48,25 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\cdot i = \frac{P}{u \cdot \cos \theta} = \frac{0,193}{0,95 \cdot 1} \Leftrightarrow i = 0,203 \text{ pu}, \text{ οπότε } \bar{i} = 0,203 \angle 0^\circ$$

$$\cdot \bar{U}_{\text{ακροδ.}} = \bar{U} + \bar{i} \cdot j0,131 = 0,95 + 0,203 \cdot 0,131 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{U}_{\text{ακροδ.}} = 0,9503 \angle 1,603^\circ$$

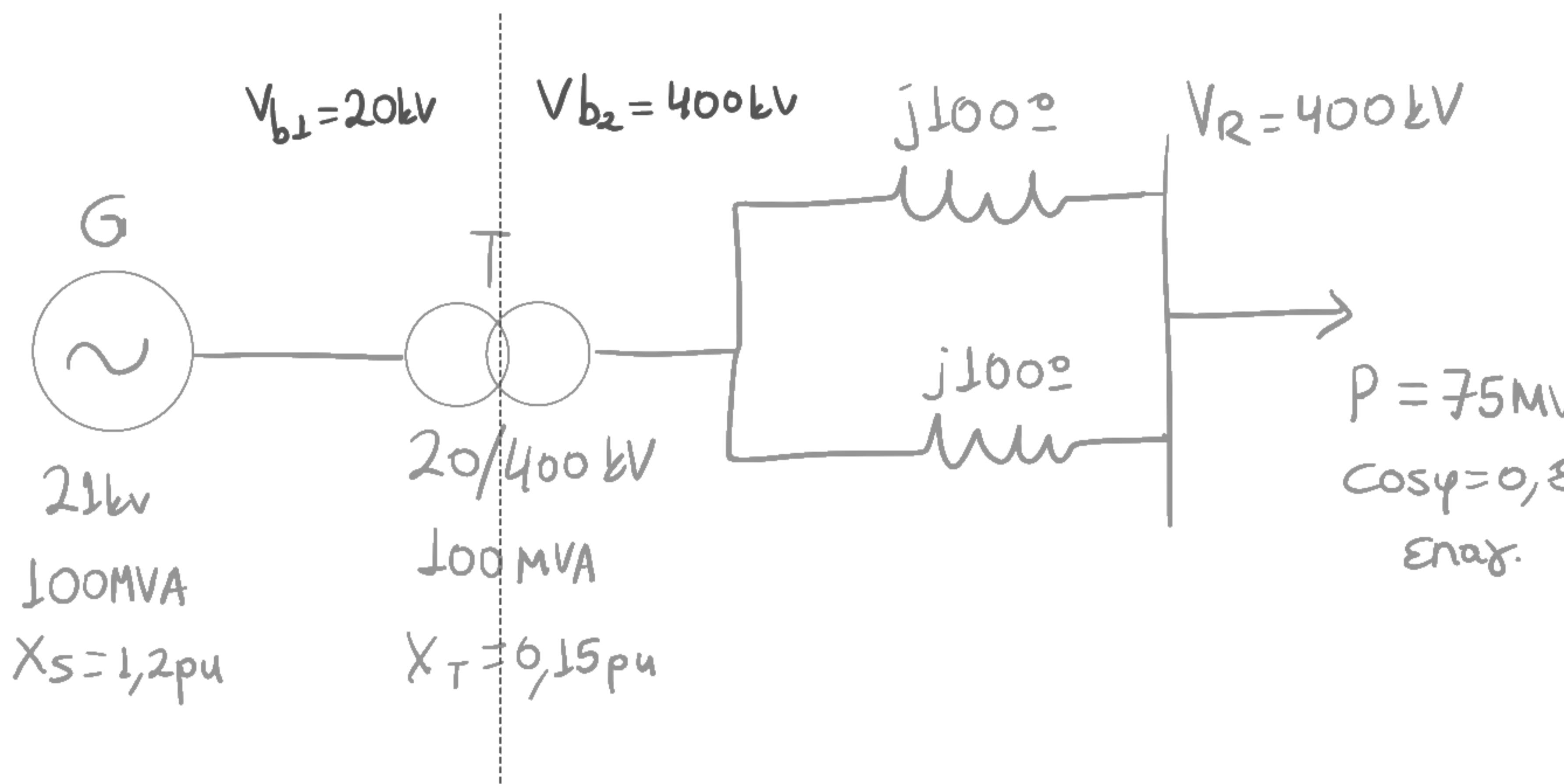
Apa επειδή στην γραμμή δεν έχουμε ωμικά φορτία, ζώζε

$$\text{Apa } Q_{\text{ακροδ.}} = q_{\text{ακροδ.}} \cdot S_b = 5,401 \cdot 10^3 \cdot 250 \cdot 10^6 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Q_{\text{ακροδ.}} = 1,35 \text{ MVar}$$

$$\begin{aligned} & \text{Pακροδ.} = 0,193 \text{ pu} \\ & \text{και} \\ & q_{\text{ακροδ.}} = \text{Pακροδ.} \cdot \tan(1,603^\circ) \Leftrightarrow \\ & \Leftrightarrow q_{\text{ακροδ.}} = 5,401 \cdot 10^{-3} \text{ pu} \end{aligned}$$

# Λύσεις Σεντ. 2023 (B)



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 με το E,  $V_R$  και I πριν και μετά.

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

(3 μονάδες)

a) Εσω  $S_b = 100 \text{ MVA}$ ,  $V_{b_1} = 20 \text{ kV}$ ,  $V_{b_2} = 400 \text{ kV}$

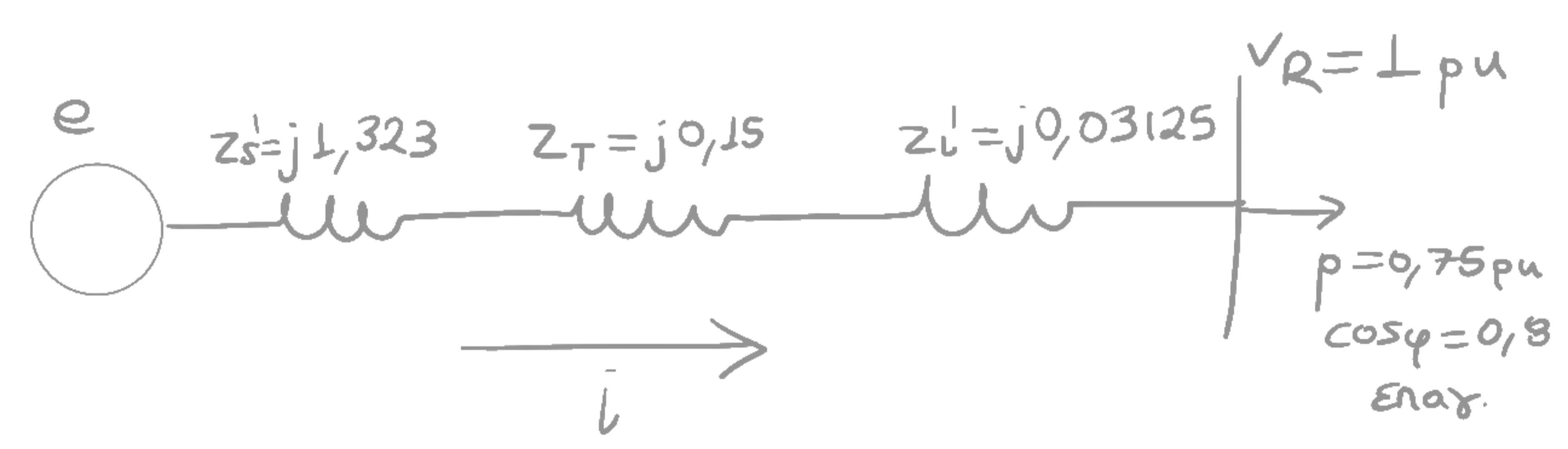
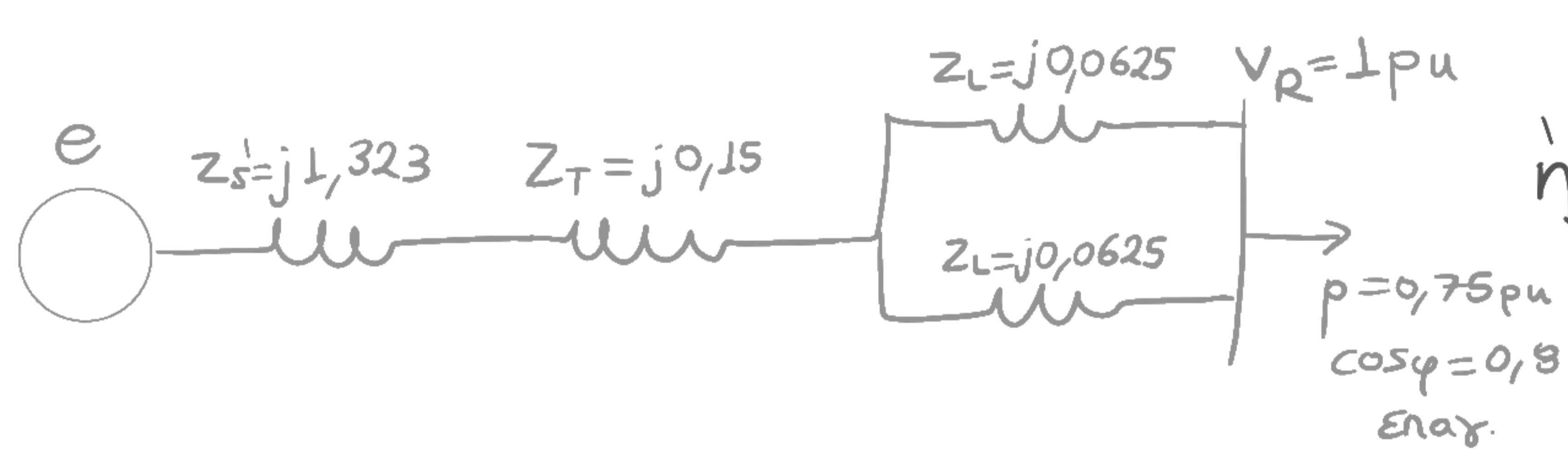
Τοτε για την γεννήτρια G εξω αλλαγή βάσης:  $X_s' = X_s \left( \frac{100}{20} \right) \left( \frac{21}{20} \right)^2 = 1,2 \cdot 1,1025 \Rightarrow X_s' = 1,323 \text{ pu}$

$$\cdot Z_{b_2} = \frac{V_{b_2}^2}{S_b} = \frac{(400 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 10^6} = \frac{400^2}{100} \Leftrightarrow Z_{b_2} = 1600 \Omega$$

$$\cdot z_L = \frac{Z_L}{Z_{b_2}} = \frac{j100}{1600} \Leftrightarrow z_L = j0,0625 \text{ pu}$$

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

$$z_L' = \frac{z_L \cdot z_L}{z_L + z_L} = \frac{j^2 0,0625^2}{j0,125} \Leftrightarrow z_L' = j0,03125 \text{ pu}$$



β).  $V_R = 400 \text{ kV}$  ή  $V_R = \frac{V_R}{V_{b_2}} = \frac{400}{400} = 1 \text{ pu}$

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

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

οπότε  $\bar{e} = 1 \angle 0^\circ + 0,937 \angle -36,86^\circ \cdot 1,50425 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{e} = 2,16 \angle 31,42^\circ \text{ pu}$

Αρα  $E = e \cdot V_{b_1} = 2,16 \cdot 20 \text{ kV} \Leftrightarrow E = 43,2 \text{ kV}$  και φαση  $31,42^\circ$  (νολική)

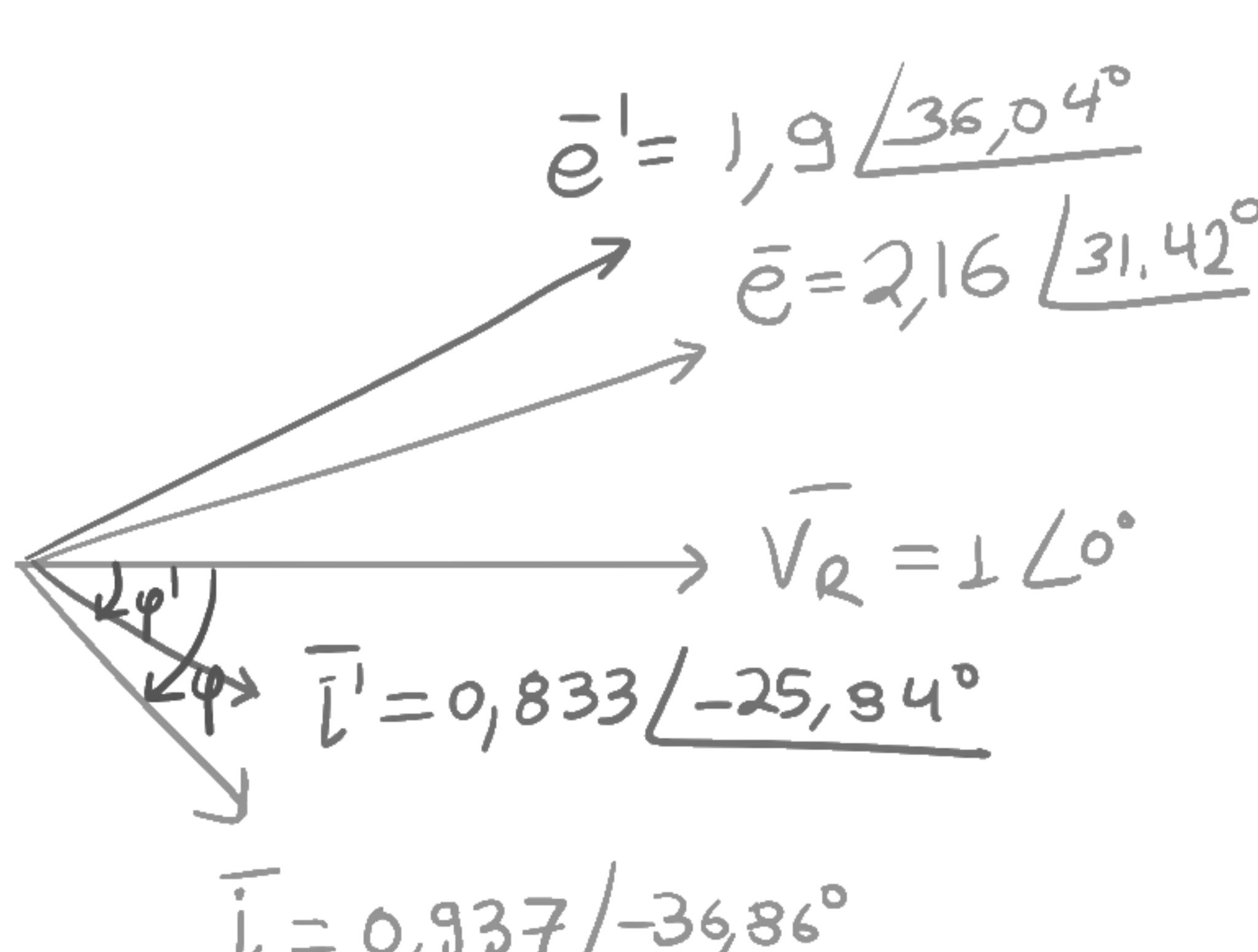
γ). Αν  $\cos\phi = 0,9$ , τοτε  $\phi = 25,84^\circ$

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

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

•  $\bar{e}' = \bar{u}_R + \bar{i}' \cdot (z_s' + Z_T + Z_L') = 1 \angle 0^\circ + 0,833 \angle -25,84^\circ \cdot 1,50425 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{e}' = 1,9 \angle 36,04^\circ \text{ pu}$

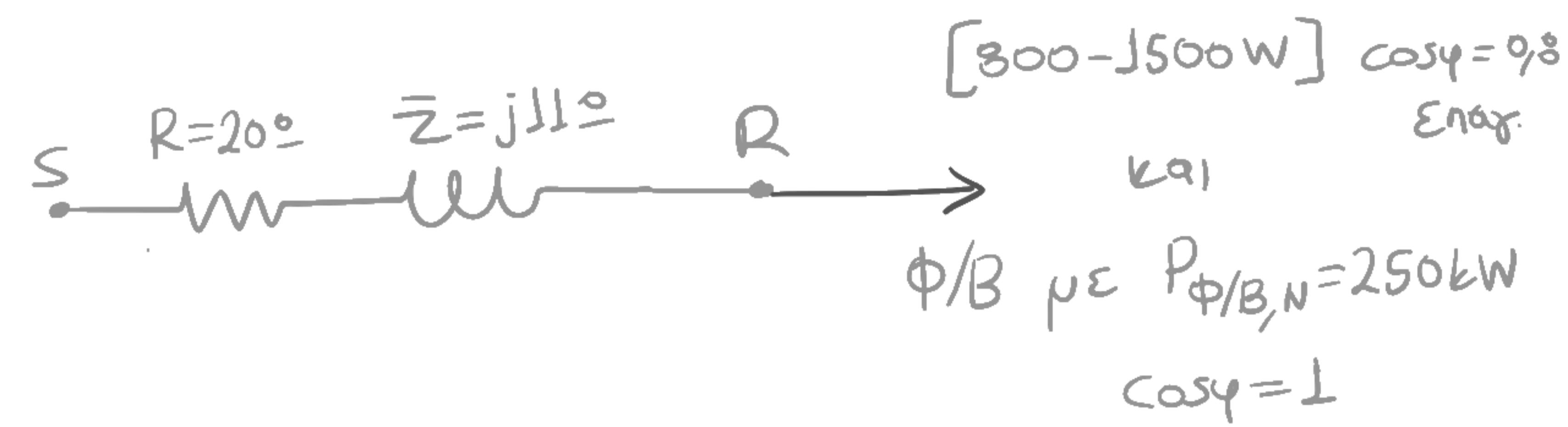
Οπότε



Με το  $\cos\phi = 0,9$  αλλάζει τα  $\bar{i}$  και  $\bar{e}$   
 $e \downarrow$ ,  $\bar{e} \uparrow$   
 $i \downarrow$ ,  $\bar{i} \uparrow$  (μετρα)

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

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



2. Μια τριφασική γραμμή μεταφοράς SR έχει  $R' = 1 \Omega/\text{km}$ ,  $X' = 0,55 \Omega/\text{km}$  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  $P_{\Phi/B,N} = 250 \text{ kW}$ ,  $\cos\phi_{\Phi/B} = 1$ .

(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 μπορέσουμε να βρούμε σημείωση παρακάτω

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

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

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

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

•  $Q_2 = 0$

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

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

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

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

B) Μέχιση η τάση τάσης έχουμε ότιa  $P_R = 1750 \text{ kW}$ , οπότε:

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

$$\Leftrightarrow 1,75 = 18,4 \cos(28,81 - \theta) - 15,35 \Leftrightarrow \cos(28,81 - \theta) = 0,92 \Leftrightarrow 28,81 - \theta = 23,07 \Leftrightarrow \theta = 5,74^\circ$$

$$Q_R = \frac{V_R \cdot V_S}{Z} \sin(\psi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin\psi = \frac{20 \cdot 21 \cdot 10^6}{22,82} \sin(28,81 - 5,74^\circ) - \frac{20^2 \cdot 10^6}{22,82} \sin(28,81)$$

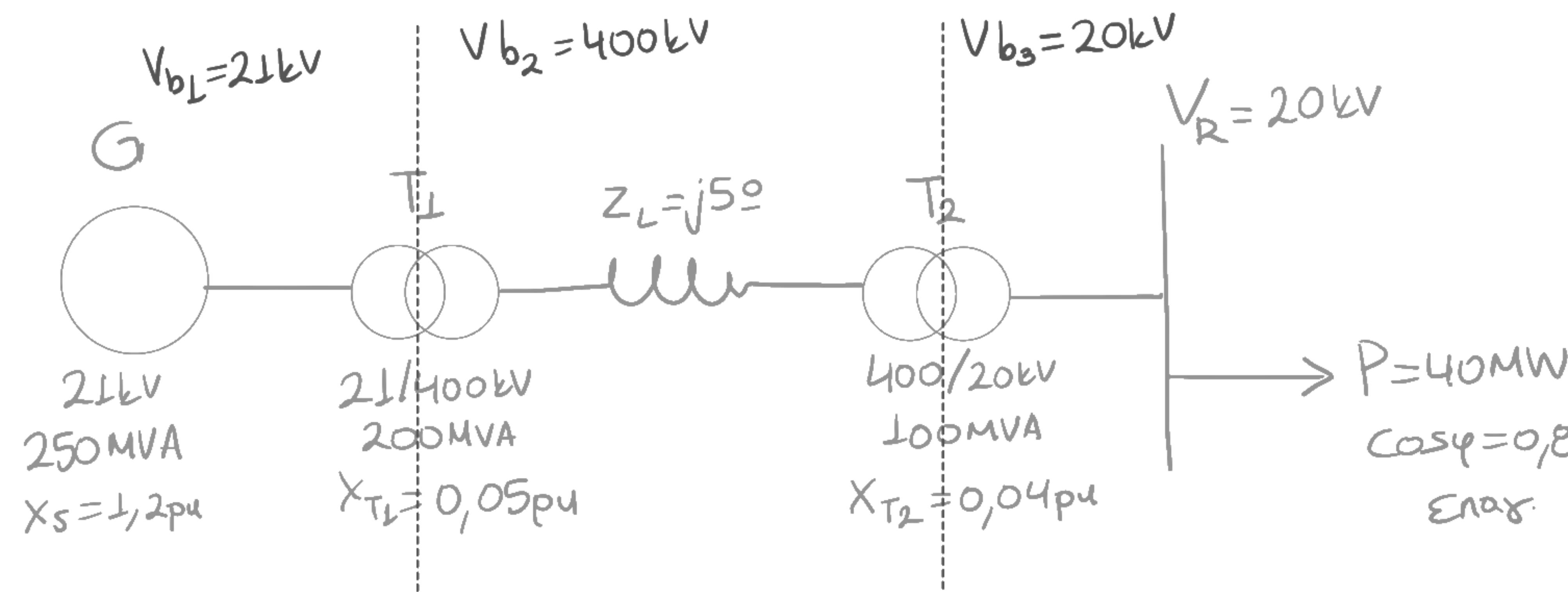
$$\Leftrightarrow Q_R = -1,23 \text{ MVar} \quad (\text{η αεργή ισχύς που πρέπει να έχουμε στο άκρο R})$$

$$\cdot \text{Έχουμε } Q_R = Q_{od} + Q_A \Leftrightarrow -1,23 = 1,125 + Q_A \Leftrightarrow Q_A = -2,355 \text{ MVar}$$

$$\cdot \text{Θα συνδέσουμε πυκνωτές σε αστέρα με } C_y = \frac{|Q_A|}{V_R^2 \cdot \omega} = \frac{2,355}{20^2 \cdot 2\pi \cdot 50} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow C_y = 18,7 \mu F/\text{φάση}$$

# Λύσεις Φεβ. 2023 (A)



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

1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:

- Στροβιλογεννήτρια G ( $21\text{kV}$ ,  $250\text{MVA}$ ,  $x_s = 1.2\text{pu}$ )
- M/S Ανύψωσης  $T_1$  ( $21/400\text{kV}$ ,  $200\text{MVA}$ ,  $x_{T1} = 0.05\text{pu}$ )
- Γραμμή Μεταφοράς  $50\text{km}$  με αντίδραση  $X_L = 0.1\Omega/\text{km}$
- M/S υποβιβασμού  $T_2$  ( $400/20\text{kV}$ ,  $100\text{MVA}$ ,  $x_{T2} = 0.04\text{pu}$ )
- Άπειρο Ζυγό  $20\text{kV}$  στον οποίο τροφοδοτείται φορτίο  $40\text{MW}$ ,  $\cos\varphi = 0.8$  επαγωγικό

(α) Χρησιμοποιώντας κοινή βάση της επιλογής σας, σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα 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  $50\text{Hz}$ . Όλες οι ωμικές αντιστάσεις αγνοούνται)

(3 μονάδες)

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

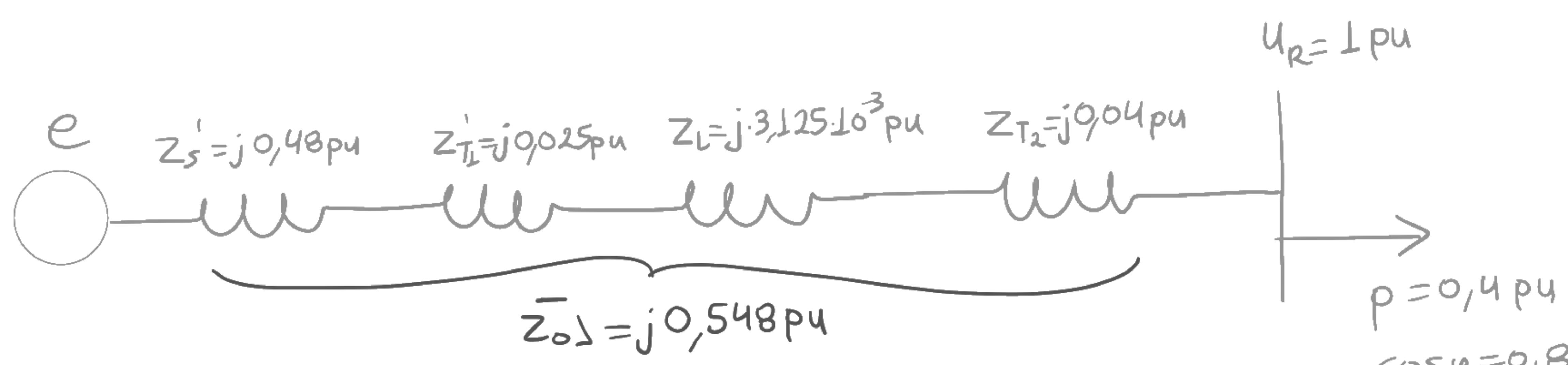
$$\cdot X_s' = X_s \cdot \left( \frac{100}{250} \right) = 1.2 \cdot 0.4 \Leftrightarrow X_s' = 0.48\text{pu}$$

$$\cdot X_{T1}' = X_{T1} \left( \frac{100}{200} \right) = 0.05 \cdot 0.5 \Leftrightarrow X_{T1}' = 0.025\text{pu}$$

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

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

$$\cdot p = \frac{P}{S} = \frac{40}{100} \Leftrightarrow p = 0.4\text{pu}$$



$$\beta) \cdot \bar{e} = \bar{U}_R + \bar{I} \cdot \bar{Z}_{o\Sigma} \quad \text{όπου} \quad i = \frac{p}{U_R \cdot \cos\varphi} = \frac{0.4}{1 \cdot 0.8} \Leftrightarrow i = 0.5\text{pu} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{I} = 0.5 \angle -36.86^\circ \text{ pu} \\ \text{Και } \varphi = \arccos(0.8) \Leftrightarrow \varphi = 36.86^\circ \end{array} \right.$$

$$\text{οπότε } \bar{e} = 1 \angle 0^\circ + 0.5 \angle -36.86^\circ \cdot 0.548 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{e} = 1.18 \angle 10.66^\circ \text{ pu}$$

$$\cdot \text{Από } \bar{E} = \bar{e} \cdot V_{b1} = 1.18 \cdot 21 \angle 10.66^\circ \Leftrightarrow \boxed{\bar{E} = 24.78 \angle 10.66^\circ \text{ kV}}$$

(νούκι)

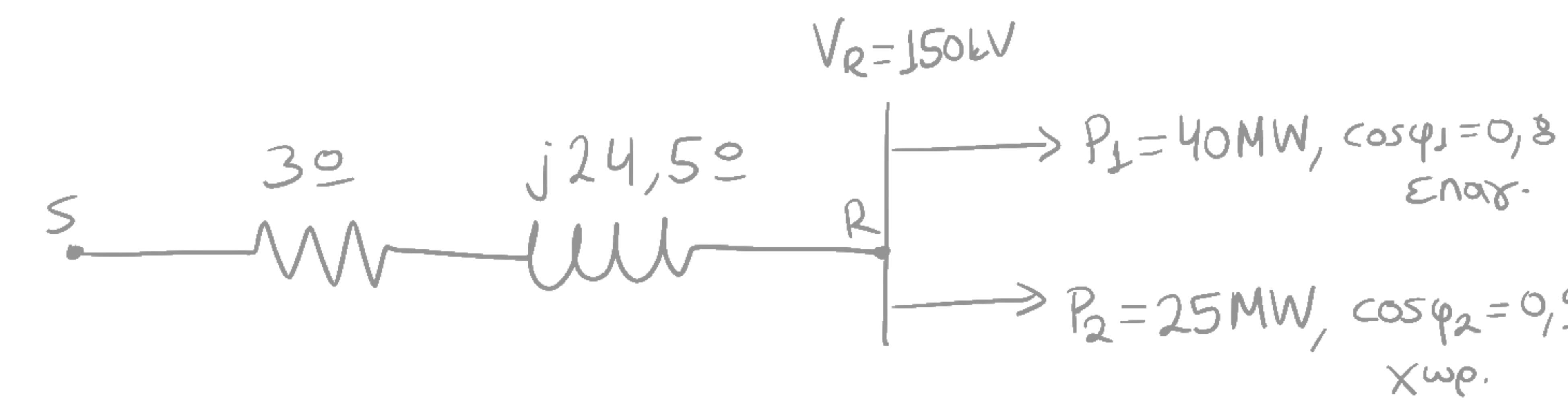
$$\gamma) \cdot e' = 1.18e \Leftrightarrow e' = 1.3\text{pu}$$

$$\cdot p' = p = 0.4\text{pu} \quad \text{οπότε} \quad p' = \frac{e' \cdot u \cdot \sin\theta'}{X_{o\Sigma}} \Leftrightarrow \sin\theta' = \frac{0.4 \cdot 0.548}{1.3 \cdot 1} \Leftrightarrow \sin\theta' = 0.168 \Leftrightarrow \theta' = 9.67^\circ$$

$$\cdot \bar{e}' = \bar{U}_R + \bar{I}' \cdot \bar{Z}_{o\Sigma} \Leftrightarrow 1.3 \angle 9.67^\circ = 1 \angle 0^\circ + \bar{I}' \cdot 0.548 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{I}' = 0.65 \angle -52.2^\circ \text{ pu}$$

$$\cdot \text{Από } \bar{I} = \bar{I}' \cdot I_b = \bar{I}' \cdot \frac{S_b}{\sqrt{3}V_{b1}} = 0.65 \angle -52.2^\circ \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 21 \cdot 10^3} \Leftrightarrow \boxed{\bar{I} = 1.78 \angle -52.2^\circ \text{ kA}}$$

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



a). Εχουμε  $P_{0Δ} = P_1 + P_2 = 40 + 25 \Leftrightarrow P_{0Δ} = 65 \text{ MW}$

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

- $Q_1 = P_1 \tan \varphi_1 = 40 \cdot \frac{3}{4} \Leftrightarrow Q_1 = 30 \text{ MVar}$
- $Q_2 = P_2 \tan \varphi_2 = -25 \cdot \frac{1}{2} \Leftrightarrow Q_2 = -12.5 \text{ MVar}$
- Όποιες  $\bar{I} = \left( \frac{\bar{S}}{\sqrt{3} V_R} \right)^* \Leftrightarrow \bar{I} = \frac{(65 - j17.5) \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 150 \angle 0^\circ \cdot 10^3} \Leftrightarrow \bar{I} = 259 \angle -15^\circ \text{ A}$

- Apa  $\bar{V}_{S,\text{par}} = \bar{V}_{R,\text{par}} + \bar{I} \cdot \bar{Z}_{\text{line}} = \frac{150 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} + 259 \angle -15^\circ \cdot (3 + j24.5) \Leftrightarrow V_{S,\text{par}} = 89.1 \angle 3.81^\circ \text{ kV}$   
ή  $V_{S,n} = 89.1 \cdot \sqrt{3} \Leftrightarrow V_{S,n} = 154.3 \text{ kV}$

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

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

b). Θέλουμε την μισή περιώνης τάσης, δηλ. 1,4%, οποίες  $\frac{V_S' - V_R}{V_R} = 0.014 \Leftrightarrow V_S' = 1.014 V_R$

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

ψ

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

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

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

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

$$\Leftrightarrow Q_R' = 2.58 \text{ MVar} \quad (\text{αφορη 10x05 νω θέλουμε στο άκρο R})$$

- $Q_R' = Q_R + Q_A \Leftrightarrow 2.58 = 17.5 + Q_A \Leftrightarrow Q_A = -14.92 \text{ MVar}$

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

Θα συνδέσουμε πυκνωτές σε ασύρματα