

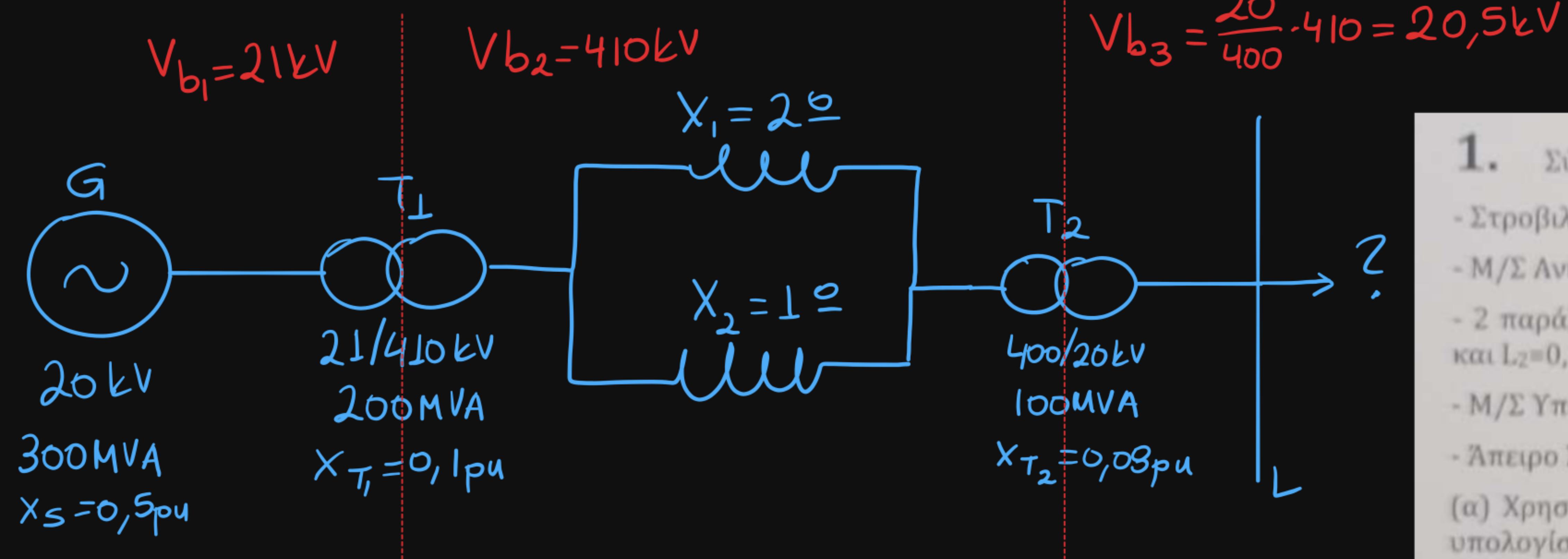
# ΣΑΠΗΛΟguide

Συστήματα Ηλεκτρικής  
Ενέργειας 1

Σημείωση: Οι απαντήσεις μπορεί να μην είναι 100% σωστές

- Nontas

# Λύσεις Ιουνίου 2024 (Α)



- $\omega \cdot L_1 = 2\pi \cdot 50 \cdot 0.32 = 100 \text{ m}^{\circ}/\text{km} \rightarrow \text{άρα } X_1 = 100 \cdot 20 = 2 \Omega$
- $\omega \cdot L_2 = 2\pi \cdot 50 \cdot 0.16 = 50 \text{ m}^{\circ}/\text{km} \rightarrow \text{άρα } X_2 = 50 \cdot 20 = 1 \Omega$

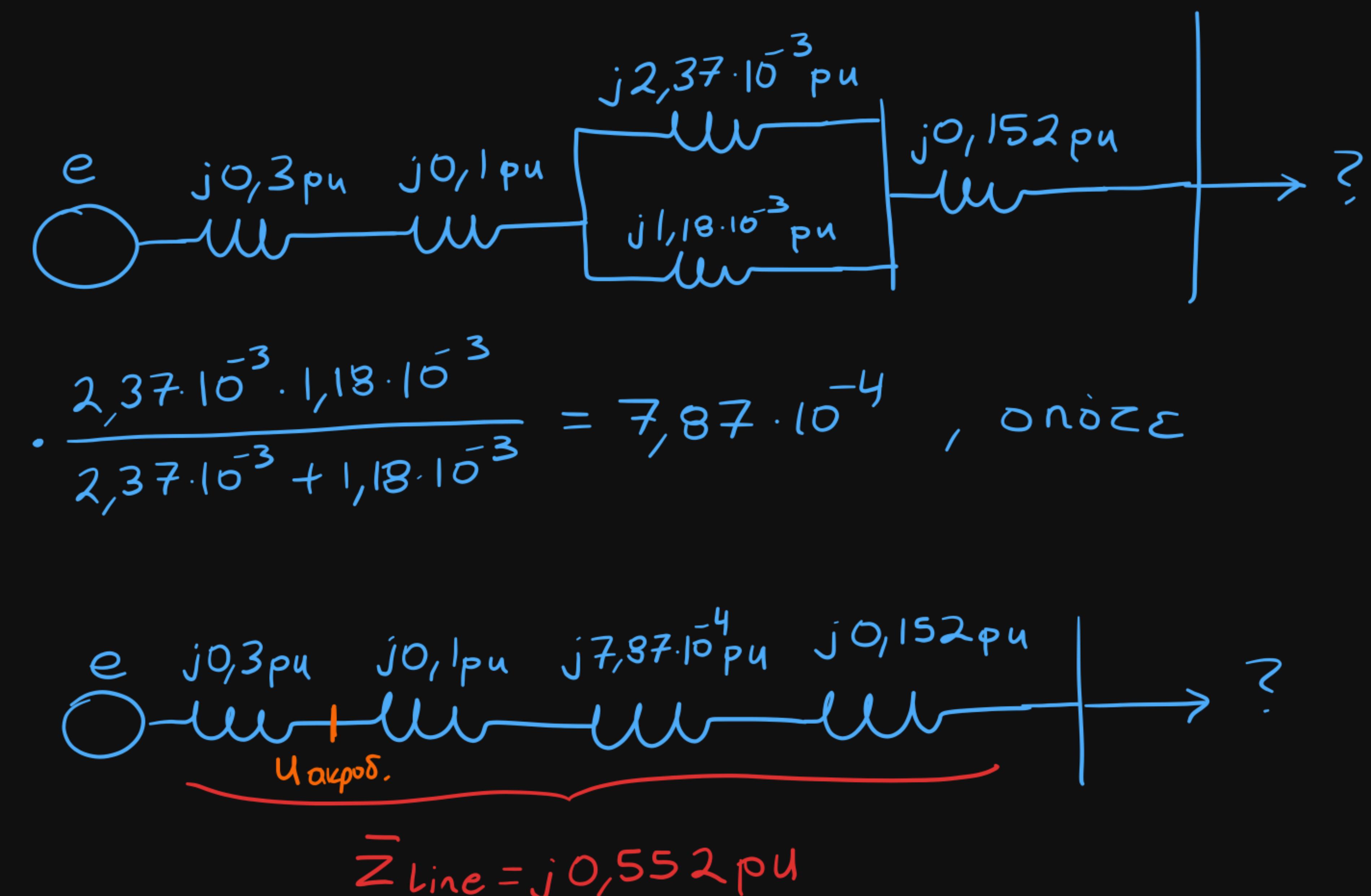
a) Επιλέγουμε  $V_{b_1} = 21 \text{ kV}$ , οπού  $V_{b_2} = 410 \text{ kV}$  και  $V_{b_3} = 20.5 \text{ kV}$

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

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

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

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



B) Εχουμε  $e = \frac{E}{V_{b_1}} = \frac{22}{21} \Leftrightarrow e = 1.04 \text{ pu}$  και  $\bar{U}_{\text{ακροδ.}} = \frac{V_{\text{ακροδ.}}}{V_{b_1}} = \frac{20}{21} \Leftrightarrow \bar{U}_{\text{ακροδ.}} = 0.95 \text{ pu}$

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

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

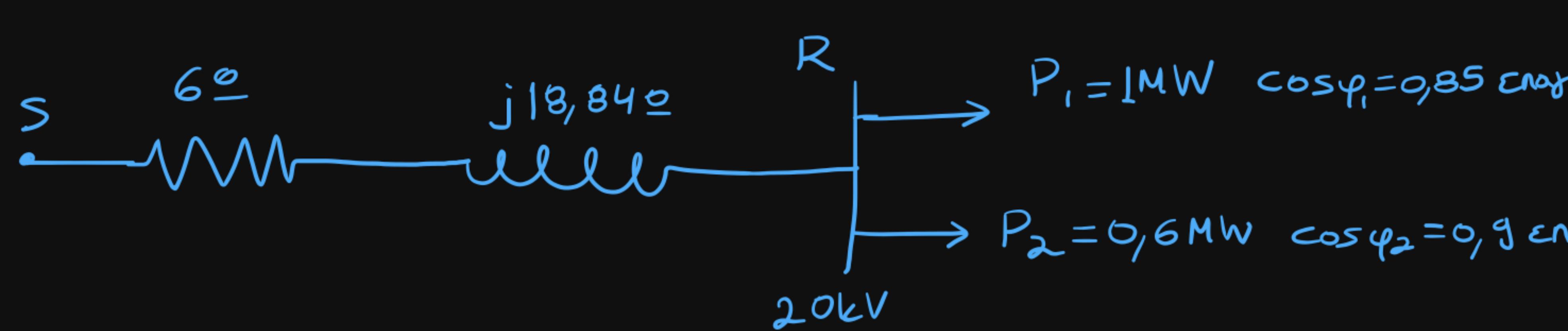
γ)  $\bar{e} = \bar{U}_L + \bar{l} \cdot \bar{Z}_{\text{line}} \Leftrightarrow \bar{U}_L = 1.04 \angle 4^\circ - 0.37 \angle -50.32^\circ \cdot 0.552 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{U}_L = 0.88 \angle -3.76^\circ$

$\varphi = \angle \bar{U}_L - \angle \bar{l} = -3.76 + 50.32 \Leftrightarrow \varphi = 46.56^\circ$ , άρα  $\cos \varphi = 0.687$  επαργυρικό

- Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:
    - Στροβιλογεννήτρια G (20kV, 300MVA,  $x_s=0.5 \text{ pu}$ )
    - M/S Ανύψωσης T1 (21/410 kV, 200MVA,  $x_T=0.1 \text{ pu}$ )
    - 2 παράλληλες Γραμμές Μεταφοράς μήκους 20km 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, 100MVA,  $x_T=0.08 \text{ pu}$ )
    - 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.
- Αν η γεννήτρια λειτουργεί με  $E=22 \text{ kV}$ ,  $\text{Νακροδ}=20 \text{ kV}$  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)

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



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

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

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

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

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

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

$$\text{Οπότε } \bar{V}_{S,\varphi} = \bar{V}_{R,\varphi} + \bar{I} \cdot \bar{Z}_{\text{line}} = \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 47,68 \angle -14,37^\circ (6 + j18,84) \Leftrightarrow V_{S,\varphi} = 12,07 \angle 3,78^\circ \text{ kV}$$

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

$$\text{Αριθμητική ρύθμιση: } \frac{V_S - V_R}{V_R} \cdot 100\% = \frac{20,9 - 20}{20} \cdot 100\% = 4,5\%$$

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

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

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

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

$$\Leftrightarrow Q_R = -0,57 \text{ MVar} \quad (\text{αριθμητικά πρέπει να έχουμε στο άκρο R})$$

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

$$\cdot \text{Θα συνδέσουμε πυκνωτές σε αστέρα με } C_y = \frac{|Q_A|}{V_R^2 \cdot \omega} = \frac{0,98 \cdot 10^6}{20^2 \cdot 10^6 \cdot 2n50} \Leftrightarrow C_y = 7,78 \mu F / \text{φάση}$$

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

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

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

$$\text{και } Q_A' = Q_{\text{load}}' + Q_A' \Leftrightarrow Q_A' = -0,2 + 0,2 \Leftrightarrow Q_A' = 0$$

Δεν χρειάζονται κάποια αντιστάθμιση

Edit: μάλλον η αστέρη θέτει πώς να κάνουμε το σύστημα καλύτερο, δηλαδή να έχουμε ελάχιστες απώλειες πάνω στη γραμμή.

Για τη λίγη θέλουμε  $Q_R' = 0$ , οπότε  $Q_A' = -Q_{\text{load}}' = 0,2 \text{ MVar} \rightarrow$  πηνία σε αστέρα

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

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

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

και πυκνωτές αντιστάθμισης 0,5 MVar

(α) Πόση είναι η πτώση τάσης στη γραμμή;

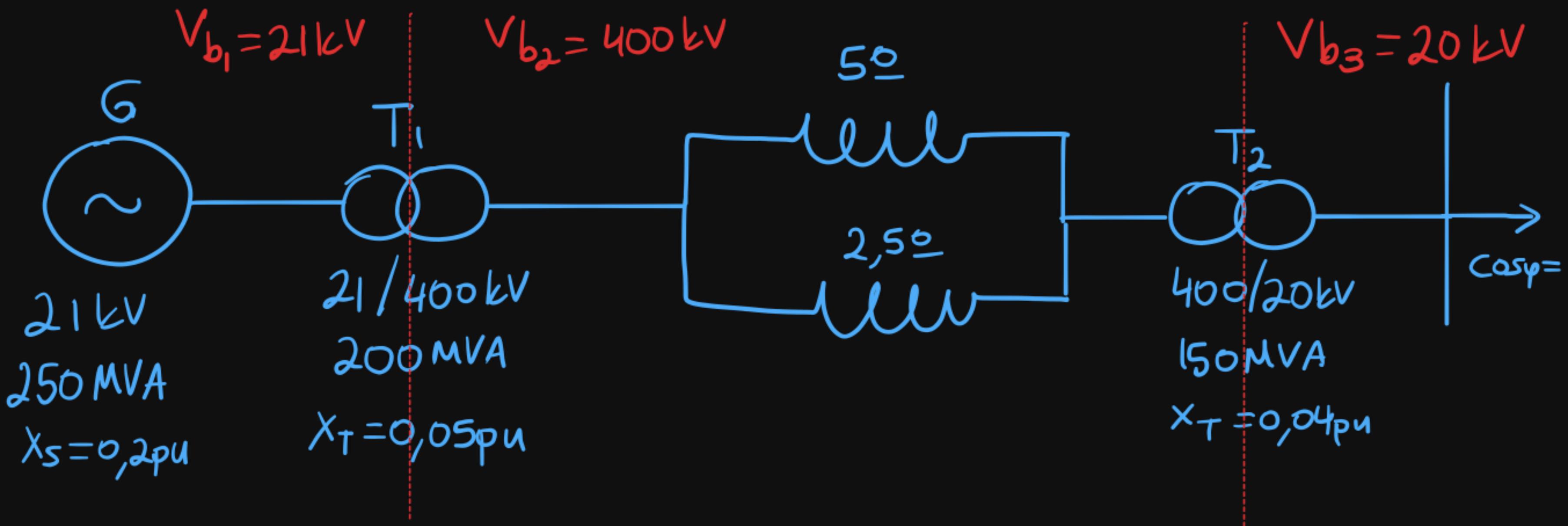
(β) Τι μέσα αντιστάθμισης πρέπει να προστεθούν στο άκρο R σε αστέρα έτσι ώστε να μην υπάρχει πτώση τάσης πάνω στη γραμμή στην παραπάνω περίπτωση;

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

(Η συχνότητα του δικτύου είναι 50 Hz)

(3 μονάδες).

(B)



$$\cdot X_1 = 2\pi f \cdot L_1 \cdot 50 = 100\pi \cdot 0.32 \cdot 50 \Leftrightarrow X_1 = 5 \Omega$$

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

a) Ενηλέγω  $S_b = 250 \text{ MVA}$ ,  $V_{b1} = 21 \text{ kV}$  (  $\begin{matrix} V_{b2} = 400 \text{ kV} \\ V_{b3} = 20 \text{ kV} \end{matrix}$  )

$$\cdot X_{T1}^{-1} = 0.05 \cdot \left(\frac{250}{200}\right) \left(\frac{21}{21}\right)^2 \Leftrightarrow X_{T1}^{-1} = 0.0625 \text{ pu}$$

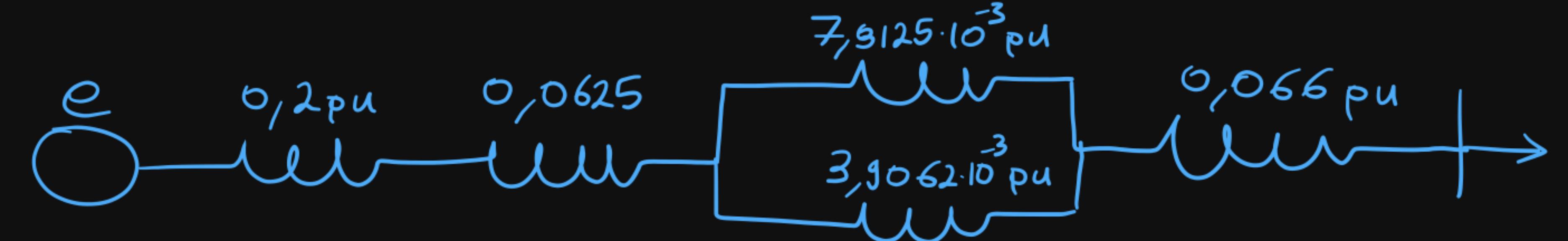
$$\cdot X_{T2}^{-1} = 0.04 \cdot \left(\frac{250}{150}\right) \left(\frac{20}{20}\right)^2 \Leftrightarrow X_{T2}^{-1} = 0.066 \text{ pu}$$

$$\cdot Z_b = \frac{V_{b2}^2}{S_b} = \frac{400^2}{250} \Rightarrow Z_b = 640 \Omega$$

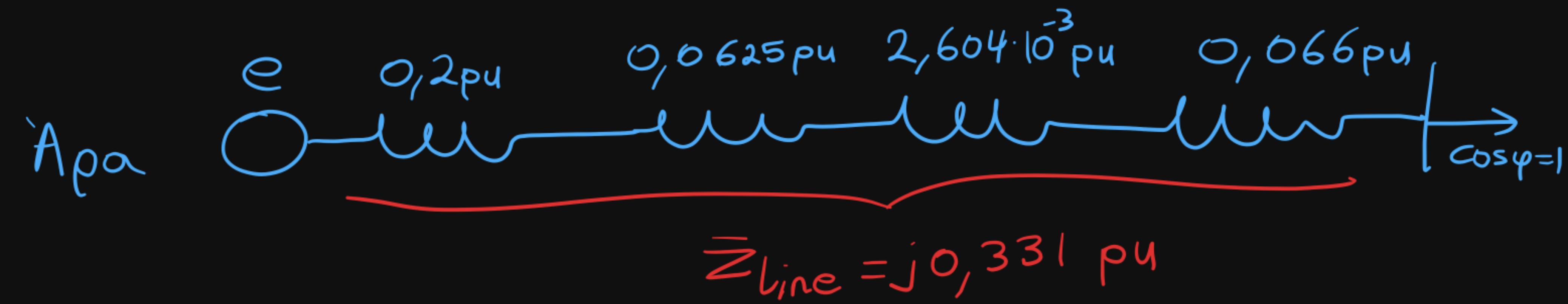
$$\cdot Z_1 = \frac{Z_b}{Z_b} = \frac{j5}{640} \Leftrightarrow Z_1 = j7.8125 \cdot 10^{-3} \text{ pu}$$

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

1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:
- Στροβιλογεννήτρια G (21kV, 250MVA,  $x_s=0.2\text{pu}$ )
  - M/S Ανύψωσης 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 αντιδράσεις 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)



$$\cdot \frac{7.8125 \cdot 3.9062 \cdot 10^{-6}}{7.8125 \cdot 10^{-3} + 3.9062 \cdot 10^{-3}} = 2.604 \cdot 10^{-3} \text{ pu}$$



β) Εξουμε  $q=0$  (αφού  $\cos\phi=1$ ), οπότε  $q = \frac{U \cdot (E \cos\theta - U)}{X_{line}}$  οπου  $U = \frac{19}{20} = 0.95 \text{ pu}$  και  $E = \frac{20}{21} = 0.952 \text{ pu}$

$$\text{Αρα } O = \frac{0.95(0.952 \cdot \cos\theta - 0.95)}{0.331} \Leftrightarrow \cos\theta = \frac{0.95}{0.952} \Leftrightarrow \theta = 4.052^\circ$$

$$\text{Αρα } P = \frac{E \cdot U \cdot \sin\theta}{X_{line}} = \frac{0.952 \cdot 0.95 \cdot \sin(4.052^\circ)}{0.331} \Leftrightarrow P = 0.193 \text{ pu} \quad \text{ή} \quad P = p \cdot S_b = 0.193 \cdot 250 \Leftrightarrow P = 48.25 \text{ MW}$$

$$\gamma) \cdot i = \frac{P}{U \cdot \cos\phi} = \frac{0.193}{0.95 \cdot 1} \Leftrightarrow i = 0.203 \text{ pu}, \text{ οπότε } \bar{i} = 0.203 \angle 0^\circ$$

$$\cdot \bar{U}_{\text{ακροδ.}} = \bar{U} + \bar{i} \cdot j0.131 = 0.95 + 0.203 \cdot 0.131 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{U}_{\text{ακροδ.}} = 0.9503 \angle 1.603^\circ$$

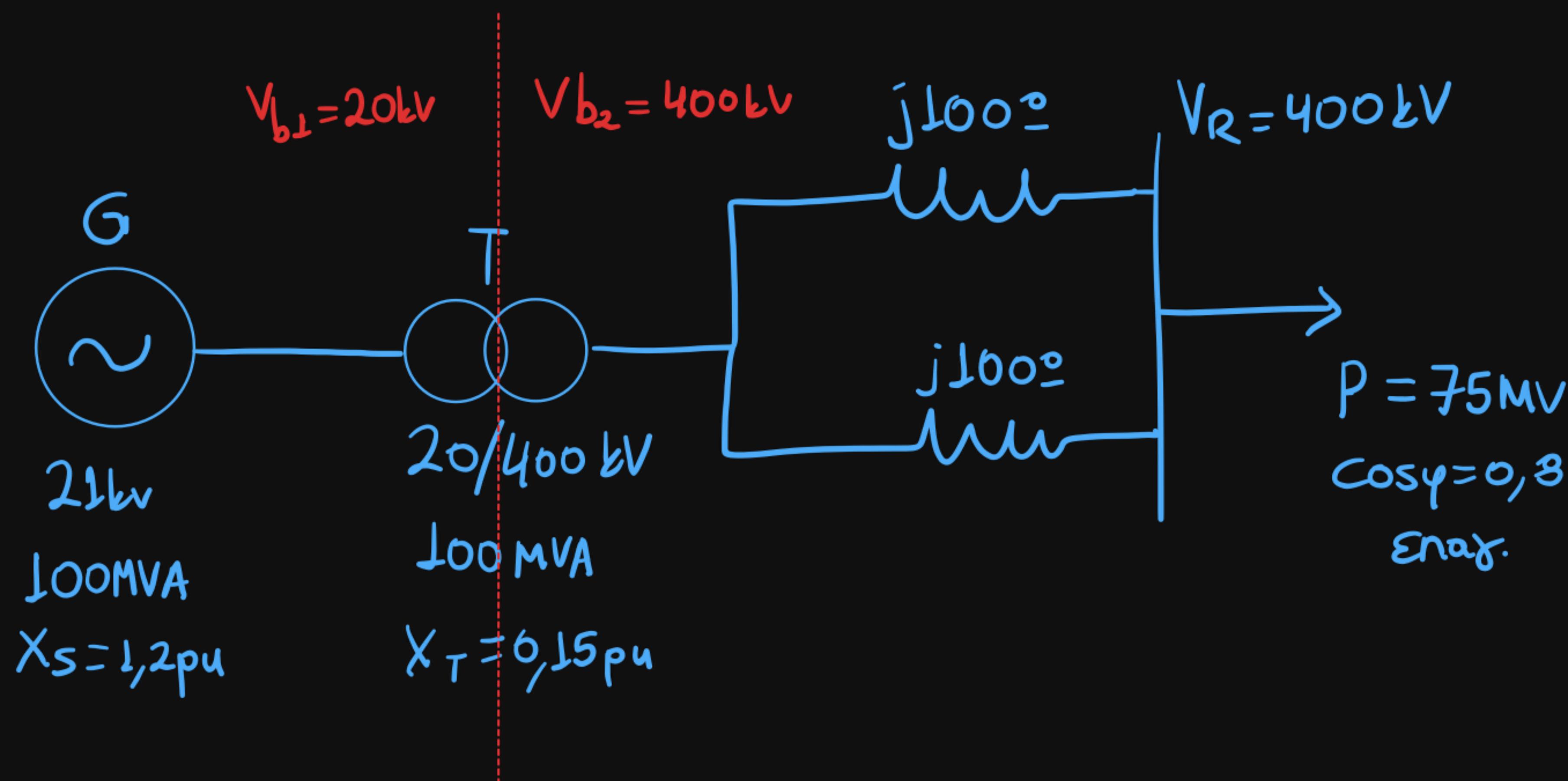
Αρα επειδή στην γραμμή δεν έχουμε ωμικά φορτία, τότε

$$\text{Αρα } Q_{\text{ακροδ.}} = q_{\text{ακροδ.}} \cdot S_b = 5.401 \cdot 10^{-3} \cdot 250 \cdot 10^6 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Q_{\text{ακροδ.}} = 1.35 \text{ MVar}$$

$$\begin{aligned} \text{Ρακροδ.} &= 0.193 \text{ pu} \\ \text{Και} \\ q_{\text{ακροδ.}} &= \text{Ρακροδ.} \cdot \tan(1.603^\circ) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow q_{\text{ακροδ.}} &= 5.401 \cdot 10^{-3} \text{ pu} \end{aligned}$$

# Λύσεις Σεντ. 2023(β)



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,  $V_{b2}$  και I πριν και μετά.

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

(3 μονάδες)

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

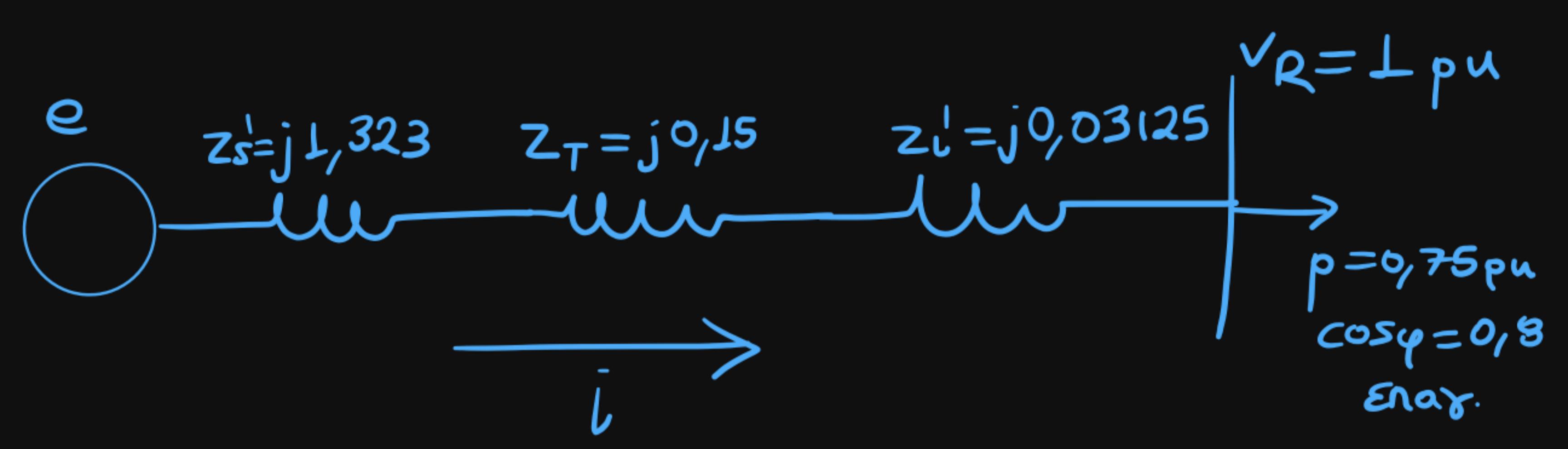
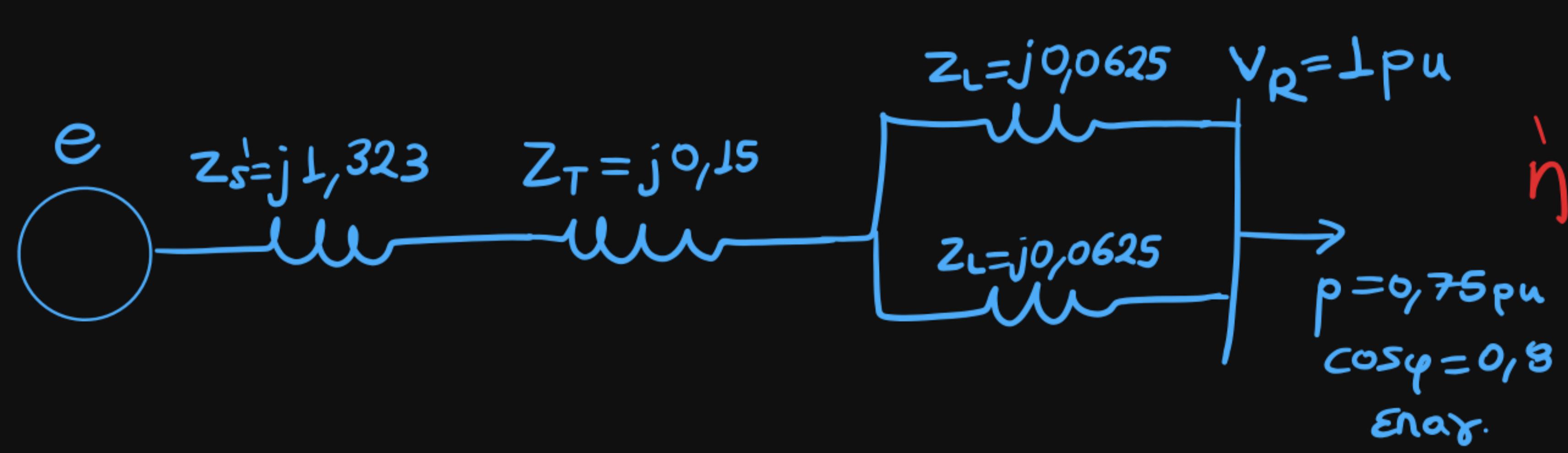
$$\cdot \text{Τοτε για την γεννήτρια } G \text{ εχω αλλαγή βασης: } X_s' = X_s \left( \frac{100}{100} \right) \left( \frac{21}{20} \right)^2 = 1,2 \cdot 1,1025 \Leftrightarrow X_s' = 1,323 \text{ pu}$$

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

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

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

$$Z_L' = \frac{z_L \cdot Z_L}{z_L + Z_L} = \frac{j20,0625^2}{j0,125} \Leftrightarrow Z_L' = j0,03125 \text{ pu}$$



$$b) V_R = 400 \text{ kV} \quad \bar{e} = \bar{U}_R + \bar{i} \cdot (Z_s' + Z_T + Z_L') = \frac{V_R}{V_{b2}} = \frac{400}{400} = 1 \text{ pu}$$

$$\cdot \text{ Ισχύει } \bar{e} = \bar{U}_R + \bar{i} \cdot (Z_s' + Z_T + Z_L') \quad \text{ οπου } \bar{i} = \frac{P}{U_R \cdot \cos\phi} = \frac{0,75}{1 \cdot 0,8} \Leftrightarrow \bar{i} = 0,937 \text{ pu}$$

$$\text{Και } \cos\phi = 0,8 \Rightarrow \phi = \arccos(0,8) = 36,86^\circ, \quad \text{ αρχικά } \bar{i} = 0,937 \text{ pu}$$

$$\text{δηλ. } \bar{i} = 0,937 \angle -36,86^\circ \text{ pu}$$

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

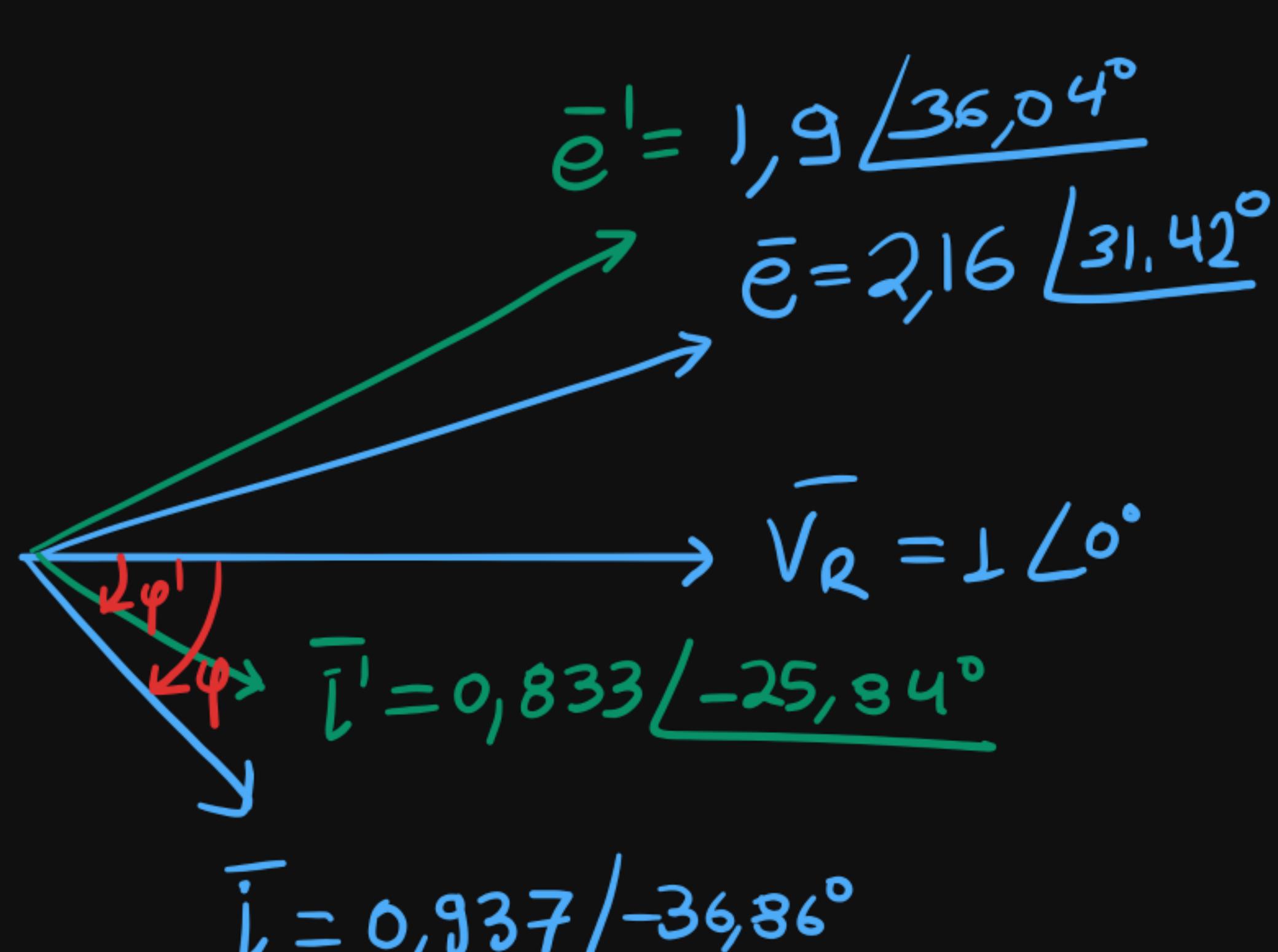
$$\text{Αρα } E = e \cdot V_{b1} = 2,16 \cdot 20 \text{ kV} \Leftrightarrow E = 43,2 \text{ kV} \quad \text{ και φάση } 31,42^\circ \quad (\text{ηοδική})$$

$$d) \cdot \text{Αν } \cos\phi = 0,9, \text{ τότε } \phi = 25,84^\circ$$

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

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

Όπότε



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

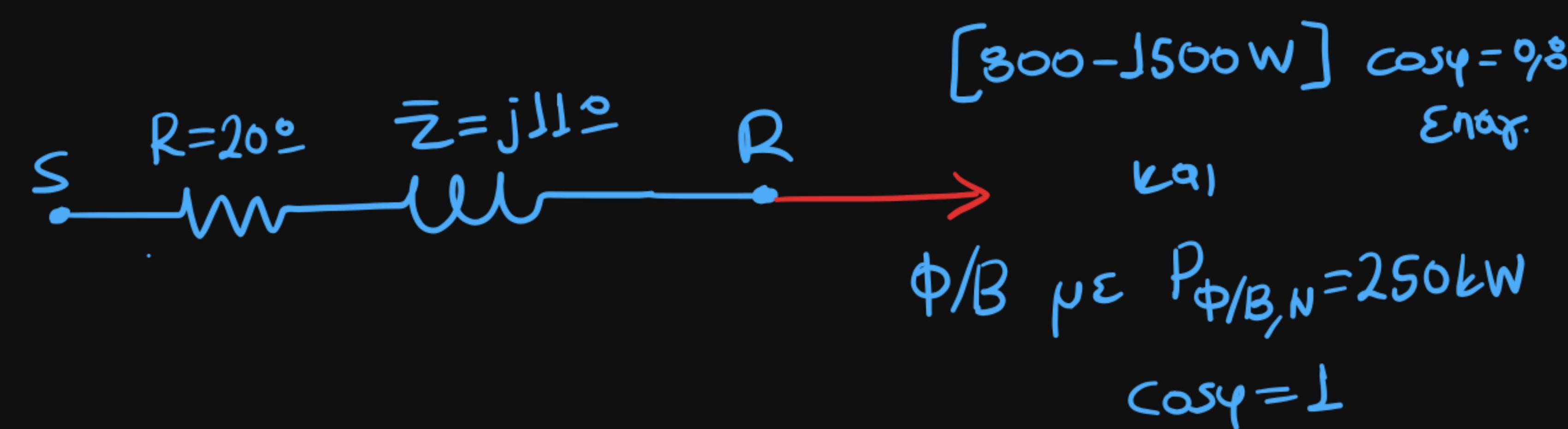
$$\bar{e} \downarrow, \bar{e}' \uparrow$$

$$\bar{i} \downarrow, \bar{i}' \uparrow$$

(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 μηρέσσουμε να βρούμε σημείωσης αρχιστάσης

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

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

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

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

$$\cdot Q_2 = 0$$

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

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

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

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

B) Μεξιση τιώση τάσης έχουμε ότι  $P_R = 1750 \text{ kW}$ , οπότε:

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

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

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

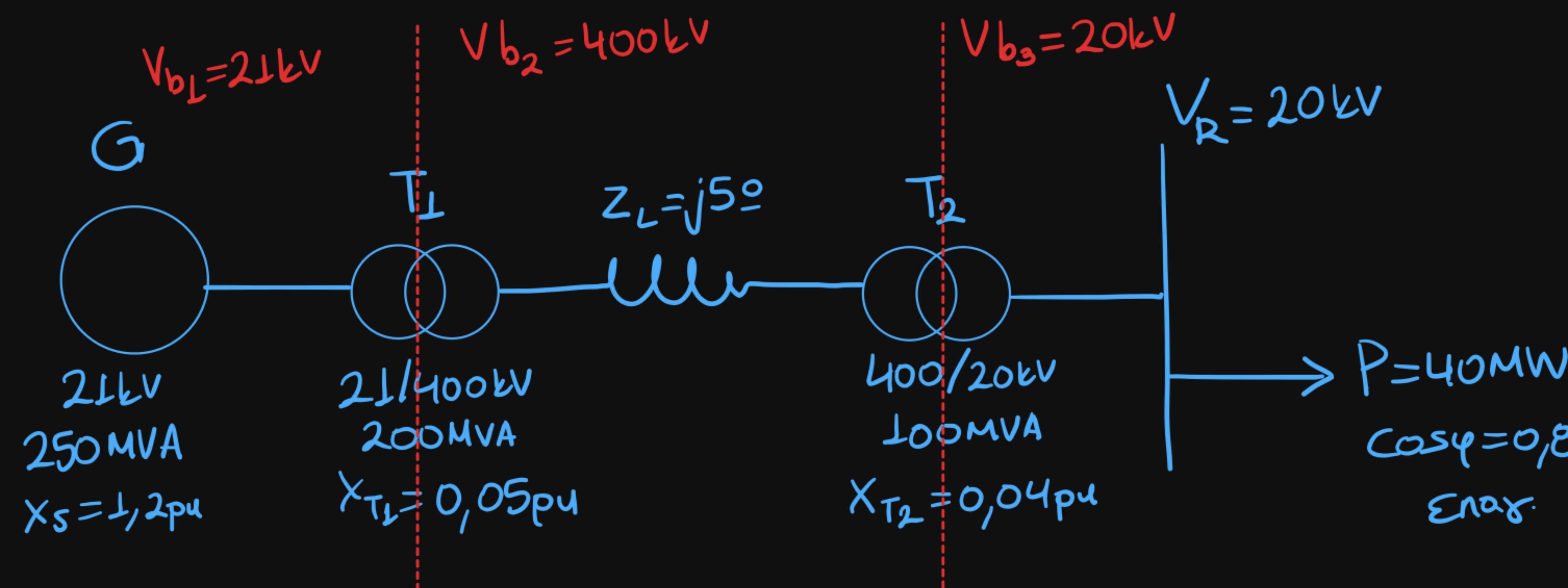
$$\Leftrightarrow Q_R = -1,23 \text{ MVAr} \quad (\text{η αεργή ισχύς που πρέπει να έχουμε στο άκρο R})$$

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

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

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

# 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 (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,  $\cos\phi=0.8$  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 50Hz. Όλες οι ωμικές αντιστάσεις αγνοούνται)

(3 μονάδες)

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

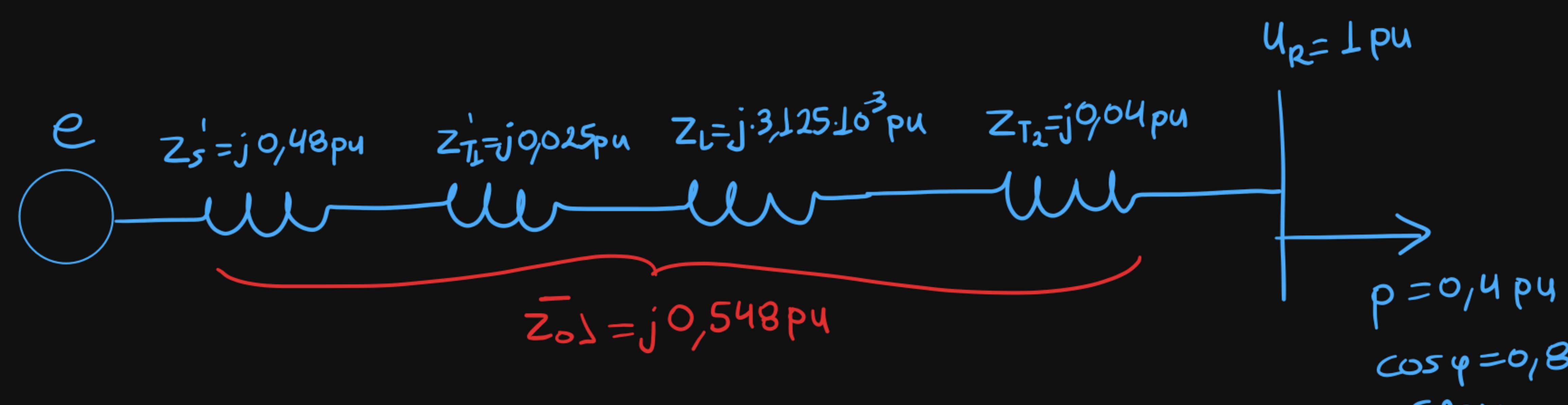
$$\cdot X_s' = X_s \cdot \left( \frac{100}{250} \right) = 1.2 \cdot 0.4 \Leftrightarrow X_s' = 0.48 \text{ pu}$$

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

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

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

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



$$\beta) \cdot \bar{e} = \bar{U}_R + \bar{I} \cdot \bar{Z}_{01} \quad \text{όπου} \quad i = \frac{\phi}{U_R \cdot \cos\phi} = \frac{0.4}{1 \cdot 0.8} \Leftrightarrow i = 0.5 \text{ pu} \quad \left\{ \bar{I} = 0.5 \angle -36.86^\circ \text{ pu} \right.$$

Κατ'  $\varphi = \arccos(0.8) \Leftrightarrow \varphi = 36.86^\circ$

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

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

(πολική)

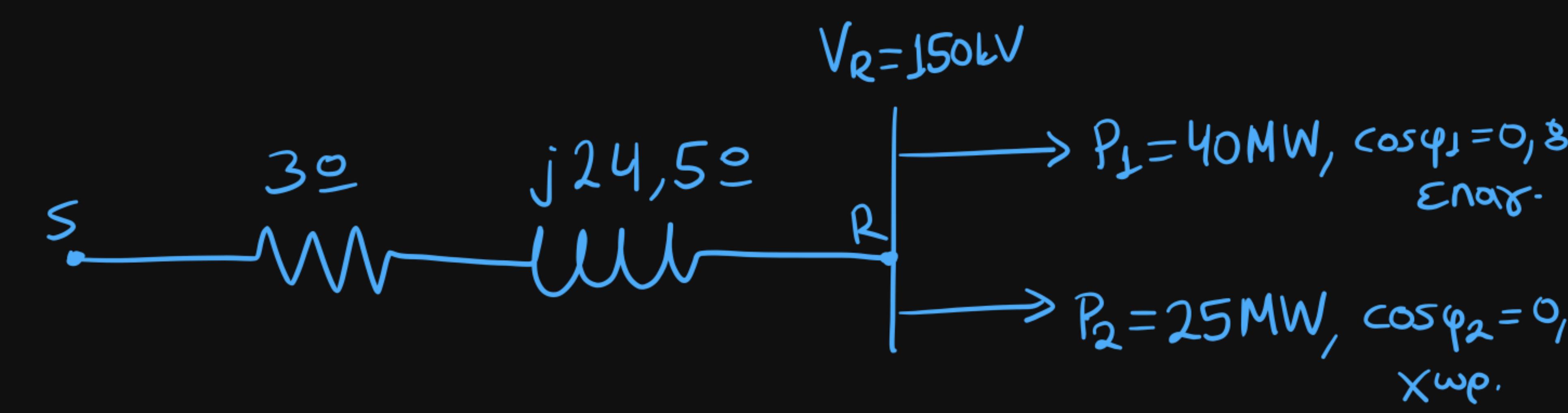
$$\gamma) \cdot e' = 1.18 e \Leftrightarrow e' = 1.3 \text{ pu}$$

$$\cdot P' = P = 0.4 \text{ pu} \quad \text{οπότε} \quad P' = \frac{e' \cdot u \cdot \sin\theta'}{X_{01}} \Leftrightarrow \sin\theta' = \frac{0.4 \cdot 0.548}{1.3 \cdot 1} \Leftrightarrow \sin\theta' = 0.168 \Leftrightarrow \theta' = 9.67^\circ$$

$$\cdot \bar{e}' = \bar{U}_R + \bar{I}' \cdot \bar{Z}_{01} \Leftrightarrow 1.3 \angle 9.67^\circ = 1 \angle 0^\circ + \bar{I}' \cdot 0.548 \angle 90^\circ \Leftrightarrow \bar{I}' = 0.65 \angle -52.2^\circ \text{ pu}$$

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

- $R' = \frac{50 \text{ m}^{\circ}}{\text{km}} \rightarrow R = 50 \cdot 10^3 \cdot 60 \Leftrightarrow R = 3 \Omega$
- $L' = \frac{1,3 \text{ mH}}{\text{km}} \rightarrow L = 1,3 \cdot 10^3 \cdot 60 \Leftrightarrow L = 78 \text{ mH}$
- 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  $P_{\text{load}} = P_1 + P_2 = 40 + 25 \Leftrightarrow P_{\text{load}} = 65 \text{ MW}$

- $\varphi_L = \arccos(0.8) \Leftrightarrow \varphi_L = 36,86^\circ \rightarrow$  Όποιες  $\tan \varphi_L = \frac{3}{4}$
- $\varphi_2 = -\arccos(0.9) \Leftrightarrow \varphi_2 = -25,84^\circ \rightarrow$  και  $\tan \varphi_2 = -\frac{1}{2}$

$Q_L = P_L \tan \varphi_L = 40 \cdot \frac{3}{4} \Leftrightarrow Q_L = 30 \text{ MVar}$        $\left. \begin{array}{l} Q_{\text{load}} = Q_1 + Q_2 \Leftrightarrow Q_{\text{load}} = 17,5 \text{ MVar} \\ Q_2 = P_2 \tan \varphi_2 = -25 \cdot \frac{1}{2} \Leftrightarrow Q_2 = -12,5 \text{ MVar} \end{array} \right\}$

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

$\text{Άρα } \bar{V}_{S_{\text{par}}} = \bar{V}_{R, \text{par}} + \bar{I} \cdot \bar{Z}_{\text{line}} = \frac{150 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} + 259 \angle -15^\circ \cdot (3 + j24,5) \Leftrightarrow V_{S_{\text{par}}} = 89,1 \angle 38,1^\circ \text{ kV}$   
 $\text{ή } V_{S,n} = 89,1 \cdot \sqrt{3} \Leftrightarrow V_{S,n} = 154,3 \text{ kV}$

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  $\frac{V_S' - V_R}{V_R} = 0,014 \Leftrightarrow V_S' = 1,014 V_R$

$\Leftrightarrow V_S' = 152,1 \text{ kV}$

$\psi$

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

$P_R = 65 \text{ MW} = \frac{V_R \cdot V_S'}{Z_{\text{line}}} \cos(\psi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z_{\text{line}}} \cos \psi = \frac{150 \cdot 152,1 \cdot 10^6}{24,6} \cos(83^\circ - \theta) - \frac{150^2 \cdot 10^6}{24,6} \cos(83^\circ) = 65 \cdot 10^6$

$\Leftrightarrow \cos(83^\circ - \theta) = 0,19 \Leftrightarrow 83 - \theta = 79 \Leftrightarrow \theta = 4^\circ$

$Q_R' = \frac{V_R \cdot V_S'}{Z_{\text{line}}} \sin(\psi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z_{\text{line}}} \sin \psi = \frac{150 \cdot 152,1 \cdot 10^6}{24,6} \sin(83^\circ - 4^\circ) - \frac{150^2 \cdot 10^6}{24,6} \sin(83^\circ) \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow Q_R' = 2,58 \text{ MVar}$  (αερητικούς θέλουμε στο ακρο R)

Θα συνδέσουμε πλευρές σε ασύρματα

$Q_A = -14,92 \text{ MVar}$

Άρα  $C_g = \frac{|Q_A|}{V_R^2 \cdot \omega} = \frac{14,92 \cdot 10^6}{150^2 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot 50} \Leftrightarrow C_g = 2,11 \mu F/\text{φάση}$