1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:

- Στροβιλογεννήτρια G (21kV, 100MVA, x_s=1.2pu)
- Μ/Σ Ανύψωσης Τ (20/400 kV, 100MVA, x_T=0,15pu)
- 2 παράλληλες Γραμμές Μεταφοράς με αντίδραση X_L=j100 Ω η καθεμία
- Άπειρο Ζυγό 400kV στον οποίο τροφοδοτείται μεγάλη βιομηχανία με P=75MW, cosφ=0.8 επαγωγικό

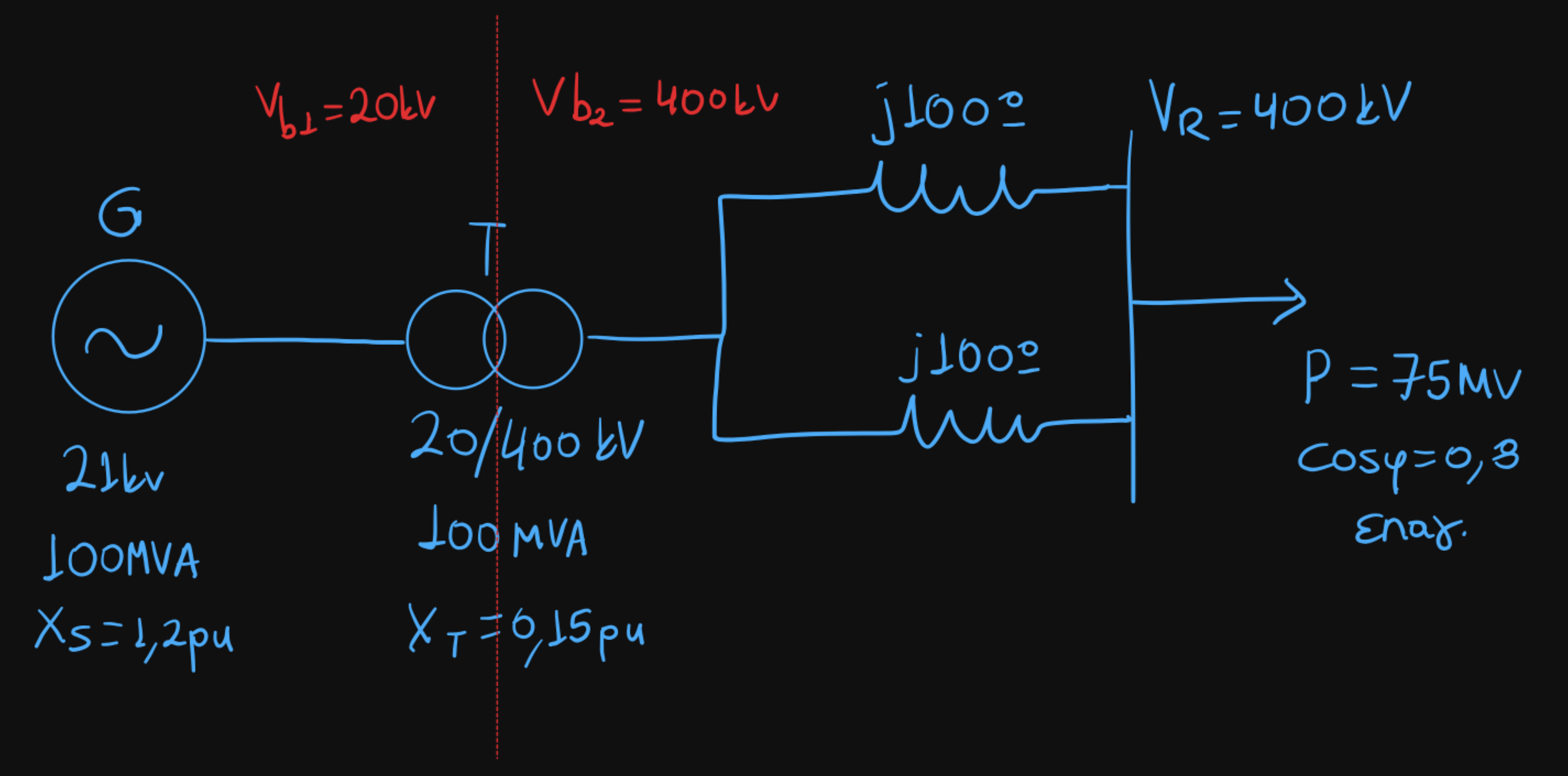
(α) Χρησιμοποιώντας κοινή βάση της επιλογής σας, σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα και υπολογίστε όλες τις αντιδράσεις σε pu.

(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 cosφ της βιομηχανίας γίνεται 0.9 επαγωγικό. Τι θα αλλάξει και πόσο στη λειτουργία της γεννήτριας; Να γίνει σχετικό διανυσματικό διάγραμμα με το E, $V_{ζυγ}$ και I πριν και μετά.

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

(3 μονάδες)



α) · Έστω $S_b = 100MVA$, $V_{b1}=20kV$, $V_{b2}=400kV$

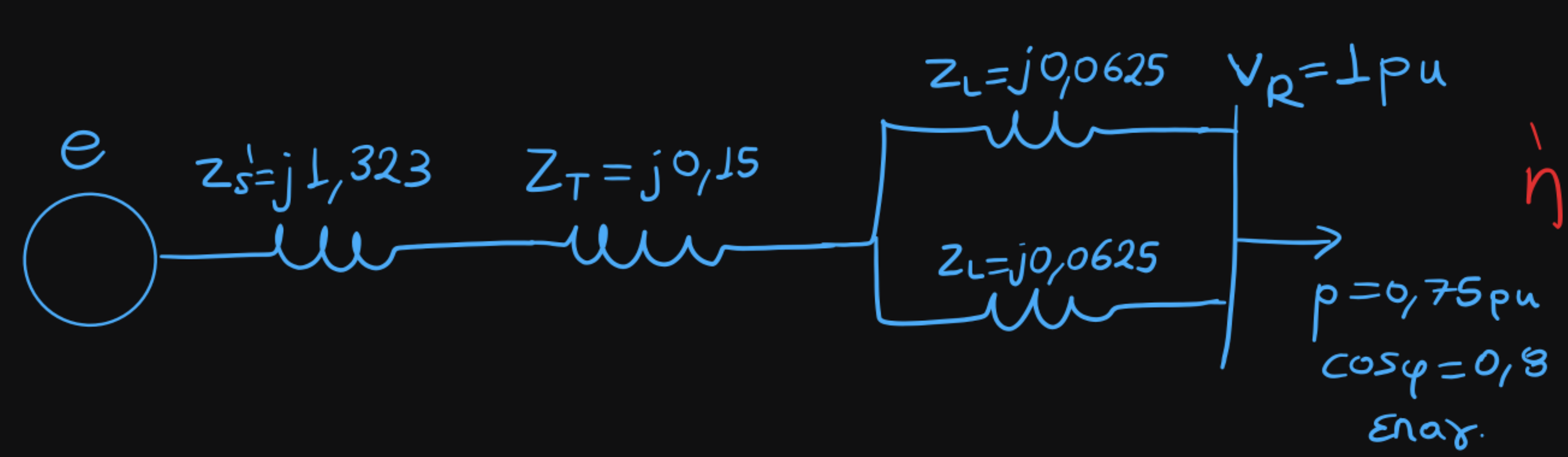
· Τότε για την γεννήτρια G έχω αλλαγή βάσης: $X_s' = X_s\left(\frac{100}{100}\right)\left(\frac{21}{20}\right)^2 = 1,2\cdot 1,1025 \Leftrightarrow \underline{X_s' = 1,323\ pu}$

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

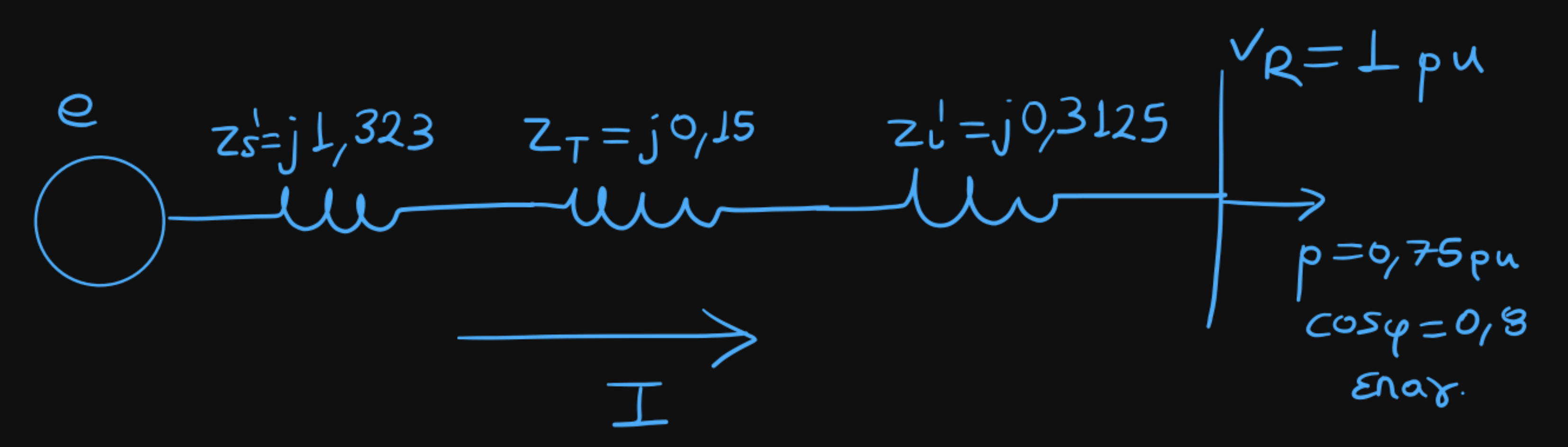
· $z_L = \frac{Z_L}{Z_{b2}} = \frac{j100}{1600} \Leftrightarrow \underline{z_L = j0,0625\ pu}$

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

$z_L' = \frac{z_L\cdot z_L}{z_L + z_L} = \frac{j^2 0,0625^2}{j0,125} \Leftrightarrow z_L' = j0,3125\ pu$



ή



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

· Ισχύει $\bar{e} = \bar{V}_R + \bar{I}\cdot(z_s' + z_T + z_L')$ όπου $I = \frac{p}{\sqrt{3}\, v_R \cos\varphi} = \frac{0,75}{\sqrt{3}\cdot 1\cdot 0,8} \Leftrightarrow I = 0,541\ pu$

και $\cos\varphi = 0,8 \Rightarrow \varphi = \arccos(0,8) = 36,86°$, αφού επαγωγικό δηλ. $\bar{I} = 0,541\angle -36,86°\ pu$

οπότε $\bar{e} = 1\angle 0° + 0,541\angle -36,86° \cdot 1,7855\angle 90° \Leftrightarrow \underline{\bar{e} = 1,758\angle 26,07°\ pu}$

Άρα $E = e\cdot V_{b1} = 1,758\cdot 20kV \Leftrightarrow \boxed{E = 35,16kV}$ (πολική) και φάση $\boxed{26,07°}$

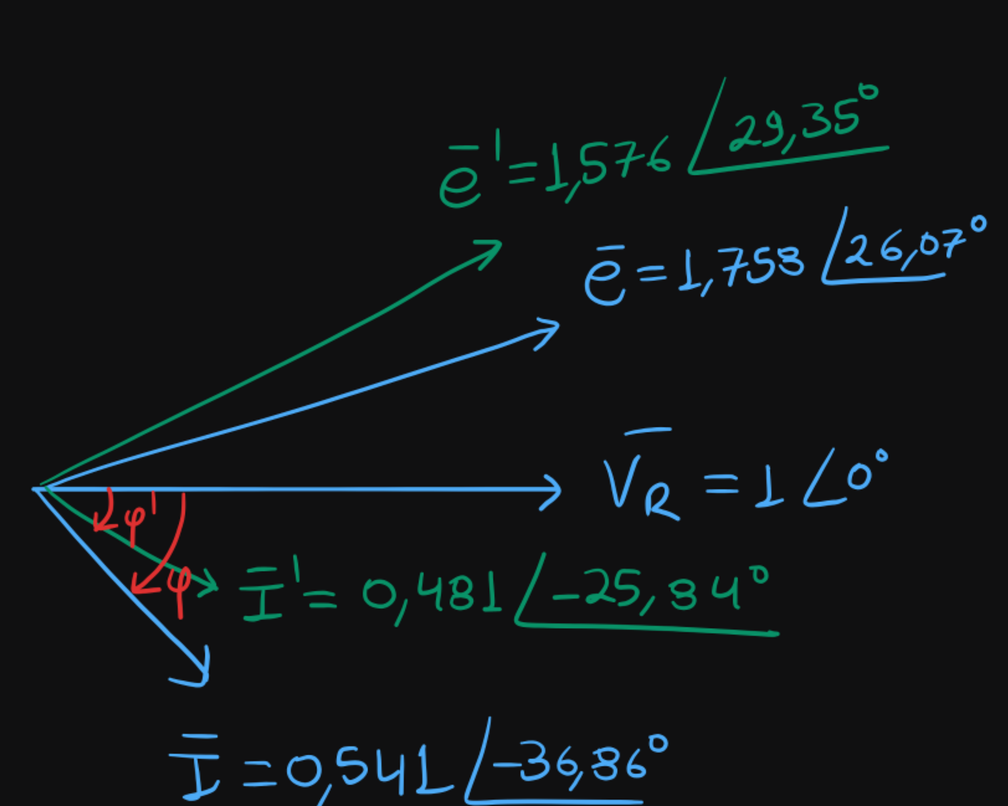
· Αν $\cos\varphi' = 0,9$, τότε $\varphi' = 25,84°$

· $I' = \frac{p}{\sqrt{3}\, v_R\cdot \cos\varphi} = \frac{0,75}{\sqrt{3}\cdot 1\cdot 0,9} \Leftrightarrow I = 0,481\ pu$

Άρα $\underline{\bar{I}' = 0,481\angle -25,84°\ pu}$

· $\bar{e}' = \bar{V}_R + \bar{I}'\cdot(z_s' + z_T + z_L') = 1\angle 0 + 0,481\angle -25,84° \cdot 1,7855\angle 90° \Leftrightarrow \underline{\bar{e}' = 1,576\angle 29,35°\ pu}$

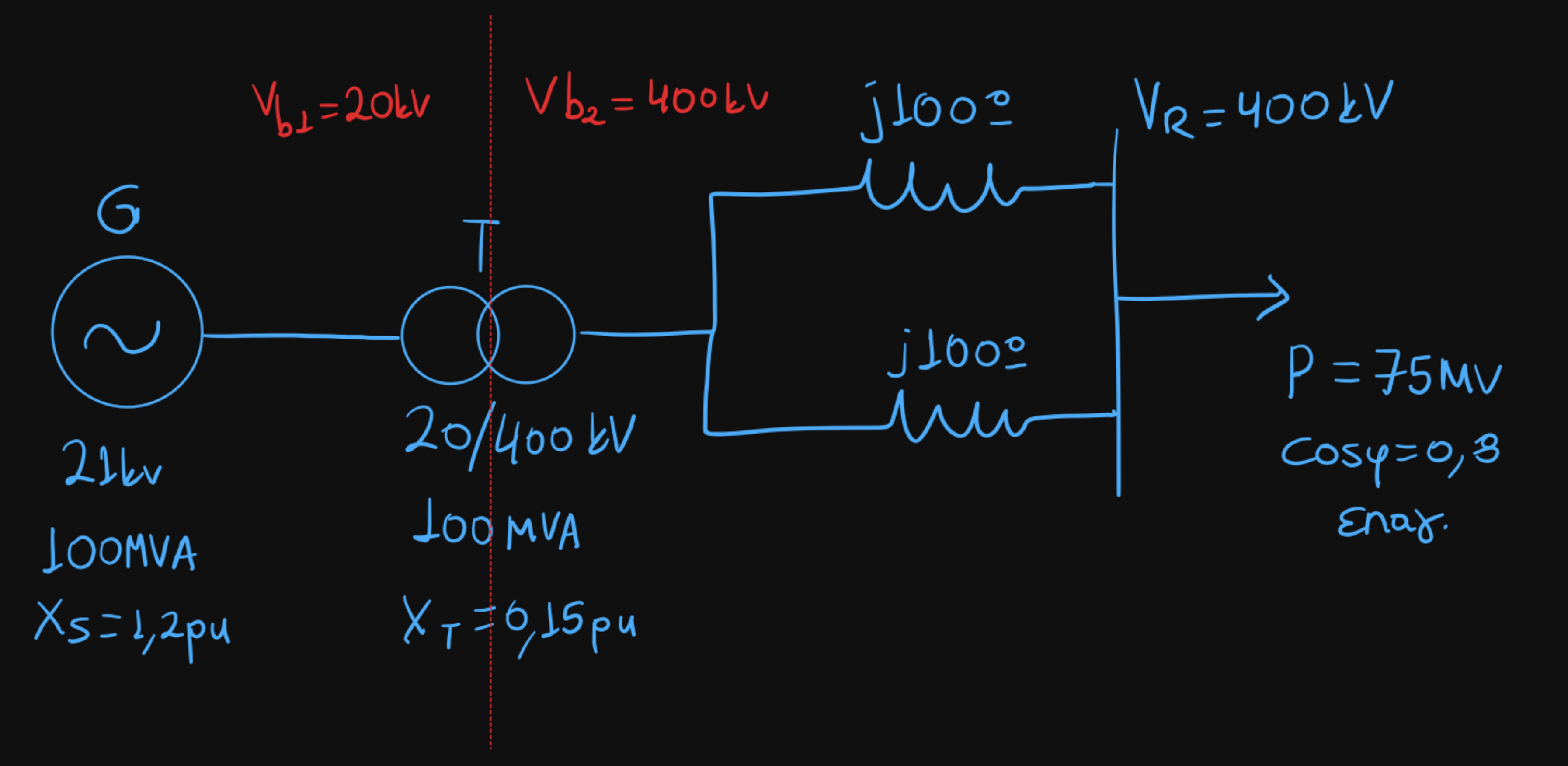
Οπότε



Με το cosφ=0,9 άλλαξαν τα $\bar{I}$ και $\bar{e}$

(μέτρα) e↓ , $\angle\bar{e}$ ↑

I↓ , $\angle\bar{I}$ ↑



1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:

- Στροβιλογεννήτρια G (21kV, 100MVA, x_s=1.2pu)
- Μ/Σ Ανύψωσης T (20/400 kV, 100MVA, x_T=0,15pu)
- 2 παράλληλες Γραμμές Μεταφοράς με αντίδραση X_L=j100 Ω η καθεμία
- Άπειρο Ζυγό 400kV στον οποίο τροφοδοτείται μεγάλη βιομηχανία με P=75MW, cosφ=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 cosφ της βιομηχανίας γίνεται 0.9 επαγωγικό. Τι θα αλλάξει και πόσο στη λειτουργία της γεννήτριας; Να γίνει σχετικό διανυσματικό διάγραμμα με το E, $V_{ζυγ}$ και I πριν και μετά.

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

(3 μονάδες)

α) • Έστω $S_b=100MVA$, $V_{b1}=20kV$, $V_{b2}=400kV$

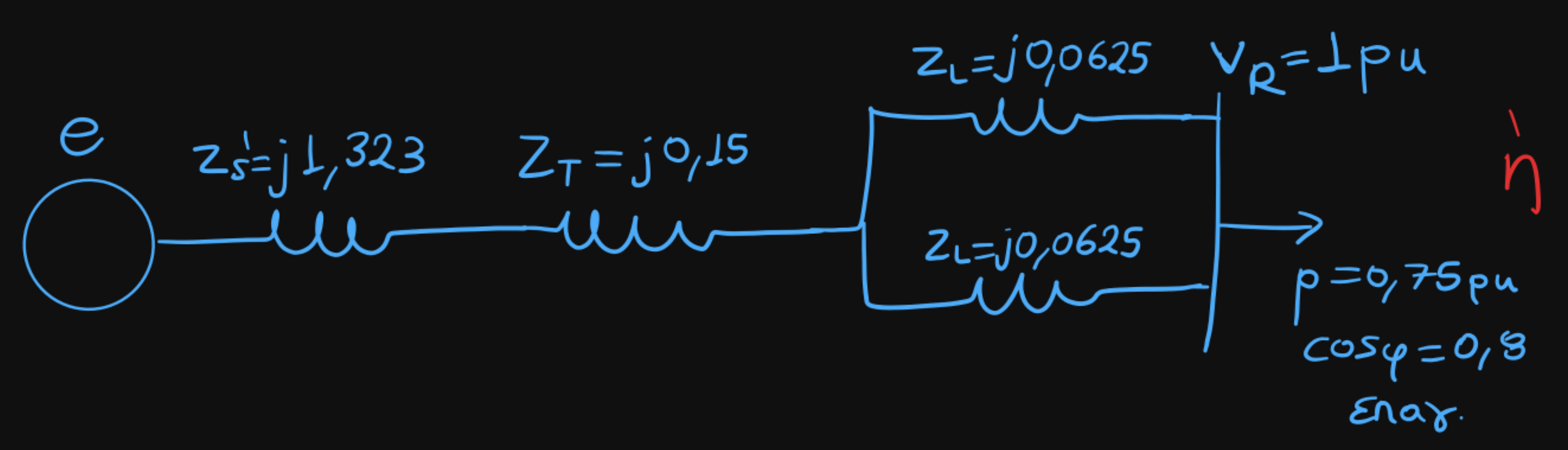
• Τότε για την γεννήτρια G έχω αλλαγή βάσης: $X_s'=X_s\left(\frac{100}{100}\right)\left(\frac{21}{20}\right)^2=1,2\cdot 1,1025 \Leftrightarrow \underline{X_s'=1,323\ pu}$

• $Z_{b2}=\frac{V_{b2}^2}{S_b}=\frac{(400\cdot10^3)^2}{100\cdot10^6}=\frac{400^2}{100}\Leftrightarrow \underline{Z_{b2}=1600\ \Omega}$

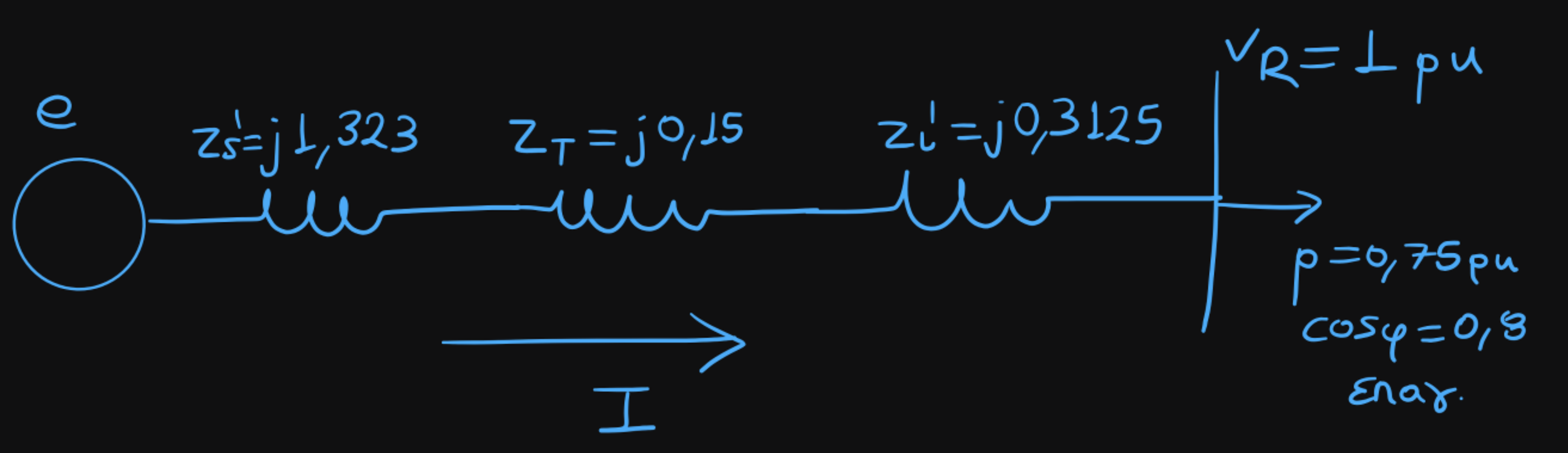
• $z_L=\frac{Z_L}{Z_{b2}}=\frac{j100}{1600}\Leftrightarrow \underline{z_L=j0,0625\ pu}$

$z_L'=\frac{z_L\cdot z_L}{z_L+z_L}=\frac{j^2 0,0625^2}{j0,125}\Leftrightarrow z_L'=j0,3125\ pu$

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



ή



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

• Ισχύει $\bar{e}=\bar{V}_R+\bar{I}\cdot(z_s'+z_T+z_L')$ όπου $I=\frac{p}{\sqrt{3}v_R\cdot\cos\varphi}=\frac{0,75}{\sqrt{3}\cdot1\cdot0,8}\Leftrightarrow I=0,541\ pu$

και $\cos\varphi=0,8\Rightarrow\varphi=\arccos(0,8)=36,86^\circ$, δηλ. $\bar{I}=0,541\angle{-36,86^\circ}\ pu$ (αφού επαγωγικό)

οπότε $\bar{e}=1\angle0^\circ+0,541\angle{-36,86^\circ}\cdot1,7855\angle90^\circ\Leftrightarrow \underline{\bar{e}=1,758\angle26,07^\circ\ pu}$

Άρα $E=e\cdot V_{b1}=1,758\cdot20kV\Leftrightarrow \boxed{E=35,16kV}$ (πολική) και φάση $\boxed{26,07^\circ}$

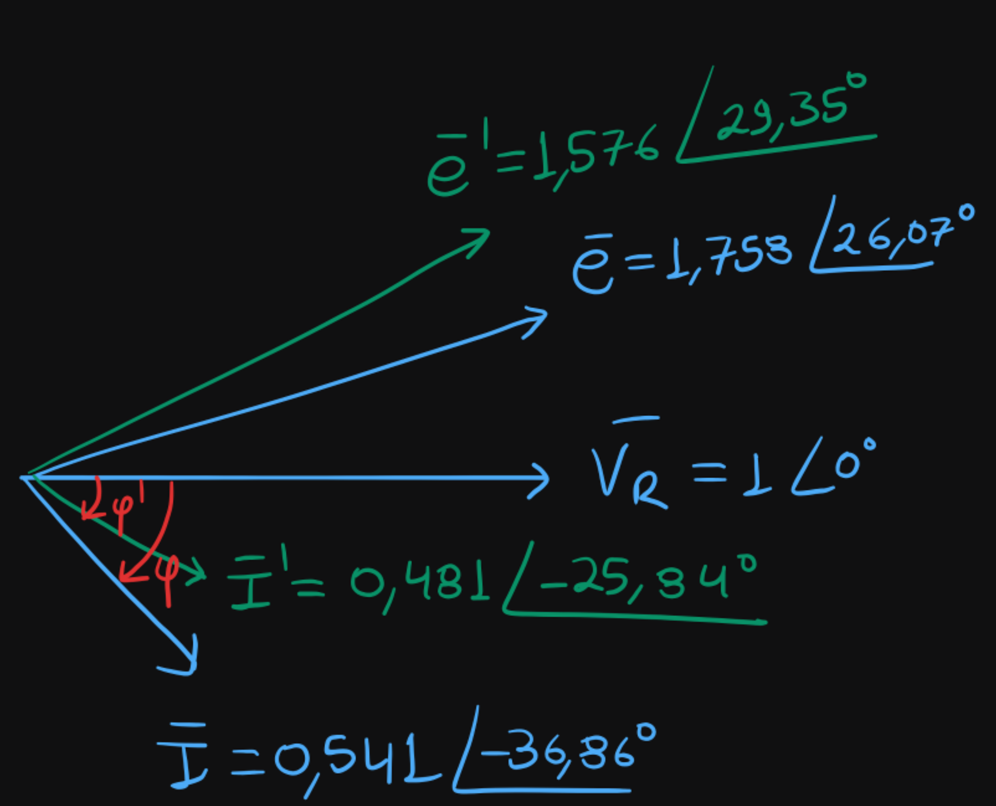
• Αν $\cos\varphi'=0,9$, τότε $\varphi'=25,84^\circ$

• $I'=\frac{p}{\sqrt{3}v_R\cdot\cos\varphi}=\frac{0,75}{\sqrt{3}\cdot1\cdot0,9}\Leftrightarrow I=0,481\ pu$

Άρα $\underline{\bar{I}'=0,481\angle{-25,84^\circ}\ pu}$

• $\bar{e}'=\bar{V}_R+\bar{I}'(z_s'+z_T+z_L')=1\angle0+0,481\angle{-25,84^\circ}\cdot1,7855\angle90^\circ\Leftrightarrow \underline{\bar{e}'=1,576\angle29,35^\circ\ pu}$

Οπότε



Με το $\cos\varphi=0,9$ άλλαξαν τα $\bar{I}$ και $\bar{e}$

(μέτρα)

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

$I\downarrow$, $\angle\bar{I}\uparrow$

1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:

- Στροβιλογεννήτρια G (21kV, 250MVA, x_s=1.2pu)
- Μ/Σ Ανύψωσης T1 (21/400 kV, 200MVA, x_{T1}=0,05pu)
- Γραμμή Μεταφοράς 50km με αντίδραση X_L=0,1 Ω/km
- Μ/Σ υποβιβασμού T2 (400/20 kV, 100MVA, x_{T2}=0,04pu)
- Άπειρο Ζυγό 20kV στον οποίο τροφοδοτείται φορτίο 40MW, cosφ=0.8 επαγωγικό

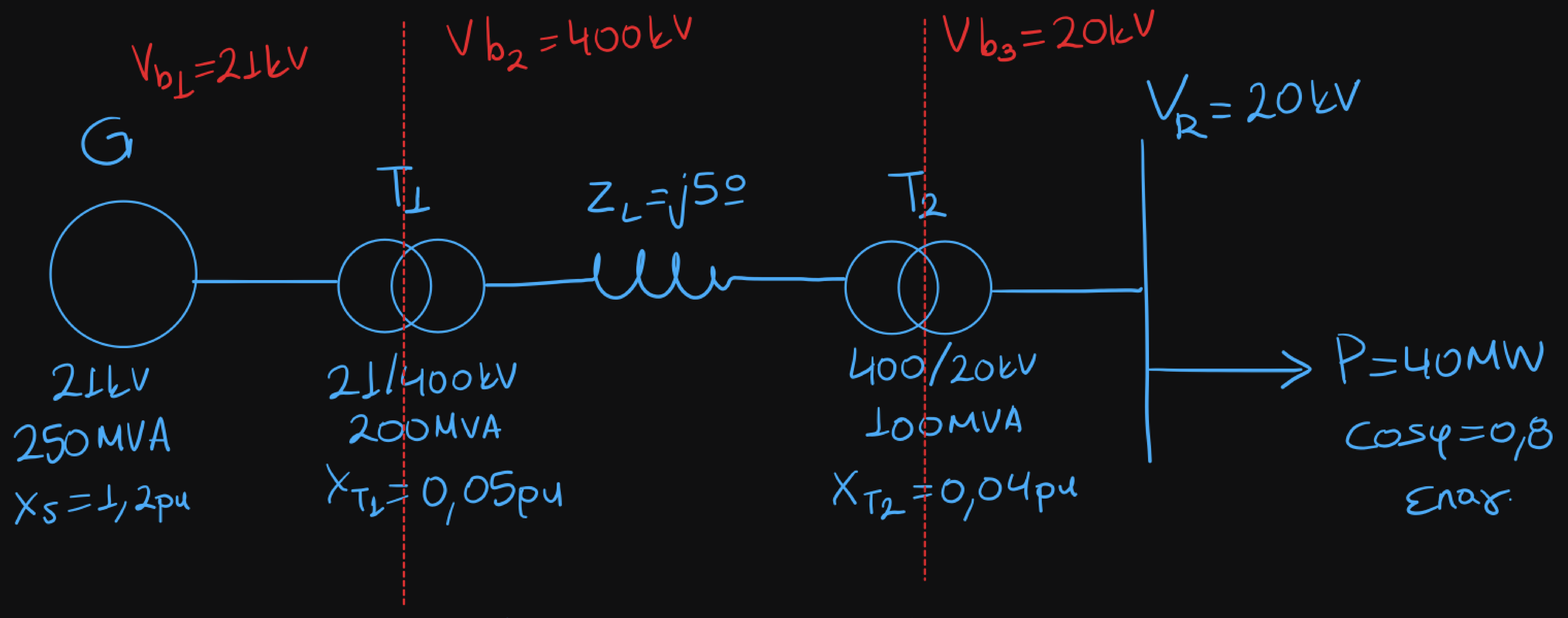
(α) Χρησιμοποιώντας κοινή βάση της επιλογής σας, σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα και υπολογίστε όλες τις αντιδράσεις σε pu.

(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)



$\bullet\ X_L=0,1\,\Omega/km \rightarrow X_L'=0,1\cdot 50 \Leftrightarrow X_L'=5\Omega$

α) Θεωρούμε $S_b=100MVA$, οπότε έχουμε αλλαγές βάσεων:

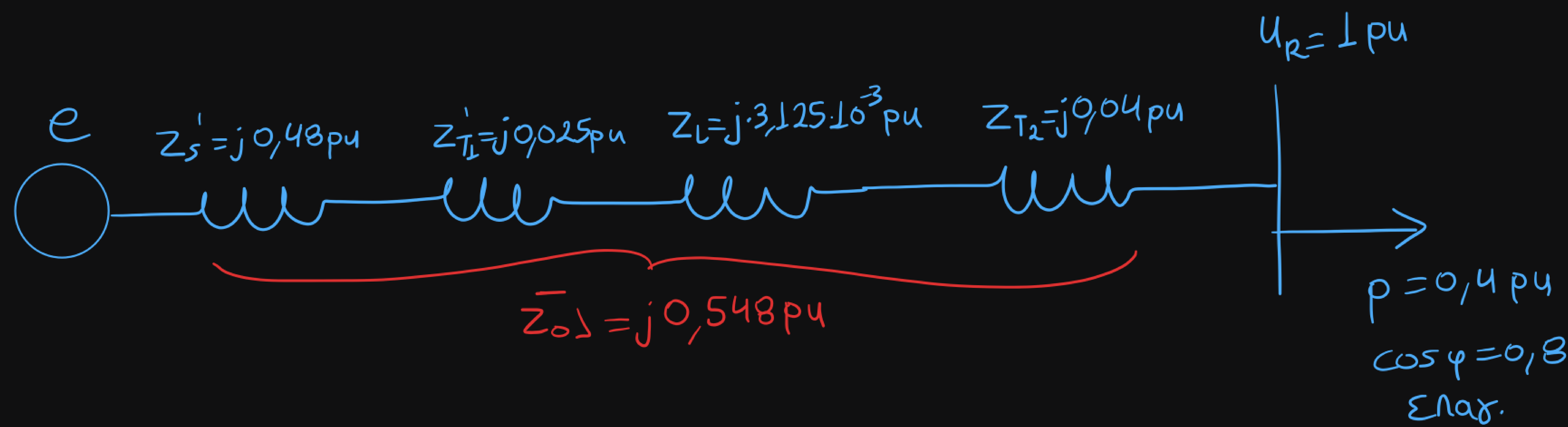
$\bullet\ X_s'=X_s\cdot\left(\frac{100}{250}\right)=1,2\cdot 0,4 \Leftrightarrow \underline{X_s'=0,48pu}$

$\bullet\ X_{T_1}'=X_{T_1}\left(\frac{100}{200}\right)=0,05\cdot 0,5 \Leftrightarrow \underline{X_{T_1}'=0,025pu}$

$\bullet\ Z_{b_2}=\frac{V_{b_2}^2}{S_{b_2}}=\frac{400^2}{100} \Leftrightarrow Z_{b_2}=1600\Omega$

$\bullet\ z_L=\frac{Z_L}{Z_{b_2}}=\frac{j5}{1600} \Leftrightarrow \underline{z_L=j3,125\cdot 10^{-3}pu}$

$\bullet\ p=\frac{P}{S}=\frac{40}{100} \Leftrightarrow \underline{p=0,4pu}$



β) $\bullet\ \bar{e}=\bar{u}_R+\bar{i}\cdot\bar{z}_{ολ}$ όπου $i=\frac{p}{\sqrt{3}\cdot u_R\cdot\cos\varphi}=\frac{0,4}{\sqrt{3}\cdot 1\cdot 0,8} \Leftrightarrow i=0,288$ $\Big\}\ \bar{i}=0,288\angle{-36,86^\circ}\ pu$

και $\varphi=\arccos(0,8) \Leftrightarrow \varphi=36,86^\circ$

οπότε $\bar{e}=1\angle{0^\circ}+0,288\angle{-36,86^\circ}\cdot 0,548\angle{90^\circ} \Leftrightarrow \underline{\bar{e}=1,1\angle{6,58^\circ}\ pu}$

$\bullet$ Άρα $\bar{E}=\bar{e}\cdot V_{b_1}=1,1\cdot 21\angle{6,58^\circ} \Leftrightarrow \boxed{\bar{E}=23,1\angle{6,58^\circ}\ kV}$, πολική τάση $E_\pi=23,1\cdot\sqrt{3} \Leftrightarrow \boxed{E_\pi=40\ kV}$

(φασική)

γ) $\bullet\ \bar{e}'=1,1\bar{e} \Leftrightarrow \underline{\bar{e}'=1,21\angle{6,58^\circ}\ pu}$

Οπότε $\bar{e}'=\bar{u}_R+\bar{i}'\cdot\bar{z}_{ολ} \Leftrightarrow 1,21\angle{6,58^\circ}=1\angle{0^\circ}+\bar{i}'\cdot 0,548\angle{90^\circ} \Leftrightarrow \underline{\bar{i}'=0,447\angle{-55,53^\circ}\ pu}$

$\bullet$ Άρα $\bar{I}=\bar{i}\cdot I_b=\bar{i}\cdot\frac{S_b}{\sqrt{3}V_{b_1}}=0,447\angle{-55,53^\circ}\cdot\frac{100\cdot10^6}{\sqrt{3}\cdot 21\cdot 10^3} \Leftrightarrow \boxed{\bar{I}=1,22\angle{-55,53^\circ}\ kA}$

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

1η μονάδα: $P_1 = 40$ MW, $\cos\varphi_1 = 0{,}8$ επαγωγικό.

2η μονάδα: $P_2 = 25$ MW $\cos\varphi_2 = 0{,}9$ χωρητικό.

Η τριφασική γραμμή μεταφοράς που τροφοδοτεί τον παραπάνω ζυγό μήκος 60 km, R'= 50 mΩ/km, L' = 1.3 mH/km. Η συχνότητα του δικτύου είναι 50 Hz.

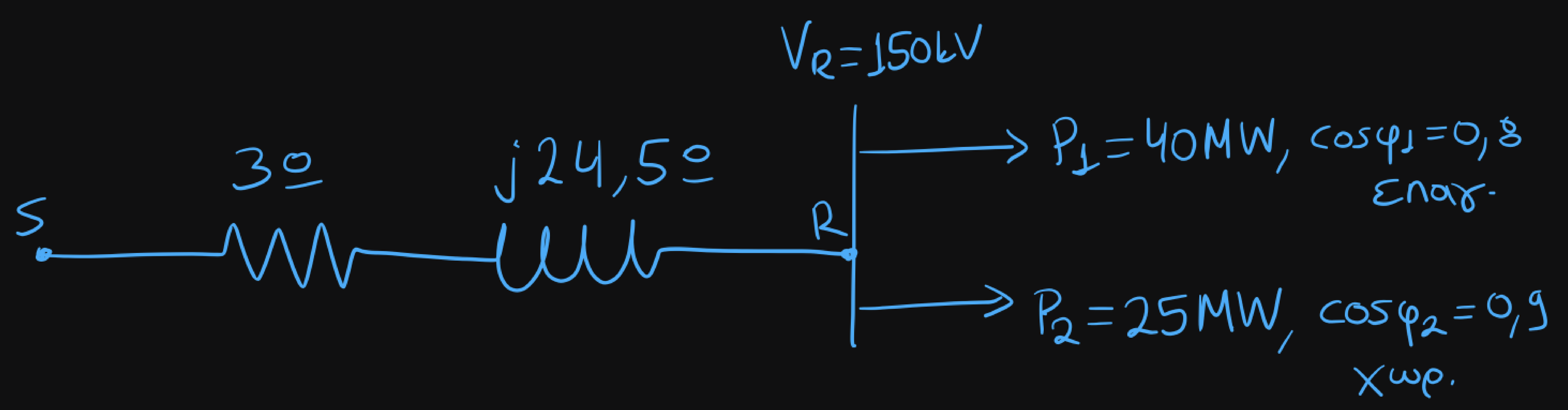
α) Υπολογίστε την πτώση τάσης στην γραμμή καθώς και τις ωμικές απώλειες.

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

(3 μονάδες).

- $R' = 50\,\text{m}\Omega/\text{km} \rightarrow R = 50\cdot 10^{-3}\cdot 60 \Leftrightarrow \underline{R = 3\Omega}$
- $L' = 1{,}3\,\text{mH}/\text{km} \rightarrow L = 1{,}3\cdot 10^{-3}\cdot 60 \Leftrightarrow L = 78\,\text{mH}$

Οπότε $X = \omega L = 2\pi f\cdot L = 2\pi\cdot 50\cdot 78\cdot 10^{-3} \Leftrightarrow \underline{X = 24{,}5\Omega}$



α) • Έχουμε $P_{o\lambda} = P_1 + P_2 = 40 + 25 \Leftrightarrow \underline{P_{o\lambda} = 65MW}$

- $\varphi_1 = \arccos(0{,}8) \Leftrightarrow \varphi_1 = 36{,}86^\circ \longrightarrow$ οπότε $\tan\varphi_1 = \frac{3}{4}$
- $\varphi_2 = -\arccos(0{,}9) \Leftrightarrow \varphi_2 = -25{,}84^\circ \longrightarrow$ και $\tan\varphi_2 = -\frac{1}{2}$

- $Q_1 = P_1\tan\varphi_1 = 40\cdot\frac{3}{4} \Leftrightarrow \underline{Q_1 = 30MVAr}$
- $Q_2 = P_2\tan\varphi_2 = -25\cdot\frac{1}{2} \Leftrightarrow \underline{Q_2 = \overset{\text{χωρητικό}}{-}12{,}5MVAr}$

$\Big\}\ Q_{o\lambda} = Q_1 + Q_2 \Leftrightarrow \underline{Q_{o\lambda} = 17{,}5\,MVAr}$

- Οπότε $\bar{I} = \left(\frac{\bar{S}}{\sqrt{3}\,\bar{V}_R}\right)^* \Leftrightarrow \bar{I} = \frac{(65 - j17{,}5)\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 150\angle 0^\circ\cdot 10^3} \Leftrightarrow \underline{\bar{I} = 259\angle -15^\circ\ A}$
- Άρα $\bar{V}_{S,\varphi\alpha\sigma} = \bar{V}_{R,\varphi\alpha\sigma} + \bar{I}\cdot\bar{Z}_{line} = \frac{150\cdot 10^3}{\sqrt{3}} + 259\angle -15^\circ\cdot(3 + j24{,}5) \Leftrightarrow V_{S,\varphi\alpha\sigma.} = 89{,}1\angle 3{,}81^\circ\ kV$

ή $V_{S,\pi} = 89{,}1\cdot\sqrt{3} \Leftrightarrow \underline{V_{S,\pi} = 154{,}3kV}$

- Πτώση τάσης: $\frac{V_S - V_R}{V_R}\cdot 100\% = \frac{154{,}3 - 150}{150}\cdot 100\% = 0{,}028\cdot 100\% \boxed{= 2{,}8\%}$
- Ωμικές απώλειες : $P_{Loss} = 3I^2\cdot R = 3\cdot 259^2\cdot 3 \Leftrightarrow \boxed{P_{Loss} = 603{,}7\,kW}$

β) • Θέλουμε την μισή πτώση τάσης, δηλ. 1,4% , οπότε $\frac{V_S' - V_R}{V_R} = 0{,}014 \Leftrightarrow V_S' = 1{,}014V_R$

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

- $\bar{Z}_{line} = 3 + j24{,}5 = 24{,}6\angle \overset{\varphi}{83^\circ}$
- $P_R = 65MW = \frac{V_R\,V_S'}{Z_{line}}\cos(\varphi - \theta) - \frac{V_R^2}{Z_{line}}\cos\varphi = \frac{150\cdot 152{,}1\cdot\cancel{10^6}}{24{,}6}\cos(83^\circ - \theta) - \frac{150^2\cdot\cancel{10^6}}{24{,}6}\cos(83^\circ) = 65\cdot\cancel{10^6}$

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

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

$\Leftrightarrow \underline{Q_R' = 2{,}58\,MVAr}$ (άεργη ισχύς που θέλουμε στο άκρο R)

- $Q_R' = Q_R + Q_A \Leftrightarrow 2{,}58 = 17{,}5 + Q_A \Leftrightarrow \underline{Q_A = -14{,}92\ MVAr}$

Θα συνδέσουμε πυκνωτές σε αστέρα

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