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

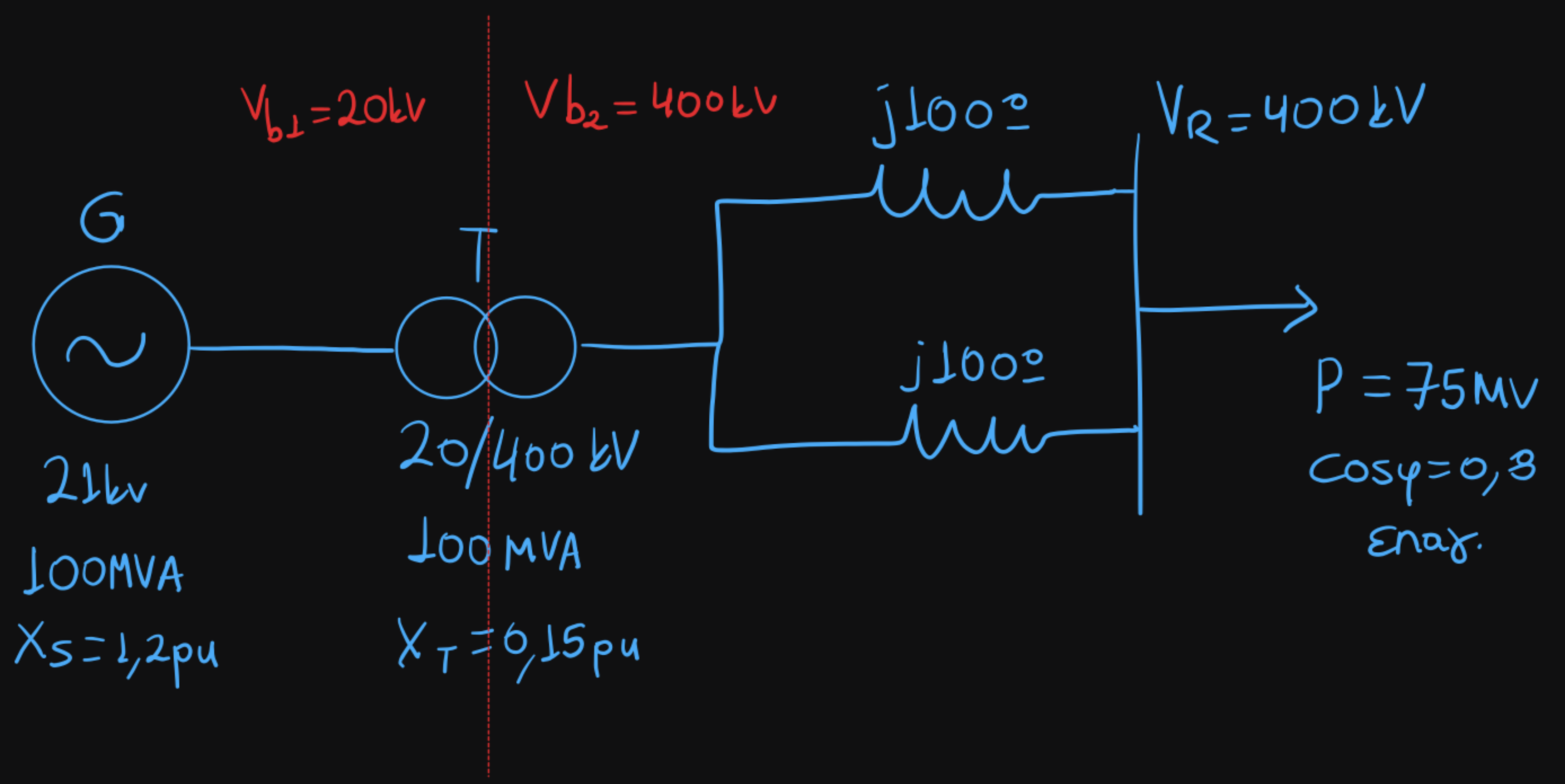
(α) Χρησιμοποιώντας κοινή βάση της επιλογής σας, σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα και υπολογίστε όλες τις αντιδράσεις σε pu.

(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 $S_b = 100MVA$, $V_{b_1} = 20kV$, $V_{b_2} = 400kV$

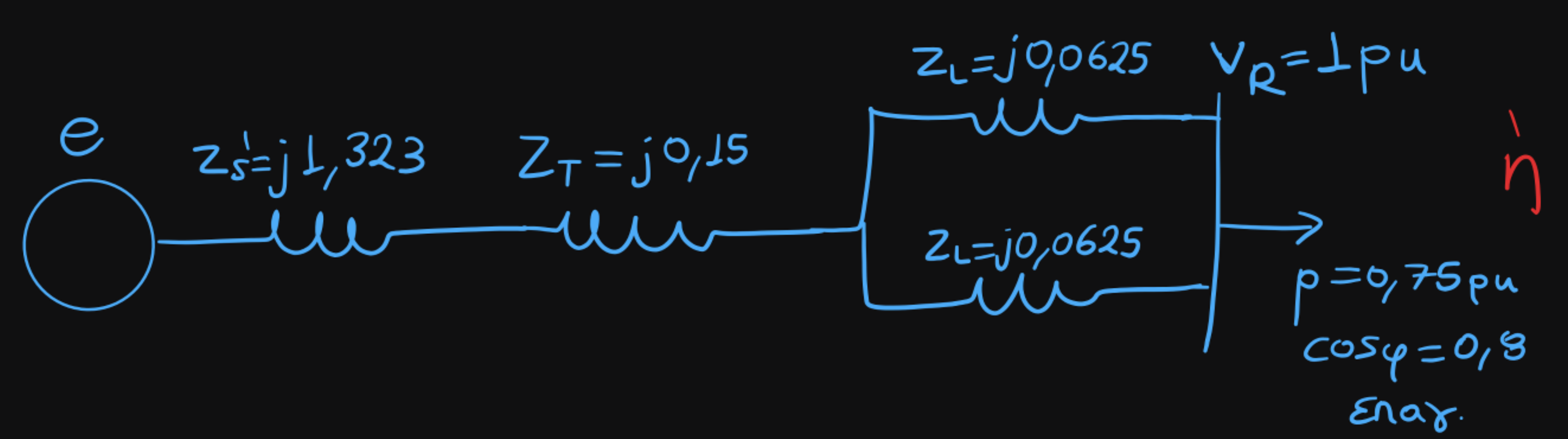
• Τότε για την γεννήτρια G έχω αλλαγή βάσης: $X_s' = X_s\left(\frac{100}{100}\right)\left(\frac{21}{20}\right)^2 = 1,2 \cdot 1,1025 \Leftrightarrow X_s' = 1,323\ pu$

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

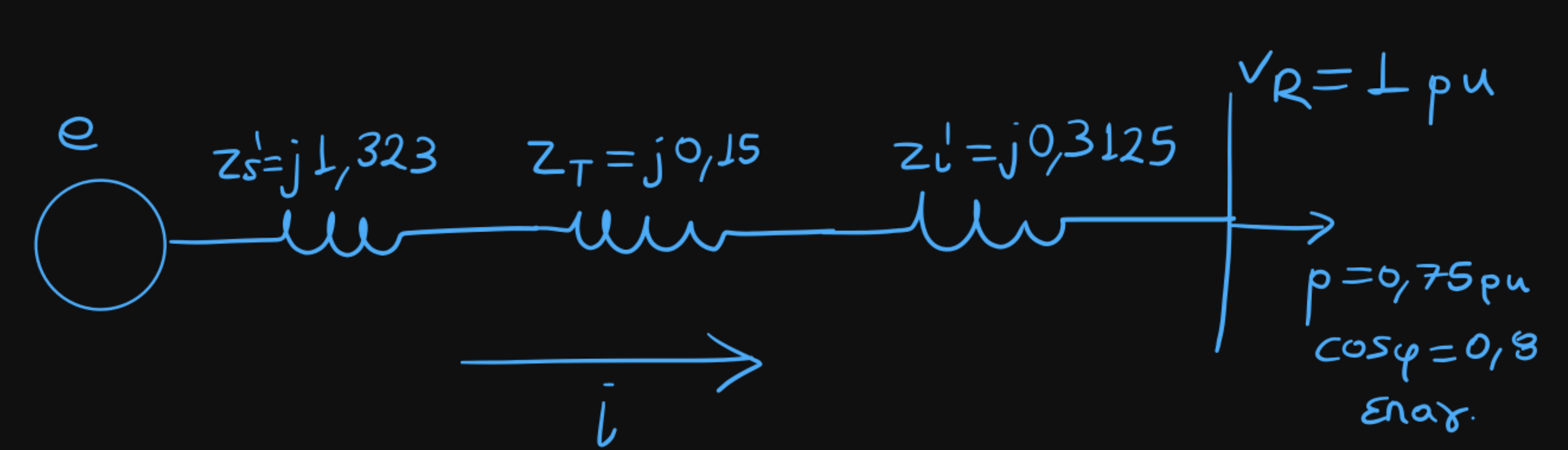
• $z_L = \frac{Z_L}{Z_{b_2}} = \frac{j100}{1600} \Leftrightarrow z_L = j\,0,0625\ pu$

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

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



ή



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

• Ισχύει $\bar{e} = \bar{u}_R + \bar{i}\cdot(z_s' + z_T + z_L')$ όπου $i = \frac{p}{u_R \cdot \cos\varphi} = \frac{0,75}{1\cdot 0,8} \Leftrightarrow i = 0,937\ pu$

και $\cos\varphi = 0,8 \Rightarrow \varphi = \arccos(0,8) = 36,86°$, αφού επαγωγικό

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

οπότε $\bar{e} = 1\angle 0° + 0,937\angle{-36,86°}\cdot 1,7855\angle 90° \Leftrightarrow \bar{e} = 2,4\angle 33,74°\ pu$

Άρα $E = e\cdot V_{b_1} = 2,4\cdot 20kV \Leftrightarrow \boxed{E = 48kV}$ και φάση $\boxed{33,74°}$

(πολική)

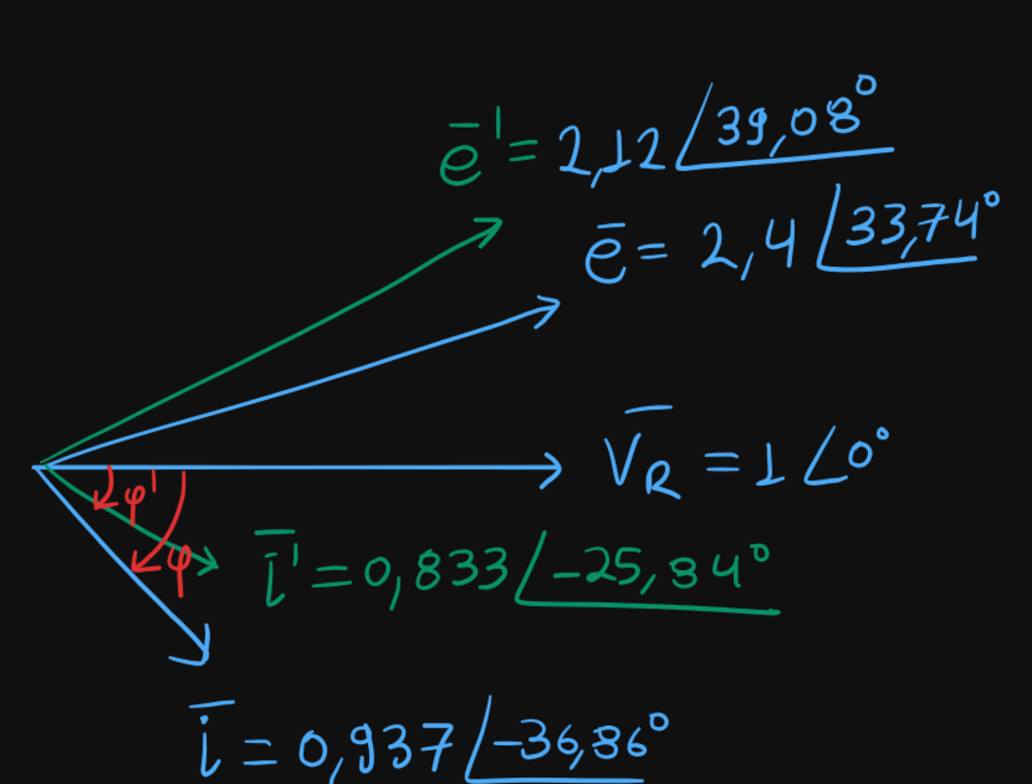
• Αν $\cos\varphi' = 0,9$, τότε $\varphi' = 25,84°$

• $i' = \frac{p}{u_R\cdot\cos\varphi} = \frac{0,75}{1\cdot 0,9} \Leftrightarrow i' = 0,833\ pu$

Άρα $\bar{i}' = 0,833\angle{-25,84°}\ pu$

• $\bar{e}' = \bar{u}_R + \bar{i}'(z_s' + z_T + z_L') = 1\angle 0 + 0,833\angle{-25,84°}\cdot 1,7855\angle 90° \Leftrightarrow \bar{e}' = 2,12\angle 39,08°\ pu$

Οπότε



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

e↓ , $\angle\bar{e}$ ↑

i↓ , $\angle\bar{i}$ ↑

(μέτρα)

2. Μια τριφασική γραμμή μεταφοράς SR έχει R'=1 Ω/km, X'=0,55 Ω/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 cosφ = 0,8 επαγωγικό και

Συνδεδεμένη Φ/Β μονάδα με $P_{Φ/Β,Ν}$ = 250 kW, $\cos φ_{Φ/Β}$ = 1.

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

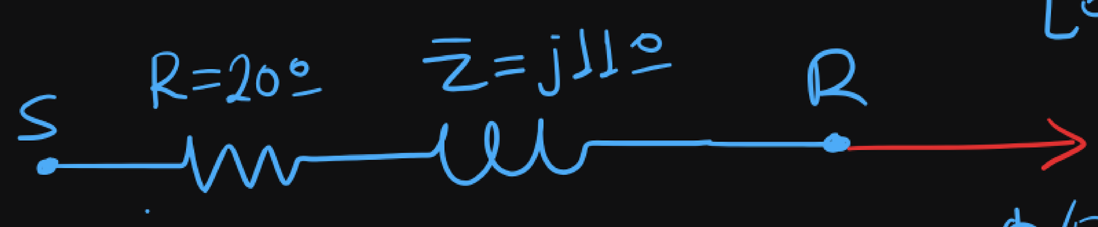
(β) Τι μέσα αντιστάθμισης πρέπει να συνδεθούν στο άκρο R σε αστέρα έτσι ώστε η τάση στο άκρο R να μην πέφτει ποτέ κάτω από 20kV;

(Η συχνότητα του δικτύου είναι 50 Hz)

(3 μονάδες).

• $R' = 1\Omega/km \rightarrow R = 1\cdot 20 \Leftrightarrow \underline{R = 20\Omega}$

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



[800-1500W] cosφ=0,8 Επαγ.

και

Φ/Β με $P_{Φ/Β,N}=250kW$

$\cos φ = 1$

a) • Θα θεωρήσω πως οι παραπάνω ισχύς αναφέρονται σε τάση 20kV για να μπορέσουμε να βρούμε την ισοδύναμη αντίσταση

• Την χαμηλότερη τάση στο άκρο R θα την έχω για P=1500kW (αφού P↑, Zeq↓, I↑, V_R↓ δες τους τύπους παρακάτω)

• $\varphi_1 = \arccos(0{,}8) = 36{,}86° \rightarrow \tan\varphi_1 = \frac{3}{4}$

• $\varphi_2 = \arccos(1) = 0° \rightarrow \tan\varphi_2 = 0$

• $Q_1 = P_1\cdot\tan\varphi_1 = 1500\cdot\frac{3}{4} \Leftrightarrow Q_1 = 1125\ kVAr$

• $Q_2 = 0$

Οπότε $P_{ολ} = P_1 + P_2 = 1500 + 250 \Leftrightarrow P_{ολ} = 1750kW$ και $Q_{ολ} = 1125kVAr$

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

(330) (29

10338
j78,73

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

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

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

β) Μέγιστη πτώση τάσης έχουμε για $P_R = 1750kW$, οπότε:

όρισμα Zline

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

$\Leftrightarrow 1{,}75 = 18{,}4\cos(28{,}81-\theta) - 16{,}15 \Leftrightarrow \cos(28{,}81-\theta) = 0{,}97 \Leftrightarrow 28{,}81 - \theta = 14{,}06 \Leftrightarrow \underline{\theta = 42{,}87°}$

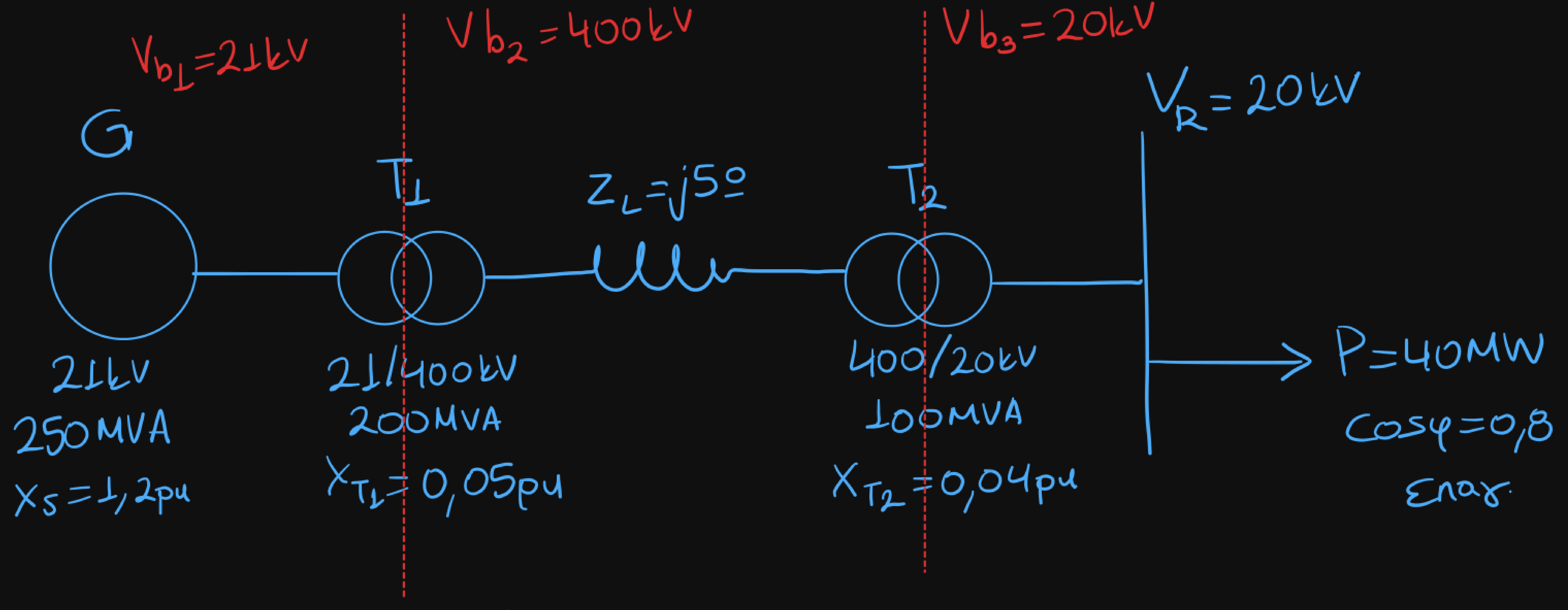
• $Q_R = \frac{V_R\cdot V_S}{Z}\sin(\varphi-\theta) - \frac{V_R^2}{Z}\sin\varphi = \frac{20\cdot 21\cdot 10^6}{22{,}82}\sin(28{,}81 - 42{,}87) - \frac{20^2\cdot 10^6}{22{,}82}\sin(28{,}81)$

$\Leftrightarrow \underline{Q_R = -12{,}9\ MVAr}$ (η άεργη ισχύς που πρέπει να έχουμε στο άκρο R)

• Έχουμε $Q_R = Q_{ολ} + Q_A \Leftrightarrow -12{,}9 = 1{,}125 + Q_A \Leftrightarrow \underline{Q_A = -14{,}025\ MVAr}$

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

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



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)

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

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

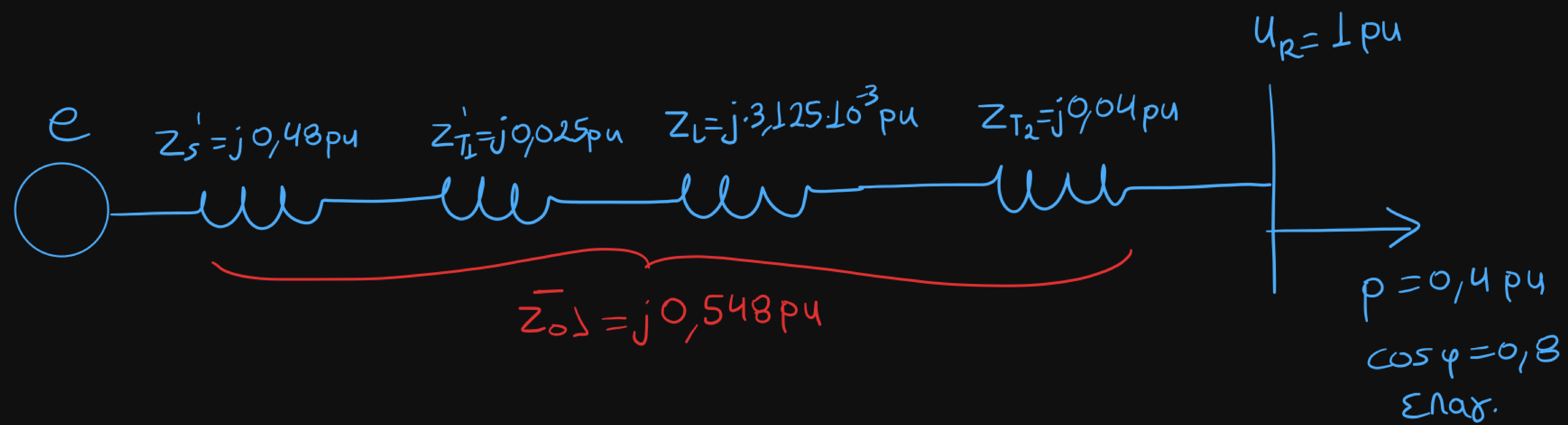
• $X_s' = X_s \cdot \left(\frac{100}{250}\right) = 1,2\cdot 0,4 \Leftrightarrow \underline{X_s' = 0,48pu}$

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

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

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

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



β) • $\bar{e} = \bar{u}_R + \bar{i}\cdot\bar{z}_{o\lambda}$ όπου $i = \frac{p}{u_R\cdot\cos\varphi} = \frac{0,4}{1\cdot 0,8} \Leftrightarrow i = 0,5pu$ και $\varphi = \arccos(0,8) \Leftrightarrow \varphi = 36,86°$ $\Big\}\ \bar{i} = 0,5\angle{-36,86°}\ pu$

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

• Άρα $\bar{E} = \bar{e}\cdot V_{b_1} = 1,18\cdot 21\angle{10,66°} \Leftrightarrow \boxed{\bar{E} = 24,78\angle{10,66°}\ kV}$, πολική τάση $E_\pi = 24,78\cdot\sqrt{3} \Leftrightarrow \boxed{E_\pi = 42,92kV}$

(φασική)

γ) • $\bar{e}' = 1,1\bar{e} \Leftrightarrow \underline{\bar{e}' = 1,3\angle{6,58°}\ pu}$

Οπότε $\bar{e}' = \bar{u}_R + \bar{i}'\cdot\bar{z}_{o\lambda} \Leftrightarrow 1,3\angle{6,58°} = 1\angle{0°} + \bar{i}'\cdot 0,548\angle{90°} \Leftrightarrow \underline{\bar{i}' = 0,597\angle{-62,92°}\ pu}$

• Άρα $\bar{I} = \bar{i}\cdot I_b = \bar{i}\cdot\frac{S_b}{\sqrt{3}V_{b_1}} = 0,597\angle{-62,92°}\cdot\frac{100\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 21\cdot 10^3} \Leftrightarrow \boxed{\bar{I} = 1,64\angle{-62,92°}\ kA}$

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.

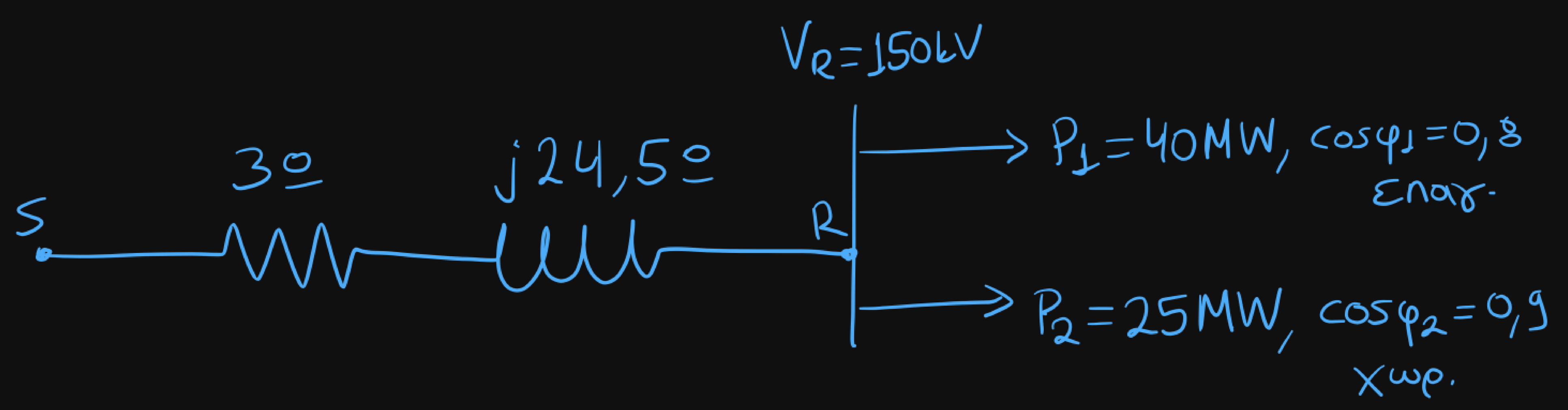
α) Υπολογίστε την πτώση τάσης στην γραμμή καθώς και τις ωμικές απώλειες.

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

(3 μονάδες).

- $R' = 50\,m\Omega/km \rightarrow R = 50\cdot10^{-3}\cdot 60 \Leftrightarrow \underline{R = 3\Omega}$
- $L' = 1{,}3\,mH/km \rightarrow L = 1{,}3\cdot10^{-3}\cdot 60 \Leftrightarrow L = 78\,mH$

Οπότε $X = \omega L = 2\pi f\cdot L = 2\pi\cdot 50\cdot 78\cdot10^{-3} \Leftrightarrow \underline{X = 24{,}5\Omega}$



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

- $\varphi_1 = \arccos(0{,}8) \Leftrightarrow \varphi_1 = 36{,}86° \longrightarrow$ οπότε $\tan\varphi_1 = \frac{3}{4}$
- $\varphi_2 = -\arccos(0{,}9) \Leftrightarrow \varphi_2 = -25{,}84° \longrightarrow$ 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 $\bar{I} = \left(\frac{\bar{S}}{\sqrt{3}\,\bar{V}_R}\right)^* \Leftrightarrow \bar{I} = \frac{(65 - j17{,}5)\cdot10^6}{\sqrt{3}\cdot 150\angle 0°\cdot 10^3} \Leftrightarrow \underline{\bar{I} = 259\angle{-15°}\ A}$
- Άρα $\bar{V}_{S,\varphi\alpha\sigma} = \bar{V}_{R,\varphi\alpha\sigma} + \bar{I}\cdot\bar{Z}_{line} = \frac{150\cdot10^3}{\sqrt{3}} + 259\angle{-15°}\cdot(3 + j24{,}5) \Leftrightarrow V_{S,\varphi\alpha\sigma.} = 89{,}1\angle 3{,}81°\ kV$

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

- Πτώση τάσης: $\frac{V_S - V_R}{V_R}\cdot 100\% = \frac{154{,}3 - 150}{150}\cdot 100\% = 0{,}028\cdot100\%\ \boxed{= 2{,}8\%}$
- 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 $\frac{V_S' - V_R}{V_R} = 0{,}014 \Leftrightarrow V_S' = 1{,}014V_R$

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

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

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

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

$\Leftrightarrow \underline{Q_R' = 2{,}58\,MVAr}$ (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 $C_y = \frac{|Q_A|}{V_R^2\cdot\omega} = \frac{14{,}92\cdot10^6}{150^2\cdot10^6\cdot 2\pi\cdot 50} \Leftrightarrow \boxed{C_y = 2{,}11\,\mu F/\text{φάση}}$