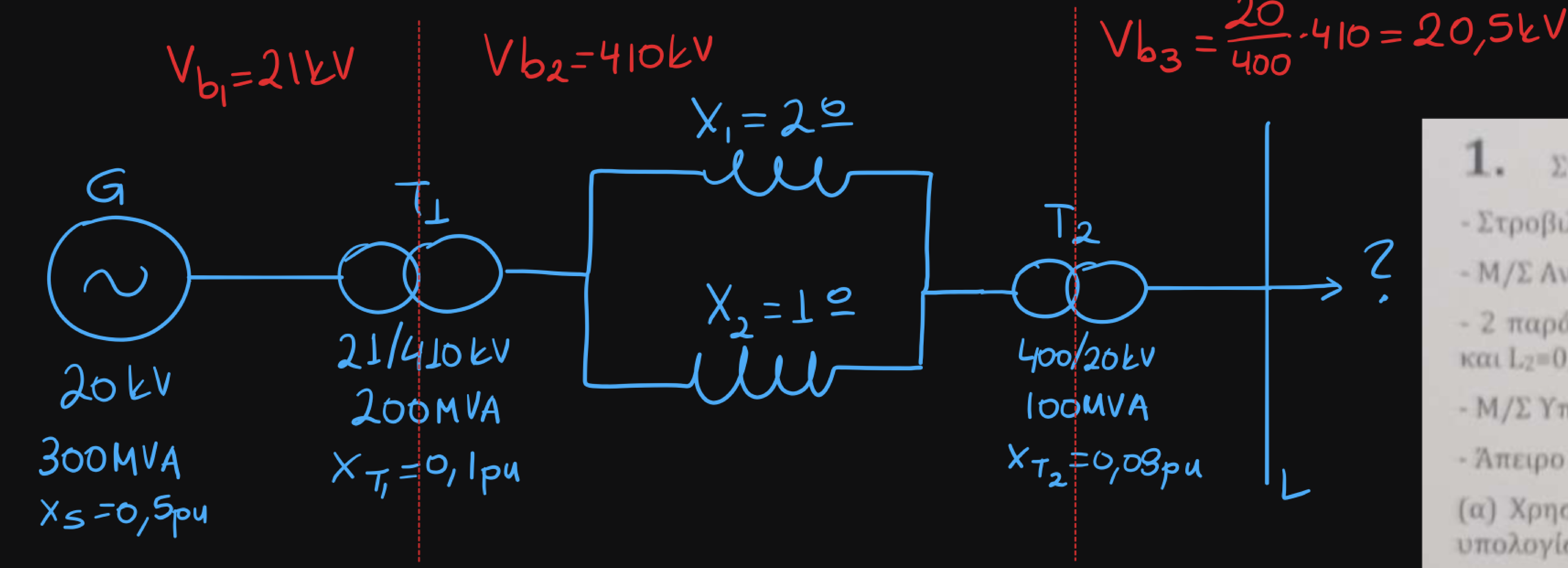
ΣΑΠΗΛΟguide

Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας 1

Σημείωση: Οι απαντήσεις μπορεί να μην είναι 100% σωστές

- Nontas

Λύσεις Ιουνίου 2024(A)



1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:

- Στροβιλογεννήτρια G (20kV, 300MVA, x_s=0.5pu)
- Μ/Σ Ανύψωσης T1 (21/410 kV, 200MVA, x_T=0,1pu)
- 2 παράλληλες Γραμμές Μεταφοράς μήκους 20km η καθεμία με αντίδραση L_1=0,32mH/km και L_2=0,16mH/km αντίστοιχα
- Μ/Σ Υποβιβασμού T2 (400/20 kV, 100MVA, x_T=0,08pu)
- Άπειρο Ζυγό L όπου συνδέεται άγνωστο φορτίο

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

Αν η γεννήτρια λειτουργεί με E=22kV, Vακροδ=20kV και γωνία φόρτισης θ=4° 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)

- $\omega \cdot L_1 = 2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}32 = 100\ m\Omega/km \rightarrow$ άρα $X_1 = 100 \cdot 20 = \underline{2\ \Omega}$
- $\omega \cdot L_2 = 2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}16 = 50\ m\Omega/km \rightarrow$ άρα $X_2 = 50 \cdot 20 = \underline{1\ \Omega}$

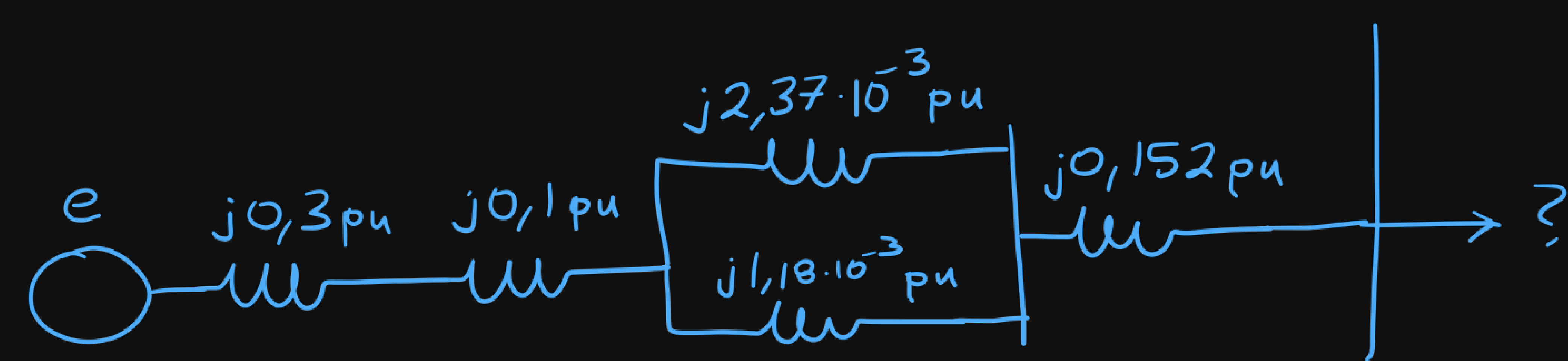
α) • Επιλέγουμε $V_{b_1} = 21kV$, οπότε $V_{b_2} = 410kV$ και $V_{b_3} = 20{,}5kV$

και επιλέγουμε $S_b = 200MVA$

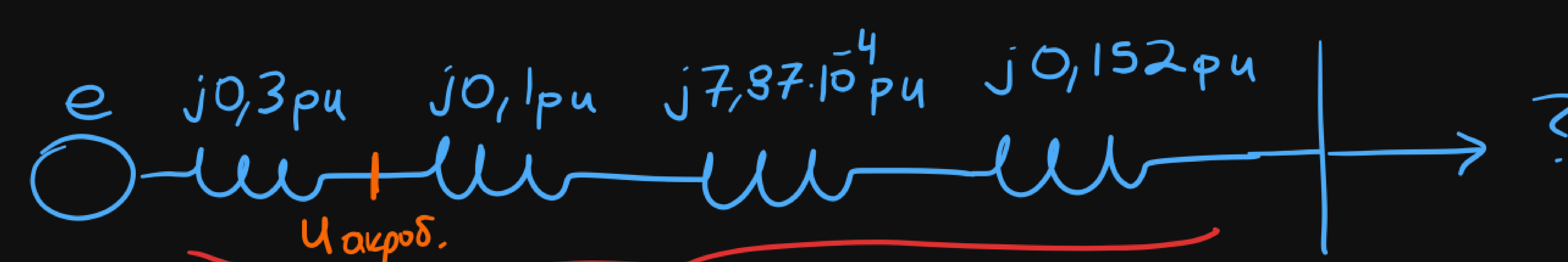
- $X_s' = 0{,}5\left(\frac{200}{300}\right)\left(\frac{20}{21}\right)^2 \Leftrightarrow \underline{X_s' = 0{,}3\,pu}$
- $X_{T_2}' = 0{,}08\left(\frac{200}{100}\right)\left(\frac{20}{20{,}5}\right)^2 \Leftrightarrow \underline{X_{T_2}' = 0{,}152\,pu}$
- $Z_{b_2} = \frac{V_{b_2}^2}{S_b} = \frac{410^2}{200} \Leftrightarrow \underline{Z_{b_2} = 840{,}5\,\Omega}$

άρα $\bar{z}_1 = \frac{\bar{Z}_1}{Z_{b_2}} = \frac{j2}{840{,}5} \Leftrightarrow \underline{\bar{z}_1 = j2{,}37 \cdot 10^{-3}\ pu}$

και $\bar{z}_2 = \frac{\bar{Z}_2}{Z_{b_2}} = \frac{j1}{840{,}5} \Leftrightarrow \underline{\bar{z}_2 = j1{,}18 \cdot 10^{-3}\ pu}$



- $\frac{2{,}37 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}18 \cdot 10^{-3}}{2{,}37 \cdot 10^{-3} + 1{,}18 \cdot 10^{-3}} = 7{,}87 \cdot 10^{-4}$, οπότε



$\bar{Z}_{line} = j0{,}552\,pu$

β) • Έχουμε $e = \frac{E}{V_{b_1}} = \frac{22}{21} \Leftrightarrow \underline{e = 1{,}04\,pu}$ και $U_{ακροδ.} = \frac{V_{ακροδ.}}{V_{b_1}} = \frac{20}{21} \Leftrightarrow \underline{U_{ακροδ.} = 0{,}95\,pu}$

- Θεωρούμε ότι $\bar{u}_{ακροδ.} = 0{,}95\angle 0°$ αλλιώς δεν λύνεται
- Οπότε $\bar{e} = \bar{u}_{ακροδ.} + \bar{i} \cdot 0{,}3\angle 90° \Leftrightarrow \bar{i} = \frac{1{,}04\angle 4° - 0{,}95}{0{,}3\angle 90°} \Leftrightarrow \boxed{\bar{i} = 0{,}37\angle -50{,}32°\ pu}$

γ) • $\bar{e} = \bar{u}_L + \bar{i} \cdot \bar{Z}_{line} \Leftrightarrow \bar{u}_L = 1{,}04\angle 4° - 0{,}37\angle -50{,}32° \cdot 0{,}552\angle 90° \Leftrightarrow \boxed{\bar{u}_L = 0{,}88\angle -3{,}76°}$

- $\varphi = \angle \bar{u}_L - \angle \bar{i} = -3{,}76 + 50{,}32 \Leftrightarrow \varphi = 46{,}56°$, άρα $\boxed{\cos\varphi = 0{,}687 \text{ επαγωγικό}}$

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

$P_1 = 1$ MW, $\cos\varphi_1 = 0,85$ επαγωγικό και

$P_2 = 0,6$ MW, $\cos\varphi_2 = 0,9$ επαγωγικό

και πυκνωτές αντιστάθμισης 0,5 MVar

(α) Πόση είναι η πτώση τάσης στη γραμμή;

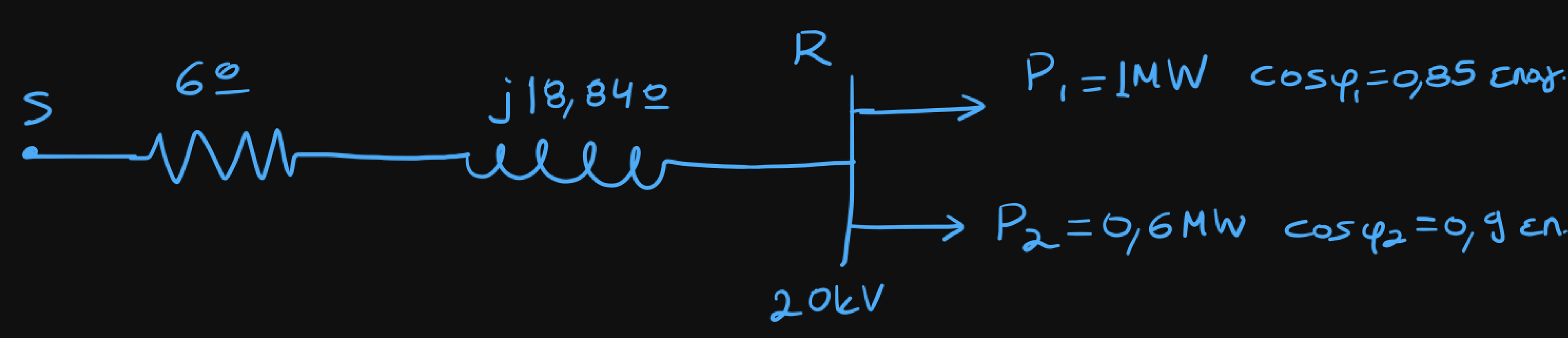
(β) Τι μέσα αντιστάθμισης πρέπει να προστεθούν στο άκρο R σε αστέρα έτσι ώστε να μην υπάρχει πτώση τάσης πάνω στη γραμμή στην παραπάνω περίπτωση;

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

(Η συχνότητα του δικτύου είναι 50 Hz)

(3 μονάδες).

• $R = R'\cdot 40 = 0,15\cdot 40 = \underline{6\Omega}$ και $X = 2\pi 50\cdot 1,5\cdot 40 = \underline{18,84\ \Omega}$



α) • $P_{ολ} = P_1 + P_2 \Leftrightarrow \underline{P_{ολ} = 1,6\text{MW}}$

• $\varphi_1 = \arccos(0,85) = 31,78° \longrightarrow \tan\varphi_1 = 0,61$

• $\varphi_2 = \arccos(0,9) = 25,84° \rightarrow \tan\varphi_2 = \frac{1}{2}$

πυκνωτές αντιστάθμισης

$$\left.\begin{aligned} &\bullet\ Q_1 = P_1\cdot\tan\varphi_1 = 1\cdot 0,61 \Leftrightarrow \underline{Q_1 = 0,61\ \text{MVAr}} \\ &\bullet\ Q_2 = P_2\cdot\tan\varphi_2 = 0,6\cdot\tfrac{1}{2} \Leftrightarrow \underline{Q_2 = 0,3\ \text{MVAr}} \end{aligned}\right\} Q_{ολ} = Q_1 + Q_2 - Q_c = 0,61 + 0,3 - 0,5 \Leftrightarrow \underline{Q_{ολ} = 0,41\text{MVAr}}$$

• Έχουμε $\bar{I} = \left(\dfrac{\bar{S}}{\sqrt{3}\bar{V}_R}\right)^* = \dfrac{(1,6 - j0,41)\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 20\cdot 10^3\angle 0°} \Leftrightarrow \underline{\bar{I} = 47,68\angle{-14,37°}}$ A

Οπότε $\bar{V}_{S,\varphi} = \bar{V}_{R,\varphi} + \bar{I}\cdot\bar{Z}_{Line} = \dfrac{20\cdot 10^3}{\sqrt{3}}\angle 0° + 47,68\angle{-14,37°}(6 + j18,84) \Leftrightarrow \underline{V_{S,\varphi} = 12,07\angle 3,79°\ \text{kV}}$

ή $V_{S,\pi} = 12,07\cdot\sqrt{3} \Leftrightarrow \underline{V_{S,\pi} = 20,9\text{kV}}$

Άρα πτώση τάσης: $\dfrac{V_S - V_R}{V_R}\cdot 100\% = \dfrac{20,9 - 20}{20}\cdot 100\% \boxed{= 4,5\%}$

β) • $Z_{line} = 6 + j18,84 = 19,77\angle \overset{\varphi}{72,33°}\ \Omega$

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

$\Leftrightarrow 20,23\cos(72,33 - \theta) - 6,14 = 1,6 \Leftrightarrow \cos(72,33 - \theta) = 0,382 \Leftrightarrow 72,33 - \theta = 67,54 \Leftrightarrow \underline{\theta = 4,78°}$

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

$\Leftrightarrow \underline{Q_R = -0,57\text{MVAr}}$ (άεργη ισχύς που πρέπει να έχουμε στο άκρο R)

• Έχουμε $Q_R = Q_{ολ} + Q_A \Leftrightarrow Q_A = -0,57 - 0,41 \Leftrightarrow \underline{Q_A = -0,98\ \text{MVAr}}$

• Θα συνδέσουμε πυκνωτές σε αστέρα με $C_y = \dfrac{|Q_A|}{V_R^2\cdot\omega} = \dfrac{0,98\cdot 10^6}{20^2\cdot 10^6\cdot 2\pi 50} \Leftrightarrow \boxed{C_y = 7,79\ \mu F/\text{φάση}}$

γ) • Θα έχουμε καινούργιο $Q'_{ολ} = Q_2 - Q_c = 0,3 - 0,5 \Leftrightarrow \underline{Q'_{ολ} = -0,2\text{MVAr}}$

και $P'_R = 0,6\text{MW} \Leftrightarrow \ldots \Leftrightarrow \cos(72,33 - \theta') = 0,333 \Leftrightarrow 72,33 - \theta' = 70,54 \Leftrightarrow \underline{\theta' = 1,78°}$

και $Q'_R \Leftrightarrow \ldots \Leftrightarrow \underline{Q'_R = -0,2\text{MVAr}}$

και $Q'_R = Q'_{ολ} + Q'_A \Leftrightarrow Q'_A = -0,2 + 0,2 \Leftrightarrow \underline{Q'_A = 0}$

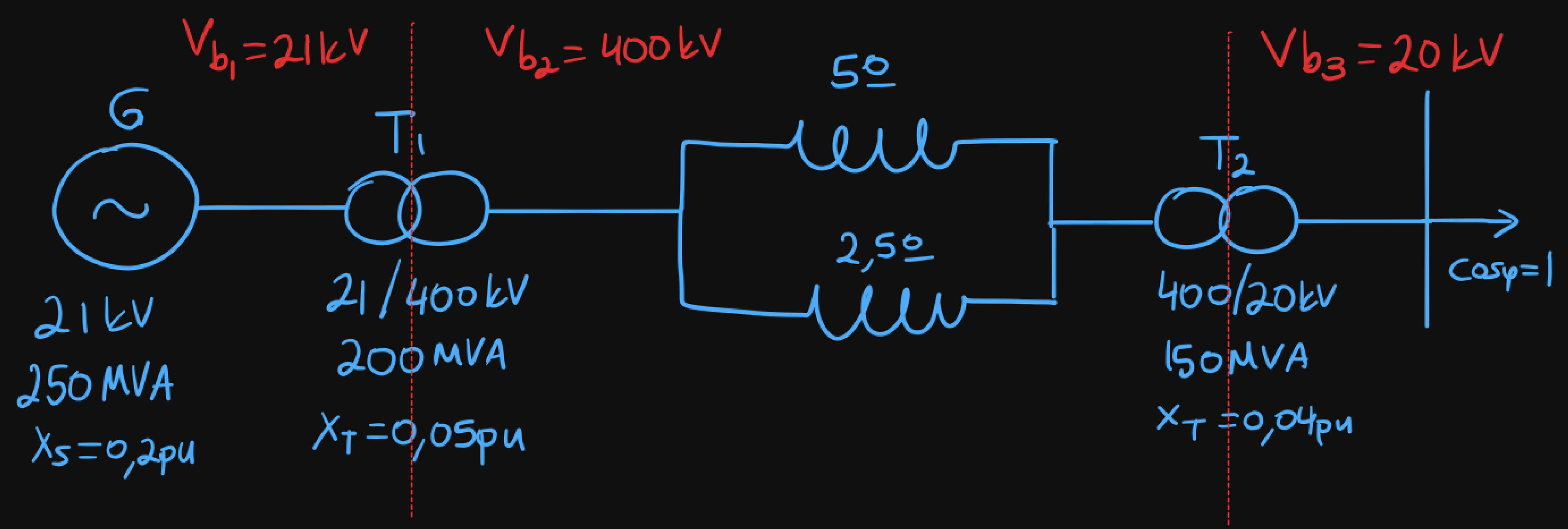
Δεν χρειαζόμαστε κάποια αντιστάθμιση

Edit: μάλλον η άσκηση ζητάει πως να κάνουμε το σύστημα καλύτερο, δηλαδή να έχουμε ελάχιστες απώλειες πάνω στη γραμμή.

Για τη λύση θέλουμε $Q'_R = 0$, οπότε $Q'_A = -Q'_{ολ} = 0,2\text{MVAr} \longrightarrow$ προσθέτουμε πηνία σε αστέρα

$L = \dfrac{V_R^2}{Q'_A\cdot\omega} = \dfrac{20^2\cdot 10^6}{0,2\cdot 10^6\cdot 2\pi 50} \Leftrightarrow \boxed{L = 6,36\ H/\text{φάση}}$

(B)



1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται κατά σειρά από:

- Στροβιλογεννήτρια G (21kV, 250MVA, x_s=0.2pu)
- Μ/Σ Ανύψωσης T1 (21/400 kV, 200MVA, x_T=0,05pu)
- 2 παράλληλες Γραμμές Μεταφοράς μήκους 50km η καθεμία με αντίδραση L_1=0,32mH/km και L_2=0,16mH/km αντίστοιχα
- Μ/Σ Υποβιβασμού T2 (400/20 kV, 150MVA, x_T=0,04pu)
- 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=20kV και η τάση στον ζυγό L V_L=19kV να υπολογιστεί

(β) η ενεργός ισχύς στο φορτίο

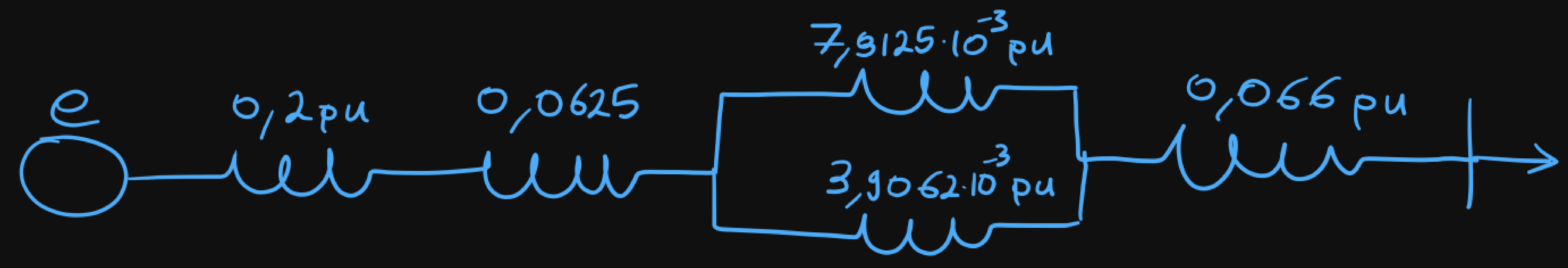
(γ) η άεργος ισχύς στους ακροδέκτες της γεννήτριας

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

- $X_1 = 2\pi f \cdot L_1 \cdot 50 = 100\pi \cdot 0,32 \cdot 50 \Leftrightarrow X_1 = 5\Omega$
- $X_2 = 2\pi f \cdot L_2 \cdot 50 = 100\pi \cdot 0,16 \cdot 50 \Leftrightarrow X_2 = 2,5\Omega$

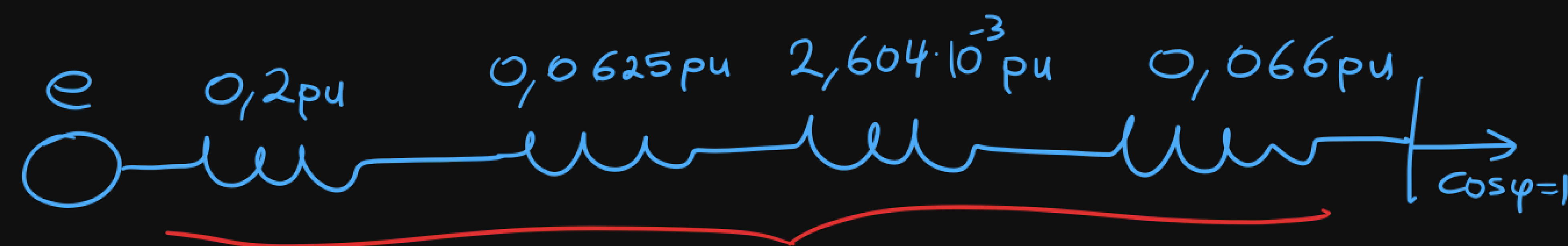
α) Επιλέγω $S_b = 250\ MVA$, $V_{b_1} = 21kV$ $\left(\begin{array}{l} V_{b_2}=400kV \\ V_{b_3}=20kV \end{array}\right)$

- $X_{T_1}' = 0,05 \cdot \left(\frac{250}{200}\right)\left(\frac{21}{21}\right)^2 \Leftrightarrow X_{T_1}' = 0,0625\ pu$
- $X_{T_2}' = 0,04 \left(\frac{250}{150}\right)\left(\frac{20}{20}\right)^2 \Leftrightarrow X_{T_2}' = 0,066\ pu$
- $Z_b = \frac{V_{b_2}^2}{S_b} = \frac{400^2}{250} \Leftrightarrow Z_b = 640\Omega$
- $z_1 = \frac{Z_1}{Z_b} = \frac{j5}{640} \Leftrightarrow z_1 = j\,7,8125 \cdot 10^{-3}\ pu$
- $z_2 = \frac{Z_2}{Z_b} = \frac{j2,5}{640} \Leftrightarrow z_2 = j\,3,9062 \cdot 10^{-3}\ pu$



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

Άρα



$\bar{Z}_{line} = j0,331\ pu$

β) Έχουμε $q=0$ (αφού $\cos\varphi=1$), οπότε $q = \frac{u \cdot (e\cos\theta - u)}{x_{line}}$ όπου $u = \frac{19}{20} = 0,95pu$ και $e = \frac{20}{21} = 0,952pu$

Άρα $0 = \frac{0,95(0,952 \cdot \cos\theta - 0,95)}{0,331} \Leftrightarrow \cos\theta = \frac{0,95}{0,952} \Leftrightarrow \theta = 4,052°$

Άρα $p = \frac{e \cdot u \cdot \sin\theta}{x_{line}} = \frac{0,952 \cdot 0,95 \cdot \sin(4,052°)}{0,331} \Leftrightarrow p = 0,193\ pu$ ή $P = p \cdot S_b = 0,193 \cdot 250 \Leftrightarrow$

$\boxed{P = 48,25 MW}$

γ) $i = \frac{p}{u \cdot \cos\varphi} = \frac{0,193}{0,95 \cdot 1} \Leftrightarrow i = 0,203\ pu$, οπότε $\bar{i} = 0,203\angle 0°$

- $\bar{u}_{ακροδ.} = \bar{u} + \bar{i} \cdot j0,131 = 0,95 + 0,203 \cdot 0,131\angle 90° \Leftrightarrow \bar{u}_{ακροδ.} = 0,9503\angle 1,603°$

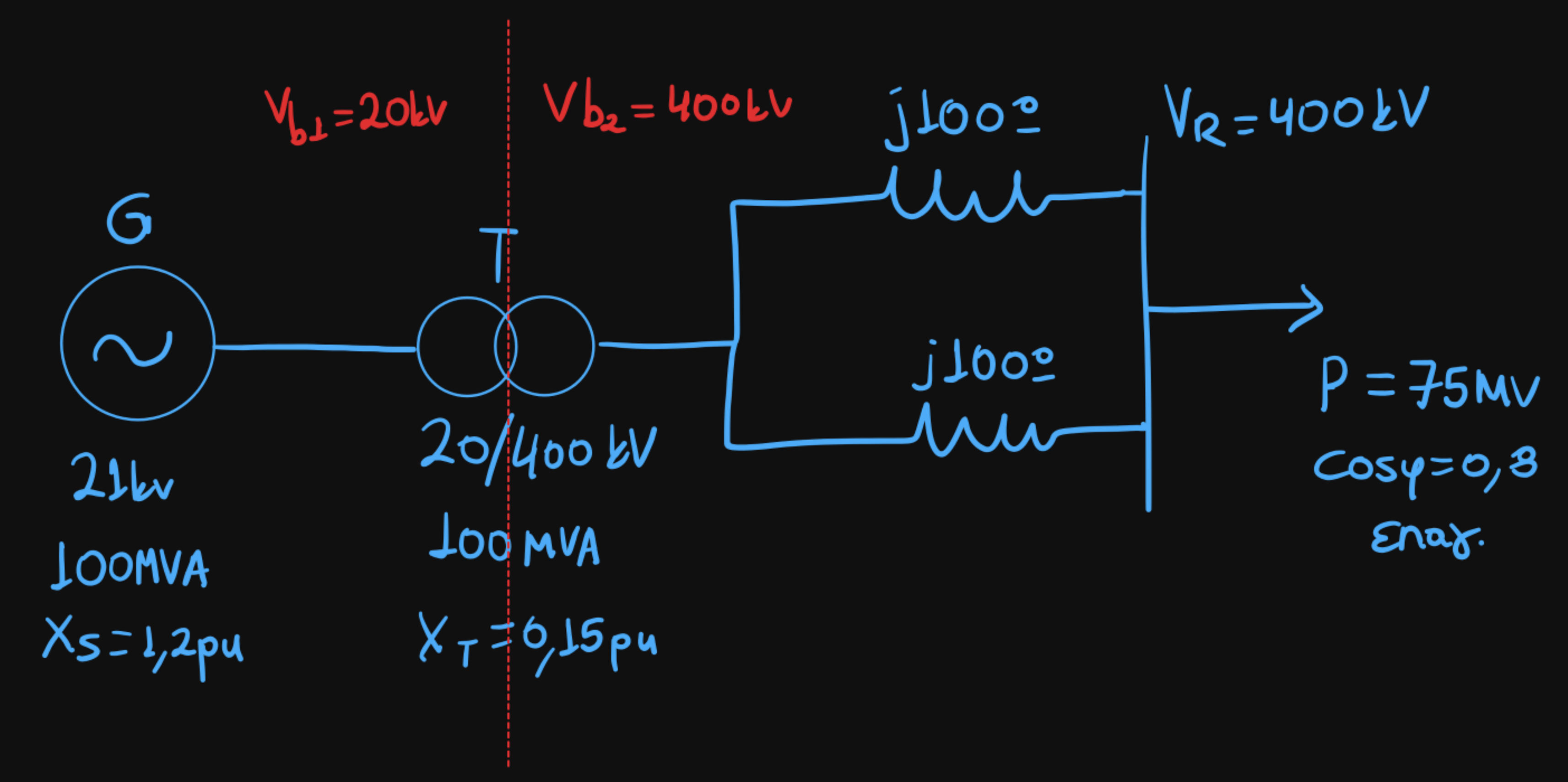
Άρα επειδή στην γραμμή δεν έχουμε ωμικά φορτία, τότε $p_{ακροδ.} = 0,193\ pu$ και $q_{ακροδ.} = p_{ακροδ.} \tan(1,603°) \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow q_{ακροδ.} = 5,401 \cdot 10^{-3}\ pu$

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

$\Leftrightarrow \boxed{Q_{ακροδ.} = 1,35 MVAr}$

Λύσεις Σεπτ. 2023(Β)



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 Ε, $V_{ζυγ}$ και Ι πριν και μετά.

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

(3 μονάδες)

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

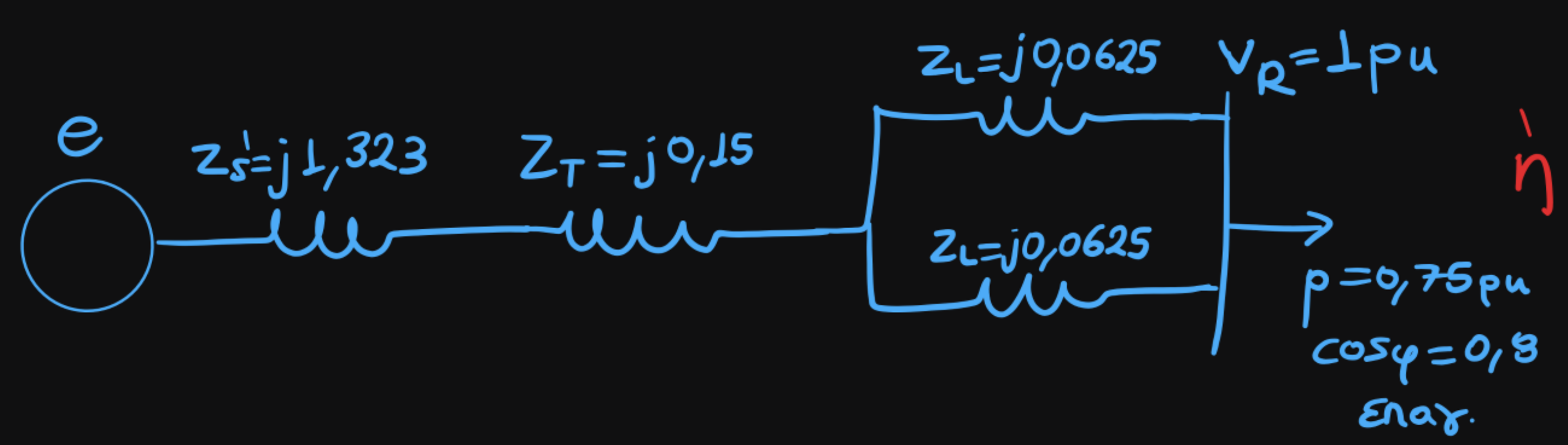
• Τότε για την γεννήτρια G έχω αλλαγή βάσης: $X_S'=X_S\left(\frac{100}{100}\right)\left(\frac{21}{20}\right)^2=1{,}2\cdot 1{,}1025 \Leftrightarrow \underline{X_S'=1{,}323\ pu}$

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

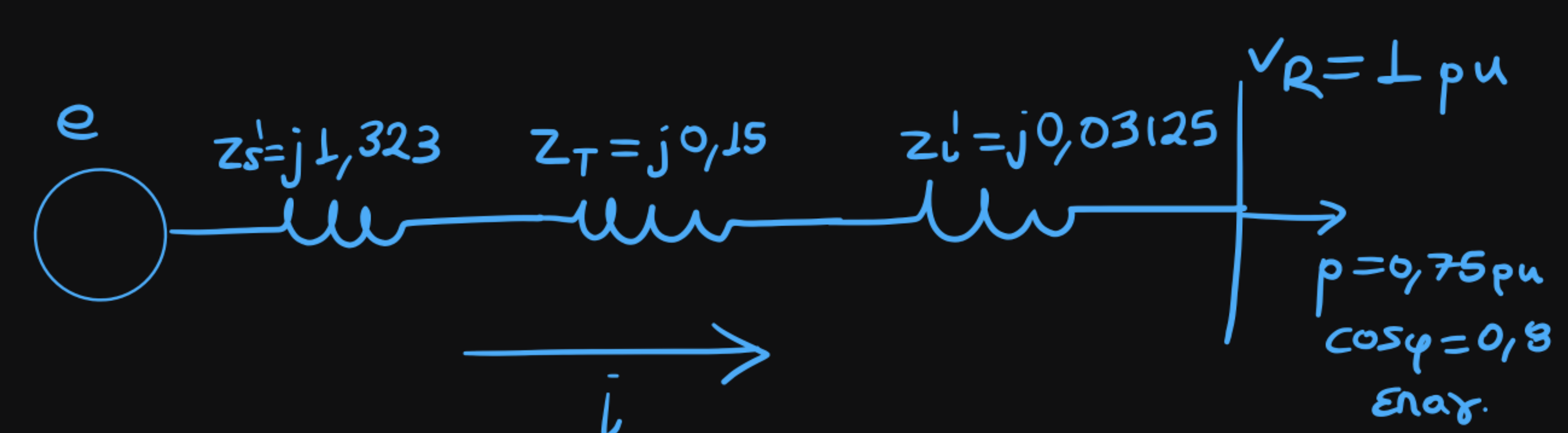
• $z_L=\frac{Z_L}{Z_{b2}}=\frac{j100}{1600} \Leftrightarrow \underline{z_L=j\,0{,}0625\ pu}$

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

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



ή



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

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

και $\cos\varphi=0{,}8 \Rightarrow \varphi=\arccos(0{,}8)=36{,}86^\circ$, δηλ. $\underline{\bar i=0{,}937\angle -36{,}86^\circ\ pu}$

αφού επαγωγικό

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

Άρα $E=e\cdot V_{b1}=2{,}16\cdot 20kV \Leftrightarrow \boxed{E=43{,}2kV}$ και φάση $\boxed{31{,}42^\circ}$

(πολική)

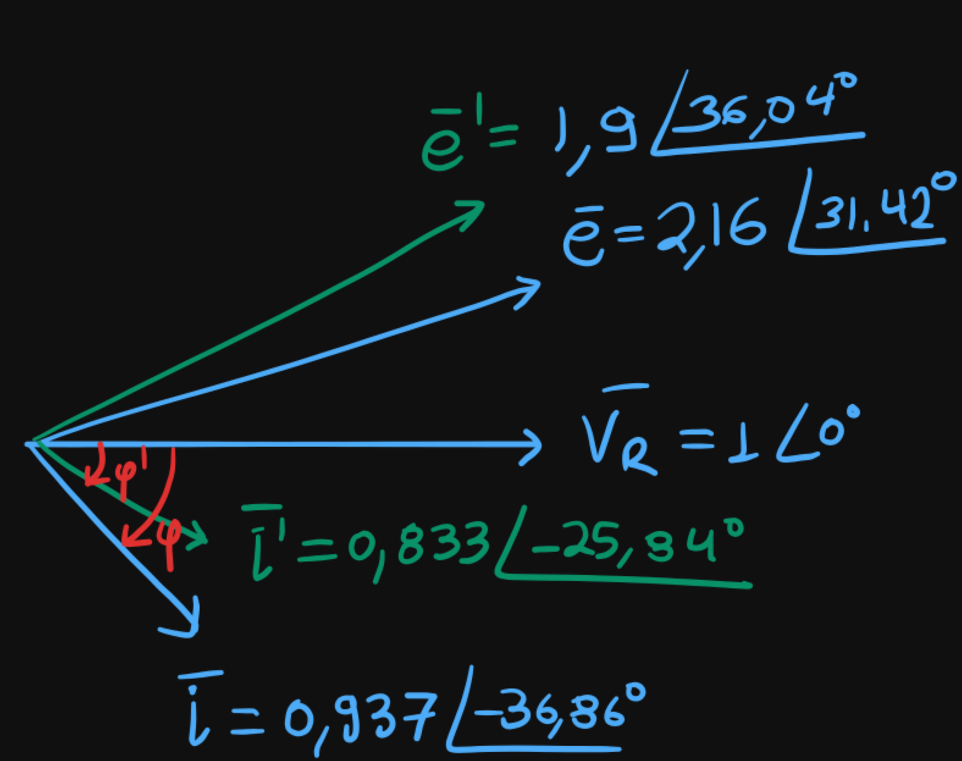
γ) • Αν $\cos\varphi'=0{,}9$, τότε $\varphi'=25{,}84^\circ$

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

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

• $\bar e'=\bar u_R+\bar i'(z_s'+z_T+z_L')=1\angle 0+0{,}833\angle -25{,}84^\circ\cdot 1{,}50425\angle 90^\circ \Leftrightarrow \underline{\bar e'=1{,}9\angle 36{,}04^\circ}\ pu$

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 $P_{Φ/B,N}$ = 250 kW, $\cos φ_{Φ/B}$ = 1.

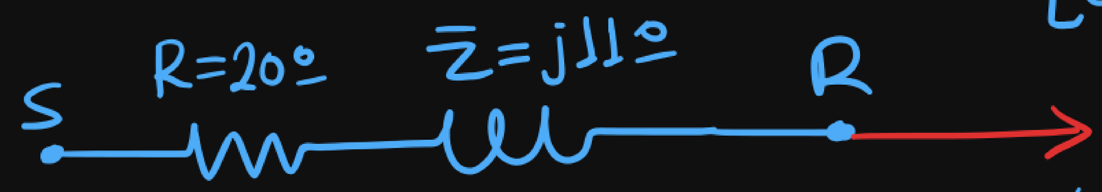
(α) Πόση είναι η χαμηλότερη τάση που θα εμφανιστεί στο άκρο R, αν η τάση στο άκρο S ρυθμιστεί στα 21 kV;

(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).

- $R' = 1\,Ω/km \rightarrow R = 1\cdot 20 \Leftrightarrow \underline{R = 20\,Ω}$
- $X' = 0{,}55\,Ω/km \rightarrow X = 0{,}55\cdot 20 \Leftrightarrow \underline{X = 11\,Ω}$



[800–1500 W] cosφ=0,8 Επαγ.

και

Φ/Β με $P_{Φ/B,N}$=250kW

cosφ=1

α) • 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)
- $φ_1 = \arccos(0{,}8) = 36{,}86° \rightarrow \tan φ_1 = \frac{3}{4}$
- $φ_2 = \arccos(1) = 0° \rightarrow \tan φ_2 = 0$
- $Q_1 = P_1 \cdot \tan φ_1 = 1500 \cdot \frac{3}{4} \Leftrightarrow Q_1 = 1125\,kVAr$
- $Q_2 = 0$

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

- $Z_{line} = 20 + j11 = 22{,}82\angle 28{,}81°$
- $Z_{eq} = \frac{V_R^2}{S^*} = \frac{(20\cdot 10^3)^2}{(1750 - j1125)\cdot 10^3} \Leftrightarrow \underline{Z_{eq} = 192\angle 32{,}73°\ Ω}$

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 $P_R = 1750\,kW$, οπότε:

- $P_R = 1750\,kW = \frac{V_R \cdot V_S}{Z}\cos(\underset{\text{όρισμα } Z_{line}}{φ} - θ) - \frac{V_R^2}{Z}\cos φ = \frac{20\cdot 21\cdot 10^6}{22{,}82}\cos(28{,}81 - θ) - \frac{20^2\cdot 10^6}{22{,}82}\cos(28{,}81)$

$\Leftrightarrow 1{,}75 = 18{,}4\cos(28{,}81-θ) - 15{,}35 \Leftrightarrow \cos(28{,}81-θ) = 0{,}92 \Leftrightarrow 28{,}81 - θ = 23{,}07 \Leftrightarrow \underline{θ = 5{,}74°}$

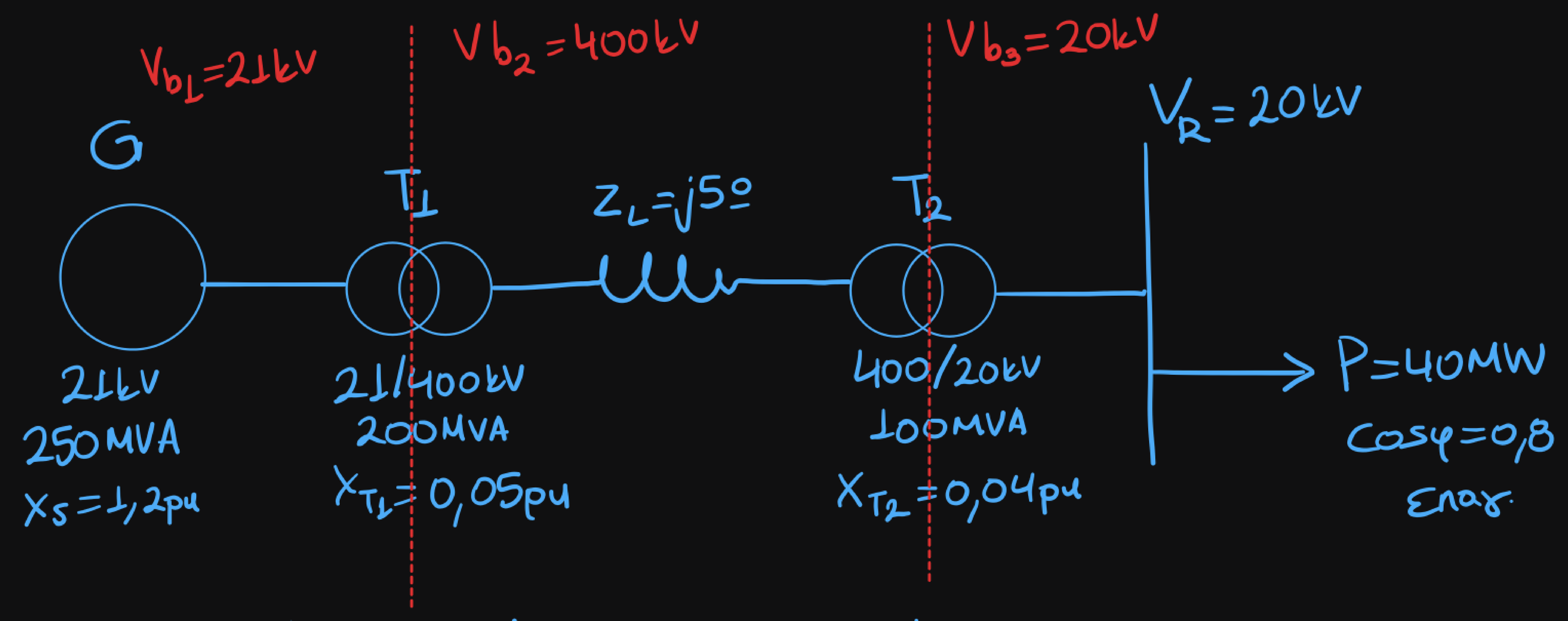
- $Q_R = \frac{V_R\cdot V_S}{Z}\sin(φ-θ) - \frac{V_R^2}{Z}\sin φ = \frac{20\cdot 21\cdot 10^6}{22{,}82}\sin(28{,}81 - 5{,}74°) - \frac{20^2\cdot 10^6}{22{,}82}\sin(28{,}81)$

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

- Έχουμε $Q_R = Q_{ολ} + Q_A \Leftrightarrow -1{,}23 = 1{,}125 + Q_A \Leftrightarrow \underline{Q_A = -2{,}355\,MVAr}$
- Θα συνδέσουμε πυκνωτές σε αστέρα με $C_Y = \frac{|Q_A|}{V_R^2 \cdot ω} = \frac{2{,}355}{20^2 \cdot 2π \cdot 50} \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow \boxed{C_Y = 18{,}7\,μF/\text{φάση}}$

Λύσεις Φεβ. 2023 (Α)



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.

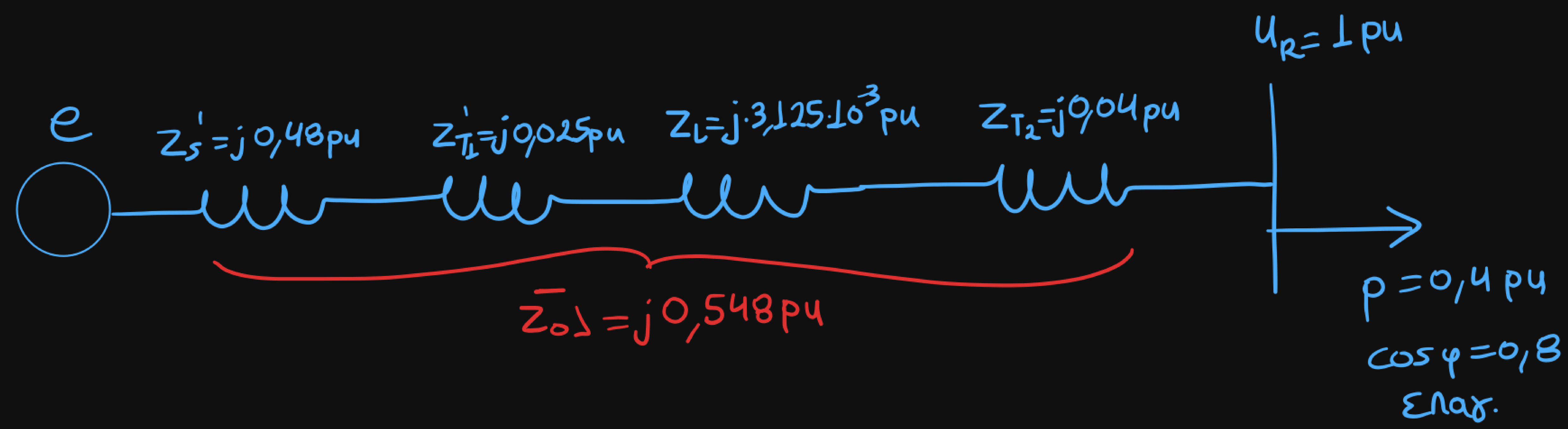
(Η συχνότητα είναι 50Hz. Όλες οι ωμικές αντιστάσεις αγνοούνται)

(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:

- $X_S' = X_S\cdot\left(\dfrac{100}{250}\right) = 1,2\cdot 0,4 \Leftrightarrow \underline{X_S' = 0,48pu}$
- $X_{T_1}' = X_{T_1}\left(\dfrac{100}{200}\right) = 0,05\cdot 0,5 \Leftrightarrow \underline{X_{T_1}' = 0,025pu}$
- $Z_{b_2} = \dfrac{V_{b_2}^2}{S_{b_2}} = \dfrac{400^2}{100} \Leftrightarrow Z_{b_2} = 1600\,\Omega$
- $z_L = \dfrac{Z_L}{Z_{b_2}} = \dfrac{j5}{1600} \Leftrightarrow \underline{z_L = j3,125\cdot 10^{-3}pu}$
- $p = \dfrac{P}{S} = \dfrac{40}{100} \Leftrightarrow \underline{p = 0,4pu}$



β) • $\bar{e} = \bar{u}_R + \bar{i}\cdot\bar{z}_{ολ}$ όπου $i = \dfrac{p}{u_R\cdot\cos\varphi} = \dfrac{0,4}{1\cdot 0,8} \Leftrightarrow i = 0,5pu$

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

$\Big\}\ \bar{i} = 0,5\angle{-36,86^\circ}\ pu$

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

- Άρα $\bar{E} = \bar{e}\cdot V_{b_1} = 1,18\cdot 21\angle 10,66^\circ \Leftrightarrow \boxed{\bar{E} = 24,78\angle 10,66^\circ\ kV}$ (πολική)

γ) • $e' = 1,1e \Leftrightarrow \underline{e' = 1,3\ pu}$

- $p' = p = 0,4pu$ οπότε $p' = \dfrac{e'\cdot u\cdot\sin\theta'}{x_{ολ}} \Leftrightarrow \sin\theta' = \dfrac{0,4\cdot 0,548}{1,3\cdot 1} \Leftrightarrow \sin\theta' = 0,168 \Leftrightarrow \underline{\theta' = 9,67^\circ}$
- $\bar{e}' = \bar{u}_R + \bar{i}'\cdot\bar{z}_{ολ} \Leftrightarrow 1,3\angle 9,67^\circ = 1\angle 0^\circ + \bar{i}'\cdot 0,548\angle 90^\circ \Leftrightarrow \underline{\bar{i}' = 0,65\angle{-52,2^\circ}\ pu}$
- Άρα $\bar{I} = \bar{i}\cdot I_b = \bar{i}\cdot\dfrac{S_b}{\sqrt{3}V_{b_1}} = 0,65\angle{-52,2^\circ}\cdot\dfrac{100\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 21\cdot 10^3} \Leftrightarrow \boxed{\bar{I} = 1,78\angle{-52,2^\circ}\ kA}$

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.

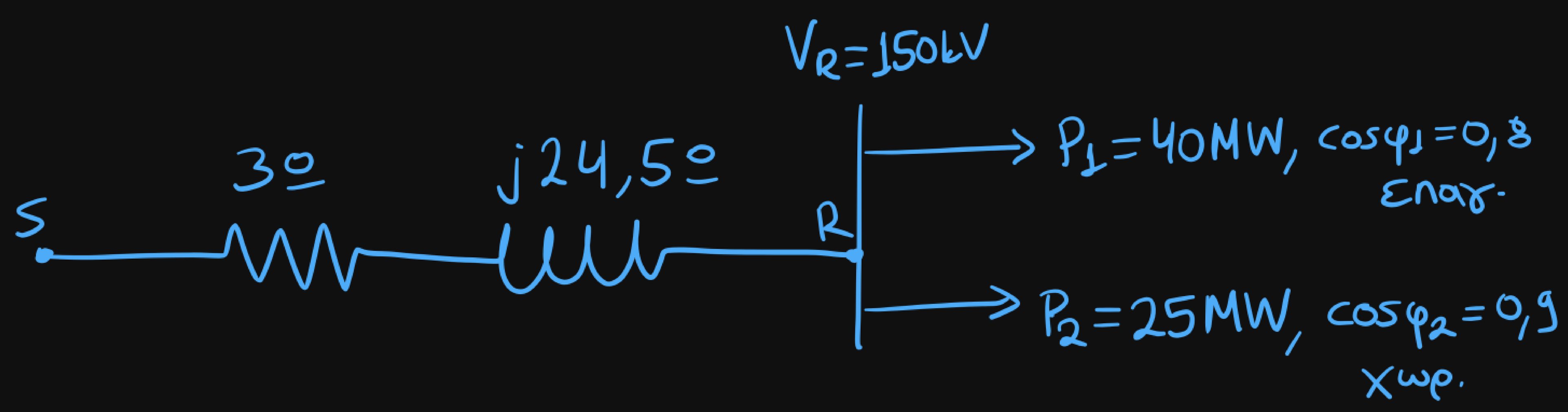
β) Ποια είναι η απαιτούμενη αντιστάθμιση στο ζυγό ώστε η πτώση τάσης στη γραμμή να μειωθεί στο μισό.

(3 μονάδες).

• $R' = 50\,\text{m}\Omega/\text{km} \rightarrow R = 50\cdot 10^{-3}\cdot 60 \Leftrightarrow R = 3\Omega$

• $L' = 1{,}3\,\text{mH}/\text{km} \rightarrow L = 1{,}3\cdot 10^{-3}\cdot 60 \Leftrightarrow L = 78\,\text{mH}$

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



α) • Έχουμε $P_{ολ} = P_1 + P_2 = 40 + 25 \Leftrightarrow P_{ολ} = 65\,\text{MW}$

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

• $\varphi_2 = -\arccos(0{,}9) \Leftrightarrow \varphi_2 = -25{,}84° \longrightarrow$ και $\tan\varphi_2 = -\frac{1}{2}$

• $Q_1 = P_1 \tan\varphi_1 = 40\cdot\frac{3}{4} \Leftrightarrow Q_1 = 30\,\text{MVAr}$

χωρητικό

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

$\Big\}\ Q_{ολ} = Q_1 + Q_2 \Leftrightarrow Q_{ολ} = 17{,}5\,\text{MVAr}$

• Οπότε $\bar{I} = \left(\frac{\bar{S}}{\sqrt{3}\,\bar{V}_R}\right)^* \Leftrightarrow \bar{I} = \frac{(65 - j17{,}5)\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 150\angle 0°\cdot 10^3} \Leftrightarrow \bar{I} = 259\angle -15°\ \text{A}$

• Άρα $\bar{V}_{S,φασ} = \bar{V}_{R,φασ} + \bar{I}\cdot\bar{Z}_{line} = \frac{150\cdot 10^3}{\sqrt{3}} + 259\angle -15°\cdot(3 + j24{,}5) \Leftrightarrow V_{S,φασ.} = 89{,}1\angle 3{,}81°\ \text{kV}$

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

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

• Ωμικές απώλειες: $P_{Loss} = 3I^2\cdot R = 3\cdot 259^2\cdot 3 \Leftrightarrow \boxed{P_{Loss} = 603{,}7\,\text{kW}}$

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

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

• $\bar{Z}_{line} = 3 + j24{,}5 = 24{,}6\angle \underset{}{\overset{\varphi}{\downarrow}}\!83°$

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

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

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

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

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

Θα συνδέσουμε πυκνωτές σε αστέρα

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