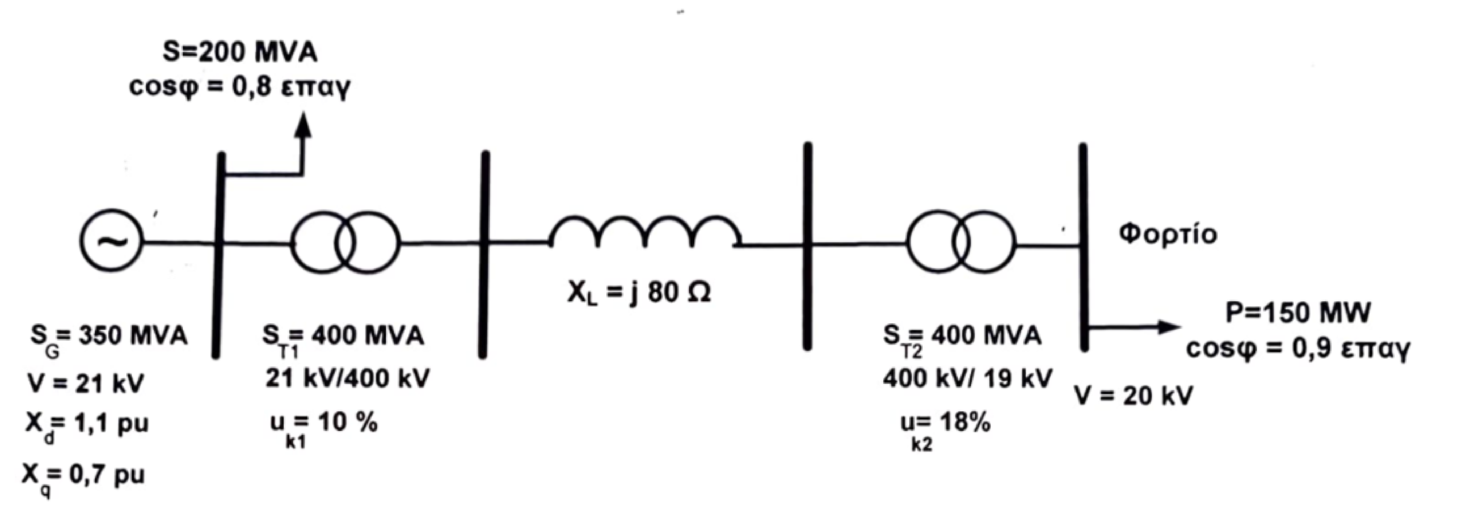
Λύσεις Σεπτ. 2023

1. Μια τριφασική γεννήτρια έκτυπων πόλων τροφοδοτεί τοπικά ένα φορτίο 200 MVA, cosφ=0,8 επαγωγικό, ενώ μέσα από ένα δίκτυο που περιλαμβάνει έναν ΜΣ ανύψωσης, μια εναέρια γραμμή μεταφοράς και έναν ΜΣ υποβιβασμού, τροφοδοτεί και ένα απομακρυσμένο φορτίο P=150 MW, cosφ=0,9 επαγωγικό.



Εάν η τάση του απομακρυσμένου ζυγού είναι ίση με 20 kV και τα υπόλοιπα στοιχεία (γεννήτρια και μετασχηματιστές) έχουν τα ονομαστικά στοιχεία που φαίνονται στο σχήμα:

(α) Να γίνει μετατροπή όλων των αντιδράσεων σε μια κοινή βάση της επιλογής σας και να σχεδιαστεί το ισοδύναμο κύκλωμα

Να υπολογιστούν σε pu κατά μέτρο και φάση

(β) το ρεύμα που διαρρέει τη γραμμή

(γ) η τάση ακροδεκτών της γεννήτριας και το συνολικό ρεύμα που εγχέει η γεννήτρια

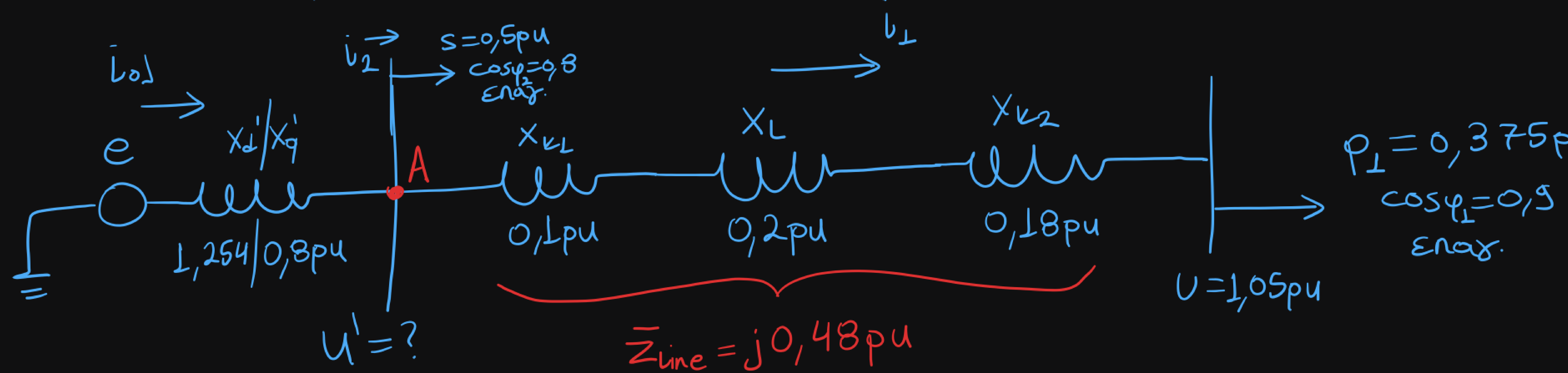
(δ) η ΗΕΔ της γεννήτριας

(3 μονάδες)

α) Θα επιλέξω βάσεις $S_b = 400MVA$, $V_{b_1} = 21kV$, $V_{b_2} = 400kV$, $V_{b_3} = 19kV$, οπότε:

- $X_d{}' = X_d\left(\frac{400}{350}\right) = 1{,}1 \cdot 1{,}14 \Leftrightarrow \underline{X_d{}' = 1{,}254pu}$
- $X_q{}' = X_q\left(\frac{400}{350}\right) = 0{,}7 \cdot 1{,}14 \Leftrightarrow \underline{X_q{}' = 0{,}8pu}$
- $u = \frac{20}{19} \Leftrightarrow \underline{u = 1{,}05pu}$
- $p = \frac{150}{400} \Leftrightarrow \underline{p = 0{,}375pu}$
- $s = \frac{S}{S_b} = \frac{200}{400} \Leftrightarrow \underline{s = 0{,}5pu}$
- $Z_{b_2} = \frac{V_{b_2}{}^2}{S_{b_2}} = \frac{400^2}{400} \Leftrightarrow Z_{b_2} = 400\Omega$, οπότε

$x_L = \frac{X_L}{Z_{b_2}} = \frac{j80}{400} \Leftrightarrow \underline{x_L = j0{,}2pu}$



β) $\cdot\ i_1 = \frac{p}{u \cdot \cos\varphi_1} = \frac{0{,}375}{1{,}05 \cdot 0{,}9} \Leftrightarrow i_1 = 0{,}4pu$ και $\varphi_1 = \arccos(0{,}9) \Leftrightarrow \varphi_1 = 25{,}84°$, άρα $\boxed{\bar{i}_1 = 0{,}4\angle{-25{,}84°}\ pu}$

γ) $\cdot\ \bar{u}' = \bar{u} + \bar{i}_1 \cdot \bar{z}_{line} = 1{,}05\angle 0° + 0{,}4\angle{-25{,}84°} \cdot 0{,}48\angle 90° \Leftrightarrow \boxed{\bar{u}' = 1{,}14\angle 8{,}66°\ pu}$

- $i_2 = \frac{s}{u'} = \frac{0{,}5}{1{,}14} \Leftrightarrow i_2 = 0{,}43$ και $\varphi_2 = \arccos(0{,}8) \Leftrightarrow \varphi_2 = 36{,}86°$, άρα $\underline{\bar{i}_2 = 0{,}43\angle{-36{,}86°}\ pu}$

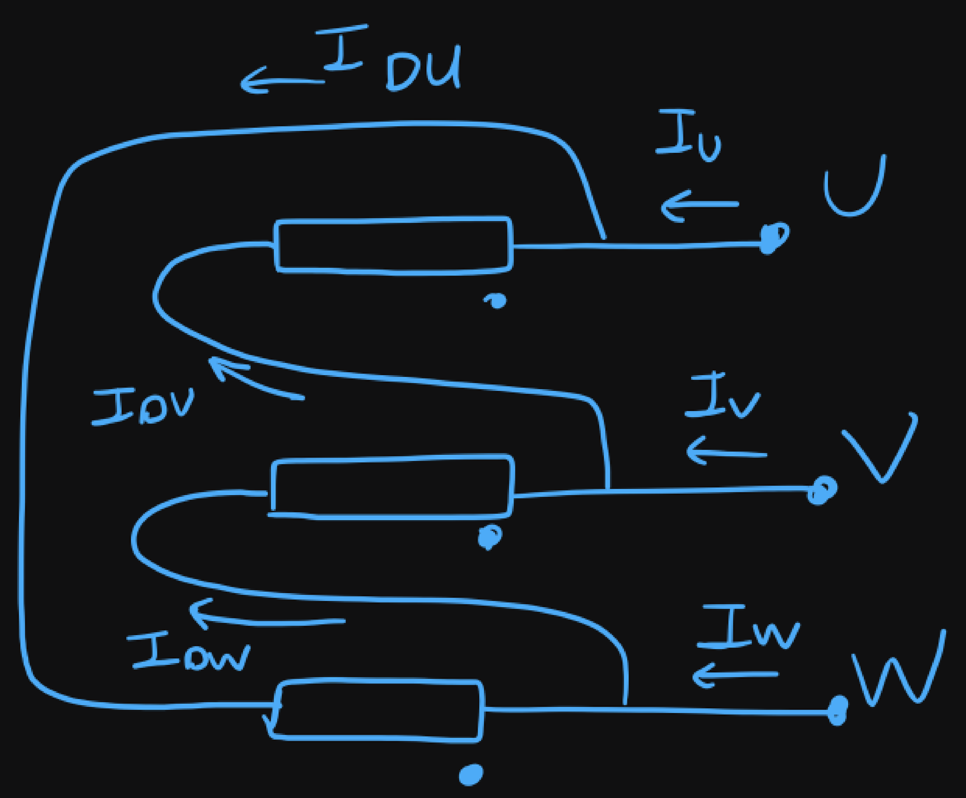
Οπότε $\bar{i}_{o\lambda} = \bar{i}_1 + \bar{i}_2 \Leftrightarrow \boxed{\bar{i}_{o\lambda} = 0{,}82\angle{-31{,}54°}}$

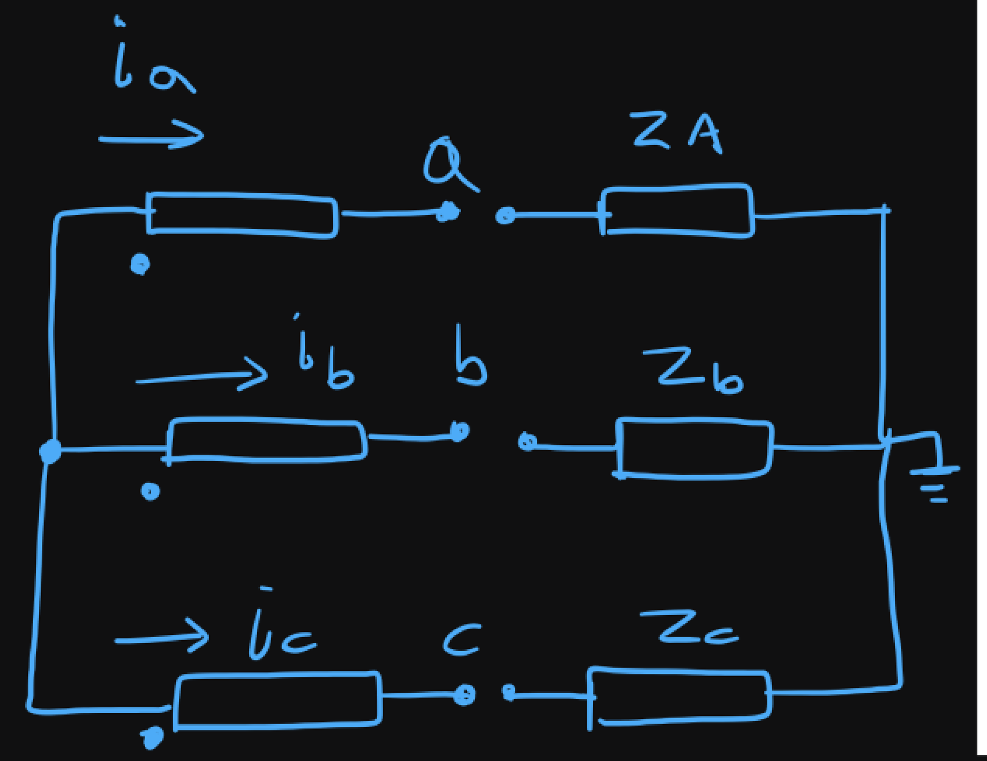
δ) Θα βρούμε αρχικά την ενεργή και άεργη ισχύ στο σημείο A.

- $p_A = p_1 + p_2 = p_1 + s\cdot\cos(\varphi_2) = 0{,}375 + 0{,}5 \cdot 0{,}8 \Leftrightarrow \underline{p_A = 0{,}775\ pu}$
- $q_A = q_1 + i_1^2 \cdot x_{line} + q_2 = p_1 \cdot \tan\varphi_1 + i_1^2 \cdot x_{line} + s \cdot \sin(\varphi_2) = 0{,}375 \cdot 0{,}5 + 0{,}4^2 \cdot 0{,}48 + 0{,}5 \cdot 0{,}6 \Leftrightarrow \underline{q_A = 0{,}5643\ pu}$
- Οπότε για $\theta_A = \widehat{e, u'}$ έχουμε $\tan\theta_A = \frac{x_q{}' \cdot p_A}{u' + x_q{}' \cdot q_A} = \frac{0{,}8 \cdot 0{,}775}{1{,}14 + 0{,}8 \cdot 0{,}5643} \Leftrightarrow \tan\theta_A = 0{,}389 \Leftrightarrow \underline{\theta_A = 21{,}25°}$
- Επίσης $\tan\varphi_A = \frac{q_A}{p_A} = \frac{0{,}5643}{0{,}775} \Leftrightarrow \underline{\varphi_A = 36{,}05°}$

Άρα $e = u'\cos\theta_A + x_d' \cdot i_{o\lambda} \cdot \sin(\varphi_A + \theta_A) = 1{,}14 \cdot \cos(21{,}25°) + 1{,}254 \cdot 0{,}82 \cdot \sin(36{,}05° + 21{,}25°) \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow e = 1{,}927\ pu$, οπότε $\boxed{\bar{e} = 1{,}927\angle 21{,}25°}$ (ή όρισμα $21{,}25 + \angle u' = 29{,}91$?)





2. Ένας ΜΣ Dyn11, 20/0,4kV, 1000 kVA, u_k=0,15pu, 50 Hz τροφοδοτεί τα παρακάτω φορτία στην πλευρά της χαμηλής τάσης υπό ονομαστική τάση:

Φάση a: P= 150 kW, Q= 20 kVAr επαγωγικό

Φάση b: S= 150 kVA, cosφ = 0,8 επαγωγικό

Φάση c: P= 150 kW, cosφ = 0,8 επαγωγικό

Να υπολογιστούν για την πλευρά της ΥΤ (α) τα ρεύματα τυλιγμάτων και (β) το ομοπολικό ρεύμα I_{0D} εντός του τριγώνου.

(3 μονάδες)

α) Αρχικά θα βρούμε τα ρεύματα i_a, i_b και i_c:

- $\bar{i}_a = \left(\dfrac{\bar{S}}{\bar{V}_{\varphi a}}\right)^* = \left(\dfrac{150+j20}{\frac{0,4}{\sqrt{3}}\angle 0^\circ}\right)^* = \dfrac{150-j20}{\frac{0,4}{\sqrt{3}}} \Leftrightarrow \underline{\bar{i}_a = 655\angle -7{,}59^\circ \text{ A}}$

- $i_b = \dfrac{S}{V_{\varphi b}} = \dfrac{150}{\frac{0,4}{\sqrt{3}}} \Leftrightarrow i_b = 649\text{ A}$ και $\varphi_b = \arccos(0{,}8) = 36{,}86^\circ$, οπότε $\bar{i}_b = 649\angle -120-36{,}86^\circ$
$\underline{\bar{i}_b = 649\angle -156{,}86^\circ \text{ A}}$

- $i_c = \dfrac{P}{V_{\varphi b}\cdot\cos\varphi} = \dfrac{150}{\frac{0,4}{\sqrt{3}}\cdot 0{,}8} \Leftrightarrow i_c = 811\text{ A}$ και $\varphi_c = 36{,}86^\circ$, οπότε $\bar{i}_c = 811\angle -240-36{,}86^\circ$
$\underline{\bar{i}_c = 811\angle -276{,}86^\circ \text{ A}}$

- Έχουμε $\ddot{u} = \dfrac{20}{0{,}4} = \dfrac{W_1}{\sqrt{3}W_2} \Leftrightarrow \dfrac{W_1}{W_2} = \dfrac{20\sqrt{3}}{0{,}4}$

Οπότε $\bar{I}_{DV}\cdot W_1 = \bar{i}_a\cdot W_2 \Leftrightarrow \boxed{\bar{I}_{DV} = 7{,}56\angle -7{,}59^\circ \text{ A}}$

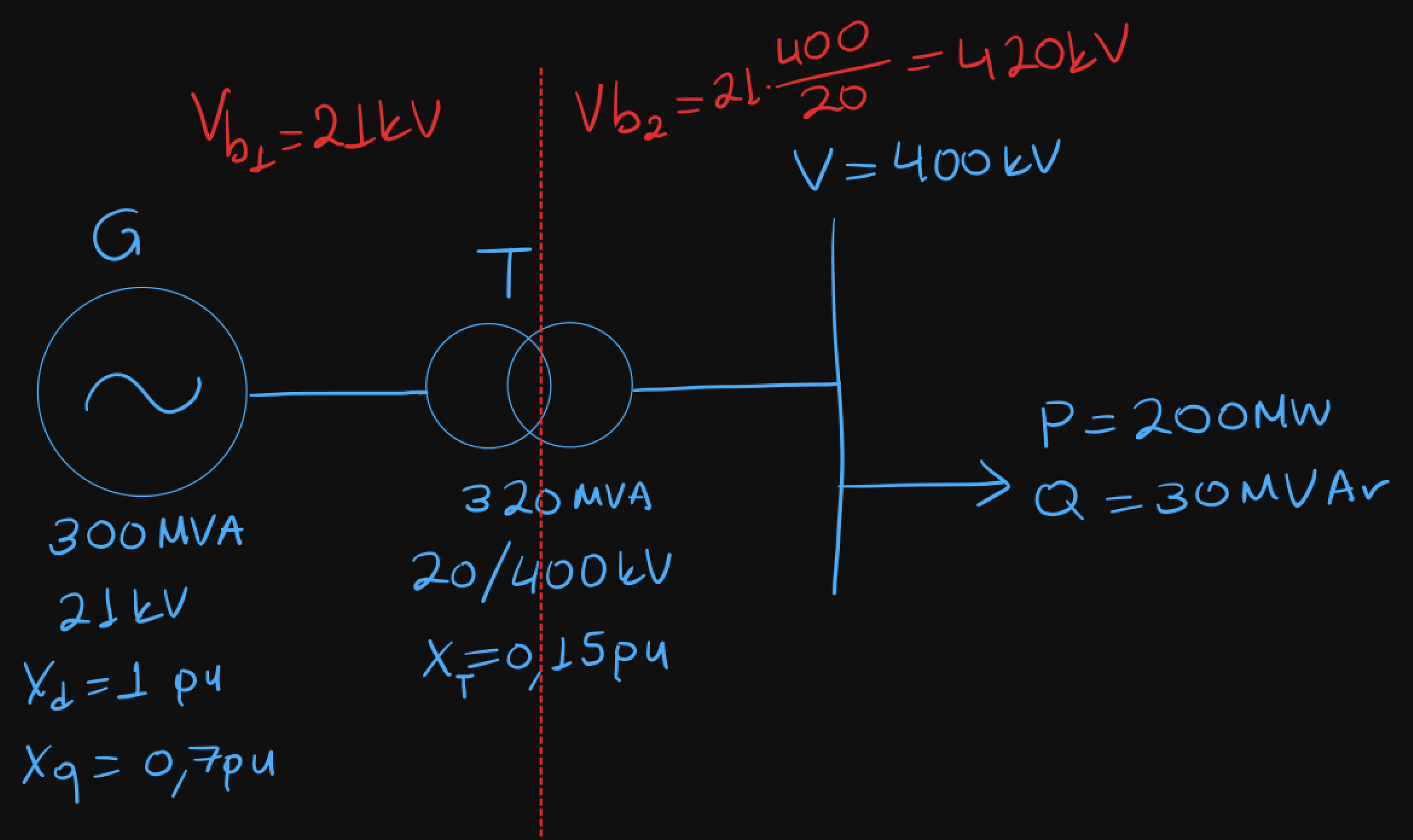
$\bar{I}_{DW}\cdot W_1 = \bar{i}_b\cdot W_2 \Leftrightarrow \boxed{\bar{I}_{DW} = 7{,}49\angle -156{,}86^\circ \text{ A}}$

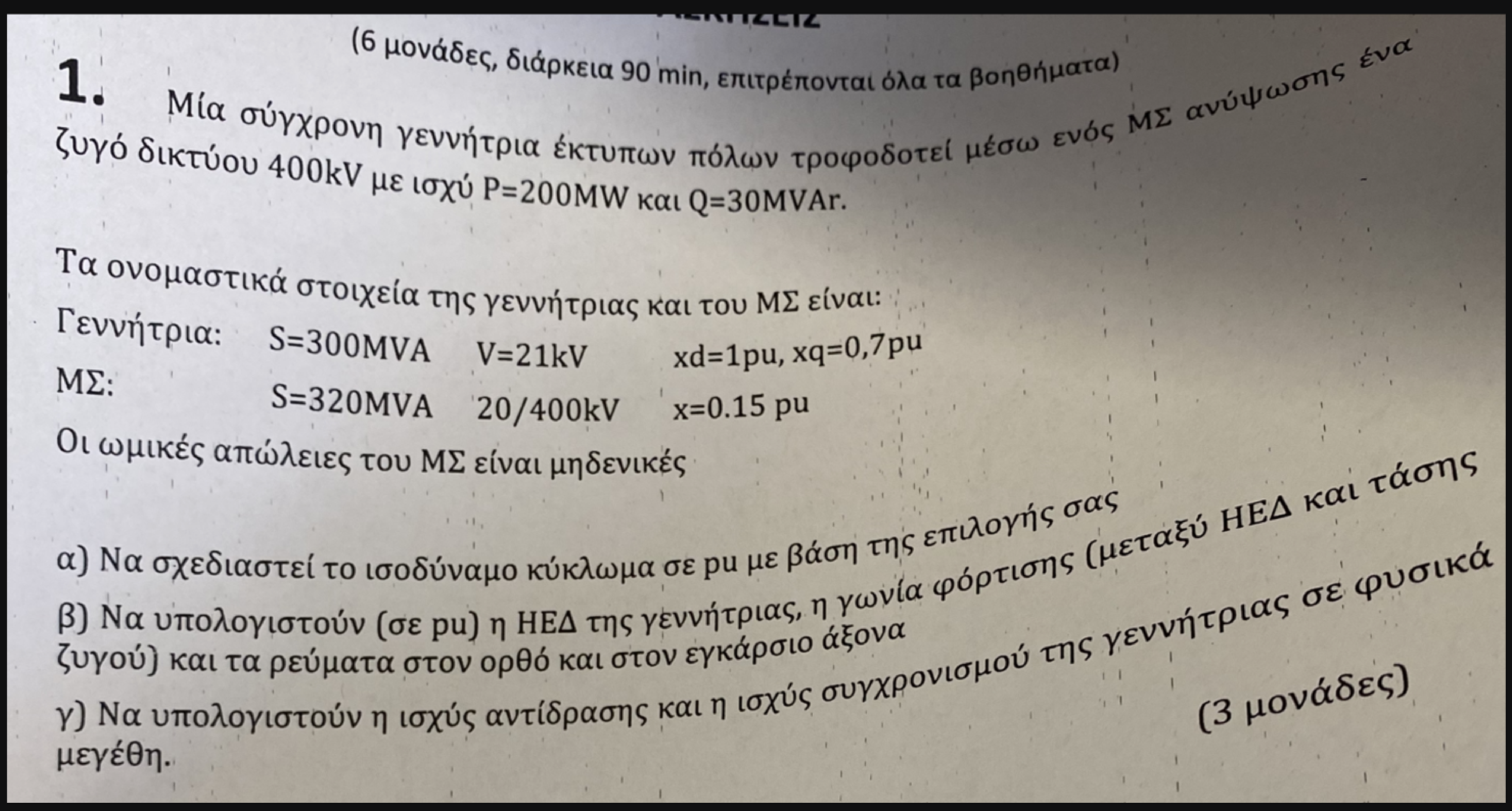
$\bar{I}_{DU}\cdot W_1 = \bar{i}_c\cdot W_2 \Leftrightarrow \boxed{\bar{I}_{DU} = 9{,}36\angle -276{,}86 \text{ A}}$

β) • Έχουμε $\bar{i}_0 = \frac{1}{3}(\bar{i}_a + \bar{i}_b + \bar{i}_c) \Leftrightarrow \bar{i}_0 = 162{,}36\angle 72{,}14^\circ \text{ A}$

οπότε $\bar{I}_{0D} = \dfrac{W_2}{W_1}\bar{i}_0 \Leftrightarrow \boxed{I_{0D} = 1{,}874\angle 72{,}14^\circ \text{ A}}$

Λύσεις Ιαν. 2023




(6 μονάδες, διάρκεια 90 min, επιτρέπονται όλα τα βοηθήματα)

1. Μία σύγχρονη γεννήτρια έκτυπων πόλων τροφοδοτεί μέσω ενός ΜΣ ανύψωσης ένα ζυγό δικτύου 400kV με ισχύ P=200MW και Q=30MVAr.

Τα ονομαστικά στοιχεία της γεννήτριας και του ΜΣ είναι:

Γεννήτρια: S=300MVA V=21kV xd=1pu, xq=0,7pu

ΜΣ: S=320MVA 20/400kV x=0.15 pu

Οι ωμικές απώλειες του ΜΣ είναι μηδενικές

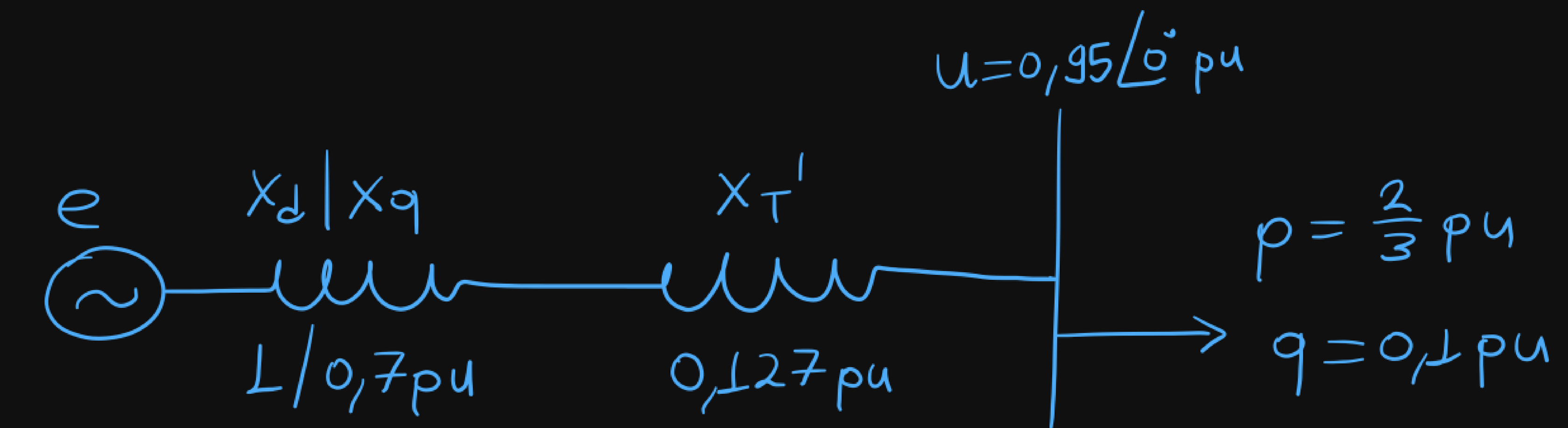
α) Να σχεδιαστεί το ισοδύναμο κύκλωμα σε pu με βάση της επιλογής σας

β) Να υπολογιστούν (σε pu) η ΗΕΔ της γεννήτριας, η γωνία φόρτισης (μεταξύ ΗΕΔ και τάσης ζυγού) και τα ρεύματα στον ορθό και στον εγκάρσιο άξονα

γ) Να υπολογιστούν η ισχύς αντίδρασης και η ισχύς συγχρονισμού της γεννήτριας σε φυσικά μεγέθη. (3 μονάδες)

α) Επιλέγουμε $S_b=300MVA$, οπότε:

- $X_T'=X_T\left(\frac{300}{320}\right)\left(\frac{20}{21}\right)^2=0{,}15\cdot0{,}9375\cdot0{,}907 \Leftrightarrow \underline{X_T'=0{,}127\text{ pu}}$
- $u=\frac{V}{V_{b_2}}=\frac{400}{420}\Leftrightarrow \underline{u=0{,}95\text{ pu}}$
- $p=\frac{P}{S_b}=\frac{200}{300}\Leftrightarrow \underline{p=\frac{2}{3}\text{ pu}}$
- $q=\frac{Q}{S_b}=\frac{30}{300}\Leftrightarrow \underline{q=0{,}1\text{ pu}}$



$\tan\varphi=\frac{q}{p}=\frac{0{,}1}{\frac{2}{3}}=\frac{3}{20}$

$\varphi=8{,}53^\circ$

$\cos\varphi=0{,}98$

β) • $i=\frac{p}{u\cdot\cos\varphi}=\frac{\frac{2}{3}}{0{,}95\cdot0{,}98}\Leftrightarrow i=0{,}71$ pu οπότε $\underline{\bar{i}=0{,}71\angle{-8{,}53^\circ}\text{ pu}}$

- $X_q'=X_q+X_T'=0{,}7+0{,}127\Leftrightarrow \underline{X_q'=0{,}827\text{ pu}}$
- $X_d'=X_d+X_T'=1+0{,}127\Leftrightarrow \underline{X_d'=1{,}127\text{ pu}}$

Οπότε $\tan\theta=\frac{X_q'\cdot p}{u^2+X_q'\cdot q}=\frac{0{,}827\cdot\frac{2}{3}}{0{,}95^2+0{,}827\cdot0{,}1}=0{,}55\Leftrightarrow \boxed{\theta=28{,}81^\circ}$

και $e=u\cdot\cos\theta+X_d'\cdot i\cdot\sin(\varphi+\theta)=0{,}95\cdot\cos(28{,}81^\circ)+1{,}127\cdot0{,}68\cdot\sin(8{,}53^\circ+28{,}81^\circ)\Leftrightarrow \underline{e=1{,}297\text{ pu}}$

δηλαδή $\boxed{\bar{e}=1{,}297\angle 28{,}81^\circ\text{ pu}}$

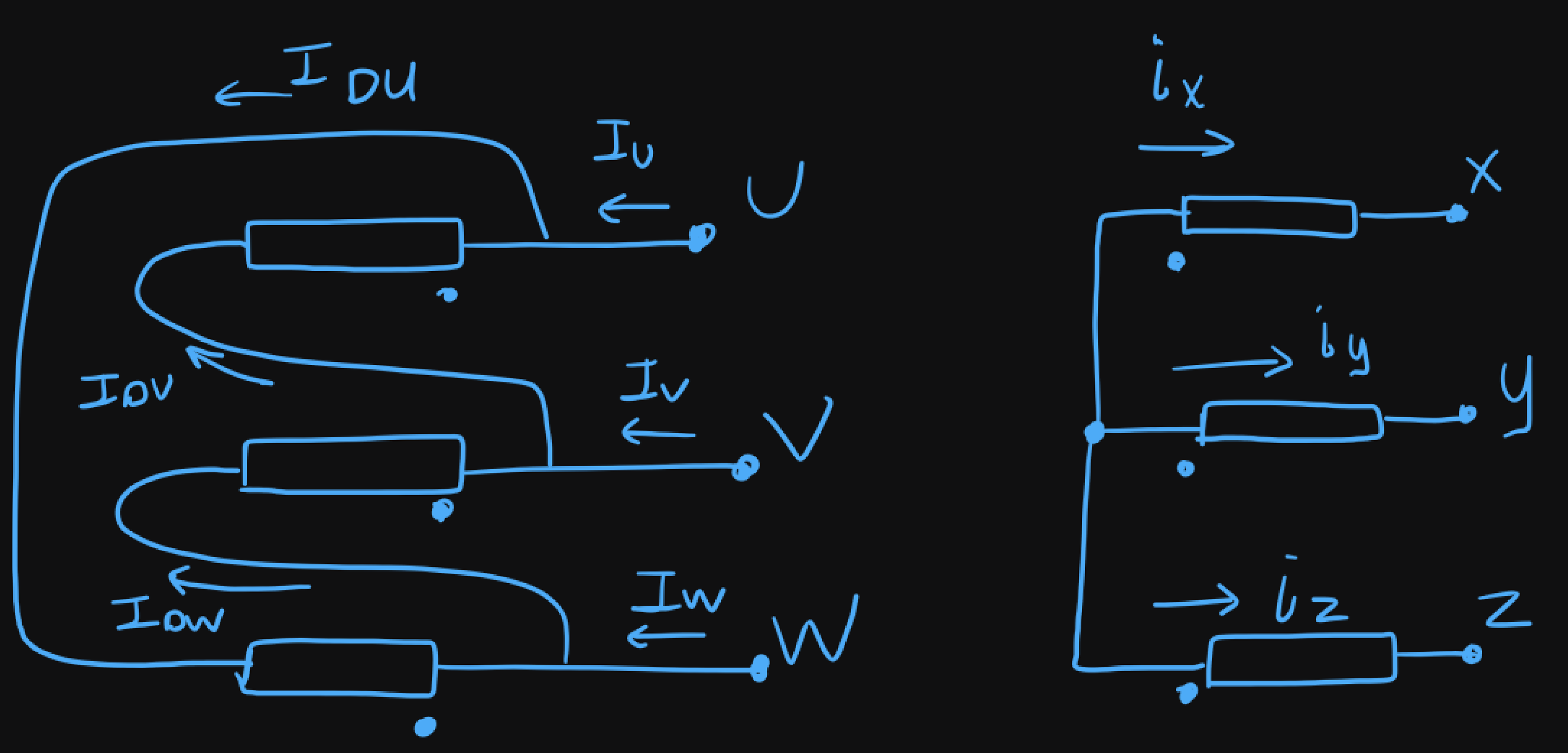
- $i_d=-i\sin(\theta+\varphi)=-0{,}68\cdot\sin(8{,}53^\circ+28{,}81^\circ)\Leftrightarrow \boxed{i_d=-0{,}41\text{ pu}}$ (στον Im άξονα)
- $i_q=i\cos(\theta+\varphi)=0{,}68\cdot\cos(8{,}53^\circ+28{,}81^\circ)\Leftrightarrow \boxed{i_q=0{,}54\text{ pu}}$ (στον Re άξονα)

γ) • Ισχύς αντίδρασης: $p_r=\frac{u^2}{2}\sin(2\theta)\left(\frac{1}{X_q'}-\frac{1}{X_d'}\right)=\frac{0{,}95^2}{2}\sin(2\cdot28{,}81^\circ)\left(\frac{1}{0{,}827}-\frac{1}{1{,}127}\right)\Leftrightarrow \underline{p_r=0{,}122\text{ pu}}$

Οπότε $P_r=p_r\cdot S_b=0{,}122\cdot300M\Leftrightarrow \boxed{P_r=36{,}6\text{ MW}}$

- Ισχύς συγχρονισμού: $\frac{\partial p}{\partial\theta}=\frac{u\cdot e}{X_d'}\cos\theta+u^2\left(\frac{1}{X_q'}-\frac{1}{X_d'}\right)\cos(2\theta)\Leftrightarrow \underline{\frac{\partial p}{\partial\theta}=1{,}113\text{ pu/rad}}$

Οπότε $\frac{\partial P}{\partial\theta}=\frac{\partial p}{\partial\theta}\cdot S_b=1{,}113\cdot300M\Leftrightarrow \boxed{\frac{\partial P}{\partial\theta}=333{,}9\text{ MW/rad}}$



2. Ένας ΜΣ διανομής Dyn5, 20/0,4kV τροφοδοτείται στην πλευρά της υψηλής ενώ τ
άκρα του στην πλευρά της χαμηλής τάσης βρίσκονται σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματο
Γίνεται σφάλμα μεταξύ της πρώτης φάσης στη χαμηλή τάση και του ουδετέρου μέσ
αντίστασης σφάλματος 5Ω.

α) Να υπολογιστούν τα ρεύματα γραμμής στην υψηλή τάση και το ρεύμα τριγώνου.

β) Πόσο θα διέφερε το αποτέλεσμα αν το ίδιο σφάλμα είχε γίνει μεταξύ της τρίτης φάσης κ
του ουδετέρου;

(3 μονάδες)

α) • Έχουμε $\bar{i}_x = \dfrac{\bar{U}_{x,\varphi}}{R_x} = \dfrac{\frac{400}{\sqrt{3}}\angle 0^\circ}{5} \Leftrightarrow \underline{\bar{i}_x = 46,18\angle 0^\circ \text{ A}}$, $\bar{i}_y = 0$ και $\bar{i}_z = 0$

• $\ddot{u} = \dfrac{20}{0,4} = \dfrac{w_1}{\sqrt{3}w_2} \Leftrightarrow \dfrac{w_1}{w_2} = \dfrac{20\sqrt{3}}{0,4}$

• $\bar{I}_{DV} \cdot w_1 = \bar{i}_x \cdot w_2 \Leftrightarrow \bar{I}_{DV} = \dfrac{w_2}{w_1}\bar{i}_x = \dfrac{0,4}{20\sqrt{3}} \cdot 46,18\angle 0^\circ \Leftrightarrow \underline{\bar{I}_{DV} = 0,533\angle 0^\circ \text{ A}}$

• $\bar{I}_{DW} \cdot w_1 = \bar{i}_y \cdot w_2 \Leftrightarrow \underline{\bar{I}_{DW} = 0}$ και $\bar{I}_{DU} \cdot w_1 = \bar{i}_z \cdot w_2 \Leftrightarrow \underline{\bar{I}_{DU} = 0}$

• $\bar{I}_U = \bar{I}_{DU} - \bar{I}_{DV} \Leftrightarrow \boxed{\bar{I}_U = 0,533\angle 180^\circ \text{ A}}$

• $\bar{I}_V = \bar{I}_{DV} - \bar{I}_{DW} \Leftrightarrow \boxed{\bar{I}_V = 0,533\angle 0^\circ \text{ A}}$

• $\bar{I}_W = \bar{I}_{DW} - \bar{I}_{DU} \Leftrightarrow \boxed{\bar{I}_W = 0}$

• $\bar{i}_0 = \frac{1}{3}(\bar{i}_x + \cancel{\bar{i}_y} + \cancel{\bar{i}_z}) \Leftrightarrow \bar{i}_0 = 15,39\angle 0^\circ \text{ A}$ οπότε $\bar{I}_{0D} = \dfrac{w_2}{w_1}\bar{i}_0 = \dfrac{0,4}{20\sqrt{3}} \cdot 15,39\angle 0^\circ \Leftrightarrow$

$\boxed{\bar{I}_{0D} = 0,177\angle 0^\circ \text{ A}}$

β) Με την ίδια λογική θα έχουμε $\bar{i}_z = \dfrac{\bar{U}_{z,\varphi}}{R} = \dfrac{\frac{400}{\sqrt{3}}\angle -240^\circ}{5} \Leftrightarrow \underline{\bar{i}_z = 46,18\angle -240^\circ \text{ A}}$ $(\bar{i}_{x,y} = 0)$

και $\underline{\bar{I}_{DU} = 0,533\angle -240^\circ}$ A $(\bar{I}_{DV}, \bar{I}_{DW} = 0)$

και $\boxed{\bar{I}_U = 0,533\angle -240^\circ \text{ A}}$, $\bar{I}_W = 0,533\angle -240+180^\circ \Leftrightarrow \boxed{\bar{I}_W = 0,533\angle -60^\circ \text{ A}}$ $(\bar{I}_V = 0)$

και $\bar{i}_0 = 15,39\angle -240^\circ$, οπότε $\boxed{\bar{I}_{0D} = 0,177\angle -240^\circ}$