

### ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ

#### Θέμα 1

[μονάδες 6]

Μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης διέγερσης, που διαθέτει τυλίγματα αντιστάθμισης, διαθέτει τα εξής ονομαστικά μεγέθη λειτουργίας :  $P_{out} = 172 \text{ kW}$ ,  $V_T = 430 \text{ V}$ ,  $n_{ov} = 1800 \text{ rpm}$ . Η καμπύλη μαγνήτισης της γεννήτριας φαίνεται στο σχήμα της επόμενης σελίδας. Η μηχανή έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :  $R_A = 0,05 \Omega$ ,  $R_F = 20 \Omega$ ,  $R_{adj} = \text{από } 0 \text{ έως } 300 \Omega$ ,  $V_F = 430 \text{ V}$ .

1.0 [0,3] Ποιο είναι το ρεύμα φορτίου  $I_L$ , στη λειτουργία της μηχανής με τα ονομαστικά μεγέθη ;

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_T} = \frac{172 \text{ kW}}{430 \text{ V}} = \frac{172.000 \text{ W}}{430 \text{ V}} \Rightarrow \boxed{I_L = 400 \text{ A}}$$

Στην εκφώνηση του θέματος κατά την εξέταση είχε δοθεί λανθασμένα  $V_T = 250 \text{ V}$

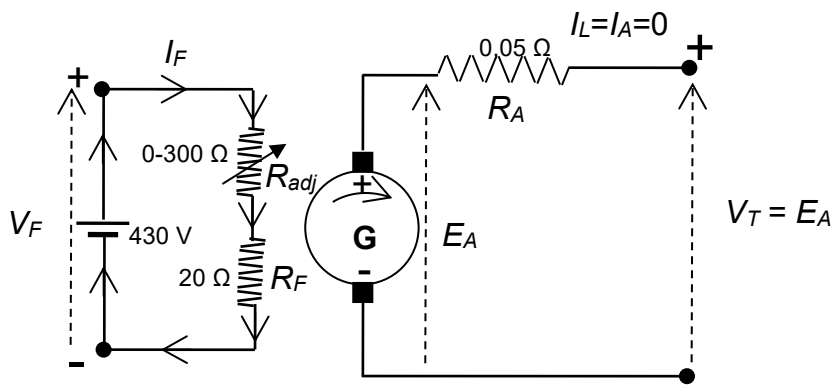
Οπότε η απάντηση σε αυτή την περίπτωση είναι

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_T} = \frac{172 \text{ kW}}{250 \text{ V}} = \frac{172.000 \text{ W}}{250 \text{ V}} \Rightarrow I_L = 688 \text{ A}$$

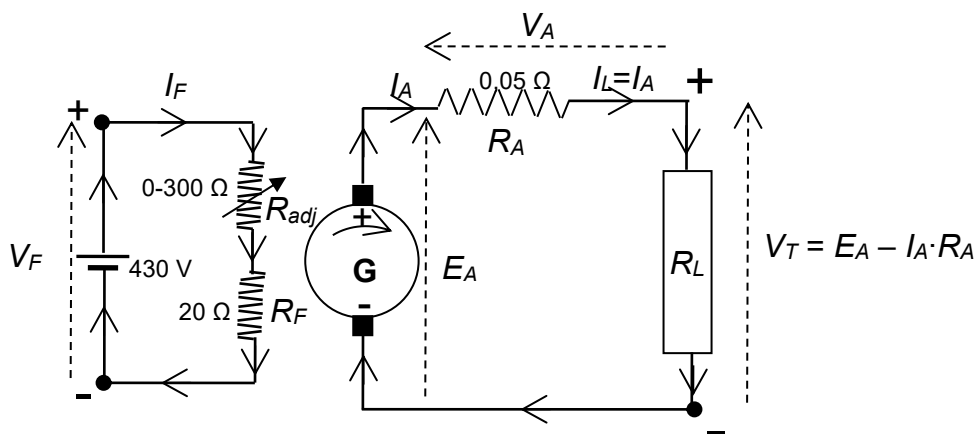
Αυτό δεν επηρεάζει σε τίποτα τα υπόλοιπα ερωτήματα του θέματος

1.1 [0,8] Να σχεδιάσετε τα ισοδύναμα κυκλώματα για τη λειτουργία της γεννήτριας α) χωρίς φορτίο και β) με φορτίο  $R_L$ .

**ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ (NO LOAD)**



**ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ (LOAD)**



1.2 [1,5] Αν η μεταβλητή αντίσταση  $R_{adj}$  του κυκλώματος διέγερσης της γεννήτριας ρυθμιστεί στα 63 Ω και η κινητήρια μηχανή περιστρέφει τη γεννήτρια με ταχύτητα  $n=1600$  rpm, ποια θα είναι η τάση στα άκρα της γεννήτριας  $V_T$ , όταν αυτή λειτουργεί χωρίς φορτίο ;

Βρίσκουμε το ρεύμα διέγερσης και από αυτό την επαγωγική τάση.

$$R_{F \text{ ολική}} = R_F + R_{adj} = 20 + 63 = 83 \Omega$$

$$I_F = V_T / R_{F \text{ ολική}} = 430 \text{ V} / 83 \Omega = 5,2 \text{ A}$$

Το ρεύμα διέγερσης, συνδέεται με την επαγωγική τάση που προκαλεί στη γεννήτρια, μέσω της καμπύλης μαγνήτισης  $E_A$  vs.  $I_F$ . Από την γραφική παράσταση  $E_A$  vs.  $I_F$  διαβάζουμε ότι ρεύμα διέγερσης 5,2 A θα προκαλούσε επαγωγική τάση στη γεννήτρια ίση με  $E_{A0}=430$  V αν η ταχύτητα της γεννήτριας ήταν  $n_{ov} = 1800$  rpm

$$I_F = 5,2 \text{ A} \xrightarrow{\text{καμπύλη μαγνήτισης}} E_{A0} = 430 \text{ V}$$

Όμως η γεννήτρια περιστρέφεται με ταχύτητα  $n = 1600$  rpm και έτσι η επαγωγική τάση που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας είναι

$$\frac{E_A}{E_{A0}} = \frac{n}{n_{ov}} \Rightarrow E_A = E_{A0} \cdot \frac{n}{n_{ov}} \Rightarrow E_A = 430 \text{ V} \cdot \frac{1600 \text{ rpm}}{1800 \text{ rpm}} \Rightarrow E_A = 382 \text{ V}$$

[Η επαγωγική τάση είναι πάντοτε ανάλογη της ταχύτητας της γεννήτριας  $E_A \propto \omega \propto n$ . Αλλά η επαγωγική τάση εξαρτάται γραμμικά από το ρεύμα διέγερσης μόνο στη γραμμική περιοχή της καμπύλης μαγνήτισης, του σιδηρομαγνητικού πυρήνα του στάτη, πριν αρχίσει να εμφανίζεται το φαινόμενο κορεσμού. Εκεί η μαγνητική ροή είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης  $\Phi = k I_F$  και  $E_A = K \Phi \omega = K k \cdot I_F \omega$ . Μόνο αν δεν έχουμε την καμπύλη μαγνήτισης θεωρούμε ότι η μηχανή δουλεύει στη γραμμική περιοχή και χρησιμοποιούμε τις παραπάνω σχέσεις.]

Επειδή η μηχανή λειτουργεί χωρίς φορτίο δεν διαρρέεται από ρεύμα και δεν υπάρχει πτώση τάσης στην αντίσταση του τυμπάνου. Οπότε ισχύει

$$V_T = E_A = 382 \text{ V}$$

1.3 [0,6] Ποια θα ήταν η αντίστοιχη με το ερώτημα 1.2 τάση εξόδου αν συνδεόταν στη γεννήτρια ένα φορτίο που προκαλούσε  $I_L = 360$  A ;

$$I_A = I_L = 360 \text{ A}$$

$$V_T = E_A - I_A R_A = 382 \text{ V} - 360 \text{ A} \cdot 0,05 \Omega \Rightarrow V_T = 364 \text{ V}$$

1.4 [0,6] Με ποιο τρόπο μπορεί η γεννήτρια να αποκτήσει ξανά στα άκρα της την τάση που είχε στη λειτουργία χωρίς φορτίο (του ερωτήματος 1.2) ;

Επειδή, με τη σύνδεση του φορτίου, η τάση στα άκρα της γεννήτριας ελαττώθηκε στα 364 V, για να πάρει πάλι την τιμή 382 V που είχε στο ερώτημα 1.2 θα πρέπει να βρεθεί τρόπος να αυξηθεί. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί με την αύξηση της επαγωγικής τάσης  $E_A$ . Επειδή η  $E_A$  αυξάνεται με την αύξηση του ρεύματος διέγερσης  $I_F$  πρέπει να αυξηθεί το ρεύμα διέγερσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την μείωση της μεταβλητής αντίστασης  $R_{adj}$  στο κύκλωμα διέγερσης.

1.5 [1,5] Ποια είναι η απαιτούμενη τιμή του ρεύματος διέγερσης  $I_F$ , για να ανακτήσει η γεννήτρια την τιμή της τάσης στα άκρα της που είχε στη λειτουργία χωρίς φορτίο ;

Όταν η τάση στα άκρα της γεννήτριας γίνει πάλι ίση με  $V_T = 382$  V το ρεύμα τυμπάνου θα έχει πάλι την ίδια τιμή  $I_A = I_L = V_T / R_L = 360$  A, αφού το φορτίο δεν άλλαξε. Η απαιτούμενη τιμή της  $E_A$  θα είναι

$$E_A = V_T + I_A R_A = 382 \text{ V} + 360 \text{ A} \cdot 0,05 \Omega \Rightarrow E_A = 400 \text{ V}$$

Για να παραχθεί τάση  $E_A = 400$  V όταν η ταχύτητα είναι  $n = 1600$  rpm, θα πρέπει η αντίστοιχη τάση  $E_{A0}$  για ταχύτητα  $n_{ov} = 1800$  rpm να είναι

$$\frac{E_{A0}}{E_A} = \frac{n_{ov}}{n} \Rightarrow E_{A0} = E_A \cdot \frac{n_{ov}}{n} \Rightarrow E_{A0} = 400 \text{ V} \cdot \frac{1800 \text{ rpm}}{1600 \text{ rpm}} \Rightarrow E_{A0} = 450 \text{ V}$$

Από την καμπύλη μαγνήτισης διαβάζουμε ότι η παραγωγή αυτής της τάσης απαιτεί ρεύμα διέγερσης

$$E_{A0} = 450 \text{ V} \xrightarrow{\text{καμπύλη μαγνήτισης}} I_F = 6,15 \text{ A}$$

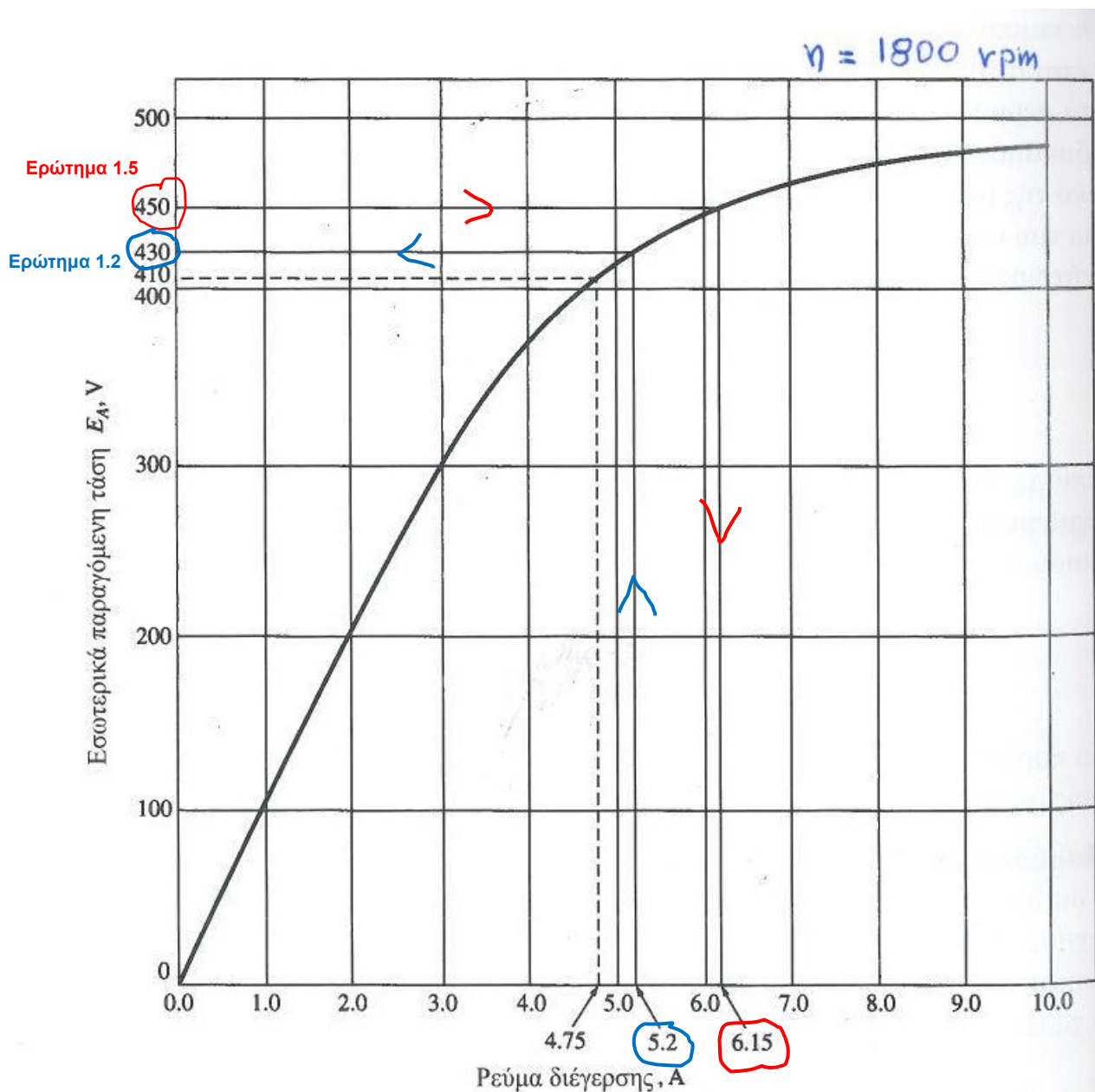
1.6 [0,4] Ποια είναι η αντίστοιχη τιμή της αντίστασης  $R_{adj}$  που προκαλεί αυτό το ρεύμα διέγερσης ;

Από το νόμο του Ohm στο κύκλωμα διέγερσης παίρνουμε

$$V_F = I_F \cdot R_{F \text{ ολικό}} \Rightarrow R_F + R_{adj} = \frac{V_F}{I_F} \Rightarrow R_{adj} = \frac{V_F}{I_F} - R_F = \frac{430 \text{ V}}{6,15 \text{ A}} - 20 \Omega \Rightarrow R_{adj} = 49,9 \Omega$$

1.7 [0,3] Σύμφωνα με το διάγραμμα της καμπύλης μαγνήτισης, ακόμα και όταν το ρεύμα διέγερσης μηδενίζεται  $I_F = 0$  και άρα δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο από τα πηνία διέγερσης, η μηχανή παράγει μια μικρή επαγωγική τάση στο τύμπανο ίση με  $E_A = 3 \text{ V}$ . Εξηγήστε πως συμβαίνει αυτό.

Οφείλεται στο φαινόμενο της μαγνητικής υστέρησης των σιδηρομαγνητικών υλικών. Όταν αφαιρεθεί το ρεύμα διέγερσης που προκαλεί το μαγνητικό πεδίο που μαγνητίζει ένα σιδηρομαγνητικό υλικό η μαγνήτισή του δεν επανέρχεται στο μηδέν ακόμα και αν αρχικά ήταν. Παραμένει στο υλικό μια μικρή τιμή μαγνήτισης (παραμένων μαγνητισμός) το μαγνητικό πεδίο της οποίας μπορεί να προκαλέσει μικρή επαγωγική τάση.



Σημείωση: Όταν το ρεύμα διέγερσης είναι μηδέν, η  $E_A$  είναι περίπου 3V.

**ΣΧΗΜΑ 9-48** Η καμπύλη μαγνήτισης της γεννήτριας του Παραδείγματος 9-9.

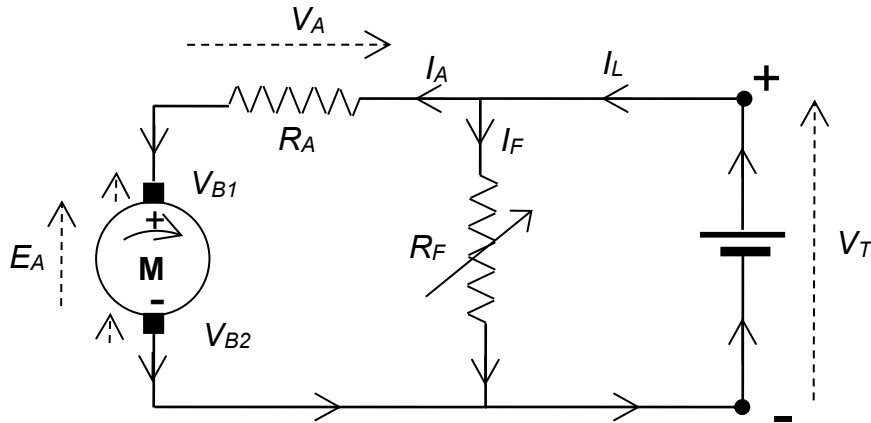
## Θέμα 2

[μονάδες 4]

Κινητήρας συνεχούς ρεύματος, παράλληλης διέγερσης, με ονομαστικά μεγέθη  $P_{out} = 50 \text{ Hp}$  και  $V_T = 500 \text{ V}$  έχει αντίσταση τυμπάνου  $R_A = 0,80 \Omega$  και αντίσταση παράλληλου πεδίου διέγερσης  $R_F = 100 \Omega$ , ενώ η πτώση τάσης στις ψήκτρες του συλλέκτη είναι  $V_B = 4 \text{ V}$ . Ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο ρεύμα  $I_L = 90 \text{ A}$  στο πλήρες φορτίο και περιστρέφεται με ταχύτητα  $n = 1200 \text{ rpm}$ .

2.1 [0,4] Να σχεδιαστεί το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα.

Το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου  $V_B = V_{B1} + V_{B2} = 4 \text{ V}$



2.2 [0,4] Να υπολογιστεί το ρεύμα τυμπάνου  $I_A$

$$I_L = 90 \text{ A} , \quad I_F = V_T / R_F = 500 \text{ V} / 100 \Omega \Rightarrow I_F = 5 \text{ A}$$

$$I_A = I_L - I_F = 90 \text{ A} - 5 \text{ A} \Rightarrow \boxed{I_A = 85 \text{ A}}$$

2.3 [0,4] Να υπολογιστεί η επαγόμενη τάση τυμπάνου  $E_A$

$$E_A = V_T - I_A R_A - V_B = 500 - 85 \cdot 0,8 - 4 \Rightarrow \boxed{E_A = 428 \text{ V}}$$

2.4 [0,4] Να υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα ( 1 Hp = 0,746 kW)

$$P_{out} = 50 \text{ Hp} \cdot 0,746 \text{ kW/ Hp} \Rightarrow P_{out} = 37,3 \text{ kW}$$

$$P_{in} = V_T \cdot I_L = 500 \text{ V} \cdot 90 \text{ A} \Rightarrow P_{in} = 45 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% = \frac{37,3 \text{ kW}}{45 \text{ kW}} \cdot 100 \Rightarrow \boxed{\eta = 82,9\%}$$

2.5 [0,4] Να υπολογιστεί η ροπή στον άξονα του κινητήρα  $\tau_{out}$

$$\omega = \frac{2\pi}{60} n = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1200}{60} = 2 \cdot 3,14 \cdot 20 = 4 \cdot 31,4 \Rightarrow \omega = 125,6 \text{ rad/s}$$

$$\tau_{out} = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{37.300 \text{ W}}{125,6 \text{ rad/s}} = 296,97 \text{ N} \cdot \text{m} \Rightarrow \boxed{\tau_{out} = 297 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

Μεταβάλλοντας την τάση τροφοδοσίας στα  $V_T = 450 \text{ V}$  , ρυθμίζουμε την αντίσταση του παράλληλου τυλίγματος διέγερσης στα  $R_F = 150 \Omega$  ώστε ο κινητήρας να απορροφά πάλι το ίδιο ρεύμα  $I_L = 90 \text{ A}$

2.6 [1,4] Να προσδιοριστεί η νέα ταχύτητα του κινητήρα  $n'$ .

Πρέπει να βρούμε τη νέα επαγωγική τάση  $E'_A$  που αναπτύσσεται και τη νέα μαγνητική ροή  $\Phi'$  που δημιουργείται ώστε να βρούμε την ταχύτητα από τον τύπο :

$$E'_A = K \Phi' \omega'$$

Η επαγωγική τάση αλλάζει επειδή άλλαξε και η τάση τροφοδοσίας και το ρεύμα διέγερσης άρα και το ρεύμα τυμπάνου :

$$E'_A = V'_T - I'_A R_A - V_B$$

Η μαγνητική ροή αλλάζει επειδή άλλαξε το ρεύμα διέγερσης :

$$\Phi' = k I'_F$$

Το ρεύμα διέγερσης αλλάζει επειδή άλλαξε και η τάση τροφοδοσίας και η αντίσταση του πηνίου διέγερσης

$$I'_F = V'_T / R'_F$$

Βρίσκουμε τα ρεύματα όπως και πριν

$$I_L = 90 \text{ A} \text{ σταθερό, } I'_F = V'_T / R'_F = 450 \text{ V} / 150 \Omega \Rightarrow I'_F = 3 \text{ A} , \quad I'_A = I_L - I'_F = 90 \text{ A} - 3 \text{ A} \Rightarrow I'_A = 87 \text{ A}$$

Η νέα επαγωγική τάση είναι :

$$E'_A = V'_T - I'_A R_A - V_B = 450 - 87 \cdot 0,8 - 4 \Rightarrow E'_A = 376,4 \text{ V}$$

Η νέα μαγνητική ροή είναι :

$$\left. \begin{aligned} \Phi' &= k I'_F \\ \Phi &= k I_F \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\Phi'}{\Phi} = \frac{k I'_F}{k I_F} = \frac{I'_F}{I_F} = \frac{3}{5} \Rightarrow \Phi' = 0,6 \cdot \Phi$$

Οπότε η νέα ταχύτητα είναι

$$\left. \begin{aligned} E'_A &= K \Phi' \omega' = K \Phi' \frac{2\pi}{60} n' \\ E_A &= K \Phi \omega = K \Phi \frac{2\pi}{60} n \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{n' \Phi'}{n \Phi} = \frac{E'_A}{E_A} \Rightarrow n' = n \frac{E'_A}{E_A} \frac{\Phi}{\Phi'} = 1200 \cdot \frac{376,4}{428} \cdot \frac{5}{3} \Rightarrow \boxed{n' = 1759 \text{ rpm}}$$

2.7 [0,6] Να υπολογιστεί η αναπτυσσόμενη ροπή

Η νέα γωνιακή ταχύτητα  $\omega'$  είναι

$$\left. \begin{aligned} \omega' &= \frac{2\pi}{60} n' \\ \omega &= \frac{2\pi}{60} n \end{aligned} \right\} \Rightarrow \omega' = \omega \frac{n'}{n} = 125,6 \cdot \frac{1759}{1200} \Rightarrow \omega' = 184 \text{ rad/s}$$

Η αναπτυσσόμενη ισχύς (μέρος της οποίας χάνεται σε μηχανικές απώλειες στον άξονα) είναι

$$P'_{\text{αναπτυσ}} = E'_A \cdot I'_A = 376,4 \text{ V} \cdot 87 \text{ A} \Rightarrow P'_{\text{αναπτυσ}} = 32.747 \text{ W}$$

$$\tau'_{\text{αναπτυσ}} = \frac{P'_{\text{αναπτυσ}}}{\omega'} = \frac{32.747 \text{ W}}{184 \text{ rad/s}} = 177,9 \text{ N} \cdot \text{m} \Rightarrow \boxed{\tau'_{\text{αναπτυσ}} = 178 \text{ N} \cdot \text{m}}$$