

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ ΙΟΥΝΙΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ ΕΤΟΥΣ 2022-23

ΜΑΘΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ-Θ (ΤΕ)

Τετάρτη, 7 Ιουνίου 2023, 10:00-11:30 αιθ. 2104
Εισηγητής: Κώστας Φιλίππιδης (kphilippides@uowm.gr)

ΘΕΜΑ 1. [3]

Κινητήρας ανεξάρτητης διέγερσης περιστρέφεται με ταχύτητα 2.200 rpm, τραβώντας ρεύμα οπλισμού 60 A σε τάση 300 V. Η αντίσταση του πηνίου οπλισμού είναι 0,2 Ω.

1.1 Σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα. [1]

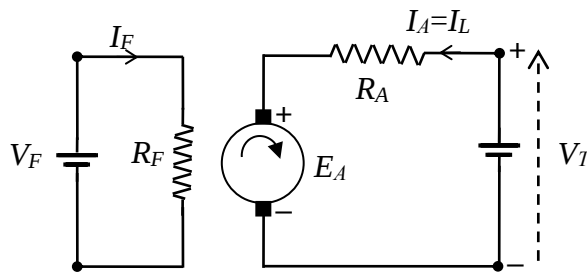
1.2 Τι ροπή αναπτύσσει ο κινητήρας; [1]

Το φορτίο στον κινητήρα αλλάζει, με σταθερή διέγερση και ο κινητήρας τραβάει 90 A στα 300 V.

1.3 Τι ροπή αναπτύσσει τώρα ο κινητήρας; [1]

Απαντήσεις

1.1



1.2 Βρίσκουμε την αναπτυσσόμενη ροπή από την ισχύ που μετατρέπεται από ηλεκτρική σε μηχανική:

$$E_A I_A = P_{conv} = \tau_{ind} \omega \Rightarrow \tau_{ind} = \frac{E_A I_A}{\omega}$$

Υπολογίζουμε την επαγωγική τάση από το κύκλωμα.

$$E_{A1} = V_T - I_{A1} R_A = 300 - (60)(0,2) = 300 - 12 = 288 \text{ V}$$

$$\tau_{ind1} = \frac{E_{A1} I_{A1}}{\omega_1} = \frac{(288)(60)}{2\pi(2.200) / 60} = \frac{(288)18}{22\pi} = 75,0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

1.3

Επειδή η αναπτυσσόμενη ροπή συνδέεται με το ρεύμα οπλισμού με τη σχέση $\tau_{ind} = K\Phi I_A$ όταν η διέγερση Φ παραμένει σταθερή η ροπή είναι ανάλογη με το ρεύμα οπλισμού :

$$\left. \begin{array}{l} \tau_{ind2} = K\Phi I_{A2} \\ \tau_{ind1} = K\Phi I_{A1} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\tau_{ind2}}{\tau_{ind1}} = \frac{K\Phi I_{A2}}{K\Phi I_{A1}} \Rightarrow \tau_{ind2} = \tau_{ind1} \frac{I_{A2}}{I_{A1}} = 75 \frac{90}{60} = 75 \cdot 1,5 = 112,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Αφού το ρεύμα αυξήθηκε επί 1,5 φορές το ίδιο αυξήθηκε και η ροπή. .

ΘΕΜΑ 2. [3]

Κινητήρας διέγερσης σειράς εξυπηρετεί φορτίο 15 Nm όταν διαρρέεται από ρεύμα 18 A. Αγνοήστε τις μηχανικές απώλειες και επίσης αγνοήστε τον κορεσμό (δηλ. $\Phi = cI_F$).

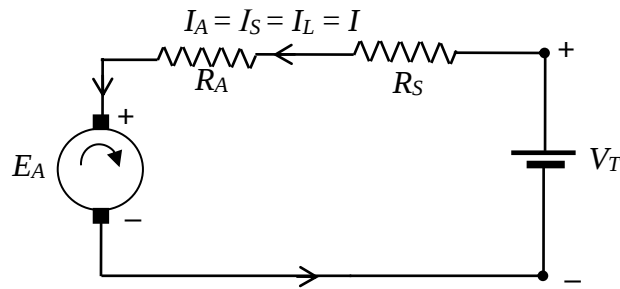
2.1 Σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα σημειώνοντας τις πολικότητες των τάσεων τις φορές των ρευμάτων και όλα τα στοιχεία του κυκλώματος ($V_T, E_A, I_A, I_F, I_S, R_A, R_S$).

2.2 Τι ρεύμα πρέπει να τραβήξει ο κινητήρας για να εξυπηρετήσει φορτίο 60 Nm;

2.3 Αν και για τα δύο φορτία παραδίδει ισχύ 3 kW με τι ταχύτητες περιστρέφεται κάθε φορά ;

Απαντήσεις

2.1



2.2

Επειδή αγνοούμε τις μηχανικές απώλειες $\tau_{load} = \tau_{ind} = K\Phi I_A$

$$\left. \begin{aligned} \tau_2 &= K\Phi_2 I_2 = KcI_2^2 \\ \tau_1 &= K\Phi_1 I_1 = KcI_1^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{I_2^2}{I_1^2} = \frac{\tau_2}{\tau_1} \Rightarrow I_2 = I_1 \sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}} = 18 \sqrt{\frac{60}{15}} = 18\sqrt{4} = 36 \text{ A}$$

2.3

$$P_{out} = \tau_1 \omega_1 \Rightarrow \omega_1 = \frac{P_{out}}{\tau_1} = \frac{3000}{15} = 200 \text{ rad/s}$$

$$n_1 = \frac{60}{2\pi} \omega_1 = 200 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ r}}{2\pi \text{ rad}} = 1910 \frac{\text{r}}{\text{min}}$$

$$P_{out} = \tau_2 \omega_2 \Rightarrow \omega_2 = \frac{P_{out}}{\tau_2} = \frac{3000}{60} = 50 \text{ rad/s}$$

$$n_2 = \frac{60}{2\pi} \omega_2 = 50 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ r}}{2\pi \text{ rad}} = 477,5 \frac{\text{r}}{\text{min}}$$

$$\text{Η } P_{out1} = P_{out2} \Rightarrow \tau_1 \omega_1 = \tau_2 \omega_2 \Rightarrow \tau_1 n_1 = \tau_2 n_2 \Rightarrow n_2 = n_1 \frac{\tau_1}{\tau_2} = (1.910) \frac{50}{200} \Rightarrow n_2 = 477,5 \text{ rpm}$$

ΘΕΜΑ 3. [4]

Γεννήτρια παράλληλης διέγερσης 16 kW, 400 V με $R_A = 0,15 \Omega$ και $R_F = 200 \Omega$ παραδίδει το πλήρες φορτίο της στην ονομαστική τάση όταν περιστρέφεται με ταχύτητα 2.000 rpm. Συνδέουμε τη μηχανή ως κινητήρα. Ο κινητήρας λαμβάνει ισχύ 16 kW σε τάση εισόδου 400 V.

3.1 Σχεδιάστε τα ισοδύναμα κυκλώματα της γεννήτριας και του κινητήρα σημειώνοντας τις πολικότητες των τάσεων, τις φορές των ρευμάτων και όλα τα στοιχεία του κυκλώματος ($V_T, E_A, I_A, I_F, I_L, R_A, R_F$) [1]

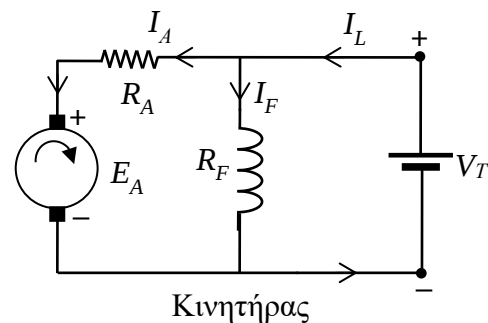
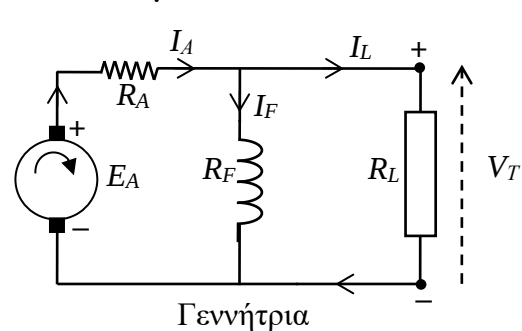
3.2 Ποια είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα? [2]

3.3 Τι ροπή αναπτύσσεται στη μηχανή όταν λειτουργεί ως γεννήτρια; [0,5]

3.4 Τι ροπή αναπτύσσεται στη μηχανή όταν λειτουργεί ως κινητήρας; [0,5]

Απαντήσεις

3.1 Κυκλώματα



Εξισώσεις

Μαγνητικές :

$$E_A = K\Phi \omega \quad \tau_{ind} = K\Phi I_A$$

Ηλεκτρικές Γεννήτριας

$$I_A = I_F + I_L \quad E_A = V_T + I_A R_A \quad V_T = I_F R_F \quad P_{out} = V_T I_L$$

Μηχανικές Γεννήτριας:

$$P_{in} = \tau_{app} \omega \quad \omega = \frac{2\pi}{60} n$$

Ηλεκτρικές Κινητήρα

$$I_L = I_F + I_A \quad V_T = E_A - I_A R_A \quad V_T = I_F R_F \quad P_{in} = V_T I_L$$

Μηχανικές Κινητήρα:

$$P_{out} = \tau_{load} \omega \quad \omega = \frac{2\pi}{60} n$$

Μετατρεπόμενη ισχύς:

$$P_{conv} = E_A I_A = \tau_{ind} \omega$$

3.2 [2]

Γεννήτρια (generator)

$$I_F = \frac{V}{R_F} = \frac{400}{200} = 2 \text{ A}, \quad I_L = \frac{P_{out}}{V_T} = \frac{16.000}{400} = \frac{160}{4} = 40 \text{ A}, \quad I_A = I_L + I_F = 40 + 2 = 42 \text{ A}$$

$$\text{επαγωγική τάση γεννήτριας: } E_{A(g)} = V_T + I_A R_A = 400 + (42)(0,15) = 400 + 6,3 = 406,3 \text{ V}$$

Κινητήρας (motor)

$$I_F = \frac{V}{R_F} = \frac{400}{200} = 2 \text{ A}, \quad I_L = \frac{P_{in}}{V_T} = \frac{16.000}{400} = \frac{160}{4} = 40 \text{ A}, \quad I_A = I_L - I_F = 40 - 2 = 38 \text{ A}$$

$$\text{επαγωγική τάση κινητήρα: } E_{A(m)} = V_T - I_A R_A = 400 - (38)(0,15) = 400 - 5,7 = 394,3 \text{ V}$$

Η διέγερση είναι ίδια και στις δύο συνδέσεις αφού το ρεύμα διέγερσης είναι ίδιο. Οι επαγωγικές τάσεις συνδέονται με τις αντίστοιχες ταχύτητες με τον τύπο $E_A = K\Phi\omega = K'\Phi n$, οπότε διαιρώντας παίρνουμε:

$$\frac{n_m}{n_g} = \frac{E_{A(m)}}{E_{A(g)}} \Rightarrow n_m = n_g \frac{E_{A(m)}}{E_{A(g)}} = (2.000) \frac{394,3}{406,3} = 1.941 \text{ rpm}$$

3.3 [0,5] και 3.4 [0,5]

Μπορούμε να βρούμε τις ροπές από την εξίσωση της μετατρεπόμενης ισχύος από μηχανική σε ηλεκτρική και αντίστροφα.

Γεννήτρια (generator) : μηχανική σε ηλεκτρική

$$\tau_{(g)} \omega_{(g)} = E_{A(g)} I_{A(g)} \Rightarrow \tau_{(g)} = \frac{E_{A(g)} I_{A(g)}}{\omega_{(g)}} = \frac{(406,3)(42)}{2\pi(2.000)/60} = 81,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Κινητήρας (motor) : ηλεκτρική σε μηχανική

$$E_{A(m)} I_{A(m)} = \tau_{(m)} \omega_{(m)} \Rightarrow \tau_{(m)} = \frac{E_{A(m)} I_{A(m)}}{\omega_{(m)}} = \frac{(394,3)(38)}{2\pi(1.941)/60} = 73,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ισοδύναμα μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνδυασμένη σταθερά $K\Phi$ που είναι η ίδια και στις δύο περιπτώσεις και να υπολογίσουμε απευθείας την αναπτυσσόμενη ροπή από τη σχέση ορισμού της $\tau = K\Phi I_A$

$$\left. \begin{array}{l} E_{A(g)} = K\Phi \omega_{(g)} \\ E_{A(m)} = K\Phi \omega_{(m)} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} K\Phi = \frac{E_{A(g)}}{\omega_{(g)}} = \frac{406,3}{2\pi(2.000)/60} = 1,94 \text{ Wb} \\ K\Phi = \frac{E_{A(m)}}{\omega_{(m)}} = \frac{394,3}{2\pi(1.941)/60} = 1,94 \text{ Wb} \end{array}$$

$$\tau_{(g)} = K\Phi I_{A(g)} = (1,94)(42) = 81,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\tau_{(m)} = K\Phi I_{A(m)} = (1,94)(38) = 73,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$