

מכונות חשמל והנע ר. להנדסאים – הנדסת חשמל

פתרון מבחן 97161, 90619 קיץ תשפ"ה – 2025 – מועד א'

שאלה 1:

א.

$$P_{cu} = I_a^2 \cdot R_a = 50^2 \cdot 0.15 = 375W$$

$$P_{loss_total} = P_{cu} + P_{iron} + P_{mech} = 375 + 900 + 600 = 1875W$$

$$P_{out} = V \cdot I = 240 \cdot 50 = 12000W$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss_total} = 12000 + 1875 = 13,875W$$

$$\eta = P_{out} / P_{in} = 12000 / 13875 = 86.52\%$$

ב.

$$E_n = V + I_a \cdot R_a = 240 + 50 \cdot 0.15 = 247.5V$$

ג.

$$V = E - I_a \cdot R_a = 247.5 - 20 \cdot 0.15 = 244.5V$$

ד. ניתן להגדיל את מתח/זרם העירור וע"י כך להגדיל את הכא"מ של הגנרטור וזה יפצה על מפל המתח.

שאלה 2:

א.

$$I_L = I_{ph} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos\phi} = \frac{7500000}{\sqrt{3} \cdot 13800 \cdot 0.8} = 392.9A$$

$$\phi = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^\circ \Rightarrow I = 392.9 \angle -36.87^\circ A$$

$$Z_s = R_a + jX_s = 0.3 + j6.5, \Omega$$

$$V\phi = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{13,800}{\sqrt{3}} = 7967.4V$$

$$E\phi = V\phi + I_{ph} \cdot Z_s = 7967.4 + 392.9 \angle -36.87^\circ \cdot (0.3 + j6.5) = 9794.7 \angle 11.62^\circ, V$$

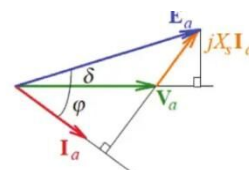
ב.

$$P_{cu} = 3 \cdot I\phi^2 \cdot R_a = 3 \cdot 392.9^2 \cdot 0.3 = 138500W$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{cu} + P_{mech} + P_{core} = 7.5 \cdot 10^6 + 138500 + 70000 + 40000 = 7748500W$$

$$\eta = P_{out} / P_{in} = 7.5M / 7,748,500 = 96.8\%$$

ג.



שאלה 3:

.א

$$I_{1n} = S_n / U_{1n} = 6000 / 230 = 26.09 \text{ A}$$

$$I_{2n} = S_n / U_{2n} = 6000 / 115 = 52.17 \text{ A}$$

$$K = U_{1n} / U_{2n} = 230 / 115 = 2$$

$$I_2' = I_2 / K = 52.17 / 2 = 26.09 \text{ A}$$

$\cos\phi = 0.85:$

$$Z = 0.5 + j2.9 \rightarrow I_2' = 26.09 \angle -31.8^\circ \text{ A}$$

$$U_2' = U_1 - \Delta V = 230 - 26.09 \angle -31.8^\circ \cdot (0.5 + j2.9) = 188 \text{ V}$$

$$U_2 = U_2' / k = 188 / 2 = 94 \text{ V}$$

$\cos\phi = 1:$

$$U_2' = U_1 - \Delta V = 230 - 26.09 \cdot (0.5 + j2.9) = 229.76 \text{ V}$$

$$U_2 = U_2' / k = 229.76 / 2 = 114.88 \text{ V}$$

.ב

$\cos\phi = 0.85:$

$$P_1 = 6000 \cdot 0.85 = 5100 \text{ W}$$

$$P_2 = 5100 - 26.09^2 \cdot 0.5 = 4759 \text{ W}$$

$$\eta = P_2 / P_1 = 4759 / 5100 = 93.3\%$$

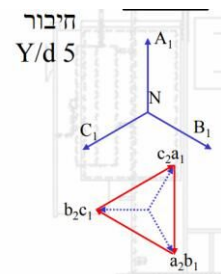
$\cos\phi = 1:$

$$P_1 = 6000 \text{ W}$$

$$P_2 = 6000 - 26.09^2 \cdot 0.5 = 5659.65 \text{ W}$$

$$\eta = P_2 / P_1 = 5659.65 / 6000 = 94.3\%$$

.ג



שאלה 4:

א.

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot 50}{4} = 1500 \text{rpm}$$

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1445}{1500} = 0.036$$

ב.

$$\frac{U_{VFD}}{f} = \frac{400}{50} = 8 \Rightarrow U_{25} = 8 \cdot 25 = 200V$$

ג.

$$n_s = \frac{120 \cdot 25}{4} = 750 \text{rpm} \Rightarrow s = \frac{750 - 700}{750} = 0.066$$

ד.

בתדרים מאוד נמוכים, כדי לשמור על יחס קבוע בין מתח לתדר, גם מתח ההזנה של המנוע יורד בהתאם. כתוצאה מכך השטף המגנטי קטן והמומנט קטן.

שאלה 5:

א.

$$E_a = V - I_a \cdot R_a = 240 - 60 \cdot 0.2 = 228V$$

ב.

$$T = P / \omega = \frac{P}{2\pi \cdot n / 60} = \frac{12000}{2\pi \cdot 1800 / 60} = 63.7 \text{Nm}$$

ג.

מומנט העומס לא השתנה ולכן זרם המנוע לא השתנה 60A.

$$E_a = V - I_a \cdot R_a = 180 - 60 \cdot 0.2 = 168V$$

$$\frac{n}{n_n} = \frac{E_a}{E_{a,n}} = \frac{168}{228} = 0.7368 \Rightarrow n = 0.7368 \cdot 1800 = 1326 \text{rpm}$$

ד.

1. בקרת מהירות באמצעות שינוי מתח העוגן.
2. בקרת מהירות באמצעות שינוי זרם העירור.
3. שינוי התנגדות טורית. מחברים נגד בטור למעגל העוגן. ככל שהתנגדות גבוהה יותר, נפילת המתח גבוהה יותר → המהירות יורדת. **שיטה לא יעילה.**

שאלה 6:

א.

מבנה המתנע הרך

זהו מתנע אלקטרוני המבוסס על רכיבי SCR ותפקידו לשנות את המתח על הדקי המנוע בהדרגה, ממתח נמוך ועד למתח הנומינלי. הגדלת המתח מתרחשת בצורה רציפה, חלקה ומבוקרת. כשהמתח עולה בהדרגה אז גם הזרם יעלה בהדרגה. המתנע הרך מבוסס על רכיבי הספק מסוג SCR. בכל פאזה מחוברים שני תיריסטורים SCR גב אל גב (חיבור מקבילי הפוך).

ב.

$$P_{in_n} = P_{out_n} / \eta = 15000 / 0.91 = 16,483 \text{ W}$$

$$\omega r = 2\pi \times 1460 / 60 = 152.9 \text{ rad/s}$$

$$T_n = P_{out} / \omega r = 15000 / 152.9 = 98.2 \text{ Nm}$$

ג.

$$I_L = P_{in} / (\sqrt{3} \times V \times \cos(\phi))$$

$$I_L = 16,483 / (\sqrt{3} \times 400 \times 0.86) = 27.6 \text{ A}$$

ד.

$$n_s = (120 \cdot f) / p = (120 \times 50) / 4 = 1500 \text{ rpm}$$

$$\omega_s = 2\pi \times n_s / 60 = 2\pi \times 1500 / 60 = 157.1 \text{ rad/s}$$

$$s = (n_s - n_r) / n_s = (1500 - 1460) / 1500 = 0.0267$$

שאלה 7:

$$\text{א. } T_{LD} = G \cdot R = 180 \cdot 0.3 = 42 \text{ kgm} \cdot 9.81 = 529.74 \text{ Nm}, \quad n_{LD} = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 1.5}{\pi \cdot 0.6} = 47.76 \text{ rpm}$$

$$n_M = \frac{n_{LD}}{TR} = \frac{47.76}{0.07} = 682.1 \text{ rpm}, \quad T_m = T_{LD} \cdot TR = 529.74 \cdot 0.07 = 37.08 \text{ Nm}$$

$$\text{ב. } P_{mech} = (37.08 \times 682.1) / 9.55 = 2649.1 \text{ W}$$

$$n_s = 750 \text{ rpm}, \quad S = \frac{n_s - n_m}{n_s} = \frac{750 - 682.1}{750} = 0.09$$

$$\Delta P_{cu2} = P_{mech} \cdot \frac{s}{1-s} = 2649.1 \cdot \frac{0.09}{1-0.09} = 263.5$$

$$\text{ג. } P_{in} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 5.9 \cdot 0.82 = 3348.6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{2649.1}{3348.6} = 0.8 = 79.1\%$$

שאלה 8:

א.

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{0.8}{0.8 + 0.2} = 0.8, \quad U_{av} = D \cdot V_s = 0.8 \cdot 250 = 200$$

$$P_{in} = P_{mech} / \eta = 1000 / 0.8 = 1250 W$$

$$I_a = P_{in} / V_{av} = 1250 / 200 = 6.25 A$$

ב.

$$E = V_{av} - I_a \cdot R_a = 200 - 6.25 \cdot 0.2 = 200 - 1.25 = 198.75 V$$

ג.

אחרי התרחשות התקלה, המנוע מאבד מתח הזנה. כתוצאה מכך המנוע יאט עד לעצירה מלאה. קצב העצירה תלוי במומנט האינרציה של הרוטור.

