

פתרון מבחן 97161, 90619 - מכונות חשמל והנע הנדסאים

קיץ 2025 – מועד ב'

שאלה 1:

א.

$$V\phi = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{13800}{\sqrt{3}} = 7967.4V$$

$$I_L = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_L} = \frac{10M}{\sqrt{3} \cdot 13800} = 418.5 \angle -36.87^\circ, A$$

$$Ea = V\phi + I \cdot Z_s = 7967.4 + 418.5 \angle -36.87^\circ \cdot (0.3 + j4) = 9158.85V$$

ב.

$$I_f / Ea = I_{f0} / V\phi \Rightarrow I_f = \frac{Ea \cdot I_{f0}}{V\phi} = \frac{9158.80}{7967.4} = 92A$$

ג.

$$P_{cu} = 3 \cdot I\phi^2 \cdot Ra = 3 \cdot 418.5^2 \cdot 0.3 = 157.2kW$$

$$P_{out} = S_n \cdot PF = 10 \cdot 0.8 = 8MW$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{cu} + P_{const} = 8000 + 157.2 + 150 = 8307.2kW$$

$$\eta = P_{out} / P_{in} = 8000 / 8307.2 = 96.3\%$$

שאלה 2:

א.

$$Ea = Va - Ia \cdot Ra = 400 - 150 \cdot 0.2 = 370V$$

$$P_{em} = E \cdot I = 370 \cdot 150 = 55.5kW$$

ב.

$$P_{in} = Va \cdot Ia = 400 \cdot 150 = 60kW$$

$$P_{out} = 0.9 \cdot 60 = 54kW$$

$$P_{L_const} = 55.5kW - 54 = 1.5kW$$

ג.

$$Ia = 0 \Rightarrow Ea = Va = 400V$$

$$\omega_{no-load} = 400157.08 / 370 = 169.8rad / s$$

7.

בבלימה זו, המנוע הופך לגנרטור. כאשר המומנט של העומס דוחף את הרוטור מהר יותר מהמהירות שאליה היה מותאם המתח, הכא"מ שנוצר עולה על מתח ההזנה, וזרם זורם חזרה למקור המתח – כלומר, אנרגיה חשמלית חוזרת לרשת.

שאלה 3:

א.

$$I_a = \frac{V_n}{R_L} = \frac{240}{1.6} = 150 A$$

$$E_a = V_t + I_a \cdot R_a = 240 + 150 \cdot 0.2 = 270 V$$

ב.

$$P_{cu} = I_a^2 \cdot R_a = 150^2 \cdot 0.2 = 4500 W$$

$$P_{loss, total} = P_{cu} + P_{mech} + P_{iron} = 4500 + 400 + 600 = 5500 W$$

$$P_{out} = V_t \cdot I_L = 240 \cdot 150 = 36000 W$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss, total} = 36000 + 5500 = 41500 W$$

$$\eta = P_{out} / P_{in} = 36000 / 41500 = 86.7\%$$

ג.

$$E_{1350} = E_{1500} \cdot \frac{1350}{1500} = 270 \cdot 0.9 = 243 V$$

$$I_a = \frac{E_{1350}}{R_a + R_L} = 243 / 1.8 = 130.5 A$$

$$V_t = I_a \cdot R_L = 130.5 \cdot 1.6 = 208.8 V$$

ד.

תפקיד הקומוטטור במנוע זרם ישר הוא להפוך את כיוון הזרם בעוגן בכל חצי סיבוב, כך שכיוון המומנט המגנטי יישאר קבוע — ובכך לאפשר סיבוב רציף של הרוטור באותו כיוון.

שאלה 4:

א.

$$n_{s2} = 120 \cdot 75 / 4 = 2250 \text{ rpm}$$

$$n = n_{s2} \cdot (1 - s) = 2250 \cdot (1 - 0.02) = 2205 \text{ rpm}$$

ב.

$$Tn = P / \omega = \frac{18500}{2\pi \cdot 1470 / 60} = 120.2 \text{ Nm}$$

$$T_2 = 0.7 \cdot 120.2 = 84.1 \text{ Nm}$$

$$\omega_2 = 2\pi \cdot 2205 / 60 = 230.8 \text{ rad / s}$$

$$P_{mech} = T \cdot \omega = 84.1 \cdot 230.8 = 19419 \text{ W}$$

ג.

$$P_2 = \frac{P_{mech}}{1 - s} = \frac{19419}{0.98} = 19815.3 \text{ W}$$

$$P_{cu2} = s \cdot P_2 = 0.02 \cdot 19815.3 = 396.3 \text{ W}$$

ד.

כאשר משנים את התדר, יש לשנות גם את המתח באופן פרופורציונלי (שמירה על יחס V/f קבוע) כדי לשמור על שטף מגנטי קבוע במנוע. שינוי תדר בלי התאמת מתח עלול לגרום לאובדן מומנט או לחימום יתר של הליבה.

שאלה 5:

א.

$$n = 120 \cdot f / P = 120 \cdot 50 / 4 = 1500 \text{ rpm}$$

$$\omega = 2\pi \cdot N_s / 60 = 2\pi \cdot 1500 / 60 = 157.08 \text{ rad / s}$$

$$nr = (1 - s) \cdot n = (1 - 0.04) \cdot 1500 = 1440 \text{ rpm}$$

ב.

$$Z_{\text{rotor}} = R_2' / s + jX_2' = 0.04 * 0.4 + j1.8 = 10 + j1.8, \Omega$$

$$Z_1 = R_1 + jX_1 = 0.6 + j1.2 \Omega$$

$$Z_p = (1 / j40 + \frac{1}{10 + j1.81})^{-1} = 8.66 + j3.76 \Omega$$

$$Z_{\text{total}} = Z_1 + Z_{eq} = (0.6 + j1.2) + (8.66 + j3.76) = 10.6 \angle 28, \Omega$$

$$I_1 = \frac{230.94}{10.6} = 21.78 \text{ A}$$

ג.

$$P_{in} = \sqrt{3} * 400 * 21.8 * 0.88 = 13275 \text{ W}$$

$$P_{cu_S} = 3 * 21.8^2 * 0.6 = 855 \text{ W}$$

$$P_{ag} = P_{in} - P_{cu_S} = 13275 - 855 = 12420 \text{ W}$$

$$P_{cu_R} = s * P_{ag} = 0.04 * 12420 = 497 \text{ W}$$

$$P_o = P_{ag} - P_{cu_R} - P_{mech_loss} = 12420 - 497 - 800 = 11123 \text{ W}$$

שאלה 6:

א.

$$\begin{aligned} I_{1n} &= S_n / V_1 = 10000 / 220 = 45.45 A \\ I_{sc} &= I_{1n} = 45.45 A \\ U_k &= 0.08 * 220 = 17.6 V \\ Z_{eq} &= U_k / I_{sc} = 17.6 / 45.45 = 0.38 \Omega \\ R_{eq} &= Z_{eq} * \cos \phi_k = 0.387 * 0.25 = 0.096 \Omega \\ \sin \phi_k &= 0.96 \\ X_{eq} &= Z_{eq} * \sin \phi_k = 0.387 * 0.96 = 0.37 \Omega \\ I_o &= 0.05 * 45.45 = 2.27 A \\ I_c &= I_o * \cos \phi_o = 2.27 * 0.2 = 0.454 A \\ I_m &= I_o * \sin \phi_o = 2.27 * 0.97 = 2.22 A \\ R_c &= V_1 / I_c = 220 / 0.45 = 484.4 \Omega \\ X_m &= V_1 / I_m = 220 / 2.22 = 98.9 \Omega \end{aligned}$$

ב.

$$\begin{aligned} P_{cu} &= I^2 \times R_{eq} = (45.45)^2 \times 0.096 = 200 W \\ P_{core} &= 220^2 / R_c = 100 W \\ P_{loss, total} &= 200 + 100 = 300 W \\ P_{out} &= 10,000 * 0.8 = 8000 W \\ P_{in} &= 8000 + 300 = 8300 W \\ \eta &= 8000 / 8300 = 96.3\% \end{aligned}$$

ג.

בעומס השראות:
נגרמת ירידת מתח גדולה יותר על ההיגב של השנאי.

בעומס התנגדותי טהור: ($\cos \phi = 1$)
הזרם כמעט באותה מופע כמו המתח, ולכן ירידת המתח קטנה יותר.

שאלה 7:

א.

$$\omega_0 = 1500 \cdot 2\pi / 60 = 157.08 \text{ rad / s}$$

$$E_0 = Km \cdot \omega_0 = 0.4 \cdot 157.08 = 62.83 \text{ V}$$

ב.

$$I_{br0} = \frac{E_0}{Ra + Rbr} = \frac{62.83}{0.3 + 2.7} = 20.94 \text{ A}$$

$$T_{br0} = Km \cdot I_{br0} = 0.4 \cdot 20.94 = 8.38 \text{ Nm}$$

ג.

ברגע שמפסיקים את ההזנה (המנוע מנותק מהמקור), אך הרוטור עדיין מסתובב, נוצר כא"מ. הזרם שנוצר עובר דרך הנגדים וממיר את האנרגיה הסיבובית לחום – כלומר, האנרגיה מתבזזת בתור חום בנגדי הבלימה.

שאלה 8:

א.

$$D=1$$

ב.

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n_n}{60} = \frac{2\pi \cdot 1500}{60} = 157.08 \text{ rad / sec}$$

$$P_{out} = Tn^* \omega = 40 \cdot 157.08 = 6283 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} / 0.9 = 6981 \text{ W}$$

$$I_a = P_{in} / V_a = 6981 / 400 = 17.45 \text{ A}$$

ג.

$$V_m = 300 \text{ V}$$

$$\Delta V = I_a R_a = 17.45 \cdot 0.5 = 8.72 \text{ V}$$

$$E = V_a - \Delta V = 300 - 8.72 = 291.27 \text{ V}$$

ד.

מהירות המנוע גם תלויה בשטף המגנטי, שהוא פונקציה של זרם העירור. הגדלת זרם העירור מגבירה את השטף, מה שמקטין את מהירות הסיבוב.