

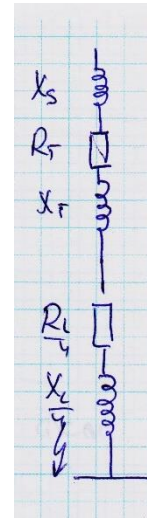
פתרון מוצע לבחינת משה"ח במערכות הספק ומכונות חשמל והינע - 733911

מועד אביב תשע"ח, מרץ 2018

מחבר: גב' רחל רפפורט, גב' פליציה קלרמן, מר יואב אפודי, מר מיכאל יפרח
מכללת אורט הרמלין

חלק ראשון – מערכות הספק

שאלה מספר 1
א.



$$X_{system} = \frac{U^2}{S_k} = \frac{400^2}{250 \times 10^6} = 0.64 m\Omega$$

$$R_T = \frac{U_{a\%} \times U^2}{100 \times S_T} = \frac{1.5 \times 400^2}{100 \times 630 \times 10^3} = 3.8 m\Omega$$

$$X_T = \frac{U_X \times U^2}{100 \times S_T} = \frac{4.45 \times 400^2}{100 \times 630 \times 10^3} = 11.3 m\Omega$$

$$U_x = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{4.7^2 - 1.5^2} = 4.45\%$$

$$\frac{R_L}{4} = \frac{130}{4 \times 150 \times 57} = 3.8 m\Omega$$

$$\frac{X_L}{4} = \frac{130 \times 0.07}{4 \times 1000} = 2.275 m\Omega$$

$$\sum R_k = 3.8 + 3.8 = 7.6 m\Omega$$

$$\sum X_k = 0.64 + 11.3 + 2.27 = 14.215 m\Omega$$

$$\varphi_k = 61.86^\circ \mid Z_k = \sqrt{\sum R_k^2 + \sum X_k^2} = \sqrt{7.6^2 + 14.215^2} = 16.12 m\Omega$$

$$I_{keff} = \frac{1.1 U_k}{\sqrt{3} Z_k} = \frac{1.1 \times 400}{\sqrt{3} \times 16.12 \times 10^{-3}} = 15.75 kA$$

$$i = i_k + i_a$$

$$i_k = \sqrt{2} I_k \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) = \sqrt{2} \times 15.75 \times 10^3 \times \sin(216 + 30 - 61.86)$$

$$\omega t = \frac{360}{20} \times 12 = 216^\circ$$

$$i_a = -\sqrt{2} I_k \sin(\alpha - \varphi_k) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{X_k}{\omega R_k} = \frac{14.215}{314 \times 7.6} \approx 6$$

$$i_a = -\sqrt{15.75} \times 10^3 \sin(30 - 61.86) e^{-\frac{12}{6}} = 1.59 kA$$

$$i = -1.6 + 1.59 = 0.01 kA \approx 10 A$$

$$I_f = \sqrt{2} k I \quad \text{הל}$$

$$\frac{R_k}{X_k} = \frac{7.6}{14.215} \Rightarrow k_d \approx 1.2$$

$$I_d \approx \sqrt{2} \times 15.75 \times 10^3 \times 1.2 = 26.7 \times 10^3 A$$

ב. כושר הניתוק של כל המפסקים בלוח C חייב להיות גדול מ 15.75kA

ג.

$$\sigma = \frac{P \times L}{12W} = \frac{\frac{F \times L}{100} \times L}{12W} = \frac{F \times L^2}{100 \times 12 \times W}$$

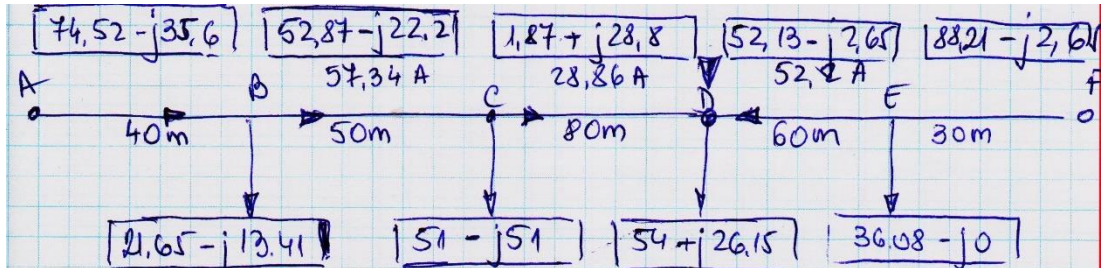
$$\sigma = \frac{1.76 \times I_{\text{גל}}^2 \times L^2}{100 \times d \times W \times 12}$$

$$L = \sqrt{\frac{\sigma \times 100 \times d \times W \times 12}{1.76 I_{\text{גל}}^2}} = \sqrt{\frac{1400 \times 100 \times 7.5 \times 1 \times 12}{1.76 \times 26.72^2}}$$

$$L = 100 \text{ cm}$$

שאלה 2

א.



$$I_A = \frac{(21.65 - j13.41)220 + (51 - j51)170 + (54 + j26.15)90 + 36.08 \times 30}{260}$$

$$I_A = 74.52 - j35.6A$$

ב. חישוב מתח מזערי:

$$\Delta U_{TDF} = \sqrt{3}X_0 \sum L_k I_{rk} = \sqrt{3} \times 0.1 \times 10^{-3} \times (60 + 30) \times 2.65 = 0.04V$$

$$\Delta U_{aDF} = \frac{\sqrt{3}}{\gamma A} \sum L_k I_{rk} = \frac{\sqrt{3}}{57 \times 25} (60 \times 52.13 + 30 \times 88.21) = 7.01V$$

$$U_D = 400 - (7.01 - 0.04) = 392.95V$$

ג.

$$\Delta U_{aDF} = \frac{3}{\gamma A} \sum L_k I_k^2 = \frac{3}{57 \times 25} \times (50 \times 57.34^2 + 80 \times 28.86^2 + 60 \times 52.2^2) = 830.56W$$

ד. אם מתייחסים רק למפל המתח האקטיבי, הקטנת שטח החתך ב 30% תגרום להגדלה של מפל המתח ב - $\frac{1}{0.7} = 1.42$ כלומר ב 42%. שטח החתך לא משפיע

על ΔU_r

שאלה 3

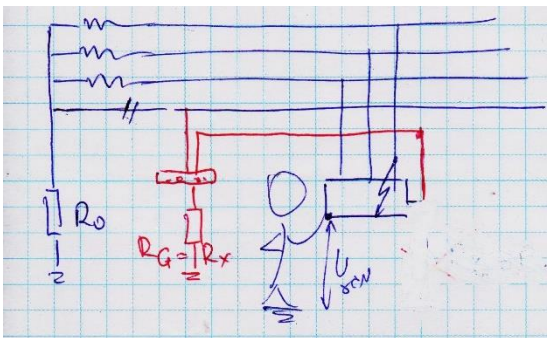
א. לפי חוק החשמל, פרק הארקות ואמצעי הגנה בפני חשמול סעיף 42:
מותקן מפסק זרם אוטומטי זעיר, בעל זרם נומינלי I_N שאינו ניתן לכוונון תאפשר
עכבת לולאת התקלה פיתוח זרם קצר שיבטיח את הפסקת הזינה תוך 5 שניות
לכל היותר.
לפי עקומת הניתוק הזרם שגורם לניתוק הזינה תוך 5 שניות הוא $5 \times I_N$

$$I_k = 5 \times 40 = 200A$$

$$Z_k = \frac{U}{I_k} = \frac{231}{200} = 1.155\Omega \quad \text{עכבת לולאת התקלה:}$$

$$Z_k = R_\gamma = 1.155\Omega$$

ב. במקרה של ניתוק מוליך ה PEN יש להבטיח מתח מגע נמוך מ 50V על גוף האדם



$$U = I \times R_x \leq 50V$$

$$\frac{231}{R_G + R_x} \times R_x \leq 50V$$

$$R_x = 1.38\Omega$$

ג. מתח צעד – מתח המופיע על פני האדמה בין 2 רגליו של אדם בעת תקלה.
מתח מגע – המתח על גוף האדם בעת תקלה.

(2) חישוב המתירות השקולה

שאלה 4

א. חישוב גובה עמוד התאורה:

$$E = 55 \text{ Lux}$$

$$E = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2}$$

$$\alpha = 0^\circ \Rightarrow \cos \alpha = 1$$

$$\Phi_{\pi} = \eta \times P = 110 \times 250 = 27500 \text{ Lm}$$

$$I_{\alpha} = 190 \text{ cd} / 1000 \text{ Lm}$$

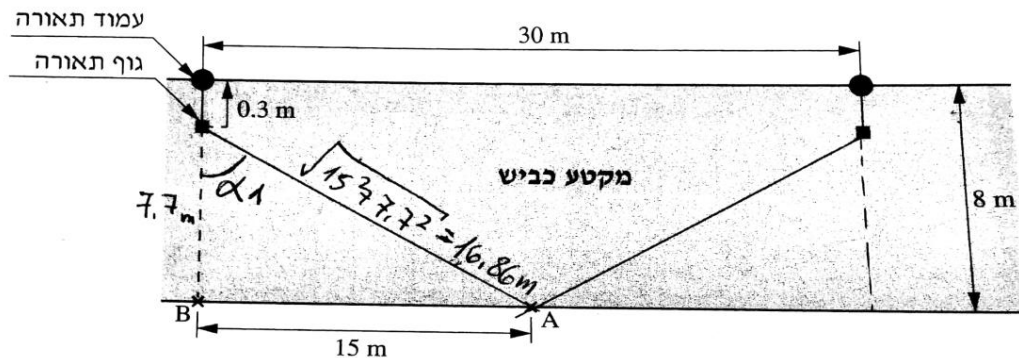
לפי עקומת התפלגות האור

$$I_{\alpha} = \frac{190}{1000} \times 27500 = 5225 \text{ cd}$$

$$h = \sqrt{\frac{I_{\alpha}}{E}} = \sqrt{\frac{5225}{55}} = 9.74 \text{ m}$$

בחישובים בהמשך נשתמש ב $h=10\text{m}$

ב.



$$E_A = 2 \times \frac{I_{\alpha_1} \cos^3 \alpha_1}{h^2}$$

$$\tan \alpha_1 = \frac{16.86}{10} \Rightarrow \alpha_1 = 59.32^\circ \approx 60^\circ$$

$$\cos^3 \alpha_1 = 0.1327$$

$$\Phi_{\pi} = \eta \times P = 110 \times 250 = 27500 \text{ Lm}$$

$$I_{\alpha_1} = 250 \text{ cd} / 1000 \text{ Lm}$$

$$I_{\alpha_1} = \frac{250}{1000} \times 27500 = 6875 \text{ cd}$$

$$E_A = 2 \times \frac{6875 \times 0.1327}{10^2} = 18.25 \text{ Lux}$$

- ג. אפשרות א' - נקודה B זזה ביחד עם העמוד. רמת התאורה בנקודה A קטנה
בגלל ש $\cos^3 \alpha$ קטן (הזווית α גדלה) – בנקודה B ללא שינוי.
- אפשרות ב' – במידה ולא מתחשבים בהזזת הנקודה B עדין התאורה בנקודה A
קטנה. השינוי ב $\cos \alpha$ משמעותי יותר בזוויות גדולות.

חלק שני – המרת אנרגיה והינע א'

שאלה 5

$$(*) (U_{2ph}, U_2) = ?$$

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{240 \text{ k}}{0.8} = 300 \text{ kVA}$$

$$\beta = \frac{S_2}{S_n} = \frac{300}{400} = 0.75$$

$$(\gamma) U_{2ph} = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = \frac{389.6}{\sqrt{3}} = 224.9 \text{ V}$$

$$U_2 = U_{2n} \left[1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100} \right] = 400 \left[1 - \frac{2.61}{100} \right] = 389.6 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\%} = \beta \left[\overset{0.75}{\Delta U_{R\%}} \cdot \overset{1.17}{\cos \varphi_2} + \overset{0.8}{\Delta U_{\%}} \cdot \overset{4.24}{\sin \varphi_2} \right] = \overset{0.6}{2.61} \%$$

$$I_{in} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{in}} = \frac{400 \text{ k}}{\sqrt{3} \cdot 22 \text{ kV}} = 10.5 \text{ A}$$

$$I_{rk} = \frac{P_k}{\sqrt{3} U_k \cos \varphi_k} = \frac{4.67 \text{ k}}{\sqrt{3} \cdot 968 \cdot 0.765} = 10.5 \text{ A}$$

$$(I_k = I_k) \rightarrow \text{10.5 V קקרי קקין (קקא)} \quad \underline{\text{10.5 V קקרי קקין (קקא)}}$$

$$\Delta U_{R\%} = \frac{\Delta P_{cun}}{S_n} \cdot 100 = \frac{4.67 \text{ k}}{400 \text{ k}} \cdot 100 = 1.17 \%$$

$$U_{k\%} = \frac{U_k}{U_n} \cdot 100 = \frac{968}{22000} \cdot 100 = 4.4 \%$$

$$\Delta U_{\%} = \sqrt{U_{k\%}^2 - \Delta U_{R\%}^2} = \sqrt{4.4^2 - 1.17^2} = 4.24 \%$$

ק) $\eta = ?$

$\eta = 98.66\%$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \phi_2}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \phi_2 + \beta^2 \rho_{cu_n} + \rho_{Fe}}$$

$$\eta = \frac{0.75 \cdot 400 \text{ k} \cdot 0.8}{0.75 \cdot 400 \text{ k} \cdot 0.8 + 0.75^2 \cdot 4.67 \text{ k} + 0.643 \text{ k}} = 0.9866$$

$$\Delta \rho_{Fe} = \rho_0 = \sqrt{3} U_0 I_0 \cos \phi_0 = \sqrt{3} \cdot 22000 \cdot 0.126 \cdot 0.134 = 643 \text{ W}$$

ד)

רמת ג' 2018

$$U_2 = U_{2n} \left[1 - \frac{\Delta U \%}{100} \right] = 400 \left[1 - \frac{-1.2}{100} \right] = 404.8 \text{ V}$$

$$\Delta U \% = \beta \left[\Delta U_{R\%} \cdot \cos \phi_2 - \Delta U_{X\%} \cdot \sin \phi_2 \right] = -1.2 \%$$

רמת ג' 2018

שאלה 6

$$\Delta P_{cu} = P_m - P_{em} = 23529 - 20802 = 3027 \text{ W}$$

$$P_m = \frac{P_n}{\eta} = \frac{20 \text{ kW}}{0.85} = 23529 \text{ W}$$

$$P_{em} = E_n \cdot I_{an} = 227.1 \cdot 91.6 = 20802 \text{ W}$$

$$I_n = \frac{P_m}{U} = \frac{23529}{250} = 94.1 \text{ A}$$

$$I_e = \frac{U}{R_e} = \frac{250}{100} = 2.5 \text{ A}$$

$$I_{an} = I_n - I_e = 94.1 - 2.5 = 91.6 \text{ A}$$

$$E_n = U - I_{an} \cdot R_a = 250 - 91.6 \cdot 0.25 = 227.1 \text{ V}$$

$$\Delta P_{fe} = P_{em} - P_n - \Delta P_{mach} = 20802 - 20000 - 500 = 302 \text{ W}$$

(2)

$$M_n = 9.55 \cdot \frac{P_n}{n_n} = 9.55 \cdot \frac{20000}{1800} = 106.1 \text{ Nm}$$

$$M_{em_n} = 9.55 \cdot \frac{P_{em_n}}{n_n} = 9.55 \cdot \frac{20802}{1800} = 110.4 \text{ Nm}$$

$$\Delta M_o = M_{em_n} - M_n = 110.4 - 106.1 = 4.3 \text{ Nm}$$

$$K_{\phi} = \frac{E_n}{n_n} = \frac{227.1}{1800} = 0.12616 \quad \text{ד}$$

$$n' = \frac{U - I_a' \cdot R_a}{K_{\phi}} = \frac{250 - 80 \cdot 0.25}{0.12616} = 1823 \text{ rpm}$$

$$P_{in}' = U \cdot I' = 250 \cdot 82.5 = 20625$$

$$I' = I_a' + I_o = 80 + 2.5 = 82.5$$

$$P_{em}' = E' \cdot I_a' = 230 \cdot 80 = 18400$$

$$E' = K_{\phi} \cdot n' = 0.12616 \cdot 1823 = 230 \text{ V}$$

$$P_{out}' = P_{em}' - P_{Fe} - P_{mach} = 18400 - 302 - 500 = 17598 \text{ W}$$

$$\eta_{\%} = \frac{P_{out}'}{P_{in}'} \cdot 100 = \frac{17598}{20625} \cdot 100 = 85.3 \%$$

שאלה 7

$$(כ) (\Delta P_{cu_2}, R_1) = ? \quad \text{7 סף}$$

$$\Delta P_{cu_2} = P_{mech} \cdot \frac{S_n}{1 - S_n} = 30400 \cdot \frac{0.02}{1 - 0.02} = 620 \text{ W}$$

$$P_{mech} = P_n + \Delta P_{mech} = 30000 + 400 = 30400 \text{ W}$$

$$S_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0.02$$

$$R_1 = \frac{\Delta P_{cu_1}}{3 \cdot I_{nph}^2} = \frac{808}{3 \cdot 54.9^2} = 89.4 \text{ m}\Omega$$

$$I_{nph} = I_{in} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{30 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85 \cdot 0.928} = 54.9 \text{ A}$$

$$\Delta P_{cu_1} = P_{in} - P_{em} - P_{Fe_1} = 32328 - 31020 - 500 = 808 \text{ W}$$

$$P_{in} = \frac{P_n}{\eta} = \frac{30000}{0.928} = 32328 \text{ W}$$

$$P_{em} = \frac{P_{mech}}{1 - S_n} = \frac{30400}{1 - 0.02} = 31020 \text{ W}$$

$$S_k = ? \quad M_{st} = ?$$

⌚

$$S_k = S_n \left[\lambda_{max} + \sqrt{\lambda_{max}^2 - 1} \right]$$

$$S_k = 0.02 \left[2.6 + \sqrt{2.6^2 - 1} \right] = 0.1$$

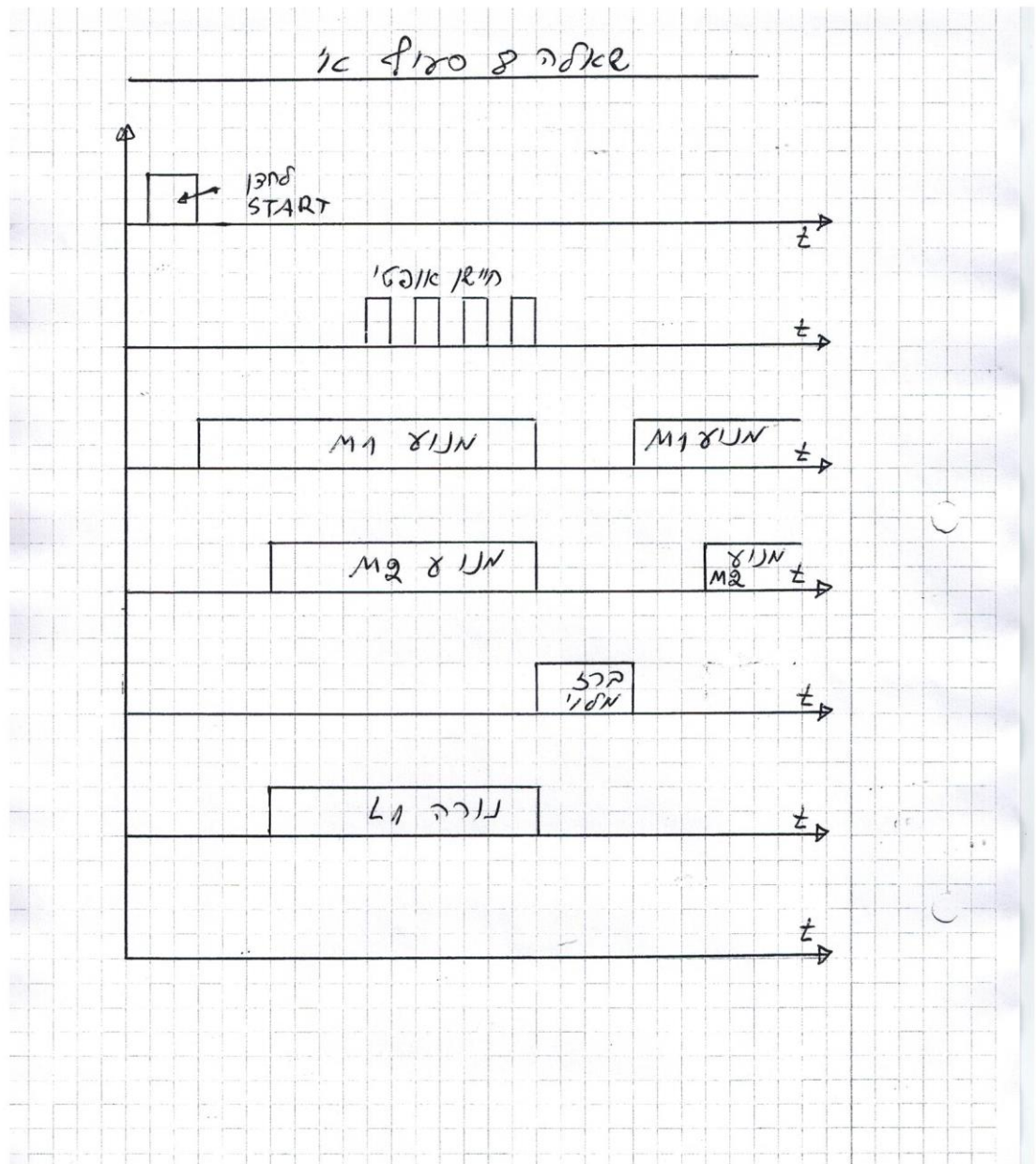
$$M_{st} = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{S_{st}}{S_k} + \frac{S_k}{S_{st}}} = \frac{2 \cdot 506.7}{\frac{1}{0.1} + \frac{0.1}{1}} = 100.3 \text{ Nm}$$

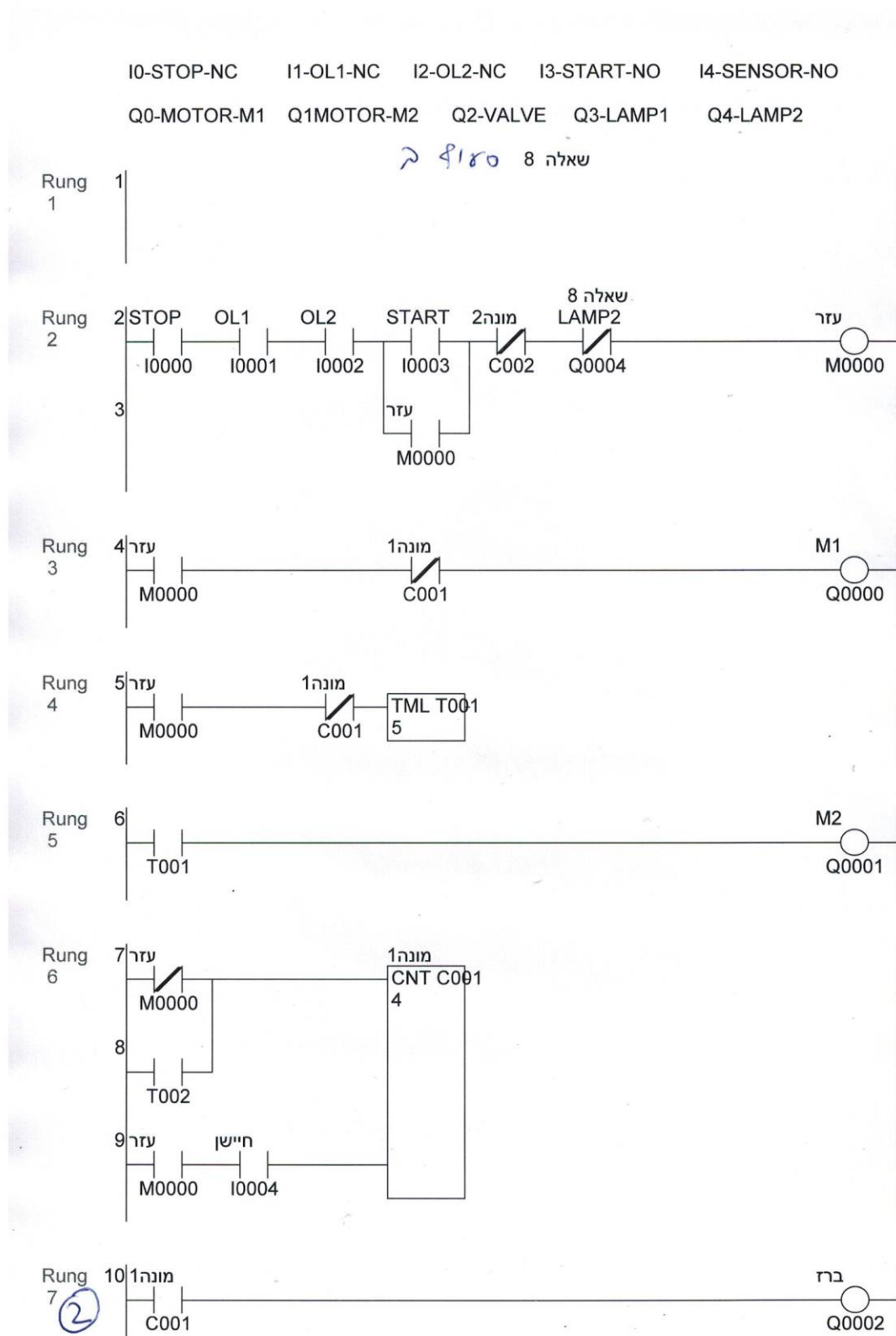
$$M_k = 2.6 M_n = 2.6 \cdot 194.9 = 506.7 \text{ Nm}$$

$$M_n = 9.55 \frac{P_n}{n} = 9.55 \cdot \frac{30 \text{ k}}{1470} = 194.9 \text{ Nm}$$

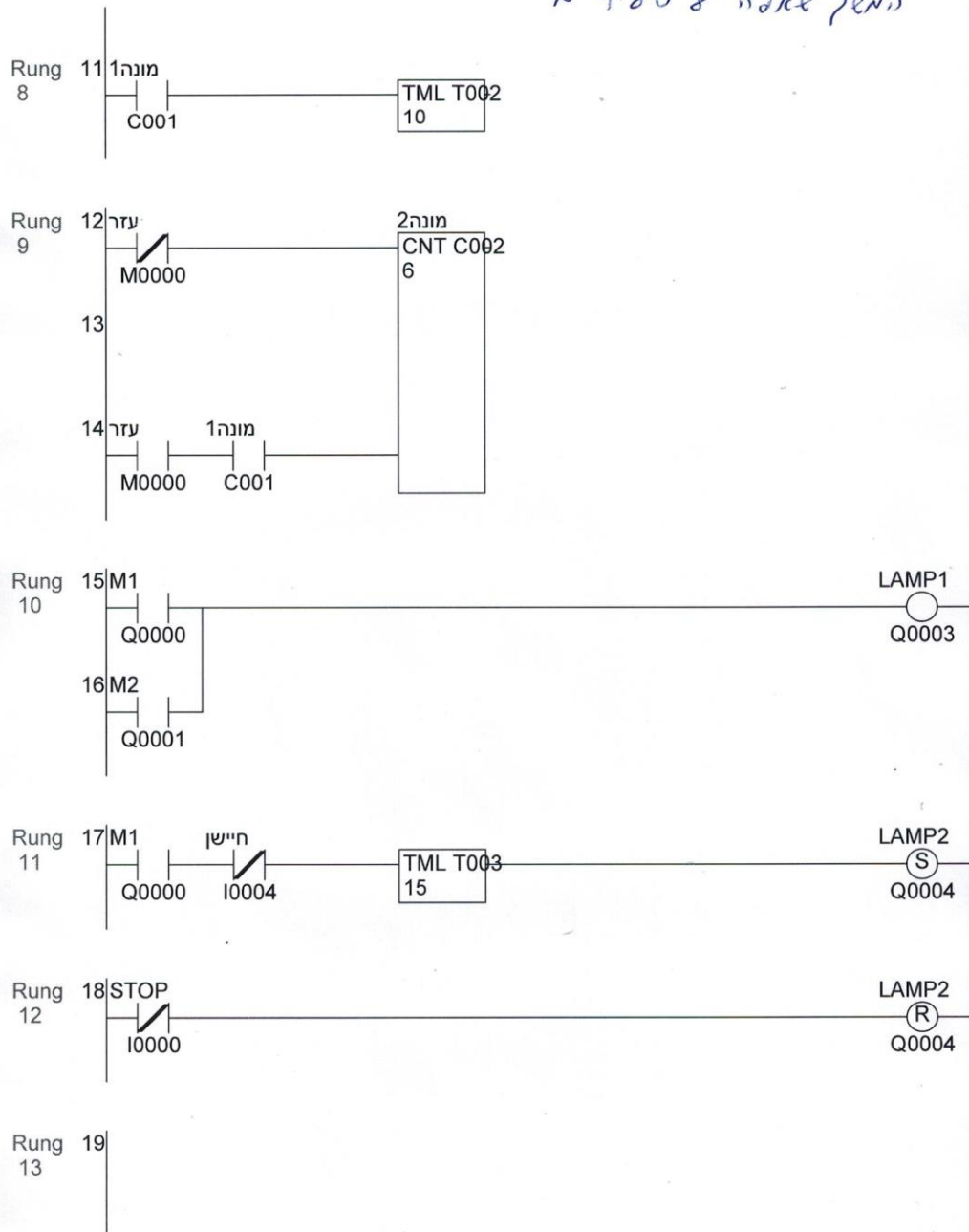
חלק שלישי – מערכות פיקוד ממוחשבות ובקרים בני תכנות

שאלה 8





משק שאלה 8 סעיף ב'

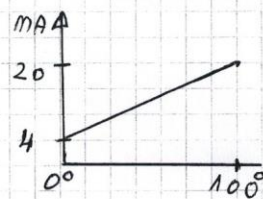


3

שאלה 9

(א) גודל האנרגיה הקניסה הוא 21 ביט
 מכון הערך הסדרתי ביצוג עשרוני
 הוא $2^{12} = 4096$
 זהו הסוג $0 \div 4095$

(ב) $0-100^{\circ}C \leftarrow 4 \div 20$ מ"א
 מכון טמפרטורה ערך



(4)