GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: אביב 2026 מועד ב'
סמל השאלון: 97162
שם התלמיד/ה: _____

מערכות הספק ומתקני חשמל

הנדסת חשמל · הנדסאים

הוראות

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: יש לענות על חמש שאלות מתוך השאלות 1-8. ערך כל שאלה – 20 נקודות. בסך הכול: 100 נקודות. ענו על חמש מבין השאלות 1-8, ערך כל שאלה 20 נקודות.

ג. חומר עזר מותר בשימוש: 1. מחשבון (אין להשתמש במחשב כף יד או במחשבון עם תקשורת חיצונית). 2. מהדורה אחרונה של חוק ותקנות בנושא חשמל בהוצאת המוסד לבטיחות ולגיהות. 3. דפי נוסחאות יצורפו לשאלון הבחינה. אין להעביר ספרים, חומר עזר ומחשבונים בין הנבחנים.

ד. הוראות מיוחדות: 1. יש לקרוא בעיון את ההנחיות בדף השער ואת כל שאלות הבחינה, ולוודא שהן מובנות. 2. יש להשאיר את העמוד הראשון במחברת הבחינה ריק. בסיום המבחן יש לרשום בעמוד זה את מספרי התשובות לבדיקה. התשובות ייבדקו לפי סדר כתיבתן בעמוד זה. לא ייבדקו תשובות עודפות. 3. יש לכתוב את התשובות בעט בלבד, בכתב יד ברור. 4. יש להתחיל כל תשובה בעמוד חדש ולציין את מספר השאלה ואת הסעיף. אין צורך להעתיק את השאלה עצמה. 5. טיוטה יש לכתוב במחברת הבחינה בלבד. יש לרשום את המילה "טיוטה" בראש העמוד ולהעביר עליו קו כדי שלא ייבדק. 6. אין לאחד סעיפים! לכל סעיף שבשאלה יש לתת תשובה נפרדת. 7. תשובה מלאה לסעיף של שאלה הכרוך בחישובים היא תשובה שבה מוצג הביטוי המתמטי שלפיו נעשה החישוב, הערכים מוצבים בביטוי, ותוצאת החישוב מוצגת באמצעות מספר ויחידות. 8. כל מספר המוצב בביטוי מתמטי חייב להיות תוצאה של חישוב קודם או נתון המופיע בגוף השאלה. 9. אין השימוש במחשבון פוטר מהצורך להציג את הצבת הערכים בביטוי המתמטי. 10. תשובה שאינה מנומקת או שאין דרך הפתרון מוצגת בה לא תזכה בניקוד כלל. 11. אם להערכתכם חסר נתון או יש נתון שגוי בשאלה, יש לציין זאת במפורש במחברת הבחינה, ולבחור ערך מתאים שיאפשר להמשיך בפתרון השאלה, חובה להסביר ולנמק את הבחירה. חל איסור מוחלט להוציא שאלון או מחברת בחינה מחדר הבחינה!

השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים, אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

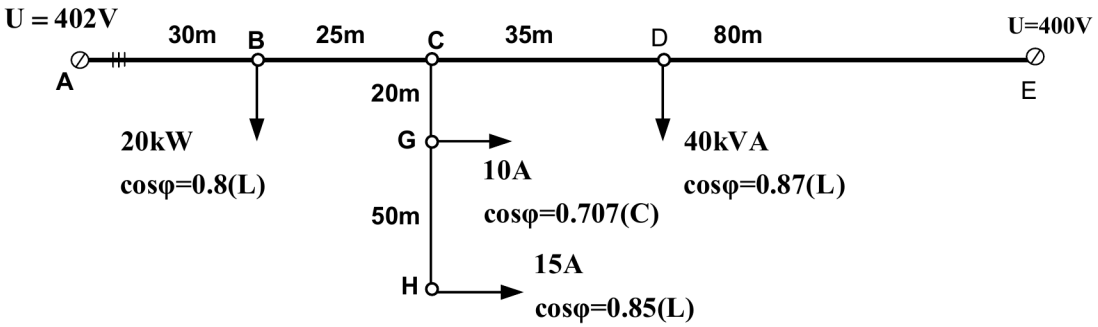
בהצלחה!

השאלות

1. נתונה רשת תלת מופעית המוזנת במתח נקוב של 400 וולט. ההיגב של מוליכי הרשת זניח. הרשת מוזנת משני מקורות במתחים שונים. ידוע שמוליכי הרשת מנחושת הם בעלי התנגדות סגולית של $\rho = \frac{1}{58}\ \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$.

שטח החתך במקטעים ABCDE הוא $16\,\text{mm}^2$

שטח החתך במקטעים CGH הוא $6\,\text{mm}^2$



א. חשבו את הזרם בכל אחד מקטעי הרשת. יש להציג את הערכים בביטוי מרוכב (פולארי או קרטזי).

(7 נקודות)

ב. קבעו את הנקודה בה המתח מזערי וחשבו את ערכו.

(7 נקודות)

ג. חשבו את איבודי ההספק בקטע CGH.

(6 נקודות)

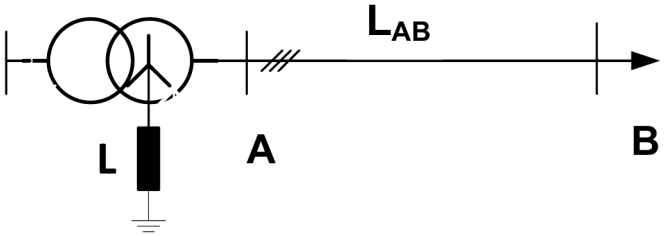
2. באיור לשאלה מופיע קטע של רשת חלוקה במתח גבוה מוזן משנאי $160/24\,\text{kV}$, $S = 45\,\text{MVA}$, $f = 50\,\text{Hz}$

נקודת הכוכב של השנאי מוארקת באמצעות סליל כיבוי L. ביטוי המתחים כלפי האדמה במצב תקין:

$$U_R = U_{ph}\sin(\omega t + 90^\circ),\ U_S = U_{ph}\sin(\omega t - 30^\circ),\ U_T = U_{ph}\sin(\omega t - 150^\circ)$$

נתוני הקו במתח גבוה הם: $R_0 = 0.2\,\Omega/\text{km}$ $X_0 = 0.1\,\Omega/\text{km}$ $C_0 = 0.2\,\mu\text{F}/\text{km}$

בהנחה שהעומס בפס B מנותק, במצב תקין בנקודה A נמדד הספק היגבי של $750\,\text{kVAr}$



א. חשבו את אורך הקו L_{AB}.

(6 נקודות)

נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il

ב. מתרחש קצר בין פאזה T לאדמה. חשבו את **זרם התקלה** בנקודת הקצר (גודל וזווית) וחשבו את השראות סליל הכיבוי בקיזוז יתר של 10%.

(8 נקודות)

ג. שרטטו דיאגרמה וקטורית של המתחים וזרמים כאשר מתרחש קצר בין בפאזה T לאדמה.

(4 נקודות)

ד. מנו את יתרונות וחסרונות של רשת עם נקודת האפס מוארקת באמצעות סליל כיבוי.

(2 נקודות)

3. רשת החלוקה שבאיור לשאלה 3 מזינה שלושה צרכנים תלת-מופעיים במתח נמוך.

הרשת בנויה מארבע כבלים $4 \times (4 \times 240\,\mathrm{mm}^2)$ המחוברים זה אל זה בחיבור מקבילי בקטע BC ובקטע CD משני כבלי נחושת $2 \times (4 \times 240\,\mathrm{mm}^2)$ הכבלים כולם טמונים במישרין באדמה, בידוד $90^\circ\mathrm{C}$.

התנגדות סגולית של חמרן $1/34\ \Omega\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$, היגב השראי הסגולי של כבל אחד $0.08\,\Omega/\mathrm{km}$

נתוני השנאי בתחנת ההשנאה:

$$\Delta P_{Fe} = 1.1\,\mathrm{kW} \quad \Delta P_{Cu} = 10.7\,\mathrm{kW} \quad 22/0.4\,\mathrm{kV} \quad \mathrm{Dy11} \quad S = 1000\,\mathrm{kVA}$$
$$u_k = 6\%$$

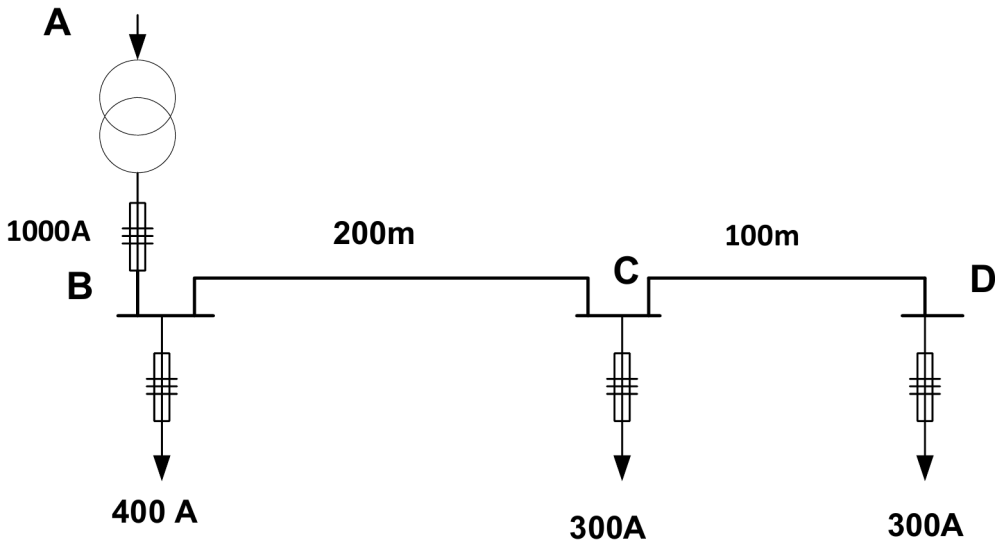
לשנאי קיימות חמש דרגות מתח, השינוי נעשה ידנית:

$$\Delta U = 2.5\% U_{1n} \quad n = -2, -1, 0, +1, +2 \quad U_1 = (1 \pm n\Delta U) U_{1n}$$

העומסים המרביים המועברים ברשת חלוקה רשומים באיור.

מקדם ההספק של הצרכנים אחיד ושווה ל 0.82 השראי.

על פי הסכם בין ספק החשמל לצרכנים, כאשר צריכת האנרגיה של הצרכנים נעשית בזרם השווה לעוצמת הזרם הרשומה באיור, על המתח שבין הדקי הצרכנים בנקודה D להיות בגודל של $400\ \mathrm{V}$ לכל הפחות.



א. חשבו את מתח שבין הדקי צד המתח הנמוך של השנאי החלוקה, כדי לעמוד בתנאי ההסכם.

(10 נקודות)

נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il

ב. **על איזה דרגת מתח יש להציב את בורר המתח ידני שבשנאי חלוקה?**

המתח בנקודה A שווה $22.32\,\mathrm{kV}$

(5 נקודות)

ג. **איך משפיע עליית מתח ב** 2.5% **על הפסדי הספק במוליכים? נמקו תשובתכם באמצעות חישוב או ביטוי מתמטי?**

(5 נקודות)

4. באיור לשאלה מתואר לוח משנה להזנת מדחסים במפעל מזון, נתוני המנועים:

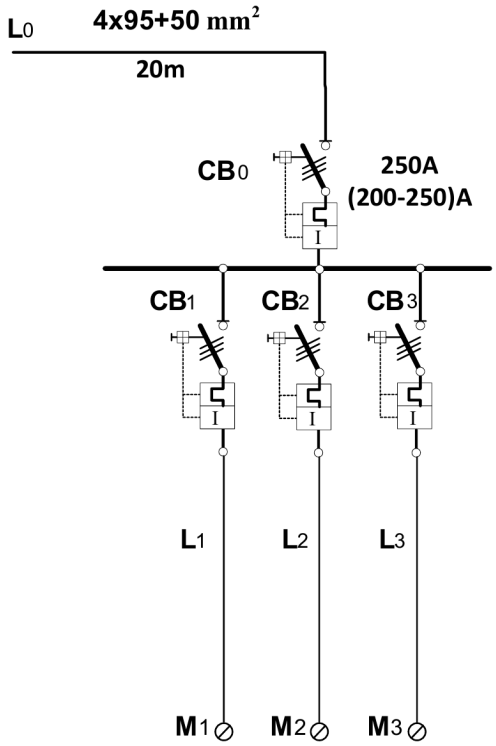
$$I_{START} = 6.5 \times I_n \quad beta = 84\% \quad \cos\varphi = 0.81 \quad U = 400\,\mathrm{V} \quad P = 32\,\mathrm{kW}$$

3 המעגלים הסופיים L_1 - L_3 בנויים מכבלים רב גידיים N2XY (מוליכי נחושת, בידוד $90^\circ\mathrm{C}$),
מותקנים על מגש רשת בשכבה אחת בלא רווח ביניהם, טמפרטורה אופפת של הסביבה $50^\circ\mathrm{C}$.
הכבל L_0 מוגן מפגיעות זרם יתר וזרם קצר באמצעות מפסק מתכוונן שכוונן לזרם של $200\,\mathrm{A}$.
אופיין המפסק נתון באיור מס 2 לשאלה.

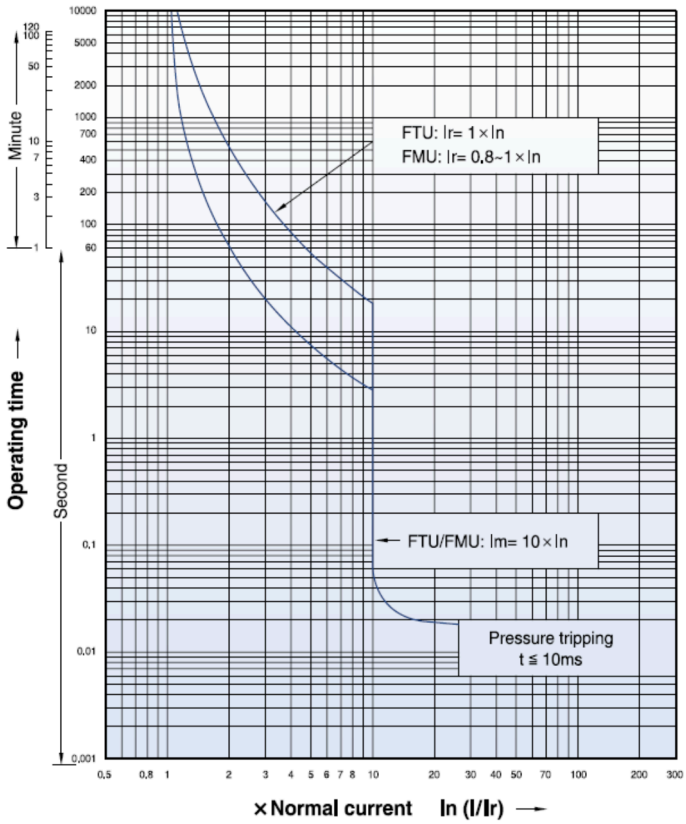
ערכים נקובים של מפסקים אוטומטים

25A; 32A; 40A; 50A; 63A; 80A; 100A; 125A; 160A; 200A; 250A; 400A

נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il



Circuit breakers with thermal-magnetic trip units



א. חשבו את עוצמת זרם העבודה הממושך שיזרום בכבל L_1 - L_3 כאשר המנוע מועמס בעומס מלא וקבעו את ערך המבטח להגנת המנועים, בהתאם לדרישות חוק החשמל.

(סוג מבטח וגודל).

(5 נקודות)

נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il

ב. קבעו את שטח החתך של הכבלים L_3 - L_1 (יש להתחשב בתנאי טמפרטורה ותנאי התקנה).

(5 נקודות)

ג. זרם קצר מינימלי הנמדד בלוח המשנה שווה ל $2\,\mathrm{kA}$, האם קיימת התאמה בין שטח החתך של הכבל L_0 ל מפסק CB_0 מבחינת פגיעות זרם יתר והגנה בפני זרם קצר? נמקו תשובתכם.

(על פי תקנות "העמסה והגנה על מוליכים וכבלים במתח נמוך" פרק ג,ד)

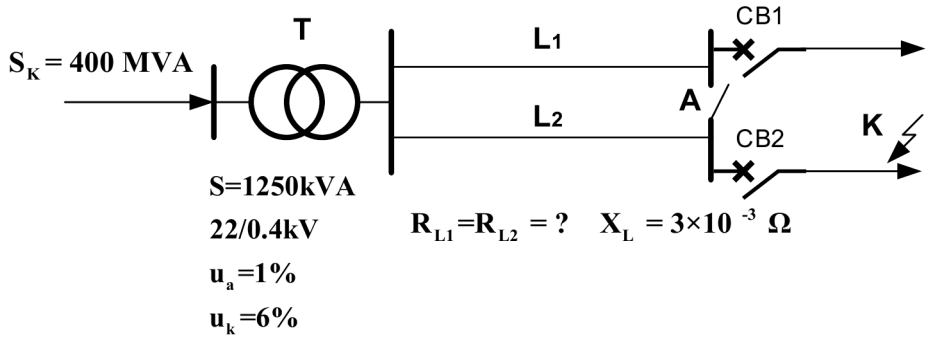
(5 נקודות)

ד. יש להבטיח סלקטיביות בין המפסקים CB_0 למפסק CB_1 בלוח משנה. שרטטו שרטוט עקרוני של אופייני זמן זרם של המפסקים המקיימים דרישה זאת.

(5 נקודות)

5. באיור לשאלה נתונה רשת תלת מופעית $0.4\,\mathrm{kV}/50\,\mathrm{Hz}$ המוזנת ממקור מתח גבוה בעל הספק קצר $400\,\mathrm{MVA}$, מפסק הזרם A פתוח (במצב מופסק). מתרחש קצר תלת מופעי מתכתי בנקודה K, ברגע שגל המתח במופע R עובר דרך "אפס". מקדם ה"הלם" המרבי של זרם הקצר בנקודה K הוא 1.4.

נתוני השנאי והקווים (L_1 זהה ל L_2) רשומים באיור.



א. חשבו את ההתנגדות $R_{L1} = R_{L2}$ של הקווים L_1 ו- L_2

(6 נקודות)

ב. חשבו את זרם ההלם בנקודה K כאשר המפסק A סגור.

(6 נקודות)

ג. חשבו את זרם קצר במפסק A בזמן הקצר לפי סעיף "ב" וקבעו את כושר ניתוק של המפסקים CB_2 , CB_1 , A

(4 נקודות)

ד. מהו גודל זרם הקצר במופע R ברגע 0.007 שניות מהתחלת הקצר?

(4 נקודות)

נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il

6. בבית מלאכה בעל מידות (במטרים) $45 \times 25 \times 6.5$ מותקנים 45 גופי תאורה ישירה, עם נורות לד.

נצילות אורית של גוף התאורה $122\,\mathrm{lm/W}$, רמת התאורה הנמדדת בשולחן העבודה $500\,\mathrm{lux}$.

גובה שולחן העבודה $85\,\mathrm{cm}$ וגובה תלית גופי התאורה $35\,\mathrm{cm}$. צבע קירות ותיקרה בהיר.

(מקדמי החזר של הקירות 30% ותיקרה 50%) מקדם ההפחתה 0.65.

טבלת מקדמי הנצילות מתייחסת לתאורה ישירה

נצילות התאורה η

סוג גוף התאורה	R_K	החזרה מהתקרה (%) ⟵ החזרה מהקירות (%) ⟵	30		50			75		
			10	30	10	30	50	10	30	50
א	0.6		31	34	31	34	38	31	34	39
	0.8		40	42	41	43	46	42	44	47
	1.0		45	47	46	47	50	47	48	51
	1.5		51	52	52	53	56	52	55	58
	2.0		55	57	58	58	60	57	59	61
	3.0		61	62	62	63	66	62	65	68
	5.0		64	66	65	67	69	67	69	71

א. שרטטו תרשים עקרוני של האולם, קבעו את מיקום גופי התאורה לקבלת פיזור אור אחיד בקירוב וציינו את המרחקים הנדרשים בין מרכזי גופי התאורה לבין גופי התאורה לקירות.

(4 נקודות)

ב. בהנחה שעקומת התפלגות האור של הנורה היא חצי עיגול, חשבו את עוצמת האור של הנורה.

(8 נקודות)

ג. חשבו את ההספק הנצרך על ידי מתקן התאורה באולם, תכננו ושרטטו לוח תאורה לאולם (מבטח ראשי, מספר מעגלים, תכנון מעגל סופי).

אם ידוע שמקדם ההספק של כל נורה שווה ל 0.96, מתקן התאורה מוזן מרשת תלת מופעית, המעגלים הסופיים של התאורה חד מופעיים, המוליכים עשויים נחושת, שיטת התקנה 90.3.

הערה: הספק נורות לד לרשות האולם: $15\,\mathrm{W}$, $25\,\mathrm{W}$, $50\,\mathrm{W}$, $100\,\mathrm{W}$, $150\,\mathrm{W}$, $200\,\mathrm{W}$, $250\,\mathrm{W}$, $300\,\mathrm{W}$.

(8 נקודות)

7. מפעל להטפלת מים מוזן במתח גבוה ($12.6\,\mathrm{kV}$) על ידי כבל באורך $500\,\mathrm{m}$ שמוליכיו עשויים חמרן ($\gamma = 34\,\frac{\mathrm{m}}{\Omega\cdot\mathrm{mm}^2}$) ושטח החתך $3 \times 25\,\mathrm{mm}^2$.

להלן נתוני צריכת של המתקנים במפעל:

מתקן A צורך $600\,\mathrm{kW}$ במשך 24 שעות.

מתקן B צורך $600\,\mathrm{kW}$ בין השעות 06:00-18:00.

מתקן C צורך $800\,\mathrm{kW}$ בין השעות 10:00-14:00 בלבד.

עבור מתקנים B ו-C ניתן להניח שבשאר שעות היממה אין צריכה כלל.

שלושת המתקנים פועלים במשך 5 ימים בשבוע, 50 שבועות בשנה.

מקדם ההספק הנמדד בכל אחד מהמתקנים הוא 0.85.

נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il

א. שרטטו דיאגרמת העמסה יומית של המפעל.

(4 נקודות)

ב. לטובת חסכון בעלות איבודי ההספק בכבל ההזנה החליטו להוסיף קבלים בכניסה למתקן.
עלות הקבלים 80 ש"ח/kVAr, מחיר האנרגיה 60 אג'/kWh.
בתוך כמה שנים תוחזר ההשקעה בקבלים (הזנחו את הריבית והפחת)?

- לטובת התחשיב הכלכלי ניתן להניח כי **לוח הקבלים** מחושב לפי העומס המקסימלי העובר בקו ומצויד בבקר מקדם הספק המבטיח מקדם הספק קבוע **0.92**, בכל שעות הפעולה של המפעל.
- בהנחה שהמתקן מוזן מ2 שנאים

$$\Delta P_{Fe} = 2\,\text{kW} \quad \Delta P_{Cu} = 14\,\text{kW} \quad 22/0.4\,\text{kV} \quad S = 1600\,\text{kVA}$$

(8 נקודות)

ג. קבעו באיזה שעות ביום כדאי להפעיל את השנאי השני לצורך חיסכון בהפסדי הספק בשנאים.
נמקו את תשובתכם.

(8 נקודות)

8. כל סעיף 4 נקודות

א. מהו ההבדל העיקרי בין מפסק זרם במתח גבוה לבין מנתק עומס במתח גבוה?

1. מפסק זרם מיועד להפסקת זרמי עומס וזרמי קצר באופן אוטומטי, ומנתק עומס מיועד להפסקת הזרם הנקוב שלו באופן יזום.
2. מנתק עומס מיועד להפסיק זרם קצר באופן אוטומטי לעומת מפסק זרם המיועד לפעולות יזומות.
3. מפסקי זרם מופעלים ידנית ומנתקי עומס מופעלים אוטומטית.
4. מפסקי זרם לא מצוידים בתא לכיבוי קשת ומנתקי עומס כוללים תא לכיבוי קשת.

(4 נקודות)

נתון לוח חשמל $400\,V/50\,Hz$

בתמונה מתואר קבל אותו נדרש לחבר ללוח החשמל באמצעות מגען (קונטקטור).
נתוני הקבל הם אלו המופיעים בתמונה.



ב. מה ערכו של זרם העבודה המזערי הנדרש מהמגען המזין את סוללת הקבלים במקרה זה?

1. $50[A]$.
2. $25[A]$.
3. $32[A]$.
4. $40[A]$.

(4 נקודות)

ג. במפעל קיים הזמנה הגדלת חיבור מ-3X160A ל-3X250A. הגדלת החיבור נועדה על מנת לאפשר הזנה של מחסן חדש שהוקם בשטח המפעל. לוח החשמל של המחסן יוזן מהלוח הראשי הקיים במפעל.

חשמלאי שהכין את המתקן לבדיקה לצורך הגדלת החיבור, בדק את ערך התנגדות הבידוד בין מוליכי המעגלים לבין פס הארקה בלוח המחסן וקיבל תוצאה של $0.9\,M\Omega$.

האם תוצאת המדידה תואמת לדרישות בתקנות החשמל?

1. כן, המינימום הנדרש הוא ערך של $0.5\,M\Omega$
2. לא, המינימום הנדרש הוא ערך של $1.5\,M\Omega$
3. כן, המינימום הנדרש הוא ערך של $0.25\,M\Omega$
4. לא, המינימום הנדרש הוא ערך של $1\,M\Omega$

(4 נקודות)

ד. **איזו מהטענות הבאות אינה נכונה לגבי הארקת שיטה?**

1. אסור להתקין הארקת שיטה כאשר הגנה בפני חישמול היא ע"י הפרד מגן.
2. במתקנים לזרם ישר מותר להשתמש בצנרת מתכתית לאספקת מים כאלקטרודה להארקת שיטה.
3. מטרת הארקת שיטה היא ייצוב מתח השיטה לאדמה.
4. משמשת כהגנה בפני עליית מתח במקרה של חדירת מתח ממקור שמחוץ לשיטה.

(4 נקודות)

ה. **מהם גבולות המתח התקין ברשת מ"ג 22kV?**

1. KV - 20.9 KV 23.8
2. KV - 20.9 KV 23.1
3. KV - 19.8 KV 24.2
4. KV - 20.2 KV 23.6

(4 נקודות)

כל מבחני מה"ט עם פתרונות מלאים: www.guyai.co.il/mahat