GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: אביב 2026 מועד א'
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.

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.

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

בהצלחה!

השאלות

1. מתקן תאורת כביש בנוי עמודי מתכת ממוקמים בשני צידי הכביש לפי האיור לשאלה.

על כל עמוד מותקן גוף תאורה עם נורת לד, הספק הנורה $100\,\mathrm{W}$ והיעילות האורית של הפנס הוא $120\,\mathrm{lm/W}$.

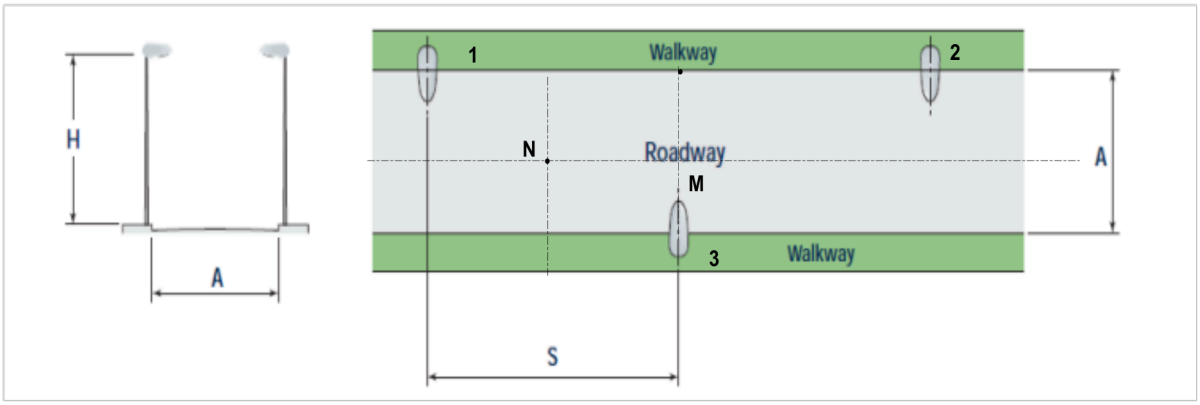
המרחק בין שני העמודים הוא $S = 15\,\mathrm{m}$

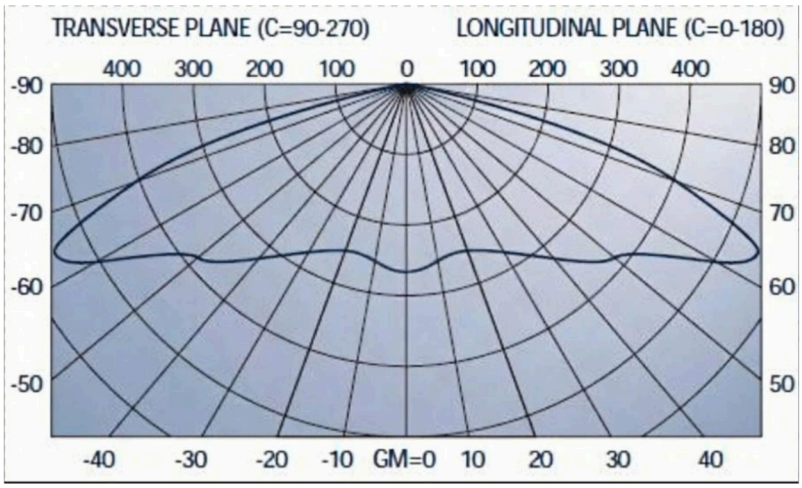
רוחב הכביש $A = 10\,\mathrm{m}$, גובה העמוד $H = 6\,\mathrm{m}$.

עקומה פולארית של גוף התאורה נתונה באיור,

עוצמת האור נתונה ב- $\mathrm{cd/klm}$

עוצמת האור בדיאגרמה נתונה ב- $\mathrm{cd/kLumen}$





א. חשבו את עוצמת ההארה על פני הכביש, בנקודה M הנמצאת באמצע המרחק בין שני עמודים 1 ו-2 מול עמוד 3 במרכז הכביש.

(10 נקודות)

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

ב. ההזנה לתאורת הכביש בנויה מכבל בעל מוליכי נחושת $\rho = \frac{1}{58}\ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ (הזניחו את היגב הכבל) ובידוד המותאם ל- $90^\circ C$, טמפרטורת האדמה המקסימלית היא $40^\circ C$ וההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא $2.5\,Km/W$. מפל המתח המרבי המותר יהיה כ-2% בלבד.

קבעו את שטח החתך המינימלי של מעגל ההזנה לתאורת הכביש אם ידוע שאורך הכביש $300\,m$ ומותקנים 20 עמודי תאורה.

הזנת הנורות ממעגל תלת מופעי באמצעות כבלים רב גידיים, בצינור בתוך האדמה.

(6 נקודות)

ג. בהנחה שמתקן התאורה בנוי עמודי מתכת, מנו את שיטות ההגנה בפני התחשמלות, המתאימות למתקן הנ"ל.

(4 נקודות)

2. לוח חשמל של מרכז אנרגיה במבנה ציבורי מוזן מרשת חברת חשמל, מתח הנקוב: $U_n = 400\,V/50\,Hz$.

המתקן ממוקם במרחק של 115 מטר מנקודת חיבור לרשת החשמל.

שיטת התקנת כבלי ההזנה היא: כבלים רב גידיים טמונים באדמה במישרין, צמודים.

טמפרטורת האדמה היא $40^\circ C$, התנגדות הטרמית הסגולית של הקרקע היא $2\,Km/W$

הכבלים הם בעלי מוליכי חמרן ובידוד XLPE (NA2XY).

טבלת העומסים המוזנים מהלוח:

סוג העומס	מספר צרכנים	הספק חשמלי לצרכן בודד (kW)	נצילות %	מקדם הספק	מקדם ביקוש
מדחסים	3	55	92	0.85	0.7
משאבות	6	20	90	0.82	0.75
מפחים	10	5	88	0.8	0.9

טבלה לשאלה 2

א. חשבו את הזרם המקסימלי בקו ההזנה של הלוח הראשי ובחרו את גודל המפסק האוטומטי הראשי.

ערכים נקובים של מפסקים אוטומטים

2A; 4A; 6A; 10A; 16A; 20A; 25A; 32A; 40A; 50A; 63A; 80A; 100A; 125A; 160A; 200A; 250A; 400A; 500A; 630A; 800A; 1000A; 1250A

(5 נקודות)

ב. מה יהיה שטח החתך המינימלי של כבל ההזנה של המפעל בהנחה שבחירת כבל ההזנה מבוססת על שיקולי העמסת יתר ומפל מתח לאורך קו ההזנה שלא יעלה על 3% בלבד. ההיגב ההשראתי של הכבל הוא $0.1\,\Omega/\mathrm{km}$.

(5 נקודות)

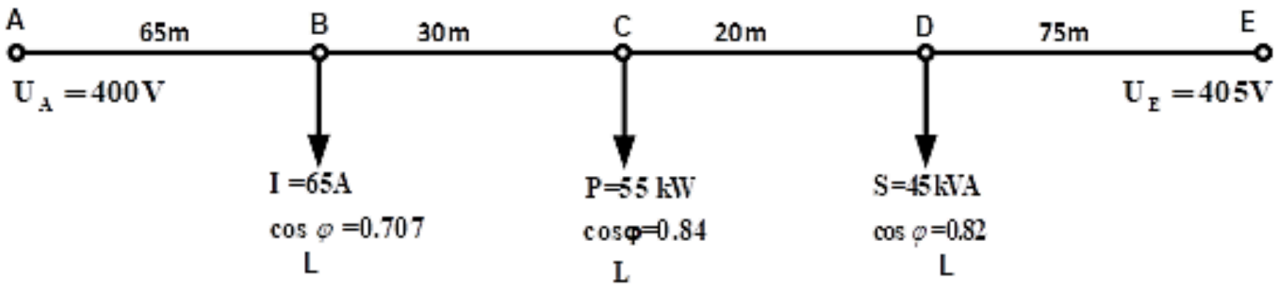
ג. חשבו את גודל סוללות הקבלים הנדרשות על מנת לשפר את מקדם ההספק של המתקן לפי שיטת "קיזוז מרכזי" ל-0.92 לפחות, (הספק, קיבול, ונגדי פריקה), יש לתכנן קווי הזנה ללוח קבלים ולסוללות שנבחרו. לוח הקבלים מחובר ללוח הראשי של מרכז האנרגיה.
לרשות המרכז סוללות קבלים של $20\,\mathrm{kVAr}$, $U_n = 400\,\mathrm{V}$.

(5 נקודות)

ד. שרטטו את לוח הזנת הקבלים: הזנה מלוח ראשי, הזנה לבקר מקדם הספק וקו הזנה לסוללה טיפוסית.

(5 נקודות)

3. באיור לשאלה נתונה רשת תלת מופעית במתח נמוך, הרשת מוזנת מרשת חברת החשמל - שני מקורות הזנה במתחים שונים $U_A = 400\,V$ ו- $U_E = 405\,V$, ידוע שמוליכי הרשת מנחושת $\gamma = 57\,\frac{m}{\Omega mm^2}$, שטח החתך $50\,mm^2$
ההיגב השראתי של מוליכי הרשת זניח.



א. (1) חשבו את הזרם היוצא מכל אחד מהמקורות כאשר $U_A = U_E = 400\,\mathrm{V}$ יש להציג את הערכים בביטוי מרוכב (פולארי או קרטזי).

(2) חשבו את הזרם שזורם ברשת בהנחה שכל העומסים מנותקים ושהמתחים הם לפי הרשום בשאלה $U_A = 400\,\mathrm{V}$ ו- $U_E = 405\,\mathrm{V}$

(3) חשבו את הזרם האמיתי בכל קטע וקטע לאחר חיבור העומסים ובהנחה שהמתחים שונים (כפי שמוצג בתרשים), יש להציג את הערכים בביטוי מרוכב (פולארי או קרטזי).

(10 נקודות)

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

(5 נקודות)

ג. חשבו את הפסדי הספק הפעילים הכוללים ברשת.

(5 נקודות)

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

4. בתחנת משנה ($f = 50\,\text{Hz}$), נקודת הכוכב במשני של שנאי ההספק מחוברת לסליל כיבוי.
השנאי מזין רשת חלוקה עם כבלים מותקנים במישרין באדמה הכוללת שלושה מעגלים (קווים) זהים.

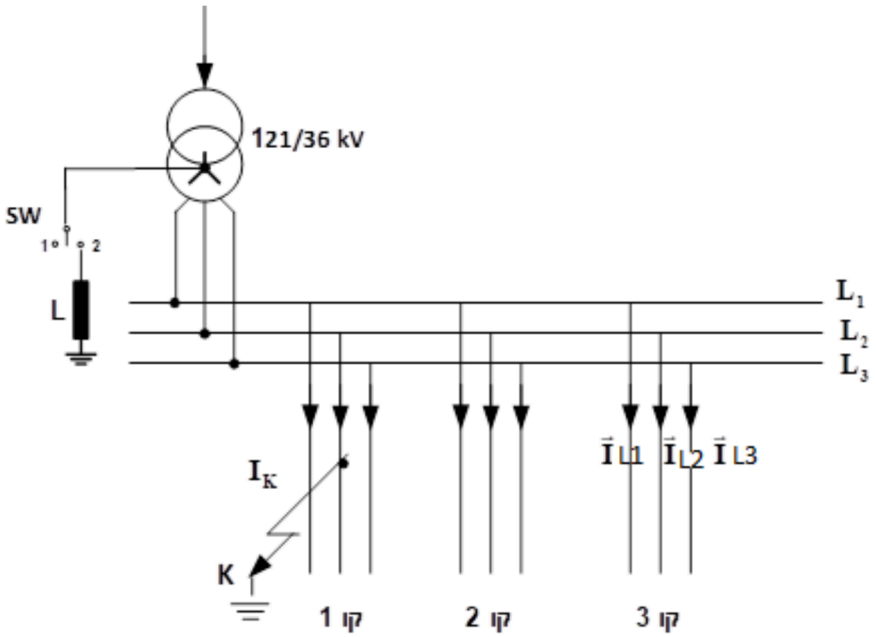
קיבול הכבלים לכל פאזה $C_0 = 0.16\,\mu\text{F/km}$

האורך של כל מעגל (קו) $20\,\text{km}$ כ"א.

הניחו שכאשר כל העומסים בקווי ההזנה מנותקים, והמפסק SW במצב 1 (סליל כיבוי מנותק),
מתרחש קצר חד מופעי לאדמה בפאזה L_2

ביטוי המתחים המופעים במצב תקין הוא:

$$\overline{U}_{L1} = U_{Ph}\sin\omega t$$
$$\overline{U}_{L2} = U_{Ph}\sin(\omega t - 120^\circ)$$
$$\overline{U}_{L3} = U_{Ph}\sin(\omega t + 120^\circ)$$



א. חשבו את עוצמת זרם הקצר I_K במקום התקלה (גודל וזווית).

(10 נקודות)

ב. שרטטו דיאגרמת מתחים וזרמים בנקודת התקלה K.

(4 נקודות)

מחברים את סליל כיבוי ובמקום תקלה נמדד זרם של 10 A (אופי השראתי).

ג. חשבו את השראות סליל הכיבוי.

(6 נקודות)

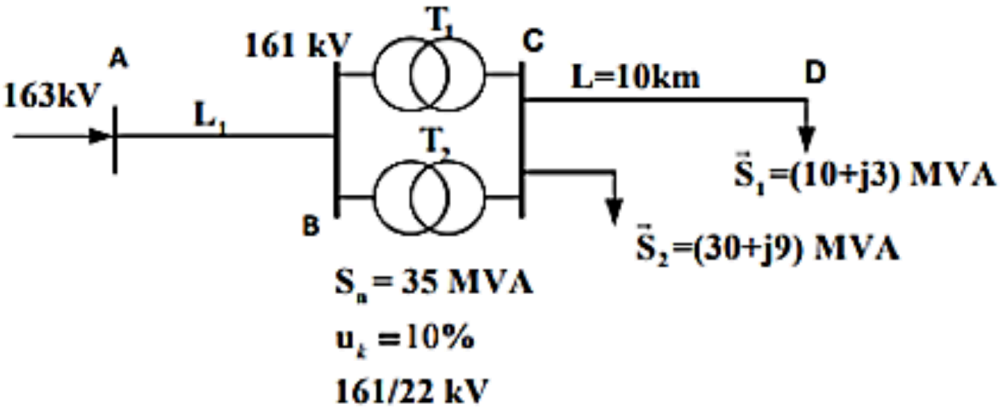
5. באיור לשאלה 5 נתון עומס המוזן משני שנאים זהים המחוברים במקביל.

לשנאים T1 ו-T2 יש משנה דרגות לוויסות המתח בצד הראשוני שלהם, ויסות המתח מתבצע באופן אוטומטי ללא הפסקת המתח לעומס.

כל דרגה מאפשרת ויסות של 2.5%.

השנאים מוזנים באמצעות קו מתח עליון, מפל המתח בקו L1 היא 1%.

נתוני קו ההזנה המחובר לעומס מהשנאים $R_0 = 0.23\,\Omega/\mathrm{km}$ ו- $X_0 = 0.35\,\Omega/\mathrm{km}$



א. חשבו את מפל המתח בקו המוזן במתח גבוה מצדם המשני של השנאים (בקטע CD)

(5 נקודות)

ב. חשבו את מפל המתח בכל אחד מהשנאים.

(5 נקודות)

ג. חשבו את מספר הדרגות הדרוש לוויסות המתח בשנאי כדי להבטיח מתח נומינלי של $22\,\mathrm{kV}$ לפחות בהדקי העומס S1, כאשר נמדד מתח של $163\,\mathrm{kV}$ בנקודה A.

(10 נקודות)

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

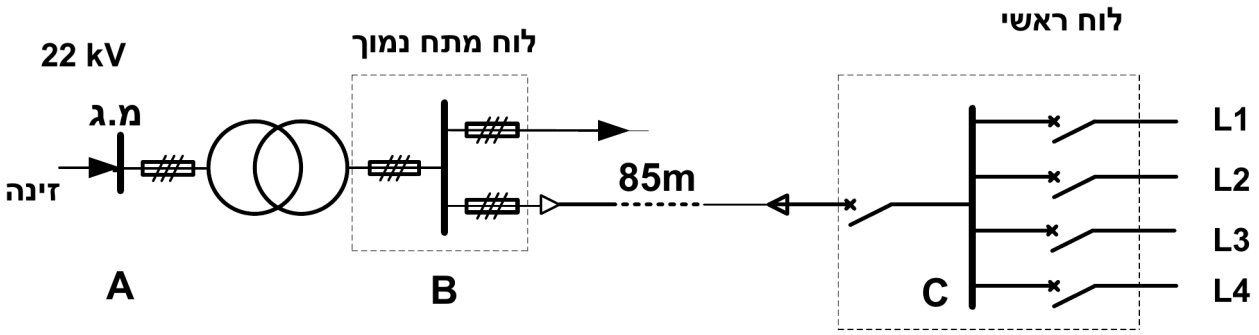
6. מפעל תעשייתי מוזן משנאי $22/0.4\,\mathrm{kV}$, $1600\,\mathrm{kVA}$ הספק הקצר של הרשת המזינה את השנאי $400\,\mathrm{MVA}$. נתוני השנאי $S=1600\,\mathrm{KVA}$ $u_k=6\%$ $\Delta P_{Fe}=2.5\,\mathrm{kW}$ $\Delta P_{cu}=15\,\mathrm{kW}$.

הזנת הלוח הראשי נעשית באמצעות שישה כבלים רב - גידיים העשויים נחושת בידוד $90^\circ\mathrm{C}$, המונחים על מגש רשת בשכבה אחת.

טמפרטורה אופפת $50^\circ\mathrm{C}$.

התנגדות סגולית של הנחושת $\rho=\frac{1}{57}\,\frac{\Omega mm^2}{m}$,

ההיגב ההשראתי של המוליכים בכבל $X_0=0.077\,\Omega/\mathrm{km}$.



א. קבעו את שטח החתך של המוליכים בכבל ההזנה של המפעל בהנחה שהספק הצריכה של המפעל שווה ל-60% מהספק השנאי.

(5 נקודות)

ב. חשבו את כושר הניתוק של הנתיכים בתחנת ההשנאה בצד המתח הגבוה ובצד המתח הנמוך.

(5 נקודות)

ג. חשבו את זרם הקצר המקסימאלי הצפוי בפסי הצבירה שבלוח הראשי.

קבעו את כושר הניתוק של המבטחים.

(5 נקודות)

ד. חשבו את הכוח האלקטרודינמי שמתפתח בין פסי הצבירה שבלוח הראשי של המפעל ב-$\mathrm{kgf/m}$ במקרה של קצר תלת מופעי.

המרחק בין מרכזי פסי הצבירה הוא: $15\,\mathrm{cm}$

(5 נקודות)

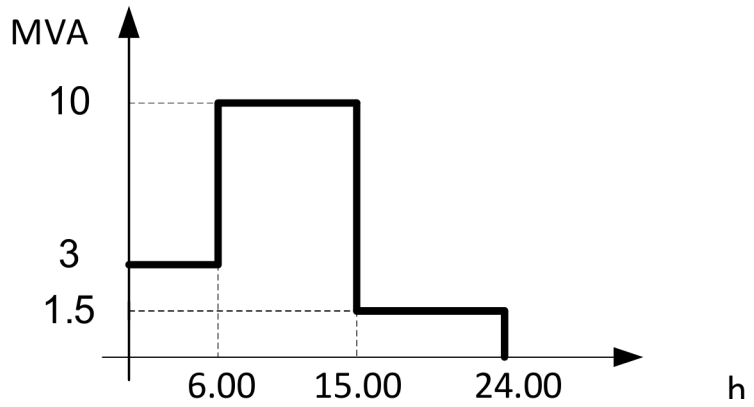
נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il

7. צרכן תעשייתי מוזן מרשת עילית המוליכים ברשת עשויים חמרן, מתח $24\,\mathrm{kV}$. מקדם ההספק אחיד בכל שעות הפעילות ושווה ל-1.

הצרכן פועל 6 ימים בשבוע, 52 שבועות בשנה.

בשאר הזמן העומס $0.5\,\mathrm{MVA}$

עקומת העמסה היומית נתונה באיור לשאלה.



מחיר ההשקעה להקמת הרשת (מחיר הכבלים): ש"ח/ק"מ x ממ"ר $1050 \times A$

A - שטח החתך של המוליכים ב- mm^2 .

אורך הרשת: $15\,\mathrm{km}$

מחיר הריבית השנתית והפחת מוערכים ל-13% ממחיר ההשקעה.

מחיר האנרגיה החשמלית היא 0.64 ₪ / קווט"ש

א. חשבו את שטח החתך הכדאי מבחינה כלכלית של הרשת ואת צפיפות הזרם הכלכלי.

(5 נקודות)

ב. חשבו את עלות צריכת האנרגיה הפעילה השנתית.

(10 נקודות)

ג. איך משפיע שינוי שטח החתך של המוליכים על עלות הקמת רשת חלוקה?

(5 נקודות)

8. לפניכם מספר סעיפים עם שאלות ברירה, עליכם לבחור את התשובה הנכונה בכל סעיף, יש לענות על כל הסעיפים.

א. איזו מהטענות הבאות אינה נכונה לגבי הארקת שיטה:

1. אסור להתקין הארקת שיטה כאשר הגנה בפני חשמול 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)

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

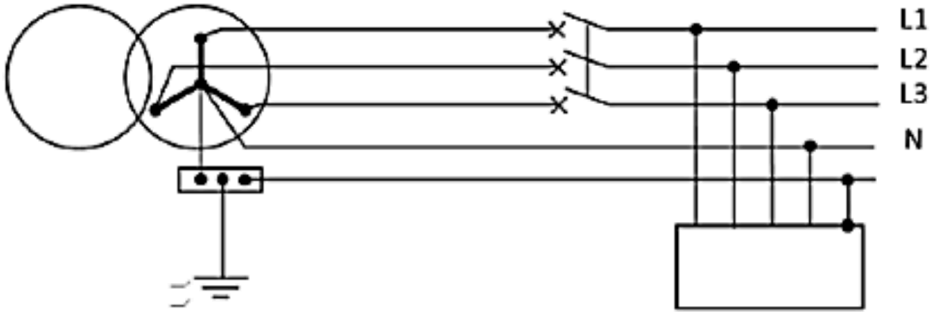
ב. במבנה מותקן שנאי מבדל כחלק משיטת ההגנה בפני חשמול מסוג זינה צפה.

בצידם המשני של המעגלים הניזונים משנאי זה, הותקן ממסר פחת ראשי הפועל בזרם דלף העולה על $30\,\mathrm{mA}$.

איזו מבין התשובות הבאות היא הנכונה בעניין זה?

1. ממסר הפחת יפעל.
2. ממסר הפחת יפעל כאשר יופיע זרם קצר של $5\,I_n$.
3. במקרה זה אין משמעות להתקנת ממסר פחת.
4. ממסר הפחת יפעל כאשר יופיע זרם העולה על $30\,\mathrm{mA}$.

(4 נקודות)

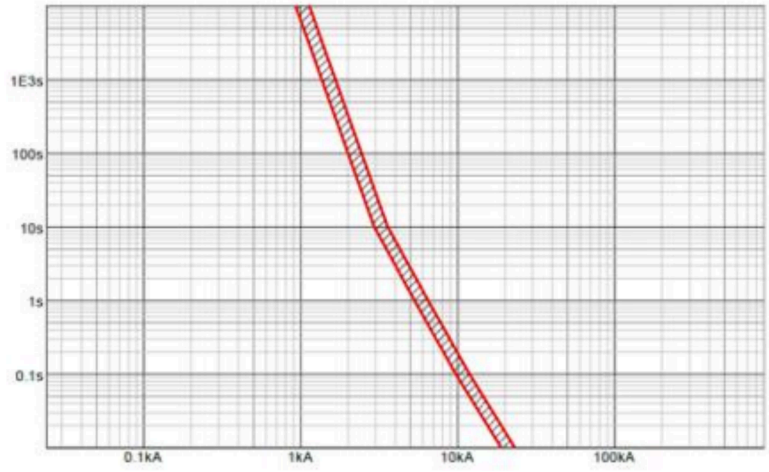


ג. מהי שיטת ההגנה המוצגת בשרטוט?

1. TT.
2. TN-S.
3. IT.
4. TN-C-S.

(4 נקודות)

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



ד. לוח חשמל משני במתח נמוך במבנה תעשייתי מוזן מהלוח הראשי בכבל תלת מופעי רב גידי עם מוליכי אלומיניום בעלי בידוד $70^\circ\mathrm{C}$.

הכבל מוגן ביציאה מהלוח הראשי באמצעות מבטח להגנה בפני זרם קצר בלבד.

באיור לסעיף מוצג אופיין "זרם-זמן" של המבטח המגן על כבל הזינה ללוח הנ"ל.

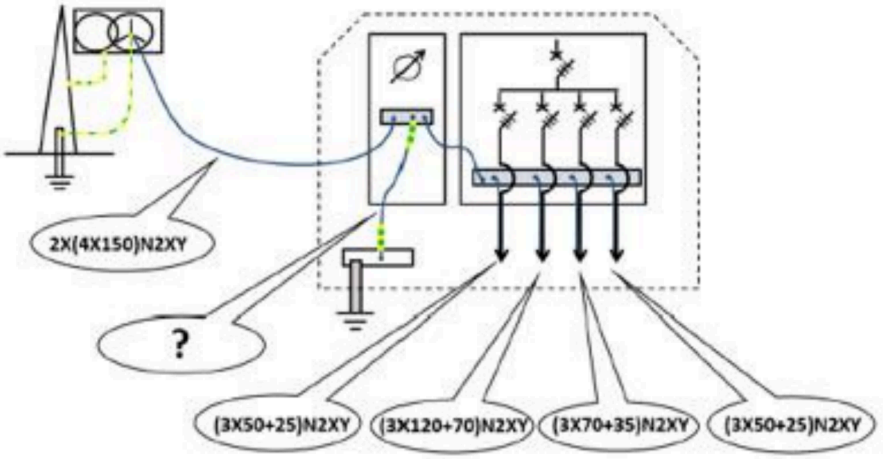
בהסתמך על אופיין זה ובהתאם לדרישת התקנות להגנה בפני זרם קצר בלבד.

מהו שטח החתך המינימלי הסטנדרטי של כבל שיש לבחור, כדי שיתפתח במעגל זה זרם קצר שיסולק בוודאות תוך 3 שניות?

1. $S = 150\,(\mathrm{mm}^2)$.
2. $S = 70\,(\mathrm{mm}^2)$
3. $S = 120\,(\mathrm{mm}^2)$
4. $S = 95\,(\mathrm{mm}^2)$

(4 נקודות)

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



ה. בתרשים מופיע שנאי על עמוד המזין ארון מונים במבנה חדש עם הארקת יסוד.
ארון המונים מזין את הלוח הראשי אשר מזין 4 לוחות משנה בכבלים כמפורט בתרשים.
בהנחה שהמתכנן בחר כ-TN-C-S את שיטת ההגנה במבנה.
מהו שטח החתך הנדרש למוליך האיפוס בתרשים?

1. מוליך נחושת בחתך 150 ממ"ר.
2. מוליך נחושת בחתך 70 ממ"ר.
3. מוליך נחושת בחתך 50 ממ"ר.
4. מוליך נחושת בחתך 25 ממ"ר.

(4 נקודות)

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

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