GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: אביב 2025 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 1-9. 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. קלסר אחד בלבד עם חומר ההרצאות. אין להוציא דפים מהקלסר. 3. מהדורה אחרונה של חוק ותקנות בנושא חשמל בהוצאת המוסד לבטיחות ולגיהות. 4. שני ספרי לימוד. אין להעביר חומר עזר, ספרים 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 המוצבים 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, עליכם לציין זאת במפורש במחברת הבחינה, ולבחור ערך מתאים שיאפשר לכם 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. בבית פרטי הותקנה מערכת פוטו- וולטאית בהספק של $11.5\,\mathrm{kW}$ ומקדם התלכדות של 0.3. המפסק הראשי בלוח החשמל של הבית הפרטי הוא $3 \times 63\,\mathrm{A}$. המא"זים בלוח החשמל ממשפחת C בלבד. בטבלה א' מצורפים המעגלים/הצרכנים:

סוגי צרכנים	מספר הצרכנים	זרם נקוב של המא"ז [A]
דוד חשמלי	1	16
תנור אפייה	1	16
מכונת כביסה	1	16
מזגן מרכזי	1	16
עמדת טעינה לרכב חשמלי	1	20
בתי תקע	15	16
תאורה	10	10

טבלה א' לשאלה 1

א. כבל ההזנה לבית הפרטי (5 גידים בכבל ההזנה) מותקן בצינור בקרקע. כאשר טמפרטורת האדמה היא $35^\circ\mathrm{C}$ וההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא $2.5\,\mathrm{Km/W}$. הכבלים הם בעלי מוליכי נחושת ובידוד XLPE. קבעו מהו שטח החתך המינימלי הנדרש בהתאם לתקנות החשמל?

(5 נקודות)

ב. בהתאם לדרישות חוק החשמל והתקנת הכבל המתוארת, מה עומק הנחת סרט האזהרה?

(4 נקודות)

ג. בארון חלוקה של בעלת רשת החשמל (פילר) בוצע חיבור בין מוליך האפס של הרשת (PEN) לפס הארקות בארון החלוקה. מהי שיטת ההגנה בפני חשמול של הבית הפרטי? הסבירו מהי לולאת התקלה ופרטו את מסלולה במקרה המתואר?

(5 נקודות)

ד. לוח החשמל של הבית הפרטי הוא לוח מסוג 2. מהי עכבת לולאת התקלה המרבית (בהתאם לדרישה להפסקה מידית של התקלה) בהתאם לנתונים בטבלה א'?

(4 נקודות)

ה. חשבו את משך זמן החזר ההשקעה עבור המערכת הפוטו- וולטאית (עלות כ- 50 אלף ש"ח) בהתחשב בצריכת החשמל של הבית הפרטי על סמך המתואר בשאלה ובטבלה ב'.

אנרגיה חודשית [kWh]	עלות צריכה ממוצעת ל-1kWh [ש"ח]	עלות ייצור ממוצעת ל-1kWh [ש"ח]	הריבית והפחת השנתיים בגין ההשקעה הכוללת מהסכום הכולל [%]
1060kWh	0.6	0.6	5

טבלה ב' לשאלה 1

(2 נקודות)

2. בשרטוט מתוארת מערכת חשמל של מחצבה. משטר עבודה רגיל: מפסק Q1 **מופסק**.

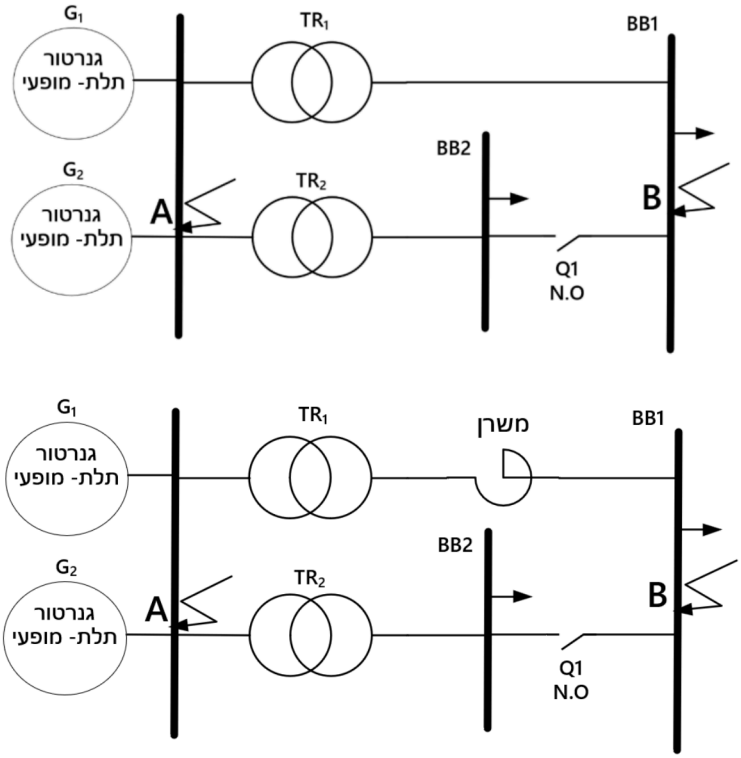
נתונים:

גנרטורים G1 ו- G2:

$$P_n = 3\,\text{MW};\ \cos\varphi = 0.8;\ U_n = 6.9\,\text{kV};\ u_k[\%] = 11$$

שנאי TR1 ו- TR2:

$$S_n = 3500\,\text{kVA};\ \frac{U_1}{U_2} = \frac{6.9\,\text{kV}}{0.4\,\text{kV}};\ \Delta P_{CU} = 23\,\text{kW};\ \Delta P_{FE} = 4\,\text{kW};\ u_k[\%] = 8$$



א. במשטר עבודה רגיל לפי איור א', חשבו את ערך הפסגה של זרם הקצר התלת-מופעי בנקודה A.

(4 נקודות)

ב. במשטר עבודה רגיל לפי איור א', חשבו את גודל זרם הקצר התלת מופעי בפס צבירה BB1 (בנקודה B).

(4 נקודות)

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

ג. במשטר עבודה רגיל לפי איור ב', חשבו את גודל המשרן (מגביל זרם קצר) כך שזרם הקצר התלת מופעי בפס צבירה BB1 (בנקודה B) לא יעלה על $15\,\mathrm{kA}$.

(4 נקודות)

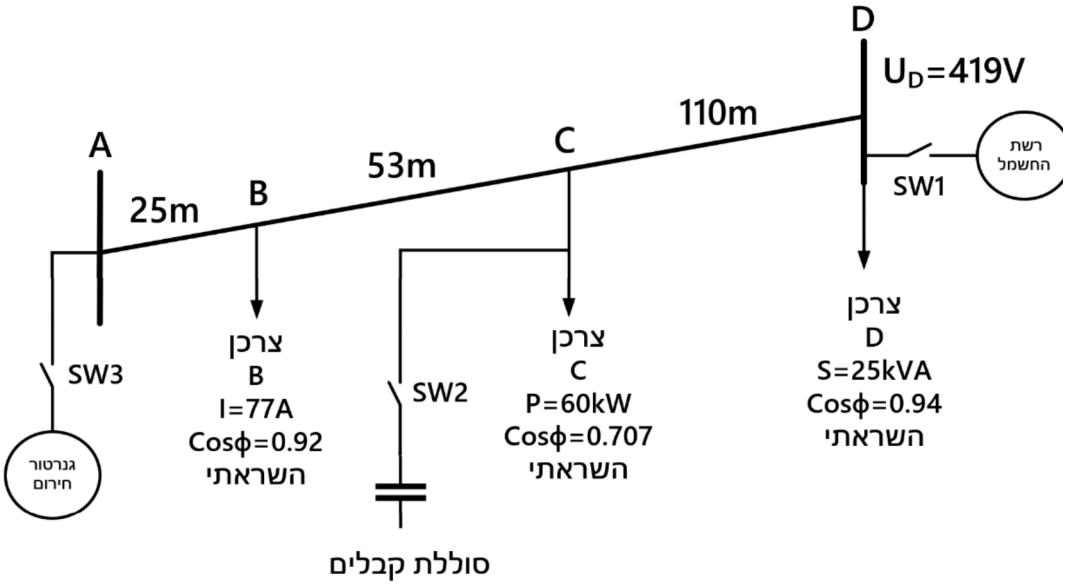
ד. קבעו מה יהיה כושר הניתוק של מפסק Q1 לפי איור ב'.

(4 נקודות)

ה. הסבירו מהו השוני ברכיב הלא- מחזורי של זרם הקצר בנקודה B (במשטר עבודה רגיל) בין איור א' לאיור ב'.

(4 נקודות)

3. באיור לשאלה נתונה רשת תלת מופעית במתח נמוך, מתח הרשת הנקוב הוא $0.4\,\mathrm{kV}$. הרשת מוזנת מרשת החשמל ובמקרה חירום של אי אספקת חשמל מרשת החשמל, הרשת מוזנת מגנרטור חירום. ידוע שמוליכי הרשת מנחושת הם בעלי התנגדות סגולית של $\rho = \frac{1}{58}\,\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$. ההיגב ההשראתי של מוליכי הרשת $0.12\,\Omega/\mathrm{km}$.
שטח החתך במקטעים ABCD הוא $70\,\mathrm{mm}^2$.



א. חשבו את הזרם בכל קטע וקטע (מפסק SW1 מחובר בלבד).

(4 נקודות)

ב. חשבו מהי סוללת הקבלים הנדרש כך שבנקודה C המתח יהיה לפחות $410\,\mathrm{V}$ (מפסקים SW1 ו- SW2 מחוברים).

(4 נקודות)

ג. חשבו את הפסדי ההספק של הרשת (מפסקים SW1 ו- SW2 מחוברים).

(4 נקודות)

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

ד. הניחו שרשת החשמל מופסקת והגנרטור חירום של המתקן מזין את המתקן.
קבעו מה יהיה גודל המתח הנדרש בהדקי הגנרטור (בנקודה A) על מנת שהמתח בנקודה C יהיה לפחות $410\,V$ (הניחו שמפסקים SW1 ו- SW2 מופסקים ומפסק SW3 מחובר).

(4 נקודות)

ה. בהתאם לדרישות חוק החשמל, ציינו מה הדרישות עבור הבדיקות הנדרשות לגנרטור המתואר בשאלה.

(4 נקודות)

4. למתקן חשמלי במרכז הארץ במתח נקוב של $400\,V$, מערכת החשמל תוכננה על סמך טבלת העומסים הבאה:

סוגי צרכנים	מספר הצרכנים	הספק חשמלי לצרכן בודד [kW]	מקדם התלכדות	מקדם ההספק
מנועים	4	100	0.75	0.8 מפגר
תאורה	1	30	1	1
ציוד נוסף	1	30	0.75	0.87 מפגר

המתקן ממוקם במרחק של 200 מטר מנקודת החיבור לרשת החשמל. שיטת התקנת כבלי ההזנה (כבלים רב גידיים המותקנים צמוד) היא ישירות באדמה, כאשר טמפרטורת האדמה היא $40^{\circ}C$ וההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא $2.5\,Km/W$. הכבלים הם בעלי מוליכי אלומיניום ובידוד XLPE.

א. מה יהיה גודלו המינימלי של המפסק האוטומטי הראשי אשר יאפשר הגנה של כבלי ההזנה נגד העמסת יתר?

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 2% בלבד (הזניחו את היגב הקו).

(6 נקודות)

ג. חשבו מהי סוללת הקבלים המינימלית הנדרשת עבור התנאי שמקדם ההספק של המתקן יהיה 0.93 לפחות.

(6 נקודות)

ד. למתקן החשמל, נדרש לתכנן מערכת גיבוי (שלושה מנועים, תאורה וציוד נוסף בלבד) להזנת החשמל בעזרת דיזל- גנרטור.

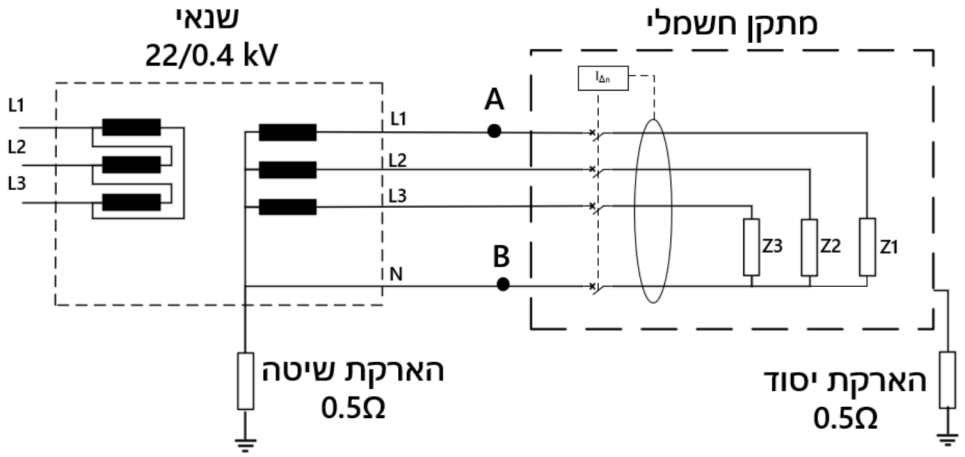
קבעו מהו הספק האקטיבי של הגנרטור הנדרש אם ידוע, שתהליך חיבור המנועים מתבצע בצורה שלא מאפשרת חיבור של יותר ממנוע אחד בו- זמנית זרם ההתנעה של מנוע גדול פי 3 מהזרם הנקוב.

(3 נקודות)

5. באיור לשאלה מוצגים עומסים חד מופעיים המחוברים לרשת החשמל. המתח הנקוב של הרשת הוא $400\,\mathrm{V}$.

העכבות נתונות בטבלה (לפי נתונים נקובים):

צרכן	עכבת הצרכן [Ω]
Z1	$2.5 + j3.5$
Z2	$0.75 + j1.6$
Z3	$5.5 - j6.3$



א. קבעו מהי שיטת ההגנה בפני חשמול של המתקן? מהו הערך המרבי הנדרש עבור התנגדות אלקטרודת הארקה ביחס למסת האדמה בהתאם לדרישות תקנות החשמל?

(4 נקודות)

ב. חשבו את הזרם במוליך האפס.

(4 נקודות)

ג. חשבו את מקדם ההספק של המתקן החשמלי.

(4 נקודות)

ד. חשבו מהו גודל המתח עבור עומס Z2 בניתוק של פאזה L1 (בנקודה A).

(4 נקודות)

ה. ציינו מהו הרכיב החשמלי הקיים במתקן החשמלי (בהתאם לאיור)
הסבירו ונמקו האם תתבצע הפסקה כאשר יהיה ניתוק במוליך ה- N (בנקודה B).
(4 נקודות)

6. מפעל מוזן מרשת תלת-מופעית $12.6\,\text{kV}$. הספק הקצר של רשת $12.6\,\text{kV}$ הוא $200\,\text{MVA}$.
ישנם שני שנאי ההספק המזינים את המפעל ונמצאים בחדר השנאה והם בעלי הנתונים הבאים:
שנאי 1:

$$S_{n1}=1600\,\text{kVA};\ \frac{U_1}{U_2}=\frac{12.6\,\text{kV}}{0.4\,\text{kV}};\ \Delta P_{CU}=15.4\,\text{kW};\ u_k[\%]=5.4$$

שנאי 2:

$$S_{n2}=800\,\text{kVA};\ \frac{U_1}{U_2}=\frac{12.6\,\text{kV}}{6.9\,\text{kV}};\ \Delta P_{CU}=10.2\,\text{kW};\ u_k[\%]=7.4;\ \beta=0.6$$

מקדם הספק העומס $\cos\varphi=0.9$
לוח החשמל הראשי במתח נמוך של המפעל מזין שלוש לוחות חשמל משניים. המתח הנמוך במפעל הוא $400\,\text{V}$.
הטבלה מציגה את עומס שנאי 1 בלבד.

לוח חשמל	זרם העבודה הממושך [A]	מקדם הספק בלוח החשמל
1	350	0.75 השראתי
2	330	0.79 השראתי
3	450	0.93 השראתי

ערכים נקובים של מפסקי זרם (מתח גבוה/ נמוך)

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

א. קבעו מהו מפסק הזרם הראשי בצד המתח הגבוה של המפעל (גודל חיבור המתקן).
(5 נקודות)

ב. קבעו מהו מפסק הזרם הראשי בצד המתח הנמוך.
(5 נקודות)

ג. מפסק הזרם הראשי בצד המתח הגבוה תוכנן לבצע הפסקה במקרה של קצר חד פאזי כלפי הארקת גוף השנאי בזמן של $0.5\,\text{sec}$. מהי העמידות התרמית הנדרשת ממוליך הארקה של גוף השנאי?
(5 נקודות)

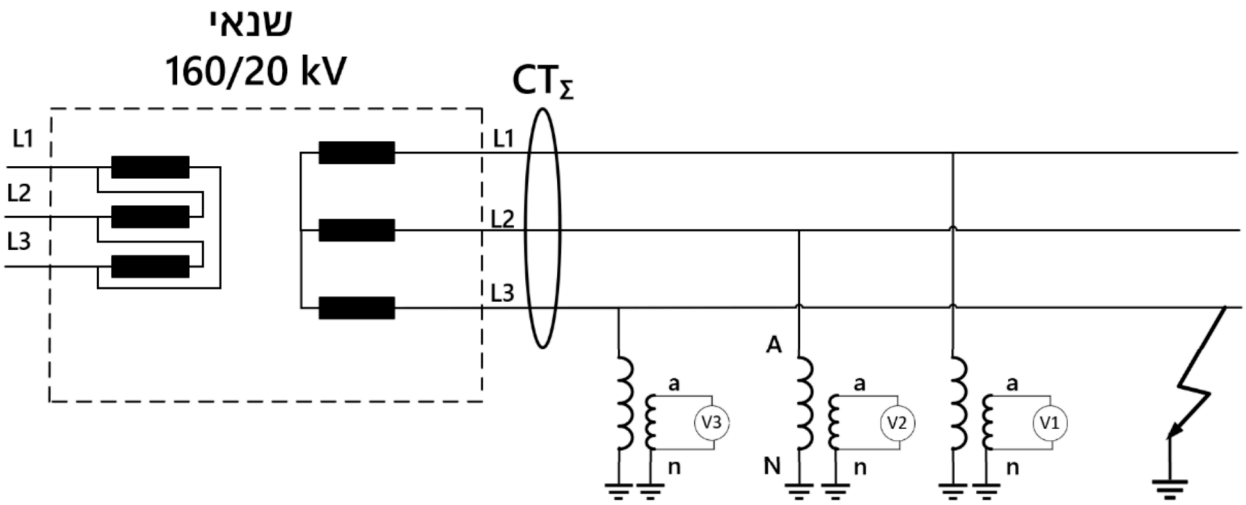
ד. במפעל, הותקנו סוללות קבלים בשיטת "קיזוז מרכזי". חשב את גודל סוללת הקבלים הנדרשת עבור מקדם הספק של 0.94, עבור כל המפעל.
(5 נקודות)

7. בתחנת משנה במרכז הארץ ($f = 50\,\text{Hz}$), נקודת הכוכב במשני של שנאי ההספק ממתח עליון/מתח גבוה מבודדת. השנאי מזין את רשת החלוקה אשר בחלקה היא רשת עילית ובחלקה רשת כבלים תת קרקעית. קיבול הרשת העילית לכל פאזה כ- $0.009 \times 10^{-6}\ \frac{F}{km}$ והקיבול של רשת הכבלים לכל פאזה כ- $170 \times 10^{-9}\ \frac{F}{km}$.

לפניך אורכים של הרשתות השונות עבור כל מעגל:

מעגל	אורך הרשת העילית [ק"מ]	אורך רשת הכבלים [ק"מ]
מעגל 1	13	10
מעגל 2	13	5
מעגל 3	12	5

מתח הרשת הנקוב הוא $20\,\text{kV}$. יש להיעזר באיור המצורף.



א. חשבו מהו גודל הזרם הקיבולי בפאזה L2 במצב תקין של הרשת.

(4 נקודות)

ב. במצב קצר חד פאזי בין פאזה L3 לאדמה, חשבו מהו גודל הזרם הקיבולי אשר יימדד בפאזה L1.

(4 נקודות)

ג. במצב קצר חד פאזי בין פאזה L3 לאדמה, חשבו מהו גודל הזרם הקיבולי אשר יימדד בשנאי זרם CT_Σ .

(4 נקודות)

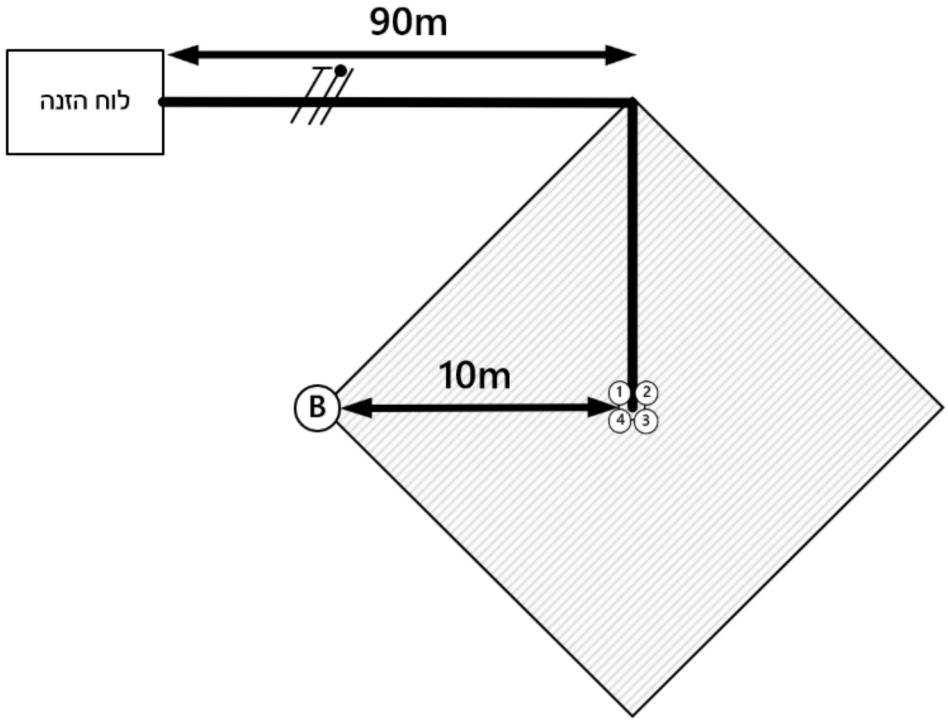
ד. במצב קצר חד פאזי בין פאזה L3 לאדמה, מה יהיה גודל המתח בין הדקים A-N של שנאי המתח?

(4 נקודות)

ה. שנאי המתח הם עם יחס השנאה של $\frac{20/\sqrt{3}}{0.11/\sqrt{3}}$, במצב קצר חד פאזי בין פאזה L3 לאדמה מה יהיה המתח שימדד במד המתח V1?

(4 נקודות)

8. במגרש משחקים לרכיבה המתואר באיור קיים עמוד תאורה. עמוד התאורה ממוקם במרכז המגרש ועליו מותקנים ארבעה גופי תאורת לד (מסומנים באיור). כל גוף תאורה בעל נצילות אורית של $100\,\mathrm{Lm/W}$. פיזור האור שווה לכל הכיוונים בצורת חצי עיגול. שטף האור של מנורת לד הוא $5000\,\mathrm{Lm}$. במרכז המגרש נמדדה רמת הארה של $80\,\mathrm{Lux}$. רשת החשמל במתח נקוב של $230\,\mathrm{V}$, כבל ההזנה בעל שלושה גידים בלבד מותקן בצינור באדמה תחת שכבת אספלט וריצוף.



א. חשבו את גובה עמוד התאורה.

(5 נקודות)

ב. חשבו את רמת ההארה בשפת המגרש (נקודה B).

(5 נקודות)

ג. חשבו את הספקה של מנורת לד בודדת.

(5 נקודות)

ד. כבל ההזנה בעל מוליכי נחושת, $\rho = \frac{1}{58}\ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ (הזניחו את היגב הכבל) ובידוד המותאם ל- $70^\circ\mathrm{C}$.

כאשר טמפרטורת האדמה המקסימלית היא $40^\circ\mathrm{C}$ וההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא $2.5\,\mathrm{Km/W}$. מפל המתח המרבי המותר יהיה כ- 2% בלבד. קבעו את שטח חתך המינימלי של מעגל ההזנה לעמוד התאורה בהתאם לתנאי ההתקנה ולדרישות.

(3 נקודות)

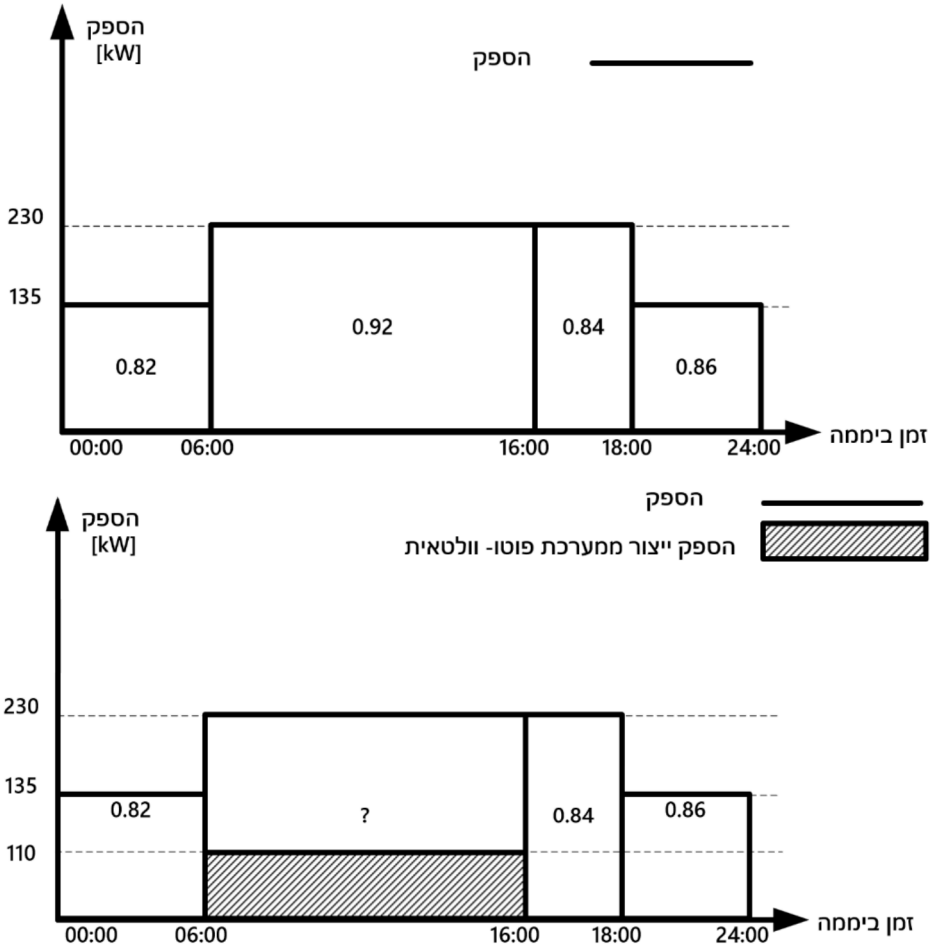
ה. לפי חוק החשמל וההתקנה המתוארת בשאלה, מהו עומק ההתקנה המינימלי של הצינור באדמה?

(2 נקודות)

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

9. מפעל מקבל הזנה תלת מופעית במתח $400\,V$.

בגרף מתוארים עקומת העמסה יומית ומקדם ההספק של המתקן. הניחו שמקדם ההספק השראתי.



א. חשבו את ההספק המדומה המקסימלי של המפעל לפי גרף א'.

(4 נקודות)

ב. חשבו את האנרגיה היומית של המתקן החשמלי לפי גרף א'.

(4 נקודות)

ג. חשבו את מקדם ההספק הממוצע של המפעל לפי גרף א'.

(4 נקודות)

ד. נדרש לתכנן סוללת קבלים כך שמקדם ההספק הממוצע יהיה 0.92. חשבו מה יהיה גודל סוללת הקבלים.

(4 נקודות)

ה. הותקנה מערכת פוטו- וולטאית במפעל (הניחו שמקדם הספק המערכת הוא 1).

קבעו מה יהיה מקדם ההספק של המפעל בין השעות 06:00-16:00 לפי גרף ב'?

(לא נדרש להתחשב בסוללת הקבלים שחושבה בסעיף ד').

(4 נקודות)

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

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