GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: קיץ 2024 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. ענו על 5 מבין השאלות 1-9, ערך כל שאלה 20 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 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!

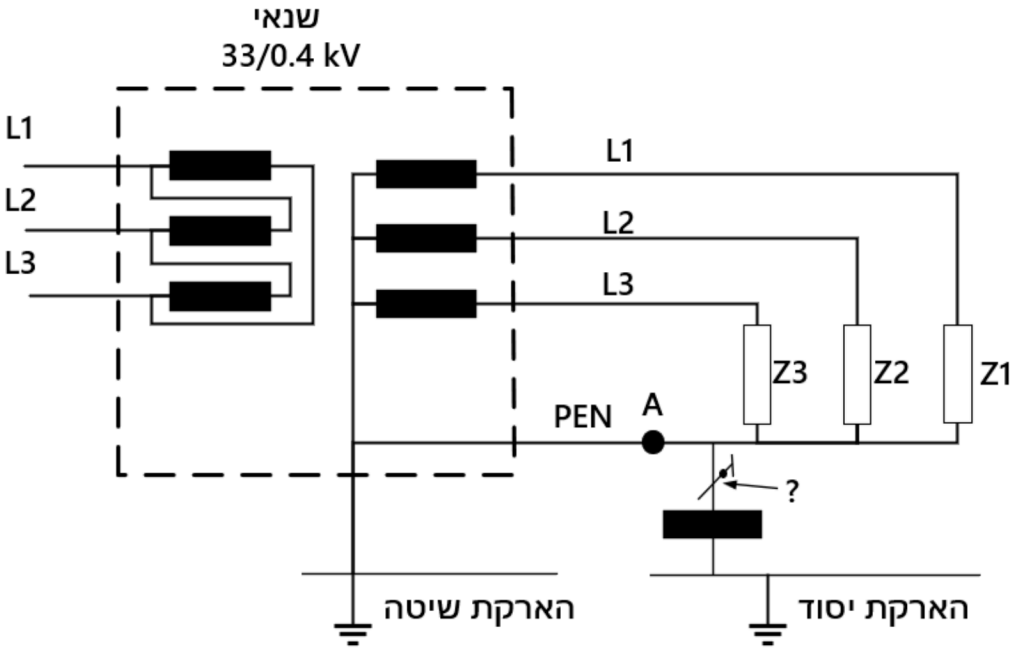
השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים, אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

השאלות

1. באיור לשאלה 1 מוצגים עומסים חד-מופעיים המחוברים בתצורת כוכב לרשת החשמל בבית פרטי.
המתח הנקוב של הרשת הוא $400\,\mathrm{V}$.
צרכנים:

צרכן	עכבת הצרכן $[\Omega]$
Z_1	$11+j5$
Z_2	$4.5+j7$
Z_3	$8-j2.5$



א. מהי שיטת ההגנה בפני חשמול במתקן החשמלי?
(3 נקודות)

ב. חשבו את מקדם ההספק של המתקן התלת-מופעי.
(7 נקודות)

ג. חשבו את המתח עבור עכבת Z_3 , כאשר ישנו נתק במוליך ה- PEN בנקודה A
(הסתמכו על חישוב זרמי העבודה טרם נותק מוליך ה- PEN).
(4 נקודות)

ד. הסבירו בצורה איכותית מהו המוליך המסומן באמצעות החץ? מה צבעו ומטרתו?
(6 נקודות)

2. למתקן חשמלי במתח נקוב של $400\,\mathrm{V}$, קיימת הזנה מרשת החשמל.
המתקן מחובר בשני כבלים רב גידיים צמודים בשטח חתך של $150\,\mathrm{mm}^2$ שמותקנים ישירות באדמה ללא רווח ביניהם, כאשר טמפרטורת האדמה היא $45^\circ\mathrm{C}$ וההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא $2.5\,\mathrm{K\cdot m/W}$.
הכבלים הם בעלי מוליכי נחושת ובידוד $XLPE$.

א. מה יהיה גודלו המרבי של המפסק האוטומטי 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 ההספק המדומה המקסימלי של המפעל בהנחה שבחירת כבל ההזנה מבוססת על שיקולי העמסת יתר בלבד?

(5 נקודות)

ג. לפי תקנות החשמל, מה צריכה להיות התנגדות הבידוד של הכבלים?

(5 נקודות)

ד. נדרש לכוונן את המפסק האוטומטי לפי עכבת לולאת תקלה מינימלית שנמדדה כ- $0.33\,\Omega$.
ערכי הכיוונון המתאפשרים הם 1.5- 2- 2.5- 3- 4- 5- 6- 8-10 מכפלות הזרם הנקוב.
מה הכיוונון המרבי המתאפשר בהתאם לתוצאות המדידה?

(5 נקודות)

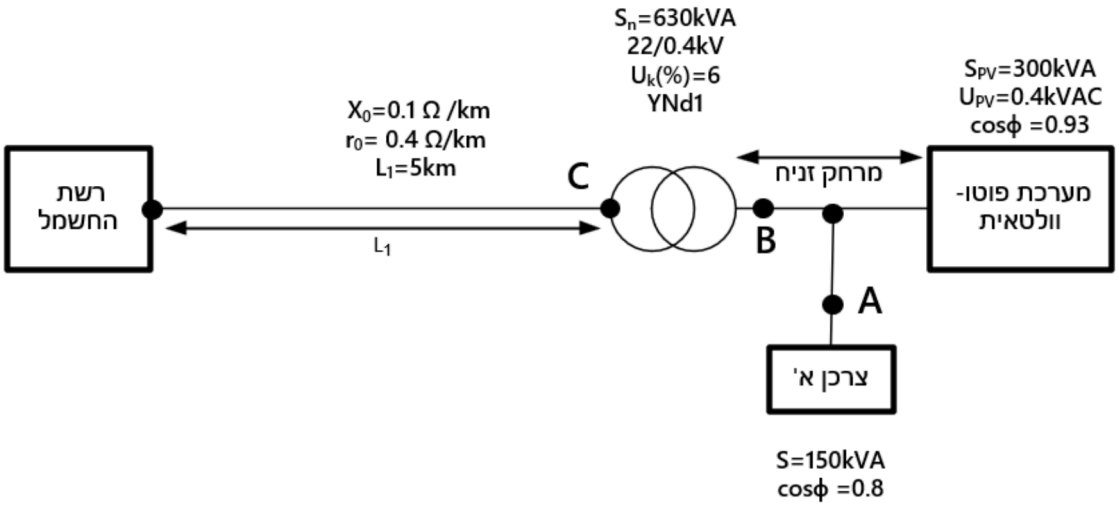
3. עומס חשמלי מחובר לשני מקורות הזנה. מקור ההזנה הראשון הוא רשת החשמל, ומקור ההזנה השני הוא מתקן פוטו-וולטאי המספק בצורה קבועה את הערכים הבאים:

$$S_{PV} = 300\,kVA;\ \cos\varphi = 0.93;\ U_{PV} = 400\,VAC$$

בתנאים אופטימליים הספק הייצור הוא כ- $300\,\text{kVA}$ ומקדם הספק של 0.93 . באיור לשאלה 3 מתוארת המערכת המחוברת לרשת החשמל.

צרכן א':

$$S = 150\,kVA;\ \cos\varphi = 0.8$$



מספר הדרגה	מתח בראשוני (צד המתח הגבוה)	מתח בשניוני (צד המתח הנמוך)
1	$23.10\,\text{kV}$	$400\,\text{V}$
2	$22.55\,\text{kV}$	$400\,\text{V}$
3	$22.00\,\text{kV}$	$400\,\text{V}$
4	$21.45\,\text{kV}$	$400\,\text{V}$
5	$20.90\,\text{kV}$	$400\,\text{V}$

בסעיפים הבאים הניחו שדרגת השנאי היא 3.

א. חשבו את הזרם שימדד בפאזה $L1$ בנקודה A (הניחו שהמערכת הפוטו-וולטאית מצויה בתנאים אופטימליים ומתח המערכת הוא $400\,\text{V}$).

(5 נקודות)

ב. חשבו את הזרם שימדד בפאזה $L1$ בנקודה B (הניחו שהמערכת הפוטו-וולטאית מצויה בתנאים אופטימליים ומתח המערכת הוא $400\,\text{V}$).

(5 נקודות)

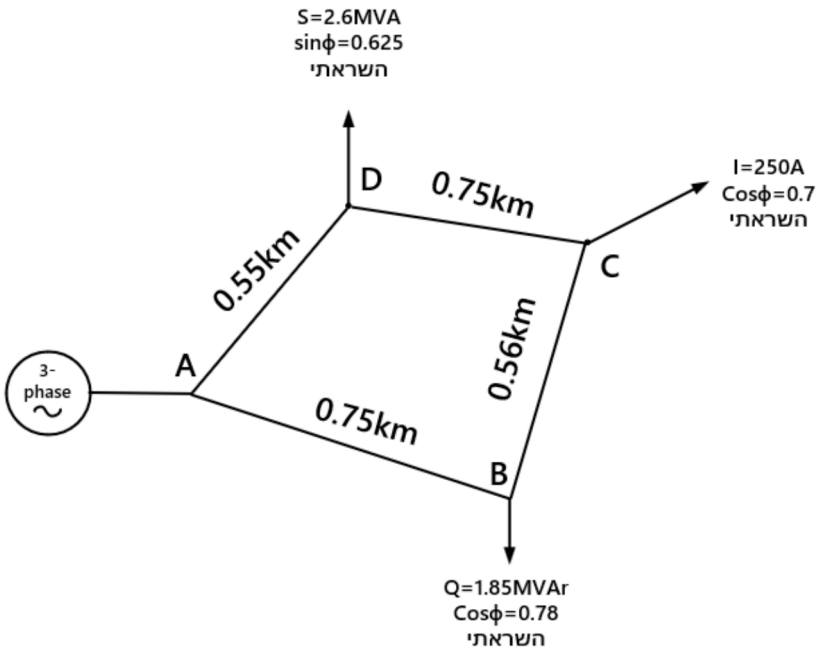
ג. חשבו את המתח בנקודה C . (הניחו שהמערכת הפוטו-וולטאית מצויה בתנאים אופטימליים ומתח המערכת הוא $400\,\text{V}$).

(5 נקודות)

ד. בשנאי ההספק יש משנה דרגות כמתואר בטבלה לשאלה 3. מהי הדרגה שהייתם בוחרים במטרה שהמתח בנקודה C יהיה הקרוב ביותר למתח הנקוב של הרשת $(22\,\mathrm{kV})$ בזמן שאין ייצור ממערכת הפוטו-וולטאית.

(5 נקודות)

4. באיור לשאלה 4 נתונה רשת תלת-מופעית טבעתית במתח גבוה. ההיגב ההשראתי של מוליכי הרשת הוא $0.12\,\Omega/\mathrm{km}$. מתח הרשת הנקוב הוא $13.2\,\mathrm{kV}$.



א. חשבו את ההספק בכל קטע וקטע.

(6 נקודות)

ב. חשבו וקבעו את שטח החתך האחיד (מסחרי) של מוליכי הרשת, אם ידוע שמגבלת מפלי המתח המקסימלית ברשת היא 1% בלבד ואם ידוע שמוליכי הרשת מנחושת $\rho = \frac{1}{34}\ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$.

(6 נקודות)

ג. קבעו את הנקודה שבה המתח הוא המתח המזערי וחשבו את ערכו.

(4 נקודות)

ד. חשבו את הפסדי הרשת.

(4 נקודות)

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

5. מפעל מוזן מרשת תלת-מופעית $22\,\mathrm{kV}$. הספק הקצר של רשת $22\,\mathrm{kV}$ הוא $250\,\mathrm{MVA}$. שנאי ההספק המזין את המפעל נמצא בחדר השנאה והוא בעל הנתונים הבאים:

$$S_n = 800\,kVA;\ \frac{U_1}{U_2} = \frac{22\,kV}{0.4\,kV};\ \Delta P_{CU} = 8\,kW;\ \Delta P_{FE} = 1.3\,kW;\ u_k[\%] = 6$$

לוח החשמל הראשי במתח נמוך של המפעל מזין 3 לוחות חשמל משניים. המתח הנמוך במפעל הוא $400\,\mathrm{V}$.

הטבלה המצורפת לשאלה 5 מציגה את עומס המפעל:

לוח חשמל	זרם העבודה הממושך $[\mathrm{A}]$	מקדם הספק בלוח החשמל
1	240	0.75 השראתי
2	68	0.79 השראתי
3	235	0.93 השראתי

א. חשבו את מקדם העמסת השנאי?

(5 נקודות)

ב. קבעו האם השנאי עובד בנצילות המרבית?

(5 נקודות)

ג. במפעל, הותקנו סוללות קבלים בשיטת "קיזוז מרכזי". חשבו את גודל סוללת הקבלים הנדרשת עבור מקדם הספק של 0.94 , עבור הלוח הראשי.

(5 נקודות)

ד. בחרו מהו הערך הנקוב המינימלי של המבטח לסוללות הקבלים, בהתאם לדרישות תקנות החשמל.

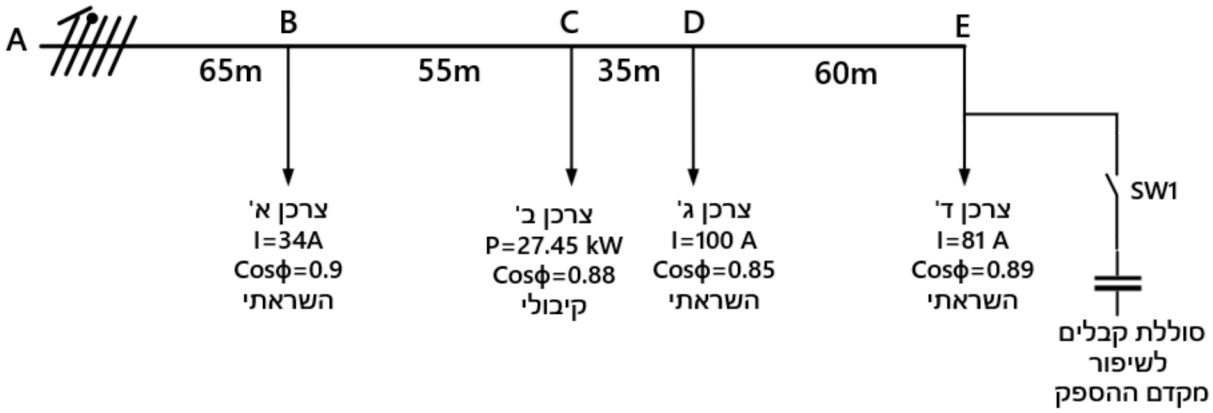
(5 נקודות)

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

6. באיור לשאלה 6 מתוארים לוחות חשמל לחלוקה הפרושים במרחקים שונים זה מזה. ההזנה היא תלת-מופעית במתח של $400\,\mathrm{V}$.

מוליכי ההזנה לכל אורכה של הרשת הם מנחושת $\rho = \frac{1}{58}\,\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ וההיגב ההשראתי של מוליכי הקו הוא $0.12\,\Omega/\mathrm{km}$.

מפסק $SW1$ מופסק.



א. בחרו את שטחי החתך התקניים בקטעי הרשת השונים לפי קריטריון של מינימום חומר כאשר מפל המתח המקסימלי הוא 3% .

(6 נקודות)

ב. חשבו את הפסדי הרשת.

(4 נקודות)

ג. חשבו את גודל המתח בנקודה C .

(4 נקודות)

ד. מהי סוללת הקבלים המינימלית הנדרשת עבור התנאי שמקדם ההספק בקו של צרכן ד' (נקודה E) יהיה 0.93 לפחות?

(3 נקודות)

ה. מהו גודלו של נגד הפריקה עבור הקבל לשיפור מקדם ההספק בהתאם לדרישות חוק החשמל?

(3 נקודות)

7. באיור לשאלה 7 נתונה המערכת הבאה (תדירות המערכת היא $50\,\text{Hz}$):

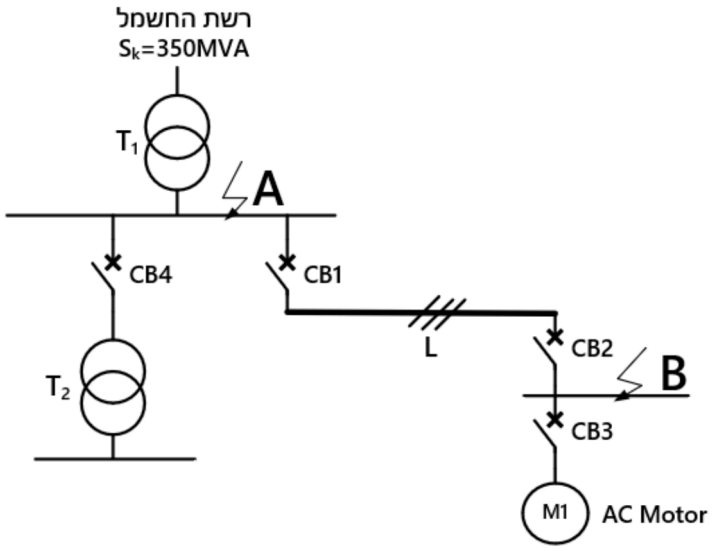
נתוני השנאים:

שנאי $T1$ - מתח $33/3.6\,\text{kV}$ וקבוצת חיבורים $YNd1$, $U_{k.r}(\%)=6\%$,
$U_{k.a}(\%)=1.5\,\%$, $S_n=2.5\,\text{MVA}$.

שנאי $T2$ - מתח $3.6/0.4\,\text{kV}$ וקבוצת חיבורים $Dyn11$, $U_{k.r}(\%)=5\%$,
$U_{k.a}(\%)=1\%$, $S_n=1.6\,\text{MVA}$.

מנוע $M1$ - מתח $3.6\,\text{kV}$, תצורת חיבור Y , $I_{start}=5.5\times I_n$, $P_n=800\,\text{kW}$,
$\cos\varphi=0.75$, $beta=0.9$.

קו הזנה למנוע האסינכרוני - $R_L=0.25\,\Omega/\text{km}$, $X_L=0.1\,\Omega/\text{km}$, $L=100\,\text{m}$.



א. חשבו את זרם הקצר התלת-מופעי המרבי בנקודה A .

(4 נקודות)

ב. חשבו את ערך זווית הקצר התלת-מופעי בנקודה B (יש לחשב את תרומת המנוע האסינכרוני לזרם הקצר).

(4 נקודות)

ג. חשבו את זרם הקצר התלת-מופעי המרבי בנקודה B (יש לחשב את תרומת המנוע האסינכרוני לזרם הקצר).

(4 נקודות)

ד. חשבו את ערך רכיב הזרם הישר של זרם הקצר התלת-מופעי בנקודה B עבור פאזה $L3$ ברגע $t=0.01\,\text{sec}$ (בהנחה שזווית המתח בזמן הקצר היא $\varphi_U=15^\circ$, אין צורך להתחשב בתרומת המנוע לזרם הקצר).

(4 נקודות)

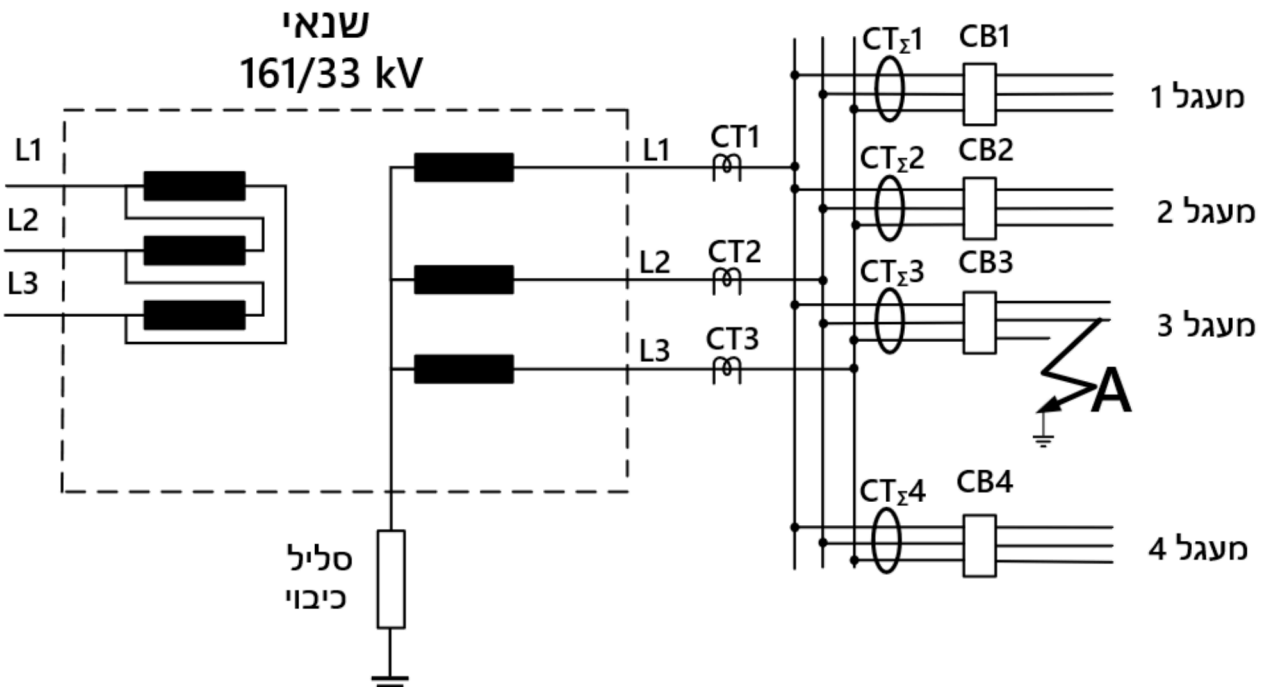
ה. חשבו את ערך המשרן שיש לחבר ביציאה של הקו הזנה למנוע כדי להקטין את זרם הקצר המתואר בסעיף ג' למחצית מערכו שחושב.

(4 נקודות)

8. בתחנת משנה במרכז הארץ $(f = 50\,\text{Hz})$, נקודת הכוכב במשני של שנאי ההספק ממתח עליון/מתח גבוה מטופלת באמצעות סליל כיבוי. השנאי מזין את רשת החלוקה אשר בחלקה היא רשת עילית ובחלקה רשת כבלים תת קרקעית. קיבול הרשת העילית לכל פאזה כ- $8 \times 10^{-9}\ \frac{F}{km}$ והקיבול של רשת הכבלים לכל פאזה כ- $150 \times 10^{-9}\ \frac{F}{km}$.
לפניכם אורכים של הרשתות השונות עבור כל מעגל:

מעגל	אורך הרשת העילית [ק"מ]	אורך רשת הכבלים [ק"מ]
מעגל 1	8	3
מעגל 2	4	3
מעגל 3	9	4
מעגל 4	5	11

מתח הרשת הנקוב הוא $33\,\text{kV}$. יש להיעזר באיור המצורף לשאלה 8.



א. חשבו מהו גודל הזרם הקיבולי אשר יימדד בשנאי זרם $CT2$ במצב תקין של הרשת.

(4 נקודות)

ב. במצב קצר חד פאזי בין פאזה $L2$ לאדמה בנקודה A (מעגל 3), חשבו מהו גודל הזרם הקיבולי אשר יימדד בשנאי זרם $CT2$.

(4 נקודות)

ג. במצב קצר חד פאזי בין פאזה $L2$ לאדמה בנקודה A (מעגל 3), חשבו מהו גודל הזרם הקיבולי אשר יימדד בשנאי זרם $CT\Sigma 2$ (מעגל 2).

(4 נקודות)

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

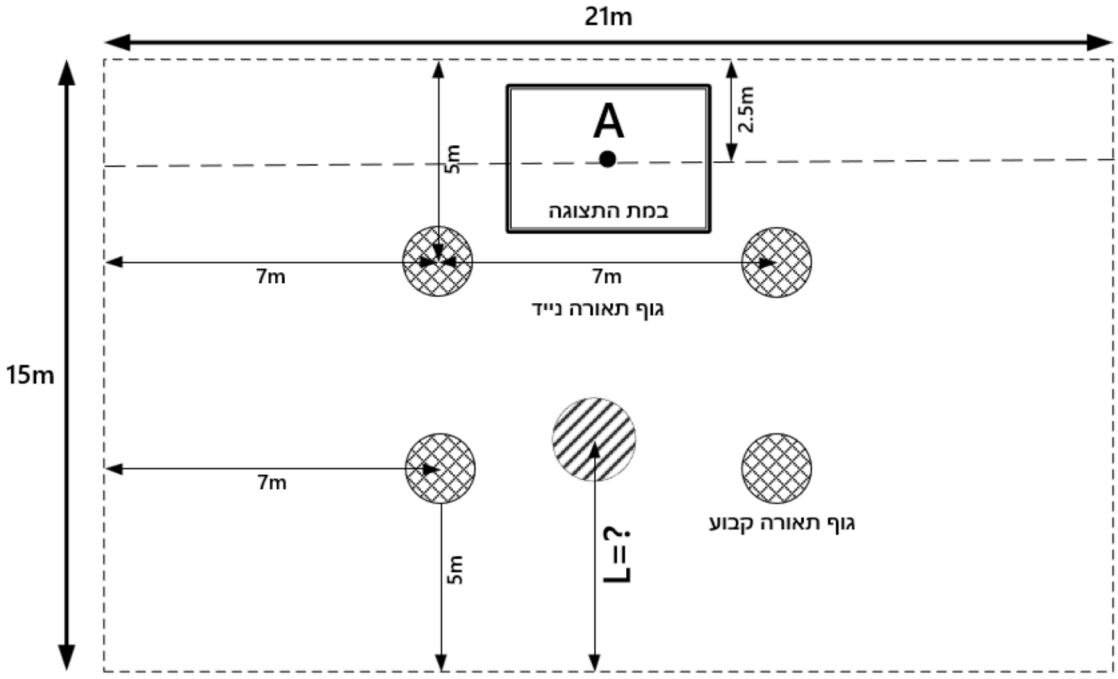
ד. בהמשך לסעיף ב', חשבו את השראות הסליל הנדרשת כך שזרם התקלה יהיה שווה לאפס.

(4 נקודות)

ה. בהמשך לסעיף ד', האם נדרש לתכנן סליל בעל השראות שונה כאשר התקלה שתוארה הייתה מתרחשת במעגל 2 (נמקו את תשובתכם)?

(4 נקודות)

9. עבור צילומים של רכב חשמלי תוכננה עמדת צילום ייעודית. בחדר התצוגה נמצאים 4 גופי תאורה זהים כמתואר באיור לשאלה 9. גופי התאורה הקבועים, מותקנים בתקרה. פיזור שטף האור היוצא מגוף התאורה מתואר כחצי עיגול בעוצמת אור של $5{,}500\,\mathrm{Cd}$ והנצילות האורית של גוף התאורה היא $175\,\mathrm{Lm/W}$.



הצלם מעוניין להגדיל את עוצמת ההארה בנקודה A באמצעות גוף נייד בעל נצילות אורית של $175\,\mathrm{Lm/W}$.

גובה התקרה הוא 6 מטרים וגובה במת התצוגה הוא $1\,\mathrm{m}$.

א. חשבו את רמת ההארה בנקודה A טרם הפעלת גוף התאורה הנייד המתואר באיור לשאלה 9.

(6 נקודות)

ב. חשבו את הספק הנורות בהמשך למתואר בסעיף א'.

(6 נקודות)

ג. הצלם מעוניין להגדיל את עוצמת ההארה בנקודה A פי שלוש אך באמצעות גוף תאורה נייד (זהה לנורות המותקנות בהתקנה הקבועה) נוסף על התאורה הקבועה. בהתאם להצבתו בגובה של $3.5\,\mathrm{m}$ מה יהיה המרחק הנדרש (L) של גוף התאורה הנייד?

(6 נקודות)

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

ד. הסבירו מה ההבדל בין עוצמת האור לעוצמת התאורה?

(2 נקודות)

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

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