GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: קיץ 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 1-8. 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. 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. לבית מלאכה תוכננה הזנה תלת מופעית לאחר שקבע מתכנן החשמל שההספק החשמלי של בית המלאכה הוא $135\angle 37^\circ\,\text{kVA}$. כבל ההזנה לבית המלאכה (4 גידים בכבל ההזנה) מותקן בצינור בקרקע. כאשר טמפרטורת האדמה היא 50°C וההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא $1.5\,\text{Km/W}$. הכבלים הם בעלי מוליכי נחושת ובידוד XLPE. בכניסת כבל ההזנה לחדר החשמל הראשי בוצע חיבור בין מוליך האפס לפס השוואת הפוטנציאלים. מתח ההזנה של הרשת הוא $400\,\text{V}$.

א. קבעו מהו שטח החתך המינימלי הנדרש של כבל ההזנה בהתאם לתקנות החשמל.

(4 נקודות)

ב. קבעו מהי שיטת ההגנה בפני חשמול בבית המלאכה בהתאם למפורט בשאלה.

(4 נקודות)

ג. נמדדה עכבת לולאת תקלה בלוח הראשי (לוח מסוג 1) בבית המלאכה שערכה כ- $0.19\angle 77^\circ\,\Omega$.

חשבו מהי זווית המתח ברשת בה זרם הקצר יהיה בעל ערך מקסימלי כעבור $0.01\,\text{sec}$ ומה גודלו?

(4 נקודות)

ד. לפי תקנות החשמל, מה יהיה צבעו של המוליך המחבר בין מוליך האפס לפס השוואת הפוטנציאלים? האם ניתוקו ישפיע על תוצאת עכבת לולאת התקלה שנמדדה?

(4 נקודות)

ה. לפניכם מספר אפשרויות לכוונון המפסק האוטומטי להזנת הלוח הראשי.

קבעו מהו הכוונון הנכון ביותר עבור המפסק האוטומטי המתכוונן (נמקו את תשובתכם).

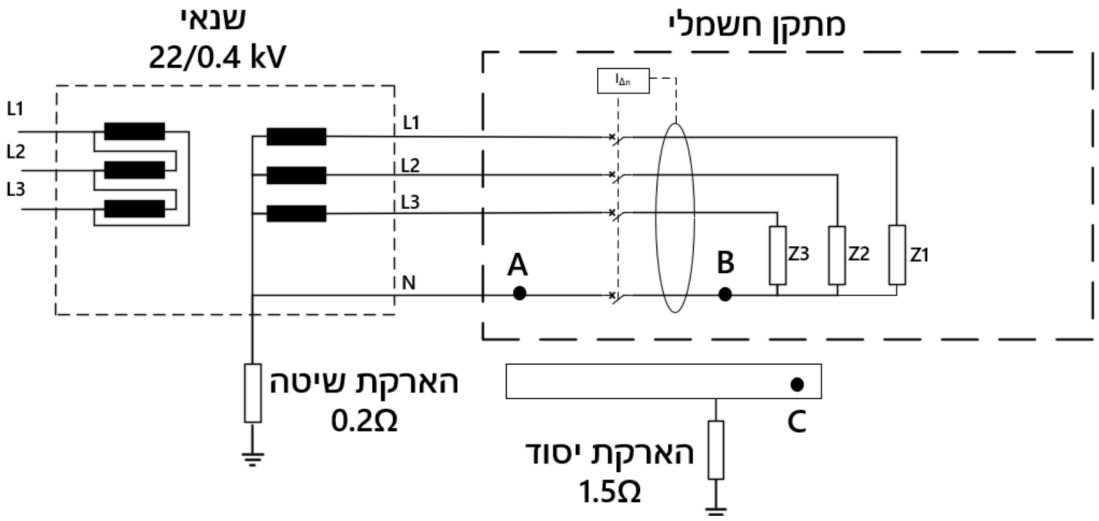
אפשרויות	זרם נקוב I_n	$I_r = k_1 \cdot I_n$	$I_m = k_2 \cdot I_r$
1	160	$k_1 = 0.9$	$k_2 = 5$
2	160	$k_1 = 0.9$	$k_2 = 8$
3	250	$k_1 = 0.9$	$k_2 = 5$
4	250	$k_1 = 0.9$	$k_2 = 8$

(4 נקודות)

2. 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 $[\Omega]$
Z_1	$4+j5$
Z_2	$6+j2$
Z_3	$3-j4$



א. חשבו את הזרם במוליך האפס.

(4 נקודות)

ב. חשבו את מקדם ההספק של המתקן החשמלי.

(4 נקודות)

ג. ציינו באילו שיטות הגנה בפני חשמול אסור לבצע הארקת שיטה.

(4 נקודות)

ד. נדרש ששיטת ההגנה בפני חשמול שתיושם במתקן היא TN-C-S.

בין אילו שתי אותיות נדרש לבצע חיבור על מנת ליישם את השיטה (A-B/ A-C/ B-C)?

מה יהיה צבעו של המוליך?

(4 נקודות)

ה. ציינו מה יהיה מתח עומס Z_1 במקרה של נתק בנקודה B.

(4 נקודות)

3. לבית דו- משפחתי התבצעה הזנה מפילר של חברת החשמל. בפילר חברת החשמל בוצע חיבור בין פס הארקה לפס האפסים בפילר, לכל כניסה התקינו כבל בעל 5 גידים המחובר לפילר חברת חשמל. פילר ההזנה של חברת חשמל נמצא מחוץ לתחום ההשפעה של הארקת היסוד של הבית הדו-משפחתי.

המפסק הראשי בלוח החשמל הראשי של כל כניסה בנפרד הוא $3 \times 63\,\mathrm{A}$. המא"זים בלוח החשמל ממשפחת C בלבד.

בטבלה 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
מיזוג	1	32
עמדת טעינה לרכב חשמלי	1	25
בתי תקע	25	16
תאורה	10	10

א. כבל ההזנה לכל כניסה (5 גידים בכבל ההזנה) מותקן בצינור בקרקע.

כאשר טמפרטורת האדמה היא $40^{\circ}\mathrm{C}$ וההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא $2.5\,\mathrm{Km/W}$.

הצינרות צמודים והם בעלי מוליכי אלומיניום ובידוד XLPE.

קבעו מהו שטח החתך המינימלי הנדרש בהתאם לתקנות החשמל?

(4 נקודות)

ב. בהתאם לדרישות חוק החשמל והתקנת הכבל המתוארת, מהו שטח החתך המינימלי של מוליך הארקה?

(4 נקודות)

ג. מדדו את התנגדות מוליך הארקה של מעגל ההזנה לעמדת הטעינה.

התנגדות מוליך הארקה שנמדדה היא $0.34\,\Omega$. קבעו האם ערך זה הוא ערך תקין לבדיקה?

(נמקו את תשובתכם)

(4 נקודות)

ד. על מנת לשפר את לולאת התקלה, הציע החשמלאי לבצע חיבור בין פס השוואת הפוטנציאלים בבית לבין מוליך האפס בכבל ההזנה.

חוו דעתכם על ההצעה של החשמלאי? האם הוא צודק? (נמקו את תשובתכם)

(4 נקודות)

ה. המתקין של הפילר מתלבט האם להתקין פילר עם מעטפת מתכתית או פילר עם מעטפת מבודדת.

הבעו את דעתכם בנושא וציינו מהי הברירה הנכונה? (נמקו את תשובתכם)

(4 נקודות)

4. מפעל ריתוך מוזן מרשת תלת-מופעית $33\,\text{kV}$, הספק הקצר של רשת $33\,\text{kV}$ הוא $125\,\text{MVA}$. במפעל, קיים מסדר חשמלי למתח גבוה ושלושה שנאי הספק, כל שנאי בהספק נקוב של $1250\,\text{kVA}$ בעל ערכים נקובים של $33/0.4\,\text{kV}$, הפסדי הריקם של שנאי הם $5.88\,\text{kW}$ והפסדי הנחושת הנקובים הם $20\,\text{kW}$. קבוצת החיבורים של השנאים היא Dyn1, מתח הקצר $U_k(\%) = 7\%$.

לכל שנאי יש חיבור ללוח הראשי בנפרד, קיים תא של מפסק מקשר בין שדה של שנאי מס' 1 לבין שדה של שנאי מס' 2. שנאי מס' 3 משמש כגיבוי לשנאי מס' 1 או לשנאי מס' 2. במפעל השנאים ממוקמים בחדר החשמל הראשי.

כל שנאי (שנאי מס' 1 ושנאי מס' 2 בנפרד) מזין ארבעה לוחות חשמל משניים. המתח במפעל הוא $400\,\text{V}$. הטבלה מציגה את עומס של שנאי מס' 1 בלבד (העמסה זהה לשנאי מס' 2).

לוח חשמל	הספק מדומה [kVA]	מקדם הספק
1	250	0.85 השראתי
2	160	0.9 השראתי
3	120	0.83 השראתי
4	135	0.8 השראתי

א. חשבו את גודל סוללת הקבלים הנדרשת (בהתאם לטבלה א') עבור מקדם הספק של 0.94, אם ידוע שהמתח הנקוב של סוללת הקבלים הוא $480\,\text{V}$ וקבעו מהו מקדם העמסת השנאי לאחר התיקון.

(4 נקודות)

ב. קבעו מהו מפסק מערכת הקבלים הנדרש ומהם שטחי החתך לחיבור מערכת הקבלים (התייחס לטבלה 90.5 כבלים חד גידיים מנחושת).

(4 נקודות)

ג. חשבו את זרם הקצר המרבי העלול להתפתח בלוח הראשי (הזניחו את המרחק שבין השנאי ללוח החשמל).

(4 נקודות)

ד. חשבו את שטח חתך מוליך הארקה ללוח החשמל הראשי אם ידוע שמחוברים ללוח 6 מוליכי נחושת עם בידוד PVC וזמן הקצר המרבי הוא $0.5\,\text{sec}$.

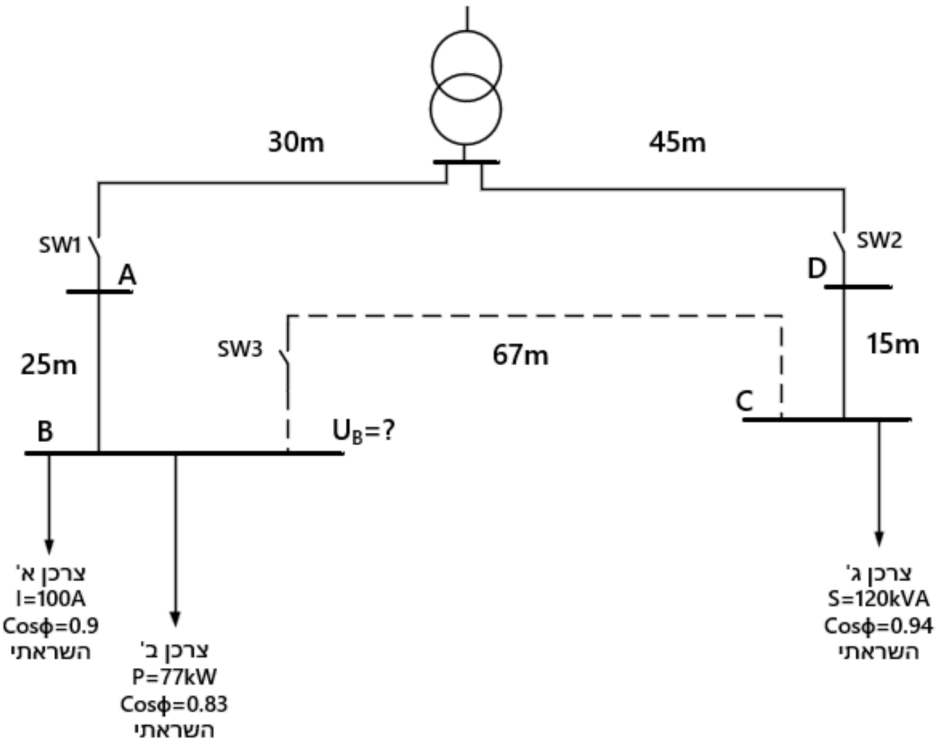
(4 נקודות)

ה. הסבירו משיקולי הפסדי הספק, האם שימוש בשנאי מס' 3 כשנאי לגיבוי בלבד עדיף מחלוקת העומסים בצורה שווה בין השנאים.

(4 נקודות)

5. באיור לשאלה נתונה רשת תלת מופעית במתח נמוך של $400\,\mathrm{V}$ (יש להניח שזהו המתח במוצא השנאי). ההיגב ההשראתי של מוליכי הרשת זניח. מפסקים SW1 ו- SW2 מחוברים ומפסק SW3 מופסק.

מוליכי הרשת מנחושת הם בעלי התנגדות סגולית של $\rho = \frac{1}{58}\ \frac{\Omega\cdot\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$ ושטח החתך בכל המקטעים הוא $120\,\mathrm{mm}^2$.



א. חשבו את המתח בנקודה B.

(4 נקודות)

ב. חשבו את הפסדי ההספק של הרשת.

(4 נקודות)

ג. לאחר חיבור של מפסק SW3, חשבו את המתח בנקודה B.

(4 נקודות)

ד. חשבו והסבירו באיזה מקרה (מפסק SW3 מופסק/ מחובר) הפסדי ההספק של הרשת יהיו קטנים יותר.

(4 נקודות)

ה. בהתאם לצפיפות זרם בנחושת של $2.2\,\mathrm{A/mm}^2$ הסבירו האם מקרה שבו מפסקים SW1 ו- SW3 מחוברים ומפסק SW2 מופסק הוא אפשרי מהיבט העמסת יתר.

(4 נקודות)

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

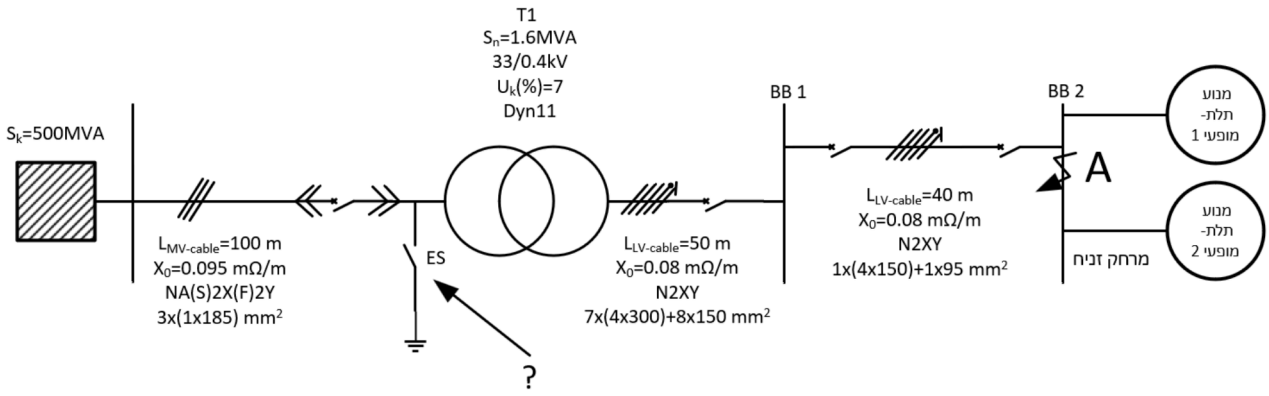
6. באיור נתונה המערכת הבאה (תדירות המערכת היא $50\,\text{Hz}$):

נתוני המכונות:

שנאי T1: מתחים נקובים $33/0.4\,\text{kV}$ וקבוצת חיבורים YNd11, $U_k(\%) = 7$,
$S_n = 1.6\,\text{MVA}$.

מנוע תלת-מופעי 1: מתח נקוב $0.4\,\text{kV}$, $P_n = 45\,\text{kW}$, $\cos\varphi = 0.83$, $beta = 0.87$,
מקדם העמסה $\beta = 0.75$, $I_{start} = 8 \cdot I_n$.

מנוע תלת-מופעי 2: מתח נקוב $0.4\,\text{kV}$, $P_n = 34\,\text{kW}$, $\cos\varphi = 0.78$, $beta = 0.81$,
מקדם העמסה $\beta = 1$, $I_{start} = 8 \cdot I_n$.



עובי הפס [cm]	גובה הפס [cm]	התקנת הפסים	מרווח בין מבודדים של פס [cm]	מאמץ הכפיפה של נחושת [kg/(cm²)]	מרחק בין פסים של מופעים שונים [cm]	מספר פסים למופע	מודול אלסטיות [kg/(cm²)]	משקל סגולי [kg/(cm³)]
0.5	4	מאונך	33	2500	5	פס בודד	$1.1 \cdot 10^6$	$8.9 \cdot 10^{-3}$

א. לפי אמות המידה של רשות החשמל, מהו הספק המנוע הנדרש בהתקן התנעה?
ציינו את הסיבות לשימוש בהתקן כזה ומנו את השיטות השונות.

(4 נקודות)

ב. ציינו מהו ההתקן המסומן בסימן שאלה- ES ומהו תפקידו.

(4 נקודות)

ג. חשבו את ערך הפסגה של זרם הקצר התלת-מופעי בנקודה A.

(4 נקודות)

ד. הסבירו והוכיחו האם התקנת פס צבירה BB2 בהתאם לטבלה המצורפת תקינה מהיבט של כוחות אלקטרו- דינאמיים ותדירות טבעית.

(4 נקודות)

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

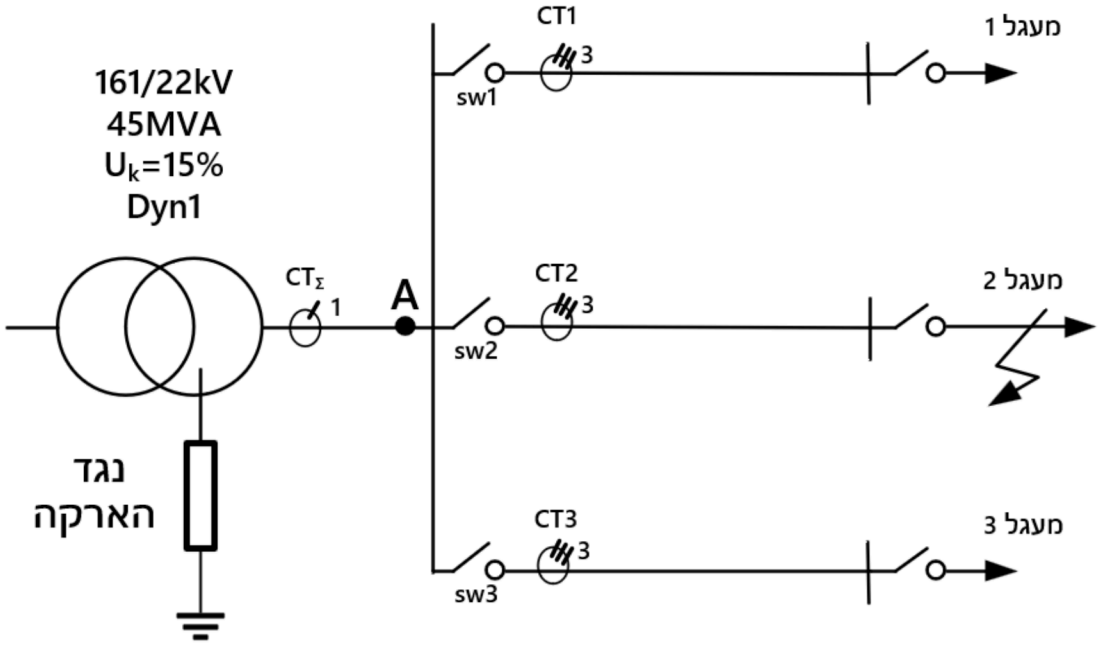
ה. חשבו את גודל סוללת הקבלים הנדרשת לשיפור מקדם ההספק בפס BB2 ל-0.93 וציינו איזו מערכת קבלים נדרשת אם מקדם ההעמסה של המנועים משתנה אך מקדם ההספק נדרש להיות קבוע.

(4 נקודות)

7. בתחנת משנה במרכז הארץ ($f = 50\,\text{Hz}$), נקודת הכוכב במשני של שנאי ההספק ממתח עליון/מתח גבוה מחוברת להארקה באמצעות נגד הארקה. נגד הארקה מקטין את זרם התקלה כלפי הארקה (במקרה של תקלה בין פאזה לאדמה) בנקודה A באיור לכ- $150\,\text{A}$ בלבד. השנאי מזין את רשת החלוקה אשר בחלקה היא רשת עילית ובחלקה רשת כבלים תת קרקעית. קיבול הרשת העילית לכל פאזה כ- $0.01 \times 10^{-6}\ \frac{\text{F}}{\text{km}}$ והקיבול של רשת הכבלים לכל פאזה כ- $0.2 \times 10^{-6}\ \frac{\text{F}}{\text{km}}$. ההתנגדות האומית של המעגלים לכל אורכם כ- $0.15\,\Omega/\text{km}$ וההיגב ההשראתי של הרשת העילית הוא $0.4\,\Omega/\text{km}$ (ההיגב ההשראתי של רשת הכבלים ניתן להזניח). לפניך אורכים של הרשתות השונות עבור כל מעגל:

מעגל	אורך הרשת העילית [ק"מ]	אורך רשת הכבלים [ק"מ]	הספק בקצה המעגל [MVA]	מקדם הספק
מעגל 1	3	12	10	0.8 מפגר
מעגל 2	0	14	10	0.8 מפגר
מעגל 3	12	4	10	0.8 מפגר

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



א. חשבו את ההספק בנקודה A (יש להתחשב בהפסדים).

(5 נקודות)

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

ב. במצב קצר חד פאזי בין פאזה L3 לאדמה במעגל 2 (כמתואר באיור), חשבו מהו גודל זרם התקלה.

(5 נקודות)

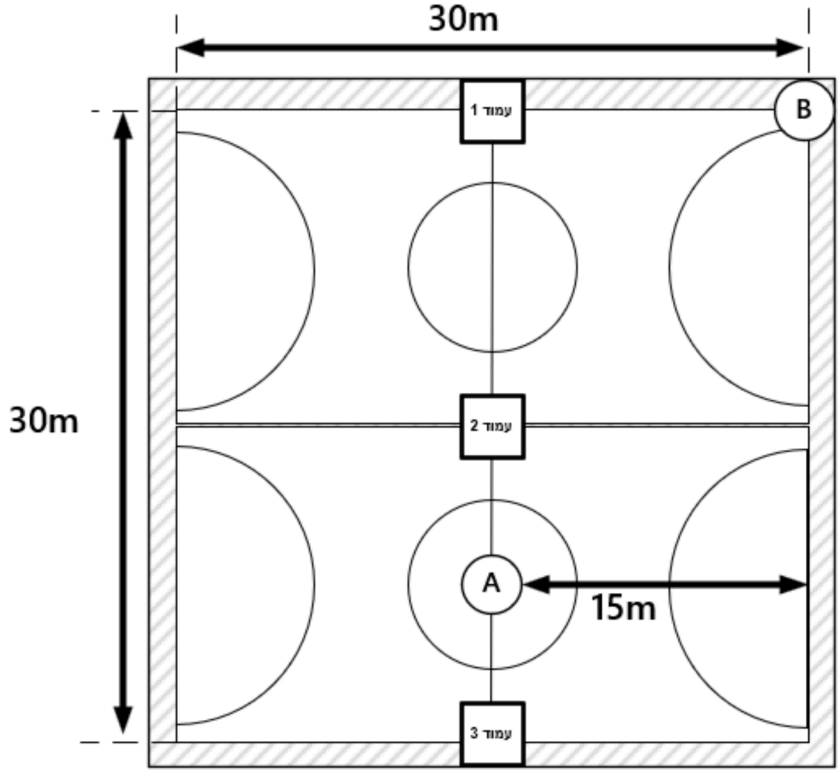
ג. קבעו מהו יחס ההשנאה של שנאי הזרם המסכם CT_{Σ} .

(5 נקודות)

ד. במצב קצר דו- פאזי בין פאזה L3 לפאזה L1 במעגל 2 (כמתואר באיור), איזה שנאי זרם יזהה או יזהו את התקלה המתוארת?

(5 נקודות)

8. במתחם ספורט, ישנם שני מגרשי ספורט בצמידות זה לזה כמתואר באיור. מותקנים שלושה עמודי תאורה מתכתיים זהים הממוקמים במתחם, על כל עמוד תאורה מותקנים ארבעה גופי תאורת לד. גובה עמוד התאורה כ-8 מטרים וכל גוף תאורה בעל נצילות אורית של $150\,\mathrm{Lm/W}$. פיזור האור שווה לכל הכיוונים בצורת חצי עיגול. כל גוף תאורה בהספק של $400\,\mathrm{W}$. כל גוף תאורה הוא חד-פאזי כך שהמתח הנקוב של הרשת הוא $230\,\mathrm{V}$.



א. ציינו מהן שיטות ההגנה בפני חשמול שיכולות להיות מיושמות להגנה בפני חשמול בעמודי התאורה.

(4 נקודות)

ב. חשבו את רמת ההארה בנקודה A.

(4 נקודות)

ג. חשבו את רמת ההארה בנקודה B.

(4 נקודות)

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

ד. לפי חוק החשמל וההתקנה המתוארת בשאלה, מה התכונה הבטיחותית הנדרשת למפסק בעמוד התאורה?

(4 נקודות)

ה. שרטטו סכמה חשמלית של מעגל תאורה הפועל בהתבסס על התקן פוטו- צל (Photo cell).

(4 נקודות)

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