GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: קיץ 2024 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 1-9. 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 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!

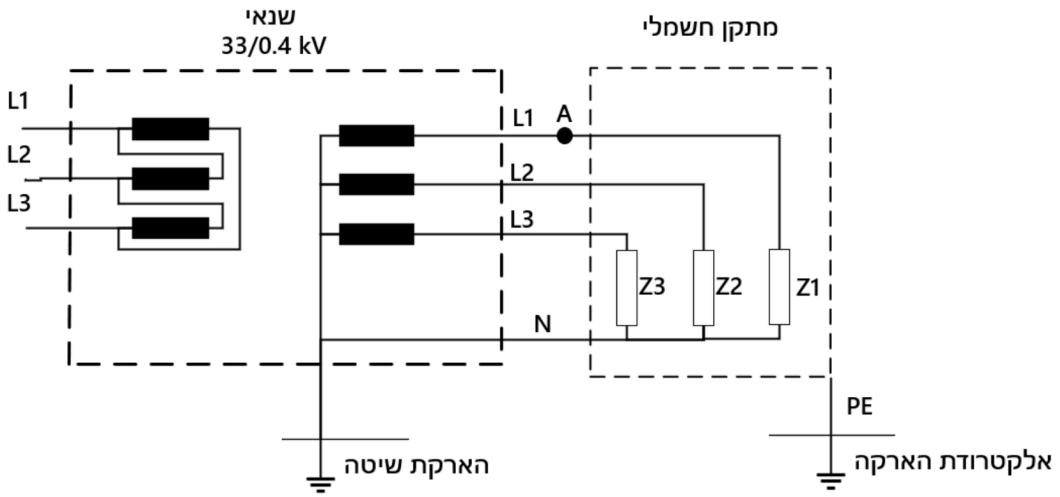
השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים, אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

השאלות

1. באיור המצורף לשאלה 1 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	$3.5 + j5$
Z_2	$0.8 + j5$
Z_3	$7 - j10$



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

(5 נקודות)

ב. חשבו את הזרם במוליך האפס.

(5 נקודות)

ג. חשבו את מקדם ההספק של המתקן החשמלי.

(5 נקודות)

ד. חשבו מהו גודל המתח עבור עומס Z_3 בניתוק של פאזה L_1 (בנקודה A).

(5 נקודות)

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

2. לשלושה מגדלי מגורים בעלי חניון משותף קיים חדר שנאים עם שנאי חלוקה. מלוח ההזנה הראשי של החניון המשותף קיימים קווי הזנה ללוחות עמדות טעינה (בכל מפלס חניון קיים לוח בודד לעמדות טעינה), קווי ההזנה הם תלת-מופעיים במתח $400\ \mathrm{V}$. קו ההזנה לכל לוח עמדות טעינה מותקן בתוך תעלה על גבי קיר (התקנה חשיפה). הטמפרטורה האופפת של הכבל נעה בין $35^\circ\mathrm{C}$ ל- $45^\circ\mathrm{C}$ ובתעלה מותקנים לפחות עוד 3 קווים נוספים. הכבל הוא רב גידי בעל מוליכי נחושת ובידוד XLPE.

טבלת העומסים של מערכת החשמל מפורטת:

סוגי צרכנים	מספר הצרכנים	הספק חשמלי לצרכן בודד $[\mathrm{kW}]$	מקדם בו זמניות	מקדם ההספק
דירת 3 חדרים	60	4	0.4	0.95
דירת 4 חדרים	60	5	0.4	0.95
דירת 6 חדרים	12	6	0.6	0.95
שטח ציבורי	3	80	1	0.93
לוח עמדות טעינה במפלס 1	20	11	0.2	1
לוח עמדות טעינה במפלס 2	20	11	0.2	1
לוח עמדות טעינה במפלס 3	20	11	0.2	1

א. חשבו מהו ההספק המדומה המינימלי של שנאי החלוקה, אם ידוע שמקדם העמסת השנאי הוא 0.6.

(6 נקודות)

ב. שנאי החלוקה ממוקם בחדר חשמל בקומת הקרקע במגדל המרכזי. מהי שיטת ההגנה בפני חשמול המיושמת למתקן החשמלי?

(2 נקודות)

ג. חשבו מהו גודל המפסק של קו ההזנה ללוח עמדות טעינה בודד במפלס חניון?

ערכים נקובים של מפסקים אוטומטים

)A; 125A; 160A; 200A; 250A; 400A; 500A; 630A; 800A; 1000A; 1250A

(2 נקודות)

ה. קבעו מהו שטח החתך של כבלי ההזנה ללוח עמדות טעינה בודד במפלס החניון (יש להשתמש בשני כבלים רב גידיים) הנדרש משיקולי העמסת יתר ומפל המתח הנדרש לא יעלה על 1% בלבד. הניחו שקו ההזנה ללוח עמדות הטעינה הוא באורך של 70 מטר.

(10 נקודות)

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

3. באיור המצורף לשאלה 3 מתואר מעגל תמורה של רשת חשמל, ואליו חובר מכשיר בדיקה לעכבת לולאת התקלה (תקלה בין פאזה להארקה).

עבור רשת החשמל לכל פאזה/ מוליך הארקה.

$$X = 0.2\,\Omega;\ R = 0.4\,\Omega;\ E = 240\,\mathrm{V}$$

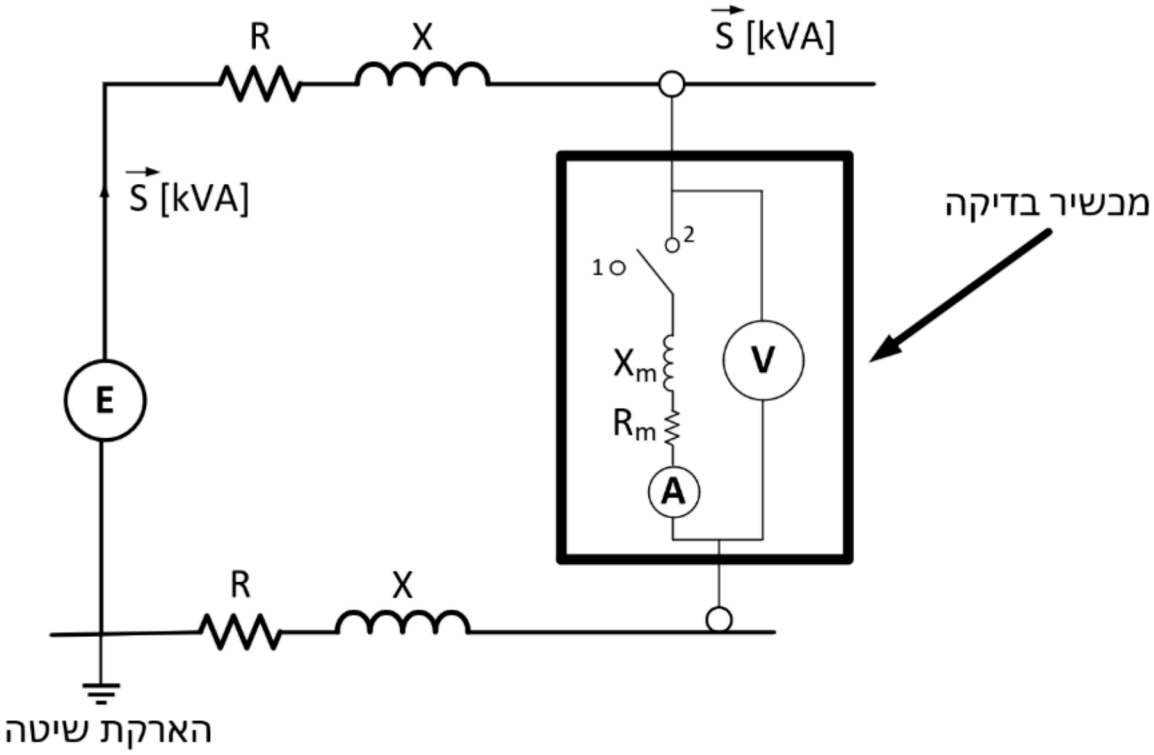
עומס S הוא עומס תלת- פאזי.

$$S = 30 + j15\,\mathrm{kVA}$$

עבור מכשיר המדידה:

$$X_m = 7\,\Omega;\ R_m = 13\,\Omega$$

מתג המכשיר נמצא במצב 1.



א. חשבו מהו המתח הנמדד בהדקי המכשיר בדיקה (בדיקה 1).

(5 נקודות)

ב. לאחר העברת המתג למצב 2. חשבו מה יהיה גודל הזרם במכשיר הבדיקה (בדיקה 2).

(5 נקודות)

ג. לאחר העברת המתג למצב 2. חשבו מה יהיה גודל המתח שימדד בהדקי המכשיר מדידה (בדיקה 2).

(5 נקודות)

ד. חשבו את גודל עכבת לולאת התקלה בהתאם לנוסחא הבאה:

$$Z_{LT} = \frac{|V_1| - |V_2|}{|I_2|}$$

(5 נקודות)

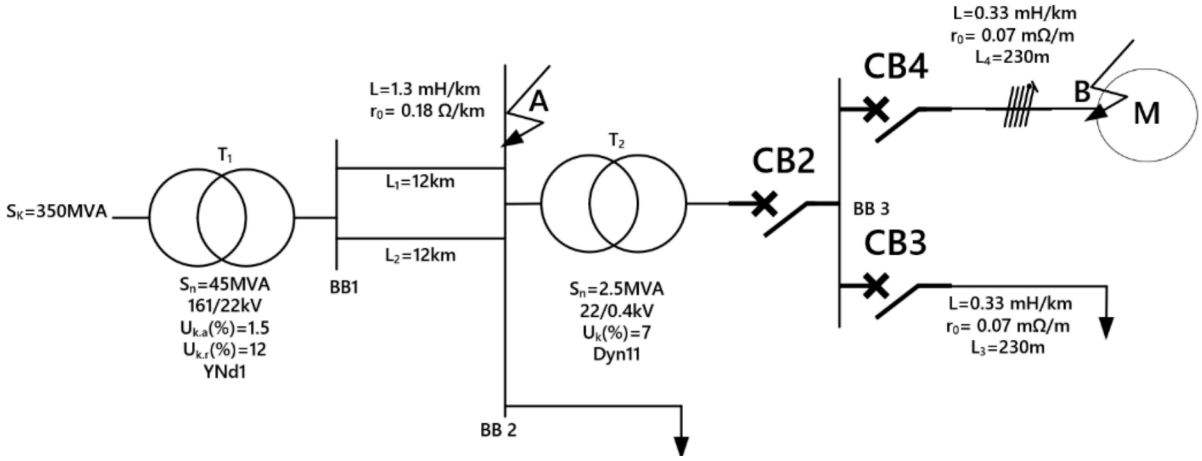
4. באיור המצורף לשאלה 4 מתוארת מערכת חשמל (תדירות המערכת היא $50\,\text{Hz}$):

נתוני השנאים:

שנאי T_1 - מתח $161/22\,\text{kV}$ וקבוצת חיבורים YNd1, $U_{k.r}(\%)=12\%$,
$U_{k.a}(\%)=1.5\%$, $S_n=45\,\text{MVA}$.

שנאי T_2 - מתח $22/0.4\,\text{kV}$ וקבוצת חיבורים Dyn11, $\Delta P_{CU}=22\,\text{kW}$,
$\Delta P_{FE}=4.8\,\text{kW}$, $U_k(\%)=7\%$, $S_n=2.5\,\text{MVA}$.

קווים: $L_1=L_2=12\,\text{km}$, $L_3=L_4=230\,\text{m}$ (הנתונים באיור הם עבור כל קו בנפרד).



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

(4 נקודות)

ב. קבעו את כושר הניתוק הנדרש למפסק CB2.

(4 נקודות)

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

(4 נקודות)

ד. עבור זרם הקצר התלת-מופעי בנקודה B, בהנחה שזווית המתח בזמן הקצר היא $\varphi_U=35^\circ$,
חשבו מהו גודל זרם הקצר בפאזה L1 ברגע $t=0.01\,\text{sec}$?

(4 נקודות)

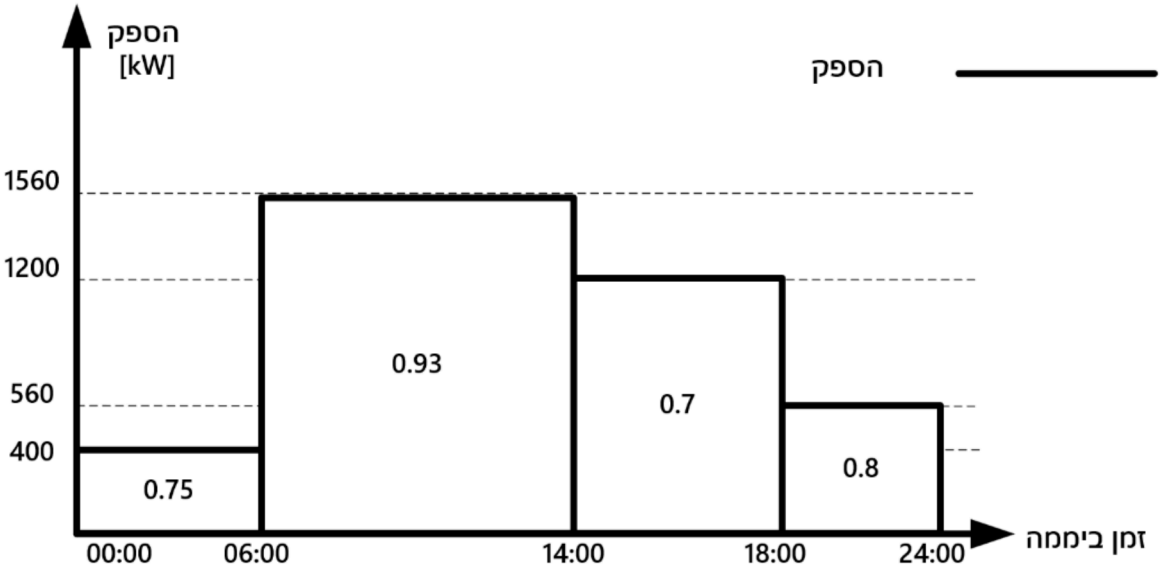
ה. בהנחה ששטח חתך מוליך הארקה שווה לשטח חתך הפאזה בקו L4. קבעו מה יהיה היחס בין זרם הקצר התלת פאזי בנקודה B לזרם הקצר לאדמה בנקודה B (אין צורך בחישוב).

(4 נקודות)

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

5. מתקן חשמלי 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.

(4 נקודות)

ב. חשבו את האנרגיה היומית של המתקן החשמלי.

(4 נקודות)

ג. חשבו את מקדם ההספק הממוצע של המפעל.

(4 נקודות)

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

(4 נקודות)

ה. חשבו מה יהיה ההספק המדומה המקסימלי של המפעל לאחר חיבור סוללת הקבלים? בין אילו שעות במהלך היום ההספק המדומה הוא מקסימלי?

(4 נקודות)

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

6. אגף תפעול מוזן מרשת תלת-מופעית במתח של $24\,\text{kV}$. האגף פועל 24 שעות ביממה, 365 יום בשנה. שנאי ההספק (שנאי יבש) המתוכנן להזין את האגף בעל הנתונים הבאים:

$$S_n = 1250\,\text{kVA};\ \frac{U_1}{U_2} = \frac{24\,\text{kV}}{0.4\,\text{kV}};\ \Delta P_{CU} = 11\,\text{kW};\ \Delta P_{FE} = 1.5\,\text{kW}$$

לוח החשמל הראשי במתח נמוך של המפעל מזין שלושה לוחות חשמל משניים. המתח הנמוך באגף הוא $400\,\text{V}$.

בטבלה מוצגים נתונים של לוחות החשמל:

לוח חשמל	זרם העבודה הממושך [A]	מקדם הספק בלוח החשמל
1	670	0.85 השראתי
2	230	0.9 השראתי
3	560	0.75 השראתי

א. חשבו באיזה מקדם העמסה, נצילות השנאי תהיה מרבית.

(5 נקודות)

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

(5 נקודות)

ג. לוח הקבלים שתוכנן בסעיף הקודם הותקן באגף. בחרו את גודל המבטח ללוח הקבלים ואת שטח החתך (מהיבט העמסת יתר) בהתאם לשיטת התקנה 'ג' עבור כבל רב גידי עם מוליכי נחושת ובידוד XLPE.

(5 נקודות)

ד. בהתאם לנתוני העמסה (לאחר יישום סוללת קבלים בהתאם לסעיף ב'), קבעו לפי הטבלה המצורפת איזה סוג שנאי כדאי מבחינה כלכלית לבחירה בהתאם לתנאים הבאים:

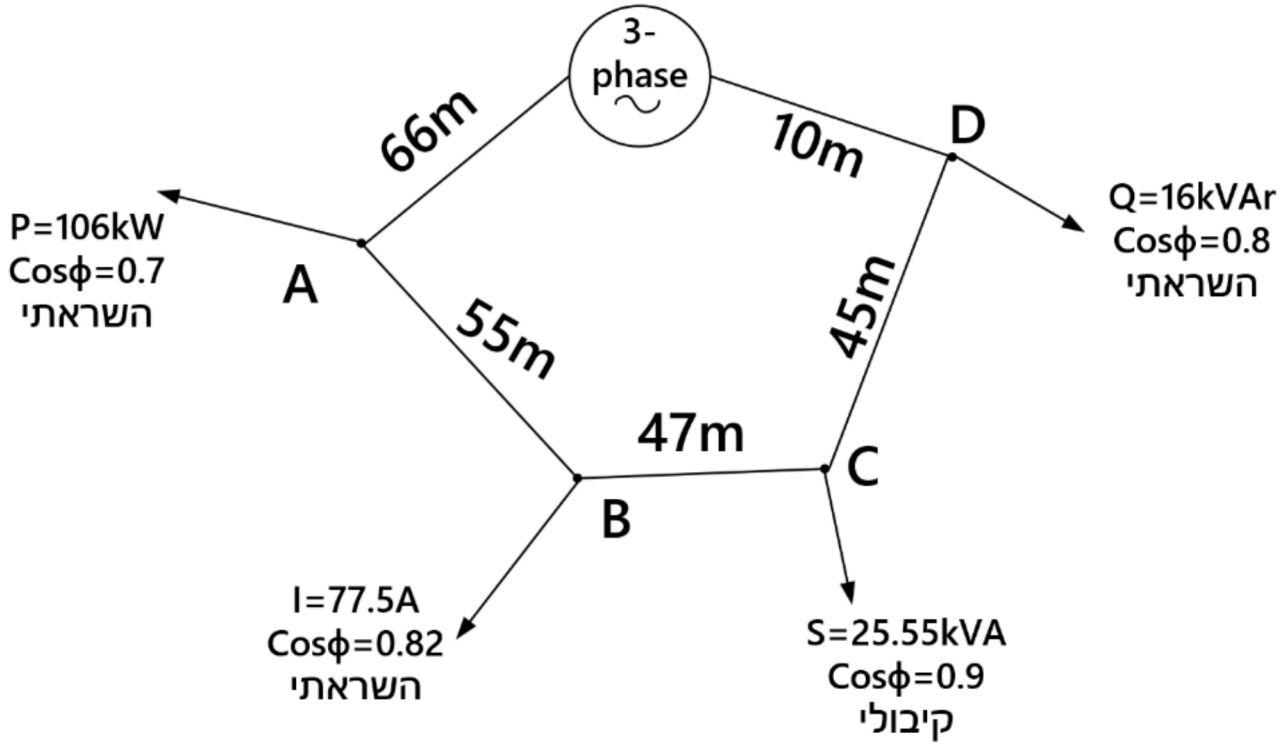
1. צפי תפקוד השנאי הוא ל- 20 שנה.
2. עלות של 1kW כ- 0.55 ₪.

סוג השנאי	עלות השנאי (ש"ח)	הפסדי קצר [W]	הפסדי ריקם [W]
שנאי רטוב	56,000	13,400	2940
שנאי יבש	67,000	11,000	1500

(5 נקודות)

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

7. באיור המצורף לשאלה 7 נתונה רשת תלת מופעית טבעתית. ההיגב ההשראתי של מוליכי הרשת הוא $0.1\,\Omega/\mathrm{km}$. מתח הרשת הנקוב הוא $400\,\mathrm{V}$. מוליכי הרשת מנחושת $\rho = \frac{1}{58}\ \frac{\Omega\cdot\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$.



א. חשבו את ההספק בכל קטע וקטע.

(8 נקודות)

ב. חשבו וקבעו את שטח החתך האחיד (מסחרי) של מוליכי הרשת, אם ידוע שמגבלת מפלי המתח המקסימלית ברשת היא 2% בלבד.

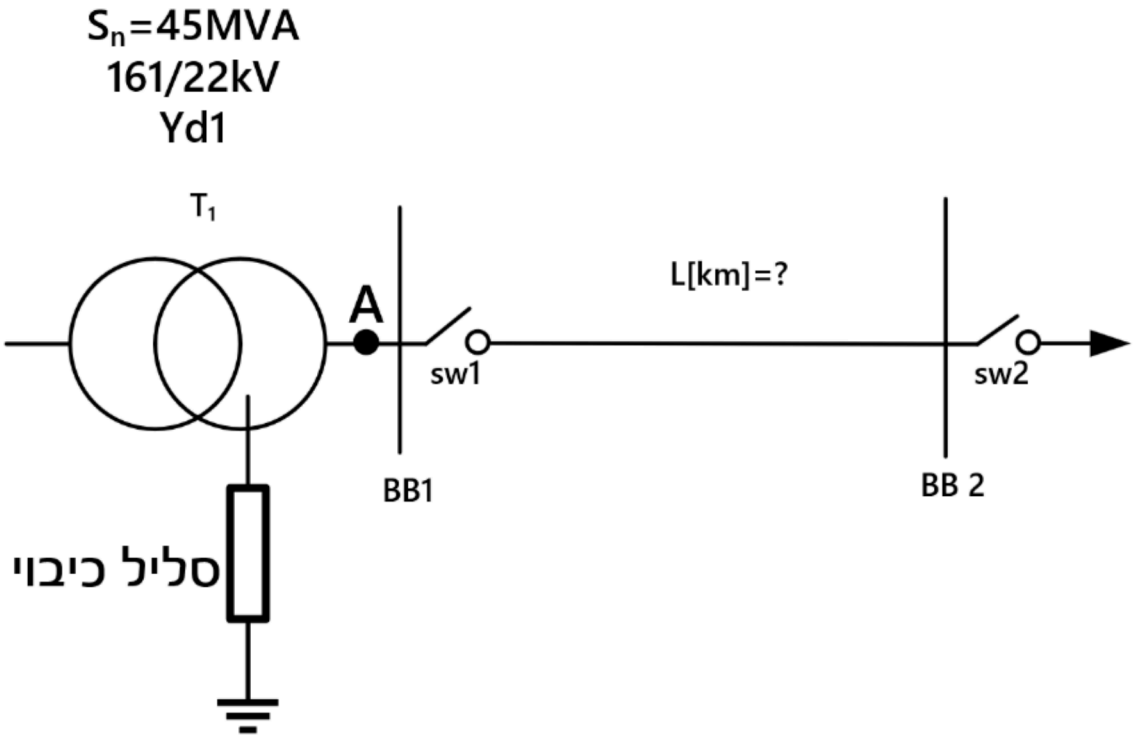
(7 נקודות)

ג. חשבו את הפסדי ההספק ברשת.

(5 נקודות)

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

8. בתחנת משנה במרכז הארץ ($f = 50\,\mathrm{Hz}$), 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 הממוצע לכל פאזה כ- $0.1 \times 10^{-6}\ \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{km}}$.
מתח הרשת הנקוב הוא $22\,\mathrm{kV}$. יש להיעזר באיור המצורף לשאלה 8.



א. הניחו שמתג SW1 סגור ומתג SW2 מופסק. ההספק שנמדד בנקודה A הוא $3\,\mathrm{MVAr}$. חשבו אורך הרשת בהסתמך על נתוני המדידה.

(5 נקודות)

ב. במצב קצר חד פאזי בין פאזה L3 לאדמה, חשבו את עוצמת זרם התקלה בפאזה L3.

(5 נקודות)

ג. במצב קצר חד פאזי בין פאזה L3 לאדמה, הסבירו באמצעות שרטוט מה תהיה הזווית בין זרם התקלה בפאזה L3 לבין המתח שימדד בין הארקה לנקודת הכוכב של השנאי.

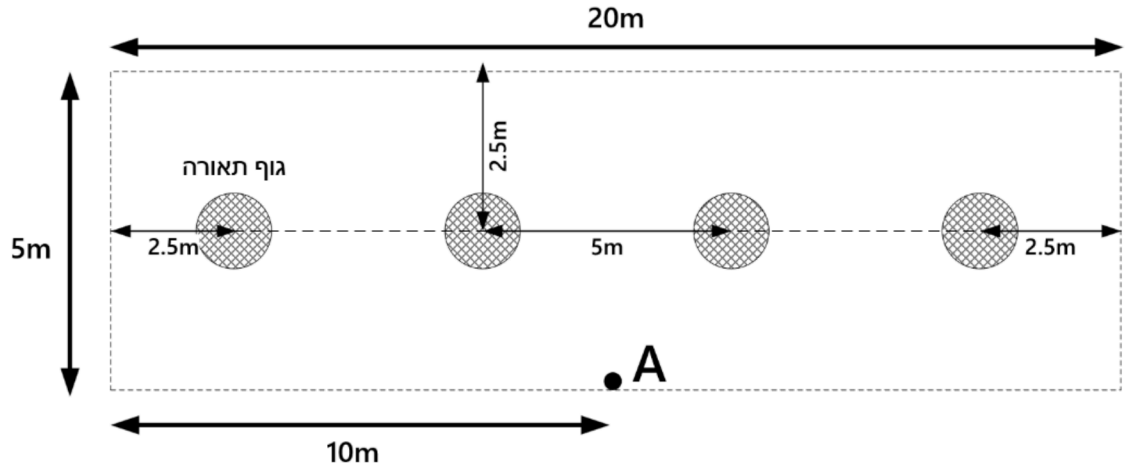
(5 נקודות)

ד. במצב קצר חד פאזי בין פאזה L3 לאדמה, חשבו את השראות הסליל הנדרשת עבור קיזוז יתר של 10%.

(5 נקודות)

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

9. חשמלאי נדרש לתכנן התקנה קבועה של גופי תאורה זהים לאורך תקרת פרוזדור (לפי האיור המצורף לשאלה 9). אורכו של הפרוזדור כ- $20\,\text{m}$, רוחבו כ- $5\,\text{m}$ וגובהו כ- $3.5\,\text{m}$. עוצמת ההארה הממוצעת היא $50\,\text{lux}$ לאורכו של הפרוזדור. ארבעת גופי התאורה ממוקמים לפי האיור (תמונה עילית). נצילות התאורה כ- 50% נצילות מקור האור כ- $75\,\text{Lm/W}$.



א. חשבו את הספק הנורות בהתאם לנתוני השאלה.

(5 נקודות)

ב. חשבו את רמת ההארה בנקודה A לפי שיטת "חישוב נקודתי". הניחו שפיזור שטף האור היוצא מגוף התאורה מתואר כחצי עיגול בעוצמת אור של $400\,\text{Cd}$

(5 נקודות)

ג. הפרוזדור משמש כדרך מילוט והתקינו 4 נורות חירום לאורכו. עבור תאורת החירום קיימות הדרישות לרמת הארה מינימלית לפי $1\,\text{W/m}^2$. חשב את הספק המנורה הנדרש.

(5 נקודות)

ד. בהמשך לסעיף ג', תאורת החירום מתבססת על סוללות נטענות. קבעו את קיבולי [Ah] אם ידוע שמתח הסוללה הוא $12\,\text{V}$ וזמן תפקוד גוף תאורה בחירום הוא למשך 2 שעות.

(5 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