GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: קיץ 2025 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 1-8. 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.

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

בהצלחה!

השאלות

1. לחווה חקלאית בצפון הארץ תוכננה הזנה תלת מופעית, הספק החשמלי של החווה כולה הוא $65\angle 37^\circ\ \text{kVA}$. כבל ההזנה ללוח הראשי של החווה (4 גידים בכבל ההזנה) מותקן בצינור בקרקע. כאשר טמפרטורת האדמה היא 60°C וההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא $1.5\ \text{Km/W}$. הכבל בעל מוליכי נחושת ובידוד XLPE. מתח ההזנה של הרשת הוא $400\ \text{V}$. עכבת לולאת התקלה שנמדדה בלוח הראשי של החווה היא $1.7\angle 17^\circ\ \Omega$.

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

(4 נקודות)

ב. לפי תקנות החשמל, קבעו מהי שיטת ההגנה בפני חשמול בחווה החקלאית ומהי הדרישה הנוספת עבור המתקן החשמלי שתואר בשאלה.

(4 נקודות)

ג. לפי תקנות החשמל, ציינו מה הם המקרים בהם שיטת ההגנה מפסק מגן כהגנה בלעדית מתאפשרת.

(4 נקודות)

ד. מהלוח הראשי הזינו רפת במרחק של $150\ \text{m}$, כבל ההזנה $N2XY\ 5\times 6\ \text{mm}^2$. המא"ז בלוח הראשי הוא $3\times 25\ \text{A}$ וההספק $12\angle 30^\circ\ \text{kVA}$.

מה יהיה מפל המתח עבור קו ההזנה (הזניחו את היגב הכבל)?

(4 נקודות)

ה. בהמשך לנתוני השאלה וסעיף ד', מה יהיה זרם הקצר בלוח הרפת.

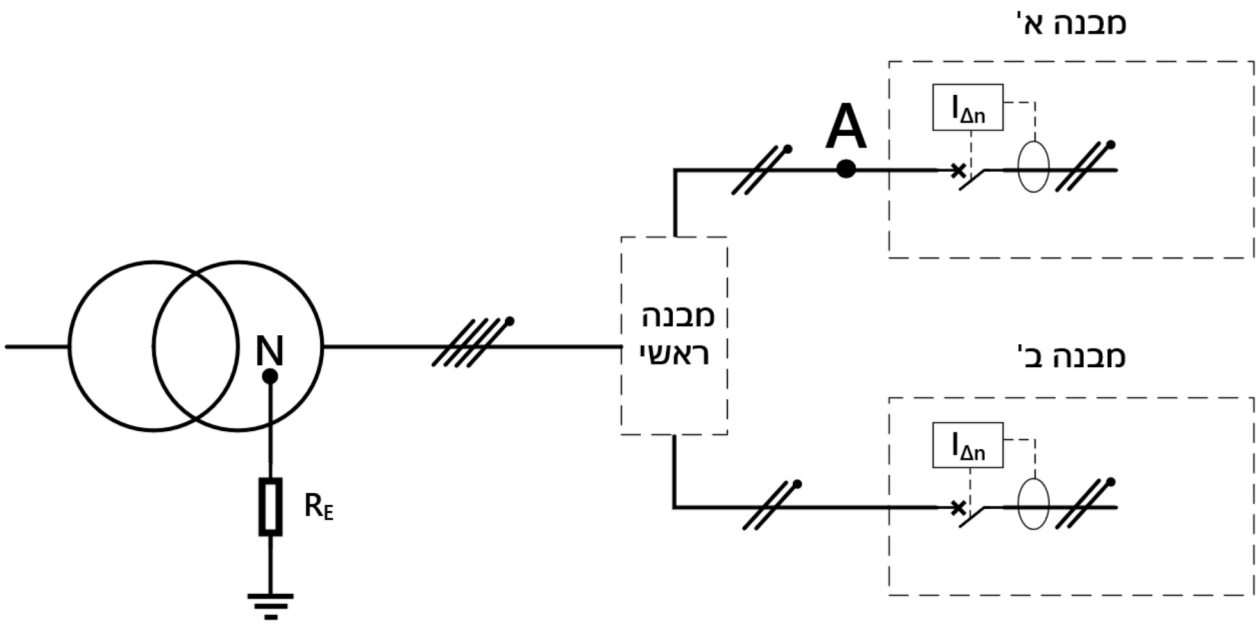
(4 נקודות)

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

2. באיור לשאלה מוצגים עומסים חד מופעיים המחוברים לרשת החשמל. המתח הנקוב של הרשת הוא $400\,V$, ההזנה למבנה הראשי היא תלת מופעית וההזנה לכל מבנה היא חד- מופעית. לכל מבנה באיור קיימת אלקטרודת הארקה מקומית.

הצרכנים המחוברים במבנה בודד (א'/ב') (לפי נתונים נקובים):

סוגי צרכנים	מספר הצרכנים	הספק [kW]	מקדם התלכדות	מקדם הספק ממוצע
דוד חשמלי	1	2.5	0.3	0.95
תנור אפייה	1	3	0.3	0.95
מכונת כביסה	1	2	0.3	0.95
מיזוג	1	1.5	0.3	0.95
עמדת טעינה לרכב חשמלי	1	11	0.2	0.95
בתי תקע	15	1	0.2	0.95
תאורה	10	0.1	1	0.95



א. חשבו את הזרם במוליך האפס של מבנה א'.

(4 נקודות)

ב. הניחו שיש לבחור מפסק אוטומטי ראשי מתכוונן בעל ארבע קטבים למבנה הראשי.

מה יהיה ערך כיוונון ההגנה בפני עומס יתר עבור מוליך ה- N?

(4 נקודות)

ג. בעת ניתוק של מוליך ה- N בנקודה A, מה יהיה מתח בין פס האפסים N במבנה א' לבין הארקת המתקן?

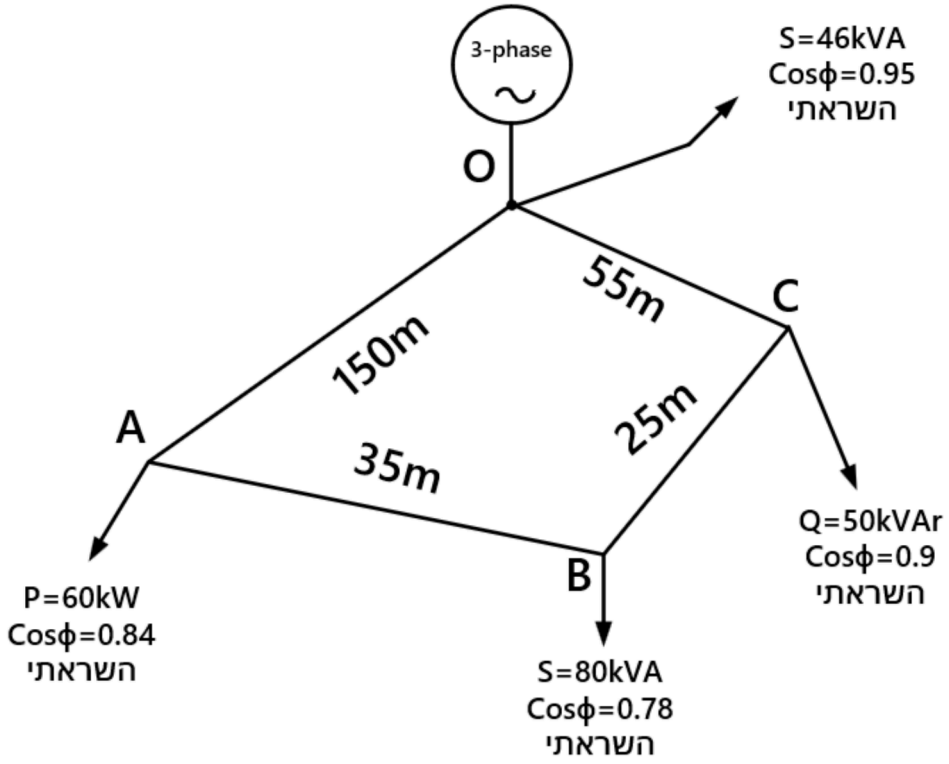
(4 נקודות)

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

ד. במדידת עכבת לולאת התקלה במבנה א', התקבלה מדידה $7\angle 0^\circ\ \Omega$.
מהו ערך התנגדות האלקטרודה כלפי מסת האדמה (R_E) הנדרש? קבעו מהי שיטת ההגנה בפני חשמול של מבנה א' (קבעו את זרם הניתוק הנדרש).
(4 נקודות)

ה. עובד המתקן מעוניין להתקין בית תקע במבנה ב' שיוזן ממבנה א'.
קבעו האם התקנה זו אפשרית (בססו את תשובתכם על תקנות החשמל).
(4 נקודות)

3. באיור לשאלה נתונה רשת תלת מופעית עילית במתח נמוך. ההיגב ההשראתי של מוליכי הרשת זניח. מתח הרשת הנקוב הוא $400\ \mathrm{V}$. רשת מוזנת ממקור הזנה בודד, ידוע שמוליכי הרשת מנחושת הם בעלי התנגדות סגולית של $\rho = \frac{1}{58}\ \frac{\Omega\cdot\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$.



א. חשבו את הזרם בכל קטע וקטע.
(5 נקודות)

ב. חשבו וקבעו את שטח החתך האחיד (המסחרי) של מוליכי הרשת, אם ידוע שמגבלת הפסדי הספק הרשת המקסימלית היא 1.5% בלבד.
(5 נקודות)

ג. באיזו נקודה המתח הוא המתח המזערי, מהו את ערכו של מתח זה?
(5 נקודות)

ד. הניחו ששטחי החתך שהותקנו גדולים ב- 30% משטח החתך שנבחר בסעיף ב'.
כיצד יושפעו הפסדי ההספק של הרשת? (הביעו את השינוי באחוזים)
(5 נקודות)

4. במתחם שבו שלושה בניינים רבי קומות (הארקת יסוד משותפת), בכל בניין ישנן מספר דירות כמתואר בטבלה. המתכנן הגדיר שהצרכנות הציבורית תוגדר כמתקן חירום. בבניין 1 קיים חדר טרנספורמציה, בכל בניין קיים גנרטור לאספקה חלופית למתקני חירום/ ציבורי. הפעלת צרכני החירום המנועיים מתבצעת ע"י מערכת המאפשרת חיבורים של המנועים עם השהייה (זרם התנעה של מנוע גדול פי 7 מהזרם הנקוב, נצילות המנוע כ- 90%).

מספר חדרים בדירה	מספר דירות	הספק חשמלי [kW]	מקדם הספק	מקדם התלכדות
4	50	8	0.95	0.5
5	50	9	0.95	0.5

מתקני חירום/ ציבורי

צרכנות	מספר צרכנים/ לוחות	הספק [kW]	מקדם הספק	מקדם התלכדות
לוח קומתי	25	2	0.94	0.7
צרכני חירום מנועיים	7	15	0.84	1

א. חשבו את גודל החיבור של הבניין וקבעו מהו גודל הגנרטור (נדרש להתייחס למקדם הספק של גנרטור כ- 0.8).
(4 נקודות)

ב. שנאי ההזנה לבניין, מהי שיטת ההגנה בפני חשמול במתקן החשמלי? באיזה בניין נדרש לבצע חיבור בין פס האפסים לפס השוואת הפוטנציאלים?
(4 נקודות)

ג. בהתאם לדרישות תקנות החשמל, מהו רוחב המעבר המינימלי הנדרש בין ערכת הגנרטור לקיר שממול?
(4 נקודות)

ד. בהתאם לדרישות תקנות החשמל התקנת גנרטורים, (הגנרטור ממוקם בחדר) האם מותר להעביר צנרת זרה של נוזלים בחדר הגנרטור?
(4 נקודות)

ה. בלוח החירום תוכנן מפסק זרם אוטומטי למערכות הגברת לחץ מי כיבוי, מה הם התכונות הנדרשות ממפסק הזרם האוטומטי?
(4 נקודות)

5. במפעל גבס מוזן מרשת תלת-מופעית $22\,\text{kV}$, הספק הקצר של רשת $22\,\text{kV}$ הוא $250\,\text{MVA}$. במפעל, קיים מסדר חשמל למתח גבוה ושנאי הספק, השנאי בהספק נקוב של $1600\,\text{kVA}$ בעל ערכים נקובים של $22/0.4\,\text{kV}$, הפסדי הריקם של שנאי הם $2{,}600\,\text{W}$ והפסדי הנחושת הנקובים הם $12{,}500\,\text{W}$. קבוצת החיבורים של השנאים היא Dyn11, מתח הקצר $U_k(\%) = 7.8\%$. ברשת החשמל קיים מתח פאזי של $12.38\,\text{kV}$.

לשנאי יש חיבור ללוח הראשי, כאשר בוצעה הארקת שיטה לשנאי ההספק באמצעות מוליך בצבע ירוק צהוב לפה"פ הראשי. בלוח הראשי קיימת מערכת החלפה בעלת ארבעה קטבים עם גנרטור (הנמצא בחדר הגנרטור בצמוד לחדר השנאי) להזנה חלופית מלאה של המפעל.

לוח חשמל	הספק מדומה [kVA]	מקדם הספק
1	400	0.82 השראתי
2	210	0.9 השראתי
3	360	0.78 השראתי

טבלת עומסים למפעל- שאלה 5

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

דרגות לשנאי- שאלה 5

א. חשבו את דרגת השנאי הנדרשת על מנת שהמתח בצד המתח הנמוך יהיה הקרוב היותר ל- $400\,\text{V}$ בעומס בהתאם לטבלת העומסים.

(5 נקודות)

ב. חשבו את גודל סוללת הקבלים הנדרשת (בהתאם לטבלה א') עבור מקדם הספק של 0.92, אם ידוע שהמתח הנקוב של סוללת הקבלים הוא $440\,\text{V}$ וקבעו מהו מקדם העמסת השנאי לאחר התיקון.

(5 נקודות)

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

(4 נקודות)

ד. בהתאם לתקנות החשמל, מהי אספקה חלופית?

(3 נקודות)

ה. קבעו האם נדרש לבצע חיבור בין נקודת ה- N של הגנרטור לבין הפה"פ בחדר הגנרטור (נמקו את תשובתכם).

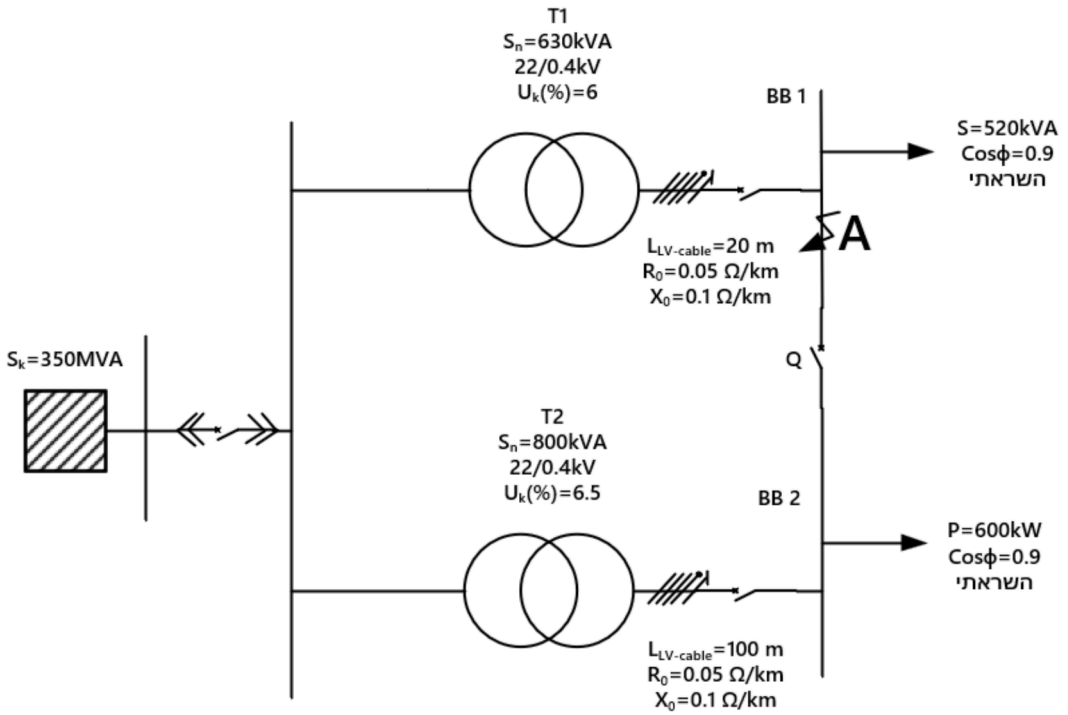
(3 נקודות)

6. באיור נתונה המערכת הבאה (תדירות המערכת היא $50\,\mathrm{Hz}$), הניחו שמתח הרשת $22\,\mathrm{kV}$. מפסק Q מופסק.

שנאי T1: מתחים נקובים $22/0.4\,\mathrm{kV}$ וקבוצת חיבורים YNd11, $U_k(\%) = 6$, $S_n = 630\,\mathrm{kVA}$.

שנאי T2: מתחים נקובים $22/0.4\,\mathrm{kV}$ וקבוצת חיבורים YNd11, $U_k(\%) = 6.5$, $S_n = 800\,\mathrm{kVA}$.

עובי הפס [cm]	גובה הפס [cm]	התקנת הפסים	מרווח בין מבודדים של פס [cm]	מאמץ הכפיפה של נחושת $[\mathrm{kg/cm^2}]$	מרחק בין פסים של מופעים שונים [cm]	מספר פסים למופע	מודול אלסטיות $[\mathrm{kg/cm^2}]$	משקל סגולי $[\mathrm{kg/cm^3}]$
1	6	מאונך	45	2500	5	פס בודד	$1.1 \cdot 10^6$	$8.9 \cdot 10^{-3}$



א. מהו המתח שימדד בין פס צבירה BB1 לפס צבירה BB2?

(4 נקודות)

ב. חשבו את זרם הקצר הדו-מופעי בנקודה A.

(4 נקודות)

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

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

(4 נקודות)

ד. חשבו את זרם הקצר התלת מופעי בנקודה A כאשר מפסק Q מחובר.

(4 נקודות)

ה. הסבירו והוכיחו האם התקנת פס צבירה BB1 בהתאם לטבלה המצורפת תקינה מהיבט של כוחות אלקטרו- דינאמיים ותדירות טבעית.

(4 נקודות)

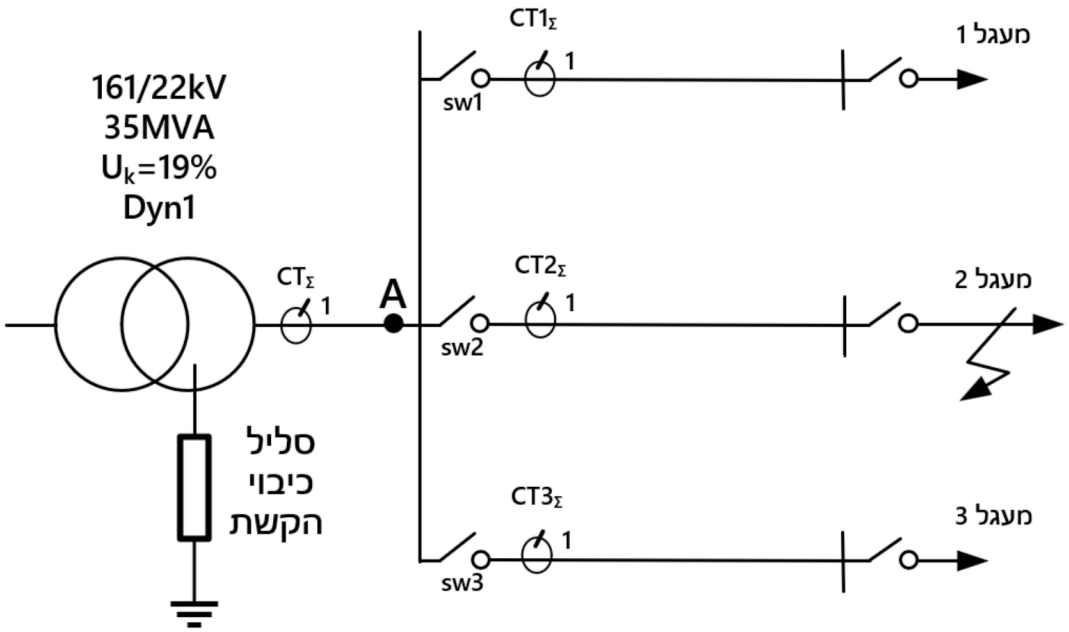
7. בתחנת משנה במרכז הארץ ($f = 50\,\mathrm{Hz}$), נקודת הכוכב במשני של שנאי ההספק ממתח עליון/מתח גבוה מחוברת להארקה באמצעות סליל לכיבוי קשת.

סליל הכיבוי מקטין את זרם התקלה כלפי הארקה (במקרה של תקלה בין פאזה לאדמה) בנקודה A באיור לכ- $5\,\mathrm{A}$ בלבד. השנאי מזין את רשת החלוקה אשר בחלקה היא רשת עילית ובחלקה רשת כבלים תת קרקעית. קיבול הרשת העילית לכל פאזה כ- $0.01 \times 10^{-6}\ \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{km}}$ והקיבול של רשת הכבלים לכל פאזה כ- $0.18 \times 10^{-6}\ \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{km}}$.

ההתנגדות האומית של המעגלים לכל אורכם כ- $0.15\,\Omega/\mathrm{km}$ וההיגב ההשראתי של הרשת העילית הוא $0.4\,\Omega/\mathrm{km}$ (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	9	0.8 מפגר
מעגל 2	0	14	7	0.8 מפגר
מעגל 3	12	4	10	0.8 מפגר

מתח הרשת הנקוב הוא $22\,\mathrm{kV}$. יש להיעזר באיור המצורף.



א. ציינו שלוש היתרונות של שיטת הטיפול בנקודת האפס באמצעות סליל לכיבוי קשת.

(4 נקודות)

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

(4 נקודות)

ג. חשבו את השראות הסליל הנדרשת בהתאם לנתוני השאלה.

(4 נקודות)

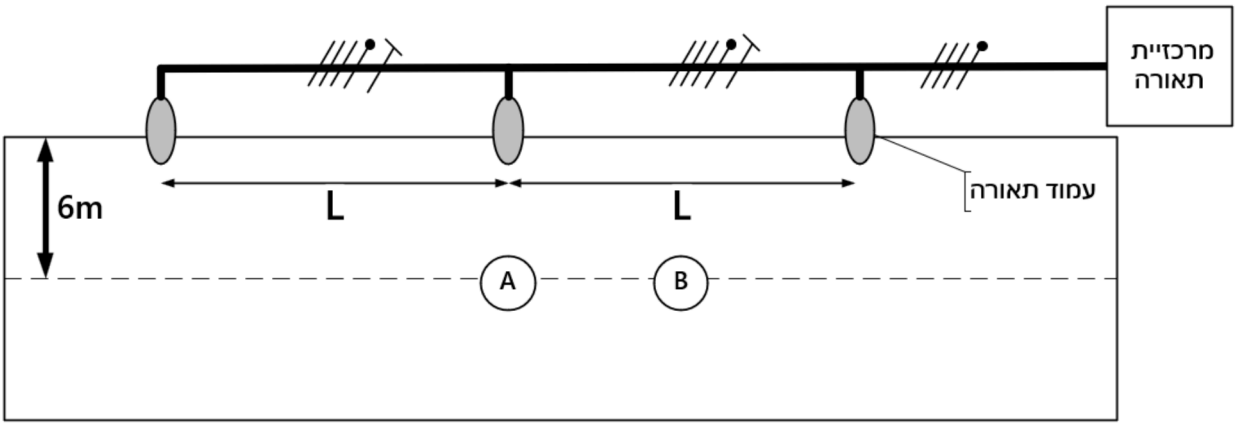
ד. במצב קצר חד פאזי בין פאזה L3 לאדמה במעגל 2 (כמתואר באיור), חשבו מהו גודל הזרם שיימדד בשנאי $CT2_{\Sigma}$.

(4 נקודות)

ה. מה נדרש שיהיה ערך התנגדות הבידוד לקילומטר $[\mathrm{M\Omega/km}]$ של מעגל 2 כך מקדם ההספק של המעגל במצב ריקם יהיה 0.02 קיבולי?

(4 נקודות)

8. בטיילת במרכז הארץ, תוכננה התקנה של עמודי תאורה לאורך הטיילת. גובה עמוד תאורה כ- $6\,\mathrm{m}$, עמוד התאורה מתכתיים ומוזנים ממרכזיית תאורה. בראש כל עמוד תאורה הותקן גוף תאורה ובו נורת LED בעלת יעילות אורית של $125\,\mathrm{Lm/W}$. פיזור שטף האור היוצא מגוף התאורה מתואר כחצי עיגול בעוצמת אור של $3000\,\mathrm{Cd}$.



א. קבעו את המרחק L (המרחק בין שני עמודים סמוכים) כך שעוצמת ההארה בנקודה A (ממול לעמוד תאורה) תהיה שווה ל- $33\,\mathrm{Lux}$.

(4 נקודות)

ב. חשבו את רמת ההארה בנקודה B (הנקודה B במרחק זהה בין שני עמודים סמוכים).

(4 נקודות)

ג. חשבו את הספק הנורה.

(4 נקודות)

ד. לפי האיור קבעו מהי שיטת ההגנה בפני חשמול של עמודי התאורה.

(4 נקודות)

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

ה. המפסק הראשי של המרכזייה הוא מא"ז C63, מפסקי ההזנה לעמודי התאורה הם מא"זים C25. קבעו מהי עכבת לולאת התקלה הנדרשת בעמודי התאורה.

(4 נקודות)

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