GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: אביב 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 1-9. 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.** בבית פרטי תוכננה התקנה של עמדת טעינה בהספק של $11\,\mathrm{kW}$ , מקדם ההספק של עמדת הטעינה הוא $0.95$ . המפסק הראשי בלוח החשמל של הבית הפרטי הוא $3 \times 25\,\mathrm{A}$ הניחו שמקדם ההספק של המתקן הוא $0.95$ . המא"זים בלוח החשמל ממשפחת C בלבד. בטבלה א' מצורפים המעגלים/הצרכנים הקיימים בבית:

| סוגי צרכנים | מספר הצרכנים | הספק נקוב של צרכן [kW] | מתח עבודה [V] | מקדם התלכדות |
|---|---|---|---|---|
| דוד חשמלי | 1 | 3 | 230 | 1 |
| תנור אפייה | 1 | 3 | 230 | 1 |
| מכונת כביסה | 1 | 2 | 230 | 1 |
| מזגן מרכזי | 1 | 5 | 230 | 1 |
| עמדת טעינה לרכב חשמלי | 1 | 11 | 400 | 0.2 |
| בתי תקע | 15 | 2.5 | 230 | 0.1 |
| תאורה | 10 | 0.2 | 230 | 1 |

טבלה לשאלה 1

**א.** כבל ההזנה לעמדת הטעינה (5 גידים בכבל ההזנה) מותקן בצינור בקרקע. כאשר טמפרטורת האדמה היא $30^\circ\mathrm{C}$ וההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא $1.5\,\mathrm{K \cdot m/W}$ . הכבל בעל מוליכי נחושת 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 בכבל ההזנה לעמדת הטעינה?

(4 נקודות)

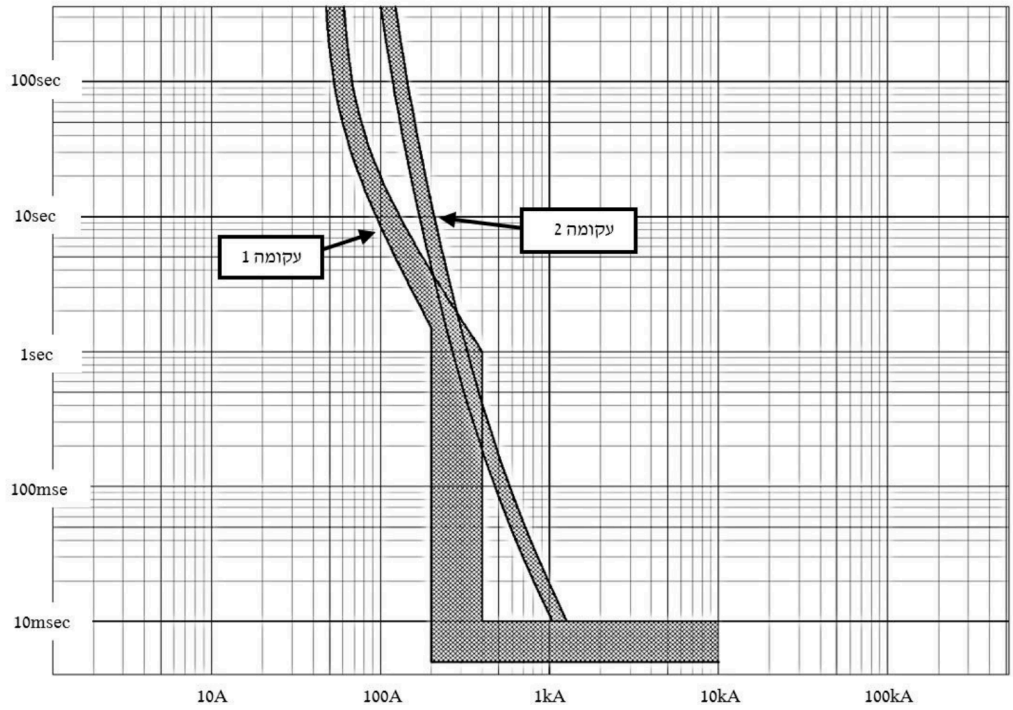
**ג.** מהו ערך התנגדות הבידוד הנדרש למעגל החשמלי של עמדת הטעינה בין מוליכים שמתחם אינו עולה על $250\,\mathrm{V}$ ? מהו מתח הבדיקה של מכשיר בדיקת הבידוד?

(4 נקודות)

**ד.** בהתאם לטבלה א', קבעו האם נדרש לבצע הגדלת חיבור לבית הפרטי?

(4 נקודות)


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



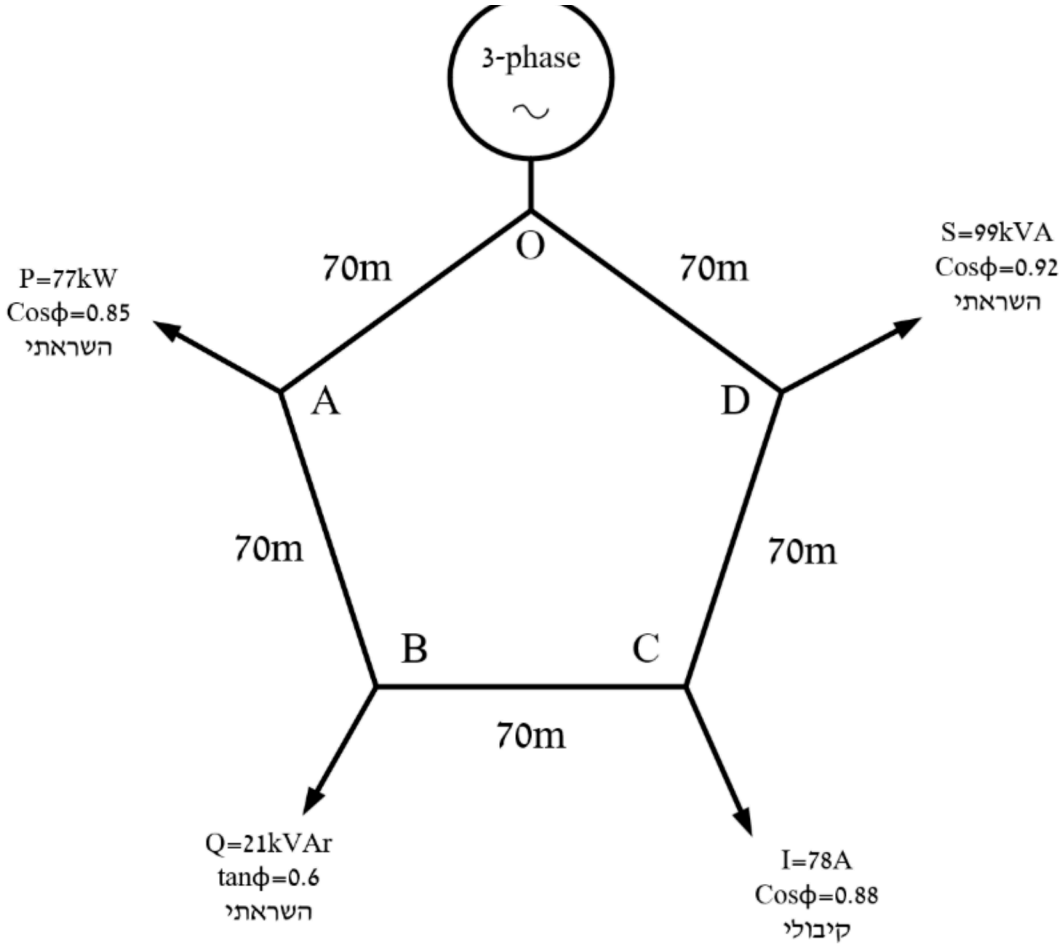

**ה.** **על סמך האיור המצורף, קבעו מהי כל עקומה באיור (נתיך של חח"י/ מבטח ראשי בבית הפרטי) ומהי עכבת לולאת התקלה המרבית שתהווה גבול לסלקטיביות בין התקני ההגנה.**

(4 נקודות)



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

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




**א.** חשבו את ההספק בכל קטע וקטע.

(5 נקודות)

**ב.** חשבו וקבעו את שטח החתך האחיד (מסחרי) של מוליכי הרשת, אם ידוע שמגבלת מפלי המתח המקסימלית ברשת היא $3\%$ בלבד.

(5 נקודות)

**ג.** קבע את הנקודה שבה המתח הוא המתח המזערי וחשב את ערכו.

(5 נקודות)

**ד.** קבעו באיזו נקודה $(A/B/C/D)$ זרם הקצר יהיה מרבי וחשבו אותו.

(5 נקודות)

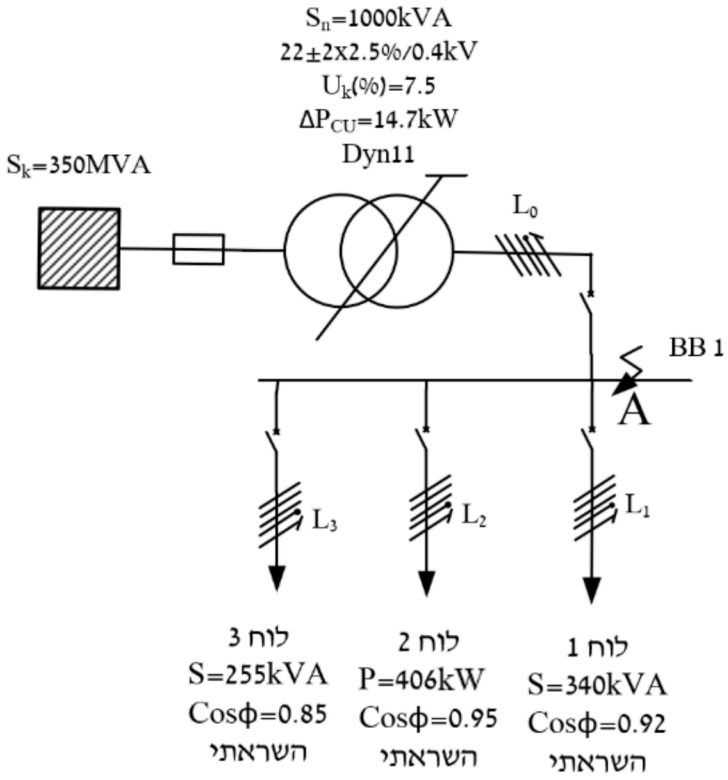

נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il

**3.** באיור לשאלה 3 נתונה המערכת הבאה. לבניין רב קומות מגיע קו הזנה במתח גבוה. לבניין יש שנאי הספק של $1000\,\mathrm{kVA}$ , נתוני השנאי מפורטים בסרטוט המצורף. השנאי הוא בעל משנה דרגות לא בעומס $22 \pm 2 \times 2.5\%/0.4\,\mathrm{kV}$ .

פס הצבירה BB1 עשוי מנחושת. מתח ההזנה הנמדד בין הפאזות בצד המתח הגבוה של השנאי הוא $22\,\mathrm{kV}$ (ללא הפעלת מתקן הצריכה).

הניחו שכל קווי החשמל בעלי התנגדות חשמלית של $0.03\,\Omega/\mathrm{km}$ והיגב השראתי של $0.12\,\Omega/\mathrm{km}$ .

$$L_3 = 34\,\mathrm{m}\ ,\ L_2 = 53\,\mathrm{m}\ ,\ L_1 = 68\,\mathrm{m}\ ,\ L_0 = 10\,\mathrm{m}$$




**א.** לפי נתוני השאלה קבעו מהי דרגת השנאי בהתאם למתואר בשאלה כך שהמתח בצד המתח הנמוך יהיה הקרוב ביותר ל- $400\,\mathrm{V}$ בהתאם לנתוני בסרטוט.

(5 נקודות)

**ב.** חשבו את זרם הקצר התלת מופעי המתמיד (בהתייחס לסרטוט בלבד) בנקודה A.

(5 נקודות)

**ג.** חשבו מהו ערכו המקסימלי של זרם הקצר בלוח בו עכבת לולאת התקלה היא מרבית.

(5 נקודות)

**ד.** בלוח 1 קיים ציוד חשמלי הניתן לשליפה. מה המרחק הנדרש בין הלוח לבין הקיר שמולו?

(2 נקודות)


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

**ה.** לבניין קיימת ערכת גנרטור המזינה מעגלי חירום. בלוח החירום קיימת מערכת החלפה אוטומטית. בחדר השנאי קיים השילוט "מוליך האיפוס משמש כהארקת השיטה של הגנרטור". קבעו מהי שיטת ההגנה בפני חשמול של המתקן במשטר תקין ובמשטר גיבוי וכיצד מערכת ההחלפה האוטומטית נדרשת להיות (מספר הקטבים במערכת ההחלפה).

(3 נקודות)

**4.** בבית החולים, ישנם חדרי ניתוח המסווגים לקבוצה 2. מתח ההזנה הוא $400\,\mathrm{V}$ .

| סוגי צרכנים | מספר הצרכנים | הספק חשמלי לצרכן בודד [kW] | מקדם בו זמניות | מקדם ההספק |
|---|---|---|---|---|
| מכשירים ממונעים | 6 | 4 | 0.5 | 0.95 |
| מכונות הנשמה | 20 | 2.5 | 1 | 0.95 |
| תאורה | 1 | 7 | 1 | 1 |
| מיזוג אויר | 1 | 75 | 1 | 0.87 |
| מערכת גילוי כיבוי אש | 2 | 33 | 1 | 0.9 |
| מעליות/ מעלונים | 6 | 6 | 0.85 | 0.85 |
| בתי תקע | 100 | 3.6 | 0.1 | 0.95 |

טבלה לשאלה 4

קו ההזנה הוא תלת מופעי לאתר רפואי מקבוצה 2, קו ההזנה מותקן בתוך תעלה על גבי קיר (בהתקנה חשיפה) ואורכו כ-60 מטרים. הטמפרטורה האופפת של הכבל נעה בין $30^{\circ}\mathrm{C}$ ל- $40^{\circ}\mathrm{C}$ ובתעלה לא מותקנים מעגלים/ קווים נוספים. הכבל בעל מוליכי נחושת ובידוד XLPE.

**א.** חשבו את שטח החתך הנדרש מהיבט העמסת יתר ומפל מתח הקטן מ- $1\%$ עבור קו ההזנה.

(6 נקודות)

**ב.** פרטו מהי ההגדרה לסווג קבוצה 2.

(3 נקודות)

**ג.** עבור מערכת ההחלפה האוטומטית השתמשו בשני מגענים. קבעו מהו הערך הנקוב של המגען.

(3 נקודות)

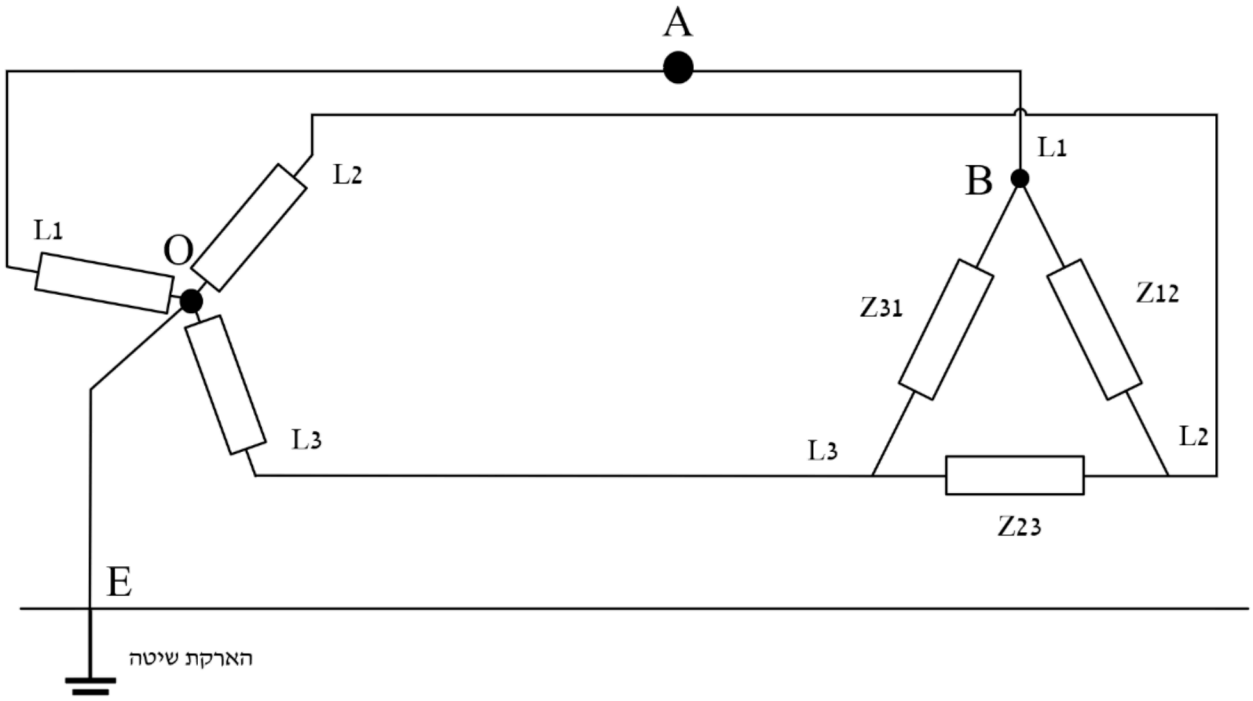
**ד.** בלוח החשמל ישנו שנאי מבדל בהספק של $8\,\mathrm{kVA}$ . השנאי מזין מעגלים סופיים לצרכנים חיוניים. מהי ההגנה הנדרשת להזנת השנאי? מהי שיטת ההגנה בפני חשמול למעגלים הסופיים המצויינים?

(3 נקודות)

**ה.** סרטטו תרשים עקרוני למיתוג קווי הזנה לזינת אתר מקבוצה 2.

(5 נקודות)

**5.** עבור עומס תלת פאזי, מאוזן המחובר בתצורת משולש. עכבות $Z_{12} = Z_{23} = Z_{31}$ , כל עכבה בעלת התנגדות אוהמית של $5\,\Omega$ וסליל של $33\,\text{mH}$ (הניחו שההתנגדות והסליל בחיבור טורי וערכם קבוע). הרשת במתח של $400\,\text{V}$ ותדירות של $50\,\text{Hz}$ .




**א.** חשבו את הזרם הקווי בפאזה L1.

(4 נקודות)

**ב.** חשבו את מקדם ההספק של העומס התלת פאזי.

(4 נקודות)

**ג.** בנקודה A בוצע ניתוק של פאזה L1. חשבו את מתח EB.

(4 נקודות)

**ד.** הניחו שרשת החשמל היא $400\,\text{V}$ אך בתדר $60\,\text{Hz}$ . הסבירו כיצד יושפע מקדם ההספק של העומס התלת פאזי והאם הדבר חיובי או שלילי כלפי רשת החשמל?

(4 נקודות)

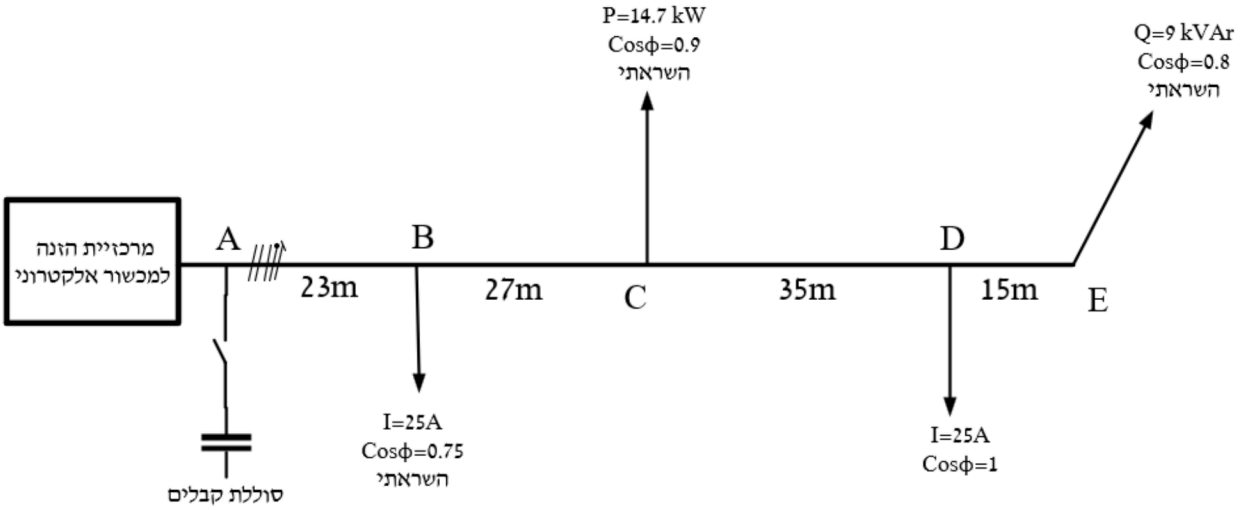
**ה.** חשבו מהי סוללת הקבלים המינימלית הנדרשת עבור התנאי שמקדם ההספק של המתקן יהיה $0.95$ לפחות.

(4 נקודות)


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

**6.** לאורכו של שביל בשמורת טבע הותקנו לוחות חשמל בנקודות B,C,D,E עבור מכשור אלקטרוני. ההזנה היא תלת מופעית במתח נקוב של $400\,\mathrm{V}$ .

מוליכי הרשת מנחושת $\rho = \frac{1}{58}\,\frac{\Omega\cdot\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$ וההיגב ההשראתי של מוליכי הקו הוא $0.12\,\Omega/\mathrm{km}$ . האיור הבא מתאר את נתוני ופריסת הלוחות.




**א.** חשבו את שטחי החתך בקטעי הרשת השונים לפי קריטריון של צפיפות זרם אחידה כאשר מפל המתח המקסימלי הוא $1.5\%$ .

(4 נקודות)

**ב.** חשבו את הפסדי הקו.

(4 נקודות)

**ג.** להזנת מרכזיית הזנה למכשור אלקטרוני חיברו מערכת אל- פסק. הסבירו מהי מערכת אל- פסק ומה תפקידה.

(4 נקודות)

**ד.** חשבו את גודל סוללת הקבלים הנדרשת להתקנה בנקודה A כך שמקדם ההספק של כל הרשת יהיה $0.95$ .

(4 נקודות)

**ה.** המתח הנקוב של סוללת הקבלים הוא $480\,\mathrm{V}$ . חשבו את גודל סוללת הקבלים הנדרשת בהמשך לסעיף ד'.

(4 נקודות)

**7.** במתקן חשמלי לייצור נייר המוזן במתח גבוה יש תחנת השנאה ומסדר חשמלי עבור מנועים הפועלים במתח נקוב של $7.2\,\mathrm{kV}$ . שנאי ההזנה הוא בעל הספק של $10\,\mathrm{MVA}$ , $U_k[\%] = 10$ , $22/7.2\,\mathrm{kV}$ . רשת ההזנה היא בעלת הספק אין-סופי. רשת החשמל במתח הגבוה היא באמצעות רשת כבלים בלבד. מתכנן המתקן דרש להקטין את גודל הזרם במתקן בעת תקלה בין פאזה לאדמה.

**א.** מנו את שיטות הטיפול בנקודת האפס המתאימות למתואר בשאלה והסבירו היתרונות וחסרונות של השיטות.

(4 נקודות)

**ב.** בחרו את הערכים הנקובים (יחס ההשנאה) של שנאי הזרם (התייחסו לצד הראשוני והמשני של השנאי) המתאים לפאזה במתקן החשמלי (לפי הספק השנאי) מהערכים הבאים:

ערכים נקובים של שנאי זרם בראשוני: $10, 12.5, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75\ \text{A}$

ומכפלות ב-10 מערכים אלו.

ערכים נקובים של שנאי זרם בשניוני: $5\ \text{A}$

(4 נקודות)

**ג.** הסבירו מה יקרה אם תתבצע פתיחת המעגל המשני של שנאי הזרם בזמן משטר עבודה של המתקן.

(4 נקודות)

**ד.** תכננו נגד הארקה עבור הגבלת זרם הקצר כלפי האדמה. חשבו את הנגד שלא יאפשר בעת קצר לאדמה זרם תקלה העולה על $400\ \text{A}$ .

(4 נקודות)

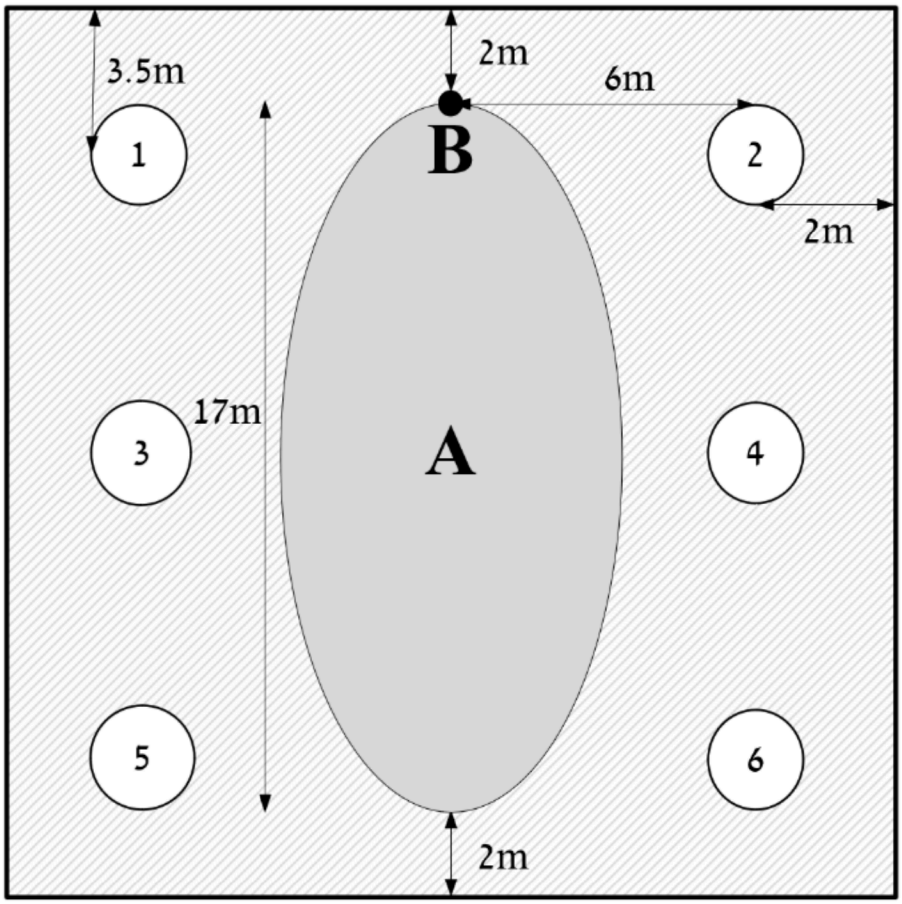
**ה.** בהמשך לסעיף הקדם, התקינו לנגד הארקה שנאי זרם ביחס של $500/5\ \text{A}$ . מה יהיה גודל הזרם בצד השניוני של שנאי הזרם לפי יחס ההשנאה?

(4 נקודות)



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

**8.** בבריכת שחייה טיפולית מקורה המתוארת באיור מותקנים שישה גופי תאורה. כל גוף תאורה בעל נצילות אורית של $100\ \mathrm{Lm/W}$ . פיזור האור של גוף תאורה שווה לכל הכיוונים בצורת חצי עיגול והוא הותקן צמוד לתקרה, גובה התקרה כ-6 מטרים. במרכז הבריכה (נקודה A) נמדדה רמת הארה של $200\ \mathrm{Lux}$ בגובה הרצפה. רשת החשמל במתח נקוב של $230\ \mathrm{V}$ .




**א.** חשבו את שטף האור של גוף תאורה.

(6 נקודות)

**ב.** חשבו את הספקה של מנורת לד בודדת.

(5 נקודות)

**ג.** חשבו את רמת ההארה בנקודה B (בגובה הרצפה, התחשבו בשתי נורות קרובות בלבד).

(5 נקודות)

**ד.** הסבירו כיצד מוגדר אזור נקודת A (ברדיוס של 2 מטר) בהתאם לחוק החשמל.

(2 נקודות)

**ה.** לפי חוק החשמל, מנו את האפשרויות להגנה בפני חשמול של תאורה תת מימית הממוקמת מאחורי אשנב והגישה אליה אפשרית מתעלה שמחוץ למים.

(2 נקודות)


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

**9.** מפעל תעשייתי מוזן מרשת $22\,\text{kV}$ תלת-מופעית, עכבת הקצר של רשת החשמל היא $0.05 + j0.6\,\text{m}\Omega$. במפעל, קיים מסדר חשמל למתח גבוה ושנאי הספק בהספק נקוב של $1600\,\text{kVA}$.

ערכים נקובים של שנאי $22/0.4\,\text{kV}$, הפסדי הריקם של השנאי הם $1450\,\text{W}$ והפסדי הנחושת הנקובים הם $14\,\text{kW}$. קבוצת החיבורים היא Dyn11 ומתח הקצר של השנאי היא $6\%$.

הלוח הראשי במפעל ממוקם בחדר החשמל הראשי. הלוח מזין ארבעה לוחות חשמל משניים. המתח במפעל $400\,\text{V}$, עומס המפעל מפורט בטבלה.

| לוח חשמל | הספק מדומה [kVA] | מקדם הספק |
|---|---|---|
| 1 | 360 | 0.85 השראתי |
| 2 | 220 | 0.9 השראתי |
| 3 | 120 | 0.83 השראתי |
| 4 | 400 | 0.8 השראתי |

טבלה לשאלה 9

**א.** חשבו מהו כושר הניתוק הנדרש המינימלי של המפסק הראשי של המתקן.

(4 נקודות)

**ב.** במפעל, הותקנו סוללות קבלים בשיטת "קיזוז מרכזי". ברשות המפעל ישנן סוללות קבלים של $40\,\text{kVAr}$. חשבו כמה סוללות קבלים נדרשות להתקנה עבור מקדם הספק של $0.92$ לפחות.

(4 נקודות)

**ג.** קבעו מהו שטח החתך המינימלי של מוליך נחושת, לפי טבלה $90.3$ להזנת סוללת קבלים בודדת.

(4 נקודות)

**ד.** חשבו מה יהיה מקדם העמסת השנאי לאחר התיקון.

(4 נקודות)

**ה.** שוקלים להקים את המתקן עם שני שנאים בהספק של $800\,\text{kVA}$ העובדים במקביל. הפסדי הריקם של השנאים הם $800\,\text{W}$ והפסדי הנחושת הנקובים הם $7000\,\text{W}$, מתח קצר $6\%$ וקבוצת חיבורים Dyn11.

עומס המפעל משתנה במשך היום בין $20\%$ ל- $100\%$ מההספק המרבי.

חשבו את ההספק האופטימלי להפעלת שנאי שני מבחינת חיסכון בהפסדי הספק.

(4 נקודות)

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