GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: קיץ 2026 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. מהדורה אחרונה של חוק ותקנות בנושא חשמל בהוצאת המוסד לבטיחות ולגיהות. 3. דפי נוסחאות יצורפו לשאלון הבחינה. אין להעביר ספרים, חומר עזר 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.

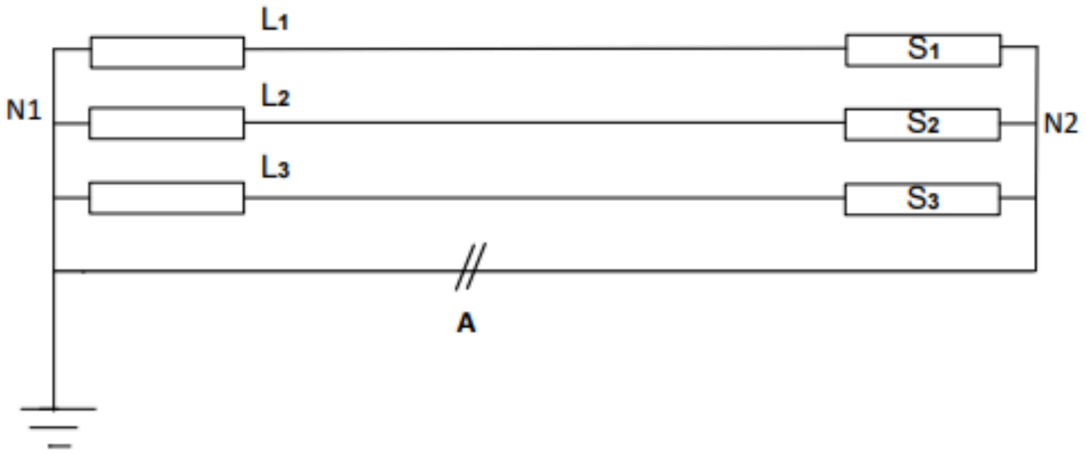
השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים, אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

השאלות

1. באיור לשאלה נתונים שלושה עומסים המחוברים בכוכב ללוח הראשי של מתקן חשמלי.
המתח הנקוב של הרשת $400\,\mathrm{V}/50\,\mathrm{Hz}$. עכבת הרשת ניתנת להזנחה. כל העומסים בעלי אופי השראי.

עומס	הספק מדומה $S(\mathrm{kVA})$	מקדם הספק $\cos\varphi$
L1	55	0.8
L2	80	0.84
L3	35	0.75



א. חשבו את הזרם במוליך האפס (גודל וזוית)

(4 נקודות)

ב. חשבו את המתח בין נקודת N2 לאדמה בהנחה שיש נתק במוליך האפס בנקודה A.

(4 נקודות)

ג. חשבו את גודל סוללת הקבלים הנדרשת על מנת לשפר את מקדם ההספק ל-0.93.
הנחו שהקבלים מחוברים בכוכב וחשב את הספק הקבלים ואת הקיבוליות.

(4 נקודות)

ד. לאחר התקנת הקבלים, הוחלט לשנות את חיבור הקבלים לחיבור משולש, איך משפיע השינוי על ערך מקדם ההספק ברשת?

(4 נקודות)

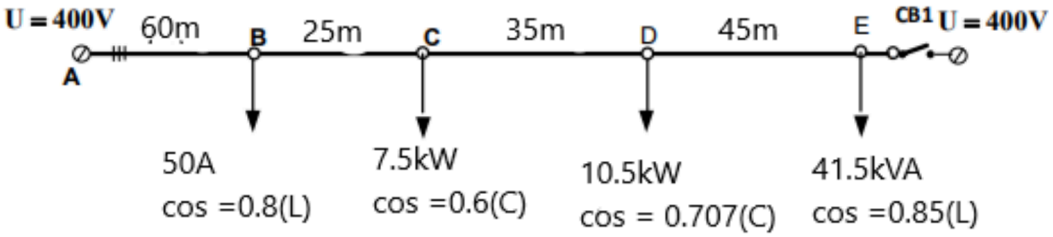
ה. חשבו את מקדם ההספק החדש, לאחר שינוי חיבור הקבלים למשולש.

(4 נקודות)

2. באיור לשאלה מוצגת רשת עם אפשרות להזנת העומסים ממקור אחד או משני מקורות.

מתח נומינלי של הרשת $400\,\mathrm{V}$.

נתוני המוליכים: $X_0 = 0.1\,[\Omega/\mathrm{km}]$, $\rho = \frac{1}{58}\left[\frac{\Omega\cdot\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}\right]$



מפסק CB1 פתוח

א. חשבו את שטחי החתך של מוליכי הרשת לפי קריטריון צפיפות זרם אחידה, עבור מפל מתח מכסימלי מותר של 3%.

(7 נקודות)

ב. בחרו שטחי חתך תקניים וחשב את איבודי ההספק בקטע AC.

(5 נקודות)

סוגרים את מפסק CB1

ג. חשבו את הזרם בקטעים השונים על פי שטחי החתך התקניים שנבחרו בסעיף ב (ניתן להזניח את ההיגב ההשראי).

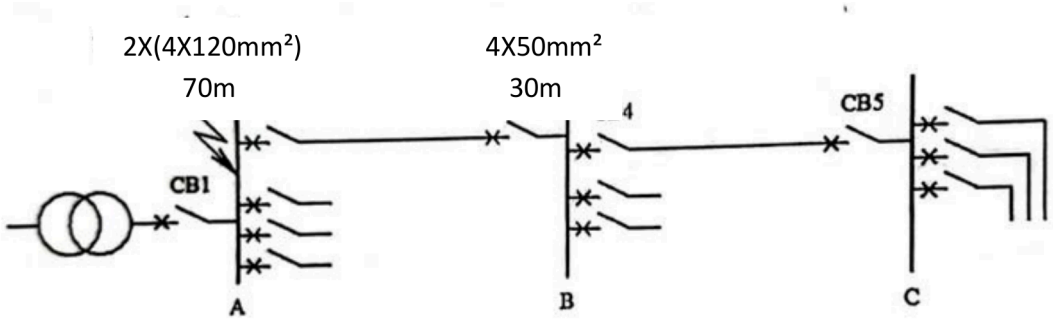
(5 נקודות)

ד. האם מפל המתח המכסימלי יגדל, יקטן או לא ישתנה לאחר סגירת המפסק? נמקו את תשובתך.

(3 נקודות)

3. מתקן חשמלי מוזן במתח $400\,\mathrm{V}$, השנאי מזין לוח ראשי לוח A , לוח A מזין את לוח B ולוח B מזין את לוח C .

שטחי החתך של הכבלים המזינים את הלוחות והמרחקים בין הלוחות מצוינים בתרשים. על פי נתוני יצרן ההיגב ההשראי של כל הכבלים $X_0 = 0.08\,\Omega/\mathrm{km}$. המוליכים עשויים נחושת $\rho = \frac{1}{58}\left[\frac{\Omega\cdot\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}\right]$ זרם הקצר במוצא השנאי חושב לפי הנוסחא $I_k = \frac{U}{\sqrt{3}\cdot Z}$ והתקבל ערך של $27.3\angle -85^\circ\,\mathrm{kA}$.



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

א. מה תהיה עצמת זרם הקצר התלת מופעי המתמיד שיזרום במוליכים אם יתרחש קצר בפסי הצבירה של לוח C.

(10 נקודות)

ב. כושר הניתוק של כל המפסקים בתרשים הוא $25\,\text{kA}$ האם הם עומדים בתקנות החשמל (יש להתייחס לכל מפסק בנפרד). ציינו על פי איזו תקנה בדקת את התאמתם.

(5 נקודות)

ג. בלוח C התקינו פסי צבירה מנחושת בשטח חתך של 60X10, הפסים מותקנים במאונך.
המרחק בין מרכזי פסי הצבירה 10 סמ' , והמרחק בין המבודדים 50 סמ'. האם פסי הצבירה תקינים? הוכחו באמצעות חישובים מתאימים.
מאמץ הכפיפה המינימלי המותר לנחושת $\sigma = 1250\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

(5 נקודות)

4. רשת תת קרקעית הבנויה מכבלים מזינה שנאי באיזור מגורים. ההספק המועבר ברשת $10\,[\text{MW}]$ במקדם הספק של 0.83, ובמתח $22\,[\text{kV}]$. אורך הרשת 15 קמ'.
נתוני הרשת:

- מוליכי הרשת עשויים חמרן פלדה $\gamma = 34\left[\frac{\text{m}}{\Omega\cdot\text{mm}^2}\right]$
- שטח חתך המוליכים $240\,[\text{mm}^2]$
- היגב השראי סגולי $0.35\,[\Omega/\text{km}]$
- קיבוליות סגולית $0.25\,[\mu\text{F}/\text{km}]$

א. שרטטו מעגל תמורה T , חשב את הפרמטרים של הרשת וציינו אותם על מעגל התמורה.

(4 נקודות)

ב. חשבו את המתח, הזרם ומקדם ההספק בתחילת קו ההזנה (חישוב מדויק ולא מקורב).

(10 נקודות)

ג. שרטטו דיאגרמה וקטורית של המתחים המתבסס על סכמת תמורה T.
(הנחו U עומס $= 22\,\text{kV}\angle 0^\circ$).

(3 נקודות)

ד. חשבו את ההספק המדומה הנמסר לרשת בתחילת הקו.

(3 נקודות)

5. בחדר מכונות של מחסן קירור תעשייתי הפועל במתח נמוך $400\,\mathrm{V}/50\,\mathrm{Hz}$ קיימים העומסים לפי הפירוט בטבלה הבאה:

עומס	מספר	הספק חשמלי $[\mathrm{kW}]$	מקדם בו זמניות	מקדם ההספק
מדחסים	8	45	0.75	0.84
משאבות	15	10	0.8	0.82
מפוחים	36	2	0.6	0.8
תאורה ושקעים		10	0.5	0.95

א. מהו ההספק הנקוב המינימלי הנדרש מהשנאי המזין את המחסן. (יש להתחשב בהתפתחות עתידית של 10%). ההספקים הנקובים האפשריים של השנאי הם: $400\,\mathrm{kVA}$, $500\,\mathrm{kVA}$, $630\,\mathrm{kVA}$, $800\,\mathrm{kVA}$, $1000\,\mathrm{kVA}$.

(5 נקודות)

ב. בחירת כבל ההזנה מהשנאי ללוח המחסן נעשה לפי ההספק הנקוב של השנאי. יש להשתמש בכבלים חד גידיים לכל מופע על גבי מגש מחורר, הטמפרטורה האופפת בתוואי ההתקנה היא $45^\circ\mathrm{C}$.

יש להשתמש בכבל מסוג N2XY בשטח חתך של $185\,\mathrm{mm}^2$. כמה כבלים חד גידיים נדרשים לכל מופע?

(5 נקודות)

ג. הקבלן שם לב שיש לו במחסן כבלים מסוג NYY והוא מבקש אישור להשתמש בכבלים אלו – 2 כבלים למופע. האם ניתן לאשר לקבלן? נמקו את תשובתך באמצעות נתונים.

(5 נקודות)

ד. לאחר בדיקת לולאת התקלה במתקן התקבלו התוצאות הבאות:

בדיקת לולאת התקלה	L1-N	L1-PE	L1-L2
עכבת לולאת התקלה $[\mathrm{m\Omega}]$	45	650	60
זרם התקלה $[\mathrm{kA}]$	5.1	0.35	3.83

מהי שיטת ההגנה בפני חשמול במחסן הקירור (נמקו את תשובתך)

(5 נקודות)

6. גודל החיבור המוזמן של מתקן חשמלי הוא $3 \times 800\,\text{A}$ במתח נמוך, מקדם הספק תקני ($\cos\varphi = 0.92$). המתקן מוזן משנאי של חברת חשמל המותקן במרחק של $150\,\text{m}$ מהלוח הראשי. החברה האחראית על מערכת ההולכה הגדירה כי מפל המתח המכסימלי בין השנאי ללוח הראשי יהיה 5%. המתקן יוזן באמצעות כבלים רב גידיים N2XY (מוליכים מנחושת, בידוד 90°) המותקנים במישרין באדמה, כבלים צמודים, טמפ' הסביבה 35°C .

א. בחרו את שטח החתך הנדרש לכבלים (על שטח החתך לענות הן על דרישת העמסה מותרת של מוליכים וכבלים, והן לדרישה של מפלי מתח). רישמו את תשובתכם בצורה תקנית.

(10 נקודות)

ב. חשבו את איבודי ההספק המכסימליים בכבל שבחרתם (בהנחה שזרם המתקן שווה לגודל החיבור).

(5 נקודות)

ג. אם ידוע שמחיר כבל נחושת הוא 900 ₪/מ' ומחיר האנרגיה 50 אג'/קווט"ש (זנחו את עלות העבודה). ריבית ופחת שנתיים 10%

מה העלות השנתית של המתקן בעבור התקנת כבל ההזנה ואיבודי האנרגיה בכבל ההזנה.

- הניחו שהמתקן עובד בהספק מלא לאורך כל השנה.

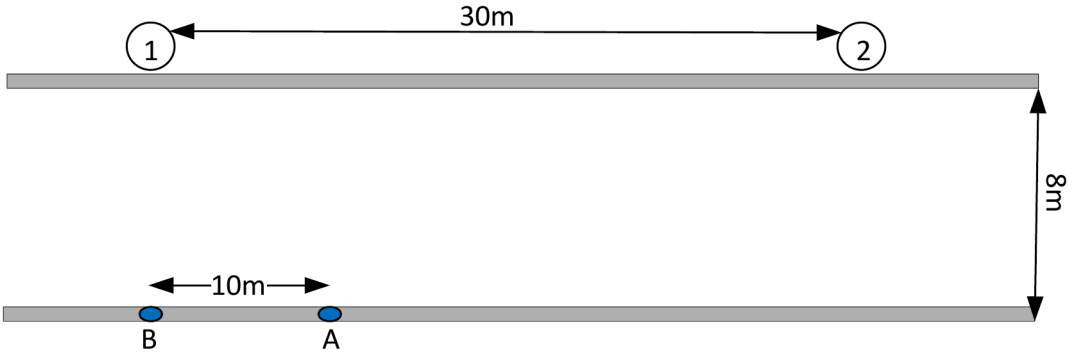
(5 נקודות)

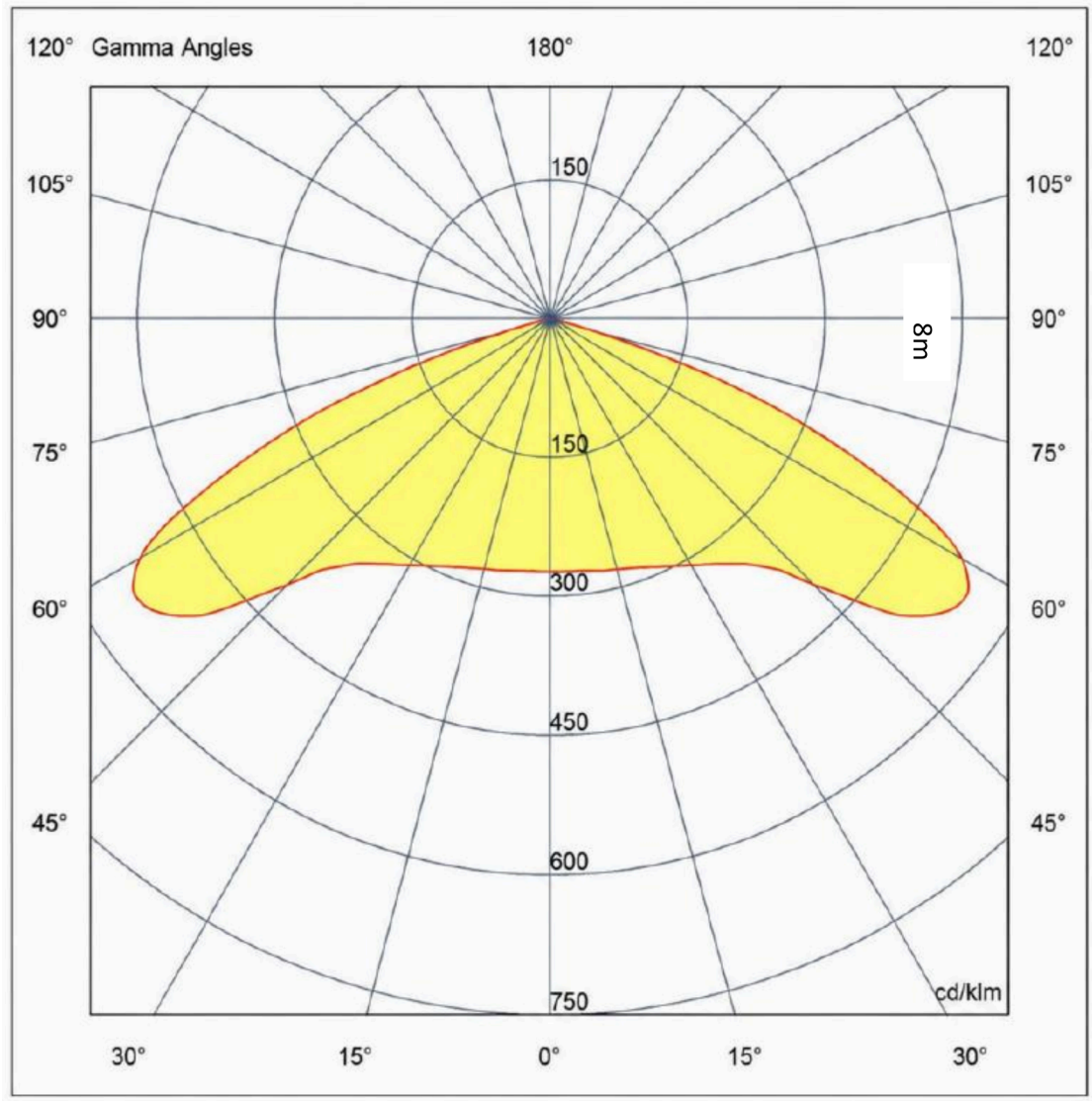
7. **באיור א לשאלה 7 מתואר מבט על של מקטע כביש , ומצויינים בו 2 עמודי תאורה. המרחק בין העמודים 30 מ'.**

רוחב הכביש 8 מ'.

בכל עמוד גוף תאורה שהספקו $210\,[\mathrm{W}]$ **ומקדם הספק של 0.96, שטף אור של גוף התאורה** $\Phi = 27100\,[\mathrm{Lm}]$

באיור ב' לשאלה מופיע העקום הפולרי (יש להתייחס לקו האדום).





א. חשבו את גובהו של עמוד התאורה כך שעוצמת ההארה על פני הכביש מתחת לגוף התאורה תהיה 75 לוקס. אין להתחשב בתרומת העמוד הנוסף.

(5 נקודות)

ב. חשבו את עוצמת ההארה בנקודה A הנמצאת בצידו השני של הכביש ובמרחק 10 מ' מנקודה B.

(10 נקודות)

ג. סה"כ לאורך הכביש ישנם 15 עמודי תאורה, עמודי התאורה מוזנים ממרכזיית תאורה הממוקמת 30 מ' לפני העמוד הראשון באמצעות 3 מעגלי תאורה חד פאזיים. מה שטח החתך הנדרש לכבלים אם ידוע שמפל המתח המכסימלי המותר הוא 3%, ויש להגביל את איבודי ההספק ל-2% משיקולים כלכליים.

המוליכים עשויים נחושת $\rho = \frac{1}{58}\left[\frac{\Omega\cdot\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}\right]$, ניתן להזניח את ההיגב ההשראי.

(5 נקודות)

8. א. אחד התנאים לביצוע איפוס הינו קיום הארקת יסוד.

מדוע תנאי זה הכרחי בשיטת האיפוס אך אינו הכרחי בשיטת הארקת הגנה TT?

1. כי בעת ניתוק מוליך הארקה של לוח ראשי מתח המגע יעלה על 50 וולט.
2. כי בעת ניתוק החיבור להארקת היסוד מתח המגע יעלה על 50 וולט.
3. כי בעת ניתוק מוליך האפס בקו הזינה מובטחת השוואת פוטנציאלים.
4. כי בהארקת יסוד אנו מבטיחים זרימת זרם גדולה דרך האדמה.

(4 נקודות)

ב. מהי הטענה הנכונה מבין הבאות לגבי מפסק מגן?

1. מפסק מגן, המגן על הקווים יכול שלא יפסיק את המוליך האפס.
2. מפסק מגן, המגן על המעגלים סופיים חייב להפסיק מהזינה רק את מוליכי המופעים.
3. מפסק מגן חייב להפסיק את מוליכי המופעים, מוליך האפס ומוליך הארקה.
4. מפסק מגן חייב תמיד להפסיק את המוליך האפס.

(3 נקודות)

ג. האם מותר להתקין מוליך ללא מובל בהתקנה סמויה או חשיפה?

1. מותר, פרט למקרה שבו החומר המכסה את המוליך עלול לפגוע בבידוד.
2. אסור, אלא אם מדובר במוליך הארקה או אלקטרודה המותקנים בהתאם לתקנות החשמל – הארקות ואמצעי הגנה בפני חישמול.
3. מותר, רק בהתקנה זמנית.
4. מותר, רק במתקנים בהם קיימת אחזקה נאותה ואין סכנה של פגיעה מכנית במוליך.

(4 נקודות)

ד. כל אחת משיטות החיבור של נקודת האפס, במערך הזינה של רשתות מתח גבוה מתחמ"ש יש מאפיינים מסוימים, המתארים את תופעות ברשת בשל קצר לאדמה.

איזו אפשרות אינה מהווה תופעה אפשרית?

1. כשנקודת הכוכב המחוברת ישירות לאדמה, המתח בפאזות ה"בריאות" לא משתנה בשל קצר לאדמה באחת מהפאזות.
2. כשנקודת הכוכב מוארקת לאדמה דרך נגד, במקרה של קצר חד פזי לאדמה, המתח בפזות ה"בריאות" עלול לעלות לערך של המתח השלוב.
3. כשנקודת הכוכב מחוברת לאדמה באמצעות סליל כיבוי, במקרה של קצר חד פזי לאדמה, קיים סיכוי לכיבוי עצמי של הקשת.
4. כשנקודת הכוכב מחוברת לאדמה באמצעות סליל כיבוי, זרם הקצר החד פאזי יכול להגיע לערך גבוה מאד (בסדר גודל של זרם תלת פאזי לאדמה).

(3 נקודות)

ה. חשמלאי התקין כבל רב גידי מסוג N2XY בעל ארבעה מוליכים לשם הזנת מנוע תלת מופעי.

צבעי בידוד המוליכים בכבל הם חום, חום כתום, חום שחור וכחול

האם מותר לחשמלאי להשתמש במוליך הכחול כמוליך הארקה?

1. כן. סימון המוליך הכחול כמוליך הארקה מותר בתנאי שיולבש עליו, בכל קצה של הכבל, שרוול מתכווץ בעל צבע צהוב ירוק המהודק לבידוד המקורי.
2. כן. סימון המוליך הכחול כמוליך הארקה מותר תמיד.
3. כן. בתנאי שיותקן במקביל לכבל הזינה מוליך הארקה נוסף בחתך 10 ממ"ר לפחות.
4. לא. אסור להשתמש במוליך כחול בכל מקרה.

(3 נקודות)

במתקן חדש חובר שנאי ב $22/0.4\,kV$, $1000\,kVA$.

בצד המתח הנמוך נמדד מתח שלוב של $410\,V$.



5-6	23,100V	400V
4-6	22,550V	
4-7	22,000V	
3-7	21,450V	
3-8	20,900V	

1. כיצד יש לשנות את משנה הדרגות שבתמונה בכדי שבצד המתח הנמוך יתקבל מתח שלוב של $400\,V$?

1. 5-6.

2. 4-6.

3. 4-7.

4. 3-7.

(3 נקודות)

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