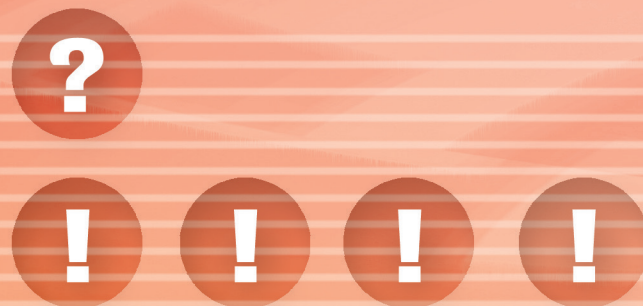


משרד הכלכלה  
אגף בכיר להכשרה ולפיתוח כוח אדם  
תחום פדגוגיה

# מאגר שאלות ותשובות במתקני חשמל ורשת לחשמלאי מוסמך



מאגר שאלות ותשובות במתקני חשמל ורשת לחשמלאי מוסמך

סדרת מאגרי שאלות ותשובות בחשמל בהוצאת מאה,

## מאגרי שאלות לחשמלאי מעשי

- מ"ק 813261-מאגר שאלות ותשובות בתורת החשמל לחשמלאי מעשי
- מ"ק 813262-מאגר שאלות ותשובות במתקנים ובמכונות חשמל לחשמלאי מעשי

## מאגרי שאלות לחשמלאי מוסמך

- מ"ק 813301-מאגר שאלות ותשובות בתורת החשמל לחשמלאי מוסמך
- מ"ק 813303-מאגר שאלות ותשובות במכונות חשמל לזרם ישר לחשמלאי מוסמך
- מ"ק 813304-מאגר שאלות ותשובות במכונות חשמל לזרם חילופין לחשמלאי מוסמך
- מ"ק 813302-מאגר שאלות ותשובות במתקני חשמל ורשת לחשמלאי מוסמך

## מאגרי שאלות לחשמלאי ראשי

- מ"ק 813311-מאגר שאלות ותשובות בתורת החשמל לחשמלאי ראשי
- מ"ק 813312-מאגר שאלות ותשובות במכונות חשמל לחשמלאי ראשי
- מ"ק 813313-מאגר שאלות ותשובות במתקני חשמל ורשת לחשמלאי ראשי

מאגר שאלות ותשובות במתקני חשמל ורשת לחשמלאי מוסמך



0 029508 133027

דנקוד 295-813302

מ.ק. 813302 מחיר: 47.20 ש"ח

מ"ק 813302

משרד הכלכלה  
אגף בכיר להכשרה ולפיתוח כוח אדם  
תחום פדגוגיה

**מאגר שאלות ותשובות  
במתקני חשמל ורשת  
לחשמלאי מוסמד**

## **עדכון המאגר והפקת הגרסה הנוכחית (2005)**

### **בדיקה מקצועית:**

אבי גינת, מהנדס חשמל  
איגור דיקר, מהנדס ומורה לחשמל  
דליה נאור, MA הוראת מדעים, חשמל ואלקטרוניקה  
יוסי שרביט, עורך תוכניות לימודים  
**ריכוז והנחייה:** יוסי שרביט, עורך תוכניות לימודים  
**סרטוט, עיצוב וריכוז הפקה:** עליזה שליף, מאה  
**הגהה:** אבי גינת, מהנדס חשמל  
**ניהול הפקה:** אדראנה הדדי, מאה

## **הקמה ופיתוח של המאגר הראשוני (1994)**

**ייזום:** אמיל מלול, מנהל המחלקה הפדגוגית

**ייזום, אפיון וניהול:** משה אמיר, מאה

**חיבור, עריכה ותחזוקה:** אבי גינת, מהנדס חשמל

### **צוות היגוי:**

דוד תרזה ז"ל, מפקח ארצי לחשמל

משה אמיר, מאה

יוסי שרביט, עורך תוכניות לימודים

יוחנן קראוס, ראש ענף בחינות ארצי

**הפקת הספר:** דפוס אופסט "ראמים" בע"מ

**עיצוב עטיפה:** ר.ב. ארטס

מהדורה ראשונה – 2006, תשס"ו

© כל הזכויות שמורות למאה – היחידה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי

מ"ק 813302

אין להעתיק, לתרגם, לשכפל, לאחסן במאגרי מידע, לשדר או לקלוט בכל אמצעי אלקטרוני, אופטי או אחר – שום חלק מהחומר בספר זה. לא ייעשה שימוש מסחרי מסוג כלשהו ללא רשות בכתב מאת הנהלת היחידה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי.

הוצאת **מאה** היחידה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי

בית ליאו גולדברג, דרך מנחם בגין 86, תל אביב, מיקוד 67138

טלפון: 03-7347482/3, פקס: 03-7347627

דואר אלקטרוני: mea@economy.gov.il

האתר של מאה: <http://economy.gov.il/mea>

## תוכן העניינים

5	הקדמה
7	נושא 1: סרטוט סכמטי בחשמל (נושא 23 בתוכני"ל) 16 שאלות
12	נושא 2: חוקים ותקנות בחשמל (נושא 24 בתוכני"ל) 45 שאלות
20	נושא 3: תכנון ותחזוקה של מתקני חשמל (נושא 25 בתוכני"ל)
20	א.3 משק החשמל בישראל (סעיף 25.1 בתוכני"ל) 5 שאלות
21	ב.3 תכנון דירות מגורים – מאור ומכשירים (סעיף 25.3 בתוכני"ל) 14 שאלות, כולל שאלה לדוגמה
27	ג.3 תכנון בתי מלאכה ובתי עסק (סעיף 25.4 בתוכני"ל) 22 שאלות
32	ד.3 תאורה חשמלית (סעיף 25.5 בתוכני"ל) 15 שאלות
36	ה.3 חישובי הפסד וקביעת חתכים במתקנים ובקווי זינה (סעיף 25.6 בתוכני"ל) 66 שאלות
53	ו.3 שיפור גורם הספק במתקנים ביתיים ותעשייתיים (סעיף 25.7 בתוכני"ל) 7 שאלות
54	נושא 4: מיתוג, פיקוד ובקרה (נושא 28 בתוכני"ל) 23 שאלות
61	פתרונות לנושא 1
71	פתרונות לנושא 2
96	פתרונות לנושא 3
96	א.3
99	ב.3
109	ג.3
124	ד.3
134	ה.3
175	ו.3
179	פתרונות לנושא 4
196	תוכנית מבחן מומלצת
197	מבחן לדוגמה
200	נספח: תוכניות בחינה לרמת רישוי חשמלאי מוסמך



## **הקדמה**

מאגר השאלות והתשובות **במתקני חשמל ורשת לחשמלאי מוסמך** הוא אחד משלושה מאגרים לחשמלאי מוסמך, בסדרת המאגרים לענף החשמל והאלקטרוניקה: חשמלאי מעשי, חשמלאי מוסמך וחשמלאי ראשי.

סדרת המאגרים בחשמל פותחה על בסיס תוכניות בחינה בחשמל שאושרו בהתאם לתוכנית החשמל (רישיונות) וכן על-פי תוכניות הלימודים למגמות השונות: חשמלאי מעשי, חשמלאי מוסמך וחשמלאי ראשי. חלק משאלות אלה שימש בעבר בבחינות גמר ברמות השונות.

מאגר השאלות מתאים למבוגרים ולנוער.

## **מטרות מאגר בתורת החשמל לחשמלאי מוסמך**

א. לסייע לתלמידים, בנוסף לשעורים הסדירים בכיתה, על ידי תרגול וחזרה יסודית ומקיפה על חומר הלימודים.

ב. להכין את התלמידים בצורה יעילה, ממוקדת והוגנת למבחן הגמר החיצוני, ובכך לאפשר להם להוכיח את ידיעותיהם.

## **מבנה המאגר**

המאגר כולל 213 שאלות פתוחות ומחולק לארבעה נושאים ראשיים. הפתרונות לשאלות מרוכזים בסוף הספר. בתוכן העניינים מצוין, ליד כל נושא, מספרו בתוכנית הלימודים של שנת 2000.

## **ייצוגיות שאלות במבחן הגמר החיצוני**

בסוף הספר מצורפת תוכנית מומלצת לבניית מבחן ואחריה מבחן לדוגמה שנבנה לפיה.

מחלקת הבחינות שומרת לעצמה את הזכות להוסיף שאלות חדשות למאגר לפי שיקול דעתה, בעקבות שינויים עתידיים אפשריים בתוכנית הלימודים במקצוע. בנוסף, ייתכנו שינויים בערכים מספריים בנתוני שאלות החישוב.

בסוף הספר מצורף נספח של תוכניות בחינה לרמת רישוי חשמלאי מוסמך במקצועות: תורת החשמל ומכונות חשמל (מבחן משולב), מתקני חשמל ורשת.

## **תודות**

תודות לכל אלה אשר סייעו להביא את המאגר המקיף לרמת איכותית ומקצועית גבוהים.

תודה מיוחדת למפקח הארצי לענף חשמל ואלקטרוניקה **דוד תרזה** ז"ל אשר ליווה את הפיתוח הראשוני של המאגר וקידם את יישומו בשדה. תהיה סדרת המאגרים בחשמל נר זיכרון לפועלו לקידום הוראת החשמל בקורסים להכשרה מקצועית.

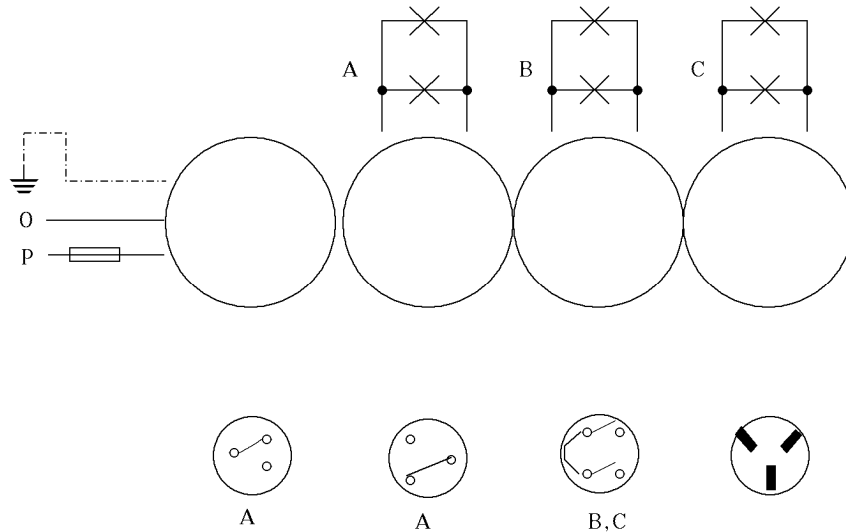


## נושא 1: סרטוט סכמטי בחשמל

שאלה 1

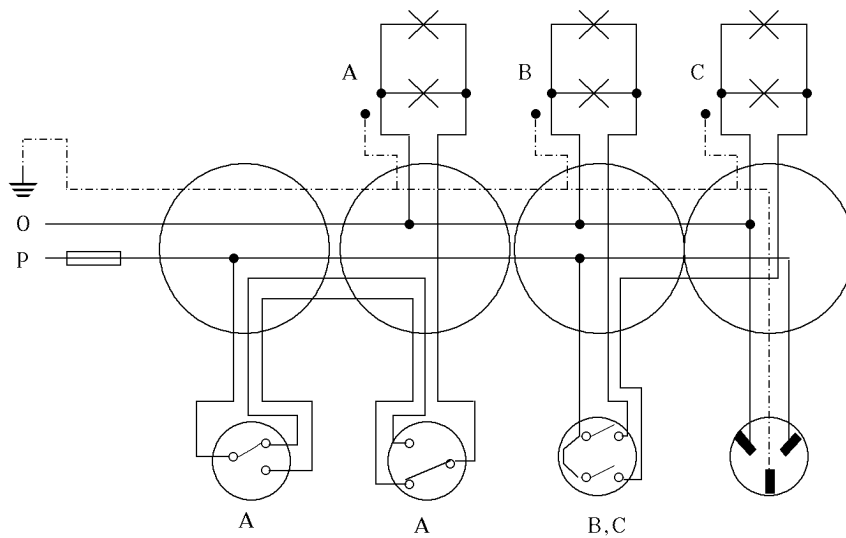
שאלה 1

- א. השלם את התוכנית הרב-קווית העקרונית, המתוארת באיור.  
 ב. סרטט תוכנית חד-קווית עקרונית למעגל שבאיור.



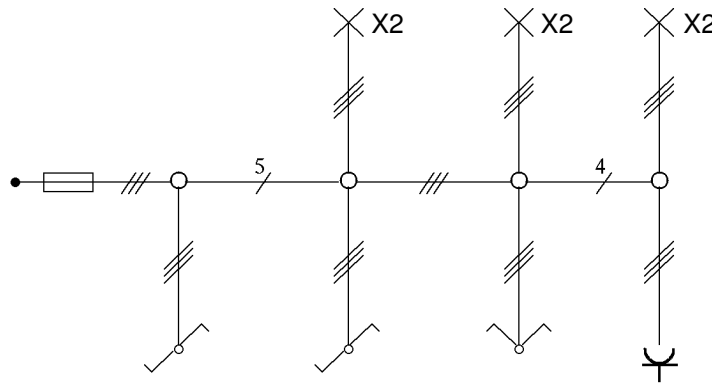
פתרון

- א. תוכנית רב-קווית עקרונית.





ב. תוכנית חד-קווית עקרונית.



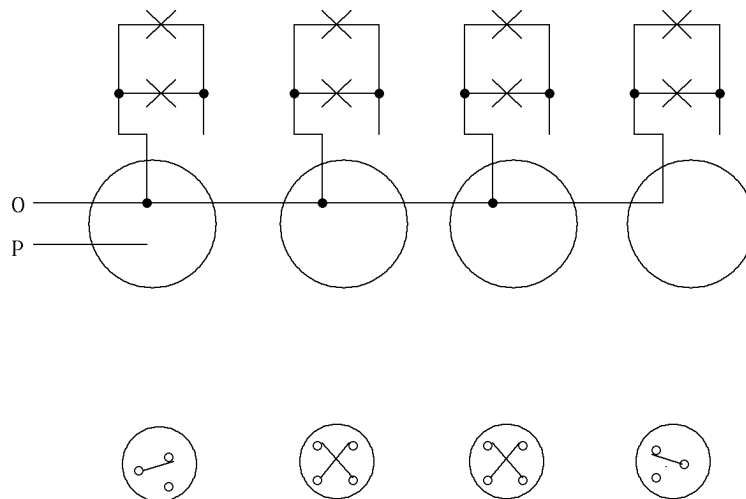
## שאלה 2

סרטוט והסבר חיבור דוד מים (בוילר), כולל גוף חימום, תרמוסטט, מפסק ונורית.

## שאלה 3

לפניך מעגל להדלקת כל הנורות ממספר מקומות.

- השלם את התוכנית הרב-קווית העקרונית, המתוארת בתרשים.
- סרטוט תוכנית חד-קווית עקרונית למעגל שבאיור.



## שאלה 4

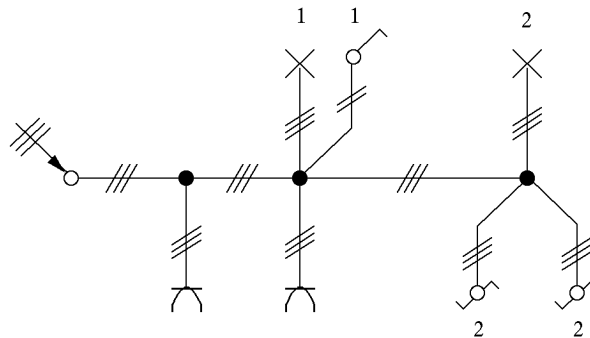
- סרטוט תרשים חיבורים עקרוני להפעלת דוד חימום חשמלי בשעות מותרות (10 בלילה עד 6 בבוקר).
- הסבר את פעולת המעגל ותאר את אמצעי הבטיחות שבהם השתמשת.

### שאלה 5

- א. סרטוט תוכנית רב-קווית עקרונית ותוכנית חד-קווית של מעגל תאורה לחדר מדרגות (הכולל ממסר השהיה תרמי).  
 ב. הסבר את עקרון הפעולה של ממסר ההשהיה התרמי.

### שאלה 6

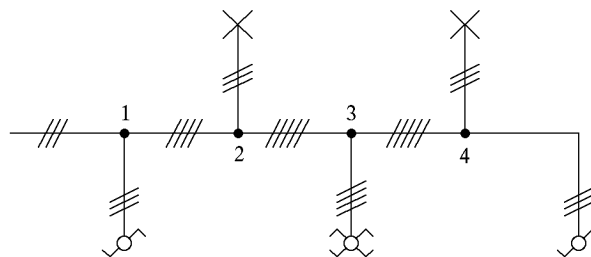
לפניך תרשים חד-קווי של מתקן חשמלי.



סרטוט תוכנית רב-קווית מלאה לפי התרשים.

### שאלה 7

- לפניך סרטוט חד קווי של מעגל חשמלי להדלקה וכיבוי של 2 המנורות יחד מ-3 מקומות. סרטוט סרטוט רב קווי מתאים.



### שאלה 8

- מסדרון בבנין משרדים מואר על ידי 8 נורות בהספק של 100W כל אחת.  
 א. תכנן וסרטוט תוכנית רב קווית להדלקה וכיבוי התאורה במסדרון מארבעה מקומות שונים.  
 ב. סרטוט תוכנית חד קווית עקרונית למעגל שתכנת.  
 ג. רשום את שטח חתך המוליכים וקוטר הצינורות.

### שאלה 9

- פרוזדור בבנין משרדים מואר על ידי 10 גופי תאורה של 80W כל אחד. תכנן את מעגל התאורה כך שניתן יהיה להדליק ולכבות את האור מ-5 מקומות שונים.  
 א. סרטוט תרשים חד קווי ורשום את מספר המוליכים, שטח חתך המוליכים וקוטר המובילים.  
 ב. סרטוט תרשים רב קווי.  
 ג. הקפד על סרטוט וסמלים לפי התקנים.

**שאלה 10**

חדר שינה כולל 2 שקעים, נורה הניתנת להדלקה וכיבוי מהדלקה וכיבוי ממפסק בודד.  
 א. סרטוט תוכנית חד-קווית של החדר.  
 ב. סרטוט תוכנית רב קווית מלאה של החדר.

**שאלה 11**

סרטוט שני מעגלים חשמליים המופעלים בעזרת שעון (שעון שבת):  
 א. מעגל להדלקת נורה בעזרת שעון  
 ב. מעגל להתנעת מנוע אוטומטית בעזרת שעון. יש להגן על המנוע באמצעות אוברלוד.

**שאלה 12**

סרטוט מעגל חשמלי להדלקת קו עמודי תאורה באמצעות תא פוטו-אלקטרי (photo cell) ומגנן (קונטקטור).

**שאלה 13**

סרטוט סרטוט עקרוני של הדלקת מנורה מ-4 מקומות שונים.  
 א. בעזרת מפסקים.  
 ב. בעזרת ממסר צעד.  
 ג. הסבר את ההבדל ביניהם.

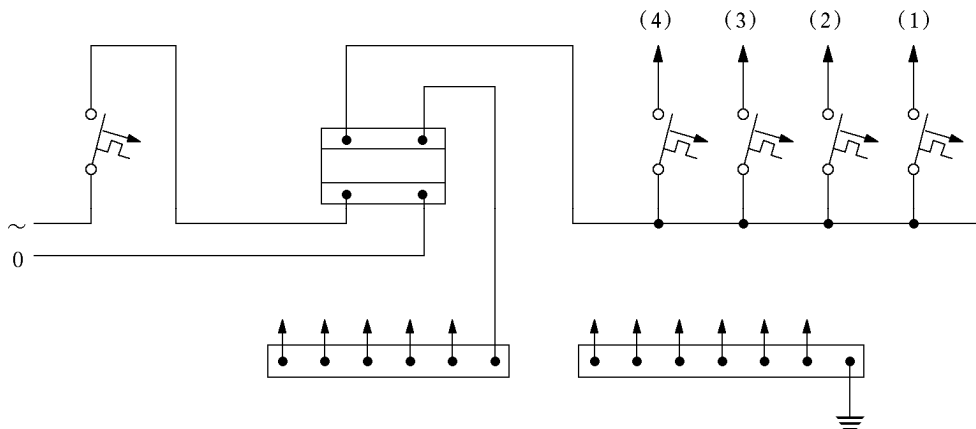
**שאלה 14**

סרטוט את החיבורים של לוח דירתי הכולל:  
 א. מאמ"ת ראשי  $1 \times 40A$   
 ב. פחת זרם  $4 \times 25A$   
 ג. 6 מאמ"תים (דוד חשמלי, 2 מעגלי כוח, 3 מעגלי מאור מעורב).  
 ד. שעון מיתוג 24 שעות 230/16A מותקן על שלושת מעגלי המאור.

**שאלה 15**

אחת השיטות להגנה מפני התחשמלות היא שנאי מבדל.  
 א. ציין את המגבלות החלות על השימוש בשנאי זה.  
 ב. סרטוט את החיבור של ממסר לזרם דלף  $4 \times 25A$ ,  $30mA$  בלוח חשמל של גן ילדים מוזן מרשת חד-מופעית  $1 \times 25A$ .

**שאלה 16**



באיור מתואר לוח חיבורים של דירת מגורים. עקב בעיה של זרם פחת מצטבר אתה מחליט להתקין ממסר פחת נוסף ולחלק את הקווים כדלקמן:  
 הממסר הקיים לקווים 1 ו-2 בלבד.  
 הממסר הנוסף לקווים 3 ו-4 בלבד.  
 סרטט את מבנה לוח החיבורים עם שני ממסרי הפחת.

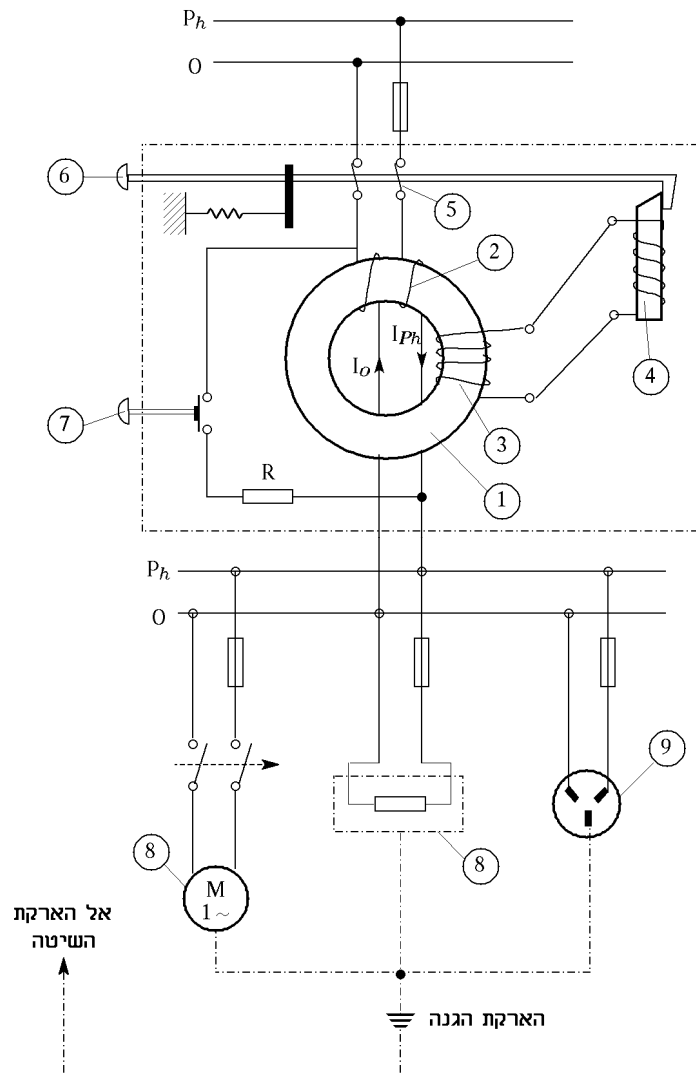
## נושא 2: חוקים ותקנות בחשמל

שאלה 1

שאלה 1

תאר את המבנה ואופן הפעולה של המנגנון הפנימי במפסק מגן לזרם דלף (ממסר פחת) חד-מופעי.

### פתרון



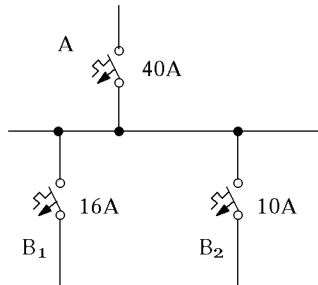
- (1) שנאי איזון
- (2) ליפוף ראשוני
- (3) ליפוף משני
- (4) התקן שחרור
- (5) מפסק
- (6) לחצן החיבור
- (7) לחצן בדיקה
- (8) גופים מתכתיים מוגנים
- (9) בית תקע עם נקודות הארקה

$$I_{ph} = I_0$$

במצב תקין  $I_{ph} = I_0$ . בליפוף המשני מושרה מתח רק במקרה של אי איזון הזרמים העוברים דרך השנאי. כלומר, כשקיים קצר לאדמה או זרם פחת מבידוד פגום (זרם דליפה) במעגל מוגן. המתח המשני מזרים זרם דרך סליל ההתקן האלקטרומגנטי, מפעיל את האלקטרומגנט והמעגל נפתח. רגישותו הגבוהה ( $15 \div 30mA$ ) וזמן פעולתו האפסי מעניקים לו יתרון עצום בהגנה נגד התחשמלות במתקנים ביתיים.

**שאלה 2**

הסבר את מושג הסלקטיביות בין 2 נתיכים. היעזר בעקומות ניתוק (זרם-זמן).

**שאלה 3**

הסבר את מושג הסלקטיביות בין 2 מפסקים חצי אוטומטיים, ללוח דירתי הכולל את המפסקים המתוארים באיור.

לצורך ההסבר סרטט את עקומות הניתוק (אופייני המפסקים) במקרים האלה:

- כאשר קיימת סלקטיביות בין A ל- $B_1$ .
- כאשר קיימת סלקטיביות חלקית בין A ל- $B_1$ .
- כאשר אין סלקטיביות בין A ל- $B_1$ .

**שאלה 4**

הסבר את מושג הסלקטיביות בין נתיך למפסק חצי-אוטומטי. לווה את הסברך בתיאורים גרפיים.

**שאלה 5**

- מדוע אין משתמשים במוליך הארקה בשיטות "בידוד מגן", "מתח נמוך מאוד" ו"הפרד מגן"?
- מדוע מותר להזין בשיטת הפרד מגן רק צרכן אחד?

**שאלה 6**

מפסק המגן (ממסר פחת מזרם דלף) בדירה "קופץ" כל הזמן ולא ניתן להרימו. תאר בשלבים את האופן בו תפעל לאיתור התקלה.

**שאלה 7**

הסבר כיצד פועל המאמ"ת:

- תחום מגנטי.
- תחום תרמי.

סרטט את הגרף המראה את מהירות התגובה בכל תחום (ללא ערכים), רק את צורת הגרף תלות זמן העבודה בגודל הזרם והסבר את השימוש בכל תחום.

**שאלה 8**

- האם יש חוק או תקנה המחייבים התקנת מפסק מגן (ממסר פחת מזרם דלף) בדירת מגורים?
- הסבר וסרטט כיצד פועל מפסק המגן בזמן התחשמלות.

**שאלה 9**

מהו מתח נמוך מאוד, מתח נמוך, מתח גבוה, מתח עליון ולמה משמש כל סוג מתח? הסבר.

**שאלה 10**

הסבר את שיטות ההארקה : הארקה שיטה, הארקה יסוד והארקה הגנה.

**שאלה 11**

בדירה אירעה תקלה – המאמ"ת הראשי של הדירה התנתק ובכל נסיון לחברו הוא מתנתק שוב. תאר כיצד תאתר ותבודד את התקלה, עד למציאת המכשיר הפגום או הגורם האחר לתקלה.

**שאלה 12**

- א. תאר בסרטוט כיצד ניתן להשתמש במפסק מגן (ממסר פחת מזרם דלף) תלת-מופעני במערכת חד-מופעית.
- ב. תאר בסרטוט כיצד ניתן להכפיל את רגישות מפסק המגן על-ידי שימוש במפסק מגן תלת-מופעני במערכת חד-מופעית.
- ג. באילו מקרים מותר השימוש במפסק מגן כהגנה בלעדית?
- ד. האם קיים חוק המחייב שימוש במפסק מגן במתקן ביתי?

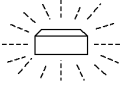
**שאלה 13**

- א. סרטוט ותאר כיצד תבצע את שיטת האיפוס בדירה, המקבלת הספק חד-מופעני מחברת החשמל.
- ב. הסבר מדוע נפוצה ביותר שיטת האיפוס ומדוע היא נחשבת לטובה ביותר במתקני החשמל?

**שאלה 14**

- הסבר את שיטות ההגנה נגד חישמול :
- א. שיטת האיפוס (כולל סרטוט).
  - ב. הפרד מגן.
  - ג. בידוד כפול.

**שאלה 15**

- א. באיזה גובה יותקנו המפסקים ובתי התקע במוסדות ילדים?
- ב. מה פירוש דרגת הגנה זו  מפני חדירת מים?
- ג. מהו המספר המינימלי של מעגלים סופיים למאור במתקן חשמל בבית חרושת, בבית מלאכה או במחסן, עבור שטח רצפה, העולה על 40 מ"ר?

**שאלה 16**

- א. האם מותר להתקין ציוד חשמלי בחדר אמבטיה? כיצד?
- ב. מה הגובה המינימלי להתקנת מפסקים ובתי תקע במתקן ביתי?

**שאלה 17**

הסבר את מבנהו ואת עקרון פעולתו של מפסק מגן לזרם פחת תלת-מופעני, לווה את ההסבר בתרשים מתאים.

**שאלה 18**

- א. ציין את כל השיטות המוכרות לך להגנה נגד חישמול. ציין באילו מהשיטות אסור להאריק את הצרכן והסבר מדוע.  
 ב. הסבר אחת משיטות ההגנה שציינת בליווי תרשים עקרוני מתאים.

**שאלה 19**

- א. מהם התנאים ההכרחיים לביצוע הארקת איפוס במתקן?  
 ב. כיצד מבצעים הארקה זו?  
 ג. מהו ההבדל במסלול תקלה במעגל הארקה, כאשר יש איפוס במתקן, לבין הארקת הגנה?

**שאלה 20**

- א. השווה יתרונות וחסרונות של נתיך מול מאמ"ת.  
 ב. פרט סוגים שונים של מאמ"תים.

**שאלה 21**

- א. כיצד משפיעה ירידת המתח ב-15% על הצרכנים הבאים:  
 (1) מנוע חשמלי  
 (2) נורת ליבון  
 (3) נורת פריקה  
 (4) תנור חימום  
 ב. הסבר מדוע מחברים קבלים לשיפור מקדם ההספק והוכח במשולש ולא בכוכב.

**שאלה 22**

- הגדר את המושגים שלהלן, הקשורים בהגנה על מוליכים ורשתות:  
 א. סלקטיביות  
 ב. כושר ניתוק  
 ג. זרם יתר  
 ד. זרם קצר.

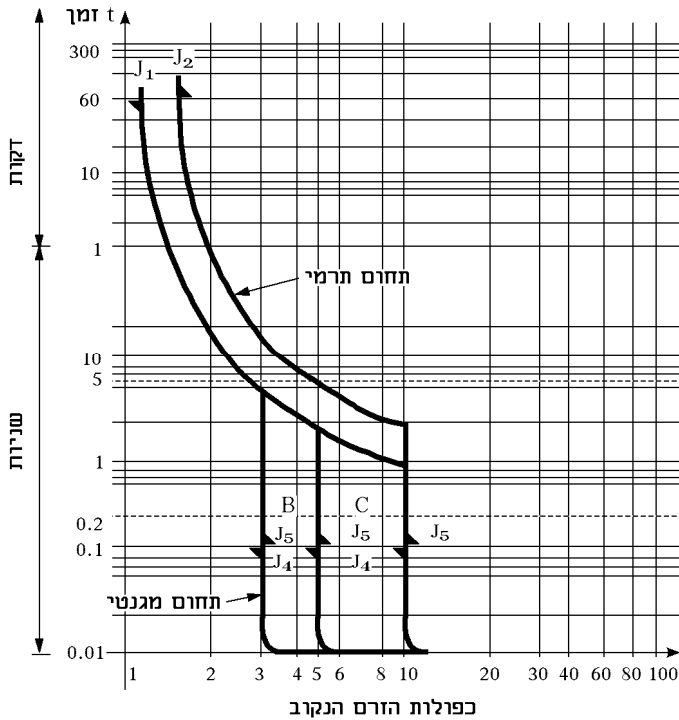
**שאלה 23**

- א. תאר את אופיין מפסק חצי-אוטומטי והסבר כל קטע בו. השווה בין התנהגותם של סוגי המפסקים החצי-אוטומטיים הידועים לך.  
 ב. במדידות שנערכו במעגל למתח נמוך 230V, המוגן ע-ידי נתיך 10 אמפר, הסתבר שהתנגדות מעגל הארקה היא 4.89 אוהם.  
 האם המצב משביע רצון והאם הוא בהתאם לתקן? נמק.



### שאלה 24

- בלוח זינה אחד מותקנים 2 מא"זים של 16 אמפר כל אחד, מסוג B, ו-C (אופייניהם נתונים בתרשים).  
 א. באיזה זרם מתחיל תחום הפעולה המגנטי של כל מא"ז?  
 ב. אם, עקב תקלה, יעבור דרך כל אחד מהמא"זים הנתונים זרם של 50 אמפר, כעבור כמה זמן יפעל כל מא"ז?



אופייני מא"זים מסוג B ו-C בטמפרטורת סביבה של 30 מעלות צלסיוס		
	B	C
$J_1(t > 1h)$	$1.13 \cdot J_N$	$1.13 \cdot J_N$
$J_2(t < 1h)$	$1.45 \cdot J_N$	$1.45 \cdot J_N$
$J_4(t \geq 0.1S)$	$3 \cdot J_N$	$5 \cdot J_N$
$J_5(t < 0.1S)$	$5 \cdot J_N$	$10 \cdot J_N$

#### מקרא

- אופיין B: להגנה על מעגלי תאורה ומעגלים שאין בהם התנעות של מונעים.  
 אופיין C: להגנה על מעגלים המזינים גם מנועים.

### שאלה 25

- סרטט והסבר את שיטת ההגנה נגד חישמול בשיטת האיפוס. מה קורה כאשר יש תקלה (קצר בין מופע להארקה) באחד הצרכנים. הסבר במה עדיפה שיטה זו על הארקה הגנה.

### שאלה 26

- הסבר את שיטות ההגנה נגד חישמול:  
 א. הפרד-מגן  
 ב. מתח נמוך מאוד.

### שאלה 27

- א. הסבר את עקרון פעולתו של מפסק אוטומטי זעיר (מא"ז).  
 ב. הצג את אופיין פעולתו בעזרת גרף והסבר את התחומים השונים על גבי האופיין.  
 ג. מהו ההבדל בין מא"ז עם אופיין מסוג B לזה מסוג C? הסבר והראה זאת על גבי הגרף.

### שאלה 28

- א. הסבר את שיטות ההגנה נגד חישמול:  
 (1) זינה צפה  
 (2) הפרד-מגן  
 (3) מתח נמוך מאוד  
 ב. באילו מהשיטות לעיל יש להתקין הארקה שיטה?

**שאלה 29**

- הסבר מדוע אין מחברים הארקה למכשירים האלה:
- הפרד מגן – שנאי מבדל
  - מתח 50V
  - בידוד כפול.

**שאלה 30**

- יש צורך לבצע תיקון במתקן חשמלי ביתי. בבדיקה התגלה שבאחת מקופסאות ההסתעפות יש מתח על אחד מחוטי ה"אפס".
- מהי הסיבה לתקלה ואיך מתגברים עליה?
  - מהו קוטר תיבת ההסתעפות?

**שאלה 31**

- הגדר והסבר בקצרה את המושגים שלהלן.
- לולאת התקלה
  - אלקטרודת הארקה יסוד
  - זרם תקלה
  - משגוח.

**שאלה 32**

- הסבר מדוע הוחלפה צנרת המים ששימשה כאלקטרודת הגנה ב"הארקה יסוד".
- פרט את מטרותיה ותכונותיה של הארקה יסוד.

**שאלה 33**

- הגדר את המושג "מוליך חיבור". מה מחברים מוליכי החיבור ולאן?

**שאלה 34**

- הגדר מהו מבטח ומנה את סוגיו.

**שאלה 35**

- הגדר את זרם הבדיקה הגבוה  $I_2$ .
- מהו ערכו של  $I_2$ , לפי התקן, במא"ז 20A מסוג B, המחובר לקו ברשת חד-מופעית במתקן אשר הותקן לפי שיטת התקנה המתאימה לטבלה 70.1 שבתוספת הראשונה בחוק החשמל?
- קבע את ערכו של  $I_2$  למא"ז, שבסעיף ב', בהתאם לדרישות תקנות החשמל הנהוגות בארץ.
- האם עונה המבטח על דרישות ההתקנה בארץ?

**שאלה 36**

- מהם יתרונותיו של מפסק אוטומטי מתכוונן בהשוואה לנתיך או למא"ז?

**שאלה 37**

תאר והסבר את האופיינים של מא"ז ונתיך, המקיימים סלקטיביות סבירה ביניהם, כאשר הנתיך נמצא בראש המעגל.

**שאלה 38**

- א. ברשת חד-מופעית מנחושת שטח החתך של מוליך המופע הוא 25 ממ"ר. מהו שטח חתך מוליך PEN (אפס) באותה רשת?
- ב. מהו שטח החתך המינימלי של מוליך האפס ברשת כבלים חד-מופעית תת-קרקעית מנחושת או מאלומיניום?
- ג. האם מותר להתקין מבטח (נתיך) במוליך הארקה?
- ד. האם מותר להתקין מפסק במוליך הארקה?

**שאלה 39**

- הגדר מושגים אלה:
- א. הארקת הגנה
- ב. הארקת יסוד
- ג. זרם יתר
- ד. איפוס.

**שאלה 40**

מהם אמצעי ההגנה נגד חישימול ללא הארקה ומתי משתמשים בסוג זה של הגנות?

**שאלה 41**

- א. הסבר את עקרון פעולתו של ממסר מגן לזרם דלף (ממסר פחת). לווה הסברך בתרשים מתאים.
- ב. ברשותך מפסק מגן תלת-מופע. כיצד ניתן להכפיל את הרגישות ל-15mA במתקן חד-מופע. סרטט.
- ג. באילו מקרים ניתן להשתמש במפסק מגן כהגנה יחידה?

**שאלה 42**

- א. הסבר מהו אלמנט דו-מתכת (bi-metal) ולמה הוא משמש.
- ב. הסבר כיצד משמש אלמנט דו-מתכת להגנה ותן שתי דוגמאות.

**שאלה 43**

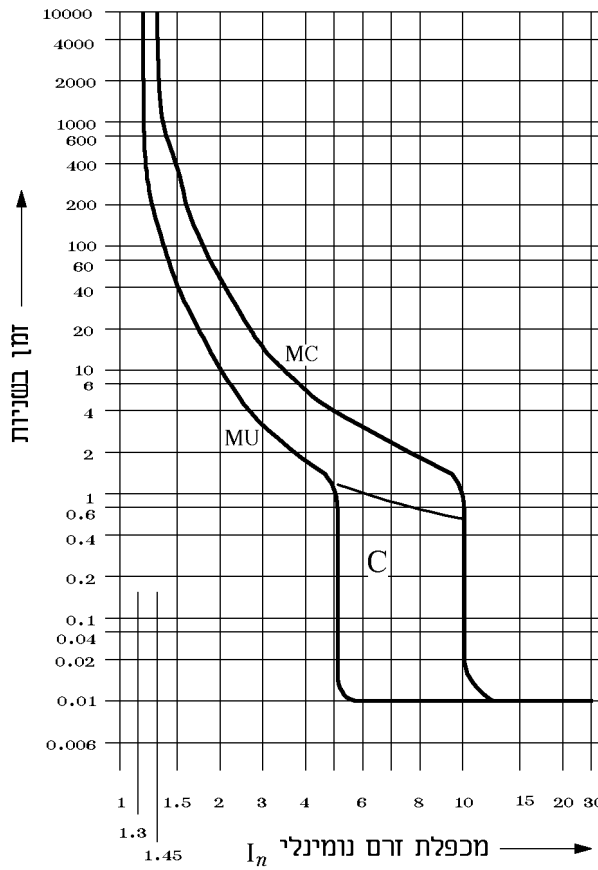
- כיצד יגיב מפסק-מגן לזרם דלף תלת-מופע, המחובר לרשת תלת-מופעית כולל אפס, אם נחבר אליו:
- א. שלושה צרכנים חד-מופעיים בהספק שונה כאשר כל צרכן מחובר למופע שונה.
- ב. צרכן דו-מופע.

**שאלה 44**

נתון האופייין המגנטו-תרמי של מאמ"ת 63A(C). מהו זמן תגובת המאמ"ת בזרמים אלה?

- א. 115A
- ב. 350A

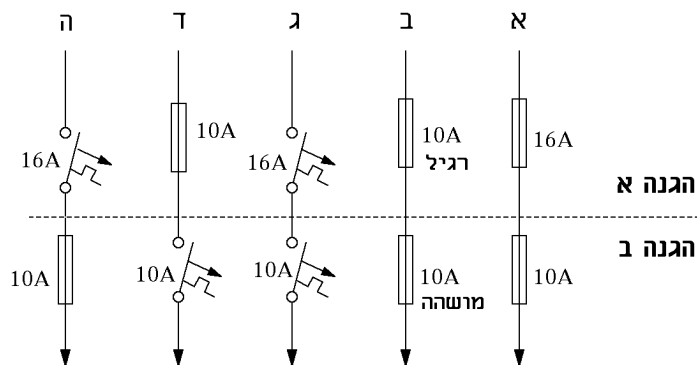
עקומה דגם "C"  
 מא"ת: MU מ-6 עד 63A  
 MC מ-2 עד 63A



**שאלה 45**

באיור נתונים 5 מצבים שונים של הגנות מחוברות בטור. ציין, בכל מצב, איזו הגנה תיפתח ראשונה במקרים האלה:

- א. עליית זרם מתונה
- ב. זרם קצר מלא.



## נושא 3: תכנון ותחזוקה של מתקני חשמל

### א.3 משק החשמל בישראל

#### שאלה 1

סרטט והסבר כיצד פועלת תחנת כוח תרמית.

#### שאלה 2

תאר בקצרה את המסלול שעובר מתח חשמלי מרגע ייצורו בתחנת הכוח (הגנרטור), עד שהוא מגיע לארון החשמל בבית. תאר אילו רמות מתח ותחנות הוא עובר בדרך.

#### שאלה 3

השווה בין רשת עילית ורשת תת-קרקעית, חסרונות מול יתרונות.

#### שאלה 4

במכון שאיבה מותקן קוצב זמן ("שעון שבת"), המפעיל את המשאבה כל בוקר בשעה 05:00 ומפסיק את פעולתה בשעה 12:00 בצהריים, וחוזר חלילה (במשך כל יממה). אחרי 25 ימי עבודה התקבל דיווח צריכה כדלקמן:

מונה	תחילת תקופה	סוף תקופה	יחידות
מצב מונה אקטיבי	10985	12390	KWh
מצב מונה ריאקטיבי	8340	9570	KVARh

קבע את גודל הקבל הדרוש לשיפור גורם ההספק ל-0.92.

#### שאלה 5

סרטט, באמצעות דיאגרמת מלבנים פשוטה, מבנה של תחנת כוח תרמית והסבר את עקרון פעולתה.

### 3.3 תכנון דירות מגורים – מאור ומכשירים

#### שאלה 6

בדירת מגורים בת 4 חדרים, שרותים ומטבח מותקנים הצרכנים האלה:

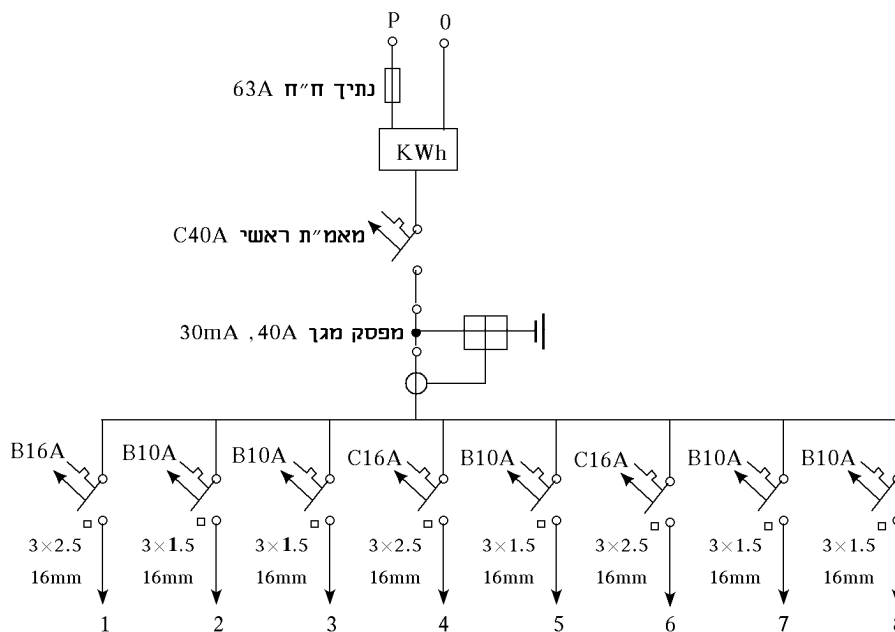
- א. תנור בישול 2500W
- ב. תנור חימום 2000W
- ג. דוד מים (בוילר) 2000W
- ד. מכונת כביסה 2500W
- ה. מקרר 1000W
- ו. מזגן 2500W
- ז. תאורה ומכשירים ניידים, המתחברים לבתי תקע 3500W.

תכנן לוח לדירה (מקדם הביקוש של הדירה 0.5, מתח הרשת 230V ומקדם ההספק של הצרכנים  $\cos \varphi = 1$ ), שיכלול מונה, מפסק ראשי, פחת, מבטחים, וציין את שטח חתך המוליכים וקוטר המובילים (הצינורות).

#### פתרון

חישוב ותכנון המעגל יעשה על-פי הטבלה הבאה:

מעגל	תאורה	הספק (W)	זרם (A)	מא"ז (A)	שטח חתך מוליכים (mm <sup>2</sup> )	קוטר מובילים (mm)
1	תנור בישול	2500	10.7	B16	1.5	16
2	תנור חימום	2000	8.7	B10	1.5	16
3	דוד מים	2000	8.7	B10	1.5	16
4	מכונת כביסה	2500	10.7	C16	2.5	16
5	מקרר	1000	4.4	B10	1.5	16
6	מזגן	2500	10.7	C16	2.5	16
7	תאורה ובתי תקע 1	1750	7.6	B10	1.5	16
8	תאורה ובתי תקע 2	1750	7.6	B10	1.5	16
	סה"כ	16000				



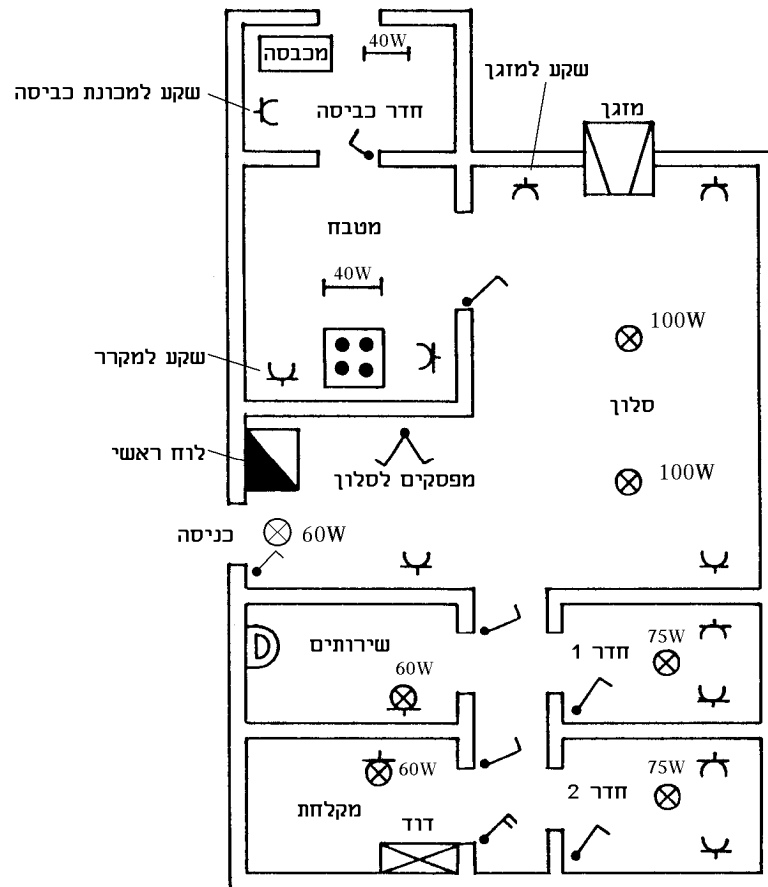
המוביל המתאים הוא  $13.5\text{mm}$ . נבחר מידה גדולה יותר כדי שלא ייווצרו בעיות השחלה וכדי שבמקרה הצורך בעתיק אפשר יהיה להכניס עוד מוליך.

$$I_{\text{ראשי}} = \frac{\sum P}{U} \cdot K = \frac{16000}{230} \cdot 0.5 = 34.78\text{A}$$

נבחר מבטח ראשי תקני של 40A.

## שאלה 7

תכנן את המעגלים בדירה המתוארת בסרטוט, מספר אותם וציין מה יכלל בכל מעגל, לפי שיקול דעתך.



### שאלה 8

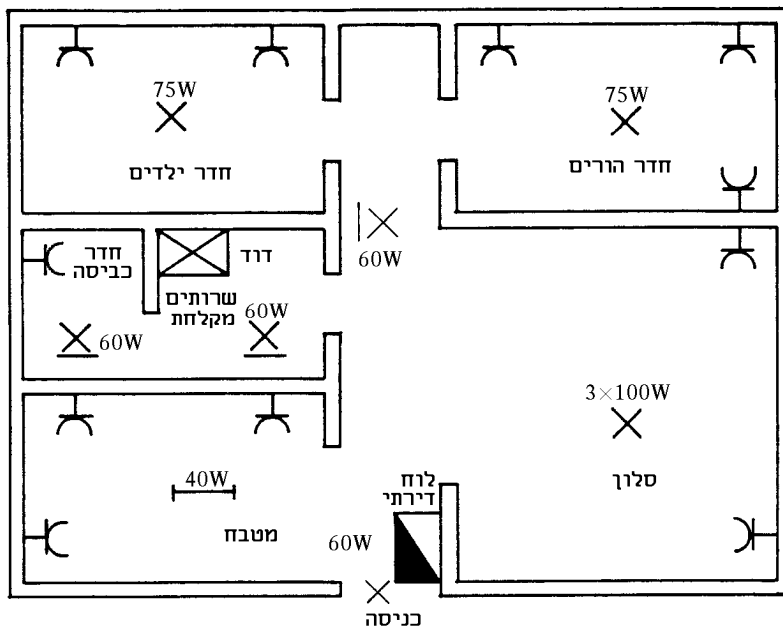
בדירת מגורים בת ארבעה חדרים המוזנת במתח חד מופעי של 230V ומקדם ביקוש של 0.6, יש להתקין לוח הכולל מפסק ראשי ומבטיחים לכל מעגל. כמו כן ציין את שטח החתך של כל מוליך, גודל ההגנה וחתך המוביל. כמו כן הוסף פס השוואת פוטנציאלים לביצוע שיטת האיפוס בדירה.

הצרכנים:

3500W	: מכשירים ניידים (בתי תקע)
2000W	: תנור בישול
1500W	: מיקרו גל
800W	: מדיח כלים
700W	: מקרר
3000W	: דוד חשמלי
1500W	: מכונת כביסה
500W	: תאורה

### שאלה 9

לפניך תרשים דירה. השלם את הקווים והמפסקים ללוח וקבע את מיקומם לפי שיקול דעתך. מומלצים 8 מעגלים. כמו כן, סרטט את תרשים לוח החשמל – הגנות ושטח חתך מוליכים.



במטבח 2 שקעים.  
דוד – שקע כוח.  
מכונת כביסה – שקע כוח.

### שאלה 10

בדירת מגורים בת 4 חדרים, שרותים ומטבח מותקנים הצרכנים האלה:

- א. תנור בישול – 2500W
- ב. דוד מים (בוילר) – 2000W
- ג. מכונת כביסה – 2500W
- ד. מקרר – 1000W
- ה. תאורה – 1000W
- ו. מכשירים ניידים, המתחברים לבתי תקע – 3000W.

תכנן לוח לדירה (מקדם הביקוש של הדירה 0.5, מתח הרשת 230V), שיכלול מונה, מפסק ראשי, פחת, מבטחים, וציין את שטח חתך המוליכים וקוטר המובילים (הצינורות).



**שאלה 11**

תכנן רכיב או אביזר, הבנוי ממרכיב דו-מתכתי (BIMETAL), המנצל את תכונותיו המיוחדות של החומר. תאר את שימושיו, מבנהו ועקרון פעולתו של הרכיב או האביזר שתכננת. הסבר בעזרת סרטוט.

**שאלה 12**

בבית הארחה יש לכל יחידת דיור שני חדרים ושירותים משותפים לוח הזנה אחד. הנך נדרש לציין, לקבוע ולסרטט תרשים חד קווי בהתאם לטבלאות נתוני העומסים המצורפת.

טבלת עומסים

מס' נקודות	העומסים	סוג המעגל	מס' המעגל
4	75W/230V	מאור, שירותים, מקלחת	1
6	100W/230V	מאור חדרים	2
4	10A/230V (עומס כולל)	בתי תקע חדרים	3
1	1500W/230V	דוד מים	4
1	4A/230V	מזגן	5
1	4A/230V	מזגן	6
			שמור

מקדם ביקוש כללי ללוח ההזנה  $K_c = 0.7$ .

זרם התנעה של כל מזגן  $4 \times I_n$ .

חשב את:

- גודל המפסק החצי-אוטומטי לכל מעגל
- גודל המפסק הראשי
- שטח חתך המוליכים ומספרם בכל מעגל

**שאלה 13**

בדירת מגורים בת 4 חדרים מותקנים, בנוסף למעגלי המאור, המכשירים האלה:

א. כיריים חשמליים – 2500W

ב. תנור בישול – 2500W

ג. מכונת כביסה – 2000W

ד. דוד מים חמים – 2000W

ה. מקרר – 1000W

ו. מכשירים ניידים המתחברים לבתי התקע בהספק כולל של 3000W.

מתח הרשת 230V ומקדם הביקוש של הדירה 0.6. הנח  $\cos \varphi = 1$  לכל המכשירים.

תכנן וסרטט לוח לדירה הכולל את כל הפריטים הנדרשים, החל מנתיך חברת החשמל ועד היציאה לצרכנים.

ציין את כל הערכים שתכננת על גבי הסרטוט.

**שאלה 14**

תכנן וסרטט לוח חשמל לדירת מגורים בהספקה חד-מופעית של 230 וולט. הדרישות:

- א. במטבח 2 שקעים, 3000W לכל אחד.
  - ב. מאור לכל הבית 1500W.
  - ג. חדר עבודה 2 שקעים, 2000W כל אחד.
  - ד. דוד מים חמים, 3000W.
  - ה. יתר השקעים בדירה, 1500W.
  - ו. מכונת כביסה ומייבש, 2000W.
- מקדם הביקוש של הדירה הוא  $K=0.5$  (גורם הספק 1).

יש לקבוע בתכנון את:

- א. גודל החיבור שיש להזמין מחברת החשמל
- ב. גודל המבטח הראשי
- ג. מספר המעגלים, גודל וסוג המבטח לכל מעגל
- ד. שטח החתך של המוליכים בכל מעגל
- ה. מקום חיבור המונה והמבטח של חברת החשמל
- ו. מקום חיבור ממסר הפחת
- ז. הנתונים הטכניים של כל הרכיבים המורכבים על לוח החשמל ולרשםם בסרטוט.

**שאלה 15**

בדירת מגורים בת ארבעה חדרים המוזנת במתח חד מופעי של 230V ומקדם ביקוש של 0.6, יש להתקין לוח הכולל מפסק ראשי ומבטיחים לכל מעגל. כמו כן ציין את שטח החתך של כל מוליך, גודל ההגנה וחתך המוביל. כמו כן הוסף פס השוואת פוטנציאלים לביצוע שיטת האיפוס בדירה. הנח  $\cos \varphi = 1$ . הצרכנים:

- מכשירים ניידים (בתי תקע) – 3500W
- תנור בישול – 2000W
- מיקרו גל – 1000W
- מדיח כלים – 1000W
- מקרר – 700W
- דוד חשמלי – 2500W
- מכונת כביסה – 1500W
- תאורה – 1000W

**שאלה 16**

בדירת מגורים בת 4 חדרים, שרותים ומטבח מותקנים הצרכנים האלה:

- א. תנור בישול 2500W
- ב. דוד מים (בוילר) 2000W
- ג. מכונת כביסה 2500W
- ד. מייבש כביסה 2000W
- ה. מקרר 1000W
- ו. מזגן 3HP ונצילות 92%
- ז. בכל חדר 2 בתי תקע ונקודת מאור.

תכנן לוח לדירה (מקדם הביקוש של הדירה 0.5, מתח הרשת 230V), שיכלול מונה, מפסק ראשי, פחת, מבטחים, וציין את שטח חתך המוליכים וקוטר המובילים (הצינורות).

**שאלה 17**

- א. מהו המספר המינימלי של מעגלי המאור ובתי התקע, הדרוש לדירת מגורים של שני חדרי שינה, סלון ששטחו 44 מ"ר, מטבח, חדרי שירותים, מעבר רחב בין חדרי השירותים לחדרי השינה ומרפסת ששטחה 12 מ"ר. שטח הרצפה של הדירה, הכוללת את כל חלקיה שהוזכרו, הוא 111 מ"ר.
- ב. מהו המספר המינימלי של נקודות מאור ובתי-תקע שיש להתקין בכל אחד מחלקי הדירה?

**שאלה 18**

הספק גוף חימום של דוד מים חמים (בוילר), שניזון ממתח של 230V, הוא 3000W. חשב את:

- א. עוצמת הזרם בקו  
ב. גודל הנתוך  
ג. שטח חתך המוליכים.  
ד. כיצד תבטיח שהחשמלאי לא יתחשמל כאשר הדוד מותקן על הגג?

**שאלה 19**

מהם סוגי המוליכים השימושיים בתעשיית החשמל בדירות, ברשתות תת קרקעיות וברשתות עיליות? הסבר.

### ג.3 תכנון בתי מלאכה ובתי עסק

#### שאלה 20

במפעל תעשייתי משפרים את מקדם הספק מ- $\cos \varphi = 0.75$  ל- $\cos \varphi = 0.93$ .  
 חשב את:  
 א. ירידת הזרם בקו הזינה של המפעל (באחוזים).  
 ב. ירידת הפסדי ההספק (באחוזים) לאחר השיפור.

#### שאלה 21

השווה בין שתי השיטות לחיבור קבלים תלת-מופעיים:  
 – חיבור כוכב  
 – חיבור משולש.

#### שאלה 22

ערך המפסק הראשי של בית מלאכה, המחובר לרשת תלת-מופעית, הוא 50A. בלוח הראשי נרשמו הנתונים האלה:

$$I = 50A \quad ; \quad P = 25KW \quad ; \quad U = 500V$$

לאחר שיפור מקדם ההספק ל-0.92:  
 א. חשב את ערך הקבל המסחרי ב-KVAR, שמשפר את מקדם ההספק.  
 ב. כמה מזגנים בעלי הספק של 2KW,  $\cos \varphi = 0.92$ , ניתן להוסיף (בנוסף לצרכנים הקיימים) בלי לשנות את המפסק הראשי?

#### שאלה 23

במפעל תעשייתי, המחובר לרשת תלת-מופעית, נרשמו הנתונים האלה:

$$I_L = 60A \quad ; \quad U_L = 400V \quad ; \quad P = 32KW$$

לצורך שיפור  $\cos \varphi$  ל-0.92, מחברים קבלים בלוח הראשי. המונה מחובר במרחק של 100m. קו ההזנה מהמונה ללוח הראשי עשוי נחושת והוא בעל שטח חתך של  $25mm^2$ . המפעל עובד 12 שעות ביממה, 25 יום בחודש. מחיר האנרגיה החשמלית 25 אגורות לכל KWh. מחיר הקבלים 50 שקל לכל KVAR. חשב בתוך כמה זמן יחזיר המפעל את ההשקעה בהתקנת הקבלים, בהנחה שההפסדים בקו ההזנה קטנים?

#### שאלה 24

לוח מערכת קירור, המחובר לרשת תלת-מופעית של 400V, כולל את המנועים האלה:

מספר סידורי	שם	הספק יציאה KW	$\cos \varphi$	$\eta\%$
1	מדחס	20	0.85	87
2	מפוח מעבה	2	0.75	72
3	מפוח מאייד	2	0.75	72

א. חשב את סוללת הקבלים המשפרת את  $\cos \varphi$  ל-0.92 ובחר סוללת קבלים מסחרית מתאימה.  
 ב. תכנן את קווי ההזנה לכל הצרכנים בלוח, כולל קו הזנה לקבלים.

**שאלה 25**

יש לשפר את מקדם ההספק של צרכן תלת-מופעי 30KW.

$$\eta = 85\% ; \cos \varphi = 0.8 ; U = 400V$$

- מהו מקדם ההספק הנדרש על-ידי חברת החשמל?
- חשב את ערך הקבל המסחרי ב-KVAR לצורך שיפור מקדם הספק לערך הנדרש.
- חשב את קו ההזנה לסוללת הקבלים (מאמ"ת ושטח חתך מוליכים).
- ציין איך ניתן לחבר את הקבלים בסוללה וחשב את ערך הקבל ב- $\mu F$  בשתי השיטות.

**שאלה 26**

בית דפוס מחובר לרשת חד-מופעית של 220V / 50Hz. במקום פועלים 3 מנועים חד-מופעיים בעלי הנתונים האלה:

$$P_{M1} - \text{הספק נומינלי } 4KW ; \cos \varphi_1 = 0.8 \text{ השראתי}$$

$$P_{M2} - \text{הספק נומינלי } 3KW ; \cos \varphi_2 = 0.6 \text{ השראתי}$$

$$S_{M3} - \text{הספק מדומה } 5.5KVA ; \cos \varphi_3 = 0.85 \text{ השראתי}$$

חשב את:

- הזווית בין המתח והזרם ואת גורם ההספק של בית המלאכה כאשר עובדים שלושת המנועים.
- ערכו של קבל שישפר את גורם ההספק ל-0.92.

**שאלה 27**

- אחד הצרכנים במתקן חשמלי הוא מנוע השראה תלת-מופעית עם גורם הספק של  $\cos \varphi_1 = 0.75$ . נתוני המנוע הם אלה:  $P = 30HP ; U_L = 400V ; f = 50Hz ; \eta = 84\%$ . חשב את קיבול הקבלים הדרושים לפי חיבור משולש כדי לשפר את גורם ההספק ל- $\cos \varphi_2 = 0.95$ .

**שאלה 28**

למנוע השראתי תלת מופעי הנתונים האלה:

$$12KW ; 400V - \Delta ; \cos \varphi = 0.9 ; \eta = 0.85$$

למנוע 6 יציאות והוא מחובר ללוח הראשי באמצעות מגען יתרת זרם.

תחום ויסות יתרת הזרם הוא: 10 – 16A.

האם ניתן להגן על המנוע באמצעות יתרת זרם זו? נמק ובסס את תשובתך.

**שאלה 29**

במפעל תעשייתי יש שתי מחלקות, העובדות במקביל ובהן מנועים בעלי נתונים אלה:

מקדם הביקוש	מספר המנועים	$\cos \varphi$	נצילות	הספק כל מנוע	המחלקה
0.4	30	0.9	0.85	30HP	A
0.5	20	0.85	0.8	20KW	B

הרשת במפעל היא תלת-מופעית במתח של 400 וולט.

- בדוק האם מקדם ההספק בכניסה למפעל עונה על דרישות חברת החשמל.
  - קבע, במידת הצורך, גודל (KVAR) של סוללת הקבלים הדרושה לשיפור המצב.
- הערה:** מקדם הביקוש מביע שלא כל המנועים עובדים בו זמנית. אולם אלה שעובדים, עובדים בעומס מלא.

**שאלה 30**

בבית מלאכה המוזן מרשת תלת-מופעית בעלת מתח קווי של 400 וולט ותדר של  $50\text{Hz}$ , קיימים הצרכנים האלה:

1. תנור חימום – הצורך הספק חשמלי של  $7\text{KW}$  (גורם הספק 1).
  2. מחרטה – שההספק המכני של המנוע שלה הוא:  $3\text{HP}$ ;  $\eta = 0.75$ ;  $\cos \varphi = 0.8$ .
  3. כרסומת –  $P_2 = 5\text{HP}$ ;  $\eta = 0.8$ ;  $\cos \varphi = 0.82$ .
  4. משחזת –  $P_2 = 3\text{Hp}$ ;  $\eta = 0.75$ ;  $\cos \varphi = 0.85$ .
  5. מקדחה –  $P_2 = 2\text{Hp}$ ;  $\eta = 0.70$ ;  $\cos \varphi = 0.80$ .
  6. רתכת – הספק כניסה:  $S = 10\text{KVA}$ ;  $\cos \varphi = 0.6$ .
- הצרכנים מחוברים כל הזמן אך מועמסים בעומס ממוצע (מקדם העמסה) של 0.7.
- א. חשב את ההספק ההיגבי של סוללת הקבלים ואת קיבול הקבל הדרוש (הקבלים מחוברים במשולש) לשיפור גורם ההספק עד ל-0.92.
  - ב. בחר סוללת קבלים מסחרית וחשב את קיבול הקבל (הקבלים מחוברים במשולש).

**שאלה 31**

לעומס השראתי של  $80\text{KVA}$ , בגורם הספק של 0.85, הוסיפו עומס השראתי בגורם הספק של 0.6, כך שלאחר התוספת התקבל עומס כולל, הצורך  $100\text{KVA}$ .  
חשב את גודל העומס הנוסף ב- $\text{KVA}$  וגורם הספק החדש של המפעל.

**שאלה 32**

במפעל תעשייתי עובדים 2 מנועים במקביל:

$$P_1 = 700\text{W} \quad ; \quad \cos \varphi_1 = 0.7$$

$$P_2 = 570\text{W} \quad ; \quad \cos \varphi_2 = 0.8$$

צריך לחבר תנור חשמלי למתקן, במקביל, כדי לשפר את גורם ההספק הכולל ל-0.9. מהו הספק התנור שיש להוסיף?

**שאלה 33**

הסבר את שיטות ההתקנה של קבלים לשיפור מקדם ההספק ומתי משתמשים בכל אחת מהן:

- א. התקנה בודדת
- ב. התקנה קבוצתית
- ג. התקנה מרכזית.

**שאלה 34**

המכונות בבית מלאכה, המחובר לרשת תלת-מופעית של  $400\text{V}$ , כוללות את המנועים האלה:

מספר סידורי	שם	הספק יציאה	$\cos \varphi$	$\eta\%$
1	מנוע 1	5HP	0.83	87
2	מנוע 2	6KW	0.8	80
3	מנוע 3	3KW	0.75	72

המנועים עובדים בו בזמן אולם בעלי מקדמי העמסה של 0.8.

- א. חשב את סוללת הקבלים המשפרת את  $\cos \varphi$  ל-0.92 ובחר סוללת קבלים מסחרית מתאימה.
- ב. תכנן את קווי ההזנה לכל הצרכנים בלוח, כולל קו הזנה לקבלים. רשום את הזרם הנדרש לכיול תרמי.

**שאלה 35**

בבית מלאכה המוזן מרשת תלת-מופעית של 400V, נמצאים המכשירים האלה:

מס'	סוג המכשיר	הספק	$\cos \varphi$	נצילות
1	מחרטה	5HP	0.8	80%
2	כרסומת	10KVA	0.75	80%
3	משחזת	6KW	0.85	70%
4	מקדחה	2HP	0.8	85%

תדירות הרשת היא 50Hz ומקדם הביקוש 0.7.

חשב וקבע את:

- הזרם הנקוב של הנתיכים לכל מכונה
- הזרם הנקוב של המפסק הראשי
- גודל הקבל שיש לחבר למערכת על מנת לשפר את מקדם ההספק ל-0.92.

**שאלה 36**

בבית מלאכה, המוזן מרשת תלת-מופעית של 400V ובתדר 50Hz, מותקנים הצרכנים המופיעים בטבלה.

צרכן	הספק	$\cos \varphi$	$\eta$ נצילות
מחרטה	12HP	0.80	0.85
כרסומת	15HP	0.85	0.80
משחזה	10HP	0.87	0.75
תאורה	400W	0.75	--

קבע את:

- ערך המא"זים, קוטר הצינורות ושטח חתך המוליכים.
- ערך המבטח הראשי בהנחה שמקדם ההספק שופר ל-0.92 ומקדם הביקוש של בית המלאכה הוא 0.7.

**שאלה 37**

נתון מנוע תלת-מופעלי בעל הנתונים האלה:

$$I = 5 \cdot I_N ; U_N = 400V ; \cos \varphi = 0.8 ; \eta = 0.85 ; P_2 = 2.5HP$$

בחר את ההגנה המתאימה למנוע זה כאשר המנוע מוגן על-ידי נתיכים וממסר לעומס יתר O.L.

**שאלה 38**

במתקן חשמלי הותקן מנוע תלת-מופעלי בעל נתונים אלה:

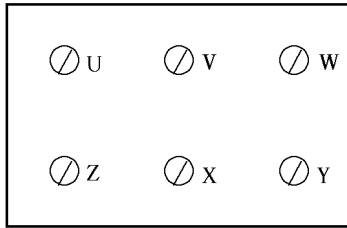
$$U_N = 400V , \cos \varphi = 0.8 , \eta = 0.85 , P_2 = 4HP$$

זרם ההתנעה גדול פי 5 מהזרם הנומינלי ( $I_{st} = 5 \cdot I$ ).

תכנן הגנה מתאימה למנוע זה, הכוללת נתיכים וממסר לעומס יתר O.L.

קבע את:

- ערך הנתיד שיש לבחור.
- ערך הזרם שיש לכוון בממסר לעומס יתר.

**שאלה 39**

נתון לוח חיבורים של מנוע תלת-מופעי.  
 ציין את שלוש הבדיקות החשמליות הנחוצות לקביעת תקינות המנוע. באיזה מכשיר יש להשתמש לביצוע הבדיקה? כיצד יש לחבר את מכשיר הבדיקה ומהן התוצאות הצפויות ממנוע תקין?

**שאלה 40**

- א. הסבר מדוע אסור לחבר מנוע שהספקו 10KW ישירות לרשת.  
 ב. נתון מנוע תלת-מופעי בהספק של 10KW, נצילות 0.94 ומקדם הספק של  $\cos \varphi = 0.8$ , המחובר ישירות לרשת של 400V. זרם ההתנעה בחיבור ישיר הוא פי 5 מהזרם הנומינלי. חשב את זרם ההתנעה בחיבור ישיר ובחיבור כוכב-משולש.

**שאלה 41**

- מנוע תלת-מופעי בהספק של 7.5HP, זרם נומינלי של 11.5A, מופעל בעזרת מתנע ישיר לקו.  
 סרטט תרשים חד-קווי וקבע, כאשר אתה נעזר במדריך לחשמלאי או בעזרת חישובים, את:  
 א. גודל הנתכים.  
 ב. כיול ההגנה התרמית – אוברלוד.  
 ג. חתך המוליכים, מופעים והארקה.



### ד.3 תאורה חשמלית

#### שאלה 42

חשב את מספר הנורות הפלואורניות (פלורסצנטיות) של 40 וואט, בעלות גוון לבן (אוניברסלי), הדרוש לקבלת רמת הארה של 400 לוקס, באולם של  $10 \times 8$  מ'. אם נצילות המתקן היא 0.3, מהו ההספק שצורך המתקן כולו מהרשת?

$$\text{מקדם ההפחתה} - 0.7, \text{ נצילות אורית של הנורה} - 60 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

#### שאלה 43

- א. סרטט סכימת חיבורים מפורטת של מנורה פלואורנית, על כל אביזריה והסבר את עקרון פעולתה ואת תפקיד כל חלקיה ואביזריה.  
 ב. הגדר והסבר את המושג "סלקטיביות". תן דוגמאות באמצעות תרשים.

#### שאלה 44

- א. ערוך השוואה בין נורת ליבון לנורת כספית מבחינת המבנה, ההפעלה, אורך החיים ושדה השימוש.  
 ב. נורת כספית  $250\text{W}$ , בעלת שטף אור של  $12000\text{lm}$ , מותקנת על עמוד בגובה  $12\text{m}$ .  
 חשב את עוצמת ההארה בנקודה, הנמצאת על האדמה, במרחק 3 מטרים מתחתית העמוד.  
 צפיפות השטף בכיוון זה היא  $150$  קנדלות ל- $1000$  לומן.

#### שאלה 45

- האור של נורת ליבון חלש מהנדרש. בעזרת מכשיר מדידה נמדד מתח של  $190\text{V}$  על הנורה.  
 א. מה יקרה אם במקום נורת הליבון תתקין:  
 (1) נורה פלואורנית (פלורסצנט) עם מדלק  
 (2) נורה פלואורנית (פלורסצנט) רפיד-סטארט.  
 ב. איזה משתי הנורות, שבסעיף א', תעדיף להתקין בתאורה ביתית ובתעשייה, כאשר הגישה לנורה קשה ומורכבת (מבחינת גובה, מיקום)? הסבר.

#### שאלה 46

- יש לבנות מערכת תאורה לאולם ספרייה במידות  $5 \times 25$  מ'.  
 התאורה תורכב מנורות פלואורניות כפולות בהספק של  $40\text{W}$  כל נורה.  
 גובה פני השולחנות מגופי התאורה  $h'=2\text{m}$ , עוצמת ההארה הנדרשת על פני השולחנות היא  $500\text{Lux}$ .  
 הנצילות האורית של כל נורה  $57 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$ . צבע התקרה והקירות לבן, מקדמי החזרה של התקרה  $75\%$  ושל הקירות  $50\%$ . האבק בספרייה מועט.  
 א. חשב את מספר הנורות הדרוש.  
 ב. הצע סידור אופטימלי מתאים (סרטט פתרון במבט-על).

## שאלה 47

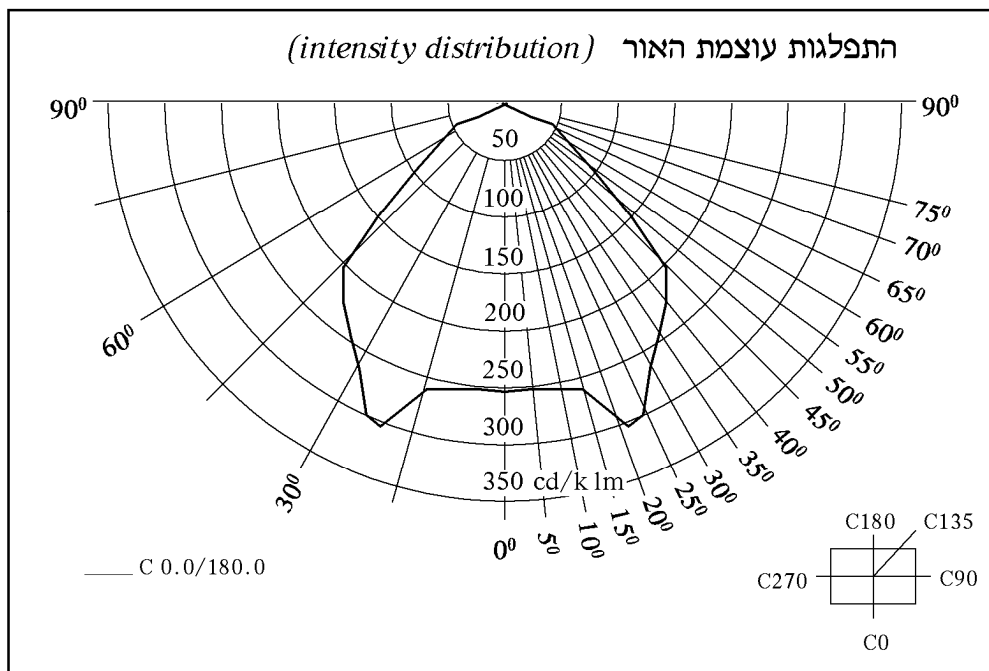
יש לתכנן מערכת תאורה לכיתה בשטח של  $7 \times 10$  מטר ובגובה של 2.7 מטר. עוצמת ההארה הנדרשת על גבי השולחנות היא  $400 \text{ lux}$ . גובה השולחנות מהרצפה 0.7 מ'. יש להאיר את הכיתה בתאורה ישירה בנורות פלואורוניות בעלות אור לבן בהיר, בהספק של  $40 \text{ W}$  כל נורה.

הנצילות האורית של כל נורה היא  $70 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$ .

צבע התקרה והקירות לבן. מקדמי החזרה של התקרה 75% ושל הקירות 50%. האבק בכיתה מועט. חשב את מספר הנורות הדרושות להארת הכיתה. השתמש בטבלאות מתוך הנוסחאון.

## שאלה 48

גוף תאורה, שהעקום הפולרי שלו לכל 1000 לומן מתואר באיור, מותקן על עמוד בגובה של 14 מ'. בגוף מותקנת נורת כספית בלחץ גבוה עם האלידים (Metal-Halide) בעל שטף אורי של 20000 לומן. חשב את עוצמת ההארה על הקרקע בנקודה הנמצאת במרחק 5.6 מ' מבסיס העמוד.



## שאלה 49

- יש לתכנן תאורה לסדנה לעבודות מדויקות, המחייבות עוצמת הארה של 1000 לוקס. מידות הסדנה הן אלה: אורך 12 מ', רוחב 12 מ' וגובה 5 מ'. מציעים להשתמש בגופי תאורה לתאורה ישירה ונורות נתון לחץ גבוה בעלות הספק של  $250 \text{ W}$  ונצילות אורית של  $120 \text{ lm/W}$ . מקדמי החזרה הם 75% מהתקרה ו-50% מהקירות. מקדם ההפחתה הוא  $K=0.7$ . גובה הנורות ממשטחי העבודה הוא 3.2 מטר.
- חשב את שטף האור הנדרש.
  - חשב את ההספק הכולל הנדרש של הנורות.
  - קבע את מספר גופי התאורה הדרוש ואת סידורם.
  - על פי קביעתך בסעיף ג', חשב את ההספק הכולל של הנורות ואת שטף האור בפועל.

**שאלה 50**

בחדר שגובהו 2.8 מטר תלוי מקור אור על כבל שאורכו 0.8 מטר מהתקרה. חשב את רמת ההארה בנקודה על הרצפה הנמצאת במרחק אופקי של 2.5 מטר מהקו האנכי של מקור האור לרצפה.  
נתוני עוצמת האור:

90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	זווית $\alpha$
78	80	83	86	86	86	86	86	86	85	עוצמת אור = I(cd)

**שאלה 51**

רמת ההארה הדרושה במטבח היא 300LUX. כמות האבק היא מועטה וגוף התאורה מאיר בצורה ישירה. מקדם ניצול התאורה הוא 75%, אורכו של המטבח 5 מטר ורוחבו 4 מטר.  
חשב וקבע את סוג מקור האור העונה לדרישות אלה: (העזר בנתונים של טבלה א' וטבלה ב').  
טבלה א – מקדם הפחתה (K)

סוג תאורה	תאורת ליבון		תאורת הלוגן		תאורה פלואורנית	
	מועטה	רבה	מועטה	רבה	מועטה	רבה
כמות אבק						
תאורה ישירה	0.85	0.6	0.8	0.6	0.75	0.55
תאורה אחידה	0.75	0.4	0.7	0.4	0.7	0.37
תאורה עקיפה	0.7	0.35	0.65	0.35	0.6	0.3

טבלה ב

הספק P [W]											$\eta_E$
750	500	300	250	200	150	100	75	60	40	20	
–	17	17		16	15	14	13	12	11	9	נורת ליבון
22	19	17	16	–	16	14	13				הלוגן
								86	78	69	פלורסצנט

**שאלה 52**

סרטט והסבר מעגל הצתה מהירה של נורה פלואורנית (Rapid Start).

**שאלה 53**

עליך לתכנן תאורה מתאימה לבית מלאכה שמידותיו 16 מטר אורך, 10 מטר רוחב ו-5 מטר גובה. התאורה תבוצע על ידי נורות כספית 250W בעלות שטף אור של 11500Lm כל נורה. גופי התאורה ללא מחזירי אור (תאורה שווה). גובה שולחן העבודה 85cm. הנורות תלויות במרחק 15 ס"מ מהתקרה. מקדם החזרה של הקירות 50%, מקדם החזרה מהתקרה 50%, מקדם הפחתה 0.70.  
רמת התאורה הדרושה על שולחן העבודה הוא 500Lux.  
א. קבע את מספר הנורות הדרוש ואת אופן סידורן.  
ב. תכנן את קו ההזנה לנורות (גודל מבטח ושטח חתך של הקו. הנח  $\cos \varphi = 0.92$ )

**שאלה 54**

ציין את הסיבה (או הסיבות) לתקלות האלה בנורה פלואורנית, בהדלקה רגילה:  
א. הנורה נשרפת מיד כאשר מדליקים אותה.  
ב. קצות הנורה מאדימים אך היא אינה ניצתת.  
ד. בעת עבודת הנורה היא נכבית, שוב ניצתת ולאחר מספר שניות שוב נכבית.

**שאלה 55**

יש לתכנן תאורה לאולם תעשייה שמידותיו: אורך 25 מ', רוחב 15 מ' וגובה 5 מ'. עוצמת ההארה הנדרשת על משטח שולחנות העבודה היא 200Lux. יש להשתמש בנורות כספית של 500W, המספקות שטף אור של 12500Lm כל אחת. הנורות תלויות במרחק של 0.5 מטר מהתקרה ומאירות בתאורה ישירה. גובה השולחנות הוא 0.8m. כמות האבק באולם בינונית, מקדם ההחזרה מהקירות 10% ומהתקרה – 30%. חשב את מספר הנורות ואת סידורן.

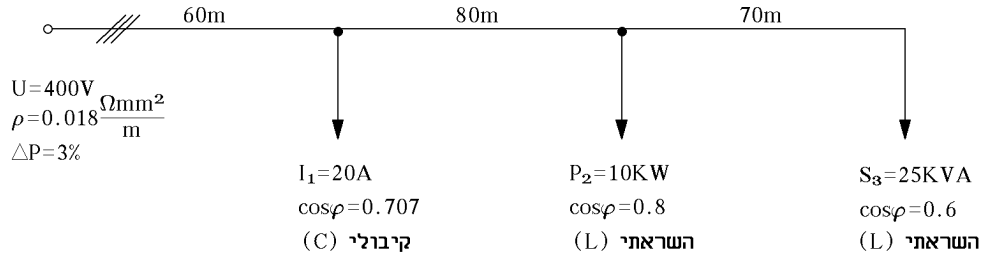
**שאלה 56**

יש לתכנן תאורה לאולם ששטחו  $(10 \times 20)^2$  וגובהו 4 מטר. לצורך כך עליך להשתמש בתאורה לא ישירה של נורות פלואורניות בהספק של 36W כל אחת ונצילות אורית של 85 לומן לוואט. עוצמת ההארה הנדרשת על גבי השולחנות היא 200Lux, גובה השולחנות 80 ס"מ, הקירות והתקרה בהירים (צבועים לבן) וכמות האבק מועטה. חשב את מספר גופי התאורה שיש להתקין באולם ואת אופן סידורם.

### 3.ה חישוב הפסדי מתח וקביעת חתכים במתקנים ובקווי זינה

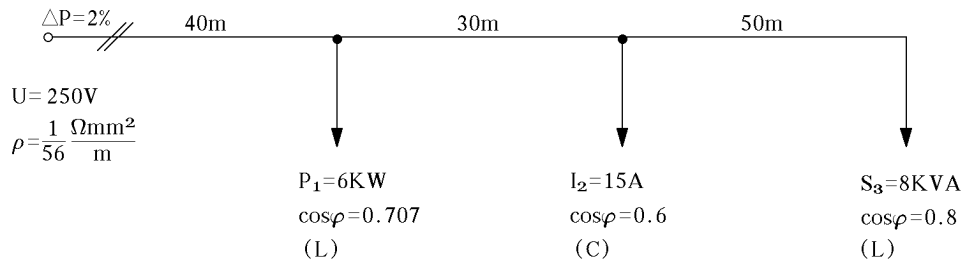
#### שאלה 57

- א. חשב את שטח החתך האחיד של הרשת המתוארת.  
 ב. חשב את מפל המתח ברשת לאחר בחירת שטח חתך מסחרי.



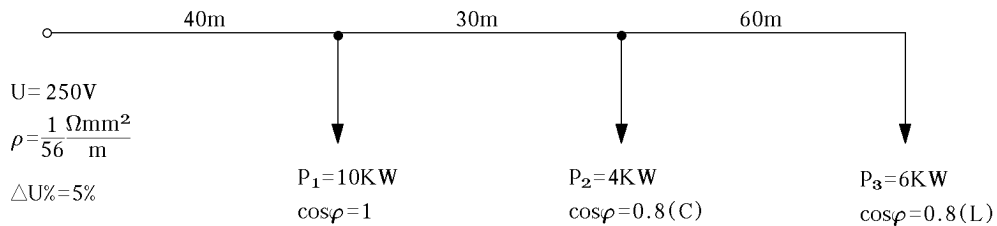
#### שאלה 58

- א. חשב את שטח החתך האחיד של הרשת המתוארת.  
 ב. חשב את מפל המתח לאחר בחירת שטח חתך מסחרי.



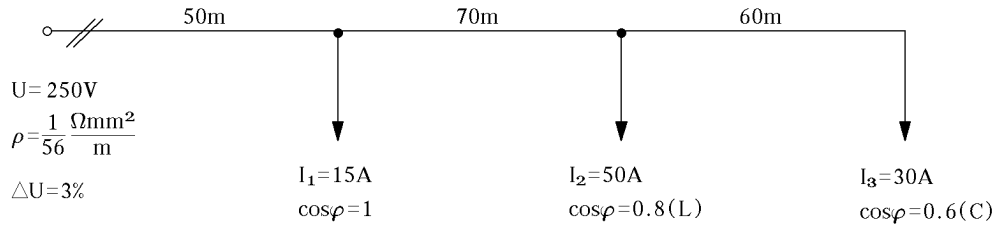
#### שאלה 59

- חשב את שטח החתך האחיד המסחרי ואת הפסד ההספק ברשת החד-מופעית המתוארת להלן.



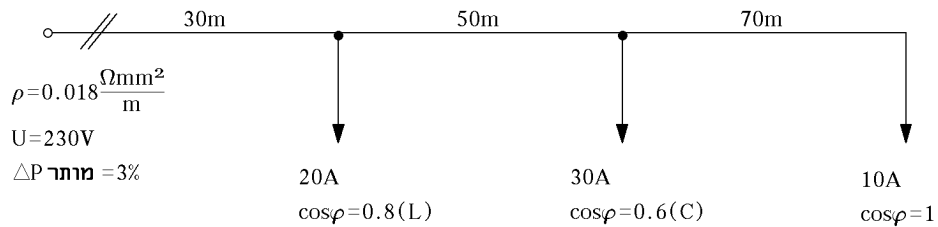
**שאלה 60**

- א. חשב את שטח החתך האחיד של הרשת החד-מופעית, המתוארת באיור שלהלן.  
 ב. בחר שטח חתך מסחרי וחשב את הפסד ההספק ברשת.



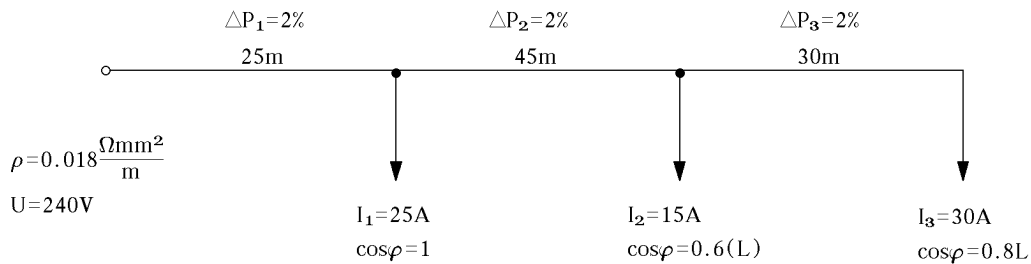
**שאלה 61**

- נתונה רשת חד-מופעית המתוארת באיור. חשב את:  
 א. שטח החתך האחיד ובחר שטח חתך מסחרי.  
 ב. המתח בסוף הקו.



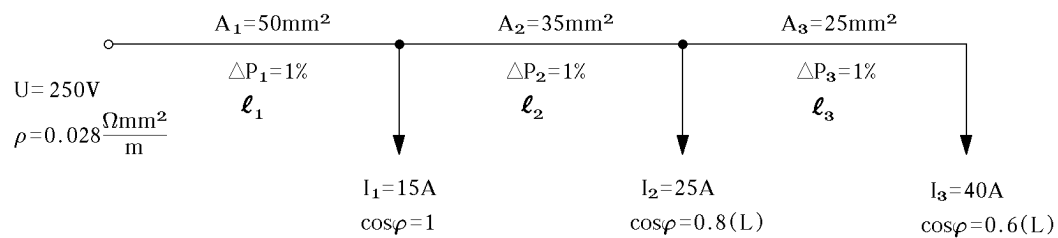
**שאלה 62**

- חשב את שטח החתך הנדרש בכל קטע בנפרד של הרשת החד-מופעית המתוארת באיור.



**שאלה 63**

- חשב את אורך הקטעים ( $l_1, l_2, l_3$ ) של הרשת החד-מופעית המתוארת באיור.



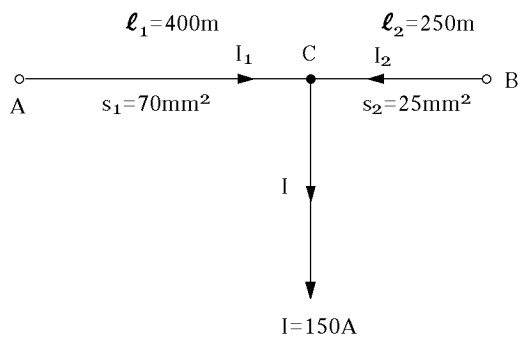
### שאלה 64

תנור בהספק של 500W מחובר לרשת של זרם ישר. מתח הרשת 100V, אורך המוליכים 30m והם עשויים נחושת. שטח חתך המוליכים הוא  $10\text{mm}^2$ . מהם הפסדי ההספק של המוליכים?

### שאלה 65

רחוב שאורכו 1500 מטר, מואר בנורות של 100W. הנורות מפוזרות לאורך הרחוב במרחק של 50 מטר זו מזו. הקו הוא חוט חמרון  $\rho = \frac{1}{34} \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$  ומוזן בקצה במתח של 237V. חשב את שטח החתך של המוליכים, אם מפל המתח בקצה הקו הוא 3% (שטח החתך הוא אחיד).

### שאלה 66



רשת ניזונה משני מקורות מתח ישר כמתואר באיור.

$$U_A = 500V$$

$$U_B = 480V$$

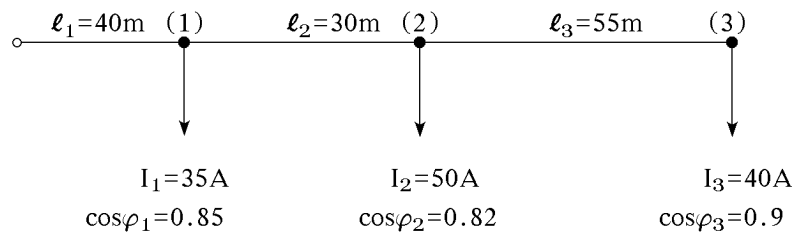
המוליכים עשויים נחושת:  $\rho = 0.0175 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$

חשב את:

- הזרם העובר בכל קו.
- המתח בנקודה C.
- ההספק של הצרכן הניזון מנקודה C.

### שאלה 67

נתון קו חמרון (אלומיניום) המזין שלושה צרכנים השראתיים ברשת חד-מופעית. מפל המתח המקסימלי המותר הוא 8V. מצא את שטח החתך האחיד, המסחרי בו יש להשתמש וחשב את מפל המתח לאחר בחירת שטח החתך.



$$\rho = 0.029 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \text{ חמרון}$$

$$\Delta U_{\max} = 8V$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta U} \cdot \sum_{i=1}^n l_i I_i \cos \varphi_i$$

נוסחה מומלצת:

### שאלה 68

מהו שטח החתך הדרוש למוליכי נחושת באורך 160 מ', במתח שלוב של 400V, המזינים צרכן תלת-מופעי בהספק של 15KW ובגורם הספק של 0.85, אם מפל המתח המקסימלי המותר הוא 10 וולט?

$$\rho = 0.018 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

הכבל מותקן בתעלה צרה עם עוד ארבעה כבלים באדמה, בטמפרטורה אופפת של 40°C. בדוק במדריך לחשמלאי של דוניבסקי: מהו הכבל המתאים? איזה נתיך תבחר?

$$A = \frac{\rho l P}{\sqrt{3} \cdot \Delta U \cdot U_L} \text{ : נוסחה מומלצת}$$

### שאלה 69

נתון קו חד-מופעי, עשוי מוליכי חמרן (אלומיניום), המזין שלושה צרכנים השראתיים. שטח חתכו 50

$$\rho = \frac{1}{35} \left( \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right) \text{ ממ"ר, מתח הצרכנים 220 וולט, ההתנגדות הסגולית היא}$$

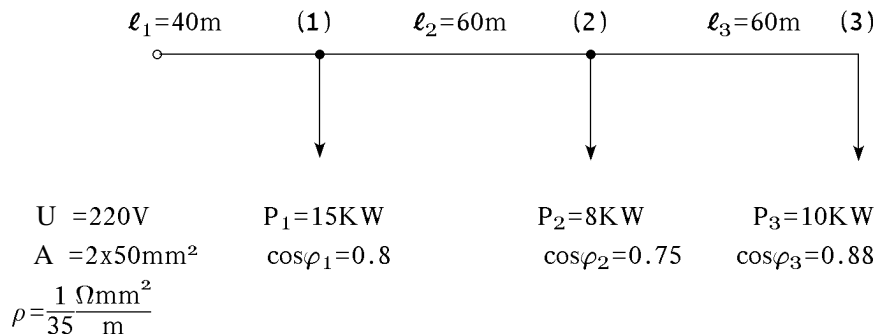
חשב את:

א. מפל המתח הכולל בקו. מהו שטח החתך המסחרי האחיד, הדרוש כדי שמפל המתח לא יעלה על 10 וולט.

ב. גורם ההספק הכללי של הרשת מצד המקור.

$$\Delta U = \frac{2\rho}{A \cdot U} \sum l_i P_i$$

נוסחה מומלצת לחישוב מפל מתח:



### שאלה 70

מהו שטח החתך המסחרי, הדרוש לכבל, המזין צרכן תלת-מופעי, הצורך 40 אמפר בגורם הספק של 0.92 ומרוחק 150 מטר מהמקור?

$$\rho = 0.0175 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

מפל המתח המירבי המותר הוא 5V (למופע):

הכבל טמון באדמה בטמפרטורה של 45°C.

מהו סוג הכבל שהיית בוחר, כאשר אין חשש מפגיעות מכניות בכבל.

$$\Delta U = \frac{\rho \cdot l}{A} \cdot I \cos \varphi$$

נוסחה מומלצת:

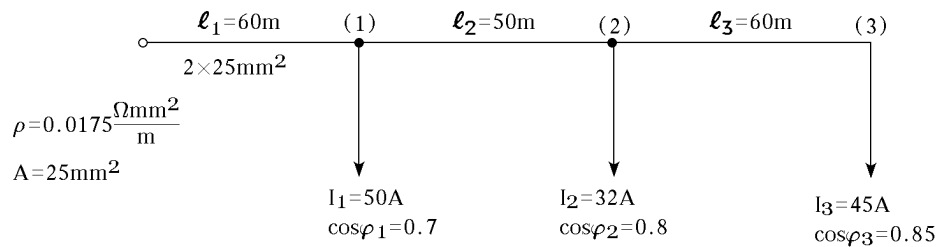


### שאלה 71

נתון קו המזין שלושה צרכנים השראיים ברשת חד-מופעית.

הקו עשוי מוליכי נחושת  $\rho = 0.0175 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$  בשטח חתך של 25 מ"מ<sup>2</sup>.

- א. מהו מפל המתח הכולל בקו ומהו מפל המתח באחוזים, אם המקור הוא 250 וולט?  
 ב. מהו מתח הדקי הצרכן השלישי אם מתח המקור הוא 250 וולט?



$$\Delta U = \frac{2\rho}{A} \cdot \sum_{i=1}^n I_i l_i \cos \varphi_i$$

נוסחת עזר מומלצת

### שאלה 72

עומס צורך 39A במרחק 300 מטר ממקור מתח ישר של 240V. הקו עשוי מוליכי נחושת עגולים  $\left( \rho_{20} = 0.0175 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$  מקדם הטמפרטורה הוא  $\alpha = 0.004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ . הנח טמפרטורה של  $35^\circ\text{C}$ . אסור שהפסד המתח בקו יעלה על 10V. חשב את הקוטר המינימלי הדרוש של מוליכי הקו.

### שאלה 73

יש להזין עומס של 4.7KW במתח ישר של 250V. המרחק בין מקור המתח והעומס הוא 50 מטר. יש לדאוג שהפסד המתח בקו לא יעלה על 5%.

$$\left( \rho_{20} = 0.0175 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$$

המוליכים עשויים נחושת

טמפרטורת המוליך היא  $35^\circ\text{C}$ .  
 מקדם טמפרטורה  $\alpha = 0.004 \left( \frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$

- א. חשב את החתך הדרוש.  
 ב. בדוק אם החתך מתאים גם מבחינת הזרם המקסימלי, המותר בו.

### שאלה 74

קבוצת נורות להט צורכת זרם של 40A מרשת חד מופעית של 230V. קבע את חתך המוליכים אם ידוע כי המרחק בין מקור הזינה וקבוצת הנורות הוא 105 מטרים ומפל המתח המותר הוא 5V.

$$\rho_{35^\circ} = 0.01855 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

### שאלה 75

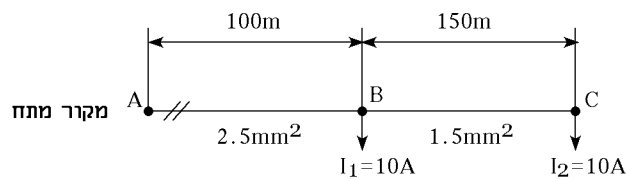
קבוצת נורות להט צורכת זרם של 55A מרשת חד-מופעית של 230V. אבטחת המעגל נעשית על-ידי נתיכים.

הקו המזין עשוי נחושת  $\left( \rho_{35^\circ} = 0.01855 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$  וטמפרטורת המוליך היא  $35^\circ\text{C}$ .

- קבע את שטח החתך הדרוש של הקו.
- חשב את מפל המתח על פני הקו, אם המרחק בין הזינה לנורות הוא 105 מטר (חשב בוולטים וגם באחוזים).

### שאלה 76

ממקור מתח ישר (בנקודה A) ניזונים שני צרכנים, כמתואר בתרשים.



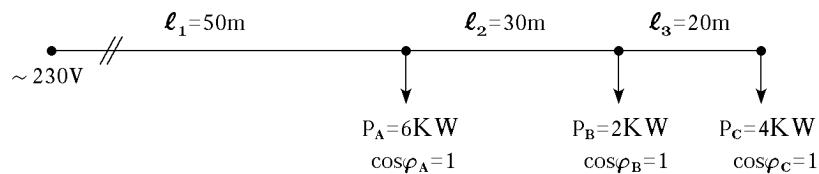
המוליכים עשויים נחושת  $\left( \rho = 0.0175 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$

המתח על פני הצרכן המחובר בנקודה C הוא 200V. חשב את מתח הזינה.

### שאלה 77

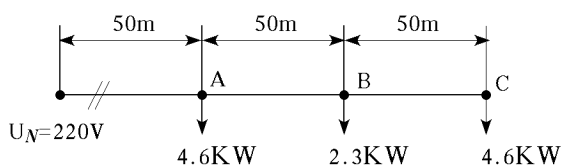
כל המוליכים בקו, המתואר באיור, עשויים נחושת  $\left( \rho = 0.0175 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$  ובעלי שטח חתך אחיד בכל הקטעים.

חשב את שטח החתך הנדרש אם הפסד המתח המירבי הוא 5%.



### שאלה 78

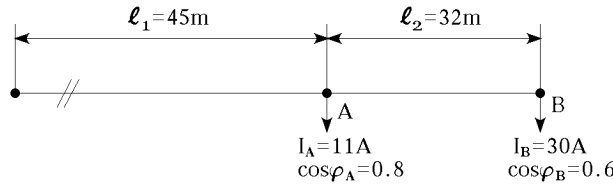
ברשת חלוקה בזרם ישר, המתוארת בתרשים, מוליכי הקו הם מנחושת  $\rho = 0.0175 \Omega \text{mm}^2 / \text{m}$  ושטח החתך שלהם אחיד בכל הקטעים. הפסד המתח המותר הוא 5%.



- חשב את:
- שטח החתך ובחר שטח חתך מסחרי.
  - המתח על פני כל צרכן וצרכן.

**שאלה 79**

רשת חד-מופעית מתוארת בתרשים. הרשת עשויה מוליכי נחושת ( $\rho = 0.0175 \Omega mm^2/m$ ). שטח החתך אחיד בכל הקטעים. הפסד המתח המותר הוא  $2V$ . את ההיגב ההשראותי של הקו ניתן להזניח. קבע את שטח החתך הנדרש.

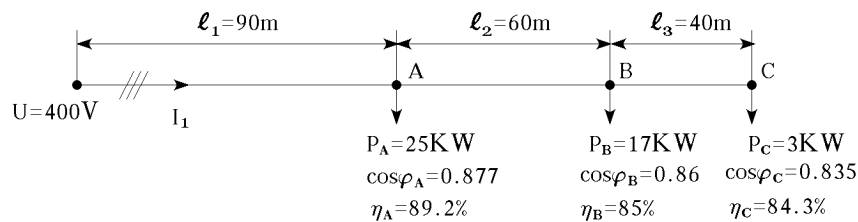


**שאלה 80**

מנוע תלת-מופעני  $400V$ ,  $12HP$ ,  $\cos \varphi = 0.8$ , בעל נצילות של  $88\%$ , מחובר למקור הזינה באמצעות כבל באורך  $100$  מטר. בכבל מוליכי נחושת ( $\rho = 0.0175 \Omega mm^2/m$ ). הפסד המתח המירבי הוא  $3\%$ . קבע את החתך הנדרש של מוליכי הכבל.

**שאלה 81**

ברשת חלוקה, המתוארת בתרשים, מכיל הכבל מוליכי נחושת ( $\rho_{Cu} = 0.0175 \Omega mm^2/m$ ). הפסד המתח המירבי הוא  $5\%$ .

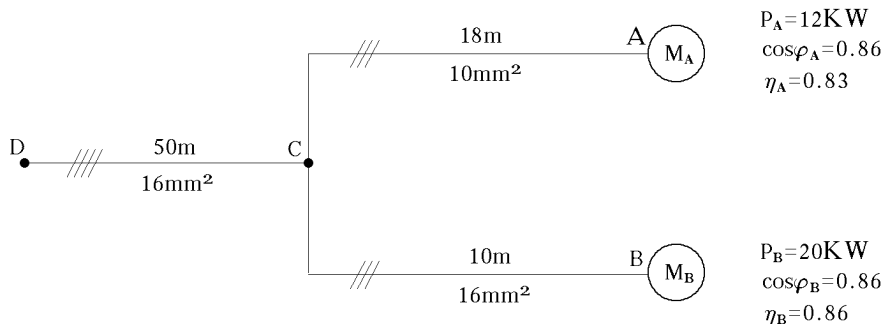


חשב את:

- א. חתך גידי הכבל.
- ב. הזרם העובר בקטע הראשון.

**שאלה 82**

המתקן המתואר עקרונית בתרשים ניזון ממתח של  $400V$ . בדוק את הפסד המתח בין נקודות הזינה לבין כל אחד משני המנועים. המוליכים עשויים נחושת ( $\rho = 0.0175 \Omega mm^2/m$ ).



### שאלה 83

שנאי מספק מתח של 400V לקו תלת-מופעי, המזין בקצהו מנוע. המנוע צורך מן הקו הספק חשמלי של 10KW במקדם הספק  $\cos \varphi = 0.8$ . הקו בנוי מוליכי נחושת בחתך 16 ממ"ר

$$\left( \rho = 0.0175 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$$

קבע את המרחק המירבי המותר של המנוע מן השנאי, אם אסור שהפסדי ההספק בקו יעלו על 4%. יש להזניח את השראות הקו.

### שאלה 84

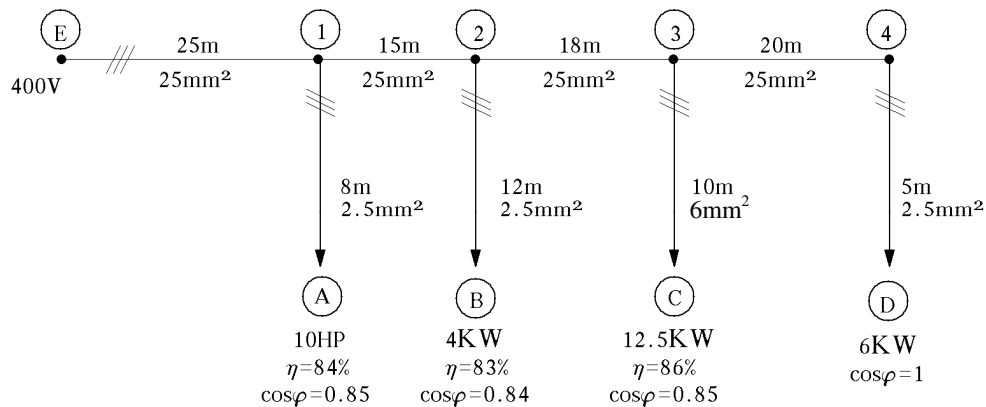
מנוע תלת-מופעי צורך הספק חשמלי של 10KW, ב- $\cos \varphi = 0.8$ , מרשת שאורכה 500 מטר. הרשת בנויה ממוליכי נחושת  $(\rho = 0.0175 \Omega \text{mm}^2 / \text{m})$ . ניתן להזניח את השראות הרשת. חשב את החתך הדרוש אם הפסד ההספק המירבי המותר הוא 6%.

### שאלה 85

קו תלת-מופעי, המתואר בתרשים, מזין שלושה מנועים ותנור תלת מופעי.

$$\left( \rho = \frac{1}{34} \cdot \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$$

הקו עשוי מוליכי אלומיניום. את השראות בקו ניתן להזניח. חשב את הפסד המתח עבור כל אחד מן העומסים.



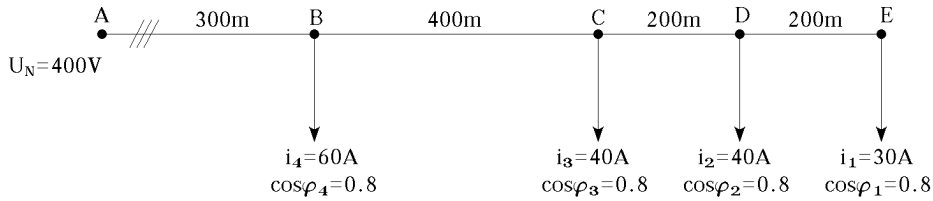
### שאלה 86

מתקן תלת-מופעי ניזון מכבל נחושת  $(\rho = 0.0175 \Omega \text{mm}^2 / \text{m})$ , בשטח חתך של 35mm<sup>2</sup> למופע. אורך הכבל 250 מטר. עוצמת הזרם 80A, במתח זינה של 400V ובמקדם הספק  $\cos \varphi = 0.8$ . חשב את הפסד המתח בכבל.

**שאלה 87**

במערכת תלת-מופעית המתוארת בתרשים, הקו הוא כבל בעל גידי נחושת, בידוד  $90^{\circ}\text{C}$ , הטמון באדמה.

$$\left( \rho = 0.0175 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$$

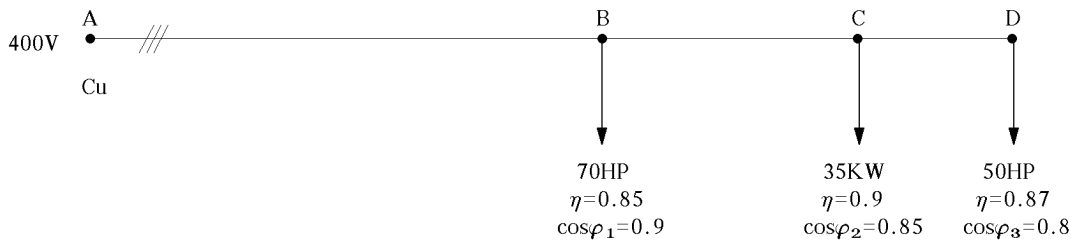


- א. מפל המתח המותר לאורך הקו הוא 10% ממתח זינה. קבע שטח חתך אחיד לגידי הכבל בכל הקטעים.
- ב. האם שטח החתך המינימלי שבחרת יכול לשאת את הזרם העובר בו בכל קטע?

**שאלה 88**

נתונה רשת תלת-מופעית, המזינה בית מלאכה עם צרכנים השראתיים, כמתואר בתרשים. חשב את:

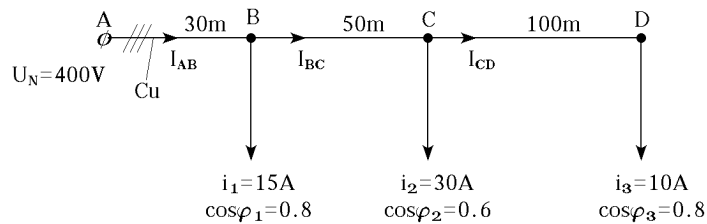
- א. מקדם ההספק הכללי של הרשת הנתונה.
- ב. הספק סוללת הקבלים, הדרושה לשיפור מקדם ההספק הכללי עד לרמת הדרישות של חברת החשמל. ( $\cos \varphi' = 0.92$ ).



**שאלה 89**

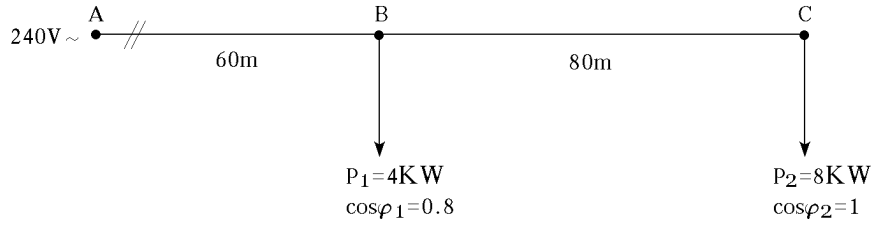
בתרשים נתונה רשת תלת-מופעית שהמוליכים בה עשויים נחושת  $\left( g = 57 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2} \right)$ .

- א. חשב את שטח החתך האחיד של מוליכי הרשת, כך שמפל המתח המירבי לא יעלה על 3%.
- ב. קבע את שטח החתך האחיד הנקוב, התואם לסעיף א' וחשב את הפסדי ההספק בקטע CD.



**שאלה 90**

חשב את חתך המוליכים בקו הראשי שבתרשים הזה:



הפסד ההספק בקו 2.5%

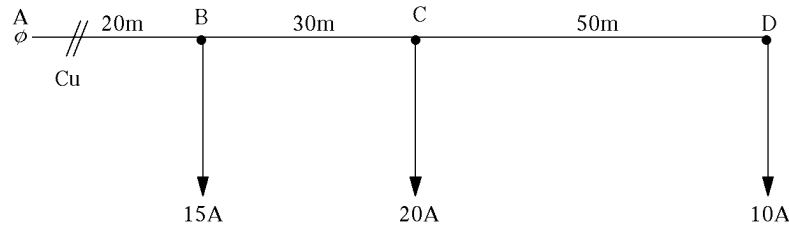
$$\rho = \frac{1}{57} \frac{\Omega mm^2}{m}$$

ההתנגדות הסגולית

**שאלה 91**

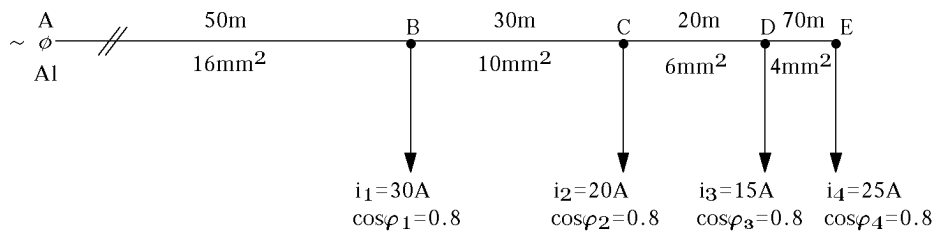
רשת בזרם ישר עשויה מוליכי נחושת  $\left( g = 57 \frac{m}{\Omega mm^2} \right)$  בשטח חתך אחיד של 10 ממ"ר (ראה תרשים).

- א. חשב את מפל המתח המירבי ברשת.
- ב. חשב את הפסדי ההספק בקטע B-C.



**שאלה 92**

ברשת לזרם חילופים שבאיור, מוליכי הרשת עשויים חמרון  $\left( g = 35 \frac{m}{\Omega mm^2} \right)$ . חשב את איבודי ההספק של הרשת.



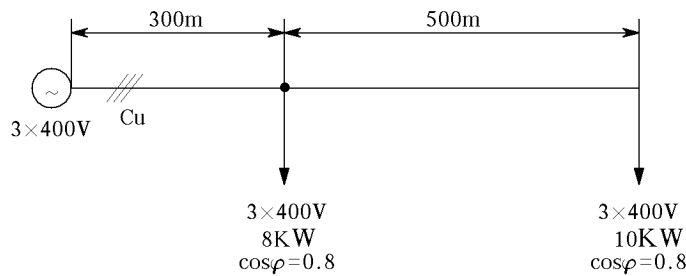
**שאלה 93**

אם שטח החתך של מוליך נחושת הוא  $A_{Cu}$  והזרם שמותר להעביר דרכו הוא  $I_{Cu}$ , מהו הביטוי של שטח החתך של מוליך חמרון ( $A_{Al}$ ), שדרכו ניתן להעביר אותו זרם ברמת הפסדים זהה לזו שבמוליך הנחושת.

$$\left( g_{Al} = 35 \frac{m}{\Omega mm^2} \right) \quad \left( g_{Cu} = 57 \frac{m}{\Omega mm^2} \right)$$

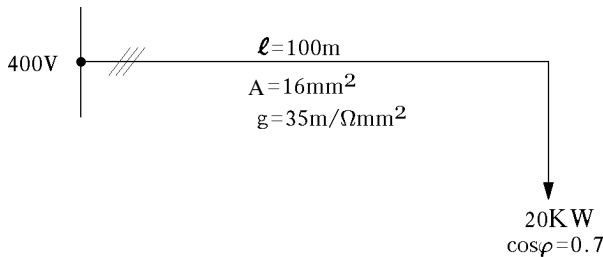
**שאלה 94**

באיור, מתוארת רשת מנחושת  $g = 56 \frac{m}{\Omega mm^2}$ , להזנת שני צרכנים תלת-מופעיים.



חשב את שטח החתך המותר של הקווים, כך שהפסד ההספק בקו לא יעלה על  $\Delta P = 5\%$ .

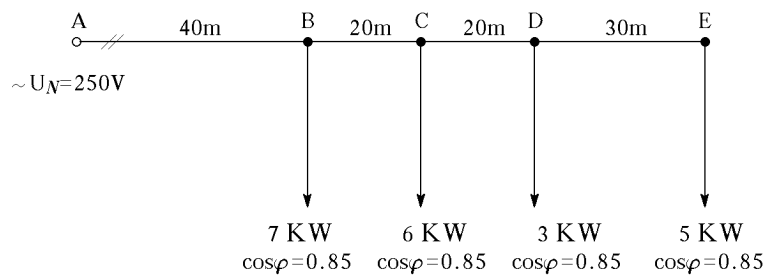
**שאלה 95**



הצרכן שבאיור, מחובר לרשת תלת מופעית של 400 וולט. לצרכן זה שופר מקדם ההספק ל-0.92. חשב את הפסדי ההספק ברשת בשני מקרים: לפני שיפור מקדם ההספק ואחריו.

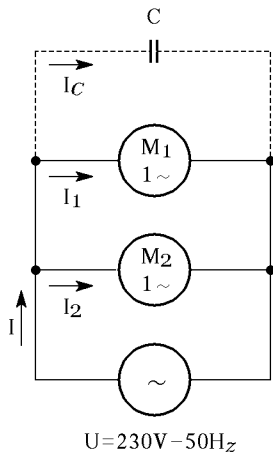
**שאלה 96**

באיור מתוארת רשת חד-מופעית, הבנויה ממוליכי נחושת ( $g_{cu} = 57 \frac{m}{\Omega mm^2}$ ) ועליה מחוברים ארבעה צרכנים.



- חשב את:
- א. שטח החתך האחיד, אם מפל המתח הוא 2%, ובחר שטח חתך מסחרי.
  - ב. המתחים על פני כל צרכן לפי שטח החתך שבחרת.
  - ג. הפסד ההספק בקו.

**שאלה 97**



במערכת חד מופעית מחוברים במקביל שני מנועים (ראה איור) בעלי הנתונים האלה:

$$P_2 = 600W \quad ; \quad P_1 = 600W$$

$$\cos \varphi_2 = 0.7 \quad ; \quad \cos \varphi_1 = 0.6$$

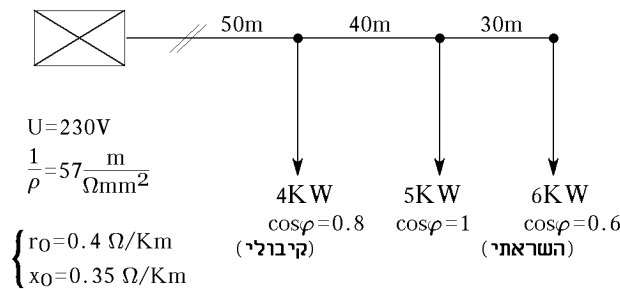
יש לחבר אליהם במקביל קבל, אשר ישפר את גורם ההספק של כל המערכת, עד ל-0.9.

חשב את:

- א. הקבל הדרוש
- ב. הזרם שצורך הקבל.

**שאלה 98**

חשב את איבודי ההספק ברשת לפי הנתונים המופיעים באיור.



**שאלה 99**

מנוע חד מופעי של מאוורר חשמלי צורך זרם של 9A במקדם הספק  $\cos \varphi = 0.8$ . המנוע נמצא במרחק 100 מ' ממקור הזינה והמתח במקור הוא 230V. הקו המחבר את המנוע למקור המתח עשוי מוליכי נחושת.

$$\left( \rho = 0.018 \frac{\Omega mm^2}{m} \right)$$

חשב את שטח החתך של המוליכים על מנת שמפל המתח לא יעלה על 5% ממתח המקור.

**שאלה 100**

ברחוב שאורכו 400 מ' מותקנות נורות ליבון במרחק 40 מ' זו מזו. כל נורה צורכת זרם של 0.5A. הקו ניזון במתח חילופים חד-מופעני של 220V מקצהו האחד של הרחוב. המוליכים עשויים חמרן.

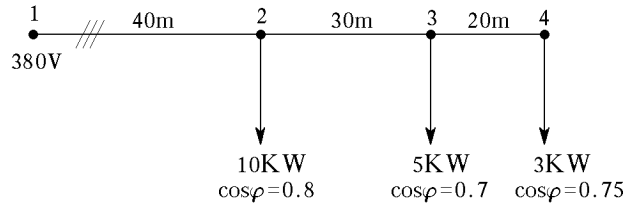
$$\left[ \rho = \frac{1}{34} \left( \frac{\Omega mm^2}{m} \right) \right]$$

חשב את שטח החתך של המוליכים כדי שמפל המתח המקסימלי לא יעלה על 3% מהמתח בראשית הקו.



### שאלה 101

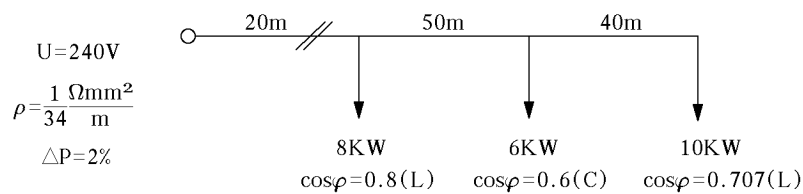
רשת תלת-מופעית מנחושת מזינה את צרכניה לפי התרשים. לכל הרשת שטח חתך אחיד. חשב את חתך התיילים לפי מפל מתח מותר 5%.



### שאלה 102

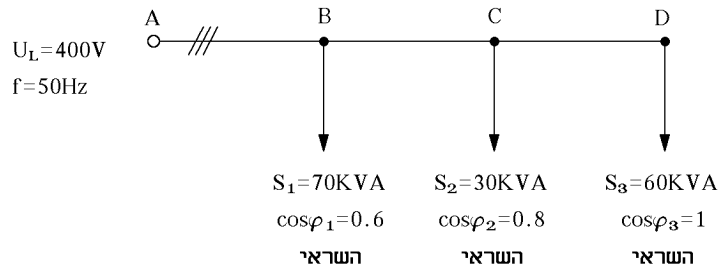
מוליכי הרשת הנתונים באיור עשויים אלומיניום. חשב את:

- שטח החתך האחיד של הרשת וקבע את שטח החתך המסחרי
- מפל המתח ברשת על-פי שטח החתך שקבעת.



### שאלה 103

נתונה רשת תלת-מופעית.



חשב את:

- גורם ההספק הכללי של הרשת מצד המקור.
- ערך הקבלים, המחברים במשולש, לשיפור גורם ההספק ל-0.93.

### שאלה 104

עליך לתכנן רשת לשורת פנסי רחוב. אורך הרחוב 1500 מטר ובכל 50 מטר דרוש פנס שהספקו 400W. הפנסים יחוברו לרשת חד-מופעית במתח של 230 וולט. באיזה כבל בעל שטח חתך אחיד, תבחר? הכבלים יוטמנו במישרין באדמה ויכוסו להגנה על-ידי לוחות בטון. מפל המתח המרבי המותר בקו לא יעלה על 10%.

$$\rho = 0.017 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

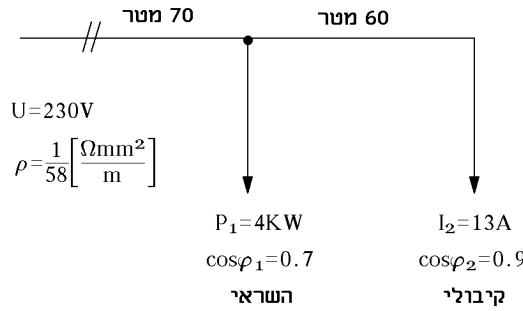
הנח גורם הספק 1.

**שאלה 105**

מהו הזרם המירבי שנוכל להזרים דרך כבל, הנמצא בהתקנה מקובצת (בחבילה) של כבלים חד-גידיים (8 כבלים יחד באדמה), בטמפרטורה אופפת של  $45^{\circ}\text{C}$ .  
 הכבל עשוי מנחושת מסוג NYY ושטח החתך שלו  $3 \times 120 + 70\text{mm}^2$ .

**שאלה 106**

נתונה רשת חד-מופעית:



- חשב את גודלו של הנתוך הראשי שתבחר לרשת.
- חשב את שטחי החתך הדרושים לקבלת  $\Delta U_T = 5\%$  ו-  $\Delta P_T = 6\%$ .
- התאם שטח חתך סטנדרטי על פי הדרישות שבסעיף ב'.
- בדוק התאמה בין גודל הנתוך שבחרת לבין שטח החתך הדרוש.

**שאלה 107**

חשב את הזרם המירבי שניתן להזרים באחד ממוליכי כבל מנחושת מסוג NYY, בעל חתך של  $4 \times 16\text{mm}^2$ . הכבל מחובר במעגל תלת-מופע ומותקן במישרין בטיח. הטמפרטורה האופפת של האוויר היא  $40^{\circ}\text{C}$ .

**שאלה 108**

חשב את הזרם המירבי שניתן להזרים באחד ממוליכי כבל מנחושת מסוג NYY, בעל חתך של  $4 \times 16\text{mm}^2$ . הכבל מחובר במעגל תלת-מופע ומותקן במקובץ בחבילה של 6 כבלים במישרין באדמה. הטמפרטורה האופפת של האדמה היא  $50^{\circ}\text{C}$ .

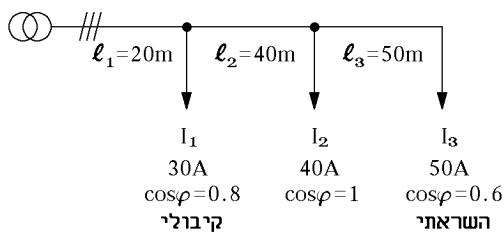
**שאלה 109**

נתונה רשת תלת-מופעית.

מתח הרשת הוא 400V וההתנגדות הסגולית של המוליכים היא  $\rho = \frac{1}{58} \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$ .

חשב את:

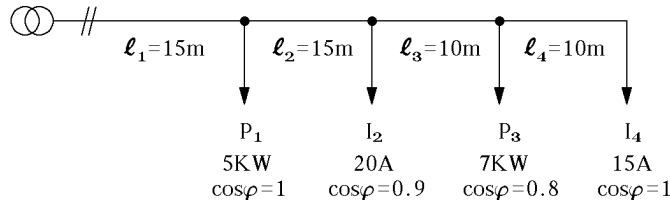
- הזרם בכל אחד מקטעי הרשת.
- שטח החתך האחיד הדרוש לאיבוד הספק מקסימלי מותר של 1% וקבע את שטח החתך המסחרי.



### שאלה 110

רשת חד-מופעית מחוברת למתח של 400V. חשב את שטח החתך האחד של מוליכי הרשת עבור מפל מתח מותר של 4%, כאשר המוליכים עשויים אלומיניום (חמור).

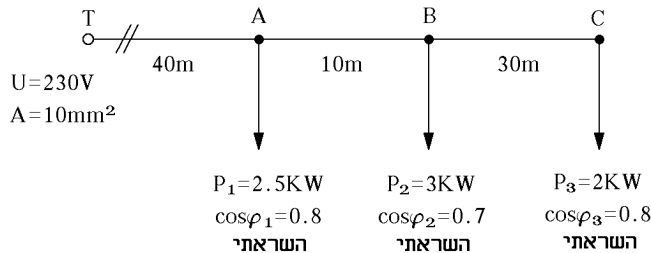
$$\rho = \frac{1}{36} \frac{\Omega \text{mm}^2}{m} \text{ : היא של האלומיניום}$$



### שאלה 111

מוליכים בעלי בידוד XLPE, טמונים במישרין בטיח. במוליכים זורם שערכו 37A למכשיר תלת-מופעי. הטמפרטורה האופפת  $35^{\circ}\text{C}$ . קבע את ערך המבטח בקו ואת שטח חתך המוליכים:  
 א. עבור מוליכי נחושת.  
 ב. עבור מוליכי אלומיניום.

### שאלה 112



רשת חשמלית חד-מופעית מזינה שלושה צרכנים, כמתואר באיור. מתח המקור הוא 230V ושטח חתך המוליכים 10 ממ"ר. המוליכים עשויים אלומיניום. המוליכות הסגולית היא

$$g = 35 \frac{m}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$$

(הזנח את ההיגב ההשראתי של הקו).

חשב את:

- מפל המתח לאורך הקו
- הזרם בכל קטע לאורך הקו ואת ההספק המדומה בכל קטע
- מקדם ההספק ליד מקור ההספק.

### שאלה 113

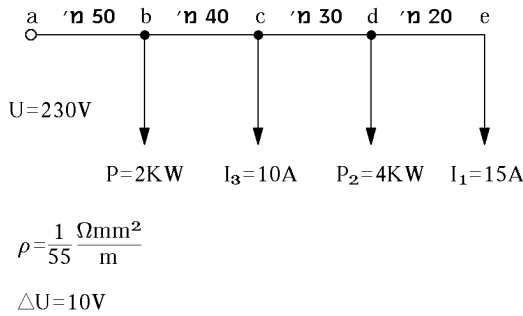
צרכן בעל גורם הספק של 0.8 השראתי, צורך הספק של 2KW ונמצא במרחק 100 מ' ממקור מתח של 115V. שטח החתך של מוליכי הרשת הוא 35 ממ"ר.

$$\rho = \frac{1}{34} \frac{\Omega \text{mm}^2}{m} \text{ ; } \rho = \frac{1}{57} \frac{\Omega \text{mm}^2}{m} \text{ נחושת}$$

חשב את:

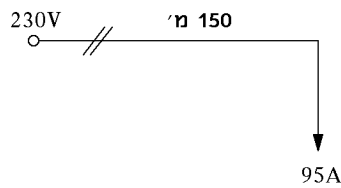
- איבודי ההספק, באחוזים, ברשת נחושת.
- איבודי ההספק, באחוזים, ברשת אלומיניום.

**שאלה 114**



- נתונה רשת המחוברת לעומסים התנגדתיים (ראה איור).  
 חשב את:
- שטח החתך האחיד
  - שטח החתך המסחרי
  - מפל המתח הכולל
  - מפל המתח בקטע b-c.

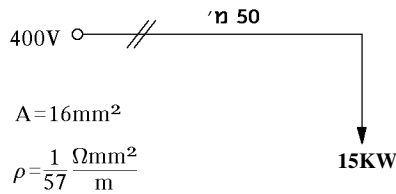
**שאלה 115**



מוליך באורך 150 מ' (מתואר באיור), מחובר לרשת של 230V ומזין צרכן בזרם של 95A.  
 מפל המתח על המוליך הוא 10V.  
 חשב את שטח חתך המוליך כאשר:

- המוליך מנחושת  $\left( \rho = \frac{1}{57} \frac{\Omega mm^2}{m} \right)$
- המוליך מאלומיניום  $\left( \rho = \frac{1}{34} \frac{\Omega mm^2 m}{m} \right)$

**שאלה 116**



חשב את מפל המתח בקו נחושת באורך 50 מ', המחובר לרשת של 400V ומזין צרכן התנגדתי בהספק של 15KW. שטח חתך הקו הוא 16 ממ"ר.

**שאלה 117**

צרכן התנגדתי בהספק של 3KW מחובר למקור מתח חד-מופעי של 230V, הנמצא במרחק של 55 מ' ממנו. איבודי ההספק המירביים המותרים בקו 45W.

$$\left( g_{AL} = 34 \frac{m}{\Omega mm^2} \right)$$

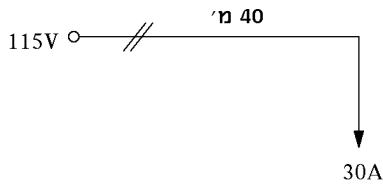
חשב את:

- שטח החתך הדרוש של המוליכים ואת שטח החתך המסחרי.
- איבודי ההספק בוואטים ובאחוזים.

**שאלה 118**

עומס התנגדתי חד-מופעי, הצורך הספק של 1KW, מחובר למקור מתח של 400V באמצעות כבל אלומיניום שאורכו 120 מ'. הפסד ההספק המירבי המותר בכבל הוא 30W.  
 חשב את שטח החתך הדרוש של מוליכי הכבל.

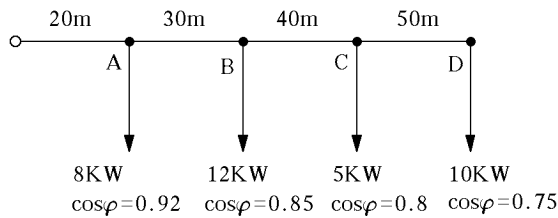
**שאלה 119**



צרכן חד-מופע, הצורך זרם של 30A, מחובר למקור מתח של 115V. הצרכן נמצא במרחק של 40 מ' ממקור המתח ומחובר אליו באמצעות מוליך אלומיניום, כמתואר באיור. מפל המתח המירבי המותר על המוליכים הוא 3%. חשב את שטח החתך וקבע את שטח החתך המסחרי של:

- א. מוליך נחושת  $\left( g = 58 \frac{m}{\Omega mm^2} \right)$   
 ב. מוליך אלומיניום  $\left( g = 34 \frac{m}{\Omega mm^2} \right)$

**שאלה 120**



נתונה רשת חד-מופעית המוזנת ממתח של 400V (מתוארת באיור). מפל המתח המותר ברשת הוא 2%. מוליכי הרשת עשויים חמרון:

$$\left( \rho_{Al} = \frac{1}{36} \frac{\Omega mm^2}{m} \right)$$

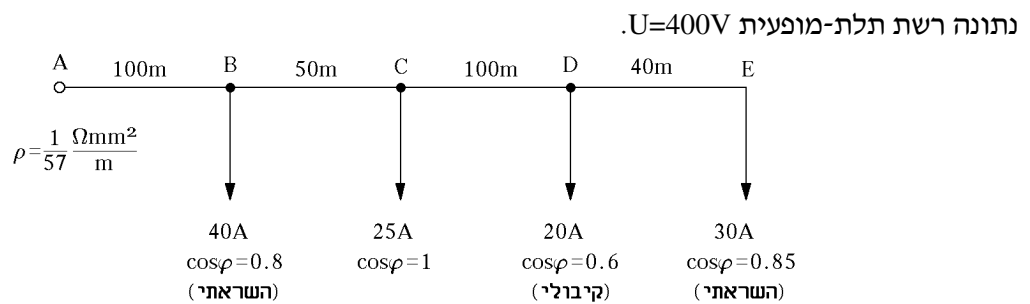
חשב את שטח החתך האחד של מוליכי הרשת.

**שאלה 121**

ברחוב שאורכו 600 מטר הותקנו פנסי תאורה. המרחק בין העמודים הוא 60 מטר, צריכת הזרם של כל נורה 0.5 אמפר ומתח הרשת 230V המחובר מקצהו האחד של הרחוב. המוליכים מחמרון  $\rho = \frac{1}{34}$ .

מפל המתח המרבי 5%. חשב את שטח החתך של המוליכים.

**שאלה 122**



- א. חשב את שטח החתך של המוליכים כך שמפל המתח המירבי לא יעלה על 4%.  
 ב. לאחר בחירת שטח חתך מסחרי חשב את הפסדי ההספק בקטע AC.  
 ג. קבע את מקדם ההספק הכללי במקור.

### 1.3 שיפור גורם ההספק במתקנים ביתיים ותעשייתיים

#### שאלה 123

- א. חשב את ערך הקבל ב- $\mu F$ , המשפר את מקדם הספק של נורה פלואורנית, בעלת הספק של  $40W$ , מ- $0.45$  ל- $0.92$ . מתח הרשת הוא  $230V$  והתדר  $50Hz$ .
- ב. מהי הסיבה למקדם ההספק הנמוך בנורות פלואורניות.

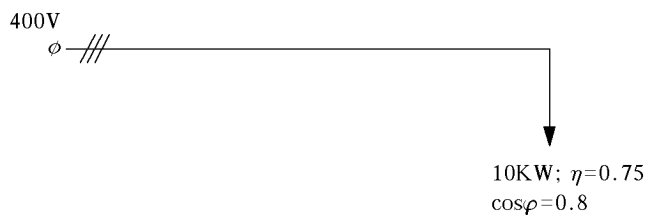
#### שאלה 124

- חשב את ערך הקבל, המשפר את מקדם ההספק של נורה פלואורנית בעלת הספק של  $105W$ , מ- $\cos \phi = 0.5$  ל- $\cos \phi = 0.96$ . הנורה מחוברת למקור מתח של  $230V$  בתדר  $50Hz$ .

#### שאלה 125

מדוע משפרים את גורם ההספק ואילו דרכים טבעיות ומלאכותיות לשיפורו אתה מכיר?

#### שאלה 126



- נתון מתקן תלת מופעי. להדקי הצרכן חוברה סוללת קבלים לשיפור מקדם ההספק לערך הנדרש על-ידי חברת החשמל (ראה תרשים).
- א. מצא את הספק סוללת הקבלים.
- ב. מצא את היחס בין הזרמים הזורמים בקו לפני שיפור גורם ההספק ואחריו.

#### שאלה 127

הסבר את הצורך בשיפור גורם ההספק במתקני חשמל.

#### שאלה 128

- א. במערכת חשמלית חד-מופעית מחוברים במקביל שני מנועים. מנוע אחד צורך הספק של  $700W$  ובעל מקדם הספק של  $0.75$  השראתי. המנוע האחר צורך הספק של  $500W$  ובעל מקדם הספק של  $0.6$  השראתי.
- חשב את הקבל שיש לחבר במקביל לשני המנועים על מנת לשפר את מקדם ההספק ל- $0.95$ .
- ב. מהו ערכו המינימלי של מקדם ההספק  $\cos \phi$  שדורשת חברת החשמל מצרכנים תעשייתיים?

#### שאלה 129

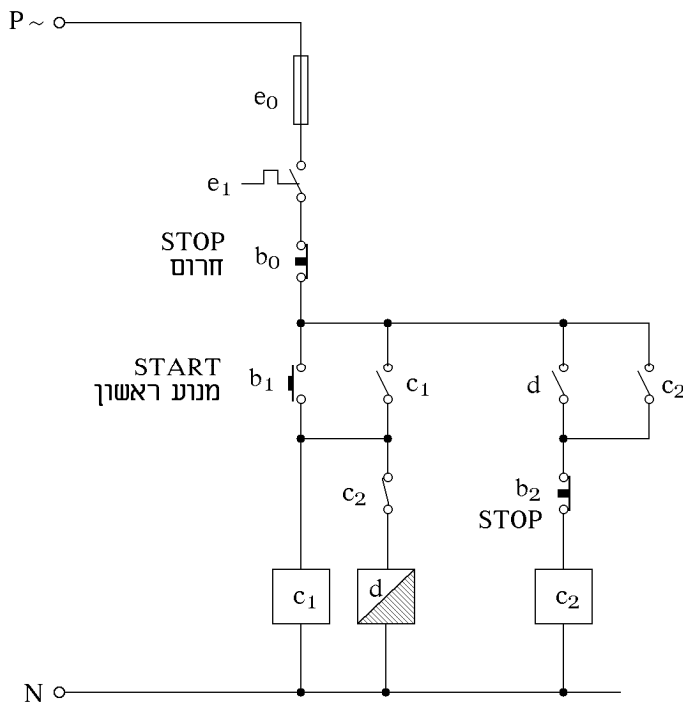
- נתון מנוע תלת-מופעני אסינכרוני, המחובר לרשת תלת-מופעית של  $400V$ . למנוע הספק של  $75HP$ . נצילות המנוע היא  $80\%$ , מקדם ההספק  $0.8$  והתדר  $50Hz$ .
- חשב את:
- א. הספק הקבלים הדרוש לשיפור מקדם ההספק ל- $\cos \phi = 0.92$ .
- ב. גודל הקבל כאשר הם מחוברים בחיבור משולש.
- ג. גודל הקבל כאשר הם מחוברים בחיבור כוכב.

## נושא 4: מיתוג, פיקוד ובקרה

### שאלה 1

### שאלה 1

- סרטט מעגל פיקוד להפעלת שני מנועים בהשגיה.
- לחיצה על לחצן *START* תפעיל מיידית את המנוע הראשון. לאחר השגיה יופעל המנוע השני.
  - לחיצה על לחצן *STOP* יפסיק את פעולתו של המנוע השני בלבד. המעגל יכלול גם לחצן *STOP* חירום לשני המנועים.



### פתרון

- |   |       |                                 |
|---|-------|---------------------------------|
| – | $e_0$ | נתיך הגנה                       |
| – | $e_1$ | הגנה תרמית של המנוע             |
| – | $b_0$ | <i>STOP</i> חירום לשני המנועים  |
| – | $b_1$ | <i>START</i> הפעלה למנוע הראשון |
| – | $b_2$ | <i>STOP</i> למנוע השני בלבד     |
| – | $c_1$ | מנוע ראשון                      |
| – | $c_2$ | מנוע שני                        |
| – | $d$   | ממסר השגיה                      |

### שאלה 2

- מדוע יש צורך בהגנה לחוסר מופע? הסבר.
- הסבר את המבנה העקרוני ואת עקרון הפעולה של ממסר לחוסר מופע. לווה את הסברך בתרשים מתאים.

### שאלה 3

- הסבר את המבנה ועקרון פעולתו של מנוע השראתי בעל מהירויות אחדות (דלנדר). העזר בתרשים פיקוד מתאים.

### שאלה 4

במפעל מורכבות ארבע מערכות חשובות, אשר פעולתן קשורה זו בזו. בלוח הפיקוד קיימת נורית חירום המודיעה על מצבים מסוכנים בהם הפסיקו חלק מהמערכות לפעול. המצבים המסוכנים עליהם חייבת הנורית להתריע הם אלה:

- א. שתי המערכות a ו-b יצאו בכלל פעולה
- ב. המערכות a, c, d, יצאו מכלל פעולה
- ג. המערכות b, c, d, יצאו מכלל פעולה
- ד. המערכות b, d, יצאו מכלל פעולה.

עליך לתכנן את מערכת החירום שתדליק את נורית ההתרעה ברגע שאחד מהמצבים המסוכנים מתרחש בעזרת שערים לוגיים. כתוב את טבלת אמת.

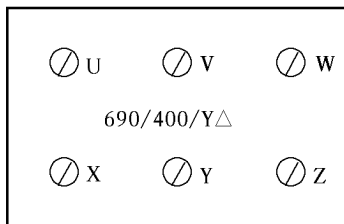
הערה: לכל מערכת ישנה יציאת מתח שבה מופיע מתח המוגדר על-ידי "1" ברגע שהמערכת יצאה מכלל פעולה.

### שאלה 5

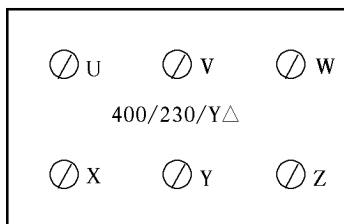
א. סרטט דיאגרמת סולם וכתוב תוכנית להתנעת מנוע בחיבור כוכב/משולש. ציין לפי איזה בקר הנך כותב את התוכנית.

ב. מנוע תלת-מופעי בעל הספק של 3HP, נצילות 90% ומקדם הספק 0.8, מחובר למתח של 380V. חשב את עוצמת הזרם, גודל הנתיך וכיול הממסר לעומס יתר (OVER LOAD).

### שאלה 6

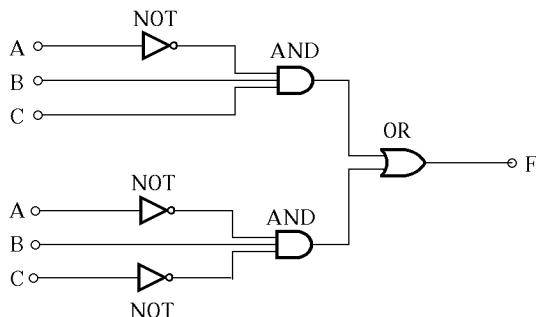


א. על מנוע רשום 690/400/YΔ. כאשר הרשת במתח של 400V, כיצד תחבר אליה את המנוע, סרטט. שים לב לסידור הסלילים.



ב. על מנוע רשום 400/230/YΔ. כאשר הרשת במתח של 400V, כיצד תחבר אליה את המנוע? סרטט.

### שאלה 7



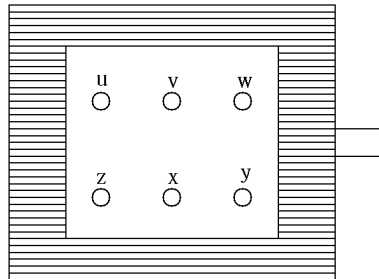
נתונה מערכת שערים לוגיים זו:

- א. מצא למה שווה הפונקציה F.
- ב. צמצם את מערכת השערים למינימום אפשרי שיקיים אותם התנאים וכתוב את הפונקציה F המצומצמת.
- ג. ממש את הפונקציה לאחר הצמצום על ידי לחצנים ועל ידי דיאגרמת סולם.



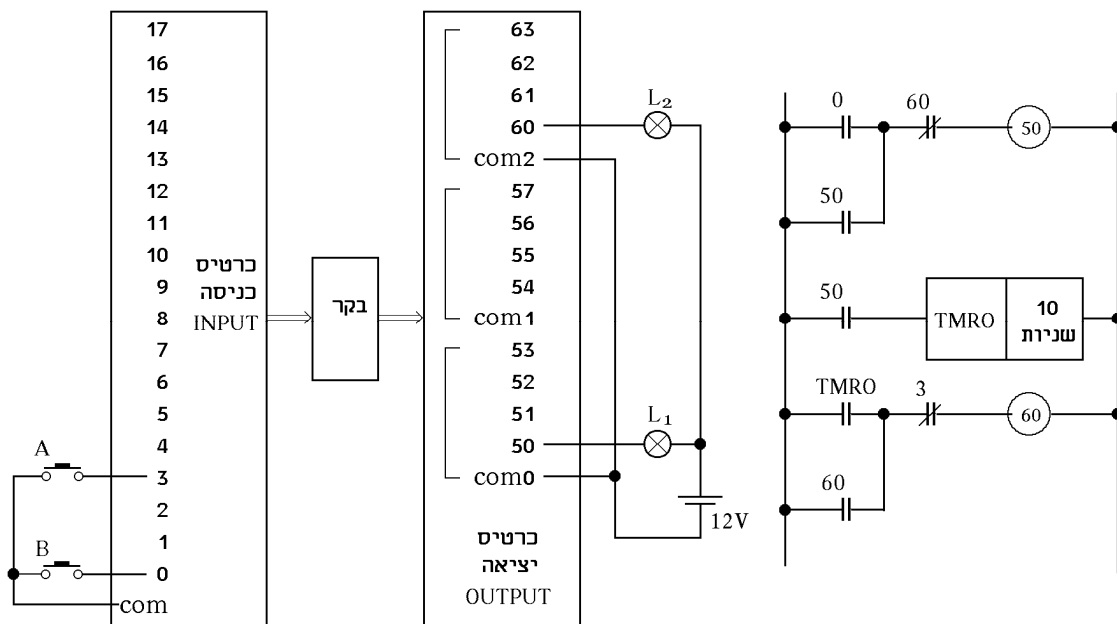
### שאלה 8

נתונה קופסת חיבורים של מנוע תלת מופעי. יש לתכנן מעגל כוח ופיקוד להתנעת המנוע על ידי כוכב ולאחר השהיה, מעבר אוטומטי למשולש. כשהמנוע עובד בכוכב תידלק נורה.



### שאלה 9

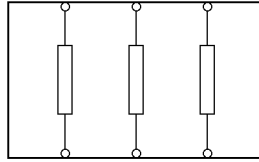
נתון תרשים של בקר (מסוג טקסס אינסטרומנט).



- נתון גם מעגל הסולם של הבקר עם החיוט המתואר לעיל.
- הסבר את פעולת הבקר בתוכנית המתוארת לעיל.
  - האם ניתן לחבר לכרטיס היציאה של הבקר, מספר צרכנים אשר עובדים בשתי רמות מתח שונות, לדוגמה: נורה שעובדת על 24 וולט ונורה שעובדת על 230 וולט? כיצד תעשה זאת?
  - כתוב תוכנית לבקר לפי מעגל הסולם שלעיל בהתאם לתוכנת בקר שהנך מכיר.

**שאלה 10**

לתנור תלת מופעי בעל שלושה גופי חימום, יש לתכנן אפשרות להפעלת גופי החימום במשולש ובכוכב. מעגל הפיקוד יהיה עם שלושה לחצנים, הראשון לכוכב, השני למשולש והשלישי – *STOP*.

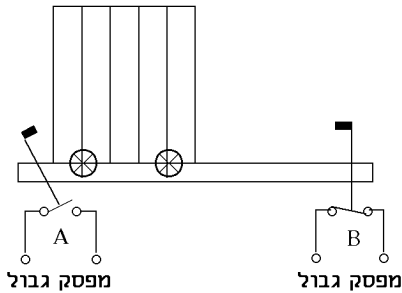


סרטט מעגל כוח ופיקוד ודאג לחיבור בין הכוכב למשולש.

**שאלה 11**

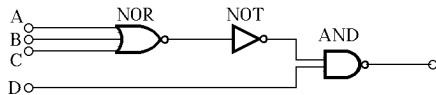
סרטט מעגל פיקוד וכוח למנוע תלת מופעי, עם אפשרות להפעלה רגעית והפעלה קבועה.

**שאלה 12**



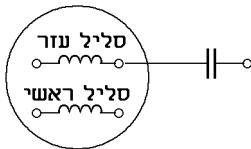
תכנן מעגל פיקוד לשער חשמלי. השער נפתח ונסגר בעזרת מנוע תלת מופעי על-ידי שינוי כיוון סיבוב. השתמש בלחצן  $b_1$  לפתיחת השער עד מפסק גבול A ולסגירת השער בלחצן  $b_2$  עד מפסק גבול B. לחצן  $b_0$  משמש ל-*STOP* חירום. דאג לחיבור חשמלי למניעת הצלבת מופעים בהחלפת כיוון, רצוי גם חיבור מכני.

**שאלה 13**



- נתונה פונקציה לוגית הממומשת על-ידי שערים לוגיים.
- מהי הפונקציה?
  - ממש את הפונקציה על-ידי מעגל סולם.
  - ממש את הפונקציה על-ידי מפסקים/לחצנים.
  - כתוב תוכנית לבקר לפונקציה שמימשתה בסעיף (ב) (לפי הבקר שאתה מכיר).

**שאלה 14**



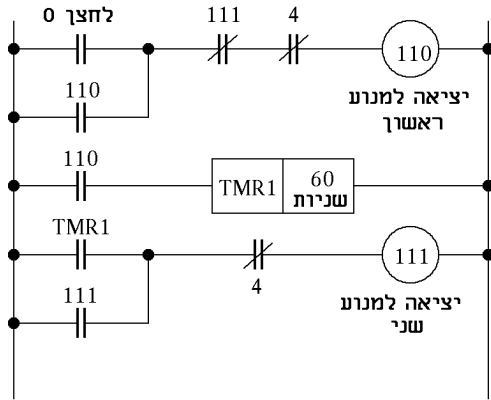
סרטט מעגל פיקוד להחלפת כיוון הסיבוב של מנוע חד-מופעי. הוסף למנוע את ההתקנים החיצוניים האלה: נתיך, הגנת תרמית, שני מגענים וקבל.

**שאלה 15**

תכנן בעזרת ממסר צעד תאורה לחדר מדרגות עבור בניין מגורים בן שלוש קומות. בכל קומה שני לחצנים ושתי מנורות.

**שאלה 16**

סרטט מעגל כוח ופיקוד להחלפת כיוון סיבוב של מנוע תלת מופעי. בכל כיוון תעבוד נורה אחת. דאג לחיבור מכני וחשמלי למניעת קצר בשינוי כיוון הסיבוב.



**שאלה 17**

נתון מעגל סולם של בקר.

- א. תאר את פעולת המעגל.
- ב. כתוב תוכנית למעגל הסולם לפי תוכנת הבקר שאתה מכיר. (אם מספרי הכניסות והיציאות אינם מתאימים לאלה של הבקר שאתה מכיר, הנך רשאי לשנות את מספרי הכניסות והיציאות).
- 4, 0 – לחצנים בכניסות לבקר.
- 110, 111 – יציאות מהבקר לשני מנועים.
- TMR1 – טיימר.

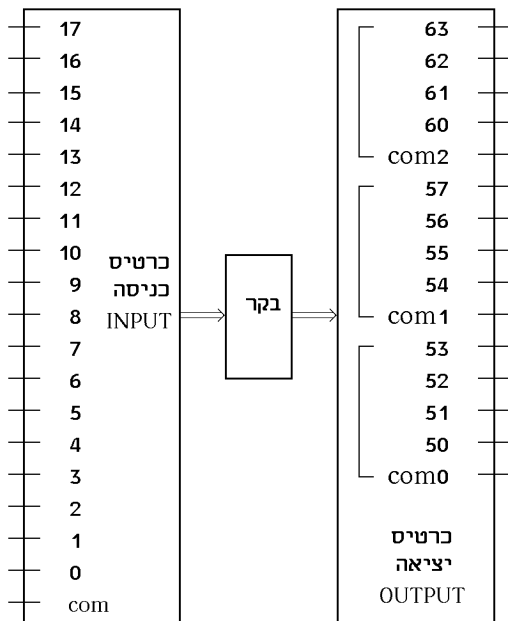
**שאלה 18**

נתונה פונקציה לוגית הבאה:  $F = A \cdot B + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$

- א. ממש את הפונקציה על-ידי שערים לוגיים.
- ב. ממש את השערים בעזרת מפקקים.
- ג. ממש את הפונקציה על-ידי מעגל סולם בבקר.
- ד. כתוב תוכנית למעגל הסולם שמימשת בסעיף (ג).

**שאלה 19**

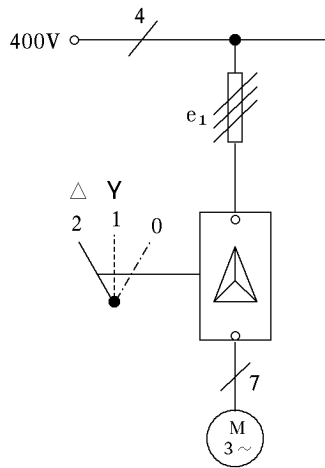
נתון תרשים של בקר מסוג טקסס אינסטרומנט. הערה: אם אינך מכיר בקר מסוג טקסס אינסטרומנט תוכל לענות על השאלה בהתאם לבקר שהנך מכיר.



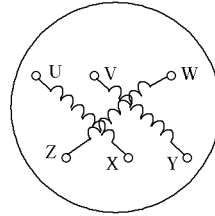
- א. חוות לכרטיס היציאה (OUTPUT) 2 נורות, האחת עובדת במתח של 230V והאחרת במתח של 24V.
- ב. חוות שלושה לחצנים לכרטיס הכניסה וציין האם מותר לחבר מתח חיצוני לכרטיס הכניסה (INPUT)?
- ג. סרטט מעגל סולם אשר יבצע את התוכנית הזו: כאשר לוחצים על אחד הלחצנים תידלק הנורה שעובדת במתח של 24V. כשהנורה (24V) דולקת, היא נותנת אפשרות להפעלה רגעית של הנורה של 230V. לחצן נוסף STOP עבור הנורה שעובדת ב-24V.
- ד. כתוב תוכנית למעגל הסולם בהתאם לבקר שהינך מכיר.

**שאלה 20**

לפניך תרשים חד קווי של התנעת מנוע השראה בעזרת מפסק ידני כוכב/משולש. סרטט את התרשים הרב-קווי.



קופסת החיבורים למנוע:



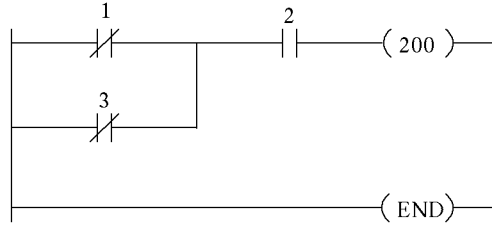
**שאלה 21**

צמצם את הפונקציה שלהלן וממש אותה בעזרת שערים לוגיים.

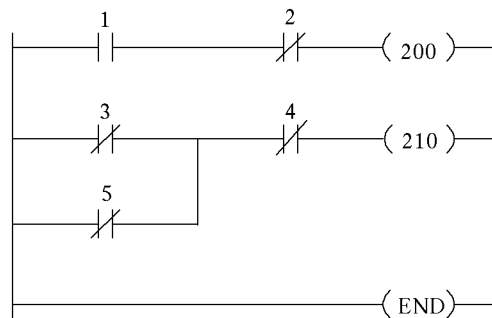
$$f = \overline{X}Y + \overline{X}YZ + \overline{Y}Z + \overline{X}Z$$

**שאלה 22**

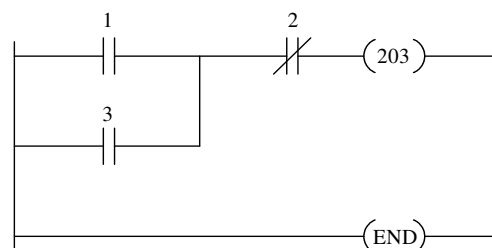
באיורים מתוארים מעגלים. רשום והשלם את הפקודות החסרות.



א.



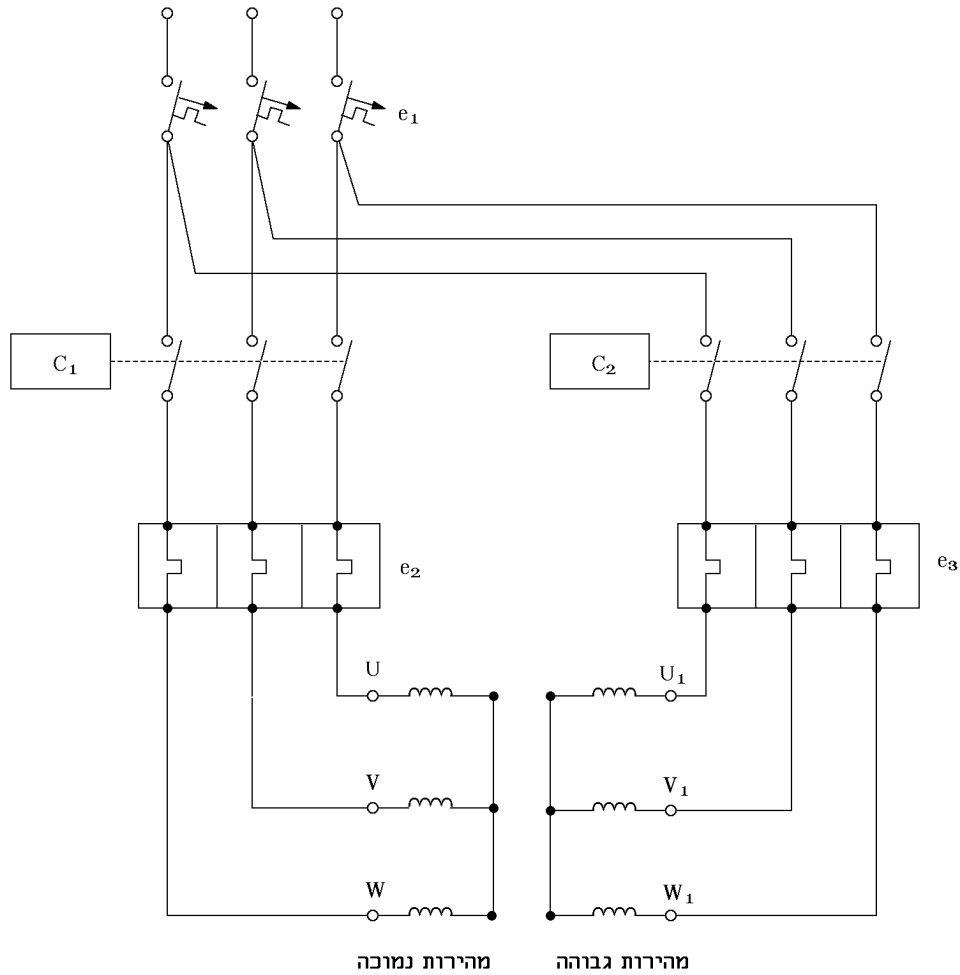
ב.



ג.

**שאלה 23**

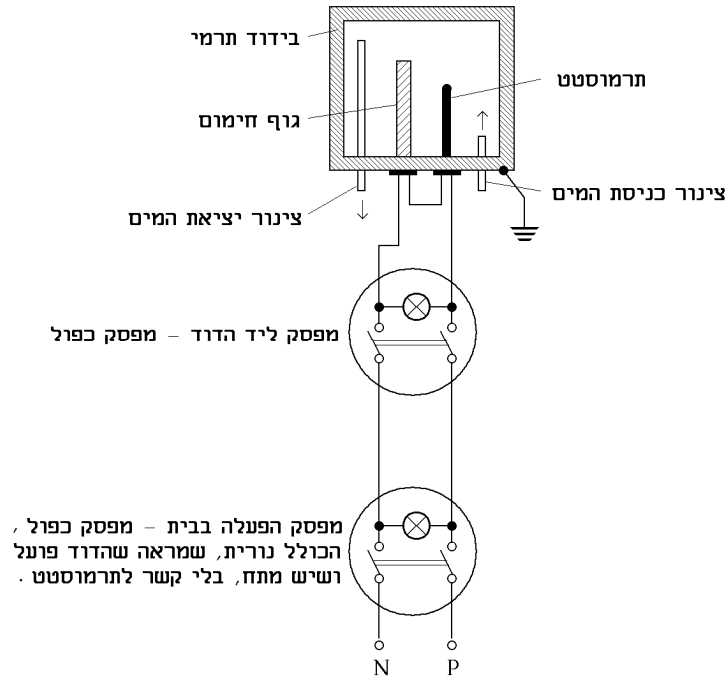
באיור מתואר מעגל כוח של מנוע תלת-מופעי בעל שתי מהירויות. הספק המנוע 2HP, נצילות 0.8, מקדם ההספק  $\cos \varphi = 0.8$  ומתח הרשת 400V.



- א. סרטט את מעגל הפיקוד למנוע.
- ב. ציין את גודל ההגנות.

# פתרונות לנושא 1

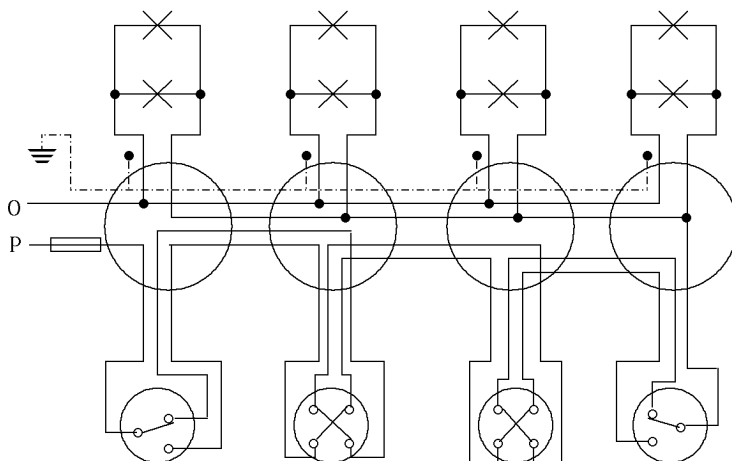
## פתרון שאלה 2

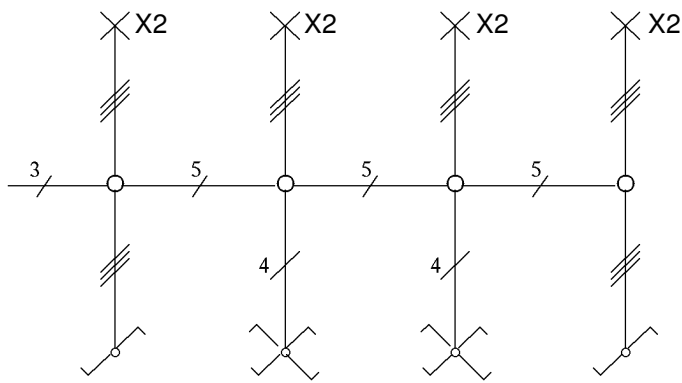


היות שהדוד מלא מים ובכניסת הדוד יש חשש למגע בין המוליכים, יהיה מפסק הדוד כפול. היום נהוג להרכיב מפסק (חובה בדוד שמש) כפול נוסף בקרבת הדוד, למניעת סיכון בזמן תיקון הדוד, כאשר מישהו בבית עלול להפעילו בטעות. מפסק המורכב על גג תחת כיפת השמיים חייב להיות מהסוג המוגן מפני גשם, חדירת אבק ופגיעות מכניות (בעל דרגת הגנה IP/557 לפי תקן ישראלי 981). למפסק הדוד חייבת להיות נורית המראה שהפעלנו אותו. גם כשהתרמוסטט מפסיק את פעולת גוף החימום, צריכה הנורית להידלק. יש מפסקים שאליהם מחברים נורית נוספת, במקביל לגוף החימום, המראה אם התרמוסטט הפסיק את פעולתו, אם לאו את גוף הדוד יש להאריק. הדוד מורכב מתרמוסטט, הבנוי מ-BIMETAL, שהוא במצב רגיל מחובר (NC) ובמצב חם פותח את המפסק ומנתק את גוף החימום. בנוסף יש שני צינורות: האחד, כניסת המים הקרים מלמטה והאחר, יציאת המים החמים מלמעלה.

## פתרון שאלה 3

א. התרשים הרב-קווי.

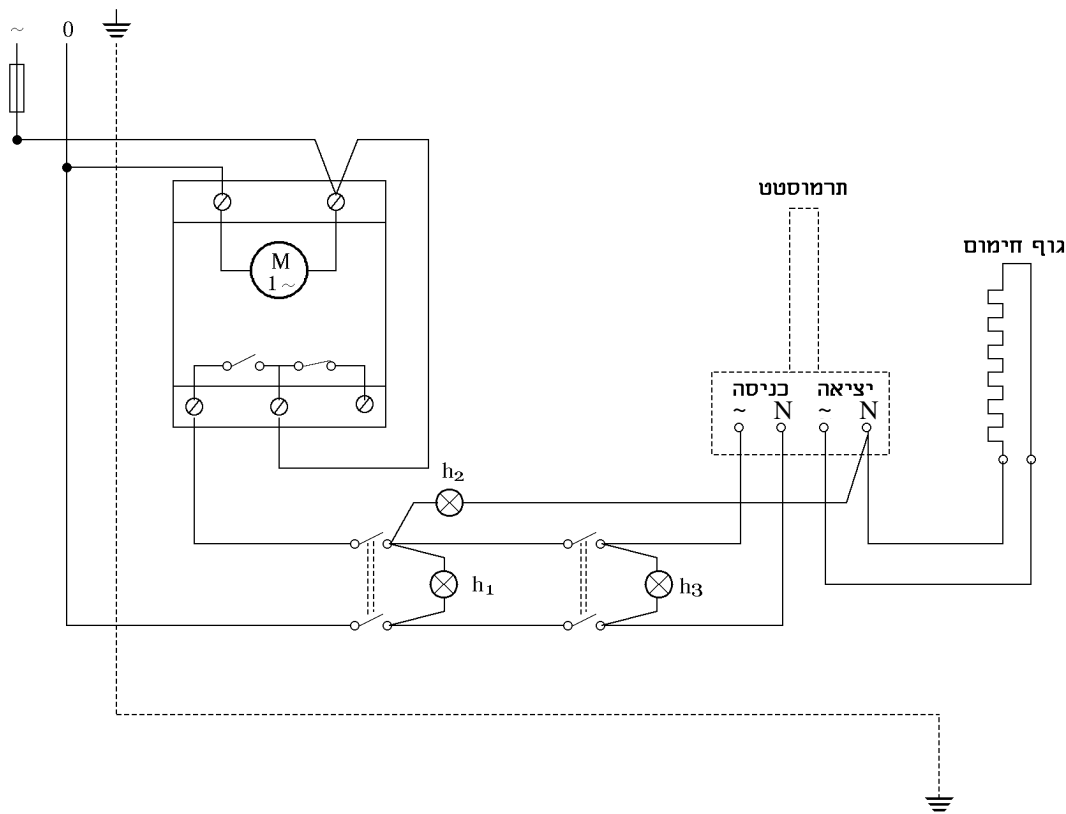




ב. התרשים החד-קווי.

### פתרון שאלה 4

א.



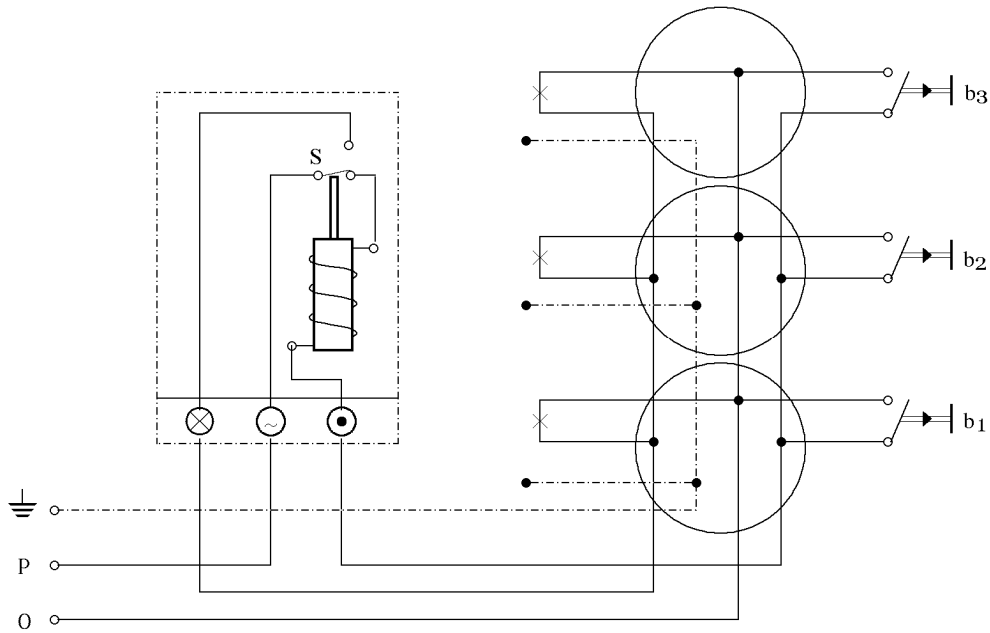
ב. לרשת מחובר שיעון שמחבר את קו המופע בין השעות 10 בלילה עד 6 בבוקר. לאחר מכן מחובר מתג דו-קוטבי למיתוג המופע והאפס המותקן בדירה. נורית  $h_1$  מסמנת שהמתג בתוך הדירה מופעל. מתג דו-קוטבי נוסף מותקן בקרבת הדוד, נורית  $h_3$  מסמנת שמתג זה מופעל. גוף החימום של הדוד מחובר דרך תרמוסטט. נורית  $h_2$  מסמנת שהתרמוסטט בפעולה. הדוד מאורק.

אמצעי הבטיחות שנקטו:

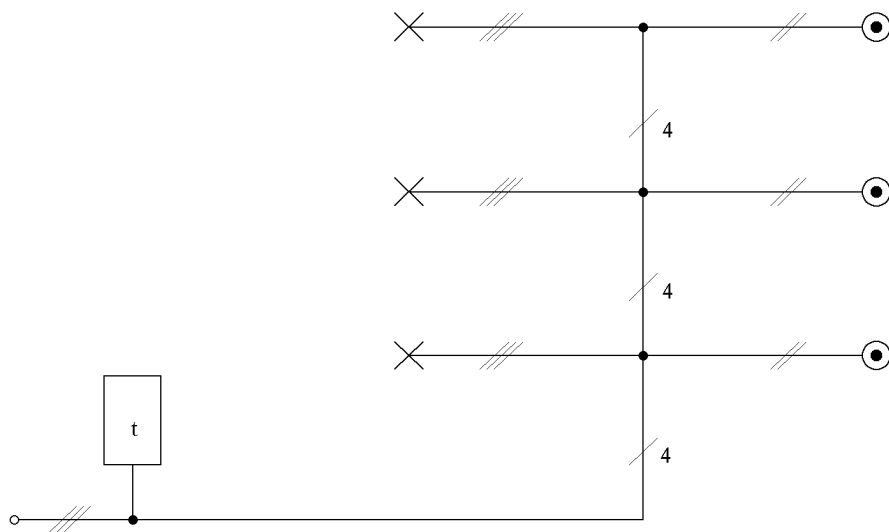
- (1) שימוש במתג דו-קוטבי למיתוג האפס והמופע.
- (2) נורית סימון  $h_1$  מסמנת שמגיע חשמל לדוד.
- (3) שימוש בתרמוסטט המונע התחממות יתר.
- (4) הארקה הדוד.
- (5) שימוש במתג דו-קוטבי נוסף בקרבת הדוד המבטיח ניתוק הדוד בזמן הטיפול בו על ידי איש התחזוקה.

**פתרון שאלה 5**

א. תוכנית רב-קווית.



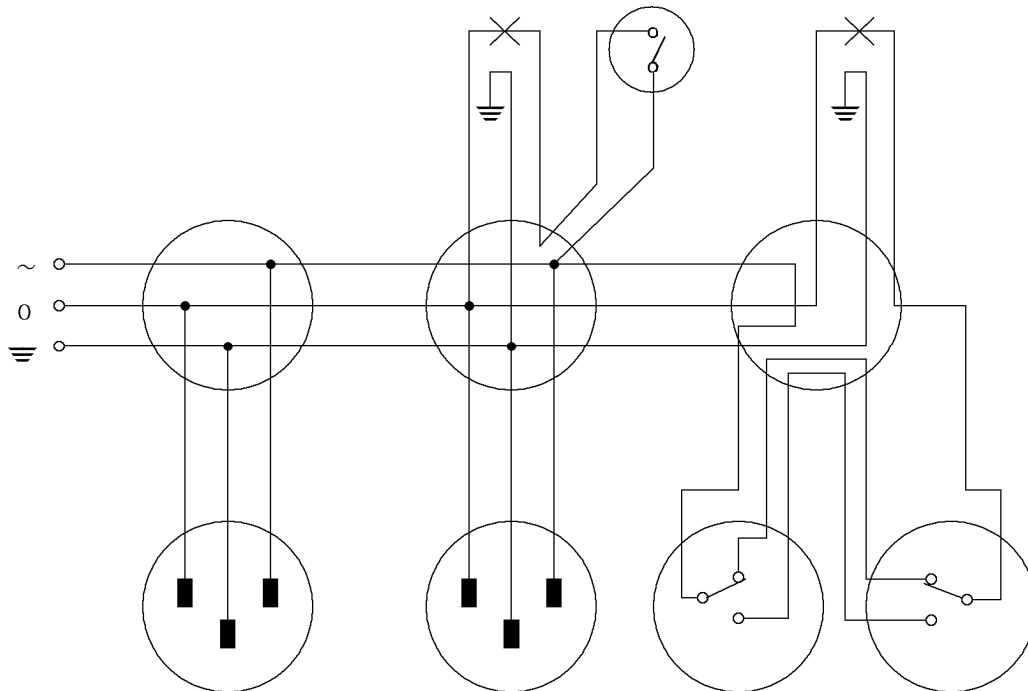
תוכנית חד-קווית.



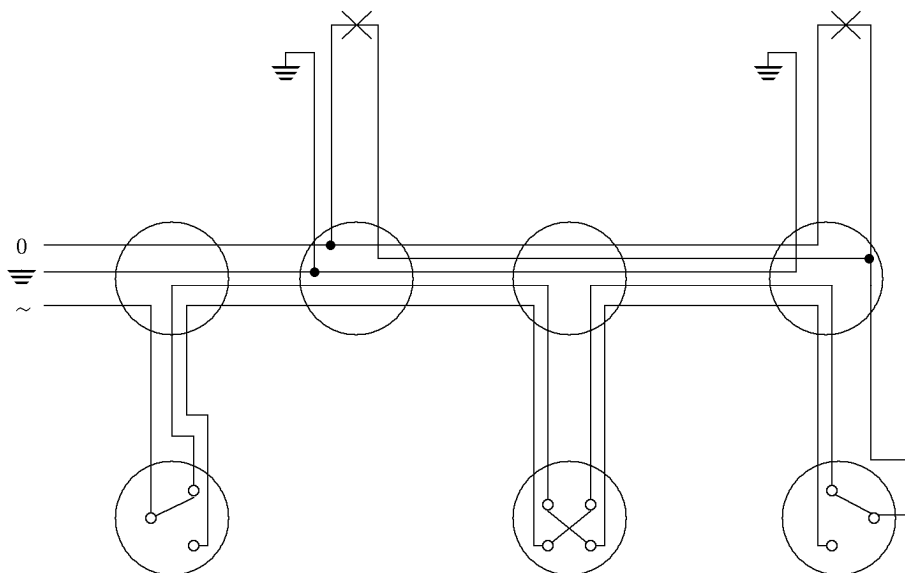
ב. בממסר השהיה תרמי, הלחיצה על לחיץ התאורה גורמת לזינת סליל חימום, המחמם אלמנט דו-מתכת (Bi-metal). חימום אלמנט זה גורם לו להתארך וללחוץ על המגע (S), הסוגר את מעגל הזינה של נורות התאורה. בו בזמן שמעגל הזינה לנורות נסגר, מתנתק סליל החימום והדו-מתכת מתקרר וחוזר (לאחר השהיה) למצבו הקודם. במצב זה נפתח המגע למעגל המאור והאור כבה.



**פתרון שאלה 6**

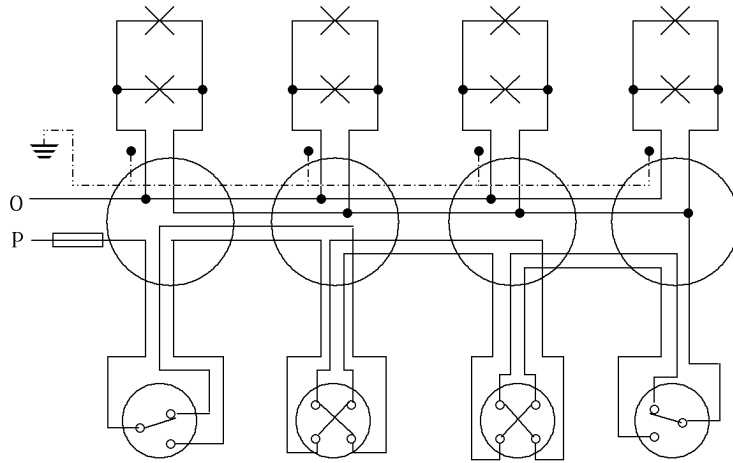


**פתרון שאלה 7**

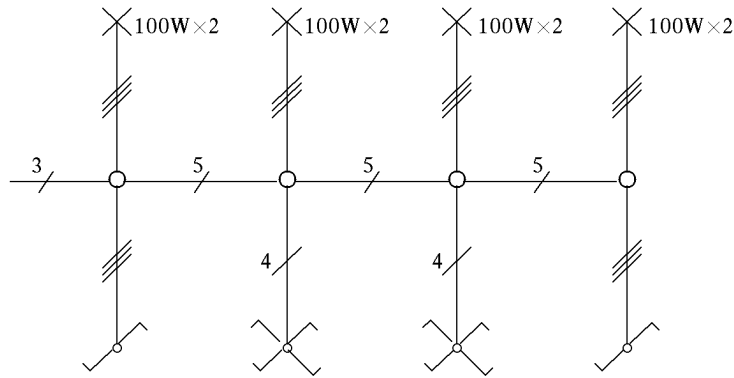


**פתרון שאלה 8**

א. התרשים הרב-קווי.



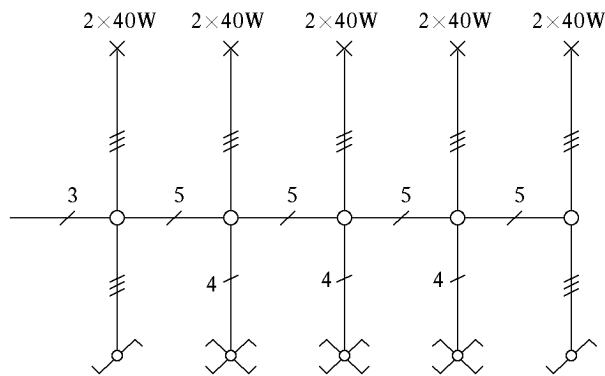
ב. התרשים החד-קווי.



ג. שטח חתך המוליכים הוא:  $1.5\text{mm}^2$   
קוטר הצינורות הוא:  $16\text{mm}$

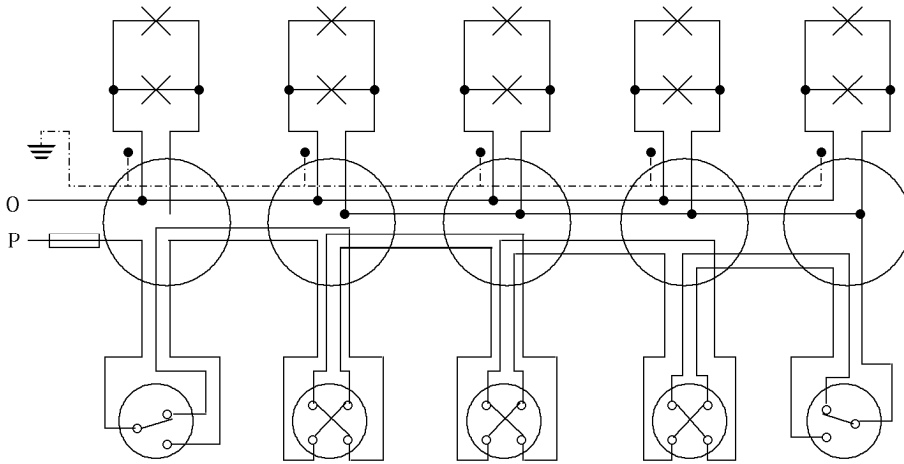
**פתרון שאלה 9**

א. התרשים החד-קווי.



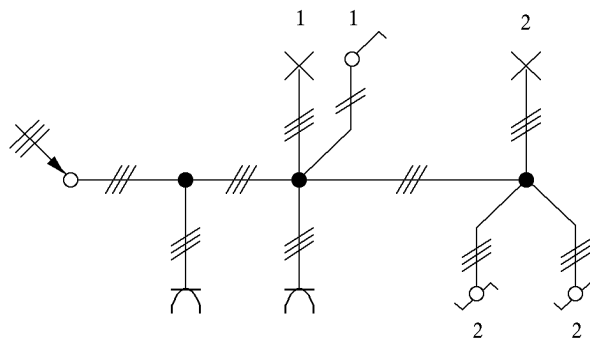
שטח חתך המוליכים הוא:  $1.5\text{mm}^2$   
קוטר הצינורות הוא:  $16\text{mm}$

ב. התרשים הרב-קווי.

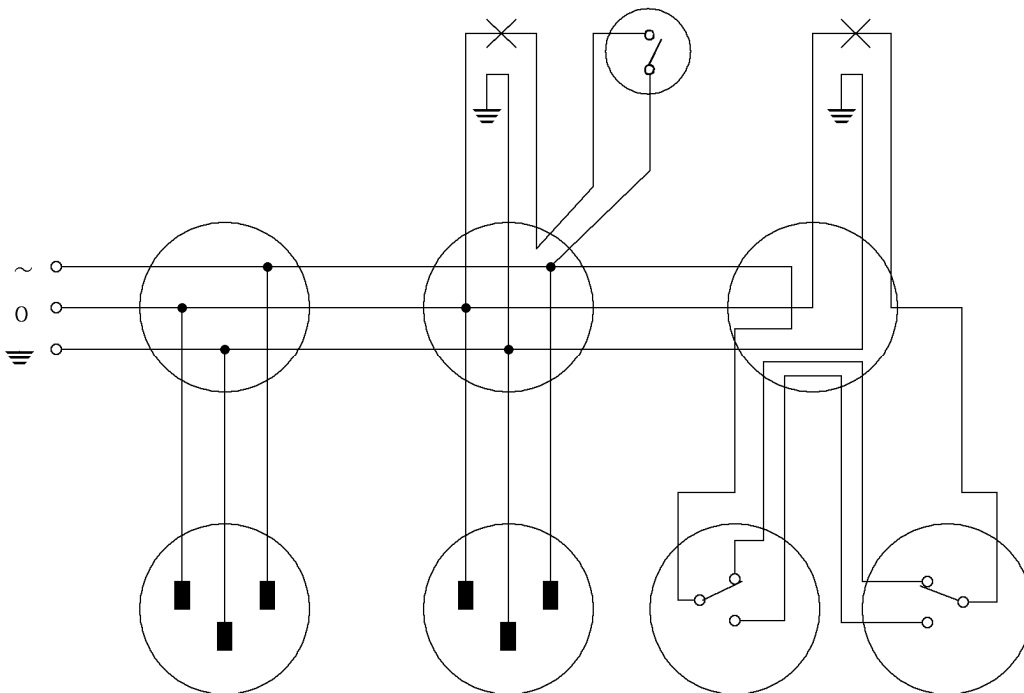


פתרון שאלה 10

א.

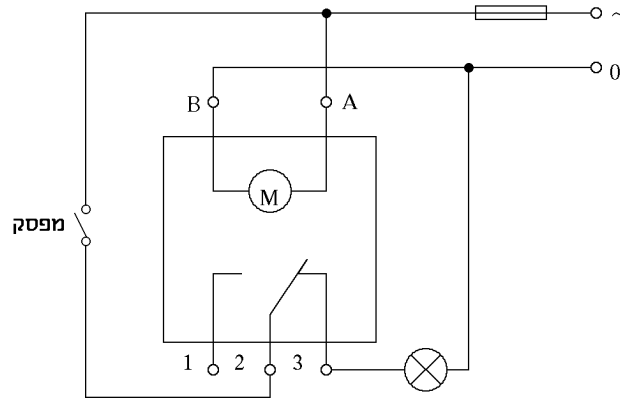


ב.

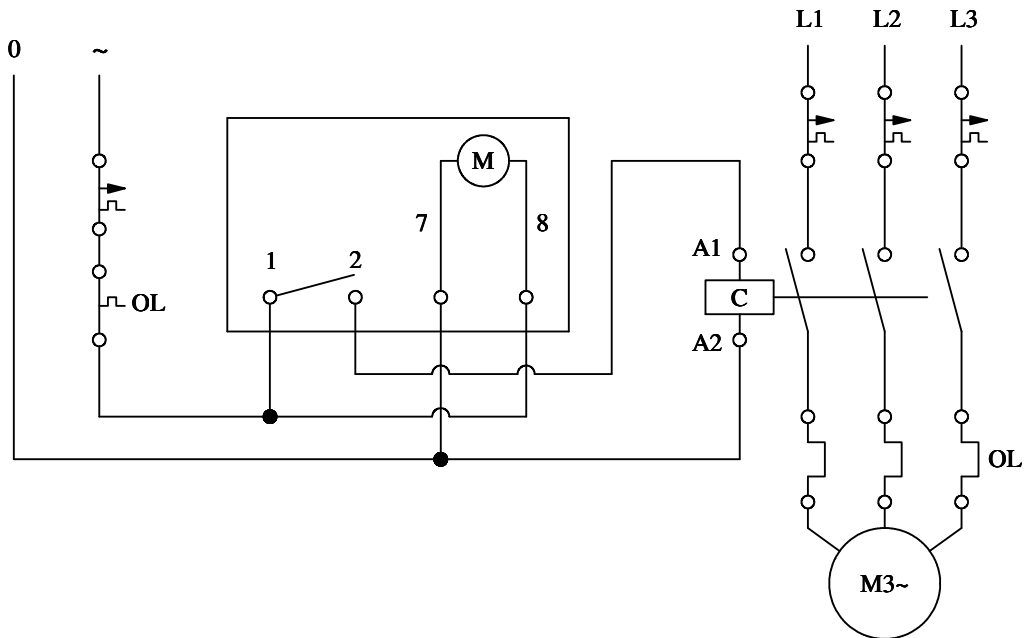


פתרון שאלה 11

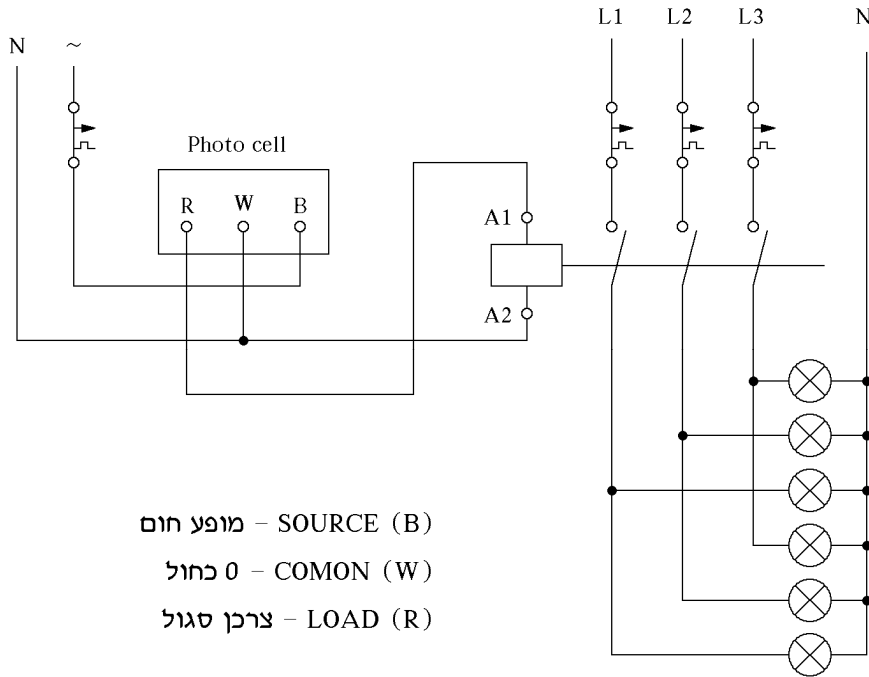
א.



ב.

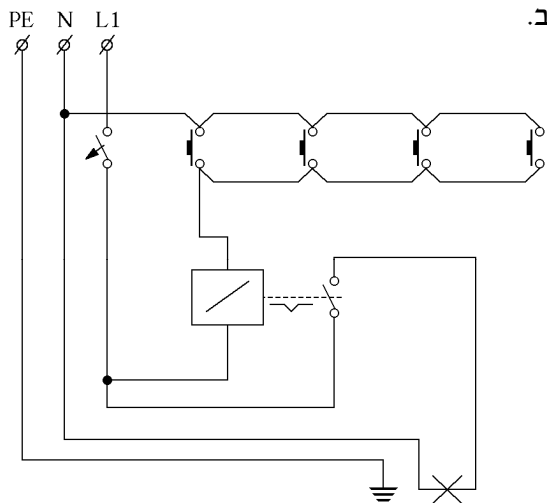


פתרון שאלה 12

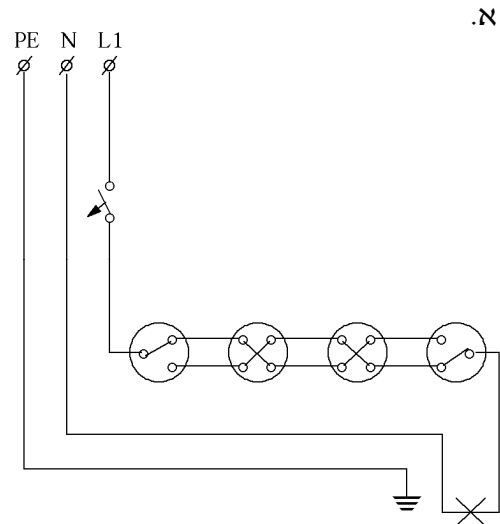


SOURCE (B) – מופע חום  
 COMMON (W) – כחול 0  
 LOAD (R) – צרכן סגול

פתרון שאלה 13



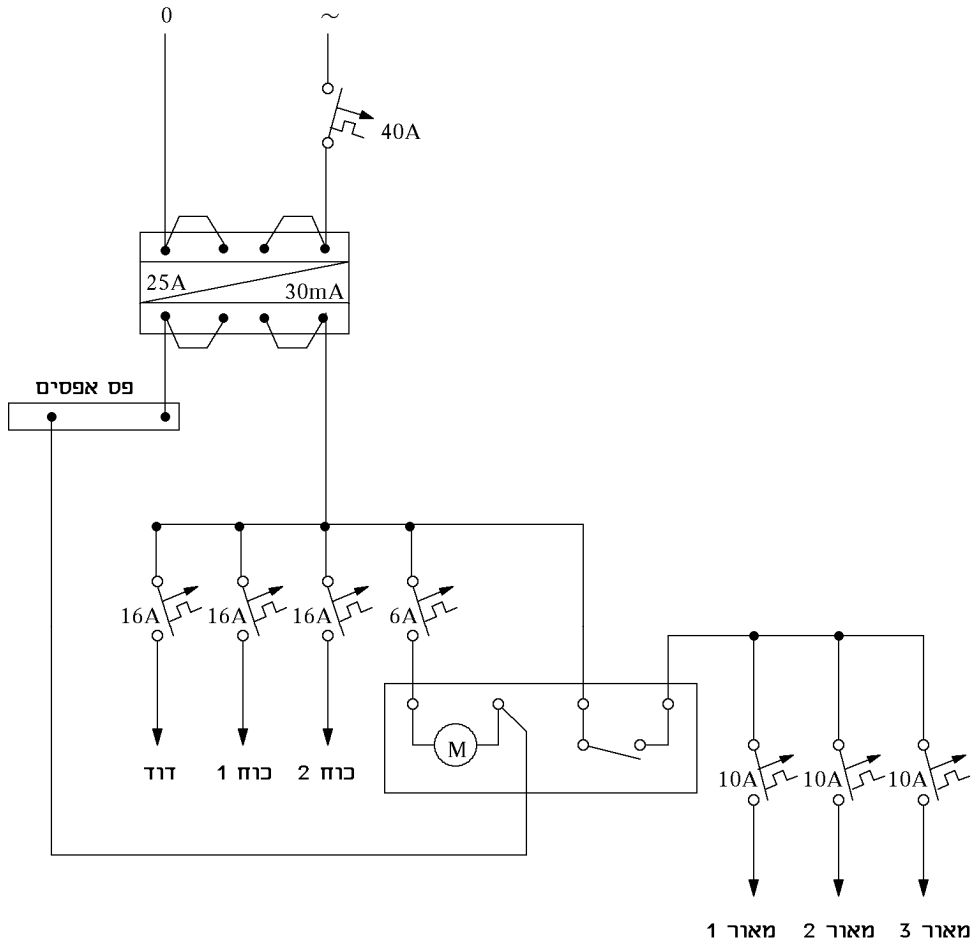
ב.



א.

- ג. 1) במעגל הכולל ממסר צעד, הלחצנים ממתגים את ה"אפס" ולכן המעגל בטיחותי יותר. אפשר גם לעבוד במתח נמוך מאוד ואז הבטיחות מירבית.
- 2) העלות הכוללת במעגל עם ממסר צעד נמוכה יותר.
- 3) במעגל עם מפסקים ניתן להעביר זרם של 10A בעוד שבממסר צעד אפשר להגיע לזרמים גבוהים יותר.
- 4) אורך החיים של מעגל עם ממסר צעד גדול יותר מאשר מעגל עם מפסקים.

פתרון שאלה 14

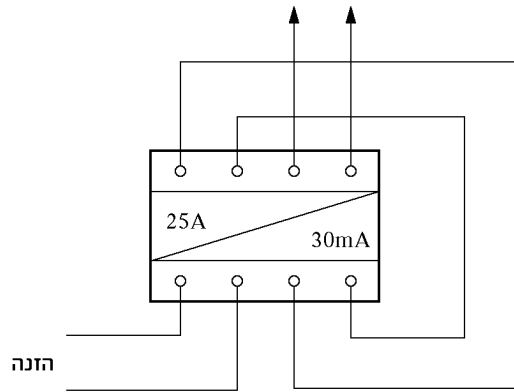


הערות:

1. אפשר גם ללא הגנה על שעון המיתוג.
2. אפשר להוסיף ממסר נוסף על השעון בטור לשלושת מעגלי המאור, אם הם צורכים יחד יותר מ-16A.

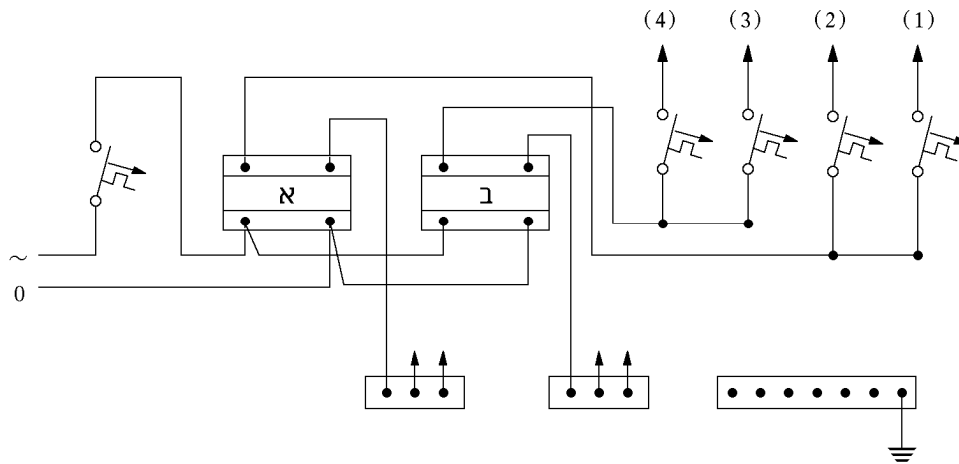
**פתרון שאלה 15**

- א. המגבלות הן:
- אין לחבר ליציאה של השנאי יותר מצרכן אחד
  - מתח ראשוני (הזנה) עד 1000V בלבד
  - מתח היציאה מהשנאי לא יותר מ- 250V
  - אין להאריק את היציאה מהשנאי.
- ב. בשל הסכנה ל"נגיעה מקרית", בנוסף להתקנת השקעים בגובה 1.8 מטר מהרצפה, רצוי לחבר את ממסר הפחת בחיבור "הכפלת רגישות".



חיבור ממסר לזרם דלף תלת-מופעי של 30mA ברשת חד-מופעית להכפלת הרגישות ל-15mA

**פתרון שאלה 16**

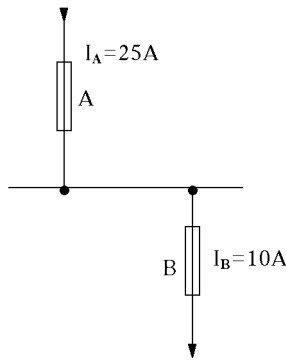


חובה לפצל את פס האפסים.

## פתרונות לנושא 2

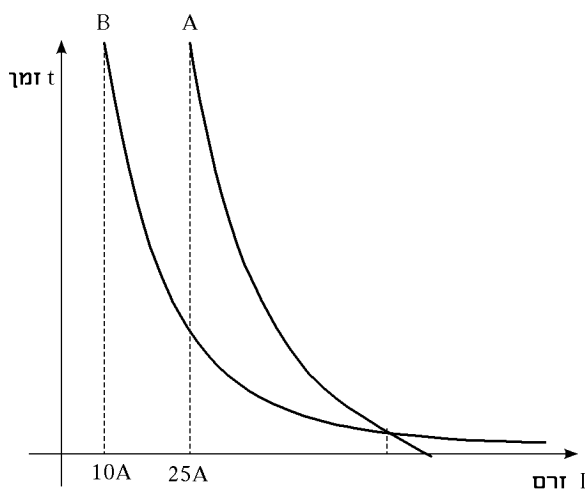
### פתרון שאלה 2

סלקטיביות הינה היכולת לבצע ניתוק הזרם, במקרה של זרם יתר או זרם קצר, על-ידי ההגנה הקרובה ביותר למקום התקלה ובמעגל התקלה. זאת ללא ניתוק של צרכנים אחרים שאינם תלויים במבטח הקרוב לקצר. סלקטיביות מושגת על-ידי תכנון נכון של מערך המבטחים ובחירת מבטחים בעלי עקומות ניתוק מתאימים.

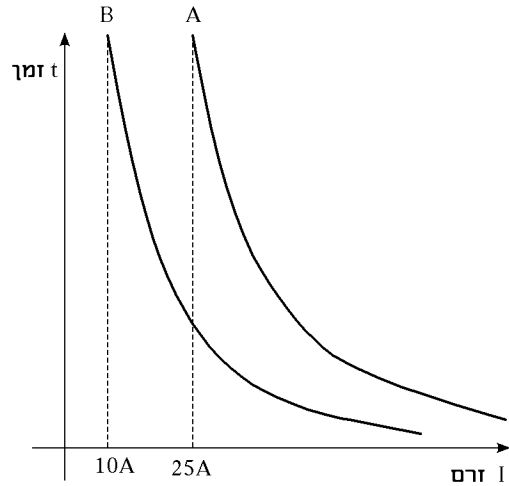


נבדוק את הסלקטיביות בין הנתיכים A ו-B המחוברים בטור. קיימת סלקטיביות בין 2 הנתיכים אם עקומות הניתוק אינן מצטלבות (איור 1).

לפי העקומות (איור 2) קיימת סלקטיביות חלקית רק בתחום של ההגנות התרמיות (בתחום זרמי יתר).



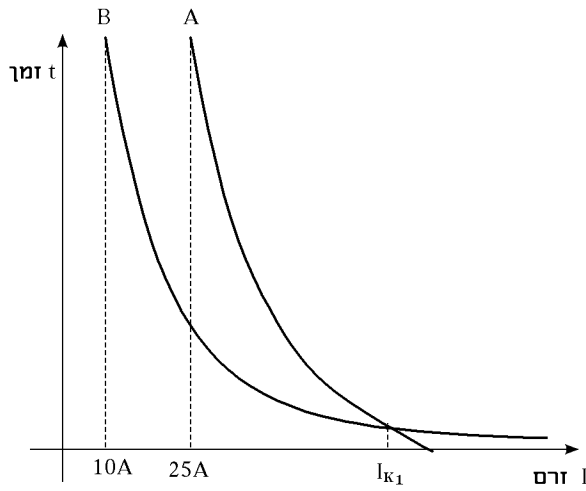
איור 2



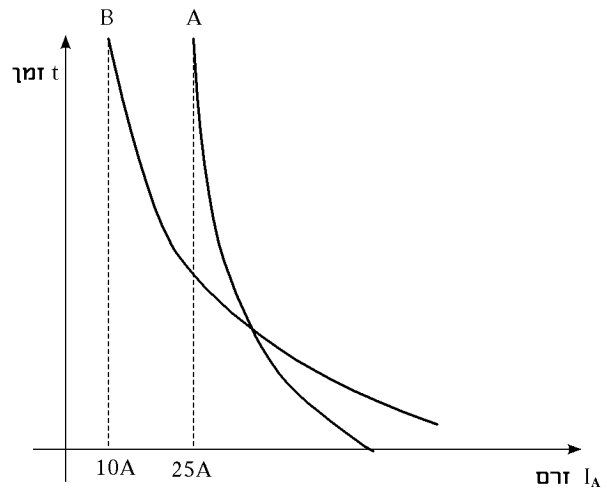
איור 1



אין סלקטיביות במקרה זה (איור 3).  
 אם זרם הקצר במתקן קטן מהערך  $I_{K1}$ , המתאים לנקודת הצטלבות, קיימת סלקטיביות (איור 4).



איור 4

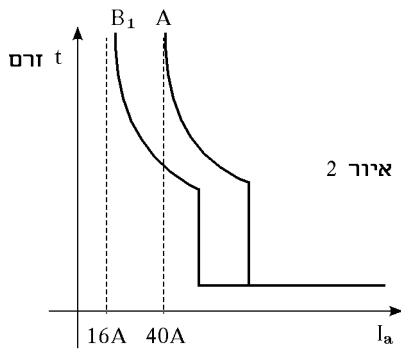


איור 3

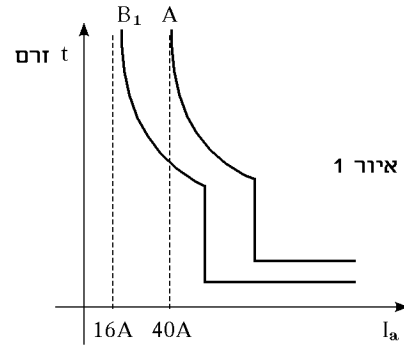
### פתרון שאלה 3

איור 1:  
 קיימת סלקטיביות מפני ששתי העקומות אינן מצטלבות בשום נקודה. כל קצר שמופיע באחד מהמעגלים B1, B2 גורם לניתוק מפסק B לפני מפסק A.

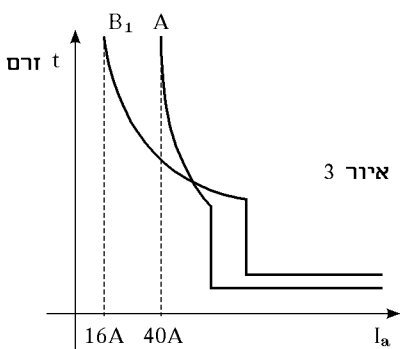
איור 2:  
 במקרה זה קיימת סלקטיביות חלקית – רק בתחום זרמי יתר. במקרה של קצר, שני המפסקים A ו-B1 מנתקים בו בזמן.



איור 2



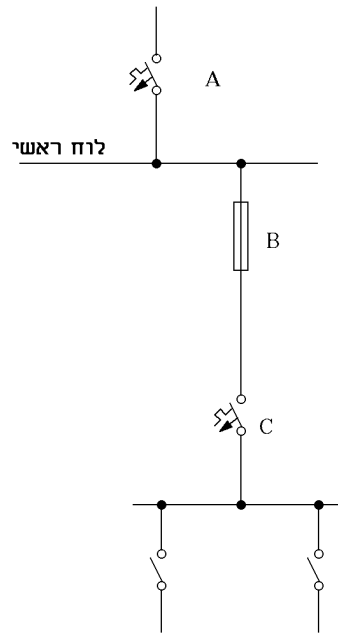
איור 1



איור 3

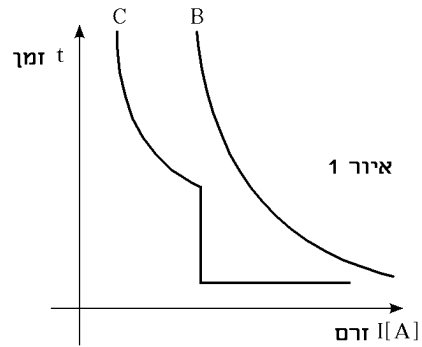
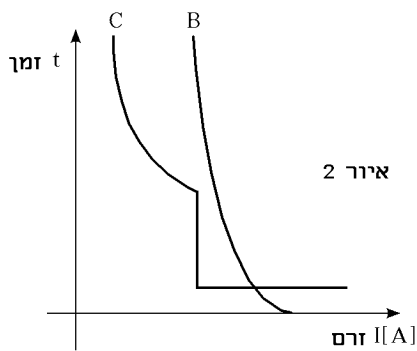
איור 3:  
 באיור זה מתואר מקרה של אי-סלקטיביות.

פתרון שאלה 4



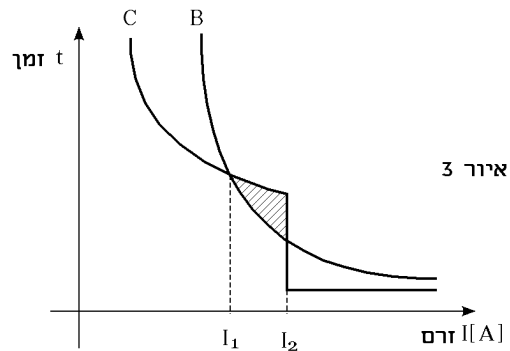
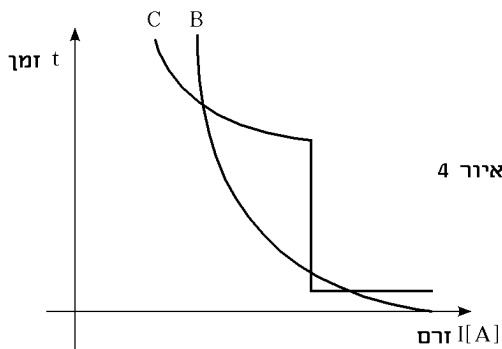
א. נדון תחילה על הסלקטיביות בין מפסק C לבין הנתיך B. קיימת סלקטיביות בין מפסק לנתיך (איור 1).

קיימת סלקטיביות חלקית רק בתחום של זרמי יתר (איור 2).

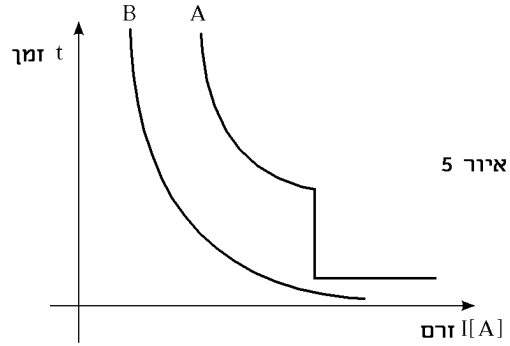
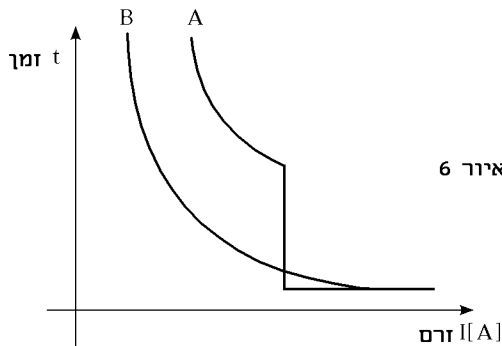


אין סלקטיביות לזרמי תקלה בעלי ערך עד  $I_1$ . לכל זרם תקלה אחר יש סלקטיביות (איור 3).

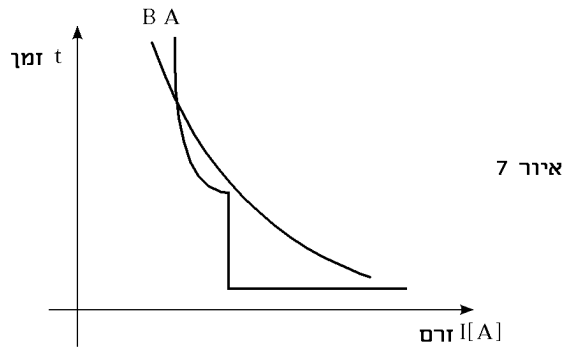
אין סלקטיביות בין שתי הגנות (איור 4).



- ב. סלקטיביות בין הנתיד B למפסק חצי-אוטומטי A. קיימת סלקטיביות בין שתי הגנות (איור 5).  
קיימת סלקטיביות חלקית רק בתחום זרמי-יתר. במקרה של קצר, שני המפסקים מנתקים בו בזמן את המעגל (איור 6).



אין סלקטיביות (איור 7).



### פתרון שאלה 5

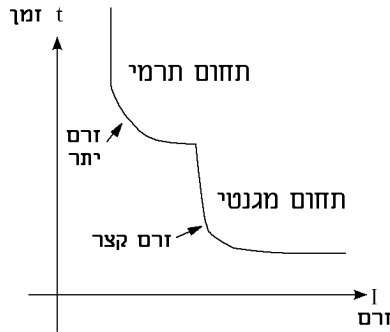
- א. בשיטת "בידוד מגן", המיועדת למכשירים מטלטלים, מבודדים את המכשירים בצורה המבטיחה שגוף המכשיר לא יקבל מתח בעת תקלה. במכשירים כאלה עדיף שלא יהיה עוד מוליך, העלול לזוז מקומו ולגעת במתח.  
במתח נמוך מאוד, המתח אינו מסכן את האדם המשתמש בו. זאת כיוון שמתח נמוך מ-50V אינו יכול לפתח זרם מסוכן לחיי האדם, לכן אין צורך במוליך הארקה.  
בשיטת הפרד מגן, יש הפרדה חשמלית בין הצרכן להזנה, לכן בעת תקלה לא ייסגר מעגל חשמלי ואין נשקפת סכנה למשתמש. יש להאריק את גוף השנאי כדי להבטיח שתקלה בשנאי לא תגרום להתחשמלות המשתמש.  
ב. שיטת הפרד מגן טובה רק לצרכן אחד. זאת משום שיכול להיווצר מצב בו יהיה הפרש פוטנציאלים בין שני מכשירים המחוברים לאותו שנאי משתמש שיגע בשני המכשירים יחד, יסגור מעגל בין שניהם. (אחרי השנאי מבדל אין משמעות איזה מוליך פזה ואיזה אפס). לכן מותר השימוש בשיטת הפרד מגן רק למכשיר אחד.

### פתרון שאלה 6

- יש לנתק את כל המעגלים בלוח הדירה ולחבר את ממסר הדלף:  
א. אם מפסק המגן מתנתק, יש לבדוק את בעיית הבידוד בלוח, או את תקינות ממסר הדלף.  
ב. אם מפסק המגן נשאר מחובר (אינו מתנתק), יש להחזיר את ההזנה למעגלים (חיבור המאמ"תים זה אחר זה) עד שיתגלה המעגל הפגום.  
אם הניתוק פותר את הבעיה ומצביע על המעגל הפגום, יש לבדוק את המכשירים הניזונים ממעגל זה ולאתר את המכשיר הפגום הגורם לניתוק מפסק המגן.  
אם הניתוק (והחיבור הסלקטיבי אחריו), אינו פותר את הבעיה, סביר להניח שהתקלה נמצאת:

- 1) במעגל (מאמ"ת, מוליכים, שקע) או
- 2) במעגל (תקע, מוליכים, מכשיר).
- 3) כנראה בידוד נמוך בין ה"פזה" ל"הארקה".

### פתרון שאלה 7

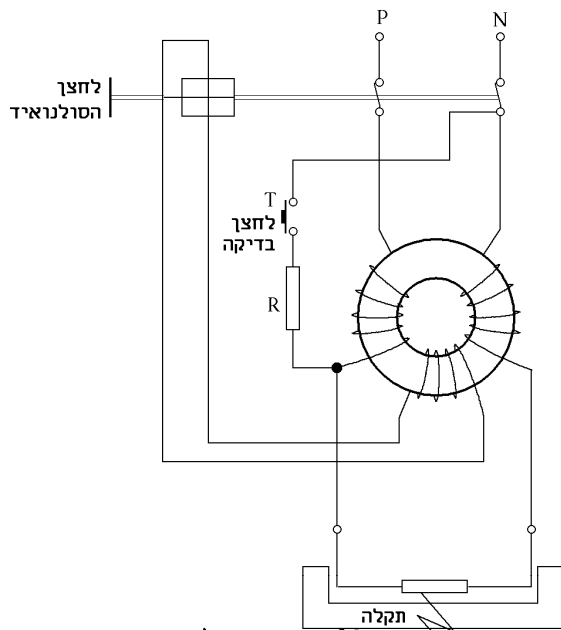


המאמ"ת פועל על שני עקרונות, התרמי והמגנטי. העיקרון התרמי, מבוסס על תגובת ה-bimetal לשינוי טמפרטורה. שתי מתכות צמודות, המתפשטות בחימום, באופן שונה וכך נוצר כליפוף המקפיץ את המפסק ומפסיק את הזרם. תחום זה טוב לזרמי יתר שהם זרמים גדולים מהמותר במשך זמן ארוך יחסית. למשל, בהתנעת מנוע אין צורך שההגנה תנתק מיד את המתח כיוון שהזרם גבוה רק בהתנעה.

התחום המגנטי פועל על סולנואיד והוא תחום מהיר הרבה יותר מהתחום התרמי ושימושי

לזרמי הקצר, בהם יש צורך בניתוק מידי של המעגל לפני שייגרם נזק משמעותי למערכת.

### פתרון שאלה 8



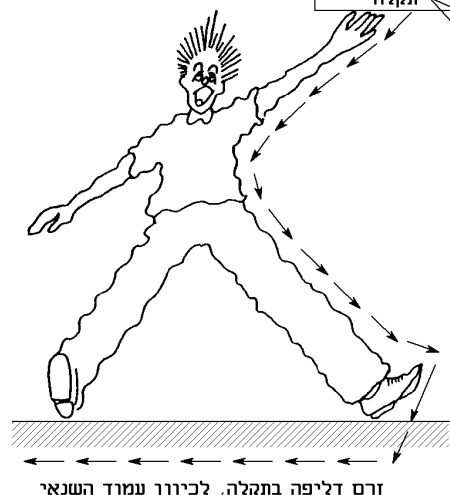
- א. כן. בתיקון לתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1000 וולט) שהתפרסם בק"ת 5619 ב-23.8.94 ונכנס לתוקף החל מ-23.8.95, התפרסמה חובת ההתקנה של מפסק מגן בלוח החשמל הדירתי של דירות מגורים.

בתקנה 29 לתקנות העיקריות בסעיף ד' נקבע: "לוח במיתקן דירתי יצויד במפסק מגן, אחד או יותר, כך שכל מעגל סופי במתקן יוגן בפני זרם דלף העולה על 0.03 אמפר; מפסק המגן האמור יותקן בין המפסק הראשי לבין מבטחי המעגלים הסופיים, אך יכול שהוא יהיה יחידה משולבת עם המפסק הראשי".

- ב. מפסק המגן מורכב משני סלילים או שני מוליכים שעוברים בטבעת מגנטית. האחד הפאזה (המופע) והאחר האפס. כל עוד אין תקלה, זרם המופע שווה לזרם הזורם דרך האפס והשטף שיוצר אחד הסלילים מבטל את השטף המגנטי של הסליל האחר משום שכיוון הליפוף מנוגד.

כאשר נוצר חוסר איזון, כלומר, הזרם במופע שונה מהזרם באפס, בדרך כלל בהבדל של 30mA ומעלה. ייווצר שטף מספיק בסליל של הסולנואיד שינתק את המפסק ויפסיק את פעולת המעגל.

להפעלה חוזרת צריך ללחוץ על לחצן הסולנואיד. מפסק המגן מכיל גם לחצן בדיקה עם נגד, שגורם באופן מלאכותי לחוסר איזון מגנטי בטבעת וזאת כדי לבדוק את תקינות הפחת.



## פתרון שאלה 9

**מתח נמוך מאוד** – מתח הנמוך מ-50V, משמש לרוב במכשירי אלקטרוניקה או במקומות בהם רוצים לעבוד במתח שאינו מסכן חיי אדם.

**מתח נמוך** – בין 50V ל-1000V, שימושי בדירות באזורי מגורים ובצרכנים המופעלים יום-יום. המתח הנמוך, הנפוץ בארץ, הוא 380V-400V מתח שלוב או 220V-240V מתח מופעי.

**מתח גבוה** – מתח שבין 1000V ל-100,000V, שימושי להעברת הספק מתחנות ההשנאה והחלוקה עד לשנאי שעל העמוד ליד הבית. במתח גבוה, הזרם נמוך והפסדי ההספק בקו  $\Delta P = I^2 \cdot R$  נמוכים יחסית, עם זאת הוא אינו מתח עליון ולכן הוא מגיע עד השנאי ליד הבית.

בדרך כלל, הגנרטור בתחנת הכוח מייצר גם מתח גבוה של כ-20KV, המגיע עד לתחנת ההשנאה הקרובה לגנרטור.

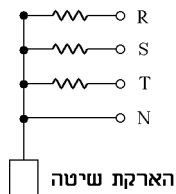
הערכים השימושיים ברשתות הישנות הם 6KV; היום, ברשתות תת-קרקעיות, המתח הנפוץ הוא 12.6KV. ברשתות עיליות נפוץ ביותר בארץ מתח שלוב של 22KV ובנגב ובערבה – 33KV.

**מתח עליון** – מתח שמעל 100,000V שימושי ברשת הארצית, במוליכים המעבירים הספק ענק למרחקים ארוכים (עשרות ומאות קילומטרים). ברשתות כאלה, שאינן נמצאות בדרך כלל באזורים מיושבים, חשוב מאוד שיהיה מתח גבוה ככל שניתן וזרם נמוך עד כמה שאפשר. זאת כדי לחסוך בשטח החתך של המוליכים, משקל המוליכים והפסדי ההספק לאורך הקווים.

המתחים הנפוצים בארץ הם 110KV, 161KV, 400KV (מתחים שלובים), באירופה ובארצות הברית יש מתח על של 700KV בגלל המרחקים הגדולים.

## פתרון שאלה 10

## הארקת שיטה:



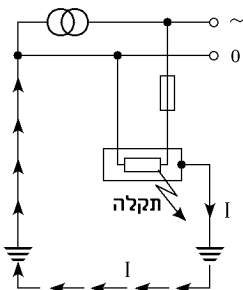
רוב הרשתות בנויות כך שמוליך האפס הוא פוטנציאל האדמה. מוליך האפס של המחוללים בתחנת הכוח והשנאים בתחנות החלוקה מחוברים לאלקטרודות הארקה, הנמצאות בתוך האדמה. כך מייצבים את המתח כלפי האדמה, מגינים מפני חדירת מתח גבוה לרשת ומאפשרים פעולות נגד התחשמלות.

## הארקת יסוד (איפוס):

מגשרים מבחינה חשמלית בין כל יסודות הבניין ומאריקים אותם. הבטון הנו מוליך חשמל טוב יחסית ויש לו מגע טוב עם האדמה.

מחברים את אלקטרודות הארקה היסוד עם כל חלקי המתכת לפס השוואת פוטנציאלים. בעבר נהגו להאריק לצנרת המים, כיום, רוב צנרת המים עשויה מחומר מבודד (PVC).

## הארקת הגנה:



במקומות בהם אין הארקה יסוד משתמשים בהארקת הגנה. חלקי המתכת של המכשירים מחוברים למוליך האדמה, המחובר לאלקטרודה שטמונה באדמה. בעת תקלה ייסגר מעגל דרך האדמה לעמוד השנאי. יעילות השיטה תלויה בהתנגדות האדמה והתנגדות המגע עם האלקטרודה. התנגדות זו גדולה, בדרך כלל, ממוליכי המתכת בשיטת האיפוס.

### פתרון שאלה 11

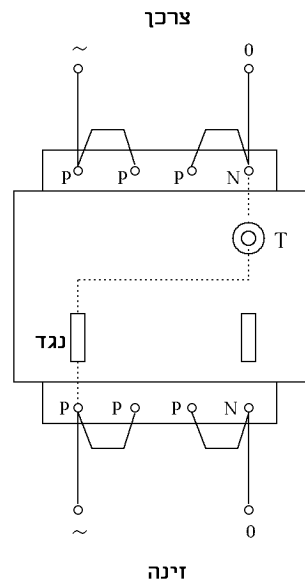
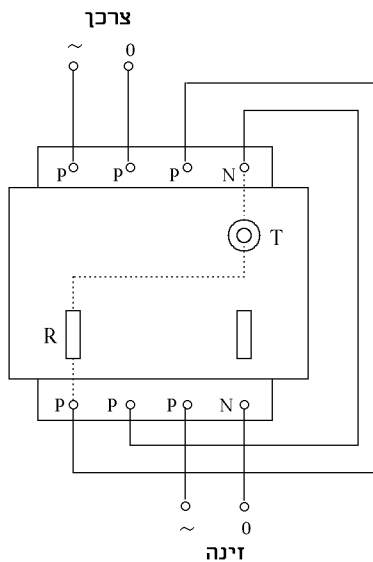
לאחר ניתוק כל המאמ"תים המזינים את המעגלים בדירה מחברים את המאמ"ת הראשי.

- א. אם המאמ"ת הראשי אינו מתחבר, מנסים לבדוק אם יש, ביציאה שלו, קצר בין ה"פאזה" ל"אפס" או להארקה וכן את תקינות המאמ"ת בעצמו.
- ב. אם המאמ"ת הראשי מתחבר, מחברים את המאמ"תים המזינים את המעגלים השונים עד שמגיעים למאמ"ת הפגום.
- 1) במקרה שמאמ"ת המעגל הפגום מתנתק מיד עם חיבורו, מנתקים את הצרכנים המחוברים למעגל זה, ועל-ידי חיבור חוזר (סלקטיבי) של הצרכנים התקינים, מגיעים לצרכן הגורם לקצר.
- 2) אם לא נמצאו מכשירים פגום/ים והמאמ"ת ממשיך להתנתק, יש לבדוק אפשרות של קצר ביציאת המאמ"ת, במוליכים, בתקעים, וכאמור, יש לבדוק את תקינות המאמ"ת עצמו.

### פתרון שאלה 12

- א. שימוש במפסק מגן תלת-מופעי במעגל חד-מופעי

- ב. הכפלת הרגישות במקום 15mA ל-30mA.



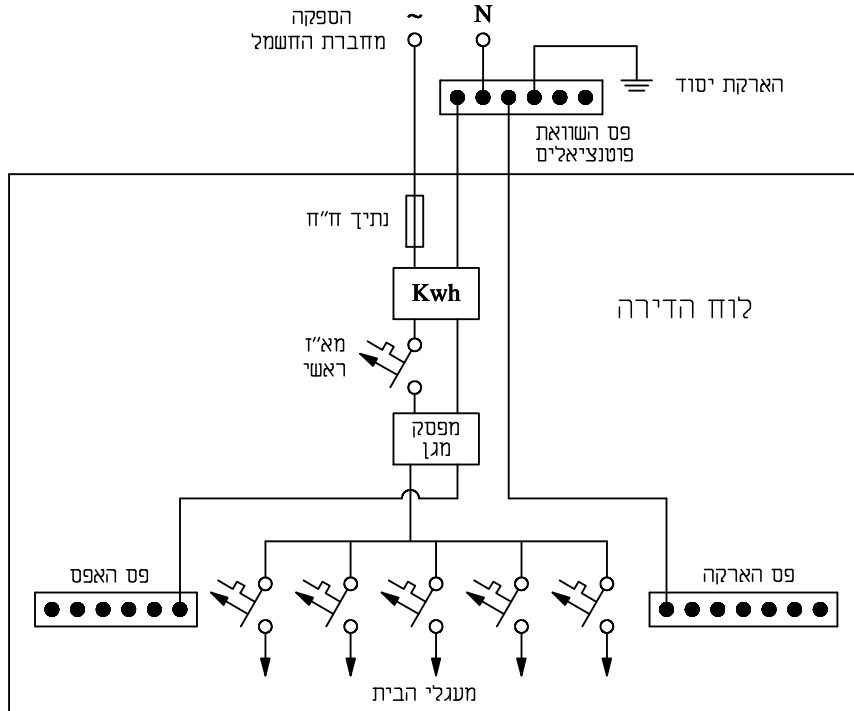
- ג. השימוש במפסק מגן מותר כהגנה בלעדית נגד חישהול במקרים אלה בלבד:

- 1) באתר בניה, בקרון מגורים, במבנה ארעי או במיתקן ארעי אחר.
- 2) במבנה שבו השתמשו בהגנה על-ידי הארקה (TT) ומסיבה כלשהי הגנה כאמור אינה ממלאה אחר דרישות תקנות אלה ולא ניתן להשתמש במיתקן כאמור בהגנה על-ידי איפוס (TN-S, TN-C-S).
- 3) במבנה שבו קיימת הארקה יסוד כאשר לא ניתן לבצע בו איפוס (TN-C-S), ועכבת לולאת התקלה או ההתנגדות למסה הכללית של אדמה אינן מאפשרות הגנה על-ידי הארקה הגנה (TT).
- 4) בגופי תאורה המותקנים על עמודים העשויים מחומר מוליך.
- 5) במיתקנים אחרים שהתיר המנהל ובהתאם לתנאי ההיתר.

- ד. כן.

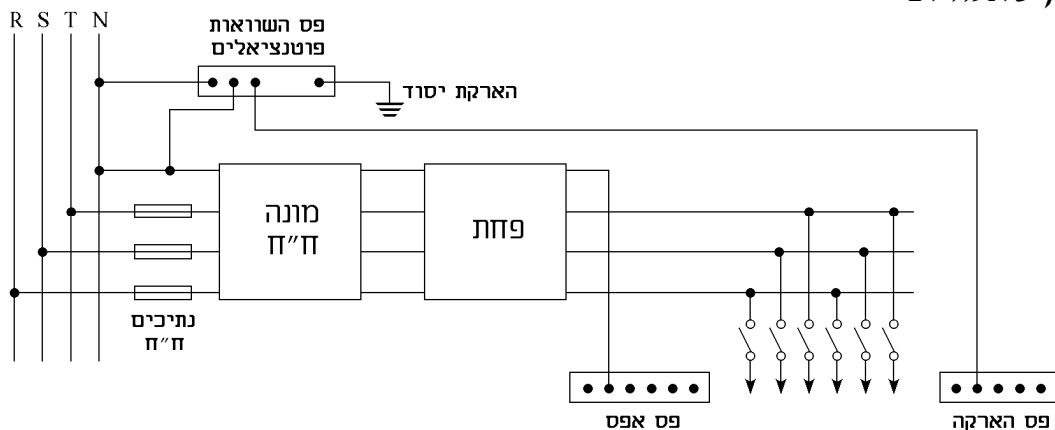
**פתרון שאלה 13**

א. בשיטת האיפוס ה"אפס", המגיע מההזנה של חברת החשמל, מחובר בכניסת הרשת למבנה, לפני הלוח, לפס השוואת פוטנציאלים. משם הוא ממשיך ללוח החשמל בצורת שני מוליכים – "אפס" ו"הארקה".  
 לפס השוואת הפוטנציאלים מחברים גם את הארקת היסוד, צינורות מים מתכתיים ועוד.



ב. שיטת האיפוס היא הנפוצה והטובה ביותר בגלל אמינותה. כמו כן, המגמה של שימוש בצינורות מים מ-PVC במקום מתכת, מגבילה אותנו בשימוש בצינורות המים כהארקה. שיטת האיפוס מבטיחה רציפות מתכתית ולא רק דרך האדמה, במקרה תקלה או התחשמלות. במבנה קיימים אפס והארקה כשני מוליכים נפרדים, בצבעים שונים ואת גופי המתכת של מכשירי החשמל מחברים להארקה בלבד. תקלת דליפת זרם דרך הארקה תגרום לאי איזון במפסק המגן וניתוק המתח.  
 מותר להשתמש בשיטת איפוס רק כאשר קיימת הארקת יסוד במבנה והתקבל אישור לכך מחברת החשמל. אסור להשתמש בשיטות האיפוס והארקת הגנה יחד באותו מבנה.

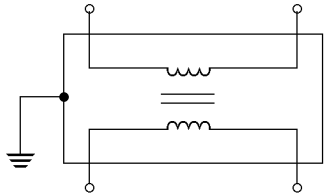
**פתרון שאלה 14**



בשיטת האיפוס אנו מחברים את מוליך האפס של חברת החשמל לפס השוואת פוטנציאליים, לפני הלוח הראשי. לפס זה תחובר גם הארקה יסוד. מהפס יוצאים שני מוליכים נפרדים – האפס וההארקה.

דבר זה מאפשר ללולאת הארקה להיות בעלת התנגדות נמוכה ועמידה בפני זרמי תקלה גדולים. זאת כיוון שהלולאה תיסגר גם דרך האדמה וגם דרך הארקה עד פס השוואת הפוטנציאליים ודרך האפס עד השנאי.

כמו כן, מאפשרת שיטה זו לעבוד עם פחת שהאפס עובר דרכו והארקה מגיעה ישירות מפס השוואת הפוטנציאליים. במקרה של התחשמלות, יחזור הזרם מהארקה או מהאדמה ולא דרך הפחת וכך יזהה הפחת זרם דולף.



ב. שיטת הפרד מגן פועלת לפי שיטת הפרדה חשמלית בשנאי. הקשר בין הליפוף הראשוני והמשני הוא על ידי שטף מגנטי ולכן לולאת תקלה אינה יכולה להיסגר. מאריקים את בית השנאי למקרה של פריצת בידוד בראשוני כך שהגוף לא יחשמל, אבל לצרכן המחובר למשני אין צורך בהארקה.

שיטה זו טובה רק לצרכן אחד, כיוון שבין שני צרכנים עלול להיווצר מתח (אם לגוף של אחד מהם מחובר המופע ולגוף של האחר אפס, כי אין משמעות מי זה מופע ומי זה אפס). לכן, נגיעה בשני הצרכנים עלולה לגרום להתחשמלות.

ג. שיטת הבידוד הכפול טובה למכשירים מטלטלים ומכשירי אלקטרוניקה. במכשירים אלו מעדיפים להימנע מחוט נוסף העלול להוות סכנה עקב התנודות ולהשתחרר. לכן, מחברים רק מופע ואפס ודואגים שחלקי המכשיר יהיו מבודדים היטב. לדוגמה גלגלי שיניים מפלסטיק במקדחה, וכדומה.

### פתרון שאלה 15

א. במוסדות ילדים יותקנו המפסקים בגובה של 1.60 מ' לפחות ובתי התקע – 1.8 מ' לפחות (המדריך לחשמלאי של אינז'י' דוניבסקי ובנו).

ב. דרגת ההגנה IPX4 פירושה הגנה מפני התזת מים (המדריך לחשמלאי של אינז'י' דוניבסקי ובנו).

ג. מספר המעגלים הסופיים למאור באולם עבודה של בית חרושת או באולם המשמש כמחסן, בעבור שטח רצפה העולה על 40 מ"ר הוא לפחות שניים (המדריך לחשמלאי של אינז'י' דוניבסקי ובנו)

### פתרון שאלה 16

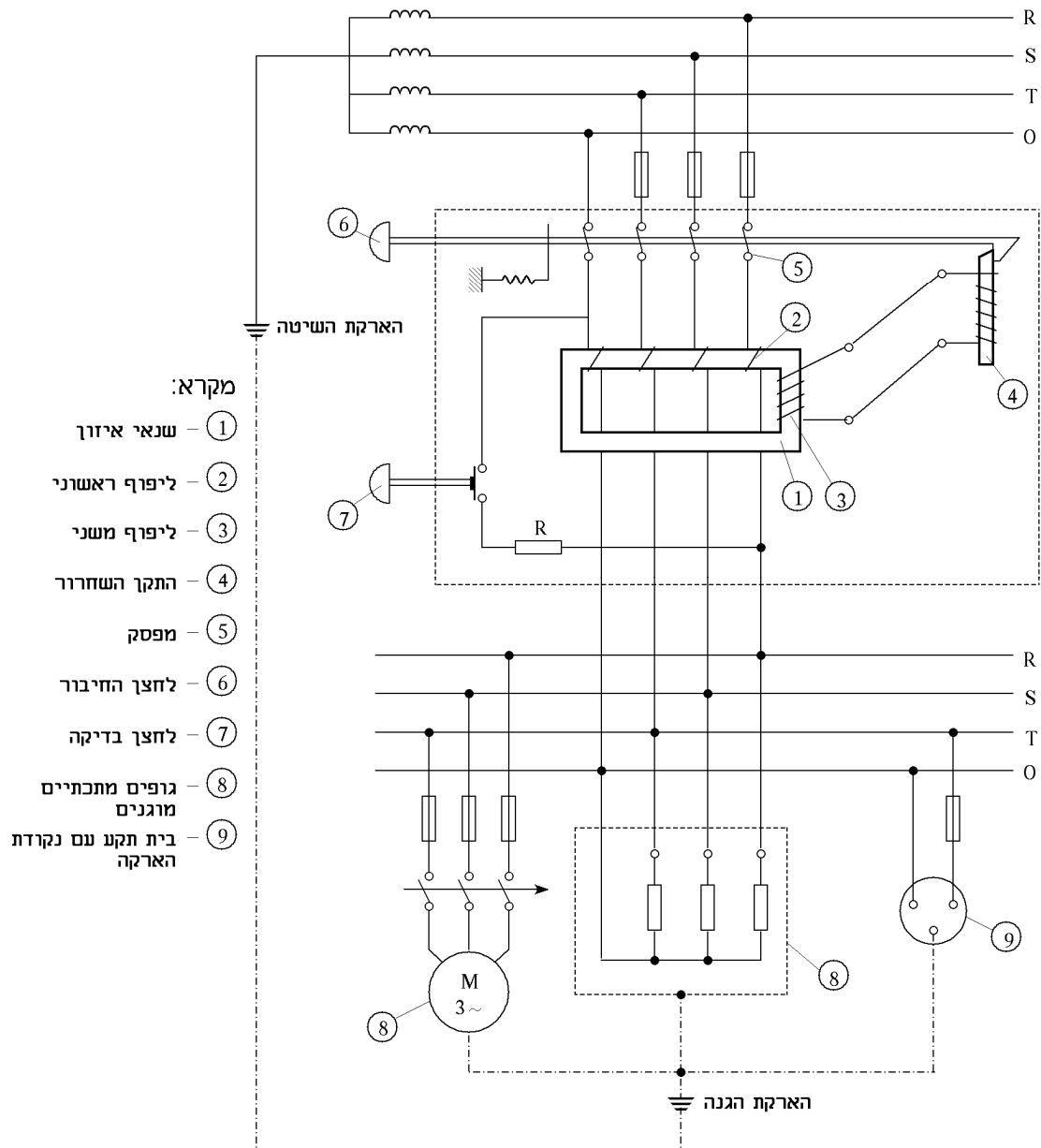
א. מותר להתקין ציוד חשמלי בחדר אמבטיה בתנאי שמחלקים את חדר האמבטיה לאזורים ובכל אזור מתקינים ציוד בעל דרגת ההגנה הנדרשת. לדוגמה באזור "0" (פנים האמבטיה) אסור להתקין ציוד חשמלי.

באזור "1" (החלל מעל ומסביב לאזור האמבטיה ברדיוס של כ-60 ס"מ), דרושה דרגת הגנה IPX5 (הגנה מפני סילון מים). באזור "2" בחלל בכיוון האופקי, 60 ס"מ מגבול "0" ו-"1", מותר להתקין ציוד בדרגת הגנה IPX4 (הגנה מפני התזה) (המדריך לחשמלאי של אינז'י' דוניבסקי ובנו).

ב. הגובה המינימלי להתקנת מפסקים ובתי תקע במתקן ביתי יהיה 25 ס"מ ואם הם בנויים באופן שעומדים בפני פגיעות מכניות ניתן להתקינם אף נמוך יותר (המדריך לחשמלאי של אינז'י' דוניבסקי ובנו).



פתרון שאלה 17



הממסר פועל על עקרון האיזון בין הזרם הנכנס למתקן לבין הזרם היוצא ממנו:  $\bar{I}_R + \bar{I}_S + \bar{I}_T = \bar{I}_0$ . בליפוף משני מושרה מתח רק במקרה של אי איזון הזרמים העוברים דרך השנאי. כלומר כשקיים קצר לאדמה או זרם פחת מבידוד פגום במעגל מוגן (דליפת זרם), זרם התקלה עוקף את השנאי וגורם לאי איזון הזרמים. המתח המשני מזרים במעגל הסליל זרם, אשר מפעיל את האלקטרומגנט (4) והמעגל נפתח. זרם פחת אשר מסוגל להפעיל את התקן השחרור נקרא זרם התנעה ונותן הערכה על רגישותו של המכשיר.

**פתרון שאלה 18**

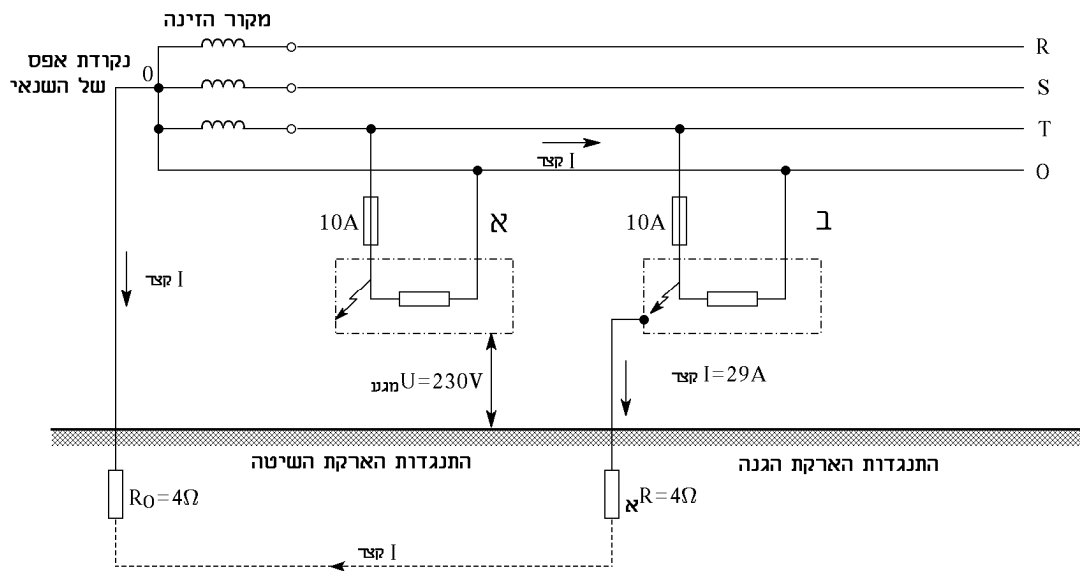
א. שיטות הגנה בפני התחשמלות הן:

- 1) איפוס.
- 2) הארקת הגנה.
- 3) מפסק מגן בזרם דלף.
- 4) מתח בטיחות נמוך מאוד.
- 5) הפרד מגן.
- 6) בידוד כפול (מגן).
- 7) זינה צפה.

אסור להתקין הארקת הגנה (הארקת מכשירי חשמל) במתקן הניזון במתח בטיחות נמוך מאוד ובמתקן המוגן על-ידי הפרד מגן, מסיבות אלה: כאשר עקב תקלה מופיע מתח במוליך האפס של המתקן, לא יופיע במתקן שאין בו הארקת שיטה מתח כלפי אדמה. נוסף לכך, במקרה של תקלה במקום אחר במתקן, שבעטיה מופיע מתח במערכת ההארקה, לא יופיע מתח זה על גוף המכשיר החשמלי שאינו מוארק.

ב. הארקת הגנה:

בהארקת הגנה מחברים לאלקטרודה גופים ומעטים מתכתיים של מכשירים ומכונות, שאינם מיועדים, בתנאים תקינים, לשמש כמוליך. עקרון הפעלתה של הארקת הגנה מוסבר בתרשים.



עקב תקלה במכשיר שאינו מאורק (מכשיר א') מופיע על גופו המתכתי מתח השווה ל-230V. במקרה כזה כל נגיעה במכשיר הפגום תגרום לסגירת המעגל על-ידי הנוגע ודרכו יעבור זרם פגיע. הזרם עלול להיות מאוד מסוכן. גם אם עוצמתו היא כמה עשרות מיליאמפרים, הוא לא יוכל להתיך את הנתיך 10A, הנמצא במעגל המוגן.

לעומת זאת, במכשיר מאורק (מכשיר ב'), במקרה של תקלה, נוצר מעגל סגור הניזון ממתח של 230V, המורכב משתי התנגדויות:  $R_x$  ו- $R_0$ . במעגל זה יזרום זרם, שעוצמתו לפי חוק אוהם, תהיה:

$$I_{\text{קצר}} = \frac{U}{R_x + R_0} = \frac{230}{4 + 4} \cong 29A$$

הזרם 29A יגרום להתכה מהירה של נתיך 10A והמעגל ינותק ממקור הזינה. יש לציין, כי לפי התקן, נתיך 10A יתנתק תוך 10 שניות, כשעובר דרכו זרם השווה ל- $2.75 \cdot I_n = 2.75 \cdot 10 = 27.5A$

בזמן קצר זה ישרור על מעטה המכשיר מתח מגע:  $V_{\text{מגע}} = I \cdot R = 29 \cdot 1 = 29V$   
 התנגדות מוליך הארקה R המחבר בין גוף מתכתי של המכשיר לבין אלקטרודה הנמצאת באדמה.  
 התנגדות מוליך הארקה חייבת להיות קטנה מ-  $1\Omega$ .

לכן מתח מגע בין גוף המכשיר לבין אדמה תמיד יהיה קטן מ-  $50V$ !  
 לעתים נוצר קצר המלווה בהתנגדות מעבר בעלת כמה עשרות אוהמים. נניח, שכתוצאה מקצר כזה זרם עכשיו זרם של  $10A$ , אשר בודאי לא יגרום להתכת נתיך  $10A$ . גם במקרה זה אין סכנה לאדם אשר יגע במעטפת המכשיר מאחר שמתח המגע שיופיע עליו יהיה:  
 $V_{\text{מגע}} = I \cdot R_0 = 10 \cdot 1 = 10V$  ומתח כזה אינו מסוכן.

הארקת הגנה ממלאת איפוא אחד משני תפקידים אלה: היא גורמת לניתוק מהיר של המכשיר הפגום, או שהיא מגבילה את מתח המגע לערך בלתי מסוכן (עד  $50V$ ).

במעגלים תעשייתיים מוגנים בנתיכים של  $60A$  או יותר יש להקטין משמעותית את ההתנגדויות  $R_x$  ו-  $R_0$  (למשל לנתיך  $60A$  יידרש  $R_0 + R_x = 1.53\Omega$ ).

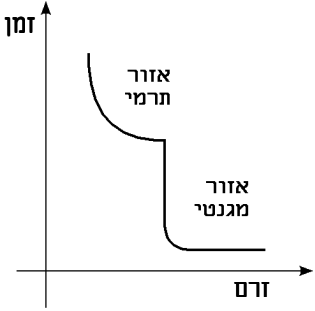
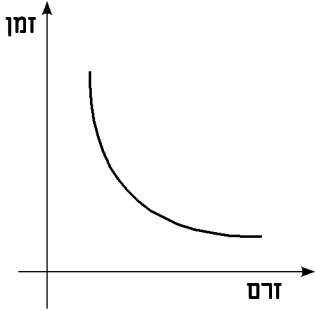
ביצוע הארקות כאלה אינו מעשי ויש לחפש שיטות אחרות להגנת המתקן.

### פתרון שאלה 19

- א. (1) תנאי מוקדם לשימוש באיפוס הוא קבלת אישור מחברת החשמל וזאת כיוון שחייבת להיות הארקת יסוד תקינה, העונה על הדרישות.
  - (2) מותר להשתמש בהגנה על-ידי איפוס רק במבנה שבו קיימת הארקת יסוד אשר התנגדותה למסה הכללית של האדמה אינה עולה על  $20\Omega$ .
  - (3) תנאי לשימוש בהגנה על-ידי איפוס הוא שבזמן קצר בין מופע ובין גוף מוארק יזרום במעגל זרם אשר עוצמתו תגרום לניתוק הזרם על-ידי המבטיח תוך  $5$  שניות לכל היותר.
  - (4) במתקן חשמל המתוכנן כהלכה אסור שמפל המתח בעומס יעלה על  $5\%$  וזאת בהקשר לתנאי בסעיף 3.
- ב. האיפוס נעשה על-ידי חיבור בתוך המבנה בין מוליך האפס של קו הזינה ובין פס השוואת הפוטנציאלים. שטח חתכו צריך להיות לפחות כחתך מוליך האפס היוצא אל מתקן החשמל מהדק האפסים של קו הזינה, הנמצא ליד המבטיח של המבנה. מוליך זה יושחל בתוך צינור בקוטר של  $29$  מ"מ לפחות.
- ג. מסלול תקלה בשיטת איפוס הוא ממקור הזינה וחזרה אליו באמצעות מוליך האפס של רשת החלוקה. לעומת זאת בהארקת ההגנה מסלול התקלה הוא ממקור הזינה באמצעות המסה הכללית של האדמה.

פתרון שאלה 20

א.

מאמ"ת	נתיך
 <p>תחום העבודה של המאמ"ת מחולק לשני אזורים : האזור המגנטי בעבור זרמי קצר. מהיר מאוד, פועל על-ידי ממסר, המופעל על-ידי השדה המגנטי שנוצר מזרם הקצר ולכן גם אינו מושפע כמעט מטמפרטורת הסביבה. האזור התרמי בעבור זרמי יתר. מופעל על-ידי דו-מתכת. באזור זה מושפע הנתיך גם מטמפרטורת הסביבה.</p>	 <p>נתיך בנוי על התכת חוט או סרט מתכתי המתוכנן לזרם מסוים. משתמשים בו לזרם קצר וגם לזרם יתר. הזמן שלוקח להתכת הנתיך תלוי בעוצמת הזרם, ראה גרף.</p>
<b>יתרונות</b>	<b>יתרונות</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- רב-פעמי. דרושה רק הרמת מתג לחידוש פעולתו.</li> <li>- קיימים מאמתיים הניתנים לכיוון.</li> <li>- תופס מקום קטן בלוח.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- מהיר מאוד</li> <li>- מצליח להתגבר על כיבוי קשת בזרמי קצר גבוהים מאוד, כושר ניתוק גבוה.</li> <li>- זול</li> <li>- פשוט, ללא חלקים מכניים נעים.</li> <li>- אמין</li> </ul>
<b>חסרונות</b>	<b>חסרונות</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- יקר</li> <li>- כושר ניתוק בהתאם לסוג המאמ"ת נמוך יותר מזה של הנתיך</li> <li>- מורכב מבחינה מכנית ופחות אמין מנתיך.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- חד-פעמי</li> <li>- לא ניתן לכיוון</li> <li>- תלוי בטמפרטורת הסביבה. ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר הוא יותך מהר יותר. דבר זה עלול לפגוע בסלקטיביות כאשר נתיך אחד נמצא באזור קר והאחר באזור חם.</li> </ul>

ב. סוגי מאמתיים

- 1) מאמתיים ניתנים לכיוון.
- 2) מאמתיים שאינם ניתנים לכיוון.
- 3) מאמתיים בעלי רגישויות שונות.

על-פי התקן החדש סוגי המאמתיים הם מסוג A, B, C, D.

- A אופיון תרמי מיועד למכשירים ביתיים ללא קפיצות זרם.
- B אופיון מגנטי תרמי מיועד למכשירים ביתיים עם קפיצות זרם קטנות.
- C אופיון מגנטי תרמי מיועד למנועים ולמזגנים ומתגבר על בעיות התנעה למשך מספר שניות.
- D אופיון מגנטי תרמי מיועד למנועים בעלי התנעות קשות במיוחד.

**פתרון שאלה 21**

א. (1) המומנט הסיבובי של מנוע השראה נמצא ביחס ריבועי למתח.

$$M_{EM} = M_{EM_n} \cdot (0.85)^2$$

לכן המומנט יקטן לפי הנוסחה:

כתוצאה מכך המנוע יצרוך זרם יתר בתנאי שהוא עובד בעומס. בנוסף מהירותו תרד.

(2) שטף האור של נורת ליבון יורד בכ-40%.

(3) ירידת המתח ב-15% תגרום לכיבוי נורת הפריקה ולקשיים בהדלקה חוזרת.

$$P = P_n \cdot (0.85)^2$$

(4) הספק תנור החימום יורד ביחס ריבועי למתח. כלומר:

ב. בחיבור משולש מתח פאזי גדול פי  $\sqrt{3}$  ממתח פאזי בחיבור כוכב. לכן הקיבול הנדרש בחיבור משולש יהיה קטן פי 3 מזה שבחיבור כוכב בהתאם לנוסחה:

$$C = \frac{Q_C}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_{PH}^2}$$

$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3}$$

**פתרון שאלה 22**

א. סלקטיביות היא תכונה המאפשרת ניתוק הזרם במקרה של זרם יתר או קצר על-ידי ההגנה הקרובה ביותר למקום התקלה.

הסלקטיביות מושגת על-ידי תכנון נכון ובחירה נכונה של המבטחים בלוח החשמל, כך שהמבטח של המעגל בו אירעה התקלה ינותק ראשון.

ב. כושר הניתוק – הזרם המירבי הנוצר מקצר שהמבטח יכול לגרום לניתוקו.

ג. זרם יתר – זרם העולה, מסיבה כלשהי, על הזרם הנומינלי.

ד. זרם קצר – זרם יתר המופיע כתוצאה מקצר.

**פתרון שאלה 23**

א. בסרטוט מתוארים אופייניים של 3 סוגי מפסקים. החלק העליון של האופיין מתייחס להגנה בפני עומס יתר ואילו החלק התחתון מתייחס להגנה בפני זרם קצר. בתחום ההגנה התרמית, זמן הניתוק הוא בין מספר שניות עד למספר שעות, בעוד שבתחום של ההגנה בפני זרם קצר, ההגנה היא בתחום של מילי שניות עד שנייה.

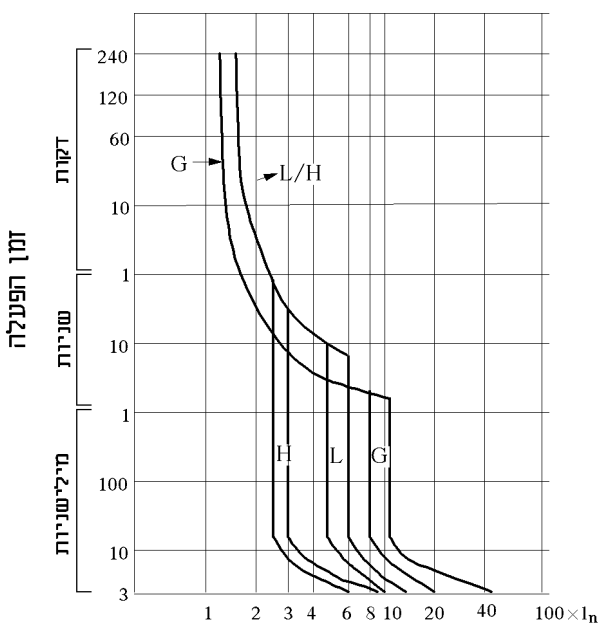
סוגי המפסקים המתוארים באופיין הם מסוג G, H ו-L כאשר הם נבדלים מבחינת מהירות תגובה. G למשל, איטי בתגובה לזרם קצר לעומת H ו-L, ומהיר לעומתם בתגובה לעומס יתר. סימון המפסקים על-פי התקן החדש הוא A, B ו-C.

ב. על-פי התקן זרם הקצר צריך לגרום לניתוק הניתך תוך 5 שניות.

$$I_K = \frac{U}{Z_L} = \frac{230}{4.89} = 47.03A$$

במקרה שלנו:

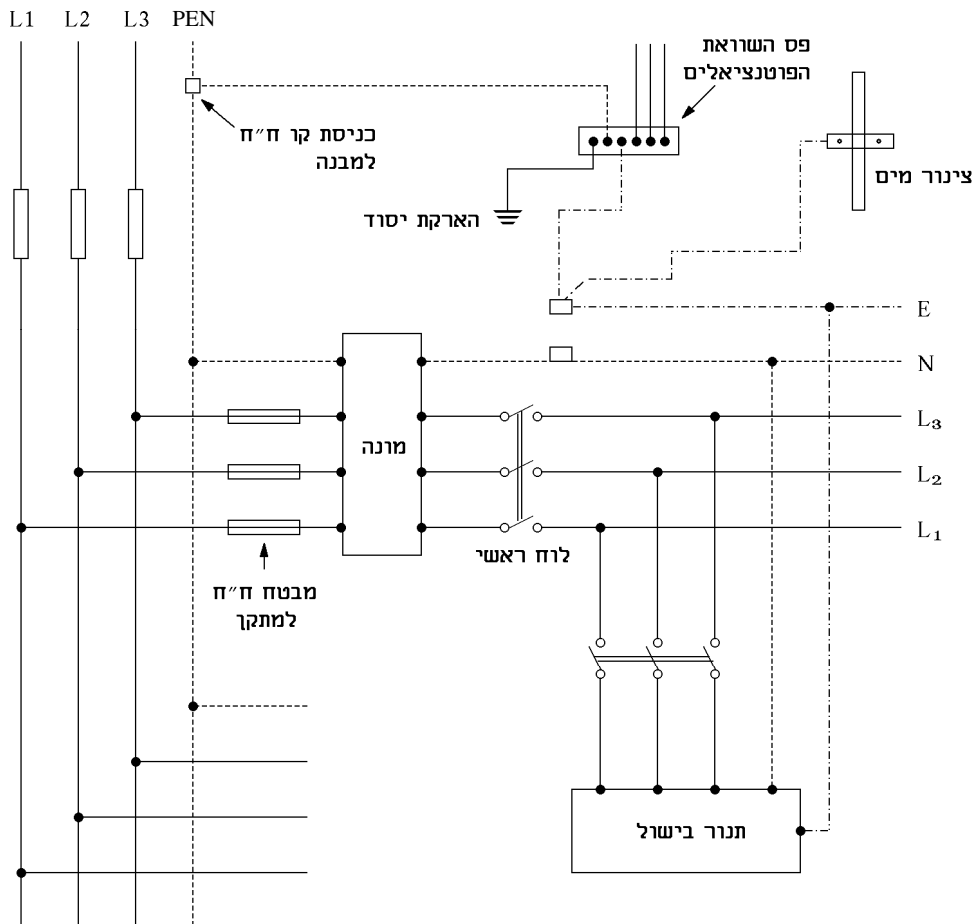
על-פי המדריך לחשמלאי של אינז' ז' דוניבסקי ובנו, טבלת "זרם נומינלי של מבטח, עכבה מירבית וזרם קצר מזערי" בעבור נתיך של 10A, זרם הקצר עונה על דרישות הניתוק תוך 5 שניות.



## פתרון שאלה 24

- א. תחום הפעולה המגנטי של מא"ז מסוג B מתחיל ב-  $3 \times I_n$ .  
במא"ז של 16A התחום מתחיל ב-  $16 \cdot 3 = 48A$ .  
תחום הפעולה המגנטי של מא"ז מסוג C מתחיל ב-  $5 \times I_n$ .  
במא"ז של 16A התחום מתחיל ב-  $16 \cdot 5 = 80A$ .
- ב. בזרם של 50A מא"ז מסוג B נמצא בתחום מגנטי ולכן יפעל כעבור 0.1 שניות. מא"ז מסוג C נמצא עדיין בתחום התרמי ויפעל כעבור כ-4 שניות.

## פתרון שאלה 25



## איפוס

"איפוס" הינו אמצעי הגנה נגד חישמול שבו מובטחת רציפות מתכתית של לולאת התקלה ממקור הזינה (שנאי או גנרטור) וחזרה אליו, באמצעות מוליך האפס של רשת החלוקה (אשר ייקרא במקרה זה: "מוליך PEN") ולא רק באמצעות המסה הכללית של האדמה, כמו בהארקת הגנה.

למטרה זו מחברים בכניסת הרשת למבנה, בקרבת המבטח הראשי, את האפס של הרשת (מוליך PEN) אל פס השוואת הפוטנציאלים (ראה איור). הכינוי "מוליך PEN" מתייחס רק למוליך האפס של הרשת; הכינוי במתקן נשאר "מוליך אפס".

ניתן להשתמש באיפוס רק כאשר הרשת מתאימה לכך.

מנקודת הכניסה של הרשת למבנה והלאה, בתוך המתקן. קיימים לאפס ולהארקה מוליכים נפרדים, ללא כל חיבור ביניהם: מוליכים בצבע כחול לאפס ובצבע צהוב-ירוק להארקה.

במתקן המוגן על-ידי איפוס, כמו בכל מתקן חשמל אחר, אין בשום אופן לחבר גופי מתכת של מכשירי חשמל למוליך האפס.

שיטת ההגנה על-ידי איפוס הינה השיטה הנפוצה ביותר להגנת מתקני חשמל חדשים נגד חישמול, בגלל אמינותה ובגלל המגבלות בשימוש בצנרת מים לצרכי הארקה.

תנאי מוקדם לשימוש באיפוס לשם הגנה נגד חישמול הוא קבלת אישור לכך מחברת החשמל. חברת החשמל חייבת לתת אישור כזה בכל מקרה שהרשת עומדת בתנאים המאפשרים הגנה על-ידי איפוס, ובמבנה קיימת הארקות יסוד העונה על דרישות התקנות.

חברת החשמל מצידה חייבת לבנות את כל הרשתות החדשות שלה כך שהן יתאימו לדרישות לגבי הגנה על-ידי איפוס.

אסור להשתמש בהגנה על-ידי איפוס בחלק אחד של מיבנה, ובהגנה על-ידי הארקות הגנה בחלקו האחר. מיבנה שיש בו חלקים אחדים הקשורים ביניהם, כמו מיבנה עם חדרי מדרגות אחדים, נחשב למבנה אחד.

מותר להשתמש בהגנה על-ידי איפוס או בהגנה על-ידי הארקה במבנים שונים הניזונים מאותה רשת חלוקה.

מותר להשתמש בהגנה על-ידי איפוס רק במבנה שבו קיימת הארקות יסוד. דרישה זו נובעת מהשיקולים האלה:

- הגישור בין כל חלקי המתכת של המבנה (השוואת הפוטנציאליים), הנדרש בהארקות יסוד, מבטיח מצב אשר בו יהיה קיים במבנה "כלוב פרדיי" שמשמעותו פוטנציאל שווה בין כל חלקי המיבנה, כולל הציוד החשמלי בו. על-ידי כך תוקטן עד למינימום האפשרות של הופעת מתח מסוכן בין חלקי המבנה ואבזרי החשמל הנמצאים בו או, במילים אחרות, הופעת חישמול.
- במקרה של ניתוק במוליך PEN (אפס) ברשת בקרבת המבנה, תתאפשר זרימת זרם לאדמה דרך הארקות יסוד.
- הארקות יסוד מבטיחה הגנה במקרה של חדירת מתח גבוה אל רשת חלוקה של מתח נמוך (כמו במקרה של נפילת מתח גבוה על רשת מתח נמוך), על-ידי הפעלת אמצעי הגנה ברשת מתח גבוה וניתוקה.
- הארקות יסוד גם מייצבת במידה מסוימת את המתח כלפי נקודת האפס של מקור הזינה במקרה של ניתוק במוליך PEN (אפס) של הרשת, כאשר הארקות היסוד משמשת למעשה כהארקות שיטה נוספת.

מותר בכל זאת להשתמש בהגנה על-ידי איפוס במבנים שאין בהם הארקות יסוד אם קיימים התנאים האלה:

- במבנה מותקנת אלקטרודה מקומית להארקה.
- במבנה קיימת השוואת פוטנציאלים, אולם אין חובה במקרה זה לחבר את הזיון של המבנה אל פס השוואת הפוטנציאלים.
- אם קיימים במבנה צרכנים נוספים המוגנים בשיטת הארקות הגנה, נדרש שתוסב ההגנה אצלם להגנה בשיטת איפוס.
- מותר להשתמש בהגנה על-ידי איפוס רק כאשר התנגדות הארקות יסוד, או האלקטרודה המקומית במבנה, למסה הכללית של האדמה, אינה עולה על 20 אוהם.

### הארקות מוליך האפס (PEN) במבנה

- האיפוס נעשה על-ידי חיבור, בתוך המבנה, בין מוליך PEN (האפס של קו הזינה) לבין פס השוואת הפוטנציאלים. לביצוע חיבור זה צריך להשתמש במוליך מבודד בעל בידוד בצבע שחור; חתכו צריך להיות לפחות כחולך האפס היוצא אל מתקן החשמל מהדק האפסים של קו הזינה, הנמצא ליד המבטח הראשי של המבנה. במקרה שמהדק האפסים יוצאים למתקן מוליכי אפס אחדים, חתכו של המוליך המחבר הדק האפסים אל פס השוואת הפוטנציאלים צריך להיות לפחות כחולך מוליך האפס היוצא בעל החתך הגדול ביותר.
- החיבור בין מוליך PEN של הרשת לבין פס השוואת הפוטנציאלים יעשה על-ידי בעל הרשת או נציגו בלבד.
- אסור לעשות בתוך המבנה חיבור נוסף בין מוליך האפס לבין ההארקה.

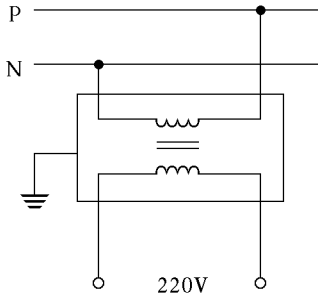
### איסור של ניתוק החיבור בין מוליך PEN לבין פס השוואת הפוטנציאלים

אסור להתקין מנתק במוליך המחבר מוליך PEN עם פס השוואת הפוטנציאלים. ניתוק בחיבור זה ניתן יהיה לעשות רק על-ידי שימוש בכלים.

**זרם הקצר במקרה של תקלה** (הוראות סעיף זה אינן חלות על רשת חלוקה) התנאי לשימוש בהגנה על-ידי איפוס הוא, שבזמן קצר בין מופע לבין גוף מוארק, יזרום במעגל זרם, אשר עוצמתו תגרום לניתוק הזרם על-ידי המבטח תוך 5 שניות לכל היותר.

**פתרון שאלה 26**

א. הפרד-מגן:



ההגנה בשיטת הפרד-מגן מבוססת על מניעת אפשרות של סגירת מעגל חשמלי דרך גוף האדם והאדמה. אם נזין מכשיר אחד בלבד ממקור (שנאי, למשל) ללא הארקה שיטה (ראה איור), גם אם תארע תקלה במכשיר ואחד המוליכים ייגע במעטה - אין נשקפת סכנה לאדם הנוגע במעטה. זאת כיוון שהזרם לא יעבור דרכו, מאחר שאינו מהווה חלק ממעגל חשמלי כלשהו.

אם במכשיר תופענה שתי תקלות בו-בזמן ושני המוליכים יגעו במעטה, ייגרם קצר פנימי במכשיר, אך שוב, ללא סכנה לנוגע במכשיר.

כדי ששיטת הפרד-מגן אכן תמלא את ייעודה, יש לקיים שלושה תנאים יסודיים:

- 1) אין להתקין הארקה שיטה
- 2) אין להתקין הארקה הגנה
- 3) אסור להזין יותר ממכשיר אחד בו-בזמן.

ב. מתח נמוך מאוד:

שיטת אספקה במתח בטיחות נמוך מאוד (עד 50 וולט בין שני מוליכים כלשהם) היא שיטה די מקובלת, בעיקר לתאורה ולצעצועים, במקומות של סכנה מוגברת וכו'.

השיטה מבוססת, עקרונית, על הפרדה גלוונית מוחלטת בין רשת האספקה הרגילה לבין המערכת, המוזנת במתח בטיחות נמוך מאוד. בשיטה זו אסור, באופן עקרוני, להתקין הארקה כלשהי - לא הארקה שיטה ולא הארקה הגנה.

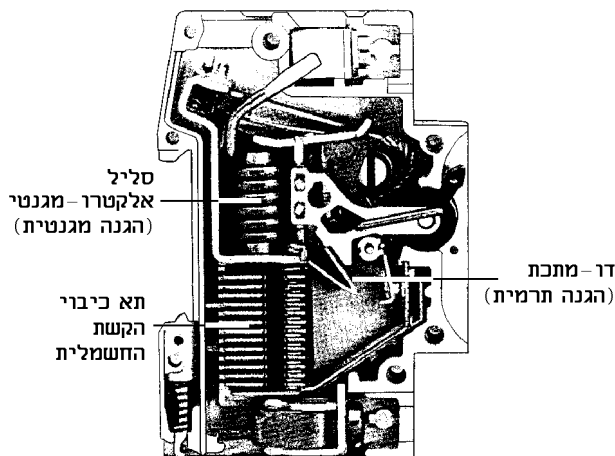
בניגוד לאמור בתקנה 93, מסתמנת בתקנות החדשות נטייה לאסור לחלוטין הצטלבות בין קו עילי למתח בטיחות נמוך מאוד לבין קו עילי למתח גבוה (למעלה מ-1000V). כל קו עילי למתח בטיחות נמוך חייב בבידוד, שיעמוד במתח של 1000 וולט לפחות. בכל אופן - אין להתקין הארקה הגנה או הארקה שיטה ברשת של מתח בטיחות נמוך מאוד.

מכשירים, המיועדים לפעול במתח בטיחות נמוך מאוד, מוגדרים "סוג III" (class III). נגיעה של אדם במתח נמוך מאוד אינה מסכנת את בריאותו משום שבמתח זה הזרם שיזרום דרך גוף האדם יהיה נמוך מאוד מתחת לרמת המסכנת.

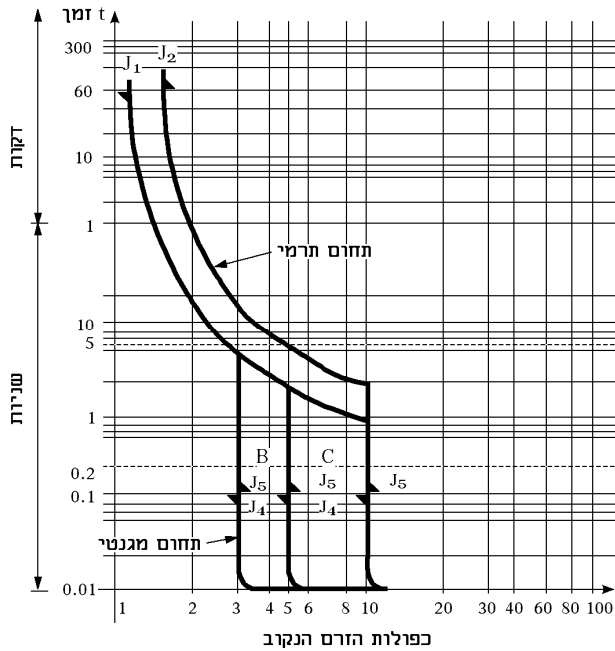
**פתרון שאלה 27**

א.

מפסק אוטומטי זעיר (מא"ז) הוא התקן אלקטרומכני במעגלים חשמליים, המיועד להגנה בפני זרם יתר וזרם קצר. ההגנה בפני זרם קצר הנה הגנה מגנטית, המבוססת על סליל אלקטרומגנטי. בזמן קצר זרם זרם גבוה דרך הסליל וכתוצאה מכך מופעל כוח על מנוף, שמנתק את מגעי המא"ז. ההגנה בפני זרם יתר היא הגנה תרמית המבוססת על אלמנט דו-מתכת (Bi-metal). כתוצאה מזרימת זרם יתר הדו-מתכת מתחמם ומתכווץ, דבר הגורם לניתוק מגעי המא"ז.







ב.

אופייני מאז"ים מסוג B ו-C בטמפרטורת סביבה של 30 מעלות צלסיוס		
	B	C
$J_1(t > 1h)$	$1.13 \times J_N$	$1.13 \times J_N$
$J_2(t < 1h)$	$1.45 \times J_N$	$1.45 \times J_N$
$J_4(t \geq 0.1S)$	$3 \times J_N$	$5 \times J_N$
$J_5(t < 0.1S)$	$5 \times J_N$	$10 \times J_N$

מקרא

אופיין B: להגנה על מעגלי תאורה ומעגלים שאין בהם התנעות של מנועים.

אופיין C: להגנה על מעגלים המזינים גם מנועים.

תחום תרמי – הניתוק נעשה באופן איטי לאחר זמן התלוי בעוצמת זרם היתר. ככל שהזרם גדל (בכפולות של  $I_n$ ), הזמן קטן.

תחום מגנטי – בזרם קצר הגדול מ-  $3 \cdot I_n$  במא"ז סוג B ו-  $5 \cdot I_n$  ומא"ז מסוג C. הניתוק הוא מהיר מאוד.

ג. מא"ז מסוג B מנתק בזרמי קצר נמוכים יותר ומיועד לצרכנים ללא מנועים או כאלה בעלי זרמי התנעה נמוכים מאוד. מא"ז מסוג C יכול לספוג זרמי התנעה גבוהים יותר ומיועד לעבוד עם עומסים הכוללים מנועים.

### פתרון שאלה 28

א. (1) זינה צפה (IT) (ראו איור עליון בעמוד הבא) הנה אמצעי הגנה בפני חשמול, המאופיין על ידי העדר הארקת השיטה וחובת השימוש במשגוח. המשגוח מותקן ליד מקור הזינה ומיועד לפקח על הבידוד במתקן. כאשר המשגוח מתריע על ליקוי בבידוד המתקן, יש לתקן את הליקוי בהקדם. כוונת המשגוח יעשה באמצעות כלים בלבד. יש לגשר בין כל הגופים המתכתיים של ציוד מסוג I, כולל מקור הזינה, באמצעות מוליך הגנה שיוארק.

אם ההתנגדות הנמדדת בין הארקה לבין המסה הכללית של האדמה, קטנה מ-5 אוהם, אז סף ההתרעה של המשגוח יכול להיות כלשהו. אם ההתנגדות הנמדדת גדולה מ-5 אוהם או שלא נמדדה כלל, אז יש לכוון את המשגוח שיתריע מתחת לערך של  $100 \pm 15$  אוהם לולט.

(2) הפרד-מגן (איור תחתון בעמוד הבא) הוא אמצעי הגנה בפני חשמול המאופיין על ידי העדר הארקת השיטה וזינה בו בזמן של מכשיר אחד בלבד. בשיטת הפרד-מגן מותר להשתמש רק במתקן שבו הזרם הקיבולי בינו לבין מקור הזינה או האדמה קטן כך שלא יגרום להלם חשמלי מסוכן. קיבוליות נאותה כזו תושג כאשר המכפלה של אורך המעגל, המופרד במתח המירבי בין שני מוליכים, לא תעלה על 100,000 ( $l \times U < 100000$ ). בכל מקרה, אורך המעגל יהיה קטן מ-500 מטר.

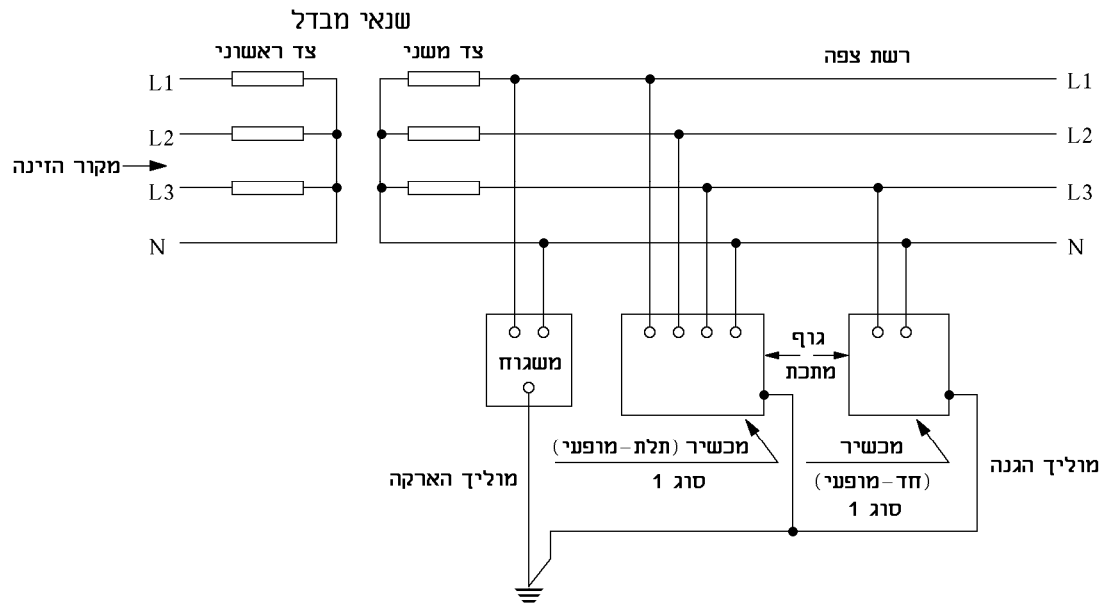
מקור הזינה של מתקן המותקן על ידי הפרד-מגן יכול להיות:

מקור ראשוני: סוללה, מצבר, גנרטור.

מקור משני: שנאי, ממיר.

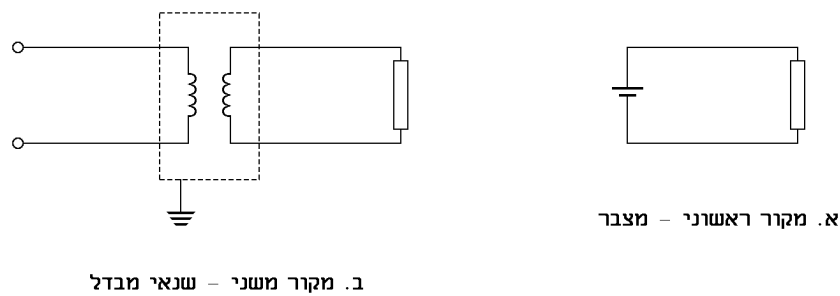
- כאשר מקור הזינה הוא שנאי, הוא צריך להיות מסוג מבדל ומתחו הראשוני לא יעלה על מתח נמוך.
- כאשר מקור הזינה הוא שנאי מיטלטל, הוא יהיה מסוג II. המתח בין מוליכי המתקן המוגן לא יעלה על 500V.
- אין להתקין הארקות שיטת או הארקות הגנה.
- אין להתקין מוליך הארקה במוביל או להשתמש בכבל הכולל מוליך הארקה.
- אין לחבר במתקן זה יותר ממכשיר אחד בו בזמן.

**דוגמה להגנה ביזנה צפה (IT)**



הערה: מותר לחבר מוליך הגנה לאלקטרודה נפרדת או ישירות להדק הארקה של המשגרוח.

**דוגמה להגנה בשיטת הפרד-מגן**



ב. מקור משני - שנאי מבדל

- (3) מתח נמוך מאוד הוא מתח שאינו עולה על 50 וולט בין שני מוליכים כלשהם, באותה שיטת אספקה. מתח נמוך מאוד יכול לשמש כשלעצמו אמצעי הגנה בפני חשמול. כאשר המתח הראשוני של מקור הזינה של מתח נמוך מאוד יהיה זהה לאלה שבהפרד-מגן. כאשר המתח הראשוני של שנאי, המשמש כמקור זינה, לא יעלה על 250V לאדמה. הגנה על ידי שימוש במתח נמוך מאוד, המוזנת ממקור משני, תהיה מופרדת באופן גלווני מהשיטה המזינה את המקור. המתח במתקן לא יעלה על 50V. רמת הבידוד של מוליכים ואביזרים במתקן שהמתח שלו עולה על 24V, תהיה 250V.

- ב. בשום שיטה מהשיטות שלעיל אין להתקין הארקות שיטה.

**פתרון שאלה 29**

- א. בשיטת הפרד מגן המכשיר המוזן צף. כלומר, לשום מוליך אין חיבור לאדמה וכך, במקרה של תקלה או נגיעה באחד המוליכים, לא ייסגר המעגל החשמלי דרך גוף האדם. חיבור הארקה למכשיר כזה יבטל את ההגנה.
- ב. מתח של 50V נחשב למתח נמוך מאוד. הזרם הזורם בגוף האדם כתוצאה מהיחשפות למתח זה הוא נמוך ואינו מהווה סכנה. מקור המתח צף והסיבות לאסור התקנת הארקה הם כמו בסעיף א'. כמו כן יש למנוע כל קשר בין המתח הנמוך מאוד לרשת.
- ג. בבידוד כפול או בבידוד מגן אסור להאריק ציוד גם אם קיימים בו חלקים מתכתיים חיצוניים. הארקה לא תוסיף לבטיחות המכשיר היות שלפי מבנהו לא יופיע מתח על חלקים מתכתיים אלה והארקה יכולה רק לגרום להופעת מתח על גוף המכשיר במקרה של תקלה במתקן.

**פתרון שאלה 30**

- א. הסיבה להופעת מתח על ה-"אפס" היא שהוא אינו מחובר בקצהו לפס ה"אפסים" הדירתי. יש לאתר את המוליך המנותק בלוח החשמל ולהדקו מחדש לפס ה"אפסים".
- ב. קוטר קופסת ההסתעפות 70 מ"מ.

**פתרון שאלה 31**

- א. "לולאת התקלה" – מסלול זרם התקלה ממקור הזינה, דרך מוליכי הזינה, מוליכי הארקה ומוליכי PEN, אלקטרודת הארקה המסה הכללית של האדמה, הארקה השיטה של מקור הזינה, כולם או מקצתם, מחוברים בטור או במקביל, שדרכו עובר זרם התקלה או זרם הדלף.
- ב. "אלקטרודת הארקה יסוד" – אלקטרודה המורכבת מחלקי פלדה הטמונים ביסוד של מבנה והמחוברים ביניהם.
- ג. "זרם תקלה" – זרם למסה הכללית של האדמה הנגרם על ידי חיבור, עקב תקלה, בין מוליך חי לבין האדמה.
- ד. "משגוח" – מכשיר המיועד לפקח על תקינות הבידוד בין מוליכי המיתקן לבין המסה הכללית של האדמה או מוליכי המיתקן לבין גופי המתכת של ציוד המתקן.

**פתרון שאלה 32**

- א. צנרת המים היתה, במשך שנים רבות, צנרת מתכתית וניתן היה להסתמך עליה כעל אלקטרודה או מוליך הארקה. לאחרונה הלך והתרחב השימוש בחומרים אל-מתכתיים (כגון פלסטיק, אסבסט ועוד) בצנרת המים. חומרים אלה מבדדים מבחינה חשמלית ולכן אינם טובים לשמש כאלקטרודה או כמוליך הארקה. לכן משתמשים היום בהארקה יסוד במקום בצנרת המים.
- ב. (1) הארקה יסוד באה להחליף את צנרת המים כאלקטרודת הארקה.  
 (2) להארקה יסוד מגע חשמלי טוב עם האדמה הודות לכך שהיסודות נמצאים בעומק ניכר ולחלקי הבטון הטמונים באדמה ספיגות טובה למים.  
 (3) ציפוי הבטון מגן על הברזל מפני שיתוך.  
 (4) קיומה של אלקטרודה זו מובטח כל עוד המבנה קיים, בניגוד לאלקטרודות אחרות העלולות להיפגע ואף להיעלם עקב פגיעות מכניות או שיתוך.  
 (5) טבעת גישור המותקנת בין חלקי פלדת הזיון של המבנה מבטיחה השוואת פוטנציאלים בין חלקי המבנה.

**פתרון שאלה 33**

מוליכי החיבור הם המוליכים המחברים את השירותים המתכתיים הלא חשמליים של המבנה אל פס השוואת הפוטנציאלים או אל פס הארקה.

המתקנים שיחוברו הם אלה:

- (1) אלקטרודת הארקת יסוד.
- (2) כניסה ראשית של צנרת מים קרים.
- (3) כניסה ראשית של צנרת ביוב.
- (4) צנרת ההסקה המרכזית והמים החמים.
- (5) כניסת צנרת גז מרכזית.
- (6) צנרת לאוויר דחוס.
- (7) הארקת הגנה של גנרטור, שנאי או ממיר.
- (8) הארקת שיטה של גנרטור, שנאי או ממיר.
- (9) מסילות של מעליות.
- (20) תעלות מתכתיות של מיזוג אוויר מרכזי.
- (11) הארקת מתקן טלפון.
- (12) כל שירות מתכתי אחר.

**פתרון שאלה 34**

המבטח הוא אביזר תקני לניתוק אוטומטי של זרם יתר במתקן. סוגיו הם:

- א. נתיכים – פועלים על ידי התכת אלמנט ניתך.
- ב. מא"ז – מפסקי זרם אוטומטיים זעירים, בלתי מכווננים. מיוצרים לפי תקן ישראלי 745, מקובלים בזרם עד 63 אמפר. קיימים גם מאזי"ם עד 100 אמפר.
- ג. מפסקי זרם אוטומטיים הניתנים לכוונון – בהם ניתן לכוונון כל מנגנון בנפרד. את המנגנון לזרם העמסת יתר ואת המנגנון המגנטי. המנגנון לזרם העמסת יתר, הבנוי מ"דו-מתכת" (בי-מטל), גורם להפעלת המפסק ולניתוק הקו בעת עליית הטמפרטורה בו מעל למתוכנן. המנגנון המגנטי, הבנוי מסליל כרום סביב ליבה, מפעיל מיידיית את מנגנון הפסק כאשר מתפתח בקו זרם יתר בערך גבוה מאוד (שהוא, בדרך כלל, זרם קצר), בתוך פרק זמן של מספר אלפיות השנייה.

**פתרון שאלה 35**

- א.  $I_2$  הוא זרם הגורם לניתוק המעגל על-ידי המבטח בפרק זמן המוגדר בתקן של המבטח. ידוע כי הזמן הוא: (שעה)  $T_{I_2} < 1h$ .
- ב. לפי טבלה מס' 1, בה נתון תקן היצרן, בפרק השני "מבטחים והתקנות", מתוך המדריך לחשמלאי של אינג'י ז' דוניבסקי –  $I_2 = 1.45 \cdot I_n$  (למאז"ים B או C).  
לכן:  $I_{20AB} = 1.45 \cdot 20 = 29A$ .
- ג. לפי דרישת התקנות:  $I_2 \leq 1.3I_Z$  (למאז"ים B או C).  
לפי טבלה 70.1, שבתוספת הראשונה, שטח החתך המוליך, המתאים למאז"י  $20_{AB}$ , הוא 4 ממ"ר. הזרם  $I_Z$  למוליך זה הוא 29A, בהנחה כי אין שינוי בטמפרטורה הסביבתית המותרת, שהיא  $35^\circ C$ .  
לכן:  $I_2 \leq 1.3 \cdot 29 = 37.7A$ .
- ד. המבטח עונה על דרישות התקנות בארץ מאחר שהחברה המייצרת העבירה דרכו, בעת הבדיקה, זרם  $I_2$  שערכו 29A והמאז"י הנבדק התנתק בזמן הדרוש לפי התקן, שהוא קטן מ-1 שעה. לו העבירה דרכו 37.7 אמפר, כפי שנדרש בתקנות, ודאי שהיה מתנתק בתוך שעה אחת.

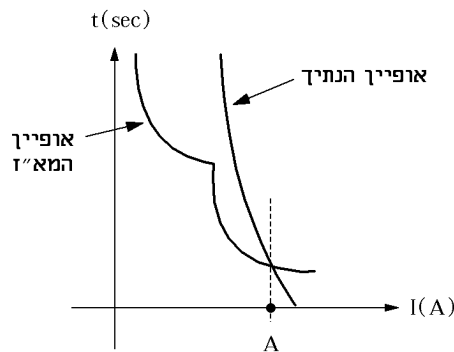
**פתרון שאלה 36**

לנתיך ולמא"ז ערכים נקובים קבועים וזרמים בערך קבוע מפעילים את המנגנונים התרמי והמגנטי. המפסקים האוטומטיים המתכווננים, בהם ניתן לכוון את המנגנונים התרמי והמגנטי לפעול בערכי זרמים שונים, הם יעילים במקרים אלו:

- א. כוונון המנגנון התרמי לתגובה כאשר הזרם בקו גבוה מערכו של  $I_b$ , משחרר את הצורך בהוספת מפסק אוטומטי לזרם עומס-יתר (OVER LOAD), לקו ובטור למבטח.
- ב. כוונון המנגנון המגנטי יעיל בשני מקרים אלו:
  - 1) בהתנגדות כלשהי של מסלול מעגל התקלה Z, יתפתח "זרם תקלה", בתקלת קצר בין מופע לגוף מכשיר מאורק, שערכו 220/Z אמפר. אם נכוון את המנגנון המגנטי לתגובה בזרם נמוך מעט מ-220/Z אמפר, נבטיח את ניתוק הקו בזמן הדרוש.
  - 2) לצורך התנעת מנועים, אפשר לכוון את המנגנון המגנטי לתגובה בזרם גדול מזרם ההתנעה, אבל זאת בתנאי שזרם התקלה הדרוש לניתוק הקו באמצעות המנגנון המגנטי, למקרה דומה לזה שבסעיף 1 שלעיל, יהיה קטן מהערך המכוון.

**פתרון שאלה 37**

כל עוד זרם היתר בקו הראשי קטן מערכו בנקודה A, מתקיימת סלקטיביות. כלומר, המא"ז ינתק את הקו עליו הוא מגן ואשר בו מתפתח זרם היתר ולא הנתיך את הקו הראשי למתקן. כאשר הזרם יהיה גדול מערכו בנקודה A, אין סלקטיביות, כלומר, הנתיך ינתק את הקו הראשי ולא המא"ז את הקו עליו הוא מגן ואשר בו מתפתח זרם היתר.

**פתרון שאלה 38**

- א. לפי חוק החשמל ברשת חד-מופעית וברשת תלת-מופעית עד חתך של 35 ממ"ר חתך מוליך האפס יהיה שווה לחתך מוליך המופע ולכן חתך מוליך האפס יהיה 25 ממ"ר לפחות (דוניבסקי).
- ב. לפי חוק החשמל, חתך של מוליך האפס ברשת כבלים תת-קרקעית יהיה 10 מ"ר נחושת, וחתך של מוליך האפס יהיה 16 ממ"ר אלומיניום, לפחות (דוניבסקי).
- ג. אסור להתקין נתיך, מבטח או מפסק אוטומטי מסוג כלשהו במוליך הארקה.
- ד. אסור להתקין מפסק במוליך הארקה.

**פתרון שאלה 39**

- א. הארקות הגנה – הגנה בפני חשמול על-ידי חיבור גופים מתכתיים של ציוד חשמלי אל המסה הכללית של האדמה באמצעות מוליכי הארקה.
- ב. הארקות יסוד – מערכת הכוללת אלקטרודת הארקות יסוד, פס השוואת פוטנציאלים ומוליך הארקה, המחובר ביניהם.
- ג. זרם יתר – זרם העולה מסיבה כלשהי על הזרם הנומינלי.
- ד. איפוס – חיבור בין מוליך הארקה של מתקן לבין מוליך האפס של רשת הזינה בכניסה למבנה. במקרה זה מוליך האפס של הרשת ייקרא מוליך PEN.

## פתרון שאלה 40

- א. מתח נמוך מאוד – מתח נמוך מאוד הוא מתח נמוך מ-50V. מתח ברמה זו הוא מתח בטיחותי שאינו מסכן את הנוגעים בו. מתח נמוך מאוד ניתן לקבל באמצעות שנאי מבדל, גנרטור או מצברים. שימושים – במקומות בהם יש סכנה מוגברת, כגון:
- 1) מקומות בהם הלחות גבוהה או בסביבה רטובה (אוהלים, מקלחות, מתקנים חקלאיים – לולים ועוד).
  - 2) במקומות בהם יש סכנת התלקחות של חומרים דליקים או סכנת פיצוץ.
- חסרונות – מכשירים במתח כזה פחות נפוצים. צריכת זרם גבוהה יחסית מחייבת שימוש במוליכים בעלי שטח חתך גבוה וגורמת למפלי מתח והפסדי הספק. אסור להתקין הארכת הגנה או הארכת שיטה במתקן הניזון במתח נמוך מאוד.
- ב. הפרד-מגן – ההגנה בשיטת הפרד-מגן מבוססת על מניעת אפשרות של סגירת מעגל חשמלי דרך גוף האדם והאדמה. בשיטת הפרד-מגן משתמשים בשנאי ללא קשר גלווני בין ליפופיו, הנקרא שנאי מבדל, כאשר המתח הראשוני בין ליפופיו אסור שיעלה על 1000V.
- אם נזין מכשיר אחד בלבד בלבד בשיטה זו, ואחד המוליכים יגע במעטה, אין נשקפת סכנה לאדם הנוגע במעטה, כיוון שהזרם לא יעבור דרכו. זאת מאחר שאינו מהווה חלק ממעגל חשמלי כלשהו. חל איסור להתקין הארכת הגנה והארכת שיטה וכמו כן אסור להזין יותר ממכשיר אחד בו בזמן. שימושים – במקומות בהם קיימת סכנה מוגברת כמו למשל בעבודה בתוך מכלי מתכת, רצפת מתכת או ריתוך בסביבה דליקה.
- ג. בידוד מגן – הגנה באמצעות בידוד מגן, בידוד כפול או בידוד מוגבר, היא, אולי, השיטה החדשה והטובה ביותר למניעת חשמול, והיא מוגדרת כ-"סוג II" (Class II).

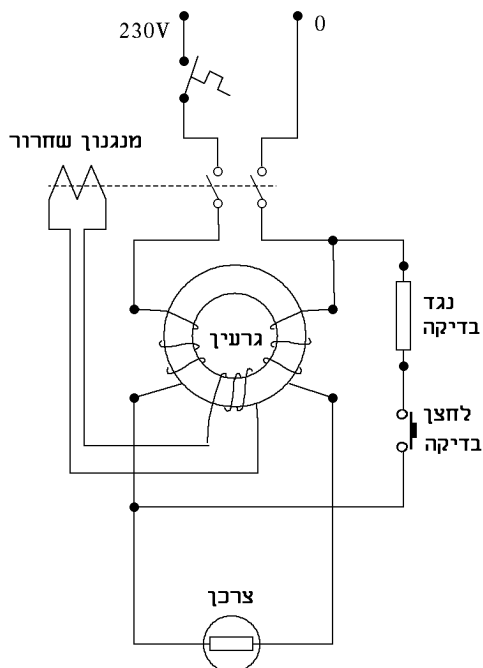


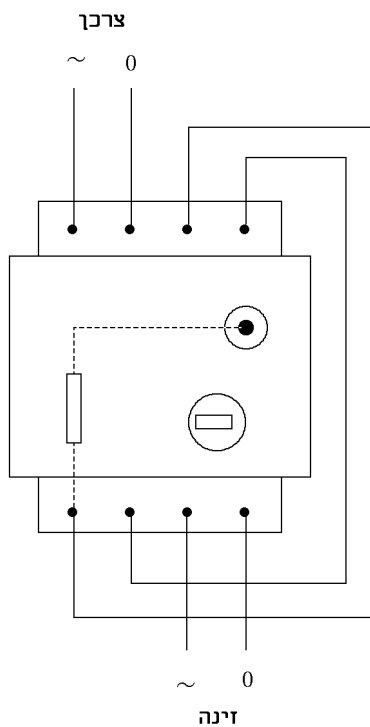
סימנה הבין-לאומי הוא ריבוע בתוך ריבוע:

בטיחות שיטה זו מושגת על ידי המבנה המיוחד של המכשיר עצמו. מכשירים חשמליים בעלי בידוד מגן אסור לחבר להארכת הגנה, גם אם הם כוללים חלקים מתכתיים נגישים. אם מתגלה פגם בבידוד של מכשיר כלשהו – במיוחד במכשיר המוגן על-ידי בידוד מגן, אין להשתמש בו עד לתיקון הפגם.

## פתרון שאלה 41

- א. עקרון פעולתו של ממסר פחת מבוסס על איזון ההשראות ההדדית, הנוצרת בתוך גרעין ברזל. סביב הטבעת מלופפים שני סלילים עם מספר זהה של ליפופים אך בעלי כיוונים מנוגדים. ההשראות הנוצרות בסליל כתוצאה מזרימת זרם בתוכו, מבטלת את ההשראות, הנוצרת בסליל השני, מהזרם החוזר מהמתקן. זרם זה זהה בגודלו, אך מנוגד בכיוונו. על ידי כך נשמר האיזון בין הסלילים ובגרעין הברזל ההשראות היא אפס. במקרה של תקלה במתקן החשמלי, הגורם לזרם דליפה להארכה, מופר האיזון של שני הסלילים. כתוצאה מכך מושרה מתח בסליל מנגנון השחרור המלופף גם הוא סביב הגרעין. מנגנון השחרור מופעל וגורם להעברת המפסק למצב מנותק.





ב. ניתן להגדיל את הרגישות באמצעות ממסר מגן תלת-מופעי (ראו איור). מגדילים רגישות בגני ילדים ובמקומות שיש סכנת התחשמלות גדולה יותר.

ג. במפסק מגן ניתן להשתמש כהגנה יחידה נגד התחשמלות במקרים האלה:

- (1) המתקן ארעי – קרוונים
- (2) במבנה שבו ההתנגדות בין הארקה יסוד למסת כדור הארץ עולה על 20 אוהם.
- (3) במבנה ישן שהצנרת ממתכת התנתקה, או הוחלפה הצנרת מפלסטיק.
- (4) פנסי תאורה או פרסומת על עמודים מחומר מוליך.

### פתרון שאלה 42

- א. אלמנט דו-מתכת מורכב משני פסי מתכת שונים הצמודים זה לזה. לכל פס מתכת יש מקדם התפשטות בטמפרטורה שונה. כתוצאה מחימום של צמד המתכות מתכווץ פס הדו-מתכת. בתכונה זו משתמשים לניתוק מעגלים כתוצאה מחימום יתר.
- אלמנט דו-מתכת משמש כתרמוסטט בדוד חימום, קומקום חשמלי ועוד. כמו-כן ניתן למצוא אותו במדלק של נורה פלואורנית, מעגל הבהוב ועוד.
- ב. אלמנט דו-מתכת משמש להגנה בפני עומס יתר במעגלים חשמליים. כאשר זרם הגבוה מהזרם הנקוב דרך אלמנט דו-מתכת הוא מתחמם ולאחר זמן, תלוי בעוצמת הזרם, הוא מתכווץ ומנתק את המעגל. אלמנט דו-מתכת נמצא בממסר הגנה לעומס יתר (over-load) ובמאמ"ת.

### פתרון שאלה 43

- א. מפסק-המגן יפעל כרגיל כיוון שסכום הזרמים הנכנסים שווה לסכום הזרמים היוצאים.
- ב. גם במקרה זה יפעל מפסק המגן כרגיל מאותה סיבה.

**פתרון שאלה 44**

$$\times I_n = \frac{115}{63} = 1.82$$

א. נחשב את כפולות  $I_n$

זמן התגובה לפי האופיין התרמי:  
 בדגם MU בערך 11 שניות.  
 בדגם MC בערך 60 שניות.

$$\times I_n = \frac{350}{63} = 5.55$$

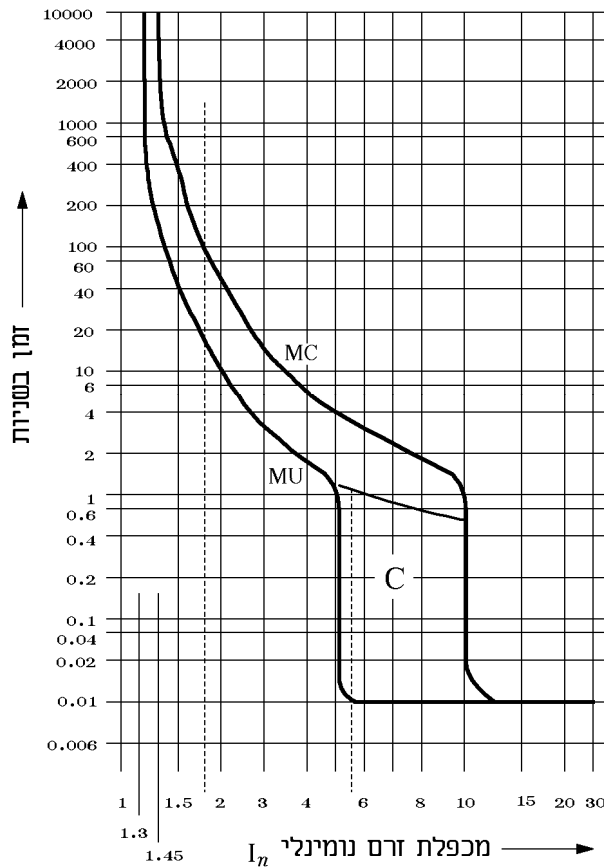
ב. נחשב את כפולות  $I_n$

זמן התגובה לפי האופיין המגנטי (לשני הדגמים MC ו-MU) הוא 0.01 שניות.

עקומה דגם "C"

מא"ז: MU מ-6 עד 63A

MC מ-2 עד 63A



**פתרון שאלה 45**

ה	ד	ג	ב	א	עליית זרם מתונה
הנתיך ראשון	המאמ"ת ראשון	מאמ"ת 10A ראשון	10A רגיל ראשון	10A ראשון	זרם קצר מלא
הנתיך ראשון	הנתיך ראשון	16A או 10A תגובה מקרית	10A רגיל או מושהה תגובה מקרית	16A או 10A תגובה מקרית	

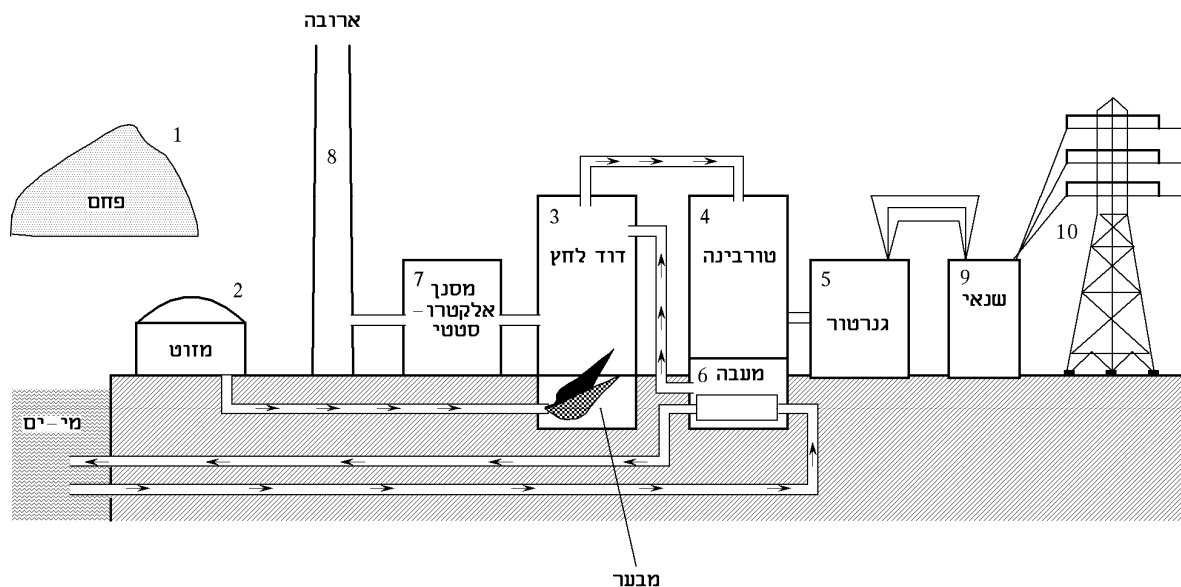


## פתרונות לנושא 3

### פתרונות לנושא 3.א

#### פתרון שאלה 1

הדלק המשמש לייצור החשמל (פחם [1] או דלק נוזלי [2]) מוזרק בתוספת אוויר לדוד השריפה הגדול [3], נשרף ומפיק חום. קירות הדוד מכוסים באלפי מטרים של צינורות שבהם זורמים מים נטולי מלחים. החום הגבוה, המגיע ל-1,000 מעלות צלסיוס, הופך את המים לקיטור. בטמפרטורה ובלחץ גבוהים מוזרם הקיטור אל להבי הטורבינה [4], ומסובב אותן במהירות של 3,000 סיבובים בדקה. ציר הטורבינה מסובב את ציר הגנרטור [5] המייצר את החשמל. בכך לא תמה דרכו של הקיטור. הוא מקורר באמצעות מי-ים במחליפי חום מיוחדים הנקראים מעבים [6], מתעבה למים, ומוזרם לשימוש חוזר בדוד השריפה. גזי השריפה הנוצרים בדוד מועברים דרך מסנני שיקוע אלקטרוסטטיים [7] אל הארובה הגבוהה [8], ונפלטים בגובה רב. המסננים האלקטרוסטטיים משמשים רק כאשר ייצור החשמל נעשה בפחם, ותפקידם לקלוט את רוב רובו של האפר המרחף הנוצר בתהליך השריפה. החשמל הנוצר בגנרטור מועבר לשנאים גדולים [9], ומהם אל המערכת הארצית [10], המעבירה ומחלקת את החשמל לכל חלקי הארץ.



#### פתרון שאלה 2

המתח החשמלי (כא"מ) מיוצר בגנרטור של חברת חשמל, לרוב ברמה של 20KV ומיד מגיע לשנאי, המעלה אותו למתח עליון של 110KV או 161KV או 400KV. משם עובר המתח לרשת הארצית דרך תחנת המיתוג. לרשת זו מחוברות כל תחנות הכוח בארץ. המתח עושה דרכו ברמה של מתח עליון עד לתחנת המיתוג האזורית שם הוא ממותג לאזור מסוים לתחנת השנאה וחלוקה אזורית ומורד למתח גבוה, לרוב של 22KV ברשת עילית, עד לשנאי שליד הבית בו הוא מורד למתח שלוב של 400V או 230V (מופעל). זו הפעם הראשונה שקיים גם אפס ויש מתח מופעל. במתח זה הוא מגיע לנתיך הראשי בדירה.

## פתרון שאלה 3

רשת תת-קרקעית	רשת עילית	יתרונות
<ul style="list-style-type: none"> <li>- אינה נראית לעין, וזה חשוב בעיקר באזור עירוני.</li> <li>- אינה יקרה בהרבה בהקמה אם מקימים את הרשת עם בניית העיר ולא אחרי הקמתה.</li> <li>- בטוחה יותר</li> <li>- באזורי אגמים אי אפשר להעביר רשת עילית ולכן הרשת התת-קרקעית שימושית באזורים אלו.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- פשוטה יותר להקמה, כאשר האזור כבר בנוי, מוליכים זולים יותר, אינם דורשים בידוד.</li> <li>- הקמת הרשת זולה יותר. כאשר רוצים להעלות מתח יש להחליף רק מבודדים ולהרחיק את המוליכים.</li> <li>- ניתן להעביר מתח עליון והספקים למרחקים בהפסדים קטנים יחסית ובעלות נמוכה</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- קשה מאוד להעביר מתח גבוה (אם כי אפשרי).</li> <li>- מתח עליון בלתי אפשרי.</li> <li>- יקרה בהקמה עד פי 3 מרשת עילית לאחר שהתשתית כבר קיימת.</li> <li>- דורשת חציבות ומסובכת מאוד בהקמה.</li> <li>- שינוי מתחים להעברת הספקים גבוהים יותר דורש החלפת כבל, פעולה מסובכת מאוד.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- מפגע לנוף בסביבה.</li> <li>- חשופה לברקים.</li> <li>- יותר מסוכנת (מעל כבישים או למטוסים, מסוקים).</li> </ul>	חסרונות

## פתרון שאלה 4

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$\begin{cases} Q_C = ? \\ \cos \varphi' = 0.92 \end{cases}$	מצבי המונים נתונים בטבלה.
	$t_1 = 0500$
	$t_2 = 1200$
	25 ימים
	$\cos \varphi' = 0.92$

$$12 - 5 = 7h$$

$$25 \cdot 7 = 175h$$

שעות העבודה ביממה:

שעות העבודה בתקופת הדוח:

**חישוב אנרגיה נצרכת:**

(1) אנרגיה פעילה:

(2) אנרגיה עיוורת (ריאקטיבית):

$$12390 - 10985 = 1405 KWh$$

$$9570 - 8340 = 1230 KVARh$$

$$\tan \varphi_1 = \frac{Q}{P} = \frac{1230}{1405} = 0.875 \Rightarrow \cos \varphi_1 = 0.75$$

חישוב  $\tan \varphi_1$  הקיים:

$$P = \frac{W_0}{t} = \frac{1405}{175} = 8.028 KW$$

חישוב הספק מחובר:

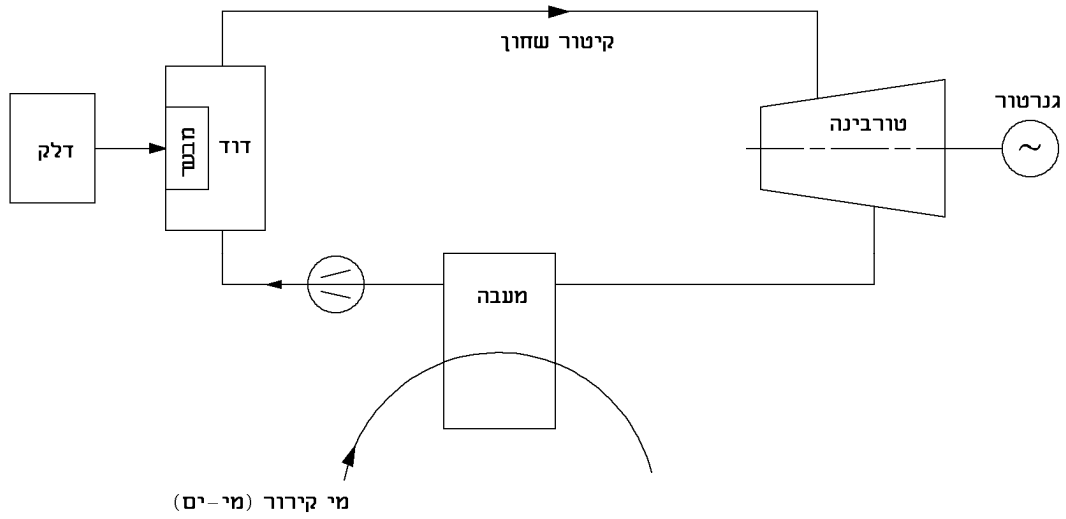
$$\cos \varphi_2 = 0.92 \Rightarrow \tan \varphi_2 = 0.426$$

קביעת גורם ההספק החדש וה-tan החדש:

$$Q_C = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = 8028 \cdot (0.875 - 0.426) = 3604.6 VAR$$

חישוב גודל הקבל:

## פתרון שאלה 5

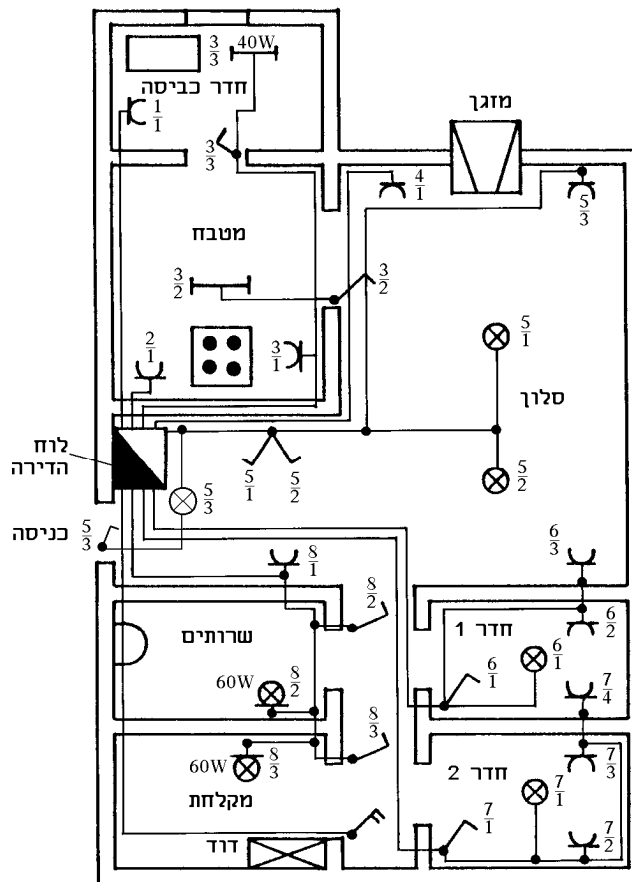


מבער המוזן על-ידי דלק מחמם את הדוד, המייצר קיטור שחון בטמפרטורה של  $540^{\circ}\text{C}$  ולחץ של 150 אטמוספרות. האנרגיה האגורה בקיטור השחון מניעה את הטורבינות בעלות הספק של מאות מגוואטים. הטורבינה מחוברת לגנרטור שהופך את האנרגיה המכנית לאנרגיה חשמלית. הקיטור היוצא מהטורבינה מעובה שוב למים על-ידי המעבה וחוזר לדוד לייצור קיטור מחדש. המעבה מקורר על-ידי מי-ים.

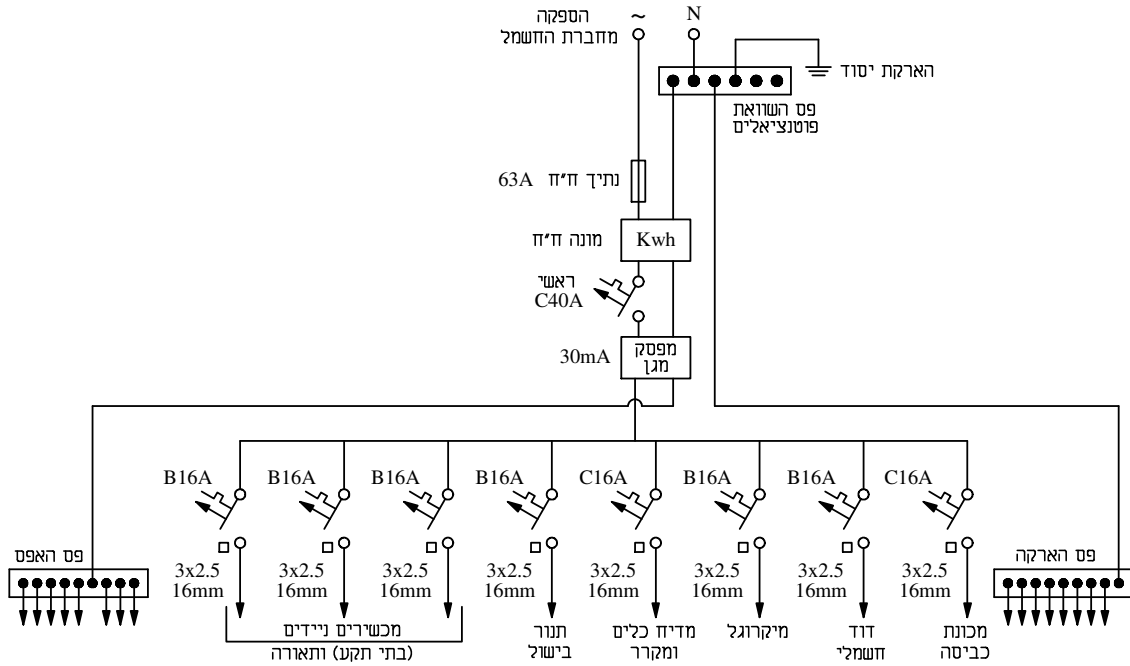
## פתרונות לנושא ב.3

### פתרון שאלה 7

- (1) שקע למכבסה.
- (2) שקע למקרר במטבח.
- (3) תאורה במטבח ובחדר כביסה ושקע נוסף במטבח.
- (4) שקע למזגן.
- (5) תאורה בסלון ושקע בכניסה.
- (6) תאורה ושקע בחדר 1 ושקע בסלון.
- (7) תאורה ושני שקעים בחדר 2 ושקע בחדר 1.
- (8) שקע בסלון ותאורה בשרותים ומקלחת.
- (9) לדוד חשמלי (בוילר).



פתרון שאלה 8



$$I = \frac{P}{U} = \frac{2000}{230} = 8.7A - \text{הזרם הגבוה ביותר נצרך על-ידי תנור הבישול}$$

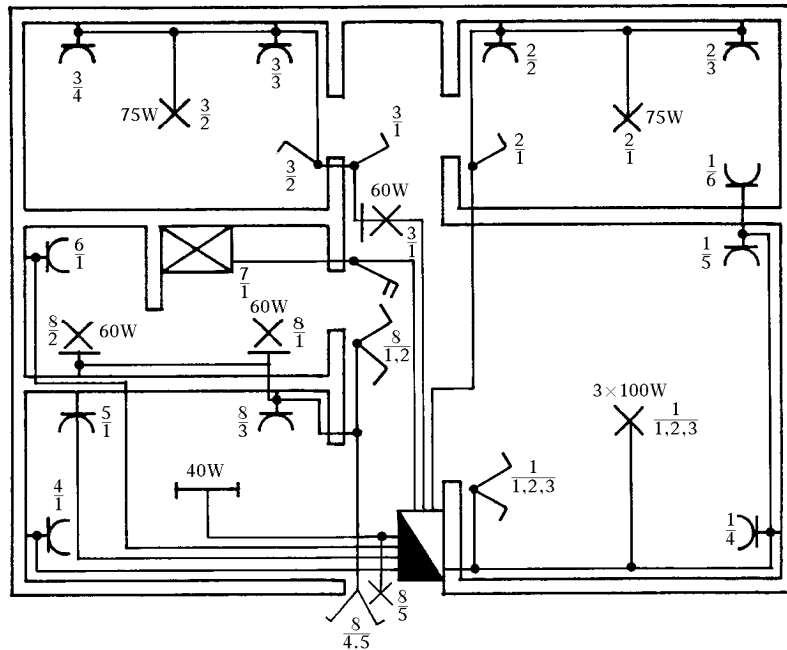
נבחר לכל הצרכנים 16A, הנותנים אפשרות הרחבה בעתיד ומוליכים של  $2.5mm^2$ , המתאימים למאמ"טים של 16A; מובילים  $16mm\Phi$  (אפשר להסתפק במובילים  $13.5mm\Phi$ ); מפסק ראשי 40A ונתיך ראשי של ח"ח 63A – כמקובל היום.

המונה, הנתיך הראשי ופס השוואת הפוטנציאלים נמצאים מחוץ ללוח, לפניו. היום נהוג למקם את הלוח בתוך הדירה ליד הכניסה. הלוח כולל פחת ומבטיחים. ואת פס השוואת הפוטנציאלים לשיטת האיפוס נהוג למקם בלוח נפרד, מעל ללוח החשמל. המונה נשאר מחוץ לדירה. ההספק הכולל של הדירה:

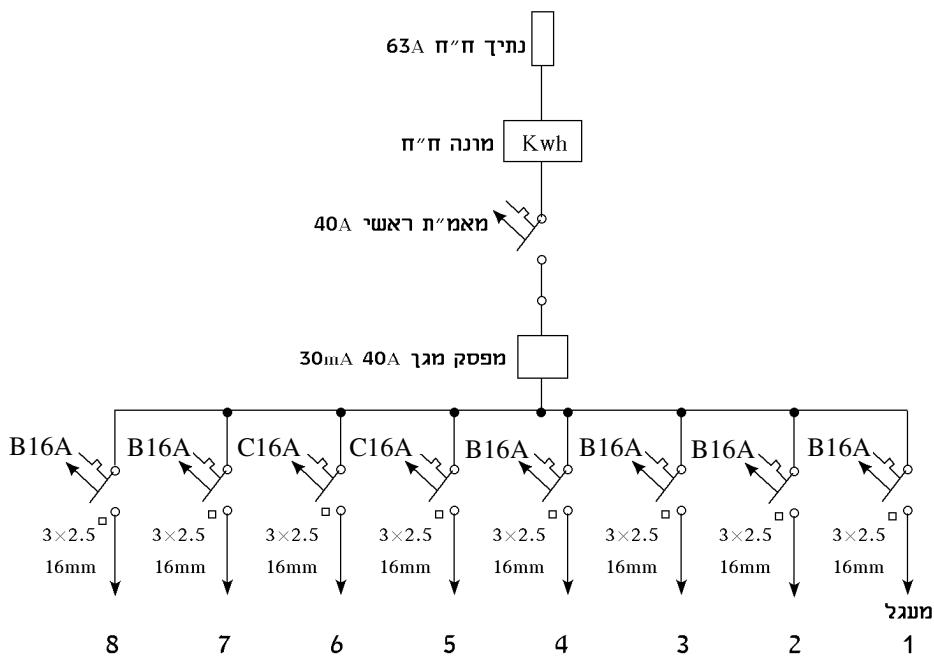
$$P = K \cdot P_t = 0.3(3500 + 2000 + 1500 + 800 + 700 + 3000 + 1500 + 500) = 8100W$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{8100}{230} = 35.2A < 40A$$

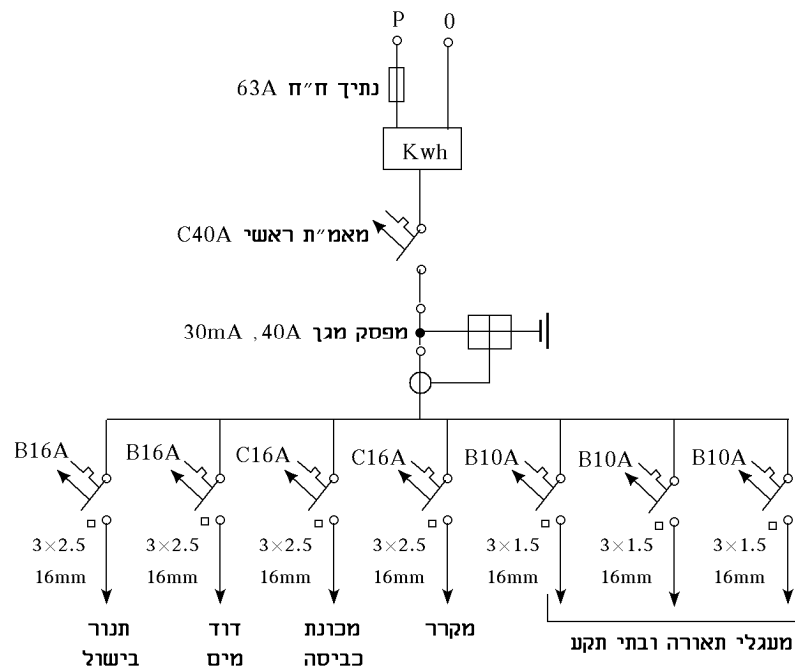
פתרון שאלה 9



- מעגל 1  $3 \times 100W$  – הנברשת בסלון ובנוסף שלושה שקעים, 2 בסלון ואחד בחדר הורים.
  - מעגל 2 – חדר שינה הורים, 2 שקעים ותאורה.
  - מעגל 3 – פרוזדור וחדר ילדים, 2 שקעים ו-2 נורות
  - מעגל 4 – שקע כוח מטבח.
  - מעגל 5 – שקע כוח 2 במטבח (למקרר).
  - מעגל 6 – שקע כוח מכונת כביסה.
  - מעגל 7 – שקע כוח דוד.
  - מעגל 8 – שקע מטבח ותאורת מטבח, שירותים, חדר כביסה ותאורת כניסה.
- בחרתי בכל המעגלים 2.5 ממ"ר, כיוון שכולם מזינים גם שקעים ובעתיד יאפשר הדבר להתחבר עם תנור או צרכנים גדולים אחרים.



פתרון שאלה 10



$$I = \frac{P}{U} = \frac{2500}{230} = 10.87A$$

נבחר הגנה 16A בעבור תנור, דוד מים ומכונת כביסה

ומוליכים  $2.5mm^2$

בשאר המעגלים נבחר הגנות של 10A ומוליכים  $1.5mm^2$

המוביל המתאים הוא  $13.5mm$ . נבחר מידה גדולה יותר כדי שלא ייווצרו בעיות השחלה וכדי שבמקרה הצורך יהיה אפשר להכניס עוד מוליך.

$$P_t = 2500 + 2000 + 2500 + 1000 + 1000 + 3000 = 12000W$$

$$k = 0.5$$

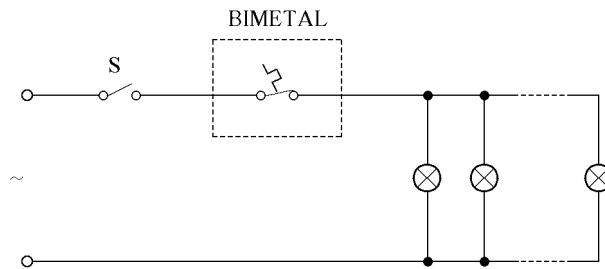
$$P_{\text{גיר}} = k \cdot P_t = 6000W$$

$$I_{\text{ראשי}} = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{6000}{230 \cdot 0.92} = 28.36A$$

נבחר מבטיח ראשי של 40A.

**פתרון שאלה 11**

נתכנן נורות מהבהבות המשמשות לקישוט:



כאשר נפעיל את המתג S יזרום זרם דרך המעגל והנורות ידלקו. הזרם שזורם גם דרך רכיב ה-BIMETAL יחמם אותו וכעבור מספר שניות יגרום לניתוקו ולכיבוי הנורות. במצב זה יתקרר רכיב ה-BIMETAL ולאחר מספר שניות ייסגר המגע וחוזר חלילה. קיבלנו כך מערכת של נורות מהבהבות.

ה-BIMETAL מורכב משתי רצועות מתכת בעלות מקדמי התפשטות לטמפרטורה שונות הצמודות זו לזו. בטמפרטורת הסביבה נמצאות המתכות במצב ישר ומשמשות כאחד המגעים במתג, שהוא במצב רגיל סגור. עם עליית הטמפרטורה, בשל זרימת הזרם דרך פס המתכות הצמודות, יתכוּפּף פס המתכות בשל התארכות שונה של כל מתכת והמגע יתנתק.

**פתרון שאלה 12**

.א.

$I_{st}$	שטח חתך מוליכים $A - [mm^2]$	מבטיח - $I_n$	$I_b$	P הספק כולל	מס' מעגל
	$3 \times 1.5$	B - 10A	$\frac{300}{230} = 1.3A$	$75 \times 4 = 300W$	1
	$3 \times 1.5$	B - 10A	$\frac{600}{230} = 2.6A$	$100 \times 6 = 600W$	2
	$3 \times 1.5$	B - 10A	10A	$230 \times 10 = 2300W$	3
	$3 \times 1.5$	B - 10A	6.52A	1500W	4
$4 \times 4 = 16A$	$3 \times 1.5$	C - 10A	4A	920W	5
$4 \times 4 = 16A$	$3 \times 1.5$	C - 10A	4A	920W	6
	$3 \times 1.5$	B - 10A	6.52A	1500W	שמור

בחירת המוליכים והמבטיחים על-פי דוניבסקי  $I_b \leq I_n \leq I_z$ .

ההספק הכולל  $P_T = 300 + 600 + 2300 + 1500 + 920 + 920 + 1500 = 8040W$

$I_{br} = \frac{P_T \cdot K_C}{U} = \frac{8040 \cdot 0.7}{230} = 24.47A$

ב. הזרם בקו הראשי

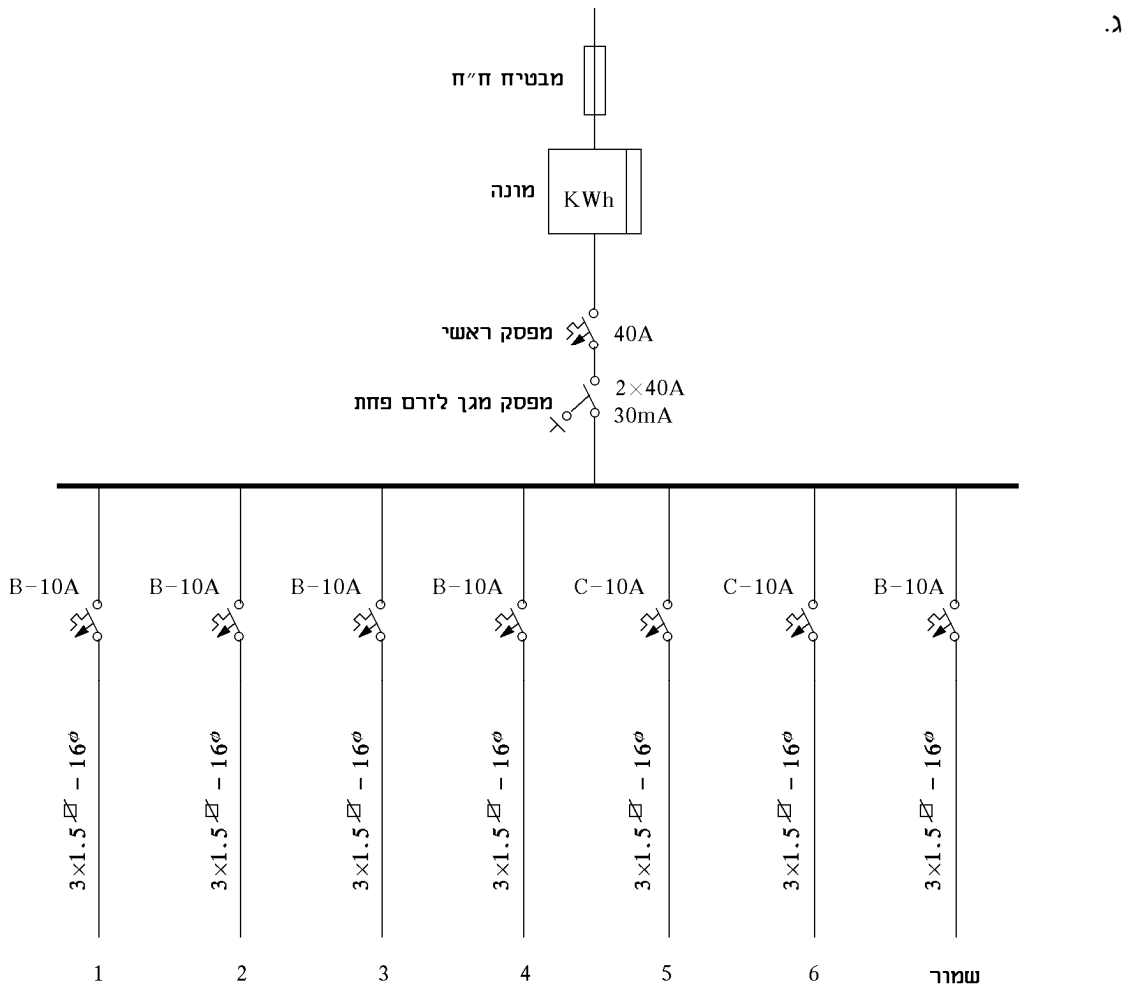
$I_{nr} = 25A$

גודל המפסק הראשי

רצוי לבחור מפסק ראשי של 40A.

(המשך הפתרון בעמוד הבא)





### פתרון שאלה 13

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}$$

חישוב צריכת הזרם לכל מכשיר:

$$I_1 = \frac{2500}{230} = 10.87A$$

א.

$$I_2 = \frac{2500}{230} = 10.87A$$

ב.

$$I_3 = \frac{2000}{230} = 8.7A$$

ג.

$$I_4 = \frac{2000}{230} = 8.7A$$

ד.

$$I_5 = \frac{1000}{230} = 4.35A$$

ה.

$$I_6 = \frac{3000}{230} = 13.04A$$

ו.

$$I_7 = \frac{1200}{230} = 5.2A$$

לתאורת הדירה נוסף עוד 1200W:

חלוקת המעגלים :

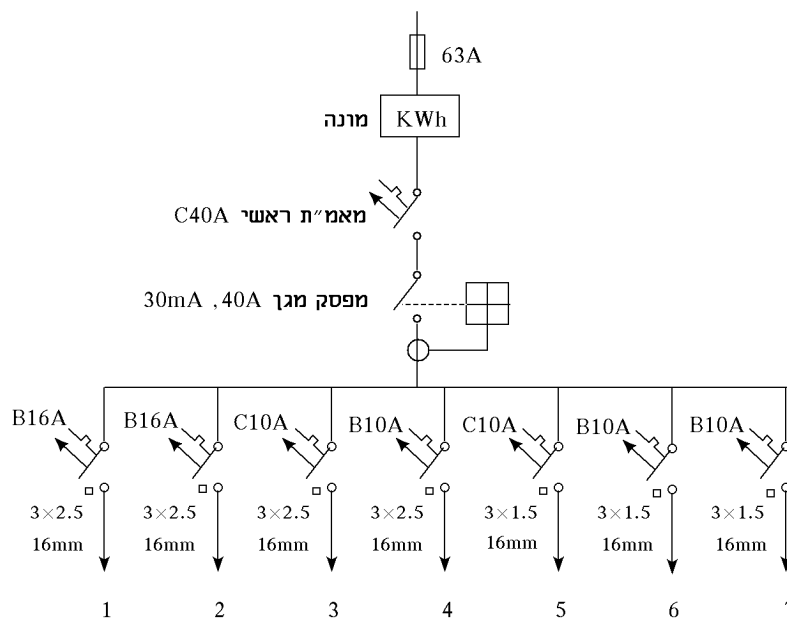
מעגל	תאור	הספק (W)	זרם (A)	מא"ז (A)
1	כיריים	2500	10.87	16B
2	תנור חשמלי	2500	10.87	16B
3	מכונת כביסה	2000	8.7	10C
4	דוד מים חמים	2000	8.7	10B
5	מקרר	1000	4.35	10C
6	חצי מהשקעים וחצי מהתאורה	2100	9.13	10B
7	חצי שני מהשקעים והתאורה	2100	9.13	10B
סה"כ			61.75	

$$I = I_T \cdot K = 61.75 \cdot 0.6 = 37A$$

זרם ראשי :

נבחר מא"ז ראשי תקני של 40A.

נתיך חברת חשמל 63A.

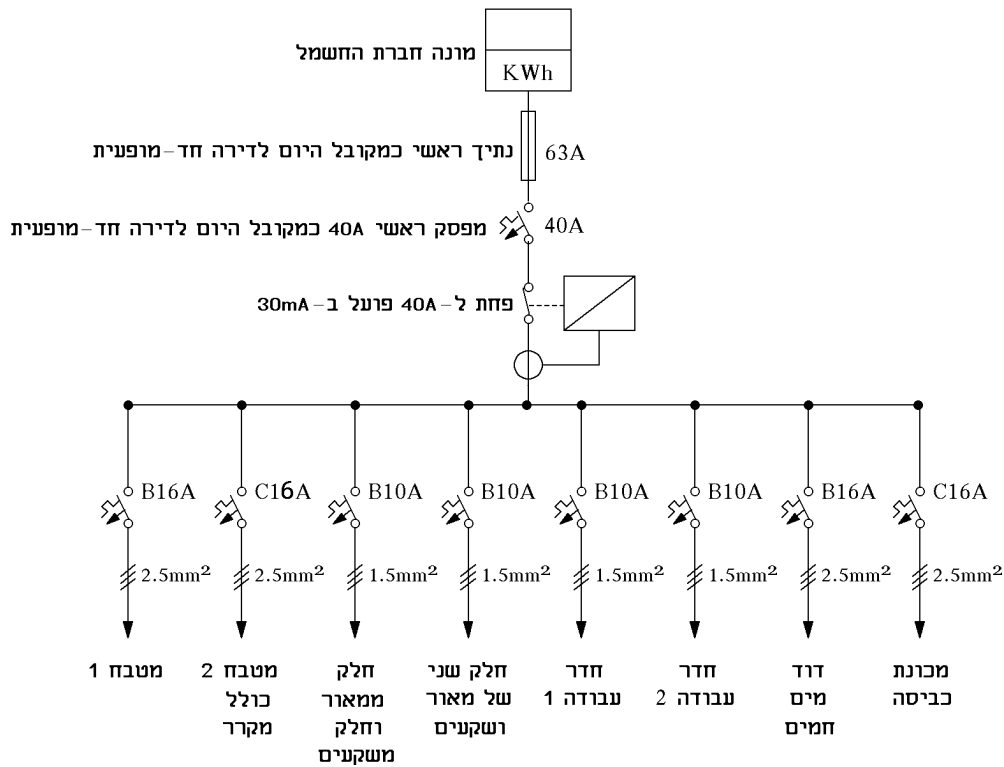


### פתרון שאלה 14

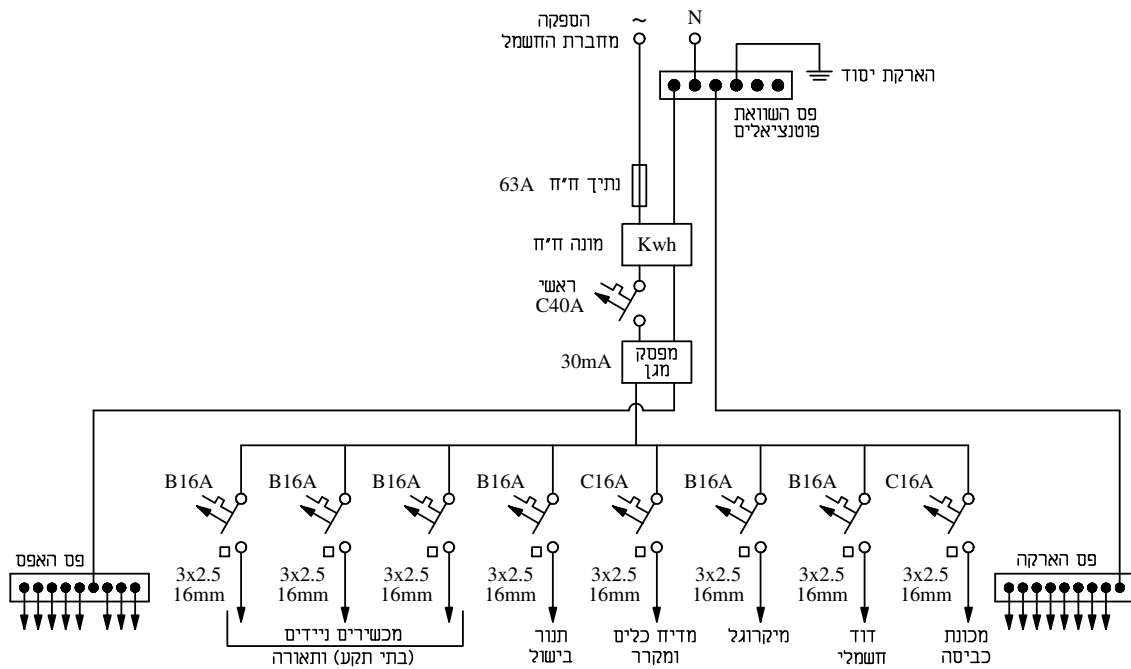
נתיד	זרם (A)	הספק (W)	מקום
16B	13	3000	מטבח 1
16C כולל מקרר	13 מקרר	3000	מטבח 2
10B	6.5	1500	מאור ושקעים 1
10B	8.7	2000	חדר עבודה 1
10B	8.7	2000	חדר עבודה 2
16B	13	3000	דוד מים חמים
10B	6.5	1500	מאור ושקעים 2
16C	8.7	2000	מכונת כביסה
40C	78.26	16000	

$$I = 78.26 \cdot K = 78.26 \cdot 0.5 = 39.13A$$

לכן נבחר מפסק ראשי של 40A כמקובל היום. המאור והשקעים חולקו לשני מעגלים. במקרה של הפסקת חשמל באחד המעגלים עדיין יהיה מאור בחלק האחר של הבית.



פתרון שאלה 15



$$I = \frac{P}{U} = \frac{2500}{230} = 10.7A$$

הזרם הגבוה ביותר נצרך על-ידי הדוד החשמלי

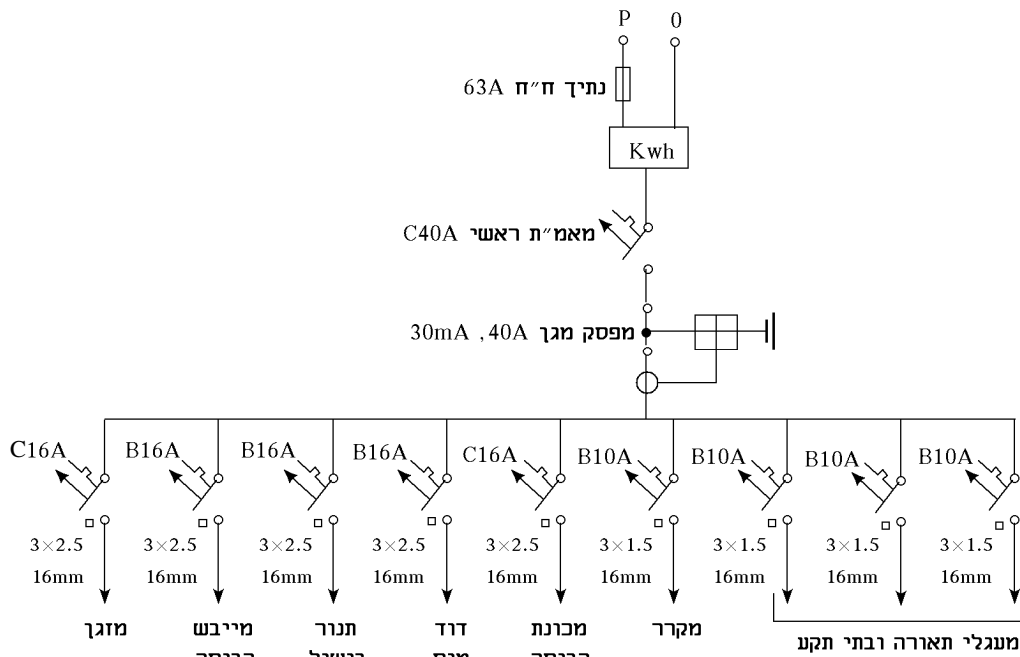
נבחר לכל הצרכנים 16A, הנותנים אפשרות הרחבה בעתיד ומוליכים של 2.5mm<sup>2</sup>, המתאימים למאמ"תים של 16A; מובילים  $\phi 16mm$  (אפשר להסתפק במובילים  $\phi 13.5mm$ ), מפסק ראשי 40A כמקובל היום, נתיך ראשי של ח"ח 63A, כמקובל היום.

המונה, הנתוך הראשי ופס השוואת הפוטנציאלים נמצאים מחוץ ללוח, לפניו. היום נהוג למקם את הלוח בתוך הדירה ליד הכניסה. הלוח כולל פחת ומבטיחים. ואת פס השוואת הפוטנציאלים לשיטת האיפוס נהוג למקם בלוח נפרד, מעל ללוח החשמל. המונה נשאר מחוץ לדירה. ההספק הכולל של הדירה:

$$P = K \cdot P_t = 0.6(3500 + 2000 + 1000 + 1000 + 700 + 2500 + 1500 + 1000) = 7920W$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{7620}{230} = 34.43A < 40A$$

פתרון שאלה 16



נבחר הגנה 16A עבור תנור, דוד מים, מכונת כביסה ומייבש כביסה  $I = \frac{P}{U} = \frac{2500}{230} = 10.87$  ומוליכים  $2.5mm^2$

עבור המזגן נבחר גם הגנה 16A  $I = \frac{3 \cdot 736}{0.92 \cdot 230} = 10.43A$

בשאר המעגלים נבחר הגנות של 10A ומוליכים  $1.5mm^2$ . המוביל המתאים הוא  $13.5mm$ . נבחר מידה גדולה יותר כדי שלא יוצרו בעיות השחלה וכדי שבמקרה הצורך יהיה אפשר להכניס עוד מוליך. נבחר את הספק בתי התקע ומאור כ-4000W

$$P_t = 2500 + 2000 + 2500 + 2000 + 1000 + 4000 = 14000W$$

$$k = 0.5$$

$$P_{דירה} = k \cdot P_t = 7000W$$

$$I_{ראשי} = \frac{P}{U} = \frac{7000}{230} = 30.4A$$

נבחר מבטיח ראשי של 40A

## פתרון שאלה 17

- א. תקנות החשמל קובעות כי, לחישוב המספר המינימלי של מעגלי המאור ובתי התקע שיש להתקין בדירת מגורים כלשהי, יש שתי שיטות:
- 1) לפי גודל שטח הרצפה הכולל של הדירה – יש להתקין מעגל אחד לפחות לכל 40 מ"ר משטח הרצפה. לכן בדירה זו יש להתקין שלושה מעגלים לפחות.
  - 2) לפי מספר החדרים בדירה – התקנות קובעות כי לכל שני חדרים יש להתקין לפחות מעגל אחד. המטבח נחשב אף הוא לחדר, אולם, מעבר וחדרי שירותים אינם נחשבים לחדרים. לפיכך, יש להתקין לפחות שני מעגלים.
- אולם, מאחר שהתקנות מחייבות להתקין את כמות המעגלים לפי שיטת החישוב המחייבת יותר מעגלים, הרי שלדירה זו יהיו שלושה מעגלי מאור ובתי-תקע לפחות.
- ב. בכל חדר יש להתקין לפחות נקודת מאור אחת ושני בתי-תקע. בחדרי השירותים יש להתקין נקודת מאור אחת לפחות בכל אחד מהם. בסלון הדירה, ששטחו מעל 40 מ"ר, יש להתקין לפחות שתי נקודות מאור וארבעה בתי-תקע. לגבי מרפסת יש להתקין לפחות נקודת מאור אחת ובית תקע אחד.

## פתרון שאלה 18

חשב:	נתון:
$I_b = ?$	א. $P = 3000W$
$I_n = ?$	ב. $U = 230V$
$A = ?$	ג.

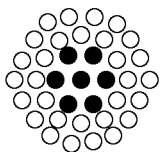
$$I_b = \frac{P}{U} = \frac{3000}{230} = 13.04A \quad \text{א.}$$

- ב. גודל הנתיד לפי טבלה הוא 16A מסוג B.
- ג. שטח חתך המוליכים לפי התקן ולפי דרישת חברת החשמל למעגל דוד מים חמים הוא 2.5 מ"ר.
- ד. יש להתקין שני מפסקים דו-קוטביים עם נורת ביקורת, אחד בתוך הדירה והאחר בקירבת הדוד. כאשר יש תקלה במערכת החשמל של הדוד, ינתק החשמלאי את המפסק ליד הדוד ויוכל לבצע את התיקונים הדרושים בלי לחשוש שהדייר ידליק את המפסק בתוך הדירה.

## פתרון שאלה 19

סוגי המוליכים הנפוצים בדירות וברשתות תת קרקעיות הם נחושת ואלומיניום, כאשר הנחושת נפוצה יותר, משום שהיא בעלת מוליכות טובה יותר או התנגדות סגולית נמוכה יותר.

$$\rho = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m} \quad \text{נחושת} \quad \rho = 0.028 \frac{\Omega mm^2}{m} \quad \text{אלומיניום}$$



הנחושת אינה המוליך הטוב ביותר. הכסף טוב ממנה מבחינת התנגדות סגולית, אך הפרשי המחיר הם גדולים.

ברשתות עיליות השימוש בנחושת אינו נפוץ וזאת בגלל משקלו הסגולי הגבוה. חשוב מאוד שמשקל המוליכים יהיה נמוך, דבר שיחסוך בעמודים ובתשתית. לכן, ברשתות עיליות בנויים המוליכים לרוב מתילי אלומיניום שמשקלם הסגולי נמוך מאוד ומחזיק פלדה.

המוליך ברשת עילית מורכב מגרעין פלדה חזק ומאלומיניום בעל משקל סגולי נמוך ומוליכות סגולית טובה.

### פתרונות לנושא ג.3

#### פתרון שאלה 20

נתון:	חשב:
$\cos \varphi_1 = 0.75$	א. $\left(1 - \frac{I_2}{I_1}\right) \% = ?$
$\cos \varphi_2 = 0.93$	ב. $\left(1 - \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}\right) \% = ?$

#### פתרון תיאורטי למערכת תלת-מופעית

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi_1} \quad \text{לפני שיפור} - \cos \varphi_1$$

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi_2} \quad \text{לאחר שיפור} - \cos \varphi_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} \Rightarrow I_2 = I_1 \left( \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)$$

$$\Delta P_1 = 3RI_1^2$$

$$\Delta P_2 = 3RI_2^2$$

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \left( \frac{I_1}{I_2} \right)^2 \Rightarrow \Delta P_2 = \Delta P_1 \left( \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2$$

#### פתרון מספרי

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{0.75}{0.93} = 0.806I_1 \quad \text{א.}$$

הזרם יורד ב-20%.

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \left( \frac{0.75}{0.93} \right)^2 = 0.65\Delta P_1 \quad \text{ב.}$$

הפסדי הספק יורדים ב-35%.

#### פתרון שאלה 21

נבצע את ההשוואה פעמיים:

א. כאשר נדרש  $Q_C$  זהה ב-2 סוגי החיבור.

ב. כאשר משתמשים בקבלים זהים ב-2 סוגי החיבור.

א. חישוב קיבוליות הקבלים בהנחה ש- $Q_C$  נתון.

חיבור משולש $\Delta$	חיבור כוכב $Y$
$Q_C$	$Q_C$
$U_\Delta = \sqrt{3} \cdot U_Y$	$U_Y$
$Q_C = 3\omega \cdot C_\Delta \cdot U_\Delta^2$	$Q_C = 3\omega \cdot C_Y \cdot U_Y^2$

$$C_{\Delta} \cdot U_{\Delta}^2 = C_{\Delta} \cdot 3U_Y^2 = C_Y \cdot U_Y^2$$

$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3}$$

כלומר, לקבלת הספק זהה נדרש בחיבור משולש  $1/3$  קיבול מאשר בחיבור כוכב.

ב. חישוב הספק סוללת הקבלים בהנחה ש-C קבוע.

חיבור משולש $\Delta$	חיבור כוכב Y
C	C
$U_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot U_Y$	$U_Y$
$Q_{\Delta} = 3\omega \cdot C \cdot U_Y^2$	$Q_Y = 3\omega \cdot C \cdot U_Y^2$

$$Q_{\Delta} = 3Q_Y$$

כלומר, הספק סוללת הקבלים בחיבור משולש גדול פי 3 מאשר בחיבור כוכב.

## פתרון שאלה 22

חשב:	נתון:
א. $Q_C = ?$	מפסק ראשי $50A$
ב. כמה מזגנים ניתן להוסיף?	$I = 50A$ $P = 25KW$ $U = 400V$ $\cos \varphi_2 = 0.92$ מזגנים $P = 2KW$ מזגנים $\cos \varphi = 0.92$

$$\cos \varphi_{\text{קיים}} = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{3}UI} \quad \text{א.}$$

$$\cos \varphi_{\text{קיים}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 50} = 0.7217 \Rightarrow \tan \varphi_{\text{קיים}} = 0.959$$

$$Q_C = P (\tan \varphi_{\text{קיים}} - \tan \varphi_{\text{רצוי}}) = 25(0.959 - 0.426) = 13.33KVAR$$

$$Q_C = 13.33KVAR$$

$$Q_C \text{ מסחרי} = 15KVAR$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 50 \cdot 0.92 = 31.869KW \quad \text{ב. לאחר שיפור } \cos \varphi :$$

$$31.869 - 25 = 6.86KW$$

ניתן לחבר ללוח עוד 3 מזגנים בהספק של 2KW כל אחד.

## פתרון שאלה 23

נתון:

חשב:

בתוך כמה זמן יחזיר המפעל את ההשקעה  
בהתקנת הקבלים.

$$I_L = 60A$$

$$U_L = 400V$$

$$P = 32KW$$

$$\cos \varphi_2 = 0.92$$

$$l = 100m$$

$$\rho = 0.018 \frac{\Omega mm^2}{m}$$

$$A = 25mm^2$$

$$t_{שנתי} = 25 \cdot 12 \cdot 12h$$

$$50 \text{ KVAR/ש"ח}$$

$$25 \text{ אגורות}$$

מחיר הקבלים:

מחיר קו"ש:

חישוב ההפסדים בקו ההזנה לפני שיפור:  $\cos \varphi_1$ .

$$\Delta P_1 = 3RI_1^2 = 3\rho \frac{l}{A} \cdot I_1^2 = 3 \cdot \frac{0.018 \cdot 100}{25} \cdot 60^2$$

$$\Delta P = 777.6W$$

חישוב הפסדי הספק בקו ההזנה לאחר שיפור:  $\cos \varphi_2$ .

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_2} = \frac{32000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 50.2A$$

$$\Delta P_2 = 3RI_2^2 = 3 \cdot \frac{0.018 \cdot 100}{25} \cdot 50.2^2 = 544W$$

$$\Delta P_1 - \Delta P_2 = 777.6 - 544 = 233.6W$$

$$\Delta W = 12 \cdot (12 \cdot 25) \cdot 233.6 = 840.960KWh$$

חישוב הפסדי אנרגיה שנתיים:

$$M = 840.96 \cdot 0.25 = 210.24 \text{ שקל}$$

רווח במחיר הפסדי אנרגיה:

$$\cos \varphi_{קיים} = \frac{P}{S} = \frac{32000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 60} = 0.769$$

חישוב הקבלים לשיפור  $\cos \varphi$ :

$$\tan \varphi_{קיים} = 0.83$$

$$Q_C = P(\tan \varphi_{קיים} - \tan \varphi_{רצוי}) = 32(0.83 - 0.426)$$

$$Q_C = 12.9KVAR$$

$$Q = 13KVAR$$

$$M_2 = 13 \cdot 50 = 650 \text{ שקל}$$

מחיר הקבלים בשקלים:

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{650}{210.24} = 3.09 \text{ שנים}$$

החזר ההוצאות בחיבור קבלים נעשה לאחר:



## פתרון שאלה 24

חישוב קווי ההזנה נעשה לפי הנוסחאות שלהלן:

$$P_{\text{חשמלי}} = \frac{P}{\eta}$$

$$Q_{\text{חשמלי}} = P \cdot \tan \varphi$$

$$\cos \varphi_{\text{ממוצע}} \Rightarrow \tan \varphi_{\text{ממוצע}} = \frac{\sum Q}{\sum P}$$

$$Q_C = \sum P (\tan \varphi_{\text{ממוצע}} - \tan \varphi_{\text{רצוי}})$$

A Mm <sup>2</sup>	כיוול תרמי	מפסק I	I <sub>n</sub>	Q חשמלי KVAR	P חשמלי KW	מספר סידורי
4 × 10	40 – 63	63	39.035	14.246	22.988	1
4 × 1.5	4 – 6	6	5.33	2.449	2.77	2
4 × 1.5	4 – 6	6	5.33	2.449	2.77	3
4 × 16	–	63	49.6	19.145	28.528	סה"כ

$$\cos \varphi_{\text{ממוצע}} \Rightarrow \tan \varphi_{\text{ממוצע}} = \frac{\sum Q}{\sum P} = \frac{19.145}{28.528} = 0.671$$

$$\cos \varphi_{\text{ממוצע}} = 0.83$$

$$Q_C = 28.528(0.671 - 0.426) = 6.989 \text{ KVAR}$$

בוחרים קבל מסחרי  $Q_C = 7.5 \text{ KVAR}$ .

$$I_C = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 400} = 10.8 \text{ A}$$

חישוב קו הזנה לקבל:

$$I > 1.43 \cdot I_C = 15.48 \text{ A}$$

בוחרים מפסק של 16A.

$$A = 4 \cdot 1.5 \text{ mm}^2$$

נחבר את שטח החתך לפי  $I_C$ :

## פתרון שאלה 25

נתון:	חשב:
$\eta = 85\%$	א. $\cos \varphi_{\text{נדרש}} = ?$
$\cos \varphi = 0.8$	ב. $Q_C = ?$
$U = 400 \text{ V}$	ג. $I = ?$ , $A = ?$
$P = 30 \text{ KW}$	ד. $C_\Delta, C_Y = ?$

$$\cos \varphi_{\text{נדרש}} = 0.92 \quad \text{א.}$$

$$P_{\text{חשמלי}} = \frac{P_{\text{out}}}{\eta} = \frac{30}{0.85} = 35.29 \text{ KW} \quad \text{ב.}$$

$$Q_C = P(\tan \varphi_{\text{קיים}} - \tan \varphi_{\text{רצוי}}) = 35.29(0.75 - 0.426) = 11.43 \text{ KVAR}$$

$$Q_C = 11.43 \text{ KVAR}$$

בוחרים קבלים מסחריים  $Q_C = 12.5 \text{ KVAR}$ .

ג. חישוב קו ההזנה לקבל:  $I_C = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{12500}{\sqrt{3} \cdot 400} = 18A$

מפסק  $I > 1.43 \cdot I_C = 18 \cdot 1.43 = 25.8A$

בוחרים מפסק 32A

שטח החתך נבחר לפי  $I_C$  בהתאם לטבלה 70.1 במדריך לחשמלאי של דוניבסקי:  $4mm^2$

ד. ניתן לחבר את הקבלים בסוללה בכוכב או במשולש.

$$C_Y = \frac{Q_C}{3U_Y^2\omega} = \frac{12500}{3 \cdot 230^2 \cdot 314} = 250.8 \cdot 10^{-6} F = 250.8 \mu F$$

$$C_\Delta = \frac{Q_C}{3U_\Delta^2\omega} = \frac{12500}{3 \cdot 400^2 \cdot 314} = 82.9 \cdot 10^{-6} F = 82.9 \mu F$$

### פתרון שאלה 26

חשב:	נתון:
א. זווית בין המתח לזרם	$U = 220V$
$\cos \varphi_{T_1} = ?$	$f = 50Hz$
ב. $C = ?$	$P_{M_1} = 4KW$
	$\cos \varphi_1 = 0.8$
	$P_{M_2} = 3KW$
	$\cos \varphi_2 = 0.6$
	$S_{M_3} = 5.5KVA$
	$\cos \varphi_3 = 0.85$
	$\sin \varphi_3 = 0.527$
	יש לשפר:
	$\cos \varphi_{T_2} = 0.92$
	$\tan \varphi_{T_2} = 0.4259$

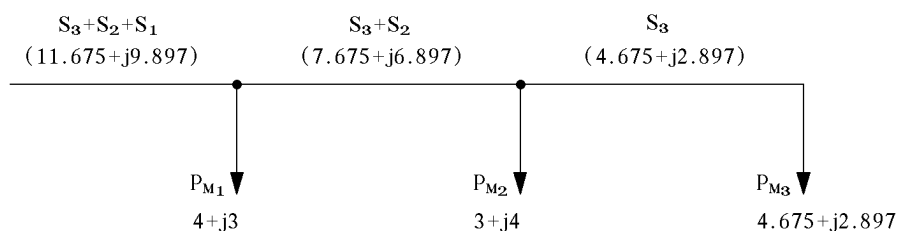
א.  $S_1 = P_1 + j \frac{P_1 \cdot \sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} = 4 + j \frac{4 \cdot 0.6}{0.8} = 4 + j3KVA$

$S_2 = P_2 + j \frac{P_2 \cdot \sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} = 3 + j \frac{3 \cdot 0.8}{0.6} = 3 + j4KVA$

$S_3 = 5.5 \cdot \cos \varphi_3 + j5.5 \sin \varphi_3 = 5.5 \cdot 0.85 + j5.5 \cdot 0.527 = 4.675 + j2.897KVA$

$S_3 + S_2 = 7.675 + j6.897KVA$

$S_{T_1} = S_3 + S_2 + S_1 = 11.675 + j9.897KVA$



$$Q = P \cdot \tan \varphi_{T_1}$$

$$\tan \varphi_{T_1} = \frac{Q}{P} = \frac{9.897}{11.675} = 0.8477$$

$$\arctan \varphi_{T_1} = 40.288^\circ$$

$$\cos \varphi_{T_1} = 0.7628$$

$$C = \frac{P_T}{2\pi f U^2} \cdot (\tan \varphi_{T_1} - \tan \varphi_{T_2}) = \frac{11.675 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 50 \cdot 220^2} \cdot (0.8477 - 0.4259) = 323.868 \cdot 10^{-6} F \quad \text{ב.}$$

$$C = 324 \cdot 10^{-6} F = 324 \mu F$$

### פתרון שאלה 27

חשב:	נתון:
$C_\Delta = ?$	מנוע תלת-מופעי.
	$\cos \varphi_1 = 0.75$
	$\cos \varphi_2 = 0.95$
	$\eta = 84\%$
	$f = 50Hz$
	$U_L = 400V$
	$P = 30HP$

$$P_{in} = \frac{P_{out} \cdot 736}{\eta} = \frac{30 \cdot 736}{0.84}$$

$$P_{in} = 26285.714W$$

$$Q_1 = P \cdot \tan \varphi_1 = 26285.714 \cdot 0.882 = 23181.821VAR$$

$$Q_2 = P \cdot \tan \varphi_2 = 26285.714 \cdot 0.3286 = 8639.696VAR$$

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = 14542.13VAR$$

$$Q_C = 3U^2 \cdot \omega \cdot C$$

$$C = \frac{Q_C}{3U^2 \cdot \omega} = \frac{14542.13}{3 \cdot 400^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 96.5 \mu F$$

הספק המנוע הצורך מהרשת:

הספק עיוור לפני השיפור:

ההספק העיוור אחרי השיפור:

ההספק הנדרש ממערכת הקבלים:

### פתרון שאלה 28

חשב:	נתון:
בדוק אם תחום ויסות יתרת זרם $I = 10 \div 16A$ מתאים.	מנוע השראתי תלת-מופעי
	$P_2 = 12KW$
	$U = 400V$
	חיבור במשולש
	$\cos \varphi = 0.9$
	$\eta = 0.85$

$$1. I_L = \frac{P_2}{\eta \sqrt{3} U_2 \cdot \cos \varphi} = \frac{12000}{0.85 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9} = 22.64 A$$

$$2. I_{n_{PH}} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{22.64}{\sqrt{3}} = 13.07 A \quad \text{חיבור במשולש:}$$

מנועים בעלי הספק מעל 4HP מותנעים בעזרת מתנע כוכב-משולש. ברגע ההתנעה, המנוע מחובר בכוכב והממסר ליתר זרם מחובר בטור עם סלילים. כלומר, דרכו זורם זרם  $(2)I_{PH}$ . כתוצאה מכך:

$$I_{OL_{\Delta PH}} = \frac{I_n}{\sqrt{3}} \cdot (1.05 \div 1.2) = 13.07(1.05 \div 1.2) = 13.72 \div 15.68 A$$

כלומר, הוויסות  $10 \div 16 A$  מאפשר לכוון את הממסר ליתר עומס בגבולות:  $13.72 \div 15.68 A$ .

### פתרון שאלה 29

חשב:		נתון:
$\cos \varphi = ?$	א.	הנתונים רשומים בטבלה
$Q_C = ?$	ב.	$U = 400V$
		רשת תלת-מופעית

$$P_{1A} = \frac{30HP \cdot 0.736}{0.85} = 26KW \quad \text{א. הספק החשמלי של המנוע אחד במחלקה A:}$$

$$P_{iA} = 30 \cdot 26 = 780KW \quad \text{ההספק הכולל המותקן במחלקה A ( $P_{iA}$ ):}$$

$$P_{CA} = P_{iA} \cdot K_{CA} = 780 \cdot 0.4 = 312KW$$

$$P_{1B} = \frac{P_2}{\eta} = \frac{20}{0.8} = 25KW \quad \text{ההספק החשמלי של מנוע אחד במחלקה B:}$$

$$P_{iB} = 20 \cdot 25 = 500KW \quad \text{ההספק הכולל המותקן במחלקה B ( $P_{iB}$ ):}$$

$$P_{CB} = P_{iB} \cdot K_{CB} = 500 \cdot 0.5 = 250KW$$

$$P_C = P_{CA} + P_{CB} = 312 + 250 = 562KW \quad \text{הספק בפועל של כל המפעל:}$$

$$Q_{CA} = P_{CA} \cdot \tan \varphi_A; \cos \varphi_A = 0.9; \tan \varphi_A = 0.484 \quad \text{הספק היגבי בפועל של מחלקה A:}$$

$$Q_{CA} = 312 \cdot 0.484 = 151KVAR$$

$$Q_{CB} = P_{CB} \cdot \tan \varphi_B; \cos \varphi_B = 0.85; \tan \varphi_B = 0.619 \quad \text{ההספק ההיגבי בפועל של מחלקה B:}$$

$$Q_{CB} = 250 \cdot 0.619 = 154.75KVAR$$

$$Q = Q_A + Q_B = 151 + 154.75 = 305.75KVAR \quad \text{ההספק ההיגבי של כל המפעל:}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P_C} = \frac{305.75}{562} = 0.544$$

$$\cos \varphi = 0.878 \quad \text{מקדם ההספק של כל המפעל:}$$

ב. עקב העובדה שמקדם ההספק אינו עונה על דרישות חברת החשמל  $\cos \varphi' = 0.92$ , חייבים לחבר סוללות קבלים לפסי צבירה של המפעל:

$$Q_C = P_C \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi') = 562(0.544 - 0.426) = 66.3KVAR$$

נבחר קבל מסחרי בערך של 70KVAR.

## פתרון שאלה 30

נתון:	חשב:
נתוני העומסים רשומים בטבלה.	א. $Q_C, C\Delta = ?$
$U = 400V$	ב. יש לבחור סוללות קבלים ולחשב את קיבול הקבל.
$K_C = 0.7$	

א.

$Q = P \tan \varphi$ KVAR	$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	נצילות $\eta$	הספק כניסה $P_i = \frac{P_2}{\eta} KW$	הספק יציאה ( $P_2$ )		שם המכשיר	מס'
					KW	HP		
	0	1		7	7		תנור חימום	1
2.208	0.75	0.8	0.75	2.944		3	מחרטה	2
3.21	0.698	0.82	0.80	4.6		5	כרסומת	3
1.822	0.619	0.85	0.75	2.944		3	משחזת	4
1.575	0.75	0.80	0.70	2.1		2	מקדחה	5
$Q = S \cdot \sin \varphi = 8$		0.60		6	10KVA		רתכת	6
16.815KVAR				KW25.588	סה"כ			

$$P_C = P_i \cdot K_C = 25.588 \cdot 0.7 = 17.91KW \quad \text{הספק בפועל:}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P_C} = \frac{16.815}{17.91} = 0.938 \Rightarrow \cos \varphi = 0.729 \quad \text{חישוב } \cos \varphi \text{ הקיים:}$$

$$\text{ההספק ההיגבי של סוללת הקבלים הדרושים לשיפור מקדם ההספק עד ל-} \cos \varphi' = 0.92 \Rightarrow \tan \varphi' = 0.426$$

$$Q_C = P_C (\tan \varphi - \tan \varphi') = 17.91(0.938 - 0.426) = 9.17KVAR$$

$$Q_C = 10KVAR \quad \text{ב. נבחר מטבלת סוללות הקבלים (מהמדריך לחשמלאי), סוללת קבלים שהספקה}$$

$$Q_C = 3U^2 \cdot \omega C_\Delta \quad \text{בחיבור במשולש של קבלים:}$$

$$C_\Delta = \frac{Q_C}{3U^2 \cdot \omega} = \frac{10000}{3 \cdot 400^2 \cdot 314} = 0.0000663F = 66.4\mu F$$

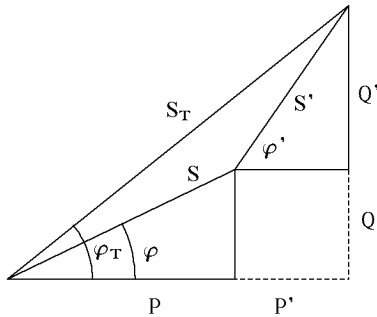
פתרון שאלה 31

נתון:

חשב:

$$S', \cos \varphi_T = ?$$

$$\begin{aligned} S &= 80 \text{KVA} \\ \cos \varphi &= 0.85 \\ \cos \varphi' &= 0.6 \\ S_T &= 100 \text{KVA} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} (1) \quad & (P + P')^2 + (Q + Q')^2 = S_T^2 \\ (2) \quad & \cos \varphi' = 0.6 \Rightarrow \tan \varphi' = \frac{4}{3} = \frac{Q'}{P'} \\ (3) \quad & Q' = \frac{4P'}{3} \end{aligned}$$

$$(P + P')^2 + \left(Q + \frac{4P'}{3}\right)^2 = S_T^2$$

נציב את נוסחה (2) בנוסחה (1).

$$P^2 + 2PP' + P'^2 + Q^2 + \frac{8QP'}{3} + \frac{16P'^2}{9} = S_T^2$$

$$\left(1 + \frac{16}{9}\right)P'^2 + \left(2P + \frac{8Q}{3}\right)P' + P^2 + Q^2 - S_T^2 = 0$$

$$P'^2 + \frac{9}{25}\left(2P + \frac{8Q}{3}\right)P' + \frac{9}{25}(P^2 + Q^2 - S_T^2) = 0$$

$$P = S \cdot \cos \varphi = 80 \cdot 0.85 = 68 \text{KW} \quad ; \quad Q = S \cdot \sin \varphi = 80 \cdot 0.5268 = 42143 \text{W}$$

$$P'^2 + \frac{9}{25}\left(2 \cdot 68000 + \frac{8 \cdot 42143}{3}\right)P' + \frac{9}{25}\left[(68 \cdot 10^3)^2 + 42143^2 - (100 \cdot 10^3)^2\right] = 0$$

$$P'^2 + 89417P' - 1295988 \cdot 10^3 = 0$$

$$P'_{12} = \frac{-89417 \pm \sqrt{89417^2 + 4 \cdot 1295988 \cdot 10^3}}{2} = 12692 \text{W}$$

$$Q' = \frac{4P'}{3} = \frac{4 \cdot 12692}{3} = 16922 \text{VAR}$$

$$S' = \frac{P'}{\cos \varphi'} = \frac{12692}{0.6} = 21.166 \text{KVA}$$

$$\cos \varphi_T = \frac{P + P'}{S_T} = \frac{12692 + 68000}{100000} = 0.807$$

## פתרון שאלה 32

חשב:	נתון:
$P_X = ?$	$P_1 = 700W$
	$\cos \varphi_1 = 0.7$
	$P_2 = 570W$
	$\cos \varphi_2 = 0.8$
	$\cos \varphi' = 0.9$

$$\bar{S}_1 = \frac{P_1}{\cos \varphi_1} \angle \varphi_1 = \frac{700}{0.7} \angle \varphi_1 = \frac{700}{0.7} \angle 45.6^\circ VA$$

$$\bar{S}_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} \angle \varphi_2 = \frac{570}{0.8} \angle \varphi_2 = \frac{570}{0.8} \angle 36.87^\circ VA$$

$$\bar{S}_1 = 1000 \angle 45.6^\circ VA = [700 + 714.1j] VA$$

$$\bar{S}_2 = 712.5 \angle 36.87^\circ VA = [570 + 427.5j] VA$$

$$\bar{S}_T = [1270 + 1142j] VA$$

כאשר מוסיפים תנור, בהספק  $P_X$ , זהו עומס התנגדותי טהור. כלומר, עומס זה משפיע רק על גידול ב- $P_T$  כאשר ה- $Q_T$  אינו משתנה ולכן:

$$\cos \varphi' = 0.9 \Rightarrow \tan \varphi' = 0.484$$

$$\tan \varphi' = \frac{Q_T}{P_T + P_X} = \frac{1142}{1270 + P_X} = 0.484$$

$$1270 + P_X = \frac{1142}{0.484} \cong 2358$$

$$P_X = 2358 - 1270 = 1088W$$

## פתרון שאלה 33

- א. התקנה בודדת – חיבור קבל בנפרד לכל צרכן שאת מקדם ההספק שלו רוצים לשפר. שימושים:
- (1) כאשר יש הרבה צרכנים קטנים (למשל נורות פלואורניות)
  - (2) כאשר יש מעט צרכנים גדולים (למשל מנועים).
- ב. התקנה קבוצתית – חיבור קבל לקבוצה של צרכנים שאת מקדם ההספק שלהם רוצים לשפר. שימושים: מספר צרכנים בעלי עומסים דומים ושעובדים במשטר עבודה זהה.
- ג. התקנה מרכזית – חיבור קבל בלוח הראשי של המתקן לשיפור מקדם ההספק של כל המתקן. שימושים:
- (1) במתקנים בהם מקדם ההספק של המתקן קבוע פחות או יותר.
  - (2) במתקנים בעלי מקדם הספק משתנה, כאשר בלוח הראשי מותקן בקר המנתק ומחבר את הקבלים לפי הצורך, על פי שינוי מקדם ההספק.

## פתרון שאלה 34

חישוב קווי ההזנה לפי הנוסחאות שלהלן:

$$P_{\text{חשמלי}} = \frac{P}{\eta}$$

$$Q_{\text{חשמלי}} = P \cdot \tan \varphi$$

$$\cos \varphi \text{ ממוצע} \Rightarrow \tan \varphi \text{ ממוצע} = \frac{\sum Q}{\sum P}$$

$$Q_C = \sum P(\tan \varphi \text{ ממוצע} - \tan \varphi \text{ רצוי})$$

$$I_b = \frac{P_{\text{חשמלי}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

A mm <sup>2</sup>	כיוול תרמי	מפסק I <sub>n</sub>	I <sub>b</sub>	Q חשמלי VAR	P חשמלי W	מספר סידורי
4 × 1.5	7.36	10	7.36	2842	4230	1
4 × 2.5	13.53	16	13.53	5625	7500	2
4 × 1.5	8	10	8	4015	4166	3
	--			12482	15896	סה"כ

$$\cos \varphi \text{ ממוצע} \Rightarrow \tan \varphi \text{ ממוצע} = \frac{\sum Q}{\sum P_{\text{בפועל}}} = \frac{\sum Q}{\sum P \cdot K} = \frac{12482}{15896 \cdot 0.8} = 0.9815$$

$$\cos \varphi \text{ ממוצע} = 0.71$$

$$Q_C = 15896 \cdot 0.8(0.9815 - 0.426) = 7064 \text{VAR}$$

בוחרים קבל מסחרי  $Q_C = 7.5 \text{KVAR}$ .

$$I_C = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 400} = 10.8 \text{A}$$

חישוב קו הזנה לקבל:

$$\text{מפסק } I > 1.43 \cdot I_C = 15.4 \text{A}$$

בוחרים מפסק של 16A.

$$A = 4 \cdot 2.5 \text{mm}^2$$

נבחר את שטח החתך לפי I<sub>C</sub> ולפי המפסק.

$$I = \frac{\sum P \cdot K}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi'} = \frac{15896 \cdot 0.8}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 19.95 \text{A}$$

זרם ראשי

נבחר מפסק ראשי 25A. שטח חתך 6mm<sup>2</sup>.

## פתרון שאלה 35

נתון:

הנתונים מופיעים בטבלה.

חשב:	א. $I_{n_1}, I_{n_2}, I_{n_3}, I_{n_4} = ?$
	ב. $I_{n_r} = ?$
	ג. $C = ?$

(המשך הפתרון בעמוד הבא)



א.

$I_r (A)$	$I_a (A)$	דוניבסקי נתיך לפי	$I_b (A)$	$\sin \varphi$	$P_{in} = \frac{P_n}{\eta}$	$\eta$	$\cos \varphi$	הספק	סוג המכשיר	מס'
4.98	6.64	16A	8.3A	0.6	4600W	80%	0.8	5HP	מחרטה	
11.90	13.53	20A	18.04A	0.66	9375W	80%	0.75	10KVA	כרסומת	
7.56	12.36	16A	14.55A	0.52	8571W	70%	0.85	6KW	משחזת	
1.87	2.49	16A	3.12A	0.6	1732W	85%	0.8	2HP	מקדחה	
26.31	35.02				24278W					סה"כ

ב.  $I_b = \sqrt{I_r^2 + I_a^2} \cdot K = \sqrt{35.02^2 + 26.31^2} \cdot 0.7 = 30.66A \Rightarrow I_n = 40A$

ג.  $\tan \varphi_1 = \frac{I_r}{I_a} = \frac{26.31}{35.02} = 0.75$  ;  $\tan \varphi_2 = 0.426$

$C = \frac{P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_2 \cdot 3} = \frac{24278(0.75 - 0.426)}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 400^2 \cdot 3} = 5.2 \cdot 10^{-5} = 52 \mu F$

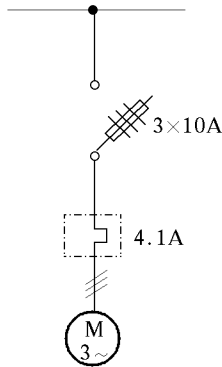
**פתרון שאלה 36**

$P_1 = \frac{P_0}{\eta} [KW]$	$\eta$	$\cos \varphi$	$P_0$	צרכן	מס'
$\frac{736 \cdot 12}{0.85} = 10.39$	0.85	0.8	12Hp	מחרטה	1
13.8	0.8	0.85	15HP	כרסומת	2
9.813	0.75	0.87	10Hp	משחזת	3
0.4	--	0.75	400W	תאורה	4
$P_T = 34.4$					סה"כ

קוטר צינור [mm]	שטח חתך [mm <sup>2</sup> ]	מא"זים $I_n [A]$	$Q = P_1 \tan \varphi [KVAR]$	$I_b = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} [A]$	מס'
23	5x4	3x20C	10.39 · 0.75 = 7.79	$\frac{10390}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8} = 18.75$	1
29	5x6	3x25C	8.55	23.43	2
23	5x4	3x20C	5.56	16.28	3
13.5	3x1.5	1x10B	0.353	1.33	4
				$I_T = \frac{P_T \cdot K}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_T} = \frac{34400 \cdot 0.7}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 37.8$	סה"כ

נבחר מפסק ראשי 3x50AC.

**פתרון שאלה 37**



$$I_N = \frac{P_2}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{2.5 \cdot 736}{0.85 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8} = 3.91A$$

זרם ההתנעה יהיה לפי הנתון:  $I = 5 \cdot I_N = 5 \cdot 3.91 = 19.55A$   
 הזרם הנומינלי של הנתכים נקבע לפי כללים אלה:

$$I_N \leq I_{\text{נתיך}} \quad (1)$$

$$I \leq I_z \quad (2)$$

$I_z$  – הזרם המתמיד המירבי המותר במוליך.

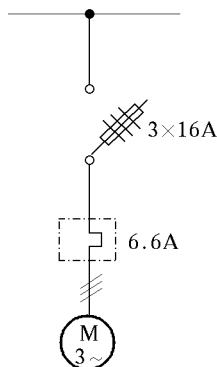
$$I \geq I / 2.75 \quad (3) \quad \text{התנעה (תנאי המאפשר התנעת המנוע).}$$

$$I_{\text{נתיך}} > \frac{19.55}{2.75} = 7.1A \quad \text{לפי תנאי (3):}$$

אפשר לבחור נתכים של  $3 \cdot 10A$  המתאימים למוליכים בעלי שטח חתך של  $1.5mm^2$  ואשר הזרם המתמיד המירבי שלהם הוא  $16A$  (לפי טבלה מס' 70.1 במדריך לחשמלאי של דוניבסקי). אנו רואים שנתך של  $10A$  עונה לכל הדרישות (1, 2, 3).

הגנה תרמית מכוונת לזרם:  $I = 1.02 \cdot I_N = 1.02 \cdot 3.91 = 4.1A$

**פתרון שאלה 38**



$$I = \frac{P_2}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{4 \cdot 736}{0.85 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8} = 6.25A \quad \text{א.}$$

זרם ההתנעה יהיה לפי הנתון:  $I_{st} = 5 \cdot I = 5 \cdot 6.25 = 31.25A$   
 הזרם הנומינלי של הנתכים נקבע לפי כללים אלה:

$$I \leq I_n \quad (1)$$

$$I_n \leq I_z \quad (2)$$

$$I_n \geq \frac{I_{st}}{2.75} \quad (3) \quad \text{תנאי המאפשר את התנעת המנוע:}$$

כאשר:

$I_n$  – הזרם הנומינלי של הנתיך.

$I_z$  – הזרם המתמיד המירבי המותר במוליך.

$$I_n > \frac{31.25}{2.75} = 11.4A \quad \text{לפי תנאי 3:}$$

נבחר נתכים של  $3 \cdot 16A$ , המתאימים למוליכים בעלי שטח חתך של  $2.5mm^2$  ואשר הזרם המתמיד המירבי שלהם הוא  $19A$  (לפי טבלה מס' 70.1 במדריך לחשמלאי של אינג' ז' דוניבסקי) נתך של  $16A$  עונה על כל הדרישות (1, 2, 3).

ב. את הממסר לעומס יתר נכוון לזרם של  $I_{OL} = 1.05 \cdot I = 1.05 \cdot 6.25 = 6.6A$

## פתרון שאלה 39

- שלוש הבדיקות שיש לבצע הן :
- א. בדיקת רציפות הסלילים בעזרת אוהמטר, שנחבר בהדקי כל סליל. התוצאה הנמדדת צריכה להיות התנגדות נמוכה ושווה של כל הסלילים.
- ב. בדיקת בידוד בין הסלילים על ידי חיבור מגר בין הדקי סלילים שונים. התנגדות הבידוד הצפויה היא מעל  $0.5M\Omega$ .
- ג. בדיקת בידוד בין הסלילים לגוף המנוע על ידי חיבור מגר בין הדקי הסליל לגוף המנוע. התנגדות הבידוד הצפויה היא מעל  $0.5M\Omega$ .

## פתרון שאלה 40

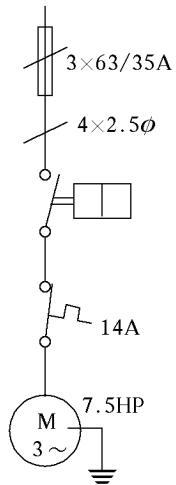
חשב:	נתון:
$I_{st}, I_{sty} = ?$	$P = 10KW$
	$\eta = 0.94$
	$\cos \varphi = 0.8$
	$U = 400V$
	$I_{st} = 5 \cdot I_n$

- א. עקב האופי ההשראתי של המנוע מתקבלים בזמן ההתנעה זרמים הגדולים פי  $8 \div 4.5$  מהזרם הנומינלי. קפיצת זרם זו, בזמן התנעה של מנועים גדולים, גורמת להפרעות ברשת ולכן מתירה חברת החשמל לחבר ישירות לרשת רק מנועים שהספקם קטן מ-3HP. מנועים יותר גדולים יש לחבר דרך מתנע כוכב-משולש או מתנעים מסוג אחר.

- ב. הזרם הנומינלי:
- $$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8 \cdot 0.94} = 19.2A$$
- זרם ההתנעה בחיבור ישיר:
- $$I_{st} = 5 \cdot I_n = 5 \cdot 19.2 = 96A$$
- זרם התנעה בחיבור כוכב-משולש:
- $$I_{sty} = \frac{I_{st}}{\sqrt{3}} = \frac{96}{\sqrt{3}} = 55.4A$$

## פתרון שאלה 41

לפי המדריך לחשמלאי:



באמצעות חישובים:

$$I_n = I_b \cdot 3 = 11.5 \cdot 3 = 34.5A$$

א.

גודל הנתוך 35A.

$$I_b \cdot 1 = 11.5A$$

ב. כיול אוברלוד:

ג. כאשר מתקינים אוברלוד, חתך המוליכים ייקבע לפי זרם כיול מקסימלי של האוברלוד. לכן זרם הכיול המירבי הוא 14A והמוליכים יהיו  $4 \times 2.5$ .  
 הערה: ההבדל בשטח חתך של המוליכים בין החישוב לבין המדריך לחשמלאי הוא שלפי המדריך נלקח נתון ביטחון נוסף.

## פתרונות לנושא ד.3

## פתרון שאלה 42

נתון:

$$P_{\text{נורה}} = 40W$$

$$E = 400lux$$

מידות האולם  $10 \times 8$  מ'

$$\eta = 0.3$$

$$k = 0.7$$

$$\eta_E = 60 \frac{lm}{W}$$

חשב:

מספר הנורות

$$n = ?$$

$$\sum \phi = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot k} = \frac{400 \cdot 10 \cdot 8}{0.3 \cdot 0.7} = 152381lm$$

$$P = \frac{\sum \phi}{\eta_E} = \frac{152381}{60} = 2540W$$

$$n = \frac{P}{P_{\text{נורה}}} = \frac{2540}{40} \cong_{\text{נורות}} 64$$

הספק החשמלי הדרוש ליצירת שטף האור:

מספר הנורות הדרושות:

## פתרון שאלה 43

א.  $C_1$  – קבל לשיפור גורם ההספק. $D$  – משנק $ST$  – מדלק (סטרטר) $L$  – הנורה הפלואורנית. $C_2$  – קבל שנועד למניעת הפרעות בקליטת שידורי רדיו.

עם חיבור המעגל לרשת, פורץ המתח בין מגעי המדלק. כעת זורם זרם קטן אשר מחמם את האלקטרודות של הנורה וגורם ליוניזציה והיווצרות אדי כספית בתוכה. המדלק בנוי מדו-מתכת, שמתכופף וסוגר את המגעים. לאחר זמן קצר מתקרר המדלק וחוזר למצבו הקודם תוך כדי ניתוק המעגל.

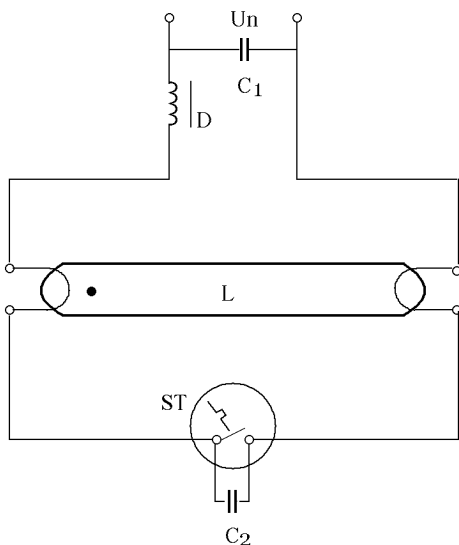
כתוצאה מהניתוק מושרה במשנק מתח גבוה של כ-  $700V$ , אשר פורץ בין האלקטרודות של הנורה המחוממת וגורם להתפרקות חשמלית באדי הכספית שבתוכה.

לאחר ההצתה דולקת הנורה במתח מוקטן של כ-  $105V$  והמתח הנוטר נופל על הדקי המשנק. למשנק יש, אם כן, שני תפקידים: הוא משתתף בתהליך ההדלקה של הנורה ואחר כך הוא מייצב בה את הזרם.

ב.

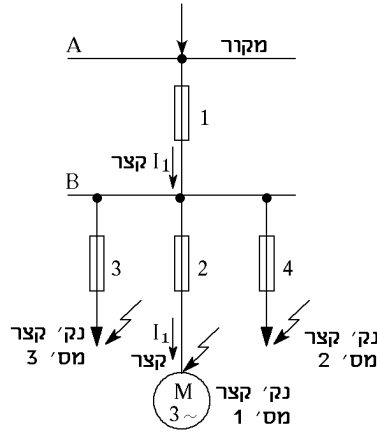
ברירות (סלקטיביות) ההגנה ברשת חשמלית. אחת הדרישות לגבי ההגנה, היא סלקטיביות, או במילים אחרות, יכולת ההגנה לנתק בזמן תקלה רק את הקטע הניזוק או את הצרכן אשר גרם לתקלה במעגל.

הבעיה מתעוררת כאשר זרם קצר זורם מכיוון המקור לנקודת הקצר ונתקל בשני נתיכים או מפסקים אוטומטים, המחוברים בטור. לדוגמה: במקרה של קצר בנקודה 1, אם הנתיק 1 יהיה גדול



מהנתיך 2, הוא לא יינתק לפניו, המנוע המקוצר ינותק על-ידי נתיך 2, הקצר יעלם והצרכנים המחוברים ללוח B ימשיכו לפעול.

דרישה דומה מוצגת גם במקרה של נקודות קצר (2, 3) לגבי הנתיכים 3 ו-4. עליהם להינתק ראשונים ולאפשר פעולה תקינה של שאר הצרכנים.

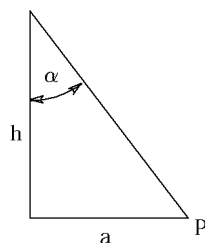


**פתרון שאלה 44 660**

א. נורת ליבון בנויה ממכל זכוכית ריק מאוויר, שבתוכו נמצא תיל להט מטונגסטן (וולפרם). התיל מותקן על שתי אלקטרודות.

נורת הכספית כוללת שני מכלים: מכל פנימי ומכל חיצוני. המכל הפנימי עשוי קוורץ וממולא גז ארגון ומעט כספית. בתוכו נמצאות אלקטרודות ראשיות ואלקטרודות עזר. המכל החיצוני משמש להגנה בפני הקרינה האולטרה סגולית והוא מצופה שכבה פלואורנית המפיקה אור גם מקרינה בלתי נראית.

בנורת הליבון הזרם החשמלי גורם להתחממות התיל עד  $3000^{\circ}C$  והתיל מקרין אור בסביבת הנורה. בנורת הכספית, לאחר חיבור המתח, נוצרת התפרקות חשמלית בין אלקטרודות העזר ובין האלקטרודה הראשית. בעת ההתפרקות מתחמם הגז והכספית בתוך המכל מתאדה. לאחר כ-5 דקות עוברת ההתפרקות דרך אדי הכספית אל בין האלקטרודות הראשיות והנורה מקרינה אור תכלת בהיר. זמן ההצתה הארוך 5 (דקות) הוא אחד החסרונות של נורת הכספית. לנורה מחובר בטור משנק שתפקידו לייצב את הזרם. אורך החיים של נורת הליבון הוא כ-1000 שעות ושל נורת הכספית כמה אלפי שעות (5000-6000). נורת הליבון שימושית גם בתאורה פנימית וגם בחיצונית. נורות כספית שימושיות יותר בתאורה חיצונית ויש להן נצילות אורית גדולה בהרבה בהשוואה לנורות הליבון.



<p><b>חשב:</b></p> $\begin{cases} E_{\alpha} = ? \\ a = 3m \end{cases}$	<p><b>נתון:</b></p> <p>נורת כספית:</p> <p><math>P = 250W</math></p> <p><math>\phi = 12000lm</math></p> <p><math>h = 12m</math></p> <p><math>I_{\alpha} = 150Cd / 1000lm</math></p>
---	--

$$E_{\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{h} = \frac{3}{12} = 0.25$$

$$\alpha = 14^\circ$$

$$\cos \alpha = \cos 14^\circ = 0.97$$

$$I_\alpha = \frac{150 \cdot 12000}{1000} = 1800cd$$

$$E_\alpha = \frac{1800}{12^2} \cdot 0.97^3 = 11.4lux$$

### פתרון שאלה 45

- א. (1) נורה פלואורנית עם מדלק חייבת שישרור עליה מתח של 220V הדרוש כדי להבטיח את פעולתה.  
 (2) נורה מסוג רפיד-סטארט תדלק גם כאשר מפל המתח עליה יהיה 190V.
- ב. בתאורה ביתית, שהגישה עם תחזוקתה קלה ופשוטה יחסית, עדיף נורה פלואורנית עם מדלק וזאת בשל מחירה שהוא כ-30% ממחיר נורה מסוג רפיד-סטארט.  
 לתאורת תעשייה, הגבוהה בדרך כלל והגישה אליה קשה, עדיף להתקין נורה מסוג רפיד-סטארט וזאת משום שאורך חיי הנורה גדול פי 2 ויותר. תלוי בתדירות ההצתה.

### פתרון שאלה 46

חשב:	נתון:
א. מספר הנורות	$A = 5 \cdot 25mm^2$
ב. סידור אופטימלי	$h' = 2m$
	$P = 40W$
	$E = 500Lux$
	$\eta = 57 \frac{lm}{W}$
	$\rho = 75\%$ תקרה
	$\rho = 50\%$ קיר

- א. לכל זוג נורות פלואורניות יש הספק:  $P = 80W$   
 נחשב את  $R_C$ :  

$$R_C = \frac{2W + L}{6h'} = \frac{2 \cdot 5 + 25}{6 \cdot 2} \cong 3$$
 מתוך הטבלה בתאורה ישירה עבור  $R_C = 3$  החזרה של 75% מהתקרה ו-50% מהקירות  
 מקבלים נצילות תאורה:  $\eta = 69\%$   
 מקדם ההפחתה במצב של אבק מועט הוא:  $K = 0.75$   
 שטף האור הנדרש בכיתה הוא:  

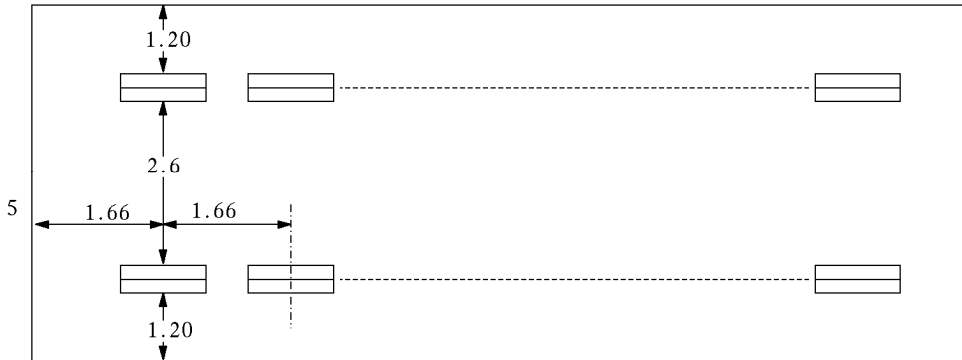
$$\phi = \frac{E \cdot A \cdot 100}{K \cdot \eta} = \frac{500 \cdot 5 \cdot 25 \cdot 100}{0.75 \cdot 69} = 120773lm$$
 שטף האור שנתן להפיק מגוף של 2 נורות פלואורניות בהספק של 80W הוא:  

$$\phi = p \cdot \eta = 80 \cdot 57 = 4560lm$$
 מספר הגופים הנדרש בכיתה הוא:  

$$N = \frac{\phi}{\phi_{\text{גוף}}} / \text{כולל} = \frac{120773}{4560} = 26.5$$

ב. נתקין 28 גופים ב-2 שורות כלומר  $2 \times 14$ .

25



### פתרון שאלה 47

נתון:

חשב:

$$N = ?$$

$$L = 10m$$

$$W = 7m$$

$$H = 2.7m$$

$$h = 0.7m \text{ שולחן}$$

$$E = 400lux$$

$$P = 40W \text{ נורה}$$

$$\eta = 70 \frac{lm}{W}$$

$$\rho = 75\% \text{ תקרה}$$

$$\rho = 50\% \text{ קיר}$$

$$R_C = \frac{2W + L}{6h} = \frac{2W + L}{6(H - h_{\text{שולחן}})} = \frac{2 \cdot 7 + 10}{6(2.7 - 0.7)} = 2$$

נמצא את  $R_C$ :

מתוך הטבלה בתאורה ישירה עבור  $R_C = 2$ , החזרה של 75% מהתקרה ו-50% מהקירות, מקבלים נצילות תאורה:

$$\eta = 62\%$$

$$K = 0.75$$

מקדם ההפחתה של תאורות פלואורניות במצב של אבק מועט הוא:

$$\phi = \frac{E \cdot A \cdot 100}{K \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 7 \cdot 10 \cdot 100}{0.75 \cdot 62} = 60215lm$$

שטף האור הנדרש בכיתה:

$$\phi = P \cdot \eta = 40 \cdot 70 = 2800lm$$

שטף האור שניתן להפיק מנורה פלואורנית אחת של 40W הוא:

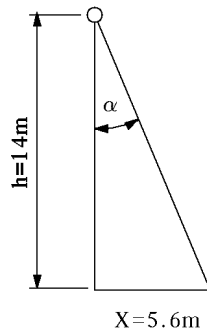
$$N = \frac{\phi_{all}}{\phi_{lamp}} = \frac{60215}{2800} = 21.5$$

מספר הנורות הנדרש בכיתה הוא:

נתקין 22 נורות.



**פתרון שאלה 48**



<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$E = ?$	$h = 14m$
	$X = 5.6m$
	$\phi = 20000lm$

$$\tan \alpha = \frac{X}{h} = \frac{5.6}{14} = 0.4 \Rightarrow \alpha = 21.8^\circ$$

$$I_{(\alpha)} = I_{(21.8^\circ)} = 300cd$$

על פי העקום הפולרי, עוצמת האור ל-1000lm היא :

$$I_{(\alpha)} = 300 \frac{20000}{1000} = 6000cd$$

עבור הנורה המותקנת של 20000lm :

$$E = \frac{I_{(\alpha)} \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{6000 \cdot \cos^3 21.8}{14^2} = \frac{6000 \cdot 0.8}{196} = 24.5lux$$

**פתרון שאלה 49**

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$\sum \Phi = ?$	א. $E = 1000lux$
$P = ?$	ב. $W = 12m$
$N = ?$	ג. $L = 12m$
$\sum \Phi = ?$ בפועל	ד. $h = 5m$
$P = ?$ בפועל	$h' = 3.2m$
	$P_1 = 250W$
	$\eta = 120 \frac{lm}{W}$
	תקרה $\rho = 75\%$
	קיר $\rho = 50\%$
	$K = 0.7$

$$A = 12 \cdot 12 = 144m^2$$

א.

$$K = 0.7$$

$$R_C = \frac{2W + L}{6 \cdot h'} = \frac{2 \cdot 12 + 12}{6 \cdot 3.2} = 1.87$$

$$R_{C_1} = 1.5 \Rightarrow \eta_1 = 56\% \text{ מתוך טבלה :}$$

$$R_{C_2} = 2 \Rightarrow \eta_2 = 61\% \text{ מתוך טבלה :}$$

$$\Delta R_C = 2 - 1.5 = 0.5$$

$$\Delta \eta = 61 - 56 = 5\%$$

$$R_C' = 1.87 - 1.5 = 0.37$$

$$\eta' = \frac{R_c' \cdot \Delta \eta}{\Delta R_c} = \frac{0.37 \cdot 5}{0.5} = 3.7\%$$

$$\eta = \eta_1 + \eta' = 56 + 3.7 = 59.7\%$$

$$\sum \Phi = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot K} = \frac{1000 \cdot 144}{\frac{59.7}{100} \cdot 0.7} = 344580 \text{lm}$$

שטף האור הנדרש :

$$\eta_E = \frac{\Phi}{P} \Rightarrow P = \frac{\sum \Phi}{\eta_E} = \frac{344580}{120} = 2871.5 \text{W}$$

ב. הספק התאורה הנדרש (נצילות אורית) :

$$N = \frac{2781.5}{250} = 11.486$$

ג. מספר הנורות :

נבחר ב-12 נורות ונסדר אותם בצורה שווה של 4 שורות. בכל שורה 3 נורות.

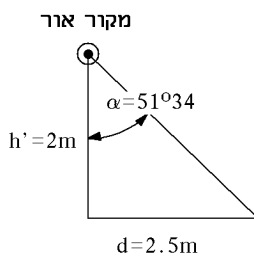
$$P = N \cdot P_1 = 12 \cdot 250 = 3000 \text{W}$$

ד. ההספק הכללי בפועל של כל הנורות :

$$\sum \Phi = P \cdot \eta_E = 3000 \cdot 120 = 360000 \text{lm}$$

שטף האור הכולל בפועל :

### פתרון שאלה 50



$E = ?$	חשב:	$h = 2.8\text{m}$	נתון:
		$d = 2.5\text{m}$	

$$h' = 2.8 - 0.8 = 2\text{m}$$

$$\tan \varphi = \frac{d}{h'} = \frac{2.5\text{m}}{2\text{m}} = 1.25$$

$$\alpha = 51^\circ 34'$$

לפי נתוני הטבלה עוצמת האור בזווית  $51^\circ 34'$  היא  $86\text{cd}$ .

$$E = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{86 \cdot \cos^3 51^\circ 34'}{2^2} = 5.24 \text{lux}$$

עוצמת הארה  $E$  :

**פתרון שאלה 51**

$A = 5 \cdot 4 = 20m^2$

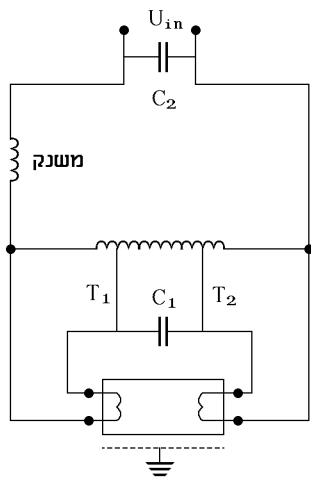
שטח המטבח :

השטף המתקבל בעבור כל סוג של מקור אור :

$\phi = \frac{E \cdot A}{CU \cdot K} [lm]$	מקדם הפחתה K מתוך טבלה א	סוג מקור האור
$\frac{300 \cdot 20}{0.75 \cdot 0.85} = 9411.7$	0.85	נורת ליבון
$\frac{300 \cdot 20}{0.75 \cdot 0.75} = 10667$	0.75	תאורה פלואורנית
$\frac{300 \cdot 20}{0.75 \cdot 0.8} = 10000$	0.8	תאורת הלוגן

לפי טבלה ב' ניתן לבחור הלוגן בהספק של 500W ואז נקבל :  $\phi = \eta_E \cdot P = 500 \cdot 19 = 9500lm$   
 או לבחור תאורה פלואורנית ולהשתמש ב-2 נורות של 60W כל אחת ובכך לחסוך בהספק.

$\phi = \eta_E \cdot P = 86 \cdot 2 \cdot 60 = 10320lm$



**פתרון שאלה 52**

בשיטת ההצתה המהירה אין מדלק (סטרטר). השנאי העצמי ממלא את תפקיד המדלק ומחובר במקביל לנורה. סלילי השנאי  $T_1$  ו- $T_2$  מקבלים מתח נמוך של כ-10 וולט, המספקים לאלקטרודות זרם חימום. הטמפרטורה באלקטרודות מגיעה לערך גבוה מספיק, כדי לגרום לפליטת אלקטרונים היוצרת "ענן" של יונים. כך שהמתח הקיים במרווח שבין קצה אחת האלקטרודות לבין הפס המתכתי, המשמש להארקה, מספיק לגרימת פריצת הגז המיונן. זמן ההצתה הוא שתי שניות. הנורה תדלק באופן קבוע. לאחר ההצתה, האלקטרודות ממשיכות לקבל זרם חימום, אך בערך נמוך יותר.

יתרונות :

- (1) אין הבהוב
- (2) זמן הצתה קצר ביותר
- (3) אורך חיי השפופרת ארוך פי שנים משפופרת רגילה.

**פתרון שאלה 53**

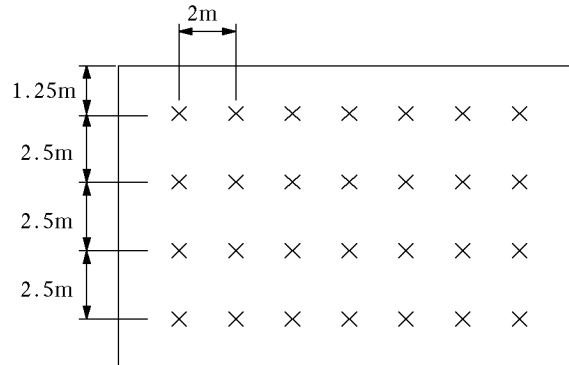
<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
א. $N = ?$	$L = 16m$
ב. $L_n = ?$	$W = 10m$
	$h = 5m$
	$P = 250W$
	$h = 0.15m$ נורה
	$h = 0.85m$ שולחן
	$E = 500Lux$
	$\phi = 11500Lm$

$R_c = \frac{2 \cdot W + L}{6h'} = \frac{2 \cdot 10 + 16}{6(5 - 0.85 - 0.15)} = 1.5$

א. מתוך הטבלה בנוסחאון עבור תאורה שווה –  $\rho = 50\%$  קיר,  $\rho = 50\%$  תקרה ו-  $R_C = 1.5$  – מקבלים נצילות של  $CU = 36\%$ .

$$E = \frac{\phi \cdot N \cdot CU \cdot K}{A} \Rightarrow N = \frac{E \cdot A}{\phi \cdot CU \cdot K} = \frac{500 \cdot 16 \cdot 10}{11500 \cdot 0.36 \cdot 0.7} = 27.6$$

נבחר 28 נורות המסודרות ב-4 שורות ו-7 טורים.



המרחק בין 2 השורות הוא 2.5m והמרחק בין הנורות בשורה הוא 2m.

ב. תכנון קו הזנה לנורות:  
נחבר את הנורות למעגל תלת-מופעי ונחשב את הזרם לכל מופע לפי 10 נורות לכל מופע.

$$P = 10 \cdot 250 = 2500W$$

ההספק הנצרך בכל מופע:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \phi} = \frac{2500}{230 \cdot 0.92} = 11.8A$$

הזרם הנצרך במופע:

התאורה מחולקת לשלושה מעגלים המחוברים לפאזות שונות, כדי למנוע אפקט סטרובוסקופ.

כל מעגל מוגן על ידי מא"ז 16A מסוג B.

שטח החתך של המוליכים הוא  $4 \cdot 2.5mm^2$ .

### פתרון שאלה 54

- א. קצר חלקי או מלא בסליל ההשראה (משנק).  
ב. המתנע (סטטרטור) מקוצר (קצר בין נקודות החיבור שלו, קצר בקבל המחובר אליו או שמגעיו דבוקים).  
ג. בעת עבודת הנורה, המדלק נסגר. הדבר עלול לקרות עקב מפל מתח גדול על קצות הנורה או פגם במדלק עצמו.

### פתרון שאלה 55

חשב:	נתון:
מספר הנורות וסידורן	$L = 25m$
	$W = 15m$
	$h = 5m$
	$E = 200Lux$
	$P = 500W$
	נורה $\phi = 12500Lm$
	נורה $h = 0.5m$
	שולחן $h = 0.8m$
	קיר $\rho = 10\%$
	תקרה $\rho = 30\%$

מתוך הנוסחאון מקדם הפחתה עבור תאורת כספית עם אבק מועט הוא  $K=0.8$  ועם אבק מרובה  $K=0.6$ .  
עבור אבק ברמה בינונית נבחר  $K=0.7$ .

$$R_c = \frac{2 \cdot W + L}{6 \cdot h'}$$

$$h' = h - \text{נורה } h - \text{שולחן } h = 5 - 0.5 - 0.8 = 3.7m$$

$$R_c = \frac{2 \cdot 15 + 25}{6 \cdot 3.7} = 2.477 \approx 2.5$$

נצילות מתקן התאורה ניקח מתוך הטבלה בנוסחאון:

$$\eta = 60\% \leftarrow \begin{cases} \text{תאורה ישירה} \\ \text{מקדם הפחתה } 0.55 - 0.8 \\ \rho = 10\% \text{ קיר} \\ \rho = 30\% \text{ תקרה} \\ K_c = 2.5 \end{cases}$$

$$\sum \phi = \frac{E \cdot A \cdot 100}{K \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 25 \cdot 15 \cdot 100}{0.7 \cdot 60} = 178571lm$$

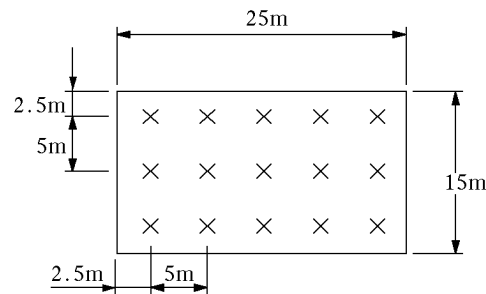
שטף האור הכולל הנדרש:

$$N = \frac{\sum \phi}{\phi_{lamp}} = \frac{178571}{12500} = 14.28$$

מספר הנורות הנדרש:

נבחר 15 נורות.

נסדר את הנורות ב-3 שורות ו-5 טורים.



### פתרון שאלה 56

חשב:	נתון:
$N = ?$	$L = 20m$
	$W = 10m$
	$h = 4m$
	$E = 200Lux$
	שולחן $h = 80cm$
	נורה $P = 36W$
	$\eta_E = 85 \frac{lm}{W}$

עבור תאורה פלואורנית לא ישירה עם כמות אבק מועטה, מקדם ההפחתה מתוך הטבלאות:  $K = 0.6$

$$R_c = \frac{2 \cdot W + L}{4h'} = \frac{2 \cdot 10 + 20}{4(4 - 0.8)} = 3.125$$

מקדם האולם  $R_c$  בתאורה לא ישירה:

$$\rho = 75\% \text{ תקרה}; \quad \rho = 50\% \text{ קיר}$$

עבור קירות ותקרה בהירים:

$$\eta = 38\% \leftarrow \begin{cases} \text{מתוך הטבלאות:} \\ \text{תאורה לא ישירה} \\ \text{מקדם הפחתה } 0.6 \\ \rho = 75\% \text{ תקרה} \\ \rho = 50\% \text{ קיר} \\ R_C = 3.125 \cong 3 \end{cases}$$

$$\sum \phi = \frac{E \cdot A \cdot 100}{K \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 100}{0.6 \cdot 38} = 175438 \text{lm}$$

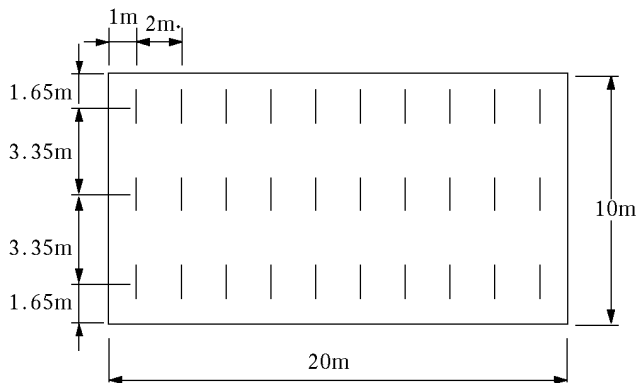
השטף הכולל הנדרש:

$$\phi = P \cdot \eta_E = 36 \cdot 85 = 3060 \text{lm}$$

שטף האור המתקבל מנורה אחת:

$$N = \frac{\sum \phi}{\phi_{lamp}} = \frac{175438}{3060} = 57.3$$

מספר הנורות הדרוש:



בוחרים 60 נורות וגופי תאורה כפולים, כך שדרושים 30 גופי תאורה. מסדרים את גופי התאורה ב-3 שורות – 10 גופים בכל שורה.

### פתרונות לנושא ה.3

#### פתרון שאלה 57

	<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$A = ?$ אחיד	א.	נתוני הרשת מופיעים באיור
$\Delta U = ?$	ב.	

א. נחשב את  $P_1$  ו- $Q_1$  :

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_1 \cos \varphi = 9.79 \text{KW} = 9.8 \text{KW}$$

$$Q_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_1 \cdot \sin \varphi = 9.8 \text{KVAR}$$

$$S_1 = 9.8 - j9.8 \text{KVA}$$

ההספק המדומה :

$$S_2 = (10 + j7.5) \cdot 10^3 \Rightarrow S_2 = 12.5 \text{KVA}$$

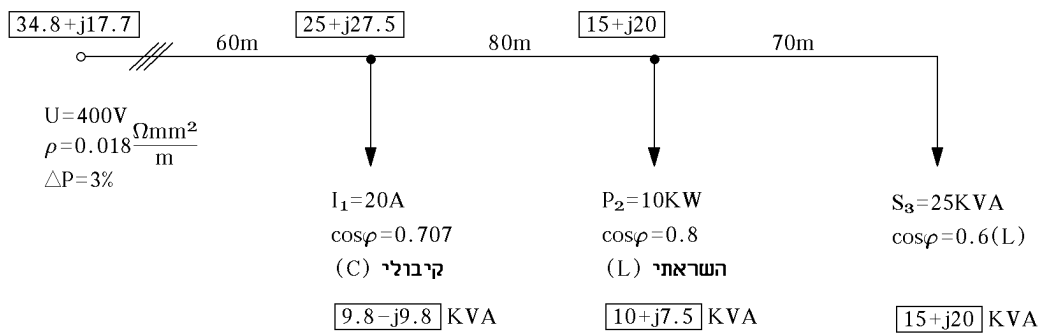
$$S_3 = (15 + j20) \cdot 10^3 \Rightarrow S_3 = 25 \text{KVA}$$

נחשב את ההספקים המדומים הכוללים :

$$S_3 + S_2 = (25 + j27.5) \cdot 10^3 \Rightarrow S_3 + S_2 = 37.165 \text{KVA}$$

$$S_T = S_3 + S_2 + S_1 = (34.8 + j17.7) \cdot 10^3 \Rightarrow S_T = 39.04 \text{KVA}$$

ונקבל את הרשת שלהלן :



$$\Delta P_{\text{כללי}} = \Delta P\% \cdot P_T = \frac{3 \cdot 34.8 \cdot 10^3}{100} = 1044 \text{W}$$

$$A = \rho \frac{\sum I S^2}{U^2 \cdot \Delta P} = \frac{0.018 (60 \cdot 39.04^2 + 80 \cdot 37.165^2 + 70 \cdot 25^2) 10^6}{400^2 \cdot 1044} = 26.47 \text{mm}^2$$

$$A = 26.47 \text{mm}^2$$

נבחר שטח חתך מסחרי  $A = 35 \text{mm}^2$ .

ב. מפל המתח ברשת :

$$\Delta U = \rho \frac{\sum I P}{U \cdot A} = \frac{0.018 (60 \cdot 34.8 + 80 \cdot 25 + 15 \cdot 70) 10^3}{35 \cdot 400} = 6.6 \text{V}$$

## פתרון שאלה 58

	חשב:	נתון:
$A = ?$ אחיד	א.	נתוני הרשת מופיעים באיור.
$\Delta U = ?$	ב.	

א. נחשב את  $P_2$  ו- $Q_2$  :

$$P_2 = U \cdot I_2 \cdot \cos \varphi = 15 \cdot 250 \cdot 0.6 = 2.25 \text{ KW}$$

$$Q_2 = U \cdot I_2 \cdot \sin \varphi = 3 \text{ KVAR}$$

$$S_2 = 2.25 - j3 \text{ KVA} \Rightarrow S_2 = 3.75 \text{ KVA}$$

ההספק המדומה :

$$S_1 = P_1 + j \frac{P_1}{\cos \varphi} \cdot \sin \varphi = 6 + j6 \text{ KVA}$$

נחשב את שאר ההספקים המדומים מתוך הנתונים :

$$S_3 = |S_3| \cdot (\cos \varphi + j \sin \varphi) = 6.4 + j4.8 \text{ KVA}$$

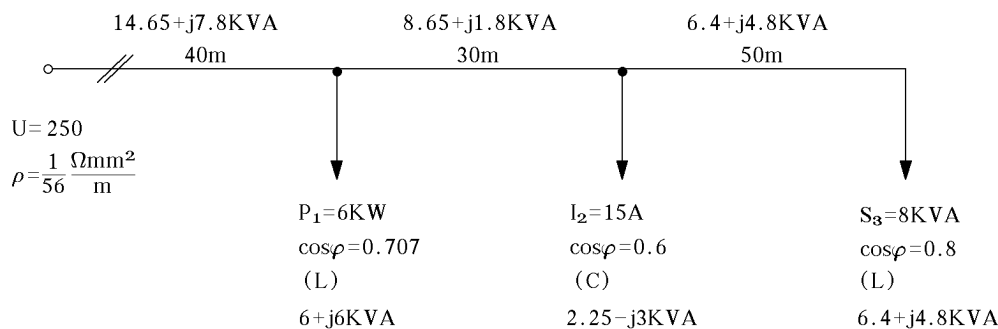
$$S_3 = 6.4 + j4.8 \text{ KVA}$$

ונקבל הספקים מדומים כוללים :

$$S_3 + S_2 = 8.65 + j1.8 \text{ KVA} \Rightarrow S_3 + S_2 = 8.835 \text{ KVA}$$

$$S_T = S_3 + S_2 + S_1 = 14.65 + j7.8 \text{ KVA} \Rightarrow S_T = 16.59 \text{ KVA}$$

ונקבל :



$$\Delta P = \Delta P\% \cdot P_T = \frac{2 \cdot 14.65 \cdot 10^3}{100} = 293 \text{ W}$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta P \cdot U^2} \cdot \sum S^2 l = \frac{2 \left( 40 \cdot 16.59^2 + 30 \cdot 8.835^2 + 50 \cdot 8^2 \right) 10^6}{56 \cdot 293 \cdot 250^2} = 32.27 \text{ mm}^2$$

בוחרים  $A = 35 \text{ mm}^2$ .

$$\Delta U = \frac{2\rho \sum l P}{U \cdot A} = 2 \frac{(40 \cdot 14.65 + 30 \cdot 8.65 + 50 \cdot 6.4) 10^3}{56 \cdot 250 \cdot 35} = 4.74 \text{ V}$$

ב.



פתרון שאלה 59

נתון: נתוני הרשת מופיעים באיור

חשב: א. א.  $A = ?$  אחיד  
 ב. ב.  $\Delta P = ?$

א. נחשב את ההספק האקטיבי והראקטיבי בכל קטע  $[P + jQ]$  ונקבל:

$$S_3 = P_3 + j \frac{P_3}{\cos \varphi} \cdot \sin \varphi = (6 + j4.5) \cdot 10^3 VA$$

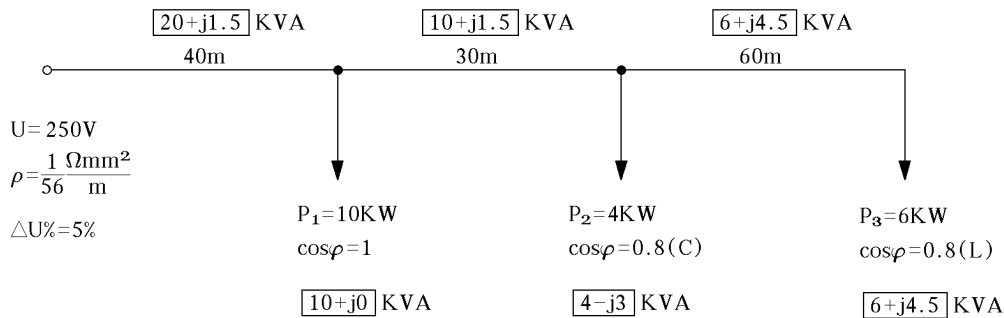
$$S_2 = P_2 - j \frac{P_2}{\cos \varphi} \cdot \sin \varphi = (4 - j3) \cdot 10^3 VA$$

$$S_1 = P_1 + j \frac{P_1}{\cos \varphi} \cdot \sin \varphi = (10 + j0) \cdot 10^3 VA$$

$$S_3 = (6 + j4.5) \cdot 10^3 \Rightarrow S_3 = \sqrt{6^2 + 4.5^2} = 7.5 KVA$$

$$S_3 + S_2 = (10 + j1.5) \cdot 10^3 \Rightarrow S_3 + S_2 = \sqrt{10^2 + 1.5^2} = 10.11 KVA$$

$$S_3 + S_2 + S_1 = (20 + j1.5) \cdot 10^3 \Rightarrow S_3 + S_2 + S_1 = \sqrt{20^2 + 1.5^2} = 20.056 KVA$$



$$\Delta U \% = 5\% \Rightarrow \Delta U = 12.5V$$

$$A = \frac{2\rho \sum lP}{\Delta U \cdot U} = \frac{2 \cdot 10^3 (40 \cdot 20 + 30 \cdot 10 + 6 \cdot 60)}{12.5 \cdot 250 \cdot 56} = 16.88 mm^2$$

נבחר שטח חתך מסחרי  $A = 25 mm^2$ .

$$\Delta P = \frac{2\rho \sum lS^2}{A \cdot U^2} = \frac{1(40 \cdot 20.056^2 + 30 \cdot 10.11^2 + 60 \cdot 7.5^2) 10^6}{56 \cdot 25 \cdot 250^2} = 514.99W$$

ב. הפסדי ההספק:

$$\Delta P = 515W$$

**פתרון שאלה 60**

**נתון:**

נתוני הרשת מופיעים באיור.

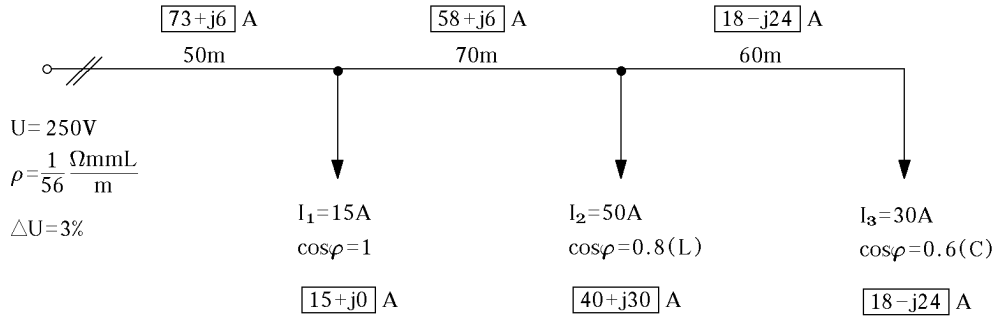
**חשב:**

א.

ב.

$A = ?$  אחיד

$\Delta P = ?$



$\Delta U = 3\% \Rightarrow \Delta U = 7.5V$

א.

$$A = \frac{2\rho \sum I_a}{\Delta U} = \frac{2(50 \cdot 73 + 70 \cdot 58 + 60 \cdot 18)}{56 \cdot 7.5} = 41.85 mm^2$$

נבחר  $A = 50 mm^2$ .

$I_3 + I_2 + I_1 = \sqrt{73^2 + 6^2} = 73.246A$

ב. הפסד ההספק:

$I_3 + I_2 = \sqrt{58^2 + 6^2} = 58.3A$

$I_3 = 30A$

$$\Delta P = \frac{2\rho \sum I^2}{A} = \frac{2(50 \cdot 73.25^2 + 70 \cdot 58.3^2 + 60 \cdot 30^2)}{56 \cdot 50} = 400.14W$$

**פתרון שאלה 61**

**נתון:**

נתוני הרשת מופיעים באיור.

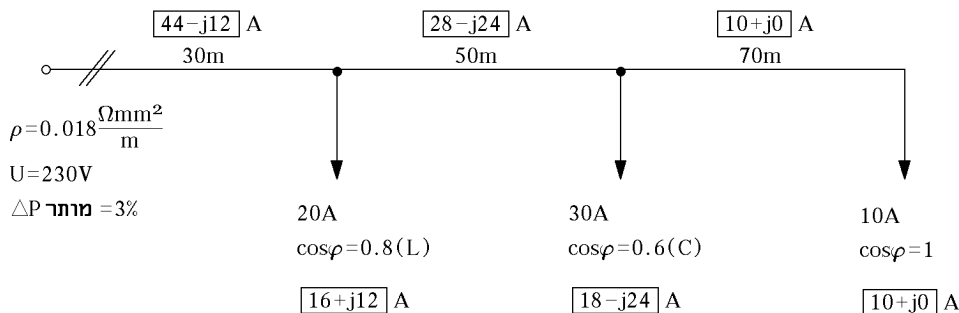
**חשב:**

א.

ב.

$A = ?$  אחיד

$U = ?$  בסוף הקו



א. נחשב את שטח החתך האחיד:  $A = \frac{2\rho \sum I^2}{\Delta P}$

מקור  $P = U \cdot I_a = 230 \cdot 44 = 10120W$

$\Delta P = \Delta P\% \cdot P = \frac{3 \cdot 10120}{100} = 303.6W$

$I_3 + I_2 + I_1 = \sqrt{44^2 + 12^2} = \sqrt{2080} = 45.6A$

$I_3 + I_2 = \sqrt{28^2 + 24^2} = \sqrt{1360} = 36.87A$

$I_3 = 10A$

$A = \frac{2 \cdot 0.018(30 \cdot 45.6^2 + 50 \cdot 36.87^2 + 70 \cdot 10^2)}{303.6} = 16.29mm^2$

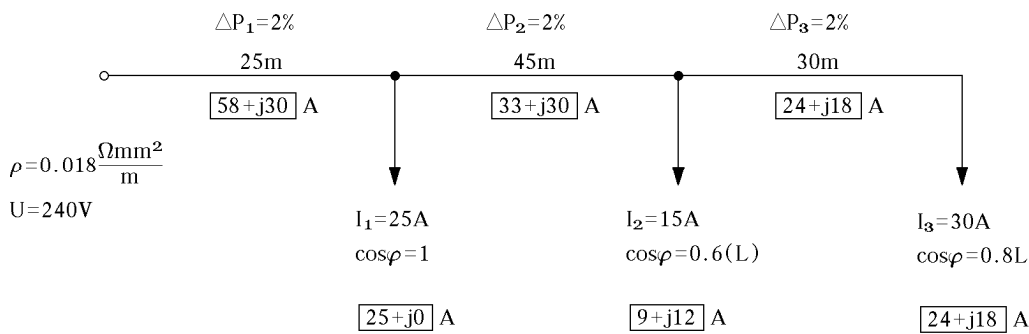
נבחר  $A = 25mm^2$

ב. המתח בסוף הקו:  $\Delta U = \frac{2\rho \sum I_a}{A} = \frac{2 \cdot 0.018(30 \cdot 44 + 28 \cdot 50 + 70 \cdot 10)}{25} = 4.92V$

$U = 230 - 4.92 = 225.08V$

**פתרון שאלה 62**

נתון: נתוני הרשת מופיעים באיור. **חשב:**  $A_1, A_2, A_3 = ?$



חישוב שטח החתך בכל קטע נעשה לפי הנוסחה:  $A = \frac{2\rho I^2}{\Delta P}$  ;  $\Delta P = \frac{P \cdot \Delta P\%}{100}$

$P_1 = U \cdot (I_{1a} + I_{2a} + I_{3a}) = 240 \cdot 58 = 13920 \Rightarrow \Delta P_1 = P_1 \cdot \Delta P_1\% = 278.4W$

$P_2 = U \cdot (I_{2a} + I_{3a}) = 240 \cdot 33 = 7920 \Rightarrow \Delta P_2 = P_2 \cdot \Delta P_2\% = 158.4W$

$P_3 = U \cdot I_{3a} = 240 \cdot 24 = 5760 \Rightarrow \Delta P_3 = P_3\% = 115.2W$

$I_3 + I_2 + I_1 = \sqrt{58^2 + 30^2} = \sqrt{4264} = 65.29A$

$I_3 + I_2 = \sqrt{33^2 + 30^2} = \sqrt{1989} = 44.59A$

$I_3 = 30A$

$$A_1 = \frac{2 \cdot 0.018 \cdot 25 \cdot 65.29^2}{278.4} = 13.78 \Rightarrow 16mm^2$$

$$A_2 = \frac{2 \cdot 0.018 \cdot 45 \cdot 44.59^2}{158.4} = 20.34 \Rightarrow 25mm^2$$

$$A_3 = \frac{2 \cdot 0.018 \cdot 30 \cdot 30^2}{115.2} = 8.43 \Rightarrow 10mm^2$$

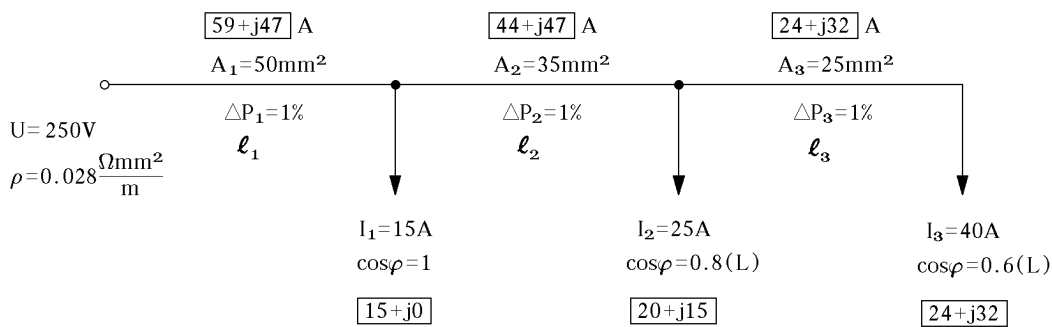
**פתרון שאלה 63**

**נתון:**

נתוני הרשת מופיעים באיור.

**חשב:**

$$l_1, l_2, l_3 = ?$$



$$P_3 + P_2 + P_1 = UI_{a_1} = 250 \cdot 59 = 14750W \Rightarrow \Delta P_1 = 147.5W$$

$$P_3 + P_2 = UI_{a_2} = 250 \cdot 44 = 11000W \Rightarrow \Delta P_2 = 110W$$

$$P_3 = UI_{a_3} = 250 \cdot 24 = 6000W \Rightarrow \Delta P_3 = 60W$$

$$I_3 + I_2 + I_1 = \sqrt{59^2 + 47^2} = \sqrt{5690} = 75.4A$$

$$I_3 + I_2 = \sqrt{44^2 + 47^2} = \sqrt{4145} = 64.38A$$

$$I_3 = 40A$$

$$A_1 = \frac{2\rho l_1 I_1^2}{\Delta P_1} \Rightarrow l_1 = \frac{A_1 \cdot \Delta P_1}{2\rho I_1^2} = \frac{50 \cdot 147.5}{2 \cdot 0.028 \cdot 75.4^2} = 23.14m$$

$$l_2 = \frac{A_2 \Delta P_2}{2\rho I_2^2} = \frac{35 \cdot 110}{2 \cdot 0.028 \cdot 64.38^2} = 16.59m$$

$$l_3 = \frac{A_3 \Delta P_3}{2\rho I_3^2} = \frac{25 \cdot 60}{2 \cdot 0.028 \cdot 40^2} = 16.74m$$

$$l_1 = 23.14m$$

$$l_2 = 16.59m$$

$$l_3 = 16.74m$$

**פתרון שאלה 64**

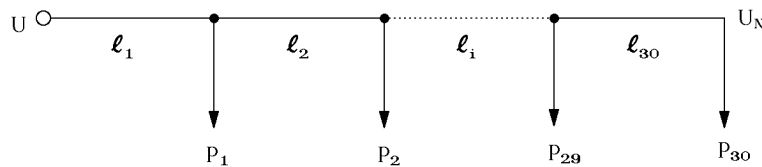
<p>חשב: <math>\Delta P = ?</math></p>	<p>נתון:  <math>P = 500W</math>  <math>U = 100V</math>  <math>l = 30m</math>  <math>\rho = \frac{1}{57} \frac{\Omega mm^2}{m}</math>  <math>A = 10mm^2</math></p>
---	---

$$\Delta P = \frac{2\rho \cdot l \cdot P^2}{A \cdot U^2}$$

$$\Delta P = \frac{2 \cdot 30 \cdot 500^2}{57 \cdot 10 \cdot 100^2} = 2.63W$$

**פתרון שאלה 65**

<p>חשב: <math>A = ?</math></p>	<p>נתון:  <math>l = 1500m</math>  <math>P_i = 100W</math>  <math>l_i = 50m</math>  <math>U = 237V</math>  <math>\rho = \frac{1}{34} \frac{\Omega mm^2}{m}</math>  <math>\Delta U \% = 3\%</math></p>
------------------------------------	--



$$N = \frac{l}{l_i} = \frac{1500}{50} = 30$$

מספר הנורות המחוברות :

$$A = \frac{200}{\Delta U \% \cdot U^2} \cdot \sum_{i=1}^{i=N} P_i l_i$$

שטח החתך :

$$A = \frac{200 \cdot 1}{34 \cdot 3 \cdot 237^2} \cdot 30 \cdot 100 \cdot 50 = 5.236mm^2$$

## פתרון שאלה 66

א. הזרמים בנקודה C:

$$I = I_1 + I_2$$

$$\Delta U_1 = \frac{\rho \cdot 2l_1}{s_1} \cdot I_1$$

$$\Delta U_2 = \frac{\rho \cdot 2l_2}{s_2} \cdot I_2$$

$$U_A - U_B = \Delta U_1 - \Delta U_2 = 2\rho \left( \frac{l_1}{s_1} I_1 - \frac{l_2}{s_2} I_2 \right)$$

$$1) \quad \frac{U_A - U_B}{2\rho} = \frac{l_1}{s_1} I_1 - \frac{l_2}{s_2} I_2$$

$$2) \quad I = I_1 + I_2 = 150$$

$$\frac{500 - 480}{2 \cdot 0.0175} = \frac{400}{70} I_1 - \frac{250}{25} I_2$$

$$571.428 = 5.714 I_1 - 10 I_2$$

$$I_1 = 150 - I_2$$

$$571.428 = 5.714(150 - I_2) - 10 I_2$$

$$571.428 = 857.1 - 5.714 I_2 - 10 I_2$$

$$571.428 - 857.1 = -15.714 I_2$$

$$-285.68 = -15.714 I_2$$

$$I_2 = \frac{285.68}{15.714} = 18.179 A$$

$$I_1 = 150 - 18.179 = 131.82 A$$

$$U_C = U_4 - \Delta U_1 = 500 - \frac{\rho \cdot 2l_1}{s_1} I_1$$

$$U_C = 500 - \frac{0.0175 \cdot 2 \cdot 400}{70} \cdot 131.82 = 473.636$$

$$P = U_C \cdot I = 473 \cdot 636 \cdot 150 = 71.045 KW$$

ב. המתח בנקודה C:

ג. הספק הצרכן:

## פתרון שאלה 67

חשב:	נתון:
$A = ?$ מסחרי	נתוני הרשת מופיעים באיור.
$\Delta U = ?$	$\rho = 0.029 \frac{\Omega mm^2}{m}$ המרון
	$\Delta U_{\max} = 8V$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta U} \cdot \sum_{i=1}^n l_i I_i \cos \varphi_i$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta U} \cdot [l_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 + (l_1 + l_2) \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + (l_1 + l_2 + l_3) I_3 \cdot \cos \varphi_3]$$

$$A = \frac{2 \cdot 0.029}{8} \cdot [40 \cdot 35 \cdot 0.85 + (40 + 30) \cdot 50 \cdot 0.82 + (40 + 30 + 55) \cdot 40 \cdot 0.9]$$

$$A = \frac{2 \cdot 0.029}{8} \cdot 8560 \quad ; \quad A = 62.06 mm^2$$

$$\text{מסחרי } A = 70 mm^2$$

$$\Delta U = \frac{2\rho}{A} \cdot \sum_{i=1}^n l_i I_i \cos \varphi_i$$

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 0.029}{70} \cdot 8560 = 7.09V$$

## פתרון שאלה 68

חשב:	נתון:
$A = ?$	5 כבלים
סוג הכבל = ?	$l = 160m$
$I = ?$ נמדד	$U_L = 400V$
	$\cos \varphi = 0.85$
	$P = 15,000W$
	$\Delta U_{\max} = 10V$
	$\rho = 0.018 \frac{\Omega mm^2}{m}$
	$t = 40^\circ C$

$$\Delta U = I \cdot R \cdot \cos \varphi = \frac{\rho l}{A} \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$\Delta U = \frac{\rho l}{A} \cdot \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} \cdot \cos \varphi$$

$$\Delta U = \frac{\rho l P}{\sqrt{3} \cdot A \cdot U_L}$$

$$A = \frac{\rho l P}{\sqrt{3} \cdot \Delta U \cdot U} = \frac{0.018 \cdot 160 \cdot 15000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 400} = 6.23 \text{ mm}^2$$

שיטת התקנת כבל בתעלה צרה, טמון באדמה, שיטה טיז לפי דוניבסקי. נבחר כבל  $10 \times 3$  ממ"ר, העמיד ל-49 אמפר ונתיד 40 אמפר.

$$(I_2 = 49A)$$

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 25.47A \quad \text{הזרם העובר בקו:}$$

$$I_3 = I_2 K_1 \quad ; \quad 49 \cdot 0.6 = 29.4A \quad \text{הזרם של חמישה כבלים מקובצים בקבוצה:}$$

מקדם התקנת כבלים במקובץ –  $K_1 = 0.6$ .  
הזרם של כבלים הטמונים באדמה בטמפרטורה של  $40^\circ C$ .

$$I_{40^\circ C} = I_3 \cdot K_2 = 29.4 \cdot 0.87 = 25.58A$$

מקדם טמפרטורה של האדמה –  $K_2 = 0.87$ .

אנחנו רואים, שהכבל יכול עדיין לעמוד בעומס, אבל מאוד גבולי.  
לכן רצוי להשתמש בכבל  $3 \times 16 \text{ mm}^2$ , העמיד ל-63A ונתיד 50A.

### פתרון שאלה 69

	<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$\Delta U = ?$	א.	נתוני הרשת מופיעים באיור.
$\begin{cases} A' = ? \\ \Delta U = 10V \end{cases}$		$A = 50 \text{ mm}^2$ $\rho = \frac{1}{35} \left( \frac{\Omega \text{ mm}^2}{m} \right)$
$\cos \varphi_L = ?$	ב.	

$$\Delta U = \frac{2\rho}{A \cdot U} \cdot \sum l_i \cdot P_i \quad \text{א.}$$

$$\Delta U = \frac{2\rho}{A \cdot U} \cdot l_1(P_1 + P_2 + P_3) + l_2(P_2 + P_3) + l_3 \cdot P_3$$

$$\Delta U = \frac{2}{35 \cdot 50 \cdot 220} \cdot [40(15,000 + 8,000 + 10,000) + 60(8,000 + 10,000) + 60 \cdot 10,000]$$

$$\Delta U = 15.58(V)$$

$$A' = \frac{2\rho}{\Delta U \cdot U} \cdot \sum_{i=1}^n l_i \cdot P_i \quad (\Delta U = 10V) \quad \text{שינוי הנושא בנוסחה:}$$

$$A' = \frac{2}{35 \cdot 10 \cdot 220} \cdot [40(15,000 + 8,000 + 10,000) + 60(8,000 + 10,000) + 60 \cdot 10,000]$$

$$A' = 77.92 \text{ mm}^2 \quad ; \quad A' = 95 \text{ mm}^2 \quad \text{לכן נבחר שטח חתך מסחרי של:}$$

$$\tan \varphi_t = \frac{Q_t}{P_t} \quad \text{ב.}$$

$$\cos \varphi_1 = 0.8 \quad ; \quad \tan \varphi_1 = 0.75$$

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \varphi_1 = 0.75 \cdot 15,000 = 11,250 \text{ VAR}$$



$$\cos \varphi_2 = 0.75 \quad ; \quad \tan \varphi_2 = 0.88$$

$$Q_2 = P_2 \cdot \tan \varphi_2 = 0.88 \cdot 8,000 = 7,040 \text{VAR}$$

$$\cos \varphi_3 = 0.88 \quad ; \quad \tan \varphi_3 = 0.54$$

$$Q_3 = P_3 \cdot \tan \varphi_3 = 0.54 \cdot 10,000 = 5,400 \text{VAR}$$

$$\tan \varphi_t = \frac{Q_t}{P_t} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{P_1 + P_2 + P_3} = \frac{11,250 + 7,040 + 5,400}{15,000 + 8,000 + 10,000} = 0.72$$

$$\cos \rho_t = 0.81$$

### פתרון שאלה 70

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
סוג הכבל	$\Delta U = 5V$
	$T = 45^\circ C$
	$\cos \varphi = 0.92$
	$l = 150m$
	$I = 40A$
	$\rho = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}$ נחושת

$$\Delta U = \frac{\rho l}{A} \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$A = \frac{\rho l I \cos \varphi}{\Delta U} = \frac{0.0175 \cdot 40 \cdot 0.92 \cdot 150}{5} = 19.32 mm^2$$

נבחר כבל בחתך  $25 mm^2$ , העמיד ל-101A, כאשר הוא טמון באדמה ב- $30^\circ C$ , או עמיד ל- $I = 101 \cdot 0.8 = 80.8A$  בטמפרטורה של  $45^\circ C$ .

שיטת התקנה י"ד, לפי דוניבסקי – כבל במישרין באדמה, טבלה 70.5, כבל תלת-מופעי העמיד ב-101 אמפר, ב- $30^\circ C$ ; ולפי טבלת מקדם טמפרטורה לכבלים באדמה – בטמפרטורה של  $45^\circ C$ .

הכבל שהייתי בוחר הוא NYY ללא שיריון (אין חשש מפגיעות מכניות)  $3 \cdot 25 + 16 mm^2$ .

### פתרון שאלה 71

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
א. $\Delta U = ?$	נתוני המעגל מופיעים באיור.
ב. $\Delta U \% = ?$	$U = 250V$
ג. $U_3 = ?$	

$$\Delta U = \frac{2\rho}{A} \cdot [l_1 I_1 \cos \varphi_1 + (l_1 + l_2) I_2 \cos \varphi_2 + (l_1 + l_2 + l_3) I_3 \cos \varphi] \quad .א$$

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 0.0175}{25} \cdot [60 \cdot 50 \cdot 0.7 + (60 + 50) \cdot 32 \cdot 0.8 + (60 + 50 + 60) \cdot 45 \cdot 0.85]$$

$$\Delta U = 16V$$

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U \cdot 100}{U} = \frac{16 \cdot 100}{250} = 6.4\%$$

$$U_3 = U - \Delta U = 250 - 16 = 234V \quad .ב$$

**פתרון שאלה 72**

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$d = ?$	$I = 39A$
	$l = 300m$
	$U_{DC} = 240V$
	$\rho_{20} = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}$
	$\alpha = 0.004 \left( \frac{1}{^\circ C} \right)$
	$\theta = 20^\circ C$
	$\theta_2 = 35^\circ C$
	$\Delta U = 10V$

ההתנגדות הסגולית של הנחושת ב-  $35^\circ C$ :

$$\rho = \rho_{20}(1 + \alpha \Delta \theta) = 0.0175(1 + 0.004 \cdot 15) = 0.01855 \frac{\Omega mm^2}{m}$$

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{\rho \cdot 2l}{A}$$

התנגדות הקו (הלוך וחזור):

$$A = \frac{\rho \cdot 2l \cdot I}{\Delta U} = \frac{2 \cdot 300 \cdot 0.01855 \cdot 39}{10} = 43.41 mm^2$$

$$A = 43.41 mm^2$$

החתך המינימלי הדרוש:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 43.41}{\pi}} = 7.43 mm$$

הקוטר המינימלי הנדרש:

**פתרון שאלה 73**

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
א. $A = ?$	$U = 250V$
ב. האם החתך מתאים גם במחינת הזרם המקסימלי המותר בו?	מתח ישיר: $l = 50m$
	מפל מתח מותר: $\Delta U = 5\%$
	$\rho_{20} = 0.175 \frac{\Omega mm^2}{m}$
	$\theta = 35^\circ C$ : טמפרטורת עבודה:
	$\alpha = 0.004 \left( \frac{1}{^\circ C} \right)$ : מקדם טמפרטורה:
	$P = 4.7 KW$

$$\rho_\theta = \rho_{20}(1 + \alpha \cdot \Delta \theta) = 0.0175(1 + 0.004 \cdot 15) = 0.01855 \frac{\Omega mm^2}{m} \quad \text{א.}$$

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{2l \rho_\theta}{A} \Rightarrow A = \frac{2l \cdot \rho_0 \cdot I}{\Delta U}$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{4700}{250} = 18.8A$$

$$\Delta U_{(v)} = \frac{\Delta U \% \cdot U}{100} = \frac{5 \cdot 250}{100} = 12.5V$$

$$A = \frac{2l \cdot \rho_{\theta} \cdot I}{\Delta U} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 0.01855 \cdot 18.8}{12.5} = 2.79mm^2$$

$$A = 4mm^2$$

נבחר את החתך התקני הקרוב:

ב. תיל בחתך  $4mm^2$  מובטח על ידי נתיך 20A, לכן חתך זה מתאים לזרם העובר בו.

### פתרון שאלה 74

חשב:	נתון:
$A = ?$	$U = 230V$ חד-מופעי
	$\cos \varphi = 1$
	$I = 40A$
	$l = 105m$
	$\Delta U = 5V$
	$\rho_{35^\circ} = 0.01855 \frac{\Omega mm^2}{m}$

$$\Delta U = \frac{2\rho l}{A} \cdot I \cdot \cos \varphi$$

לקו חד-מופעי נעשה חישוב מפל המתח לפי הנוסחה:

$$\Delta U = \frac{2\rho l I}{A}$$

אולם לנורות להט –  $\cos \varphi = 1$ , ואז החישוב נעשה לפי הנוסחה:

$$A = \frac{2\rho l I}{\Delta U} = \frac{2 \cdot 0.01855 \cdot 105 \cdot 40}{5} = 31.16mm^2$$

מכאן נחלץ את שטח החתך "A":

נבחר את החתך התקני הקרוב:  $35mm^2$ .

### פתרון שאלה 75

חשב:	נתון:
$A = ?$	לנורות להט: $\cos \varphi = 1$
$\Delta U_{(v)} = ? \Delta U \% = ?$	רשת חד-מופעית $U = 230V$
$l = 105m$	$I = 55A$
	$\rho_{35^\circ} = 0.01855 \frac{\Omega mm^2}{m}$

א. הנתיך הקרוב לזרם העומס הוא 63A, החתך המתאים לנתיך:  $16mm^2$ .

ב. הפסד המתח בקו:

$$\Delta U = \frac{2\rho l}{A} \cdot I \cos \varphi = \Delta U_{(v)} = \frac{\rho \cdot 2l}{A} \cdot I = \frac{0.01855 \cdot 2 \cdot 105 \cdot 55}{16} = 13.39V$$

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U_{(v)} \cdot 100}{U_N} = \frac{13.39 \cdot 100}{230} = 5.8\%$$

**פתרון שאלה 76**

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$U_A = ?$	$I_1 = 10A$ $I_2 = 10A$ $l_1 = 100m$ $l_2 = 150m$ $U_C = 200V$

מקור מתח ישר

$I_2 = 10A$  הזרם העובר בקטע BC :  
 $I_1 + I_2 = 10 + 10 = 20A$  הזרם הזורם בקטע AB :  
 $\Delta U = \frac{\rho \cdot 2l_1}{A_1} \cdot (I_1 + I_2) + \frac{\rho \cdot 2l_2}{A_2} I_2$  מפל המתח הכללי הוא סכום מפלי המתח בשני קטעים :  
 $\Delta U = \frac{0.0175 \cdot 2 \cdot 100}{2.5} \cdot 20 + \frac{0.0175 \cdot 2 \cdot 150}{1.5} \cdot 10 = 63V$   
 $U_A = U_C + \Delta U = 200 + 63 = 263V$  המתח בתחילת הקו הוא :

**פתרון שאלה 77**

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$A = ?$	קו חד-מופעני ; כל הצרכנים A, B, C הם מסוג אוהמי טהור. $U = 230V (\cos \varphi = 1)$ $\Delta U = 5\%$

אם נתעלם תחילה מן ההפרש במתח על פני העומסים השונים, נוכל לרשום בקירוב :

$$I_A = \frac{P_A}{U \cdot \cos \varphi_A} = \frac{P_A}{U} ; I_B = \frac{P_B}{U \cdot \cos \varphi_B} = \frac{P_B}{U} ; I_C = \frac{P_C}{U \cdot \cos \varphi_C} = \frac{P_C}{U}$$

$$\Delta U = \frac{2\rho}{A} \sum I_i \cdot l_i \cdot \cos \varphi_i = \frac{2\rho}{A} \sum I_i \cdot l_i$$

מפל המתח ברשת ז"ח חד-מופעני :

היות שלכל העומסים אותו גורם ההספק (השווה ל-1) נוכל לרשום :

$$\Delta U = \frac{2\rho}{A} [I_C \cdot l_3 + (I_B + I_C)l_2 + (I_A + I_B + I_C)l_1]$$

$$\Delta U = \frac{2\rho}{A} [I_C(l_1 + l_2 + l_3) + I_B(l_1 + l_2) + I_A l_1]$$

נרשום בצורה שונה :

נציב במקום זרמים הספקים (ביטויים 1) ונחלץ את שטח החתך המבוקש :

$$A = \frac{2\rho}{\Delta U \cdot U} [P_C(l_1 + l_2 + l_3) + P_B(l_1 + l_2) + P_A l_1]$$

$$\Delta U_{(v)} = \frac{\Delta U \% U}{100} = \frac{5}{100} \cdot 230 = 11.5V$$

נציב את הנתונים ונזכור כי :

$$A = \frac{2 \cdot 0.0175}{11.5 \cdot 230} \cdot [4000(50 + 30 + 20) + 2000(50 + 30) + 6000 \cdot 50] = 11.38mm^2$$

נבחר את החתך התקני הקרוב שהוא  $A = 16mm^2$ .

**פתרון שאלה 78**

<p><math>A = ?</math></p> <p><math>U_A, U_B, U_C = ?</math></p>	<p><b>חשב:</b></p> <p>א. <math>U = 220V</math></p> <p>ב. <math>\rho = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}</math></p> <p>"A" שטח חתך אחיד:</p> <p><math>\Delta U = 5\%</math> מותר</p>	<p><b>נתון:</b></p> <p>רשת חלוקה בזרם ישר: <math>U = 220V</math></p> <p><math>\rho = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}</math></p> <p>שטח חתך אחיד: "A"</p> <p><math>\Delta U = 5\%</math> מותר</p>
---	--	---

$$\Delta U \% = \frac{200}{AU_N^2} \sum P_i l_i \quad \text{א.}$$

מכאן נחלץ את שטח החתך "A":

$$A = \frac{200}{\Delta U \% \cdot U_N^2} \sum P_i \cdot l_i = \frac{200 \cdot 0.0175}{5 \cdot 220^2} (4600 \cdot 50 + 6900 \cdot 50 + 11500 \cdot 50) = 16.63 mm^2$$

נבחר את החתך התקני הקרוב:  $A = 25 mm^2$

$$U_A = U - \Delta U_A \quad \text{ב.}$$

$$U_B = U - \Delta U_B$$

$$U_C = U - \Delta U_C$$

$$\Delta U_A = \frac{2\rho}{AU_n} \cdot P_{ABC} \cdot l_A = \frac{2 \cdot 0.0175}{25 \cdot 220} \cdot 11500 \cdot 50 = 3.66V$$

$$\Delta U_B = \Delta U_A + \frac{2\rho}{AU_n} \cdot P_{BC} \cdot l_{AB} = 3.66 + \frac{2 \cdot 0.0175}{25 \cdot 220} \cdot 6900 \cdot 50 = 5.855V$$

$$\Delta U_C = \Delta U_B + \frac{2\rho}{AU_n} \cdot P_C \cdot l_{BC} = 5.855 + \frac{2 \cdot 0.0175}{25 \cdot 220} \cdot 4600 \cdot 50 = 7.319V$$

$$U_A = 220 - 3.66 = 216.34V$$

$$U_B = 220 - 5.855 = 214.14V$$

$$U_C = 220 - 7.319 = 212.68V$$

## פתרון שאלה 79

חשב:	נתון:
$A = ?$	רשת חד-מופעית
	$\rho = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}$
	"A" אחיד
	מתר $\Delta U = 2V$
	קי $X_l = 0$

$$A = \frac{2 \cdot \rho}{\Delta U_{(v)}} \sum I_i \cdot \cos \varphi_i \cdot l_i = \frac{2\rho}{\Delta U} [I_B \cdot \cos \varphi_B \cdot l_2 + (I_B \cdot \cos \varphi_B + I_A \cdot \cos \varphi_A) l_1] =$$

$$= \frac{2\rho}{\Delta U} [I_B \cdot \cos \varphi_B (l_1 + l_2) + I_A \cdot \cos \varphi_A \cdot l_1] =$$

$$= \frac{2 \cdot 0.0175}{2} [30 \cdot 0.6 \cdot (45 + 32) + 11 \cdot 0.8 \cdot 45] =$$

$$= 0.175(1386 + 396) = 31.185 mm^2$$

נבחר את החתך התקני הקרוב:  $A = 35 mm^2$ .

## פתרון שאלה 80

חשב:	נתון:
$A = ?$	מנוע תלת-מופעית
	$U = 400V$
	$P_2 = 12HP$
	$\cos \varphi = 0.8$
	$\eta = 88\%$
	$l = 100m$
	$\rho_{Cu} = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}$
	$\Delta U = 3\%$

$$P_1 = \frac{P_2 \cdot 736}{\eta} = \frac{12 \cdot 736}{0.88} = 10036W$$

$$\Delta U_{(v)} = \frac{\Delta U \% \cdot U_N}{100} = \frac{3}{100} \cdot 400 = 12V$$

$$A = \frac{\rho}{\Delta U_{(v)} \cdot U_N} P_1 \cdot l = \frac{0.0175 \cdot 10036 \cdot 100}{12 \cdot 400} = 3.66 mm^2$$

נבחר את החתך התקני הקרוב:  $A = 4 mm^2$ .

**פתרון שאלה 81**

חשב:	נתון:
A = ?	רשת תלת-מופעית
I <sub>1</sub> = ?	U <sub>N</sub> = 400V
	$\rho_{Cu} = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}$
	$\Delta U = 5\%$

הערה: אפשר לחשב "A" גם בעזרת הנוסחה:

$$A = \frac{\rho}{\Delta U_{(V)} \cdot U_n} \sum P_i l_i = \frac{\rho}{\Delta U \cdot U_N} [P_C \cdot l_3 + (P_B + P_C) l_2 + (P_A + P_B + P_C) l_1]$$

א. נחשב תחילה את הרביבים שבכיוון המתח של זרמי המנועים:

$$I_A \cdot \cos \varphi_A = \frac{P_A}{\eta_A \sqrt{3} U} = \frac{25 \cdot 10^3}{0.892 \cdot \sqrt{3} \cdot 400} = 40.45 A$$

$$I_B \cdot \cos \varphi_B = \frac{P_B}{\eta_B \sqrt{3} U} = \frac{17 \cdot 10^3}{0.85 \cdot \sqrt{3} \cdot 400} = 28.87 A$$

$$I_C \cdot \cos \varphi_C = \frac{P_C}{\eta_C \sqrt{3} U} = \frac{3 \cdot 10^3}{0.843 \sqrt{3} \cdot 400} = 5.14 A$$

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho}{\Delta U} \cdot [I_A \cdot \cos \varphi_A \cdot l_1 + I_B (l_1 + l_2) + I_C \cdot \cos \varphi_C (l_1 + l_2 + l_3)] = \text{החתך המבוקש:}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 0.0175}{20} [40.45 \cdot 90 + 28.87 \cdot (90 + 60) + 5.14(90 + 60 + 40)] = 13.56 mm^2$$

נבחר החתך התקני הקרוב: A = 16 mm<sup>2</sup>.

$$I_1 = \sqrt{(I_A \cdot \cos \varphi_A + I_B \cdot \cos \varphi_B + I_C \cdot \cos \varphi_C)^2 + (I_A \cdot \sin \varphi_A + I_B \cdot \sin \varphi_B + I_C \cdot \sin \varphi_C)^2} \quad \text{ב.}$$

$$I_A = \frac{I_A \cdot \cos \varphi_A}{\cos \varphi_A} = \frac{40.45}{0.877} = 46.12 A \quad \text{הזרמים של המנועים:}$$

$$I_B = \frac{I_B \cdot \cos \varphi_B}{\cos \varphi_B} = \frac{28.87}{0.86} = 33.57 A$$

$$I_C = \frac{I_C \cdot \cos \varphi_C}{\cos \varphi_C} = \frac{5.14}{0.835} = 6.16 A$$

$$I_A \cdot \sin \varphi_A = 46.12 \cdot 0.48 = 22.16 A \quad \text{הרכיבים של זרמי המנועים שבניצב למתח:}$$

$$I_B \cdot \sin \varphi_B = 33.57 \cdot 0.51 = 17.13 A$$

$$I_C \cdot \sin \varphi_C = 6.16 \cdot 0.55 = 3.38 A$$

$$I_1 = \sqrt{(40.45 + 28.87 + 5.14)^2 + (22.16 + 17.13 + 3.38)^2} = 85 A$$

אם תנאי ההתקנה אינם מאפשריים העברת זרם 85A בחדך  $16mm^2$  וגם לא בחדך  $25mm^2$ , יש לבחור חתך גדול עוד יותר, כלומר  $35mm^2$ . במצב זה התנאי:  $I_b \leq I_n$  מתקיים. לדוגמה, לפי טבלה 70.5 ב"מדריך לחשמלאי", בשביל כבלים מנחות  $I_n = 100A$  – ואז התנאי:  $85A < 100A$ , מתקיים.  $I_n =$  זרם הנומינלי של הנתיד.

**פתרון שאלה 82**

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$\Delta U_{DA} = ?$	נתוני המנועים והקווים מופיעים בתרשים
$\Delta U_{DB} = ?$	$U = 400V$
	$\rho_{cu} = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}$

הפסד המתח בקו המזין את המנוע A:

$$\Delta U_{CA} = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l_{AC} \cdot I_A \cdot \cos \varphi_A}{A_{AC}} = \frac{\rho \cdot l_{AC} \cdot P_A}{A_{AC} \cdot \eta_A \cdot U} = \frac{0.0175 \cdot 18 \cdot 12 \cdot 10^3}{10 \cdot 0.83 \cdot 400} = 1.14V$$

$$\Delta U_{CB} = \frac{\rho l_{BC}}{A_{BC}} \cdot \frac{P_B}{\eta_B \cdot U} = \frac{0.0175 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 10^3}{16 \cdot 0.86 \cdot 400} = 0.64V$$

הפסד המתח בקו המזין את המנוע B:

הפסד המתח בקו המשותף:

$$\Delta U_{DC} = \frac{\rho \cdot l_{DC}}{A_{DC} \cdot U} \cdot \left( \frac{P_A}{\eta_A} + \frac{P_B}{\eta_B} \right) = \frac{0.0175 \cdot 50}{16 \cdot 400} \left( \frac{12 \cdot 10^3}{0.83} + \frac{20 \cdot 10^3}{0.86} \right) = 5.16V$$

$$\Delta U_{DA} = \Delta U_{CA} + \Delta U_{DC} = 1.14 + 5.16 = 6.3V$$

הפסד המתח עד מנוע A:

$$\frac{6.3}{400} \cdot 100 = 1.575\%$$

או

$$\Delta U_{DB} = \Delta U_{CB} + \Delta U_{DC} = 0.64 + 5.16 = 5.8V$$

הפסד המתח עד מנוע B:

$$\frac{5.8}{400} \cdot 100 = 1.45\%$$

או

**פתרון שאלה 83**

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$l = ?$	קו תלת מופעי:
$\Delta P = 4\%$	$U = 400V$
$L \cong 0$	$A = 16mm^2$
	נתונים של המנוע התלת-מופעי:
	$P_1 = 10KW$
	$\cos \varphi = 0.8$
	$\rho_{Cu} = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}$



$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{10^4}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8} = 18.04A$$

הזרם שהמנוע צורך :

$$\Delta P = 3I^2 \frac{\rho l}{A}$$

הפסדי הספק בקו תלת מופעי :

$$l = \frac{A \cdot \Delta P}{3 \cdot I^2 \cdot \rho}$$

נבטא את המרחק המבוקש :

$$\Delta P_{(w)} = \frac{\Delta P \% \cdot P}{100} = 0.04 \cdot 10000 = 400W$$

הפסדי הספק בוואטים :

$$l = \frac{16 \cdot 400}{3 \cdot 18.04^2 \cdot 0.0175} = 375m$$

### פתרון שאלה 84

חשב:

$$A = ?$$

$$\Delta P = 6\%$$

נתון:

מנוע תלת-מופעי עם  
הנתונים האלה :

$$P_1 = 10KW$$

$$\cos \varphi = 0.8$$

$$l = 500m$$

$$\rho = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}$$

$$L \cong 0$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8} = 18.04A$$

$$\Delta P = 3I^2 \frac{\rho l}{A}$$

$$A = \frac{3I^2 \cdot \rho \cdot l}{\Delta P}$$

$$A = \frac{3 \cdot 18.04^2 \cdot 0.0175 \cdot 500}{600} = 14.24mm^2$$

נבחר חתך תקני קרוב:  $A = 16mm^2$ .

## פתרון שאלה 85

נתון:

נתוני הקו התלת-מופעי רשומים באיור.

$$\rho_{Al} = \frac{1}{34} \cdot \frac{\Omega mm^2}{m}$$

$$\rho_{Cu} L_l \cong 0$$

חשב:

$$\Delta U_{EA}, \Delta U_{EB}, \Delta U_{EC}, \Delta U_{ED} = ?$$

התרה:

צרכן	צרכן $P_{(W)}$	קטע	קטע $P_{(W)}$
A	$P_A = \frac{10 \cdot 736}{0.84} = 8762$	3-4	$P_{34} = P_D = 6000$
B	$P_B = \frac{4000}{0.83} = 4819$	2-3	$P_{23} = P_{34} + P_C = 6000 + 14535 = 20535$
C	$P_C = \frac{12500}{0.86} = 14535$	1-2	$P_{12} = P_{23} + P_B = 20535 + 4819 = 25354$
D	$P_D = 6000$	E-1	$P_{E-1} = P_{12} + P_A = 25354 + 8762 = 34116$

$$\Delta U_{E-1} = \frac{\rho}{A_{E-1} \cdot U_N} \cdot \sum P_i \cdot l_i = \frac{\rho}{A_{E-1} \cdot U_N} \cdot P_{E-1} \cdot l_{E-1} = \frac{34116 \cdot 25}{34 \cdot 25 \cdot 400} = 2.5V$$

$$\Delta U_{1-A} = \frac{1}{g \cdot A_{1-A} \cdot U_N} \cdot P_A \cdot l_{1-A} = \frac{8762 \cdot 8}{34 \cdot 2.5 \cdot 400} = 2.06V$$

$$\Delta U_{EA} = \Delta U_{E-1} + \Delta U_{1-A} = 2.5 + 2.06 = 4.56V$$

$$\Delta U_{E-2} = \Delta U_{E-1} + \Delta U_{1-2} = 2.5 + \frac{1 \cdot P_{1-2} \cdot l_{1-2}}{g \cdot A_{1-2} \cdot U_N} = 2.5 + \frac{25354 \cdot 15}{34 \cdot 25 \cdot 400} = 2.5 + 1.1186 = 3.62V$$

$$\Delta U_{2-B} = \frac{P_B \cdot l_{2-B}}{g \cdot A_{2-B} \cdot U_N} = \frac{4819 \cdot 12}{34 \cdot 2.5 \cdot 400} = 1.7V$$

$$\Delta U_{E-B} = \Delta U_{E-2} + \Delta U_{2-B} = 3.62 + 1.7 = 5.32V$$

$$\Delta U_{E-C} = \Delta U_{E-3} + \Delta U_{3-C} = \Delta U_{E-2} + \Delta U_{2-3} + \Delta U_{3-C} =$$

$$= 3.62 + \frac{1}{g \cdot A_{2-3} \cdot U_N} \cdot P_{2-3} \cdot l_{2-3} + \frac{1}{g \cdot A_{3-C} \cdot U_N} \cdot P_C \cdot l_{3-C} =$$

$$= 3.62 + \frac{1 \cdot 20535 \cdot 18}{34 \cdot 25 \cdot 400} + \frac{1 \cdot 14535 \cdot 10}{34 \cdot 6 \cdot 400} = 3.62 + 1.09 + 1.78 = 6.49V$$

$$\Delta U_{E-D} = \Delta U_{E-3} + \Delta U_{3-4} + \Delta U_{4-D} = 4.71 + \frac{P_{3-4} \cdot l_{3-4}}{g \cdot A_{3-4} \cdot U_N} + \frac{P_D \cdot l_{4-D}}{g \cdot A_{4-D} \cdot U_N} =$$

$$= 4.71 + \frac{6000 \cdot 20}{34 \cdot 25 \cdot 400} + \frac{6000 \cdot 5}{34 \cdot 2.5 \cdot 400} = 4.71 + 0.353 + 0.882 = 5.95V$$

**פתרון שאלה 86**

חשב:

$\Delta U = ?$  (בכבל)

נתון:

כבל תלת-מופעי.

$$\rho_{Cu} = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}$$

$$A = 35 mm^2$$

$$l = 250 m$$

נתוני המתקן:

$$I = 80 A$$

$$U = 400 V$$

$$\cos \varphi = 0.8$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l}{A} \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.0175 \cdot 250 \cdot 80 \cdot 0.8}{35} = 13.86 V$$

**פתרון שאלה 87**

חשב:

א.  $A_{A-E} = ?$

ב. האם השטח שבחרנו יכול לשאת את הזרם העובר בו בכל קטע?

נתון:

נתוני הקו (כבל רב-גידי מנחושת, טמון באדמה) רשומים בתרשים.

$$\rho = 0.0175 \frac{\Omega mm^2}{m}$$

$$\Delta U = 10\%$$

עמידות הבידוד  $90^\circ C$

$$A_{A-E} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot \cos \varphi}{g \cdot \Delta U \% \cdot U_N} \cdot (I_{DE} \cdot l_{DE} + I_{CD} \cdot l_{CD} + I_{BC} \cdot l_{BC} + I_{AB} \cdot l_{AB}) \quad \text{א.}$$

$$I_{DE} = \sqrt{(i_1 \cdot \cos \varphi_1)^2 + (i_1 \cdot \sin \varphi_1)^2} = \sqrt{(30 \cdot 0.8)^2 + (30 \cdot 0.6)^2} = \sqrt{576 + 324} = 30 A$$

$$I_{CD} = \sqrt{(i_1 \cos \varphi_1 + i_2 \cos \varphi_2)^2 + (i_1 \sin \varphi_1 + i_2 \sin \varphi_2)^2} = \sqrt{(30 \cdot 0.8 + 40 \cdot 0.8)^2 + (30 \cdot 0.6 + 40 \cdot 0.6)^2} = \sqrt{3136 + 1764} = 70 A$$

$$I_{BC} = \sqrt{(i_1 \cos \varphi_1 + i_2 \cos \varphi_2 + i_3 \cos \varphi_3)^2 + (i_1 \sin \varphi_1 + i_2 \sin \varphi_2 + i_3 \sin \varphi_3)^2} = \sqrt{(30 \cdot 0.8 + 40 \cdot 0.8 + 40 \cdot 0.8)^2 + (30 \cdot 0.6 + 40 \cdot 0.6 + 40 \cdot 0.6)^2} = \sqrt{7744 + 4356} = 110 A$$

$$I_{AB} = \sqrt{(i_1 \cos \varphi_1 + i_2 \cos \varphi_2 + i_3 \cos \varphi_3 + i_4 \cos \varphi_4)^2 + (i_1 \sin \varphi_1 + i_2 \sin \varphi_2 + i_3 \sin \varphi_3 + i_4 \sin \varphi_4)^2} = \sqrt{(30 \cdot 0.8 + 40 \cdot 0.8 + 40 \cdot 0.8 + 60 \cdot 0.8)^2 + (30 \cdot 0.6 + 40 \cdot 0.6 + 40 \cdot 0.6 + 60 \cdot 0.6)^2} = \sqrt{136^2 + 102^2} = 170 A$$

$$A_{A-E} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 100}{57 \cdot 10 \cdot 400} \cdot (30 \cdot 200 + 70 \cdot 200 + 110 \cdot 400 + 170 \cdot 300) = 69.88 \approx 70 mm^2$$

ב. הזרם הגבוה ביותר הוא בקטע הראשון  $I_{AB} = 170 A$ . כבל רב גידי מנחושת, בידוד  $90^\circ C$ , טמון באדמה, ששטח חתכו  $70 mm^2$ , יכול לשאת מבחינה תרמית, זרם מתמיד של  $220 A$  ונתיך  $200 A$  ומסיבה זו הכבל מתאים למתקן זה (טבלה 90.5, דוניבסקי).

## פתרון שאלה 88

נתון:	חשב:	נתוני הרשת מופיעים באיור.
$\cos \varphi = ?$		א.
$\left\{ \begin{array}{l} Q_C = ? \\ \cos \varphi' = 0.92 \end{array} \right.$		ב.

א.

הספק היגבי של הצרכן $Q = P \cdot \tan \varphi [\text{VAR}]$	הספק חשמלי של הצרכן $P_1 = \frac{P_2}{\eta} [W]$	צרכן
$\tan \varphi_1 = 0.4843$ $Q_1 = 60611 \cdot 0.4843 = 29354$	$P_1 = \frac{70 \cdot 736}{0.85} = 60611$	1
$\tan \varphi_2 = 0.6197$ $Q_2 = 38888 \cdot 0.6197 = 24098$	$P_2 = \frac{35000}{0.9} = 38888$	2
$\tan \varphi_3 = 0.75$ $Q_3 = 42299 \cdot 0.75 = 31724$	$P_3 = \frac{50 \cdot 736}{0.87} = 42299$	3

ההספק ההיגבי בקטע $Q [\text{VAR}]$	ההספק הפעיל בקטע $P [W]$	קטע	צרכן
$Q_{CD} = Q_3 = 31724$	$P_{CD} = P_3 = 42999$	CD	1
$Q_{BC} = Q_2 + Q_{CD} = 24098 + 31724 = 55822$	$P_{BD} = P_2 + P_{CD} = 38888 + 42299 = 81187$	BC	2
$Q_{AB} = Q_1 + Q_{BC} = 29354 + 55822 = 85176$	$P_{AB} = P_1 + P_{BC} = 60611 + 81187 = 141798$	AB	3

$$\tan \varphi = \frac{Q_{AB}}{P_{AB}} = \frac{85176}{141798} = 0.6 \Rightarrow \cos \varphi = 0.85$$

$$Q_C = P(\tan \varphi - \tan \varphi') = 141798 \cdot (0.6 - 0.426) = 24.673 \text{ KVAR}$$

ב.

$$\tan \varphi' = 0.426 \Leftarrow \cos \varphi' = 0.92$$

כאשר:

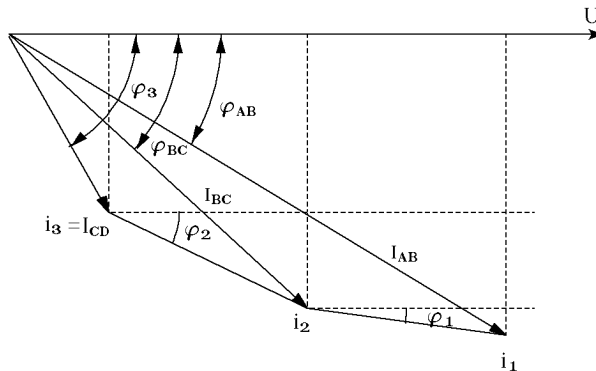
בחר סוללת קבלים תלת-מופעית הכי קרובה  $Q_C = 25 \text{ KVAR}$ .

**פתרון שאלה 89**

חשב:	נתון:
א. $\begin{cases} A_{AD} = ? \\ \Delta U = 3\% \end{cases}$	נתוני הקו והצרכנים רשומים בתרשים
ב. $\begin{cases} A_N = ? \\ \Delta P_{CD} = ? \end{cases}$	$g_{Cu} = 57 \frac{m}{\Omega mm^2}$

$$A_{AD} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{g \cdot \Delta U \% \cdot U_N} \sum I_i \cdot \cos \varphi_i \cdot l_i = \quad .א$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{g \cdot \Delta U \% \cdot U_N} \cdot (I_{CD} \cdot \cos \varphi_{CD} \cdot l_{CD} + I_{BC} \cdot \cos \varphi_{BC} \cdot l_{BC} + I_{AB} \cdot \cos \varphi_{AB} \cdot l_{AB})$$



$$I_{CD} = i_3 = 10A \quad ; \quad \cos \varphi_{CD} = \cos \varphi_3 = 0.8$$

$$I_{BC} = \sqrt{(i_3 \cdot \cos \varphi_3 + i_2 \cos \varphi_2)^2 + (i_3 \cdot \sin \varphi_3 + i_2 \cdot \sin \varphi_2)^2} =$$

$$= \sqrt{(10 \cdot 0.8 + 30 \cdot 0.6)^2 + (10 \cdot 0.6 + 30 \cdot 0.8)^2} = 39.7A$$

$$\cos \varphi_{BC} = \frac{i_3 \cos \varphi_3 + i_2 \cos \varphi_2}{I_{BC}} = \frac{26}{39.7} = 0.655$$

$$I_{AB} = \sqrt{(i_3 \cdot \cos \varphi_3 + i_2 \cdot \cos \varphi_2 + i_1 \cdot \cos \varphi_1)^2 + (i_3 \cdot \sin \varphi_3 + i_2 \cdot \sin \varphi_2 + i_1 \cdot \sin \varphi_1)^2} =$$

$$= \sqrt{(10 \cdot 0.8 + 30 \cdot 0.6 + 15 \cdot 0.8)^2 + (10 \cdot 0.6 + 30 \cdot 0.8 + 15 \cdot 0.6)^2} = 54.45A$$

$$\cos \varphi_{AB} = \frac{i_3 \cdot \cos \varphi_3 + i_2 \cdot \cos \varphi_2 + i_1 \cdot \cos \varphi_1}{I_{AB}} = \frac{38}{54.45} = 0.6978$$

$$A_{AD} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{57 \cdot 3 \cdot 400} \cdot (10 \cdot 0.8 \cdot 100 + 39.7 \cdot 0.655 \cdot 50 + 54.45 \cdot 0.6978 \cdot 30) = 8.19 mm^2$$

.  $A_N = 10 mm^2$  נבחר שטח חתך נקוב

$$A_N = 10 mm^2 \quad .ב$$

$$\Delta P_{CD} = \frac{3}{g \cdot A_N} \cdot I_{CD}^2 \cdot l_{CD} = \frac{3}{57 \cdot 10} \cdot 10^2 \cdot 100 = 52.6W$$

**פתרון שאלה 90**

<b>חשב:</b>	$A_{AC} = ?$	<b>נתון:</b>	נתוני הרשת מתוארים באיור $g_{Cu} = 57 \frac{m}{\Omega mm^2}$ $\Delta P = 2.5\%$
-------------	--------------	--------------	---

$$P_{BC} = P_2 = 8KW \quad ; \quad \cos \varphi_{BC} = \cos \varphi_2 = 1$$

$$P_{AB} = P_1 + P_{BC} = 4 + 8 = 12KW$$

$$\cos \varphi_{AB} = \frac{P_{AB}}{\sqrt{P_{AB}^2 + Q_{AB}^2}} \quad ; \quad Q_{AB} = Q_2 + Q_1 = P_2 \tan \varphi_2 + P_1 \cdot \tan \varphi_1 = 8 \cdot 0 + 4 \cdot 0.75 = 3KVA$$

$$\cos \varphi_{AB} = \frac{12}{\sqrt{12^2 + 3^2}} = \frac{12}{\sqrt{144 + 9}} = \frac{12}{12.369} = 0.97$$

$$\Delta P_{(W)} = \frac{\Delta P\% \cdot P_N}{100} = \frac{2.5}{100} \cdot 12000 = 0.025 \cdot 12000 = 300W$$

$$A = \frac{2}{g \Delta P_{(W)} \cdot U^2} \left( \frac{P_{AB}^2 \cdot l_{AB}}{\cos^2 \varphi_{AB}} + \frac{P_{BC}^2 \cdot l_{BC}}{\cos^2 \varphi_{BC}} \right) = \frac{2}{57 \cdot 300 \cdot 240^2} \left( \frac{12000^2 \cdot 60}{0.97^2} + \frac{8000^2 \cdot 80}{1^2} \right) =$$

$$= \frac{2}{57 \cdot 300 \cdot 240^2} (9.18 \cdot 10^9 + 5.12 \cdot 10^9) = \frac{2 \cdot 14.3 \cdot 10^9}{57 \cdot 300 \cdot 240^2} = 29mm^2$$

נבחר בחתך התקני הקרוב  $A_N = 35mm^2$

**פתרון שאלה 91**

<b>חשב:</b>	$\Delta U_{AD} = ?$ $\Delta P_{BC} = ?$	<b>נתון:</b>	נתוני הרשת והצרכנים רשומים באיור. $A = 10mm^2$
-------------	--	--------------	---

$$\Delta U_{AD} = \frac{2}{gA} \sum I_i \cdot l_i = \frac{2}{gA} \cdot (I_{CD} \cdot l_{CD} + I_{BC} \cdot l_{BC} + I_{AB} \cdot l_{AB}) = \quad .א$$

$$= \frac{2}{57 \cdot 10} \cdot (10 \cdot 50 + 30 \cdot 30 + 45 \cdot 20) = 8V$$

$$\Delta P_{BC} = r_{BC} \cdot I_{BC}^2 = \frac{2\rho l_{BC}}{A} \cdot I_{BC}^2 = \frac{2l_{BC}}{gA} \cdot I_{BC}^2 = \frac{2 \cdot 30}{57 \cdot 10} \cdot 30^2 = 94.75W \quad .ב$$

**פתרון שאלה 92**

<p style="text-align: center;"><b>חשב:</b></p> $\Delta P_{A-E} = ?$	<p style="text-align: center;"><b>נתון:</b></p> <p>נתוני הרשת והצרכנים רשומים באיור.</p> $g_{al} = 35 \frac{m}{\Omega mm^2}$
---	--

$$\Delta P_{AE} = \frac{2}{g \cdot A_{DE}} \cdot I_{DE}^2 \cdot l_{DE} + \frac{2}{g \cdot A_{CD}} \cdot I_{CD}^2 \cdot l_{CD} + \frac{2}{g \cdot A_{BC}} \cdot I_{BC}^2 \cdot l_{BC} + \frac{2}{g \cdot A_{AB}} \cdot I_{AB}^2 \cdot l_{AB}$$

הודות לעובדה שלכל הצרכנים קיים אותו גורם ההספק  $(\cos \varphi)$ , כלומר אותה זווית מופע, ניתן לחשב את הזרמים בקטעים על ידי חיבור אריתמטי פשוט ולא על ידי חיבור גיאומטרי (מחוגי):

$$I_{DE} = i_4 = 25A$$

$$I_{CD} = i_4 + i_3 = 25 + 15 = 40A$$

$$I_{BC} = i_4 + i_3 + i_2 = 25 + 15 + 20 = 60A$$

$$I_{AB} = i_4 + i_3 + i_2 + i_1 = 25 + 15 + 20 + 30 = 90A$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{A-E} &= \frac{2 \cdot 25^2 \cdot 70}{35 \cdot 4} + \frac{2 \cdot 40^2 \cdot 20}{35 \cdot 6} + \frac{2 \cdot 60^2 \cdot 30}{35 \cdot 10} + \frac{2 \cdot 90^2 \cdot 50}{35 \cdot 16} = \\ &= \frac{2}{35} \left( \frac{625 \cdot 70}{4} + \frac{1600 \cdot 20}{6} + \frac{3600 \cdot 30}{10} + \frac{8100 \cdot 50}{16} \right) = 2993.33W \end{aligned}$$

**פתרון שאלה 93**

<p style="text-align: center;"><b>חשב:</b></p> $\begin{cases} A_{Al} = ? \\ \Delta P_{Cu} = \Delta P_{Al} \\ I_{Cu} = I_{Al} \end{cases}$	<p style="text-align: center;"><b>נתון:</b></p> $S_{Cu} ; I_{Cu}$ $g_{Cu} = 57 \frac{m}{\Omega mm^2}$ $g_{Al} = 35 \frac{m}{\Omega mm^2}$
---	---

$$1. \quad \Delta P_{Cu} = r_{Cu} \cdot I_{Cu}^2 = \frac{l \cdot I_{Cu}^2}{g_{Cu} \cdot A_{Cu}}$$

$$2. \quad \Delta P_{Al} = r_{Al} \cdot I_{Al}^2 = \frac{l \cdot I_{Cu}^2}{g_{Al} \cdot A_{Al}} \quad (I_{Al} = I_{Cu})$$

$$\frac{l \cdot I_{Cu}^2}{g_{Cu} \cdot A_{Cu}} = \frac{l \cdot I_{Cu}^2}{g_{Al} \cdot A_{Al}}$$

$$g_{Al} \cdot A_{Al} = g_{Cu} \cdot A_{Cu}$$

$$A_{Al} = \frac{g_{Cu} \cdot A_{Cu}}{g_{Al}} = \frac{57}{35} \cdot A_{Cu} = 1.629 \cdot A_{Cu}$$

נשווה הביטויים 1 ו-2 ונקבל:

**פתרון שאלה 94**

<b>חשב:</b>	$\begin{cases} A = ? \\ \Delta P = 5\% \end{cases}$	<b>נתון:</b>
		נתוני הרשת והצרכנים מופיעים באיור.

$$A = \frac{100}{g \cdot \Delta P\% \cdot P_N \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot \sum P_i^2 \cdot l_i =$$

$$= \frac{100}{56 \cdot 5 \cdot 18000 \cdot 400^2 \cdot 0.8^2} \cdot (18000^2 \cdot 300 + 10000^2 \cdot 500) = 28.52 \text{mm}^2$$

נבחר את שטח החתך התקני הקרוב  $A_N = 35 \text{mm}^2$ .

**פתרון שאלה 95**

<b>חשב:</b>	$\begin{cases} \Delta P = ? \\ \Delta P' = ? \\ \cos \varphi' = 0.92 \end{cases}$	<b>נתון:</b>
		נתוני הרשת והצרכן מתוארים באיור. $U = 400V$ $g = 35 \frac{m}{\Omega \text{mm}^2}$

$\Delta P = \frac{3}{g \cdot A} \cdot I^2 l$  א.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.7} = 41.24A$$

$$\Delta P = \frac{3}{35 \cdot 16} \cdot 41.42^2 \cdot 100 = 911W$$

$\Delta P' = \frac{3}{gA} \cdot I'^2 \cdot l$  ב.

$$I' = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi'} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 31.37A$$

$$\Delta P' = \frac{3}{35 \cdot 16} \cdot 31.37^2 \cdot 100 = 527W$$



**פתרון שאלה 96**

חשב:	נתון:
א. $\begin{cases} A = ? \\ \Delta U = 2\% \end{cases}$	נתוני הרשת מופיעים באיור
ב. $U_B, U_C, U_D, U_E = ?$	
ג. $\Delta P = ?$	

א. 
$$A = \frac{200}{g \cdot \Delta U \% \cdot U_N^2} \sum P_i \cdot l_i = \frac{200}{g \cdot \Delta U \% \cdot U_N^2} \cdot (P_{DE} \cdot l_{DE} + P_{CD} \cdot l_{CD} + P_{BC} \cdot l_{BC} + P_{AB} \cdot l_{AB}) =$$

$$= \frac{200}{57 \cdot 2 \cdot 250^2} \cdot (5000 \cdot 30 + 8000 \cdot 20 + 14000 \cdot 20 + 21000 \cdot 40) = 40.1 \text{mm}^2$$

נבחר את החתך הקרוב  $A_N = 50 \text{mm}^2$ .

ב. 
$$\Delta U_{AB} = \frac{2}{g \cdot A_N \cdot U_N} \cdot P_{AB} \cdot l_{AB} = \frac{2}{57 \cdot 50 \cdot 250} \cdot 21000 \cdot 40 = 2.358 \approx 2.36 \text{V}$$

$$U_B = U_A - \Delta U_{AB} = 250 - 2.36 = 247.64 \text{V}$$

$$\Delta U_{BC} = \frac{2}{g \cdot A_N \cdot U_N} \cdot P_{BC} \cdot l_{BC} = \frac{2 \cdot 14000 \cdot 20}{57 \cdot 50 \cdot 250} = 0.786 \text{V}$$

$$U_C = U_B - \Delta U_{BC} = 247.64 - 0.786 = 246.85 \text{V}$$

$$\Delta U_{CD} = \frac{2}{g \cdot A_N \cdot U_N} \cdot P_{CD} \cdot l_{CD} = \frac{2 \cdot 8000 \cdot 20}{57 \cdot 50 \cdot 250} = 0.45 \text{V}$$

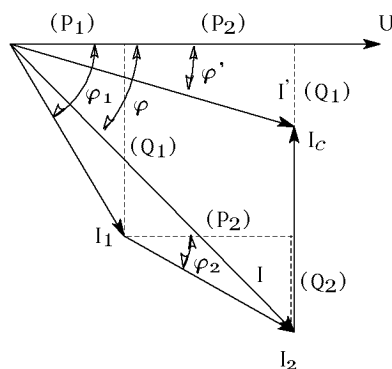
$$U_D = U_C - \Delta U_{CD} = 246.85 - 0.45 = 246.40 \text{V}$$

$$\Delta U_{DE} = \frac{2}{g \cdot A_N \cdot U_N} \cdot P_{DE} \cdot l_{DE} = \frac{2 \cdot 5000 \cdot 30}{57 \cdot 50 \cdot 250} = 0.42 \text{V}$$

$$U_E = U_D - \Delta U_{DE} = 246.4 - 0.42 = 245.98 \text{V}$$

ג. 
$$\Delta P_{(W)} = \frac{2}{g \cdot A \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \sum P_i^2 l_i =$$

$$= \frac{2 \cdot 10^6}{57 \cdot 50 \cdot 250^2 \cdot 0.85^2} \cdot (21^2 \cdot 40 + 14^2 \cdot 20 + 8^2 \cdot 20 + 5^2 \cdot 30) = 366.6 \text{W}$$



**פתרון שאלה 97**

חשב:	נתון:
א. $C = ?$	$P_1 = 600 \text{W}$
ב. $I_C = ?$	$\cos \varphi_1 = 0.6 \Rightarrow \tan \varphi_1 = 1.33$
	$P_2 = 600 \text{W}$
	$\cos \varphi_2 = 0.7 \Rightarrow \tan \varphi_2 = 1.02$
	$U = 230 \text{V}$
	$f = 50 \text{Hz}$
	$\cos \varphi' = 0.9 \Rightarrow \tan \varphi' = 0.484$

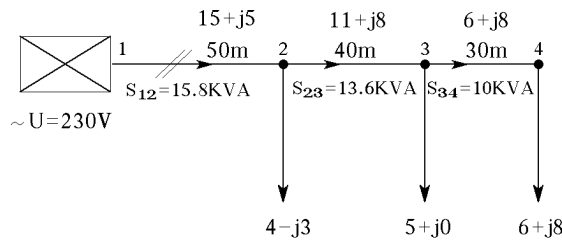
$$\tan \varphi = \frac{Q_1 + Q_2}{P_1 + P_2} = \frac{P_1 \cdot \tan \varphi_1 + P_2 \cdot \tan \varphi_2}{P_1 + P_2} = \frac{600 \cdot 1.33 + 600 \cdot 1.02}{600 + 600} = 1.175 \quad .א$$

$$Q_C = (P_1 + P_2) \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi') = 1200(1.175 - 0.484) = 829.2 \text{ VAR}$$

$$C = \frac{Q_C}{\omega U^2} = \frac{Q_C}{2\pi f U^2} = \frac{829.2}{2\pi \cdot 50 \cdot 230^2} = 4.99 \cdot 10^{-5} = 49.9 \mu\text{F}$$

$$I_C = U \cdot \omega C = 230 \cdot 314 \cdot 49.9 \cdot 10^{-6} = 3.6 \text{ A} \quad .ב \quad \text{הזרם שצורך הקבל:}$$

### פתרון שאלה 98



$$\Delta P_{(w)} = \sum 2 \cdot R I^2 = \sum \rho \frac{2l}{A} I^2 = \sum \rho \frac{2l}{A} \cdot \frac{S^2}{U^2} = \frac{1}{U^2} \sum \frac{\rho \cdot 2l}{A} \cdot S^2 =$$

$$= \Delta P_{(w)} = \frac{1}{U^2} \sum r_0 l \cdot S^2 = \frac{r_0}{U^2} \sum l \cdot S^2 = \frac{0.4 \cdot 10^{-3}}{230^2} (50 \cdot 15.8^2 + 40 \cdot 13.6^2 + 30 \cdot 10^2) \cdot 10^6 = 173 \text{ W}$$

$$\Delta P\% = \frac{\Delta P_{(w)} \cdot 100}{P_{12}} = \frac{173 \cdot 100}{15000} = 1.15\%$$

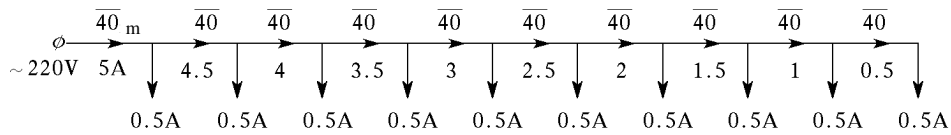
### פתרון שאלה 99

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$\begin{cases} A = ? \\ \Delta U = 5\% \end{cases}$	$I = 9 \text{ A}$ $\cos \varphi = 0.8$ $l = 100 \text{ m}$ $U = 230 \text{ V}$ $\rho_{Cu} = 0.018 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$

$$A = \frac{\rho \cdot 200}{\Delta U \% \cdot U_N} \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot l = 0.018 \frac{200}{5 \cdot 230} \cdot 9 \cdot 0.8 \cdot 100 = 2.254 \text{ mm}^2$$

נבחר את שטח החתך התקני הקרוב  $A_n = 2.5 \text{ mm}^2$

**פתרון שאלה 100**



<p><b>חשב:</b></p> <p><math>s = ?</math> אחיד</p> <p><math>\Delta U = 3\%</math></p>	<p><b>נתון:</b></p> <p><math>l = 400m</math></p> <p><math>l_i = 40m</math></p> <p><math>I_i = 0.5A</math></p> <p><math>\rho_{Al} = \frac{1}{34} \left( \frac{\Omega mm^2}{m} \right)</math></p>
--	---

$$A = \frac{200}{g \cdot \Delta U \% U_N} \sum I_i \cdot \cos \varphi_i \cdot l_i = \frac{200 \cdot l_i}{g \cdot \Delta U \% U_N} \sum I_i =$$

$$= \frac{200 \cdot 40}{34 \cdot 3 \cdot 220} (0.5 + 1 + 1.5 + 2 + 2.5 + 3 + 3.5 + 4 + 4.5 + 5) = 9.8 mm^2$$

נבחר את החתך התקני הקרוב  $A_N = 10 mm^2$ .

**פתרון שאלה 101**

<p><b>חשב:</b></p> <p><math>A = ?</math></p> <p><math>\Delta U \% = 5\%</math></p>	<p><b>נתון:</b></p> <p>נתוני הרשת מופיעים באיור.</p> <p><math>\rho_{cu} = 0.018 \frac{\Omega mm^2}{m}</math></p>
--	--

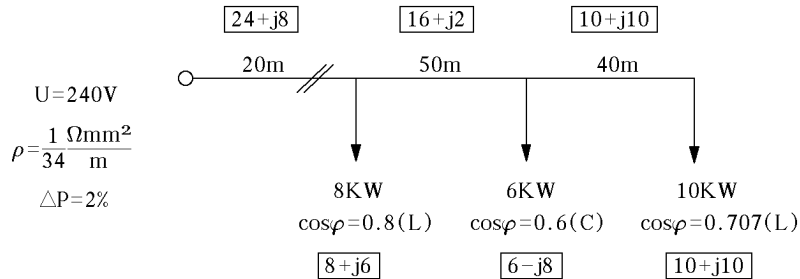
$$A = \frac{100}{g \cdot \Delta U \% \cdot U_N^2} \sum P_i \cdot l_i = \frac{100}{g \cdot \Delta U \% \cdot U_N} (P_{1-2} \cdot l_{1-2} + P_{2-3} \cdot l_{2-3} + P_{3-4} \cdot l_{3-4}) =$$

$$= \frac{100}{56 \cdot 5 \cdot 380^2} \cdot (18 \cdot 40 + 8 \cdot 30 + 3 \cdot 20) \cdot 10^3 = 2.52 mm^2$$

נבחר החתך התקני  $A_N = 4 mm^2$  ובצורה כזו יהיה אפשר לחבר בעתיד עוד צרכנים על אותו קו.

**פתרון שאלה 102**

נתון: נתוני הרשת מופיעים באיור.  
 חשב: א. אחיד מסחרי  
 ב.  $A = ?$   
 $\Delta U = ?$



$$\Delta P = \frac{2 \cdot 24000}{100} = 480W$$

$$A = \frac{2\rho \sum IS^2}{\Delta P \cdot U^2} = \frac{2(20 \cdot 25.3^2 + 50 \cdot 16.12^2 + 40 \cdot 14.14^2) \cdot 10^6}{480 \cdot 240^2 \cdot 34} = 71.9mm^2$$

$$S_1 = \sqrt{24^2 + 8^2} = 25.3KVA$$

$$S_2 = \sqrt{16^2 + 2^2} = 16.12KVA$$

$$S_3 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 14.14KVA$$

מסחרי  $A = 95mm^2$

**פתרון שאלה 103**

נתון: נתוני הרשת מופיעים באיור  
 חשב: א.  $\cos \varphi_T = ?$   
 ב.  $\begin{cases} C_\Delta = ? \\ \cos \varphi = 0.93 \end{cases}$

$$P_3 = 60KW \quad .א$$

$$P_2 = S_2 \cdot \cos \varphi_2 = 30 \cdot 0.8 = 24KW$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \varphi_2 = 30 \cdot 0.6 = 18KVAR \text{ השראי}$$

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \varphi_1 = 70 \cdot 0.6 = 42KW$$

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_1 = 70 \cdot 0.8 = 56KVAR \text{ השראי}$$

$$\tan \varphi_T = \frac{Q_T}{P_T} = \frac{74}{126} = 0.587 \Rightarrow \cos \varphi_T = 0.86$$

$$\cos \varphi_2 = 0.93 \Rightarrow \tan \varphi_2 = 0.395 \quad .ב$$

$$\cos \varphi_1 = 0.86 \Rightarrow \tan \varphi_1 = 0.587$$

$$C_T = \frac{P_T}{2\pi f U^2} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = \frac{126000}{2\pi \cdot 50 \cdot 400^2} (0.587 - 0.395)$$

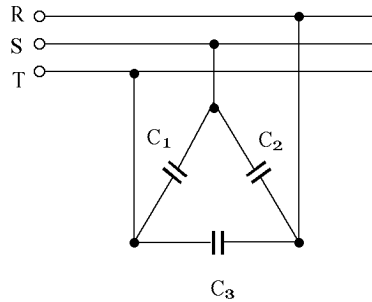
$$C_T = 481 \mu F$$

$$C_1 = \frac{C_T}{3} = \frac{481}{3} = 160 \mu F$$

למופע אחד :

בין כל שני מופעים נתקין סוללת קבלים בעלת קיבול של  $160 \mu F$  שעמידה למתח של 400 וולט.

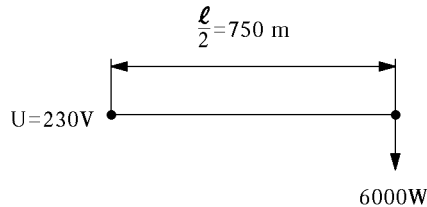
$$C_1 = C_2 = C_3 = 160 \mu F$$



**פתרון שאלה 104**

חשב:	נתון:
$A = ?$	$l = 1500m$
סוג הכבל	$l_i = 50m$
	$P_i = 400W$
	$\rho = 0.017 \frac{\Omega mm^2}{m}$
	$\Delta U \leq 10\%$

נבחר שהזנת הקו תהיה מנקודת אמצע כיוון שהמערכת סימטרית.



מספר הפנסים ברחוב :

ההספק הכולל :

ההספק לחצי רחוב :

$$\frac{1500}{50} = 30$$

$$P = 30 \cdot 400 = 12000W$$

$$\frac{12000}{2} = 6000W$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{6000}{230} = 26.1A$$

$$\Delta U_2 = \frac{U \cdot 10}{100} = \frac{230 \cdot 10}{100} = 23V$$

$$\Delta U = \rho \frac{2 \cdot \frac{l}{2}}{A} \cdot I = \frac{2 \rho \cdot \frac{l}{2} \cdot I}{A}$$

$$A = \frac{2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{2} \cdot I}{\Delta U} = \frac{2 \cdot 0.017 \cdot 750 \cdot 26.1}{23} = 28.9 mm^2$$

נבחר את הכבל לפי שיטת התקנה י"ד בדוניבסקי – כבלים טמונים במישרין באדמה. לפי הטבלה, שטח החתך המתאים של כבל רב גידי מנחושת, לפי שיטת התקנה י"ד, הוא  $35mm^2$ . את הכבל עצמו נבחר NYBY  $(3 \times 35 + 16)$  עם מוליכים עגולים ועם שריון מסרטי פלדה. יש להשתמש בכבל בעל שלושה מוליכים בלבד: מופע, אפס והארקה, ולכן יישאר גיד אחד מיותר. נשתמש בשלושת הגידים של  $35mm^2$ .

### פתרון שאלה 105

נוכל לראות את הכבל עצמו במדריך לחשמלאי של אנג' ז' דוניבסקי. הזרם המירבי שניתן להזרים בו מופיע בטבלה 70.5, לפי שיטת התקנה י"ד – כבלים במישרין באדמה. כבל של  $120mm^2$  יכול לשאת זרם מתמיד של 259 אמפר.

א. כיוון שהכבל נמצא בקבוצה של 8 כבלים יחד באדמה, נצטרך להכפיל את הזרם במקדם שנמצא בטבלה (2) בדוניבסקי (התקנה בשכבות אחדות או במקובץ).

$$K = 0.52 \quad \text{מקדם}$$

$$I = 259 \cdot 0.52 = 134.68A$$

ב. כמו-כן נצטרך להכפיל את הזרם במקדם נוסף כי הטמפרטורה באדמה שונה מ-  $30^\circ C$ . מקדם זה נמצא בטבלה 18 בדוניבסקי:

$$K = 0.80$$

$$I = 134.68 \cdot 0.80 = 107.74A$$

$$I_{\max} = 107.74A \quad \text{הזרם המירבי שנוכל להזרים דרך הכבל הוא:}$$

### פתרון שאלה 106

חשב:	נתון:
א. $I_T = ?$	נתוני הרשת מופיעים באיור
ב. $\begin{cases} A_{\Delta U} = ? \\ \Delta U_T = 5\% \end{cases}$	
ג. התאם שטח חתך סטנדרטי.	
ד. בדוק התאמת הנתוך.	

א. הזרם הכולל:

$$\cos \varphi_1 = 0.7 \Rightarrow \varphi_1 \cong 45.6^\circ$$

$$\cos \varphi_2 = 0.9 \Rightarrow \varphi_2 \cong 25.84^\circ$$

$$\bar{I}_1 = \frac{P_1}{U \cdot \cos \varphi_1} \angle \varphi_1 = \frac{4000}{230 \cdot 0.7} \angle -45.6 = 24.84 \angle -45.6A$$

$$\bar{I}_2 = I_2 \angle \varphi_2 = 13 \angle 25.84A$$

$$\bar{I}_1 = 24.84 \angle -45.6 \cong [17.4 - 17.74j]A$$

$$\bar{I}_2 = 13 \angle 25.84 \cong [11.7 + 5.67j]A$$

$$\bar{I}_T = [29.1 - 12.1j] = 31.5 \angle -22.5^\circ$$

ולכן לפי  $I_T = 31.5$ , נבחר לפי המדריך לחשמלאי של דוניבסקי, נתיך אוטומטי לזרם – 32A.

ב. חישוב שטח החתך A, בעבור  $\Delta U_T = 5\%$  :

$$A_{\Delta U} = \frac{2\rho}{\Delta U} [(I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2)l_1 + I_2 \cos \varphi_2]$$

$$\Delta U_T = \frac{5}{100} \cdot 230 = 11.5V$$

$$A_{\Delta U} = \frac{2}{58 \cdot 11.5} [(17.4 + 11.7)70 + 11.7 \cdot 60] = 8.21mm^2$$

חישוב שטח החתך A בעבור:  $\Delta P_T = 6\%$  .

$$P_T = P_1 + P_2 = P_1 + I_2 \cdot U \cdot \cos \varphi_2 = 4000 + 13 \cdot 230 \cdot 0.9 = 6691W$$

$$\Delta P_T = \frac{6}{100} \cdot 6691 = 401.5W$$

$$A_{\Delta P} = \frac{2\rho}{\Delta P_T} \left[ |\bar{I}_T|^2 \cdot l_1 + |\bar{I}_2|^2 \cdot l_2 \right]$$

$$A_{\Delta P} = \frac{2}{58 \cdot 401.5} [31.5^2 \cdot 70 + 13^2 \cdot 60] = 6.84mm^2$$

$$A_{\Delta P} < A_{\Delta U}$$

ג. ניתן לראות כי בעבור  $\Delta P = 6\%$  :

ולכן נבחר את שטח החתך הגדול מביניהם.

ולכן  $A = 8 \cdot 21mm^2$ , נבחר לפי דוניבסקי

$$A = 10mm^2 \text{ סטנדרט}$$

ד. על פי דוניבסקי, הנתיד המירבי עבור שטח חתך של  $10mm^2$  הוא  $50A$ . בזרם קו מירבי  $60A$ . בפועל בחרנו נתיד של  $32A$ , כלומר, קטן בהרבה מ- $50A$ . לכן אין כל חשש לגבי מעבר זרם קצר מסוכן, המסוגל לשרוף את המוליכים. אי לכך, שטח החתך שבחרנו והמאמ"ת מתאימים לעבוד יחד ללא כל חשש ויקיימו את כל הדרישות.

### פתרון שאלה 107

כבל NYY מתואר במדריך לחשמלאי של אנג' ז' דוניבסקי. התקנה במישרין בטיח היא שיטה ח'.

בשיטה זו, הזרם המירבי שניתן להזרים בכבל, לפי טבלה 70.3, הוא  $70A$ .

כיוון שהטמפרטורה האופפת של האוויר שונה מ- $35^\circ C$ , מכפילים במקדם, המופיע בטבלה 17, עבור טמפרטורה של  $40^\circ C$ .

$$K_{17} = 0.91$$

$$I_{\max} = 70 \cdot 0.91 = 63.7A$$

הזרם המירבי שניתן להזרים הוא :

### פתרון שאלה 108

כבל NYY מתואר במדריך לחשמלאי של אנג' ז' דוניבסקי. התקנה במישרין באדמה היא שיטה י"ד.

בשיטה זו הזרם המירבי, שניתן להזרים בכבל לפי טבלה 70.5, הוא  $79A$ .

בהתקנה מקובצת של 6 כבלים יש להכפיל את הזרם במקדם לפי טבלה 16.

$$K_{16} = 0.57$$

כיוון שהטמפרטורה האופפת של האוויר שונה מ- $35^\circ C$ , מכפילים במקדם המופיע בטבלה 18 – בעבור טמפרטורה של  $50^\circ C$ .

$$K_{17} = 0.71$$

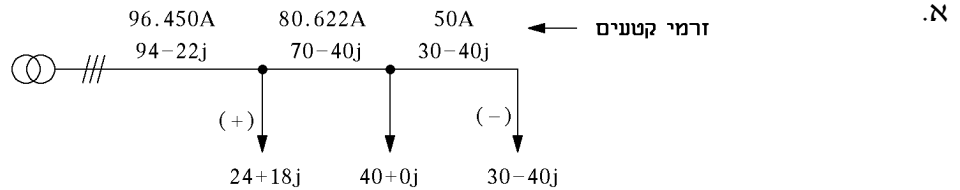
$$I_{\max} = I \cdot K_{16} \cdot K_{17} = 79 \cdot 0.57 \cdot 0.71 = 31.97A$$

הזרם המירבי שניתן להזרים הוא :

**פתרון שאלה 109**

**נתון:** נתוני הרשת מופיעים באיור.  
 $\rho = \frac{1}{58} \frac{\Omega mm^2}{m}$   
 $\Delta P\% = 1\%$

**חשב:**  
 א.  $I_1 + I_2 + I_3, I_2 + I_3, I_3 = ?$   
 ב.  $A = ?$



ב. הנוסחה לפי חישוב זרמי קטעים:  $\Delta P = \sqrt{3} \cdot I_a \cdot U \cdot \Delta P\% = \sqrt{3} \cdot 94 \cdot 400 \cdot 0.01 = 651.251W$

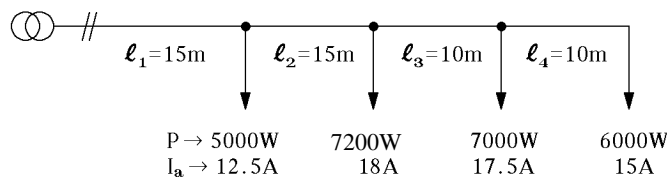
$$A = \frac{3\rho}{\sum \Delta P} \sum I^2 \cdot l = \frac{3}{58 \cdot 651.251} = [(30^2 + 40^2)50 + (70^2 + 40^2)40 + (94^2 + 22^2) \cdot 20] = 7.94227 \cdot 10^2 \cdot 10^{-5} \cdot 571400 = 45.382mm^2$$

נבחר שטח חתך מסחרי  $A = 50mm^2$ .

**פתרון שאלה 110**

**נתון:** נתוני הרשת מופיעים באיור.  
 $\rho = \frac{1}{36} \frac{\Omega mm^2}{m}$   
 $\Delta U\% = 4\%$

**חשב:**  
 $A = ?$



$$P = I_n \cdot \cos \varphi \cdot U$$

$$A = \frac{200}{\Delta U\% \cdot U^2 \cdot g} \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i$$

$$A = \frac{200}{4 \cdot 400^2 \cdot 36} [(5000 \cdot 15) + (7200 \cdot 30) + (7000 \cdot 40) + (6000 \cdot 50)] = 8.68 \cdot 10^{-6} \cdot 871000 = 7.56mm^2$$

שטח חתך מסחרי קרוב  $10mm^2$ , אולם על מנת לעמוד בתנאי התחממות יש לבחור  $25mm^2$ .



**פתרון שאלה 111**

א. הדרישה הקיימת היא:  $I_b < I_n$ .

כדוד XLPE מתאים ל-  $90^\circ\text{C}$ .

לכן, לפי טבלה 90.3, במדריך לחשמלאי של אינג' ז' דוניבסקי, המתאימה לסוג התקנה "ח" למוליכי נחושת בבידוד XLPE ובמתקן תלת-מופעי, יש להבטיח את הקו באמצעות מבטח 50A. מאחר שידוע כי קיים גם מבטח בערך נומינלי של 40A, רצוי להשתמש בו דווקא מאחר שגם ערכו גדול מהזרם בקו  $I_b$ .

המוליכים יהיו בעלי שטח חתך של 10 ממ"ר והם מתאימים לשני ערכי המבטחים 40A ו-50A (על קו עם מוליך 6 ממ"ר יש להגן באמצעות מבטח בערך נומינלי 32A, לכל היותר, שהוא קטן מ-  $I_b$ ).

ב. לגבי מוליכים מאלומיניום בבידוד XLPE יש לפנות לטבלה 90.4.

ערכו של המבטח יהיה 40A, שטח חתך המוליכים 10 ממ"ר.

**פתרון שאלה 112**

נתון:

נתוני הרשת מופיעים באיור.

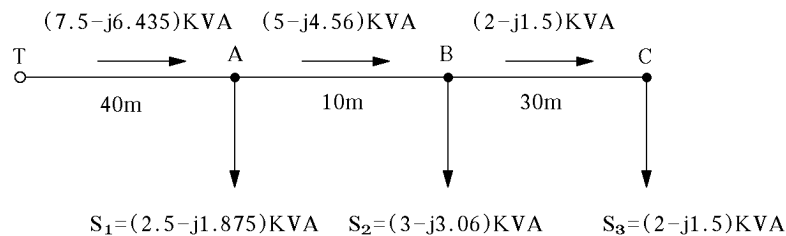
חשב:

א.  $\Delta U = ?$

ב.  $S_i, I_i = ?$

ג.  $\cos \varphi = ?$

א. 
$$\Delta U = \frac{2}{g \cdot A \cdot U} \sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i = \frac{2 \cdot 10^3}{35 \cdot 10 \cdot 230} \cdot (2.5 \cdot 40 + 3 \cdot 50 + 2 \cdot 80) = 10.18V$$



הספק משומה בכל קטע	זרמים בכל קטע
$S_{BC} = (2 - j1.5) \text{KVA} = \sqrt{2^2 + 1.5^2} = 2.5 \text{KVA}$	$\Rightarrow I_{BC} = \frac{S_{BC}}{U} = \frac{2.5 \cdot 10^3}{230} \approx 10.87 \text{A}$
$S_{AB} = (5 - j4.56) \text{KVA} = \sqrt{5^2 + 4.56^2} = 6.77 \text{KVA}$	$\Rightarrow I_{AB} = \frac{S_{AB}}{U} = \frac{6.77 \cdot 10^3}{230} = 29.43 \text{A}$
$S_{TA} = (7.5 - j6.435) \text{KVA} = \sqrt{7.5^2 + 6.435^2} = 9.88 \text{KVA}$	$\Rightarrow I_{TA} = \frac{S_{TA}}{U} = \frac{9.88 \cdot 10^3}{230} = 42.96 \text{A}$

ג. 
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{\sum P}{S_{TA}} = \frac{7.5}{9.88} = 0.76$$

**פתרון שאלה 113**

נתון:

חשב:

- א.  $P = 2KW$
- ב.  $l = 100m$
- $U = 115V$
- $\cos \varphi = 0.8$
- $A = 35mm^2$
- נחושת  $\rho = \frac{1}{57} \frac{\Omega mm^2}{m}$
- אלומיניום  $\rho = \frac{1}{34} \frac{\Omega mm^2}{m}$

- $\Delta P$  נחושת = ?
- $\Delta P$  אלומיניום = ?

$$\Delta P\% = \frac{2 \cdot 100}{g \cdot A \cdot U^2 \cdot P_1} \cdot \sum(S^2 \cdot l)$$

א. בעבור נחושת:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{2000}{0.8} = 2500VA$$

$$\Delta P = \frac{2}{g \cdot A \cdot U^2} \cdot \sum(S^2 \cdot l)$$

$$\Delta P = \frac{2}{57 \cdot 35 \cdot 115^2} \cdot (2500^2 \cdot 100) = 47.38W$$

$$\Delta P\% = \frac{\Delta P \cdot 100}{P_1} = \frac{47.38 \cdot 100}{2000} = 2.368\%$$

$$\Delta P = \frac{2}{g \cdot A \cdot U^2} \cdot \sum(S^2 \cdot l) = \frac{2}{34 \cdot 35 \cdot 115^2} \cdot (2500^2 \cdot 100)$$

ב. בעבור אלומיניום:

$$\Delta P = 79.42W$$

$$\Delta P\% = \frac{\Delta P \cdot 100}{P_1} = \frac{79.42 \cdot 100}{2000} = 3.971\%$$

**פתרון שאלה 114**

נתון:

חשב:

- א. נתוני הרשת מופיעים באיור.
- ב.  $A = ?$  מסחרי
- ג.  $\Delta U = ?$
- ד.  $\Delta U_{bc} = ?$

$$I_{de} = I_1 = 15A$$

א. שטח החתך האחיד:

$$I_{cd} = I_{de} + \frac{P_2}{U} = 15 + \frac{4000}{230} = 32.391A$$

$$I_{bc} = I_{cd} + I_3 = 32.391 + 10 = 42.391A$$

$$I_{ab} = I_{bc} + \frac{P_4}{U} = 42.391 + \frac{2000}{230} = 51.087A$$

$$A = \frac{2}{g \cdot \Delta U} \cdot \sum Il =$$

$$= \frac{2}{55 \cdot 10} [(51.087 \cdot 50) + (42.391 \cdot 40) + (32.391 \cdot 30) + (15 \cdot 20)] = 20.079 \text{mm}^2$$

ב. נבחר שטח מסחרי של  $25 \text{mm}^2$ .

$$\Delta U = \frac{2}{g \cdot A} \cdot \sum Il = \frac{2}{55 \cdot 25} = 1.454545 \cdot 10^{-3} \cdot 5521.72 = 8.031 \text{V}$$

ג. מפל המתח הכולל:

ד. מפל המתח בקטע b-c:

$$\Delta U_{bc} = \frac{2}{g \cdot A} \cdot I_{bc} = \frac{2}{55 \cdot 25} \cdot 42.391 \cdot 40 = 1.454545 \cdot 10^{-3} \cdot 1695.64 = 2.4663 \text{V}$$

### פתרון שאלה 115

חשב:	נתון:
א. $A = ?$ נחושת	$U = 230 \text{V}$
ב. $A = ?$ אלומיניום	$l = 150 \text{m}$
	$I = 95 \text{A}$
	$\Delta U = 10 \text{V}$
	$\rho_{Cu} = \frac{1}{57} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$
	$\rho_{Al} = \frac{1}{34} \frac{\Omega \text{mm}^2 \text{m}}{\text{m}}$

$$A_{\text{נחושת}} = \frac{2}{g \cdot \Delta U} \cdot I \cdot l = \frac{2}{57 \cdot 10} \cdot 95 \cdot 150 = 50 \text{mm}^2$$

א.

$$A_{\text{אלומיניום}} = \frac{2}{g \cdot \Delta U} \cdot I \cdot l = \frac{2}{34 \cdot 10} \cdot 95 \cdot 150 = 83.82 \text{mm}^2$$

### פתרון שאלה 116

חשב:	נתון:
$\Delta U = ?$	$U = 400 \text{V}$
	$l = 50 \text{m}$
	$A = 16 \text{mm}^2$
	$P = 15 \text{KW}$
	$\rho = \frac{1}{57} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$

$$\Delta U = \frac{2}{g \cdot A \cdot U} \cdot P \cdot l$$

$$\Delta U = \frac{2}{57 \cdot 16 \cdot 400} \cdot 15000 \cdot 50 = 4.11 \text{V}$$

## פתרון שאלה 117

חשב:	נתון:
א. $A = ?$	$P = 3KW$
מסחרי $A = ?$	$U = 230V$
ב. $\Delta P, \Delta P\% = ?$	$l = 55m$
	$\Delta P = 45W$
	$g_{Al} = 34 \frac{m}{\Omega mm^2}$

$$A = \frac{2}{g \cdot \Delta P \cdot U^2} \cdot (P^2 \cdot l) = \frac{2}{34 \cdot 45 \cdot 230^2} \cdot 3000^2 \cdot 55 = 12.231 mm^2 \quad .א$$

$$\text{מסחרי } A = 16mm$$

$$\Delta P = \frac{2}{g \cdot A \cdot U^2} \cdot P^2 \cdot l = \frac{2}{34 \cdot 16 \cdot 230^2} \cdot 3000^2 \cdot 55 = 34.40W \quad .ב$$

$$\Delta P\% = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100 = \frac{34.40}{3000} \cdot 100 = 1.15\%$$

## פתרון שאלה 118

חשב:	נתון:
א. $A = ?$	$P = 1KW$
	$U = 400V$
	$l = 120m$
	$g = 34 \frac{m}{\Omega mm^2}$
	$\Delta P = 30W$

$$A = \frac{2}{g \cdot \Delta P \cdot U^2} \cdot P^2 \cdot l$$

$$A = \frac{2}{34 \cdot 30 \cdot 400^2} \cdot 1000^2 \cdot 120 = 1.47 mm^2$$

## פתרון שאלה 119

חשב:	נתון:
א. $A_{Cu} = ?$	$U = 115V$
ב. $A_{Al} = ?$	$\Delta U\% = 3\%$
	$g_{Cu} = 58 \frac{m}{\Omega mm^2}$
	$g_{Al} = 34 \frac{m}{\Omega mm^2}$

$$A = \frac{2 \cdot 100}{U \cdot \Delta U\% \cdot g} \cdot I \cdot l \quad .א \quad \text{בעבור נחושת}$$

$$A_{Cu} = \frac{2 \cdot 100}{115 \cdot 3 \cdot 58} \cdot 30 \cdot 40 = 11.99 \text{mm}^2$$

שטח החתך המסחרי הוא 16 ממ"ר.

$$A = \frac{2 \cdot 100}{U \cdot \Delta U \% \cdot g} \cdot I \cdot l$$

ב. בעבור אלומיניום:

$$A = \frac{2 \cdot 100}{115 \cdot 3 \cdot 34} \cdot 30 \cdot 40 = 20.46 \text{mm}^2$$

שטח החתך המסחרי הוא 25 ממ"ר.

### פתרון שאלה 120

<p>חשב:</p> <p><math>A = ?</math></p>	<p>נתון:</p> <p>נתוני הרשת מופיעים באיור.</p> <p><math>U = 400V</math></p> <p><math>\Delta U = 2\%</math></p>
---------------------------------------	---

$$\Delta U = \frac{\Delta U \% \cdot U}{100} = \frac{2 \cdot 400}{100} = 8V$$

$$I_A = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{8000}{400 \cdot 0.92} = 21.73A$$

$$I_B = \frac{12000}{400 \cdot 0.85} = 35.29A$$

$$I_C = \frac{5000}{400 \cdot 0.8} = 15.625A$$

$$I_D = \frac{10000}{400 \cdot 0.75} = 33.33A$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta U} (\sum I \cdot l \cdot \cos \varphi)$$

$$A = \frac{2}{36 \cdot 8} (21.73 \cdot 20 \cdot 0.92 + 35.29 \cdot 50 \cdot 0.85 + 15.625 \cdot 90 \cdot 0.8 + 33.33 \cdot 140 \cdot 0.75)$$

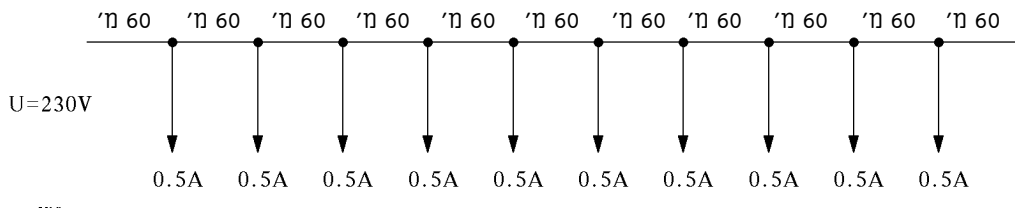
$$A = 45.3 \text{mm}^2$$

הערות:

1. לצורך מפל מתח מספיק שטח חתך של  $45.3 \text{mm}^2$ .
2. מבחינה תנאי התחממות עקב זרם של כ-100 אמפר בתחילת הקו, יש להתקין מוליכי חמרון בעל שטח חתך של  $50 \text{mm}^2$ .

**פתרון שאלה 121**

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$A = ?$	$l = 600m$
	$l_1 = 60m$
	$I_i = 0.5A$
	$U = 230V$
	$\rho = \frac{1}{34} \frac{\Omega mm^2}{m}$
	$\Delta U \% = 5\%$



$$\Delta U = \frac{230 \cdot 5}{100} = 11.5V \quad ; \quad I = I_1 = I_2 = \dots = I_{10} = 0.50A$$

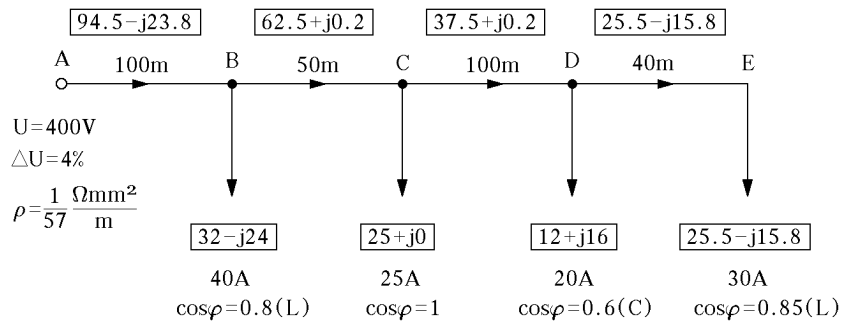
$$A = \frac{2\rho}{\Delta U} \cdot \sum I \cdot l = \frac{2\rho}{\Delta U} I(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{10})$$

$$A = \frac{2}{34 \cdot 11.5} \cdot 0.5(60 + 120 + 180 + 240 + 300 + 360 + 420 + 480 + 540 + 600) = 8.44mm^2$$

נבחר שטח חתך  $A = 10mm^2$

**פתרון שאלה 122**

<b>חשב:</b>	<b>נתון:</b>
$A = ?$	נתוני הרשת מופיעים באיור.
$\Delta U \% = 4\%$	$\Delta U \% = 4\%$
$\Delta P_{AC} = ?$	$U = 400V$
$\cos \varphi = ?$	



$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot \sum l \cdot I_a}{\Delta U} \quad \text{א. בהנחה ש-} X_0 = 0 :$$

$$A = \frac{\sqrt{3}(100 \cdot 94.5 + 62.5 \cdot 50 + 37.5 \cdot 100 + 40 \cdot 25.5)}{57 \cdot 16} = 32.94 \text{mm}^2$$

בוחרים שטח חתך תקני (מסחרי) של  $35 \text{mm}^2$ .

$$\Delta P_{(AC)} = \frac{3 \cdot \rho \cdot \sum l \cdot I^2}{A} \quad \text{ב.}$$

$$\Delta P_{(AC)} = \frac{3(100 \cdot 97.45^2 + 50 \cdot 62.5^2)}{57 \cdot 35} = 1721.75 \text{W}$$

$$\tan \varphi = \frac{23.8}{94.5} = 0.25 \Rightarrow \cos \varphi = 0.97 \quad \text{ג. } \cos \varphi \text{ כללי:}$$

## פתרונות לנושא 1.3

## פתרון שאלה 123

חשב:	נתון:
א. $C = ?$	$\cos \varphi_{קיים} = 0.45$
ב. מהי הסיבה למקדם הספק נמוך?	$\cos \varphi_{רצוי} = 0.92$
	$P = 40W$
	$U = 230V$
	$f = 50Hz$

$$Q_C = P (\tan \varphi_{קיים} - \tan \varphi_{רצוי}) \quad .א$$

$$C = \frac{Q_C}{U^2 \cdot \omega} \cdot 10^6 \mu F$$

$$\cos \varphi_{קיים} = 0.45 \Rightarrow \tan \varphi_{קיים} = 1.9845$$

$$\cos \varphi_{רצוי} = 0.92 \Rightarrow \tan \varphi_{רצוי} = 0.426$$

$$Q_C = 40(1.9845 - 0.426) = 62.34VAR$$

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314r / sec$$

$$C = \frac{62.34}{230^2 \cdot 314} \cdot 10^6 = 3.75 \mu F$$

נבחר קבל של  $4 \mu F$ .

ב. מקדם הספק של הנורה נמוך משום שהמשנק מחובר בטור לנורה (השראות גבוהה!).

## פתרון שאלה 124

חשב:	נתון:
א. $C = ?$	$\cos \varphi_{קיים} = 0.5$
	$\cos \varphi_{רצוי} = 0.96$
	$P = 105W$
	$U = 230V$
	$f = 50Hz$

$$\cos \varphi_{קיים} = 0.5 \Rightarrow \tan \varphi_{קיים} = 1.73$$

$$\cos \varphi_{רצוי} = 0.96 \Rightarrow \tan \varphi_{רצוי} = 0.29$$

$$Q_C = P (\tan \varphi_{קיים} - \tan \varphi_{רצוי})$$

$$Q_C = 105(1.73 - 0.29) = 151.2VAR$$

$$C = \frac{Q_C \cdot 10^6}{U^2 \cdot \omega} = \frac{151.2}{230^2 \cdot 314} = 9.1 \mu F$$

נבחר קבל של  $10 \mu F$ .



## פתרון שאלה 125

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}$$

גורם הספק נמוך גורם לתופעות השליליות האלה:

א. בשל עליית עוצמת הזרם  $\left( I = \frac{P}{U \cos \varphi} \right)$ , כאשר  $\cos \varphi$  נמוך, עולים ההפסדים בהתנגדות האוהמית של הקווים, התלויים בעוצמת הזרם בריבוע  $(\Delta P = r \cdot I^2)$ .

ב. בשל עליית עוצמת הזרם חייבים להתקין גנרטורים ושנאים ברשת שהספקם המדומה  $(S = UI)$  יותר גדול והדבר מייקר את הרשת.

קיימות דרכים טבעיות ומלאכותיות לשיפור גורם ההספק:

(1) דרך טבעית לשיפור גורם ההספק למנועים לזרם חילופים:  
 – להתאים את כל המנועים לצריכה ממשית כדי שהמנועים יעבדו בעומס נקוב מלא ככל האפשר.  
 – למנוע ככל האפשר את עבודת המנועים בריקם. ידוע שבעבודה בריקם של המנועים האסינכרוניים גורם ההספק מגיע עד  $0.2 \div 0.3$ .  
 – לתיקון רוטור כלוב (הכוונה לעגל את צורתו בעזרת המחרטה), יש להשתדל להוריד שיכבת ברזל דקה ככל האפשר, כדי לא לגרום להגדלת מרווח האוויר בין הסטטור לבין הרוטור. הדבר גורם לעליית ההספק ההיגבי ולהקטנת גורם ההספק.

(2) דרכים מלאכותיות לשיפור גורם ההספק:  
 – התקנת סוללות קבלים במקביל לצרכנים השראתיים (מנועים אסינכרוניים) ולתאורה פלואורנית. קיימים: (1) קיזוז אינדיבידואלי; (2) קיזוז קבוצתי של המנועים. הקיזוז ניתן להיעשות בצורה ידנית או אוטומטית – במצב אוטומטי המד גורם ההספק נותן פקודה להפעלה או להפסקת הפעולה של סוללת הקבלים בהתאם לערך של גורם ההספק.  
 – הזנת ההספק ההיגבי הדרוש לצרכנים השראתיים של המפעל, ממנוע סינכרוני העובד בריקם ועל-עירור (over-excited).

## פתרון שאלה 126

חשב:	נתון:
$\begin{cases} Q_C = ? \\ \cos \varphi' = 0.92 \end{cases}$	א. $U = 400V$
	$P_2 = 10KW$
$\frac{I}{I'} = ?$	ב. $\eta = 0.75$
	$\cos \varphi = 0.8$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{10000}{0.75} = 13.333W \quad \text{א.}$$

$$Q_C = P_1(\tan \varphi - \tan \varphi') \quad ; \quad \cos \varphi = 0.8 \Rightarrow \tan \varphi = 0.75$$

$$\cos \varphi' = 0.92 \Rightarrow \tan \varphi' = 0.426$$

$$Q_C = 13333(0.75 - 0.426) = 4319VAR$$

$$P_1 = 3P_{PH} = 3U_{PH} \cdot I_{PH} \cdot \cos \varphi \quad ; \quad U_{PH} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230V \quad \text{ב.}$$

$$I_{PH} = \frac{P_1}{3U_{PH} \cdot \cos \varphi} = \frac{13333}{3 \cdot 230 \cdot 0.8} = 24.15A$$

$$I'_{PH} = \frac{P_1}{3U_{PH} \cdot \cos \varphi'_{PH}} = \frac{13333}{3 \cdot 230 \cdot 0.92} = 21A$$

$$\frac{I}{I'} = \frac{24.15}{21} = 1.15$$

**פתרון שאלה 127**

לפי נוסחת ההספק המושקע  $P = U_L \cdot I \cdot \cos \varphi$ , ברור כי ככל שגורם ההספק יהיה קטן, יהיה דרוש זרם גדול יותר כדי לספק לצרכן את אותו ההספק (בתנאי שמתח הדקי הצרכן אינו משתנה).

$$I = \frac{P}{U_L \cdot \cos \varphi} \quad \text{כך נקבל}$$

ייתכן מצב בו משתנים תנאי העבודה של הצרכן ההשראתי וגורם ההספק שלו קטן. במקרה זה עולה עוצמת הזרם ברשת. במקרה כזה ייתכן שחתך מוליכי הרשת לא יעמדו בתנאים אלה. לכן דורשת חברת חשמל להתקין קבלים לשיפור גורם ההספק במבנים בהם קיימים צרכנים השראתיים. חברת החשמל דורשת לשפר את גורם ההספק עד לרמה של 0.92.

לסיכום: בצרכן בעל הספק קבוע ומתח קבוע, גורם הספק נמוך מגדיל את הזרם בקו, ואילו גורם הספק גבוה מקטין את הזרם בקו. הפסדי הקו יחסיים לריבוע זרם הקו. במתקני תעשייה גדולים בהם קיים גורם הספק נמוך וההנהלה אינה דואגת לשפרו, מטילה חברת החשמל קנסות.

**פתרון שאלה 128**

חשב:	נתון:
א. $Q = ?$	$P_1 = 700W$
ב. $\cos \varphi = ?$ חברת החשמל	$\cos \varphi_1 = 0.75$
	$P_2 = 500W$
	$\cos \varphi_2 = 0.6$
	$\cos \varphi_B = 0.95$ אחרי שיפור

$$\cos \varphi_1 = 0.75 \Rightarrow \tan \varphi_1 = 0.882 \quad \text{א.}$$

$$\cos \varphi_2 = 0.6 \Rightarrow \tan \varphi_2 = 1.333$$

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \varphi_1 = 700 \cdot 0.882 = 617.4VAR \quad \text{השראתי:}$$

$$Q_2 = P_2 \cdot \tan \varphi_2 = 500 \cdot 1.333 = 666.5VAR \quad \text{השראתי:}$$

$$P = P_1 + P_2 = 700 + 500 = 1200W$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 617.4 + 666.5 = 1283.9VAR \quad \text{השראתי:}$$

$$\tan \varphi_A = \frac{Q}{P} = \frac{1283.9}{1200} = 1.0699 \quad \text{לפני שיפור}$$

$$\cos \varphi_B = 0.95 \quad ; \quad \tan \varphi_B = 0.328 \quad \text{אחרי שיפור}$$

$$Q_C = P(\tan \varphi_A - \tan \varphi_B) = 1200(1.0699 - 0.328) = 890.28VAR \quad \text{גודל הקבל}$$

ב. חברת החשמל דורשת מצרכנים תעשייתיים שמקדם ההספק יהיה 0.92 לפחות.

## פתרון שאלה 129

חשב:	נתון:
$Q_C = ?$	.א. $P = 75HP$
$C_\Delta = ?$	.ב. $\eta = 80\%$
$C_Y = ?$	.ג. $\cos \varphi = 0.8$
	$f = 50Hz$

$$\cos \varphi_1 = 0.8 \Rightarrow \tan \varphi_1 = 0.75$$

$$\cos \varphi_2 = 0.92 \Rightarrow \tan \varphi_2 = 0.426$$

$$Q = \frac{P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{\eta} = \frac{75 \cdot 736(0.75 - 0.426)}{0.8} = \frac{55200 \cdot 0.3240}{0.8} = 22356VAR \quad .א$$

$$C_\Delta \frac{Q_C}{2\pi f \cdot 3 \cdot U^2} = \frac{22356}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 400^2 \cdot 3} = 148.25 \mu F \quad .ב$$

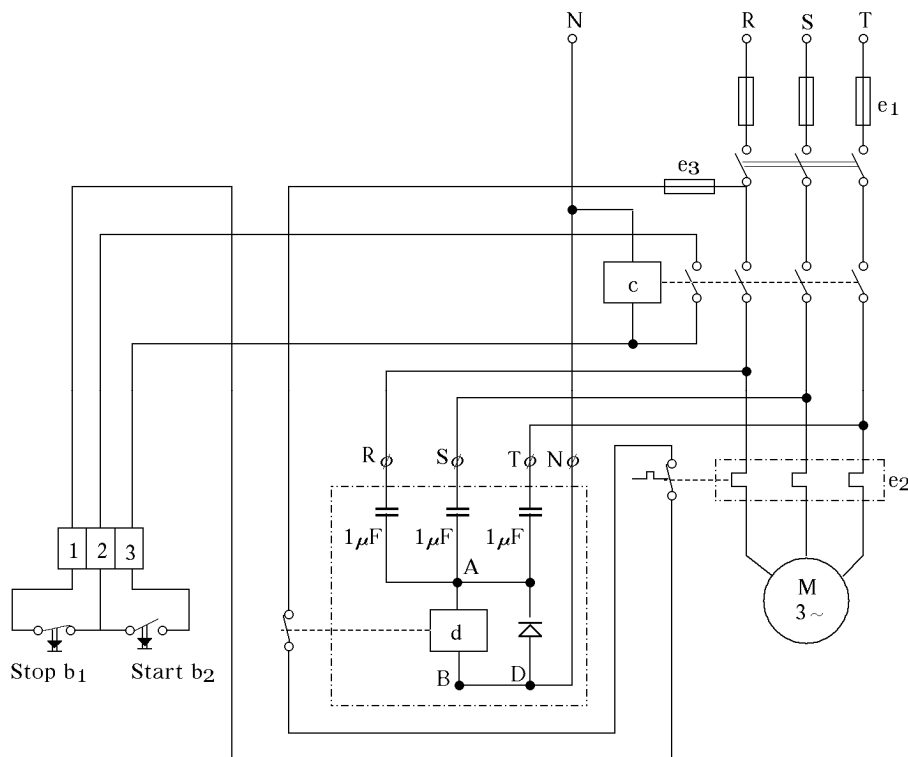
$$C_Y = \frac{Q_C}{2\pi f \cdot U^2} = \frac{22356}{2\pi 50 \cdot 400^2} = 444.76 \mu F \quad .ג$$

## פתרונות לנושא 4

### פתרון שאלה 2

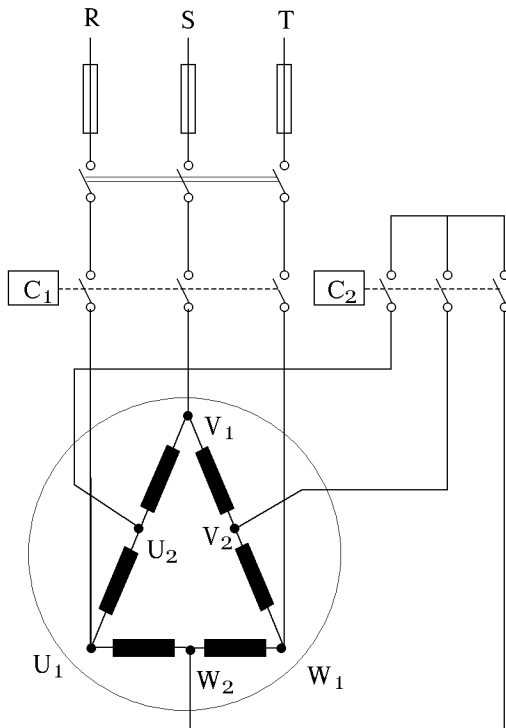
א. כאשר מנוע השראתי תלת-מופעי פועל ומסיבה כלשהי אחד המופעים אינו מגיע למנוע, המנוע ממשיך לעבוד. אולם משום שהמומנט שהוא מפתח קטן יותר מהמומנט במצב תקין, המנוע מתאמץ, מתחמם ונשרף תוך מספר שעות. כאשר המנוע נשאר מוזן בשני מופעים, הוא משמיע רעש מיוחד. במקומות שבהם מנועים עובדים אוטומטית, ללא נוכחות של חשמלאים, כגון: בתחנות שאיבה, במצבי חוסר מופע, נשרפים המנועים ונגרם נזק רב. הפתרון לבעיה זו הוא שימוש בממסר לחוסר מופע שתפקידו להפסיק את הזנת המנוע ממתח הרשת ברגע שחסר מופע אחד או שניים.

ב. המבנה העקרוני ועקרון הפעולה של ממסר לחוסר מופע:



הממסר לחוסר מופע (d) כולל בתוכו שלושה קבלים זהים, שמהווים עומס תלת מופעי מאוזן. הקבלים מחוברים ביניהם בצד השני שמהווה נקודת אפס מלאכותית (A). כאשר חסר מופע אחד או שניים, בין נקודה A לבין נקודה B (אפס של הרשת) נוצר מתח, המפעיל את סליל של הממסר (d). התפקיד של דיודה D הוא ליישר מתח זה. כתוצאה מכך שסליל הממסר מקבל זרם, הוא פותח את זוג מגע NC שלו. מגעים אלה מחוברים בטור עם סליל המגען (הקונטקטור) C וכתוצאה מכך הסליל של המגען אינו מקבל זרם, פותח את מגעיו והמנוע מפסיק לעבוד.

### פתרון שאלה 3



מנוע "דלנדר" הוא מנוע עם מספר מהירויות שמשנה את מהירותו הסיבובית רק על-ידי שינוי החיבורים החיצוניים, ללא צורך להתערב בחיבורים הפנימיים של המנוע. בסטטור של מנוע דלנדר נמצאים מספר ליפופים שניתן לחבר ביניהם בצורות שונות ועל-ידי כך לשנות את מספר הקטבים במנוע, דבר המשנה את מהירותו.

לדוגמה, במנוע עם 2 מהירויות נחבר 6 ליפופים של הסטטור במשולש לקבלת מהירות נמוכה או בכוכב לקבלת מהירות גבוהה, כמתואר באיור.

כאשר מפעילים קונטקטור  $C_1$ , המנוע מסתובב במהירות נמוכה, משום שחצאי הליפופים מחוברים ביניהם בטור.

כאשר מפעילים את  $C_1$  ו- $C_2$ , המנוע מסתובב במהירות סיבובית גדולה (פי 2 מהמהירות הקודמת), משום שחצאי הליפופים מחוברים ביניהם במקביל.

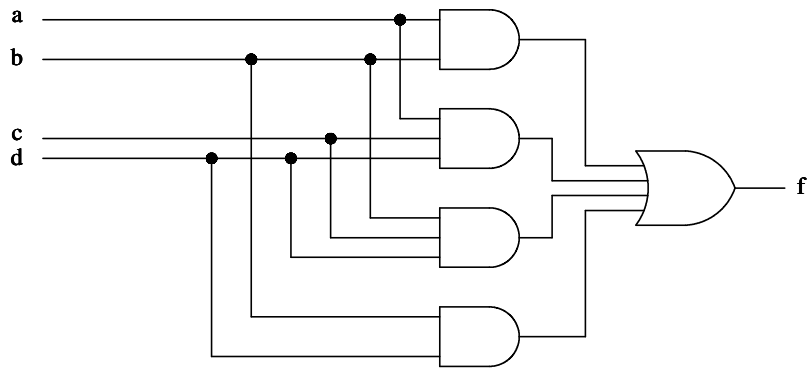
### פתרון שאלה 4

טבלת אמת

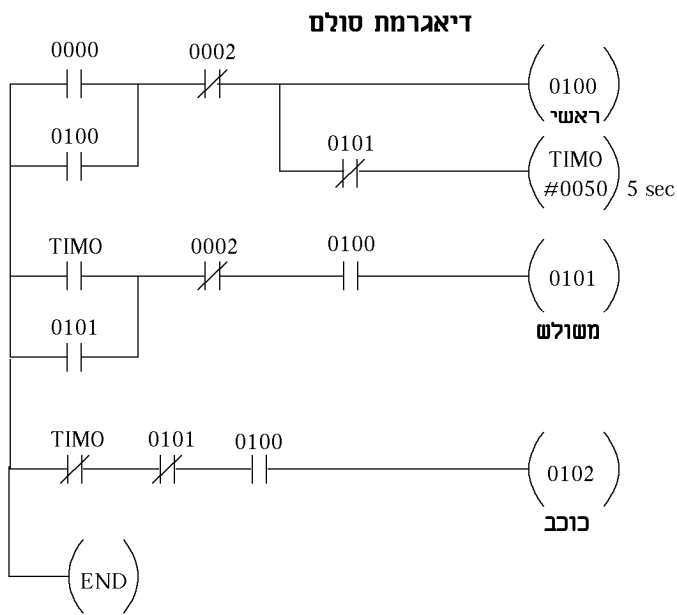
$$f = b \cdot d + b \cdot c \cdot d + a \cdot c \cdot d + a \cdot b$$

a	b	c	d	f
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

(ראו סרטוט בעמוד הבא)



**פתרון שאלה 5**



א. הבקר מסוג אומרון

**הגדרת כניסות**

0000

סטרט

0002

סטופ

**הגדרת יציאות**

0100

מגען ראשי C1

0101

מגען משולש C2

0102

מגען כוכב C3

כתובת	הוראה	מידע
0000	LD	0000
0001	OR	0100
0002	AND NOT	0002
0003	OUT	0100
0004	AND NOT	0100
0005	TIM	00 } 5SEC #0050
0006	LD TIM	0
0007	OR	0101
0008	AND NOT	0002
0009	AND	0100
0010	OUT	0101
0011	LD TIM	0
0012	AND NOT	0101
0013	AND	0100
0014	OUT	0102
0015	END	

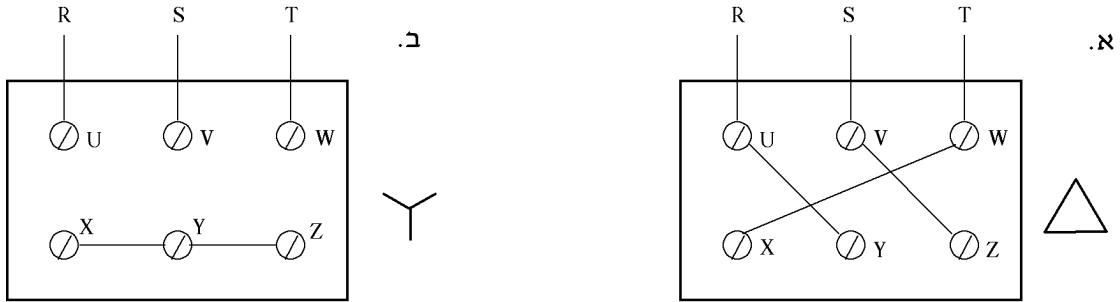
$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{3.736}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.8 \cdot 0.9} = 4.66A$$

ב. זרם מנוע:

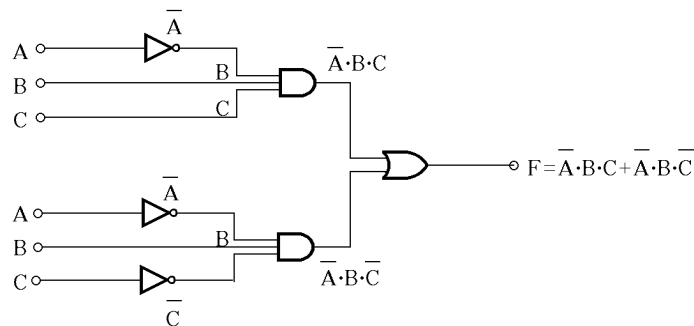
$$I_{O.L} = 1.2 \cdot I = 1.2 \cdot 4.66 = 5.6A$$

זרם כיוול אוברלווד:  
גודל הנתיק 10A מסוג C.

**פתרון שאלה 6**

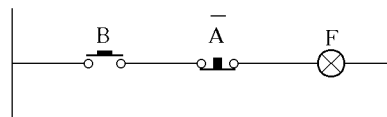


**פתרון שאלה 7**

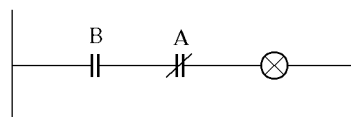


$$F = \bar{A}BC + A\bar{B}\bar{C} = \bar{A}B(C + \bar{C}) = \bar{A} \cdot B \cdot 1 = \bar{A} \cdot B$$

$$F = \bar{A} \cdot B$$

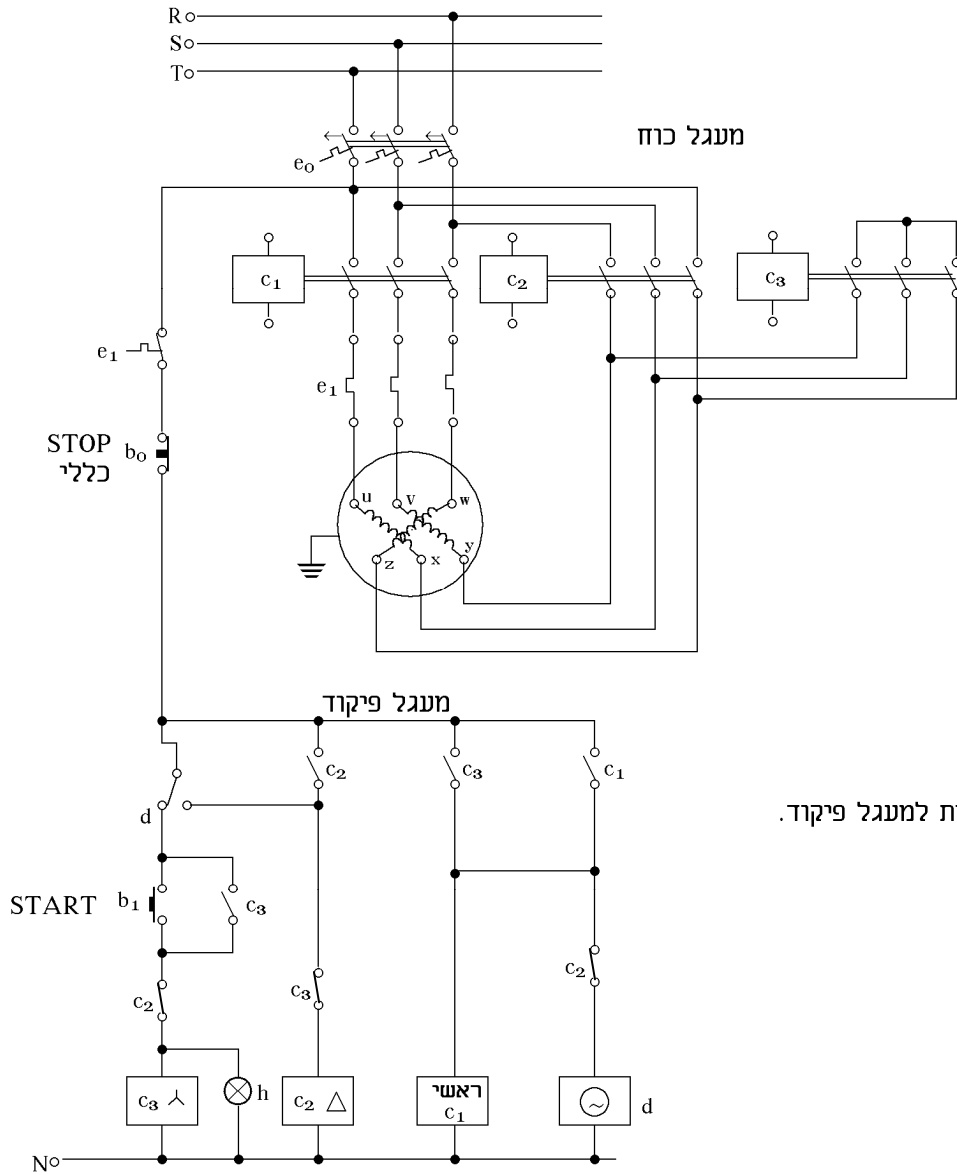


מימוש על ידי לחצנים



מימוש על ידי דיאגרמת סולם

פתרון שאלה 8



הערה:  
יש אפשרויות נוספות למעגל פיקוד.



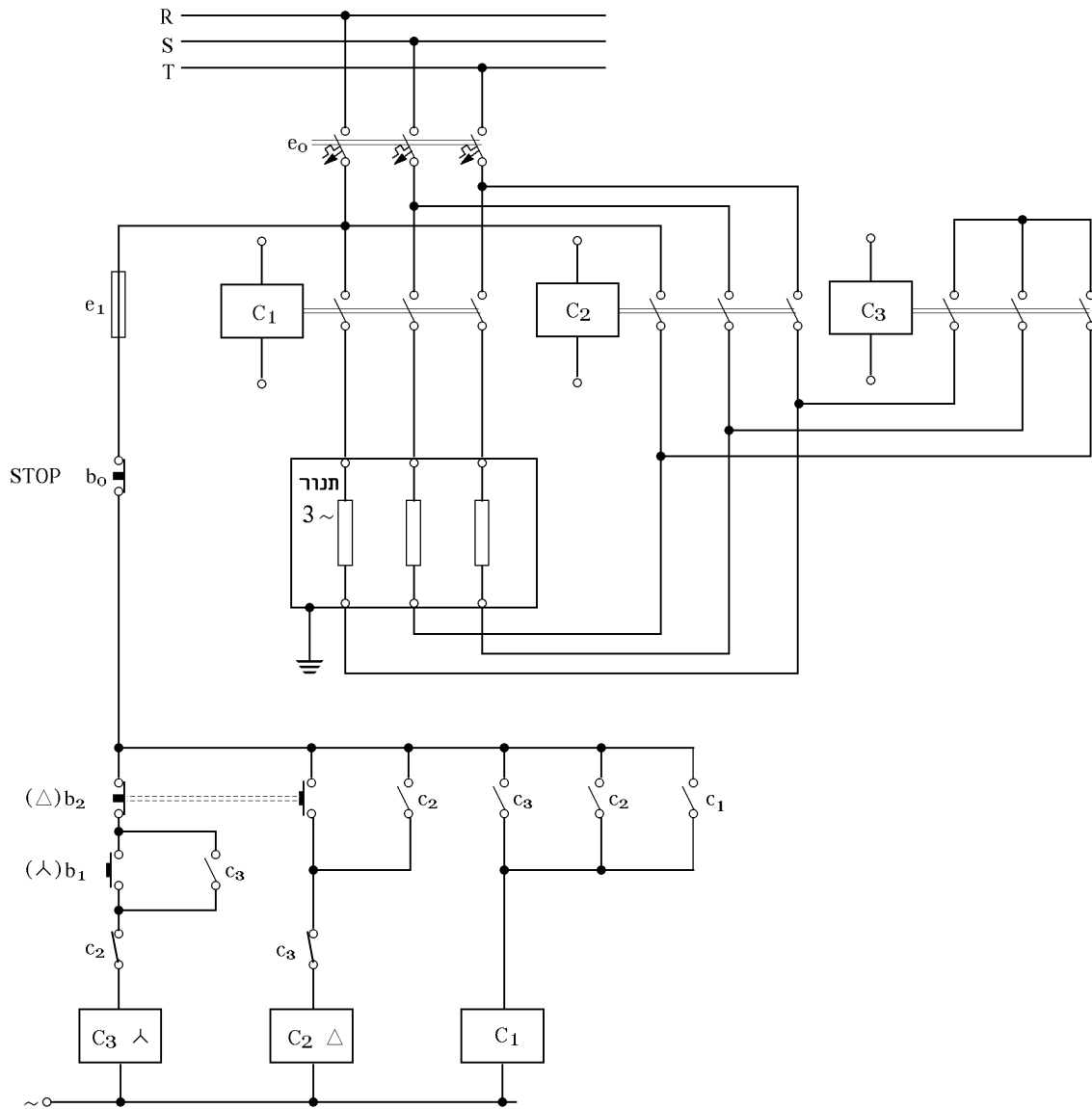
## פתרון שאלה 9

- א. לאחר לחיצה על לחצן "B", בכניסה 0 של הבקר, תידלק הנורה  $L_1$  במוצא 50 של הבקר. ממסר 50 יבצע החזקה עצמית ויפעיל את הטיימר למשך 10 שניות. לאחר 10 שניות מפעיל הטיימר את מוצא 60 (נורה  $L_2$ ) ומפסיק את הנורה  $L_1$  ואת פעולת הטיימר. נורה  $L_2$  תמשיך לעבוד עם החזקה עצמית עד שנלחץ על לחצן A בכניסה 3 לבקר, שמבצעת STOP.
- ב. לפי דוגמת הבקר שבחרנו נוכל לראות שיש שלושה חיבורים משותפים ( $com_0, com_1, com_2$ ) שכל אחד מהם אחראי על 4 יציאות מהבקר. במקרה זה החיבורים המשותפים מחוברים ל-12V ולכן מתחי היציאה מתאימים ל-12V. אך ניתן לחבר כל הדק משותף למתח שונה למשל  $com_0$  ל-12V ו- $com_1$  ל-230V ואז כאשר הבקר יפעיל את יציאה 50 (באחריות  $com_0$ ) היא תקבל 12V וכאשר הבקר יפעיל את יציאה 54 (באחריות  $com_1$ ) היא תקבל 230V.
- ג. תוכנית לבקר בהתאם למעגל הסולם.

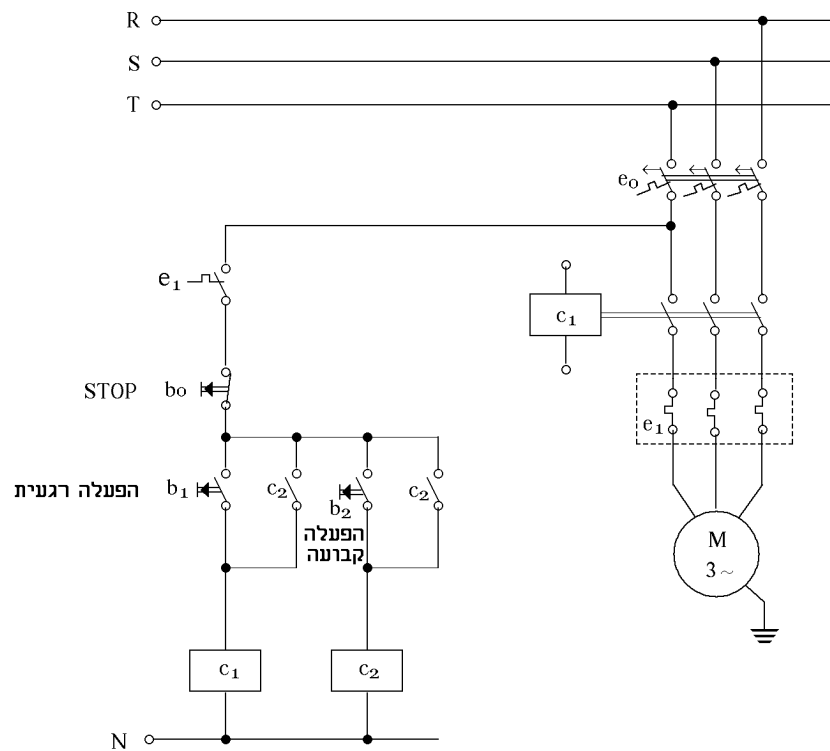
STEP	CODE	DATA	EXIT
000	STR	0	ENT
001	OR	50	ENT
002	AND NOT	60	ENT
003	OUT	50	ENT
004	STR	50	ENT
005	OUT TMR	0	ENT
006		10	ENT
007	STR TMR	0	ENT
008	OR	60	ENT
009	AND NOT	3	ENT
010	OUT	60	ENT

התוכנה בהתאם לבקר מסוג טקסס אינסטרומנט.

פתרון שאלה 10

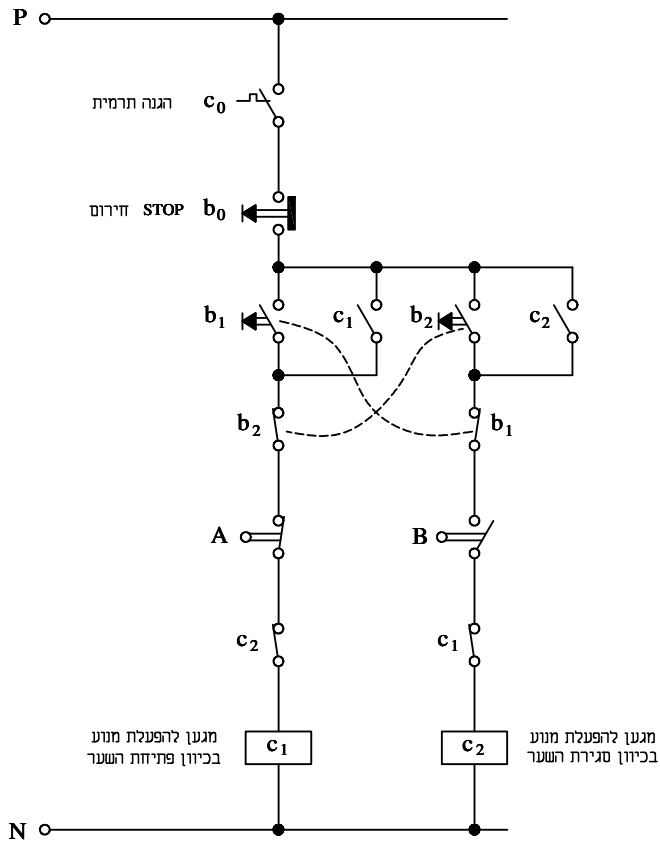


פתרון שאלה 11



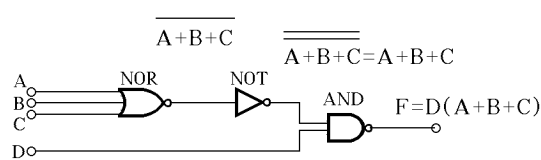
- $C_1$  – מגען ראשי מפעיל את המנוע.
- $C_2$  – מגען עזר, מהווה החזקה עצמית בהפעלה קבועה של המנוע.
- $b_0$  – *STOP* כללי.
- $b_1$  – לחצן הפעלה רגעית.
- $b_2$  – לחצן הפעלה קבועה.
- $e_1$  – הגנה תרמית.
- $e_0$  – מאמ"ת תלת מופעי.

**פתרון שאלה 12**

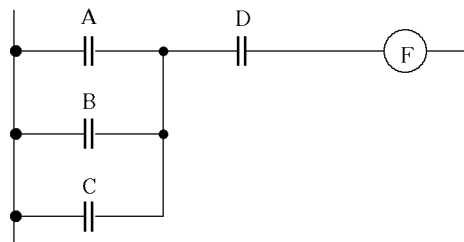


- $c_1$  מגען (קונטקטור) לפתיחת השער.
- $c_2$  מגען לסגירת השער.
- $b_0$  STOP חירום.
- $b_1$  לחצן פתיחת שער עד מפסק גבול A.
- $b_2$  לחצן סגירת שער עד מפסק גבול B.

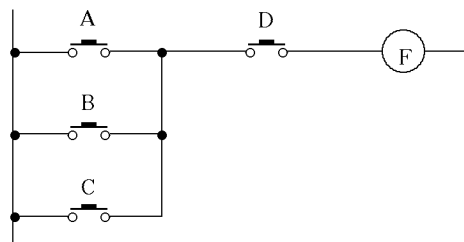
**פתרון שאלה 13**



א.



ב.

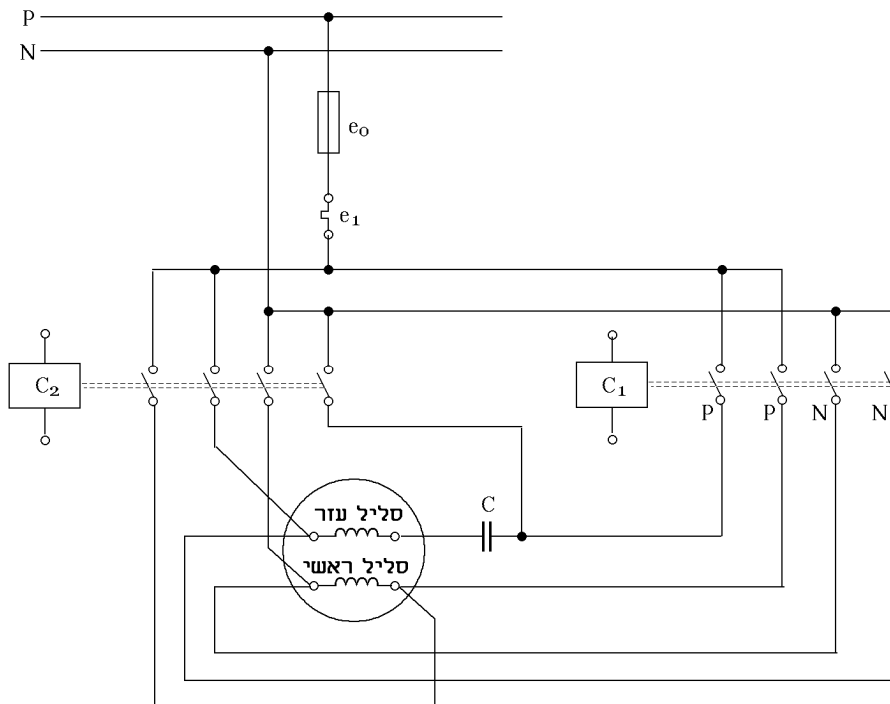


ג.

ד. כתיבת תוכנית לפי בקר טקסס אינסטרומנט :

STEP	CODE	DATA	EXIT	
000	STR	0	ENT	0-A
001	OR	1	ENT	1-B
002	OR	2	ENT	2-C
003	AND	3	ENT	3-D
004	OUT	50	ENT	50-F

### פתרון שאלה 14



סליל העזר מחובר דרך הקבל.

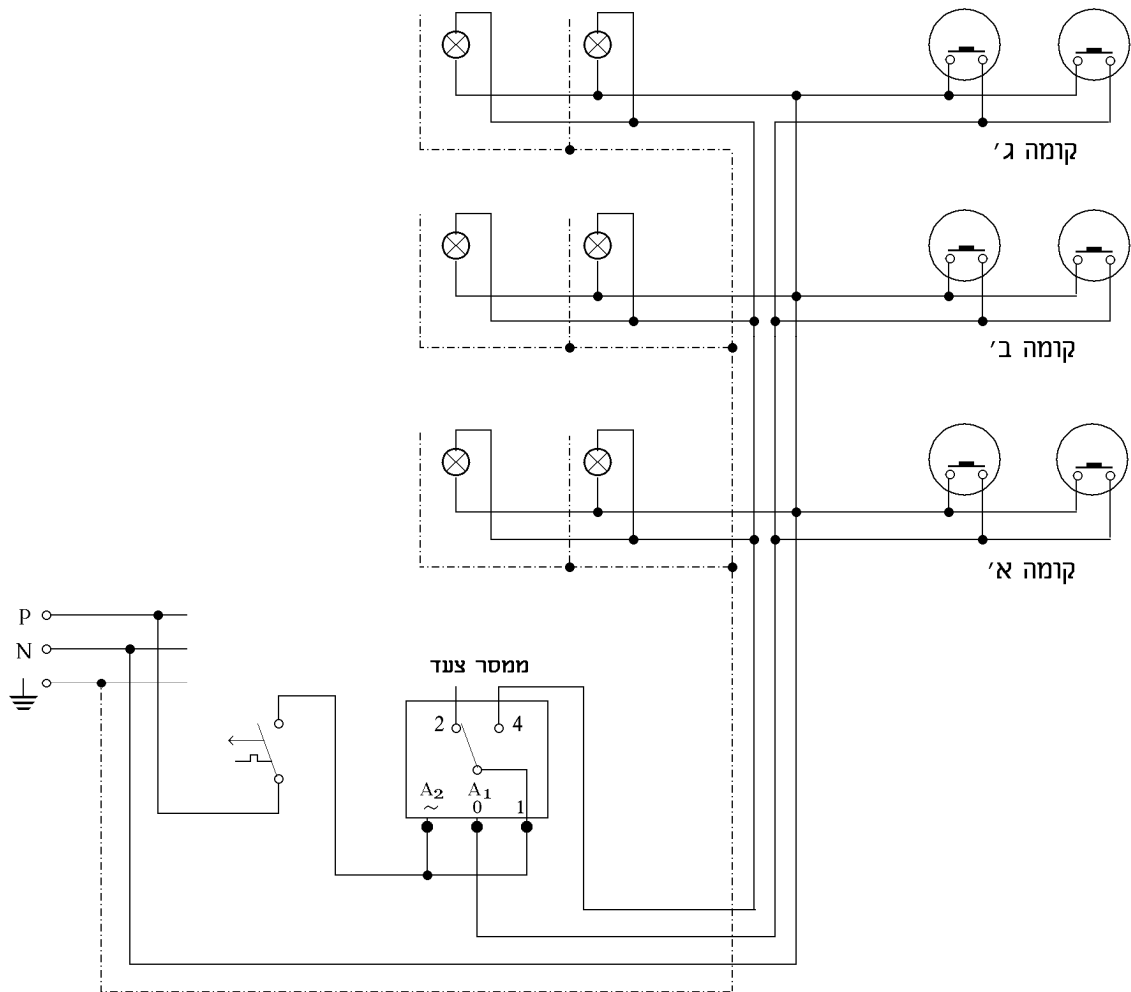
כאשר  $C_1$  עובד, מגיע המופע לקבל ולסליל הראשי מצד ימין והאפס מצד שמאל.

כאשר  $C_2$  עובד, מתהפך המופע לסליל העזר ואז יסתובב המנוע לכיוון האחר.

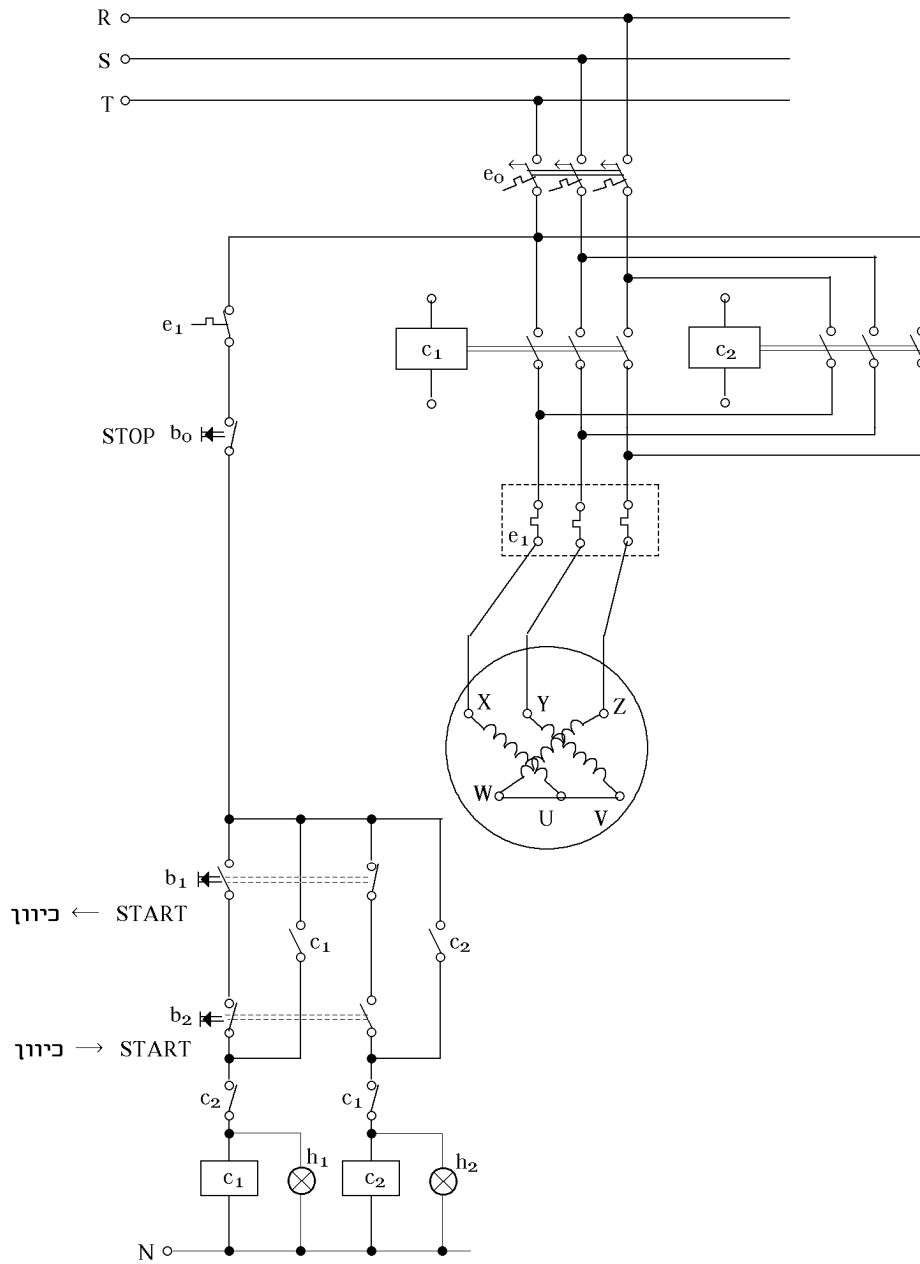
אם נהפוך את הסליל הראשי הדבר גם יגרום לשינוי כיוון סיבוב, אך אם נהפוך את שני הסלילים, ימשיך המנוע להסתובב באותו כיוון כפי שהסתובב קודם לכן.

מובן שבמעגל הפיקוד חייב להיות חיבור בין  $C_1$  ל- $C_2$  להבטחה שלא יוצלבו מופעים.

פתרון שאלה 15



פתרון שאלה 16



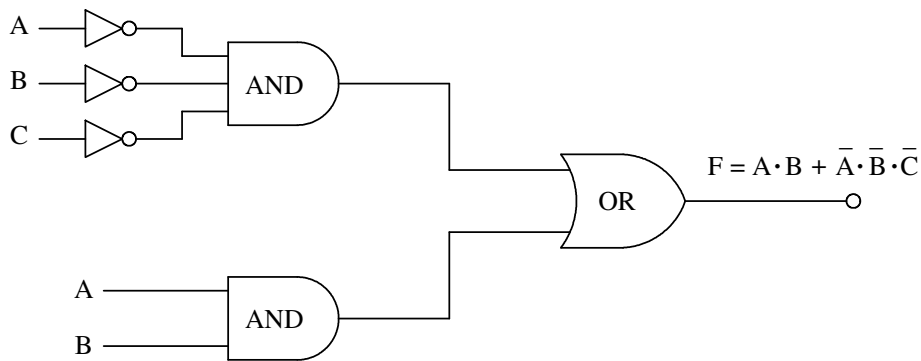
**פתרון שאלה 17**

- א. כאשר לוחצים על לחצן אפס תופעל יציאה 110 בבקר, ויופעל מנוע ראשון. כמו כן, תבצע יציאה 110 החזקה עצמית ותפעיל את הטיימר TMR1.  
הטיימר יספור 60 שניות ויפעיל את יציאה 111 שמפעילה את המנוע השני, מבצעת החזקה עצמית ומפסיקה את פעולת המנוע הראשון על-ידי הפסקת יציאה 110. לחצן 4 מהווה STOP כללי למערכת.
- ב. תוכנית לבקר מסוג GOLD 8085 או טקסס אינסטרומנט.

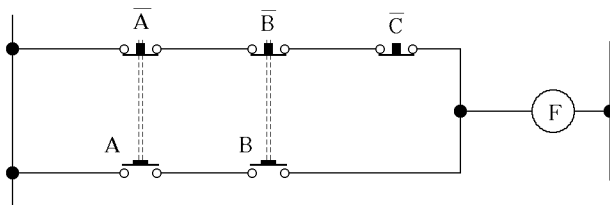
000	STR	0	ENT
001	OR	110	ENT
002	AND NOT	111	ENT
003	AND NOT	4	ENT
004	OUT	110	ENT
005	STR	110	ENT
006	OUT TMR	1	ENT
007		60	ENT
008	STR TMR	1	ENT
009	OR	111	ENT
010	AND NOT	4	ENT
011	OUT	111	ENT
012	END		

**פתרון שאלה 18**

א.



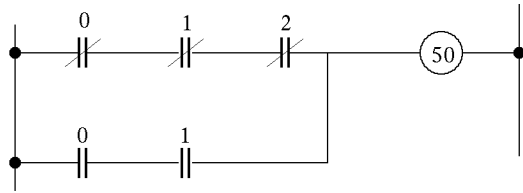
ב.



(המשך הפתרון בעמוד הבא)



ג. לפי בקר טקסס אינסטרומנט :



$$INPUT \begin{cases} A = 0 \\ B = 1 \\ C = 2 \end{cases}$$

$$OUTPUT \quad F = 50$$

ד.

STEP	CODE	DATA	EXIT
000	STR NOT	0	ENT
001	AND NOT	1	ENT
002	AND NOT	2	ENT
003	STR	0	ENT
004	AND	1	ENT
005	OR STR		ENT
006	OUT	50	ENT

### פתרון שאלה 19

א. ב.

אסור לחבר לכרטיס הכניסה מתח חיצוני, המתח שמקבלים התקני כרטיס הכניסה הוא מתח פנימי מה-com של כרטיס הכניסה.

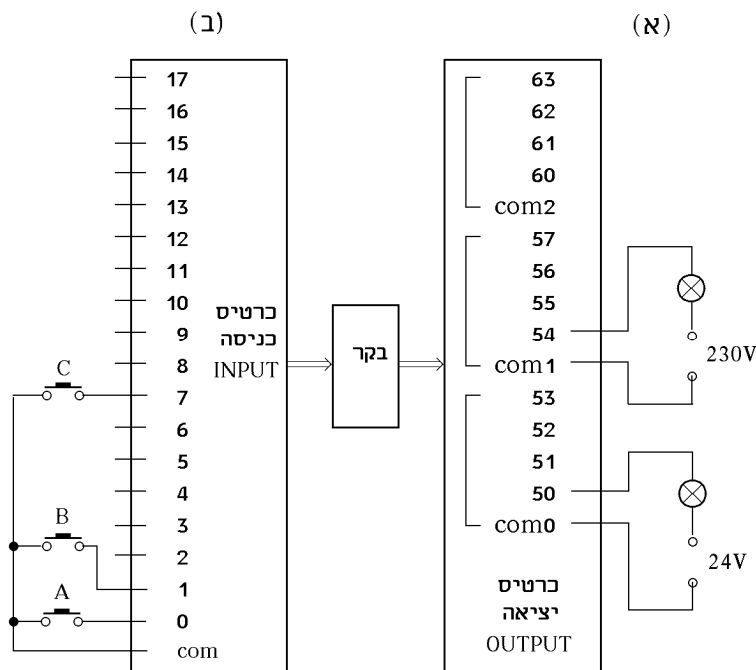
הערה :

יש בקרים מתוכנתים שבהם מחברים מקור מתח חיצוני לכרטיס הכניסה בהתאם לנתונים טכניים של אותו דגם.

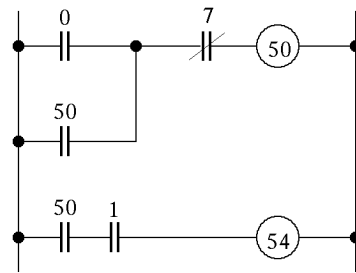
לדוגמה :

$$V_{input} = 12VDC$$

$$V_{output} = 230VAC$$



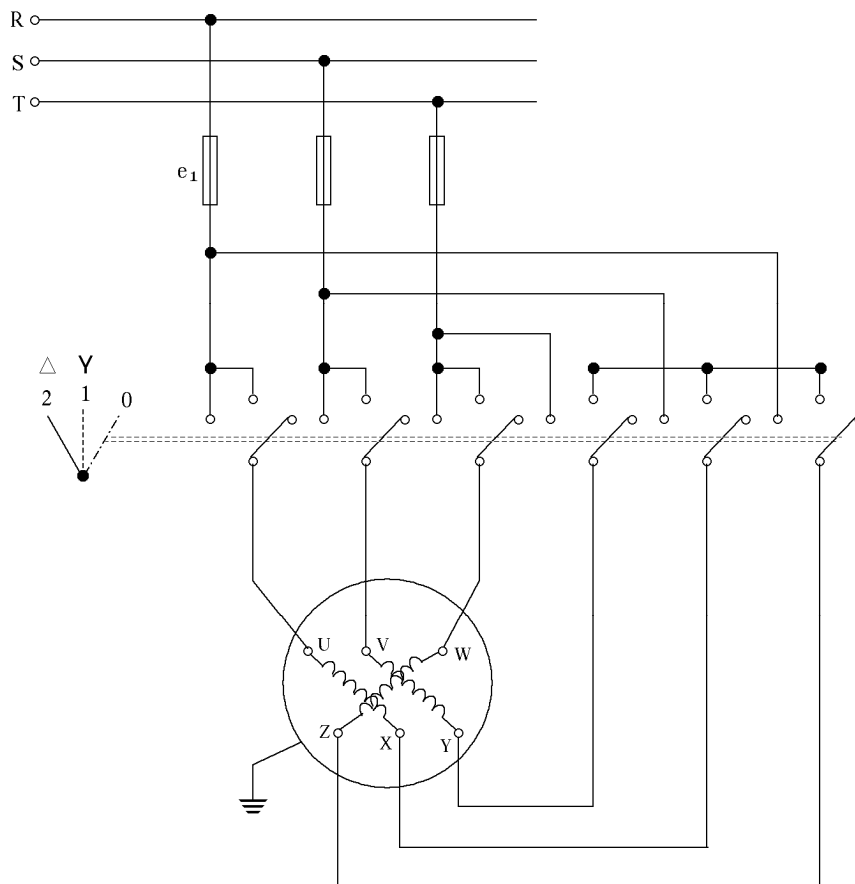
ג.



ד. התוכנה מתאימה לבקר מסוג טקסס אינסטרומנט:

STEP	CODE	DATA	EXIT
000	STR	0	ENT
001	OR	50	ENT
002	AND NOT	7	ENT
003	OUT	50	ENT
004	STR	50	ENT
005	AND	1	ENT
006	OUT	54	ENT

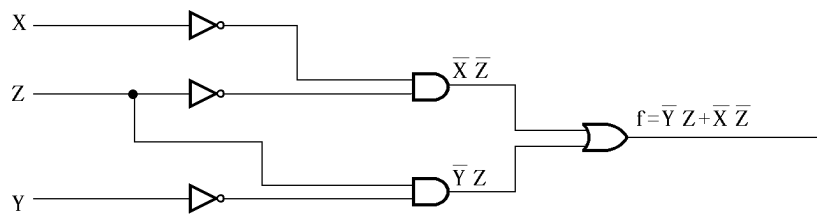
**פתרון שאלה 20**



**פתרון שאלה 21**

נכניס את הפונקציה למפת קרנו.

$X \backslash Y$	$Z$	00	01	11	10
0		1	1		
1		1			1



**פתרון שאלה 22**

- ג.
1. LOD 1
  2. OR 3
  3. AND NOT 2
  4. OUT 203
  5. END

- ב.
1. LOD 1
  2. AND NOT 2
  3. OUT 200
  4. LOD NOT 3
  5. OR NOT 5
  6. AND NOT 4
  7. OUT 210
  8. END

- א.
1. LOD NOT 1
  2. OR NOT 3
  3. AND 2
  4. OUT 200
  5. END

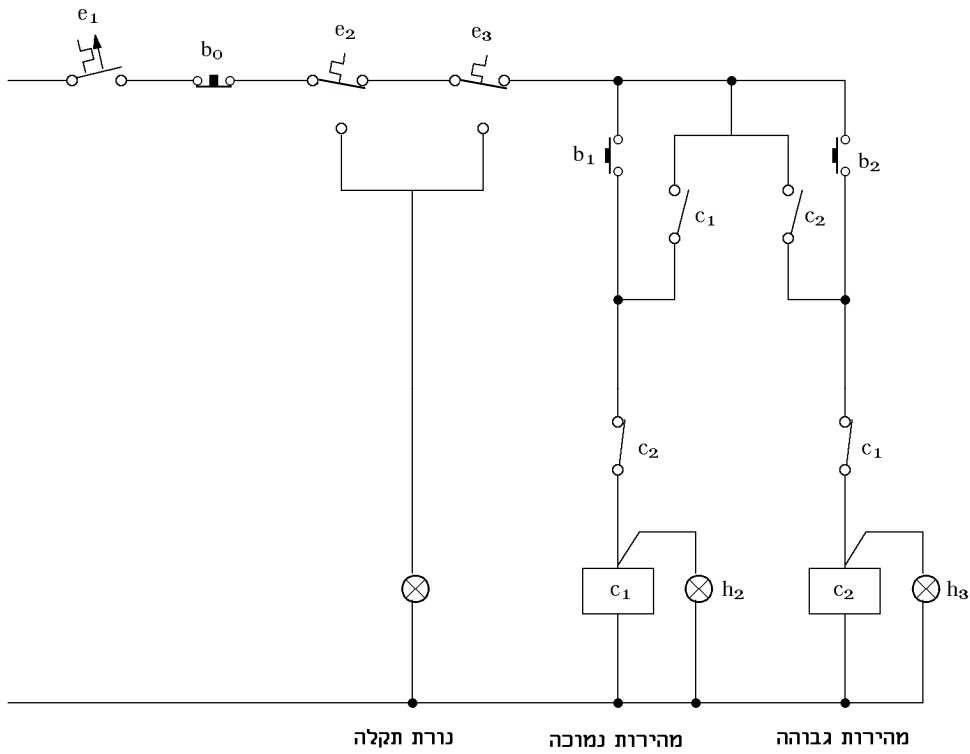
פתרון שאלה 23

נתון:

חשב:

א. סרטט מעגל פיקוד.	$P = 2HP$
ב. $I_{e1}, I_{e2}, I_{e3} = ?$	$\eta = 0.8$
	$\cos \varphi = 0.8$
	$U = 400V$

א.



$$I_b = \frac{P}{\eta \cos \varphi U \sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 736}{0.8 \cdot 0.8 \cdot 400 \cdot \sqrt{3}} = 3.3A$$

ב.

גודל מאמ"ת:  $e_1 = 10A$  סוג (C).

$$I_{e2} = I_{e3} = I_b = 3.3A$$

כיול ממסרי עומס יתר:

**תוכנית מבחן מומלצת**  
**מובנית לפי תוכנית הלימודים (2000)**  
**במקצוע מתקני חשמל ורשת**  
**לחשמלאי מוסמך**

מספר הנושא במאגר	קוד השאלות לפי תוכנית	מספר שאלות פתוחות במאגר	מספר שאלות פתוחות במבחן לפי נושאים	הנושא
1	2.2.23	16	1	סרטוט סכמטי בחשמל
2	2.2.24	45	2 (3)	חוקים ותקנים בחשמל
4	2.2.28	23	1 (-)	מיתוג, פיקוד ובקרה

**תכנון ותחזוקה של מתקני חשמל**

מספר הנושא במאגר	קוד השאלות לפי תוכנית	מספר שאלות פתוחות במאגר	מספר שאלות פתוחות במבחן לפי נושאים	הנושא
א.3	2.2.25.1	5	1	משק החשמל בישראל
ב.3	2.2.25.3	14		תכנון דירות מגורים
ג.3	2.2.25.4	22		תכנון בתי מלאכה
ה.3	2.2.25.6	66	2 (1)	חישוב הפסדי מתח וקביעת חתכים במתקנים וקווי זינה ברשתות לזרם ישר שיפור גורם ההספק במתקנים ביתיים ותעשייתיים
ו.3	2.2.25.7	7		קביעת זרם מרבי מתמיד בכבל
ה.3	2.2.25.6		– (1)	תאורה חשמלית
ד.3	2.2.25.5	15	1	
		213	8	סה"כ

מבנה הקוד :

מספר ראשון משמאל מסמן את סוג המסלול :

1 – חשמלאי מעשי

2 – חשמלאי מוסמך

3 – חשמלאי ראשי

מספר שני מסמן את סוג השאלה :

1 – שאלה סגורה

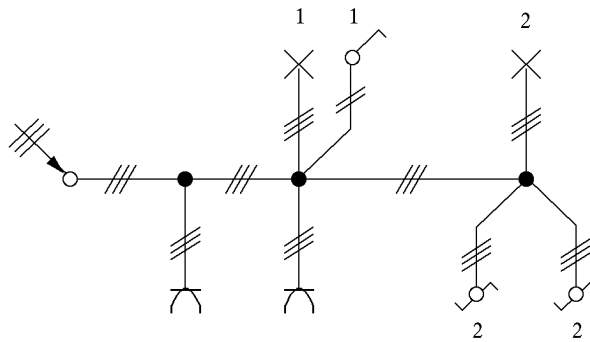
2 – שאלה פתוחה

מספר שלישי מסמן את מספר הנושא לפי תוכנית הלימודים.

## מבחן לדוגמה במתקני חשמל ורשת לחשמלאי מוסמך

### שאלה 1

לפניך תרשים חד-קווי של מתקן חשמלי.



סרטט תוכנית רב-קווית מלאה לפי התרשים.

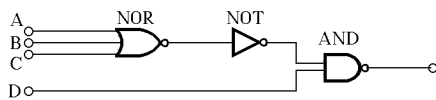
### שאלה 2

תאר את המבנה ואופן הפעולה של המנגנון הפנימי במפסק מגן לזרם דלף (ממסר פחת) חד-מופעי.

### שאלה 3

סרטט והסבר את שיטת ההגנה נגד חישמול בשיטת האיפוס. מה קורה כאשר יש תקלה (קצר בין מופע להארקה) באחד הצרכנים. הסבר במה עדיפה שיטה זו על הארקה הגנה.

### שאלה 4



נתונה פונקציה לוגית הממומשת על-ידי שערים לוגיים.

- א. מהי הפונקציה?
- ב. ממש את הפונקציה על-ידי מעגל סולם.
- ג. ממש את הפונקציה על-ידי מפסקים/לחצנים.
- ד. כתוב תוכנית לבקר לפונקציה שמימשתה בסעיף (ב) (לפי הבקר שאתה מכיר).

### שאלה 5

בבית הארחה יש לכל יחידת דיור שני חדרים ושירותים משותפים לוח הזנה אחד. הנך נדרש לציין, לקבוע ולסרטט תרשים חד קווי בהתאם לטבלאות נתוני העומסים המצורפת.

טבלת עומסים

מס' נקודות	העומסים	סוג המעגל	מס' המעגל
4	75W/230V	מאור, שירותים, מקלחת	1
6	100W/230V	מאור חדרים	2
4	10A/230V (עומס כולל)	בתי תקע חדרים	3
1	1500W/230V	דוד מים	4
1	4A/230V	מזגן	5
1	4A/230V	מזגן	6
			שמור

מקדם ביקוש כללי ללוח ההזנה  $K_C = 0.7$ .

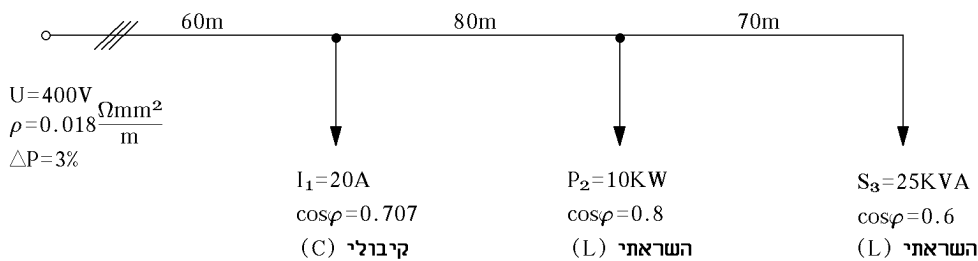
זרם התנעה של כל מזגן  $4 \times I_n$ .

חשב את:

- גודל המפסק החצי-אוטומטי לכל מעגל
- גודל המפסק הראשי
- שטח חתך המוליכים ומספרם בכל מעגל

### שאלה 6

- חשב את שטח החתך האחיד של הרשת המתוארת.
- חשב את מפל המתח ברשת לאחר בחירת שטח חתך מסחרי.



### שאלה 7

רחוב שאורכו 1500 מטר, מואר בנורות של 100W. הנורות מפוזרות לאורך הרחוב במרחק של 50 מטר זו

מזו. הקו הוא חוט חמרון  $\rho = \frac{1}{34} \frac{\Omega mm^2}{m}$  ומוזן בקצה במתח של 237V.

חשב את שטח החתך של המוליכים, אם מפל המתח בקצה הקו הוא 3% (שטח החתך הוא אחיד).

**שאלה 8**

יש לתכנן תאורה לאולם ששטחו  $(10 \times 20)^2$  וגובהו 4 מטר. לצורך כך עליך להשתמש בתאורה לא ישירה של נורות פלואורניות בהספק של 36W כל אחת ונצילות אורית של 85 לומן לואט. עוצמת ההארה הנדרשת על גבי השולחנות היא 200Lux, גובה השולחנות 80 ס"מ, הקירות והתקרה בהירים (צבועים לבן) וכמות האבק מועטה. חשב את מספר גופי התאורה שיש להתקין באולם ואת אופן סידורם.



את הפתרונות למבחן ניתן למצוא ב"פתרונות" לפי הפירוט הזה :

שאלה מספר	פתרונות	מספר השאלה במבחן
6	לנושא 1	1
שאלה לדוגמה	לנושא 2	2
25	לנושא 2	3
13	לנושא 4	4
12	לנושא 3.ב	5
57	לנושא 3.ה	6
65	לנושא 3.ה	7
56	לנושא 3.ד	8



## נספח: תוכניות בחינה לרמת רישוי חשמלאי מוסמך

### המקצוע: תורת החשמל והרשת

1. מטענים, כוחות ושדות חשמליים
2. הפוטנציאל והמתח החשמלי
3. הזרם החשמלי
4. התנגדות ומוליכות תלות בטמפרטורה
5. המעגל החשמלי
6. חוק אוהם
7. חוקי כירכהוף
8. מעגלים טוריים מקביליים ומעורבים
9. הספק חשמלי
10. מדידות חשמליות והשפעתן על הגדלים הנמדדים
11. כא"מ ומקורות מתח
12. שיטות לפתרון מעגלים כגון: העתקה כוכב למשולש וכו'
13. אלקטרוסטטיקה וקיבול
14. מטענים בתנועה, כוחות ושדות מגנטיים
15. היווצרות שדות מגנטיים על ידי זרמים בעלי מסלולים שונים
16. התכונות המגנטיות של החומר
17. כא"מ מושרה
18. השראות הדדית, השראות עצמית ומשרנים
19. מעגלים מגנטיים
20. זרמים ומתחים במעגל RL טורי ומקבילי
21. מעגלי זרם חילופין
22. הספקים במעגלי זרם חילופין
23. מחולל ועומס תלת-מופעיים
24. תיקון גורם ההספק

### המקצוע: מכונות חשמל

#### מכונות לזרם ישר

1. השראת כא"מ – עקרון הפעולה של מחולל לזרם ישר
2. מבנה מכונה לזרם ישר
3. ליפוף הרוטור
4. ליפוף עניבה פשוט
5. ליפוף גלי פשוט
6. חישוב כא"מ מושרה בתלות שיטת הליפוף
7. תגובת העוגן וליפופי קיזוז
8. קומוטציה במכונות לזרם ישר
9. קוטבי ביניים (מפנה)
10. מחוללים (גנרטורים) לזרם ישר
11. מחוללים בעירור נפרד – עירור זר

12. מחוללים בעירור מקבילי
13. מחוללים בעירור טורי
14. מחוללים בעירור מעורב
15. עבודה במקביל של מחוללים לזרם ישר
16. דיאגרמה אנרגטית של מחוללים לזרם ישר
17. מנועים לזרם ישר
18. מיון מנועים לזרם ישר לפי שיטת העירור
19. התנעת מנוע לזרם ישר
20. מנוע בעירור מקבילי
21. מנוע בעירור טורי
22. מנוע בעירור מעורב
23. ויסות המהירות של מנועים לזרם ישר
24. הפסדים ונצילות של מכונות לזרם ישר

### שנאים

1. מבנה ועקרון פעולה
2. השנאי בריקם
3. תרשים שווה ערך ודיאגרמת המחוגים של השנאי בריקם
4. זרם מגנוט של השנאי זרם ריקם
5. נתונים נקובים של שנאים
6. השנאי בעומס
7. השנאי בקצר
8. שינוי המתח של השנאי
9. הפסדים ונצילות של שנאי
10. ניסוי ריקם וניסוי בקצר של השנאי
11. שנאים תלת-מופעיים
12. קבוצות חיבורים
13. פעולת שנאים בחיבור מקבילי
14. שנאי עצמי אוטו-טרנספורמטור

### מכונות לזרם חילופין

1. מכונת השראה (מכונה אסינכרונית) תלת-מופעית
2. מבנה מספר סיבובים ותדירות
3. מנוע אסינכרוני בעבודה בריקם ובעומס
4. תרשים תמורה של המכונה האסינכרונית
5. האופייניים המכניים של המנוע
6. בעיות התנעה של מנועים אסינכרוניים
7. מכונת השראה חד-מופעית
8. מנוע טורי אוניברסלי

### המקצוע: עבודה מעשית ומעבדה במתקני חשמל (ביצוע במתקן חשמלי עד 3x80A)

1. שיטות חיווט ואינסטלציה חשמלית
2. ניסויים ומדידות חשמל
  - מעגלי איתות וסיגנלזציה
3. הרכבת מעגלי תאורה, כולל נורות פלורסצנטיות
4. הרכבת ציוד ביתי/תעשייתי
5. הרכבת לוחות משנה, כולל מפסקי פחת
6. מעגלי פיקוד למנועים: מערכות פיקוד ובקרה מורכבים
  - הפעלה והפסקה
  - הפיכת כיוון סיבוב
  - התנעות (כוכב משולש, שנאי עצמי וכו')
  - חיבורי מנועים לרשת
  - שינוי מהירות סיבוב במנועים מסוגים שונים
  - פיקוד ובקרה לתהליך תעשייתי בעזרת בקר מתוכנת
7. בחירה, בדיקה והתקנת אמצעי הגנה
8. לוגיקה ואיתור תקלות במתקן חשמלי
9. בטיחות ותקנים ישראליים לחשמל

### המקצוע: מתקני חשמל ורשת

1. טכנולוגיה של חומרי חשמל
2. תורת המאור
3. תכנון מתקני מאור
4. צרכני חשמל ביתיים ותעשייתיים
5. הגנות במתקני חשמל ובמעגלי צריכה
6. הארקות במתקני חשמל
7. בטיחות כללית ובטיחות חשמל
8. גורמים לתאונות חשמל ואמצעי הגנה מפני התחשמלות
9. חוק החשמל ותקנים ישראליים לחשמל
10. בעיות שיפור מקדם ההספק
11. חישוב ותכנון רשתות חשמל – רשתות חלוקה
12. תכנון מתקני חשמל לביצוע עד 3x80A