

# התקע המצדיע



ע ל ו ן ל ח ש מ ל א י ם  
בהוצאת חברת החשמל לישראל בע"מ

מרכז החשמל חברת החשמל לישראל : ELECTRICITY CENTRE



מרכז  
החשמל  
(ראו עמ' 7)

יוני 1969

מס' 7

## תוכן העינים

### עמוד

3	דבר המערכת
4	מכתבים למערכת
6	מה חדש בספרות מקצועית
7	מרכז החשמל
8	מקדם ההספק
11	זהירות בהתקנת קבלים
13	השמוש באלומיניום כמוליך חשמלי
19	מכשירי ניתוק המופעלים ביד ומיונס
20	מספק סגן לזרם פחת — התקנה ותפעול
25	פרקים בתורת החשמל
27	לוחות מבודדים
29	תפעול מתקני תאורה פלואורסצנטית
30	עברית כהלכה
32	תאונת חשמל ולקחה
33	חירון בקיאות בתקנות החשמל
34	פתרון החידון הקודם
35	רשימת פתרי החידון הקודם

העורכים האחראים:

פאול שפר

יעקב טראוב

מוכר המערכת:

אורי לייטנר

כתובת המערכת

חברת החשמל לישראל בע"מ, רחוב אלנבי 5,

תל-אביב

תסדיר וכיבוד:

דודי אבנר

הדפסה:

דפוס לבנה בע"מ, תל-אביב



# דבר המערכת

הדיאגרמה החשמתית בשער האחורי של חוברת זו מבטאת את הגידול הכביר של תצרוכת החשמל בארץ.

בעשור הראשון למדינת ישראל גדלה צריכת החשמל בשיעור ממוצע של 19% לשנה ובעשור השני במוצע של כ-13%. שיעור גידול זה מתאים לתהליך הקיים במדינות מתפתחות לעומת רמה של כ-7% במדינות המתועשות באירופה וצפון אמריקה.

קצב הגידול, המהיר יחסית, של צריכת החשמל בארץ נובע במידה מסוימת מהעליה הגדולה לישראל בעשור הראשון לקיומה, אך בעיקר כתוצאה מההתפתחות הכלכלית המואצת.

תופעה זו מתבררת מבדיקת צריכת החשמל הממוצעת לנפש. בשנת 1948 היתה ברמה של 282 קוט"ש, ב-1957/8 — 603 קוט"ש ובשנת 1967/8 עלתה לרמה של 1503 קוט"ש לנפש. גידול זה מתבטא בשיעור שנתי ממוצע של 9.1% בעשור הראשון ו-9.6% בעשור השני לקיום המדינה. גם גידול זה נחשב לגבוה יחסית לזה הקיים בארצות המפותחות ונובע הן מפיתוח התעשייה והן מהעליה ברמת החיים המתבטאת בשימוש אינסטנטיבי יותר במכשירי החשמל הביתיים והכנסה לשימוש של מכשירים חדשים.

אכן, בעשור האחרון גדלה הצריכה הממוצעת לצרכן ביתי בשיעור הקרוב ל-100% (כ-7% לשנה) וניתן להניח כי ההתפתחות בשנים הבאות תתבטא בגבולות של 6% — 5% לשנה.

נשאלת השאלה, האם הבתים והדירות הנבנים כיום מתוכננים ומצוידים במתקן חשמל אשר יאפשר לבעליהם, בעוד עשר או עשרים שנה, להנות מהישג הטכניקה ומרמת החיים שתהיה מקובלת אז מבלי שיאלצו להשקיע סכומי כסף גדולים להכשרת מתקן החשמל לתנאים שישררו.

ידוע לנו שכיום מבנים את המתקנים שתוכננו והותקנו לפני עשר ועשרים שנה כי צרים וחלשים הם מלשרת את בעליהם כהלכה. הנחזור על אותן שגיאות גם לגבי העתיד?

בשאלה זו של רמה נאותה למתקן החשמלי הביתי עוסקים בהרבה ארצות. לאחרונה הופיע באוסטרליה תקן על ה"מתקן החשמלי הנאות" המוקדש כולו למתקן במבנים ביתיים.

בין ההמלצות המעניינות המופיעות בתקן זה: לדאוג לאפשרות צריכה של 55 אמפר בכל דירה אך בכל מקרה יתוכנן לוח הצרכן לפחות ל-35 אמפר. להכין בדירה ממוצעת (2 חדרי שינה וסלון) 19 בתי תקע ועוד 4 לחדר מכבסה ומוסך, במידה ואלה קיימים. מומלץ להסתייע ברשימה הכוללת כ-60 מכשירי החשמל השונים המקובלים בשימוש ביתי על מנת שחבורם יהיה אפשרי בצורה נוחה ובטוחה. רצוי להתקין מראש צנרת מובילים שתאפשר הגדלת חתך המוליכים בעתיד, ועוד ועוד. ההוראות הקיימות בארץ, דהיינו התקנות על פי חוק החשמל, והתקן הישראלי מס' 108 דנים בעיקרם בבעיות בטיחות המתקן וטיבו אך כמעט ולא בהתאמתו של המתקן הביתי לרמת החיים המקובלת כיום, וודאי לא לזו שתתפתח בשנים הבאות. יש איפוא הכרח שתתגבשנה הדעות לגבי המתקן הביתי הנאות מבחינת גודל העומס שיידרש לספק, חתך המוליכים הרצוי, מספר נקודות החבור הקבועות, מספר המעגלים, אופן ההבטחה, מספר מקום נקודות תאורה וכו'.

המערכת תשמח להעמיד את העלון לרשות מתכנני המתקנים כדי שיוכלו לבטא את דעותיהם בנושא זה, ויתרמו בכך לגבוש נוהגים בתכנון ובהתקנת מתקנים ביתיים אשר ישרתו נאמנה את הצבור גם בשנים הבאות.

# מפתחים / מערכת

האם הציוד המחלף להעברת האספקה ל-  
מתקן מרשת חברת החשמל לגנרטור  
צריך להיות ארבע קוטבי או תלת קוטי  
בי?

על איזה סדור הארקה אתם ממליצים  
בחדר הגנרטור?

הורנקרוג עוזי ואשור-לציון

מטעמי בטוחות (אפשרות של הופעת מתחים במוי  
ליך האפס) קיימת דרישה עקרונית של חברת הי  
חשמל לפיה חייב המפסק המחלף להיות ארבע קו  
טבי. באספקה תלת-פזית ודו-קוטבי באספקה חד  
פזית וזאת בנוסף לסדורים אחרים שגם מטרתם  
למנוע אפשרות של מתן מתח על ידי הגנרטור לי  
רשת האספקה.

כאשר ישנם קשיים אוביקטיביים בהשגת מפסק מח  
לף ארבע קוטבי (או דו-קוטבי בהזנה חד-פזית) ו/או  
הארקות מעגלי הגנרטור והטרנספורמטור הן כא  
לה שקיים למעשה ניסור בין האפסים של 2 המערי  
כות דרך מערכת ההארקות, תשקל על ידי חברת  
החשמל האפשרות להתיר שמוש במפסק מחלף בז  
לא נכלל ניתוק האפס. בכל מקרה כזה יש לפנות  
למשרד המחוז בבקשה לאשור המתקן, והמשרד  
יעמיד את התנאים לפי המקרה.

ברצוני לשאול מה מידת התנגדות הבידוד  
הנדרשת בין מוליכי הפזות והאפס?

מ. שטרן ומתיין

דרישת חברת החשמל לגבי מוליכים המשחלים בי  
ענורות במתקני מתח נמוך היא שהתנגדות הבי  
דוד בין מוליכים כלשהם תהיה לפחות 1.5 מנהי  
אווהם כשהמדידה מבוצעת במכשיר מדודה שמתחו  
500 וולט.

ועדת ההוראות לתקנות החשמל שליד משרד הפי  
תוח המכינה את התקנות בזכר התקנות מוליכים  
דנה בבעיה זו והצדיקות עומדות להופיע עם פרי  
סום תקנות אלה.

בכל המכונות המגיעות מגרמניה יש חבור  
הארקה ב-M.P.T (נקודת הכוכב, דהיינו –  
הנקודה שיש לחבר למוליך האפס).

מדוע אצלנו אין חברת החשמל מתירה  
חבור נקודת הכוכב של מכונות חשמל ל-  
אדמה?

אינג' יוסף אמיר קבוץ הזרע

נסתמך בתשובתנו על תקנות הארקות.  
בתקנה 56 נאמר:

"(א) לא ישתמש אדם בהגנה על ידי אימוס אלא  
על פי היתר מאת המנהל ובהתאם לתנאי-  
ההיתר.

(ב) מתן היתר או סרוב לתתו וכן קביעת תני  
איום לתמינתו מסורים לטיקול דעתו של הי  
מנהל, ובלבד שההיתר לגבי הגנה על ידי אי  
מוס לא ינתן אלא למיתקנים במתח נמוך".

בתקנה 57 נאמר:

"לא ישתמש אדם בהגנה על ידי האימוס ו'  
בהגנה על ידי הארקות באותה שיטת אספי  
קה".

סאחר ורשתות חברת החשמל סוגנות כשיטת הי  
הארקה ברור שקיים איסור מוחלט על אימוס  
(Nullung) כגון חבור נקודת הכוכב של מנוע תלת  
פזי למסת האדמה שבה משתמשים גם להארקת  
השיטה וגם להארקת טפי ומכשירי החשמל. כלומר  
– הארקות הגנה.

בגרמניה, לעומת ישראל וארצות אחרות, נהוגה שיי  
טת האימוס ולכן עלולים להיות מקרים שעל סבי  
שיר גרמני מובא מצוינת סכימת הבורים המתאיי  
מה לשיטת האימוס, אך לפי השיטה הנהוגה בארץ  
והמחייבת את צרכני החשמל – במידה ויש לחבר  
נקודת כוכב, מותר לחברה רק למוליך האפס של  
הרשת.

ההארקה חייבת להיות בעלת התנגדות ספסיק נמו  
כה כך שקצר בין פזה לגוף יגרום להפסקת המעגל  
על ידי שריפת הנתין או פתיחת מפסק הזרם החני  
אוטומטי המשמש להגנת המעגל.

קראתי בענין את המאמר „זהירות נתי כים“ בחוברת מס. 5 ומסכים שלהגנת ה מעגל והצרכן צודקת קביעת הסכום של בעל המאמר, שברוב המקרים עדיפים מפסקים אוטומטיים. אך בהקשר זה מת עוררת סכנה עם הנהגתם של ארונות פקוד בהם יש לכל מעגל מפסק אוטומטי ללא נתיך. למפסק האוטומטי יש לחצן או ידית תפעול זעירה על פני הלוח ואלה אינם ניתנים לנעילה במנועול במצב מופסק כפי שזה אפשרי במנתקים תלת פזים גדו לים אשר בהם אפשר לשלוף את הנתיכים. החשמלאי לא יוכל בדרך כלל לנתק את כל האספקה כי מאותו לוח פקוד נזונים מעגלים אחרים החייבים להמשיך לפעול. מאידך איננו יכול לעבוד בלב שקט על מע גל מנותק כשכל הנתוק נעשה דרך מתג זעיר על גבי הלוח, שמשוה עשוי לחברו מחדש כשיגלה שהזרם נפסק תוך התעל מות משלט הזהירות: „לא לחבר — עו בדים על הקו“. השלט איננו תחליף לני תוק טכני ממשי. לחברה אחת יש סדור של לחצנים המאפשר לשלוף מתוך הלוח את לחצן ה-„OFF“ ואז אי אפשר לסגור את מעגל הפקוד אמילו תוך לחיצה על לחצן ה-„ON“ אבל היצרנים הישראליים לא משתמשים במוצר זה בזמן הרכבת לוחות פקוד.

איזה פתרונות מעשיים יש למערכת או לקוראים להציע?

#### יצחק ק. חיפה

רפת הבטיחות של המתקן על מכשיריו תלויה ב מידת הבטיחות הנדרשת במקום הנדון.

לכן לסדור המוצע של נעילה מוזיטיבית של המעגל יש השלכה חיובית על הבטיחות במקום.

מאידך אין הפתרון המתואר במכתב הוא היחיד, ישנם סדורי הגנה אחרים כגון שלפה, נעילה וכו'.

כידוע, בבתיים ישנים רבים קיים ריכוז מו נים למטה בבנין, על לוח שיש, ואל הצר כנים עולים בדרך כלל 2 מעגלים בלבד ; אחד למאור ואחד למכשירים, או אחד ל מאור ומכשירים ואחד לזרם לילה. עתה אם מישהו מבתיים אלו מעונין בתנורים אוגרים ובאם נמצא הוא כאחד מהמקו מות הגבוהים קיימת אצלו בעיה רצינית. הוא מעונין גם בזרם לילה המוזל וגם תעריף המוזל לתנורים האוגרים.

אם למשל ברצונו 2 תנורים ויש לו כמונן גם דוד לחמום מים חמים אשר שניהם ילכו דרך שעון מיתוג של זרם לילה קיי מת הבעיה של שני התעריפים השונים זה מזה.

לפי דעתי אפשר לפתור בעיה זו בצורה הבאה :

מספקים לצרכן שעון (מונה) תלת-פזי ו מחברים אליו את 2 התנורים האוגרים ואת הדוד. אל אותה פזה שאליה מחובר הדוד יחובר בטור למונה התלת-פזי, מונה חד-פזי אשר יקרא את חשמוש של הדוד, וסכום זה יחשבו כרגיל לפי תעריף הגג או ז״ל רגיל ויורידו סכום זה מהמונה ה תלת-פזי.

#### י. טנוולד תל-אביב

ברור שהרצוי ביותר שיהיו מונים נפרדים, האחד לחמום מים והאחד לתנורים האוגרים כדי שהצרכן יוכל להנות הן מהתעריף המזול לחמום אוגר והן מתעריף „גג“ לחמום מים. אולם זאת בתנאי שיש מקום מתאים להתקנת המונים הדרושים בלוח ה מונים המרכזי (לוח השיש במקרה הנדון).

הפתרון המוצע של התקנת מונה ראשי תלת-פזי בלוח המרכזי ומונה משנה ברירת הצרכן אינו רצוי הן מחמת ההוצאות בהן כרוך בצעו ההתקנה והן מחמת הקשיים המופיעים לאחר מכן בקריאת ה מונה הנמצא ברחוק מיתר מוני הבית ובהחזקתו וכן בעריכת חשבונות החשמל.

מאידך במקרה שקיים קושי, מחמת חוסר מקום מוי, להתקין מונה מיוחד לחמום אוגר בנוסף ל מונה הרגיל למאור/מכשירים ולמונה לחמום מים, קיימת אפשרות למדידה משותפת באמצעות מונה אחד (חד פזי או תלת פזי — בהתאם לעומס) לצ ריכת התנורים האוגרים יחד עם צריכת חמום ה מים תוך מתן אפשרות לצרכן להנות מתעריף מו זל ל-2 סוגי הצריכה גם יחד.

התעריף במקרה זה יהיה תעריף ל לחמום דירות מנורים ולחימום מים כשעות מוגבלות. תעריף זה

---

אינג. א.מ. רקובר, מנהל עיני החשמל, במשרד הפתוח מודיע כי בתקנות החשמל (הארקות או הגנות אחרות) תשכ״ב — 1962 נפלה טעות דפוס בתקנת משנה (25)(2) — חתך מס הנחושת צריך להיות 50 ממ״ר (במקום 30 ממ״ר שהודפס ב טעות).

---

מוליכים מבודדים טיפוס „ט“ ; מוליכים מבודדים טיפוס „טבט“ ; מוליכים מבודדים טיפוס „פטט“ ; מוליכים מבודדים טיפוס מ"ט למתח נמוך ; כבל הצתה ל- מנעוי שריפה פנימית.

צ. דוד  
„סלדור“  
קבוץ עין דוד

הערכת המערכת : סלבד המכתב הנ"ל נתבקשו ע"י מכון התקנים הישראלי לחוסיף לרשימת המוצרים הנושאים תריתקן ; אלקטרוטרם, רח' הרצל 92, חיפה, מלחמים השי- מליים ; קרויסטל, רח' חלוון 12, רמתני, מכוונת נביסה ; ת.צ.ב, רח' הארון 10, חולון, צנורות מחומר פלסטי סי למתקני חשמל ;

נושאת הן על העומס בקילווסים והן על הצריכה בקילווס שעות ומרסיו הם כדלקמן : 80 קילווס שעה הראשונים בחדש, לכל קילווס של העומס המותקן — 5.0 אנורות הקוטי"ש ; 80 קילו- לוס שעה נוספים באותו חודש לכל קילווס של ה- עומס המותקן — 3.3 אנורות הקוטי"ש ; כל היתר באותו חודש 2.4 אנורות הקוטי"ש. כמובן שבמקרה כזה הצרכן אינו יכול להנות מ- תעריף „גז" לחמם סים, אגב, פרטים מלאים על תעריפי החשמל לסוגיהם ניתן לקבל בכל משרדי חברת החשמל.

הננו פונים אליכם בענין רשימת בעלי התותקן שהתפרסמה בחוברת מס. 6. פרסומת שמפעלנו מיצר רק חוטי „ט“. הננו להביא לתשומת לבכם שאנו קבלנו את תריתקן עבור המוצרים הבאים :

המדור ללימודי חוץ של הטכניון בחיפה בשתוף האנף לחנוך מקצועי במשרד העבודה ומערכת ה„תקע המצדיע“ — חברת החשמל לישראל בע"מ קיימו לאחרונה סדרת הרצאות לחשמלאים.

הנושאים שנלמדו	המרצים	מס. השתתפים
1. יסודות האלקטרוניקה התעשייתית המודרנית —	אינג' ו. אלפרט	70
2. אוטומציה מודרנית בתעשייה —	מר י. טחם	90
3. תכנון רציונלי והסכני של מתקנים חשמליים —	אינג' ח. זוננשיין	42
4. תכנון ובנין רשתות מתח נמוך —	אינג' א. אייזנר	35
5. תכנון ובצוע מתקני מאור פנים ותוץ —	אינג' א. נאמן	35

מעודדים מהצלחת סדרת ההרצאות, החלטנו לקיים סדרה נוספת ב- מועד קרוב.

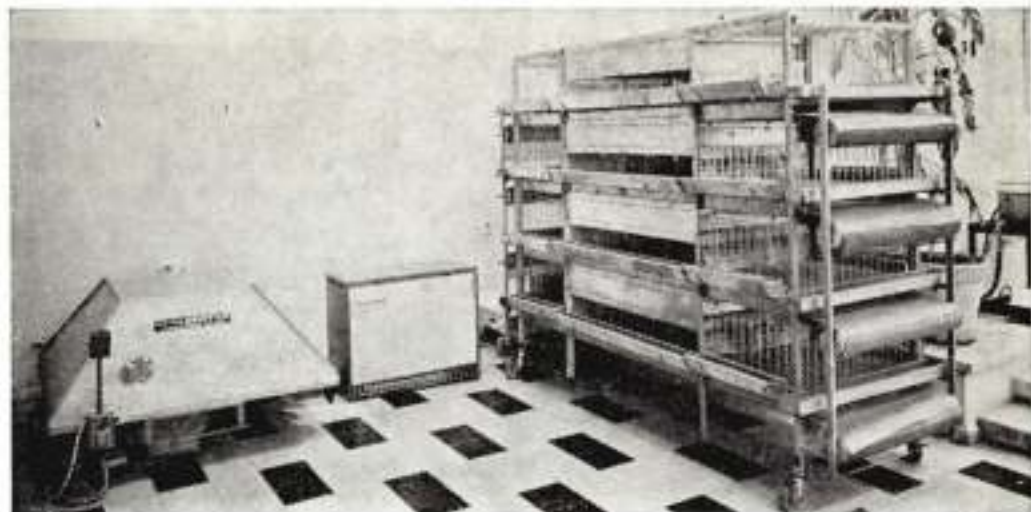
## מה חדש בספרות מקצועית

### ידע מס. 5

החוברת, שיצאה לאור לאחרונה, היא החמישית בסידרה. מטרתה להביא לאיש המקצוע קובץ מאמרים טכניים על נושאים מגוונים וחדשים, מאת מחברים בעלי ניסיון וידע רב, הן מן הטכניון מט"ל והן מן התעשייה והחרושת. החוברת כוללת שני חלקים : הראשון דן בנושאים בעלי אופי כללי יותר, החלק השני — מטרתו להביא לידיעת איש המקצוע את דבר התעשייה, על החידושים בתוכה והשיטות הטכנולוגיות, בהן היא משתמשת.

### פרסומי הדרכה

בהוצאת פרסומי הדרכה של חיל האוויר יצאו 2 ספרים ;  
(א) זרם ישר (ב) זרם חילופין  
החוברות כוללות חומר רב ומאפשרות גם למוד עצמי.



חברת החשמל מקיימת ב„מרכז החשמל“ בתל-אביב, רח' אלנבי 5, תערוכה קבועה של ציוד חשמלי למטבחים ציבוריים, מטבחים ביתיים, תנורים אגרי חום, דגם מיתקן להסקת דירות ומשרדים בשיטת חימום מתחת לריצוף, דוודים מעולים לחימום מים בדירות, דוד מרכזי לחימום מים בחשמל בבנין רב-דירות, אומונוגרים וסוללוגרים לאימון אפרוחים בחשמל ומכשירים אחרים.

במרכז החשמל אפשר לקבל ייעוץ והדרכה בקשר להתקנת ציוד חשמלי חדש ויעיל לדירות, מוסדות, בתי מלון, בתי ילדים בקיבוצים וכדו'.

המרכז פתוח כל יום בשעות : 08.00—14.00.

(בימי שישי וערבי חג : 08.00—12.00).

בימים שני וחמישי בשבוע גם אחה"צ בשעות : 14.30—16.30.

ציבור החשמלאים מוזמן לבקר ב„מרכז החשמל“ ולנצל את שרות הייעוץ המקצועי שעומד לרשותו.



# מקדם ההספק

איננ' א. פלד

מבוא

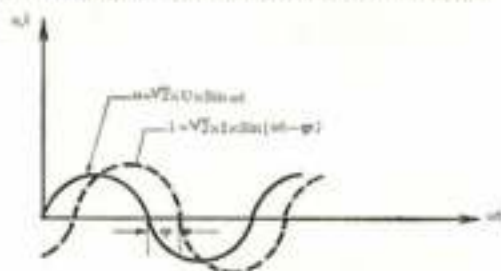
כידוע נוצר ההספק החשמלי על ידי פעולה משולבת של מתח וזרם. במתקן המוון בזרם ישיר שווה ההספק למכפלתם של שני הגדלים. לעומת זאת במתקן המוון בזרם חילופין לא קיימת חד־זמניות בהופעת הזרם והמתח. במלים אחרות קיים הפרש מופע (פזה) בין הזרם והמתח ולכן אין ההספק שווה למכפלתם גרידא. במתקני הצריכה (מכשירים, מנועים וכו') תלוי הפרש המופע באופיים.

במתקנים בעלי אופי אוהמי כמו נורות ליבון או גופי חמום (של מחממי מים למשל), כמעט שלא קיים הפרש מופע בין הזרם והמתח, הם הנמצאים באותה פזה. במתקנים בעלי אופי השראתי כמו מנועים חשמליים מפגר הזרם אחרי המתח. במתקנים בעלי אופי קבולי כמו קבלים או מנועים סינכרוניים בתנאי עבודה מסוֹי יימים מקדים הזרם את המתח.

את הפרש הזמן בין הופעת המתח והזרם או במלים אחרות את הפרש הפזה, מקובל לבטא בשיטה טריגונומטרית באמצעות קוסינוס הזווית שבין וקטורי המתח והזרם המתוארים בדיאגרמה וקטורית.

## מהות מקדם ההספק

במעגל חשמלי המוון מסקור מתח חילופין שערכו הרמזי הוא  $u = \sqrt{2} \times U \times \sin \omega t$ , זרם זרם שערכו הרמזי הוא  $i = \sqrt{2} \times I \times \sin(\omega t - \varphi)$ . ההספק הרמזי מחושב לפי הנוסחה  $p = u \times i$ , לכן  $p = \sqrt{2} \times U \times \sin \omega t \times \sqrt{2} \times I \times \sin(\omega t - \varphi)$ , תאור רמזי של השתנות הערכים הרמזיים של המתח, הזרם וההספק נתון בדיאגרמה שבציור מס' 1. כפי שנראה הן מתוך הנוסחה והן מתוך הציור, משתנה ההספק הרמזי עם הזמן, האות  $p$  מסמנת את התדירות המעגלית ובינה

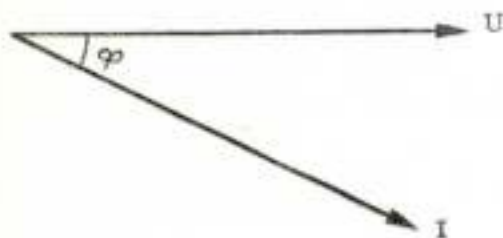


ציור מס' 1

לכין התדירות  $f$  קיים הקשר  $\omega = 2\pi f$  (ברשת הארצית  $f = 50\text{Hz}$ ).

$\varphi$  היא זווית, המתרגמת את הפרש הפזה מיחידת זמן ליחידת זווית.

בדיאגרמה הקטורית שבציור מס' 2 מתוארים וק-



ציור מס' 2

טורי זרם והמתח ומתוכה רואים את הסקרה בו מקדים המתח את הזרם.

ככל שהפרש הפזה גדול יותר הזווית  $\varphi$  תהיה גדולה יותר ו-  $\cos \varphi$  יהיה קטן יותר.

הסקרים הקיצוניים הם:

א. כאשר  $\varphi = 0^\circ$ ,  $\cos \varphi = 1$ , הזרם והמתח באותה פזה.

ב. כאשר  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\cos \varphi = 0$ , בין הזרם והמתח הפרש פזה בן  $90^\circ$  שתרומתו הזמני הוא  $1/4$  מחזור (0.005 שניות).

הוסכם להגדיר את ההספק הפעיל (האקטיבי) כמסור צע של ההספק הרמזי במשך מחזור אחד.

השוב ממוצע זה נותן את התוצאה

$$(1) P = U \times I \times \cos \varphi$$

$P$  — ההספק הפעיל

$U$  — המתח האפקטיבי

$I$  — הזרם האפקטיבי

$\varphi$  — הזווית בין וקטור המתח ווקטור הזרם.



הביטוי  $\cos \varphi$  (קוסינוסי) הנקרא מקדם ההספק, הוא גודל חסר מימדים שיכול לקבל כל ערך בין 0 ל-1.

כאשר מקדם ההספק שווה ל-1 שווה ההספק למבי פלט הערכים האפקטיביים של המתח והזרם – ההספק זה נקרא הספק מדומה ומסומן באות  $N$ .

$$(2) N = U \times I$$

ההספק המדומה הוא ההספק המכסימלי שיכול להתקבל מזרם ומתח נתונים.

את מכפלת המתח והזרם בסינוס הזווית שבניהם מנדירים כהספק עיור (ריאקטיבי) המסומן באות  $Q$ . ההספק העיור הוא ההספק „בלתי מועיל“ כיוון שאיננו מסוגל לבצע עבודה למרות שהוא צורך זרם. זהו למעשה הזרם הדרוש למנווט מתקנים בעלי מעולים מגנטיים.

$$(3) Q = U \times I \times \sin \varphi$$

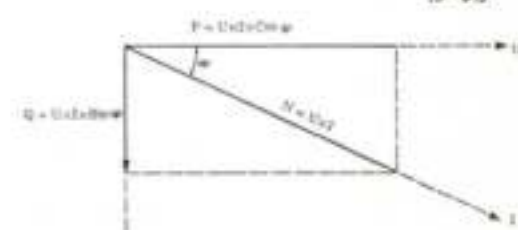
מתוך הנוסחאות 1 ו-2 אפשר להגיע לנוסחה 4.

$$(4) \cos \varphi = \frac{P}{N}$$

נוסחה 4 מאפשרת להגדיר את מקדם ההספק כחס שבין ההספק הפעיל וההספק המדומה. הקשר בין שלושת ההספקים, באותה מערכת, מתקבל מתוך הנוסחאות הנ"ל ומכוסא בנוסחה 5

$$(5) N^2 = P^2 + Q^2$$

באופן גראפי נראה את הקשר בדיאגרמה שבצויר מסי' 3.



צויר מסי' 3

היחידות הטקובלות לשלושת ההספקים הן: לחספק פעיל וט (W), לחספק מדומה וולט אמפר (VA), לחספק עיור וולט אמפר ריאקטיבי (VAR).

### מקדם הספק גרוע והשפעתו

מתוך הנוסחה מסי' 1 נראה שבמתח נתון המוכתב על ידי מערכת האספקה נמצא הזרם, הנדרש למתקן על מנת לספק הספק מסוים, ביחס הפוך למקדם ההספק. ככל שמקדם ההספק נמוך יותר ידרש זרם גבוה יותר.

עלית עצמת הזרם בקוי האספקה של הצרכנים גוררת בעקבותיה שורה של תוצאות בלתי נמנעות.

א. צורך בהגדלת יכולת מערכת היצירה – הכרח לבנות תחנות כח נוספות או עבודה בקרבת גבול היכולת הקיימת.

ב. צורך בהגדלת מערכת ההעברה והחלוקה (קוים ותחנות טרנספורמציה)

ג. מפלי מתח גבוהים בקוים השונים (ביחס ישר לזרם).

ד. הפסדי הספק מגדלים (ביחס ישר לרובע הזרם).

ה. קשיים ביוצוב המתח (בגלל מפלי המתח הנודר-ליים).

לאור כל אלה קובעים ספקי האנרגיה בעולם סייגים לגבי גודל מקדם ההספק המינימלי שחייב להסטר במתקני הצריכה השונים.

קיום מקדם הספק גרוע מאלץ את חברות האספקה לדאוג מצידן להתקנת אמצעים לשפור בתחנות היצירה והחלוקה. יחד עם זאת מחייבים את הצרכי נים שמקדם ההספק במתקניהם גרוע, בתשלומים נוספים המהווים % מסויים מהתשלום הרגיל. ככל שמקדם ההספק נמוך יותר התשלום הנוסף גבוה יותר.

בטבלה הבאה מובא % התוספת למספר מקרים:

$\cos \varphi$	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
התוספת %	0	3.5	7	10.5	20	25	45

### מידות מקדם ההספק

לשם מדידת מקדם ההספק משתמשים במכשיר הנקרא מד טרסהספק ( $\cos \varphi$  מטר). מכשיר זה מותקן במקומות בהם דרוש מעקב רצוף אחר שינויי מקדם ההספק (לדוגמא, בתחנות כח).

במקומות בהם מסתפקים במדידה תקופתית נעשה הדבר בצורה עקיפה באמצעות וולטמטר אמפרמטר ווטמטר, ואז מחשבים את מקדם ההספק לפי קרי-אות המכשירים בהתאם לטסחאות הבאות:

$$\text{במעגל חד פז} \quad \cos \varphi = \frac{P}{U \times I}$$

$$\text{במערכת תלת-פזית} \quad \cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times I} \quad (U - \text{מתח שלוג})$$

כמוכן שבמקום וטמטר אפשר להשתמש במונה רגיל לאנרגיה אקטיבית ובשען סטופר. במתקנים גדולים בהם מותקן גם מונה ריאקטיבי אפשר להתבסס על קריאות המונים, ואז

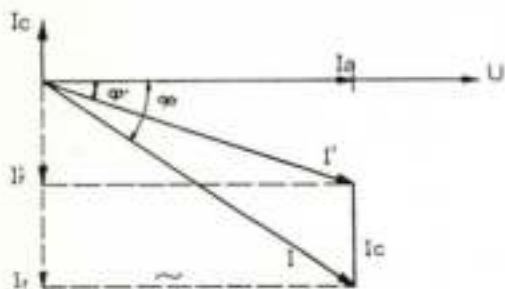
$$\cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}}$$

$W_a$  – קריאת המונה האקטיבי

$W_r$  – קריאת המונה הריאקטיבי

כיוון שהיא שטויה בתחום גדול של ההספקים, הזרם בקבלים מקדים את המתח ב-90° וזו התכונה המאפשרת את שטור מקדם ההספק.

בציר מס' 4 מתואר מקור זרם חילופין בעל מתח  $u$  והספק לצרכן אינדוקטיבי (בעל אינדוקטיביות  $L$  והתנגדות  $R$ ) זרם  $I$  המפגז אחרי המתח בזווית  $\varphi$ . ככל שאינדוקטיביות הצרכן גדלה ביחס להתנגב, דוה תגדל הזווית ותתקרב ל-90° (או מקדם ההספק ישווה ל-0). מתברר במקביל לצרכן קבל שקבולו  $C$ , הצורך במתח  $U$  זרם קבולי  $I_c$ .



ציר מס' 5

בציר מס' 5 מתוארת דיאגרמה הוקטורית של הזרמים והמתחים במעגל שתואר לעיל. מתוך הדיאג'רמה רואים שזרם המקור  $I'$  קטן מזרם הצרכן  $I$  והזווית  $\varphi'$  בין זרם המקור ומתח המקור  $U$  קטנה מהזווית  $\varphi$  שבין זרם הצרכן ואותו מתח. מובן ששינוי הזווית, דהיינו — הקטנתה מתבטא בהגדלת מקדם ההספק במעגל.

כדאי לעיין שבעזרת חבור קבל בצורת שתוארה לעיל, לא משתנים הזרם ומקדם ההספק של הצרכן, אלא שחלק מהזרם העוור של הצרכן מסופק על ידי הקבל וכתוצאה מכך נדרש מהמקור זרם עוור קטן יותר  $I' = I - I_c$  כסובן שהזרם הפעיל  $I_a$  נשאר קבוע ללא תלות בקבל.

באופן מעשי אין הקבל צורך הספק פעיל וההפסדים שלו עקב התנגדותו מניעים לכל היתר ל-0.5% מהספקו הנקוב.

יתרונות אחרים של השמוש בקבלים לשטור מקדם ההספק: משקל קטן, העדר חלקים נעים, משטות בהתקנה, הפעלה ובאחזקה.

במתקן בו יש הרבה יחידות בהן דרוש שטור מקדם ההספק, אפשר לחבר את הקבלים במספר צורות.

1. קבל נפרד ליד כל יחידה
2. קבלים מרוכזים לקבוצת יחידות
3. מערכת קבלים בלוח הראשי של המתקן

השיטה האחרונה מאפשרת שטור מקדם ההספק רק ברשת החיצונית, ואילו 2 השיטות הראשונות

יש להדגיש שגורם ההספק הוא ערך רגעי והוא מוגדר באופן חד משמעי רק עבור עומס חד פזי או תלת פזי מאוזן.

השיטות המתבססות על קריאות מונים מאפשרות רק קביעת גורם הספק ממוצע לתקופה שלגביה נלקחו הקריאות.

### שטור מקדם ההספק

נביא להלן בקיום כללים מספר שיטות וזרכים לשטור מקדם ההספק:

א. שמוש בכון ורציונלי של המתקן החשמלי על חלקיו השונים.

המנועות משמש במנועים מעל לגודל הנדרש (over sized) כידוע ההספק העוור הנצרך על ידי מנוע השראה כמעט ואינו תלוי בעומס. לכן יהיה מקדם ההספק ירוד בעומס נמוך ונבנה בהעמסה הנד' מינימלית. מסיבה זו (בנוסף לסיבות אחרות) רצוי, כאמור, שמנוע השראה יעבוד תמיד בעומס נומינלי ויעבודתו בריקם אינה רצויה מפני שאז הוא צורך כמעט רק הספק עוור.

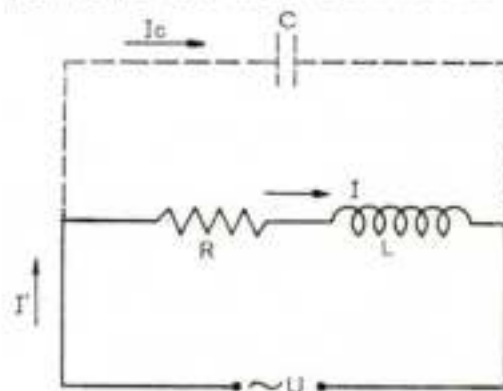
למנועי השראה אשר עובדים בהעמסה משתנית נמצא כידוע הפתרון של ההתנעה במספק כוכב-שטור לש. מספק כזה יכול גם להחזיר את המנוע לחבור כוכב ובכך מוקטן ההספק המנוע פי 3 והוא יעבוד קרוב להעמסתו הנמוכה דבר שיטפר גם מקדם ההסי'  $\cos \varphi$ .

המעבר מכוכב לשולש ולהיפך יכול להתבצע גם באמצעות מספקים אוטומטיים אשר נוררים את סוג החבור (כוכב או שולש) לפי הזרם במנוע. שיטה זו כדאית במנועים המועמסים רק ב-40% — 50% ומותנעים בעזרת מספק כוכב משולש.

דוגמא אחרת — רצוי להמנע מעבודת ריקם של טרנספורמטורים ובמיוחד יש להקפיד על כך בטרנסי-פורמטור רתוך.

### ב. שטור בעזרת קבלים (קונדנסטורים)

זו השיטה המקובלת ביותר לשטור מקדם ההספק



ציר מס' 4

מספרות את מקדם ההספק גם בחלקי המתקן הפנימיים.

הקבלים המיוצרים לשמור מקדם ההספק, לא נתנים לויסות רצוף ואמטר לשנות את ערך הזרם העוור המיוצר על ידי על ידיו שינוי מספר הקבלים המחובר ברים.

### ג. שמור בעזרת מנועים סינכרוניים

מנוע סינכרוני מסוגל לשמר את גורם ההספק הודות לתכונתו המאפשרת לו לעבוד בזרמים המפגרים אחרי המתח או בזרמים המקדמים את המתח. הדבר נקבע על ידי ערך זרם העוור. תדעורו גורם לזרם מפגר ועלעורו גורם לזרם מקדים. מנוע סינכרוני העובד בריקם עם עלעורו נקרא קבל סינכרוני או מקזו (קומפנסטור) סינכרוני היות והוא ממלא תפקיד דומה לזה של הקבל בשמור מקדם ההספק, בזאת שהוא עורך זרם קבולי המקדים את המתח ב-90°. באופן רגיל עובד מנוע סינכרוני המועמס בעומס

מיכני מלא, במקדם ההספק בין 0.8 ל-1. בריקם מסוגל המנוע הסינכרוני לעבוד עם מקדם ההספק השווה ל-1 (במקרה של עלעורו) ואז הוא משמר את מקדם ההספק של הרשת, מבלי להגדיל כמעט את העומס הפעיל.

קבלים סינכרוניים נמצאים בשמוש ברשתות מתח עליון ותפקידם שם להקטין את העמסת הרשתות בזרמים אינדוקטיביים, הם גורמים להקטנת ההפסי דים ולשמור נצילות הנגרטורים הסינכרוניים ב' תחנות הכח.

בקוי מתח גבוה ארוכים ישנם קשיים בייצוב המתח בסוף הקוים, הקשיים נובעים ממפלי מתח גדולים הנגרמים בחלקם על ידי הזרמים האינדוקטיביים של הצרכנים. בעזרת מנועים סינכרוניים אמטר לייצב את המתח באופן אוטומטי זרם העוור שלהם מווסת בהתאם לעומסים — עומס גדול עלעורו, עומס נמוך תדעורו.

## זהירות בהתקנת קבלים

### אינג' ו. זיס

הנני מביא להלן לידיעת החשמלאים מקרה מענין אשר רק במקרה לא הסתיים באסון. באחד מהמפעלים לעבוד גומי דרשה חברת החשמל, ובצדק, להתקין קבלים לשמור מקדם ההספק של מנוע אסינכרוני עבור גלילי עבוד גומי. נתוני המנוע היו: 50 כ"ס, 750 סל"ד, 400 וולט. גלילים אלה מופעלים בחלק ניכר מזמן העבודה ריקם או בעומס חלקי, אשר גרם להורדת מקדם ההספק.

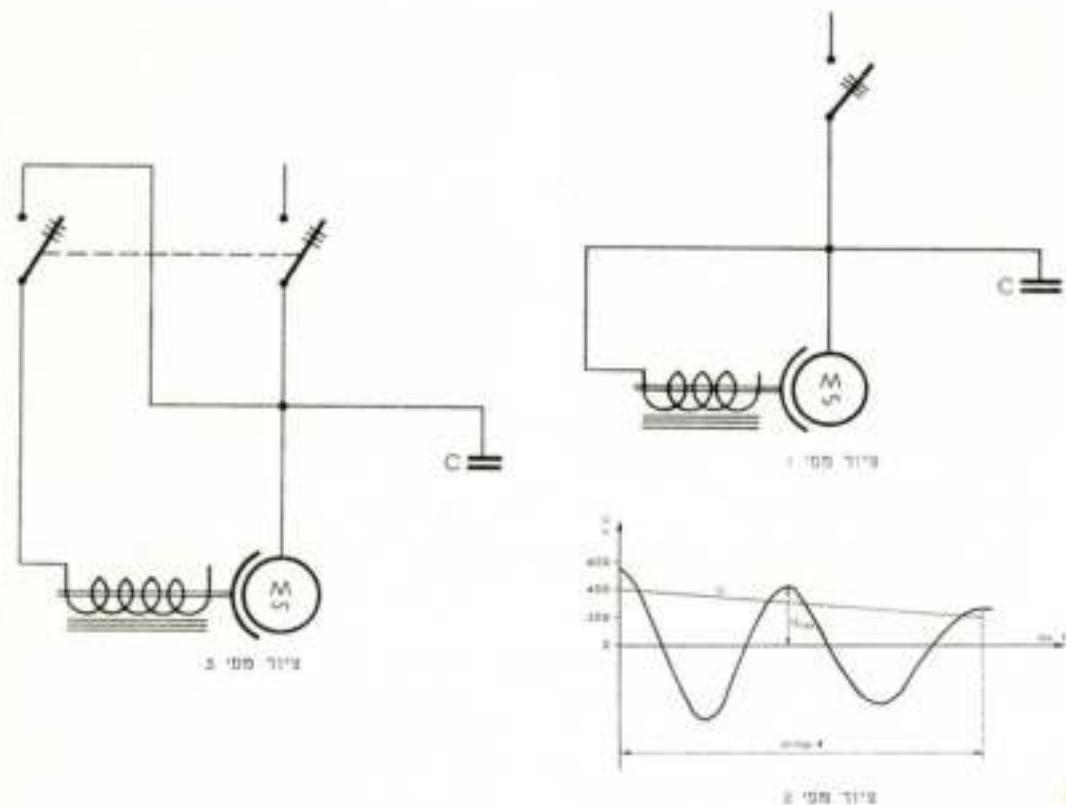
במקרה זה הותקנו קבלים בהספק כולל 20 קילוואר.

קבלים אלו חוברו יחד עם המנוע 50 כ"ס לאחר מפסק אוטומטי מתאים. הכל היה שפיר וטוב לו באותה מערכת לא היה בנמצא בלם אלקטרו-מגנטי שמתפקידו לבלום ציר מנוע מייד עם הפסקת הזרם (ראה תרשים מס' 1).

כל ההתקנות נעשו בהתאם לכל התקנות והדרישות הטכניות המקובלות, אלא שהגלילים נבלמו רק לאחר 7 שבובים מלאים (4 שניות) לאחר הפסקת הזרם, ולא לפי דרישות בטיחות עבור מכונות מסוג כנ"ל במקרה של הפסקת חרום (למשל תפיסת יד) לפיהן על המכונה להיבלם תוך שליש שבוב לכל היותר.

בבדיקה מדוקדקת התברר שהצד המכני של הבלם האלקטרו-מגנטי היה תקין אך הבלם לא השתחרר מייד עם הפסקת הזרם.

להלן פתרון התעלומה: התברר לפי אוסצילוגרמה (ראה תרשים מס' 2) שמנוע אסינכרוני הקשור באמצעות תיבת ההילוכים עם גלילים נהפך לנגרטור אסינכרוני המקבל ערוור מקבלים המחוברים במקביל אליו. בהקשר לכך ברצוני להזכיר שמכונה אסינכרונית עלולה לעבוד בתור נגרטור בתנאי שהיא מקבלת ערוור באמצעות זרמים ראקטיביים מרשת או מקבל. ככח המניע במקרה שלנו שמשו מומנטים אינרציים של הגלילים, תיבת ההילוכים והמנוע עצמו. לאור העובדה שבמערכות אלה קיימים אבודים מכניים וקיים גם צרכן חשמלי



אלקטרומגנטי תלת-פזי של הבלם (750 וולט-אמפר) הולכת וקטנה סינוסואידת המתח. במתח ממוצע של 200 וולט בין הפזות האלקטרו-מגנט אינו מסוגל להחזיק את הבלם במצב משוחרר והגלילים מתחילים לבלום. עד התחלת פעולת הבלימה עוברות כ-4 שניות, עד שהמתח על הגנרטור האסינכרוני נופל מ-400 וולט בין הפזות ל-200 וולט בין הפזות. תוך זמן זה מספיקים הגלילים לעשות כ-7 סבובים מלאים, דבר זה עלול להיות מסוכן מאוד למשל במקרה של תפיסת ידו של הפועל בין הגלילים המסתובבים. במקרה זה הפועל יימחץ בין הגלילים. מעובדה זו נובעת דרישת הבטיחות שעל הגלילים להיבלם תוך  $1/3$  סבוב לכל היותר במקרה חרום.

## מסקנה

מובן מאליו שבמקרה של התקנת מנוע אסינכרוני, בלם אלקטרו-מגנטי וקבל יש לנקוט באמצעים מתאימים למניעת קבלת מתח על מנעי הבלם האלקטרו-מגנטי לאחר הפסקת המערכת. דבר זה אפשרי למשל ע"י התקנת מפסיק נוסף להפסקת החבור בין המנוע האסינכרוני לבין הבלם האלקטרו-מגנטי. ברור ששני המפסיקים חייבים להיות באינטרלוק (חגור) מכני או חשמלי. ז.א. מופסקים או מחוברים בעת ובעונה אחת (ראה תרשים מס' 3). אפשריים כמובן גם פתרונות אחרים מאלה המופיעים בתרשים מס' 3. ברצוני להוסיף שלאחר סדור המערכת לפי תרשים מס' 3 הגלילים נבלמו תוך  $1/4$  סבוב לאחר הפסקת הזרם.

# השימוש באלומיניום כמוליך חשמלי

אינ' ב. סולני

מבוא

כבר בסוף המאה ה-18 השתמשו באלומיניום כמוליך חשמלי. ידוע שבאמריקה השתמשו בשנת 1887 במוליכי אלומיניום הן בקווי טלפון והן בקווי חשמל עיליים חשופים. מחיר האלומיניום היה אז גבוה בהרבה ממחיר הנחושת, טיבו לא היה משובח ותהליכי ההפקה לא היו עדיין מפותחים. במשך השנים שופרו תהליכי הייצור, וזריכת האלומיניום עלתה הן כמרכיב חלקי מכוונות והן במיתקני חשמל. להתעוררות גדולה בשטח זה „תרמה" רבות מלחמת העולם השנייה. בעיקר התרחב השימוש באלומיניום בגרמניה, אשר לרשותה לא היו מקורות נחושת. בשנים שאחרי המלחמה חלה עליה גדולה במחירי הנחושת מסיבות כלכליות ופוליטיות שונות. דבר שגרם לכך שכיום האלומיניום זול בהרבה מן הנחושת ובעקבות זאת הולך וגובר השימוש במוליכי אלומיניום ככבלי חשמל, במקום מוליכי הנחושת. הסיבות העיקריות לשימוש במוליכי אלומיניום כיום הן המחסור בנחושת, ומחירה הגבוה והבלתי יציב בשוק העולמי. מאידך, האלומיניום המיוצר כיום הוא בעל תכונות מכניות ופיזיקליות מתאימות המאפשרות את שימושו כמוליך חשמל הן חשוף והן מבודד.

## הפקת האלומיניום ותכונותיו

חומר הגלם ממנו מפקים אלומיניום מתכתי הוא הבוקסיט, הארצות העשירות בבוקסיט הן קנדה, ארצות הברית וברית המועצות. בשלב הראשון מפיקים בבוקסיט מינרלי תחמוצת אלומיניום ובשלב שני מייצרים בתהליך של אלקטרוליזה אלומיניום מתכתי. לשם הפקת טונה אחת של תחמוצת אלומיניום דרושים כשני טון בוקסיט, ולשם ייצור טונה אחת של אלומיניום מתכתי דרושים כ-25000 קו"ט. לכן ברור שהתנאי הראשון לייצור אלומיניום מתכתי הוא מקור חשמל זול.

בתי היציקה מספקים את האלומיניום המתכתי הגולמי בצורת מטילים (בלוקים), ממטילים אלה עושים בתהליכי עיבוד או טירוד מוטות בקוטר של כ-10 מ"מ, שאותם מותחים לחוטים בקוטר מ"מ עד 5 מ"מ לשם ייצור מוליכים חשמליים.

בתעשיות כבלים חשמליים משתמשים בחוטים מ"מ אלומיניום המכיל לפחות 99.5% של אלומיניום נקי בעל התנגדות מקסימלית של 0,0285 אום מטר × מ"מ<sup>2</sup>.

בטמפרטורה של 20°C, משקלו הסגולי של האלומיניום מיוזם הוא 2,7 ק"ג/דמ"ק<sup>3</sup>. דהיינו כשליש ממשקלה

הסגולי של הנחושת.

טביחת התכונות המכניות אפשר לחלק את מוליכי

\* (הולך בעזרתו של אינ' ב. סולני)

האלומיניום ל-3 סוגים כפי שהדבר נראה בטבלה מס' 1.

טבלה מס' 1

הכונות מכניות	מוליך האלומיניום
רף חצי קשה קשה	
חוזק לקריעה ב"ק"ג/מ"מ <sup>2</sup>	10—7.5 17—15 22—17
התארכות ב"%	20 5 —

טבלה מס' 2

תכונות פיזיקליות	אלומיניום	נחושת
משקל סגולי ב-20°C		
(גרם/סמ"ק)	2.7	8.89
נקודת התכה (°C)	660	1083
חום סגולי ב-20°C		
(קלור/גרם, °C)	0.23	0.092
הולכה תרמית ב-°C/קלו"ר/ס"מ		
°C/ר"מ/סמ"ר/°C	0.52	0.92
מקדם התפשטות אורכית מ"מ/°C		
עד 100°C ל-°C	24 × 10 <sup>-6</sup>	16 × 10 <sup>-6</sup>
התנגדות סגולית ב-20°C		
(מיקרואום — ס"מ)	2.825	1.742
מקדם טמפרטורה להתנגדות		
°C/°C	0.00429	0.00393

כדאיות בעיטוש בנחושת, והביאו לצריכה הולכת ונדלה של האלומיניום שמחירו הוא פחות או יותר יציב.

בתרשים „א“ נתון משקלם של כבלי אלומיניום ונחר שם המיועדים להעברת עומס זהה. כבלים בחתך עד 25 מ"מ כוללים מוליכים עגולים, ואילו הכבלים הגדולים יותר הם בעלי מוליכים שזורים הנלחצים לצורה מזורית (סקטורלית).

יש להדגיש שבכבלים בעלי חתך עד 50 מ"מ נוהגים להשתמש לעומס זהה במוליך אלומיניום שהוא בדרגת חתך סטנדרטית אחת מעל הנחושת. בכבלים גדולים יותר משתמשים בחתך אלומיניום הגדול בשתי דרגות חתך מזה של הנחושת, אולם המשקל הכללי של כבלי אלומיניום קטן ב-40% בקירוב ממשקל כבלי הנחושת, האלטרנטיביים, וככל שעולה החתך בולט יותר ההבדל במשקל.

היתרונות של משקל קטן הינם ברורים. הקטנת היציאות, ההובלה, האכסון והעבודה.

בטבלה מס' 2 ניתנת השוואת התכונות הפיזיקליות של האלומיניום והנחושת.

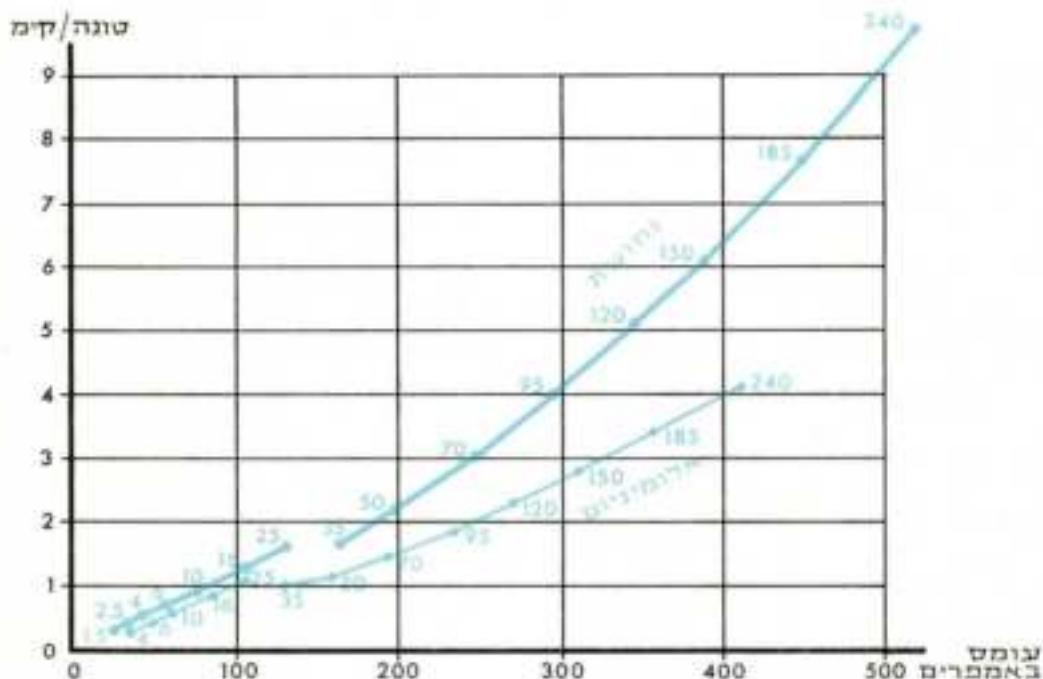
מתוך הטבלה אפשר לראות שהתנגדות סגולית חשי מלית של אלומיניום גדולה ב-69% מזו של נחושת. לעומס חשמלי זה יש גם לבחור לכן, בהתחשב גם בהנדלת שטח הקירור, באלומיניום בעל חתך הגדול ב-40% מהחתך שווה הערך מנחושת; לסרות זאת יהיה משקל מוליך האלומיניום רק 50% ממשקל מוליך הנחושת.

### יתרונותיו הכלכליים של האלומיניום בהשוואה לנחושת

נשתדל להראות בעזרת דיאגרמות שונות את היתרונות הכלכליים של כבל אלומיניום בהשוואה לכבל נחושת, תשומת לב מיוחדת מעוררות התנודות הדינמיות במחירי הנחושת, וזה בנוסף למחירה הגבוה בהשוואה למחיר אלומיניום. תנודות אלו משפיעות השפעה שלילית על חישובי

### תרשים א'

תרשים א': השוואת משקלם של הכבלים התת-קרקעיים מאלומיניום ומנחושת — כבלים בעלי ארבעה זידיים, חתכים של זידי השחת ב"מ<sup>2</sup>

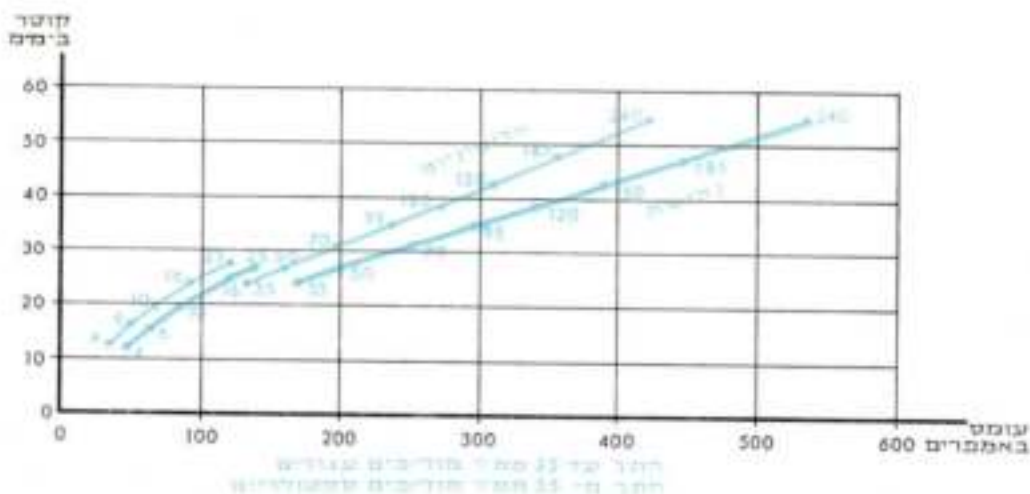


ואלומיניום המסוגלים להעביר אותו זרם, חשוב הסחירים מבוסס על מחיר נחושת של 400 לירות סטרלינג ואלומיניום 190 לירות סטרלינג לטונה כנורסת לונדון למתכות (LME). בהתאם לנתונים אלה יהיו כבלי אלומיניום בחתכים הנמוכים וזלים בערך כ-25% מכבלי נחושת שווי ערך, וההפרש גדול הרבה יותר בחתכים הגבוהים.

הקוטר החיצוני של כבלי אלומיניום גדול כמובן מזה של כבל נחושת אקוילנטי כפי שהדבר נראה בתרשים „ב” וגם בתרשים זה המוליכים עד חתך 25 מ"מ הם עגולים ומעל זה – גזרתיים (סקטורי רליום). בממוצע גדול קוטר כבל אלומיניום כ-12% מזה של כבל נחושת, שווה ערך. בתרשים „ג” ניתנת השוואת מחירים לכבלי נחושת

### תרשים ב'

תרשים ב' השוואת מחיר הכבלים התת-קרקעיים מאלומיניום ומנחושת – כבלים בעלי ארבעה גזרים. חתכים של גזרים הנחות ב"מ"מ



מוליכים עגולים בחתכים קטנים עשויים מחוט יחיד, בחתכים גדולים הם שזורים מספר תילים.

#### מבנה גזרתי

המוליך הגזרתי (סקטורלי) שזור מספר תילים עגולים, שבסוף השזירה נלחצים יחד ומקבלים צורה גזרתית.

החתך המינימלי של מוליך אלומיניום הוא 4 מ"מ וזה בהתחשב במוליכותו החשמלית והחוזק המכני. במוליכים השזורים מתילי אלומיניום אפשר להשיג תמש בתילים בעלי קוטר גדול יותר, בהשוואה למוליכים השזורים תילי נחושת, בגלל הכפיפות הטובה יותר של האלומיניום.

בחתכים מ"מ 35 מ"מ ומעלה מייצרים היום כבלי אלומיניום כמעט רק בצורה גזרתית או מפרוסל מלא בצורת סוליד.

מובן שיש להתחשב בתנודות במחירי הנחושת ואלו מיניום. מחירי הנחושת עלו בשנים האחרונות עד ל-600 £ הטון, ויותר, בו בזמן שמחירי האלומיניום כמעט ולא השתנו. (לאחרונה, ומצאאה מהתפתחות כיר-לאומיות, כפרט במזרח הרחוק, הגיע מחיר הנחושת עד ל-817 £ הטון).

כפי שאפשר לראות מהאמור לעיל, מחירי כבלים בעלי מוליך אלומיניום נמוכים בממוצע כ-30% בקירוב מכבלים לעומת זהה, בעלי מוליך נחושת.

### מבנה מוליכי האלומיניום

מוליכי אלומיניום המיוצרים בארץ לפי ת"י 618 מופיעים בשתי צורות עיקריות – עטל וגזרתי. כן הולך ומתרחב בשנים האחרונות השימוש במוליך הריתילי (סוליד).

### מבנה סולידל

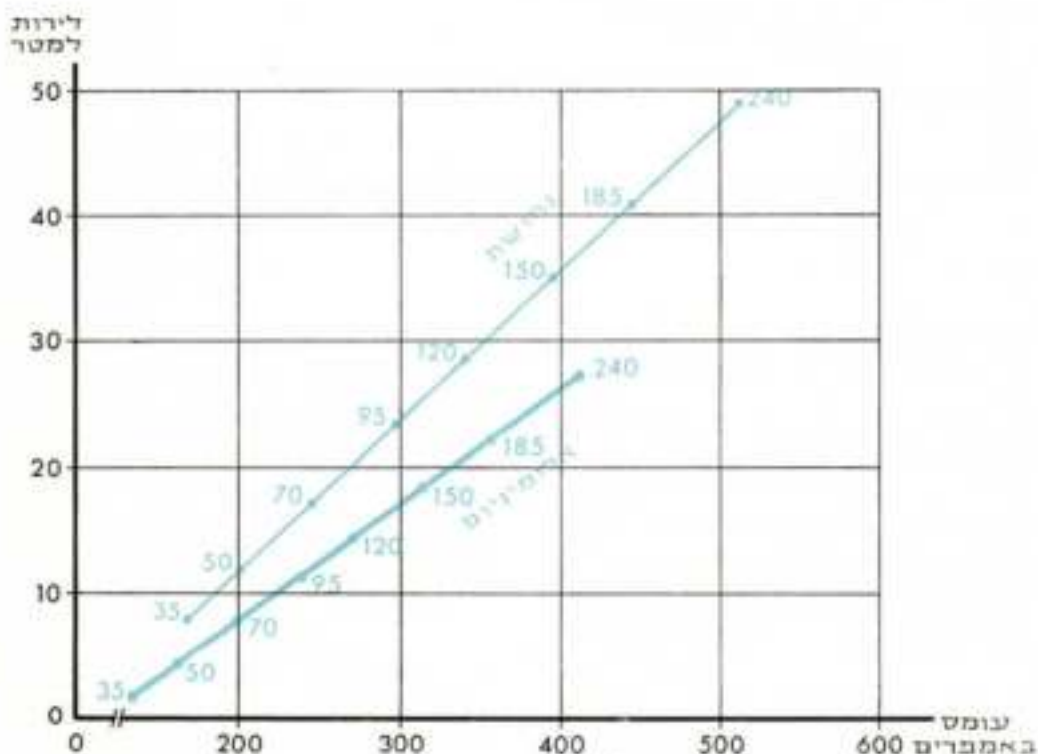
- השימוש במוליך אלומיניום חד-חילי (סולידל) הולך ומתרחב בשנים האחרונות עקב יתרונותיו המרובים:
1. מידותיו של מוליך סקטורלי „סולידל“ קטנות ממידותיו של מוליך סקטורלי שזור בעל חתך זהה.
  2. מוליך סולידל מיוצר בתהליך טירוד (אקסטי-רוזיה) ישר מבוקים של אלומיניום ולכן זול יותר מהמוליך השזור.
  3. הרכבת כבל ממוליכים סולידליים היא במקרים רבים פשוטה יותר מהרכבת כבל ממוליכים שזורים.

### חיבורים

- במשך הזמן פותחו שיטות שונות לחיבורי ממוליכים שהוכיחו את יעילותן ועמדו בנסיון.
- סוגי החיבורים המקובלים הם:
1. חיבורי לחץ
  2. חיבורי ברזים
  3. חיבורי הלחמה
  4. חיבורי ריתוך.
- על פני האלומיניום מתהווה שכבת תחמוצת (אוקסייד) שמונעת חמצון נוסף של האלומיניום ומגינה באופן זה על המוליך. אוקסיד אלומיניום זה הוא קשה והינו מוליך גרוע של זרם חשמלי. בזמן חיבור

### תרשים נ'

תרשים נ': השוואת מחירים לכבלים תת-קוטביים מאלומיניום ומחומצת — בפני ארבעה גידים. חתכים של גידים הנחות ב"חיים"



### הנסיים למחירים

הנחות לפי 400 לירות סטרלינג הטובה  
 הלוואיות לפי 190 לירות סטרלינג הטובה



מוליכים שיש לחבר לתוך תבנית חיבור. מחטמים את התבנית עם המוליכים באמצעות אוטוטן עד לטמפרטורת ההתכה ומסיימים אלומיניום נוזלי. אחרי שמקום החיבור מתקרר מנקים אותו.

#### חיבור מוליך אלומיניום למוליך נחושת

כאשר יש צורך לחבר מוליך אלומיניום למוליך נחושת קיימת תמיד הסכנה של התהוות קורוזיה אלקטרוכימית, לכן משתמשים במקרים אלה בחיבורים דו-מתכתיים. ידוע שקורוזיה אלקטרוכימית מריעה רק כאשר במקום החיבור בין האלומיניום לנחושת קיים גם רלמנט אלקטרוכימטי, כגון סלח ורטיבות. במידה וקיימת סכנה זו יש לבדוד את מקום החיבור על-ידי סרטים מלסטיים, ציפוי בלנת בידוד, או סריחה בשמים. אפשר גם להשתמש ב"טרולי חיבור בעלי בידוד מיוחד שהוכנו למטרה זו.

### מוליכי אלומיניום בקווים עיליים

לשימוש באלומיניום כחומר מוליך לקווים עיליים יש יתרונות רבים. כבר בסוף המאה הקודמת התקינו בארצות-הברית קווים עיליים מאלומיניום קווים כאלה נמצאים בשימוש ללא תקלות זה יותר מ-50 שנה. בדיקות הוכיחו שתכונות מכניות וחשמליות לא השתנו למעשה בפרק זמן זה. הוכח גם שפני המוליך מאלומיניום לא נמנעו מקורוזיה או מחמצון.

בהתחשב במשקלו הנמוך יותר של מוליך האלומיניום בהשוואה למוליך הנחושת אפשר להגדיל בהרבה את המרחק בין העמודים הנושאים את הקו העילי. במשך הזמן הגדילו את החוק המכני של מוליכי האלומיניום על-ידי השימוש באלומיניום

קשה ובחוטים בעלי נתך אלומיניום מיוחד. הפתרון הטוב והרדיקלי ביותר הוא השימוש במוליכי פלדה אלומיניום, כשחוזקה המכני של הפלדה מצטרף למוליכות הטובה בתילי האלומיניום. מוליכי פלדה אלומיניום אלה מורכבים מתיל מרכזי עשוי תילי פלדה מלטבנים בעלי חוק מכני גדול, כשמעליו טורים בשכבה אחת או יותר תילי אלומיניום.

הרכב מוצלח זה של יחס בין חוק מכני ומשקל מאפשר להגדיל במידה נוספת את המרחקים בין העמודים הנושאים ולהקטין על-ידי כך את מספר העמודים. דבר זה מקטין במידה ניכרת את מחיר הרכבת הרשת של הקו העילי ומעלה את הכדאיות של אלומיניום בהשוואה עם נחושת כחומר למוליך בקווים עיליים.

ברוב ארצות העולם משתמשים היום במוליכי אלומיניום-פלדה להעברת אנרגיה חשמלית בקווים העיליים העיקריים.

מוליכי אלומיניום בהלחמה, ריתוך או לחיצה, יש להתחשב בתופעה זו ולנקות חיטב בכל מקומות החיבור את האלומיניום משכבת ההתמוצת.

בתנאים מסוימים, כשקיים מנע ישר בין מוליך אלומיניום לנחושת, עלול להיווצר אלמנט אלקטרוכימי אשר גורם לקורוזיה, גם בתכונה זו יש להתחשב בזמן החיבור.

#### חיבורי לחץ

השימוש העיקרי והנפוץ ביותר כיום הוא בחיבורי לחץ. לביצוע חיבורים אלה משתמשים בשרוולים ונעלי כבל, סאלומיניום או נחושת מצופה בדיל, בצורות ניוורטיות או עגולות בהתאם לצורך. השרוולים מושחלים על המוליך ונלחצים במקום החיבור בעזרת צבת מחברת, מכנית או הידראולית. בצורה זו נוצר חיבור אחד והמומנטי, מדידות ובדיקות מכניות וחשמליות הראו שצורת חיבור זו עומדת בכל הדרישות. הנסיון הוכיח שלחיבור מוליכים עגולים או ניוורטיים רצוי להשתמש בשרוולים בעלי חתך משושה. לחיבור מוליכים סולידליים רצוי ליצור את ההידוק על-ידי לחיצת שקע לתוך שרולל החיבור.

#### חיבורי ברגים

בחיבורי ברגים משתמשים לעתים קרובות לחיבורי מוליכים בקו ישר או לחיבורי הצטלבות. לביצוע חיבורים אלה משתמשים בצנורות מיוחדות עם ברגי הידוק.

קיימת גם אפשרות לחבר הצטלבות למוליך מבודד בלי לנתק את חורם (עבודה במיתקן חי). למטרה זו משתמשים במהדקים מיוחדים שסרכיבים על הגוד המבודד. הקשר החשמלי נוצר על-ידי לחיצת חוד דרך הנידוד המוליך. בחיבורים אלה משתמשים בדרך כלל רק בחיבורים זמניים.

גם חיבורי הברגים עמדו בנסיון, במיוחד בחיבורי מוליכים סולידליים וניורטיים שזורים.

#### חיבורי הלחמה

בהלחמת מוליכי אלומיניום חשוב במיוחד להוריד את שכבת ההתמוצת ולצפות את המוליך בבדיל או נתך אחר. לביצוע ההלחמה משתמשים בדרך כלל בנתך בדיל-שפית בתוספת 2% אבץ. הנורם לציפוי טוב יותר של מני מוליך האלומיניום, אחרי הציפוי משחלים על קצוות שני המוליכים אותם רוצים לחבר, צנורות בצורת שרולל מאלומיניום או נחושת מצופה בדיל. דרך נקב מיוחד ממלאים את השרולל בחומר הלחמה; אחרי שמקום החיבור מתקרר מנקים את המקום והחיבור מוכן.

#### חיבורי ריתוך

חיבור מוליכי אלומיניום בריתוך נמנע שלא מקובל כיום. לשם חיבור מסוג זה מכניסים את שני קצוות

## מוליכי אלומיניום במיתקנים פנימיים

בארצות עולם שונות משתמשים בהצלחה מרובה באלומיניום לאינסטלציה בבתים. מחירו הנמוך ביחס לנחושת מהווה גורם משיכה גדול לצרכנים תעשייתיים ולקבלני בנין.

שתי הבעיות העיקריות שגרמו בתחילת השימוש באלומיניום לקשיים הם:

א. התרופפות חיבורי מוליכים סוברנים, וזה בי גלל רכות יחסית של האלומיניום.

ב. החשש מהופעת קורוזיה דרמטכתית בין מוליכי האלומיניום לחלקי חיבור שונים מנחושת ופלז.

בשנים האחרונות הצליחו לפתור בעיות אלה:

א. החיבורים שופרו עלידי השימוש במוליכי אלומיניום סחוט מלא במקום הסוליך השזור. חוט מלא זה מיוצר מאלומיניום קשה יותר המאפשר חיבור קל ובטוח יותר.


ב. החשש לנוקים עלידי הופעת קורוזיה דרמטכתית נית נתגלה כמוגזם. הנסיון של שנים מראה שאפשר להגן על החיבורים הדרמטכתיים מי חדירת רטיבות, ולמנוע על ידי כך לחלוטין את הקורוזיה המיוחדת הזו.

השימוש במוליכי אלומיניום לאינסטלציה ביתית שנעשה בערפת, גרמניה, הודו וארצות רבות נוספות, הוכתר בהצלחה מרובה ויש עתה נטייה ברורה בער למס להרחיב את השימוש באלומיניום גם לאינסטלציות ביתיות.

# מבשירי ניתוק המופעלים ביד ומיונם


אינג' ש. הרפז

מכשירי נתוק הזרם המופעלים ביד מתחלקים ל-4 קבוצות תקניות בהתאם לתקן VDE 660, ואף נקבע לכל סימון גרמי בתקן DIN 40713 להלן החלוקה בצרוף התכונות המאפיינות את כל אחד מהסוגים :

1. מנתקי זרם  
הסימון 

באנגלית No Load Switch בגרמנית Lear Schalter  
למנתקי זרם אין כושר נתוק והם יכולים לשמש רק לנתוק קו בלתי מועמס או, לכל היותר, רק כאמצעי נתוק נוסף כאשר קיים בטחון מלא שלא יופעלו בעומס.

2. מפסקי זרם


הסימון 

באנגלית Load Switch בגרמנית Last Schalter  
היצרן חייב לסמן על המפסק בברור את כושר הנתוק שלו אשר שווה לכפולה כלשהי (לנחות 1) של הזרם הנקוב IN.


לדוגמא, במפסק זרם שזרמו הנקוב שווה ל-200 אמפר, כושר הנתוק הוא בדרך כלל 200 אמפר במקדם הספק של 0.7 עד 1.

לפי VDE 660, גבול ההפסקה התחתון של הנתיד הנמצא בטור עם מפסק הזרם חייב להיות לעומת זה  $1.3I_N$  כלומר, נתיך של 200 אמפר לא צריך להנתק תוך פחות מ-שעתיים בעומס של 260 אמפר.

בהוכח כזה של מפסק זרם ונתיד בטור קיימת לכך, במשך שעתיים, סכנה למתקן ולאנשים באם יפסיקו את המפסק באותו זמן. הסכנה תהיה גדולה יותר בזרמים גבוהים יותר. למשל ב-600 אמפר הנתיד יכול להחזיק מעמד עד 40 שניות ואם ינסו לפתוח את המפסק בפרק זמן זה הוא יפתח בזרם גדול מאד ביחס לזרם שהמפסק יכול לסבול לפי התקן.

3. מפסקי מנוע  
הסימון 

באנגלית Load Break Switch בגרמנית Motor Schalter  
מפסקי מנוע חייבים להיות מסוגלים לנתק ללא תקלה זרם הנבוח פי 6 מהזרם ה-נקוב. הסכנה הקיימת במפסק זרם רגיל (סוג 2) במשך זמן ממושך מתקצרת במפסק מנוע לפרק זמן של שניות בודדות, אך עדיין קיימת. מאידך אין מפסק מנוע מסוגל לעמוד בתנאי זרם קצר. קיימת, בין היתר, הסכנה שבשעת קצר מגיעו ירותחו אחד לשני מאחר ונתיד, בדרך כלל, מגביל את הזרם הקצר רק ב- $50I_N$ .

4. מפסקי הספק  
הסימון 

באנגלית Circuit Interrupter בגרמנית Leistungs Schalter  
מפסקי הספק הם בעלי כושר נתוק גבוה והם היחידים העומדים במבחן בכל התנאי-אים הנורמליים של המעגל וגם בתנאי קצר.

במתקן מודרני לא מסיפיק לדעת באיזה זרם קצר יכול המפסק לעמוד כי אם איזה זרם הוא מסוגל להפסיק ואיזה זרם קצר הוא יכול לחבר בלי להחרס. כי לנתק זרם בתנאי קצר יתכן ודבר מקרי הוא, חבור מעגל בתנאי קצר נעשה לעתים במכוון בשעת סיוון חבור חוזר של מעגל שהופסק עקב שריפת נתיד.

# מפסק מגן לזרם פחת התקנה ותפעול

אינ' נ. פלג

מ ב א

מפסק המגן לזרם פחת, אשר החל להיות נפוץ לאחרונה, מביא אותנו למצב שבו, סוף סוף, יש בידינו אמצעי שביכולתו להביא לכך שמספר תאונות החשמל יקטן בהרבה — במידה ונתקין אותו במקומות בהם יש בו צורך.

במאמר זה ננסה להסביר בקצרה את עקרונות פעולת המפסק (הסבר מפורט יותר — ראה, "רבעון הנדסת ביטחות" מס' 1 עמוד 3 או, "התקע המצדעי" [חוברת מס' 6]). נעמוד על הסיפוסים השונים המצויים כיום בשוק הישראלי, נתאר את סכימות החיבורים למקרים שונים ונתעכב בהסבר כמה תקלות העלולות לצוץ עקב התקנת מפסק מגן לזרם פחת — והאמצעים להתגבר עליהם.

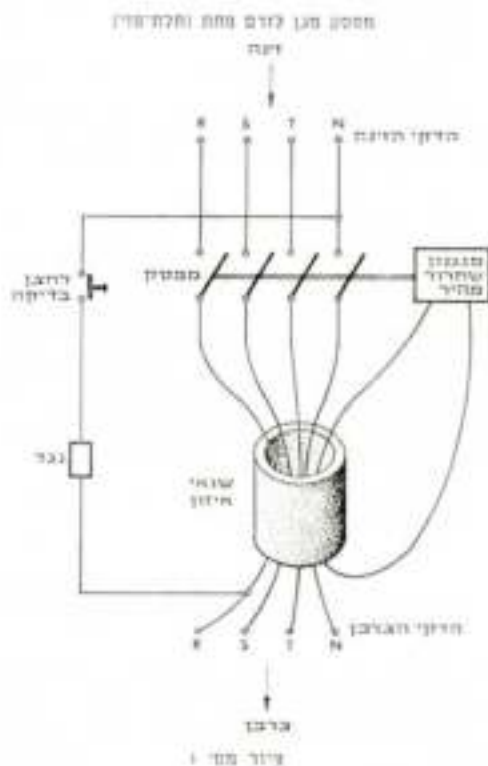
בנקודה זו יש להזהיר (ועוד אחזור על אזהרה זו גם בהמשך) — הטיפול במפסק המגן לזרם פחת, התקנתו ואחזקת המיתקן החשמלי עצמו, הם לחשמלאי מושה בלבד. אם עוד מותר, למשל, להחליף נתיך או לחבר מחדש מפסק שפעל והפסיק את המעגל — הרי שאת הטיפול בסילוק התקלה עצמה יש להשאיר לבעל מקצוע מוסמך — החשמלאי!

## הסבר כללי (צויר מס' 1)

עקרונות מורכב מפסק המגן לזרם פחת נשתי יחידות עיקריות — מפסק הזרם אשר מטפדו לחבר ולהפסיק את הזרם ויחידת איזון הנותנת פיקוד לפתיחת המפסק כשחלה תקלה במיתקן החשמלי שכתוצאה ממנה זרם ורם (שעל עוצמתו ניון אחר כך) לאדמה. פעולת יחידת האיזון מוסגרת כך: כאשר מדובר במיתקן חשמלי תקין הרי, אם נסתכל בסטום הורמים המוניים אותו (במיתקן חו פוי — מה ואפס, במיתקן תלת פוי — שלוש פוזת ואפס) נראה שסטום זה שווה לאפס, דהיינו — כל הזרם שנכנס במוליכי הפוזת יוצא במוליך האפס (או מותאפס).

במקרה שהמיתקן אינו תקין וקיימת, מה שנקרא "זליגה" או "פחת" לאדמה, נוצר חוסר איזון והזרם החוזר מהמיתקן אינו יכול להיות שווה לזרם הנכנס — כיוון שחלק מסוגו, כאמור, "דולף" לאדמה. כאשר עוצמת זרם הפחת עולה על מה שנקבע — טעוורה, ביחידת האיזון, שטף הזרם לזרם בסליל הנוסף וכן נפתח המפסק ועיי זה נמנע המשך זרימת זרם הפחת.

בנוסף לשתי יחידות אלה חייב, מפסק המגן לזרם פחת, לכלול גם לחצן בדיקה המשמש לבדיקת פוי קורת של פעולת מפסק הזרם — עיי לחיצה עליו יוצרים באופן מלאכותי, מצב של חוסר איזון החייב להפעיל את המגנון ולפתוח את המפסק.



השימוש במפסק המגן אינו טרע מחויבותה של ההארקה — הוא רק מאפשר לנו קיום תנאי בטיחות במקום בו קיימת הארקה נועה (בסדר-גודל של מאות אמהים) וכן מוסיף בטיחות שלא היתה בטעה שהשתמשו רק בחנה ע"י הארקה — למשל מנע ישיר בפות, בכל אופן עדיף שתהיה גם הארקה אשר, בשעה שמחברים מכשיר טום, יורום דרכה זרם הפחת שיפטיק את המעגל בעזרת מפסק המגן, מאשר לחכות עד שמנע של אדם יסגור את המעגל ורק הזרם דרכו יפעיל את המפסק.

יצרנים שונים כללו גם התקנים לזרם יתר או/ו זרם קצר כך שהמפסק, נוסף לפעולתו כמפסק מגן לזרם פחת, פועל גם כמפסק אוטומטי ראשי. (עוד נעמוד על המעלות והחסרונות של תוספת זו).

### הדרישות לגבי המפסק

את הדרישות שאנו מעמידים בפני מפסק המגן לזרם פחת אפשר לחלק לפונטים הבאים:

- א. גבולות פיזיולוגיים של בטיחות האדם.
  - ב. דרישות של תקנות החשמל (הארקות והגנות אחרות).
- מטחקרו של פרופ' דלויאל אפשר להסיק שתי מטי קנות עיקריות:

1. זרם הנמוך מ-30 מיליאמפר אינו קטלני לגבי אדם (פרט, אולי, למקרים בודדים).
2. התנגדות המעבר של נוף האדם היא בסביבות 2500—1500 אוהם. במקרים מיוחדים (זיעה, מאמץ פיזי, חולשת) עלולה התנגדות זו לרדת עד 500 אוהם. במקרה קיצוני זה הרי אם יגע האדם בגולדק פוח שמתחו לאדמה הוא יגע וולט יורום זרם של 500 מיליאמפר. פרט למקריים בודדים, אם יפטיק, זרם זה תוך פחות מ-30 מילישניות, לא יזרם נוק לאדם (פרט לחלם חשמלי קל).

תוך כך — אם בידינו מפסק מגן לזרם פחת הפועל לזרם פחת לאדמה של פחות מ-30 מיליאמפר וגם זמן הפעולה אינו עולה על 30 מילישניות הרי, שלמעשה, ניתן להגן על חיי האדם באופן כמעט מוחלט.

נבחר לעצמנו שני מושגים חשובים המתייחסים למפסק המגן — זרם נומינלי (IN) וזרם תקלה (IF). הזרם הנומינלי הוא הזרם המכסימלי שאותו צריך המפסק להעביר באופן קבוע וגם לחברו ולהפיטיקו ללא חימום שאותו צריך המפסק להעביר בי אופן קבוע וגם לחברו ולהפטיקו ללא חימום יתר וללא תקלות מכניות. ברוב המקרים מצוין זרם זה גם את גודל הנתיק המכסימלי שיש להרכיב לפני (מבחינת האספקה) המפסק.

זרם תקלה הוא זרם הפחת הפיזינלי (ללא תלות בזרם שצורך המיתקן באותו רגע) שבו יפתח מפסק המגן.

המפסק הרגיש (30 מיליאמפר) שעליו דיברנו מונבל, כרגע (עקב סיבות טכניות), עד זרם נומינלי (דהיינו — הזרם שצורך המיתקן) של 40 אמפר במפסק חד פזי (פזה ואפס) או 3x25 אמפר כמפסק תלת פזי (שלוש פזות ואפס). כמורכן קיימים מפסקי מגן המועלים בזרם תקלה של 300 מיליאמפר, 500 מילי אמפר, 1 אמפר. מפסקי מגן אלה יתכן ולא יתנו הננה על חיי אדם במקרה של מנע ישיר בפות — אך באופן כללי אפשר לאמר שהם יספרו את תנאי הבטיחות של המיתקן כולו כיוון שבמקרה של תקלה לא נצטרך לחכות עד שהזרם, במקום התקלה, יתפתח לממדום כאלה שישירף הנתך או ייתח אר זשהו מפסק זרם אוטומטי (עשרות או מאות אמפריים), אלא המעגל יפתח ע"י מפסק המגן כשר הזרם עדיין בחיתוליו — הפי אמפר או אמפר. בבוד רת זו ניתן להקטינו, באופן ניכר, גם סכנת שריפות.

### היכן להתקין מפסק מגן לזרם פחת

באופן כללי אפשר להגיד — התקן מפסק מגן לזרם פחת בכל מתקן חשמלי למתח נמוך (בארץ 230/400 וולט), שימת הדגש צריכה להיות לדירות מגורים כס נמצאים ילדים (העלולים להכניס סיכה או מסמר לבית התקע), במקומות של סכנה מוגברת ורטיבות, מטבחים, בתי מלאכה (ביחוד לימודיים), מושיכים וכן בכל מקרה בו קיים חשש, ולוא גם הקל ביותר, לגבי אמינות ההארקה — כמו במיתקנים בהם פשי תמישים במכשירי יד חשמליים (מגורות, מקדחות, מלחמים וכ"ו) שהם מאד פגיעים (ביחוד קיימת הסכנה לרציפות ההארקה שלהם).

קיימים בארץ מיתקנים ישנים (בעיקר דירות מגריים) בהם לא קיים מוליך הארקה — מצב מסוכן לכל הדעות. לא תמיד ניתן להשתחיל בצינורות הקיור טים מוליך נוסף להארקה עקב הקוטר הקטן של הצינורות או עקב העובדה שבמשך השנים התייבש בידוד המוליכים הקיימים. כל זמן שהם נשארים במצבם — הם שווירים על רמת בידודם — אך טיי פול בהם עלול לגרום להתפוררותו. לגבי מיתקנים כאלה התקנת מפסק המגן יכולה להיות פתרון אופי טימלי שיען הן על המסתמשים בו והן על המיתקן עצמו בצורה סבירה ביותר. כמורכן יכול מפסק המגן לטעם כמפסק ראשי וע"י זה לבטל את הצורך בהתקנת מפסק ראשי (לפי תקנות לוחות).

### מפסקי המגן לזרם פחת המצויים כיום בשוק

כרגע מצויים למכירה בארץ מפסקי מגן גרמניים הבנויים בהתאם לתקן VDE, שוויצריים (לפי הצעת תקן שוויצרי) וצרפתיים (לפי תקן צרפתי). ההבדל העיקרוני ביניהם הוא בזה שהטימוסים הנרי

מני והשוויצרי הם רק מפסק מגן לזרם פחת בעוד שהטיפול הצרפתי כולל בתוכו, בנוסף, גם התקנים ליתרת זרם וזרם קצר — דהיינו יכול לשמש גם במקום מבטח ראשי. שני הטיפוסים מופיעים גם כחד מיים (פזה ואפס) וגם כתלת-פזיים (שלוש פזות ואפס).

נעבור בקצרה על היתרונות והחסרונות של שתי הנירסאות:

**מפסק מגן נרסני ושוויצרי:**

**יתרונות:** מבנה קומפקטי וקטן

מועיל רק במקרה של פחת לאדמה.

**חסרונות:** מעריף התקנת מבטח ראשי.

**מפסק מגן צרפתי:**

**יתרונות:** אינו מעריף התקנת מבטח ראשי.

**חסרונות:** גדול (באופן יחסי) ולכן תופס מקום רב.

באם פעל אין יודעים אם זה כתוצאה מפחת לאדמה, יתרת עומס או קצר (ולכן מקשה על איתור התקלה).

## התקנת מפסק מגן לזרם פחת

נתאר כאן, באופן כללי, את צורת ההתקנה של מפסקי המגן השונים למטרות שונות.

למני שניטיים לעבודת ההתקנה חייבים לשייך לב לשכנה האפשרית הבאה: אם מיקום מפסק המגן (מבחינת הסכמה החשמלית) הוא בין מונה הברת החשמל ונתיכו החלוקה של הערכן המחובר כבר לרשת החשמל, יש לראות לכך שחברת החשמל תשי סיק את האספקה כך שבמשך השימול בהרכבה לא יהיה טחח במוליך הכניסה למפסק הזרם. (אלא אם כן החשמלאי מורשה לעבודה במיתקן חי) בעיה זו (של הזמנת המסקה מחברת החשמל) אינה קיימת באם המדובר במיתקן שטרם חובר לרשת או אם מתקיימים את המפסק בהסתעפות מישנית שאז ההפסקה מתאפשרת ע"י הוצאת נתיך או פתיחת מפסק הנמצאים ברשות הערכן.

**נוסף לכך:**

א. עבודה זו חייבת להתבצע ע"י חשמלאי בעל רשיון.

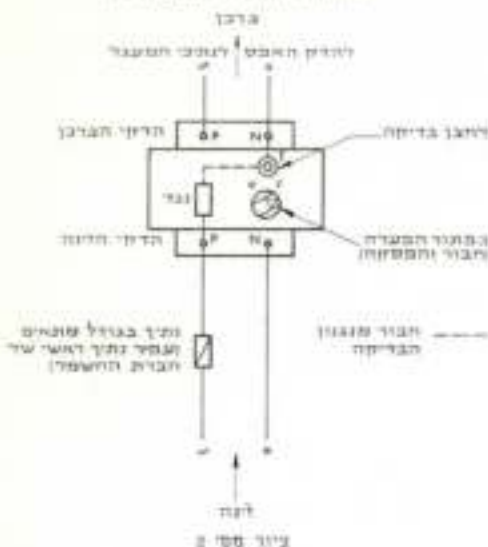
ב. בכל מקרה שהיזרן קובע הוראות או תנאים אחרים — קובעות הוראות היצרן.

1. מפסק מגן חרד"מי במיתקן חרד"מי

מקרה זה הוא הפשוט ביותר ויש רק להקפיד שכניסת המוליכים של פזה ואפס יהיו בהתאם לנדרש בסכמת החיבורים (ראה ציור מס' 2).

2. מפסק מגן תלת-פזי במיתקן חרד"מי

מפסק מגן חרד"מי במתקן חרד"מי



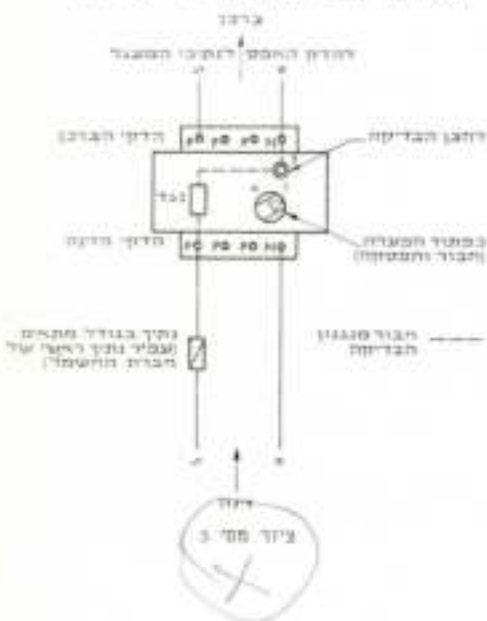
ה ע ר ת : השימוש במפסק מגן לזרם פחת תלת-

פזי במקרה זה יהיה, אולי, נוח יותר

עקב הסיבות הבאות:

- א. מפסק מגן תלת-פזי הוא לעיתים זול יותר מאשר חרד"מי (אפילו מתוצרת אותו מפעל).
- ב. אם האספקה הנוכחית היא חד-פזית אך הלוח מתוכנן להרחבה להונה תלת-פזית.
- ג. בשלב ראשון קיימת רק אספקה חרד"מית

מפסק מגן תלת-פזי במתקן חרד"מי — נירסנת אי



במקרה כזה אסור בשום אופן לגרום לחיבור גלוי בין שני המעגלים ויש לחבר זוג קטבים קרוב אחד למעגל זינה אחד וזוג קטבים שני למעגל זינה שני. יש להקפיד על כך שמנגנון הבדיקה (עם הלחצן) יהיה מחובר אך ורק בין פוח לאפס ולא בין אפס לאפס או בין שני מוליכי הסות.

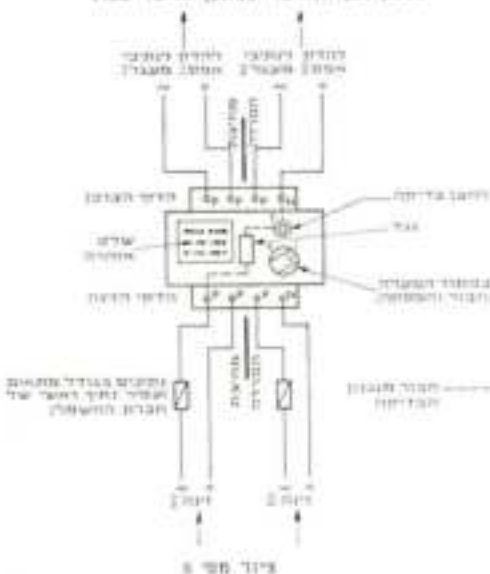
כאן יש גם להעיר שעלול להיות ששתי הסוות תהיינה שונות ואז המתח ביניהן הוא 400 וולט (ולא 230 כבין מזה ואפס). (ראה ציור מס' 5). מאחר ובמקרה כזה, מוון מכשיר אחד (מפסק הסגן) משגי מקורות זינה — דבר שאינו נהוג בדרך כלל, יש לפי הוראות חברת החשמל, לדאוג להפרדה ברורה בין כל זוג מוליכים וכן להוסיף אזהרה בכתב (ע"י שלט):

„זהירות: מפסק הסגן מוון משתי זינות י“

#### 4. מפסק מן תלת-פזי במיתקן תלת-פזי

במקרה זה הוא פשוט ויש לחבר את המוליכים בהתאם לסכימות החיבורים של היצרן. באופן מיוחד יש להקפיד שמוליכי האפס יחברו להדקי האפס. במקרים הנדירים שאין משתמשים במו"ל יך האפס וישארו הדקי האפס במפסק הזרם מנויים. במקרה כזה יש לוודא פעולת מנגנון הבדיקה (ראה ציור מס' 6).

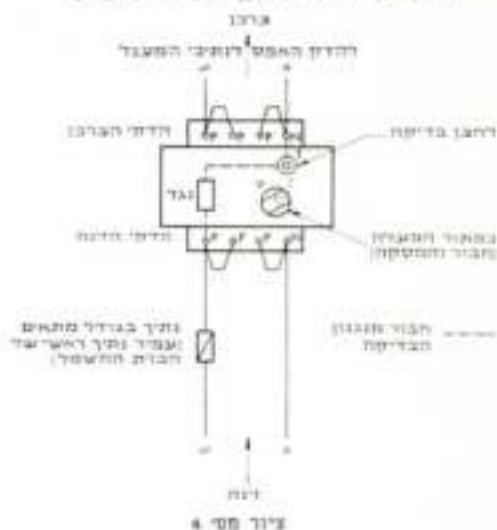
מפסק מן תלת-פזי (בתקן חדישי 1982)



### תקלות והטיפול בהן

מפסק המגן לזרם פחת פועל (ומפסיק) במקרה של תקלה הנגרמת ע"י פגם בכיוד החשמלי במכשיר או באינסטלציה (או בשניהם) המוגנים על-ידו.

מפסק מן תלת-פזי (בתקן חדישי — זינה ב')



אחת אך יתכן שבעתיד תהיה אספקת חד-פזית כפולה עם תעריפים שונים (מאור ו-מכשירים ונוסף חומום מים).

התקנה זו אפשרית בשתי נירסאות:

**נירסא א':** משתמשים בקטב אחד בלבד לכל פזי ל"ך, דהיינו — גם בכניסה וגם ביציאה משתמשים בשני הדקים (פוח ואפס) ו-שני הדקים (בכל צד) נשארים חופשיים. כאן יש להקפיד שמנגנון הבדיקה (עם הלחצן) יהיה מחובר בין הקטבים המשמשים לחיבור — אחרת לא יפעל מנגנון הבדיקה). (ראה ציור מס' 3).

**נירסא ב':** משתמשים בזוג קטבים לפוח ובזוג קטי בום לפוח ובזוג קטבים לאפס ע"י גרי שור הדקי החיבורים. לחיבור זה יש יתרון של חלוקת הזרם בין הקטבים ללא שינוי כלשהו ברושיות.

גם כאן יש להקפיד שמנגנון הבדיקה יהיה בין הפוח והאפס — אחרת לא יפעל המנגנון.

נירסא זו (ב) היתרון שהורמים מתי חלקים בין יותר מגעים ומאפשר, ל-משל, ניצול מפסק מן תלת פזי 4x25 אמפר כמפסק חדישי 2x50 אמפר.

(ראה ציור מס' 4)

**3. מפסק מן תלת-פזי במיתקן חדישי כפול** זהו המקרה בו רוצים להשתמש במפסק מן תלת פזי אחד להגנת שתי זינות חדימיות (למשל: גם על מעגל תאורה ומכשירים וגם על מעגל חימום מים). (ראה ציור מס' 5).

גלים המוגנים ע"י מפסק המגן שעל, לחבר את מפסק המגן ולחבר מחדש את המעגלים אחד אחר השני עד שמאתרים את המעגל המגוס הטורם למעולת מפסק המגן. לאחר איתור המעגל המגוס להשאירו בתוח ואז אפשר לחבר את יתר המעגלים ואת מפסק המגן.

בשני המקרים המסך הטיפול, כאמור — בידו החשמלאי.

### סיכום

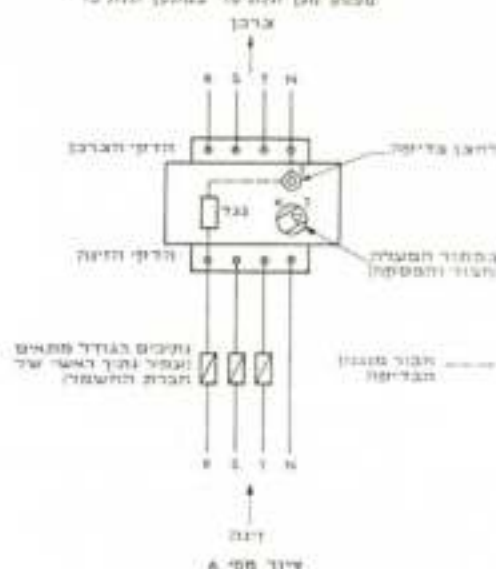
מפסק המגן לורם פחת בעל רגישות 30 מיליאמפר הוא מכשיר שבעזרתו אפשר, למעשה, להוריד למי-ניסוח את סכנת האפשרות של סכת חשמל ותוצאר תיה לאנשים (אין מדובר כאן במקרה שבו אדם יעמוד על לוח מחומר בידוד ויטרח לנעת ביד אחת במזה וביד שניה באפס) וכן יקטין בהרבה את סכנת השריפות ע"י ניתוק מעגלים שרמת בידודם לאדמה ירדה.

במקרה של צרכנים גדולים יחסית נשאלת השאלה כמה מפסקי מגן כאלה יש להתקין, התשובה לשאלה זו אינה חד-משמעית — הדבר תלוי בגודל הצריכה (באם צריכת הזרם היא גדולה רצוי להתקין מספר מפסקי מגן — אחד לכל הסתעפות ראשית), וכן בעובדה שתקלה במקום אחר תגרום להפסקת האספקה לכל המקומות המוגנים דרך אותו מפסק, דבר זה נתון לשיקולו של המתכנן החייב להתחשב גם בגורם הכלכלי של מחיר היחידות. יש להגיע כאן לאומיטיוס בין הדרושה למספר הפרעות חד-דיות הקטן ביותר לבין ההוצאות הכרוכות בהתקנת יותר מפסקי מגן לורם פחת.

ולסיום עוד הערה אחת:

יש לקבוע אחראי שכל תקופה מסויימת (שבוע, שבועיים, חודש) יבדוק אם תקינות מפסק המגן ע"י לחיצה על לחצן הבדיקה.

מפסק מגן תלת-פזי במסגרת תלת-פזי



את הטיפול באיתור התקלה וסילוקה יש להשאיר בידו בעל המקצוע — החשמלאי בעל הרשיון. עד לבואו של החשמלאי אפשר לפעול כדלקמן:

א. אם ידוע המכשיר שגורם לתקלה (ואת עקב העובדה שעם חיבורו או הפעלתו פעל מפסק המגן) יש לנתקו (או ע"י הוצאת התקע מביית התקע או פתיחת מפסק הזרם שלו) ואח"כ לחבר את מפסק המגן.

ב. אם התקלה נובעת מהאנושטלציה — לאחר את המעגל המגוס ע"י בדיקה שיטתית של המעי גלים, דהיינו — להוציא את כל הנתיכים או לפחות את המפסקים האוטומטיים של המעי

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

$$\rho_{Al} = 0.0290 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

לדוגמא: מה ההתנגדות של תיל בעל שטח-חתך  $2.5 \text{mm}^2$  שארכו  $100 \text{m}$  והעשוי מנחושת? מה יהיה המתח בין שני הקצוות של תיל זה בעבור  $10 \text{A}$ ?

$$R = 0.0175 \times \frac{100}{2.5}$$

$$R = 0.7 \Omega$$

$$U = 10 \times 0.7$$

$$U = 7 \text{V}$$

(סוף מצג' 26)

אם נמדוד את האורך במטרים (m) ואת שטח החתך במילימטרים מרובעים ( $\text{mm}^2$ ) כנהוג בתי"ל, נקבל את יחידת הגורם  $\rho$  (רו — אות יונית) אחרי שינוי נושא הנוסחא:

$$\rho = R \times \frac{S}{l}$$

יחידת  $\rho$ , תהיה:  $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$  שם הגורם  $\rho$

התנגדות סגולית, והוא מציין מה ההתנגדות של תיל בעל שטח-חתך  $1 \text{mm}^2$  ואורך  $1 \text{m}$  העשוי מהחומר המוליך המבוקש. ההתנגדות הסגולית של חורים מוליכים שימושיים:



# פרקים בתורת החשמל



אינג' ג. אברהם

## 1. מטען חשמלי

בטכניקה שלנו כמות מטענים של אלקטרון כה זעיר מה, שאין היא יכולה לשמש יחידה היחידה הי' טכנית של מטען גדולה ממנו בהרבה והיא נקראת קולון (Cb).

## 2. מוליכים ומבדדים

שתי הקבוצות הראשיות של חמרים מבחינה חשמלית הן: מוליכים ומבדדים. כעת נצטמצם לחמירי רים מוצקים בלבד. חמרים, בהם כח המשיכה בין האלקטרונים של האטום לבין הגרעין כה חזק ש"כח היצון יכול להפריד ביניהם רק בקושי רב, נקראים מבדדים. בחמרים אלה כל אלקטרון קשור קשר חזק לאטום ורק כח חזק במיוחד יכול לגרום להינתקותו מגרעין האטום.

בחמרים מוליכים לעומת זאת, קיימים אלקטרונים אשר הקשר ביניהם ובין גרעיני האטום חלש יחסית, ולכן גם הם ללא כח היצון, ינדדו בין אטום לאטום. אם כעת נפעיל עליהם כח היצון, האלקטרוני "החפשיים" בלאי-הכי ינועו בקלות לפי מגמת הכח. המוליכים האלה הם מתכות. המוליך הטוב, הכסף, עקב מחירו הרב, שימושי במקרים מועטים בלבד, ואילו המוליכים השימושיים ביותר בתעשיית החשמל הם הנחושת והחמירן (אלומיניום).

## 3. עצמת הזרם

אם נפעיל כח על המטענים בחומר מוליך, ראינו ש"המטענים ינועו. אם נבדוק את כמות המטענים ה"עוברים בשטח-החתך מסוים משך שניה, נקבל באיזה קצב עוברים המטענים בשטח החתך הנבדק. קצב מעבר המטענים נקרא עצמת הזרם. נסמן את ה"

החמרים אשר אנחנו משתמשים בהם, מורכבים מ"חלקיקים קטנים הנקראים אטומים. האטום מורכב מחלקיקים קטנים עוד יותר. במרכזו נמצא חלקיק הנקרא גרעין האטום וסביבו הגרעין במסלולי לים שונים מסתובבים האלקטרונים. כדי שהאלקטרוני יוכל להסתובב בצורה מתמדת חלים עליו כוחות שונים.

בין כוחות אלה קיים גם כח אשר הוא מסוג חדש, ו"א מקורו לא היה ידוע לפני כן. כח זה הנקרא כח חשמלי הוסבר בצורה הבאה:

לכל אלקטרון מטען חשמלי, ואילו בגרעין האטום מטען חשמלי מסוג אחר בכמות הזוהה עם כמות המטענים של כל האלקטרונים שבאטום, למטענו של האלקטרון נקרא מטען שלילי ולזה של גרעין האטום נקרא מטען חיובי.

כעת הכח המופיע בין מטענים בעלי אותו סימן הוא כח דחיה והכח שמופיע בין מטענים שונים סימן הוא כח-המשיכה.

ראינו שבחומר במצב נורמלי אותה כמות של מטען חיובי ושלילי. במקרה זה מדברים על חומר נטול טעון. אם מסיבה כלשהי, יש עודף של מטען נים שליליים או חיוביים של חשמל בטף מסויים, נדבר על טף טעון שליליות או חיובית.

נסיגן מוכר הוא שמשרק, אחרי השימוש בו, מושך פיסות נייר קטנות, לפי ההסבר הנ"ל נוכל לברר לנו מה קורה, ע"י שפשוף המשרק נוריד ממנו חלקיקים כך שהוא נהפך לטף טעון. בפיסת הנייר הי' קטנה החלקיקים ייפרדו כך ששוני הסימן יתקרבו למקום הקרוב למשרק וביניהם יתקיים כח משוי כח אשר יוכל, אם פיסת הנייר מספיק קלה, להרים אותה.

— נביא לדוגמא שניים ממקורות המתח השימור שיים:

סוללה — מקור מתח ההופך אנרגיה כימית לחשמלית. בתום התהליך הכימי כשלא נותרה אנרגיה כימית, הסוללה חדלה לפעול.

מחולל (גנרטור) — מקור מתח ההופך אנרגיה של דלק לאנרגיה של תנועה סיבובית ואז זו האחרונה לאנרגיה חשמלית. ללא אנרגיה סיבובית, אין אנרגיה חשמלית.

### 5. חוק אום (Ohm)

כדי שתיווצר זרמה חשמלית אנו צריכים לשני תנאים: מקור מתח המספק אנרגיה ומוליכים חשמליים אשר בהתחברם בין יציאות מקור המתח, מאפשרים את מעבר האלקטרונים בהם. כאשר נחבר גוף מחומר מוליך למקורות מתח בעלי מתחים שונים, נקבל שחזרם הזורם בגוף מהחומר המוליך יהיה יחסי לערך המתח.

הקשר בין המתח והזרם שבמוליך ניתן לפי הקיבול:  $U = I \times R$

הזרם  $R$  התלוי במבנה גוף המוליך ובחומר ממנו  $\text{Volt}$

עשוי, נקרא התנגדות. יחידתו לפי ההגדרה  $\text{Amper}$

ליחידה זו נקרא אום (Ohm) ונסמנה באיחוד היוני  $\Omega$  (אומגה).  $1 \Omega =$  התנגדותו של גוף, אשר כל  $1 \text{ V}$  של מתח בין הדקיו גורם לזרימת זרם  $1 \text{ A}$  בגוף. נשים בעלי התנגדות מכוונים נגדים.

לדוגמא: בדוגמאות הקודמות זרם  $5 \text{ A}$  במוליך כאשר מקור המתח סיפק מתח  $20 \text{ V}$ . מה התנגדות המוליך?

מה הזרם שיזרום במתח  $100 \text{ V}$ :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{20}{5} = 4 \Omega \quad \text{התנגדות המוליך:}$$

זרם במתח  $100 \text{ V}$ :

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{4} = 25 \text{ A}$$

נקח לדוגמא תיל העשוי מחומר מוליך. ככל שיארכו של תיל זה גדול יותר, גדולה יותר גם התנגדותו. לעומת זאת, אם תוך שמירה על אורך התיל נשנה את שטח החתך שלו, נראה שהתנגדות ע"י שנת ביחס הפוך לשטח החתך, זאת אומרת ששתי יציאות שטח החתך גדלה ההתנגדות פי שניים. כמו כן תלויה ההתנגדות בסוג החומר ממנו עשוי התיל. נסמן את שטח החתך באות  $S$  ואת האורך באות  $l$ . נוכל כעת לרשום את ההתנגדות בצורה הבאה:

$$R = \rho \times \frac{l}{S}$$

( $\rho$  קבוע החומר)

מסעינים באות  $Q$  ואת הזמן באות  $t$  עצמת הזרם

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{תהיה:}$$

עצמת הזרם נמדדת ב-  $\frac{\text{Cb}}{\text{Sec}}$  הנקראת אמפר (A)

לדוגמא: במוליך חשמלי עוברים משך דקה  $300$  קולונים. מה עצמת הזרם?

$$Q = 300 \text{ Cb}$$

$$t = 1 \text{ דקה} = 60 \text{ Sec}$$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{300}{60} = 5 \text{ A}$$

### 4. מתח

כדי להעביר אלקטרונים ממקום אחד לשני עלינו להשקיע עבודה. אם כעת רוצים אנו להעביר יותר אלקטרונים, נצטרך להשקיע עבודה העומדת ביחס ישר לכמות המטענים, אותה נעביר. נסמן את ה'עבודה או האנרגיה הדרושה להעברת המטענים ב' את  $W$  (Work).

נבדוק כעת מה כמות האנרגיה או עבודה שיש ל'השקיע כדי להעביר יחידה אחת של מטען ממקור זה אחת לשנייה. כאשר גדל זה ידוע לנו, נקבל נר' כל לחשב את האנרגיה הדרושה כדי להעביר כל כמות דרושה של מטען.

כמות האנרגיה הדרושה כדי להעביר  $1 \text{ Cb}$  של מט' ען בין שתי הנקודות הנבדקות תיקרא מתח. לפי

$$U = \frac{W}{Q} \quad \text{ההגדרה, המתח יהיה:}$$

את האנרגיה מודדים ביחידת ג'אול (Joule). אני רגיה של ג'אול מושקעת כאשר מטעילים כח של קילוגרם לאורך דרך של  $10,2$  סטנימטרים. לפיכך

יחידת המתח תהיה  $\frac{\text{Joule}}{\text{Cb}}$ . בחיי יום יום נק'

רא ליחידה זו וולט (V).

עלינו להדגיש שמתח קיים תמיד בין שתי נקודות. אין לדבר על מתח של נקודה אחת!

לדוגמא:  $300$  קולונים שהועברו במוליך לפי ה' דוגמא הקודמת, עברו בין שתי נקודות בנייהם ה' מתח  $20 \text{ V}$ . כמה עבודה השקענו בהעברת המטענים?

$$Q = 300 \text{ Cb}$$

$$U = 20 \text{ V}$$

שני נושא בנושחת המתח:

$$W = U \times Q = 20 \times 300 = 6000 \text{ Joule}$$

את האנרגיה אנו צריכים באמצעות מתקנים אשר הופכים אנרגיה מצורה אחרת לצורה חשמלית. מתקנים אלה נקראים מקורות מתח. למקורות מתח שתי יציאות שביניהן מופיע המתח. היציאה הסע'י' זה חיובית נקראת + וזו הסעונה שלילית נקראת -

# לוחות מבודדים

## ש. קנשטיין

אורך החיים של כל הסרכינים בתוך הלוחות כולל מנעים, מפסקים אוטומטיים וכו', מכיוון שאין ב" לוח חלקי פח, ואין צורך לצבוע אותו, נסוגות מי אתנו כל אותן הבעיות הטופיעות בהחלדה, הן מי בחינה מכנית והן מבחינה חשמלית.

במקום שבו יש אנק רב וחששים מהצטברות מי עיבוי קיימת אפשרות לאפשר ללוח „לנשום" דרך יציאת אוויר לח בצורה חופשית.

כל התכונות המכניות של מכשירים חשמליים, תלוי יות בסופו של דבר בחיבורים עלידי ברזים, בקפיי צים ובחלקים אחרים עשויים ממתכות, שהלחות גורמת להתבלותם המהירה. תכונת „וליגה מבי קרת" זו של אוויר מונעת היווצרות מי עיבוי ומונעת הצטברות אבק בלוח, דבר המאריך את חי האלמני טים הסרכינים בתוכו.

### ג. בידוד מושלם

התכונה החשובה ביותר הנדרשת ממוצרי חשמל היא: הננה על המפעיל מהתחשמלות. החומרים הפלסטיים מהם עשויים הלוחות הינם מבודדים ומאפשרים הפעלת העיוד גם עלידי אנשים בלתי מאומנים, ללא סכנת התחשמלות. דבר זה נוסך בטחון במפעיל ובחשמלאי.

עוד יש לזכור תמיד — בידוד מושלם טוב יותר מההארקה הטובה ביותר!

תכונת בידוד זו נותנת לנו אפשרות למקם לוחות מבודדים במקומות רטובים, ללא חשש להתחשמלות או לתקלות בפעולת האלמנטים בתוך הלוח, ובעיקר נותנת לנו תכונה זו — בטחון בבטיחות הגבוהה.

### ג. מבנה דקורטיבי — שקוף

הצורה החיצונית של לוחות מבודדים הינה דקור רטיבית ומאפשרת שימוש בלוח גם במקומות שעד כה לא ניתן היה לשים בהם לוחות. הלוחות המבודדים שגורים במכסים פלסטיים שקרי פים הנותנים ראות טובה על הנעשה בתוך הלוח גם ללא פתיחת המכסים.

כמו כן נותנת האפשרות למקח על מצב האלמנטים בתוך הלוח, בשל המכסים השקופים השגורים על התאים, בטחון לאנשים הפועלים את העיוד שי בלוח.

### ד. מבנה מכני

הלוחות המבודדים בנויים ויחידות סטנדרטיות בעלות גדלים מיוחדים קבועים. דבר זה מאפשר חלוקה וי הסדרה בין חלקים אופרטיביים שונים בתוך הלוח.

עם פיתוח החומרים הפלסטיים החדשים, החלו להופיע מוצרים חדשים, אשר במקרים רבים נרמו למהפכה בשימוש של החומרים והמוצרים הישנים. מכיוון שהחומרים הפלסטיים הם בעלי תכונות בידוד טובות, מובן שהם כובשים יותר ויותר את מקומם של החומרים הקונבנציונליים בתחום מוצרי החשמל.

נושא חדש שהתפתח בתנופה רבה הוא — לוחות מבודדים.

גם לוחות החשמל החדשים, כולל לוחות חלוקה עד 1000 אמפר ולוחות פיקוד למטרות שינוי, שהתפתחו בארץ לאחרונה בתנופה רבה, מתחילים לפנות את מקומם למחליפיהם — הלוחות המבודדים.

לוחות מבודדים משמשים כבר כיום בעולם לכל מטרות חלוקת אנרגיה או פיקוד.

התרחבות השימוש בלוחות מבודדים נובע מרבי גוניות השימוש והיתרונות הרבים. להלן נסקור ית רונות אלה ונראה איזה אפשרויות פותח השימוש בלוחות מבודדים.



לוח נתיבים

### א. אטימות

הלוחות המבודדים אוטומים לאבק ונוגנים אטימה בסני רטיבות וזים, אף בהתזה ישירה. תכונה זו מאפשרת שימוש בלוחות מבודדים במקומות בעלי לחות גבוהה או אוויר קורוזיב כגון בתי אריות, מפעלים כימיים, חלוקת אנרגיה במקום פתוח תחת כיפת השמיים, לוד הים וכו'. כן משמשת האטימה הטובה גורם חשוב בהגדלת

ומאפשרים שימושים רבים וחדשים ללוחות, תוך מתרון בעיות רבות שעד היום היינו מתעלמים מהן, או פותרים אותן חלקית בלבד.



גזרת המשייח

טיפול במעגל אחד אינו מצריך ניתוק הורם ליתר המעגלים, כיוון שהוא נמצא בתא מבודד עם כל אביזרי הפיקוד והחלוקה שלו. כמו כן עוזרת החל"ר קה ליחידות לעצירת קצרים הסתפתחים במערכת במני מעבר מאלמנט לאלמנט ע"י קשת חשמלית. המבנה הטכני של לוחות מבודדים מאפשר תוספת של יחידות, לפי הצורך, כאשר ניתן להוסיף חלקים סטנדרטיים נוספים מבלי לשנות את המבנה הקודם ותוך שמירה על האסתטיות ועל רציפות מעולת המערכת.

למרות הצורה הדקורטיבית ובנוסף אליה יש לכ"ר חות המבודדים גם חזק טכני רב, ואפילו — מכת מטיש חזק במרכז המסכה של התא לא תגרום לפגיעה כלשהיא.

מובן שתכונות אלה נותנות ללוחות מבודדים עדיפות רבה על פני לוחות הפח הסטנדרטיים, ועובדה שבארצות המפותחות הם אף מחליפים כליל את לוחות הפח.

באם ניקח בחשבון את העובדה שזמן ייצור הלוח המבודד קצר יותר עקב המבנה הקיים, וכן נתחשב בכך שעקב הבידוד המושלם ניתן לבנות לוחות קטנים יותר במסדיותיהם, דבר המתבטא ברווח מקום וכסף, נוכל להבין את התפוצה הרבה אליהם הניעו לוחות אלה בזמן האחרון.

ניתן לשכס ולומר שלוחות מבודדים מהווים כיום את השכלול החדש ביותר בטשא לוחות החשמל.

## תפעול מתקני תאורה פלואורסצנטית

אינג' צ. ברינר

היונה עליפי מדיוות שנערכו באוסטריה, התקבל במקרים מסוימים זרם קו של 10 עד 20 פעם הורם הנומינלי. סאינד, ניתוק המעגל טן הדינה עלול ליצור כתוצאה של השראות המושק, מתח של אלפי וולט על פני המפסק.

ככל שפעולת המתיחה של המעגל איטית יותר, כך קטן יותר המתח שנוצר על פני מגני המפסק. לעומת זאת, חייבת פעולת הסנירה לחיות טהירה מאד לכל יספיק הזרם הגבוה העובר באותה עת לרתך את מגני המפסק. למתוג המעגל הנדון דרוש על כן מפסק בעל מנגנון המסוגל לסגור מהר ולפתוח לאט את המעגל.

למרות תפוצתם הרבה של המיתקנים הללו, לא כל הבעיות הקשורות בהפעלתם ידועות ברבים במידה מספקת.

נביא כאן מספר דוגמאות של בעיות מסוג זה ויציע הצעות לפתרונן.

### א. מתוג

סרביה מעגלים אלו כוללים משק וקבל. המשק, המשמש להצתת הנורה ולוויסות זרמה, מחובר בטור עמה, בעוד הקבל, המיועד לשיפור מקדם ההספק, מחובר במקביל על כניסות המעגל. כתוצאה מכך בעת סנירת המפסק ייטען הקבל בזרם שעוצמתו תיקבע על ידי ערך המתח הרגעי ואימפדנס מעגל

## ב. בחירת הנתכים

נתכים רגילים כנתיך ה"אנגלי" וה"קונטיננטלי" הינם בעלי אינרציה תרמית ניכרת ולכן אינם רגישים לזרמי ההתחלה הקצרים העוברים דרכם. לעומתם נתכים מסוג: HRC (High rupture capacity) הינם בעלי כושר ניתוק גבוה ותגובה מהירה מאד לזרמים גבוהים, והם על כן יגיבו לזרמים הנידונים.

יש לכן להגדיל פי 2.5 את ערכם המחושב של נתכי HRC עבור מיתקני מאור פלוארסצנטי. את מידות הכבלים והאביזרים השונים של המיתקן יש, כמובן, להתאים לגודל הנתיך.

## ג. זרמים הרמוניים במוליך האפס

לרוב ידוע כי בעומס תלת־פזי מאוזן היסב של נורות ליבון, לא עובר זרם דרך מוליך האפס. אך ידוע הרבה פחות כי במקרה וחלופי את נורות הליבון בפלוארסצנטיות תוך שמירה על איזון מושלם, יעלה הזרם במוליך האפס לכדי חציית זרם המזה. הסיבה לכך היא שהנורה הפלוארסצנטית מעוותת את צורת הזרם העובר דרכה ויוצרת "זרמים תרמוניים" שאינם מתאזנים בנקודת המרכז של הכוכב, (גל מחזורי שאינו סינוס טהור ניתן תמיד לתאר בעזרתו של גלים סינוסואידליים טהורים וביניהם הנל היסודי בעל התדירות היסודית — זו של הגל הנבדק — וסידרה של גלים שתדירותיהם כפולות שלמות של התדירות היסודית. גלים אלו נקראים גלים הרמוניים של הגל היסודי). הזרם במוליך ה"אפס נגרם בעיקר על־ידי הגל הרמוני השלישי (150 הרץ) והחמישי (250 הרץ). במקדם הספק אינדוקטיבי של 0.88 יהיה כאמור הזרם במוליך האפס שווה למחצית זרם המזה.

מכך נובע בין השאר, שהאיזון המינימלי הדרוש להבטחת פעולה תקינה של המעגל, חייב להיות מעולה הרבה יותר כאן מאשר בעומס של נורות ליבון.

## ד. ההפרעות למקלטי רדיו וטלוויזיה

בנורה הפלוארסצנטית המקובלת, מפרכות מליטת האלקטרונים בנקודה אחת של חוט הלהט — או הקתודה — המכונה "הנקודה החמה". מליטה זו

יוצרת סביבה מתחים וזרמים בתדירויות גבוהות, והתוצאות הן שתיים:

1. קרינה אלקטרומגנטית מן הקתודה, בעיקר בתחום התדירויות הבינוניות, הנקלטת לכן בי קלות על־ידי מקלט רדיו.

2. זרמים בתדירויות גבוהות העוברים לתוך הרשת ומשם חוזרים למקלט.

מה ניתן לעשות לביטול הרעש הנגרם על ידי כך? באופן כללי ניתן להעיר כדלקמן:

א. מגעים גרועים בין הנורה לבית הנורה יוצרים למעשים רעש.

יש על כן לבדוק נקודה זו.

ב. בנורה קרובה לסוף חייה, נוטה הנקודה החמה לנדוד על מני הקתודה בחיפוש עקר אחר ה"שכבה הפולטת אלקטרונים. שום דבר כאן לא יעזור מלבד החלפת הנורה. יש גם מקרים — נדירים אמנם — שנורות חדשות הראו תופעה דומה, והיה צורך להחליפן.

ג. בנורות עם הצתה מהירה, מחוממת הקתודה על כל אורכה, ואין בה "הנקודה החמה". דבר זה מפחית את הרעש במידה ניכרת.

נתייחס כעת לכניית הרעש כתוצאה מן הקרינה של הקתודה ועל זאת ניתן לאמר:

1. תחום ההפרעה המסכימלי הוא כ־4 מטר מן הנורה.

2. כבל חיבור לאנטנה חיצונית יש לסכך במעטפת מתכתית מוארכת.

3. אם הנורה חייבת להימצא קרוב למקלט, יש להרכיב סביבה רשת מתכתית דקה מוארכת.

ולבסוף על ההפרעה דרך הרשת:

א. במקרים קלים די בחיבור קבל של 0.01 מיקרו־פרד על הכניסות לנורה מצד הרשת, על מני הנורה עצמה כמובן.

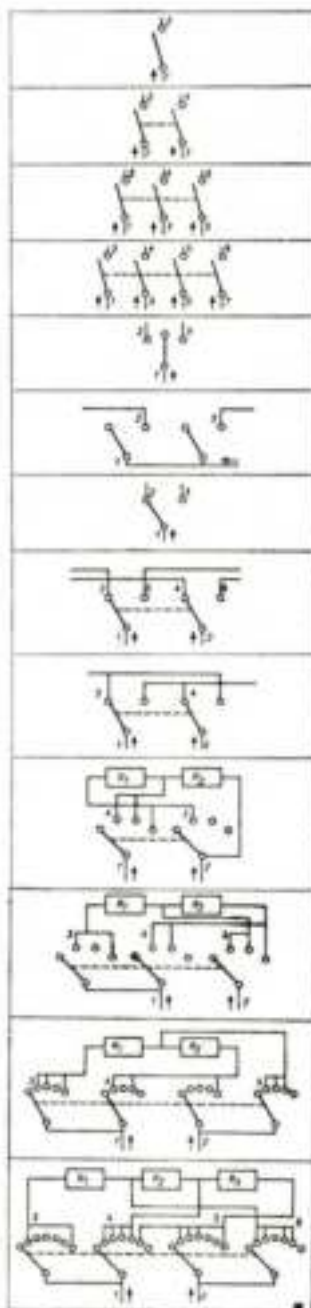
ב. במקרים אחרים יש להרכיב מסגן מתאים.

כל האמור לעיל נכון גם לגבי מקלטי טלוויזיה מלבד ערכי הקבלים שבמסגן שיהיו כ־470 פיקופרד, כי תדירויות העבודה גבוהות הרבה יותר מאשר ברדיו, כמו כן יש לציין שאנטנה פנימית של טלוויזיה רגישה להפרעה בעוד חיבור לאנטנה חיצונית דרך קבל קואקסיאלי בעל סיכוך מוארך יסנע אותה.

# עברית פהלכה

## עברית

- |         |                                   |
|---------|-----------------------------------|
| דגם 1   | חדיקטבי                           |
| דגם 2   | דו־יקטבי                          |
| דגם 3   | תלת־יקטבי                         |
| דגם 03  | תלת־יקטבי ואפס                    |
| דגם 4   | דו־ירכי עם מצב „מופסק” ביניים     |
| דגם 5   | דו־ירכי עם מצב „מופסק” לכל דרך    |
| דגם 6   | דו־ירכי ללא מצב „מופסק”           |
| דגם 6/2 | דו־ירכי, דו־יקטבי ללא מצב „מופסק” |
| דגם 7   | מחליף דו־יקטבי, ללא מצב „מופסק”   |
| דגם 8   | חדיקטבי, בעל 4 מצבים              |
| דגם 9   | דו־יקטבי בעל 4 מצבים              |
| דגם 10  | דו־יקטבי, בעל 5 מצבים             |
| דגם 11  | דו־יקטבי, בעל 7 מצבים             |



צרפתית	אנגלית
interrupteurs : unipolaires	one-way switches : single-pole
bipolaires	Double-pole
tripolaires	three-pole
tripolaires avec neutre coupé	three-pole with switched neutral
interrupteurs à plusieurs directions (commutateurs) :	multiway switches :
à deux directions avec arrêt	two-way with intermediate off-positions
à deux allumages	two-circuit
à deux directions	two-way
à deux directions bipolaires	two-way double-pole
inverseurs	intermediate
commutateurs de réglage :	regulating switches :
à coupure unipolaire et 4 positions	single-pole 4 position
à coupure bipolaire et 4 positions	double-pole 4 position
à coupure bipolaire et 5 positions	double-pole 5 position
à coupure bipolaire et 7 positions	double-pole 7 position

# תאנית השמל ולקחה

בהודעה שהגיעה לא מכבר לאחד ממשרדי חברת החשמל נמסר על תאונת חשמל קטלנית שאירעה באגף חדש של בנין משרדים. הנפגע היה פועל בנין שעסק בחציבת חור ברצפת קומה ב' של האגף החדש. תוך כדי העבודה נשמעה לפתע צעקה, חשמלאי שעבד בקרבת מקום חש אל הנפגע ומצאו רכון על האיזמל שבידו. החשמלאי בדק את האיזמל במנורת ניאון ומצאו תחת מותח. מחוסר אפשרות לנתק את האספקה במקום, מהר לקומה א' והפסיק שם את האספקה בשני לוחות החלוקה. אולם הוא אחר את המועד. הנפגע הובא לבית החולים ללא רוח חיים.



חקירת המקרה העלתה את הפרטים הבאים :  
לוח החלוקה של האגף החדש היה מחובר ללוח הראשי של הבנין באמצעות צנור פלסטי שהיה יצוק ברצפה בה נעשתה החציבה על ידי הנפגע. מסתבר, שהאיזמל פגע בצינור וחדר בעדו וכתוצאה מכך נפגע הבדוד של אחד מתילי הפזה והאיזמל קבל מתח. בבדיקה נסיונית שנערכה לאחר מכן נמדד מתח של 230 וולט בין המקום הפגוע בתיל הפזה לבין הרצפה עליה ניצב הפועל. במלים אחרות בין ידו של הפועל שאחזה באיזמל לבין רגלו שנצבה על הרצפה היה מתח של 230 וולט אשר גרם לזרם הקטלני.

אפשר לציין מספר מסקנות ולקחים מהמקרה שתואר לעיל :

- א. לפני ביצוע עבודת חציבה ברצפה או בקיר יש לברר את תואי המובילים והכבלים השייכים למתקן החשמלי. (רצוי לברר כמובן גם את פרטי המתקנים האחרים כמו מים ונז).
- ב. בהמשך לביורר הנ"ל, יש לנתק את כל מעגלי החשמל הקרובים למקום העבודה.
- ג. קרוב לודאי שאילו היתה קיימת במתקן החשמלי האמור, הגנה מפני זרמי פחת לאדמה, גדולים היו סכוייו של הפועל להנצל למרות העובדה שלא נקט באמצעי הזהירות הנדרשים שכן מפסק המגן הרגיש ומהיר הפעולה (F.I) ש"נכנס לאחרונה לאופנה" מסוגל לפעול תוך 0.03 שניות כאשר זרם הפחת לאדמה הוא לפחות 30 מיליאמפר.



# היגיון

## בקיאות בתחנות החשמל

1. א. העומק המינימלי של חריצים עשויים בתוך קירות, בהם יש להתקין צינור פלסטי בהתקנה סמויה, חייב להיות גדול ב־5 מ"מ מהקוטר החיצוני של הצינור.  
ב. העומק המינימלי של החריצים תלוי בעובי הקיר אך יהיה 5 ס"מ לפחות.  
ג. העומק המינימלי של החריצים תלוי בסוג הקיר.
2. בדיקה חזותית של שלמות מוליך ההארקה ואלקטרודת ההארקה חייבת להיעשות :  
א. בכל מתקן תעשייתי אחת ל־5 שנים.  
ב. בכל מתקן ליוצור ולאספקת חשמל אחת ל־5 שנים.  
ג. במתקנים הנמצאים במקומות בהם קיימת סכנת אכול.
3. קביעת כבל לפני כיסויו בטיח  
א. מותרת בכל אזור ובלבד שתהיה בת קיימא.  
ב. מותרת אך ורק בחבקים תקינים.  
ג. מותרת בחבקים מתאימים בתנאי שלא יהיו מתכתיים.
4. התקנת תיבות מעבר ברצפה.  
א. אסורה בהחלט  
ב. מותרת בתנאי שהתיבות תהיינה אטומות ועמידות בפני פגיעות מכניות.  
ג. מותרת רק בתנאי שהתיבות עשויות מפלדה.
5. מבנה מתכתי או יסוד מבנה הכולל חלקים מתכתיים  
א. יכול לשמש כאלקטרודת הארקה טבעית בכל מקרה.  
ב. איננו יכול לשמש כאלקטרודת הארקה טבעית בגלל סכנת האי-כול המוגבר באדמה.  
ג. יכול לשמש כאלקטרודת הארקה טבעית בתנאי שהוא מתאים גם למטרה זו.
6. חובת הארקת הגנה של ממסרים בעלי גוף מתכתי הפועלים במתח של 110 וולט כלפי האדמה, חלה :  
א. בכל מקרה.  
ב. רק במתקנים תעשייתיים או ביתיים בהם לא קיים מופסק זרם ראשי.  
ג. בכל מתקן כשגובהם מעל הרצפה קטן מ־2.30 מטר.

סטן בעיטול את התשובה הנכונה, כתוב מעבר לדף את סגך וכתובתך.

מזר השלח לפי כתובת המערכת.

תשובות תתקבלנה עד יום 15.8.1969

שאלה 1 :	שאלה 2 :	שאלה 3 :	שאלה 4 :	שאלה 5 :	שאלה 6 :
א	א	א	א	א	א
ב	ב	ב	ב	ב	ב
ג	ג	ג	ג	ג	ג

- שאלה 1 : (ב) ראה תקנות „כבלים” 99  
שאלה 2 : (ב) ראה תקנות „לוחות” 30  
שאלה 3 : (ג) ראה תקנות „הארקות” 23  
שאלה 4 : (ג) ראה תקנות „טובילים” 80  
שאלה 5 : (ג) ראה תקן 108  
שאלה 6 : (א) ראה תקנות „הארקות” 29

★ לשאלה מס. 1 להעיר : בתקנות „הארקות” 14 (ד) נאמר אמנם שתילים מתכתיים המשמשים לנשיאת כבלים חשמליים חייבים להיות מוארקים, אולם בתקנה 16 (ב) יש פטור לתילים מתכתיים נושאי כבלים בעלי עטיפה מתכתית מוארקות וגם בתקנות „כבלים” 99 נאמר שאם התיל מבודד או מופרד מהכבל או שהכבל קשור לתיל הנושא בחבקים מחומר מבודד קיים גם כן פטור.

★ לשאלה מס. 2 יש להעיר שההגדרות בתקנות מבחינות בין מפסק ומבטח.

★ לשאלה מס. 6 יש להעיר שזרם התקלה במעגל המתואר הוא 107 אמפר זרם זה גדול פי 1,78 מהזרם הנקוב של המפסק האוטומטי והפסק (60 אמפר).

---

---

## הודעה

החשמלאים אשר השתתפו בסדרת ההרצאות לחשמלאים או חשמלאים אחרים המעוניינים להשתתף מקורס מיוחד (3 – 2 ימים) אשר יכשירם להתקין מתקנים לחימום רצפות מתבקשים לפנות למערכת.

כ"כ מתבקשים לפנות למערכת כל החשמלאים המעוניינים בסיור מאורגן במתקן ההסקה בשכון רימון בסביון.

---

---

בסך הכל הגיעו 116 פתרונות, מהם 44 נכונים  
להלן רשימת הפותרים נכונה את חידון מס' 6

- |                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 23. ירון אלעזר (חיפה)         | 1. אברהמי אפרים (בית קמה)        |
| 24. כהן מרדכי (רמת גן)        | 2. אופיר יצחק (עין החורש)        |
| 25. מנדלסון אברהם (חיפה)      | 3. איזנברג מתי (בני ברק)         |
| 26. מנהיים מרדכי (נשר) חיפה   | 4. אלון שמעון (פתח תקוה)         |
| 27. נוימן גדעון (קרית חיים)   | 5. אריאלי מרדכי (בני ברק)        |
| 28. ניר עמינדב (רחובות)       | 6. בנימין בוכרוב (חיפה)          |
| 29. סילברמן אהרן (בית חרות)   | 7. בן-יהודה דוד (בני ברק)        |
| 30. ספיץ שמעון (משואות יצחק)  | 8. ברילב חנן (עין החורש)         |
| 31. עמלי ארנון (גונן)         | 9. בנימין ברק (ירושלים)          |
| 32. קום שמעון (קרית אתא)      | 10. גבאי אמנון (פתח תקוה)        |
| 33. קופלוביץ דוד (קבוץ רחמה)  | 11. גורפינקל אלחנן (בני ברק)     |
| 34. קחטן עובדיה (חיפה)        | 12. גליקר אלי (חיפה)             |
| 35. קטנוב שלמה (חולון)        | 13. גרוס משה (חיפה)              |
| 36. קידר ירמיהו (בית ג'וברין) | 14. גרצס אהרן (רמת אליהו)        |
| 37. קולונימוס סלומון (חיפה)   | 15. הופמן נתן (חיפה)             |
| 38. רודד אלי (לוד)            | 16. הורנקרינג עוזי (ראשון לציון) |
| 39. רוני גיורא (נבעת עוז)     | 17. הינברגר אבי (ירושלים)        |
| 40. רו יצחק (ירושלים)         | 18. הרפז משה (עין הכרמל)         |
| 41. רו שלמה (קבוץ גן שמואל)   | 19. וירצר חיים (נבעתיים)         |
| 42. שוירמן י. (רחובות)        | 20. וינגרקו אריה (חיפה)          |
| 43. שטרדר יששכר (הוד השרון)   | 21. חזני אליהו (פתח תקוה)        |
| 44. שלוסברג נח (בתיים)        | 22. חרטון נד (כפר ידויה)         |

ב10 פרסים שהוגרלו בין 44 בעלי הפתרונות הנכונים זכו :

- |                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| 6. הינברגר אבי (ירושלים) | 1. אופיר יצחק (עין החורש) |
| 7. כהן מרדכי (רמת גן)    | 2. בן-יהודה דוד (בני ברק) |
| 8. קום שמעון (קרית אתא)  | 3. ברילב חנן (עין החורש)  |
| 9. קחטן שמעון (חיפה)     | 4. גבאי אמנון (פתח תקוה)  |
| 10. שלוסברג נח (בתיים)   | 5. גרוס משה (חיפה)        |

# סיכום של עשרים שנות התפתחות

