

התאגדות מהנדסי חשמל ואלקטרוניקה



**מסמך עקרונות הנדסיים בנושא:**

# מערכות לאגירת אנרגיה חשמלית בסוללות

הוכן על ידי: **בוריס שוורץ**

מהדורה ראשונה

**אוקטובר 2024**

## תוכן העניינים

עמוד	
3	הקדמה
4	תקציר
5	הגדרות
7	<b>פרק ראשון: מבוא</b>
8	<b>פרק שני: סיווג, מבנה ומרכיבים עיקריים של מערכת אגירת אנרגיה חשמלית בסוללות (BESS)</b>
8	2.1 סיווג מערכות אגירה ומרכיביה העיקריים
10	2.2 סוללות
11	2.3 ציוד להמרת אנרגיה
13	2.4 מערכת ניהול סוללות (BMS - Battery management system)
14	2.5 מערכת לבקרה ושליטה על טמפרטורה במערכת האגירה
14	2.6 מערכת בטיחות אש (FSS-fire safety system)
14	2.7 מערכת בקרה כוללת
14	2.8 ארו המרכיבים של יחידות אגירה אינטגרליות
15	<b>פרק שלישי: תקנות חוק החשמל, הנחיות, תקנים</b>
15	3.1 הנחיות להתקנת מערכות אגירת אנרגיה במצברים המחוברות לרשת החלוקה
19	3.2 תקנות החשמל (התקנת מערכות אל-פסק סטטיות במתח נמוך), תשנ"ג-1993
19	3.3 תקינה ישראלית
20	3.4 הנחיות חברת החשמל וחברת נגה לחיבור מערכות אגירה להזרמת חשמל לרשת
21	3.5 תקינה אירופאית
23	<b>פרק רביעי: תכנון מתקן ייצור וצריכה עם מערכת אגירה</b>
23	4.1 סיווג ומשטרי הפעלה
25	4.2 יחסי גומלין בין מתקן ייצור וצריכה לבין הרשת
27	4.3 אמצעי הגנה בפני חישובול במתקן ייצור וצריכה שנועד לפעול גם באי-חשמלי
27	4.4 היבטים כלליים בתכנון מתקן חשמלי עם מערכת אגירה בצד זרם החילופין AC
28	4.5 צד הזרם הישר (DC) במערכות אגירה
30	<b>פרק חמישי: התקנה של מערכת אגירה חשמלית</b>
30	5.1 התקנת סוללות – היבטים בטיחותיים
31	5.2 מיקום הסוללות
31	5.3 מיקום הממירים
32	<b>פרק שישי: בחינה, בדיקה ובקרה</b>
32	6.1 בחינה ויזואלית של האמצעים המיועדים למעבר לעבודה באי-חשמלי
32	6.2 בדיקת האמצעים להגנה בפני חישובול
32	6.3 בדיקות פונקציונליות
32	6.4 ביקורת של בעל הרשת
33	רשימת מקורות

## הקדמה

מסמך זה דן בעקרונות הנדסיים לתכנון ולהקמה של מתקנים חשמליים עם מערכות לאגירת אנרגיה חשמלית בסוללות. עקרונות אלה תואמים את הנדרש על פי תקנות חוק החשמל, אמות המידה של הרשות לשירותים ציבוריים חשמל, הנחיות של מינהל החשמל ברשות החשמל, תקינה בינלאומית ופירסומים מקצועיים על אופן הבניה של מתקני חשמל עם מערכות לאגירת אנרגיה חשמלית במדינות שונות בעולם.

**השימוש במידע המופיע במסמך זה לצורך תכנון, תפעול ותחזוקה של מתקן ספציפי הוא באחריותו של המשתמש בלבד.**

## תקציר

המסמך מורכב משישה פרקים.

**פרק הראשון** הוא פרק המבוא המציין שהשימוש במערכות האגירה הולך ומתרחב בעולם ובארץ בעקבות הרחבת השימוש באמצעי ייצור החשמל ממקורות אנרגיה מתחדשת, הנתונים לתנודות ביכולת הייצור כתוצאה משינויים סביבתיים פתאומיים ובגלל העדר התאמה בין עקום הייצור לבין עקום הצריכה של חשמל מבחינת שעות הביקוש. אך מלבד מערכות האגירה המשולבות עם אמצעי ייצור האמורים, המחברים במישרין לרשת אספקת החשמל, קיים מגוון רחב של מערכות אגירה המותקנות במתקני חשמל למטרות נוספות הנדונות במסמך זה.

**בפרק השני** של המסמך מוצגים סיווג, מבנה ומרכיבים עיקריים של מערכת לאגירת אנרגיה חשמלית בסוללות (BESS= Battery Energy Storage Systems) **שהן נשוא המסמך.**

**פרק השלישי** של המסמך דן בתקנות חוק החשמל, הנחיות ותקנים ישראלים ואירופאים. דרישות תקנות חוק החשמל, תשי"ד-1954 הרלבנטיות חלות על כל מערכות החשמל ובתוכן המערכות לאגירת אנרגיה. תקנות החשמל המתייחסות במישרין לאחד הסוגים של מערכות האגירה, הן תקנות החשמל (התקנת מערכות אל-פסק סטטיות במתח נמוך), תשנ"ג-1993. התייחסות רחבה יותר הרלבנטית לכל סוגי מערכות האגירה, ניתנת בהנחיות מנהל לענייני החשמל ברשות החשמל.

**פרק רביעי** דן בתכנון המתקן שבו משולבת מערכת לאגירת אנרגיה חשמלית. מתקן כזה נועד בדרך כלל הן ליצור והן לצריכה של חשמל עם או בלי חיבור לרשת חלוקה. מתקן ייצור וצריכה (Prosumer Electrical Installation) עם מערכת האגירה, כמו כל מתקן חשמלי אחר, חייב להתאים לכל דרישות חוק החשמל ותקנותיו, לתקנים ולהנחיות של הגורמים המוסמכים. בפרק זה מוצגות דרישות נוספות שאינן עומדות בסתירה לדרישות האמורות אלא משלימות אותן, לעתים מהצד המחמיר יותר. דרישות אלה נובעות מהנאמר בתקינה האירופית העדכנית שהיבטיה ייבחנו, קרוב לוודאי, בעת עדכון תקנות החשמל והנחיות הרלוונטיות הקיימות.

**פרק חמישי** דן בהיבטים שיש להתחשב בהם במהלך התקנה של מערכת לאגירה חשמלית במתקן חדש או קיים.

**פרק שישי** עוסק בבדיקה של מערכת לאגירה חשמלית בסוללות לפני חיבורה הראשון למתח ובבדיקות תקופתיות כנדרש. כאשר מדובר בהתקנת מערכת האגירה במתקן חדש בדיקת המערכת היא חלק מבדיקת המתקן שנדונה בהרחבה במסמכים אחרים שפורסמו על ידי ההתאגדות. בחינה, בדיקה ובקרה של מערכת האגירה המוצגות בפרק זה הן בנוסף לאמורות לעיל ומתייחסות בעיקר לאופי הייחודי של שילוב מערכת לאגירה חשמלית בסוללות במתקן ייצור וצריכה.

## הגדרות

- 1 **"אי חשמלי"** – משטר עבודה של יצרן מבוזר המתנתק מרשת החלוקה והמספק חשמל לגיבוי במתקן חשמלי;
- 2 **"אמות מידה של רשות החשמל"** – "כללי משק החשמל (אמות מידה לרמה, לטיב ולאיכות השירות שנותן ספק שירות חיוני), תשע"ח-2018 "
- 3 **"בריחה תרמית" ("thermal runaway")** – תופעה הקשורה בעיקר לשימוש בסוללות ליטיום-יון, המתאפיינת בפליטת חום גדולה בתוך הסוללה כתוצאה מקצר בין אנודה לקטודה, שעלולה לגרום, במקרים קיצוניים, לפיצוץ הסוללה ולנזקים בסביבה;
- 4 **"הגנת חוסר זינה מהרשת" (LOM- Loss of main)** - הגנה שנועדה לנתק את המתקן החשמלי הכולל אמצעי ייצור פנימיים באופן שימנע הזרמת האנרגיה החשמלית מהמתקן לרשת, במקרה של הפסקת חשמל או אירועים חריגים אחרים ברשת.
- 5 **"ממיר"** – ציוד המרה של זרם חילופין לזרם ישר ובכלל זה מיישר, מטען, מהפך, מהפך היברידי;
- 6 **"מצבר"** – מארז המכיל מספר תאים לאגירת אנרגיה המחוברים ביניהם;
- 7 **"מערך מצברים"** – מצברים או מודולים של מצברים המחוברים בטור ו/או במקביל שיכולים לספק את המתח הנדרש, זרם ויכולת האחסון אנרגיה במיתקן אגירה;
- 8 **"מודול מצברים"** – מצבר או מספר מצברים המחוברים ביניהם; יכול לכלול רכיבים אלקטרוניים למדידה, בקרת טעינה והגנות;
- 9 **"מודול סוללות"** – סוללה אחת או מספר סוללות המחוברות ביניהן והמערכת שמחברת אותן לממיר אשר יכולה לכלול רכיבים אלקטרוניים למדידה, בקרת טעינה או הגנות;
- 10 **"מארז סגור"** – ארון או קופסא סגורה או נעולה ללא גישה חופשית לחלקים חשמליים שניתן לפתיחה באמצעות כלים או מפתח;
- 11 **"מערכת לאגירת אנרגיה חשמלית" (Electrical Energy Storage Systems (EESS))** - מערכת לאגירת אנרגיה חשמלית לשימוש בה במועד מאוחר יותר ממועד סיום האגירה.
- 12 **"מנהל מינהל החשמל (להלן: המנהל)"** – כהגדרתו בחוק משק החשמל, תשנ"ו-1996;
- 13 **"מהפך היברידי"** – מהפך המאפשר הוצאת אנרגיה מהמיתקן הפוטו-וולטאי, הן במקביל לרשת והן בפעולה עצמאית ללא רשת ויכול שיאפשר טעינת אגירת אנרגיה והפעלתה;
- 14 **"מחלק"** – בעל רישיון חלוקה כהגדרתו בחוק משק החשמל, התשנ"ו-1996, או מחלק היסטורי;
- 15 **"מתקן ייצור וצריכה" (PEI-Prosumer Electrical Installation)** – מתקן המשמש הן לייצור והן לצריכה של חשמל עם או בלי חיבור לרשת החלוקה החיצונית.
- 16 **"נקודת תווך"** – נקודה במקור זינה בזרם ישר (או בזרם חילופין חד מופעי) שהמתח בינה לבין כל אחד משני המוליכים שווה.
- 17 **נקודת חיבור לרשת (PCC- Point of Common Coupling)** – נקודת החיבור של המיתקן לרשת חשמל של המחלק בסמוך למונה החשמל;

מערכת ממוחשבת המשמשת את מרכז הפיקוח על מערכת החשמל הארצית לניטור, בקרה, שליטה ואופטימיזציה של מערכות ייצור והולכת חשמל.	18
הנציבות הבינלאומית לאלקטרו <b>(The International Electrotechnical Commission) IEC</b>	19
טכניקה הוא ארגון תקינה בתחום החשמל והאלקטרוניקה;	
אגודה מקצועית בינלאומית של <b>(Institute of Electrical and Electronics Engineers) IEEE</b>	20
העוסקים בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה, הנדסת מחשבים והנדסת תוכנה.	

## פרק ראשון: מבוא

מערכת לאגירת אנרגיה חשמלית (להלן: "מערכת האגירה") בנויה כדי לאגור אנרגיה לשימוש בה במועד מאוחר יותר ממועד סיום האגירה.

השימוש במערכות האגירה הולך ומתרחב בעולם ובארץ בעקבות הרחבת השימוש באמצעי יצור החשמל ממקורות אנרגיה מתחדשת, הנתונים לתנודות ביכולת הייצור כתוצאה משינויים סביבתיים פתאומיים ובגלל העדר התאמה בין עקום הייצור לבין עקום הצריכה של חשמל מבחינת שעות הביקוש. אך מלבד מערכות האגירה המשולבות עם אמצעי ייצור האמורים המחוברים במישרין לרשת אספקת החשמל קיים מגוון רחב של מערכות אגירה המותקנות במתקני חשמל למטרות שונות ובהן נדון בעיקר במסמך זה. ייעודי מערכות אגירה עיקריים הם:

### א. הגברת אמינות ואיכות אספקת החשמל למתקן הצריכה

יעוד זה הוא "הוותיק" מכולם. לסוג זה אפשר לשייך את מערכות "אל-פסק" בגדלים שונים המאפשרים גיבוי למערכות רגישות במתקן בעת הפרעות חולפות באספקת החשמל מהרשת הציבורית. במערכות מודרניות לאספקת החשמל בעולם נהוג להשתמש במערכות אגירה עם קיבולת אגירה גדולה המחוברות לקווי הולכה וחלוקה לשמירה על תדר ויציבות המתח במערכת במצבים תפעוליים שונים.

### ב. הארכת שעות השימוש בייצור עצמי של חשמל במתקן

המקרה השכיח של שימוש במערכות אגירה ליעוד זה הוא במתקני חשמל הניזונים ממערכות סולאריות או טורבינות רוח שבמתקן. החיסרון הגדול של מערכות ייצור מאנרגיה מתחדשת הוא שהייצור הוא בחלק משעות היממה בהיקף ובעיתוי שאינם תואמים את עקום העומס במתקן. שילוב מערכת אגירה מתאימה מאפשר לאגור את עודפי הייצור בשעות שבהן הביקוש הוא נמוך יחסית, ולנצל את האנרגיה האגורה בשעות הביקוש הגבוה.

### ג. ניהול עומס במתקן על בסיס הפרשים בתעריף עומס וזמן (תע"ז)

הפרשים במחיר החשמל בין מקבצי השעות השונים בתעריף על פי עומס וזמן (תע"ז) הם התמריץ הכלכלי לשימוש במערכת האגירה שמופעלת לאגירת אנרגיה חשמלית בשעות השפל (מחיר זול) ולניצול האנרגיה שנאגרה בשעות הפסגה (מחיר יקר).

מלבד החיסכון בעלות החשמל הנצרך במתקן החשמל מאפשרת מערכת האגירה במקרים מסוימים גם לחסוך בעלות החיבור למתקן ובעלות התשתיות במערכות חלוקה ואספקה הנדרשות לחיבור המתקן לרשת.

המינוח "מערכות לאגירת אנרגיה חשמלית" נקשר בדרך כלל אצלנו למערכת עם הרבה סוללות חשמליות, אך מערכות המאפשרות לאגור אנרגיה לשימוש מאוחר מתבססות על עקרונות פעולה שונים ומגוונים.

באופן כללי מערכות לאגירת אנרגיה חשמלית (Energy Storage Systems (ESS) נהוג לחלק, על פי סוג האנרגיה הנאגרת: כימית (מימן וגזים סינטטיים), אלקטרוכימית (סוללות), מכנית (הידרו, גלגל תנופה), תרמית (חימום מים סולארי, אגירת קור במים או בקרח) <sup>(1)</sup>. ברור שכל אחד מסוגי מערכות אגירה אלה יכול להשפיע על פרופיל צריכת החשמל במתקן.

מערכות אגירת אנרגיה הנפוצות ביותר הן המערכות אגירה האלקטרוכימיות המתבססות על אגירת אנרגיה חשמלית בסוללות (Battery Energy Storage Systems (BESS) והשימוש בהן במתקני חשמל ידון במסמך זה. במסמך של

מכון הבריטי IET <sup>(2)</sup> ששימש כעזר רב בהכנת מסמך זה, מערכות אלה נדונות תחת שם "מערכות אגירת אנרגיה

חשמלית" (Electrical Energy Storage Systems (EESS), כאשר מערכת BESS היא הסוג העיקרי שיידון

**במסמך זה.**

# פרק שני: סיווג, מבנה ומרכיבים עיקריים של מערכת אגירת אנרגיה חשמלית בסוללות (BESS)

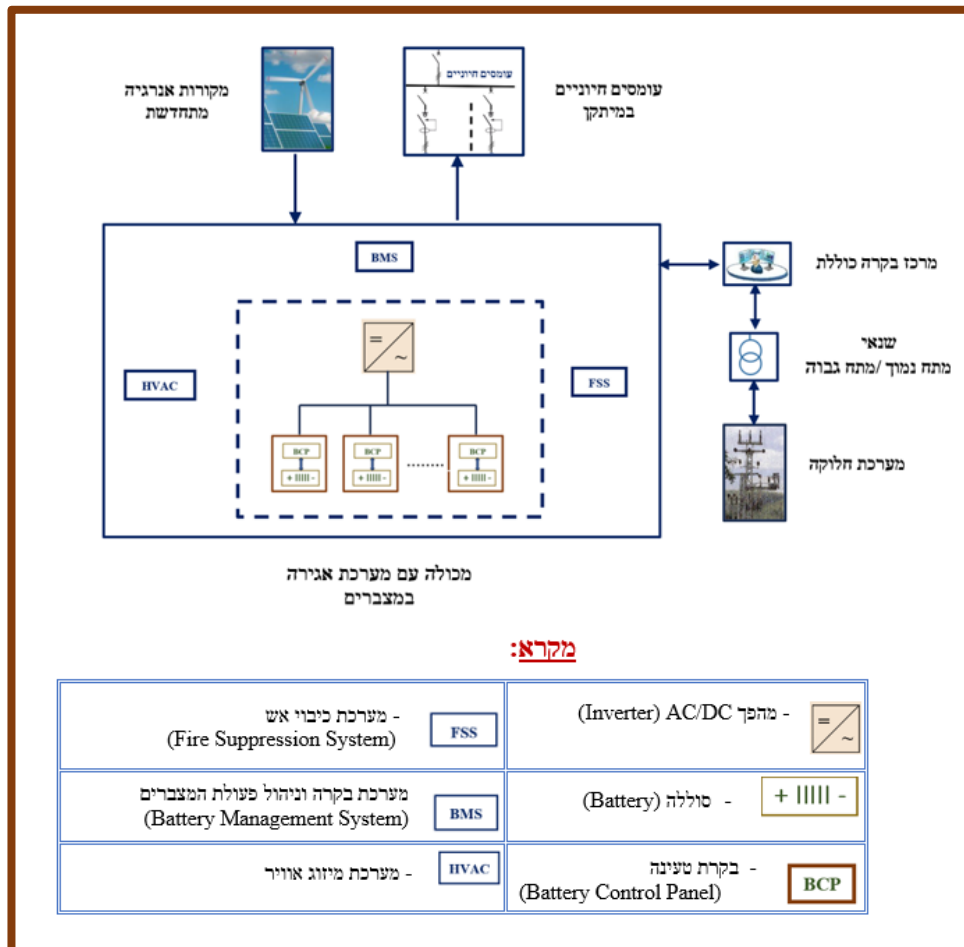
## 2.1 סיווג מערכות אגירה והמרכיביה העיקריים

רוב מערכות האגירה ניתן לשייך לשלוש קטגוריות עיקריות הבאות:

- מערכת אינטגרלית (packaged system);
- מערכת מחלקים נפרדים (discrete component system);
- מערכת אל-פסק (UPS) ייעודית.

### 2.1.1 מערכת אינטגרלית (packaged system)

לקטגוריה הזאת שייכת מערכת אגירה חשמלית שכל חלקיה הם בתוך מעטפת חיצונית אחת. מערכות מסוג זה הן בדרך כלל עם יכולת אגירה גדולה, יחסית, והן מוצרי מדף של ייצרני ציוד חשמלי גדולים. באיור 2.1.1 מובא תרשים עקרוני של מערכת אגירה חשמלית, המיועדת להתחברות לרשת אספקת החשמל, המבוססת על יחידות אגירה אינטגרליות (אחת או יותר).



**איור 2.1.1:** תרשים עקרוני של מערכת אגירה חשמלית אינטגרלית באמצעות סוללות



יתרונות וחסרונות של מערכת אגירה מסוג זה <sup>(3)</sup>:

יתרונות:

- מערכת עם אספקה, אחריות ושירות בכתובת אחת;
- יצרן המערכת דואג לבדיקות דגם מקיפות ואחראי לעמידה בדרישות של התקנים הרלבנטיים;
- היצרן מיישם בתוך המארז את כל הפונקציות הבטיחותיות, כגון הגנה בפני חישמול והגנה בפני עליית טמפרטורה חריגה;
- בעל המתקן שבו מותקנת מערכת מסוג זה יכול לתחזק את המערכת בהתאם להוראות מסודרות של היצרן.

חסרונות:

- הקשרים עם מערכות חיצוניות, אפשרויות התאמה לדרישות ייחודיות של הלקוח הספציפי וגמישות בבחירת יכולות המערכת אינם גמישים;
- קישור ליצרנים מומלצים בלבד של חלקים בעת הצורך בהחלפת מרכיבים שונים במערכת;

### 2.1.2 מערכת מחלקים נפרדים (discrete component system)

מערכת המורכבת מחלקים נפרדים, לעתים מתוצרת שונה. תפקוד מוצלח של מערכת מסוג זה תלוי מאוד במומחיות ובניסיון של מתכנן המערכת. למתכנן המערכת יש אחריות גדולה יותר לבטיחות התפעול והאחזקה של המערכת. יתרונות וחסרונות של מערכת אגירה מסוג זה <sup>(3)</sup>:

יתרונות:

- מגוון אפשרויות רחב יותר של השתלבות והתאמה לקשר עם מערכות חיצוניות אחרות;
- קל יותר לבצע התקנה בהתאם לתנאים ולדרישות במתקן ספציפי;
- חופש בחירה של ייצרני מרכיבים שונים של מערכת האגירה;

חסרונות:

- תלות גדולה יותר של המתכנן והמתקין בביצוע נכון של עבודות התכנון והביצוע כדי להתאים את המערכת לדרישות הרשויות השונות והתקנים באופן שיעמדו בכל הבדיקות הנדרשות לפני ההפעלה הראשונה של המערכת;
- שלבי התכנון והבדיקה לפני ההפעלה מחייבים הכנה של מסמכים ותיעוד מפורטים יותר;
- המתכנן והמתקין של המערכת חייבים להכין הוראות מתאימות לתפעול ואחזקה של המערכת ולהעבירן ללקוח כדי להבטיח שימוש בטוח במערכת לאורך זמן;

### 2.1.3 מערכת אל-פסק (UPS), מערכות אספקה עצמית או גיבוי

מערכת אל-פסק (UPS - uninterruptible power supply), המיועדת לאספקת זרם חילופין ולייצוב מתח למכשיר חשמלי בודד או לקבוצת מכשירים חיוניים, במקרה של הפסקות חשמל חולפות או הפרעות באספקת החשמל, כמערכת לאספקת חשמל עצמית או כמערכת גיבוי לעומסים חיוניים במתקן חשמלי. יתרונות וחסרונות של מערכת מסוג זה <sup>(3)</sup>:

יתרונות:

- מתאימה להתקנה "ממוקדת יותר" בחלקים של המתקן החשמלי שבהם נדרשת אמינות ואיכות אספקת החשמל גבוהות;

חסרונות:

- יקרה ולא כדאית במתקנים קטנים במגזר המסחרי ובבתי מגורים;
- איננה מתאימה לתמיכה ברשת החשמל ולשינוי פרופיל הצריכה במתקן בהתאם לתעריפים לפי עומס וזמן;

## 2.2 סוללות

כפי שכבר צוין בפרק הראשון, מסמך זה עוסק במערכות אגירה חשמלית המתבססות על מדיום אגירה אלקטרוכימי שהוא הסוללות. שלושת הסוגים הנפוצים ביותר כיום של הסוללות במערכות האגירה הם<sup>(3)</sup> :

- סוללות עופרת-חומצה (lead-acid type batteries) ;
- סוללות ליטיום-יון (lithium-ion batteries) ;
- סוללות זרימה (flow batteries) ;

### 2.2.1 סוללות עופרת-חומצה

סוללות עופרת-חומצה הנפוצות הן משני סוגים :

- סוללות עופרת-חומצה מאווררות (VLA - vented lead-acid batteries)
- סוללות מווסתי שסתום (VRLA - valve-regulated lead-acid batteries)

**(א) סוללות מאווררות** – הם הסוג הוותיק ביותר הנמצא בשימוש מסחרי זה למעלה מ-100 שנה. המבוסס על תהליך אלקטרו-כימי של אלקטרודות מעופרת עם אלקטרוליט שהוא בדרך כלל חומצה גופריתית. התאים האלקטרוליטיים בסוללות אלה מצוידים בפקקים בעלי נקבים. הפקקים ניתנים להסרה בכדי לאפשר הוספת מים. גזים המשתחררים בתוך התאים האלקטרוליטיים נפלטים דרך הנקבים שבפקקים החוצה. להלן יתרונות וחסרונות של סוללות מסוג זה<sup>(3)</sup> :

#### יתרונות:

- סוללות מסוג זה מסוגלות לספק זרמים בערכים גבוהים;
- ניתנות למחזור בתהליכים מקובלים.

#### חסרונות:

- מבוססות על שימוש בעופרת שהיא מתכת רעילה לסביבה עם סיכונים בריאותיים לעובדי אחזקה;
- אינן מתאמות לפריקה מלאה שעלולה לגרום נזק לסוללה;
- טעינת הסוללה היא איטית, יחסית;
- בתהליך הטעינה נפלט גז מימן שהוא גז דליק מאוד. בריכוזים גבוהים של גז זה בתערובת עם חמצן עלול להגרם פיצוץ בעת ניצוץ ולכן נדרש אוורור מתאים לחלל שבו מותקנות הסוללות;
- נדרשת תחזוקה של אלקטרוליט, המחייבת משנה זהירות בגלל סיכונים של חומצה;

**(ב) סוללות מווסתי שסתום** – סוללות אלה נקראות לעיתים "סוללות אטומות" או "סוללות ללא אחזקה". עקרון הפעולה האלקטרוכימי בסוללות מסוג זה דומה לסוללות מהסוג הראשון. בסוללות אלו, לא קיימים פקקים לצורך גישה לתאים האלקטרוליטיים ומסיבה זאת לא קיימת אפשרות להוסיף מים. פליטת גזים מתאי הסוללה היא דרך שסתום אל-חוזר הנפתח לסירוגין כאשר הלחץ הפנימי בתא עולה על ערך מוגדר. יתרונות וחסרונות של סוללות מסוג זה<sup>(3)</sup> :

#### יתרונות:

- אין צורך באחזקה;
- סוללות מסוג זה מסוגלות לספק זרמים בערכים גבוהים;
- סוללה מדגם זה מותאמת לפריקה מלאה יותר ("פריקה עמוקה") מאשר בסוללה מהסוג הראשון;
- סוללה פחות רגישה לדליפת אלקטרוליט במקרה של סדק או שבר;
- ניתנת למחזור בתהליכים מקובלים.

#### חסרונות:

- מבוססת על שימוש בעופרת שהיא מתכת רעילה לסביבה עם סיכונים בריאותיים לעובדי אחזקה;
- טעינת יתר עלולה לגרום נזק לסוללה;

- בטעינת יתר או במצב של תקלה חלק מסוללות מסוג זה עלולות לפלוט גז מימן בריכוז מסוכן ולכן נדרש אוורור מתאים לחלל שבו מותקנות סוללות מדגם זה;

## 2.2.2 סוללות ליתיום-יון

סוללות מסוג זה הן בטכנולוגיה שפותחה לאחרונה שמתבססת על תנועת יונים של ליתיום בין האלקטרודות דרך אלקטרוליט. במהלך הפריקה, מעבר יוני ליתיום מלווה בזרימת אלקטרונים דרך המעגל החשמלי. סוללות מסוג זה הן הנפוצות ביותר לשימוש במכשירים אלקטרוניים ניידים ובמכונות חשמליות. להלן יתרונות וחסרונות של סוללות מסוג זה<sup>(3)</sup>:

### יתרונות:

- קלות יותר במשקל לעומת סוללות עופרת-חומצה ובעלות יכולת אגירה של חשמל גבוהה פי 2 עד פי 5.
- מספר מחזורי טעינה -פריקה לאורך חיי הסוללה הוא פי 10 עד פי 20 גדול יותר מאשר בסוללות עופרת-חומצה;

### חסרונות:

- ללא אמצעי הגנה מתאימים הסוללות חשופות לפיצוץ או לשריפה כתוצאה מתופעת "ברייחה תרמית" ("thermal runaway") שהיא הסכנה הגדולה ביותר מתקלות בסוללות מסוג זה.
- "ברייחה תרמית" מתאפיינת בפליטת חום גדולה בתוך הסוללה כתוצאה מקצר בין אנודה לקטודה, שעלולה לגרום, במקרים קיצוניים, לפיצוץ הסוללה ולנזקים בסביבה;
- העדר הגנה מתאימה נגד פגיעות מכניות בסוללה עלול לגרום לתופעת "הברייחה התרמית" ולנזקים חמורים לכל המערכת ולסביבה;
- קשה למחזור.

## 2.2.3 סוללות זרימה

הטכנולוגיה העכשווית ביותר היא בבסיס של סוללות הזרימה. סוללה מסוג זה פועלת על פי העקרון המוכר של הסוללה האלקטרוכימית. ההבדל העיקרי הוא בכך שהאלקטרוליט מאוחסן במיכל נפרד מהאלקטרודות והוא מוזרם דרכן באמצעות משאבה. כך ניתן להגדיל את יכולת האגירה של הסוללה (שתלויה בעיקר מנפח מיכל האגירה של האלקטרוליט) מבלי להגדיל את גודל האלקטרודות. להלן יתרונות וחסרונות של סוללות מסוג זה<sup>(3)</sup>:

### יתרונות:

- הגדלת יכולת האגירה של הסוללה איננה כרוכה בהכרח, בהגדלת זרם הקצר במערכת שבה היא משמשת כמקור זינה.
- הטמפרטורה בתוך הסוללה ניתנת לשליטה טובה יותר כתוצאה מזרימת האלקטרוליט;
- אורך החיים של הסוללה בשירות גדול יותר;
- ניתן להתאים את הסוללה לשימוש במערכת אגירה גדולה מאוד.

### חסרונות:

- נדרשת אספקת חשמל למשאבות סחרור;
- חומרים שבהם משתמשים בחלק מהסוללות מסוג זה עלולים להזיק לסביבה.

## 2.3 ציוד להמרת אנרגיה

במגוון הפרסומים הטכניים העוסקים במערכות אגירת אנרגיה קיים, לעתים, ערבוב בין המושגים המתייחסים לאמצעים להמרת אנרגיה בזרם ישר לאנרגיה בזרם חילופין ולהפך. נבהיר את שלושת המושגים הבאים:

- **מהפך (Inverter)** – ציוד אלקטרוני שפותח במקור להמרת זרם ישר (DC) לזרם חילופין (AC). ציוד זה יכול להעביר ביעילות אנרגיה ממקור הזינה כגון סוללות, תאים פוטו-וולטאים אל מערכת אספקת החשמל בזרם חילופין.

- **ממיר (Converter)** – ציוד שנועד לשנות מאפיינים של אנרגיה חשמלית מצורה אחת לאחרת. ציוד מסוג זה מיושם למשל כדי לשנות את רמת המתח של מקור לזרם ישיר אחת למקור זרם ישיר אחר או את רמת המתח ותדירות בין מקורות שונים של זרם חילופין;
- **מערכות להמרת אנרגיה (PCS – power conversion system)** – מגוון רחב של מערכות הכוללות מהפכים וממירים מרובים בתוספת מערכות ניטור, בקרה והגנה. מערכת מסוג זה היא מסגרת-על המקיפה פונקציות של המרת אנרגיה וניהול מסירתה אל הרשת וממנה, תוך הבטחת הפעילות האופטימלית, סנכרון עם הרשת ובטיחות התפעול של מערכת האגירה.

### 2.3.1 סיווג מהפכים

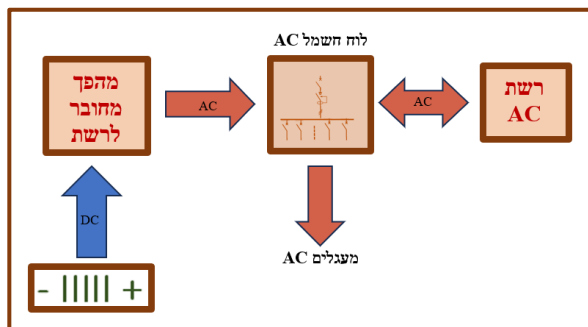
מערכות אגירת אנרגיה חשמליות כוללות 3 סוגי מהפכים עיקריים:

- מהפך מחובר לרשת (grid-connected inverter);
- מהפך לאספקה עצמית (stand-alone inverter);
- מהפך דו-כיווני (bi-directional inverter).

### 2.3.2 מהפך מחובר לרשת (grid-connected inverter)

מהפך מסוג זה מותקן בין מקור לזרם ישיר (סוללות או תאים פוטו-וולטאים) לבין הרשת לזרם חילופין, תוך סנכרון עם הרשת.

המהפך הוא בעל יכולת סנכרון והתאמה למתח הרשת והוא מתנתק מהרשת כאשר רמת המתח והתדירות במוצא של המהפך חורגים מהגבולות הנדרשים. המהפך מתנתק מהרשת גם בזמן הפסקת החשמל ברשת.

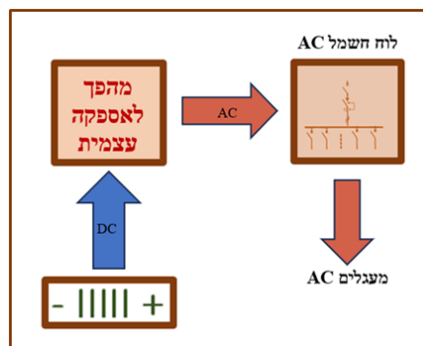


### איור 2.3.1: תרשים עקרוני של מערכת אגירה חשמלית עם מהפך מחובר לרשת

### 2.3.3 מהפך לאספקה עצמית (stand-alone inverter)

מהפך מסוג זה נועד להיות מחובר רק למקור בזרם ישיר (במקרה שבו עוסק מסמך זה – הסוללות) לצרכי אספקת החשמל בזרם חילופין במתקן ללא חיבור לרשת במגבלות הבאות:

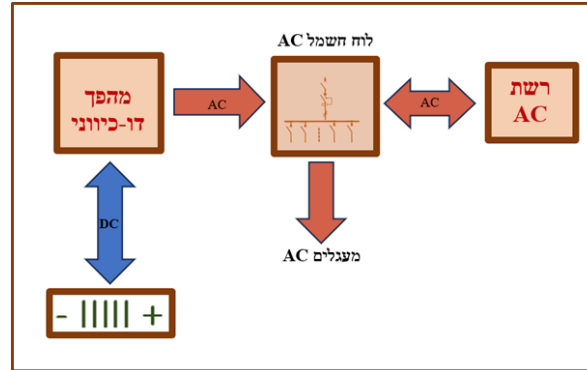
- הספק העומסים במעגלים הניזונים דרך המהפך הוא מוגבל;
- משך הזמן שבו ניתן להזין את העומסים מוגבל גם הוא.



### איור 2.3.3: תרשים עקרוני של מערכת אגירה חשמלית עם מהפך לאספקה עצמית

### 2.3.4 מהפך דו-כיווני המחובר לרשת (bi-directional grid-connected inverter)

מהפך מסוג זה יכול לתפקד כמהפך המחובר לרשת להעברת אנרגיה מהסוללות לרשת או לטעינת הסוללות מהרשת, וגם כמקור לאספקה עצמית.



**איור 2.3.4: תרשים עקרוני של מערכת אגירה חשמלית עם מהפך דו-כיווני המחובר לרשת**

### 2.4 מערכת ניהול סוללות (BMS - Battery management system)

מערכת אגירת אנרגיה חשמלית בסוללות מצוידת במערכת ניהול סוללות (BMS-battery management system). BMS היא מכלול של תוכנה וחומרה שנועדה להבטיח תפקוד תקין ובטיחותי של הסוללות. הפונקציות העיקריות של המערכת הן:

- ניטור המאפיינים הקריטיים של תפקוד הסוללות כגון: מתח וטמפרטורה;
- איזון הזרמים בין הסוללות המורכבות בתוך מערכת האגירה, במהלך פריקה וטעינה;
- התרעה על מצבים חריגים בהתאם להגדרות של ייצרן מערכת האגירה או הבעלים של המתקן.

#### 2.4.1 בקרת טעינה של סוללות

שימוש במערכת טעינה אשר איננה מותאמת לסוג הספציפי של הסוללות במערכת האגירה עלול לגרום נזק לסוללות ולסיכונים בטיחותיים משמעותיים, לכן ציוד טעינה ומערכת בקרת טעינה צריכות להיבחר בהתאם. מבחינים בין שני סוגים עיקריים של מטענים ומערכות בקרה:

- מטענים עם בקרה ושליטה על מתח הטעינה, המשנים את מתח המועבר לסוללות בעת הטעינה;
- מטענים עם בקרה ושליטה על זרם הטעינה של הסוללות.

במערכת אגירת אנרגיה באמצעות סוללות מסוג ליטיום - יון מערכת BMS היא חיונית במיוחד כדי למנוע טעינת יתר של הסוללות ומניעת עלית טמפרטורה מסוכנת כתוצאה מכך.

#### 2.4.2 בקרת פריקה של סוללות

לא רק מערכת בקרת טעינה היא חיונית כפי שהוסבר לעיל, אלא נדרשת גם מערכת לבקרת הפריקה של הסוללות כדי למנוע פריקת יתר. תפקידיה העיקריים של מערכת בקרת הפריקה הם:

- להבטיח עצירת תהליך הפריקה בהתאם לכוונון של עומק הפריקה (DOD- Depth of Discharge) שנקבע במערכת;
  - להגביל את זרם הפריקה;
  - להשיג את הפרופיל של שינויי טמפרטורה בסוללות בפריקה כפי שנקבע.
- בנוסף לתפקידים הנ"ל במערכות המחוברות לרשת (ראה סעיף 2.3.2 לעיל) יכולה מערכת בקרת הפריקה למלא תפקידים נוספים, כגון:
- להגביל את פריקת הסוללות במקבצי שעות מסוימים של היממה;
  - למנוע פריקה של הסוללות עד שתושג רמת מתח מינימלית נדרשת בסוללות בטעינה חוזרת;

## **2.5 מערכת לבקרה ולשליטה על הטמפרטורה במערכת האגירה**

לכל סוללה מוגדרת על ידי היצרן הטמפרטורה המומלצת במהלך השימוש בסוללה להבטחת מאפייני ביצוע המצופים מהסוללה הספציפית. בכל סוללה יש ירידה, בשיעור זה או אחר, בערך האנרגיה החשמלית הנאגרת בה כתוצאה מעליית טמפרטורה מעל הערך המומלץ. שמירה על טמפרטורה בתחום שבין 20 °C לבין 30 °C מאפשרת ביצועים מובטחים ושומרת על הסוללה<sup>(1)</sup>. בעת תכנון מערכת האגירה נלקחת בחשבון פליטת חום מהסוללות ונקבעים אמצעי קירור ואוורור הנדרשים. כך לדוגמה, במארז של מערכת האגירה האינטגרלית המתוארת באיור 2.1.1 מותקנת מערכת מיזוג אוויר (HVAC).

## **2.6 מערכת בטיחות אש ( FSS-fire safety system )**

בסעיף 2.2 לעיל הזכרנו את הסיכונים של פליטת גזים והתפרצות אש בסוללות ולכן אחת ממערכות העזר החשובות במערכת לאגירת אנרגיה חשמלית הן מערכות בטיחות אש. מערכות אלה כוללות את תתי המערכות העיקריות הבאות:

- ניטור פליטות גז;
- ניטור עשן;
- ניטור אש;
- כיבוי אש;
- אוורור;
- אזעקה.

## **2.7 מערכת בקרה כוללת**

מערכת בקרה כוללת (EESS controller) עוקבת אחרי המצב במערכת האגירה ומספקת פקודות טעינה או פריקה בהתאם לתוכניות שנקבעו מראש. במערכת אגירה המחוברת לרשת החלוקה, יכולות הוראות של מערכת הבקרה להיגזר גם מהקשר עם מרכז התפעול של רשת החלוקה או עם יחידת ניהול מערכת ההולכה, כאשר מדובר במערכת אגירה המתאימה לאספקת חשמל במתח עליון. מערכת בקרה כוללת במערכת EESS המחוברת לרשת, יכולה להתאים את הוראות ההפעלה לתעריפי החשמל השונים, לשינויים בתדר ברשת או לניתוק מהרשת במקרה של הפסקת חשמל (loss of main).

## **2.8 מארז המרכיבים של יחידות אגירה אינטגרליות**

הסוללות שהן המרכיב המרכזי של מערכת האגירה, רגישות מאוד להשפעות תנאי מזג אוויר והשפעות טמפרטורת הסביבה ולכן הן, יחד עם מרכיבים אלקטרוניים רגישים של מערכות בקרה, מוגנות במארז מתאים או במכולה. אמצעי זה מאפשר ליחידת האגירה על כל מרכיביה תפקוד תקין בתנאי הסביבה המשתנים. מבחינה היסטורית יחידות האגירה הראשונות מסוג זה נבנו בתוך מכולות המקובלות לשינוע ימי (במידות מקובלות של 20, 40, 53 רגל) שתכונותיהן אומצו לקביעת המארז האופייני של מערכות האגירה. מלבד הסוללות נכללים במארז זה גם מערכות בקרה שונות, מערכות מיזוג אוויר לשליטה על הטמפרטורה ביחידת ומערכות בטיחות שונות להקטנת הסיכונים מתופעת "בריחה תרמית" והתפרצות אש.

## פרק שלישי: תקנות חוק החשמל, הנחיות, תקנים

דרישות תקנות חוק החשמל, תשי"ד-1954 הרלבנטיות חלות על כל מערכות החשמל ובתוכן מערכות אגירת האנרגיה. תקנות החשמל המתייחסות במישרין לאחד הסוגים של מערכות האגירה הן תקנות החשמל (התקנת מערכות אל-פסק סטטיות במתח נמוך), תשנ"ג-1993. התייחסות רחבה יותר הרלבנטית לכל סוגי מערכות האגירה, ניתנת בהנחיות של מנהל לענייני החשמל ברשות החשמל ולכן נציג אותן בתחילת הפרק.

### 3.1 הנחיות להתקנת מערכות אגירת אנרגיה במצברים המחוברות לרשת החלוקה

הנחיות להתקנת מערכות אגירת אנרגיה במצברים המחוברות לרשת החלוקה של מנהל מינהל החשמל ברשות החשמל התפרסמו ב- 24.03.2021 וניתן למצוא אותן באתר הרשות<sup>(6)</sup>. להלן הנחיות אחרות מתוך הפרסום.

#### 3.1.1 תכנון, התקנה והפעלה

- רק חשמלאי בעל רישיון מתאים רשאי לתכנן ולהתקין מערכת אגירה;
- גודל מערכת אגירה חד מופעית לא יעלה על 5 קו"א;
- הפעלת מערכת אגירה במקביל לרשת היא רק בתאום ולאחר בדיקת התחברות ע"י המחלק;
- תכנון, חיבור והפעלה של מערכת אגירה (או הספק מצרפי של מערכות אגירה) הגדול מ- 630 קו"א יבוצע באישור ובתיאום עם המחלק הדומיננטי;
- תכנון, התקנה, בדיקה והפעלה של מערכת אגירה יעשו בהתאם להוראות היצרן של הציוד המותקן;
- מתכנן המערכת יבצע הערכת סיכונים (פליטת חומרים מסוכנים, התחממות, פיצוץ ושריפה) מסוללות שבמערכת האגירה; בהתאם לכך יקבע את מקום התקנת מערכת האגירה ואת הצורך באוורור, קירור, מערכות כיבוי;
- חדר חשמל יתאים לדרישות חדרי חשמל המעוגנות בתקנה 6 לתקנות החשמל (מיתקן חשמל ציבורי בבניין רב קומות), התשס"ג-2003;
- יש להגן על כל החלקים החיים של מערכת אגירה מפני מגע מקרי;
- אין להתקין מערכת אגירה במקומות סגורים המיועדים לשהייה ממושכת של אנשים ובכלל זה חדרי מגורים, משרדים ומקומות ציבוריים;
- הקיר או הרצפה או התקרה המפרידים בין החדר שבו הותקנה מערכת אגירה לבין מקום אחר שבו שוהים אנשים, יהיו מחומר לא דליק בהתאם לת"י 755, תגובות בשרפה של חומרי בנייה - שיטות בדיקה וסיווג;
- מערכת אגירה תותקן כך שתאפשר מעבר חופשי של 0.6 מ' לפחות מקיר או מתקן אחר. מרווחים ומעברים מלוחות חשמל של המערכת יתאימו לתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1000 וולט), התשנ"א – 1991;
- יש לשמור על מרחק אנכי של 1.2 מ' לפחות בין מערכת אגירה המותקנת מתחת לדרך מילוט ללא מחיצה חסינת אש לבין דרך המילוט;
- מערכת אגירה תתוכנן ותותקן כך שהחלקים המתכתיים בה יחוברו אל פס השוואת פוטנציאליים במבנה עם הארקה יסוד, או אל פס הארקה ראשי במבנה ללא הארקה יסוד, באמצעות מוליך חיבור או מוליך הארקה בחתך מתאים;
- התקנת מערכת האגירה תתאים לדרישות של הרשות הארצית לכבאות והצלה.

#### 3.1.2 מערכת החשמל בצד זרם ישר

- המתכנן יקבע את אמצעי ההגנה בפני חשמול ובפרט הגנות זליגה ובידוד בהתאם להנחיות של יצרן הממיר; יותקן מבטח לכל אחד משני המוליכים (החיובי והשלילי) שיתאים לדרישות לציוד לזרם ישר ולמתח המרבי שיכול להתפתח;
  - כל מודול מצברים יוגן ע"י מבטח המיועד להגנה על המוליכים מכיוון הסוללות, קרוב ככל האפשר למודול ובכל מקרה לא יותר מ- 2 מ' מהמודול;
  - לכל מודול סוללות יותקן מנתק עומס דו קוטבי בטווח ראייה ממנו ובכל מקרה לא יותר מ- 2 מ' מהמודול, המאפשר ניתוק המודול מהממיר ו/או ממודולים אחרים. מבטח יכול לשמש כמנתק עומס;
  - לכל ממיר יותקן מנתק עומס דו קוטבי, קרוב ככל האפשר לממיר, בטווח ראייה ממנו ובכל מקרה לא יותר מ- 2 מ' מהממיר, המאפשר ניתוק הממיר מכל הסוללות;
  - כאשר מנתק עומס מופעל בפיקוד מרחוק, הוא יהיה בנוי למעבר למצב ידני המאפשר נעילתו במצב מופסק בלבד;
  - מתכנן המערכת יקבע את הצורך בהארקת השיטה בצד זרם ישר, בהתאם להוראות תקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה בפני חשמול), התשנ"א-1991, להוראות היצרן או סוג הממיר;
  - הגנות ואמצעי מדידה והתראה בפני תקלות בידוד לאדמה יותקנו בהתאם להוראות היצרן;
- הוראות המפורטות בסעיף 3.1.2 לעיל בעניין אמצעי מיתוג והגנה בצד זרם ישר, לא חלות על מערכת אגירה שהורכבה ע"י היצרן בתוך מארז סגור;

### 3.1.3 ממיר

- ממיר יותקן במיקום נגיש ונוח לתפעול ולתחזוקה, בהתאם להוראות היצרן;
- הממיר יכול להיות חלק ממערכת אגירה או נפרד;
- כאשר הממיר משמש גם מערכת ייצור חשמל (לדוגמא מיתקן פוטו-וולטאי) הוא יתאים גם לדרישות לגבי מערכת הייצור האחרת;

### 3.1.4 מערכת החשמל בצד זרם חילופין

#### (א) מפסק ראשי

- למערכת האגירה יתוכנן ויותקן מפסק זרם ראשי המאפשר הפסקת מערכת אגירה בשלמותה כמפורט להלן:
- מפסק הזרם דו-קוטבי למערכת חד-מופעית וארבע קוטבי למערכת תלת מופעית ומצויד בהתקן נעילה במצב מופסק בלבד;
  - גודל וכיוונון מפסק הזרם הראשי יתאימו לדרישות תקנות החשמל (העמסה והגנה של מוליכים מבודדים וכבלים במתח נמוך), התשע"ד-2014, כך שהמפסק מספק הגנה לקו הזינה למערכת אגירה בפני זרם קצר ובפני זרם העמסת יתר;
  - בסמוך למפסק זרם ראשי יותקן שלט בר קיימא ובו יירשם "מפסק ראשי של מערכת אגירה";
  - במתקן אגירה בהספק הגדול מ- 630 קו"א המפסק הראשי יהיה ניתן לשליטה מרחוק.

#### (ב) מפסק זרם לממיר

- בצד זרם החילופין, ביציאה מהממיר בטווח ראייה ובמרחק שלא יעלה על 3 מטר יתוכנן ויותקן מפסק זרם המאפשר זיהוי ברור של מצב המפסק ("מופסק" או "מחובר").
- על אף האמור לעיל, רשאי המתכנן לתכנן התקנת מפסק או מנתק עומס כהגדרתם בהנחיות אלה בתנאי שהמרחק עד למפסק זרם ראשי אינו עולה על 25 מטר;
- נעשה שימוש במפסק הזרם הניתן להפעלה מרחוק, מפסק זה יכול גם מנגנון להפעלה ידנית;
- אמצעי המיתוג ימתגו את כל הקטבים כולל קוטב האפס. מותר להשתמש באמצעי מיתוג ללא ניתוק האפס במערכת אגירה המיועדת לגיבוי ומתוכננת לעבוד באי חשמלי בהתאם לנדרש על פי סעיף (ו') להלן;

#### (ג) מפסק חירום

- יותקן מפסק חירום שיאפשר ניתוק של מתקן הייצור בצד זרם חילופין והפסקת הוצאת אנרגיה מהממיר; ניתן להשתמש בממסר המופעל מלחצן חירום הממוקם במקום אחר; בסמוך למפסק חירום יותקן שלט – "מפסק חירום להפסקת מערכת אגירת אנרגיה".



#### (ד) מפסק פחת

- במערכת שבה הותקן מפסק פחת בקו הזינה לממיר בהתאם להחלטתו של המתכנן, יהיה מפסק הפחת מטיפוס B העומד בדרישות של תקן IEC 62423 ;
- על אף האמור לעיל, אין חובה בהתקנת מפסק פחת מטיפוס B כאשר מתקיים אחד מהתנאים הבאים:
  - (1) היצרן מצהיר שהממיר מספק הפרדה בין צד זרם ישר לצד זרם חילופין;
  - (2) צורת ההתקנה מספקת הפרדה בין הממיר למפסק הפחת באמצעות שנאי מבדל או אמצעי אחר;
  - (3) הממיר תואם את דרישות תקן IEC 62109-1 והוראות היצרן אינן דורשות מפסק פחת מטיפוס B, במקרה זה טיפוס מפסק הפחת יהיה בהתאם להוראות היצרן.

#### (ה) ניתוק מהרשת בעת הפסקת הזינה

- המתכנן יתכנן את מערכת אגירה כך שיחידת הייצור תתנתק מהרשת בעת הפסקת הזינה מהרשת תוך 0.2 שנייה;
- הניתוק יכול להתבצע בממיר או באמצעות המפסק הראשי;
- הניתוק יבטיח הפרדה מלאה מהרשת;
- (ו) פעולת מערכת האגירה באי חשמלי
- מערכת אגירה המיועדת לאספקה חלופית תכלול אמצעי מיתוג להפרדה בין מוליכי המופעים של הרשת לבין מוליכי המופעים של מערכת האגירה;
- רציפות מוליך האפס תותאם לנדרש בהתאם לתקנות החשמל (התקנת מערכות אל-פסק סטטיות במתח נמוך), התשנ"ג - 1993 ולהנחיות היצרן;
- התאמת ההגנה בפני חשמול לדרישות תקנות החשמל בעת עבודה ללא רשת;
- לוח או חלק מלוח המוזן מיציאה המיועדת לעבודה גם בהפסקת ההזנה ברשת, יהיה נפרד ויותקן שילוט בר קיימא עם הכיתוב "זהירות – קיים מתח גם לאחר הפסקת הרשת";
- לצורך הפעלת מערכת אגירת אנרגיה במקביל לגנרטור העובד במנותק מהרשת, יוודא מתכנן המיתקן התאמת מערכות הבקרה של מתקני הייצור, לניהול הייצור במשטרי עבודה שונים, תוך מניעת חיבור לרשת ללא סנכרון;
- בהחזרת ההזנה מהרשת יובטח סנכרון של מערכת האגירה לרשת;

### 3.1.5 מערכות בקרה

- במערכת אגירה שבה התקין היצרן התראות (חזותיות או קוליות), יש לתכנן ולהתקין את ההתראות במקום בו אנשים שמשמשים במערכת יוכלו להיות מודעים להתראה;
- במערכת התראה באמצעות תקשורת, יש לוודא את חיבור ההתראה למשתמש;
- תותקן מערכת לניהול המצברים (BMS - Battery Management System) ובקרת הטעינה והפריקה.
- מערכת זו יכולה להיות מותקנת בממיר או להיות חלק ממודול המצברים או נפרדת;
- מערכת לניהול המצברים תאפשר תקשורת להעברת נתונים בהתאם לדרישות ת"י 15470.

### 3.1.6 בדיקות

- כל מערכת אגירה תיבדק לאחר התקנתה ולאחר החלפה או הוספה של ממירים או הוספת מודולים של סוללות;
- הבדיקה תבוצע על ידי בעל רישיון חשמלאי בודק ובהתאם לתנאי הרישיון;
- באחריות הבודק לבצע את כל הבדיקות הנדרשות;
- האחריות לביצוע הבדיקה היא של בעל המערכת ושל המתקין המערכת.

#### (א) בדיקה ראשונית

- מערכת אגירה תיבדק ע"י חשמלאי בודק לפני הפעלה ראשונה. הבדיקה תכלול את הבדיקות והמידות המופיעות בדו"ח הבדיקה שמפרסם המנהל מעת לעת ובכלל זה הבדיקות המפורטות להלן:
- בדיקת התאמתה של המערכת לדרישות תקנות החשמל והנחיות אלו;
- בדיקת התאמת המערכת לתכנון;
- בדיקת הגנה בפני חשמול בצד הזרם הישר ובצד זרם החילופין (כולל מקור הארקה, רציפות הארקה והשוואת פוטנציאלים);

- ציוד חשמלי, לרבות הסוללות, המהווה חלק ממערכת אגירה, יתאים לנדרש בתקן הרלוונטי;
- מערכת האגירה תתאים לדרישות ת"י 15470 – "חברור ותאימות תפעולית בין מקורות אנרגיה מבוזרים לבין ממשקים של רשתות חשמל קשורות;
- ממיר במערכת האגירה יתאים לדרישות ת"י 2-4777 – "חיבור מערכות אנרגיה לרשת חשמל באמצעות ממירים: דרישות לממירים";
- בדיקת אמצעי מיתוג והפרדה בצד זרם ישר ובצד זרם חילופין בהתאם לסוג מערכת האגירה;
- בדיקת הפרדה מהרשת בהפסקת חשמל כולל בדיקת מפסק חירום;
- בדיקת עבודה באי חשמלי (במידה וקיימת) ואמצעי הגנה בפני חשמול;
- בדיקת התייעוד של המערכת כולל תוכניות, תקניות הציוד, כיוון ממירים, הצהרות ואישורים;
- בדיקת שילוט;

#### (ב) בדיקת התחברות

- המחלק יערוך בדיקת התחברות של מערכת אגירה בגודל מעל 10 קו"א, המחוברת במקביל לרשת;
- בדיקת ההתחברות כאמור תכלול:
  - (1) בדיקת הפרדה מהרשת וכיוון ממירים לעבודה בחריגות מתח ותדר;
  - (2) בדיקת פעולת המערכת במצבים של אי חשמלי והחזרת ההזנה מהרשת;
  - (3) בדיקת הפעולה של מערכת השליטה והבקרה במתקן בעל אישור הזרמה הגדול מ- 630 קו"א;

#### (ג) בדיקה תקופתית

- באחריותו של בעל המיתקן ומפעילו לתחזק את מערכת האגירה ולהזמין את הבדיקות הנדרשות, בהתאם לאמור להלן:
  - התחזוקה תבוצע לפי הוראות היצרן בדגש על בדיקת תקינות המצברים, דליפת חומרים מסוכנים והתחממות;
  - יש לוודא גישה נאותה למערכת אגירה בכל עת ושלא בוצעו שינויים במבנה העלולים לגרום להריגה מהדרישות בהנחיות אלו;
  - בדיקת תקינות מפסקי פחת תבוצע אחת לשנה באמצעות לחיץ הבדיקה. בדיקה זו יכולה להתבצע ע"י מי שאינו חשמלאי;
  - אחת לשלוש שנים תבוצע ביקורת ע"י חשמלאי בעל רישיון מתאים שתכלול:
    - (1) ביקורת חזותית של המצברים ומערכת זרם ישר;
    - (2) בדיקת הפעלת אמצעי מיתוג;
    - (3) בדיקת מפסקי פחת עם מכשיר מתאים;
  - אחת לשש שנים תבוצע בדיקה ע"י בודק בעל רישיון מתאים שתכלול את הבדיקות הראשוניות ובבדיקת מפסקי פחת באמצעות מכשיר מתאים;
  - יש לתקן כל ליקוי שיתגלה בבדיקה באופן מידי;

#### (ד) תיעוד

- לפני הפעלת מערכת אגירה ולאחר סיום הבדיקות וקבלת האישורים יעביר המתכנן לידי בעל המערכת או מפעילה את המסמכים הבאים:
  - (1) פרטי היצרן ונציגו בישראל;
  - (2) פרטי החשמלאי המתכנן והמבצע;
  - (3) תכניות חשמל;
  - (4) הוראות הפעלה בשגרה ובחירום כולל מיקום אמצעי מיתוג;
  - (5) סיכונים אפשריים;
  - (6) הוראות אחזקה טיפול ובדיקות כולל מועדי התחזוקה;
  - (7) הוראות תיקון והחלפת מצברים;
  - (8) תעודות בדיקה;
- בעל המערכת או מפעילה ישמור בצורה מסודרת את מסמכים וישתמש בהם לתפעול, לאחזקה ולביקורת במיתקן;

### 3.1.7 היתרים

- מערכת אגירה בגודל מעל 10 קו"א חייבת לקבל היתר הפעלה של המנהל למיתקן כאמור בסעיף 4 לחוק משק החשמל. על אף האמור כאן יכול בעל מערכת אגירה בגודל של עד - 630 קו"א לפעול על פי היתרסוג. לשם הוכחת העמידה בתנאי היתר הסוג, יציג המבקש למחלק את הדף הראשון בתעודת הבדיקה, החתומה בידי בעל רישיון חשמלאי בודק כמשמעותו בתקנה 7 בתקנות החשמל (רשיונות), תשמ"ה-1985;
- למערכת אגירה המותקנת במשולב עם מתקן פוטו וולטאי ניתן לקבל היתר הפעלה או היתר סוג משותף;
- ביצוע שינוי יסודי ובכלל זה הוספת מערכת אגירה למתקן פוטו וולטאי קיים מחייבת קבלת היתר הפעלה או היתר סוג חדש;

### 3.2 תקנות החשמל (התקנת מערכות אל-פסק סטטיות במתח נמוך), תשנ"ג-1993

כפי שכבר ציינו בתחילת פרק זה, דרישות תקנות חוק החשמל, תשי"ד-1954 הרלבנטיות חלות על כל מערכות החשמל ובתוכן מערכות אגירת האנרגיה. תקנות החשמל המתייחסות במישרין לאחד הסוגים של מערכות האגירה הן תקנות החשמל (התקנת מערכות אל-פסק סטטיות במתח נמוך), תשנ"ג-1993<sup>(7)</sup>. להלן חלק מהדרישות המופיעות בפרק ב' "אמצעי בטיחות" בתקנות אלה:

#### 3.2.1 מניעת מתח חוזר מסוכן

בתקנה 4 נקבע:

"מערכת אל-פסק ואופן התקנתה יבטיחו שכאשר נפסקת הזינה או התקע המזין נשלף, לא יופיע מתח חוזר העולה על מתח נמוך מאוד בין שני הדקים או שני פינים כלשהם של המבוא, לרבות הדק או פין הארקה, למשך יותר מ-5 שניות".  
"מתח נמוך מאוד" מוגדר בתקנות אלה כ"מתח בין מוליכים שאינו עולה על 50 וולט או 24 וולט, בהתאם לתקנות לפי החוק החלות על אותו מיתקן". כדי להמחיש את הנאמר בהגדרה זו נביא שתי דוגמאות: אם מערכת אל-פסק מותקנת במתקן חקלאי או במתקן רפואי, כהגדרתם בתקנות החשמל הרלבנטיות, יהיה הערך המירבי של מתח נמוך מאוד 24 וולט בלבד.

#### 3.2.2 מערכת אל-פסק בעלת חיבור גלווני בין מוליך האפס (N) במבוא למערכת אל-פסק לבין מוליך האפס (N) במוצא ממנה, המוזנת בחיבור קבוע לרשת

מערכת אל-פסק המוזנת בחיבור קבוע לרשת, מוגדרת בתקנות כמערכת עם חיבור קבוע באמצעות מפסק או באמצעות תקע ובית תקע, כאשר מדובר במערכת חד-מופעית עד 16 אמפר. מערכת בעלת חיבור קבוע יכולה להיות עם או בלי חיבור גלווני בין מוליך האפס (N) במבוא למערכת אל-פסק לבין מוליך האפס (N) במוצא ממנה.  
במערכת עם החיבור הגלווני כאמור נשענת שיטת ההגנה בפני חישמול, במעגלים הניזונים דרך מערכת אל-פסק, על הארקה האפס ברשת הזינה המשמשת גם כהארקה השיטה במערכת אל-פסק.  
הדרישות למערכת מסוג זה מפורטות בתקנות 5,8.

### 3.3 תקינה ישראלית

בסעיף 3.1.2 לעיל התייחסנו לדרישות ההתאמה לתקנים של מערכות האגירה ומרכיביה, המופיעות בהנחיות מנהל מינהל החשמל. להלן סקירה קצרה של התקנים הרלבנטיים.

#### 3.3.1 ת"י 4777 – דרישות לממירים

תקן ישראלי 4777 חלק 2 "חיבור מערכות אנרגיה לרשת חשמל באמצעות ממירים: דרישות לממירים" קובע דרישות עבור ממירים חד-מופעיים בהספק עד 10 קילו וולט אמפר וממירים תלת-מופעיים בהספק עד 30 קילו וולט אמפר.  
ת"י 4777 חלק 3 "חיבור מערכות אנרגיה לרשת חשמל באמצעות ממירים: דרישות להגנת רשת החשמל" קובע את הדרישות להתקני הגנה על רשת החשמל המיועדים לשימוש במערכות להמרת אנרגיה, בעלי הספק זהה לנ"ל.  
בדף מידע ליבואנים וליצרנים של סוללות למערכות הטעינה והאגירה<sup>(8)</sup> שעבור מהפך/אינוורטר (PCS/ Inverter) כלשון דף המדע נדרשת התאמה לת"י 4777 (חלקים 2, 3) או לתקן האוסטרלי AS/NZS 4777.2,3 אשר שימש כבסיס לתקן

הישראלי האמור. גם התקן האוסטרלי חל על מהפכים בהספק הזהה לזה שבתקן הישראלי, אך מודגש בו שעקרונות התקן יכולים לשמש גם לגיבוש הדרישות למהפכים בעלי הספק גבוה יותר.

אפשרות נוספת לבדיקת ההתאמה של המהפכים היא בהתאם לתקן IEC 62109-1:2010. גם תקן זה כמו התקן האוסטרלי, דן בדרישות למהפכים המהווים חלק ממערכת פוטו-וולטאית, אך משתמשים בו גם לבחינת המהפכים למערכות אגירה חשמלית בסוללות. במבוא לתקן מודגש שהוא מגדיר את דרישות המינימום לתכנון וייצור של מהפכים להגנה בפני סיכונים של חישמול, פגיעות מכניות, אש וסיכונים אחרים.

### 3.3.2 דרישות תקינה לסוללות

בדף מידע ליבואנים וליצרנים של סוללות למערכות טעינה והאגירה<sup>(9)</sup> מפורטים התקנים והמסמכים הכוללים את הדרישות לבחינת הסוללות:

- IEC/EN 61000-6-1,2,3,4 - תקנים העוסקים בתאימות אלקטרומגנטית (EMC) בסביבות שונות (מגורים, מסחריות, תעשייתיות);
- IEC/EN 62619 - תקן העוסק בדרישות בטיחות לסוללות ליתיום לשימוש בתעשייה;
- UL 9540 – תקן אמריקאי העוסק במתווה לבחינת בטיחות של מערכות וציוד לאגירת אנרגיה;
- UN 38/3 – מסמך של ארגון האומות המאוחדות ואשר אומץ על ידי כל גופי התקינה בעולם, העוסק בדרישות לתהליך אריזה ושינוע של סוללות ליתיום בהתחשב בסיכונים של התפרצות אש כתוצאה מ"בריחה תרמית" (ראה סעיף 2.2.2 לעיל) במהלך השינוע.

### 3.3.3 ת"י 15470- תקן חיבור יצרן לרשת

תקן ישראלי ת"י 15470 "חברות ותאימות תפעולית בין מקורות אנרגיה מבוזרים לבין ממשקים של רשתות חשמל קשורות INTERCONNECTION AND INTEROPERABILITY OF DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES WITH ASSOCIATED ELECTRIC POWER SYSTEMS INTERFACE"

קובע קריטריונים ודרישות לחברות (חיבור פיזי בין רכיבים שונים של מערכת מסוימת, כך שיוכלו לתפקד באופן משולב) בין מקורות אנרגיה מבוזרים לבין רשתות חשמל והממשקים הקשורים. עמידה בדרישות הטכניות המפורטות בתקן נדרשת כאמור לחברות ולתאימות תפעולית של מקורות אנרגיה מבוזרים (DER) ומתאימה לרוב ההתקנות.

התקן הישראלי הנ"ל מאמץ את התקן האמריקאי IEEE Std 1547™-2018

"IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces".

התקן כולל מפרטים טכניים ליצירה ולבדיקה של התחברות ולתאום בין מערכות של חברות תשתית לאספקת חשמל לבין מקורות ייצור חשמל מבוזרות. התקן מציג דרישות הרלוונטיות לביצוע, תפעול, בדיקה ובטיחות של ההתחברות. התקן כולל גם דרישות כלליות, תגובה למצבים חריגים, התייחסות לאיכות החשמל, עבודה באי-חשמלי, פירוט בדיקות ודרישות לתכנון, לייצור, להקמה, לבדיקות קבלה ולבדיקות תקופתיות.

## 3.4 הנחיות חברת החשמל וחברת נגה לחיבור מערכות אגירה להזרמת חשמל לרשת

בהתאם למקובל בעולם כל מערכת ייצור חשמל המזרימה אנרגיה לרשת חלוקה או לרשת הולכה, חייבת לפעול על פי כללים ולעמוד בדרישות שקובע בעל הרשת.

להלן ההנחיות שפורסמו בארץ בעניין חיבור מערכות האגירה לרשתות חלוקה בבעלות חברת החשמל (וזאת בנוסף להנחיות מנהל מינהל החשמל שפורטו בסעיף 3.1 לעיל) והנחיות חברת נוגה בעניין חיבור לרשתות הולכה.

### 3.4.1 חיבור של מערכת אגירה במתח גבוה למערכת התקשורת של חברת החשמל

מערכת אגירה המשמשת להזרמת אנרגיה לרשת מתח גבוה של חברת החשמל לישראל (להלן: ח"ח), צריכה להתאים לדרישות החלות על כלל ייצרני חשמל המחברים לרשת. דרישות אלה מפורטות במסמך "דרישות וההכנות הנדרשות מיצרן פרטי לצורך חיבורו למערכת התקשורת ובקרה של חברת החשמל"<sup>(10)</sup> של חברת החשמל. ככלל מתקן ייצור חשמל המחבר לרשת חלוקה במתח גבוה, מתקן האגירה מהווה חלק בלתי נפרד מהרשת ולכן בעל מתקן האגירה נדרש להתקין

אמצעים לשליטה ולבקרה, שבאמצעותם יוכל בעל הרשת לקבל בחדר הבקרה שלו מידע על מאפייני הפעולה של המתקן ולשלוט על החיבור במצבים חריגים.

### 3.4.2 דרישות טכניות ממתקן אגירה בסוללות המתחבר למערכת מתח עליון ומנוהל על ידי מנהל המערכת

דרישות טכניות עיקריות ממתקן אגירה בסוללות המחובר למערכת הולכה במתח עליון והמנוהל על ידי מנהל המערכת מופיעות במסמך של חברת "נגה – ניהול מערכת החשמל" (11). להלן עיקרי הדרישות:

#### (א) דרישות טכניות ממתקני ייצור/אגירה:

- עמידה בתדרים בתחומים שונים;
- יכולת תגובה לשינוי תדר;
- עמידה במתח בתחומים שונים;
- יכולת תגובה דינמית של המתקן במצבי הפרעה בגבולות מתחים המוגדרים במסמך;
- עמידה בדרישות בעניין הרמוניות לפי תקן ת"י 50160 ות"י 61000 חלק 3.6, בעניין פליקרים;
- יכולת סינכרון לרשת בתנאים המוגדרים במסמך;
- יכולת ייצור/ספיגת של הספק ריאקטיבי בנקודת החיבור לרשת;
- התאמת המתקן לביצוע חיבור חוזר חד-פאזי ולתנאים התפעוליים של הרשת;
- יכולת לעבוד באי חשמלי ללא הזנה מהרשת, ולשמור על פרמטרים תקינים של אספקת החשמל;
- עמידה בתנאי חידוש החיבור לרשת אחרי ניתוק המתקן עקב פעולה תפעולית או פעולת הגנות ברשת;
- התאמה של המתקן להשתלבות בוויסות המתח במערכת בשיגרה באופן המפורט במסמך;
- יכולת ויסות הספק אקטיבי רציף, על ידי מנהל המערכת בפיקוד מרחוק כמפורט במסמך;
- התאמת ההגנות לנדרש;
- התאמת השנאי בנקודת החיבור לרשת לדרישות המפורטות במסמך;
- העברת הנתונים המוגדרים על המתקן לצורך ביצוע הדמיות לבחינת ההשלכות הדינמיות והשפעתם על המערכת;
- עמידה של מתקן האגירה על מרכיביו השונים בדרישות התקינה בינלאומיות ובהנחיות מנהל המערכת.

#### (ב) דרישות טכניות מהאתר שבו מותקנת מערכת האגירה:

- התאמה לתנאים הספציפיים למסדרי מתח עליון, שמוגדרים בנוהל חיבור לקוחות של מנהל המערכת;
- מתקן האגירה צריך להיות מתוכנן, מוקם ומתוחזק בצורה שתבטיח את ההעברה והקבלה של הנתונים הנדרשים לצורך ניהול ותפעול של מערכת החשמל, בהתאם לנהלים המאושרים על ידי גורמים מוסמכים.
- על מתקן האגירה שהוא חלק ממערכת החשמל הארצית, חלים כל ההנחיות של מטה הסייבר הלאומי לגבי מתקני מערכת החשמל ולגבי מערכת EMS;

## 3.5 תקינה אירופאית

לתקנים של הנציבות הבינלאומית לאלקטרו-טכניקה ולתקנים הבריטיים יש השפעה רבה על חקיקה ותקינה בנושא מתקני החשמל בארץ. שני "תקני האב" עם חלקים רבים בנושא הם "IEC 60364 "Low voltage electrical installations" ותקן "BS 7671 "Requirements for Electrical Installations. IET Wiring Regulations".

שנים רבות עסקו תקנים אלה במתקני חשמל המחברים לרשת תוך התמקדות בכללים ובאמצעים להבטחת בטיחות של המשתמשים במתקני החשמל ובהגנה על הציוד. תצורת המתקן שנדונה בעשורים האחרונים בתקנים אלה הייתה מכלול ציוד הצריכה הניזון מרשת החשמל הציבורית, כאשר בחלק מהמתקנים משולבים גנרטורים לגיבוי עצמי בעת הפסקה של אספקת החשמל מהרשת. בשנים אחרונות התווספו לתקנים האמורים חלקים העוסקים בהתאמת מתקני החשמל להתפתחויות שחלו בתחום החשמל, כגון שילוב מערכות סולאריות, מערכות לטעינת רכבים.

אחד הנושאים החדשים הוא מתקן שבנוי לצורך ולייצר חשמל (PEI - Prosumer Electrical Installation) כמו מתקן חשמלי שכולל מערכת לאגירת אנרגיה בסוללות שנדון במסמך זה (להלן: "מתקן ייצור וצריכה").

### 3.5.1 תקינה של הנציבות הבינלאומית לאלקטרו טכניקה (IEC)

אפשר לומר ששילוב מערכות לייצור חשמל ממקורות אנרגיה מתחדשת ומערכות לאגירת אנרגיה בסוללות, הופך את בעל מתקן הצריכה המסורתי לייצרן ולצרכן גם יחד:  $Producer \text{ and } Consumer = Prosumer$ .  
דרישות והמלצות בעניין מתקן מסוג זה מוסדרות בתקן הנציבות הבינלאומית לאלקטרו טכניקה שפורסם לראשונה בשנת 2018 ומהדורה העדכנית שלו היא משנת 2022: "IEC 60364-8-82 "Low-voltage electrical installations: 2022 Part 8-82: Functional aspects – Prosumer's low-voltage electrical installations".

חלק זה של התקן קובע דרישות והמלצות ליישום מתקן צריכה וייצור במתח נמוך אשר מחובר או איננו מחובר לרשת, כאשר הוא יכול לפעול בשני מצבים:

- אספקת החשמל במתקן היא מרשת ציבורית עם או בלי הפעלה של מתקן האגירה החשמלי;
  - אספקת החשמל במתקן היא ממערכת האגירה וממקורות יצור פנימיים (כגון: גנרטור, מערכת PV) בלבד (Island mode – פעולה באי-חשמלי).
- עקרי דרישות התקן יידונו בפרק הבא של המסמך.

### **3.5.2 תקינה בריטית**

תקן BS HD 60364-8-2:2011+A11:2019. Part 8-2. "Prosumer's low-voltage electrical installations" מתייחס לדרישות פעולה של מתקני צריכה וייצור ולפי הפרסומים<sup>(2)</sup> הוא ייכלל כפרק 82 בתקן BS 7671 שהוזכר קודם. עקרונות תקן זה זהות לאלה של תקן IEC שהוזכר בסעיף 3.5.1 לעיל.

## פרק רביעי: תכנון מתקן ייצור וצריכה עם מערכת אגירה

מתקן ייצור וצריכה (PEI) עם מערכת אגירה, כמו כל מתקן חשמלי אחר, חייב להתאים לכל דרישות חוק החשמל ותקנותיו, לתקנים ולהנחיות של הגורמים המוסמכים כפי שפורטו בפרק 3 של המסמך. בפרק זה נציג גם דרישות נוספות שאינן עומדות בסתירה לדרישות האמורות אלא משלימות אותן, לעתים מהצד המחמיר יותר. דרישות אלה נובעות מהנאמר בתקינה האירופית העדכנית שהיבטיה ייבחנו בעת עדכון תקנות החשמל והנחיות הרלוונטיות. אחד העקרונות החשובים שיש להתחשב בהם בעת תכנון מתקן הייצור והצריכה בהתאם למתואר בפרק זה, נגזר מדרישת סעיף 551.4.3.2 בתקן IEC 60364-5-55:2011<sup>(13)</sup>, שדן בדרישות נוספות להגנה בפני חשמול במתקן במצב שבו מקורות ייצור פנימיים במתקן (כגון: גנרטור) משמשות כתחליף לאספקת החשמל הרגילה מהרשת. סעיף זה קובע ש"הגנה באמצעות ניתוק אוטומטי של האספקה הרגילה לא יכולה להישען על נקודת ההארקה שברשת האספקה הרגילה. במקרה זה יש להתקין אמצעי הארקה מתאימים במתקן עצמו". דרישה זאת מצוטטת גם בתקן IEC<sup>(12)</sup> שדן במתקן ייצור וצריכה (PEI) ומשמעותיה יידונו בפרק זה.

### 4.1 סיווג ומשטרי הפעלה

#### 4.1.1 סיווג מתקני ייצור וצריכה לפי תקן IEC

תקן IEC 60364-8-82<sup>(12)</sup> מתייחס לשלושה סוגים של מתקני ייצור וצריכה (PEI):

1) מתקן ייצור וצריכה המחובר לרשת (**Grid connected PEI**) – מתקן שנועד לעבוד אך ורק כאשר הוא מחובר לרשת;

2) מתקן ייצור וצריכה שנועד לעבוד הן עם חיבור לרשת והן במנותק ממנה (אי-חשמלי) – (**Islandable PEI**)

3) מתקן ייצור וצריכה ללא חיבור לרשת, שנועד לעבוד בצורה עצמאית בלבד – (**Stand-alone PEI**)

#### 4.1.2 משטרי הפעלה של מתקן ייצור וצריכה

תקן IEC<sup>(12)</sup> מתייחס לשני משטרי הפעלה הבאים שמהם נגזרות הדרישות למתקן הייצור והצריכה:

1) עבודה של מתקן ייצור וצריכה עם חיבור לרשת חלוקה (**Connected mode**) עבור מתקני PEI מהסוג הראשון והשני המפורטים בסעיף 4.1.1 לעיל;

2) עבודה של מתקן ייצור וצריכה באי-חשמלי עבור מתקני PEI מהסוג השני והשלישי.

בחירת משטר ההפעלה ומעבר ממשטר אחד למשנהו הם בהתאם לתעריפי חשמל או הסכמים עם בעל רשת החלוקה או בהתאם להנחיות רשויות מוסמכות.

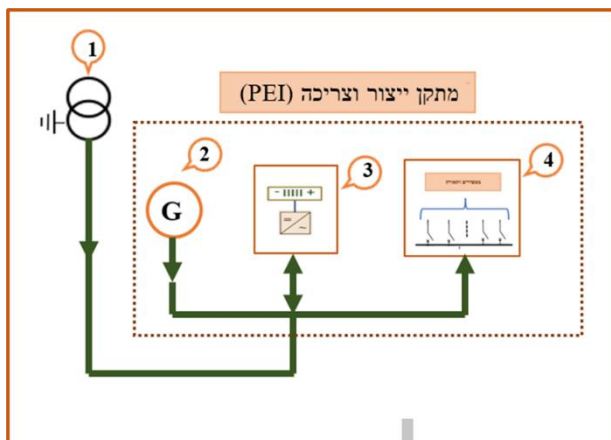
במשטר הפעלה הראשון כאשר זרימת האנרגיה היא מהרשת אל המתקן (**Direct feeding mode**) כמתואר באיור 4.1.1:

- מערכת אגירת אנרגיה חשמלית יכולה להזין עומסים בתוך מתקן PEI, כאשר היא נטענת מהרשת או מאמצעי ייצור פנימיים;

- אמצעי ייצור פנימיים (כגון: גנרטור, מערכת PV) יכולים להזין את העומסים במתקן או להטעין את מערכת האגירה.

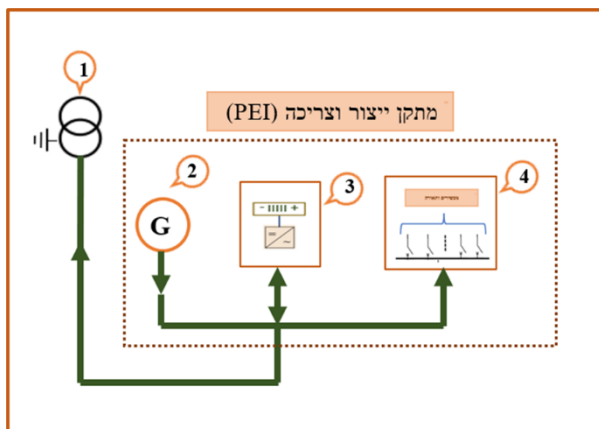
במשטר ההפעלה הראשון כאשר זרימת האנרגיה היא הפוכה – ממתקן PEI אל רשת החלוקה (**Revers feeding mode**) כמורט באיור 4.1.2:

- העומסים הפנימיים במתקן PEI מוזנים ממקורות היצור הפנימיים או ממערכת אגירה;
- מערכת אגירה חשמלית נטענת ממקורות הייצור הפנימיים;
- מקורות יצור פנימיים מזינים את העומסים הפנימיים או מטעינים את מערכת האגירה או מזרימים אנרגיה לרשת.



- מקרא:
- 1 - רשת חלוקה
  - 2 - גנרטור
  - 3 - מערכת אגירה חשמלית
  - 4 - עומסים פנימיים

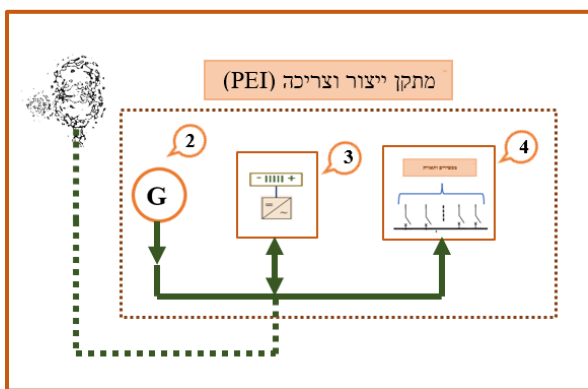
**איור 4.1.1:** משטר הפעלה ראשון של מתקן PEI כאשר זרימת האנרגיה היא מהרשת אל המתקן



- מקרא:
- 1 - רשת חלוקה
  - 2 - גנרטור
  - 3 - מערכת אגירה חשמלית
  - 4 - עומסים פנימיים

**איור 4.1.2:** משטר הפעלה ראשון של מתקן PEI כאשר זרימת האנרגיה היא מהמתקן אל הרשת

במשטר ההפעלה השני המפורט בסעיף 4.1.1 לעיל (עבודה באי-חשמלי) מתקן PEI מנותק מהרשת וזרימת האנרגיה היא בתוך המתקן בלבד כמתואר באיור 4.1.3 להלן.



- מקרא:
- 2 - גנרטור
  - 3 - מערכת אגירה חשמלית
  - 4 - עומסים פנימיים

**איור 4.1.3:** משטר הפעלה של מתקן PEI באי-חשמלי

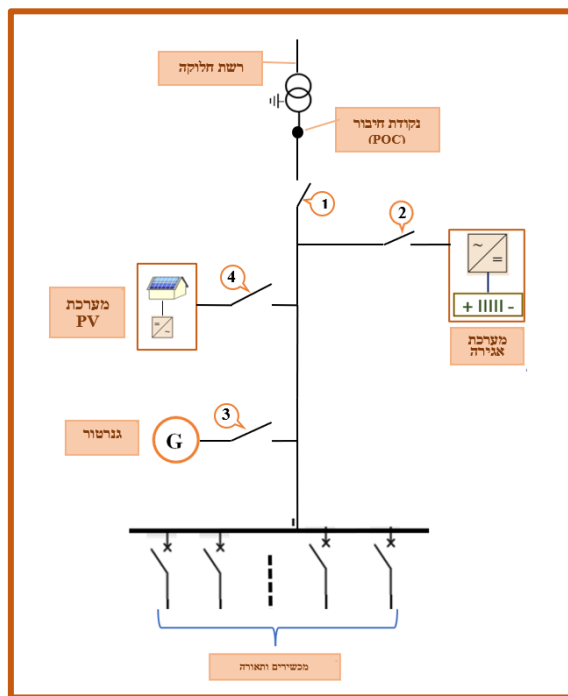


## 4.2 יחסי גומלין בין מתקן ייצור וצריכה לבין הרשת

חיבור מתקן ייצור וצריכה (PEI) לרשת חלוקה יכול להתבצע במתח גבוה או במתח נמוך. כאשר מדובר במתקן PEI המחובר לרשת במתח נמוך ההתייחסות לשיטת ההארקה וההגנה בפני חשמול במתקן נגזרת משיטת ההארקה של נקודת השיטה של שנאי ברשת החלוקה שנקבעה על ידי בעל הרשת. במקרה של מתקן PEI הניזון מרשת חלוקה במתח גבוה בחירת ההארקה וההגנה במתקן PEI וברשת המזינה את המתקן היא בידי בעל המתקן, אך הוא יכול לפעול על פי אותם העקרונות שמיושמות במתקן הניזון במתח נמוך. בכל מקרה נחזור ונדגיש שדרישות התקן המוצגות במסמך זה מתייחסות למתקן PEI הניזון במתח נמוך.

### 4.2.1 מתקן PEI שנועד לפעול רק כאשר הוא מוזן מרשת חלוקה

מתקן ייצור וצריכה שנועד לפעול רק כאשר הוא מחובר למתח ברשת יכול להישען על הארקה בנקודת השיטה של הרשת (ראה איור 4.1.4) רק אם הוא מתנתק באופן אוטומטי מהרשת במקרה של הפסקה באספקת החשמל או אירועים חריגים אחרים שמגדיר בעל רשת החלוקה. בעת ניתוק האוטומטי כאמור מתנקים גם את כל אמצעי הייצור הפנימיים במתקן.



מקרא:

- 1 - מפסק ראשי
- 2 - מפסק זרם למיתוג מערכת אנרגיה
- 3 - מפסק זרם למיתוג גנרטור
- 4 - מפסק זרם למיתוג מערכת פוטו-וולטאית

### איור 4.2.1: דוגמה של מבנה מתקן PEI שנועד לפעול רק כשהוא מחובר למתח ברשת

לקטגוריה הזאת של מתקנים יכולים להשתייך מתקנים לייצור חשמל ממקורות אנרגיה מתחדשים, עם או בלי מערכות לאגירת אנרגיה חשמלית.

ניתוק של מתקן PEI מסוג זה מהרשת כמו גם של מתקן מהסוג, שיידון בסעיף הבא, חייב להיות מובטח באמצעות הגנת חוסר זינה מהרשת (LOM-loss of main). המאפיינים של מקרים שבהם חייבת לפעול הגנת LOM מוגדרים על ידי מפעיל רשת החלוקה (בישראל – בעל רישיון חלוקה כמוגדר בחוק משק החשמל). מאפייני הפעולה של הגנת LOM הם בדרך כלל בעת איתור מתח יתר או נפילת מתח, חריגה מגבולות המותרים של תדירות הרשת והגנה נגד זרימת האנרגיה לכיוון הרשת. הגנת LOM יכולה להיות מותקנת בלוח הראשי לניתוק המתקן כולו או להיות מותקנת בלוחות שעל יד כל אחד מאמצעי הייצור הפנימיים והיא נועדה למנוע מצב בלתי רצוי למפעיל רשת החלוקה שבו חלק מהרשת מחושמל על ידי מתקן PEI כאשר הרשת מופסקת<sup>(14)</sup>.

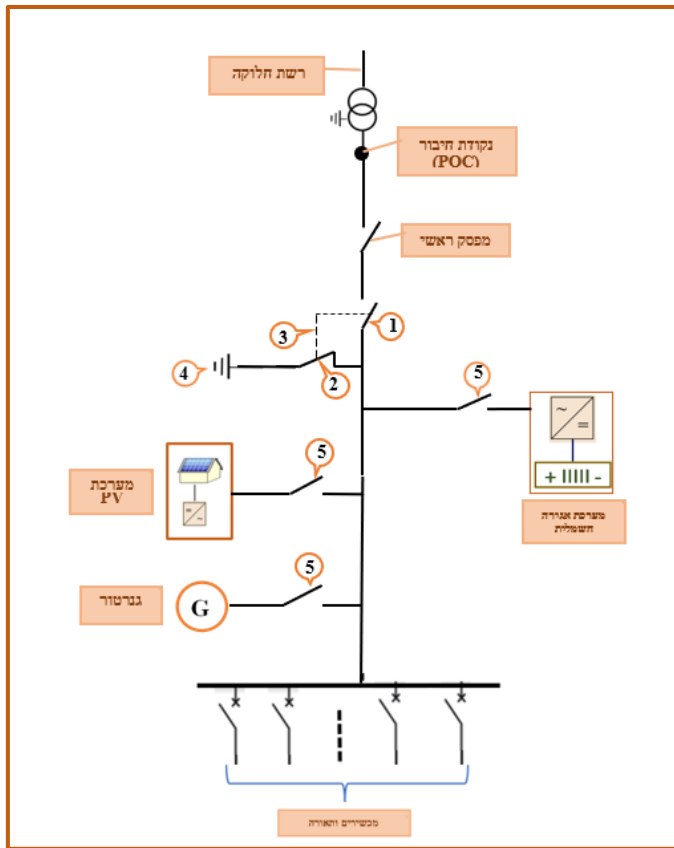
בתקן<sup>(12)</sup> מודגש שקביעת מאפייני הפעולה של הגנת LOM על ידי מפעיל הרשת יכולה גם לקחת בחשבון את האפשרות של שימוש במתקן PEI ספציפי לצרכים מערכתיים וביניהם LVRT או FRT:

- יכולת של אמצעי ייצור מבוזרים וביניהם אלה שבמתקן PEI, להישאר מחוברים לפרק זמן קצר כאשר ערך המתח ברשת החלוקה חורג מהערך הנדרש (LVRT-low voltage ride through);
  - יכולת של אמצעי ייצור מבוזרים וביניהם אלה שבמתקן PEI, להישאר מחוברים לפרק זמן קצר כאשר ערך התדירות ברשת החלוקה חורג מהערך הנדרש (FRT-frequency ride through)
- לאחר ניתוק המתקן מהרשת מהסיבות שתוארו לעיל באמצעות המפסק הראשי (1) מופסקים גם כל אמצעי הייצור המקומיים באמצעות מפסקים (2), (3), (4). אחרי חזרת רשת החלוקה למצב תפעולי תקין המתקן מתחבר חזרה ואמצעי הייצור המקומיים חוזרים לפעול בסנכרון עם הרשת בהתאם לכללים והנחיות של בעל רשת החלוקה.

#### 4.2.2 מתקן PEI שנועד לפעול גם באי-חשמלי (Islandable PEI)

באיור 4.2.2 להלן מוצגת דוגמה של מתקן PEI שיכול לעבוד בשני מצבים:

- כאשר המתקן מוזן מרשת חלוקה;
  - כאשר המתקן מנותק מהרשת ופועל באי-חשמלי.
- כאשר המתקן מוזן מרשת החלוקה (מפסק המעבר לעבודה באי-חשמלי (1) הוא במצב סגור) והרשת והגנת LOM גורמת לניתוק המפסק הראשי בגלל הפרעה ברשת החלוקה, חזרת המתקן להזנה מהרשת היא כמתואר לעיל בסעיף 4.2.1. השינוי המהותי במתקן PEI שנועד לפעול במצב של אי-חשמלי (כאשר מפסק (1) במצב פתוח) הוא בהתייחסות לשיטת ההארקה והגנה בפני חשמול במתקן בשני המצבים הנ"ל.



מקרא:

- 1 - מפסק המעבר לעבודה באי-חשמלי
- 2 - ממסר המקשר בין מוליך האפס לבין ההארקה
- 3 - חיגור מכאני או חשמלי
- 4 - אלקטרודת הארקה מקומית במתקן PEI
- 5 - מפסק לחיבור מערכת אגירה (או אמצעי ייצור מקומי אחר)

#### איור 4.2.2: דוגמה של מבנה מתקן PEI שנועד לפעול כשהוא מחובר למתח ברשת או במצב של אי-חשמלי

מתקן ייצור וצריכה יכול לעבור לעבודה באי-חשמלי ולחזור למצב מחובר, לא רק כתוצאה מהפסקה באספקת החשמל ברשת החלוקה אלא גם על פי החלטה של בעל המתקן, למשל משיקולים של תעריף החשמל הנצרך. לכן כפי שכבר ציינו קודם בתחילת הפרק, ההגנה בפני חשמול באמצעות ניתוק של אספקת החשמל לא יכולה להישען על הארקה ברשת החלוקה. מסיבה זאת תקן IEC<sup>(12)</sup> מחייב התקנה של ממסר למיתוג המוליך המקשר בין נקודת האפס של מקורות הזינה לבין ההארקה (מסומן (2) באיור 4.2.2). בתקן IEC המוליך הזה קרוי "system referencing conductor". בפרסומים הבריטיים<sup>(2)</sup> הממסר הזה קרוי "N-E bond relay" וגם אנחנו נשתמש בהמשך בשם "ממסר הקשר N-E".

במתקן PEI עם אמצעי יצור פנימיים, מותקן הממסר (2) יחד עם המפסק למעבר לעבודה באי-חשמלי (1) בלוח הראשי של המתקן עם חיגור מכאני ביניהם. במתקן עם מספר מקורות יצור מקומיים המוליך המקשר בין נקודת האפס לבין ההארקה רצוי שיהיה משותף לכל המקורות והוא יכול להימצא בתוך לוח חשמל במרחק מהלוח הראשי, שבו מותקן מפסק המעבר (1). במקרה זה יותקן ממסר המקשר (2) בלוח המרוחק עם חיגור חשמלי למפסק המעבר לעבודה באי-חשמלי (1). חובת ההתקנה של ממסר הקשר N-E או העדר חובה זו תלויים בתצורה של הזנת מתקן PEI ובאמצעי הגנה בפני חישמול בעת המעבר לעבודה באי-חשמלי, כפי שמתואר בהמשך.

### **4.3 אמצעי הגנה בפני חישמול במתקן יצור וצריכה שנועד לפעול גם באי-חשמלי**

מתקן יצור וצריכה צריך להיות מתוכנן באופן המאפשר יישום משטרי הפעלתו כפי שפורטו בסעיף 4.1.2 לעיל. כך למשל, כפי שכבר ציינו, המתקן יכול לעבור בכל רגע ממצב הזנה מרשת חלוקה למצב עבודה באי-חשמלי וחזרה להזנה מהרשת. אמצעי הגנה בפני חישמול צריכים להתאים לאופן התפעול כאמור. כמו בכל מתקן חשמלי אחר גם במתקן יצור וצריכה ישימים אמצעי הגנה בפני חישמול שונים. אנו נדון כאן בהרחבה בהתייחסות של תקן IEC<sup>(2)</sup> לאמצעי הגנה על ידי ניתוק אוטומטי של אספקת החשמל במקרה של חישמול.

#### **4.3.1 מעבר לעבודה באי-חשמלי של מתקן המוזן מהרשת והמוגן באמצעות TN-C-S**

כאשר מתקן PEI מחובר לרשת מפסק המעבר לעבודה באי-חשמלי (1), המותקן בלוח הראשי של המתקן (מפסק דו-קטבי בהזנה חד מופעית ומפסק ארבעה-קטבי בהזנה תלת-מופעית) הוא במצב סגור. אמצעי יצור מקומיים כולל מתקן האגירה החשמלי מנותקים. ממסר הקשר N-E (2) נמצא כאמור בלוח הראשי של המתקן (או בלוח מרוחק השולט על הפעלת מקורות יצור פנימיים) עם חיגור אל מפסק (1). המגע החשמלי של הממסר מחובר למוליך האפס לפני מפסק (1), לשליטה על חיבור וניתוק הקשר בין האפס של מקורות הייצור המקומיים לבין ההארקה (אלקטרודה מקומית או הארקה ייסוד) והוא במצב פתוח. כאשר מתקן PEI עובר לעבודה באי-חשמלי מפסק (1) עובר למצב פתוח, הוא מנתק את כל המוליכים החיים מהרשת ומעביר את המגע של ממסר הקשר N-E (2) למצב סגור. המפסקים של אמצעי יצור פנימיים (5) נסגרים. כתוצאה מפעולות אלה נקודות השיטה של אמצעי היצור הפנימיים מתחברות לאלקטרודה מקומית או להארקה ייסוד של מבנה (אם המתקן הוא במבנה) ואמצעי ההגנה בפני חישמול במתקן במצב זה הוא TN-S.

#### **4.3.2 מעבר לעבודה באי-חשמלי של מתקן המוזן מהרשת והמוגן באמצעות TT**

פעולת מתקן PEI כאשר הוא מוזן מרשת החלוקה ומוגן בפני חישמול באמצעות TT זהה לזאת שמתוארת בסעיף 4.3.1. גם פעולת המתקן באי-חשמלי דומה. בשונה מהמתקן הקודם במקרה זה המגע החשמלי של ממסר הקשר N-E (2) מחובר למוליך האפס אחרי מפסק המעבר לעבודה באי-חשמלי (1). פתיחת מפסק (1), חבור אמצעי היצור הפנימיים וחיבור נקודות האפס שלהם להארקה על ידי סגירת המגע של הממסר (2) יוצרת מעבר של המתקן לעבודה באי-חשמלי עם אמצעי הגנה בפני חישמול TN-S.

#### **4.3.3 מעבר לעבודה באי-חשמלי במתקן PEI ללא צורך בהתקנת ממסר הקשר N-E**

מתקן PEI במתח נמוך המתוכנן לעבוד באי-חשמלי איננו חייב להתקין ממסר הקשר N-E ליישום אמצעים להגנה בפני חישמול במעבר ממצב המחובר לרשת למצב של אי-חשמלי, במקרים הבאים:

- במתקן המוגן בפני חישמול במצב מחובר לרשת חלוקה באמצעות TN-C-S כאשר האיפוס הוא על ידי חיבור בין פס האפס לבין פס ההארקה בלוח הראשי וחיבור זה נשאר ללא שינוי גם במצב העבודה של המתקן באי-חשמלי, שבו אמצעי ההגנה הופך להיות TN-S;
- במתקן המוגן בפני חישמול במצב מחובר לרשת חלוקה באמצעות TN-S ואמצעי זה לא משתנה גם אחרי חיבור אמצעי היצור הפנימיים ומעבר המתקן לעבודה באי-חשמלי;
- במתקן המוגן באמצעות זינה צפה IT כאשר הוא מחובר לרשת החלוקה, והגנה זו לא משתנה גם אחרי המעבר לעבודה באי-חשמלי.

### **4.4 היבטים כלליים בתכנון מתקן חשמלי עם מערכת אגירה בצד זרם החילופין AC**

הנושאים העקרוניים שיש להתחשב בהם, מלבד אלה שתוארו עד כה בפרק זה של המסמך הם:

- במתקן עם מערכת אגירה שנועד לעבוד רק עם חיבור לרשת, אמצעי הגנה בפני זרם יתר צריכים להיבחר בהתחשב בשני כיווני זרימה. גם בעת קביעת החתך של מוליכי הזינה למתקן צריכים להתחשב בהזנה ישירה (מהרשת) ובהזנה הפוכה (מהמתקן אל הרשת);
- זרם הקצר המקסימלי שיש להתחשב בו בעת בחירה של אביזרים ללוח מורכב מזרם הקצר הכולל שני מקורות זינה לנקודת הקצר: ממערכת האגירה ומהרשת;
- מערכת אגירה כמקור זינה יחיד במשטר עבודה באי-חשמלי מסוגלת לגרום לערכים נמוכים יותר של זרמי קצר בהשוואה לאלה שבמשטר העבודה עם חיבור לרשת החלוקה. יש להתחשב בזה בעת בחירה וכיוון ההגנות במתקן;
- בעת בחינה של עמידות תרמית של מוליכים ופסי צבירה יש להתחשב בזרמי קצר במתקן בעבודה באי-חשמלי (שהם נמוכים יותר) עד לניתוקם על ידי ההגנה בפני זרמי קצר;
- מערכות האגירה הן בדרך כלל בעלות יכולת לספק חשמל לעומסים במשך פרק זמן מוגבל. יש להתאים את העומסים לעבודה באי-חשמלי בהתאם (למשל על ידי חלוקה לעומסים חיוניים ובלתי חיוניים);

## **4.5 צד הזרם הישר (DC) במערכות אגירה**

### **4.5.1 כללי**

ההיבטים הבטיחותיים שיש להתחשב בהם בעת תכנון צד ה-DC של מערכת האגירה בסוללות הם:

- חלק גדול של הסוללות הן עם התנגדות חשמלית פנימית נמוכה ולכן זרם הקצר הצפוי בצד DC הוא גבוה, יחסית. לכן במערכות אגירה עם ערך גבוה של אנרגיה חשמלית שנאגרה, קיים סיכון גבוה של נזקים כתוצאה מקשת חשמלית שעלולה להיווצר מהקצר.
- העדר הגנה מתאימה בפני קצר עלול להביא להתחממות מסוכנת בתוך הסוללות ולנזקים בסוללה כתוצאה מכך. בסוגים מסוימים של סוללות נדרש ניתוק מהיר מאוד של זרם הקצר כדי למנוע את התופעה של "בריחה תרמית" שהוזכרה בסעיף 2.2.2 לעיל.
- מעגלי DC אינם ניתנים להגנה בפני זרמי קצר לאדמה באמצעות מפסקי פחת. לכן בנוסף להארקה של גופים מתכתיים והתקנת מבטחים מתאימים אפשר ליישם בידוד כפול.
- בצד DC נדרשת התקנה של אמצעי מיתוג כדי לאפשר טיפול בסוללות.
- לא ניתן לנטרל את המתח בהדקים של סוללה או קבוצת סוללות ולכן הפעלה של מערכת אגירה בסוללות מחייבת נקיטת צעדים למניעת מגע מקרי בהדקים אלה.
- במערכות אגירה גדולות ניתן להתקין את הסוללות בחדר נפרד או מאחורי מחיצת הפרדה עם אמצעי נעילה המונעים גישה אל הסוללות של אנשים לא מורשים.

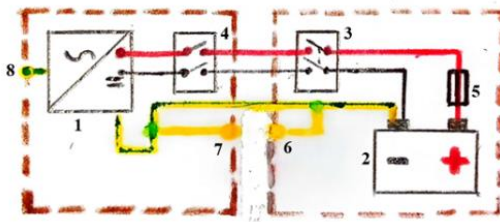
להגנה בפני חישמול במערכות אגירה עם ממיר וסוללות במארזים נפרדים או במארז אחד ניתן ליישם אחד או יותר מאמצעי הגנה הבאים:

- מתח נמוך מאוד (PELV);
- מתח בטיחות נמוך מאוד (SELV);
- ניתוק אוטומטי של מקור המתח באמצעות מבטח בפני זרם יתר;
- בידוד כפול.

### **4.5.2 הארקות בצד DC**

באזור 4.1.1 מוצגת דוגמה של מערכת אגירה עם ממיר וסוללה אחד שבה הקוטב השלילי מוארק.

יצרני מערכות מסוימות מחברים להארקה את הקוטב החיובי של הסוללה בגלל מאפייני מדידות ובקרה אלקטרונית במערכת. במערכות מסוג זה נדרש ציפוי גלוי למניעת קורוזיה בהדקים.

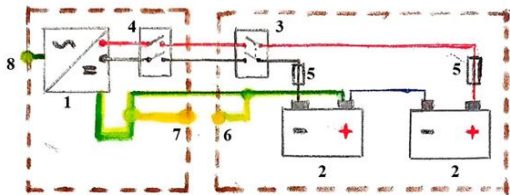


**מקרא:**

- 1 – ממיר
- 2 – סוללה
- 3 – מפסק דו-קוטבי לניתוק המארז עם הסוללות
- 4 – מפסק דו-קוטבי לניתוק המארז עם הממיר
- 5 – נתיך
- 6 – הארקת המארז עם סוללות
- 7 – הארקת פונקציונלית של צד DC בממיר
- 8 – הארקת המארז עם הממיר

**איור 4.1.1 הארקות במערכת עם ממיר וסוללה במארזים נפרדים**

באיור 4.1.2 מוצגת דוגמה של מערכת אגירה עם ממיר וסוללות במארזים נפרדים, כאשר נקודת התווך בחיבור בין הסוללות מוארקת. להארקה בדגמים מסוימים של ממירים בתצורה כזאת נדרשת הגנה בפני זרם יתר בשני קטבים, כמתואר להלן.



**מקרא:**

- 1 – ממיר
- 2 – סוללה
- 3 – מפסק דו-קוטבי לניתוק המארז עם הסוללות
- 4 – מפסק דו-קוטבי לניתוק המארז עם הממיר
- 5 – נתיך
- 6 – הארקת המארז עם סוללות
- 7 – הארקת פונקציונלית של צד DC בממיר
- 8 – הארקת המארז עם הממיר

**איור 4.1.2 הארקות במערכת עם ממיר ושתי סוללות במארזים נפרדים**

הארקת נקודת התווך יכולה לשמש למטרות הבאות:

- מיזעור תופעת הקורוזיה בחלקים מתכתיים הקרובים לאדמה;
- הקטנת המתח כלפי האדמה במערכות לזרם ישר.

## פרק חמישי: התקנה של מערכת אגירה חשמלית

פרק זה דן באופן ההתקנה של מערכת אגירה חשמלית בסוללות במהלך הקמתו של מתקן חשמלי חדש או במתקן קיים, בהתבסס על הפרסומים הטכניים<sup>(2)</sup> ובהתחשב בהיבטים בטיחותיים שיפורטו בהמשך.

### 5.1 התקנת סוללות – היבטים בטיחותיים

#### 5.1.1 מניעת סיכונים מחומרים המרכיבים את הסוללה

כפי שכבר ציינו בפרק השני של מסמך זה חלק מהסוללות כוללות מרכיבים שדליפתם מסוכנת ולכן נדרש לשמור על כללי בטיחות מתאימים במהלך הובלה, התקנה, הפעלה שוטפת וסילוקם כפסולת במקרה של החלפתן. הנזקים שעלולים להגרם מהחומרים שבסוללות, כתוצאה מראקציה כימית של החומר עם החומרים שבסביבה, מפורטים בהוראות של יצרן הסוללות. בסוגים מסוימים של סוללות נדרשת מעטפת עם עמידות גבוהה בפני קורוזיה כדי למנוע דליפה של חומרים נוזליים או של ג'ל מהסוללות לקרקע.

#### 5.1.2 מניעת סיכונים מפליטת גזים

טעינת סוגים מסוימים של סוללות, במיוחד סוללות על בסיס עופרת-חומצה (ראה סעיף 2.2.1), עלולה להיות מלווה בפליטת גזים כמו מימן וחמצן בכמות מסוכנת, שעלולה להביא לדליקה או לפיצוץ. מימן הוא גז שמשקלו הסגולי הוא קטן מזה של האוויר ולכן הוא עלול להצטבר בחלקו העליון של החדר שבו מותקנות הסוללות. הגזים הנפלטים מהסוללות עלולים גם לכלול תרכיבים של חומרים שעלולים לגרום נזק לדרכי הנשימה ולעניים. כדי למנוע את הסיכונים הנובעים מפליטת הגזים כאמור לעיל, נדרש להתקין אמצעי אוורור מתאימים המבטיחים הכנסת אוויר טרי בכמות מתאימה לחללים שבהם נטענות הסוללות. במסמך INDG 139 של רשות הבטיחות והגהות הבריטית HSE<sup>(15)</sup> מפורטות הדרישות לאמצעים ולכללים הנדרשים כדי למנוע את הסיכונים האמורים.

דרישות הבטיחות לאופן ההתקנה ושימוש בסוללות מפורטות גם בתקן IEC 62485-2.

#### 5.1.3 מניעת סיכונים מהופעת זרם קצר

כמות גדולה של אנרגיה הנאגרת בסוללות עלולה להביא לנזק ניכר לציוד בעת הופעת זרם קצר בין הקטבים בהדקי החיבור של הסוללות. כיסוי מבודד מתאים של ההדקים הוא אמצעי הגנה נדרש למניעת מגע בלתי רצוי. כיסוי זה מומלץ גם כאשר הסוללות מותקנות במארז משותף יחד עם חלקים אחרים של מערכת האגירה. מניעת מגע מקרי בהדקים של הסוללות נדרש גם בתפעול שוטף של המערכת וגם במהלך ביצוע של עבודות אחזקה, באמצעות שימוש בכלי עבודה מבודדים.

#### 5.1.4 מניעת סיכונים אש

כפי שכבר ציינו בפרק 2 של המסמך בסוללות ליטיום-יון עלולה להתרחש "בריחה תרמית" שבמקרים קיצוניים מביאה להרס הסוללה, לדליקה ואף לפיצוץ. מסיבה זאת מארז סוללות ליטיום-יון עשוי לכלול בתוכו מעגלי בקרה שנועדו למנוע את התפתחות התופעה הנ"ל. היווצרות גזים וחומרים אחרים גם בסוללות מסוגים אחרים עלולה לגרום להתפרצות אש ולהרס הסוללות. אמצעים למניעת הסיכונים האמורים הם:

- קיום מדויק של הוראות התקנה שמצדדן ייצרן הסוללות;
- ווידוא שמערכות בקרה והתרעה על מצבים חריגים הן תקינות;

- ווידוא שהסוללות חוברו תוך הקפדה על קוטביות נכונה;
- ווידוא שהסוללות חוברו לציוד טעינה ופריקה מתאים;
- ווידוא שמעטפת הסוללות ומארזי הסוללות הם ללא פגמים;
- ווידוא שהסוללות לא נתונות להתחממות חריגה.

### **5.1.5 התחשבות במשקל של הסוללות והקונסטרוקציה להצבתם**

הסוללות במערכת אגירה עשויות להיות בעלות משקל כבד. עובדה זאת חייבת להילקח בחשבון בהקמה ובמהלך הפעלה והחלפה של הסוללות. המשקל של הסוללות ושל הקונסטרוקציה שעליה הן מותקנות, מחייב חוזק מתאים של המבנה שבו הם מותקנים, בהתאם לתכנון ופיקוח של מהנדס קונסטרוקציה.

## **5.2 מיקום הסוללות**

בעת קביעת המקום שבו יותקנו הסוללות יש להתחשב בגורמים העיקריים הבאים:

- הנחיות יצרן הסוללות וגיליון בטיחות החומרים שבסוללה (SDS=Safety Data Sheet);
- מגבלות האורך של הכבלים שבין הסוללות לבין הממיר כאשר הם מותקנים במארזים שונים;
- מרחקי מעבר וגישה הנדרשים לתפעול ולתחזוקה של הסוללות, כולל מרחקי בטיחות למניעת קשת והתחשמלות;
- דרישות אוורור;
- טמפרטורת הסביבה שבה מותקנות הסוללות כולל מרחק ממקורות חום אחרים;
- גישה מתאימה ודרכי מילוט למקרה של התפרצות אש;
- במערכות עם סוללות במשקל כבד – גישה נוחה לפריקה ולהעברה של הסוללות במהלך ההקמה של המערכת ולצרכי אחזקה שוטפת והחלפה במקרה הצורך;
- סיכוני חדירת מים.

## **5.3 מיקום הממירים**

בעת קביעת מקום ההתקנה של ממירים ומערכות בקרה של טעינה ופריקה של הסוללות יש לקחת בחשבון את הגורמים הבאים:

- גישה לצרכי הפעלה ואחזקה;
- חללים מתאימים להתקנת תעלות וכבלים;
- התאמה לתנאים השוררים במקום ההתקנה. במקרה של התקנה חיצונית – דרגת IP מתאימה;
- התחשבות ברמת הרעש בעת עבודת הממירים;
- מרחק קצר מהסוללות כדי לצמצם את מפלי מתח;
- התחשבות במשקל הממירים מההיבט הקונסטרוקטיבי של המבנה שבו מוקמת המערכת;
- מיקום ואופן ההתקנה של הממירים צריכים להתאים לכיווני קירור ואוורור לסילוק החום הנפלט מהממירים במהלך הפעולה של מערכת האגירה.

## פרק שישי: בחינה, בדיקה ובקרה

מערכת האגירה החשמלית חייבת לעבור בדיקה לפני חיבורה הראשון למתח ובדיקות תקופתיות כמפורט בפרק 3 של המסמך. כאשר מדובר בהתקנת מערכת האגירה במתקן חדש בדיקת המערכת היא חלק מבדיקת המתקן שכבר נדונה בהרחבה בפרסומים של ההתאגדות <sup>(16)</sup>, <sup>(17)</sup>. בחינה, בדיקה ובקרה של מערכת האגירה המפורטות בהמשך הן **בנוסף** לאמורות לעיל ומתייחסות, בעיקר, לאופי הייחודי של שילוב מערכת אגירה חשמלית בסוללות במתקן יצור וצריכה (PEI) שנדון בפרק 4.

### **6.1 בחינה ויזואלית של האמצעים המיועדים למעבר לעבודה באי-חשמלי**

הביקורות הנוספות שיש לכלול בשלב הבחינה הוויזואלית של המתקן שנועד לעבוד באי-חשמלי:

- וידוא התקנה של מפסק מתאים למעבר לעבודה באי-חשמלי;
- וידוא קיום אלקטרודה מקומית במתקן PEI;
- וידוא התקנה של ממסר הקשר N-E כנדרש.

### **6.2 בדיקת האמצעים להגנה בפני חישמול**

- הבדיקות הנוספות שיש לבצע במסגרת בדיקות של אמצעי הגנה בפני חישמול במתקן שנועד לעבוד באי-חשמלי:
- מדידת התנגדות של אלקטרודה מקומית כלפי המסה הכללית של האדמה (במתקנים שבהם האלקטרודה משתנה במעבר לעבודה באי-חשמלי);
  - מדידת העכבה של לולאת תקלה להבטחת הפעולה של האמצעים להגנה בפני חישמול;
  - בדיקת מפסקי פחת (רגישות וזמן פעולה) בצב הפעולה באי-חשמלי.

### **6.3 בדיקות פונקציונליות**

- הבדיקות הפונקציונליות הנוספות שיש לכלול בבדיקות של המתקן שנועד לעבוד באי-חשמלי:
- בדיקת הפעולה של מפסק המעבר לעבודה באי-חשמלי;
  - בדיקת הפעולה של ממסר הקשר N-E;

### **6.4 ביקורת של בעל הרשת**

במתקן חשמלי ליצור וצריכה (PME) הכולל מתקן האגירה המחובר בקביעות לרשת או כשהוא נועד לעבודה בהזנה מהרשת או באי-חשמלי, תבחן ההתאמה של המתקן לדרישות בעל הרשת כמורט במסמך זה. בחינת ההתאמה תבוצע על ידי נציג של בעל רשת החלוקה (במתקנים הניזונים במתח נמוך או במתח גבוה) או נציג של חברת ניהול מערכת החשמל (נגה).



## רשימת מקורות

- (1) "Energy Storage Systems: Based on the IBC®, IFC®, IRC® and NEC®", International Code Council, 2022
- (2) "Code of Practice for Electrical Energy Storage Systems", 2nd Edition, IET-The Institution of Engineering and Technology, 2020
- (3) "Electrical Energy Storage: an Introduction", IET-The Institution of Engineering and Technology
- (4) "Electrical installations — Safety of battery systems for use with power conversion equipment", DR2 AS/NZS 5139:2019, Standards Australia Limited/Standards New Zealand
- (5) "Battery Energy Storage Systems. Guidance Report", Australian Energy Council Limited, March 2023
- (6) "הנחיות להתקנת מערכות אגירת אנרגיה במצברים המחוברות לרשת החלוקה", רשות החשמל 2021
- (7) תקנות החשמל (התקנת מערכות אל-פסק סטטיות במתח נמוך), תשנ"ג-1993
- (8) "מערכות אנרגיה מתחדשות: פוטו וולטאי (PV), מהפכים (אינוורטר), מערכות אגירה ו-PCS", פרסום באתר מכון התקנים הישראלי
- (9) "דף מידע ליבואנים ויצרנים של סוללות למערכות הטעינה והאגירה", פרסום של המעבדה למכניקה והידרוליקה באתר מכון התקנים הישראלי
- (10) "דרישות וההכנות הנדרשות מיצרן פרטי לצורך חיבורו למערכת התקשורת של חברת החשמל", מסמך מ-27.08.2020, פרסום באתר של חברת החשמל
- (11) "דרישות טכניות ממתקן אגירה עצמאי בסוללות המתחבר למערכת מתח עליון ומנוהל על ידי מנהל המערכת", חברת נגה – גיהול מערכת החשמל, 11.2023, פרסום באתר חברת נגה
- (12) IEC 60364-8-82 :2022 "Part 8-82: Low-voltage electrical installations Functional aspects – Prosumer's low-voltage electrical installations".
- (13) IEC 60364-5-55:2011 "Electrical installations of buildings– Part 5-55: Selection and erection of electrical equipment – Other equipment"
- (14) "Types of Prosumer electrical installation according to IEC 60364-8-82", The Electrical Installation Guide, Schneider Electric
- (15) "Using electric storage batteries safely", HSE- Health and Safety Executive
- (16) "מסמך עקרונות הנדסיים בנושא: מתקני חשמל במתח גבוה", התאגדות מהנדסי חשמל, אלקטרוניקה ואנרגיה בישראל, נובמבר 2021
- (17) "מסמך עקרונות הנדסיים בנושא: מתקני חשמל לטעינת רכבים", התאגדות מהנדסי חשמל, אלקטרוניקה ואנרגיה בישראל, דצמבר 2022

