

Microgrid & Energy Storage

ברוכים הבאים להרצאה על היבטים הנדסיים של מיקרו גריד ואגירת אנרגיה.

היום נסקור את האתגרים והפתרונות בתכנון והפעלת מערכות מיקרו גריד מודרניות, תוך התמקדות מיוחדת בהיבטים ההנדסיים של רשתות אלה.

במהלך ההרצאה נכסה את הנושאים הבאים:

1. סקירה קצרה של טכנולוגיות אגירת אנרגיה וסוללות
2. מבוא למיקרו גריד
3. היבטים הנדסיים של מיקרו גריד, כולל:
 - ארכיטקטורה חשמלית
 - סכמות חיבור
 - בעיות נפוצות ופתרונותיהן
 - אתגרים עתידיים ומגמות בתחום

אגירה בישראל לפני כעשור



Microgrid & Energy Storage

רשתות ומערכות אגירה מאולתרות



קירבה לחומרים דליקים מהווים סכנת
שריפה והתלקחות מהירה.



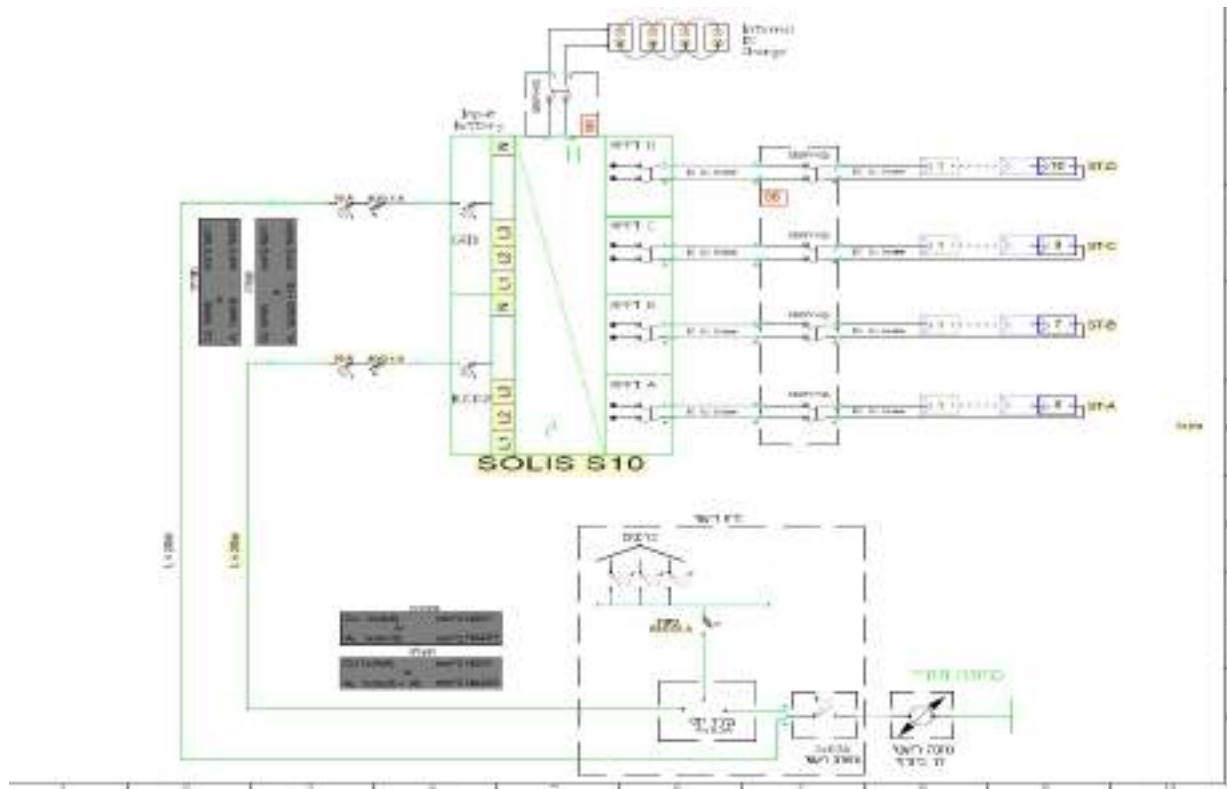
Microgrid & Energy Storage



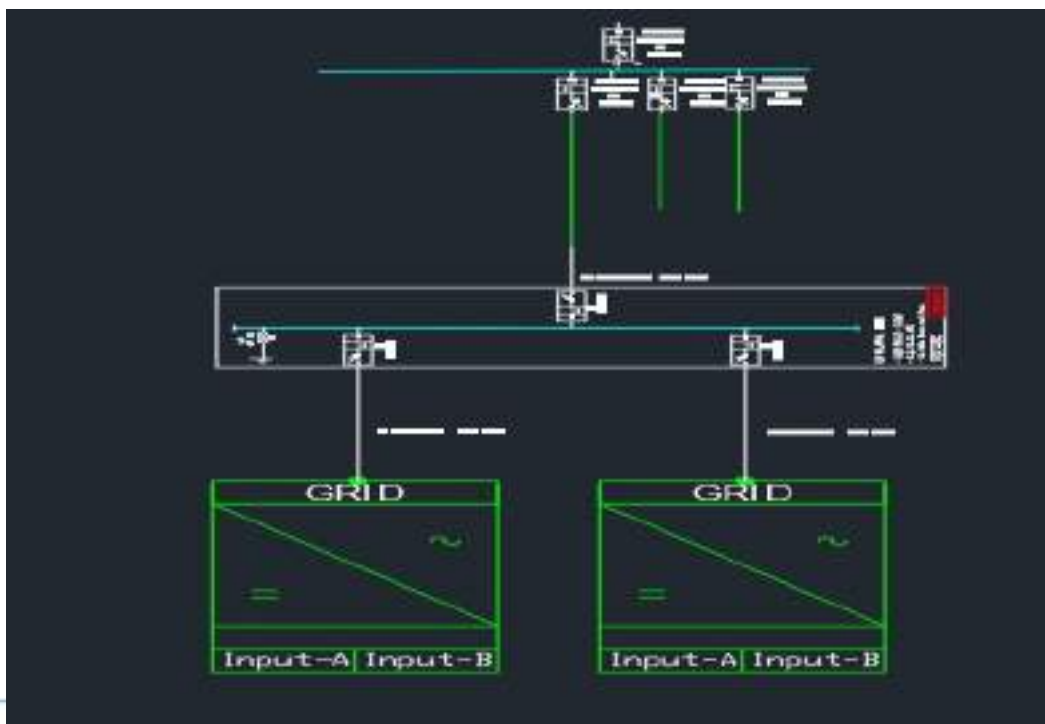
התפתחות של קורוזיה במחברים – הדבר יכול להוריד את יכולת הפריקה של המצברים. בנוסף ניתן לראות דליפת חומר מהמצברים.



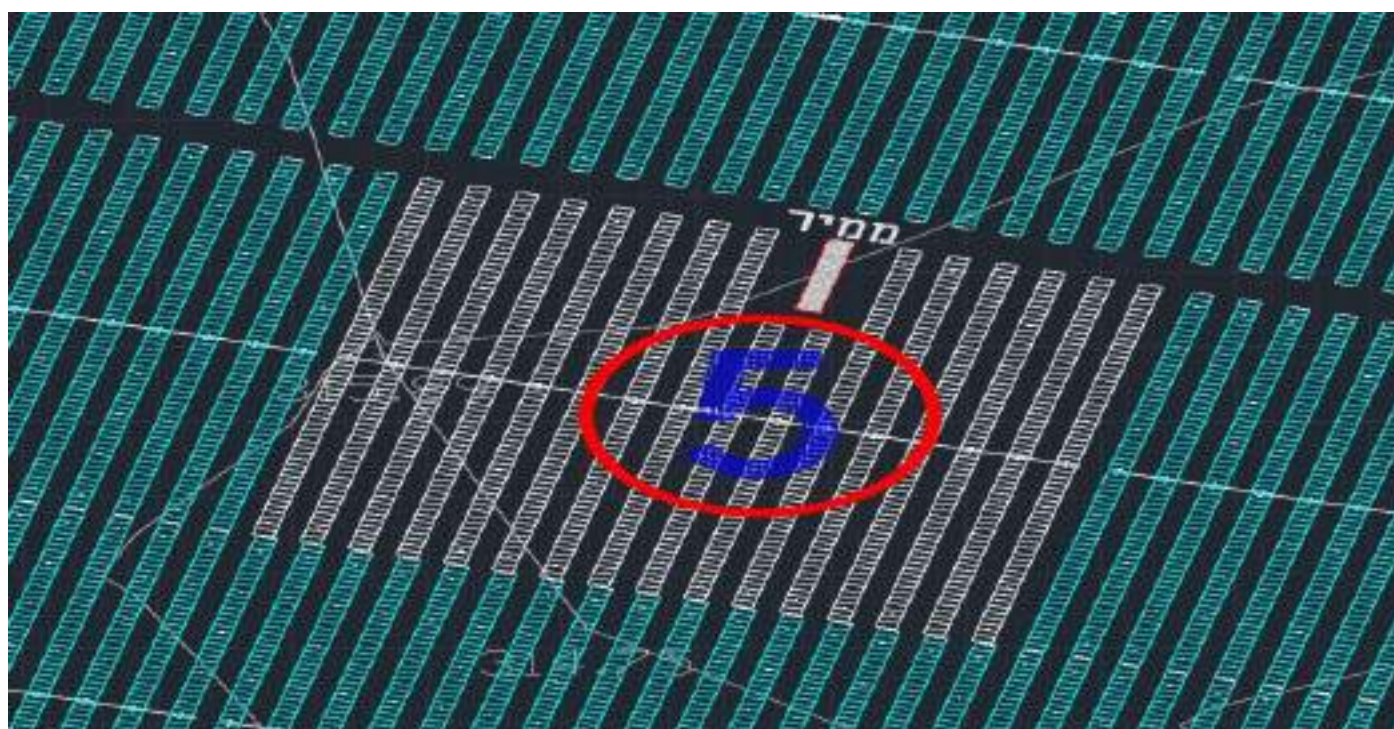
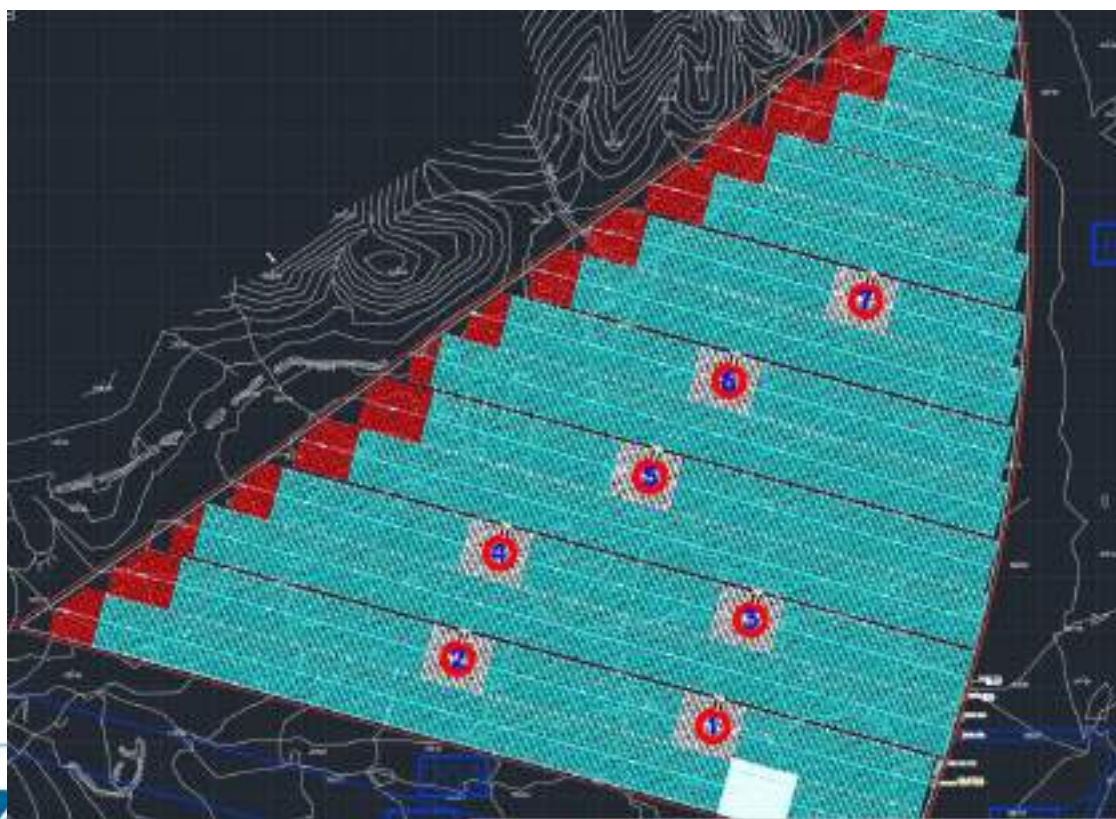
רשת מאולתרת



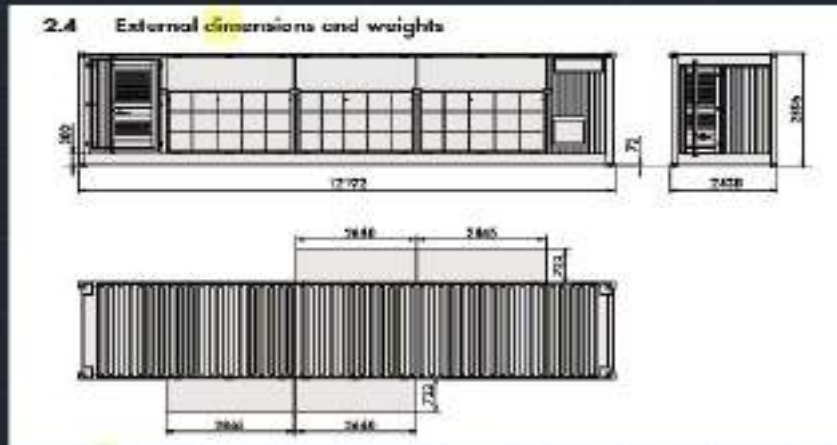
מסחרית פשוטה



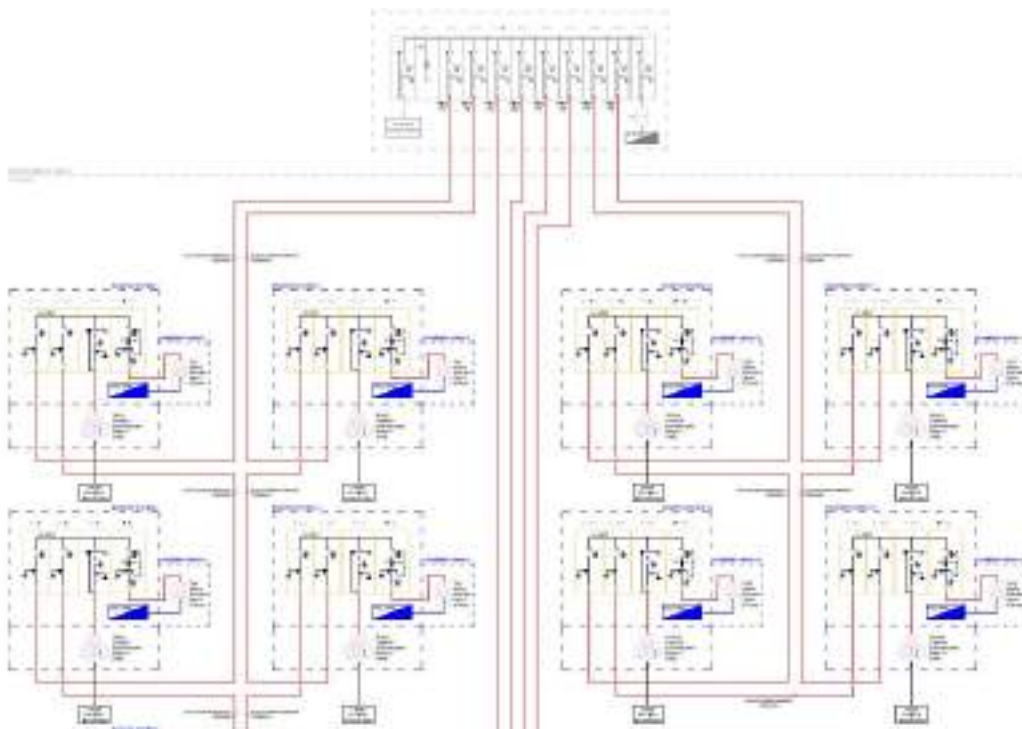
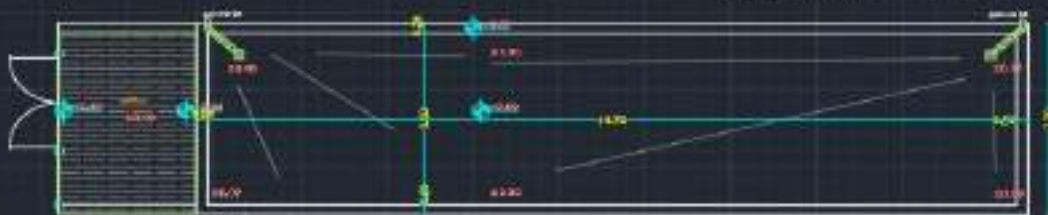
מבנה אגירה כמו סולארי-טבעת רשת, ממיר=אגירה

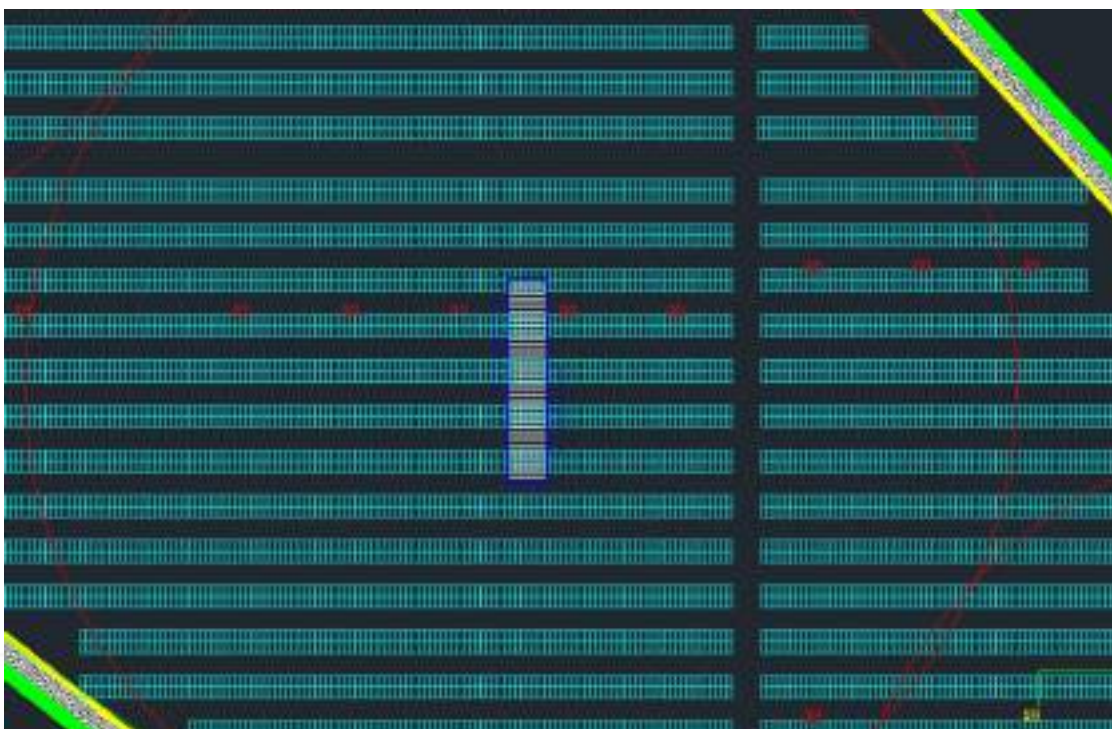
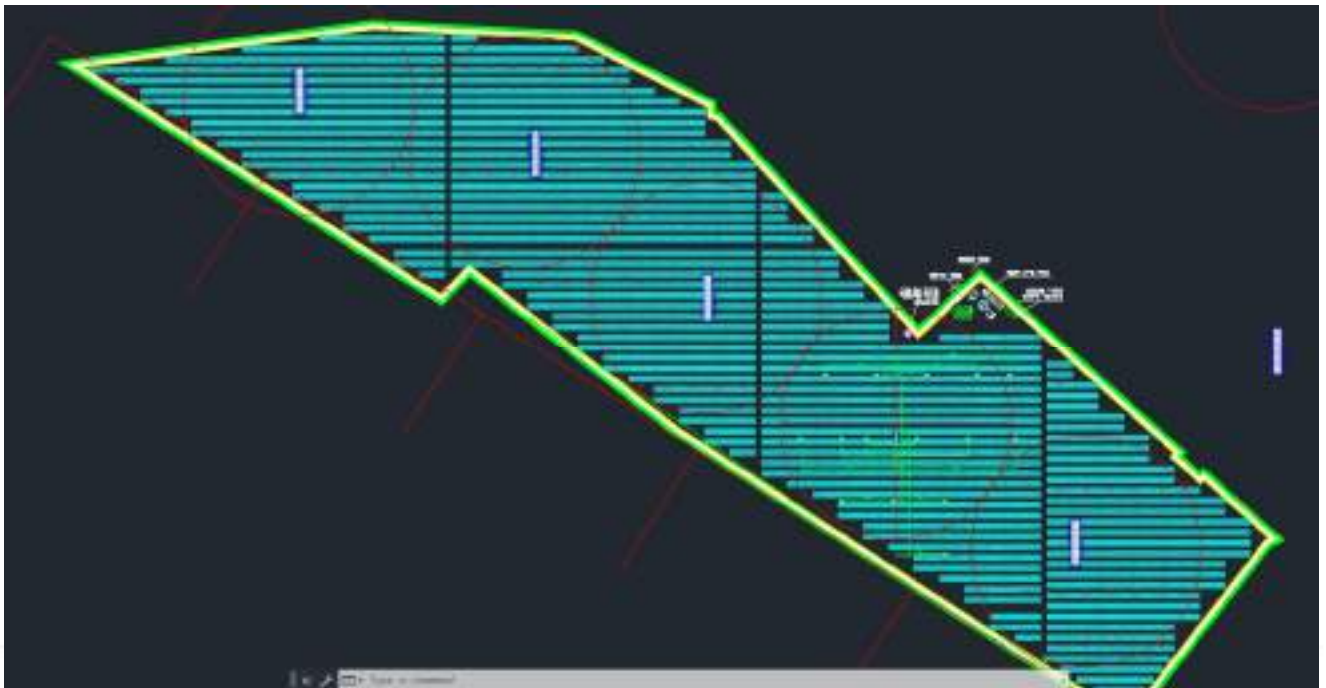


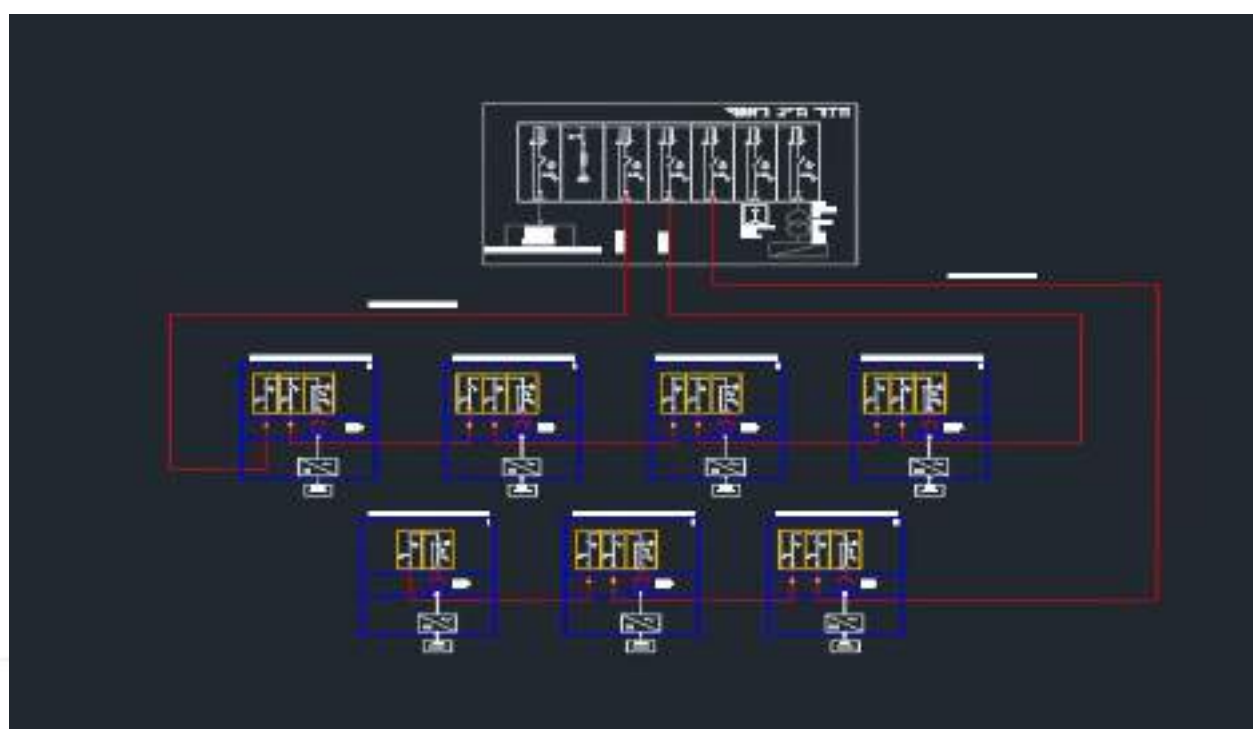
פרט הממיר

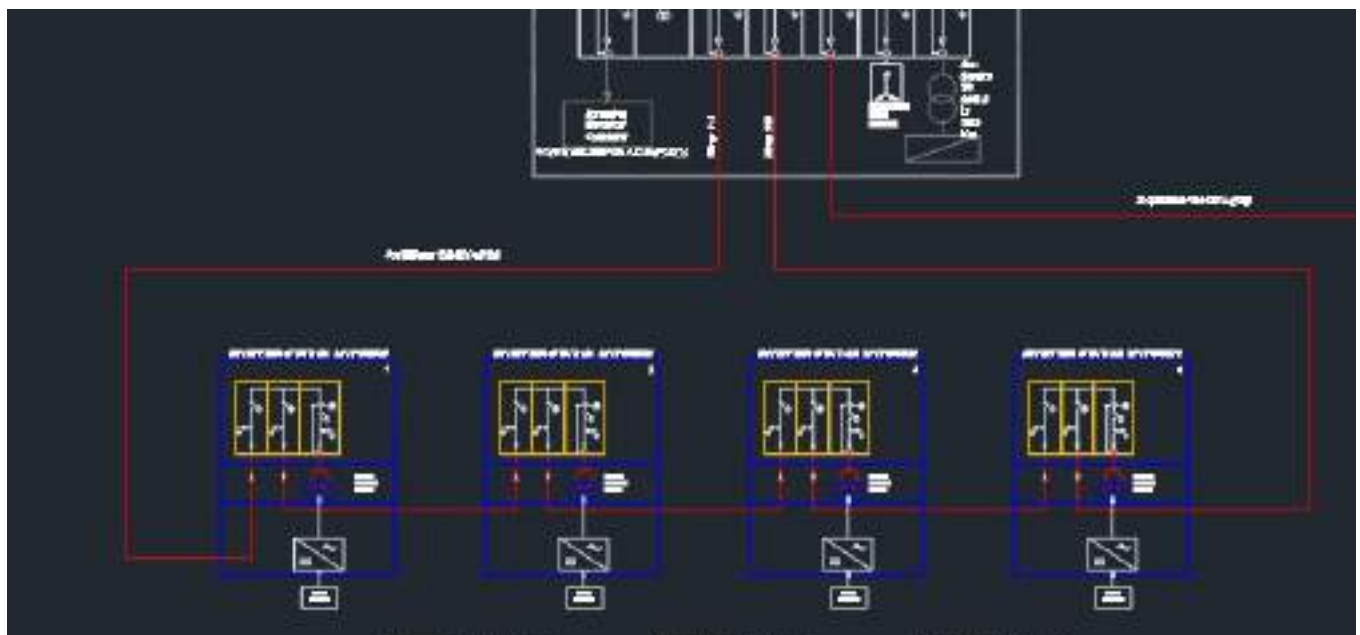
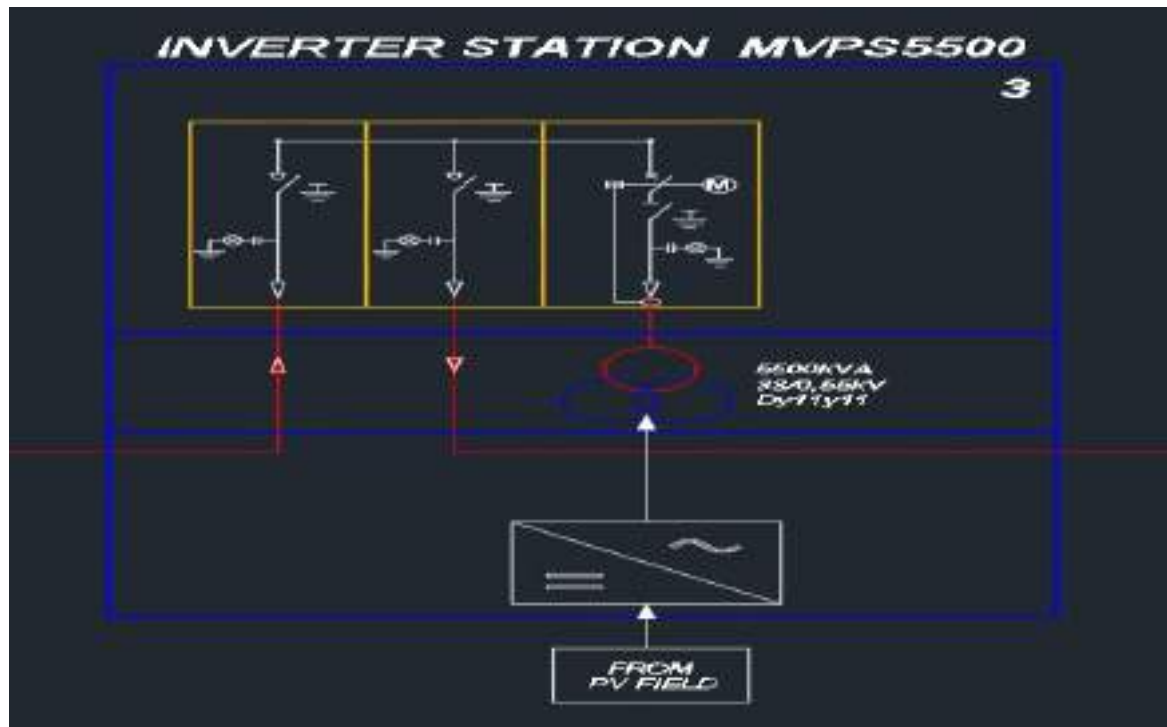


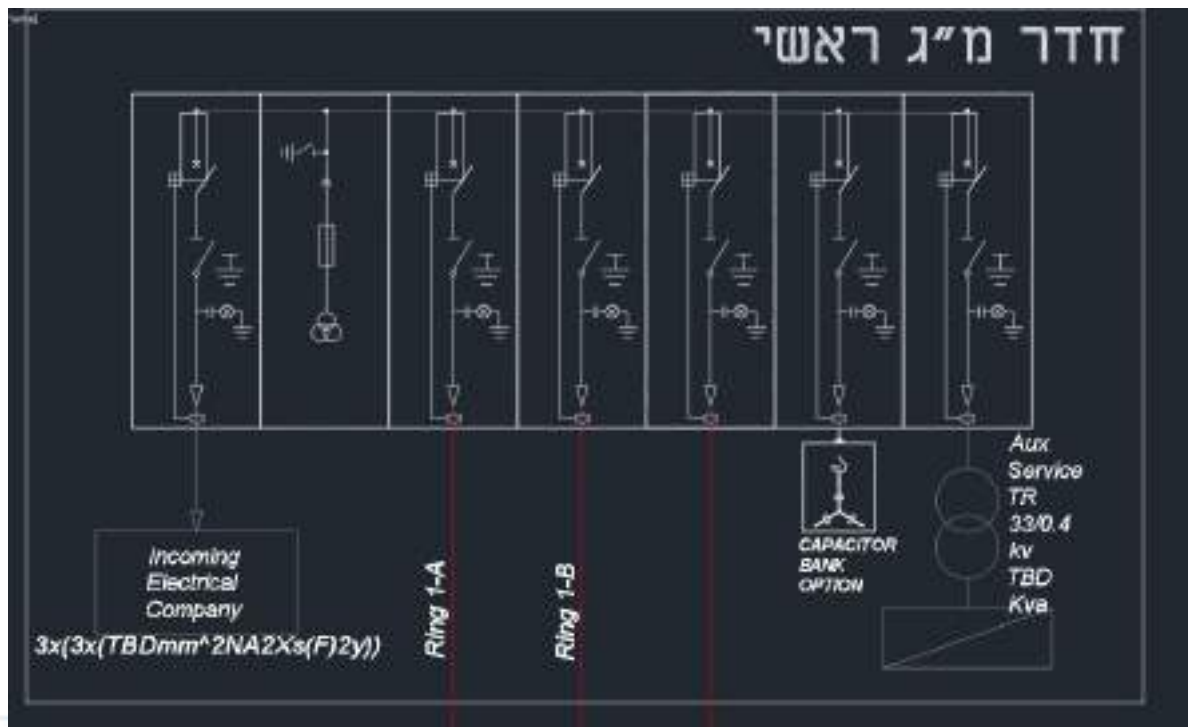
חדר חשמל

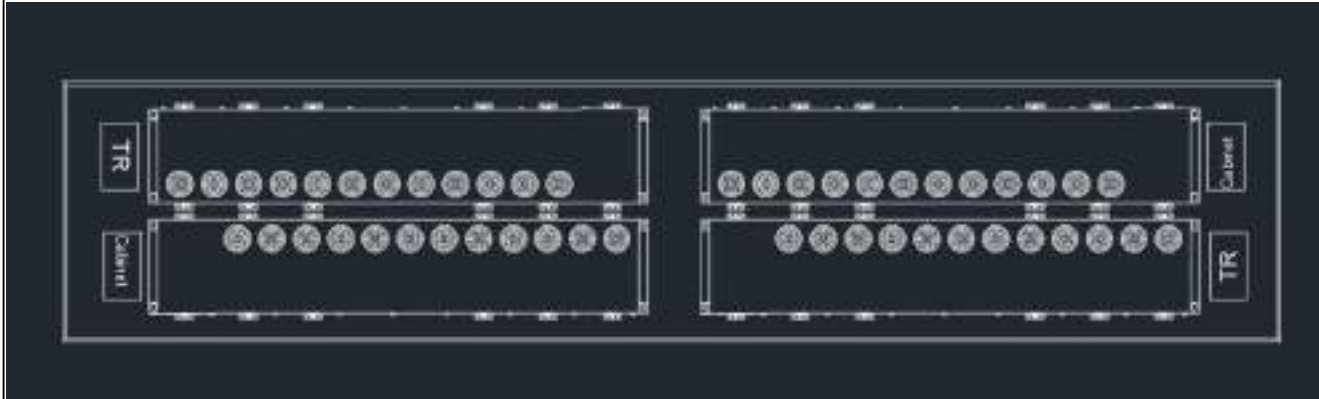








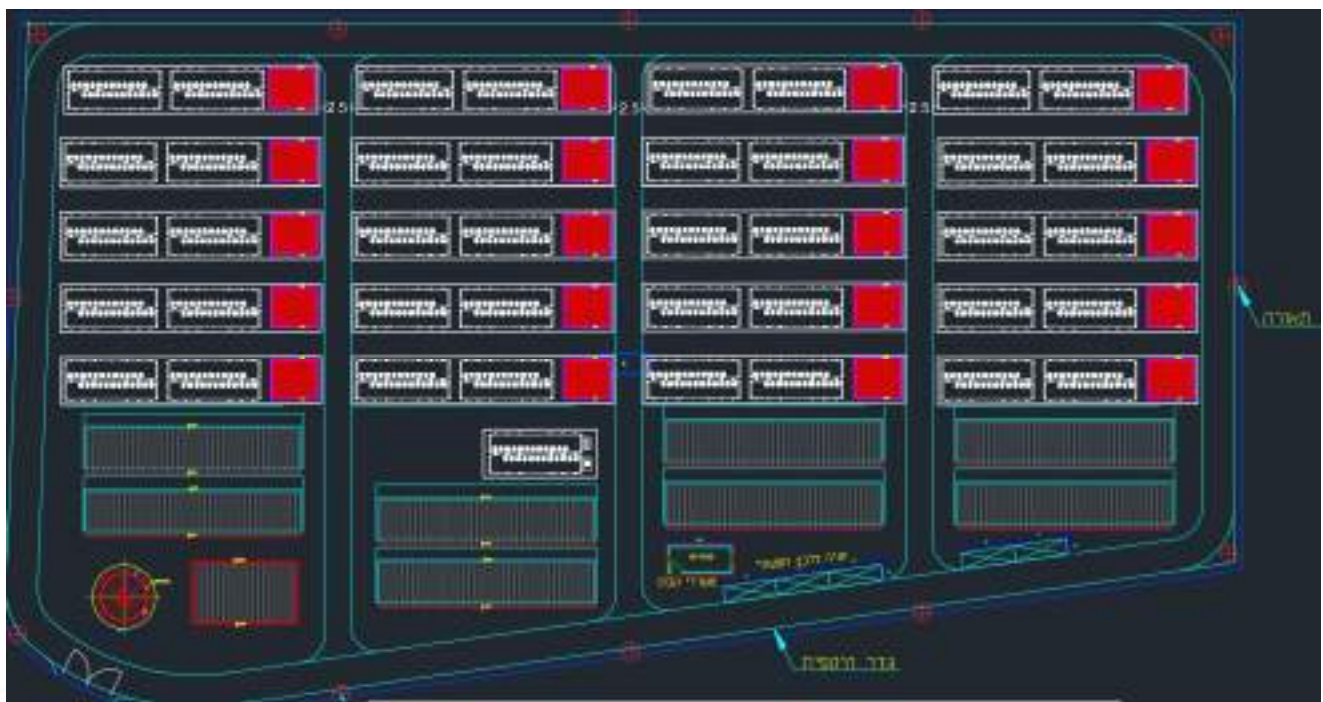
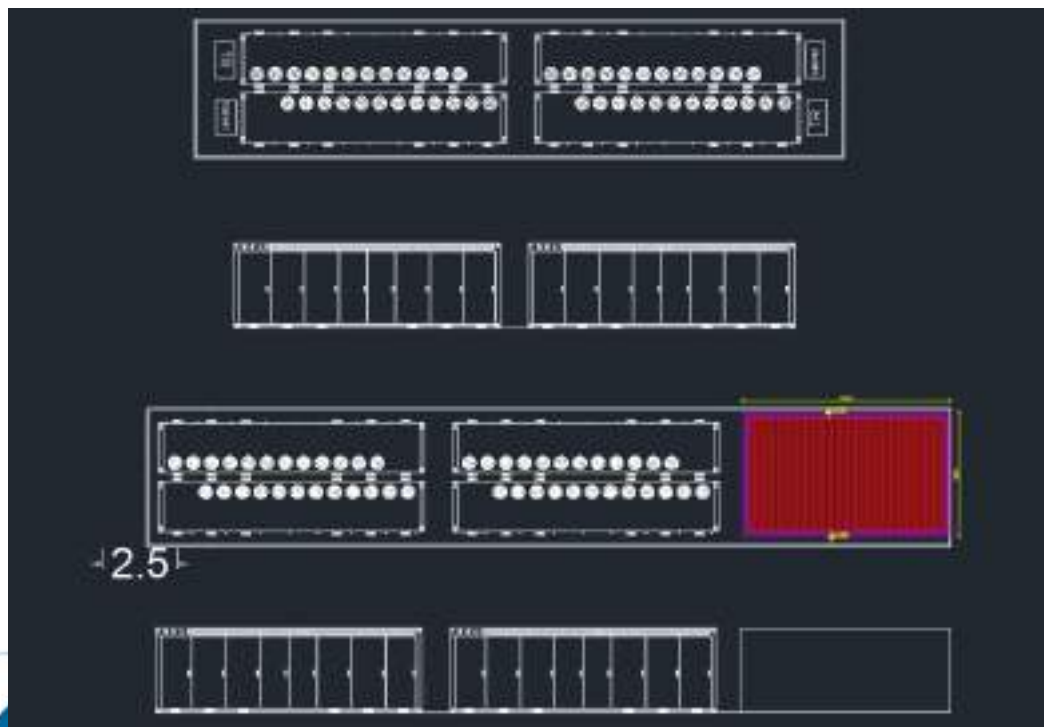




Microgrid & Energy Storage

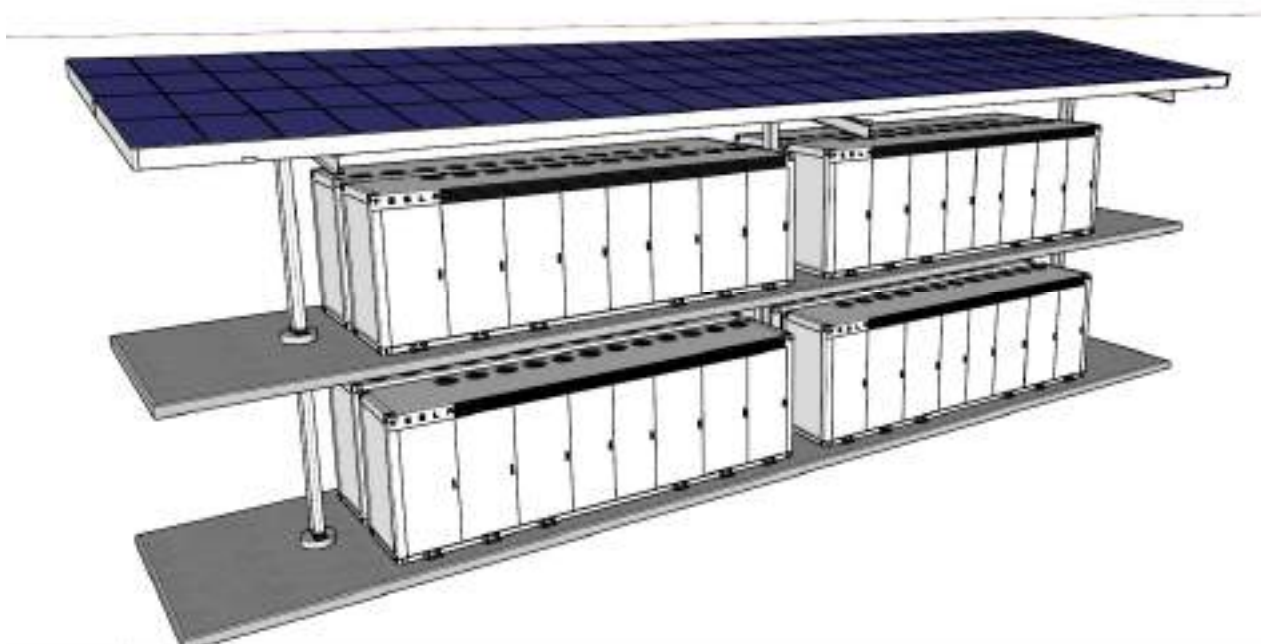


Microgrid & Energy Storage

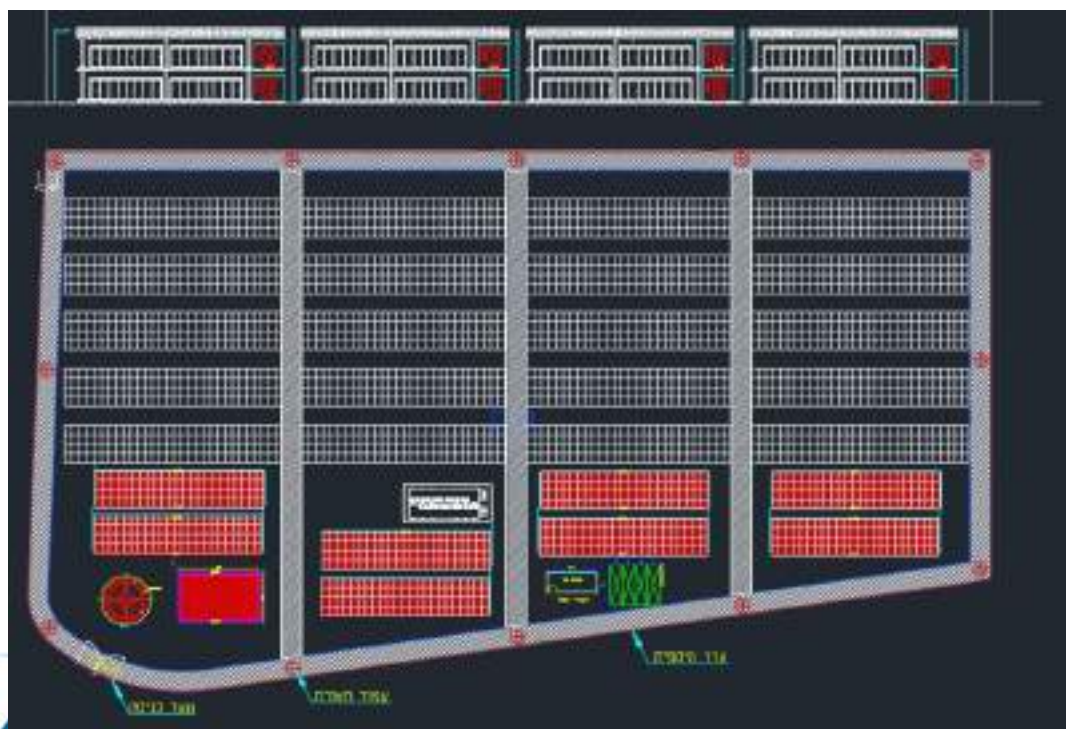




Microgrid & Energy Storage

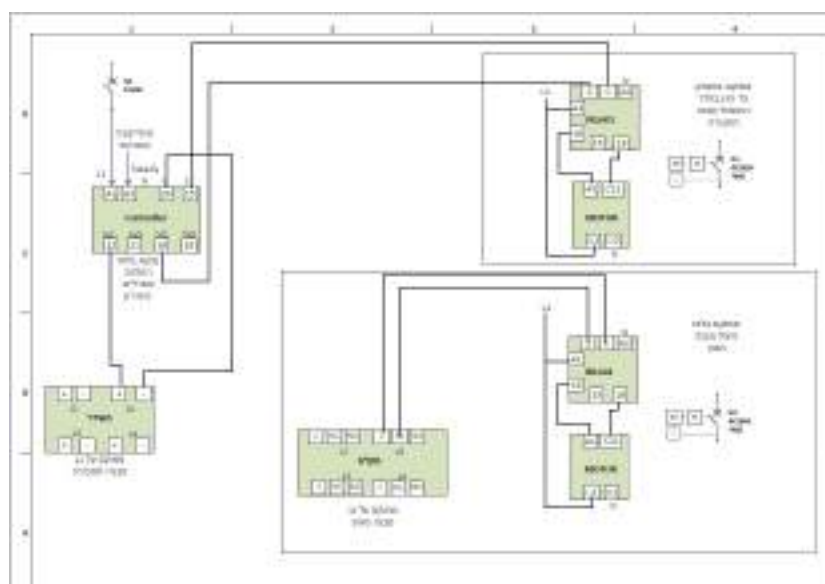


Microgrid & Energy Storage

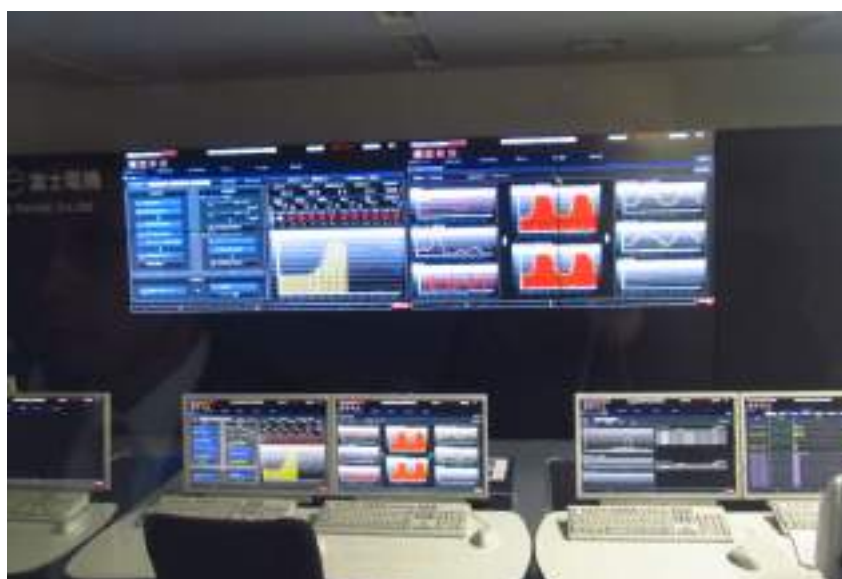


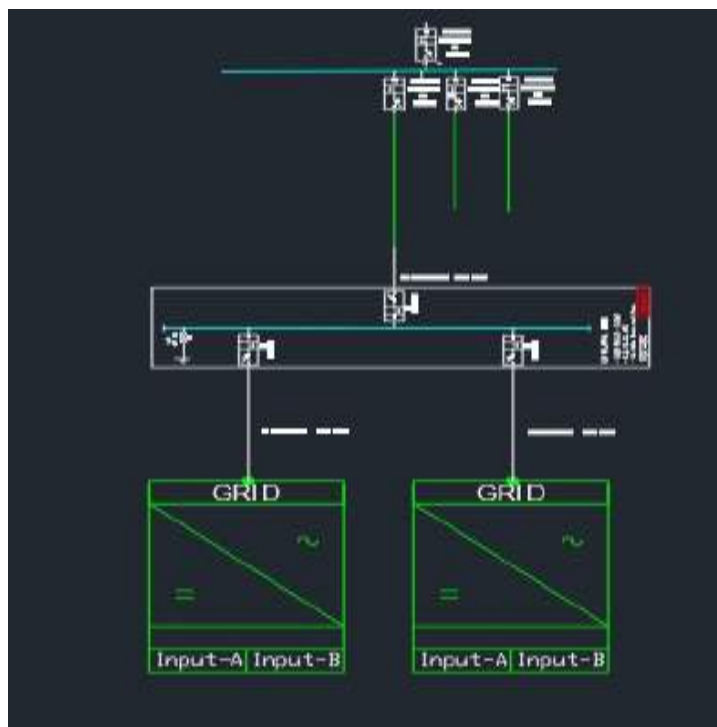
העולם הישן-כשאין רשת

- גנרטור
- סולארי+גנרטור
- רשת רכה
- מאבק משאבים
- סנכרון



בקרת רשת





- תכנון פשוט ,
- רק מתחים זרמים ומפסק
- "נאיבי"-ללא תכנון רשת



דרישות האתר והצורך האמיתי

הפרויקט הזה לא התחיל מרעיון – אלא מצורך. לא באנו 'ליישם מיקרו-גרید' – אלא להבטיח שתהיה חשמל במקום שבו אסור שייפול. זה אתר חוסן. כאן נדרש תכנון שעובד מתי שצריך אותו, גם כשהכול קורס."

רקע על האתר:

- מרכז חוסן של עירייה
- מבנים רבים
- בתשתית חשמל משותפת.
- שתי מערכות סולאריות מהסדרות שונות – ללא אגירה.
- גנרטור ותיק במצב תחזוקתי גבולי – ללא יכולת פעולה ממושכת.

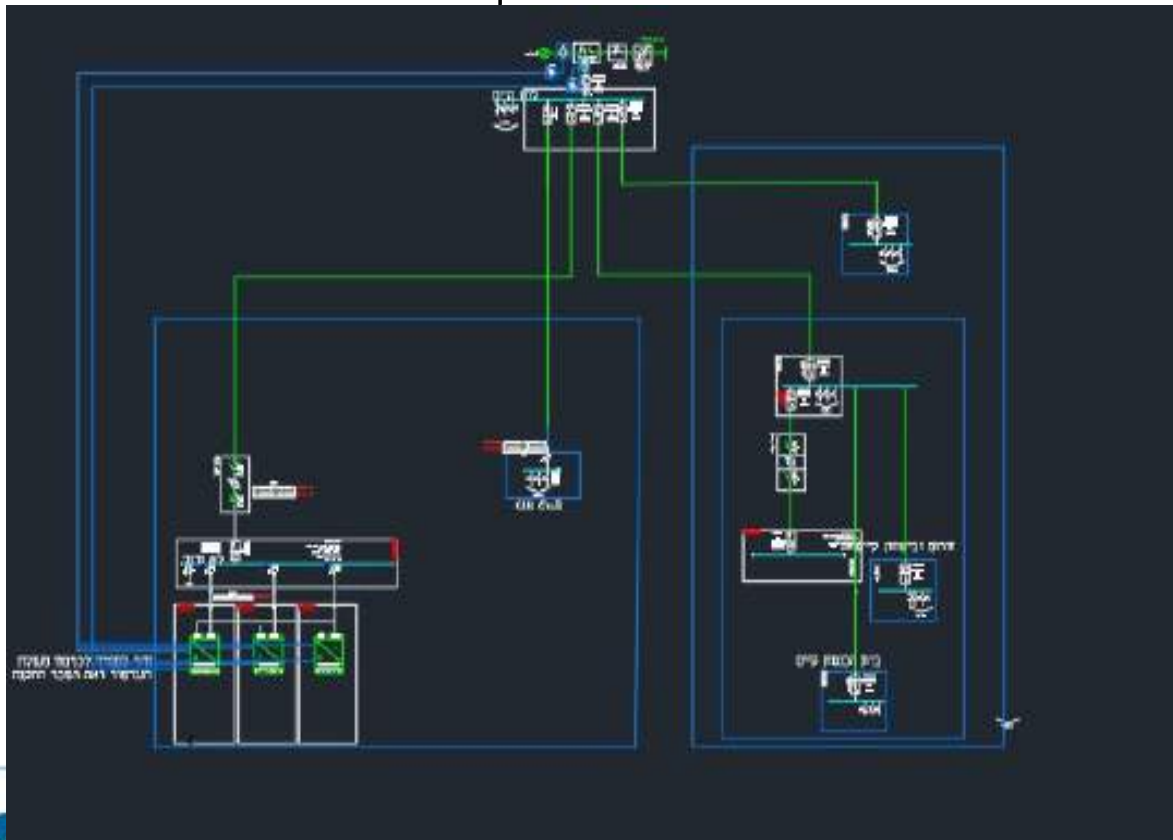
הגדרת הבעיה:

- המרכז קיבל מענק לביצוע פרוייקט אגירה לשעת חירום.
- אין כיום פתרון שמבטיח פעולה רציפה בזמן חירום -ימים ללא הפסקה, הגנרטור מספיק לכמה שעות ובמצב מלחמה יתכן מחסור בסולר.

הצורך:

- חירום למרכז
- רווח
- לוודא הזנה מיידית לצרכנים קריטיים.
- ביצוע ארביטראז' / או bhind במהלך השנה ועמידה ביעדים

1 מצב קים



השאלות שהניעו את התכנון



"לפני שהצגנו שרטוט ראשון, לפני שבחרנו ממיר או סוללה – עשינו דבר אחד: שאלנו שאלות. כל שאלה הובילה אותנו לגרסה אחרת של הפתרון. כל תשובה – גילתה לנו מגבלה חדשה. זו לא רשימת דרישות. זו שיטת חשיבה."

◆ שאלות על תרחיש החירום:

- ? האם מדובר בנפילת רשת של שעה – או של 72 שעות?
- ? האם יש תסריט שבו הרשת לא חוזרת גם ביום שאחרי?
- ההבדל הזה משפיע דרמטית על גודל האגירה, סוג הממיר, לוגיקת הבקרה ויכולת הטעינה החוזרת ביום שאחרי
- ? האם יש גיבוי נוסף מעבר לסוללה (גנרטור)? ואם כן – עד כמה הוא אמין?
- ? מה קורה לסוללה אחרי ערב של פריקה – אם בלילה אין רשת?
- ? האם קיימת מדיניות ברורה למעבר בין שגרה לחירום?
- ? מה המדיניות לגבי שימוש באנרגיה לצורך רווח מול חירום

◆ שאלות על אורך הפעולה העצמאית:

- ? כמה זמן המערכת צריכה לתפקד ללא רשת – בלי עזרה מבחוץ?
- ? האם זה רק בשעות היום – או גם בלילה?



Microgrid & Energy Storage

◆ שאלות על המבנה הקריטי:

- ? מי מקבל הזנה בכל מצב – גם כשאין שמש ואין רשת?
- ? האם אפשר לאפשר הפסקה קצרה – או שדרוש EPS מיידי?
- ? האם מותר הפעלה ידנית – או נדרשת תגובה אוטומטית?
- ? איך מבטיחים שהמערכת תגיב נכון אוטומטית?

◆ שאלות על בקרה ואינטליגנציה תפעולית:

- ? מי מחליט מתי להפסיק מכירה ולשמור אנרגיה?
- ? האם יש צורך במפעיל אנושי כדי לעבור למצב חירום
- ? האם יש בקרה שמונעת פריקה כלכלית אחרי 16:00?
- ? האם ניתן להגדיר קדימויות בין צרכנים?
- ? מה קורה אם המערכת מנסה להזין גנרטור וממיר יחד?

◆ שאלות רגולטוריות-כלכליות:

- ? האם שימוש לצרכי שימוש פוגע במענק?
- ? האם שימוש מהחשמל הסולארי אפשרי או פוגע ברווח?
- ? האם ניתן לעמוד בדרישה של 800 קוט"ש לקוט"ש מותקן?
- ? האם יש הגבלת הספק מותקן באתר הזה (630 קילוואט) למשל בשל היתר בניה או רגולציה?
- ? האם נדרש להחליף את הממירים?
- ? מותר להגדיל הספק פאנלים?
- ? מה העלות של כל פתרון – ומה הרווח ממנו?



Microgrid & Energy Storage

אבולוציית הפתרונות: גרסה 1 עד 6

- : 🖨
- "כל פתרון תכנוני שנראה לנו בתחילת הדרך – קרס מול המציאות. כל גרסה שנבנתה, נולדה מתוך השאלות הקודמות – אבל גילתה מגבלות חדשות. זה לא רק תהליך של תכנון – אלא תהליך של ויתור, למידה והבנה מחודשת של מה נדרש באמת."

♦ ההרצאה הבאה תעסוק ברכיבים עצמם – הלוחות, הממירים, הסוללות – ותראה איך כל עיקרון שעלה כאן מתורגם לפתרון פיזי בשטח.

🔑 הרצאה 1.2 – אבולוציית הפתרונות: מגרסה פשוטה לפתרון מאוזן

📘 מטרת החלק:

להציג את הדרך שעברנו – שלב אחר שלב – כדי להבין איך מערכת מיקרו־גרید מתוכננת באמת. כל גרסה נבנתה על סמך ניסיון לפתור בעיה – אבל כל פתרון חשף גם חיסרון חדש. כך התקדמנו בהבנה.

♦ ♦ גרסה 1 – מערכת סולארית פשוטה (On-grid בלבד)

? למה לא מערכת סולארית רגילה?

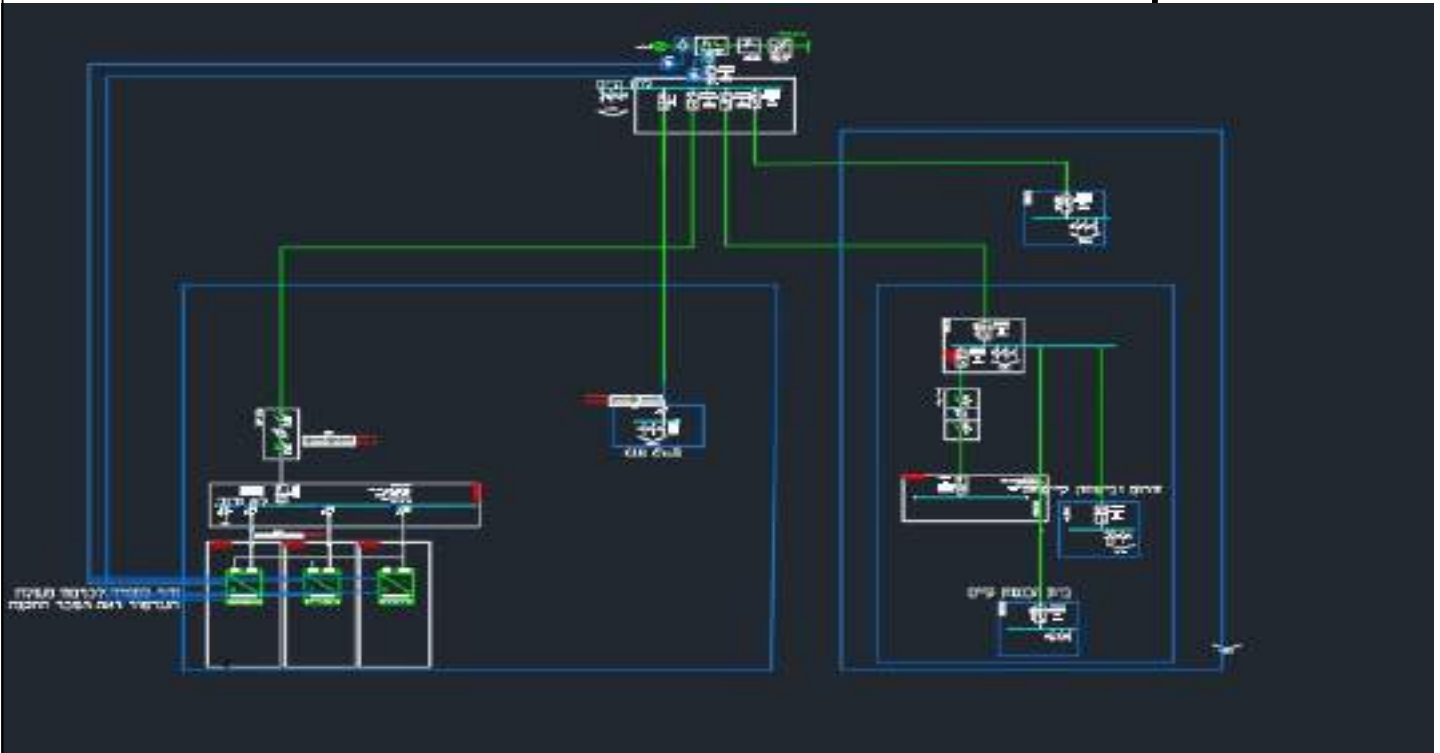
🔍 ממיר רגיל ללא אגירה, ללא תפקוד עצמאי.

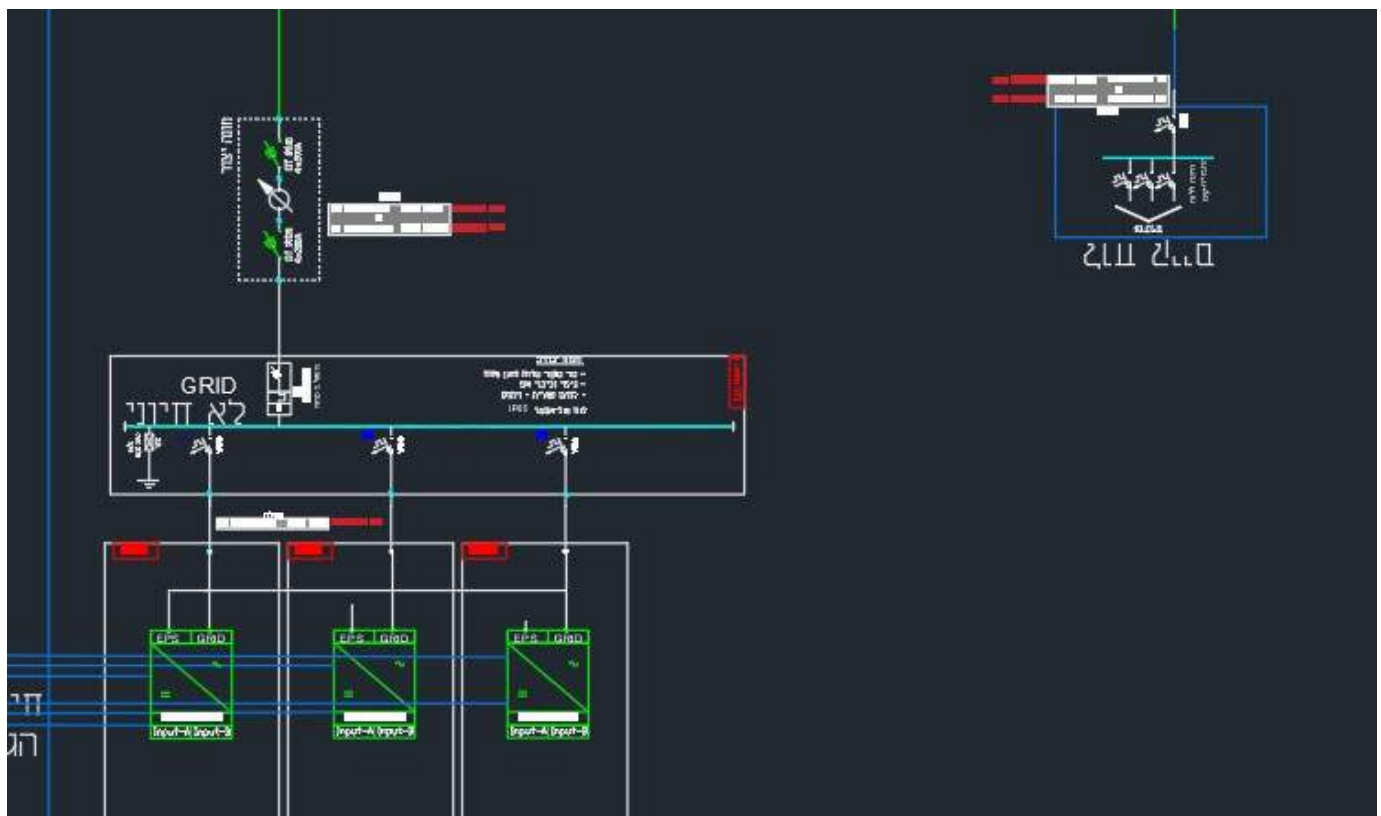
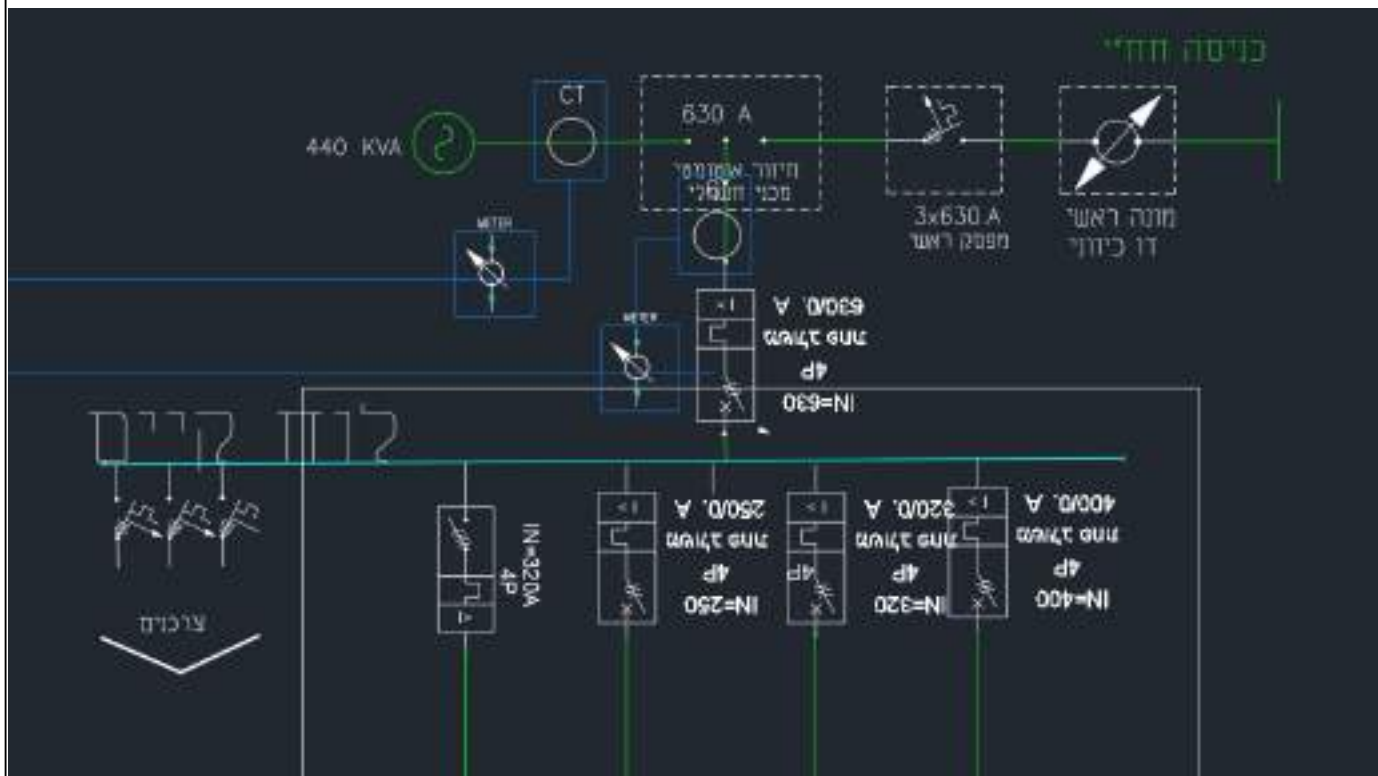
☀ יתרונות: השקעה מינימלית, תפוקה סבירה בשגרה.

⚠ חסרונות: הפסקת רשת = הפסקת מערכת. אין גיבוי, אין פאזה.

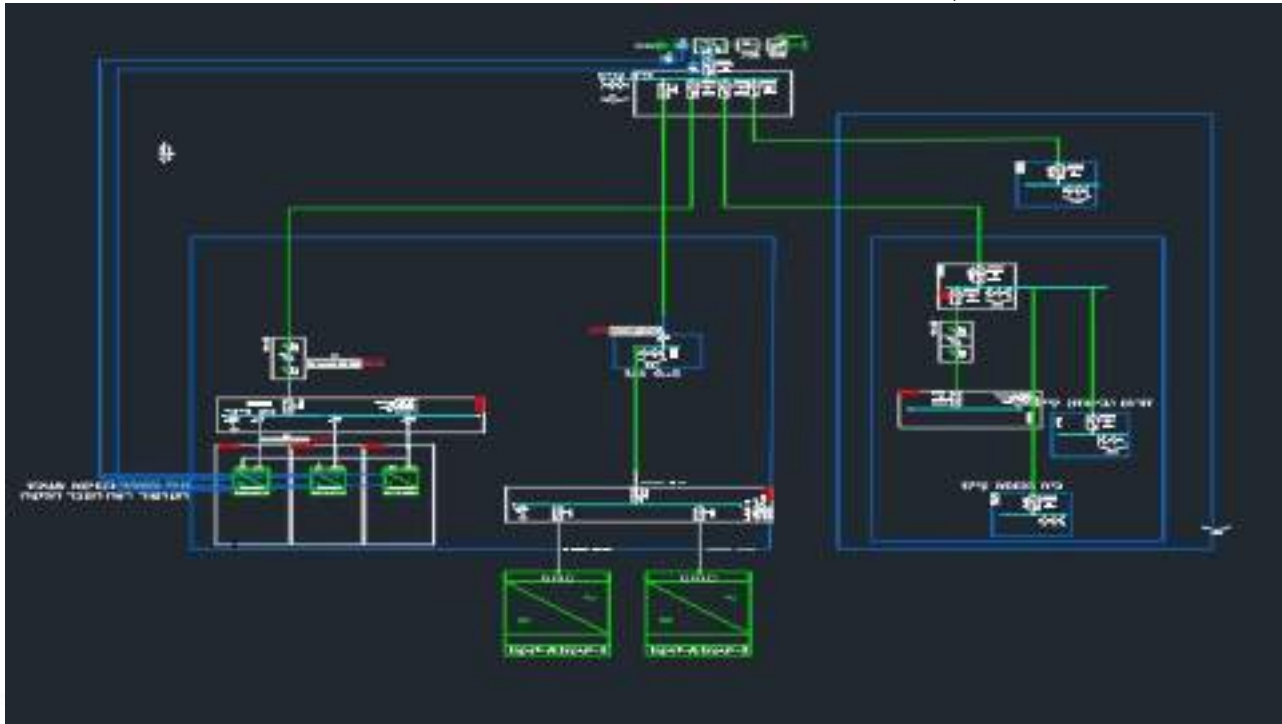
🔑 מסקנה: פתרון זול אך לא רלוונטי לחירום.

• 1-מצב קיים

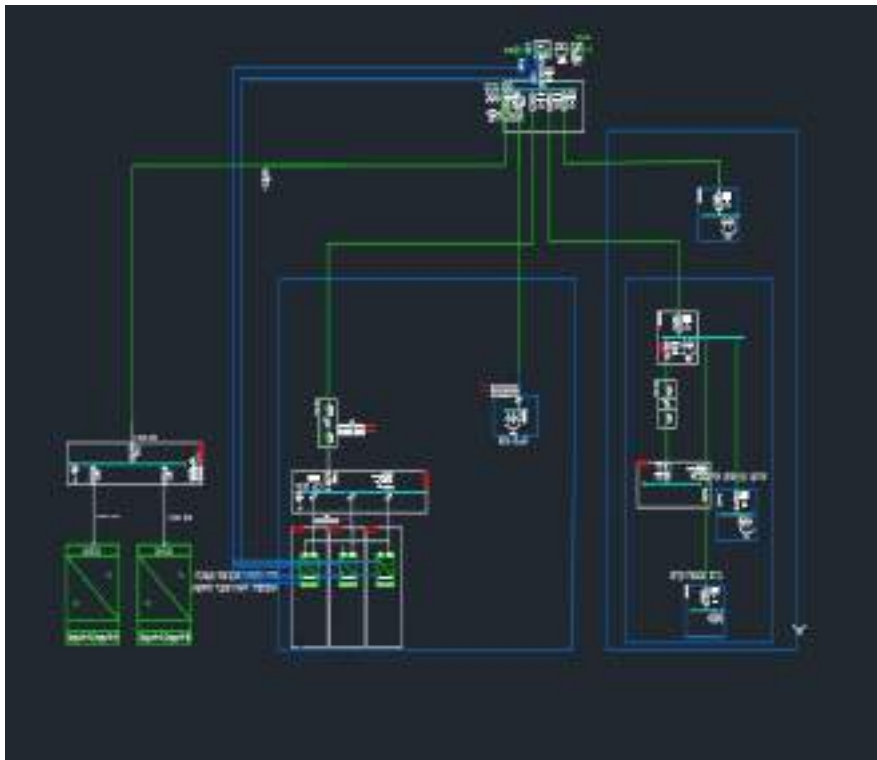




מצב פריקה חד פעמית, וגנרטור מושבת

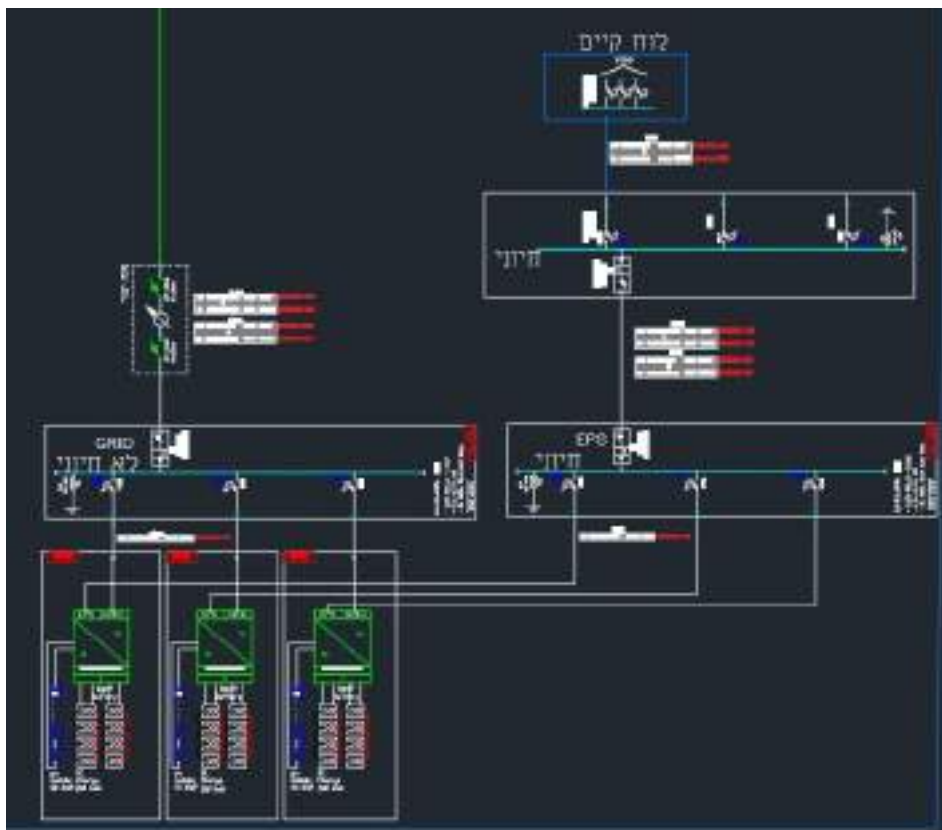


2



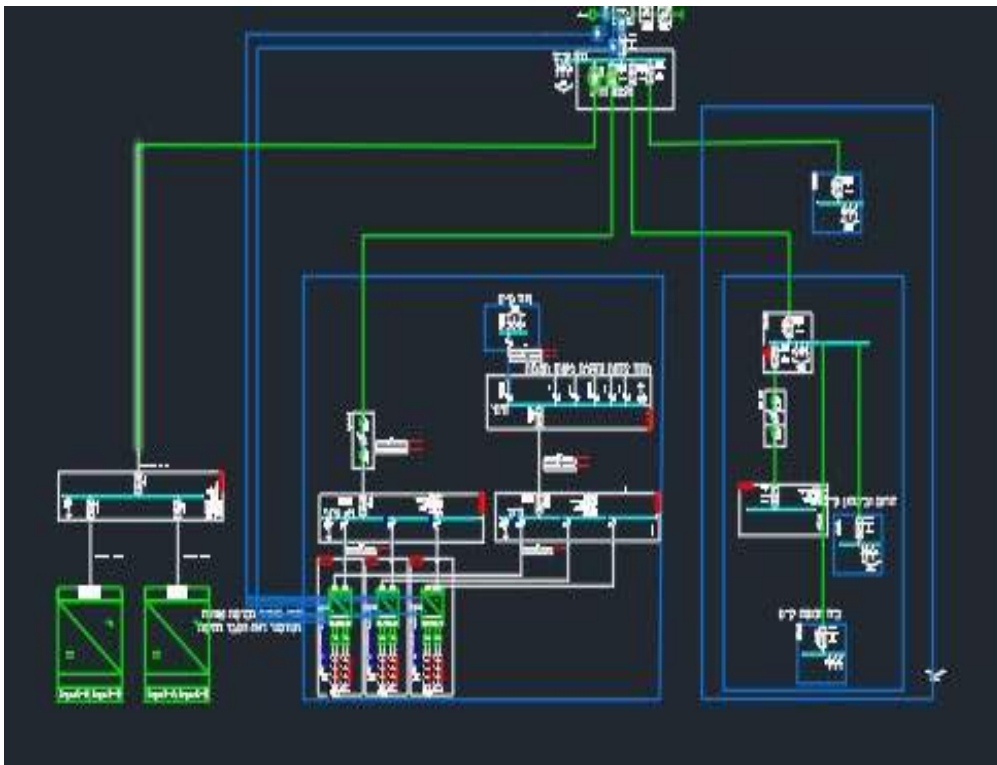
- הוספת מערכת אגירה של 600 קילוואט - לא יעבוד בחירום כי אין פאזה בחירום.
- יבצע רק ארביטראז. יזין את כל המתקנים ולא רק את מרכז ההצלה (שהוא הכי חשוב).
- אם המערכת אגירה תהיה היברידית זה יעלה כפול כשיעבוד צריך יהיה לנתק את הגנרטור ובמצב זה האספקה של החשמל למתקן מוגבלת לגודל הסוללה הטענה
- יתכן שבכלל היינו במצב שהסוללה כבר נפרקה לאחר מכירת ארביטראז ואז אין כל גיבוי חשמלי

- **גרסה 2 – סוללה לארביטראז' בלבד** 
 - האם אפשר להרוויח מהמערכת?** 
 - הוספה סוללה להטענה ביום ופריקה בלילה – לפי תעריפים.** 
 - יתרונות: רווחיות, נצילות טובה.** 
 - חסרונות: בלילה אין גיבוי, אין לוגיקת ניהול.** 
 - מסקנה: רווח יש – שרידות אין.** 



- שרטוט 3 עם החלפת ממירי האונגריד לממירי היברידים עם סוללות ואגירה גדולה בסוללות של 600 קילוואט.**
- רק למבנה הצלה יהיה חשמל
 - הסוללות יקרות פי 3 מסוללות גדולות, נדרש שינוי לוחות ותשתיות גבוהות.
 - צריכת החשמל תהיה במהלך היום מהמערכת הסולארית והיא בתעריף יקר. מדובר בחשמל יקר פי 2 כמעט

- **גרסה 3 EPS – מלא עם סוללות ייעודיות** ♦
- איך מספקים פאזה גם כשאין רשת? ?
- הוספת ממיר EPS וסוללות ייעודיות ללוח ההצלה. 🔍
- יתרונות: עצמאות מלאה. ☀️
- חסרונות: יקר מאוד. ⚠️
- מסקנה: טוב הנדסית – לא ריאלי כלכלית 📌

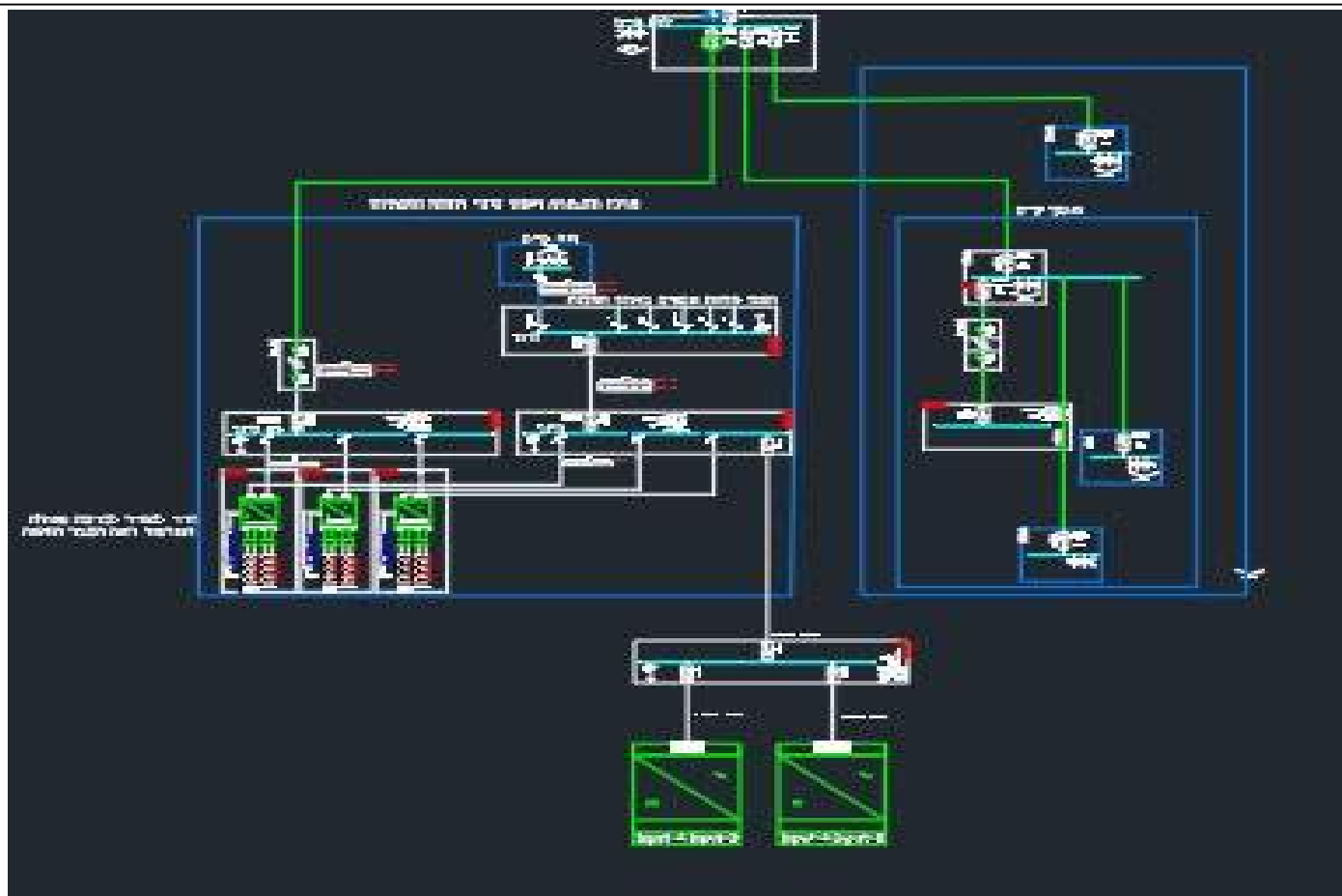


שרטוט 4

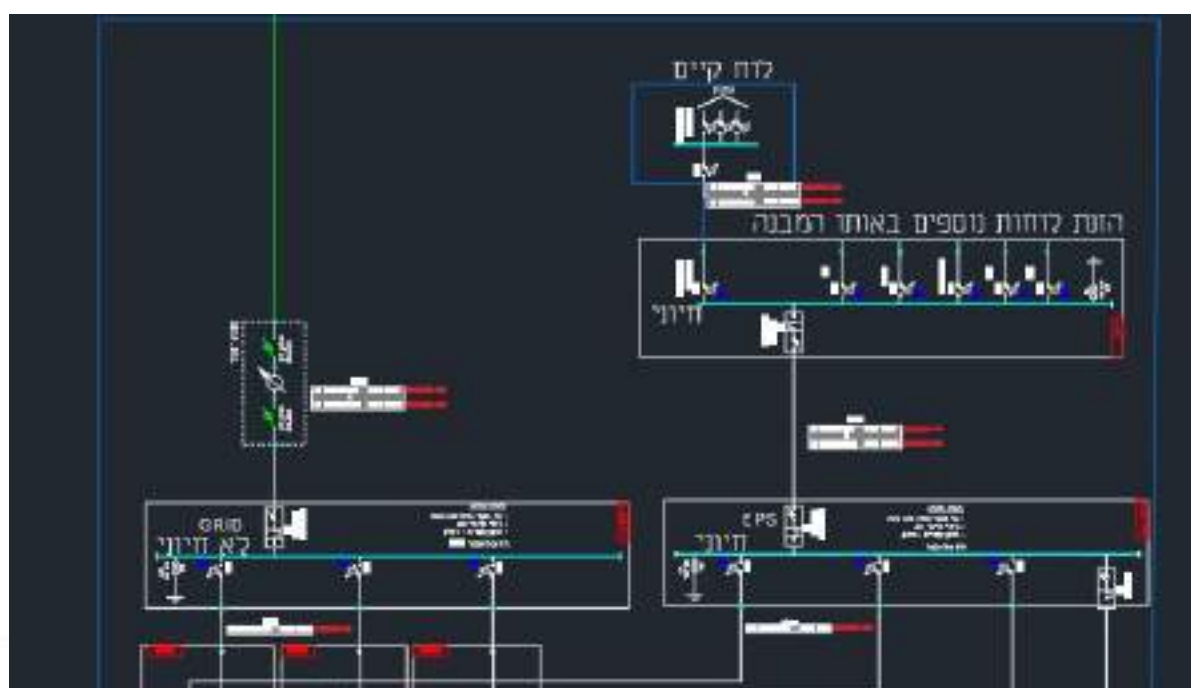
- כמו 3, כאן מקטינים את כמות הסוללות שלהם ממירי הסולאריים
- אבל מוסיפים טריין במחיר מוזל יותר. אותה מציאות חשמלית

- גרסה 4 – EPS + Train 
- אפשר לחסוך ולהישאר בטוח? 
- שילוב EPS עם Train. 
- יתרונות: תפקוד חלקי, חיסכון. 
- חסרונות: תלות בפאזה, תלות בבקר. 
- מסקנה: מאוזן – רק עם לוגיקה חזקה 

- שרטוט 5 מתקדם יותר
- בחירום הטריין נותן חשמל מספיק
- שאר האתרים מקבלים חשמל מהגנרטור
- אין ארביטראז במהלך השנה למעט צריכת בניין חרום
- רכישת החשמל יקר-ממערכת סולארית



5.1



- **גרסה 5 – חירום בלבד** 
- מה אם נוותר על הרווח? 
- ביטול פריקה מסחרית – שמירה רק לחירום. 
- יתרונות: זמינות מלאה. 
- חסרונות: לא עומד בתנאי מענק, לא רווחי. 
- מסקנה: עובד – אך לא משתלם 

– סיכום וטיוטות: מה בחרנו ולמה

דבר המרצה: 

"עד לנקודה הזו – בחנו דרישות, שאלנו שאלות, ניסינו פתרונות, והבנו תרחישים. עכשיו הגיע הזמן להציג את הבחירה הסופית, את ההיגיון שמאחוריה – ולמה לא בחרנו באף אחת מהגרסאות הקודמות. זה הפתרון שמתאים לאתר הזה, ברגע האמת."

הפתרון שנבחר: 

- מערכת סולארית קיימת + ממיר EPS היברידי.
- אגירה מבוססת Train.
- לוח חירום מבודד תפקודית.
- בקרה מתקדמת עם לוגיקה מבוססת שעה ותרחיש.
- התמודדות בחרום עם עצירת פריקה מסחרית בשעה 16:00.
- בידול מלא בין לוחות: רשת, גנרטור, חירום.

החלטות מהותיות שהתקבלו: 

- תעדוף מוחלט למבנה הקריטי: לוח ההצלה ניזון רק ממקורות בטוחים (EPS+Train לא מגנרטור).
- שילוב רווחיות באופן מבוקר: שימוש בארביטראז' מותר – אך רק כל עוד אינו פוגע בזמינות לחירום.
- בקרה היא לב המערכת: כל תרחיש מתוכנת מראש – אין צורך בהפעלה ידנית.
- פשטות עדיפה על עודף רכיבים: בוטלו רכיבים מיותרים, הושם דגש על תפקוד ולא על מורכבות.



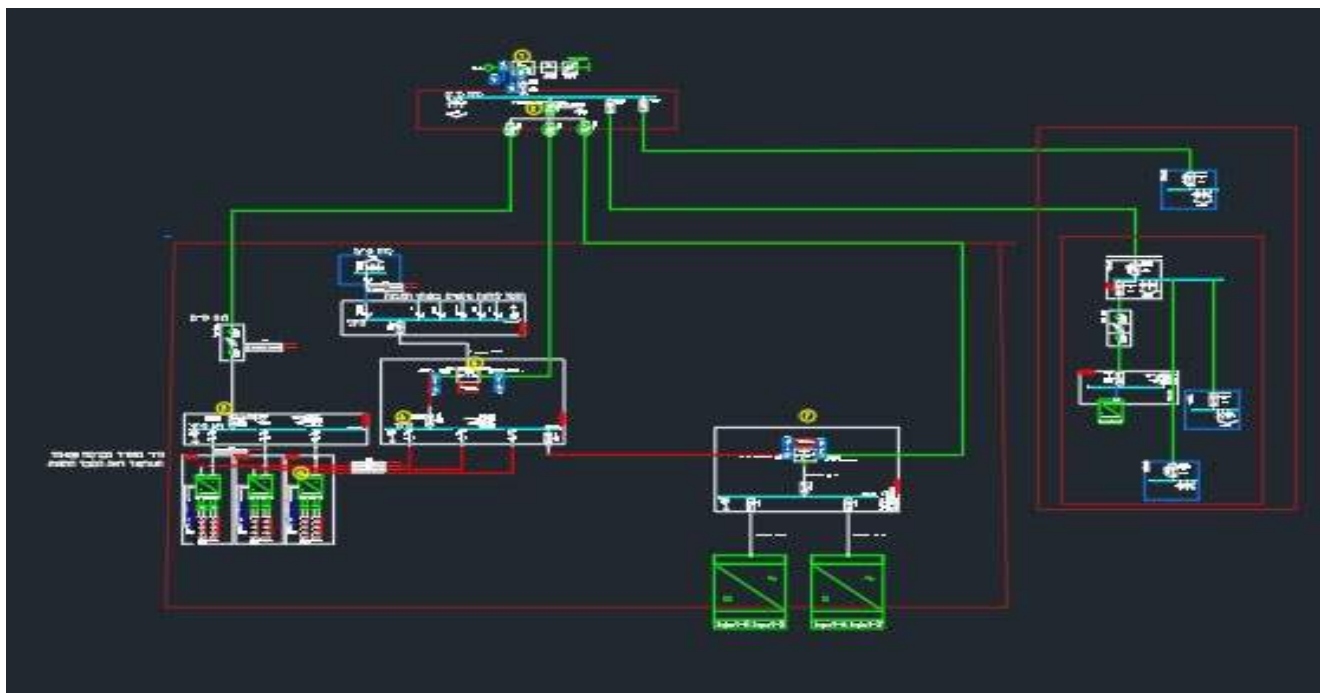
Microgrid & Energy Storage

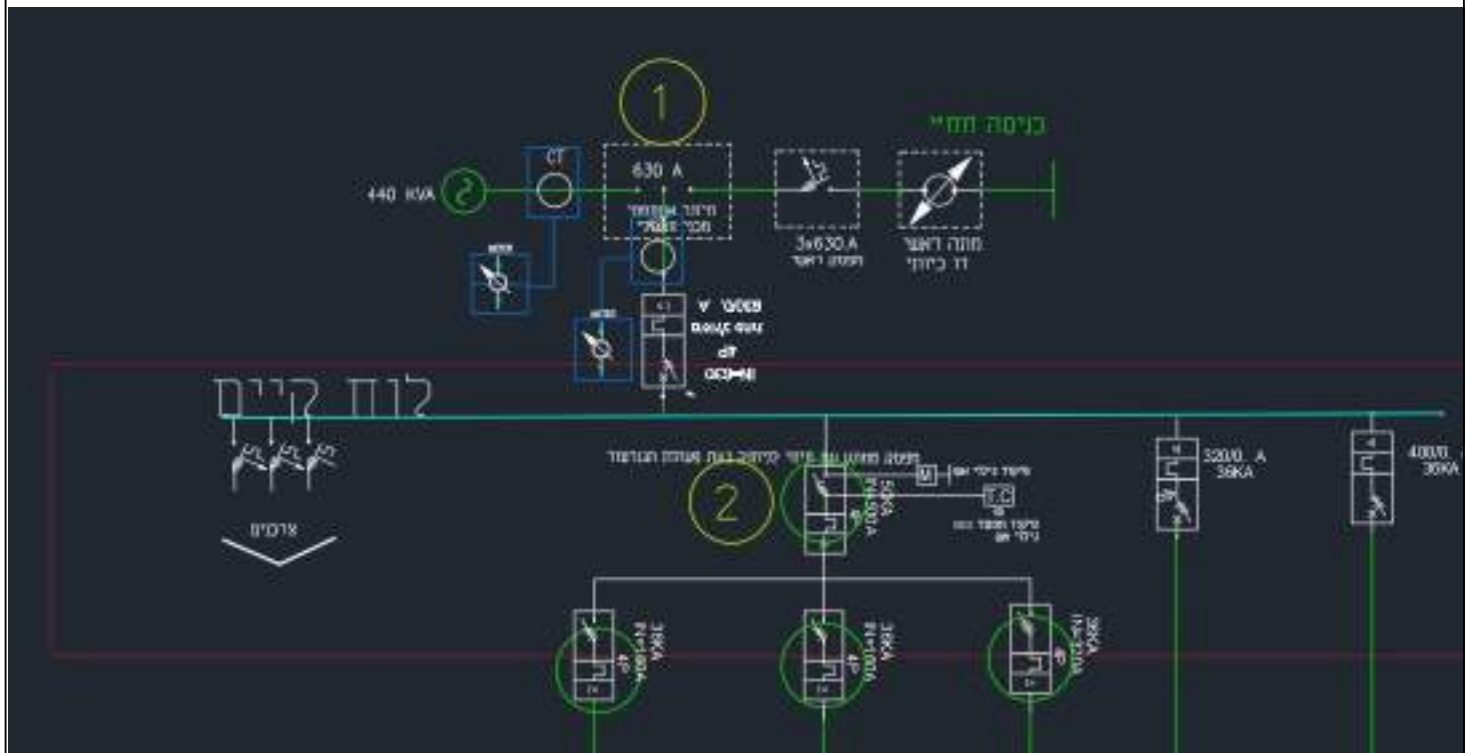
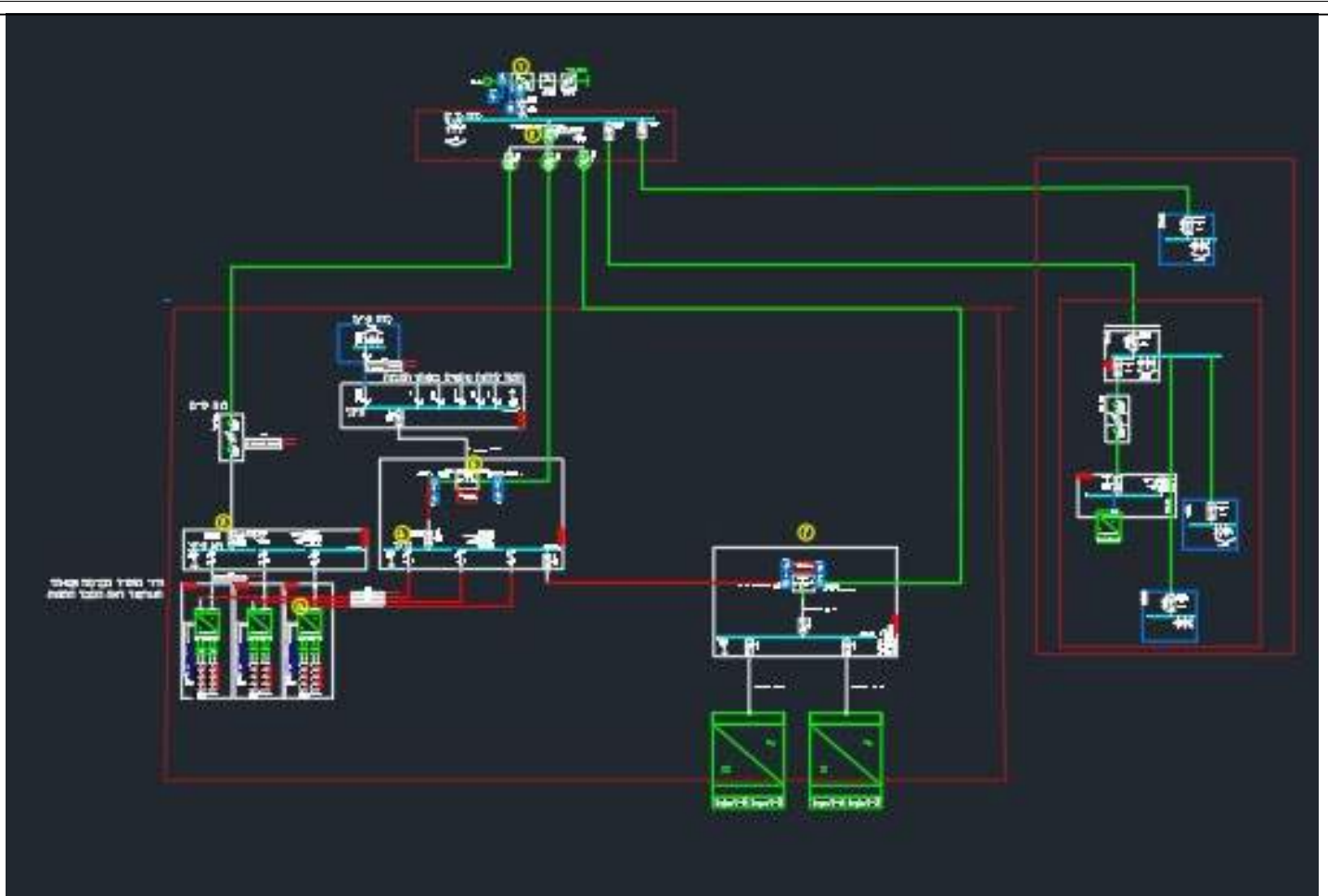


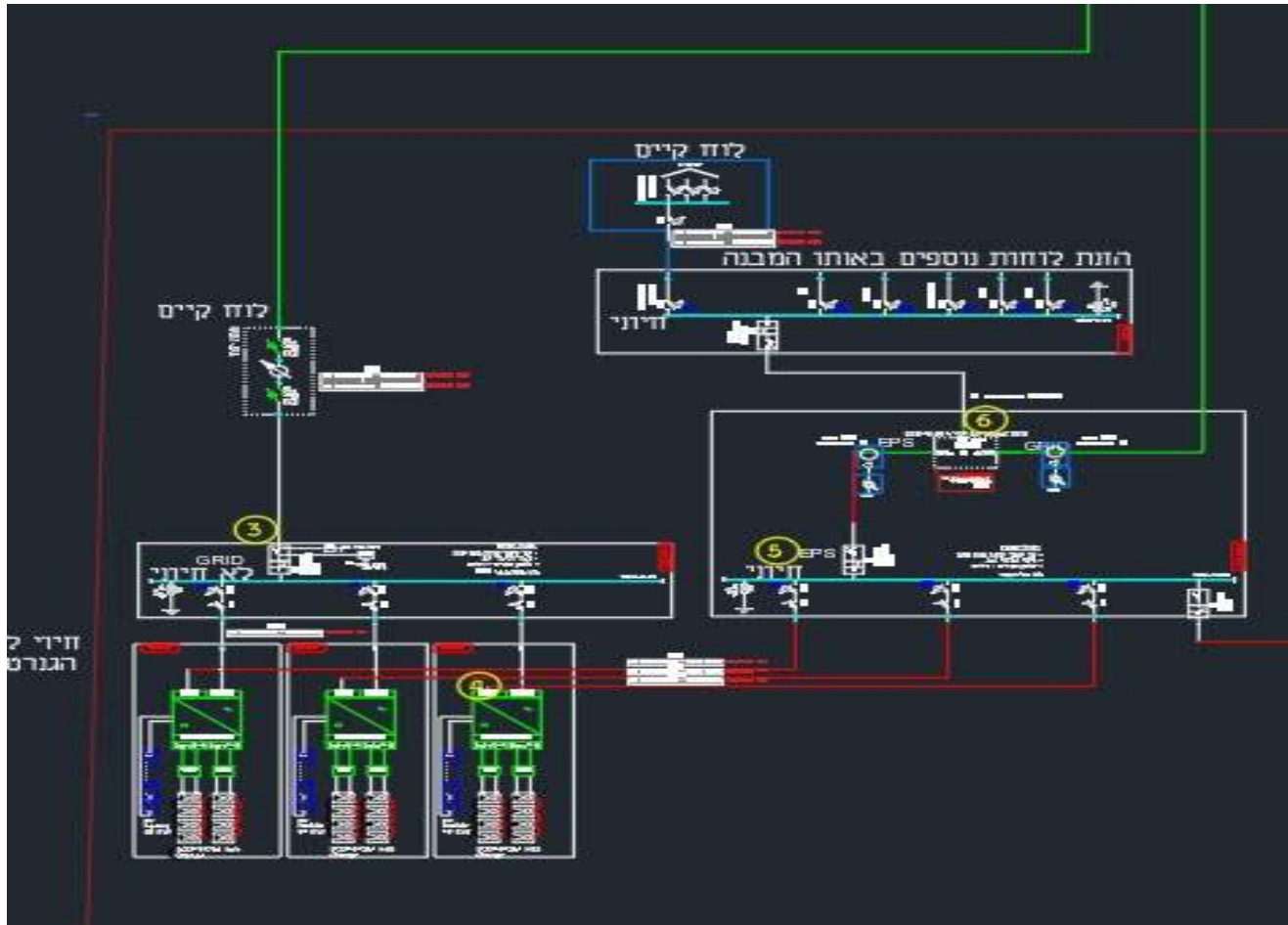
Microgrid & Energy Storage



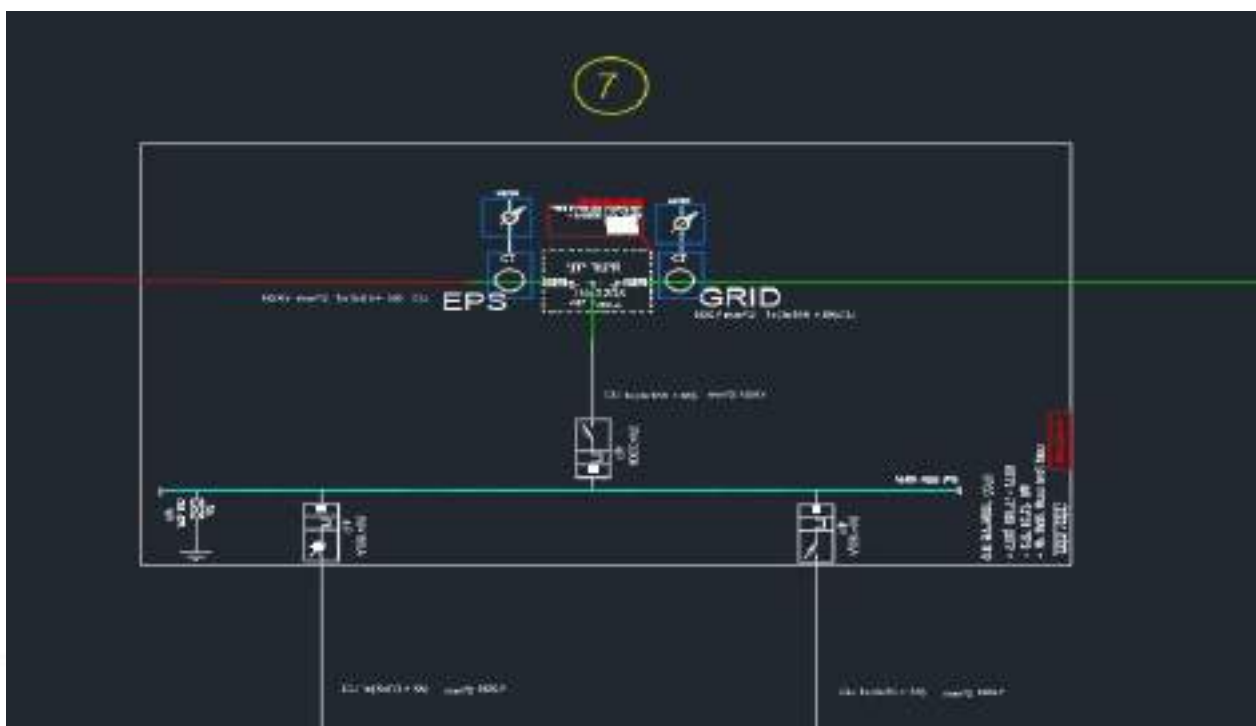
6







7



? האם ניתן לשלב את כל היתרונות – בלי כל החסרונות?

נבנה פתרון משולב EPS: עם Train להזנת מבנה ההצלה, תוך שמירה על ארביטראז' בשגרה.

יתרונות: ☀️

• עומדת בכל הדרישות: רגולציה, רווח, שרידות.

• תפקוד שגרה + תפקוד חירום באותה מערכת.

חסרונות: ⚠️

• מערכת מורכבת, דורשת בקרה מדויקת.

• תכנון של מעל 2048 מצבים.

• מסקנה: 📌

"תהליך תכנון מיקרו-גרید הוא תהליך של אפיון, מחקר ניסוי ולמידה. כל פתרון נולד מתוך צורך אמיתי – אך רק השילוב המאוזן של תפקוד שגרה וחירום, רגולציה ורווחיות, תשתיות קיימות ובקרה חכמה – מאפשר מערכת שתעמוד ביום פקודה".



Microgrid & Energy Storage

סיכום טכנוני:

ההרצאה הבאה תציג את תרחישי הפעולה – מה קורה בפועל בכל מצב: שגרה, חירום, עלטה מוחלטת.

דבר המרצה:

"מה שמעניין אותנו זה לא איך המערכת פועלת כשהכול רגיל – אלא איך היא מתנהגת כשהכול קורס. נבחן ארבעה תרחישים קריטיים – שכל אחד מהם דורש תכנון שונה, תגובה שונה, ובקרה מהודקת".

♦ תרחיש 1 – שגרה מלאה:

• הרשת פועלת.

• הממיר במצב on-grid.

• הסוללה נטענת.

• מתבצעת מכירה לרשת.

📌 נדרש זיהוי מוקדם: מתי מפסיקים מכירה ושומרים אנרגיה?

♦ תרחיש 2 – תקלה ביום:

• הרשת נופלת.

• הבקרה מעבירה את הממיר ל-EPS.

• הממיר יוצר פאזה.

• ה-Train מופעל ומזין את לוח ההצלה.



Microgrid & Energy Storage

אם הממיר לא מגיב → אין פאזה → אין הזרמה.

♦ תרחיש 3 – עלטה בלילה:

- אין רשת.
- אין שמש.
- הסוללה כבר נפרקה (לצורך רווח).

קריסה מלאה – נדרשת הגבלת פריקה מוקדמת.

♦ תרחיש 4 – התאוששות ביום שאחרי:

- הרשת עדיין לא חזרה.
- יש שמש.
- הממיר מייצר פאזה.
- הסוללה נטענת מחדש.

לוודא שהאנרגיה לא בוזבזה קודם – אחרת אין טעינה להמשך הלילה.

סיכום: ✓

מערכת שלא יודעת להגיב לכל מצב – לא תעמוד ברגע האמת. כל תרחיש חייב להיות מתוכנן, מבוקר, ומתורגל מראש.



Microgrid & Energy Storage

? שאלות עומק שאינן מופיעות בתכניות:

- ? מה קורה אם הרשת חוזרת – אבל הבקרה עדיין חושבת שמדובר ב-Island?
- ? האם ה-Train נטען מחדש בזמן – או שכבר נפרק לפני שהתרחיש התחיל?
- ? מה יקרה אם יש שמש – אך הממיר לא עובר ל-EPS בגלל תקלה בלוגיקה?
- ? האם יש סכנה לגיבוי כפול ברגע המעבר – ואם כן, איך נמנעת?
- ? האם תיתכן פריקה מהסוללה תוך כדי טעינה – מה ההיגיון המבוקר?
- ? האם גנרטור יכול להתנגש עם Train במקרה של השהיה בפיקוד?
- ? מה קורה אם ב-16:01 לא הופסקה הפריקה – האם הבקרה מזהה ומונעת?
- ? כיצד ניתן לבדוק בפועל שהלוחות מגיבים כמתוכנן – במצב אמת?



Microgrid & Energy Storage

בדיקות חובה בכל מערכת מיקרו-גרید 2048: 

- הפעלת מצב Island ובידוק תגובת לוחות. 
- ניתוק רשת ובידוק זמן תגובה של EPS. 
- בדיקת סדר פעולות: ניתוק → יצירת פאזה → הפעלת Train. 
- בדיקת מנגנוני בידול בין מקורות. 
- סימולציה של פריקה לפני הזמן – ובדיקה אם נמנעה לפי לוגיקת שעה. 
- מעבר חזרה לשגרה – והאם כל המעגלים מתאפסים נכון. 

סיכום השקף: 

מערכת מיקרו-גרید אינה סט של רכיבים – אלא מערך של תגובות. רק בדיקה של כל תרחיש, של כל רצף פעולות, ושל כל הסתעפות תפעולית – תאפשר לוודא שהמערכת באמת תעמוד ברגע האמת.



Microgrid & Energy Storage

מה זה מיקרוגרید?

מיקרו-גרید הוא מערכת חשמלית עצמאית המסוגלת לפעול הן במצב מחובר לרשת והן במצב עצמאי.

המערכת כוללת מקורות אנרגיה מבוזרים (DERs) כמו פאנלים סולאריים, טורבינות רוח, גנרטורים, ומערכות אגירת אנרגיה.

המיקרו-גרید משפר את אמינות ואיכות אספקת האנרגיה ומאפשר אינטגרציה חלקה של מקורות אנרגיה מתחדשים.

המיקרו-גרید יכול לפעול בשני מצבים עיקריים:

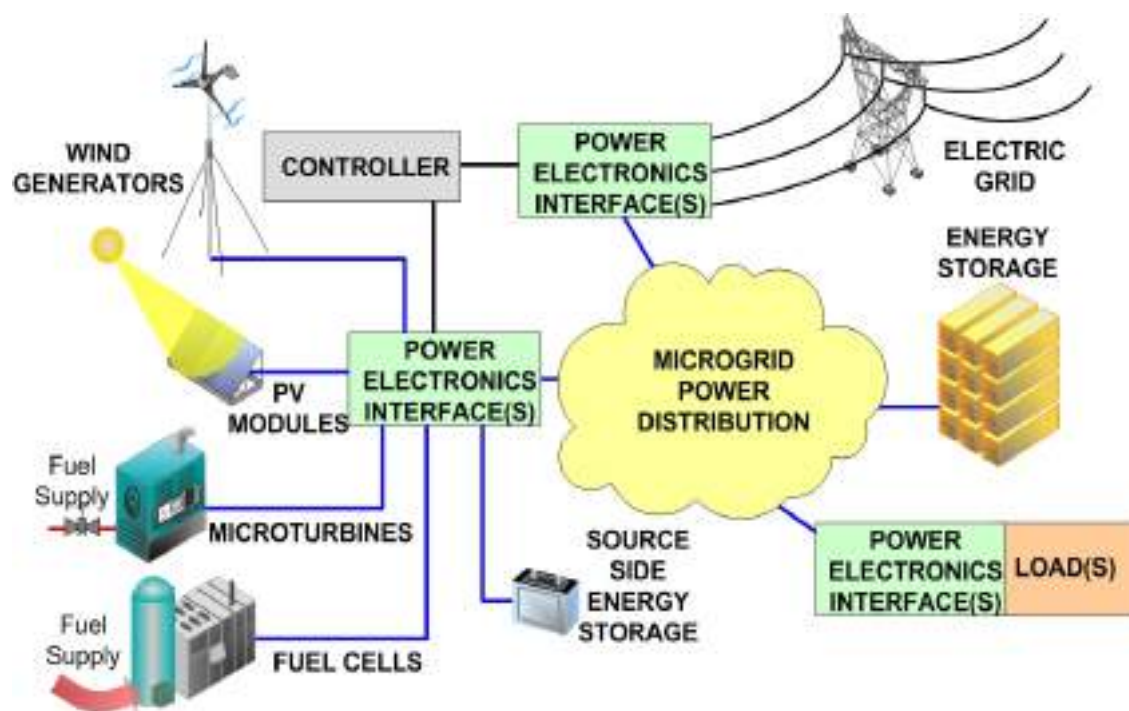
1. מצב מחובר לרשת – (Grid-connected mode) כאשר המיקרו-גרید מחובר לרשת החשמל הארצית, הוא יכול לשתף אנרגיה עם הרשת הראשית ולקבל ממנה תמיכה בעת הצורך.

2. מצב עצמאי – (Island mode) במצב זה, המיקרו-גרید פועל בצורה עצמאית, ומספק את כל האנרגיה הדרושה לצרכנים המחוברים אליו. זהו מצב קריטי במקרים של הפסקת חשמל או תקלות ברשת הראשית.



Microgrid & Energy Storage

מה זה מיקרוגרید?



חשיבות מיקרו-גרید באינטגרציה של מקורות אנרגיה מגוונים

המיקרו-גרید מאפשר חיבור ושילוב של מקורות אנרגיה שונים, מה שמאפשר גמישות גבוהה ויכולת ניהול משאבים בצורה יעילה. זה חשוב במיוחד במצבים של אי יציבות רשת או במקומות עם תשתיות חלשות. אינטגרציה של מקורות אנרגיה מגוונים מאפשרת ניצול אופטימלי של משאבי אנרגיה מקומיים, הפחתת תלות ברשת הארצית, ושיפור האמינות והיעילות של אספקת האנרגיה.

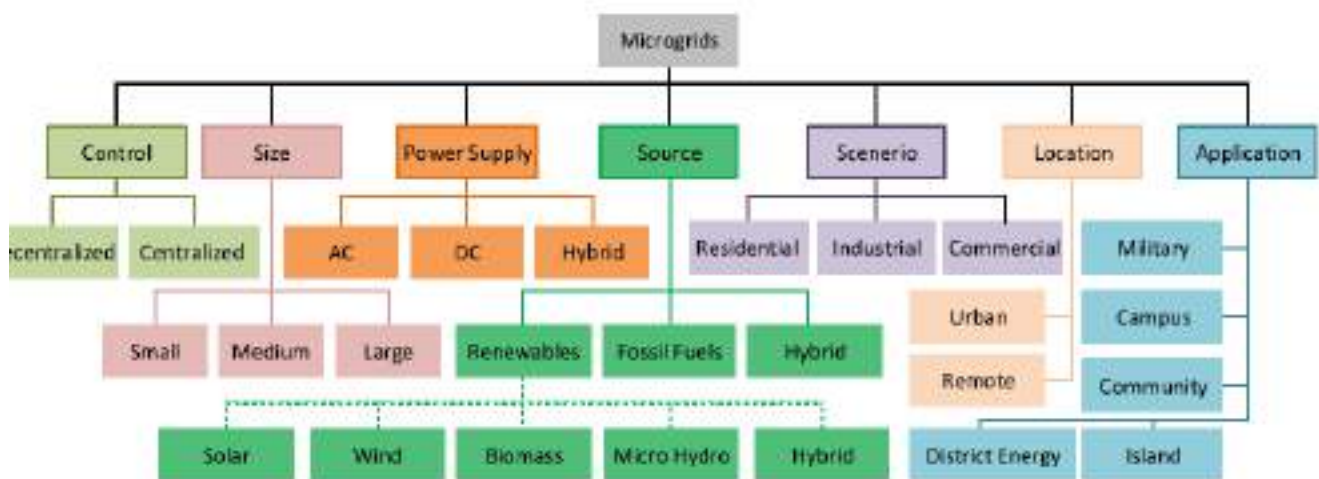


Fig. 2. Classification of MGs.

סוגי ארכיטקטורות של מיקרו-גריד

ארכיטקטורות מבוזרות ומרכזיות

במערכות מבוזרות, פונקציות הפצת והמרת הכוח מחולקות בין ממירים, מה שמאפשר גמישות רבה יותר.

מבנה מקבילי מול מבנה בטור

מבנים מקבילים משמשים לשיפור זמינות המערכת, בעוד מבנים בטור משמשים לשיפור בקרה וניצול נקודות עומס.

דוגמאות לארכיטקטורות של רשתות מיקרו-גריד

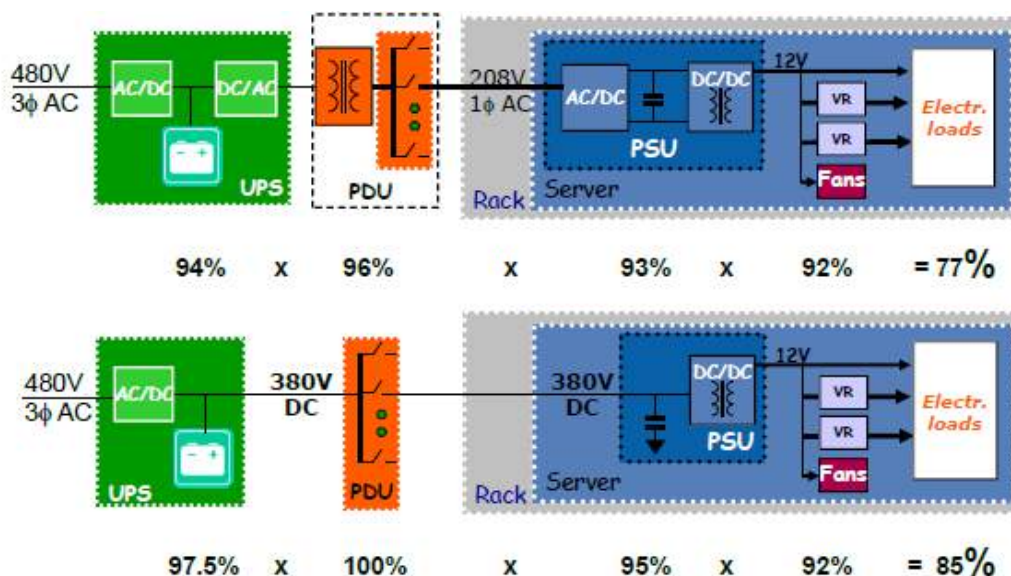
- מבנה מקבילי- מתאים לשיפור הזמינות.
- מבנה בטור- משמש לשיפור הבקרה והורדת עלויות המערכת.

אתגרים ופתרונות בניהול יציבות במיקרו-גרידים

- ניהול יציבות במערכות DC: מערכות אלו דורשות ניהול מתקדם של עומסים כדי למנוע תנודות במערכת.



Microgrid & Energy Storage



Source: Delta Products Corp



Microgrid & Energy Storage

main grid, while smaller microgrids are connected to a large microgrid through a separate common bus bar, enabling power-sharing through the main grid.

In the ring-connected architecture, each microgrid is connected to two adjacent microgrids in the shape of a ring, allowing energy and information to be shared between them.

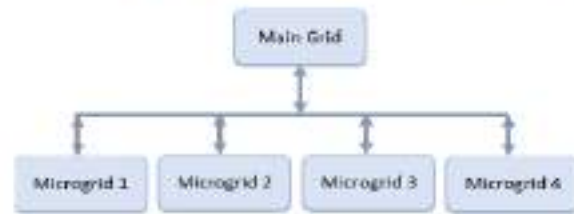


Fig. 2

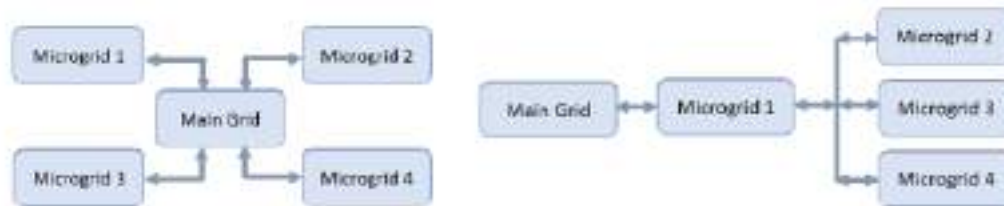


Fig. 3

type of MGs are briefly listed.

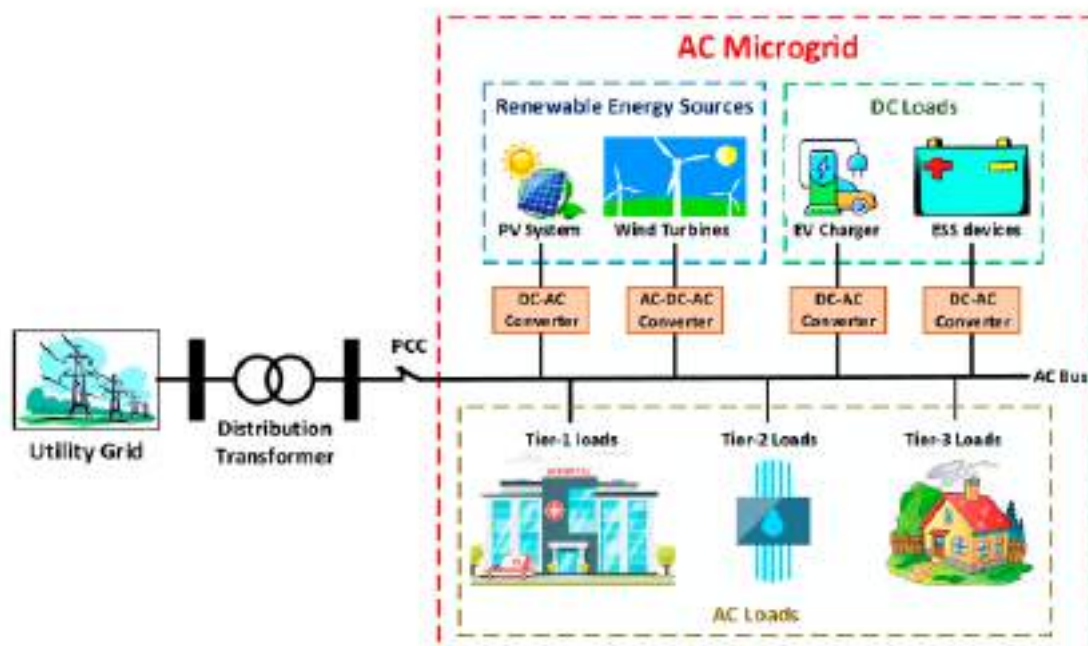


Figure 1. Simple diagram of a typical ACMG.

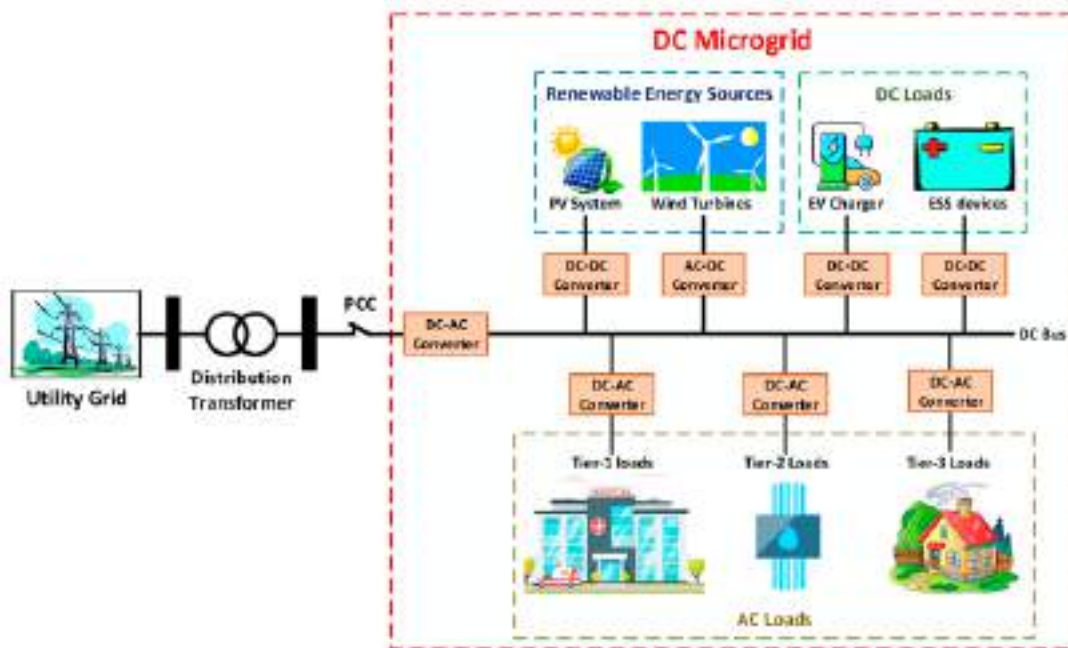


Figure 2. Simple diagram of a typical DCMG.

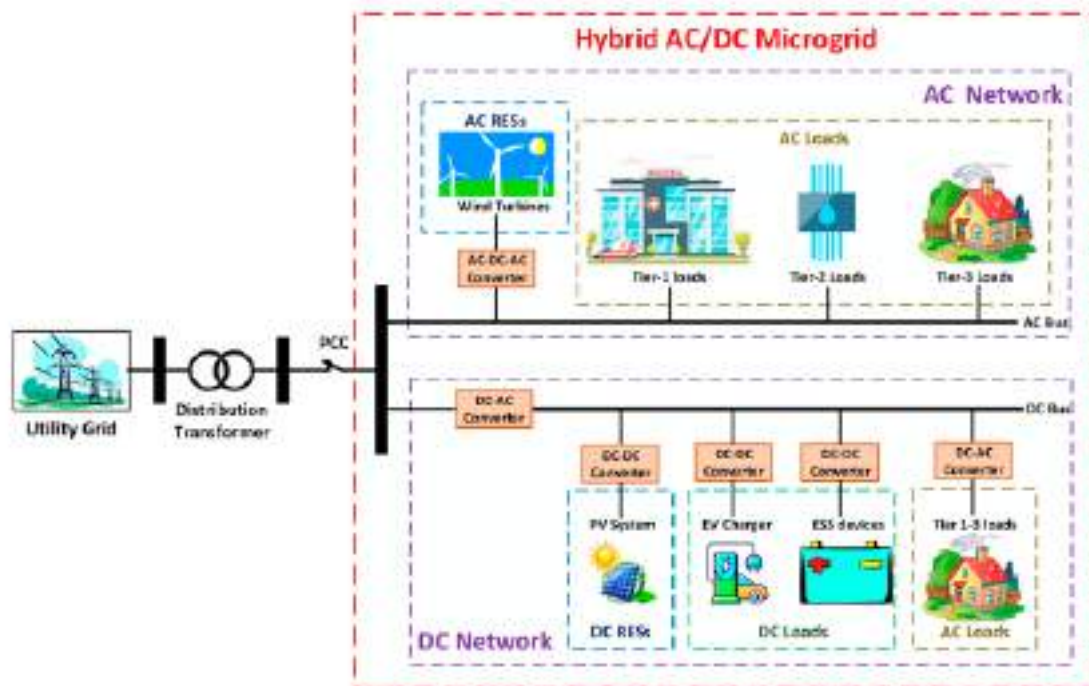


Figure 3. Simple diagram of a typical HMG.

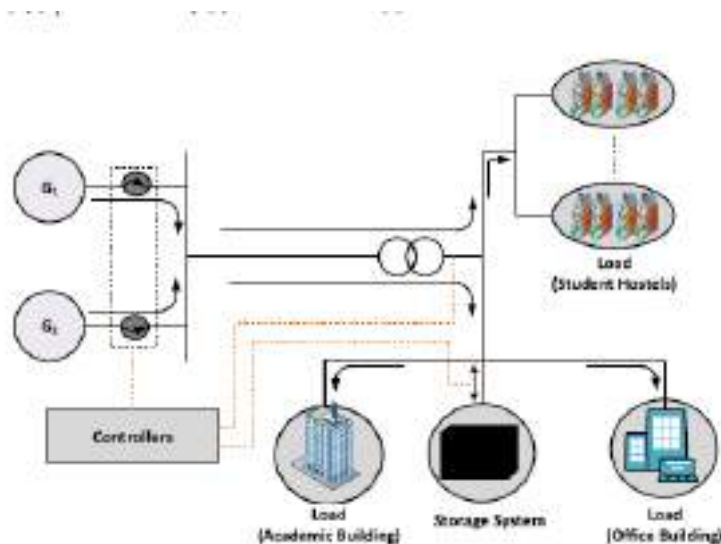


Fig. 5. Proposed structure of test MG.

מיקרו-גרידים נחשבים לרשתות חשמליות קטנות ומבוססות על שליטה עצמאית, בהן ארכיטקטורת הפצה משלבת עומסים ומשאבים אנרגיה מבוזרים – כלומר גנרטורים מקומיים מבוזרים ומערכות אגירה – דבר המאפשר למיקרו-גריד לפעול מחובר או מנותק מרשת החשמל המרכזית.

גנרציה מבוזרת: מושג

מושג מפתח במיקרו-גרידים: **שליטה עצמאית**.

מושג מפתח זה מרמז שהמיקרו-גריד כולל מקורות ייצור כוח עצמאיים (שליטה פעילה לעומת רשת פסיבית).

מיקרו-גריד יכול להיות מחובר או לא מחובר לרשת המרכזית.

גנרציה מבוזרת מוגדרת כתת-קבוצה של משאבים מבוזרים. (DR)

משאבים מבוזרים הם מקורות חשמל שאינם מחוברים ישירות למערכת הולכת כוח כוללת DR. כוללים גנרטורים וטכנולוגיות אגירת אנרגיה.

גנרציה מבוזרת כוללת שימוש בטכנולוגיות ייצור כוח קטנות בקנה מידה הממוקמות בקרבת העומס המשמש.



Microgrid & Energy Storage

גנרציה מבוזרת: יתרונות

בנוגע לרשת המסורתית, מיקרו-גרידים מתוכננים היטב יכולים להיות:

- עמידים יותר (עם מקורות כוח מגוונים וברוב המקרים עם אגירת אנרגיה).
- יעילים יותר.
- ידידותיים יותר לסביבה.
- גמישים יותר.
- פחות פגיעים.
- מודולריים יותר.
- קלים יותר לשליטה.
- חסינים לנושאים המתרחשים במקומות אחרים.

מיקרו-גרידים יכולים להשתלב במערכות קיימות ללא צורך להפסיק את העומס. מיקרו-גרידים מאפשרים ייצור חום וכוח משולבים. (CHP)



Microgrid & Energy Storage

גנרציה מבוזרת: נושאים

- התאמת העומס. תאום עכבות ותאום עומסים
- פרופיל כוח לעומת פרופיל אנרגיה באגירת אנרגיה
- יציבות
- עלות
- ארכיטקטורה / תכנון
- אופטימיזציה
- שליטה עצמאית
- זיהוי תקלות והפחתתן
- חיבור לרשת



Microgrid & Energy Storage

מרכיבי מערכת המיקרו-גריד

עומסים

- עומסים אלקטרוניים
- היברידיים נטענים
- הרשת המרכזית

ממשקי אלקטרוניקת כוח

- ממירי DC-DC
- ממירים
- מיישרים

יחידות ייצור = מיקרו-מקורות:

- גנרטורים רוח קטנים
- תאי דלק
- מיקרו-טורבינות

אגירת אנרגיה (פרופיל כוח)

- סוללות
- אולטרה-קבלים
- גלגלי תנופה



Microgrid & Energy Storage

מבנה בסיסי של רשת מיקרו-גריד

רכיבים מרכזיים:

- **ממיר (Inverter):** אחראי להמרת הזרם הישר (DC) מהפאנלים הסולאריים לזרם חילופין (AC) שמתאים לרשת החשמל.
- **סוללות (Battery):** לאחסון האנרגיה המיוצרת לצריכה מאוחרת.
- **פאנלים סולאריים (PV Modules):** מייצרים אנרגיה מהשמש.
- **עומסים קריטיים ולא קריטיים:** מכשירים וצרכנים המחוברים למערכת.

רכיבים עיקריים במעגל:

- **פילטרים EMI:** להפחתת רעשים אלקטרומגנטיים.
- **מעגלי MPPT:** לניהול מקורות הכניסה הסולאריים.
- **מעגלי אינברטר (DC/AC):** להמרת הזרם הישר לזרם חילופין.

חיבורים נוספים:

- **רשת החשמל המרכזית (Grid):** חיבור לרשת החשמל הראשית לשימוש ואספקת אנרגיה במידת הצורך.
- **יחידת ניהול אנרגיה (EMS):** מערכת לניהול ובקרה של ייצור ואספקת האנרגיה במערכת המיקרו-גריד.
- **מדדים חכמים (Smart Meters):** מאפשרים מדידה וניטור בזמן אמת של הצריכה והייצור האנרגטי.



Microgrid & Energy Storage

תכנון וחיבור רכיבים במיקרו-גריד

- ארכיטקטורה חשמלית ותכנון רשת:
- מקורות ייצור מבוזרים (DERs) כמו פאנלים סולאריים טורבינות רוח וגנרטורים
- מערכות אגירת אנרגיה
- עומסים חשמליים
- מערכת בקרה ותקשורת
- ממשק לרשת החשמל הראשית
- סכמות חיבור ואינטגרציה של מקורות ייצור מבוזרים:
- סנכרון עם הרשת
- המרת מתח DC ל-AC
- שמירה על איכות החשמל
- ניהול הספק ריאקטיבי



Microgrid & Energy Storage

ארכיטקטורה חשמלית ותכנון רשת

התכנון החשמלי של המיקרו-גרید כולל חיבור מקורות ייצור, מערכות אגירה וצרכנים בצורה שתאפשר תפעול יציב ויעיל. הארכיטקטורה כוללת מערכות בקרה ותקשורת המאפשרות ניהול ושליטה על כל רכיבי המערכת.

ארכיטקטורת המיקרו-גרید מחולקת למספר מרכיבים עיקריים:

1. **מקורות ייצור:** מקורות אנרגיה מבוזרים (DERs) כמו פאנלים סולאריים, טורבינות רוח, גנרטורים.
2. **מערכות אגירה:** מערכות אגירת אנרגיה כמו סוללות.
3. **עומסים חשמליים:** צרכנים כמו בניינים, תחנות כוח קטנות ומכשירים חשמליים.
4. **מערכות בקרה ותקשורת:** מערכות המאפשרות שליטה וניהול יעיל של המיקרו-גרید.
5. **ממשק לרשת הראשית:** הממשק המאפשר חיבור וניתוק המיקרו-גרید מהרשת הארצית.

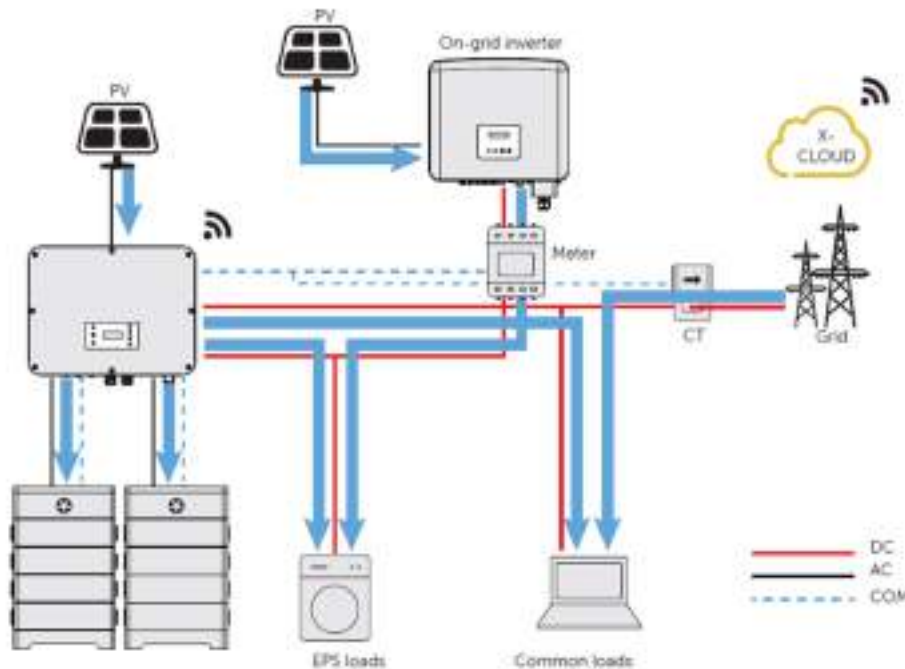


Figure 15-14. Power flowing when grid on and PV sufficient

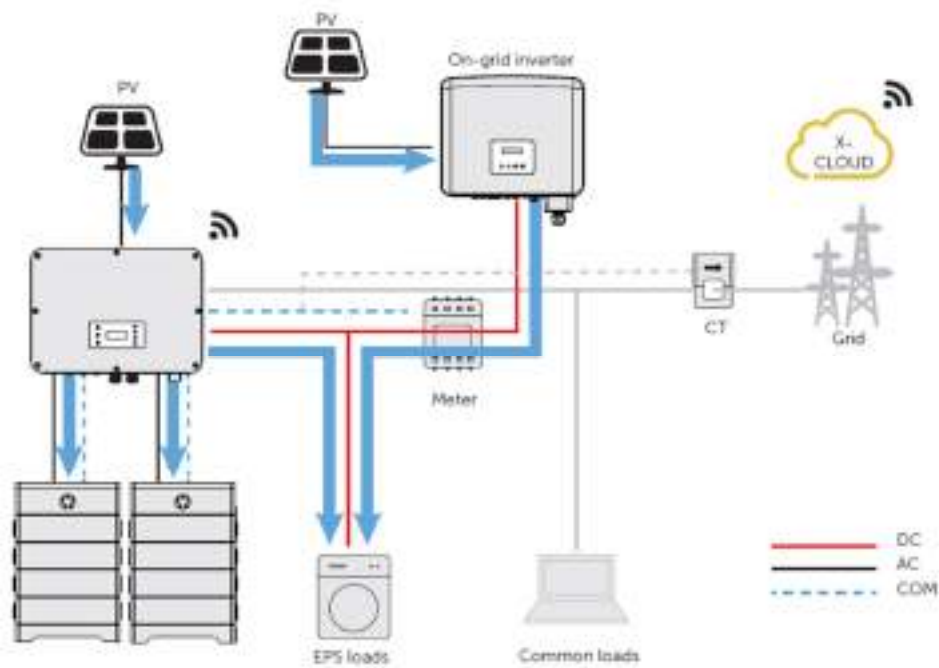
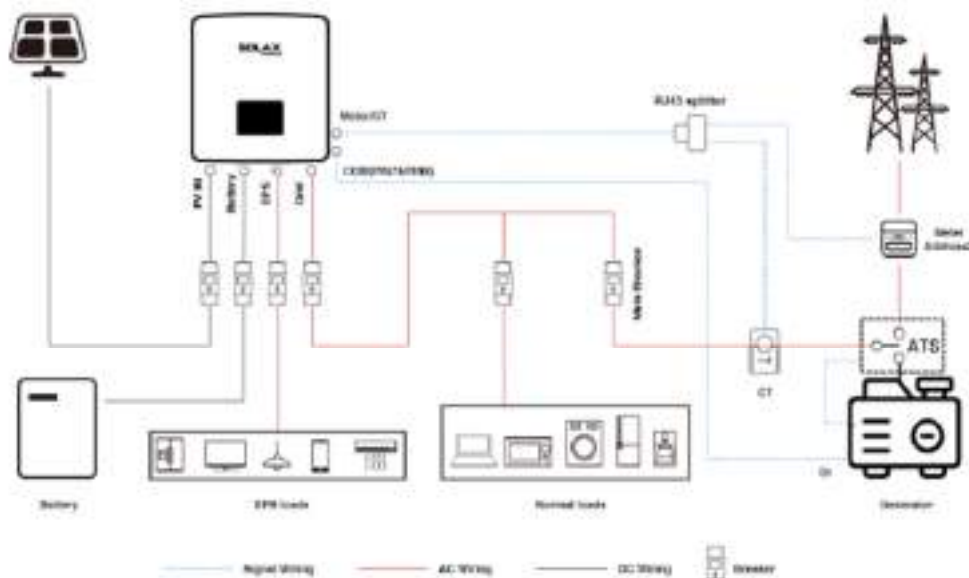
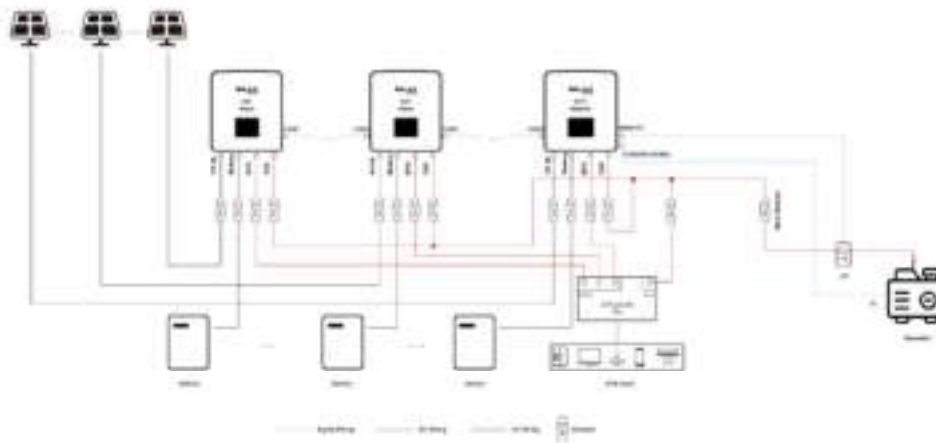
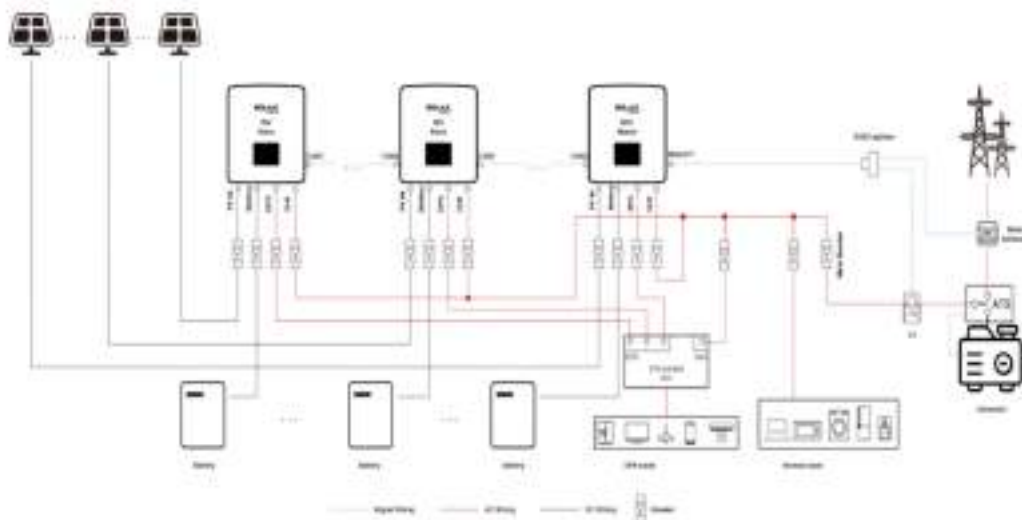


Figure 15-15 Power flowing when grid off





Microgrid & Energy Storage



Microgrid & Energy Storage

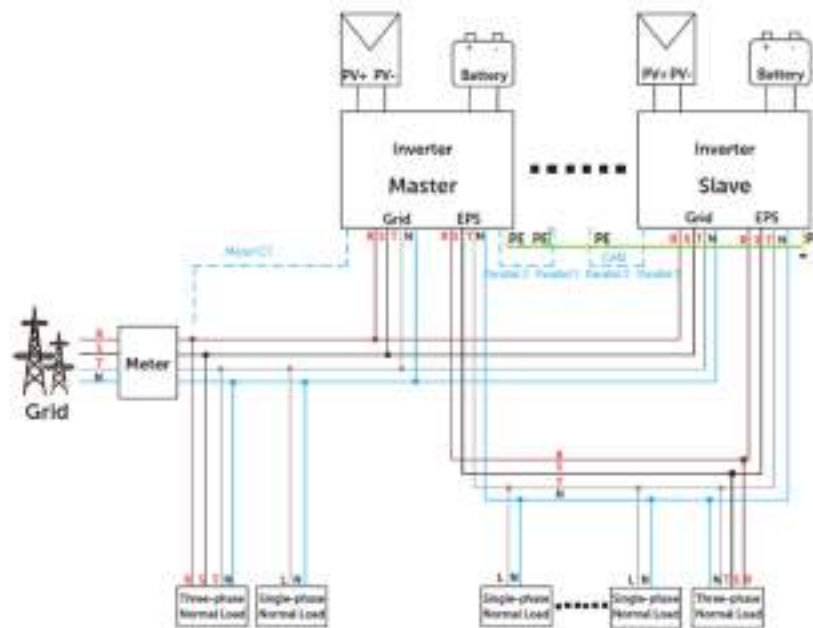


Figure 15-18 System diagram without Solax X3-Parallel EPS BOX

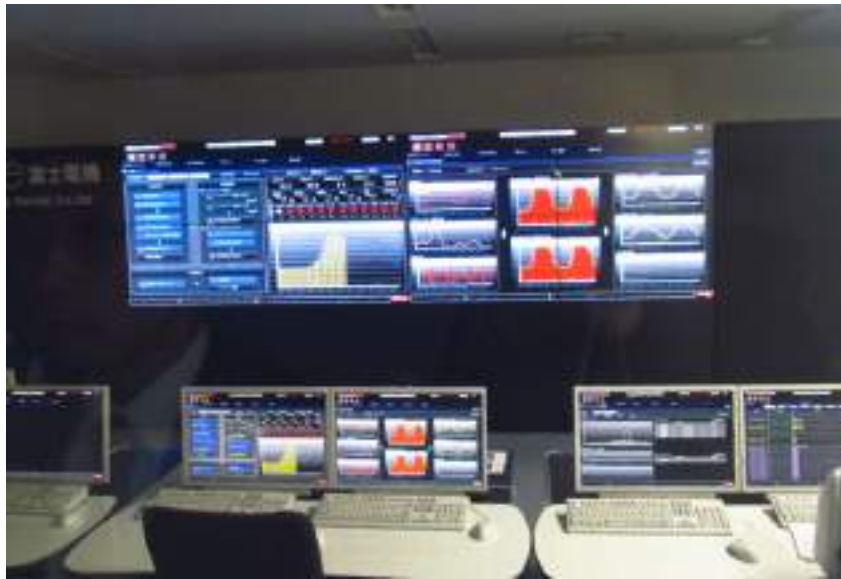
מערכת בקרה ותקשורת

מערכת הבקרה והתקשורת במיקרו-גריד מאפשרת ניהול ושליטה על כל רכיבי המערכת, ומבטיחה תפעול יציב ויעיל. מערכות הבקרה משתמשות באלגוריתמים מתקדמים לניהול האנרגיה בצורה מיטבית.

מערכת הבקרה כוללת:

חיישנים ומדי אנרגיה: לניטור נתוני אנרגיה בזמן אמת.
מערכות תקשורת: להעברת הנתונים בין רכיבי המערכת ומרכז הבקרה.
אלגוריתמים לניהול אנרגיה: לשמירה על איזון בין הביקוש להיצע וניהול מקורות האגירה.

בקרת רשת



עומסים חשמליים

העומסים החשמליים במיקרו-גרید מתחלקים לעומסים קבועים ועומסים גמישים שניתן לנהל אותם בהתאם לצרכים. ניהול העומסים בצורה חכמה מאפשר לשמור על יעילות גבוהה ותפעול יציב.

העומסים החשמליים כוללים:

- 1. עומסים קבועים:** עומסים כמו תאורה, מיזוג אוויר ומכשירים חשמליים הפועלים באופן רציף.
- 2. עומסים גמישים:** עומסים שניתן לנהל בהתאם לצרכים, כמו חימום מים או טעינת רכבים חשמליים.

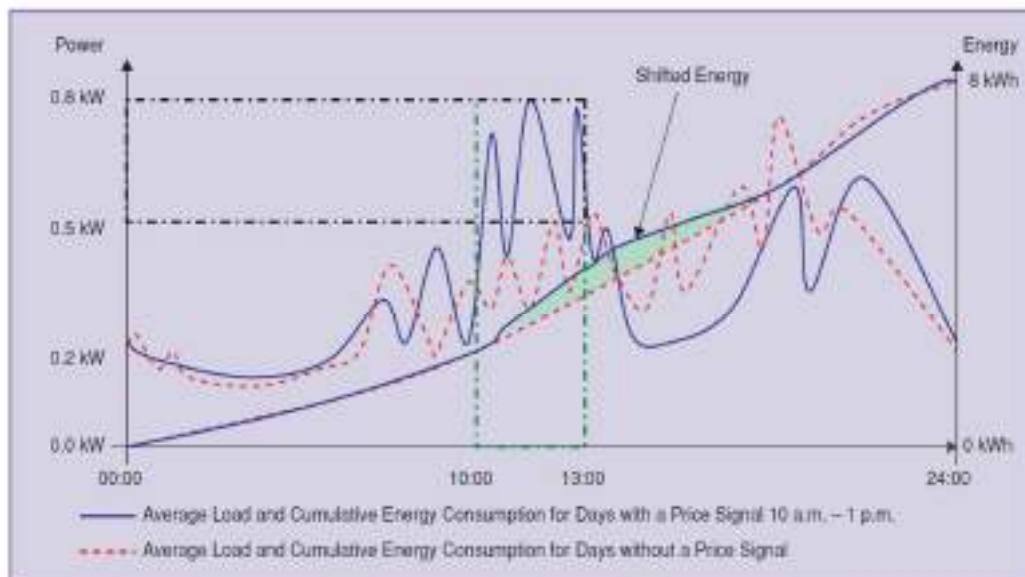
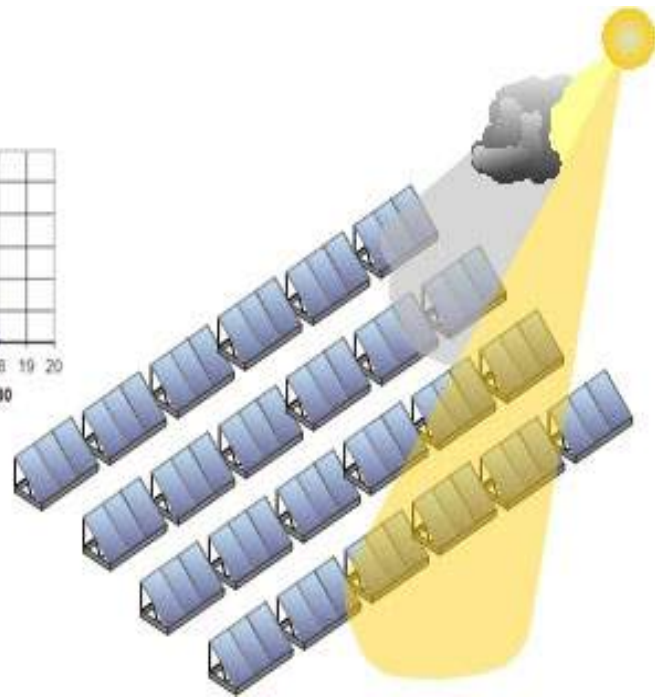
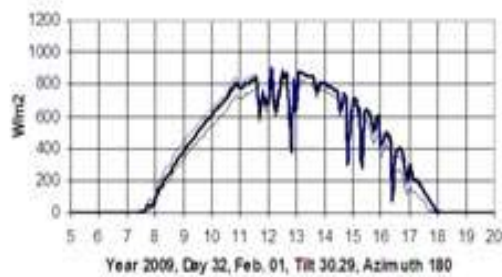


Figure 3. Washing with the Sun encouraged customers to shift loads to high solar generation periods (source: MIV Energie).

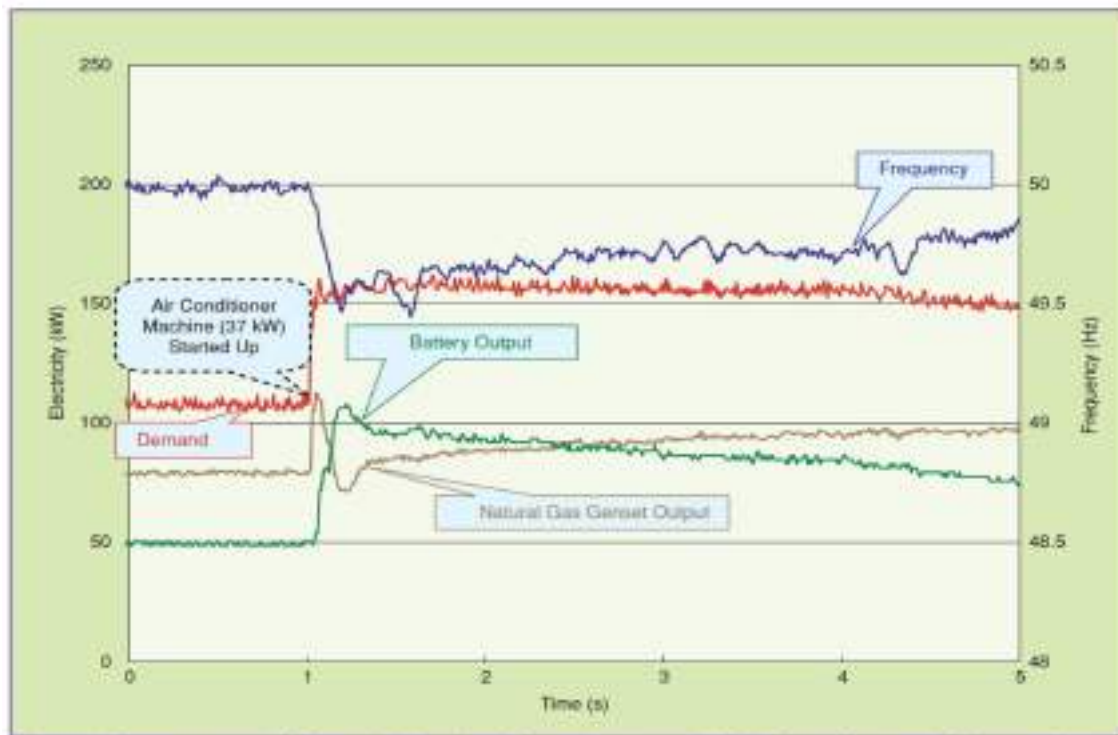


Figure 11. Frequency control characteristics in islanded operation (source: Y. Fujioka, et. al., 2006, in further reading)

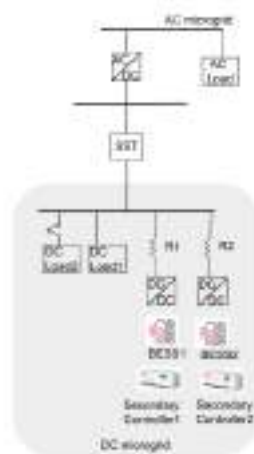


Fig. 3: One line diagram of hybrid AC/DC microgrid

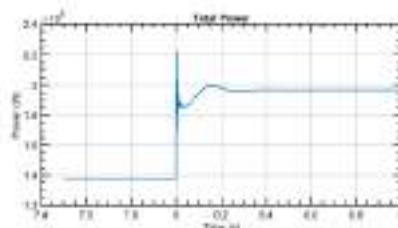


Fig. 4: Power profile showing load change

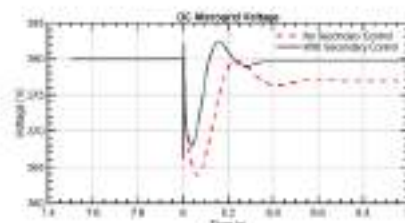


Fig. 5: Voltage profiles comparing the droop control and the proposed secondary controller

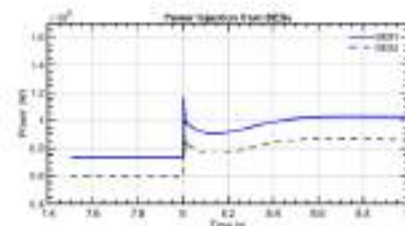


Fig. 6: Load share between two BESs with droop control

BESs may not be equal due to the location difference of BESs in real scenarios. If line compensation is not considered in secondary control to calculate V_{ref} and P_{ref} , then voltage in DC bus will not be exactly 380 V which is shown in Figure 5. With the change of load at 8 second, the voltage deviation will occur due to the line current change and corresponding drop of voltage in lines. On the other hand, the proposed secondary controller considers the saturated line voltage drop and line loss. It helps the controllers to bring back the DC bus voltage

תיאום עכבות

Converter Type	Characteristics and Features	Simplified Diagram
Grid-forming	- Can be shown as an ideal AC voltage source with a low-output impedance [13]. - Using a proper control loop to set the voltage amplitude (E^*) and frequency (ω^*) of the local grid. - Used to form a reference AC voltage in MGs, especially in islanded mode [60]. - Note: In the main grid, reference AC voltage is formed by synchronous generators [60].	
Grid-feeding	- Employed for delivering power (energy) to an emergency network [13]. - Can be modeled as an ideal current source paralleled with a high impedance and connected to the grid. - At the connection point, it should be synchronized with AC voltage to achieve an accurate power exchange with the grid [13]. - Generally, a converter/generator, forming the grid voltage, is required to enable this converter to operate. - Hence, it cannot operate independently in islanded mode [13].	
Grid-supporting	- Can be represented in two models [13]: - An ideal AC-controlled current source paralleled with a shunt impedance. - An ideal AC voltage source in series with a link impedance. - Contributing to keeping the voltage amplitude and frequency of the grid close to rating values by regulating its output voltage/current (delivering proper active and reactive powers) [13]. - While controlling it as a voltage source, the internal control loop usually emulates the link impedance effect. - Partially similar to both grid-feeding and grid-forming converters: - In the case of controlling it as a current source, at least one grid-forming converter is needed to enable it to operate [13]. - In the case of controlling it as a voltage source, it can operate in both grid-tied and islanded modes [13].	

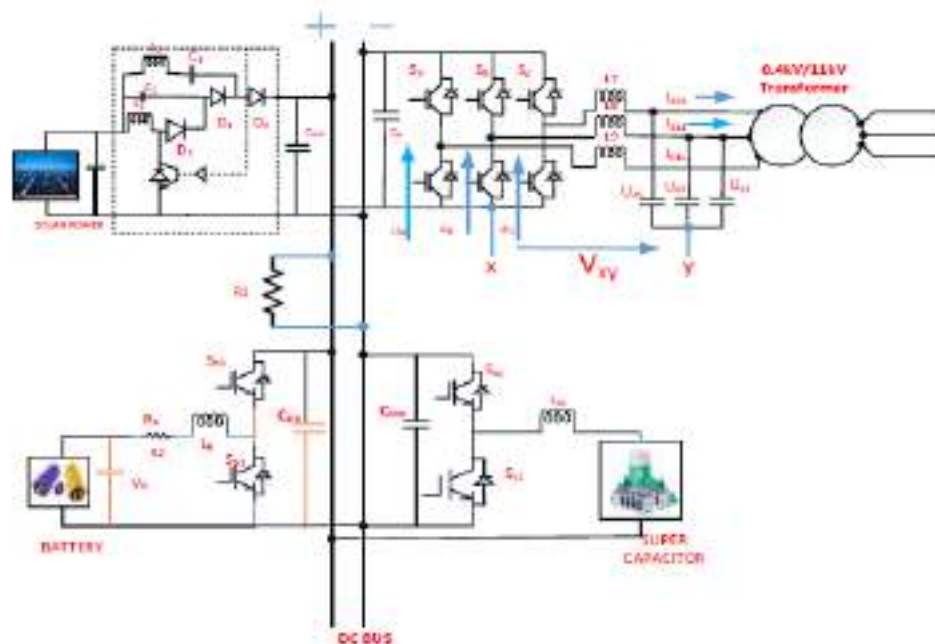
מערכות הגנה ובקרה

אתגרי הגנה במיקרו-גרید:

- זרמי קצר דו-כיווניים
- שינויים בעוצמת זרמי הקצר
- הגנה סלקטיבית
- מעבר חלק בין מצבי פעולה

מערכות בקרה:

- מערכות בקרה מתקדמות לניהול מיקרו-גרید
- תוכנות לניהול אנרגיה



שמירה על איכות החשמל

שמירה על איכות החשמל כוללת ניהול הספק ריאקטיבי, שמירה על מתח ותדר יציבים ומניעת הפרעות חשמליות. ניהול נכון של איכות החשמל מבטיח תפקוד תקין של כל רכיבי המערכת.

איכות החשמל מושפעת מ:

הספק ריאקטיבי: ניהול הספק ריאקטיבי לשמירה על מתח יציב.
מתח ותדר יציבים: שמירה על מתח ותדר קבועים ומניעת תנודות.
הפרעות חשמליות: מניעת הפרעות חשמליות כמו רעשים ושינויים פתאומיים במתח.

אתגרי הגנה במיקרו-גרید

הגנה במיקרו-גרید כוללת אתגרים כמו זרמי קצר דו-כיווניים ושינויים בעוצמת הזרמים. אתגרים אלה דורשים מערכות הגנה מתקדמות ומדויקות.

זרמי קצר דו-כיווניים

זרמי קצר דו-כיווניים דורשים פתרונות הגנה מתקדמים ומערכת בקרה מותאמת. מערכות ההגנה צריכות להיות מסוגלות לזהות ולנטרל את הזרמים הדו-כיווניים במהירות וביעילות.

שינויים בעוצמת זרמי הקצר

שינויים בעוצמת זרמי הקצר דורשים מערכות הגנה שמסוגלות להתאים את עצמן לשינויים בזמן אמת. מערכות אלה כוללות מגני מתח, ממסרי זרם ומערכות בקרה מתקדמות.



Microgrid & Energy Storage

השפעות הדדיות של רכיבים שונים ברשת- אינטגרציה של גנרטור, מערכת סולארית ומערכת אגירה

שילוב של גנרטור, מערכת סולארית ומערכת אגירה במיקרו-גרید דורש ניהול חכם של המקורות והעומסים כדי לשמור על יציבות המערכת. האינטגרציה של רכיבים אלה מאפשרת גמישות גבוהה בניהול האנרגיה.

שיקולי סנכרון ואיזון הספקים

שיקולי סנכרון ואיזון הספקים כוללים ניהול מדויק של מקורות האנרגיה כדי למנוע עומסים יתר ולשמור על יציבות המערכת. ניהול זה דורש מערכות בקרה מתקדמות ואלגוריתמים חכמים.



Microgrid & Energy Storage

אתגרים ופתרונות במיקרו-גריד - אתגרים טכניים וכלכליים

המיקרו-גריד מתמודד עם אתגרים טכניים וכלכליים כמו עלויות התקנה גבוהות, תחזוקה מורכבת ודרישות רגולציה. פתרון האתגרים הללו דורש מחקר ופיתוח מתמידים.

פתרונות חדשניים לשיפור יעילות ואמינות הרשת

פתרונות חדשניים כוללים פיתוח מערכות אגירה מתקדמות, שימוש בבינה מלאכותית לניהול הבקרה והתחזוקה, ושיפור מערכות הסנכרון וההגנה.



Microgrid & Energy Storage

סכמות חיבור ואינטגרציה של מקורות ייצור מבוזרים

- **סנכרון עם הרשת:** תהליך שבו מערכת המיקרו-גריד מסונכרנת עם רשת החשמל המרכזית. זה מאפשר למיקרו-גריד לפעול במקביל לרשת הראשית ולהעביר חשמל בין שתי המערכות בצורה חלקה.
- **המרת מתח DC ל-AC:** שימוש בממירים להמרת המתח המתקבל ממקורות DC (כגון פאנלים סולאריים) למתח AC לשימוש במערכות חשמל ביתיות ותעשייתיות.
- **שמירה על איכות החשמל:** הבטחת יציבות ואיכות המתח והתדר במערכת. זה כולל מניעת רעשים חשמליים ושמירה על תדר יציב.
- **ניהול הספק ריאקטיבי:** ניהול ותיקון פקטור ההספק במערכת, המאפשר שיפור יעילות המערכת והפחתת הפסדים.



Microgrid & Energy Storage

מערכות הגנה ובקרה

אתגרי הגנה במיקרו-גריד

- זרמי קצר דו-כיווניים: במערכת מיקרו-גריד ישנם זרמי קצר דו-כיווניים, כלומר זרמי קצר יכולים לזרום הן מהמיקרו-גריד לרשת הראשית והן בכיוון ההפוך. זה מצריך מערכות הגנה מתקדמות שיכולות להתמודד עם הזרמים המורכבים הללו.
- שינויים בעוצמת זרמי הקצר: ניהול ושמירה על יציבות המערכת בעת שינויים בעוצמת הזרמים מצריך פתרונות מתקדמים להגנה סלקטיבית.



Microgrid & Energy Storage

- הגנה סלקטיבית: הבטחת פעולה נכונה של רכיבי ההגנה במערכת, כך שיפעלו רק במקרים של תקלה אמיתית ולא יתנתקו שלא לצורך.
- מעבר חלק בין מצבי פעולה: מעבר חלק בין מצבים שונים במערכת, כגון מעבר ממצב פעולה מקוון למצב חירום או להפעלה עצמאית. זה כולל מנגנוני גיבוי וניהול חכמים שמאפשרים למערכת להמשיך לפעול בצורה רציפה וללא הפרעות.

מערכות בקרה

- מערכות בקרה מתקדמות לניהול מיקרו-גריד: מערכות אלו כוללות חיישנים, בקרים ותוכנות לניהול אוטומטי של המערכת, המאפשרים אופטימיזציה של הייצור והצריכה.
- תוכנות לניהול אנרגיה: תוכנות מתקדמות לניהול ואופטימיזציה של האנרגיה במערכת. התוכנות מאפשרות ניטור בזמן אמת, חיזוי צריכה וניהול עומסים.



Microgrid & Energy Storage

סנכרון

אינטגרציה של גנרטור, מערכת סולארית ומערכת אגירה:

- שיקולי סנכרון ואיזון הספקים
- שמירה על יציבות מתח ותדר
- ניהול אנרגיה ומניעת עומסים יתר



Microgrid & Energy Storage

סנכרון עם הרשת

סנכרון המיקרו-גרید עם הרשת הראשית מאפשר תפעול חלק ובטוח של המערכת, תוך שמירה על יציבות המתח והתדר. הסנכרון חשוב במיוחד כאשר המיקרו-גרید פועל במצב מחובר לרשת.

תהליך הסנכרון כולל:

בדיקת התדר והמתח: לוודא שהתדר והמתח של המיקרו-גרید תואמים לאלה של הרשת הראשית.

חיבור הדרגתי: חיבור המיקרו-גרید לרשת הראשית בצורה הדרגתית ומבוקרת.

מעקב וניטור: מעקב רציף אחר מצב הרשת והמיקרו-גרید כדי לוודא סנכרון יציב.

המרת מתח DC ל-AC

המרת מתח DC ל-AC נעשית באמצעות ממירים שונים שמבטיחים שמירה על איכות החשמל במערכת. ממירים אלה כוללים ממירי תדר ומתח, ומערכות הגנה מפני תקלות.

ממירים כוללים:

ממירי מתח: להמרת מתח DC למתח AC.

ממירי תדר: להמרת תדר הזרם לתדר המתאים לרשת הראשית.

מערכות הגנה: למניעת תקלות והבטחת תפקוד תקין של הממירים.



Microgrid & Energy Storage

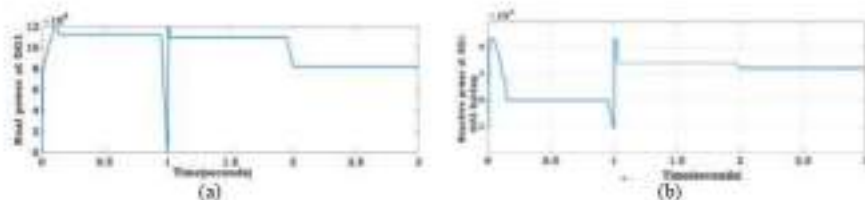


Figure 7. Power supplied by DG unit connected at bus 1 with backup (a) real power and (b) reactive power

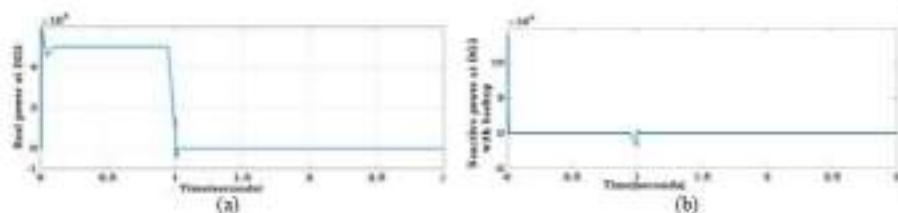
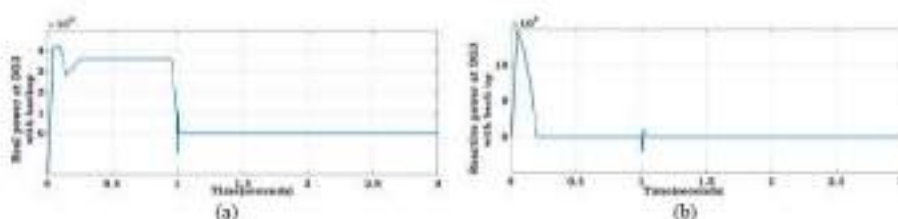


Figure 8. Power supplied by DG unit connected at bus 2 with backup (a) real power and (b) reactive power

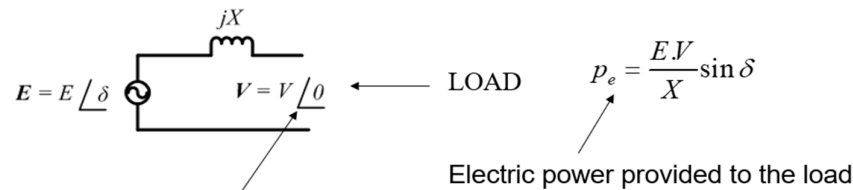


פתרון בעיות במיקרוגרید

1. **הוספת נגדים:** דיכוי אנרגיה רטטית במעגל באמצעות נגדים, אם כי זהו פתרון לא יעיל.
2. **הוספת מסננים:** מסננים, במיוחד קבלים, מפחיתים את התנודות, אך הגדלת הקיבול יקרה.
3. **אחסון אנרגיה בתפזורת:** אחסון אנרגיה בתפזורת ישירות. פתרון זה יקר יותר.
4. **הפחתת עומס:** הפחתת עומס גורמת להפחתת אמפליטודת התנודות, אך לא מתאימה לעומסים קריטיים.
5. **בקרים לינאריים:** בקרים מסוג PID מספקים רגולציה יציבה באמצעות יצירת אות מחזוריות.
6. **בקורות גיאומטריות:** בקורות גיאומטריות מבוססות על מתגי אירועים.

- Consider an ac microgrid with one ac generator and one load. Consider also a stiff grid with $X \gg R$.

- The simplified equivalent circuit for the generator and its output equation is:



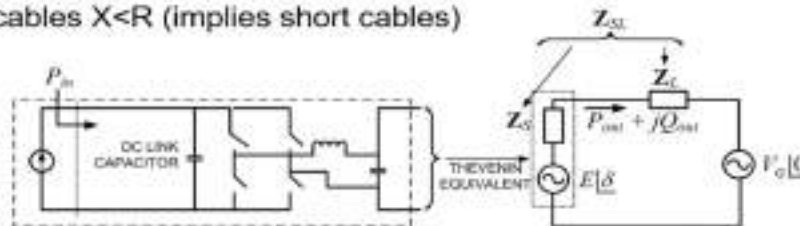
Assumption: Infinite bus (simplifies the analysis but not true for micro-grids).

Also during shorts or load changes E is constant

- From mechanics: $J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_m(t) - T_e(t)$
- Moment of inertia angular acceleration mechanical torque electrical torque

© A. Kwasinski, 2017

- Assumption:
 - In cables $X \gg R$ (implies long cables)
- But in microgrids
 - In cables $X < R$ (implies short cables)



$$\left. \begin{aligned} P_{out} &\approx \frac{V_G E (R_{SL} \cos \delta + X_{SL} \sin \delta) - (V_G^2) R_{SL}}{R_{SL}^2 + X_{SL}^2} \\ Q_{out} &\approx \frac{V_G E (X_{SL} \cos \delta - R_{SL} \sin \delta) - (V_G^2) X_{SL}}{R_{SL}^2 + X_{SL}^2} \end{aligned} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{aligned} P_{out,X} &\approx \frac{V_G E \delta}{X_{SL}} & Q_{out,X} &\approx \frac{V_G E - (V_G^2)}{X_{SL}} \\ P_{out,R} &\approx \frac{V_G E - (V_G^2)}{R_{SL}} & Q_{out,R} &\approx -\frac{V_G E \delta}{R_{SL}} \end{aligned} \right.$$

© A. Kwasinski, 2017

- Linearization yields that in order to achieve a stable regulation point two conservative conditions are:

$$P_L < V_o^2 \left(\frac{C}{L} R_i + \frac{1}{R_o} \right)$$

$$P_L < V_o^2 \left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_o} \right) \quad (\text{Predominant condition})$$

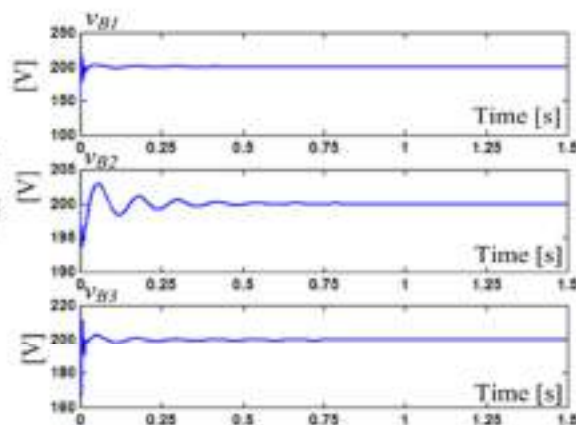
where R_i equals the sum of R_{SD} , $R_D(1-D)$, and R_L .

- Hence, stability improves if:
 - L is lower
 - C is higher
 - P_L is lower
 - R_i is higher
 - R_o is lower (higher ohmic load)

© A. Kwasinski, 2017

- OPTION #2: Add filters, particularly capacitors.

- Oscillations decrease with increased capacitances
- Since the oscillation frequency is in the order of hundreds of hertz, increasing capacitance is expensive.
- Large capacitors tend to be unreliable.



60 mF capacitance placed at the CPL input and at the buck converters output.

© A. Kwasinski, 2017

הגנות במערכות DC

1. מיקרו-גרידים רגישים יותר לבעיות איכות כוח עקב ירידה בקשיחות והערכים הטיפוסיים במעכים קווים.
2. נדרש זיהוי מהיר של תקלות כדי להפריע לתקלות במהירות ולמנוע ירידות מתח משמעותיות במעגלים סמוכים או אובדן יציבות.
3. במערכות אלקטרוניקה חשמליות מבוזרות, ייתכן שלא ניתן לזהות תקלות כראוי משום שזרמי הקצר מוגבלים לזרם הממירים המרבי ולזרם המוצא של הקבל.

הפסקות במערכות AC מול DC

1. הפסקות סדרתיות במערכות AC: קשתות חשמליות פחות אינטנסיביות.
2. הפסקות סדרתיות במערכות DC: קשתות חשמליות נמשכות זמן רב יותר ויכולות לגרום לנזק.

מפסקי זרם מוצקים: מציעים פתרונות לניתוק מהיר של זרמי DC

מצבי עבודה להתאמה לרשת

מהו מצב? Self-use

• מצב זה מתאים לאזורים עם סובסידיות נמוכות להזרמה לרשת ומחירי חשמל גבוהים.
• הכוח מהפאנלים הסולאריים יספק תחילה את העומסים, והכוח העודף יטען את הסוללה, והנותר יוזרם לרשת.

עקרון העבודה

• המערכת משתמשת בכוח מהפאנלים הסולאריים ככל האפשר לצרכים המקומיים, ורק כאשר יש עודף הוא מנותב לסוללה או לרשת.

הגדרות נוספות

• **תקופות טעינה ופריקה:** ניתן להגדיר תקופות בהן הסוללה תיטען או תפרק כוח בהתאם לצרכים ולמחירי החשמל.

מהו מצב? Feed-in Priority

• מצב זה מתאים לאזורים עם סובסידיות גבוהות להזרמה לרשת.
• הכוח מהפאנלים הסולאריים יספק תחילה את העומסים, והכוח העודף יוזרם לרשת



Microgrid & Energy Storage

דרישות תכנון והגנה

דרישות לחיבור AC

מתח הרשת: המתח חייב להיות בטווח המותר. הממיר מתאים למתח נומינלי 400 V/230V תדירות Hz.50/60

דרישות RCD: מומלץ להשתמש ב RCD מסוג Type-A עם ערך של 300 mA או RCD מסוג B לפי דרישות מקומיות.

דרישות MCB: יש לחבר בין הממיר לרשת החשמל MCB מתאים לכל ממיר.

דרישות עומס EPS: יש להבטיח שהעומס הנומינלי של ה EPS-יהיה בטווח ההספק הנומינלי של ה EPS-.

דרישות נוספות:

- על הממיר להיות מחובר לאדמה בצורה בטוחה.
- יש לוודא שהמתח והזרם של המערכת מתאימים למפרטים של הממיר ושל הסוללות.



Microgrid & Energy Storage

2.5.2 Application Schemes

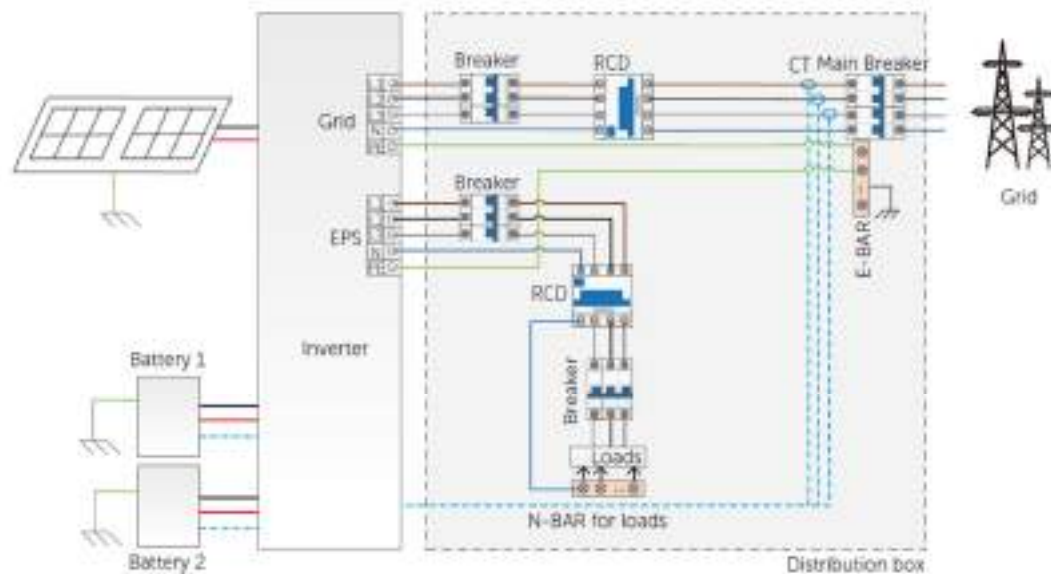


Figure 2-6 Whole home backup for most countries

אתגרים ופתרונות במיקרו-גריד

אתגרים טכניים וכלכליים

שילוב מקורות אנרגיה מתחדשת עם חוסר יציבות :

מקורות אנרגיה מתחדשת, כגון פאנלים סולאריים וטורבינות רוח, הם משתנים וחסרי יציבות. התמודדות עם זה מצריכה מערכות בקרה מתקדמות ואמצעים לאגירת אנרגיה.

ניהול עומסים משתנים :

צריכת האנרגיה משתנה בהתאם לצרכים השונים של המשתמשים. ניהול עומסים משתנים מצריך מערכות בקרה חכמות שמסוגלות להגיב במהירות לשינויים.

תקשורת ואינטגרציה עם רשת החשמל הראשית :

הבטחת תקשורת ואינטגרציה מלאה עם רשת החשמל הראשית. זה כולל ניהול חכם של החיבורים והבטחת פעולה משולבת של שתי המערכות.

פתרונות חדשניים לשיפור יעילות ואמינות הרשת

שיפור בניהול אנרגיה :

שימוש בטכנולוגיות מתקדמות לשיפור ניהול האנרגיה. זה כולל שימוש בתוכנות לניהול חכם של המערכת ושילוב אמצעים לאגירת אנרגיה.

אינטגרציה עם מערכות חכמות נוספות :

שילוב מערכות ניהול חכמות לשיפור הביצועים והיעילות של המערכת. זה כולל שימוש במערכות ניהול ביתיות חכמות ואמצעים לניהול עומסים חכמים.



Microgrid & Energy Storage

נשמח לעמוד לרשותכם



בקרו באתרנו:

www.gal-engineers.co.il

ליצירת קשר:

info@gal-engineers.co.il

Microgrid & Energy Storage