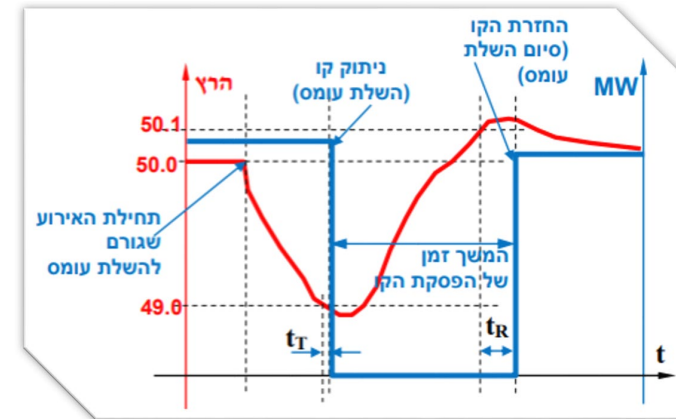




נגה
ניהול
מערכת
החשמל



התאגדות מהנדסי חשמל, אלקטרוניקה ואנרגיה בישראל כנס אילת 2024

ניהול מערכת השלת עומס בעידן ייצור מבוזר

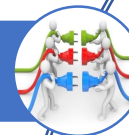
נובמבר 2024

תמיר לן, מנהל מחלקת מדיניות משטרי תפעול - נגה

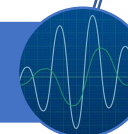
ניהול התדר וסקירת מערכות השלת עומסים



סיווג קבוצות השלת עומס מתדר



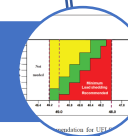
חקר שני אירועים – 22/4/24 , 27/04/23



פרויקט יישום השלת עומס כיוונית



דוגמא לניתוח שנתי - השלת עומס מתדר



אגירה בסוללות בפרט ככלי ליציבות המערכת



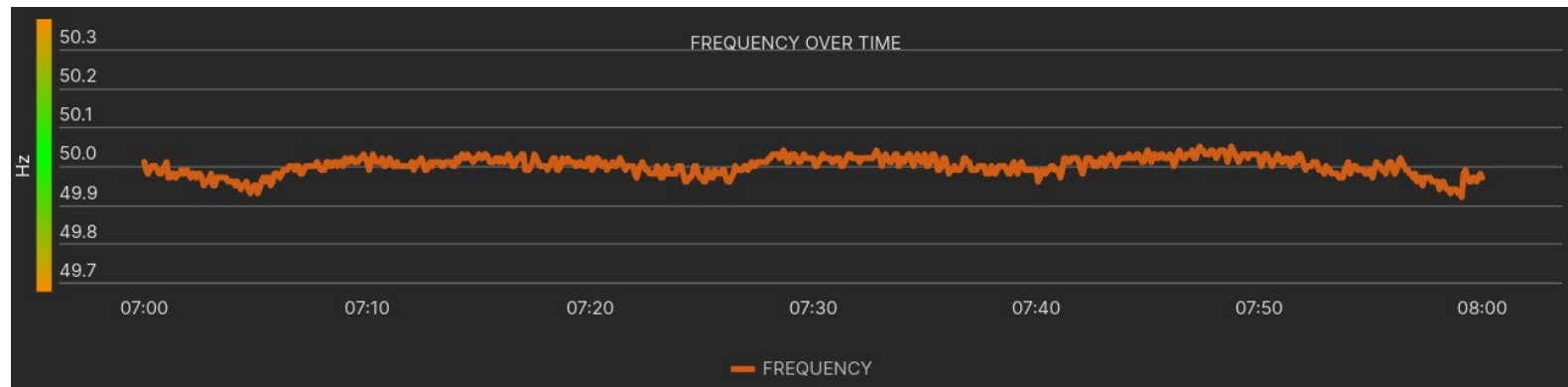
סיכום ✓



ניהול התדר - תחומי עבודה של התדר במערכת החשמל בישראל

מתקני ייצור במתח עליון נדרשים לעמוד בדרישות נוהל חיבור לקוחות ובנספח התפעולי בפרט, כדלקמן:

1. תדר נקוב: 50 הרץ
2. גבולות תדר במצב רגיל (מצב יציב): 49.80-50.10 הרץ
3. גבולות תדר בזמן הפרעה (מצב יציב): 49.60-50.20 הרץ
4. גבולות התדר בזמן הפרעה (מצבי מעבר, ערכים רגועים): 47-52.5 הרץ
5. קצב שינוי תדר מרבי בזמן תנודות: 3.0 הרץ לשנייה



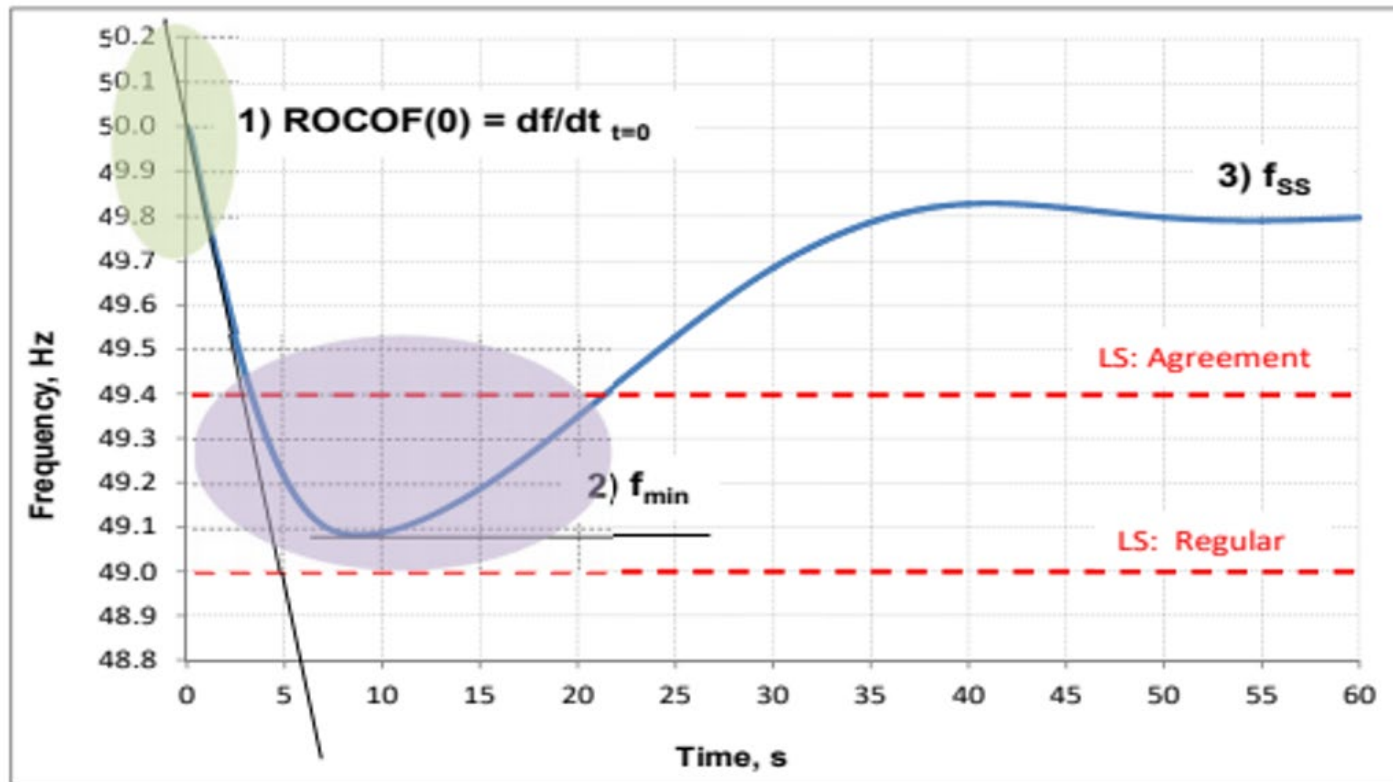
סקירת מערכות השלת עומסים בישראל



תחום פעילות השלת עומס	תחום פעילות דגימת נתונים	סיווג מערכת השלת עומס	#
קווי צרכנות במ"ג	דגימת זרם במ"ע	לפי זרם	1
	דגימת מתח במ"ע	לפי תדר	2
	דגימת מתח במ"ע	לפי מתח	3
מניעת השלת מעגלי ייצור מ"ג	דגימת הספק ייצור במעגלי מ"ג	לפי כיוון זרימת הספק	פיילוט

סיווג קבוצות השלת עומס בתדר

התנהגות תדר בעקבות הפסקה מאולצת של יחידת ייצור



מטרת מערכת השלת עומס בתדר - להבטיח את שרידות המערכת ע"י ביצוע הליכי הפסקת צרכנות אוטומטית מהירה בכדי לקדם הליך בלימה ושיקום התדר.

תדר השלה	דרגה	זמן החזרה
47.8/0.5	C	90
49.4/20	A	140
48.6/0.8	B	120
49.4/20	A	140
49.4/20	A	140
OFF		
OFF		
OFF		
47.8/0.5	C	90
49.4/20	A	140
48.6/0.8	B	120
48.6/0.8	B	120
OFF		
49.4/20	A	140
OFF		
OFF		

השלת עומס אוטומטית בתדר

	ERCOT	GB	IE/NI	NORDIC	AUSTRALIA (NEM)
UFLS	59.3 Hz	48.8 Hz	48.85 Hz	48.85 Hz	49.0 Hz
ROCOF	~ 1 Hz/s	0.125 Hz/s	0.5 -> 1 Hz/s	0.5Hz/s	1 Hz/s mainland. Regional constraints (3 Hz/s in SA and Tas)
CONTINGENCY	2.75 GW	1.25 GW	0.5 GW	1.65 GW	Regional. 0.35 GW in SA
INERTIA FLOOR	100 GWs	135 GWs	23 GWs	125 GWs	Regional Floors (lowest: 6 GWs in SA, 3.8 GWs in Tasmania)
PEAK DEMAND	~73 GW	~60 GW	~6.5 GW	~72 GW	~36 GW

השלת עומס אוטומטית בתדר - סטטי

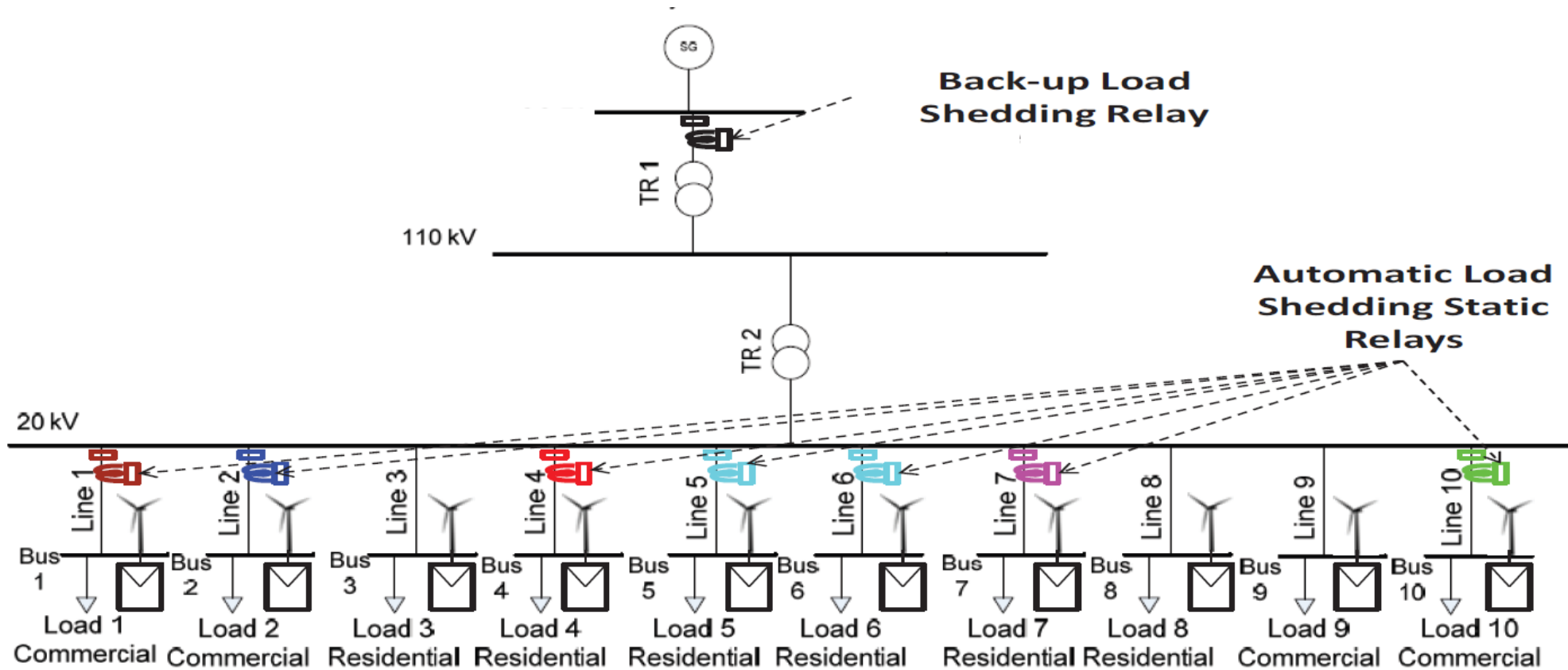


Fig. 3. Distribution System Model

Decreased load availability for UFLS

Decreased load availability for UFLS configuration: Amount of DG varies along with weather conditions during days and seasons. Power flow measurement of the feeders with DG exhibits different patterns: sometimes the feeders are back-feeding, while sometimes the measured power flow is less than load active power consumption because of DG. This characteristic can reduce the available load to be shed during some period of time, which makes UFLS harder to meet the predefined shedding amount. Furthermore, it becomes harder to define a static long-term UFLS configuration [28].

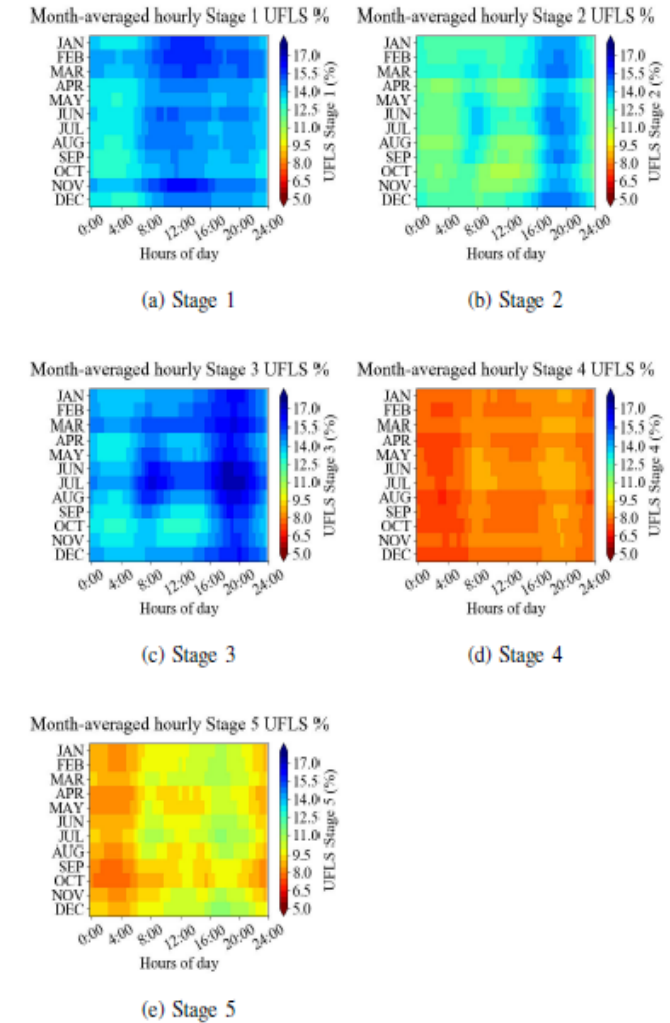


Fig. 5. 2019 UFLS availability based on re-balanced settings

Heat map

השלת עומס אוטומטית בתדר

TABLE II
RECOMMENDATION FOR UNDER-FREQUENCY LOAD SHEDDING

Stage(k)	Frequency [Hz]	Minimum Load Shedding Amount(A_k)
1	49	5%
2	48.8	10%
3	48.6	10%
4	48.4	10%
5	48.2	10%
6	48.1	5%

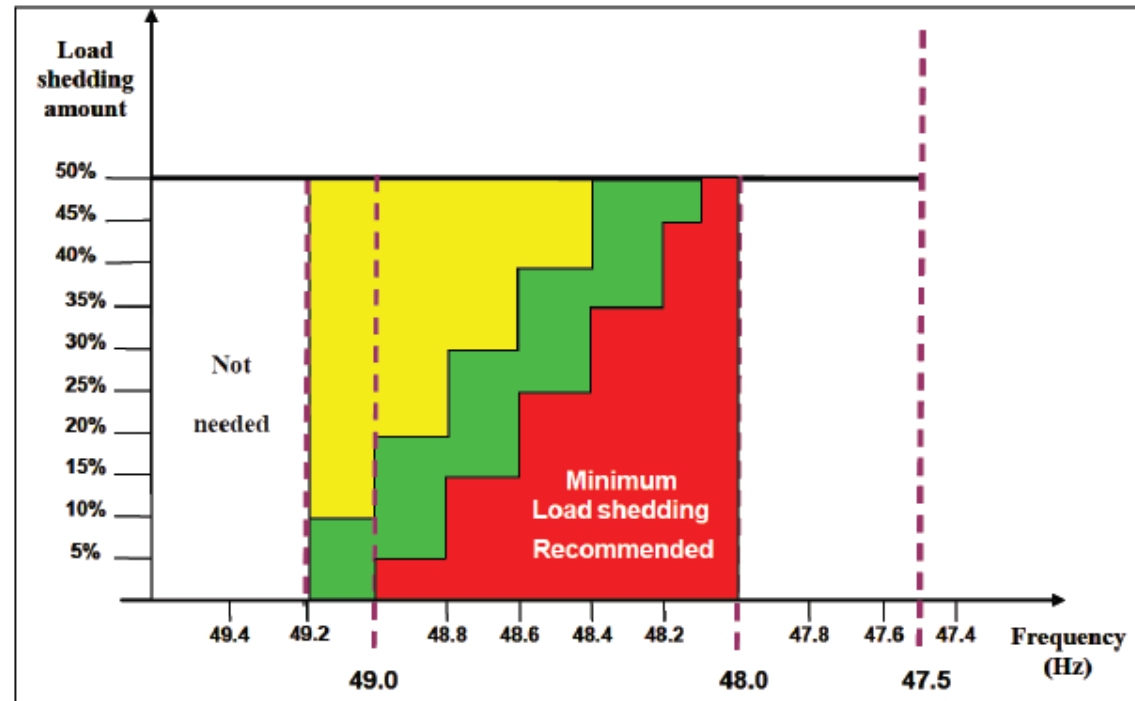


Fig. 1. ENTSO-E Recommendation for UFLS

אלגוריתם עבור השלת עומס אוטומטית בתדר

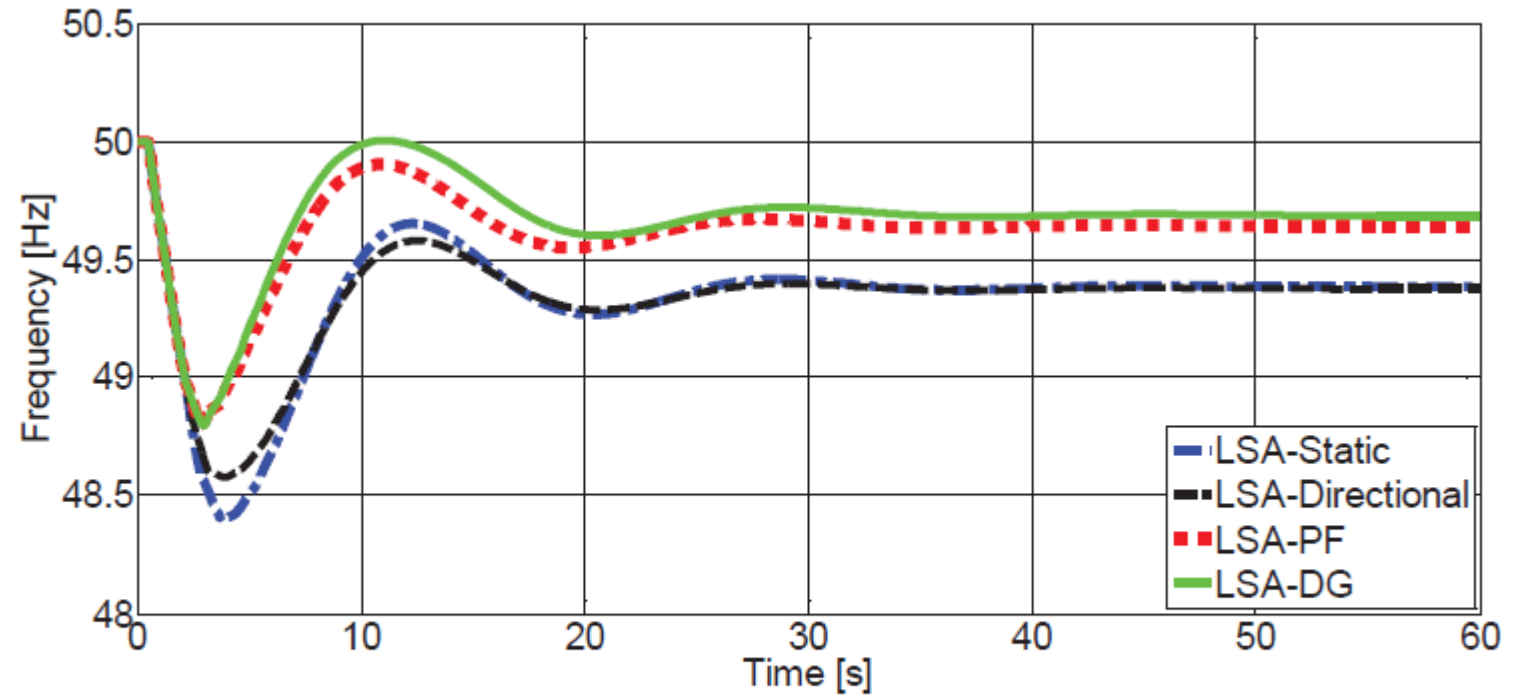
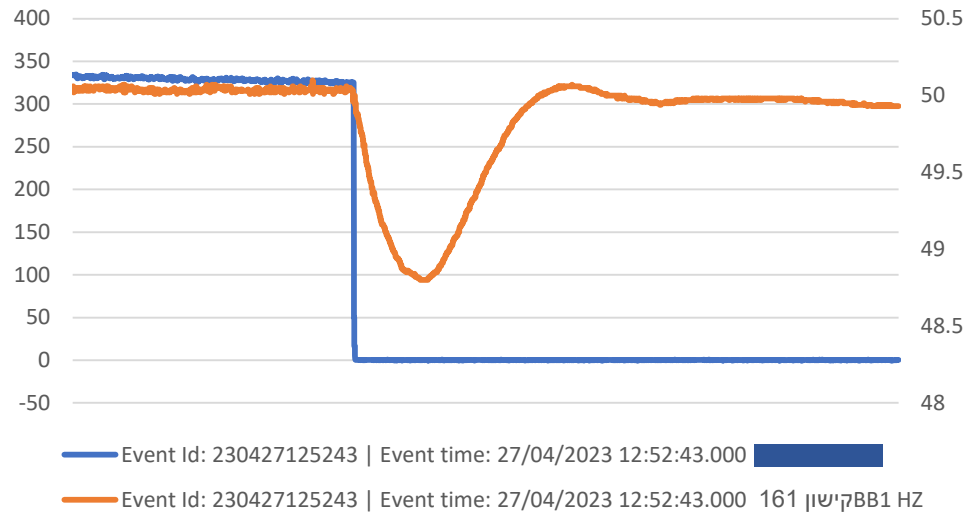


Fig. 6. Frequency responses for different load shedding schemes

חקר אירועים – 27/4/23

Event Id: 230427125243 | Event time: 27/04/2023
12:52:43.000



בשעה 12:52 נפסק מחז"מ – מעומס 336MW ולאחר מכן, נפסק יח"פ, מעומס 64 MW. כתוצאה מכך, ירד תדר המערכת ונכנסו לפעילות מערכות השלת צרכנות בהסכם ושלא בהסכם

בעת הפרעה	טרום הפרעה	פרמטר נמדד
7352 MW	7704 MW	הספק משקי
3334 MW	3335 MW (כ-43% מהספק המשקי)	הספק סולארי
48.83 Hz	50.03 Hz	תדר

חקר אירועים – קצר במעגל מתח על 22/4/24

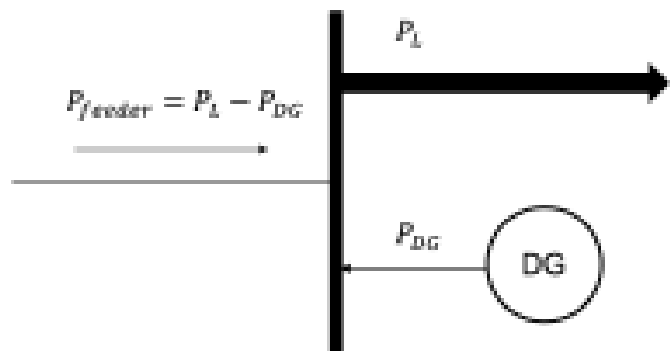


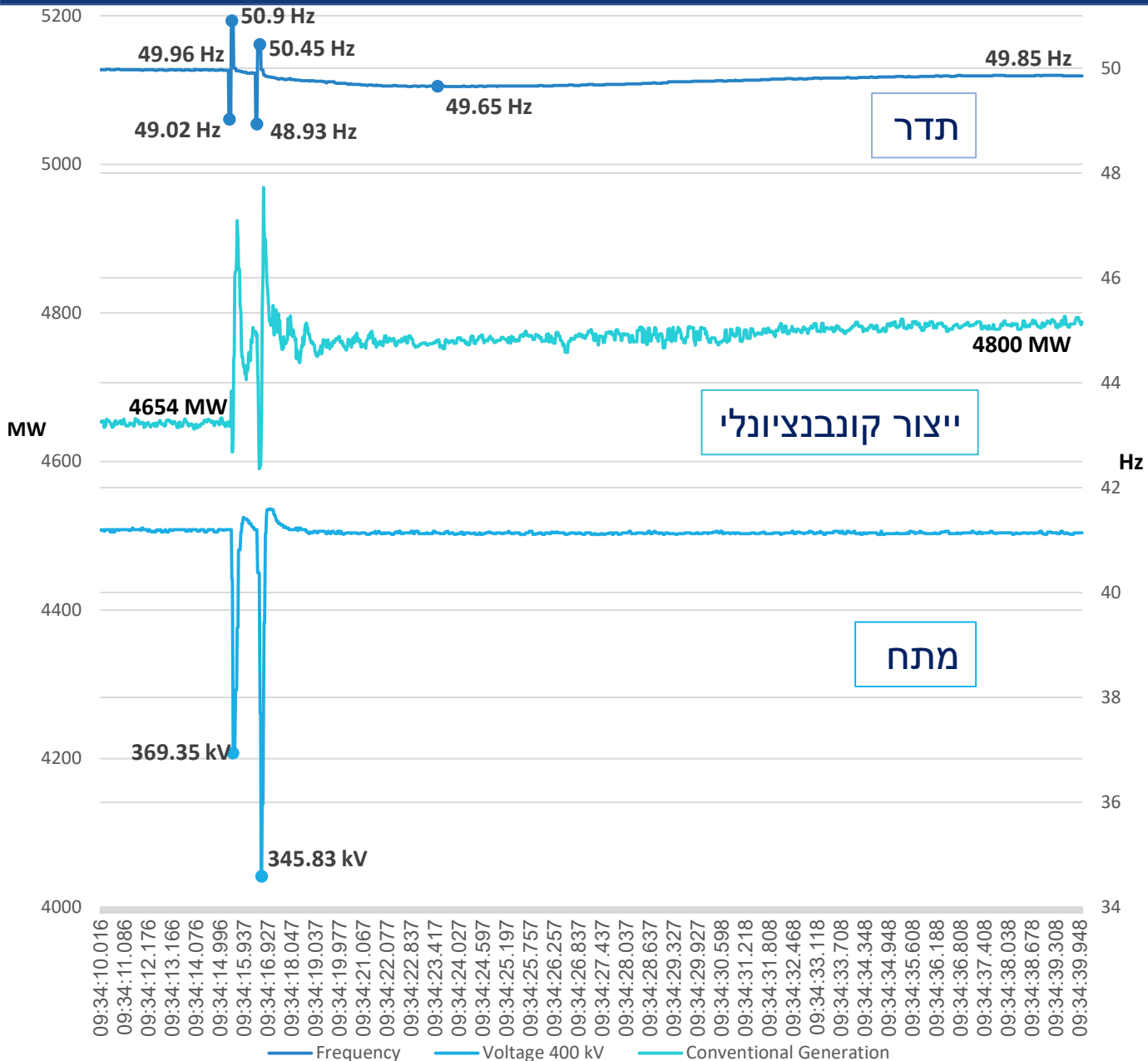
Figure 2.2: Power Flow at Distributed Feeder

Reverse power flow: As described above, reverse power flow not only causes voltage rise problem, but also affects availability of UFLS.

When generation loss event occurs and frequency drops, the expectation of UFLS is to disconnect load, reducing the power deficit. Nonetheless, for conventional UFLS scheme, unintentional disconnection of distributed feeders with reverse power flow actually increases the size of contingency

	Date/Time	Transformers' Active Power, MW							
העמסת	22/04/2024 09:30:00	-1.8	-3.5	-2.3	-17.9	-14.1	-13.8	-7.1	-7.5
שנאים	22/04/2024 09:31:00	-1.9	-1.4	-2.4	-17.6	-13.1	-13.9	-7.2	-7.8
טחום	22/04/2024 09:32:00	-2.1	0.6	-2.5	-15.7	-12.1	-14.0	-7.4	-8.0
האירוע	22/04/2024 09:33:00	-2.4	2.6	-2.2	-13.9	-11.1	-14.0	-7.6	-8.2
מהלך האירוע	22/04/2024 09:34:00	0.9	4.7	-0.5	-12.0	-10.1	-14.1	-7.8	-2.6
	22/04/2024 09:35:00	4.1	5.3	0.8	-11.3	-2.3	-14.2	0.7	0.7
	22/04/2024 09:36:00	4.1	5.1	0.7	-11.4	-2.4	-14.2	0.5	0.6
	22/04/2024 09:37:00	3.9	4.9	0.6	-11.5	-2.6	-14.3	0.3	0.5
	22/04/2024 09:38:00	3.7	4.8	0.6	-11.6	-2.8	-14.4	0.1	0.3
	22/04/2024 09:39:00	3.5	4.7	0.5	-11.7	-2.9	-14.5	0.0	0.2
	22/04/2024 09:40:00	3.3	4.6	0.4	-11.8	-3.1	-14.5	-0.2	0.1
	22/04/2024 09:41:00	2.8	4.5	0.4	-11.9	-4.0	-14.6	-0.3	0.1
	22/04/2024 09:42:00	2.5	4.5	0.3	-12.1	-4.9	-14.7	-0.5	0.0
	22/04/2024 09:43:00	2.2	4.1	0.2	-12.3	-5.9	-14.7	-0.7	-0.1
	22/04/2024 09:44:00	2.4	2.6	0.0	-12.6	-7.5	-14.8	-0.9	-0.2
22/04/2024 09:45:00	1.5	1.1	-0.4	-12.9	-9.3	-14.8	-1.3	-0.3	
22/04/2024 09:46:00	-0.2	-1.7	-0.7	-14.1	-11.0	-14.9	-1.9	-0.4	
חזרה לשגרה	22/04/2024 09:47:00	-3.2	-4.1	-1.3	-15.0	-11.6	-14.9	-2.4	-0.8
	22/04/2024 09:48:00	-3.6	-6.7	-2.0	-15.9	-11.7	-15.0	-3.0	-2.0
	22/04/2024 09:49:00	-4.0	-9.0	-2.6	-16.7	-11.9	-15.0	-4.6	-3.3
	22/04/2024 09:50:00	-4.3	-10.1	-3.2	-17.6	-12.1	-15.1	-5.7	-4.6

חקר אירועים – קצר במעגל מתח על 22/4/24

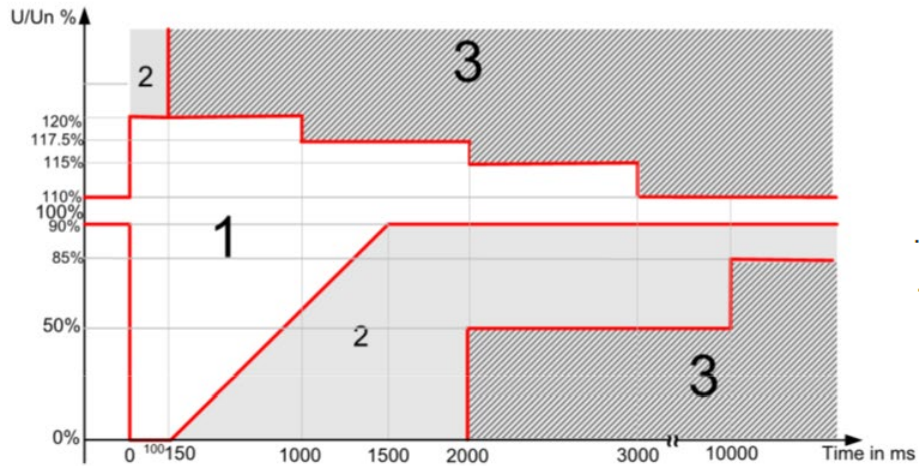


PV Site	Δ MW	9:34	9:35	9:36	9:37	9:38
	2.7	-2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	13.9	-14.2	-10.3	-4.4	-0.1	-0.3
	3.6	-5.6	-4.7	-3.8	-2.9	-2.0
	0.7	-0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	5.1	-5.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	8.6	-8.6	-5.7	-1.1	0.0	0.0
	4.0	-4.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	8.1	-8.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.0	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3
	2.8	-2.9	0.0	0.0	-0.1	-0.1
	4.9	-5.4	-0.1	-0.4	-0.4	-0.5
	7.0	-7.0	0.0	0.0	0.0	0.0

סה"כ ייצור סולרי שנפסק במ"ג : 104 MW

חקר אירועים – קצר במעגל מתח על 22/4/24

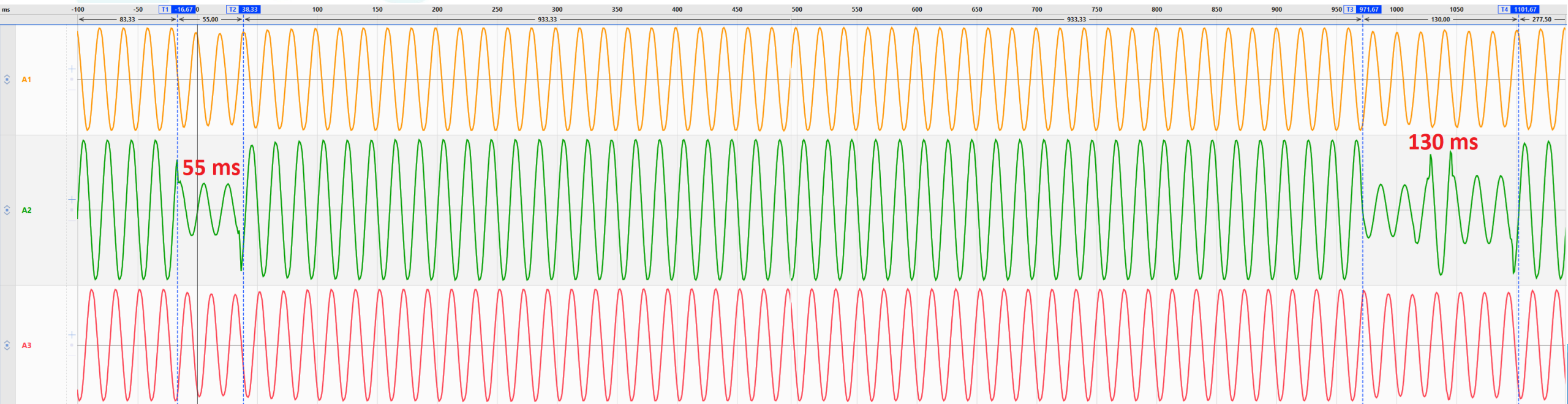
עפ"י נוהל חח"י "מסמך הנחיות לכוונון מהפכים פוטו-וולטאיים", 2022 :



כאשר:

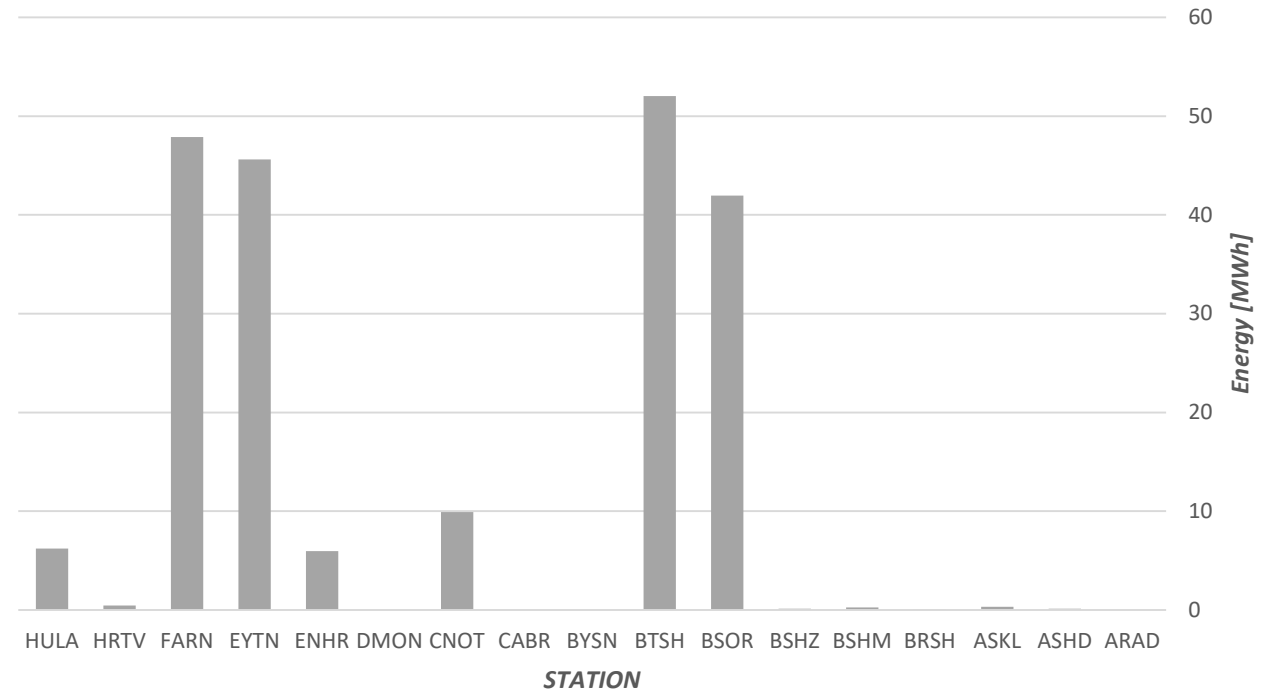
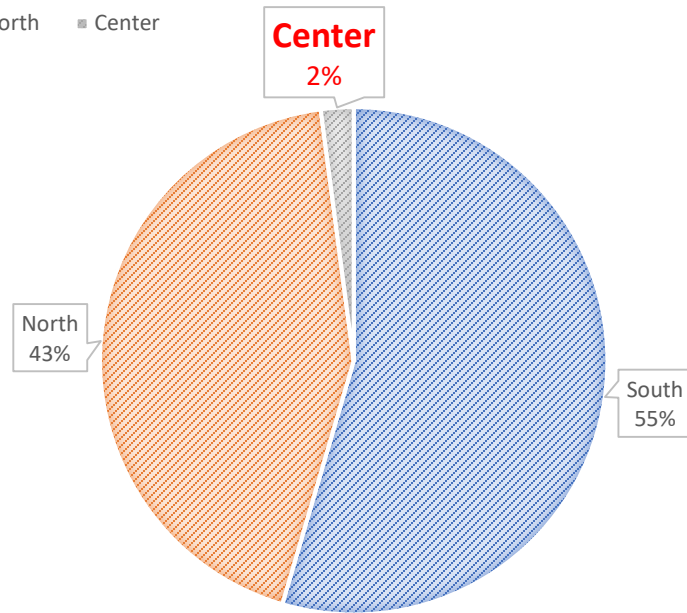
- אזור 1(*) :** המהפך לא יתנתק מהרשת וימשיך לייצר.
- אזור 2(*) :** המהפך רשאי להפסיק להזרים אנרגיה לרשת.
- אזור 3(*) :** המהפך מחויב להפסיק להזרים אנרגיה לרשת.

תדר – תחום פעילות:
 $47 \text{ Hz} < f < 51.5 \text{ Hz}$



פרויקט יישום השלת עומס כיוונית במתח גבוה

■ South ■ North ■ Center

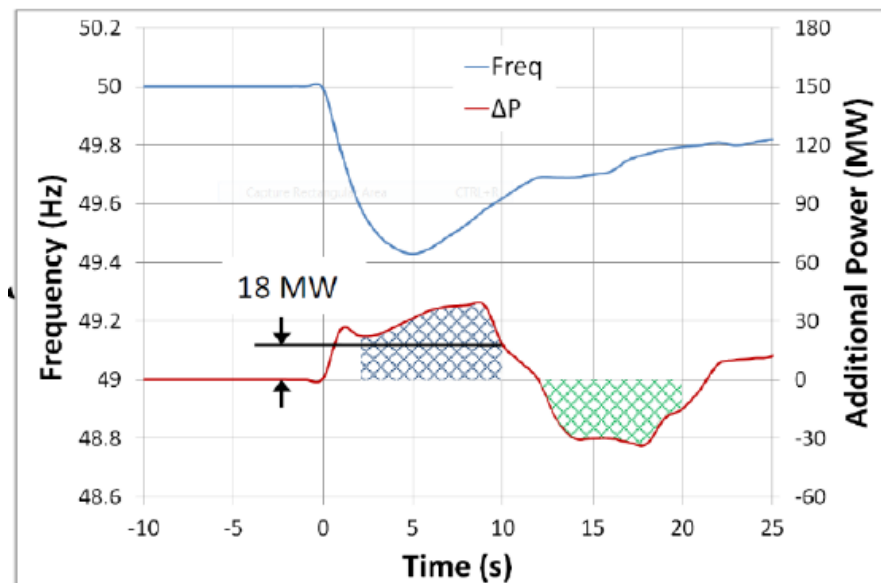
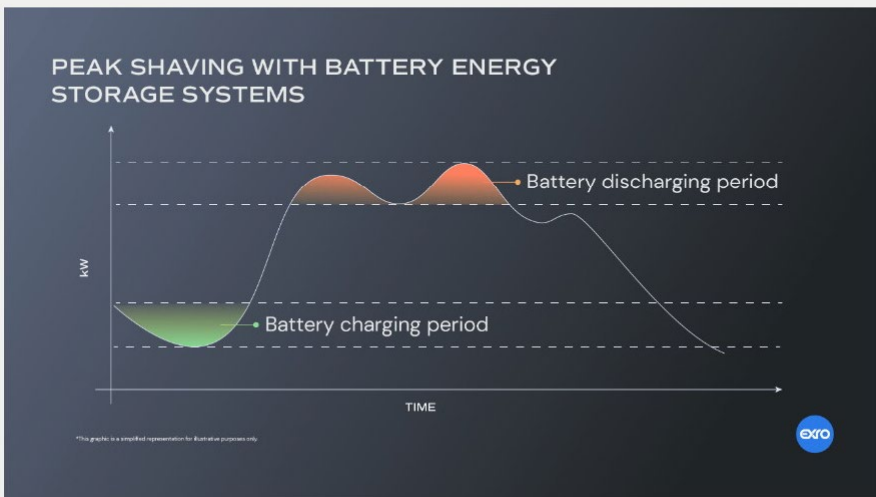


מחלקת מדיניות משטרי תפעול בשיתוף מחלקת הגנות-חח"י, מקדמים את יישום פיילוט השלת עומס תלוית כיוון הספק. באמצעות לוגיקה זו, ניתן להפוך קווי ייצור במ"ג לדו-תכליתיים (ייצור לא מושל ביום, ובשעות הערב צרכנות זמינה להשלה)



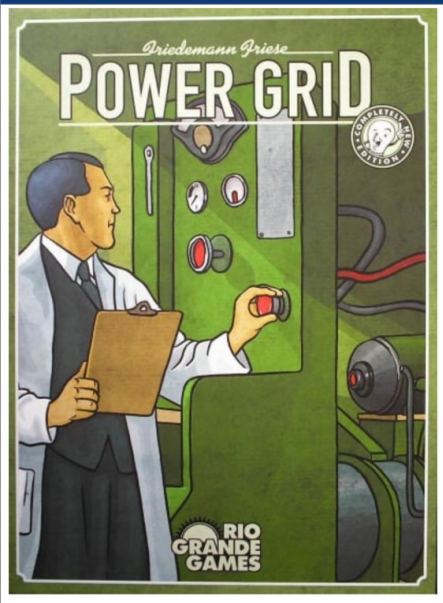
אגירה בסוללות ככלי ליציבות המערכת

Operation of a typical battery energy storage system



חידרת טכנולוגיית אגירה בסוללות פתחה צוהר עבור קשת פתרונות תפעוליים כדוגמא:

1. יכולת תגובה מהירה לתדר.
2. מקורות אינרציה וירטואלית.
3. יכולת תמיכה במתח.
4. מתן פתרונות ספיגה/ייצור הספק ראקטיבי.
5. שירותי BLACKSTART ועוד.



האתגרים העיקריים בניהול מערכות הספק :

1. יציבות תדר- יכולת ספיגת ההפרה בין יצור לצריכה
2. יציבות מתח- מניעת אירועי קריסת מתחים Voltage Collapse
3. יציבות מעבר- יכולת מערכת החשמל לשמור על סנכרון של הגנרטורים

UFLS - מערכת הגנה חיונית ואף קריטית במערכות הספק על מנת למנוע התמוטטות התדר עד כדי הגעה לעלטה.



תודה על ההקשבה

נגה
ניהול
מערכת
החשמל

