

יישומים של הזנה דו ורב מסלולית במרכזי מחשוב

אבי פינס

שאחת מההזנה מופסקת. לכן גם במקרה של תקלה באחת המערכות או בעת ביצוע שרות על אחד המסלולים ניתן לנתק את ההזנה במסלול אחד ללא הפרעה לפעולת העומס. יתרון נוסף הוא שהמערכת חסינה לטעויות משתמש.

החסרונות של הזנה דו-מסלולית הם: עלות גבוהה (כפולה מההזנה בודדת), נקודת עבודה נמוכה של המערכת (פחות מ-50% מההספק - בד"כ בסביבות 40% העמסה ואף פחות).

2.2 הזנה רב מסלולית עם 3 מערכות UPS – 3MFR

באיורים מס' 3 ו-4 מתואר מרכז מחשוב אשר מוזן על ידי 3 מערכות זהות, כל אחת בהספק זהה לחצי ההספק המלא של המרכז. השרתים והעומסים במתקן ממשיכים בפעולה רגילה במקרה שאחת מההזנות מופסקת.

כל חלק של העומס "רואה" לפניו שתי מערכות אל פסק ושתי מערכות חלוקה נפרדות. לכן התכונות העיקריות של הזנה דו-מסלולית - שיפור אמינות וזמינות ההזנה, שיפור השירותיות (SERVICEABILITY) וחסינות לטעויות משתמש - נשמרות. בנוסף ניתן לראות שנדרשת התקנת מערכות בהספק פי 1.5 מהעומס

במקום פי 2. ברמות הספק של מאות קו"א עולה מחירי המערכות הלינאריים להספק ולכן יש חיסכון משמעותי בהשקעה הראשונית, בעלויות השירות לאורך חיי המערכות אשר נגזרות ממנה ובשטח שתופסות מערכות ה-UPS. המקסימום התאורטי של נקודת העבודה של המערכות הוא 66.7% ועומס מעשי של עד 60%. מה שמספר גם את נצילות העבודה ומביא לחיסכון בעלויות התפעול וב-TCO. יתרונות נוספים של MFR מתוארים במאמרים (ראו ביבליוגרפיה בפרק 8 להלן).

2.3 הזנה רב-מסלולית עם 4 מערכות UPS – 4MFR

באיורים מס' 5 ו-6 מתואר מרכז מחשוב אשר מוזן על ידי 4 מערכות זהות, כל אחת בהספק זהה לשליש ההספק המלא של המרכז. השרתים והעומסים במתקן ממשיכים בפעולה רגילה במקרה שאחת מההזנה מופסקת.

1. מבוא

שיפור אמינות וזמינות ההזנה במרכזי מחשוב קריטיים הנו בעל חשיבות עליונה בתכנון מרכזי מחשוב מודרניים. חיסכון בעלויות ושיפור הנצילות גם הם מטרות חשובות.

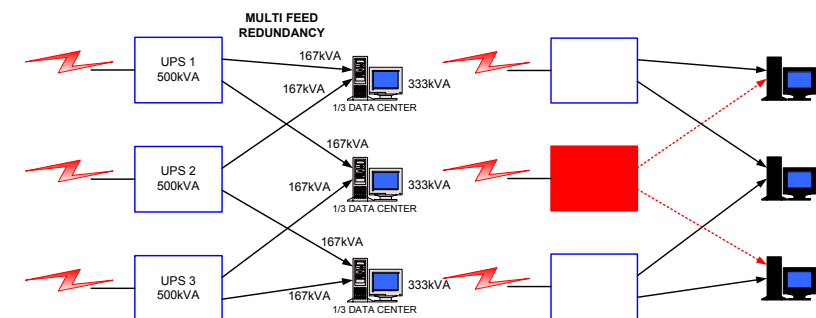
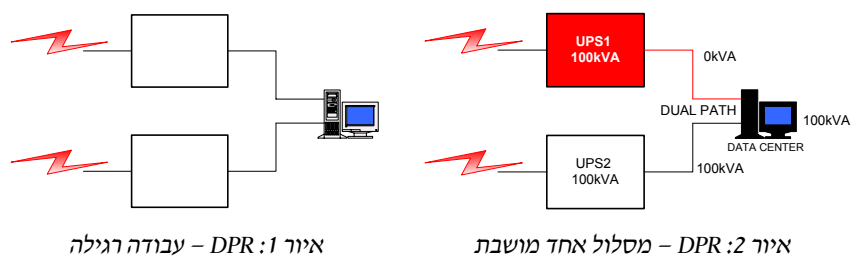
הזנה דו-מסלולית (DPR) ורב מסלולית (MFR) הינן השיטות המועדפות להשגת אמינות וזמינות גבוהים. הזנה רב-מסלולית מאפשרת את כל היתרונות של הזנה דו-מסלולית, ובנוסף היא מאפשרת חיסכון משמעותי בהשקעה ובעלויות במהלך חיי המתקן (TCO) וכן נצילות תפעול משופרת.

במאמר מובאת סקירה קצרה של הזנה דו ורב מסלולית, ולאחר מכן מובאות 3 דוגמאות מעשיות שונות של יישומי הזנה רב-מסלולית בהדגשת הפתרונות הייחודיים לכל דוגמה.

2. סקירה: הזנה דו ורב מסלולית

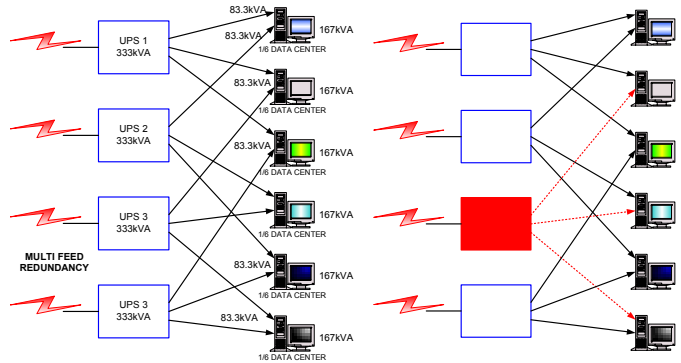
2.1 הזנה דו-מסלולית - DPR

באיורים מס' 1 ו-2 מתואר מרכז מחשוב אשר מוזן על ידי 2 מערכות זהות, כל אחת בהספק זהה להספק המלא של המרכז. השרתים והעומסים במתקן ממשיכים בפעולה רגילה במקרה



3. תוכנת ניתוח מתקנים זו רוב מסלוליים

תוכנת MFR שניציג מיד מבצעת באופן אוטומטי את התכנון האופטימלי של הזנה זו רוב מסלולית לכל רמת הספק, תוך שימוש בגדלים סטנדרטיים של מערכות אל פסק הקיימות בשוק. התוכנה מחשבת את ההשקעה הראשונית במערכות, את שטח הרצפה הנדרש ואת העלות הכוללת לאורך חיי המתקן (TCO). תוצאות אלו מוצגות בטבלה אשר מאפשרת השוואה מהירה בין החלופות השונות למבנה ההזנה במתקן. להלן הדגמה של הרצת תוכנה זו במרכז מחשוב עם הנתונים הבאים: הספק עומס: 1040 קו"א/938 קו"ט (מקדם הספק 0.9) מרווח צמיחה עתידי: 0%. מרווח ביטחון: 10%. עלות קו"ט: 0.50 ₪. שכ"ד למ"ר לשנה: 720 ₪. ריבית לחישוב היוון: 10% לשנה. מחיר שירות שנתי לשנה לאחר שנת האחריות כולל חלפים: 6% לשנה. מקדם מיזוג אוויר: 1.4. תוצאות הניתוח מוצגות באיור 7.



איור 5: 4MFR – עבודה רגילה מושבת
איור 6: 4MFR – מסלול אחד מושבת

היתרונות דומים לאלה שתוארו בעבור 3MFR אלא שהספק המערכות קטן יותר: 1.333 מהספק העומס, נקודת העבודה גבוהה יותר (75%) על כל המשתמע מכך. ניתוח והסבר של מערכות 5MFR, 6MFR וכן הבסיס התאורטי של אלגוריתם MFR מובאים במאמרים (ראו ביבליוגרפיה בפרק 8 להלן).

4. דוגמת יישום: מערכת עם קבוצות עומס בהספקים שונים

נתון מרכז מחשוב עם נתונים כמוגדר בדוגמה שבסעיף 3 לעיל (איור 7). בנוסף נתון כי מרכז המחשוב כולל 10 טורים של ארונות שרתים כמפורט באיור 8. ההזנה לכל טור ארונות היא דרך 2 פסי צבירה עיליים. לא ניתן לחלק את טורי הארונות ולכן ההספקים של כל טור הינם כמופיע באיור 8 ואינם זהים. מהתוצאות המוצגות באיור 7 אנו רואים כי החיסכון בבחירת פתרון 5MFR או 6MFR לעומת הזנה דו-מסלולית הוא כ-900 אלף ₪ בהשקעה הראשונית וכמעט 2 מיליון ₪ ב-TCO. תוצאות אלו, אגב, אינן כוללות חיסכון נוסף בהתקנת החשמל עצמה שלא ניתחנו במאמר זה. מהניתוח רואים כי ההבדל בין 5MFR ו-6MFR הוא זניח ולכן נבחר 5MFR מהסיבות הבאות: יש פחות קבוצות עומס ולכן התכנון פשוט יותר וכן (ואף חשוב יותר) הספק קבוצות העומס קרוב להספק הקבוצות בפועל.

המבנה העקרוני של הזנה 5MFR לעומס של 1040 קו"א מוצג באיור 9. מהטבלה באיור 7 אנו רואים שההספק המקסימלי המותר לכל קבוצת עומס הוא 120 קו"א.

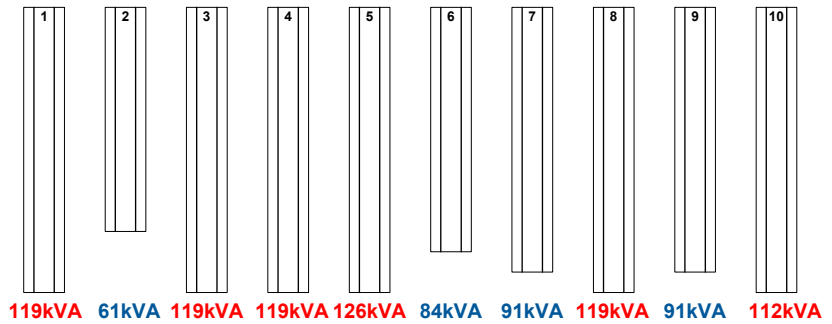
אלא שקבוצות העומס הנתונות במרכז המחשוב אינן זהות בהספקים ואינן ניתנות לשינוי (חלוקה אחרת) ואנו צריכים להתאים את המערך שתכננו להספקים אלה. כדי לבצע זאת פיתחנו כלי תוכנה אשר מחלקת באופן אופטימלי את טורי העומסים השונים בין מערכות האל פסק. התוצאות מוצגות באיור 10. ל-UPS1 יחוברו טורים 1,2,3,4; ל-UPS2 יחוברו טורים 1,5,6,7 וכך הלאה. בטבלה מוצג העומס הנורמלי,

שם המטר		טווח המדידות	
הזנה	17110/20111	הזנה	17110/20111
הספק עומס כולל KW	938	הספק עומס כולל KW	938
מקדם הספק של העומס	0.9	מקדם הספק של העומס	0.9
מרווח ביטחון עתידי %	0.00%	מרווח ביטחון עתידי %	0.00%
מרווח ביטחון	10.0%	מרווח ביטחון	10.0%
עלות קו"ט למ"ר	0.50	עלות קו"ט למ"ר	0.50
שכ"ד למ"ר לשנה	720.00	שכ"ד למ"ר לשנה	720.00
ריבית לחישוב	10%	ריבית לחישוב	10%
מקדם מיזוג אוויר	1.4	מקדם מיזוג אוויר	1.4
מחיר שירות שנתי לשנה לאחר שנת האחריות כולל חלפים	6.0%	מחיר שירות שנתי לשנה לאחר שנת האחריות כולל חלפים	6.0%

מפרק	MFR5	MFR4	MFR3	DP5
מספר קבוצות עומס	5	4	3	2
מספר לר קבוצות עומס בעומס ממוצע	15	10	6	3
מספר לר קבוצות עומס בעומס ממוצע	62.4	30.6	158.0	312.0
מספר עומס ממוצע בעומס ממוצע	69.3	104.0	173.3	346.7
מספר עומס ממוצע בעומס ממוצע	83.3	120.0	200.0	400.0
מספר עומס ממוצע בעומס ממוצע	120	120	120	120
מקדם מיזוג אוויר	69.7%	69.7%	69.7%	67.7%
מחיר כולל מ"ר (התקנות) ב"מ	1,500,000	1,580,800	1,600,000	1,800,000
מחיר עומס ממוצע לר 10 שנים	394,810	295,810	473,260	476,170
מחיר עומס ממוצע לר 10 שנים	14.07%	15.6	15.37333333	18.42
מחיר עומס ממוצע לר 10 שנים (מחוקק)	62,227	66,964	70,615	81,431
מחיר עומס ממוצע לר 10 שנים	34.10%	34.10%	33.30%	33.43%
מחיר עומס ממוצע לר 10 שנים	81.25	81.25	85.10	91.55
מחיר עומס ממוצע לר 10 שנים (מחוקק)	2,185,141	2,185,141	2,238,559	2,462,201
מחיר עומס ממוצע לר 10 שנים	4,144,179	4,140,915	4,103,438	4,119,834
מחיר עומס ממוצע לר 10 שנים	1,500	1,500	1,600	1,800
מחיר עומס ממוצע לר 10 שנים	1,500,000	1,580,800	1,600,000	1,800,000
מחיר עומס ממוצע לר 10 שנים	1,970,739	6,737	239,258	675,624

איור 7: ניתוח השוואתי של הזנה למרכז מחשוב בהספק 1040 קו"א

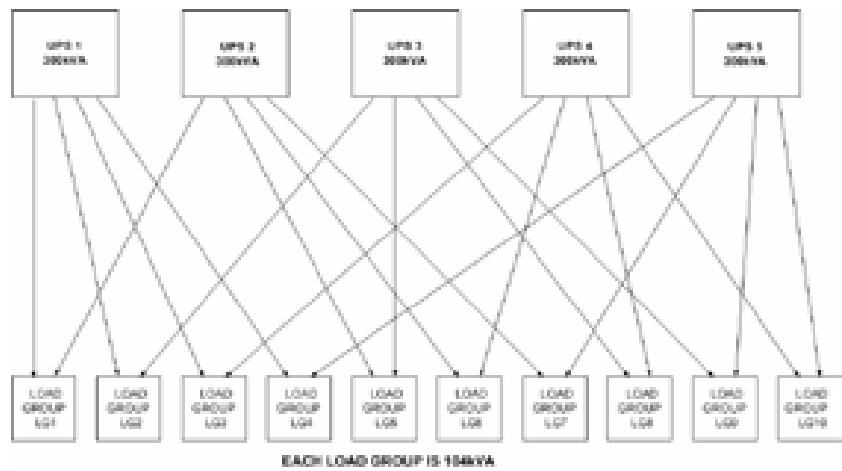
הרגיל, על כל UPS וכן העומס המכסימלי הצפוי במקרה הגרוע ביותר של תקלה באל פסק כל שהוא. אנו רואים שבמימוש 5MFR עם מערכות אל פסק 300 קו"א נשמר מרווח ביטחון של כ-10% בכל מצב אפשרי של המערכת כולל השבתה (תקלה) של אחד מה-UPS. מימוש המערכת מוצג באיור 11.



איור 8: טורי ארונות שרתים במרכז מחשוב 1040 קו"א

5. דוגמת יישום: מערכת צומחת בהספק

יש לתכנן מרכז מחשוב בהספק של 976 קו"א, אשר צפוי לצמוח ל-1596 קו"א תוך מספר שנים. המרכז בנוי מקבוצות עומס נפרדות (טורים של ארונות שרתים, חדרי תקשורת, חדרי עיבוד) שכל אחד צומח בקצב שונה לפי הפירוט באיור 12. קיימת אי-ודאות מסוימת לגבי העומס העתידי וחלוקתו ולכן גישת התכנון תהיה לתכנן במפורט את המצב העכשווי עם מרווח צמיחה של כ-20% וכן נתכנן מראש את צורת ההרחבה מבלי להכנס לפרטי התכנון הסופי העתידי.



איור 9: מבנה עקרוני של הזנת 5MFR

נרץ את תוכנת MFR בהספק של 976 קו"א/קו"ט (איור 13). מהתוצאות עולה כי 5MFR ו-6MFR דומים מבחינת עלויות וחיסכון. אך הספק קבוצת עומס ב-5MFR הוא נמוך וקרוב להספק קבוצת העומס הקיימות ולכן אינו מאפשר תכנון צומח בעתיד.

נרץ תכנון להספק הסופי בלי מרווח צמיחה (איור 20). מכיון שמדובר בהרחבה לאחר תקופה לא ארוכה, אין צורך להתחשב במידה רבה ב-TCO אלא בעיקר בהשקעה הראשונית ובגמישות הפתרון. לאחר עיון בתוצאות נראה שהפתרון הטוב ביותר הוא להתקין בתחילה מערכת 4MFR עם 4 מערכות UPS של 400 קו"א אשר יספיקו עד לכ-1200 קו"א. כשיהיה צורך בהרחבה נתקין מערכת חמישית של 400 קו"א, נשנה למבנה 5MFR, נעביר מיקום של חלק מהכבלים שבין הלוחות לעומסים, נוסיף מאמ"טים במקומות שהוכנו מראש ונעלה להספק עומס של כ-1600 קו"א. איורים 15-16 מציגים את מימוש הפתרון העכשווי.

Normal Operating Load [kVA]	טורים מחוברים ל-UPS	Max Possible Load on UPS [kVA]	
UPS 1	209	1+2+3+4	268.5
UPS 2	210	1+5+6+7	273
UPS 3	198.5	2+5+8+9	261.5
UPS 4	217	3+6+8+10	276.5
UPS 5	206.5	4+7+9+10	266

טורים	Load [kVA]
1	119
2	61
3	119
4	119
5	126
6	84
7	91
8	119
9	91
10	112
Total	1041 kVA

- יתרונות הפתרון שנבחר:
- חיסכון של כ-800 אלף ₪ בהשקעה הראשונית לעומת מימוש דו-מסלולי
- גמישות הרחבה גדולה בהתקנה הראשונית
- גמישות רבה במימוש ההרחבה הסופית
- גודל קבוצת עומס מותר מתאים לעומסים

איור 10: רשימת חיבור טורי שרתים למערכות UPS

מהתוצאה עולה כי ההשקעה במערכת דו-מסלולית (DPR) יקרה בכ- 67% מההשקעה במערכת 4MFR והחיסכון הכולל (TCO) מגיע לכ- 1.75 מיליון ₪.

מימוש של מבנה דו-מסלולי מוצג באיור 18 ומימוש של מבנה 4MFR באיור 19.

שידרוג למבנה TIER 4 נעשה על ידי תוספת מערכת מקבילית לכל אחת מהמערכות הקיימות (איורים 20-21).

ההשקעה הראשונית במערכת TIER 4 דו-מסלולית היא כ-3 מיליון ₪, לעומת כ-2.4 במערכת TIER 4 במבנה 4MFR (25% יותר יקר).

מבנה TIER 4 מייקר את מערכות MFR ומקטין את החיסכון הצפוי לעומת מבנה דו-מסלולי. יש להעיר כי בהספקים גבוהים יותר (1-2 מו"א ומעלה) החיסכון ב-MFR 4Tיר מאד משמעותי לעומת מבנה דו-מסלולי.

נציין עוד כי מימוש המבנה 4MFR 4T עם 3 מערכות 200 קו"א בכל רגל במקום 2 מערכות 300 קו"א בכל רגל היה מביא לאותה השקעה אך הספק העומס גדל ל-960 קו"ט ללא עלות נוספת.

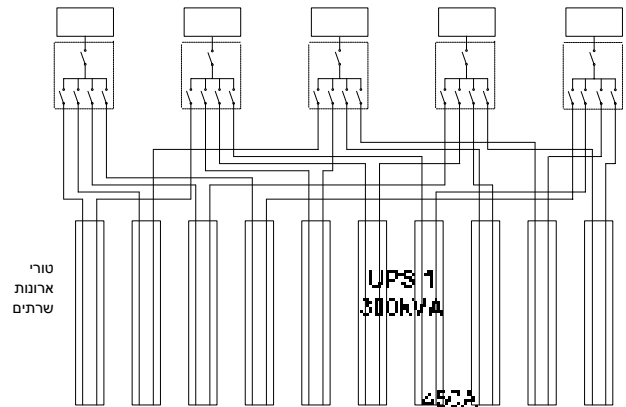
אם נבחן את המפסקים והכבלים - במבנה 4MFR 4T הם קטנים וזולים יותר באופן משמעותי (ראו איור 22).

MFR4 T4	DPR T4	MFR4	DPR
---------	--------	------	-----

שם המפרק	החומר	כמות	מחיר	סה"כ
הספק עומס מול KVA	27%			
הקצרות הספק של המערכת	0.3%			
הפרדת עומס קבוע	17.00%			
הפרדת עומס קבוע	5.0%			
עלות קטני"ש ג"ש	0.5%			
עלות קטני"ש לוחות	720.00%			
ריבוי לוחות	10%			
עומס 20%	90%			
עומס 50%	90%			
עומס 70%	94.50%			
עומס 100%	94.50%			
הקצרות מול ק"ט	1.4%			
הפרדת עומס מול ק"ט	0.0%			

מפרק	מפרק	מפרק	מפרק	מפרק
1	2	3	4	5
15	15	15	15	15
58.3	87.3	148.3	202.7	273.0
65.0	97.5	162.8	225.2	305.6
65.3	129.0	200.0	400.0	1,200.0
350	380	488	608	1,288
85.0%	85.0%	80.0%	84.1%	80.0%
1,500,000	1,500,000	1,800,000	1,800,000	2,400,000
396,810	396,810	423,284	478,172	634,890
13,5192	13,92	13,25498887	17,724	23,932
18,788	68,490	67,800	79,354	104,472
93.90%	93.90%	93.80%	93.25%	91.82%
79.79	79.79	83.19	88.00	108.82
2,145,887	2,145,887	2,217,338	2,380,853	2,921,179
4,102,443	4,109,677	4,328,462	4,745,379	6,089,544
1,500	1,500	1,800	1,800	2,400
1,500,000	1,500,000	1,800,000	1,800,000	2,400,000
0	6,635	226,040	642,936	1,958,122

איור 13



איור 11: מימוש מערכת 1040 קו"א

- הקיימים (200 קו"א בשלב הראשון וכ-160 קו"א בהרחבה)
- לאחר מימוש ההרחבה ה-TCO של 5MFR הוא הנמוך ביותר
- את ההרחבה ניתן לבצע עם מערכת באותו הספק אך לא זהה (מודל ויצרן) למערכות הקיימות
- לאחר ביצוע ההרחבה עלות המתקן קטנה בכ-1.2 מיליון ₪ ממתקן דומה דו-מסלולי (DPR) והעלות הכוללת TCO נמוכה במעלה מ-2.5 מיליון ₪ ממתקן דו-מסלולי דומה.

6. זוגמת יישום: מערכת עם דרישת יתירות ל-4TIER

הדרישה היא לתכנן מערכת עם יתירות זו או רב-מסלולית למרכז מחשוב בהספק 720 קו"ט, עם יתירות ברמת TIER 4. נרץ את התוכנה ונקבל פתרונות (איור 17).

עומס	חידי	עתידי
שרתים טור 1	60	90
שרתים טור 2	80	120
שרתים טור 3	56	112
שרתים טור 4	56	112
שרתים טור 5	56	112
שרתים טור 6	60	120
שרתים טור 7	84	112
שרתים טור 8	56	56
שרתים טור 9	80	120
שרתים טור 10	72	108
שרתים טור 11	72	108
שרתים טור 12	48	72
תיקשורת	36	54
עיבוד	160	300
	976	1596

איור 12: הספקים של מרכז המחשוב

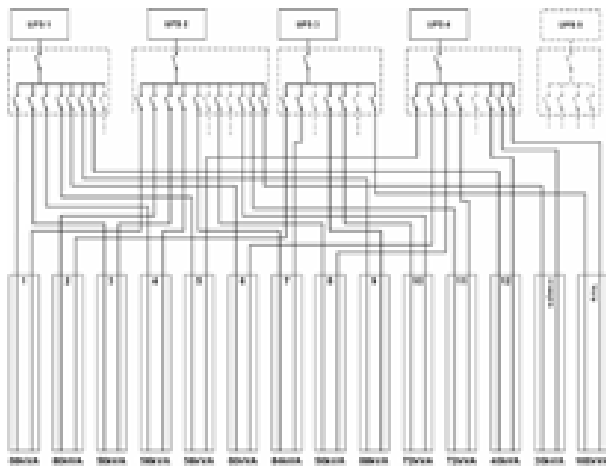
					שם המפר	
					סוכנת	
					פדיון	
					תאריך ביצוע	
1576	הספק קומא	P	1410	הספק עומס כולל KW		
		PF	0.9	מקדם הספק של העומס		
		G	0.00%	מרווח צמיחה עתידי %		
		S	0.0%	מרווח ביטוח		
		A	0.50	עלות קונס"ש ב-10		
		R	720.00	שערי לוח"ל לשנה		
		I	10%	ריבית לחישוב היתוך		
					נזילות ה	
		η25	90%	עומס 25%		
		η50	93%	עומס 50%		
		η75	94.50%	עומס 75%		
		η100	94.50%	עומס 100%		
		KAC	1.4	מקדם מרווח שרי		
			6.0%	מחיר שירות שנתו לאל"ס ב-1%		

איור 14: הרצת תוכנה למצב עתידי (1576 קו"א)

MFR6	MFR5	MFR4	MFR3	DPR	צומת אל פסק
6	5	4	3	2	
15	10	6	3	1	מספר קבוצות עומס
94.5	141.8	238.3	472.7	1,418.0	הספק כל קבוצת עומס במפעל ב-קונ"ס
105.0	157.6	262.6	525.2	1,575.6	הספק כל קבוצת עומס במפעל ב-קונ"א
133.3	180.0	300.0	600.0	1,800.0	הספק מומ"ל אמרטיני בכל קב"ל עומס קונ"א
400	400	600	800	1600	הספק כל מק"ל אל פסק PUPS קונ"א
65.6%	78.7%	85.6%	85.6%	49.2%	נקודת עבודה של כל אל"ס N
2,400,000	2,000,000	2,400,000	2,400,000	3,200,000	מחיר כולל אל"ס (המקומה) ב-10
634,896	529,000	634,896	634,896	846,528	שורת שנתו הנתון ל-10 שנים
22,6032	21.67	24,714,66667	29,004	34,672	שנת ריבוא נטו למקורות (ח"ר) *
99,924	95,799	109,259	128,221	153,278	מחיר שנת ריבוא ל-10 שנים (מהנתון)
93.94%	94.50%	93.94%	93.94%	92.90%	נזילות בנקודת העבודה
128.06	115.46	128.06	128.06	151.52	בזמן הספק כולל מרווח קונ"ס
3,443,967	3,105,089	3,443,967	3,443,967	4,074,021	עלות בזמן הספק כולל ל-10 שנים (מהנתון)
6,576,768	5,729,948	6,588,122	6,607,084	8,274,627	ס"ה לכל חלפה
2,400	2,000	2,400	2,400	3,200	הספק כולל אולפס קונ"א חומקן
2,400,000	2,000,000	2,400,000	2,400,000	3,200,000	השקעה בסיסית
848,840	0	858,174	877,137	2,544,600	הפרש בין TCO של ל"א מהחלפות

* הערה: ישנה הרכבה הממוינת הינו שמת נטו ללא מרווחי נישואי ובטיחות

איור 14



איור 16: מימוש עכשווי בהספק 976 קו"א עם אפשרות הרחבה עד לכ-1200 קו"א

הספק קבוצה KVA	קב"ל עומס	פדיון KVA	עומס	UPS-1	UPS-2	UPS-3	UPS-4
172	1	85	עומס 1				
160	2	90	עומס 2				
	3	95	עומס 3				
	4	100	עומס 4				
104	5	105	עומס 5				
	6	110	עומס 6				
150	7	115	עומס 7				
114	8	120	עומס 8				
	9	125	עומס 9				
	10	130	עומס 10				
	11	135	עומס 11				
	12	140	עומס 12				
	13	145	עומס 13				
160	14	150	עומס 14				
	15	155	עומס 15				
	16	160	עומס 16				
	17	165	עומס 17				
	18	170	עומס 18				
	19	175	עומס 19				
	20	180	עומס 20				
	21	185	עומס 21				
	22	190	עומס 22				
	23	195	עומס 23				
	24	200	עומס 24				
	25	205	עומס 25				
	26	210	עומס 26				
	27	215	עומס 27				
	28	220	עומס 28				
	29	225	עומס 29				
	30	230	עומס 30				
	31	235	עומס 31				
	32	240	עומס 32				
	33	245	עומס 33				
	34	250	עומס 34				
	35	255	עומס 35				
	36	260	עומס 36				
	37	265	עומס 37				
	38	270	עומס 38				
	39	275	עומס 39				
	40	280	עומס 40				
	41	285	עומס 41				
	42	290	עומס 42				
	43	295	עומס 43				
	44	300	עומס 44				
	45	305	עומס 45				
	46	310	עומס 46				
	47	315	עומס 47				
	48	320	עומס 48				
	49	325	עומס 49				
	50	330	עומס 50				
	51	335	עומס 51				
	52	340	עומס 52				
	53	345	עומס 53				
	54	350	עומס 54				
	55	355	עומס 55				
	56	360	עומס 56				
	57	365	עומס 57				
	58	370	עומס 58				
	59	375	עומס 59				
	60	380	עומס 60				
	61	385	עומס 61				
	62	390	עומס 62				
	63	395	עומס 63				
	64	400	עומס 64				
	65	405	עומס 65				
	66	410	עומס 66				
	67	415	עומס 67				
	68	420	עומס 68				
	69	425	עומס 69				
	70	430	עומס 70				
	71	435	עומס 71				
	72	440	עומס 72				
	73	445	עומס 73				
	74	450	עומס 74				
	75	455	עומס 75				
	76	460	עומס 76				
	77	465	עומס 77				
	78	470	עומס 78				
	79	475	עומס 79				
	80	480	עומס 80				
	81	485	עומס 81				
	82	490	עומס 82				
	83	495	עומס 83				
	84	500	עומס 84				
	85	505	עומס 85				
	86	510	עומס 86				
	87	515	עומס 87				
	88	520	עומס 88				
	89	525	עומס 89				
	90	530	עומס 90				
	91	535	עומס 91				
	92	540	עומס 92				
	93	545	עומס 93				
	94	550	עומס 94				
	95	555	עומס 95				
	96	560	עומס 96				
	97	565	עומס 97				
	98	570	עומס 98				
	99	575	עומס 99				
	100	580	עומס 100				

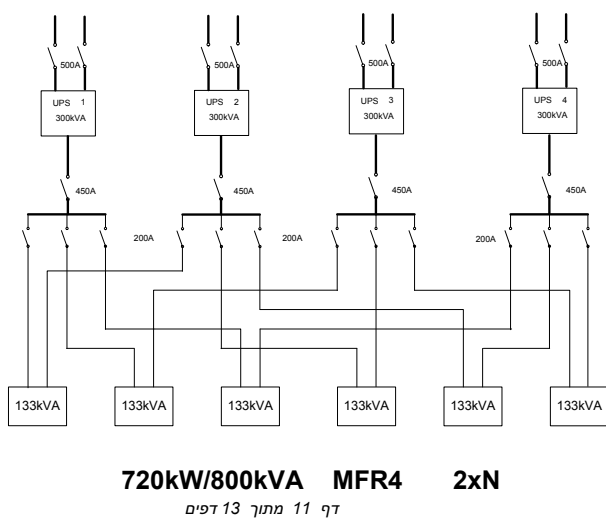
איור 15: רשימת מערכות ועומסים למימוש עכשווי

שם האחד					
					סכום
					סכום
					פדיון
					האריך ביום
800	הספק קומ	P	720		הספק קומס כולל KW
		PF	0.9		קודם הספק של קומס
		G	0.00%		פירוח קומס קומי %
		S	10.0%		פירוח ביוסון
		A	0.50		עלות קומ"ס ב-0
		R	720.00		ש"ד לח"ד לשנה
		I	10%		ריבית לחיסוב ביוסון
					נפילת η
		η25	90%		קומס 25%
		η50	93%		קומס 50%
		η75	94.50%		קומס 75%
		η100	94.50%		קומס 100%
		KAC	1.4		קודם חיוב אורי
			6.0%		מחיר שרות שנתו ל"ס ב-%

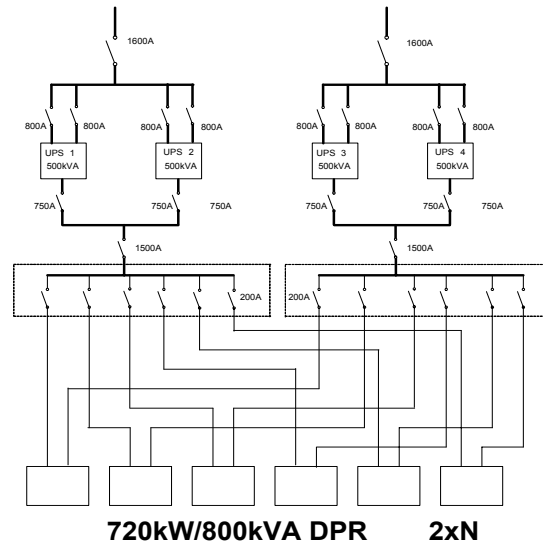
MFR6	MFR5	MFR4	MFR3	DPR	
6	5	4	3	2	כמות אל פסק
15	10	6	3	1	מספר קבוצות קומס
48.0	72.0	120.0	240.0	720.0	הספק כל קבוצת קומס בפועל ב-קומ"ס
53.3	80.0	133.3	266.7	800.0	הספק כל קבוצת קומס בפועל ב-קומ"א
66.7	100.0	150.0	333.3	1,000.0	הספק מנס' אפשרי בכל קב' קומס קומ"א
700	750	300	500	1000	הספק כל קב' אל פסק PUPS קומ"א
66.6%	63.9%	66.6%	53.3%	39.9%	קודם עבודה של כל א"ס H
1,200,000	1,250,000	1,200,000	1,500,000	2,000,000	מחיר כולל א"ס (השקעה) ב-0
317,448	330,675	317,448	396,810	529,080	שירות שנתו מתוך 10 שנים
12.00	11.44	12.67	14.63	19.50	שנה רצפה נטו לתקורות (ח"ד) *
53,060	50,574	56,009	64,667	86,323	מחיר שנה רצפה ל-10 שנים (מתוך)
93.99%	93.83%	93.99%	93.20%	91.79%	נפילת בקודת העבודה
64.31	66.14	64.31	73.49	89.99	גובה הספק כולל חיוב קומ"ס
1,729,619	1,778,659	1,729,619	1,976,500	2,420,221	עלות גובה הספק ל-10 שנים (מתוך)
3,300,127	3,409,908	3,303,075	3,937,978	5,035,524	ס"ה TCO לכל חלופה
1,200	1,250	1,200	1,500	2,000	הספק כולל אל פסק קומ"א מתוך
1,200,000	1,250,000	1,200,000	1,500,000	2,000,000	השקעה בסיסית
0	109,781	2,948	637,851	1,735,397	הפרש בין TCO של כ"א מהחלופות

קומס הריבוי הממוצע היום נטו ללא פירוח קומס נפילת

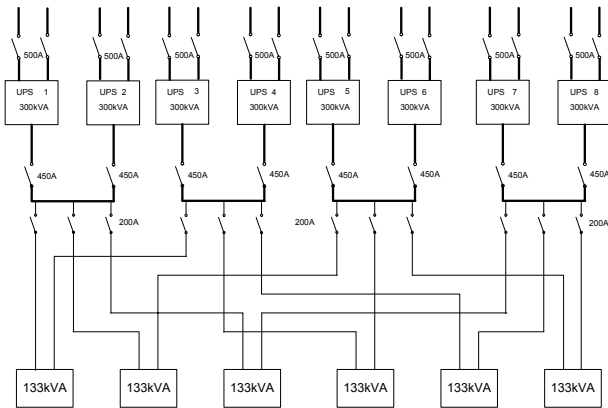
איור 17: ניתוח השוואתי של מרכז מחשב בהספק 720 קו"ט



איור 19: מרכז מחשב 720 קו"ט במימוש 4MFR

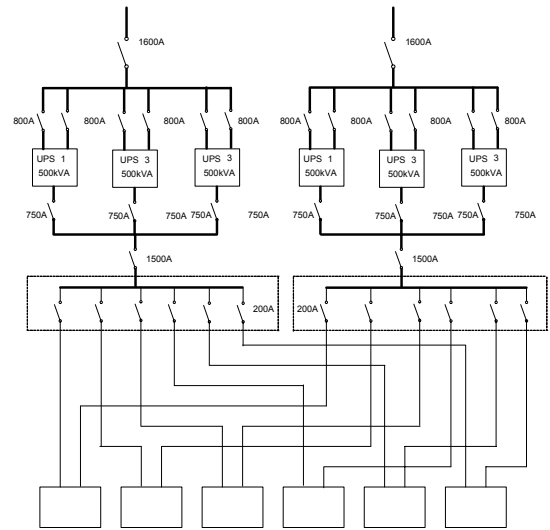


איור 18: מרכז מחשב 720 קו"ט במימוש דו-מסלולי (DPR)



720kW/800kVA MFR4 TIER 4 2x(N+1)
דף 12 מתוך 13 דפים

איור 21: מרכז מחשוב 720 קו"ט במימוש 4MFR ב-TIER 4



720kW/800kVA DPR TIER 4 2*(N+1)

איור 20: מרכז מחשוב 720 קו"ט במימוש דו-מסלולי ב-TIER 4 (DPR)

Data Center World, September 2006.

- [4] A. Pines, Advantages of MFR for Datacenters, INTELEC 2007
- [5] A. Pines, Advantages of MFR for Datacenters, ZDT, issue 24, 2/12/2008.

300kVA	500kVA	300kVA	500kVA	UPS
8	6	4	4	Qty
2400VA	3000kVA	1200kVA	2000kVA	Total
33.3%	26.6%	66.6%	40%	Op Point
--	A1500-1600	--	1600A-1500	CB
0	4	0	4	Qty
450-500A	A750-800	450-500A	750-800A	CB
24	18	12	12	Qty

איור 22: ציוד חשמלי נדרש במבנים השונים

7. קיצורים

- TCO – TOTAL COST OF OWNERSHIP
- DPR – DUAL PATH REDUNDANCY
- MFR – MULTI FEED REDUNDANCY
- MFRi – MFR WITH i NUMBER OF UPS SYSTEMS
- PF – POWER FACTOR

8. ביבליוגרפיה

- [1] PCT Patent Application No. PCT/IL2006/000891
- [2] A. Pines, Multiple Feed Redundancy (MFR) - Principles and Advantages of MFR Solution for Critical Systems, INTELEC 2005
- [3] Peter A. Panfil, 12 ways to save energy in your data center, AFCOM



אבי פינס

תפקיד: מנכ"ל ו-CTO של חברת אביאם מערכות בע"מ השכלה:

תואר ראשון בהנדסת חשמל (בהצטיינות) – הטכניון, חיפה
תואר שני בהנדסת חשמל – הטכניון, חיפה
תואר שני במנהל עסקים (בהצטיינות) – אוניברסיטת ת"א
ניסיון מקצועי:

פעיל בכל ההיבטים של מערכות הספק ב-30 השנים האחרונות: תכנון, פיתוח, שירות, שיווק ומכירות. פיתח, בין השאר: מערכות אל פסק, ממירים, מיישרים, ממירי הספק, מערכות סולאריות ועוד.

אבי פינס פיתח אלגוריתם ייחודי להגנה על מרכזי מחשוב (פנטט בהליכי רישום) וכן היה מעורב בפרויקטי פיתוח שונים, ביניהם פיתוח IEM המתוארת במאמר זה.