



# התפתחויות בתחום מניית אנרגיה חשמלית

**מניית אנרגיה חשמלית הופיעה לראשונה בסוף המאה ה-19, וקרוב למאה שנה התבססה על מונים אלקטרומכניים. בראשית שנות ה-90 של המאה ה-20 הופיעו המונים האלקטרוניים, ומאז הם הולכים ומחליפים כמעט לחלוטין את המונים האלקטרומכניים. מאמר זה סוקר בקצרה את ההתפתחויות שחלו בתחום המנייה האלקטרונית, החל מראשית דרכה ועד היום.**

## עקרון הפעולה של מונה אלקטרומכני

המונה האלקטרומכני הוא מנוע בעל מומנט יחסי להספק העובר דרכו, ובעל מעצור מגנטי המשמש לבלימת מהירותו, כך שהבלימה יחסית למהירות. מניית האנרגיה מתבצעת באמצעות ספירה של מספר סיבובי המנוע.

מבנה עקרוני של מונה זה כולל סטטור שבו מלוכפים שני סלילים - סליל מתח וסליל זרם. סליל המתח הוא בעל חתך קטן ומספר רב של ליפופים, וסליל הזרם הוא בעל חתך גדול ומספר ליפופים נמוך. הליפופים מותקנים בצדדים מנוגדים זה לזה, והם בעלי כיוון ליפוף מנוגד האחד לשני. בחלל שבין סלילי המתח והזרם נמצאת דיסקה המחוברת במרכזה לציר אנכי שבקצותיו מיסבים (איור 1).

איור 1: מונה אלקטרומכני



למעשה, בעת חיבור המונה למתח, זרם סליל הזרם והשטפים המגנטיים שנוצרים נמצאים בהתקה. כתוצאה מכך נוצר מומנט על הדיסקה, שגורם לסיבובה. אחד המשתנים החשובים במונה הוא "קבוע המונה", שהוא למעשה מספר הוואט-שעה המיוצג על-ידי כל סיבוב של הדיסקה. לרוב, ניתן לכייל במונה זה 3 כילים בסיסיים: לעומס גדול, לעומס קטן, למקדם הספק.

## עקרון הפעולה של מונה אלקטרוני

כאמור, בתחילת שנות ה-90 של המאה ה-20 החלו להופיע המונים האלקטרוניים, אשר פעלו בטכנולוגיה אחרת וללא חלקים נעים. באיור 2 מתוארת סכימת מלבנים הממחישה את עקרון הפעולה של המונה האלקטרוני.

כפי שניתן לראות באיור 2, למונה זה כניסות של מתח וזרם

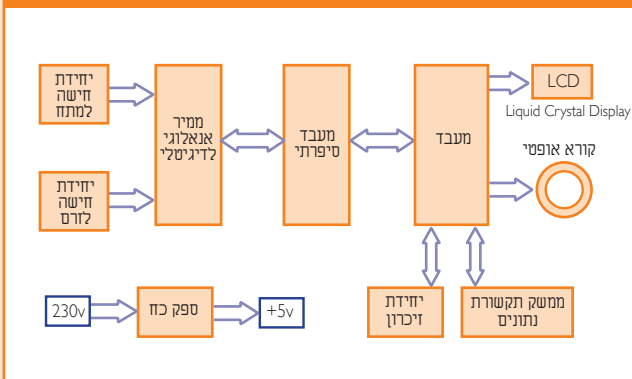


הצרכן, הנדגמות בעזרת יחידות חישה (SENSORS). חישת זרם מתבצעת באמצעות נגד מימד (Shunt Resistor) או באמצעות שנאי זרם. האותות מתורגמים לערכים דיגיטליים באמצעות ממירים אנלוגיים לדיגיטליים (A/D).

בהמשך התהליך מועברים האותות למעבד סיפרתי (DSP - digital signal processor), אשר ממיר אותם לערכי זרם ומתח אפקטיביים (ערכי Vrms, Irms), על מנת לקבל ערכים של הספק אקטיבי (P), הספק ריאקטיבי (Q), והספק מדומה (S). המעבד (Micro Processor) מבצע חישוב אנרגיה על-ידי אינטגרציה של ההספקים בזמן. יחידת LCD מאפשרת תרגום של הערכים משפת מחשב לערכים שניתן לקרוא בתצוגה דיגיטלית.

למונה האלקטרוני יציאות נוספות, כגון יציאה לקורא אופטי (עינית המשמשת מסופונים של קוראי מונים), יציאה לתקשורת נתונים (communication w) - לדוגמא, לצורך חיבור למודם, וכן יציאות

איור 2: מבנה עקרוני של מונה אלקטרוני



לממסרים שבהם ניתן לעשות שימוש נוסף לצרכים כגון בקרת תהליכים, ועוד.

יתרה מזאת: קיימת במונה יחידת זיכרון (MEMORY) לשם שמירת נתונים כמו טבלאות מיקבצי שעות תע"ז, דו"חות אירועים, קריאות עצמיות, ועוד.

## שלבים בהתפתחות המנייה האלקטרונית

המונים האלקטרוניים הראשונים נקראו מוני PSI (הם היו מתוצרת חברת PROCESS SYSTEM). הם היו בעלי תצוגה אנלוגית (מחוגים)

**איור 4: ארון מערכת מנייה למיתקני מתח נמוך**



אירועי חשמל (EVENT LOG) ועוד. לדוגמא, אחד השימושים כתוצאה מהמעבר למנייה אלקטרונית הוא הפעלת מערכת בקרת אנרגיה במיתקנים גדולים בהם מותקנים עשרות מוני-משנה אלקטרוניים על גבי צרכני אנרגיה שונים (לוחות משנה, מערכות הנעה, מערכות מיזוג מרכזיות, מכנים, ועוד). המערכת כוללת מונים אלקטרוניים, מחשב ותוכנה ייעודית, מתאם תקשורת ויחידות קצה, וכן קוראים אופטיים. במיתקנים אלו ניתן ליישם מערכת בקרת אנרגיה בקרב צרכני המשנה על-פי משטרי הפעלה מסוימים, קריאת נתונים, הפקת דו"חות ביחס לצרכנים השונים ועוד.

**איור 5: מונה תשלום מראש (מת"מ)**



התפתחות נוספת בתחום המנייה האלקטרונית הייתה בדמות מוני תשלום מראש (מת"מ). מונה זה מאפשר שליטה מראש בצריכת החשמל של הלקוח באמצעות הקצאת סכום כסף ייעודי לשימוש בחשמל (למעשה, הצרכן קונה כמות חשמל לשימוש עתידי). מונים אלו מופעלים באמצעות קוד ותשלום טלפוני (איור 5).

### המנייה במבט לעתיד

בעתיד תשמש המנייה ככלי רב-תחומי, ולא רק לצורכי חיוב (BILLING) עבור צריכת החשמל. המנייה הכרחית לשם הסדרת יחסים תפעוליים ומסחריים בין ספקים לבין לקוחות, והיא מספקת להם מידע רב, ומאפשרת לשלוט במסלול הפיתוח של מערכות חשמל, ליישר את עקומת הצריכה, וכן לנהל בצורה יעילה את משק החשמל באמצעות מדידות תקופתיות.

וגם בעלי תצוגה דיגיטלית (איור 3). נתוני הצריכה לפי מיקבצי שעות ביקוש (מש"בים) ונתוני הצריכה הכוללת הוצגו על גבי הצג הדיגיטלי, הם התחלפו באופן מחזורי כל כמה שניות, ואילו על גבי תצוגת המחוגים האנלוגית הוצגו נתוני הצריכה הכוללת בלבד.

מאוחר יותר הופיעו אוגרים אלקטרוניים לנתוני צריכה, שחוברו למונים אלקטרוניים בעלי משדרי פולסים. האוגרים איפשרו

**איור 3: מונה אלקטרוני מדגם ישן עם תצוגה כפולה - דיגיטלית ואנלוגית**



הוצאת נתונים למסופון אלקטרוני (דרך קורא אופטי), וגם ישום קריאות מרחוק באמצעות קו טלפון. באוגרים אלה גם הותקנו יציאות לממסרים של הלקוח - כגון אותות המבטאים את מיקבצי שעות הביקוש (מש"בים), אותות קריאה רבע-שעתיים ועוד - על מנת שיוכל לבקר ולנהל את צריכתו. באוגרים תוכנתו המש"בים של תעריף התע"ז, והם צוידו גם בסוללות לגיבוי נתונים. למשל, חברת "מקורות" השתמשה בממסרים הללו לצורכי הפעלה וניתוק של מיתקני שאיבה בהתאם למיקבצי השעות של תעריף התע"ז - במטרה להקטין את עלויות השימוש בחשמל.

תצורה קלאסית של מערכת מנייה כללה בדרך כלל מונה ראשי עם משדר פולסים ואוגר המותקן עליו, ובנוסף, מונה ביקורת ומונה ריאקטיבי, שגם הם כללו יציאות פולסים. כל היציאות חוברו לאותו אוגר במונה הראשי. האוגר רשם את כל הנתונים מכל שלושת המונים, ואיפשר עיבוד הנתונים; למשל, הערכת השוואת קריאות המדידה, איתור תקלות (כמו חוסר פאזה או במערכת המדידה או בהזנה לצרכן), חישוב מקדם ההספק וכו'. התפתחות זו גם איפשרה העברת נתונים של כל המערכת בעילות, במהירות ובדיוק שאינם תלויים בקורא מונים (כלומר, היא תרמה לצמצום טעויות אנוש).

בהמשך, בערך באמצע שנות ה-90 של המאה הקודמת, הופיעו מונים אלקטרוניים חדשים שאיפשרו מנייה אנרגיה אקטיבית וגם ריאקטיבית באמצעות מונה אחד. באיור 4 מתואר ארון מערכת מנייה למיתקני מתח נמוך (לחיבורים בגודל 100 אמפר ומעלה), שבו מותקנים מונה ראשי אלקטרוני לרישום של אנרגיה אקטיבית ואנרגיה ריאקטיבית, ומונה אלקטרוני נוסף לאנרגיה אקטיבית המשמש כמונה ביקורת. המונים מוזנים דרך משנה זרם, ולא ישירות מקו ההזנה.

עם זאת מן הראוי לציין, כי מונים אלקטרוניים מיושמים גם במערכות מנייה במתח גבוה ומתח עליון.

במהלך השנים חלו שיפורים טכנולוגיים נוספים במונים האלקטרוניים. מיפריטתם התרחבו, וכמות הנתונים שניתן היה לקבל מהם הלכה וגדלה. בנוסף לנתוני הצריכה בתע"ז ניתן היה לקבל דו"חות צריכת אנרגיה כתלות בזמן (רישום רציף), דו"חות

וחשמליות, לרבות הבדיקות הנדרשות למונה, סימונו, רמת הדיוק בתנאי ייחוס, גורמי השפעה על הדיוק, כיוונון, סמלים גראפיים ועוד.

תקן של הנציבות הבינלאומית לאלקטרוטכניקה - IEC60521 Class 0.5, 1 and 2 alternating - current watt-hour meters

תקן ISO17025 של הארגון הבינלאומי להסמכת מעבדות (ISO) דן בדרישות הכלליות לכשירות מעבדות בדיקה וכיול, והוא זהה לתקן הבינלאומי IEC 17025 של הנציבות הבינלאומית לאלקטרוטכניקה מאוקטובר 2006. התקן דן בין היתר בנושאים הבאים: דרישות כלליות לכשירות מעבדות בדיקה וכיול, דרישות ניהול מערכת הניהול, בקרת מסמכים, סקר בקשות להצעת מחיר, מכרזים וחוזים, קבלנות משנה של בדיקות וכיולים, רכש שירותים וטובין, שירות ללקוח, בקרת עבודות בדיקה/כיול, פעולות מונעות ומתקנות, בקרת רשומות, מבדקים פנימיים, סקרי הנהלה, דרישות טכניות, עובדים, תנאי סביבה, שיטות בדיקה, בקרת נתונים וציוד, דגימה, שינוע, אבטחת איכות, דיווח, ותעודות.

בהקשר זה חשוב לציין, כי יחידת מונים ארצי של חברת החשמל הוסמכה - בידי הרשות להסמכת מעבדות בדיקה (לפי תקן ISO17025) - כמעבדת כיול ובדיקה למונים.

### סיכום

ההתפתחויות הטכנולוגיות רבות-המשמעות שחלו בתחום המונים האלקטרוניים עשויות להפוך את המונה האלקטרוני לכלי רב-תחומי, שישמש לא רק לצורכי חיוב עבור צריכת החשמל. המונה יהיה יחידת בקרה לכל דבר, ויאפשר ניטור איכות החשמל, ואף ביצוע פעולות מיתוג לשליטה על תהליכים.

מנייה חכמה מחייבת גם שינוי בתפיסה הרווחת כיום, הגורסת כי מונים הם התקן למניית אנרגיה בלבד. ברוח זו, על מהנדס החשמל לשמש כמהנדס אינטגרציה, שכן המונה הוא יחידת בקרה לכל דבר, הוא מאפשר ניטור איכות החשמל, ויכול לשמש גם כבקר מיתוג לשם שליטה על תהליכים. נוסף על כל אלו, המונה החכם מתקשר עם הסביבה בכמה דרכים: חיבור אופטי, מודם קווי, מודם סלולרי GPRS, חיבור קווי ישיר RS-232 ועוד. זאת ועוד: המונים החכמים יצוידו בתוכנות ניהול שיאפשרו איסוף נתונים, אבטחת מידע, יכולת ממשק טבלאית וגראפית, ואף יכולות חישוב של משתני איכות החשמל.

המונים החכמים המשתלבים ברשת החכמה כוללים נתונים טכניים, כמו מדידת אנרגיה אקטיבית וריאקטיבית דו-כיוונית, רישום שיא ביקוש, רישום הפסקות חשמל, רישום ניתוק פאזות, רישום רציף של אנרגיות והספקים, רישום רמות מתחים, בקרה על ביצוע הסכמים מיוחדים, וכן נתונים מסחריים לצורך הפקת חשבון ללקוח רגיל או ללקוח המשלם על-פי תעו"ז.

חשוב לציין, שיישום נרחב של המנייה החכמה מצריך היערכות בתחום ריכוז הנתונים. כאשר מדובר בפריסה של אלפי מונים כאלה, נדרש מערך של מאגר נתונים המבוסס על רכזות נתונים במבנה היררכי מתאים.

### תקינה בתחום המנייה

קיימים כמה תקנים רלבנטיים לתחום המנייה.

תקן ישראלי ת"י 1055 - "מוני אנרגיה פעילה (ואט-שעה) לזרם חילופין שדרגתם 1, 2 - 0.5". התקן עוסק בדרישות מכאניות