

חיבור מנועים לרשת החשמל לאור אמות-המידה בנושא

- המנוע יואץ באיטיות רבה ובמשך זמן ארוך יותר מזמן ההתנעה הרגיל שלו, ובמקרים מסוימים תופסק הזינה שלו על-ידי מבטח עומס יתר.

תופעות אלו עלולות לגרום שיבושים חמורים או הפסקת פעולות של מכשירים וציוד חשמלי אחר במבנה אשר רגישים לשקיעות מתח, לרבות שחרור מגעונים (קונטקטורים). יצוין, כי שקיעות מתח ומצבי תת-מתח הם מגורמי הנזק הכבדים ביותר בתהליכי הייצור.

מעמדן המשפטי של אמות-המידה שקובעת רשות החשמל

הרשות לשירותים ציבוריים - חשמל היא גוף שהוקם מכוח חוק משק חשמל, התשנ"ו-1996. והיא בעלת סמכות על פי דין, הכפופה לדיני המשפט המינהלי.

תפקידי הרשות נקבעו בסעיף 30 לחוק, ובין היתר:
(1) קביעת תעריפים ודרכי עדכונם;

(2) קביעת אמות-מידה לרמה, לטיב ולאיתות השירות שנותן בעל רישיון ספק שירות חיוני ופיקוח על מילוי חובותיו על פי אמות-המידה."

סעיף 33 עוסק בקביעת אמות-המידה על-ידי הרשות. אמות-המידה קובעות נורמות פעולה ויחסי גומלין בין ספק השירות החיוני (חברת החשמל) לבין ציבור צרכני החשמל, והן חיקוק מסוג תקנות בנות פועל תחיקתי ולכן מהוות נורמה מחייבת. לפיכך, חלות על אמות-המידה כל ההוראות החלות על תקנות בנות פועל תחיקתי (כך למשל, הכלל שעל פיו אי-ידיעת החוק אינה פוטרת מקיום הוראות החוק מתקיים אף בעניין תקנות בנות פועל תחיקתי מרגע פרסומן ברשומות). ציבור הצרכנים וחברת החשמל כאחד מחויבים לנהוג על פי הקבוע באמות-המידה. לאור זאת, נקודת המוצא של הפסיקה בערכאות השיפוטיות למיניהן צריכה להיות החקיקה הרלבנטית, ובכלל זה אמות-המידה והנורמות הקבועות בה.

מאפייני מנועים

לכל מנוע מוצמד שלט סימון, ובו פרטים חשמליים ואחרים המאפיינים את המנוע. ההספק שמצוין על שלט המנוע הוא הספק המוצא הנקוב, דהיינו ההספק המכאני אשר מתפתח על ציר המנוע בתנאי עבודה נומינליים - העמסה מלאה, מתח ותדר נקובים.

הספק המבוא של המנוע (ההספק שצורך המנוע מהרשת) הוא היחס בין הספק המוצא לבין נצילות המנוע (שניהם מצוינים על שלט הסימון של המנוע). לדוגמה, מנוע בעל הספק של 3.5 כ"ס (2.6 קילוואט = 3.5×0.74) ונצילות של 0.84 צורך כ-3 (2.6/0.84) קילוואט חשמל מהרשת. במילים אחרות, צריכת החשמל של המנוע בהעמסה מלאה ורצופה במשך שעה היא 3 קילוואט שעה (קוט"ש) לערך. אם מקדם ההספק הנקוב ($\cos \phi$) של המנוע הוא 0.82 והמנוע חד-פאזי, במצב של פעולה יציבה (לאחר ההתנעה) הוא צורך מהרשת זרם נומינלי רצוף של 16A, ואם הוא תלת-פאזי - 5.3A.

זרם ההתנעה של המנוע החד-פאזי במקרה זה הוא 100A לערך, ומקדם

זרם ההתנעה של מנועי השראה, שהם הנפוצים ביותר בכל מיגזרי המשק, גדול פי 3 עד 8 לערך מהזרם הנקוב שלהם, כיוון שנחוצה כמות גדולה של אנרגיה לשם מיגנוט המנוע כך שיוכל להתגבר על האינרציה של המערכת ממצב עמידה (חוסר תנועה) עד למהירות נומינלית. זרם ההתנעה הגבוה אשר זורם דרך הרשת עלול לגרום בעיות שונות, כגון מפלי מתח והפרעות חולפות גבוהות (high transient).

ובמקרים קיצוניים אף הפסקת חשמל (הפסקת זינה) בלתי-מבוקרת. זרם התנעה גבוה גורם גם למתיחה מכאנית גדולה במוטות/מוליכי הרוטור ובליפופי המנוע, ויכול להשפיע לרעה על המערכות המונעות ועל יסודותיהן.

במאמר זה נפרט בתמצית את השיטות הנפוצות להגבלת זרם ההתנעה של מנועי השראה בעלי רוטור כלוב, שהם השימושיים ביותר בארץ ובעולם, ונבהיר את משמעות אמות-המידה שקבעה הרשות לשירותים ציבוריים - חשמל בנושא זה. לשם הבנה

טובה יותר של הנושאים המועלים במאמר מופנית תשומת לב הקוראים למאמרים בנושא "ניהול וייעול צריכת החשמל במערכות הנעה", שפורסמו בגיליונות הקודמים של "פאזה אחרת" (בפברואר ובאוגוסט 2008).

אמות-המידה

באמות-המידה של הרשות לשירותים ציבוריים - חשמל, תחת הכותרת "חיבור מנועים ומכשירים חשמליים", נקבע כדלהלן:

(1) ביקש צרכן לחבר לרשת החשמל מנוע בעל הספק נומינלי העולה על 3.5 כ"ס או מכשיר אחר בעל הספק נומינלי העולה על 5.75 קילוואט, יחבר המיתקן לרשת על-ידי ספק השירות החיוני באספקה תלת-פאזית.

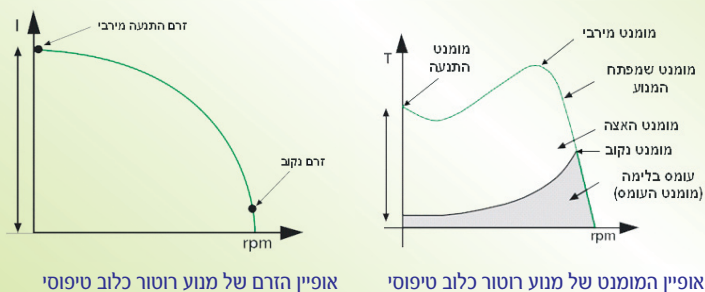
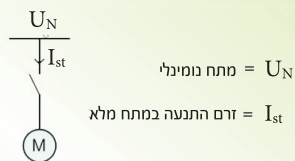
(2) היה הספק המנוע החשמלי האמור בסעיף קטן (א) דלעיל נמוך מ-3.5 כ"ס, יחבר ספק השירות החיוני את המיתקן באספקה חד-פאזית או תלת-פאזית לפי בחירת הצרכן.

(3) ספק השירות החיוני לא יחבר לרשת החשמל מיתקן פרטי בעל מנוע חד-פאזי בהספק העולה על 3.5 או מנוע תלת-פאזי בהספק העולה על 5 כ"ס אשר אינו מצויד במתנע מקטין זרם התנעה מתאים."

אמות-מידה אלו נקבעו במטרה להקטין, ככל האפשר, את עוצמת הפרעות החשמל אשר נוצרות ברשת אספקת החשמל כתוצאה מזרמי התנעה של מנועים, ובראשן שקיעות מתח ומצבים של תת-מתח שמהם סובלים גם צרכנים אחרים המזונים מאותה הרשת. אמות-המידה אינן קובעות את שיטת ההתנעה ושיעור זרם ההתנעה שעל מתנע מקטין זרם התנעה להגביל, ומשאירות זאת לשיקול דעתו של המתכנן. לשקיעות מתח ולתת-מתח יש שתי השלכות עיקריות על אופן התפעול של המנוע:

- המנוע לא יותנע עקב חוסר יכולתו להתגבר על מומנט העומס המכאני שעל צירו, תיווצר התחממות יתרה של המנוע, והוא יופסק על-ידי מבטח עומס יתר.

איור 2: התנעה ישירה ומאפייניה



ההספק שלו בהתנעה הוא 0.35 לערך. אם המנוע מוזן ממוליכי נחושת בעל חתך של 1.5 מילימטר ריבוע ומרחק של 25 מטר מלוח החשמל, בעת ההתנעה יהיה מפל המתח על המוליכים 9.2%, ובמצב פעולה יציב - 3.3%. אם המוליכים הם בעלי חתך של 2.5 מילימטר ריבוע, מפלי המתח יהיו 5.6%-2%, בהתאמה.

יצוין כי:

1. ככלל, מנועים פועלים בצורה נאותה במצב פעולה יציב שלהם, כאשר מתח הזינה הוא בתחום $\pm 5\%$ מהמתח הנקוב.
2. על פי אמות-המידה, חברת החשמל יכולה לספק לצרכן מתח נומינלי בגבולות חריגה של $\pm 10\%$. יש להתחשב גם בהשפעתה של חריגה זו על אופן התפעול התקין של המנוע.

שיטות התנעה של מנועים

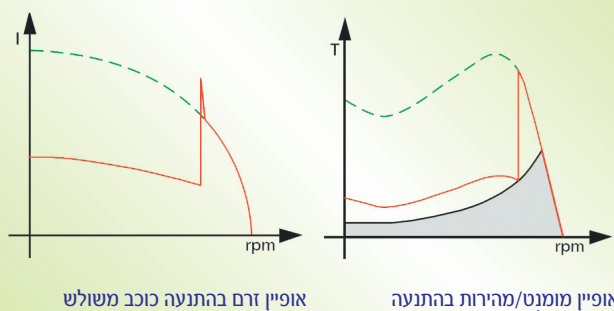
קיימות מספר שיטות להתנעת מנועים, כולן מיועדות להקטין את זרם ההתנעה. המנוע, העומס המופעל עליו ורשת אספקת החשמל למנוע, כל אלה קובעים את השיטה המתאימה להתנעה, ובכל שיטה עלינו להתחשב בגורמים העיקריים הבאים: המומנט הנדרש במהלך ההתנעה ומשך הזמן הנדרש להתנעה. נציין, כי זרם ההתנעה של המנוע יחסי למתח הזינה למנוע, ומומנט ההתנעה יחסי לריבוע המתח. להלן, בתמצית, השיטות המקובלות ביותר להתנעת מנועים:

התנעה כוכב משולש (Y/D)

שיטה זו אפשרית רק במנועים שהחיבור הרגיל של ליפופי הסטטור הוא במשולש. לשם הקטנת זרם ההתנעה, המנוע מתחבר תחילה לרשת החשמל בכוכב, וכעבור זמן מסוים עובר לחיבור במשולש. כתוצאה מכך, זרם ההתנעה קטן פי $\sqrt{3}$ (ל-58%), ומומנט ההתנעה - פי 3 בהשוואה להתנעה ישירה. שיטה זו מעשית כאשר במהלך ההתנעה העומס על המנוע הוא נמוך. כאשר העומס גדול, המומנט שמפתח המנוע אינו מספיק להאצת המהירות עד לשיעור הנחוץ, שבו ניתן להעביר את הליפופים לחיבור במשולש.

במעבר הליפוף מכוכב למשולש נוצר נחשול זרם לפרק זמן קצר מאוד. נחשול זה עלול להיות, במקרים מסוימים, אף גבוה יותר בעוצמתו מזרם בהתנעה ישירה

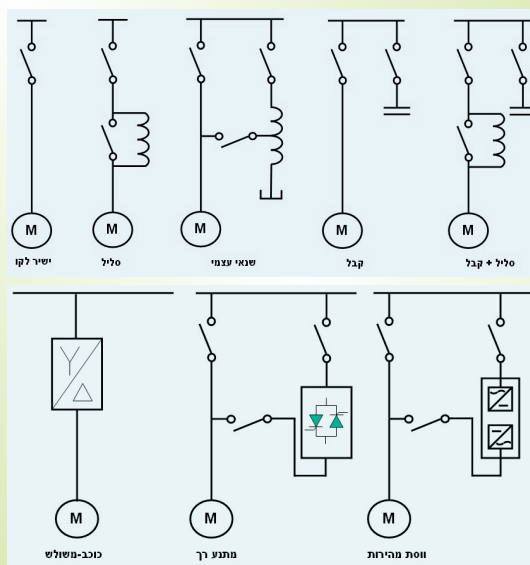
איור 3: מאפייני התנעה כוכב משולש (Y/D)



התנעה עם משנק (סליל) או נגד

בשיטה זו מחברים משנק בטור למנוע במשך זמן ההתנעה, ובסיומו מקצרים את המשנק. זרם ההתנעה ומומנט המנוע קטנים בהתאם למפל המתח על המשנק. שיטה זו פשוטה וזולה יחסית.

איור 1: שיטות התנעה שונות



התנעה ישירה של מנוע

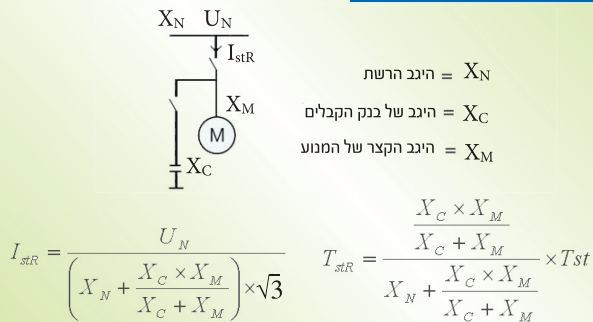
בהתנעה ישירה (ישיר לקו), המנוע מוזן מרשת אספקת החשמל באופן ישיר. התנעה ישירה היא עדיין השיטה הנפוצה ביותר שקיימת, עקב פשטותה והצידוד המועט שדרוש להנעת המנוע ולהגנה עליו. אך בשיטה זו נוצר זרם התנעה גבוה ביותר - בדרך כלל פי 6 עד 8 מהזרם הנקוב של המנוע ולעיתים אף פי 10, ויש שזרם השיא מגיע עד כדי פי 14 מהזרם הנקוב. ערכים אלה תלויים במבנה המנוע וגודלו, אך בדרך כלל שיעורם במנועים קטנים גבוה מאלה שבמנועים הגדולים.

בהתנעה ישירה, מומנט ההתנעה של המנוע הוא גבוה, ובמרבית המקרים - מעבר לגודל הנחוץ. מומנט זה גורם ללחצים גבוהים על מערכת ההצמדה/התמסורת והמערכת המכאנית המאזנת. קיימים מקרים שבהם שיטה זו פועלת היטב והיא השיטה המעשית הנפוצה, כגון במנועים בעלי הספק נמוך יחסית וכאשר נדרש מומנט התנעה גבוה.

התנעה עם קבל

בשיטה זו, האנרגיה הריאקטיבית הדרושה למיגנוט המנוע אשר נובע ממקדם הספק נמוך במיוחד של המנוע בעת ההתנעה ($\cos \varphi = 0.2-0.4$) נלקחת מסוללה של קבלים המחוברים במקביל למנוע. בכך מתאפשר להתניע את המנוע במומנט התנעה מלא מבלי לגרום הפרעה לרשת האספקה. כדי למנוע קיזוז יתר של מקדם הספק, יש לנתק את הקבלים בתום תהליך ההתנעה. חסרונה של שיטה זו נעוץ בעלותם הגבוהה של קבלים ובמקום הנדרש להתקנתם. קיימת אפשרות לשלב את שיטה ההתנעה עם משנק יחד עם שיטה זו, ובכך להקטין את גודל הקבלים.

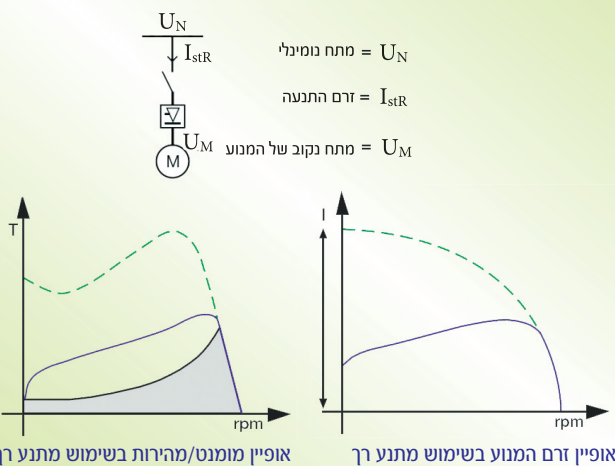
איור 7: התנעה עם קבל



התנעה בעזרת מתנע אלקטרוני/מתנע רך

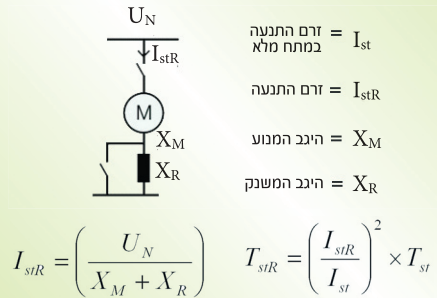
התנעה בעזרת מתנע אלקטרוני (מתנע רך) היא השיטה החדשה ביותר. מתנעים אלה מבוססים על מעגלים אלקטרוניים המווסתים את מתח הזינה למנוע, וכפועל יוצא מכך מווסתים את הזרם ואת מומנט ההתנעה של המנוע. בתחילת ההתנעה, מתח הזינה למנוע נמוך במידה שמאפשרת למנוע להתגבר על המומנט הסטטי של המערכת מבלי לגרום ללחץ מיותר על התמסורת/הצמדה (רצועה, גלגלי שיניים, שרשרת וכו') בין המנוע לבין המערכת המואעת. בהמשך, המתח עולה בהדרגה וכך גם המומנט, והמכונה מתחילה להאיץ עד לסיום התנעה והתייצבותה במהירות הנקובה; כל זה, מבלי לגרום לקפיצות/נחשולי זרם או "הלם" במומנט.

איור 8: התנעה בעזרת מתנע אלקטרוני ומאפינייה



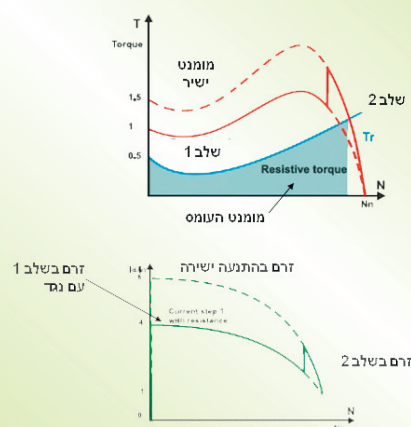
אחד היתרונות הבולטים של מתנע רך הוא האפשרות להתאים את מומנט המנוע לנדרש על-ידי המערכת המואעת. המתנע גורם למנוע לפתח מומנט התנעה לרמות שונות, מהגבוה ביותר, שנדרש בהעמסה מלאה של המנוע, ועד לנמוך ביותר, כשהמנוע כלל אינו מועמס. התנעה רכה ("עדינה") גם מפחיתה את הוצאות התחזוקה.

איור 4: התנעה עם משנק



באופן דומה לכך ניתן לחבר נגד בטור למנוע במשך זמן ההתנעה, ובסיומו לקצר את הנגד. גם במקרה זה זרם ההתנעה ומומנט המנוע יהיו קטנים בהתאם למפל המתח על הנגד.

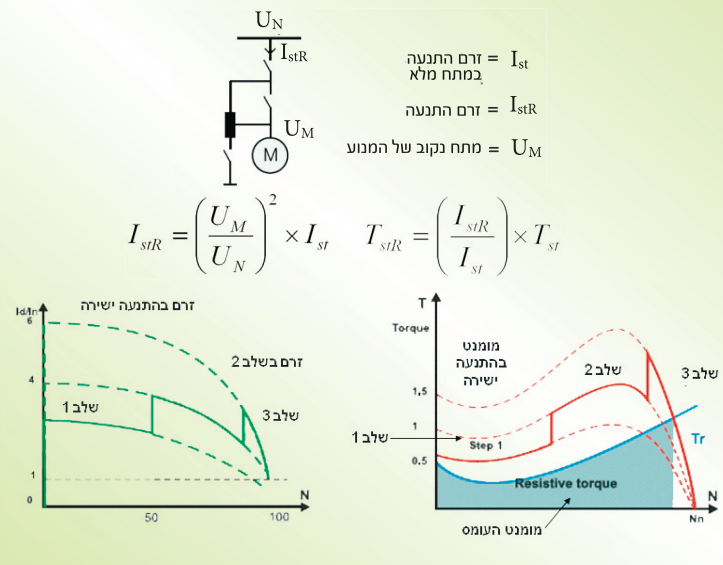
איור 5: מאפיניי התנעה עם נגד



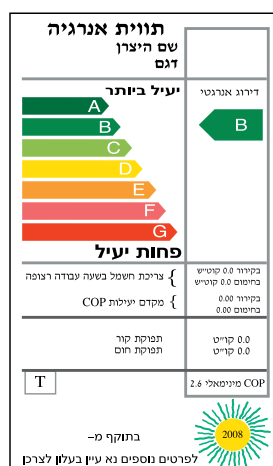
התנעה בעזרת שנאי עצמי

שיטה זו דומה לשיטת התנעה עם משנק, אך ניתן להתאים באופן מדויק יותר את המומנט הדרוש להתנעת המנוע.

איור 6: התנעה בעזרת שנאי עצמי ומאפינייה



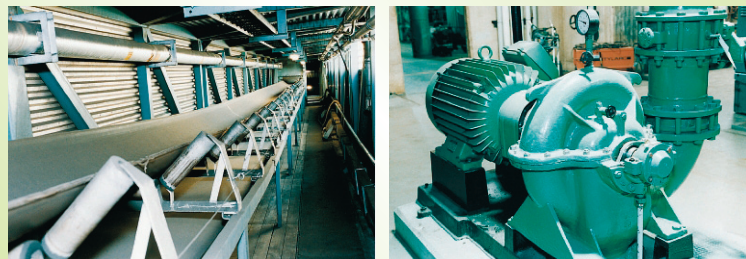
איור 11: תווית אנרגיה של מזגן



- מנוע חד-פאזי בהספק העולה על 3.5 כ"ס או מנוע תלת-פאזי בהספק העולה על 5 כ"ס, בתנאי שהוא מצויד במתנע מקטין זרם התנעה מתאים, כגון: מתנע רך (soft starter), וסת מהירות אלקטרוני (Variable speed control) ומתנע כוכב משולש.
- מכשיר חשמלי חד-פאזי, כגון מחמם מים, תנור, כיריים, מיתקן אלקטרוני וכדומה, שהספקו הנומינלי אינו עולה על 5.75 קילוואט. אין מגבלה לגבי מכשיר תלת-פאזי.
- מזגן חד-פאזי שצריכת החשמל שלו בשעת עבודה רצופה אינה עולה על 3 קו"ט"ש או מזגן תלת-פאזי שצריכת החשמל שלו בשעת עבודה רצופה אינה עולה על 4.4 קו"ט"ש בחיבור ישיר (ללא מתנע מקטין זרם התנעה). כאשר הצריכה עולה על ערכים אלה, מותר לחבר את המזגן לרשת האספקה בתנאי שהוא מצויד במתנע מקטין זרם התנעה מתאים.

מאפיין נוסף של מתנע רך הוא עצירה רכה של המערכת. עצירה רכה/הדרגתית שימושית מאוד במשאבות, כדי למנוע "הלם מים" בצנרת, אשר מתרחש בעצירה ישירה ובשיטות התנעה אחרות. כמו כן, היא שימושית במסועי רצועה - כדי למנוע נזק למוצרים עדינים (שבריריים) בדומה) בעת עצירה מהירה.

איור 9: התנעה והפסקה רכה של משאבה ומסוע בעזרת מתנע



ממיר תדר

ממיר תדר, המכונה גם וסת או משנה מהירות, הוא אחת הדרכים להתנעה רכה של מנועים. הוא מורכב משני חלקים: החלק הראשון ממיר את מתח החילופין של הרשת למתח ישר (ממיר AC/DC), והחלק השני ממיר בחזרה את המתח הישר למתח חילופין (ממיר DC/AC), אך בהבדל אחד - תדירות מתח החילופין ניתנת לוויסות בתחום רחב (0-250 הרץ). הואיל ומהירות המנוע עומדת ביחס ישר לתדירות המתח, מהירותו משתנה בהתאם לשינוי התדר של הממיר. כמו כן, ויסות התדירות מאפשר להשיג את המומנט הנקוב של המנוע במהירות נמוכה, ובכך לגרום לזרם התנעה נמוך יחסית, בטווח של פי 1.5-1 מהזרם הנקוב של המנוע. הוא גם מאפשר עצירה רכה בדומה למתנע אלקטרוני.

הבהרות/הנחיות לבודקי מיתקנים ואחרים

על אף שלאמות-המידה הללו השלכות רבות בכל מיגזרי המשק, מן הראוי לשים דגש עליהן במיגזר הצרכנות הביתית, שבו מזגני האוויר יוצרים את העומס הגדול ביותר, ובנסיבות העניין הם מהווים מקור לא-מבוטל להפרעות חשמל. עדיין קיימים יצרנים ומשווקים אשר משתמשים במונח "כוח-סוס" כדי לציין את גודל המזגן ביחידות מיזוג אוויר קטנות יחסית, כמו מזגני חלון, מזגנים מפוצלים ומזגנים מיני-

מרכזיים. שיעורו של המונח "כוח-סוס" לגבי מזגנים, בשונה ממנועים, אינו מוגדר ואף מטעה: אין מונח כזה לגבי מזגנים. על גבי כל מזגן מוצמדת תווית אנרגיה, המכילה את הנתונים הטכניים שלו, וביניהם: תפוקת המזגן בקו"ט, יעילותו (COP) וצריכת חשמל בשעת עבודה רצופה בקו"ט"ש, בקירור ובחימום. צריכת החשמל, הערך הגבוה מבין שני הערכים הללו, מהווה בסיס לחיבור המזגן לרשת החשמל, על סמך הקבוע באמות-המידה.

בהסתמך על האמור לעיל ובכפוף לחוק החשמל ותקנותיו, ביישום אמות-המידה לגבי חיבור מנועים ומכשירים חשמליים לרשת החשמל, מותר לחבר לרשת אספקת חשמל חד-פאזית או תלת-פאזית לפי הפירוט הבא:

- מנוע חד-פאזי שהספקו הנומינלי אינו עולה על 3.5 כ"ס או מנוע תלת-פאזי שהספקו הנומינלי אינו עולה על 5 כ"ס בחיבור ישיר (ללא מתנע מקטין זרם התנעה).

איור 10: התנעה באמצעות ממיר תדר

