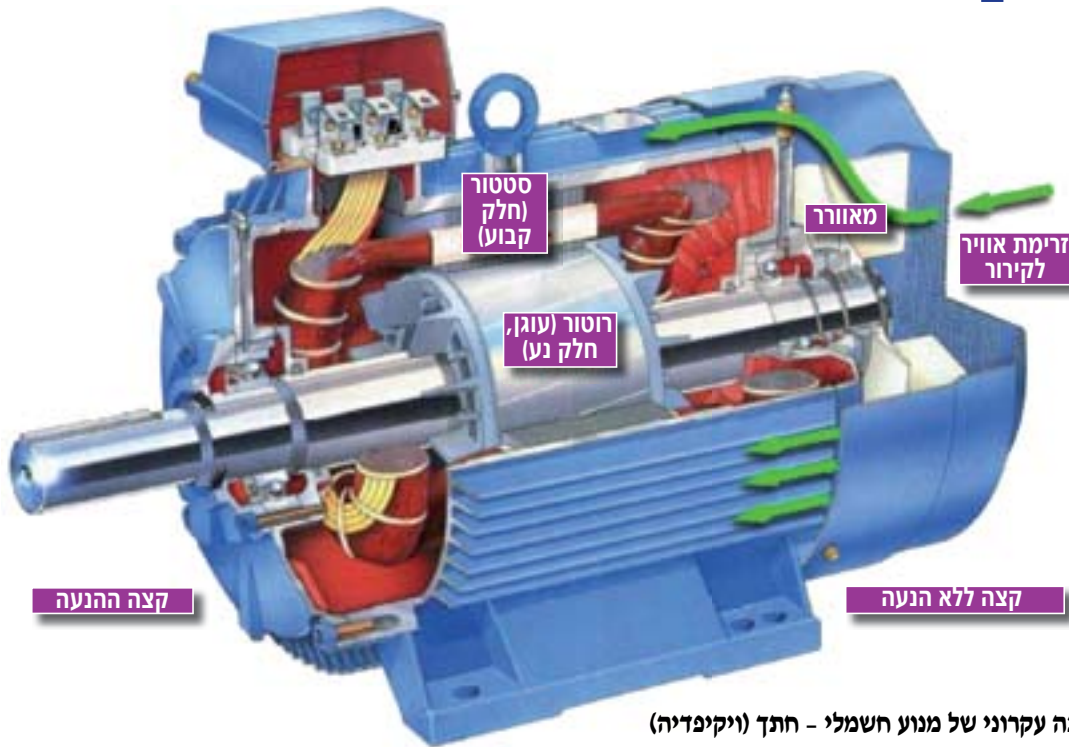


מנועים חשמליים - תחזוקה ובטיחות



איור 1: מבנה עקרוני של מנוע חשמלי - חתך (ויקיפדיה)

מאת ד"ר אלכס טורצקי

- סיכוני רעש מזיק.
- סיכוני רטט ורעידות.
- השפעת שדות אלקטרומגנטיים, הנוצרים במהלך פעילות המנוע, על בני אדם.

סימון מאפייני המנועים

לכל מנוע מוצמד שלט סימון ובו פרטים בנושא חשמל ופרטים אחרים המאפיינים את המנוע המסוים. **ההספק** המצוין על שלט המנוע הוא **הספק המוצא הנקוב** - כלומר ההספק המכני אשר מתפתח על ציר המנוע בתנאי עבודה נומינליים, העמסה מלאה, מתח ותדר נקובים. **הספק של המנוע** - ההספק שצורך המנוע מהרשת, שמוגדר כיחס בין הספק המוצא לבין נצילות המנוע. שניהם - הספק המוצא ונצילות המנוע - מצוינים על גבי שלט הסימון של המנוע.

מאפיינים חשמליים של מנוע ושיטות חיבור לרשת החשמל

המאפיין המרכזי של מנוע חשמלי⁽¹⁾, הוא זרם ההתנעה (זרם להפעלה) של "מנועי השראה" שהם הנפוצים ביותר בכל מיגזרי המשק. זרם ההתנעה של המנוע גורם לקפיצות מתח ולמפלי מתח, עד להפסקת חשמל ברשת הזנת החשמל, ולקפיצות זרם ופגיעה בציוד המחובר למנוע. זרם התנעה גדול פי 3 עד 8 בערך מהזרם הנקוב שלהם, כיוון שנחוצה כמות גדולה של אנרגיה לשם מיגנוט המנוע, כך שיוכל להתגבר על האינרציה של המערכת ממצב של

מנוע חשמלי הוא מכונה הממירה אנרגיה חשמלית לאנרגיה מכנית. ההמרה מבוססת על עיקרון האלקטרומגנטיות (איור 1), המאפשר יצירת שדה מגנטי על ידי העברת זרם חשמלי דרך סליל. השימוש במנועים חשמליים קיים במכונות ובתהליכי הנהעה שונים, כמו משאבות, מפוחים, כלי עבודה וכדומה וכן בייצור חשמל, כמו גנרטורים וכד'.

ניתן לחלק את המנועים החשמליים לקבוצות לפי תכונותיהם, כמו:

- מנועי זרם ישר (DC) וזרם חילופין (AC).
- מנוע "צעד" (step motor), כסוג של מנוע DC.
- מנועים סינכרוניים ואסינכרוניים (מנועי AC).
- מנועים לתנאים מיוחדים: מנוע לאווירה נפיצה, לעבודה במים, לעבודה בחומרים מסוכנים, מנועים עמידים בפני אבק, עמידים מפני פגיעה מכנית.

הסיכונים הכרוכים בטיפול ובהפעלת מנוע חשמלי

- סיכונים בהרמה ובשינוע בעת העברת המנוע/הציוד הממונע.
- סיכוני חשמל בעת טיפול בציוד ובתפעולו.
- שריפה כתוצאה מהתחממות המנוע.
- סיכונים מכניים במגע עם החלקים הנעים.

הכותב הוא מדריך חשמל ארצי בתחום הנדסת בטיחות של המוסד לבטיחות ולגיהות

התנעה בעזרת שנאי עצמי

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

התנעה עם קבל

בשיטה זו האנרגיה הריאקטיבית (הדרושה למיננט המנוע), גורמת למקדם הספק $(\cos \phi)$ נמוך במיוחד של המנוע.

מקדם הספק מוגדר כיחס בין הספק יעיל (ממשי) P לבין ההספק המלא (מדומה) $S - P$ של צרכן או מערכת. הפרש בין הספק יעיל לבין הספק מדומה מצביע על הפסדי אנרגיה וניצולת נמוכה של רשת הספקת החשמל. לפי כך, יש צורך לשמור על רמת מקדם הספק גבוהה. מקדם ההספק המקובל כיום הוא 0.92. את מקדם ההספק ניתן להשיג אך ורק על ידי שינוי זרם אספקת החשמל. למטרה זו משתמשים בקבלים המחוברים במקומות שונים במקביל למתח ההזנה (מרשת החשמל). כדי לאפשר לשמור על מקדם הספק גבוה,

ההספק נלקח מסוללה של קבלים המחוברים במקביל למנוע. סידור כזה מאפשר להתניע את המנוע במומנט התנעה מלא מבלי לגרום הפרעה לרשת האספקה.

התנעה בעזרת מתנע אלקטרוני (מתנע "רד")

שיטה חדישה המבוססת על מעגלים אלקטרוניים אשר מווסתים את מתח הזינה למנוע, המעלה באופן הדרגתי את הזרם והמומנט בהתנעת המנוע. השיטה מונעת קפיצות זרם ומומנט. אחת מהדרכים להתנעה רכה, בגלל שימוש ב"ממיר תדר" (וסת) החשמל. ממיר תדר נקרא גם משנה מהירות או לפעמים (Variable Speed Drive) VSD, או (Variable Frequency Drive) VFD, או פשוט "דרייב" שהוא השם הנפוץ ביותר.

תחזוקת מנועי חשמל

בתחזוקת המנוע יש להתייחס לשלבים מקבלתו ועד התפעול שלו. השלבים הם: שינוע המנוע, אחסנה, התקנה, הפעלה ותחזוקה. **בשינוע:** יש לספק אמצעי הגנה נגד חדירת מים ולכלוך⁽²⁾. יש להקפיד על נעילת ציר המנוע בעת השינוע ושימוש בכלי הרמה והסעה מתאימים.

בעת האחסנה: יש לשמור על תנאי אקלים אחידים. יש לכסות את פתחי האוויר וקצוות חשופים כדי למנוע קורוזיה, יש להשתמש בחומרים סופגי לחות. יש לשובב את הציר בצורה מבוקרת פעם בחודש.

בהתקנה: יש לשמור על מעברי האוויר החם והקר למנוע. יש להציב את המנוע במקום שבו יישמרו מירווחי עבודה ובטיחות סביבו. יש לבדוק את כמות הגריז בתוך המיסבים ואת סוגו. חייבים להקפיד על "שיוור" (איזון) נכון ע"י איזון המיסבים. בהתקנת המנוע יש להקפיד על יציבותו של בסיס המנוע ומניעת רטט של גוף המנוע.

יש להקפיד על חיבור הארקה המנוע, התקנת גלגל הרצועה, ומתיחה נאותה של הרצועה. יש לבדוק את התנגדות הבידוד החשמלי (של ליפוף המנוע) ורמתו. אם הבדיקה מצביעה על ערכים נמוכים יש לבצע אחת מהפעולות הבאות: חיבור הליפוף



איור 2: דוגמה למנוע חשמלי תעשייתי (משאבת ואקום) עם חיבורי חשמל (מכסה הגנה הוסר)

חוסר תנועה עד למהירות נומינלית. זרם התנעה גבוה גורם למתיחה מכנית גדולה במוטות, במוליכי הרוטור ובליפופי המנוע, ויכול להשפיע לרעה על המערכות המונעות ועל בסיס המנוע – גוף וחיבורי המנוע. לצורך ניהול הבטיחות במערכת החשמל יש לקחת החשבון את נושא ניהול וייעול צריכת החשמל בשימוש במנועים.

שיטות התנעה של מנועים

קיימות מספר שיטות להתנעת מנועים, כולן מיועדות להקטין את זרם ההתנעה שלו ואת העומס המופעל על המנוע ועל רשת אספקת החשמל למנוע. כל אלה קובעים את השיטה המתאימה להתנעה. בכל שיטה יש להתחשב בגורמים העיקריים הבאים: המומנט (הכוח הסיבובי) הנדרש במהלך ההתנעה ומשך הזמן הנדרש להתנעה. חיבור מנועים לרשת החשמל תלוי בשיטת ההתנעה.

השיטות המקובלות ביותר להתנעת מנועים הן:

התנעה ישירה של מנוע

בהתנעה ישירה ("ישר לקו") – המנוע מוזן מרשת אספקת החשמל באופן ישיר. התנעה ישירה היא עדיין השיטה הנפוצה ביותר הקיימת, בעיקר במנועים קטנים.

התנעת כוכב – משולש

השיטה אפשרית רק במנועים שהחיבור הרגיל של ליפוף הסטטור הוא במשולש. לשם הקטנת זרם ההתנעה המנוע מחובר תחילה לרשת החשמל ב"כוכב", וכעבור זמן מסויים עובר – בעזרת בקר – לחיבור ב"משולש". כתוצאה מכך זרם ההתנעה קטן ל-58% ומומנט ההתנעה קטן פי 3 בהשוואה להתנעה ישירה.

התנעה עם משנק (סליל) או נגד

בשיטה זה מחברים משנק בטור למנוע במשך זמן ההתנעה ובסיומו עוקפים אותו ע"י חיבור העוקף את המשנק. זרם ההתנעה ומומנט המנוע קטנים בהתאם למפל המתח על המשנק. השיטה פשוטה וזולה יחסית.

כולל ייבוש הסטטור בתנור, טבילת הליפוף בלקה אפוקסית או פוליאסטר. תיקון בידוד המיסבים לווסות המהירות או מתח גבוה, תיקון חלקים מכניים, החלפת כל המיסבים אם נדרש ועוד.

תחזוקה חזויה: כאן משתמשים במדידות ובבדיקות חשמליות, בדיקות מכניות ותרמוגרפיות כבסיס לביצוע התחזוקה. תחזוקה חזויה מבוססת על ניתוח שינויים החלים בקריאת הנתונים כגון זרם, רעש, רעידות מהליפופים, אינדקס פולריזציה, מהירות הסיבובים, התפרקות חלקית של מיסבים וברגים במנוע ועוד. יש לקבוע ערכי סף של הפרמטרים הנמדדים לזיהוי חריגות.

● בדיקות חשמליות: בדיקת מתח יתר (יש לקבוע בזהירות את המתחים לבדיקה כדי לא לגרום נזק בלתי הפיך), זווית ההפסדים (בדיקת הלם).

● בדיקות מכניות: ניטור רעידות בתדר היסודי (50 Hz) ובהרמוניות



איור 3: מנוע המופעל בסביבת אבק קמח (חומר נפיץ).



איור 4: בדיקות נתוני המנוע במפעל לייצור ותיקון מנועים

למתח מונמך ב-10%, או אימפרגנציה (הספגה) וייבוש הליפוף בתנור.

הפעלה: לפני ההפעלה יש לבצע את הבדיקות הבאות: בדיקת התנגדות הבידוד, חיבור הארקה, רוטור שמסתובב חופשי, כיוון הסיבוב, רעידות מכניות, בדיקת אביזרים. במהלך ההתנעה יש לעקוב אחר רעשים, רעידות, תנודות בעזרת אמפרמטרים האנלוגיים וזמן התנעה. לאחר ההתנעה יש לעקוב במשך מספר שעות אחר: טמפ' המיסבים, טמפ' הליפופים, התפתחות רעידות ורעשים, גובה שמן בחלונות השימון של מיסבי הלחץ ומיסבי החלקה.

תחזוקה שוטפת: פעם בשבוע מומלץ לבצע בדיקה ויזואלית של המנוע לאיתור פגמים וליקויים. יש לעקוב אחרי שינויים ברמת הרעש והרעידות. אלה יכולים להיגרם בגלל שבר במוט הרוטור (ציר המנוע), מיסבים שחוקים, פגם בליפוף בגוף המנוע, תקלה במכונה המונעת באמצעות המנוע (בעיה בבסיס המנוע).

(תדרים נוספים הנוצרים) - (לפי ISO-18436), בדיקת רעש (בגלל שחיקת המיסבים או שפשוף מכני כלשהו).

● בדיקות תרמוגרפיות: מאפשרות זיהוי מוקדם של נקודות חמות על פני גוף המנוע, בראש הליפוף או ברוטור (עקב תקלה במערכת האווורור, שיחרור מוטות או סדקים במוטות הרוטור, או עבודה בעומס גבוה).

התחזוקה השוטפת כוללת בדיקת מצב התנגדות הליפוף, ניקוי פתחי הקירור של המנוע, גירוז המיתקן כשהמנוע מסתובב, לפי תרשים היצרן.

תחזוקה מונעת: למנועים חיוניים מבצעים פירוק של המנוע, הוצאת הרוטור ובדיקה ויזואלית של רכיבי המנוע (איור 1), שטיפה וניקוי

תיקון מנועים

תיקון מנועים מיוחדים, לדוגמה: יחידות קירור סגורות על בסיס פריאון, מנועים לסביבה נפיצה ומנועים לעבודה מול וסת מהירות - יתבצע על פי כללים ספציפיים והתקנים היעודיים עבורם.

מיפרט המנוע

- לנתונים הבאים יש השפעה מכרעת על התחזוקה בעתיד. ברכישה של מנוע יש לבדוק את הנקודות הבאות:
- לסוג העומס הצפוי בהפעלת המנוע יש השפעה על בחירת שיטת ההתנעה.
- האם העומס הוא רצוף או עם הפסקות.
- הגדרת טמפרטורת הסביבה באזור ההפעלה.
- נתוני רשת החשמל (גנרטור).
- האם במקום ההפעלה יש דרישות של אזור נפיץ.

- עבודה מול וסת מהירות - מחייבת שימוש במנועי "inverter duty"
- אורך חיי המיסיבים (לפחות 50 אלף שעות למיסב רגיל ו-20 אלף למיסב לחץ).
- ברכישת מנוע יש לבקש מהיצרן "ניצול תרמי" של הליפופים בדרגה אחת נמוכה מדרגת הבידוד.
- ברכישת מנוע יש להגדיר רמת רעידות נמוכה ולהגביל את גודל ההרמוניה הרלוונטית.

כללי בטיחות בתפעול ובטיפול במנוע

- רק עובדים שהודרכו, אומנו והוסמכו יהיו רשאים לבצע פעולות תחזוקה במנוע חשמלי.
- יש לקרוא את הוראות היצרן לגבי המנוע לפני ביצוע התקנה, ופעולות הקשורות לתפעול ולתחזוקה.

- לפני ביצוע כל עבודה עם המנוע יש לנתק את כל חיבורי החשמל למנוע ולהתקין שילוט אזהרה מתאים כדי למנוע חיבור אקראי של אספקת הזרם.
- יש לבדוק את תקינות חיבורי המנוע לפני הפעלתו. לאחר מכן, יש לסגור היטב את קופסת החיבורים.
- יש להתקין מגן מעל החלקים הנעים של המנוע ושל המכונה המונעת.
- יש לבדוק את תקינות חיבורי ההארקה של גוף המנוע ובתוך קופסת החיבורים.
- יש לבדוק את רמת הבידוד של המנוע באמצעות "מגר" (מכשיר לבדיקת התנגדות הבידוד בעת חישמול במתח פריצת הבידוד).
- יש לוודא שהערך הנמדד גבוה מהערך המזערי המותר.
- לפני הפעלת המנוע יש לוודא שבמיסבים יש גריז ומהסוג הנדרש בהוראות היצרן.
- יש לבדוק את תקינות מערכות ההגנה השונות: טמפרטורה, רעידות, מיפלס שמן, רעשים וכו'.
- השתמשו באמצעי הגנה נגד רעש בקירבת המנוע.
- השתמשו באמצעים להפחתת הרעידות מסביב למנוע.
- השתמשו באמצעי הרמה תקינים לצורך שינוע המנוע. שנוע את המנוע על פי הוראות היצרן. ■

מקורות:

- מהנדס נוראני שגיב, "חיבור מנועים לרשת החשמל לאור אמות-המידה בנושא", פאזה אחרת, אוגוסט 2009
- מהנדס סרגיו הולינגר, "מדיניות התחזוקה של מנועי חשמל" הודפס בגיליון חברת מקורות, מס' 53, פברואר - 2008, http://www.climaton.co.il/Article_Details.asp?Article_Id=1272

בטיחות בטיפול ובתפעול מנוע שאלות נפוצות ותשובות

מס'	שאלות מהשטח	תשובות
1	האם מבצעים בדיקת מנוע תחת מתח ועומס?	כן.
2	מי רשאים לבדוק מנוע?	חשמלאי ומכונאי.
3	מי רשאי לפרק ולהרכיב מנוע מוגן התפוצצות או עמיד בפני סיכונים אחרים?	רק גוף מוסמך לצידוד הנדון. יש בעיה מכיוון שלא קיים בארץ גוף מסמך; לכן יש לפנות ליצרן.
4	האם חייבים לחבר הארקה הגנה או איפוס לגוף המנוע או שמספיק רק חיבור להארקה הזנה?	מספיק חיבור להארקה הזנה.
5	מי קובע דרישות למעברים ודרכי גישה למנוע?	השכל הישר קובע כמובן, על בסיס סעיפי "פקודות הבטיחות בעבודה, תש"ל-1970".
6	האם מותר להתקין מנוע גם על רצפת אספלט או רק על בסיס מיוחד מבטון?	לא חייב להיות בטון. חייב להיות בסיס מתאים שהוא מיטבח יציב, המונע רעידות ורעשים. יש להתיעץ עם יצרן המנוע.
7	האם לוח הבקרה וההפעלה חייב להיות צמוד למנוע?	לא.
8	האם חייבים להרכיב מפסק חירום לכל מנוע ובאיזה מרחק?	כן. חייבים שתהיה הפסקת חירום באמצעות מפסק או לחצן, במרחק שהוא בהישג יד בעת אירוע תאונה.
9	האם החיבור למנוע חייב להיות בכבלים גמישים או אולי כל תיל או פסים (רצועות נחושת)?	רצוי להשתמש בכבלים, בגלל הנוחיות.
10	קיימים 3 מקורות אנרגיה: א. הזנה ראשית, ב. הזנת גוף חימום, ג. הזנת של צידוד עזר. האם הפסקת פעילות המנוע לביצוע תחזוקה מחייב ניתוק כל החיבורים או מספיק לנתק רק את חלקם?	תלוי בסוג העבודה: ל-א. מנתקים את כל מקורות ההספקה, ל-ב ול-ג. מספיק ניתוק הזנתם.
11	ניתוק מנוע: האם לנתק מגעים או רק מפסק הזנה?	לנתק מפסק ולנעול אותו. מקובל, בנוסף, לשלוף את כבל ההזנה במפסק.
12	מותר לחבר מנוע דרך בית תקע ותקע, או רק דרך מפסק?	מותר גם בית תקע- תקע (לזרם עד 25 A), או חיבור בר שליפה לפסי צבירה ללא הגבלת זרם, בתנאי שקיים מפסק ליד החיבור.
13	האם חייבים להתקין מערכת התרעה וניתוק על התחממות יתר, עומס וכד'?	לא חייבים.