



מכונות חשמל והנע

להנדסאים ולטכנאים – הנדסת חשמל

הנחיות לבחינה

ארבע שעות.

א. משך הבחינה:

בשאלון זה עשר שאלות. שאלה 1 להנדסאים בלבד. שאלה 10 לטכנאים בלבד.

ב. מבנה השאלון

יש לענות על חמש שאלות בלבד. ערך כל שאלה 20 נקודות.

ומפתח הערכה:

סה"כ: 100 נקודות.

ג. חומר עזר

1. מחשבון (אין להשתמש במחשב כף יד או במחשבון עם תקשורת חיצונית).

מותר לשימוש:

2. קלסר אחד בלבד עם חומר ההרצאות. אין להוציא דפים מהקלסר.

3. שני ספרי לימוד.

אין להעביר חומר עזר, ספרים ומחשבוני בין הנבחנים.

ד. הוראות מיוחדות:

1. יש לקרוא בעיון את ההנחיות בדף השער ואת כל שאלות הבחינה, ולוודא שהן מובנות.

2. יש להשאיר את העמוד הראשון במחברת הבחינה ריק. בסיום המבחן יש לרשום בעמוד

זה את מספרי התשובות לבדיקה. התשובות ייבדקו לפי סדר כתיבתן בעמוד זה.

לא ייבדקו תשובות עודפות.

3. יש לכתוב את התשובות בעט בלבד, בכתב יד ברור.

4. יש להתחיל כל תשובה בעמוד חדש ולציין את מספר השאלה ואת הסעיף. אין צורך

להעתיק את השאלה עצמה.

5. טיוטה יש לכתוב במחברת הבחינה בלבד. יש לרשום את המילה "טיוטה" בראש העמוד

ולהעביר קו על הכתוב כדי שלא ייבדק.

6. אין לאחד סעיפים! לכל סעיף שבשאלה יש לתת תשובה נפרדת.

7. תשובה מלאה לסעיף שאלה הכרוך בחישובים היא תשובה שבה מוצג הביטוי המתמטי

שלפיו ייעשה החישוב, הערכים מוצגים בביטוי, ותוצאת החישוב מוצגת באמצעות

מספר ויחידות.

8. כל מספר המוצג בביטוי מתמטי חייב להיות תוצאה של חישוב קודם או של נתון

המופיע בגוף השאלה.

9. אין השימוש במחשבון פוטר מהצורך להציג את הצבת הערכים בביטוי המתמטי.

10. תשובה שאינה מנומקת או שאין דרך הפתרון מוצגת בה לא תזכה בניקוד כלל.

11. אם להערכתכם חסר נתון או קיים נתון שגוי בשאלה, עליכם לציין זאת במפורש

במחברת הבחינה, ולבחור ערך מתאים שיאפשר לכם להמשיך בפתרון השאלה.

חובה להסביר ולנמק את הבחירה.

חל איסור מוחלט להוציא שאלון או מחברת בחינה מחדר הבחינה!

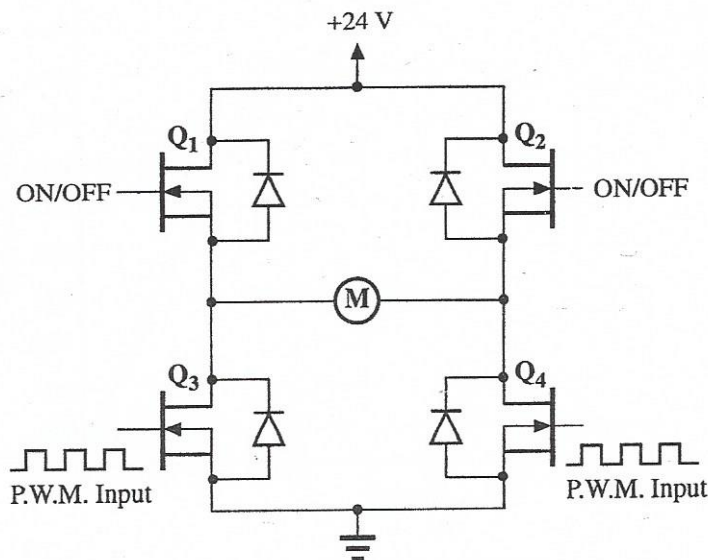
בהצלחה!

בשאלון זה 9 עמודים.

ענו על חמש מבין השאלות 1-10, ערך כל שאלה – 20 נקודות.

שאלה 1 (להנדסאים בלבד)

באיור לשאלה 1 מוצג מעגל לבקרת מנוע זרם ישר בעל קטבים מגנטיים. המערכת מאפשרת לווסת את מהירות המנוע ולשנות מגמת סיבובו.



איור לשאלה 1

המערכת מכילה ארבעה טרנזיסטורים (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 מסוג MOSFET) הפועלים כמתגים (עם קבלת אות ממעגל הבקרה, הטרנזיסטור נכנס לרוויה. ללא האות, הטרנזיסטור נמצא בקטעון). בקרת המתח למנוע מתבצעת בשיטת אפנון רוחב הפולס (PWM), (מעגלי בקרת הטרנזיסטורים לא נראים באיור). נגדיר את שלושת מצבי הפעולה של המנוע:

(1) המנוע מסתובב בכיוון מסוים.

(2) המנוע מסתובב בכיוון ההפוך.

(3) המנוע במנוחה.

(4 נק') א. מהו תפקידה של מערכת קטבים מגנטיים במנוע?

(4 נק') ב. באיזה מצב פעולה נמצא המנוע, כאשר הטרנזיסטורים Q_1 ו- Q_4 ברוויה (והשניים האחרים בקטעון)?

(4 נק') ג. באיזה מצב פעולה נמצא המנוע, כאשר הטרנזיסטורים Q_2 ו- Q_3 ברוויה (והשניים האחרים בקטעון)?

(4 נק') ד. באיזה מצב פעולה נמצא המנוע, כאשר הטרנזיסטורים Q_1 ו- Q_2 ברוויה (והשניים האחרים בקטעון)?

(4 נק') ה. המצב שבו הטרנזיסטורים Q_1 ו- Q_3 או Q_2 ו- Q_4 ברוויה אינו תקין. למה?

שאלה 2

(8 נק') א. בדפי הנתונים של מנוע השראה מופיעים, בין היתר, היחסים בין המומנט המרבי $T_{\max}$,

$$\text{מומנט ההתנעה } T_{\text{start}} \text{ לבין המומנט הנומינלי } T_{\text{nom}}. \text{ לדוגמה: } \frac{T_{\max}}{T_{\text{nom}}} = 2.7, \frac{T_{\text{start}}}{T_{\text{nom}}} = 1.8.$$

שרטטו באופן איכותי את האופיין המכאני הטיפוסי של מנוע השראה $T_M = f(n)$ ו**סמנו** את הערכים

$$T_{\max}, T_{\text{start}}, T_{\text{nom}}.$$

(6 נק') ב. זרם התנעה במנוע השראה, במתח נומינלי, גדול פי 5-6 מהזרם הנומינלי (לא באותו היחס כמו זה

שבין מומנט ההתנעה למומנט הנומינלי). איך מסבירים תופעה זו?

(6 נק') ג. בין יתר ההפסדים **במנוע השראה**, מוכרים הפסדי ברזל (הפסדי מגנט).

להלן מוצגים שלושה שינויים בפעולת המערכת עם המנוע:

(1) שינוי מומנט על ציר המנוע

(2) שינוי מתח הזנת המנוע

(3) שינוי התנגדות סלילי המנוע

רק אחד מהשינויים האלה משפיע באופן משמעותי על הפסדי הברזל, מהו? נמקו את הבחירה.

שאלה 3

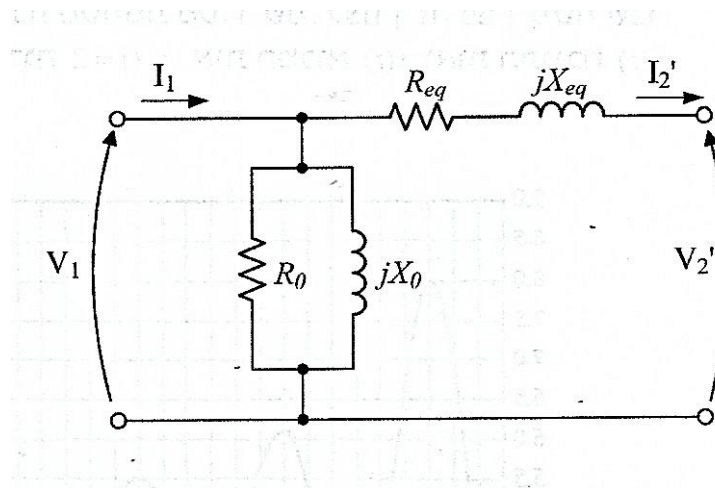
נתון שנאי חד-פאזי מעלה מתח $(V) \frac{110}{230}$, 50Hz , 2kVA .

בניסוי ריקם נתקבלו מהצד הראשוני התוצאות הבאות: 0.4A , 10W , 110V .

נמדדו התנגדויות סלילי השנאי: $R_1 = 0.112\Omega$, $R_2 = 0.417\Omega$.

נגדיר: $X_{eq} = X_1 + X_2'$, $R_{eq} = R_1 + R_2'$.

נתייחס למעגל התמורה של השנאי בתצורה הבאה:



איור לשאלה 3

ידוע שגודל העכבה הכוללת של סלילי השנאי $Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq}$ שווה ל- 0.75Ω .

(8 נק') א. חשבו את ארבעת המאפיינים R_0 , X_0 , R_{eq} , X_{eq} של מעגל התמורה של השנאי הנתון.

(4 נק') ב. בניסוי ריקם נתקבל הספק $P_0 = 10\text{W}$. לאיזו מפעולות השנאי נדרש הספק זה?

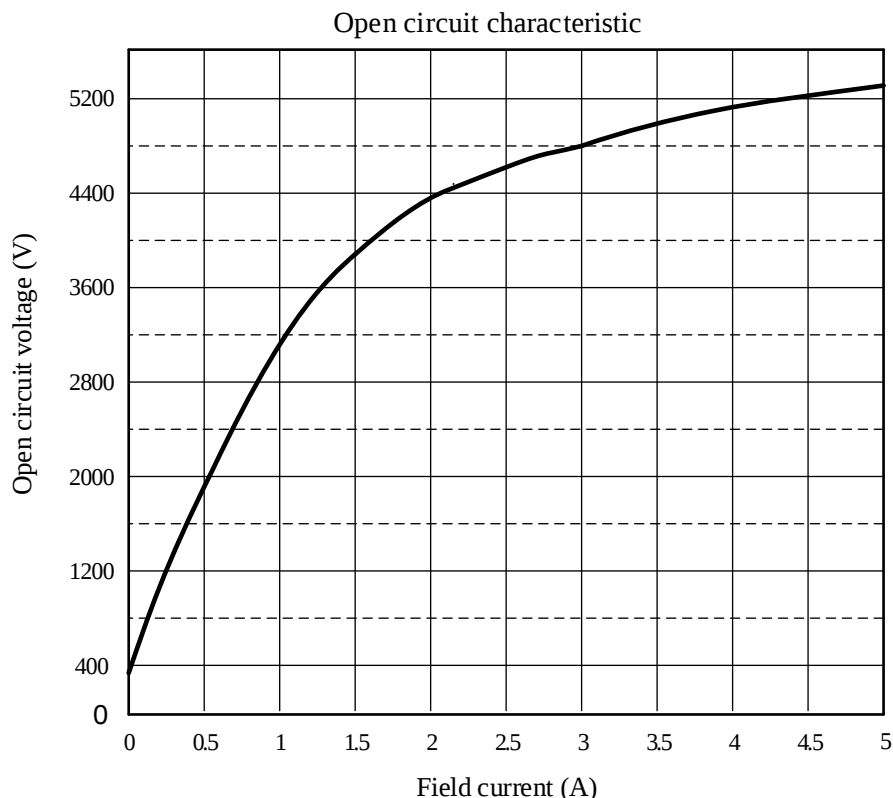
(4 נק') ג. מהם ההפסדים החשמליים והמגנטיים בעומס של $S = 2\text{kVA}$?

(4 נק') ד. הופכים את השנאי הזה למוריד המתח $(V) \frac{230}{110}$. השנאי פועל בעומס זהה. האם יחול שינוי

בהפסדים החשמליים והמגנטיים של השנאי? נמקו.

שאלה 4

לגנרטור סינכרוני, בחיבור סלילי **בנוכח**, בוצע ניסוי ריקם. אופיין הריקם, תלות מתח הריקם **השלוש** בזרם העירור, מוצגים באיור א' לשאלה 4.



איור א' לשאלה 4

4) נק' א. אפשר לראות כי בזרם העירור 0A מתקבל מתח גדול מ-0. מהי הסיבה לכך?

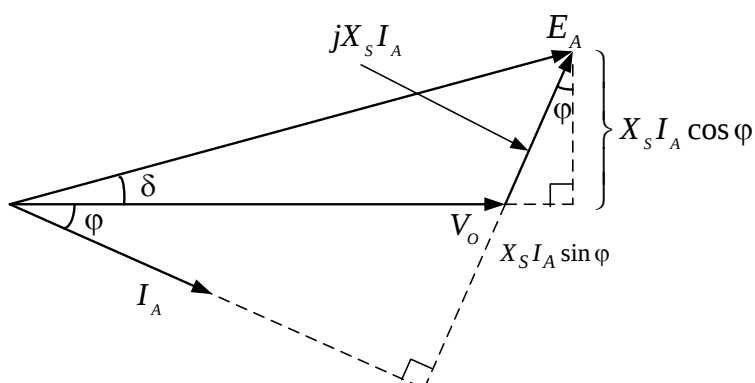
נתון: ההיגב הסינכרוני $X_s = 4.2\Omega$, ההתנגדות האוהמית של הסלילים זניחה.

8) נק' ב. בקביעת זרם העירור של 2A נתקבל מתח ריקם של 4400V.

במצב עבודה מסוים של המערכת, הגנרטור מספק לצרכנים זרם של 200A בגורם הספק מפגר 0.85.

מהו המתח במוצא הגנרטור?

הנחייה לפתרון: מומלץ להיעזר בדיאגרמה הווקטורית פאזית הבאה (איור ב'):



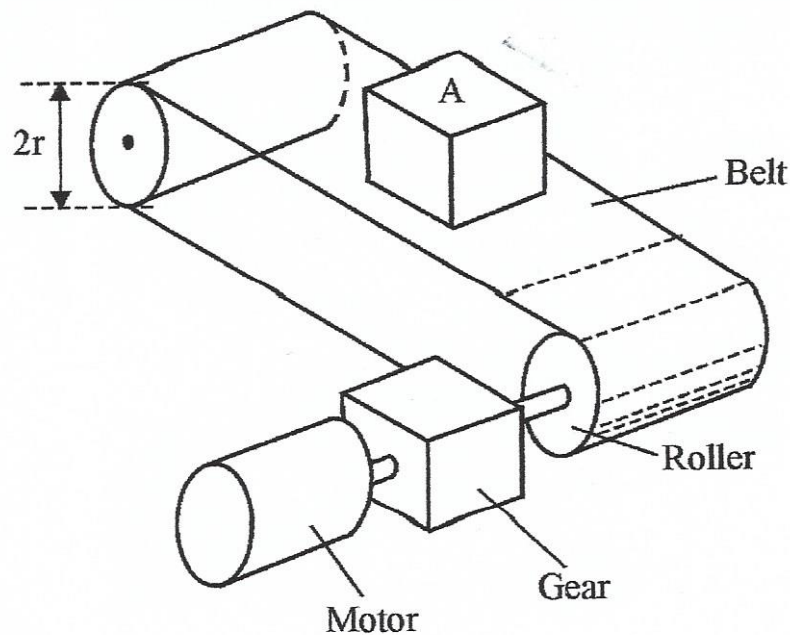
איור ב' לשאלה 4

8) נק' ג. צריכת הצרכנים ירדה לכדי 100A ללא שינוי גורם ההספק. מהו זרם העירור הנדרש לקבלת המתח

במוצא שמחושב בסעיף ב'?

שאלה 5

מנוע השראה מסובב מסוע (belt) דרך תמסורת גלגלי שיניים (gear).



איור לשאלה 5

הנתונים הנומינליים של מנוע השראה הם: חיבור הסלילים Y, הספק המוצא $5kW$, מתח הזנה $440V$, $50Hz$, גורם ההספק $\cos \varphi = 0.85$, נצילות $\eta = 88\%$. למנוע יש שני זוגות קטבים. בעבודה נומינלית ההחלקה היא 2.6% .

ידוע שההפסדים המכניים הם $145W$ וההפסדים המגנטיים הם $120W$. יחס התמסורת הוא $TR = \frac{n_{rol}}{n_M} = 0.1$.

רדיוס גלגל המסוע (roller) הוא $r = 20cm$.

(10 נק') א. המסוע מסיע מטענים. יש למצוא את המשקל הגבולי המרבי של המטענים A (ביחידות N – ניוטון) התואם את העבודה הנומינלית של המנוע. משקל סרט המסוע זניח.

(10 נק') ב. חשבו את הזרם I_M הנצרך על ידי המנוע.

מהם ההפסדים החשמליים בסטטור ΔP_{cu}^{st} וברוטור ΔP_{cu}^{rot} בעבודה הנומינלית של המערכת?

שאלה 6

נתון מנוע לזרם ישר בעל עירור זר. האופיין המכני של המנוע, במתח הזנה מסוים, מתואר באמצעות הביטוי הבא:

$$T_M(n) = 60 - 0.06 \cdot n$$

אופיין מכני של עומס מסוים מתואר באמצעות הביטוי הבא: $T_{LD}(n) = 20 + 0.02 \cdot n$

נתון: T_M – המומנט שמפתח המנוע ביחידות Nm, T_{LD} – המומנט שהעומס דורש ביחידות Nm, n – מהירות הסיבוב ביחידות rpm.

מומנט ההתמדה (האינרציה) השקול של העומס ושל רוטור המנוע הוא $J_\Sigma = 2Nmsec^2$.

(4 נק') א. מתניעים את המערכת. מהי מהירות המערכת n_{ss} , במצב המתמיד (לאחר ההתייצבות במהירות הקבועה)?

(4 נק') ב. כל עוד המהירות עולה (מההתנעה ועד המהירות הקבועה n_{ss}), המנוע מפתח את המומנט הדינמי T_{din}

שמשתנה עם הזמן. מהו המומנט הדינמי T_{din} ברגע שבו המהירות מגיעה לחצי מהמהירות הקבועה שחושבה בסעיף א'?

(4 נק') ג. תארו את הביטויים עבור T_M ו- T_{LD} כפונקציות של המהירות הזוויתית ω .

(8 נק') ד. מתניעים את המערכת ממצב מנוחה. כתבו את המשוואה הדיפרנציאלית, המתארת את תהליך ההתנעה

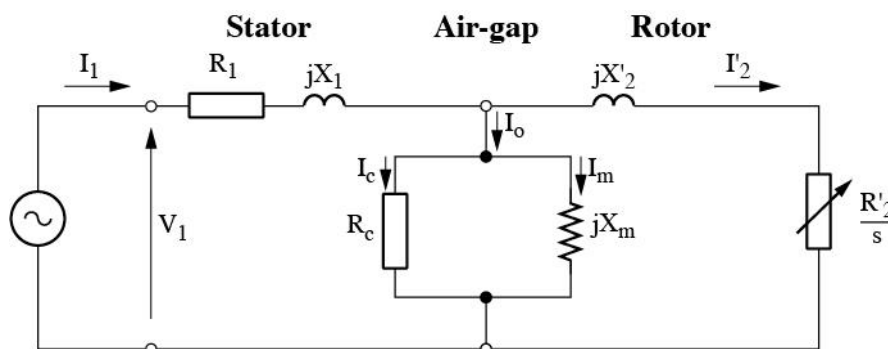
מהו הביטוי המתאר את השתנות המהירות בזמן $\omega(t)$ בתהליך ההתנעה? מהו קבוע הזמן τ של התהליך?

מהו זמן ההתייצבות t_{ss} ($t_{ss} \cong 5 \cdot \tau$)?

שאלה 7

נתוני מנוע השראה הם: Y, ארבעה קטבים, 400V, 50Hz.

באיור לשאלה 7 מוצג מעגל תמורה מדויק של פאזת מנוע השראה.



איור לשאלה 7

מאפייני מעגל התמורה הם: $R_c = 122\Omega$, $X_m = 20\Omega$, $X'_2 = 1.066\Omega$, $R'_2 = 0.154\Omega$, $X_1 = 0.852\Omega$, $R_1 = 0.15\Omega$

(6 נק') א. מהי המשמעות הפיסיקלית של הזרמים I_m ו- I_c בפעולת המנוע?

המנוע פועל בהחלקה של $s = 0.04$.

(10 נק') ב. חשבו את הזרם I_M שהמנוע צורך ואת גורם ההספק $\cos \phi$.

הערה: מומלץ לפתור את סעיף ב' בשלבים.

(4 נק') ג. חשבו את הספק P_{in} שמקבל המנוע מהרשת.

שאלה 8

נתון מנוע לזרם ישר בעל מגנטים קבועים (Permanent Magnet).

התנגדות סליל העוגן היא 0.8Ω .

(4 נק') א. מהו תפקידם של המגנטים הקבועים במנוע?

(4 נק') ב. במצב עבודה מסוים, המנוע מוזן במתח של $220V$, צורך זרם של $12A$ ומסתובב במהירות של $980rpm$.

מהם ההספק P_{em} והמומנט T_{em} האלקטרומגנטיים במצב זה?

(6 נק') ג. רוצים להגיע למהירות של $500rpm$ באמצעות הורדת מתח ההזנה. ידוע שהמומנט על ציר המנוע וגם

המומנט האלקטרומגנטי הם קבועים ללא תלות במהירות. איזה מתח יש לחבר למנוע?

(6 נק') ד. יש לבנות שני אופיינים $T_{em} = f(n)$ עבור המתחים $220V$ וזה שמחושב בסעיף ג', במערכת צירים אחת.

הערה: בתור נקודה שנייה לאופיין אפשר לבחור מצב שבו $T_{em} = 0$.

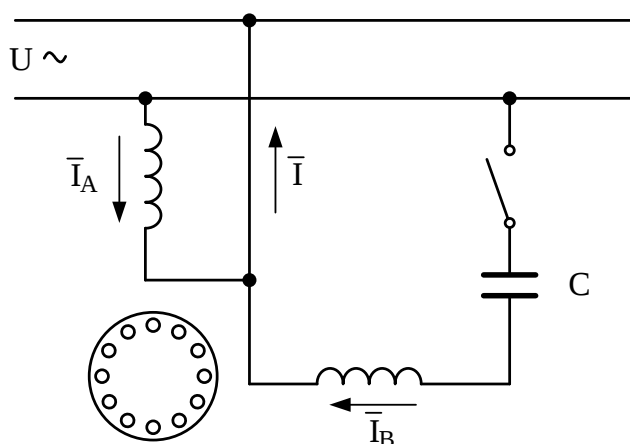
שאלה 9

התנאי ליצירת שדה מגנטי מסתובב במנוע השראה הוא קיום זרמים בסלילי הסטטור (שניים או יותר), בעלי זווית מופע שונה ביניהם.

(6 נק') א. במנוע השראה תלת-פאזי קיימים שלושה זרמים פאזיים. מהי זווית המופע ביניהם?

בהמשך לשאלה נתייחס למנוע השראה חד פאזי עם התנעה קיבולית. תיאור המנוע עם ההתנעה

הקיבולית מוצג באיור לשאלה 9.



איור לשאלה 9

בסליל העזר (B) עם קבל C נוצר זרם אשר זווית המופע שלו, ביחס למתח ההזנה, שונה מזווית המופע בסליל הראשי (A). אחרי ההתנעה נהוג לנתק את סליל העזר.

(4 נק') ב. מהי זווית מופע בין הזרמים I_A לבין I_B לקבלת מומנט ההתנעה הגדול ביותר?

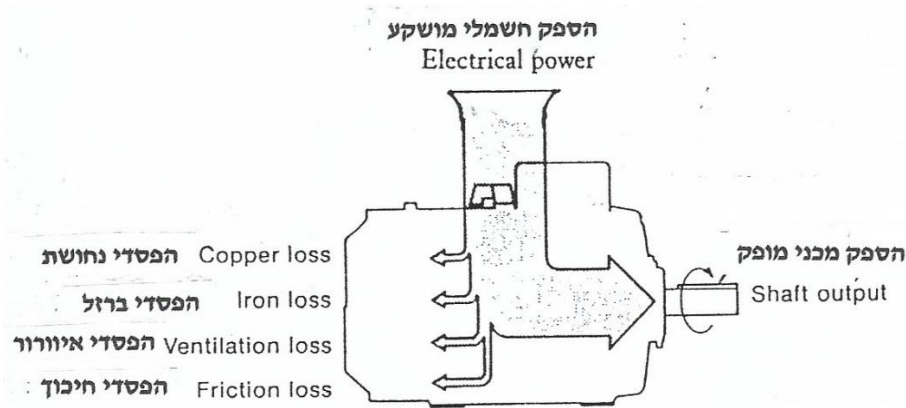
(10 נק') ג. שרטטו באופן איכותי דיאגרמה וקטורית של המנוע בעת ההתנעה המכילה את ארבעת הווקטורים:

$$\vec{U}, \vec{I}, \vec{I}_A, \vec{I}_B$$

שאלה 10 (לטכנאים בלבד)

אין קשר בין סעיפים א' ו- ב' של השאלה.

(10 נק') א. באיור א' לשאלה 10 מוצג תרשים הפסדי המנוע בתהליך המרת האנרגיה.

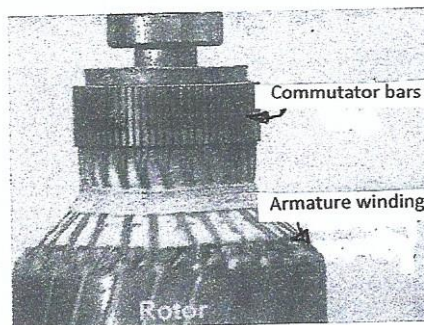


איור א' לשאלה 10

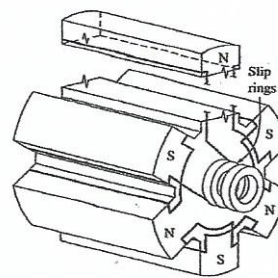
מהם המקורות במנוע להפסדים המצוינים באיור?

הערה: על התשובות להיות קצרות ככל האפשר.

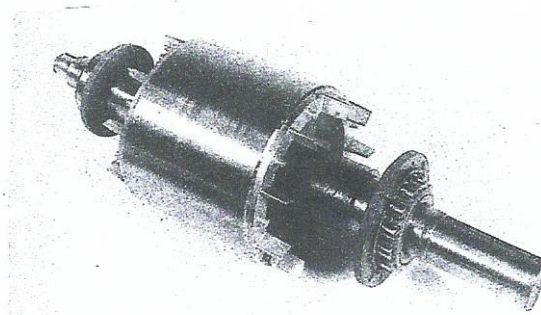
(10 נק') ב. באיור ב' לשאלה מוצגים הרוטורים של שלוש מכונות חשמל: מכונה לזרם ישר, מכונה סינכרונית ומנוע השראה.



B



A



C

איור ב' לשאלה 10

בכל תמונה (A, B, C) יש פריט או פריטים המאפשרים לזהות באופן חד משמעי את סוג המכונה. זהו את סוג המכונה לפי התמונות. הסבירו את קביעותיכם.

בהצלחה!

© כל הזכויות שמורות למה"ט

מחון מכונות חשמל והינע 90619 מועד א' קיץ 21

מספר שאלה	מספר סעיף	ניקוד לסעיף	מטרת השאלה	רמת הערכה (באחוזים)
1	א	4	הכרת מעגל הספק אלקטרוני	תשובה נכונה – 100%
	ב	4	הכרת מעגל הספק אלקטרוני	תשובה נכונה – 100%
	ג	4	הכרת מעגל הספק אלקטרוני	תשובה נכונה – 100%
	ד	4	הכרת מעגל הספק אלקטרוני	תשובה נכונה – 100%
	ה	4	הכרת מעגל הספק אלקטרוני	תשובה נכונה – 100%
2	א	8	הכרת אופיין מכאני של מנוע השראה	תשובה נכונה – 100%
	ב	6	הבנת תהליך התנעה של מנוע השראה	תשובה נכונה – 100%
	ג	6	הבנת תהליך מגנוט	תשובה נכונה – 100%
3	א	8	חישובי מעגל תמורה	תשובה נכונה – 100%
	ב	4	הבנת מצב ריקם של השנאי	תשובה נכונה – 100%
	ג	4	חישוב הפסדים בשנאי	תשובה נכונה – 100%
	ד	4	הבנת הפסדים בשנאי	תשובה נכונה – 100%
4	א	4	הבנת מגנטיות שיורית	תשובה נכונה – 100%
	ב	8	חישובים בגנרטור סינכרוני	תשובה נכונה – 100%
	ג	8	חישובים בגנרטור סינכרוני	תשובה נכונה – 100%
5	א	10	חישוב מערכת מנוע השראה-מסוע	תשובה נכונה – 100%
	ב	10	חישוב מערכת מנוע השראה-מסוע	תשובה נכונה – 100%
6	א	4	חישובים של תהליך דינמי	תשובה נכונה – 100%
	ב	4	חישובים של תהליך דינמי	תשובה נכונה – 100%
	ג	4	חישובים של תהליך דינמי	תשובה נכונה – 100%
	ד	8	חישובים של תהליך דינמי	תשובה נכונה – 100%
7	א	6	הבנת מעגל תמורה של מנוע השראה	תשובה נכונה – 100%
	ב	10	חישובי מעגל תמורה	תשובה נכונה – 100%
	ג	4	חישובי מנוע השראה	תשובה נכונה – 100%
8	א	4	חישובים במנוע DC	תשובה נכונה – 100%
	ב	4	חישובים במנוע DC	תשובה נכונה – 100%
	ג	6	חישובים במנוע DC	תשובה נכונה – 100%
	ד	6	חישובים במנוע DC	תשובה נכונה – 100%
9	א	6	הכרת שדה מגנטי מסתובב	תשובה נכונה – 100%
	ב	4	הכרת שדה מגנטי מסתובב	תשובה נכונה – 100%
	ג	10	דיאגרמה וקטורית של המנוע	תשובה נכונה – 100%
10	א	10	הכרת הפסדים במנוע	תשובה נכונה – 100%
	ב	10	הכרת סוגי המנועים	תשובה נכונה – 100%