

מכונות חשמל והנע להנדסאים – הנדסת חשמל

הנחיות לבחינה

- א. משך הבחינה: ארבע שעות.
- ב. מבנה השאלון ומפתח הערכה: בשאלון זה שמונה שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד, ערך כל שאלה 20 נקודות. סה"כ: 100 נקודות.
- ג. חומר עזר מותר לשימוש: 1. מחשבון (אין להשתמש במחשב כף יד או במחשבון עם תקשורת חיצונית). 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 יש נתון שגוי בשאלה, עליכם לציין זאת במפורש במחברת הבחינה ולבחור ערך מתאים שיאפשר להמשיך בפתרון השאלה. חובה להסביר ולנמק את הבחירה.

חל איסור מוחלט להוציא שאלון או מחברת בחינה מחדר הבחינה!

בהצלחה!

ענו על חמש מהשאלות מבין השאלות 1-8, ערך כל שאלה – 20 נקודות.

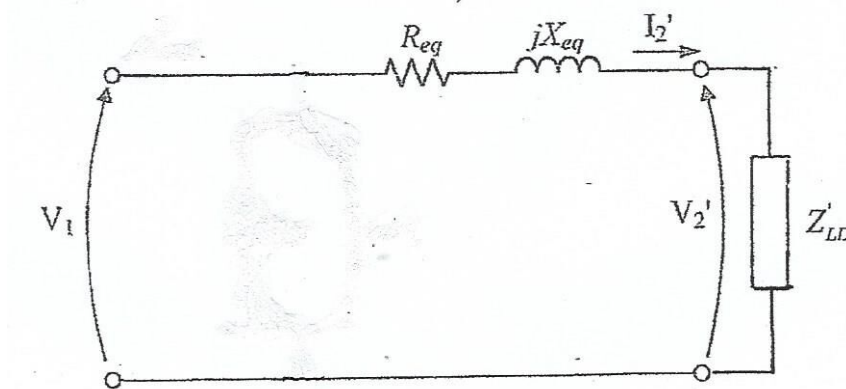
שאלה 1

(8 נק') א. נתוני שנאי חד פאזי הם: $18kVA$, $230/1800(V)$.

העכבה הטורית של השנאי היא:

$$(R_{eq} = R_1 + R_2', X_{eq} = X_1 + X_2') \quad Z = R_{eq} + jX_{eq} = 4.45 + j6.45(\Omega)$$

לפתרון השאלה יש להשתמש במעגל תמורה מקורב (ללא ענף המגנט) כפי שמוצג באיור א' לשאלה 1.



איור א' לשאלה 1

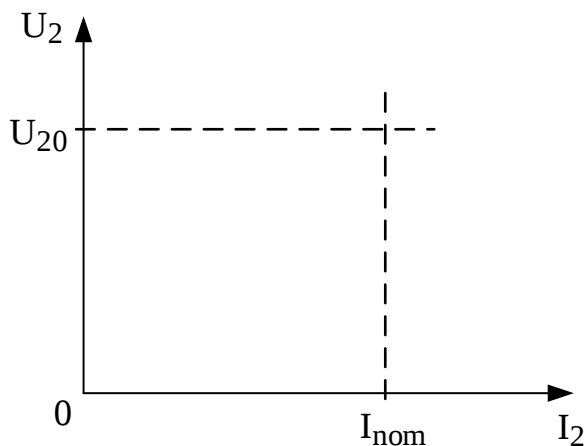
על מנת לשמור על מתח קבוע $230 V$ במוצא השנאי, כאשר העומס משתנה מזרם ריקם ועד לזרם הנומינלי, נדרש לשנות את המתח הראשוני V_1 (העומס בעל גורם הספק קבוע 0.8 מפגר).

באיזה תחום יש לשנות את המתח הראשוני V_1 ?

(4 נק') ב. מדוע ביטול ענף המגנט לא משפיע באופן משמעותי על תוצאת החישוב של המתח הראשוני?

(8 נק') ג. ידוע ששינוי המתח בשנאי תלוי בגודל העומס (הזרם I_2) וסוג העומס (זווית המופע φ_2).

באיור ב' לשאלה 1 נתונה מערכת צירים $U_2 = f(I_2)$.



איור ב' לשאלה 1

העתיקו את האיור למחברתכם וסרטטו באופן איכותי את שלוש העקומות של שינוי המתח על פני העומס, מריקם עד הזרם הנומינלי, עבור:
העומס ההתנגדותי, העומס ההשראי והעומס הקיבולי.

שאלה 2

מנוע לזרם ישר בעל עירור זר מסובב את המשאבה הצנטריפוגלית.

המשאבה דורשת בהתנעה מומנט של $T_p^{st} = 10Nm$.

התלות בין מומנט המשאבה T_p לבין מהירות המשאבה n היא ריבועית ומתוארת בנוסחה הבאה:

$$T_p - T_p^{st} = k_p \cdot n^2$$

k_p – מקדם קבוע.

ידוע שבמהירות $n = 1200rpm$ נדרש המומנט $T_p = 80Nm$.

(6 נק') א. מצאו את המקדם הקבוע k_p .

שרטטו במחברת את האופיין $T_p = f(n)$.

(6 נק') ב. נתוני המנוע הם: התנגדות סליל העוגן של המנוע היא $R_a = 1.7\Omega$.

במהירות הסיבוב של $n = 1200rpm$ המנוע מוזן במתח של $V = 340V$ ונצילותו היא $\eta = 82\%$.

בחישובים מזניחים את הפסדי הריקם במנוע, זאת אומרת מניחים ש: $T_M^{out} = T_M^{em}$

מצאו את הזרם I_a הנצרך במהירות הנתונה.

(8 נק') ג. המנוע מסובב את המשאבה במהירות $n = 800rpm$.

חשבו את המומנט על ציר המנוע, את הזרם הנצרך ואת המתח הנדרש לסובב את המנוע במהירות הזו.

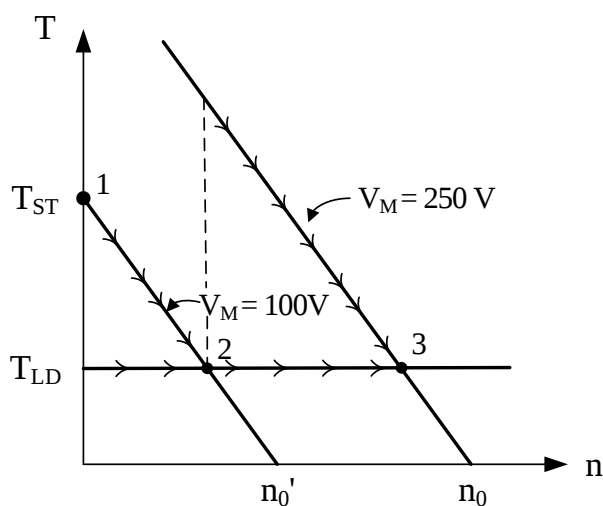
שאלה 3

הנתונים הנומינליים של מנוע DC בעל עירור זר הם :

900rpm , 250V , 3200W הנצילות $\eta = 90\%$, התנגדות סליל העוגן היא $R_a = 0.8\Omega$.

לציר המנוע מחובר מתקן בעל מומנט סטטי קבוע $T_{LD} = 30\text{Nm}$.

הפעלת המערכת מתבצעת **בשני שלבים** : בשלב הראשון, המנוע מחובר למתח של 100V , בשלב השני, לאחר התייצבות המערכת, המנוע מחובר למתח הנומינלי 250V . באיור לשאלה 3 מוצג התהליך הדו-שלבי של הפעלת המערכת.



איור לשאלה 3

באיור מוצגים שלושה אופיינים מכניים : שניים של מנוע DC עבור המתחים הנתונים ואופיין שלישי של העומס. המומנטים המוצגים באיור הם המומנטים האלקטרומגנטיים (מומנט ריקס זניח). החיצים מתארים את התהליך הדינמי של ההפעלה הדו-שלבית.

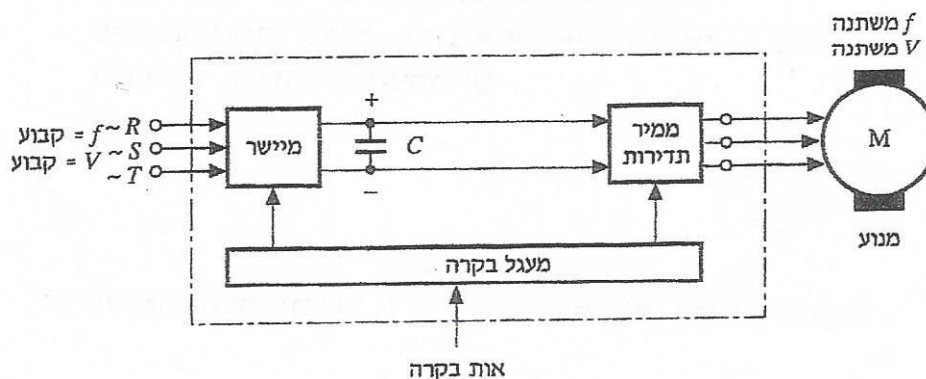
(4 נק') א. מהם הזרם I_{st} והמומנט T_{st} שמתפתחים **ברגע** חיבור המנוע למתח 100V (נקודה 1)?

(8 נק') ב. מהם הזרם I^* ומהירות המערכת n_{LD}' בנקודה 2 (המצב המתמיד אחרי השלב הראשון)?

(8 נק') ג. מהם הזרם I^{**} ומהירות המערכת n_{LD} בנקודה 3 (המצב המתמיד אחרי השלב השני)?

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מוצג תרשים עקרוני של משנה מהירות אלקטרוני למנוע השראה.



איור לשאלה 4

מעגל משנה המהירות מורכב משלושה חלקים עיקריים:

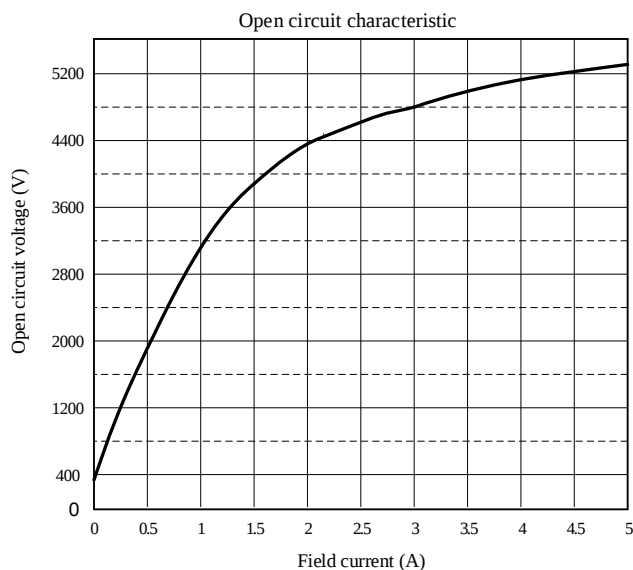
1. המיישר שתפקידו להמיר את מתח החילופין של מקור ההזנה בעל התדירות וגודל המתח הקבועים למתח הישר.
2. ממיר התדירות שתפקידו להפוך את המתח הישר למתח החילופין, עם שינוי ערכי התדירות והמתח.
3. מעגל בקרה שתפקידו לשלוט ברכיבי ההספק של משנה המהירות.
 1. המעגל יכול לספק את המתח הישר הקבוע.
 2. מאיזה סוג של רכיבי ההספק מורכב המעגל במקרה הזה?
 3. המעגל יכול לספק את המתח בישר המשתנה.
 4. מאיזה סוג של רכיבים ההספק מורכב המעגל במקרה הזה?
- 4 (נק') ב. מאיזה סוגים של רכיבי ההספק מורכב ממיר התדירות?
- 4 (נק') ג. למה יש צורך לשנות את התדירות של מתח החילופין? נמקו את תשובה בעזרת הנוסחאות המתאימות.
- 4 (נק') ד. למה יש צורך לשנות גם את גודל המתח? נמקו את התשובה בעזרת הנוסחאות המתאימות.
- 4 (נק') ה. כידוע, מתח החילופין של המקור הוא בעל תדירות של 50Hz.

האם אפשר במוצאו של משנה המהירות לקבל את מתח חילופין בעל תדירות גבוהה יותר מ- 50Hz?

הסבירו את התשובה.

שאלה 5

לגנרטור סינכרוני שסליליו מחוברים **בנוכח** בוצע ניסוי ריקם. אופיין המבטא את התלות של **מתח ריקם השלוב** בזרם העירור מוצג באיור א' לשאלה 5.



איור א' לשאלה 5

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

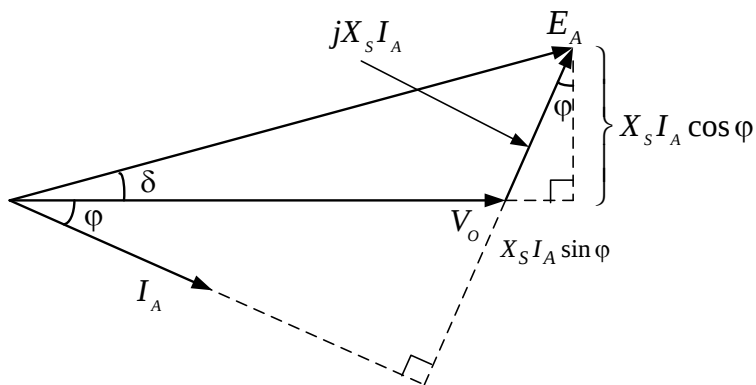
נתון: ההיגב הסינכרוני הוא 2.8Ω , ההתנגדות האוהמית של הסלילים זניחה.

(10 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 0.8.

מהו **המתח השלוב** V_g במוצא הגנרטור? מהי **זווית העומס** δ במצב זה?

הנחייה לפתרון: מומלץ להיעזר בדיאגרמה הווקטורית **פאזית** המתוארת באיור ב' לשאלה 5, ולהשתמש בנוסחת פיתגורס.



איור ב' לשאלה 5

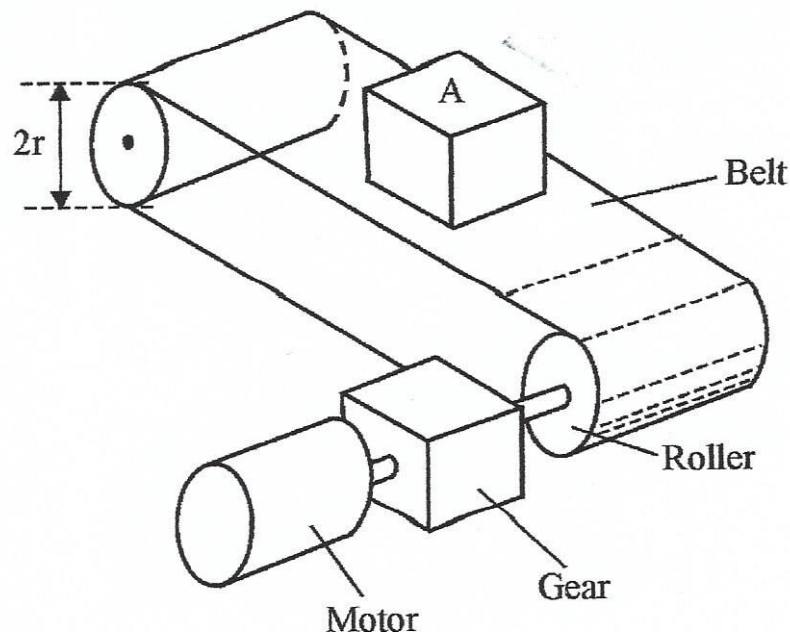
(6 נק') ג. חברה החשמל מחויבת לספק **מתח חילופין בעל גודל ותדירות קבועים**, ללא תלות במידת ההעמסה

של הגנרטורים הסינכרוניים. אילו **מאפיינים של תהליך ייצור החשמל** יש לווסת בעת שינוי העומס

כדי לענות על הדרישה הנ"ל?

שאלה 6

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



איור לשאלה 6

הנתונים הנומינליים של מנוע השראה הם: חיבור הסלילים **משולש**, הספק המוצא $2kW$, מתח ההזנה $400V$,

$50Hz$, $1460rpm$, גורם ההספק $\cos\varphi = 0.85$, נצילות 82% .

ידוע שההפסדים המכניים הם $80W$ וההפסדים המגנטיים הם $100W$.

יחס התמסורת הוא $TR = \frac{n_{rol}}{n_M} = 0.1$. רדיוס גלגל המסוע (roller) הוא $r = 20cm$.

(6 נק') א. המסוע מסיע מטענים. יש למצוא את המשקל המרבי של המטענים A (ביחידות N – ניוטון) התואם

את העבודה הנומינלית של המנוע. משקל סרט המסוע זניח.

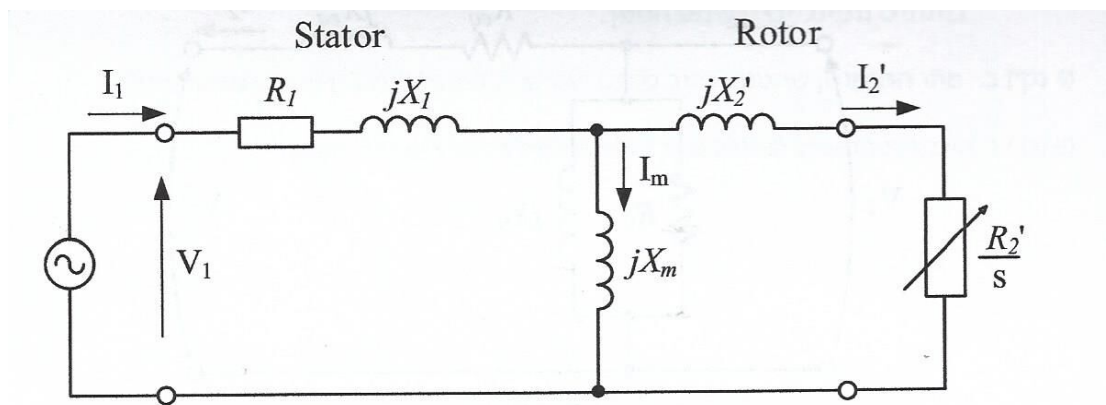
הערה: את המומנט שמייצר המטען A לגבי המסוע אפשר לחשב לפי הנוסחה: $T = A \cdot r$.

(6 נק') ב. חשבו את הזרם I_M שצורך המנוע בעבודה נומינלית.

(8 נק') ג. מהם ההפסדים החשמליים בסטטור ΔP_{cu}^{st} וברוטור ΔP_{cu}^{rot} בעבודה הנומינלית של המערכת?

שאלה 7

נתון מנוע השראה תלת-פאזי בעל שישה קטבים. חיבור הסלילים הוא בתצורת כוכב. מרכיבי מעגל התמורה הפאזי המופיע באיור לשאלה 7 הם כדלקמן:



איור לשאלה 7

$$X_m = 23\Omega, X_2' = 0.209\Omega, R_2' = 0.144\Omega, X_1 = 0.503\Omega, R_1 = 0.294\Omega$$

(4 נק') א. באיור לשאלה 7 מוצג מעגל התמורה המקורב. בענף המגנט של מעגל התמורה חסר מעגל בעל התנגדות אוהמית R_c . מה מבטא את המעגל עם jX_m בפעולת המנוע ולמה הוא המשמעותי יותר?

במצב עבודה מסוים מספק המנוע לעומס הספק של $6kW$ במהירות של $960rpm$. ההפסדים מכניים שווים ל- $420W$. חשבו:

(4 נק') ב. את ההספק האלקטרומגנטי P_{em} ואת ההפסדים החשמליים ברוטור ΔP_{cu}^{rot} .

(8 נק') ג. את הזרם הנצרך I_1 .

הנחיה לפתרון סעיף ג': את ההספק האלקטרומגנטי בשאלה זו אפשר לתאר באופן הבא:

$$P_{em} = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_{eq}, \text{ כאן: } R_{eq} - \text{החלק ההתנגדותי של הביטוי } Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq},$$

כאשר Z_{eq} היא עכבת החיבור המקבילי של ענף המגנט וענף הרוטור.

(4 נק') ד. מהם הפסדי הנחשת בסטטור ΔP_{cu}^{stat} ?

שאלה 8

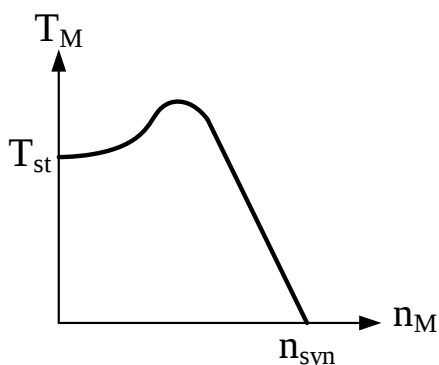
הערה: אין קשר בין סעיפי השאלה.

(6 נק') א. באיור א' לשאלה 8 מוצג אופיין מכני של מנוע השראה הבנוי עבור המתח הנומינלי.

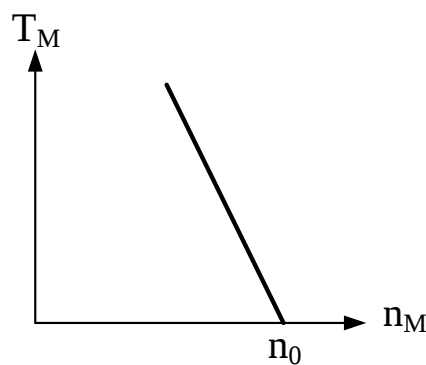
העתיקו את האופיין למחברתכם ושרטטו באותה מערכת הצירים באופן איכותי את האופיין עבור המתח שקטן מהמתח הנומינלי.

(6 נק') ב. באיור ב' לשאלה 8 מוצג אופיין מכני של מנוע לזרם ישר בעל עירור זר עבור המתח הנומינלי.

העתיקו את האופיין למחברתכם ושרטטו באותה מערכת הצירים, באופן איכותי, את האופיין עבור המתח שקטן מהמתח הנומינלי.

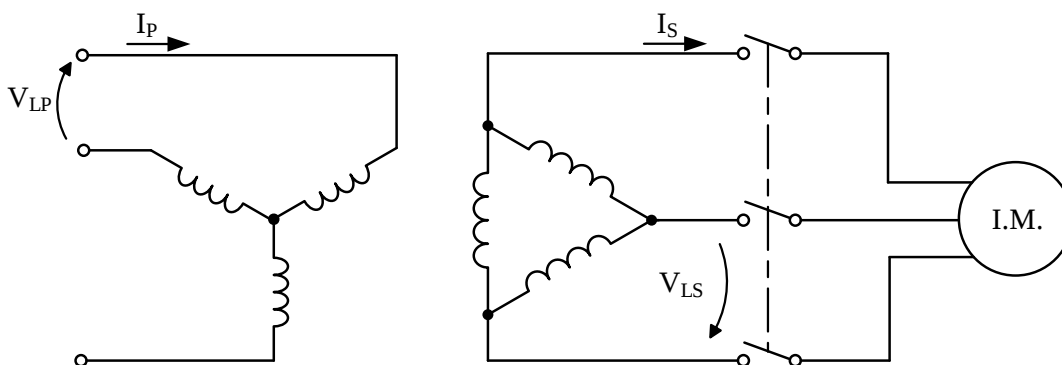


איור א' לשאלה 8



איור ב' לשאלה 8

(8 נק') ג. באיור ג' לשאלה 8 מוצגת מערכת חיבור של מנוע השראה (Induction Motor) לרשת חשמל דרך שנאי תלת פאזי. חיבור סלילי השנאי הם כפי שמוצג באיור.



איור ג' לשאלה 8

נתוני המנוע הם: $P_{out} = 50kW$, $V_{LS} = 660V$, $\cos \varphi = 0.82$, הנצילות $\eta = 86\%$.

המתח הראשוני של השנאי הוא $V_{LP} = 3300V$.

בהנחה שהשנאי הוא אידיאלי, מהם הזרמים הראשוני I_p והמשני I_s ? מהו ההספק המדומה S (KVA) הנדרש של השנאי?

בהצלחה!

© כל הזכויות שמורות למה"ט

מחון מכונות חשמל והינע להנדסאים 90619 מועד ב' קיץ 22

מספר השאלה	מספר סעיף	ניקוד לסעיף	מטרת השאלה	רמת הערכה (באחוזים)
1	א	8	חישובים בשנאי על סמך דיאגרמה וקטו.	תשובה נכונה-100%
	ב	4	הבנת דיאגרמה וקטורית.	תשובה נכונה-100%
	ג	8	הבנת אופייני העמסה של השנאי.	תשובה נכונה-100%
2	א	6	חישובים במנוע DC.	תשובה נכונה-100%
	ב	6	חישובים במנוע DC.	תשובה נכונה-100%
	ג	8	חישובים במנוע DC.	תשובה נכונה-100%
3	א	4	הבנת תהליך התנעה.	תשובה נכונה-100%
	ב	8	הבנת תהליך התנעה.	תשובה נכונה-100%
	ג	8	הבנת תהליך התנעה.	תשובה נכונה-100%
4	א	4	הכרת משנה המהירות AC.	תשובה נכונה-100%
	ב	4	הכרת משנה המהירות AC.	תשובה נכונה-100%
	ג	4	הכרת משנה המהירות AC.	תשובה נכונה-100%
	ד	4	הכרת משנה המהירות AC.	תשובה נכונה-100%
	ה	4	הכרת משנה המהירות AC.	תשובה נכונה-100%
5	א	4	חישובים בגנרטור סינכרוני.	תשובה נכונה-100%
	ב	10	חישובים בגנרטור סינכרוני.	תשובה נכונה-100%
	ג	6	חישובים בגנרטור סינכרוני.	תשובה נכונה-100%
6	א	6	חישובים במערכת עם תמסורת.	תשובה נכונה-100%
	ב	6	חישובים במערכת עם תמסורת.	תשובה נכונה-100%
	ג	8	חישובי ההפסדים במנוע.	תשובה נכונה-100%
7	א	4	הבנת דיאגרמה וקטורית.	תשובה נכונה-100%
	ב	4	חישובים על בסיס דיאגרמה וקטורית.	תשובה נכונה-100%
	ג	8	חישובים על בסיס דיאגרמה וקטורית.	תשובה נכונה-100%
	ד	4	מציאת הפסדים במנוע AC.	תשובה נכונה-100%
8	א	6	הכרת אופיין מכני של מנוע AC.	תשובה נכונה-100%
	ב	6	הכרת אופיין מכני של מנוע DC.	תשובה נכונה-100%
	ג	8	חישובים בשנאי תלת פאזי.	תשובה נכונה-100%