



מכונות חשמל והנע להנדסאים ולטכנאים – הנדסת חשמל הנחיות לנבחן

- א. משך הבחינה: ארבע שעות.
- ב. מבנה השאלון ומפתח הערכה: בשאלון זה 8 שאלות. יש לענות על 5 שאלות בלבד. ערך כל שאלה הוא 20 נקודות. סה"כ: 100 נקודות.
- ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון. (אין להשתמש במחשב כף יד או במחשבון עם תקשורת חיצונית).
קלסר אחד בלבד עם חומר ההרצאות. אין להוציא דפים מהקלסר.
שני ספרי לימוד.
אין להעביר חומר עזר, ספרים ומחשבוניס בין הנבחנים.
- ד. הוראות מיוחדות:
- יש לקרוא בעיון את ההנחיות בדף השער ואת כל שאלות הבחינה, ולוודא שהן מובנות.
 - 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.
 - יש לכתוב את התשובות **בעט בלבד**, בכתב יד ברור.
 - יש להתחיל כל תשובה בעמוד חדש ולציין את מספר השאלה ואת הסעיף. אין צורך להעתיק את השאלה עצמה.
 - טיוטה יש לכתוב במחברת הבחינה בלבד. יש לרשום את המילה "טיוטה" בראש העמוד ולהעביר קו על הכתוב כדי שלא ייבדק.
 - אין לאחד סעיפים!** לכל סעיף שבשאלה יש לתת תשובה נפרדת.
 - תשובה מלאה לסעיף שאלה, הכרוך בחישובים, היא תשובה, שבה מוצג הביטוי המתמטי, שלפיו ייעשה החישוב, הערכים מוצגים בביטוי, ותוצאת החישוב מוצגת באמצעות מספר ויחידות.
 - כל מספר, המוצג בביטוי מתמטי, חייב להיות תוצאה של חישוב קודם או נתון המופיע בגוף השאלה.
 - אין השימוש במחשבון פוטר מהצורך להציג את הצבת הערכים בביטוי המתמטי.
 - תשובה שאינה מנומקת או שאין דרך הפתרון מוצגת בה **לא תזכה בניקוד כלל**.
 - אם להערכתך חסר נתון או קיים נתון שגוי בשאלה, עליך לציין זאת במפורש במחברת הבחינה, ולבחור ערך מתאים שיאפשר לך להמשיך בפתרון השאלה. חובה להסביר ולנמק את הבחירה.

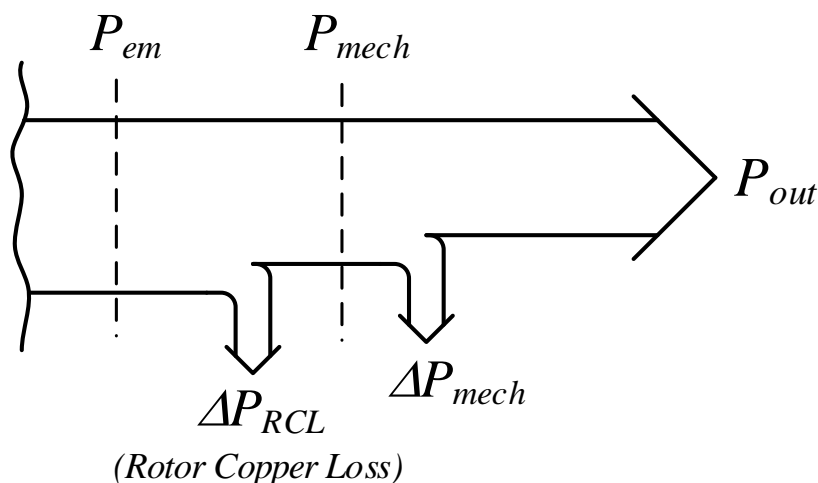
חל איסור מוחלט להוציא שאלון או מחברת בחינה מחדר הבחינה!
ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

בהצלחה!

ענה על חמש שאלות מבין השאלות 1-8 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה מספר 1

השאלה מתייחסת ליצירת המומנטים במנוע השראה. באיור לשאלה מוצג חלק מתרשים זרימת ההספקים וההפסדים במנוע השראה.



איור לשאלה 1

הנח שההספק האלקטרומגנטי, P_{em} , נתון.

ידוע גם הקשר בין ההספקים P_{em} ו- P_{mech} : $P_{mech} = (1 - s) \cdot P_{em}$, כאשר s - החלקה.

8 נק') א. המומנט האלקטרומגנטי T_{em} שווה ל- $T_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_1}$, כאשר ω_1 - המהירות הזוויתית של השדה המסתובב. הוכח שאת המומנט T_{em} ניתן לחשב גם בדרך הבאה:

$$T_{em} = \frac{P_{mech}}{\omega_M}, \text{ כאשר } \omega_M - \text{ המהירות הזוויתית של ציר המנוע.}$$

6 נק') ב. פתח נוסחה לחישוב ההפסדים החשמליים ברוטור ΔP_{RCL}

על סמך ידיעת ההספק P_{em} והחלקה s .

6 נק') ג. השלם את תרשים ההספקים וההפסדים. אילו הפסדים יש עוד לקחת בחשבון כדי

להגיע להספק הכניסה P_{in} ?

שאלה מספר 2

נתונים נומינליים של מנוע DC בעל עירור זר הם :

המתח- 250V, הזרם- 12A, המהירות- 1000 rpm, הנצילות- 90% . $R_a = 1.2 \Omega$.

מומנט ריקם $T_0 = 1.2 Nm$.

המנוע צריך לסובב עומס בעל מומנט קבוע, $T_{LD} = 18 Nm$.

4 נק' א. הוכח שהמנוע מסוגל להניע את העומס הנתון.

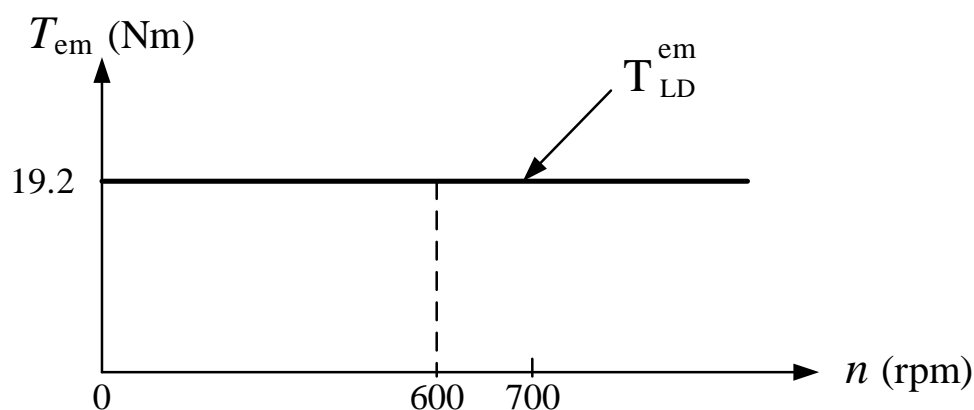
בהמשך הפתרון מתייחסים למומנט האלקטרומגנטי של המנוע. לגבי העומס, המומנט

האלקטרומגנטי שלו יהיה $T_{LD}^{em} = 18 + 1.2 = 19.2 Nm$.

6 נק' ב. חשב את הזרם, הנצרך על ידי המנוע.

4 נק' ג. נדרש לסובב את העומס במהירות של 600 rpm. איזה מתח יש לחבר למנוע?

6 נק' ד. באיור לשאלה מתואר אופיין מכני של העומס :



איור לשאלה 2

העתק את האיור למחברתך, והשלם את הסרטוט על ידי הוספת אופיין מכני של המנוע למצב הפעולה, המתואר בסעיף ג' לשאלה.

(הנחייה לפתרון של סעיף ד'. ניתן להגדיר את אופיין המנוע על ידי שתי נקודות בלבד : נקודת

העבודה הנתונה והנקודה עבור $(T_{em} = 0)$.

שאלה מספר 3

נתוני גנרטור סינכרוני הם: חיבור Y, 200 kVA , 480 V , 50 Hz , $2 p$, $R_a = 0.04 \Omega$,
 $X_s = 0.25 \Omega$. ההפסדים המכניים שווים ל- 6 kW , ואילו הפסדי המיגנוט שווים ל- 4 kW .
העומס, שמחובר לגנרטור, הוא בעל גורם הספק 0.75 מפגר.

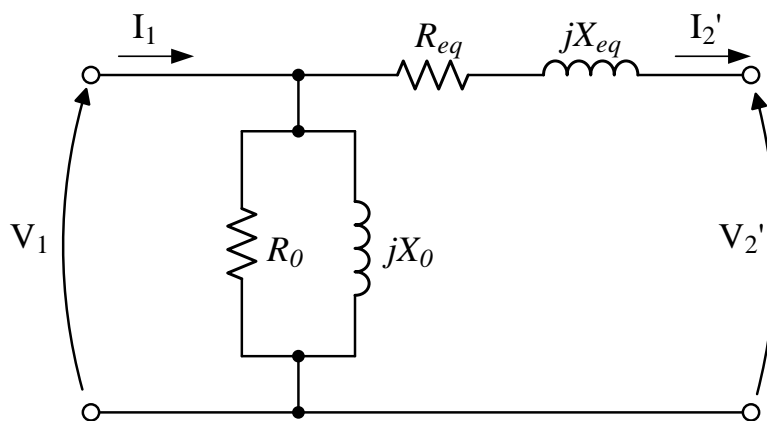
6 נק' א. הוכח שמנוע דיזל בעל הספק נומינלי של 200 kW יכול לסובב את הגנרטור, הפועל
בנתונים נומינליים ובעומס הנתון.

6 נק' ב. מהו המומנט, שהמנוע חייב לספק לגנרטור, הפועל במצב נומינלי ובעומס הנתון?

8 נק' ג. חשב את הכא"מ לפאזה ואת זווית העומס במצב העבודה הנתון.

שאלה מספר 4

נתון שנאי חד פאזי מוריד מתח: 100 kVA , $V \frac{6000}{400}$, 50 Hz . ההתנגדות של סליל המתח הגבוהה היא 0.72Ω , ושל סליל המתח הנמוך היא 0.007Ω . ההיגב של סליל המתח הגבוהה הוא 0.92Ω , ושל סליל המתח הנמוך - 0.009Ω . באיור לשאלה מתואר מעגל התמורה של השנאי:



איור לשאלה 4

במצב ריקס נצרך הזרם של 2 A בגורם הספק של 0.16 . בעומס הנומינלי ובגורם הספק של 0.8 מפגר, המתח במוצא השנאי הוא 400 V .

חשב את:

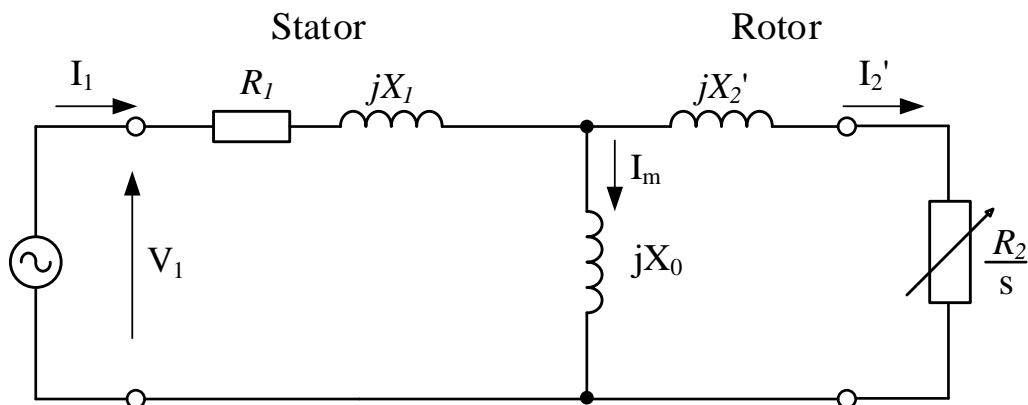
(10 נק') א. המתח הראשוני של השנאי.

(4 נק') ב. הפסדי המיגנוט ΔP_{Fe} .

(6 נק') ג. נצילות השנאי.

שאלה מספר 5

נתוני מנוע השראה תלת פאזי הם: חיבור Y, 6 קטבים, 440 V , 50 Hz .
 מרכיבי מעגל התמורה לפאזה הם: $R_1 = 0.082\ \Omega$, $X_1 = 0.19\ \Omega$, $R_2' = 0.07\ \Omega$,
 $X_2' = 0.18\ \Omega$, $X_0 = 7.2\ \Omega$ (השפעת R_0 מוזנחת). $\Delta P_{mech} = 1300\text{ W}$.
 מעגל התמורה של פאזת המנוע מתואר באיור לשאלה:



איור לשאלה 5

המנוע פועל בהחלקה של 0.04.

חשב את:

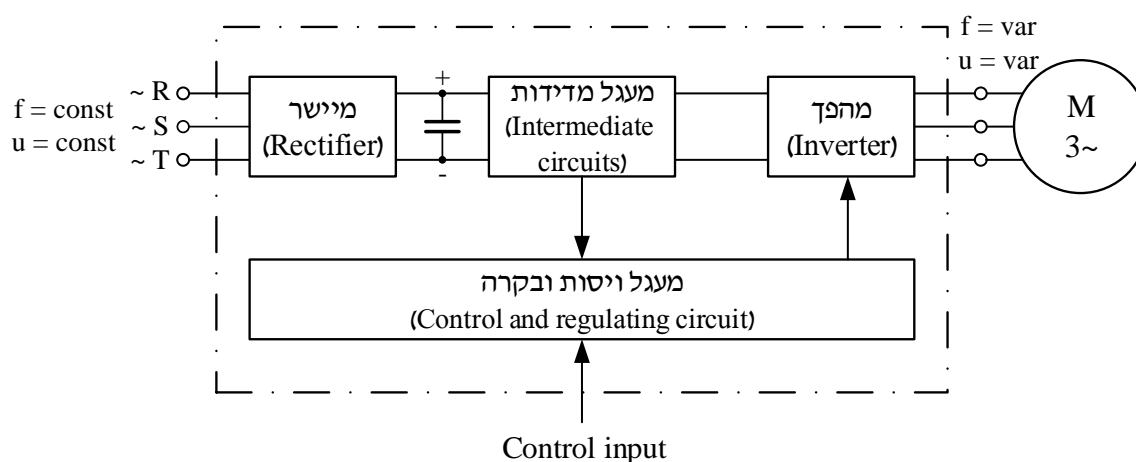
10 נק' א. הזרם הנצרך וגורם ההספק.

6 נק' ב. ההפסדים החשמליים ברוטור ΔP_{Cu}^{rotor} .

4 נק' ג. המומנטים T_{em} ו- T_{out} .

שאלה מספר 6

באיור א' לשאלה נתון מבנה של משנה מהירות אלקטרוני למנוע זרם חילופין:



איור א' לשאלה 6

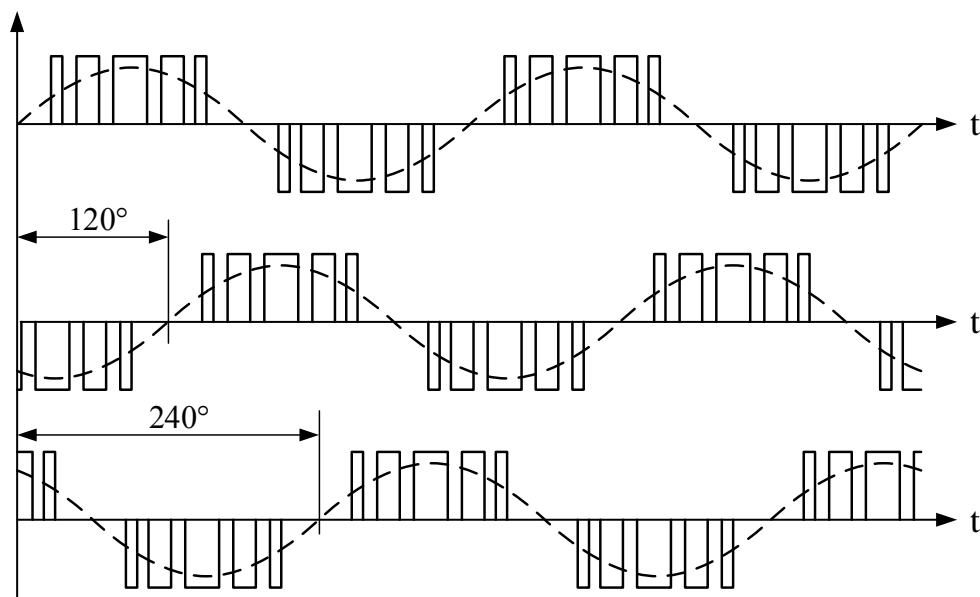
משנה המהירות האלקטרוני מוזן ממקור זרם חילופין, שהפרמטרים שלו (תדירות וגודל המתח) קבועים. במשנה המהירות מתבצע יישור מתח חילופין והפיכת המתח הישר למתח החילופין, תוך כדי שינוי התדירות ואמפליטודת המתח כנדרש.

6 (נק' א). למה נדרש לשנות את תדירות המתח, המגיע למנוע, כדי לשנות את מהירות המנוע? נמק את תשובתך בעזרת הנוסחאות המתאימות.

8 (נק' ב). למה נדרש גם לשנות את המתח, המגיע למנוע? באיזה יחס לתדירות יש לשנות את המתח?

6 נק') ג. לפי איור א', המיישר הופך מתח חילופין למתח ישר. המהפך מייצר מתח תלת פאזי.

באיור ב' נראים גלי המתח לכל פאזה:



Three-phase PWM output voltage waveforms

איור ב' לשאלה 6

השיטה PWM מאפשרת לקבל את צורת המתח דמוי הסינוס (הקו המקווקו).

מאיזה סוג של התקני הספק מורכב המהפך?

פרט את המילים באנגלית של השיטה PWM. מהו תרגום הביטוי לעברית?

שאלה מספר 7

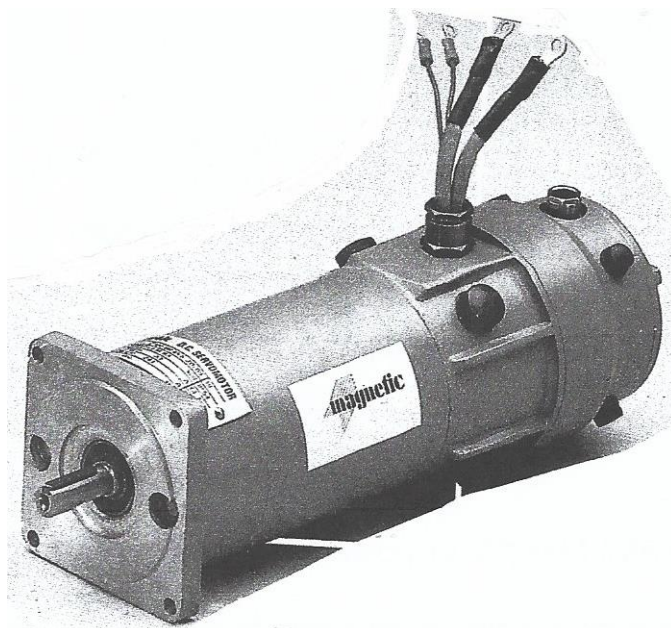
אין קשר בין שני סעיפי השאלה.

10 נק' א. בסלילי מכונות החשמל המסתובבות (מנוע או גנרטור, מכונה DC או מכונה AC) נוצר כוח אלקטרומניע מושרה (כא"ם).

מהם הגורמים בפעולת המערכת, שקובעים את ערכו של הכא"ם?

10 נק' ב. תכונות דינמיות של מערכת מנוע – עומס מכני מתבטאות ביכולת המערכת לשנות את המהירות מגודל אחד לאחר, בפרקי הזמן הקצרים ביותר. הגורם העיקרי, שמשפיע על תכונה זו, הוא מומנט ההתמדה (האינרציה) של המערכת. ככל שלמנוע מומנט ההתמדה של הרוטור גדול יותר, כך נדרש יותר זמן לשינוי המהירות.

באיור ב' לשאלה נראית תמונה של מנוע בקרה תעשייתי:



איור לשאלה 7

צורת הרוטור של המנוע היא גלילית מוארכת עם רדיוס קטן. הוכח, בעזרת הנוסחה לחישוב מומנט ההתמדה לגופים גליליים, שרוטור כזה עדיף על פני רוטור קצר בעל רדיוס גדול.

שאלה מספר 8

אופיין מכני של מנוע לזרם ישר, בעל עירור זר, מתואר על ידי הביטוי הבא:

$$T_M(n) = 80 - 0.06 \cdot n$$

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

נתון: T_M - מומנט שמפתח המנוע ביחידות Nm , T_{LD} - מומנט שנדרש על ידי העומס ביחידות

Nm , n - מהירות הסיבוב ביחידות rpm .

מומנט ההתמדה (האינרציה) השקול של העומס ושל רוטור המנוע הוא $J_\Sigma = 2 Nm \text{ sec}^2$.

6 נק') א. מצא את מהירות המערכת, n_{ss} , במצב המתמיד (לאחר ההתייצבות במהירות הקבועה).

4 נק') ב. תאר את הביטויים עבור T_M ו- T_{LD} כפונקציות של המהירות הזוויתית ω . מתניעים את המערכת ממצב מנוחה.

10 נק') ג. כתוב את המשוואה הדיפרנציאלית, המתארת את תהליך ההתנעה ואת ביטוי השתנות המהירות בזמן, $\omega(t)$, בתהליך ההתנעה. מהו קבוע הזמן של התהליך? בדוק, האם הביטוי שקיבלת נותן תוצאה במצב המתמיד, הזהה לערך המהירות, שחושב בסעיף א'?

בהצלחה!

© כל הזכויות שמורות למה"ט

מחווון לשאלון "מכונות חשמל והנע" – 90619, 93619 מועד ב אביב תשע"ט 2019

מספר שאלה	מספר סעיף	ניקוד לסעיף	מטרת השאלה	רמת הערכה (באחוזים)
1	א	8	חישובים בתרשים זרימת האנרגיה של מנוע השראה	תשובה נכונה-100%
1	ב	6	חישובים בתרשים זרימת האנרגיה	תשובה נכונה-100%
1	ג	6	הכרת תרשים זרימת האנרגיה	תשובה נכונה-100%
2	א	4	חישוב מומנט של מנוע DC	תשובה נכונה-100%
2	ב	6	חישובים במנוע DC	תשובה נכונה-100%
2	ג	4	חישובים במנוע DC	תשובה נכונה-100%
2	ד	6	הכרת אופיין מכני של מנוע DC	תשובה נכונה-100%
3	א	6	חישובים להפעלת גנרטור סינכרוני	תשובה נכונה-100%
3	ב	6	חישוב מומנט להפעלה גנרטור סינכרוני	תשובה נכונה-100%
3	ג	8	חישובים בגנרטור סינכרוני	תשובה נכונה-100%
4	א	10	חישובים בשנאי הספק על בסיס מעגל תמורה	תשובה נכונה-100%
4	ב	4	חישובים בשנאי הספק	תשובה נכונה-100%
4	ג	6	חישובים בשנאי הספק	תשובה נכונה-100%
5	א	10	חישובים במנוע השראה על בסיס מעגל תמורה	תשובה נכונה-100%
5	ב	6	חישובים במנוע השראה	תשובה נכונה-100%
5	ג	4	חישובי המומנטים במנוע השראה	תשובה נכונה-100%
6	א	6	הכרת משנה מהירות	תשובה נכונה-100%

	אלקטרוני למנוע השראה			
תשובה נכונה-100%	הכרת משנה מהירות אלקטרוני	8	ב	6
תשובה נכונה-100%	הכרת שיטת הבקרה PWM	6	ג	6
תשובה נכונה-100%	הבנה ביצירת כוח מניע מושרה	10	א	7
תשובה נכונה-100%	הכרת תכונות של מנוע בקרה	10	ב	7
תשובה נכונה-100%	הכרת מצב סטטי של מנוע	6	א	8
תשובה נכונה-100%	תיאור המומנטים למצב הדינמי	4	ב	8
תשובה נכונה-100%	חישובים במצב הדינמי	10	ג	8