

תוכן העניינים:

2.....	אינדקס חלוקת שאלות לפי נושאים :
2.....	שנאים :
3.....	מנוע השראה תלת פאזי (מנוע AC) :
4.....	מכונות סינכרוניות :
5.....	מכונות זרם ישר :
7.....	שאלות כלליות (משלבות מספר נושאים) :
8	מכונות חשמל
8	בחינות משנים קודמות
8.....	מבחן קיץ 2021 מועד ב :
17.....	מבחן קיץ 2021 מועד א :
24.....	מבחן אביב 2021 מועד ב :
31.....	מבחן אביב 2021 מועד א :
38.....	מבחן קיץ 2020 מועד ב :
50.....	מבחן קיץ 2020 מועד א :
58.....	מבחן אביב 2020 מועד א :
65.....	מבחן קיץ 2019 מועד ב :
73.....	מבחן קיץ 2019 מועד א :
78.....	מבחן אביב 2019 מועד ב :
84.....	מבחן אביב 2019 מועד א :
88.....	מבחן קיץ 2018 מועד ב :
93.....	מבחן קיץ 2018 מועד א :
98.....	מבחן אביב 2018 מועד ב :
101.....	מבחן אביב 2018 מועד א :
105.....	מבחן קיץ 2017 מועד ב :
109.....	מבחן קיץ 2017 מועד א :
112.....	מבחן אביב 2017 :
117.....	מבחן קיץ 2016 :
121.....	מבחן אביב 2016 :

אינדקס חלוקת שאלות לפי נושאים:

בנספח זה תוכלו למצוא חלוקה של שאלות הבחינות לפי נושאי הלימוד הכיתתי.

שנאים:

שנאי חד פאזי:

שנה	מועד	שאלה	הערות
2021	קיץ ב	5	
2021	קיץ א	3	
2021	אביב א	7	סעיף ג בלבד
2021	אביב א	2	סעיף א בלבד
2020	קיץ ב	7	
2020	קיץ א	10	
2020	קיץ א	2	סעיפים א-ב בלבד.
2020	אביב א	5	
2019	קיץ ב	6	
2019	קיץ א	1	
2019	אביב ב	4	
2019	אביב א	1	
2018	קיץ ב	1	
2018	קיץ א	5	
2018	אביב ב	1	
2018	אביב א	1	
2018	אביב א	2	
2017	קיץ ב	6	
2017	קיץ א	1	
2017	אביב	1	
2016	קיץ	1	השאלה עוסקת בשנאי עצמי (Auto-Transformer)

שנאי תלת פאזי:

שנה	מועד	שאלה	הערות
2021	קיץ ב	6	רק סעיף ב
2021	אביב ב	5	
2021	אביב א	2	סעיף ב בלבד
2020	קיץ ב	10	
2020	קיץ א	2	סעיף ד בלבד
2020	אביב א	3	
2019	קיץ ב	8	

	2	קיץ ב	2018
	2	אביב ב	2018
	2	קיץ א	2017
	2	אביב	2017
	2	קיץ	2016
	1	אביב	2016
	2	אביב	2016

מנוע השראה תלת פאזי (מנוע AC):

הערות	שאלה	מועד	שנה
VFD על	10	קיץ ב	2021
רק סעיף א	6	קיץ ב	2021
	4	קיץ ב	2021
	9	קיץ א	2021
	7	קיץ א	2021
	5	קיץ א	2021
	2	קיץ א	2021
תמסורת מומנט וחישובי הספקים	7	אביב ב	2021
	3	אביב ב	2021
VFD על	1	אביב ב	2021
	5	אביב א	2021
	4	אביב א	2021
	11	קיץ ב	2020
	8	קיץ ב	2020
	4	קיץ ב	2020
כולל עומס מכני	2	קיץ ב	2020
VFD על	1	קיץ ב	2020
	11	קיץ א	2020
	5	קיץ א	2020
VFD על	4	קיץ א	2020
	2	אביב א	2020
	4	אביב א	2020
	7	אביב א	2020
	9	אביב א	2020
	1	קיץ ב	2019
	3	קיץ ב	2019
	5	קיץ ב	2019
	3	קיץ א	2019
	6	קיץ א	2019
	7	קיץ א	2019
	1	אביב ב	2019
	5	אביב ב	2019

הסרטון כולל הסבר מורחב על מעגל VFD.	6	אביב ב	2019
	4	אביב א	2019
	8	אביב א	2019
	3	קיץ ב	2018
	4	קיץ ב	2018
	5	קיץ ב	2018
	1	קיץ א	2018
	6	קיץ א	2018
	8	קיץ א	2018
	3	אביב ב	2018
	4	אביב ב	2018
	3	אביב א	2018
	4	אביב א	2018
	6	אביב א	2018
	4	קיץ ב	2017
	5	קיץ א	2017
	6	קיץ א	2017
	3	אביב	2017
	4	אביב	2017
	3	קיץ	2016
	4	קיץ	2016
השאלה כוללת גם הינע חשמלי	3	אביב	2016
	4	אביב	2016

מכונות סינכרוניות:

גנרטור סינכרוני:

שנה	מועד	שאלה	הערות
2021	קיץ ב	3	
2021	קיץ א	4	
2021	אביב ב	4	
2021	אביב א	6	
2020	קיץ ב	5	
2020	קיץ ב	9	סעיף א בלבד.
2020	קיץ א	9	
2020	קיץ א	3	
2020	אביב א	6	בסעיף ג' יש גם מנוע סינכרוני
2019	קיץ א	4	
2019	אביב ב	3	
2019	אביב א	6	
2018	קיץ ב	7	

	3	קיץ א	2018
	7	אביב ב	2018
	7	אביב א	2018
	3	קיץ ב	2017
	8	קיץ א	2017
	7	אביב	2017
השאלה כוללת גם הינע חשמלי ועבודה בטמפי' משתנה	7	קיץ	2016
	7	אביב	2016

מנוע סינכרוני:

שנה	מועד	שאלה	הערות
2017	קיץ ב	8	
2017	קיץ א	7	
2017	אביב	8	
2016	קיץ	8	השאלה כוללת גם הינע חשמלי ומומנט שקול
2016	אביב	8	השאלה כוללת גם הינע חשמלי

מכונות זרם ישר:

גנרטור זרם ישר:

שנה	מועד	שאלה	הערות
2018	קיץ א	2	
2017	קיץ ב	1	

מנוע זרם ישר (מנוע DC):

שנה	מועד	שאלה	הערות
2021	קיץ ב	8	
2021	קיץ ב	7	
2021	קיץ ב	2	כולל מומנט אינרציה ופתרון מד"ר
2021	קיץ ב	1	אות PWM ו-D.C.
2021	קיץ א	8	
2021	קיץ א	6	
2021	קיץ א	1	מעגל PWM לשליטה במנוע DC
2021	אביב ב	9	
2021	אביב ב	6	כולל מומנט אינרציה ופתרון מד"ר
2021	אביב ב	2	
2021	אביב א	9	
2021	אביב א	8	כולל מומנט אינרציה ופתרון מד"ר

	3	אביב א	2021
	6	קיץ ב	2020
	3	קיץ ב	2020
	7	קיץ א	2020
	6	קיץ א	2020
עירור זר + עומס מכני	1	קיץ א	2020
	1	אביב א	2020
	8	אביב א	2020
	4	קיץ ב	2019
	7	קיץ ב	2019
	2	קיץ א	2019
	5	קיץ א	2019
	2	אביב ב	2019
	8	אביב ב	2019
	3	אביב א	2019
	5	אביב א	2019
הסרטון כולל הסבר מקיף על מומנט אינרציה ומד"ר	6	קיץ ב	2018
	8	קיץ ב	2018
השאלה כוללת גם הינע חשמלי	4	קיץ א	2018
	7	קיץ א	2018
	5	אביב ב	2018
	6	אביב ב	2018
	8	אביב ב	2018
	5	אביב א	2018
	8	אביב א	2018
	2	קיץ ב	2017
הסרטון כולל הסבר מתמטי מורחב	7	קיץ ב	2017
	3	קיץ א	2017
	4	קיץ א	2017
	5	אביב	2017
	6	אביב	2017
	5	קיץ	2016
השאלה כוללת גם הינע חשמלי	6	קיץ	2016
	5	אביב	2016
השאלה כוללת גם הינע חשמלי	6	אביב	2016

שאלות כלליות (משלבות מספר נושאים):

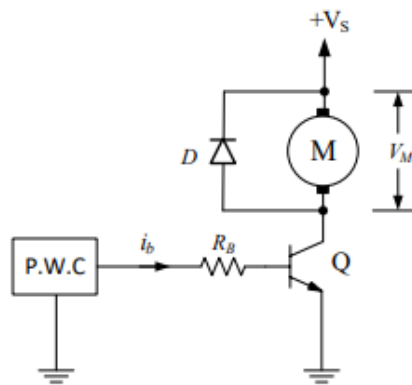
שנה	מועד	שאלה	הערות
2021	קיץ ב	9	שנאי תלת פאזי, שנאי חד פאזי, שאלות כלליות
2021	קיץ א	10	זיהוי סוג מכונה
2021	אביב ב	10	מנוע AC, שנאי
2021	אביב ב	8	מנוע DC, מנוע AC, גנרטור
2021	אביב א	10	זיהוי סוג מכונה
2021	אביב א	7	שנאי ומנועים, סעיפים א-ב בלבד
2021	אביב א	1	מנועי DC, AC, מעגל בקרה
2020	קיץ ב	9 ב	מנוע AC ומנוע DC, מנוע סינכרוני
2020	קיץ א	8	מנוע AC ומנוע DC
2019	קיץ ב	2	גנרטור סינכרוני, מומנט של כל סוגי המכונות
2019	קיץ א	8	מכונת DC, מכונה סינכרונית, מנוע AC
2019	אביב ב	7	מכונת DC, מכונת AC, מומנט התמד
2019	אביב א	2	שנאי תלת-פאזי, מנוע DC, מנוע AC
2019	אביב א	7	מנוע DC, מנוע AC
2017	קיץ ב	5	מנוע DC, מנוע AC

מכונות חשמל

בחינות משנים קודמות

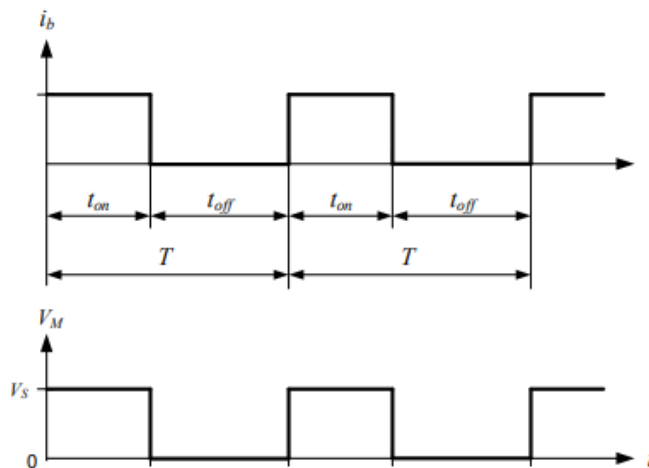
מבחן קיץ 2021 מועד ב:

1) באיור א' לשאלה 1 מוצג מעגל בקרת מהירות מנוע DC בעל מגנטים קבועים.



איור א' לשאלה 1

בקרת המהירות מבוססת על שינוי המתח המסופק למנוע. השיטה המקובלת לשינוי המתח היא בקרת רוחב הדופק (PWC – Pulse Width Control). טרנזיסטור הספק Q הוא מסוג בי פולרי NPN. מניחים שהטרנזיסטור הוא אידיאלי. מעגל בקרה PWC מספק זרם i_b לבסיס הטרנזיסטור באופן מחזורי (זמן מחזור T) כמוצג באיור ב' לשאלה 1.



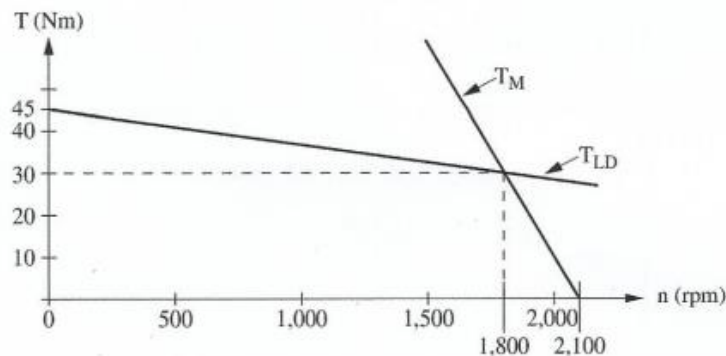
איור ב' לשאלה 1

המחזור T מחולק לפרקי הזמן t_{on} ו- t_{off} . בפרק הזמן t_{on} הזרם זורם בבסיס הטרנזיסטור Q והטרנזיסטור ברוויה. למנוע מסופק מתח המקור V_s . בפרק הזמן t_{off} אין זרם בבסיס והטרנזיסטור בקטעון. כתוצאה מכך אין מתח על הדקי המנוע. נתוני המעגל, עבור המהירות המסוימת, הם: $T = 50\text{msec}$, $t_{on} = 30\text{msec}$, $V_s = 24\text{V}$. ענו על הסעיפים הבאים:

- הגדירו את המושג יחס המיתוג (Duty Cycle) D.C. מה ערכו של יחס המיתוג במצב העבודה הנתון?
- חשבו את המתח הממוצע V_M על הדקי המנוע, עבור מצב העבודה הנתון.
- מהו תפקידה של הדיודה D במעגל?
- האם גל שינוי הזרם במנוע יהיה זהה לזה של שינוי המתח? אם התשובה היא "לא", העתיקו למחברת את גל שינוי המתח על פני המנוע ותארו על פני אותו השרטוט, באופן איכותי, את גל שינוי הזרם.

(2) מנוע DC בעל עירור זר, מסובב עומס מכאני בעל אופיין: $T_{LD} = f(n)$ כמוצג באיור לשאלה 2.

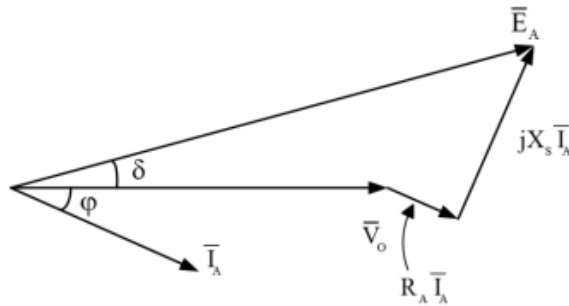
באיור מתואר גם אופיין: $T_M = f(n)$ של המנוע עבור מתח הזנה מסוים.



איור לשאלה 2

- לכל אופיין מוגדרות שתי נקודות התלות שבין המומנט למהירות.
- כתבו, על סמך נתוני האופיינים, את שני הביטויים המבטאים את התלות בין המומנטים T_M ו- T_{LD} לבין המהירות n.
 - תארו את הביטויים הנ"ל כפונקציות של המהירות הזוויתית ω .
 - נתון שמומנט ההתמדה (האינרציה) השקול של העומס והמנוע הוא: $J_\Sigma = 0.8\text{Nm sec}^2$. מתניעים את המערכת ממצב מנוחה. תארו באמצעות ביטוי מתמטי את השתנות המהירות ω בזמן: $\omega = f(t)$ בתהליך ההתנעה. מהו קבוע הזמן של התהליך? מהי המהירות במצב המתמיד?

- 3) השאלה מתייחסת לגנרטור סינכרוני תלת-פאזי בחיבור כוכב, בעל שלושה זוגות קטבים המספק לצרכנים אנרגיה חשמלית בתדירות של 50Hz. פאזת הגנרטור מאופיינת באמצעות התנגדות אוהמית R_A והיגב סינכרוני X_S . א. באיור לשאלה 3 מוצגת דיאגרמה וקטורית של פאזת הגנרטור למצב מסוים של פעולת הגנרטור.



איור לשאלה 3

נתון :

V_ϕ - מתח פאזי.

E_A - כא"ם פאזי.

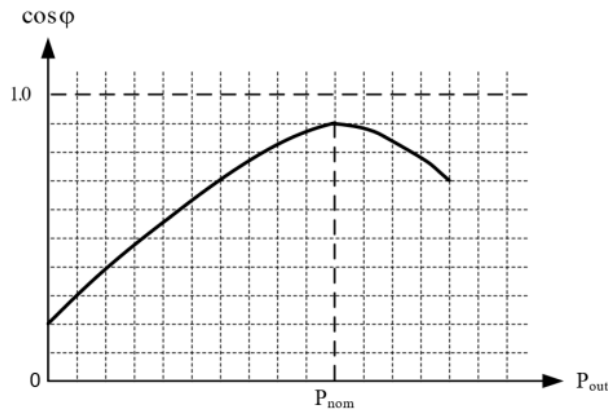
I_A - זרם פאזי.

- קבעו, על סמך התבוננות בדיאגרמה, מהו אופי ההעמסה (התנגדותי, השראתי או קיבולי). נמקו את התשובה.
 ב. על סמך הדיאגרמה הווקטורית, רשמו ביטוי של המשוואה הווקטורית, המורכבת מאיברים של ערך מוחלט, עבור כא"ם פאזי $\overline{E_A}$, כגון: $|E_A| \angle \delta =$

- ג. נתון: $X_S = 2.2\Omega$, $R_A = 0.8\Omega$. במצב עבודה מסוים נמדדו במוצא הגנרטור מתח 3.3kV וזרם 260A בעל גורם הספק $\cos \varphi = 0.8$ מפגר. חשבו את ערכי הכא"ם הפאזי E_A ואת זווית העומס δ , באמצעות המשוואה הווקטורית.

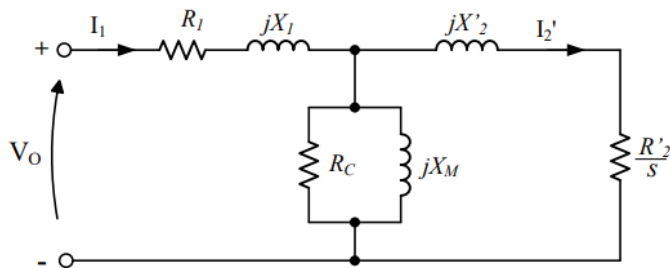
- ד. במצב העבודה הנתון ידועים ההפסדים הקבועים (המגנטיים והמכניים) $\Delta P_{const} = 28kW$. חשבו את ההספק המכני P_{in} המסופק לגנרטור ואת המומנט T_{in} המופעל על ציר הרוטור.

4) הגרף באיור א' לשאלה 4 מבטא את התלות של גורם ההספק בהספק המוצא: $\cos \varphi = f(P_{out})$, עבור מנוע השראה.



איור א' לשאלה 4

בהמשך לשאלה נדרש לאמת את הגרף המופיע באיור א' לשאלה 4, באמצעות מעגל התמורה של מנוע השראה.
מעגל תמורה מדויק לפאזת מנוע השראה מוצג באיור ב' לשאלה 4.



איור ב' לשאלה 4

נתון מנוע השראה בעל שלושה זוגות קטבים וחיבור סלילים בכוכב המנוע מוזן במתח של: $400V, 50Hz$.

נתוני מעגל התמורה של המנוע הם:

$$R_1 = 0.641\Omega, X_1 = 1.106\Omega, R'_2 = 0.332\Omega, X'_2 = 0.464\Omega, R_c = 162.4\Omega, X_m = 26.3\Omega$$

נתייחס לשני מצבי פעולת המנוע:

בעומס נומינלי, כאשר המהירות היא: $n_{nom} = 975\text{rpm}$.

בריקם, כאשר המהירות היא: $n_0 = 990\text{rpm}$.

א. מצאו את גורמי ההספק $\cos \varphi_{nom}$ ו- $\cos \varphi_0$, עבור שני מצבי הפעולה.

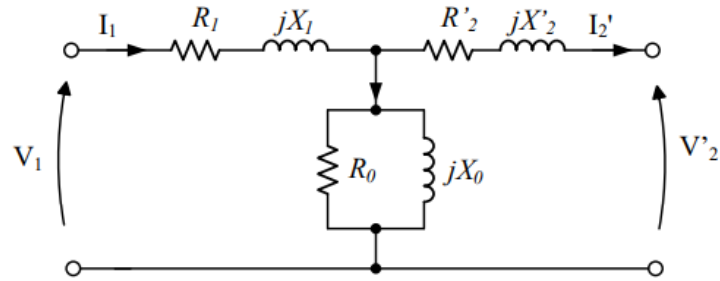
האם התוצאה משקפת את המוצג באופייין?

ניתן להניח כי הפסדי המגנוט (הפסדי הברזל) כמעט שאינם תלויים במצב הפעולה של המנוע.

ב. מצאו את הפסדי המגנוט ΔP_{Fe}^{nom} ו- ΔP_{Fe}^0 , עבור שני מצבי הפעולה.

האם קיים שינוי ניכר בין שני המצבים?

5) באיור לשאלה 5 מוצג מעגל תמורה של שנאי בעל מאפיינים (התנגדויות והיגבים).



איור לשאלה 5

- א. נבדקו כמה שנאים בעלי הספק ויחס השנאה זהים ונבנו מעגלי התמורה שלהם. בחרו את המשפט מתוך ארבעת המשפטים, אשר "מכריז" על השנאי הטוב ביותר ונמקו בקצרה את הבחירה.
- שנאי שבו המאפיינים הטוריים גדולים ככל האפשר והמאפיינים המקביליים גם הם גדולים ככל האפשר.
 - שנאי שבו המאפיינים הטוריים גדולים ככל האפשר והמאפיינים המקביליים קטנים ככל האפשר.
 - שנאי שבו המאפיינים הטוריים קטנים ככל האפשר והמאפיינים המקביליים גדולים ככל האפשר.
 - שנאי שבו המאפיינים הטוריים קטנים ככל האפשר והמאפיינים המקביליים גם הם קטנים ככל האפשר.
- ב. נתון שנאי חד פאזי בעל יחס השנאה $a = 2.4$. במצב עבודה מסוים נמדדו בהדקי העומס מתח $100V$ וזרם $18A$ (ערכים אמיתיים). העומס בעל אופי השראי עם גורם הספק של 0.8 . נתוני מעגל התמורה הם:
- $$X'_2 = 1.22\Omega, R'_2 = 0.56\Omega, X_1 = 1.35\Omega, R_1 = 0.62\Omega, X_0 = 4.3k\Omega, R_0 = 1.8k\Omega$$
- חשבו את ערכי המתח V_1 והזרם I_1 בכניסה, עבור המצב הנתון.
- ג. איך משפיעים מתחי הקצר של שנאים על חלוקת העומס בין שני השנאים הפועלים במקביל?

6) ענה על הסעיפים הבאים :

א. הנתונים הנומינליים של מנוע השראה שסליליו מחוברים בכוכב

הם : $400V$, $50Hz$, $50kW$, $n_{nom} = 2850rpm$, $\cos \varphi = 0.85$.

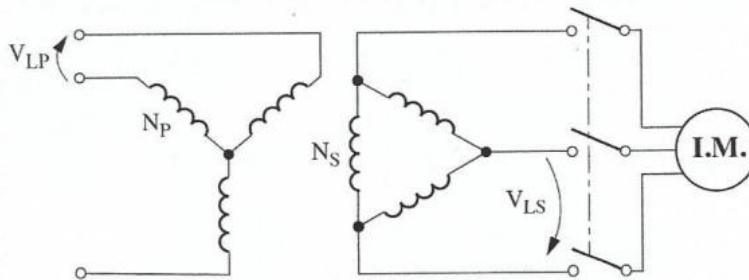
התנגדות הסליל הפאזי של המנוע $R_1 = 0.03\Omega$.

נתוני ההפסדים הקבועים הם : $\Delta P_{Fe} = 500W$, $\Delta P_{mech} = 520W$.

חשבו את הזרם הנצרך על ידי המנוע.

הערה: ייתכן שתתקבל משוואה ריבועית. יש לבחור את הפתרון המתאים.

ב. באיור לשאלה 6 מוצגת מערכת חיבור של מנוע השראה (Induction Motor) לרשת דרך שנאי תלת פאזי. צורת החיבור של סלילי השנאי באיור לשאלה.



איור לשאלה 6

מספר הכריכות בסליל הפאזי הראשוני הוא $N_p = 800turns$ ואילו בסליל

המשני הוא $N_s = 300turns$. במצב עבודה מסוים, המנוע צורך זרם $32A$

במתח $400V$. בהנחה שהשנאי הוא אידאלי, חשבו את :

i. המתח בראשוני V_{LP} .

ii. הזרם בראשוני I_p .

iii. ההספק המדומה (KVA) .

7) ענה על הסעיפים הבאים :

א. מנוע לזרם ישר, בעל עירור זר, מוזן במתח V_M .

המנוע מסובב עומס מכאני בעל מומנט קבוע, לא תלוי במהירות המנוע. כתבו איך תשפיע ירידת מתח הזנת המנוע על :

i. הזרם הנצרך.

ii. מהירות המנוע.

iii. המומנט שמייצר המנוע.

נמקו את התשובות.

ב. הנתונים הנומינליים של מנוע DC בעל עירור זר, הם :

$$V_M = 220V, I_a = 12A, n = 1000\text{rpm}, \eta = 85\%, R_a = 1.25\Omega$$

ההפסדים המכאניים, המחושבים כלפי ציר המנוע, הם קבועים : $\Delta P_{mech} = 270W$.

המנוע מסובב מסוע דרך תמסורת בעלת היחס $TR = 0.1$.

i. במצב של העומס המרבי על פני המסוע, המומנט הנדרש על ציר המסוע

שווה ל- $200Nm$. הוכיחו שהמנוע מסוגל לסובב את המסוע במצב זה.

ii. כאשר המסוע עמוס פחות, נדרש מומנט של $120Nm$.

מהו הזרם שצורך המנוע?

iii. במצב ההעמסה המרבית על פני המסוע, הורידו את מתח הזנת המנוע

לכדי $120V$. מה תהיה מהירות המנוע?

הנחייה לפתרון: בפתרון יש להסתמך על ערכו של המומנט

$$T_{em} = T_{out} + T_0$$

8) מנוע לזרם ישר, בעל עירור זר, מסובב משאבה צנטריפוגלית.

המשאבה דורשת בהתנעה מומנט של $T_p^{st} = 20Nm$. התלות בין מומנט

המשאבה T_p לבין מהירות המשאבה n היא ריבועית : $T_p - T_p^{st} = K_p \cdot n^2$.

k_p - מקדם קבוע.

ידוע שבמהירות הנומינלית : $n_{nom} = 1500\text{rpm}$ נדרש מומנט : $T_p = 130Nm$.

א. שרטטו את האופיין המכאני של המשאבה : $T_p = f(n)$ (יש לציין ארבע

נקודות לפחות).

ב. התנגדות סליל העוגן של המנוע היא : $R_a = 0.2\Omega$. במהירות סיבוב

של : $n_{nom} = 1500\text{rpm}$. המנוע מוזן במתח של : $V_{nom} = 400V$ ונצילותו

היא : $\eta_{nom} = 86\%$. בחישובים מזניחים את הפסדי הריקס במנוע,

$$(T_M^{out} = T_M^{em} \text{ : מניחים ש})$$

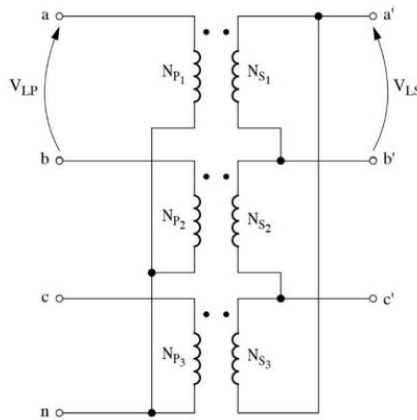
מצאו את הזרם I_a הנצרך במהירות הנומינלית : $n_{nom} = 1500\text{rpm}$.

ג. המנוע מסובב את המשאבה במהירות : $n = 900\text{rpm}$.

חשבו את המומנט על ציר המנוע, הזרם הנצרך ואת המתח הנדרש

לסובב את המנוע במהירות הזו.

9) ענה על הסעיפים הבאים (אין קשר בין סעיפי השאלה):
א. באיור א' לשאלה 9 מוצג שנאי תלת-פאזי אידאלי.



איור א' לשאלה 9

i. מהם סוגי החיבורים של הסליל הראשוני (Primary) ושל הסליל המשני (Secondary)?

ii. נתונות מספר כריכות בסלילים:

$$N_{S1} = N_{S2} = N_{S3} = 240 \text{turn}, N_{P1} = N_{P2} = N_{P3} = 1200 \text{turn}$$

הסליל הראשוני של השנאי מחובר למתח: $V_{LP} = 3460 \text{V}$.

מצאו את המתח במשני V_{LS} .

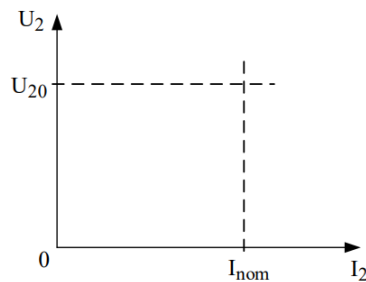
ב. על שלט השנאי רשומים בין היתר, שני המתחים, המתח הראשוני והמתח המשני, לדוגמה: $3300/400 \text{ V/V}$.

האם כאשר הסליל הראשוני של השנאי מחובר למתח 3300V , תמיד יימדד בסליל המשני מתח 400V ?

אם התשובה היא "לא" רשמו באיזה תנאי אכן יימדד בסליל המשני מתח 400V .

ג. ידוע ששינוי המתח בשנאי תלוי בגודל העומס (הזרם I_2) ובסוג העומס

(זווית המופע φ_2). באיור ב' לשאלה 9 נתונה מערכת צירים: $U_2 = f(I_2)$.



איור ב' לשאלה 9

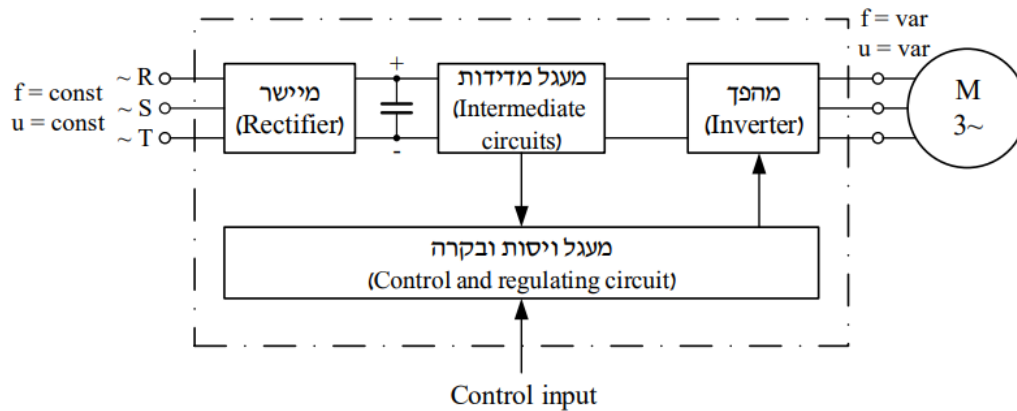
המתח U_{20} - מתח ריקם של השנאי.

העתיקו את האיור למחברת ושרטטו באופן איכותי את שלוש העקומות

של שינוי המתח על פני העומס עבור:

עומס ההתנגדותי, עומס ההשראי ועומס הקיבולי.

10) באיור לשאלה 10 נתון מבנה של משנה מהירות אלקטרוני למנוע זרם חילופין:



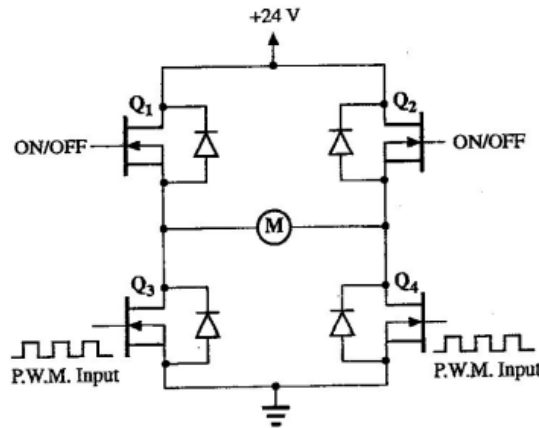
איור לשאלה 10

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

- א. מהם התקני ההספק האלקטרוניים שמהם בנוי המיישר?
- ב. מהם התקני ההספק האלקטרוניים שמהם בנוי המהפך?
- ג. כיצד משפיע שינוי תדירות מתח ההזנה למנוע על מהירות המנוע? נמקו את תשובתכם בעזרת הנוסחאות המתאימות.
- ד. למה נדרש לשנות את גודל המתח כאשר משנים את תדירותו? באיזה יחס לתדירות נדרש לשנות את המתח? נמקו את תשובתכם בעזרת הנוסחאות המתאימות.

מבחן קיץ 2021 מועד א:

- 1) 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.

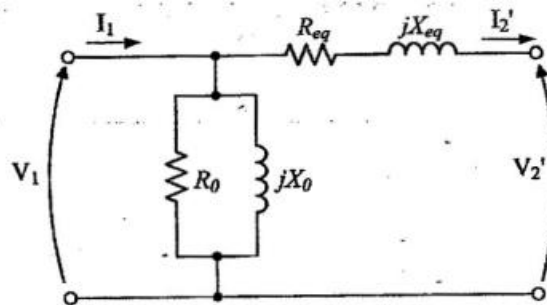
- א. מהו תפקידה של מערכת קטבים מגנטיים במנוע?
- ב. באיזה מצב פעולה נמצא המנוע, כאשר הטרנזיסטורים Q_1 ו- Q_4 ברוויה (והשניים האחרים בקטעון)?
- ג. באיזה מצב פעולה נמצא המנוע, כאשר הטרנזיסטורים Q_2 ו- Q_3 ברוויה (והשניים האחרים בקטעון)?
- ד. באיזה מצב פעולה נמצא המנוע, כאשר הטרנזיסטורים Q_1 ו- Q_2 ברוויה (והשניים האחרים בקטעון)?
- ה. המצב שבו הטרנזיסטורים Q_1 ו- Q_3 או Q_2 ו- Q_4 ברוויה אינו תקין. למה?

(2) ענו על הסעיפים הבאים :

- א. בדפי הנתונים של מנוע השראה מופיעים, בין היתר, היחסים בין המומנט המרבי T_{max} , מומנט ההתנעה T_{start} לבין המומנט הנומינלי T_{nom} . לדוגמה: $\frac{T_{start}}{T_{nom}} = 1.8$, $\frac{T_{max}}{T_{nom}} = 2.7$. שרטטו באופן איכותי את האופיין המכאני הטיפוסי של מנוע השראה: $T_M = f(n)$ וסמנו את הערכים: T_{max} , T_{start} , T_{nom} .
- 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?
- ג. בין יתר ההפסדים במנוע השראה, מוכרים הפסדי ברזל (הפסדי מגנט). להלן מוצגים שלושה שינויים בפעולת המערכת עם המנוע:
- i. שינוי מומנט על ציר המנוע.
 - ii. שינוי מתח הזנת המנוע.
 - iii. שינוי התנגדות סלילי המנוע.
- רק אחד מהשינויים האלה משפיע באופן משמעותי על הפסדי הברזל, מהו? נמקו את הבחירה.

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

- בניסוי ריקס נתקבלו מהצד הראשוני התוצאות הבאות: 0.4A , 10W , 110V .
 נמדדו התנגדויות סלילי השנאי: $R_1 = 0.112\Omega$, $R_2 = 0.417\Omega$.
 נגדיר: $R_{eq} = R_1 + R'_2$, $X_{eq} = X_1 + X'_2$.
 נתייחס למעגל התמורה של השנאי בתצורה הבאה:

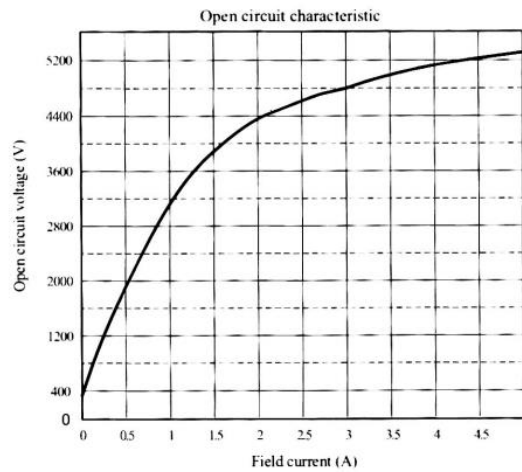


איור לשאלה 3

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

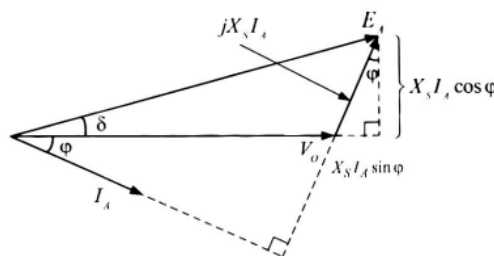
- א. חשבו את ארבעת המאפיינים: R_0 , X_0 , R_{eq} , X_{eq} של מעגל התמורה של השנאי הנתון.
- ב. בניסוי ריקם נתקבל הספק: $P_0 = 10W$. לאיזו מפעולות השנאי נדרש הספק זה?
- ג. מהם ההפסדים החשמליים והמגנטיים בעומס של: $S = 2kVA$?
- ד. הופכים את השנאי הזה למוריד המתח: $\frac{230}{110}(V)$. השנאי פועל בעומס זהה. האם יחול שינוי בהפסדים החשמליים והמגנטיים של השנאי? נמקו.

4) לגנרטור סינכרוני, בחיבור סליליו בכוכב, בוצע ניסוי ריקם. אופיין הריקם, תלות מתח הריקם השלוב בזרם העירור, מוצגים באיור א' לשאלה 4.



איור א' לשאלה 4

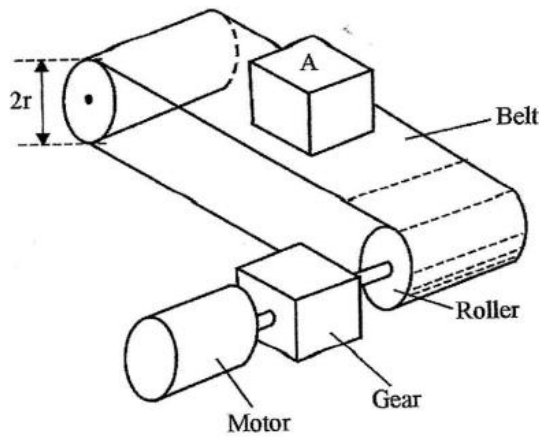
- א. אפשר לראות כי בזרם העירור 0A מתקבל מתח גדול מ-0. מהי הסיבה לכך? נתון: ההיגב הסינכרוני: $X_s = 4.2\Omega$, ההתנגדות האוהמית של הסלילים זניחה.
- ב. בקביעת זרם העירור של 2A נתקבל מתח ריקם 4400V. במצב עבודה מסוים של המערכת, הגנרטור מספק לצרכנים זרם של 200A בגורם הספק מפגר 0.85. מהו המתח במוצא הגנרטור?
- הנחייה לפתרון: מומלץ להיעזר בדיאגרמה הווקטורית פאזית הבאה (איור ב'):



איור ב' לשאלה 4

- ג. צריכת הצרכנים ירדה לכדי 100A ללא שינוי גורם ההספק. מהו זרם העירור הנדרש לקבלת המתח במוצא שמחושב בסעיף ב'?

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 החלקה היא 2.6%. ידוע שההפסדים המכאניים הם 145W וההפסדים המגנטיים הם 120W.

$$TR = \frac{n_{rol}}{n_M} = 0.1$$

רדיוס גלגל המסוע (roller) הוא: $r = 20\text{cm}$.

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

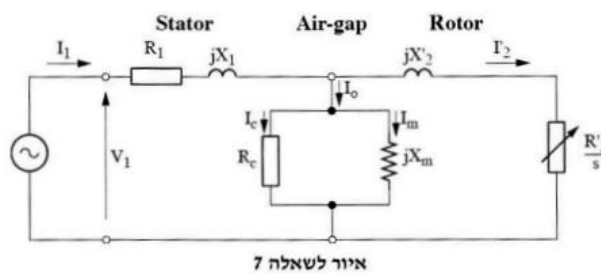
ב. חשבו את הזרם I_M הנצרך על ידי המנוע.

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

- 6) נתון מנוע לזרם ישר בעל עירור זר. האופייין המכני של המנוע, במתח הזנה מסוים, מתואר באמצעות הביטוי הבא: $T_M(n) = 60 - 0.06 \cdot n$.
אופייין 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: $J_\Sigma = 2 \text{Nmsec}^2$.

- א. מתניעים את המערכת. מהי מהירות המערכת n_{ss} , במצב המתמיד (לאחר ההתייצבות במהירות הקבועה)?
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'?
ג. תארו את הביטויים עבור T_M ו- T_{LD} כפונקציות של המהירות הזוויתית ω .
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: $t_{ss} \sim 5 \cdot \tau$?

- 7) נתוני מנוע השראה הם: Y, ארבעה קטבים, 50Hz, 400V. באיור לשאלה 7 מוצג מעגל תמורה מדויק של פאזת מנוע השראה.

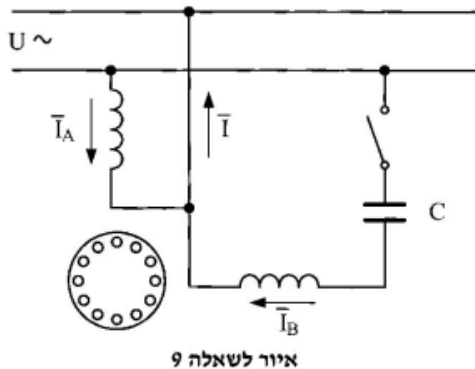


- מאפייני מעגל התמורה הם:
 $R_c = 122\Omega$, $X_m = 20\Omega$, $X'_2 = 1.066\Omega$, $R'_2 = 0.154\Omega$, $X_1 = 0.852\Omega$, $R_1 = 0.15\Omega$.
א. מהי המשמעות הפיזיקלית של הזרמים I_c ו- I_m בפעולת המנוע? המנוע פועל בהחלקה של $s = 0.04$.
ב. חשבו את הזרם I_m ואת גורם ההספק $\cos \varphi$.
הערה: מומלץ לפתור את סעיף ב' בשלבים.
ג. חשבו את הספק P_m שמקבל המנוע מהרשת.

8) נתון מנוע לזרם ישר בעל מגנטים קבועים (Permanent Magnet). התנגדות סליל העוגן היא 0.8Ω .

- א. מהו תפקידם של המגנטים הקבועים במנוע?
 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?
 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?
 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 $T_{em} = 0$.

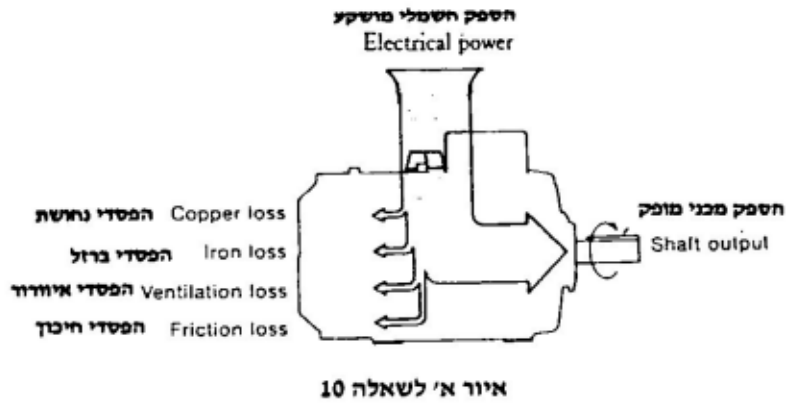
9) התנאי ליצירת שדה מגנטי מסתובב במנוע השראה הוא קיום זרמים בסלילי הסטטור (שניים או יותר), בעלי זווית מופע שונה ביניהם.
 א. במנוע השראה תלת-פאזי קיימים שלושה זרמים פאזיים. מהי זווית המופע ביניהם?
 בהמשך לשאלה נתייחס למנוע השראה חד פאזי עם התנעה קיבולית. תיאור המנוע עם ההתנעה הקיבולית מוצג באיור לשאלה 9.



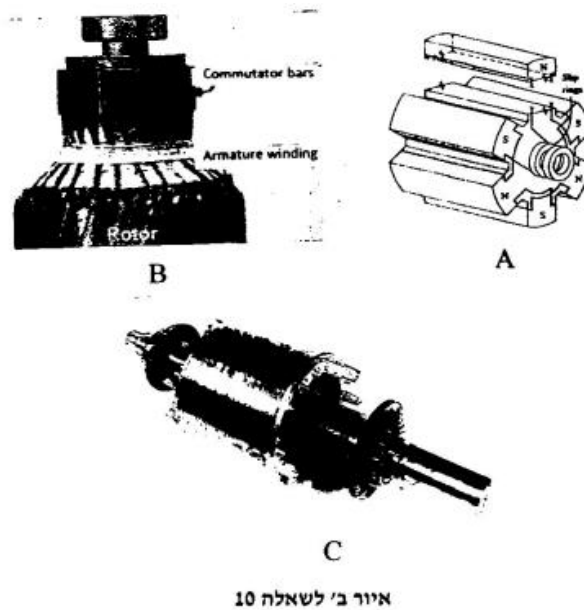
בסליל העזר (B) עם קבל C נוצר זרם אשר זווית המופע שלו, ביחס למתח ההזנה, שונה מזווית המופע בסליל הראשי (A). אחרי ההתנעה נהוג לנתק את סליל העזר.

- ב. מהי זווית מופע בין הזרמים I_A לבין I_B לקבלת מומנט ההתנעה הגדול ביותר?
 ג. שרטטו באופן איכותי דיאגרמה וקטורית של המנוע בעת ההתנעה המכילה את ארבעת הוקטורים: \bar{U} , \bar{I} , \bar{I}_A , \bar{I}_B .

10) אין קשר בין סעיפים א' ו-ב' של השאלה.
א. באיור א' לשאלה 10 מוצג תרשים הפסדי המנוע בתהליך המרת האנרגיה.



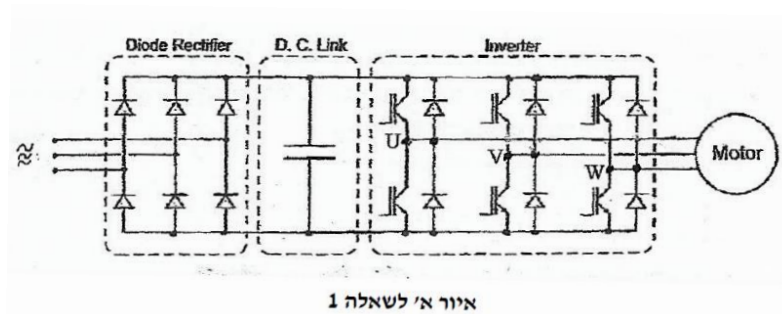
מהם המקורות במנוע להפסדים המצוינים באיור?
הערה: על התשובות להיות קצרות ככל האפשר.
ב. באיור ב' לשאלה מוצגים הרוטורים של שלוש מכונות חשמל: מכונה לזרם ישר, מכונה סינכרונית ומנוע השראה.



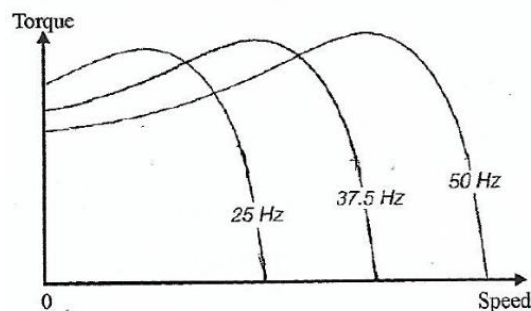
בכל תמונה (A, B, C) יש פריט או פריטים המאפשרים לזהות באופן חד משמעי את סוג המכונה.
זהו את סוג המכונה לפי התמונות. הסבירו את קביעותיכם.

מבחן אביב 2021 מועד ב:

1) באיור א' לשאלה 1 מוצג מעגל עיקרוני של משנה מהירות אלקטרוני למנוע השראה תלת פאזי.



באיור ב' לשאלה 1 מתוארים אופייניים מכניים המתקבלים במוצא המעגל עבור התדירויות השונות.



הערה: ענו בקצרה, באופן ענייני ובכתב יד ברור.

א. בהתייחס לאיור א', מה תפקיד הפריטים הבאים במעגל:

i. המיישר (Diode Rectifier).

ii. הקבל (D.C. Link).

iii. המהפך (Inverter).

ב. מעגל המהפך מבוקר בשיטת PWM. מהן המילים המרכיבות את ראשי התיבות של השיטה? מהו תרגום הביטוי לעברית?

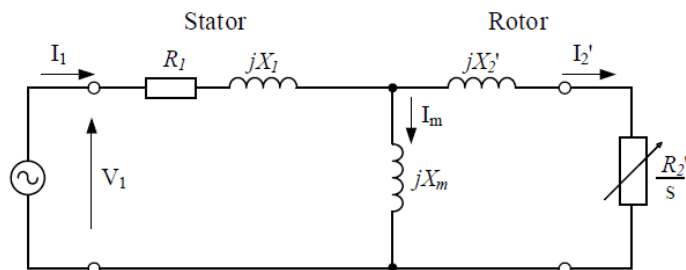
ג. בהתייחס לאיור ב', האם אפשר לקבל מתח בעל תדירות מעל 50Hz במוצא? נמק את התשובה.

ד. כאשר ניתנת פקודה להורדת המהירות, המנוע הופך לגנרטור והמעגל – לצרכן. תאר את המסלול הסגור של זרימת הזרם מסליל המנוע במצב זה (עבור פאזה אחת כלשהי): ציין את הרכיבים שדרכם יזרום הזרם.

(2) הנתונים הנומינליים של מנוע DC בעל עירור זר הם: $250V, 2700W$, $\eta = 88\%$, $1000rpm$.
 התנגדות סליל העוגן היא: $R_a = 1.2\Omega$.

- א. חשב את הזרם הנומינלי בעוגן I_a , את ההפסדים המשתנים ΔP_{cu} ואת ההפסדים הקבועים (מכניים ומגנטיים), ΔP_{const} במצב הנומינלי.
- ב. המנוע מוזן במתח הנומינלי ופועל במצב שבו הוא צורך 25% מהזרם הנומינלי. הנח שההפסדים הקבועים אינם משתנים. מה תהיה נצילות המנוע במצב זה? השווה את התוצאה עם הנצילות הנומינלית. מהי המסקנה המתבקשת מכך?
- ג. נתייחס לשלושת מאפייני פעולת המנוע:
- i. מתח ההזנה.
 - ii. מומנט על ציר המנוע.
 - iii. התנגדות מעגל העוגן.
- שינוי של איזה מאפיין (אחד בלבד מתוך הרשימה) ישפיע באופן משמעותי על הזרם הנצרך? נמק בקצרה תשובתך.

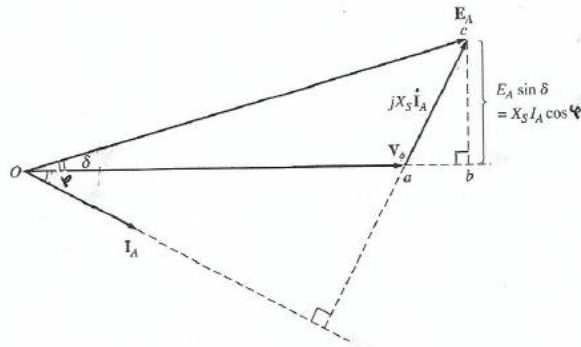
(3) נתוני מנוע השראה תלת פאזי הם: חיבור Y, 6 קטבים, $440V, 50Hz$.
 מרכיבי מעגל התמורה לפאזה הם: $R_1 = 0.082\Omega, X_1 = 0.19\Omega, R'_2 = 0.07\Omega, X'_2 = 0.18\Omega, X_m = 7.2\Omega$.
 מעגל התמורה של פאזה המנוע מוצג באיור לשאלה 3:



- א. מה מבטא, מבחינה פיסיקלית, את הענף jX_m ?
 נתון: המנוע מוזן במתח הנומינלי ופועל בהחלקה של $s = 0.05$.
 חשב את:
- ב. הזרם הנצרך וגורם ההספק.
 - ג. הספק הכניסה P_{in} .

4) ענה על הסעיפים הבאים :

- א. חברת החשמל מייצרת אנרגיה חשמלית באמצעות גנרטורים סינכרוניים. החברה מחויבת לספק מתח חילופין בעל גודל מתח ותדירות קבועים, ללא תלות במידת ההעמסה של הגנרטור. איזה מאפייני תהליך ייצור החשמל נחוץ לווסת, בעת שינוי העומס, כדי לשמור על המתח ועל התדירות הקבועים?
 נתוני גנרטור סינכרוני תלת-פאזי הם :
- חיבור הסלילים – כוכב, היגב סינכרוני $X_s = 1.0\Omega$, התנגדות הסלילים זניחה. נקבע זרם העירור המתאים לקבלת מתח שלוב של 480V בריקם. הגנרטור מספק לצרכנים זרם של 60A, כאשר גורם ההספק $\cos \varphi$ של הצרכנים החשמליים משתנה בתחום בין $\cos \varphi = 1$ ל- $\cos \varphi = 0.7$ מפגר, ללא שינוי גודל הזרם וללא שינוי זרם העירור.
- ב. הסעיף מתייחס למצב של $\cos \varphi = 0.7$. מצא את זווית העומס δ ואת המתח על פני העומס. מומלץ להשתמש בדיאגרמה הווקטורית הפאזית הבאה :



- ג. הסעיף מתייחס למצב של $\cos \varphi = 1$. שרטט את הדיאגרמה הווקטורית הפאזית למצב זה. מצא את זווית העומס δ ואת המתח על פני העומס.

5 נתונים של שנאי תלת-פאזי הם :

$$3.3\text{kV}/0.4\text{kV}, S_{nom} = 120\text{kVA}, Y/Y$$

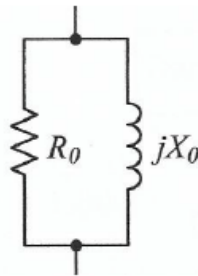
א. בניסוי ריקם במתח הנומינלי נמדדו בכניסה לסליל הראשוני הערכים

$$\text{הבאים: } I_{10} (\%) = 4\%, \cos \varphi_{10} = 0.18$$

על סמך מדידות אלו, חשב את ההפסדים המגנטיים ΔP_{Fe} בליבת השנאי.

על סמך מדידות אלו, מצא את מאפייני ענף המגנט R_0 ו- X_0 של מעגל

התמורה הפאזי, לפי איור א' לשאלה 5 :



איור א' לשאלה 5

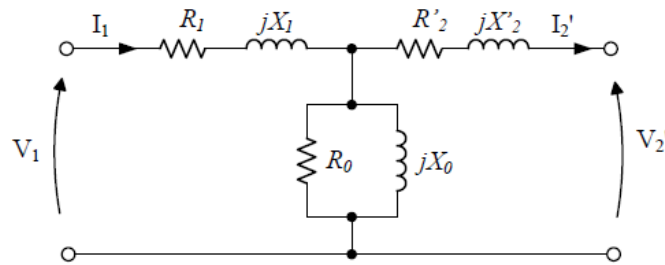
ב. בניסוי קצר בזרם הנומינלי נמדדו בכניסה הערכים הבאים :

$$\cos \varphi_{1k} = 0.48, U_{1k} (\%) = 6\%$$

על סמך מדידות אלו, חשב את ההפסדים החשמליים ΔP_{cu} בסלילי

השנאי במצב העבודה הנומינלי.

השלם את מעגל התמורה הפאזי, לפי איור ב' לשאלה 5 :



איור ב' לשאלה 5

$$\text{הנח: } R_1 = R'_2; X_1 = X'_2$$

ג. במצב עבודה מסוים השנאי מועמס ב-50% מהעומס הנומינלי עם גורם

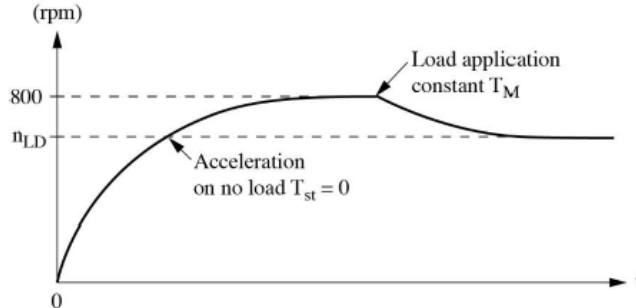
הספק מפגר של 0.8.

חשב את נצילותו של השנאי במצב העבודה הזה.

ד. איך משפיעים מתחי הקצר של השנאים על חלוקת העומס בין השנאים,

כאשר שני שנאים פועלים במקביל? נמק את תשובתך.

6) באיור לשאלה 6 מוצגות עקומות התנעה והעמסה של מערכת מנוע DC + עומס מכני. המנוע בעל עירור זר. כדי להקל על התנעת המערכת מנתקים את העומס בתהליך ההתנעה בעזרת מצמד (Clutch) שהמערכת מצוידת בו.



נתוני המנוע הם: התנגדות סליל העוגן $R_a = 0.8 \Omega$, מומנט התמד של רוטור המנוע: $J_M = 1.6 \text{ Nm sec}^2$, מומנט ריקם של המנוע זניח: $(T_{out} = T_{em}) T_0 = 0$. נתוני העומס הם:

המומנט הסטטי קבוע ושווה ל- $T_{LD} = 30 \text{ Nm}$, מומנט התמד: $J_{LD} = 6 \text{ Nm sec}^2$.

הנחיה לפתרון סעיפים א' ו-ב': נסמן קבוע המנוע $k_a \cdot \varphi = k_M$.

בניית הביטוי של האופייין $T_M = f(\omega)$ מבוססת על שתי המשוואות הבאות:

$$T_M = k_M \cdot I_M \text{ ו- } V_M = k_M \cdot \omega + I_M \cdot R_a$$

$$T_M(\omega) = \frac{k_M}{R_a} \cdot V_M - \frac{k_M^2}{R_a} \cdot \omega(t) \text{ אחרי הצבת הנתונים יתקבל הביטוי:}$$

א. מתניעים את המנוע, ללא עומס, באמצעות חיבור מתח של 100 V לעוגן. המנוע מגיע למהירות הקבועה (המהירות במצב המתמיד) של 800 rpm . הערה: במצב המתמיד, ללא העומס ובהזנחת מומנט ריקם, הזרם הנצרך שווה ל-0.

מהו קבוע הזמן של עקומת ההתנעה τ_{st} ?

מהם הביטויים המתמטיים של השתנות המהירות בזמן $\omega_{st}(t)$ ו- $n_{st}(t)$? בדוק שבמצב המתמיד נותן ערך של 800 rpm .

ב. כאשר המערכת מגיעה למהירות הקבועה, העומס מתחבר לציר המנוע.

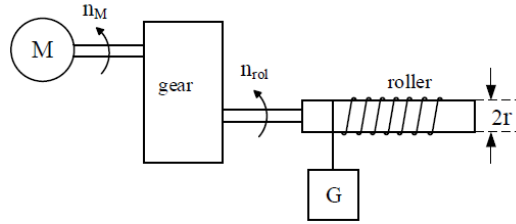
המהירות יורדת בערך נמוך יותר - n_{LD} .

מהו קבוע הזמן של עקומת ההעמסה τ_{LD} ?

מהם הביטויים המתמטיים של השתנות המהירות בזמן $\omega_{LD}(t)$

ו- $n_{LD}(t)$, מרגע חיבור העומס (נקודת האפס החדשה)?

7) באיור לשאלה 7 מוצגת מערכת להרמת מטענים. המערכת מורכבת ממנוע השראה M, תמסורת (gear) וגליל (roller).

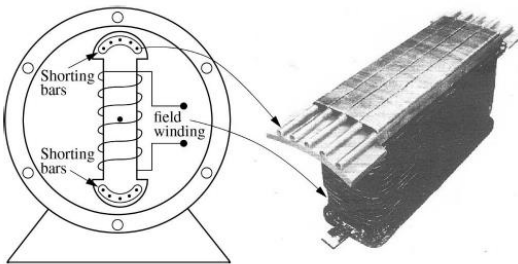


- א. נתון: משקל המטען G ורדיוס הגליל r. הוכח שהמומנט שיוצר המטען אינו תלוי במהירות ההרמה. המנוע מוזן במתח של 400V, 50Hz וסלילי הסטטור מחוברים במשולש. התנגדות הסליל הפאזי של הסטטור היא $R_1 = 0.48\Omega$. התמסורת היא בעלת היחס: $TR = \frac{n_{rol}}{n_M} = 0.2$. בפעולת המערכת נמדדו: הזרם הנצרך מהרשת $I_M = 10.8A$, מהירות המנוע קבועה $n_M = 1460rpm$ וגורם ההספק $\cos \varphi = 0.82$. ידועים הפסדי הברזל - $\Delta P_{Fe} = 80W$, המכניים - $\Delta P_{mech} = 60W$ של המנוע.
- ב. חשב את המומנט על ציר המנוע T_M .
- ג. חשב את מהירות הגליל n_{rol} ואת המומנט על ציר הגליל T_{rol} .

8) אין קשר בין סעיפי השאלה. ענו על תוכן השאלה בקצרה, באופן ענייני ובכתב יד ברור, לא יותר משני משפטים בתשובה לסעיף אחד.

- א. מהם הגורמים שקובעים את ערכו של הכא"מ בפעולת המכונות להלן (הצג נוסחאות מתאימות):
- מנוע DC.
 - מנוע AC.
 - גנרטור.

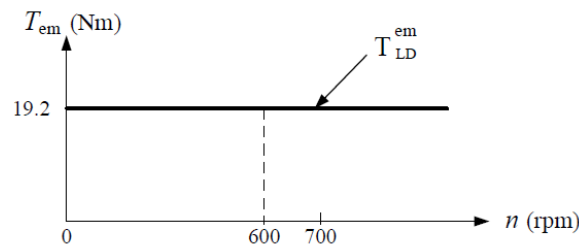
- ב. לאיזה תהליך פיזיקלי במנוע השראה נדרש הספק עיור שהוא צורך?
ג. הסעיף מתייחס למבנה הרוטור של מנוע סינכרוני, המופיע באיור לשאלה 8.



נוסף לסליל העירור (field winding) הנדרש גם לפעולה הגנרטורית וגם לפעולה המנועית, מופיע ברוטור של המנוע הסינכרוני סליל נוסף הבנוי ממוטות המקוצרים בקצוות (Shorting bars). איזו בעיה פותר הסליל במנוע הסינכרוני? נמק את תשובתך.

9 נתונים נומינליים של מנוע DC בעל עירור זר הם: מתח - 250V, זרם - 12A, מהירות - 1000rpm, נצילות - 88%, $R_a = 1.4\Omega$, מומנט ריקם - $T_0 = 1.2\text{Nm}$, המנוע צריך לסובב עומס בעל מומנט קבוע, $T_{LD} = 18\text{Nm}$.

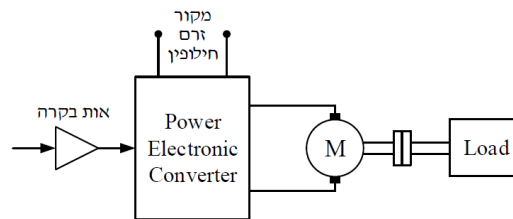
- א. הוכח שהמנוע מסוגל להניע את העומס הנתון.
בהמשך הפתרון מתייחסים למומנט האלקטרומגנטי של המנוע. לגבי העומס, המומנט האלקטרומגנטי שלו יהיה: $T_{LD}^{em} = 18 + 1.2 = 19.2\text{Nm}$.
- ב. חשב את הזרם שצורך המנוע בהזנתו במתח הנומינלי.
- ג. מה מתח ההזנה למנוע על מנת לסובב את העומס במהירות של 600rpm?
- ד. באיור לשאלה מוצג אופיין מכני של העומס: העתק את האיור למחברתך והשלם את הסרטוט בעזרת הוספת אופיין של המנוע למצב הפעולה, המתואר בסעיף ג' לשאלה.
- הנחייה לפתרון של סעיף ד':** אפשר להגדיר את אופיין המנוע באמצעות שתי נקודות בלבד לדוגמה, נקודת העבודה הנתונה והנקודה עבור $T_{em} = 0$.



- 10 אין קשר בין סעיף א' לסעיף ב'.
- א. באיור לשאלה 10 מוצג קטע מתוכנית החשמל המתייחס להזנת מנוע השראה תלת פאזי. מה מציינים הסימנים למעלה: 400V, 50Hz, L1, L2, L3, N, PE? מה תפקידו של כל אחד משלושת המכשירים המופיעים בקו הזנת המנוע? נמק בקצרה את התשובה.
- ב. על שלט השנאי רשומים בין היתר שני המתחים (המתח הראשוני והמתח המשני). לדוגמה: 3300V / 400V. אם מתחבר לראשוני מתח של 3300V, אין זה אומר שבהכרח במשני יהיה המתח 400V. כידוע, המתח במשני משתנה לפי הגודל והאופי של העומס. מהי המשמעות של הנתון 400V?

מבחן אביב 2021 מועד א:

1) באיור א' לשאלה 1 מתוארת מערכת בקרה למנוע.

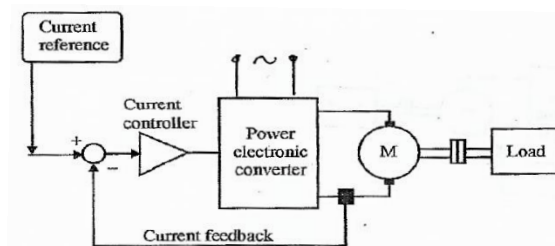


איור א' לשאלה 1

מעגל הספק אלקטרוני (power electronic converter) מוזן ממקור זרם חילופין ומבוקר על ידי אות בקרה. מעגלי הבקרה הם בקרת המהירות, בקרת המצב ובקרת הזרם.

הערה: ענו על תוכן השאלה בקצרה ועניינית, בכתב ברור. לא יותר משני משפטים בתשובה לסעיף אחד.

- א. מהי הדרישה למעגל הספק (power electronic converter) שמשמש לבקרת המהירות של מנוע DC? מהם התקני הספק שמרכיבים את המעגל?
- ב. מהן הדרישות למעגל הספק שמשמש לבקרת המהירות של מנוע השראה? תאר את מרכיבי המעגל.
- ג. במערכות בקרת מנועים לעיתים עושים שימוש במעגל מדידת הזרם בסליל המנוע ומשוב הזרם (current feedback). המשוב מאפשר לקבוע את גודל הזרם באמצעות אות חיצוני (current reference). מעגל בקרת הזרם מתואר באיור ב' לשאלה 1.

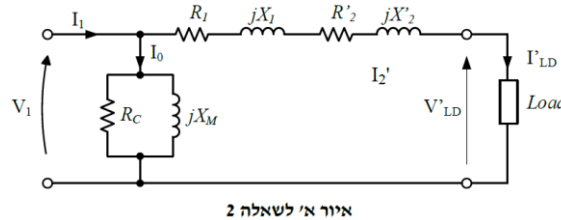


איור ב' לשאלה 1

מהו המאפיין, בפעולת המנוע, שמושפע ממעגל בקרת זרם המתואר באיור ב' לעיל? נמק את תשובתך.

2) אין קשר בין סעיפים א' ו-ב'.

א. נתון שנאי חד פאזי בעל יחס השנאה $a = 2.4$. במצב מסוים נמדד בהדקי העומס $I_{LD} = 18A$, $V_{LD} = 100V$ (ערכים אמיתיים). העומס בעל אופי השראי עם גורם ההספק של 0.75. באיור א' לשאלה 2 מתואר מעגל תמורה של השנאי.



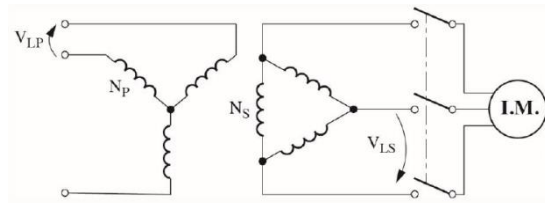
נתוני מעגל התמורה הם: $R_1 = 0.62\Omega$, $X_1 = 1.35\Omega$, $R'_2 = 0.56\Omega$,
 $X'_2 = 1.22\Omega$, $R_c = 1.6k\Omega$, $X_m = 4.2k\Omega$.

חשב את הערכים של המתח V_1 ושל הזרם I_1 בכניסה, עבור המצב הנתון.

ב. באיור ב' לשאלה 2 מוצגת מערכת חיבור מנוע השראה (Induction Motor) לרשת חשמל דרך שנאי תלת פאזי.

מספר הכריכות בסליל הפאזי הראשוני הוא: $N_p = 800turns$ ואילו

בסליל המשני מספר הכריכות הוא: $N_s = 500turns$.



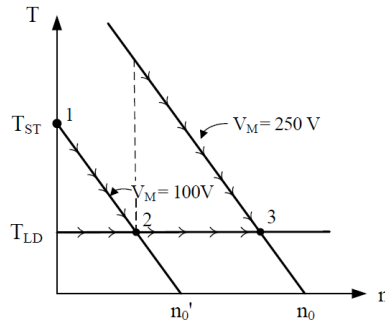
במצב עבודה מסוים המנוע צורך זרם 18A במתח $V_{LS} = 380V$.

בהנחה שהשנאי הינו שנאי אידיאלי, מצא את:

i. המתח V_{LP} והזרם I_p בראשוני.

ii. ההספק המדומה (KVA) הנדרש של השנאי.

- (3)** נתונים נומינליים של מנוע DC בעל עירור זר הם: 1000rpm , 250V , 2700W . הנצילות $\eta = 90\%$, התנגדות סליל העוגן $R_a = 1.2\Omega$. לציר המנוע מחובר מתקן בעל מומנט סטטי קבוע $T_{LD} = 20\text{Nm}$. הפעלת המערכת מתבצעת בשני שלבים: בשלב הראשון, המנוע מחובר למתח של 100V , בשלב השני, לאחר התייצבות המערכת, המנוע מחובר למתח הנומינלי 250V . באיור אי מוצג התהליך הדו-שלבי של הפעלת המערכת.



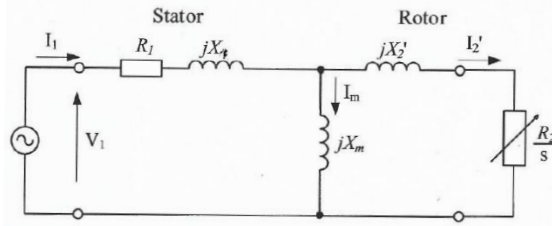
באיור לשאלה 3 מוצגים שלושה אופיינים מכניים: שניים של מנוע DC עבור המתחים הנתונים ואופיין שלישי של העומס. המומנטים המוצגים באיור לשאלה 3 הם המומנטים האלקטרומגנטיים (מומנט ריקם זניח). החיצים מתארים את התהליך הדינמי של ההפעלה הדו-שלבית.

- א. מהם הזרם I_{st} והמומנט T_{st} שמתפתחים ברגע חיבור המנוע למתח 100V (בנקודה 1)?
- ב. מהי מהירות המערכת בנקודה 2 (המצב המתמיד אחרי השלב הראשון)?
- ג. מהי מהירות המערכת בנקודה 3 (המצב המתמיד אחרי השלב השני)?

- (4)** נתוני מנוע השראה הם: חיבור סלילים במשולש, ארבעה קטבים, 400V , 50Hz . התנגדות סליל פאזי היא $R_l = 1.04\Omega$. בפעולת מנוע בריקם נמדד המומנט $T_0 = 4\text{Nm}$. במצב עבודה מסוים מסתובב המנוע בהחלקה של 4% , צורך זרם של 23A בגורם הספק 0.7 מפגר. במצב עבודה זה נמדד המומנט על ציר המנוע $T_{out} = 60\text{Nm}$.

- א. חשב את הספקים הבאים: P_{in} ו- P_{em} , P_{out} .
- ב. חשב את ההפסדים במנוע: ΔP_{Fe} , ΔP_{cu}^{stat} , ΔP_{cu}^{rot} , ΔP_{mech} .
- ג. כדי לעצור את המתקן מנתקים את המנוע מהרשת. בידיעה שהמומנט הסטטי על ציר המנוע קבוע (אינו תלוי במהירות) ומומנט ההתמד של המערכת שווה, $J = 2\text{Nm sec}^2$, תאר את הביטוי המתמטי של עקומת העצירה $\omega_{stop}(t)$. מהו הזמן t_{stop} הנדרש לעצירת המערכת?
- הנחייה לפתרון סעיף ג': במשוואת המומנטים $T_M = T_{din} + T_{st}$ יש להציב $T_M = 0$. המהירות ההתחלתית בתהליך העצירה היא המצוינת בגוף השאלה. המהירות הסופית היא אפס. סרטט את עקומת העצירה $\omega_{stop}(t)$, תוך ציון המהירות ההתחלתית בעצירה ו- t_{stop} .

5) סלילי מנוע השראה מחוברים בכוכב. באיור לשאלה 5 נראה מעגל התמורה החשמלי המקורב של פאזת המנוע:



המאפיינים של מעגל התמורה הם: $R_1 = 0.082\Omega$, $X_1 = 0.19\Omega$,

במהירות 960rpm וצורך זרם 120A. $R_2' = 0.07\Omega$, $X_2' = 0.18\Omega$, $X_m = 7.2\Omega$. בעומס מסוים המנוע מסתובב

- נתון מעגל תמורה מקורב. מה לא נלקח בחשבון, בפעולת המנוע, במעגל זה?
- לפי ערך של איזה מאפיין של מעגל התמורה אפשר לדעת באיזה מידה מועמס המנוע?
- מצא את גורם ההספק $\cos \varphi$ במצב עבודת המנוע הנתון (רמז: יש למצוא את זווית המופע של הזרם הנצרך).
- חשב את מתח הזנת המנוע וההספק הנצרך במצב עבודת המנוע הנתון.

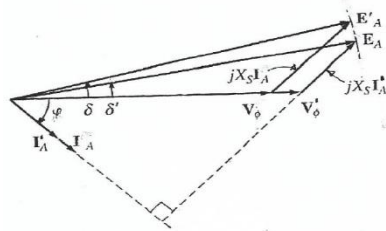
6) גנרטור סינכרוני עם חיבור סלילים בכוכב בעל הנתונים הנומינליים הבאים: $3.2kV$, $50Hz$, $1MVA$.

ההיגב סינכרוני שווה ל- $X_s = 1.2\Omega$, ההתנגדות האוהמית של הסלילים זניחה.

א. תנאי פעולת המערכת הם: הזרם המסופק לעומס משתנה בתחום בין הזרם הנומינלי של הגנרטור ל-60% מהזרם הנומינלי עם גורם הספק קבוע $\cos \varphi = 0.8$ מפגר. בזרם הנומינלי גם המתח הוא נומינלי.

נתון שהמתח בריקס (הכא"מ) אינו משתנה $E_A = E_A'$.

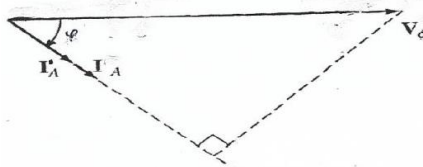
הדיאגרמה הווקטורית הפאזית למצב זה מתוארת באיור א' לשאלה 6.



איור א' לשאלה 6

הזרם הנומינלי, $I_A = I_{nom}$ - הזרם הנומינלי, $I_A' = 0.6I_{nom}$, המתח הנומינלי של פאזת הגנרטור, V_ϕ' - המתח בעומס של $0.6I_{nom}$. מהתבוננות בדיאגרמה מסיקים שהמתח משתנה בשל שינוי הזרם. חשב את הערכים הפאזיים של: I_A , I_A' , E_A ו- V_ϕ' . מהו שינוי המתח ΔV_ϕ ?

- ב. שינוי המתח אינו רצוי. לכן יש לשנות את הכא"מ כך שהמתח יישאר קבוע ושווה למתח הנומינלי בשינוי הזרם הנצרך.
- מהו האמצעי בגנרטור לשינוי הכא"מ?
 - חשב את הכא"מ הנדרש כאשר הזרם הינו 60% מהזרם הנומינלי.
 - באיור ב' לשאלה 6 מוצגים וקטורים של: $I_A = I_{nom}$, $V_\phi = V_{nom}$, כחלק מדיאגרמה וקטורית המתאימה לתנאי סעיף ב'.

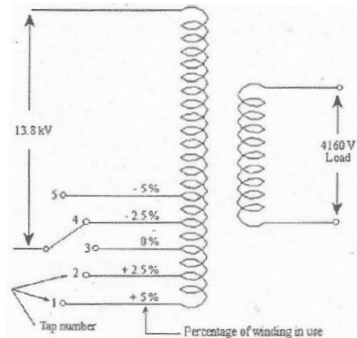


איור ב' לשאלה 6

העתק את איור ב' לשאלה 6 למחברת. השלם את הדיאגרמה באמצעות הוספת הווקטורים: $jX_S I'_A$, $jX'_S I_A$, ו- E'_A .

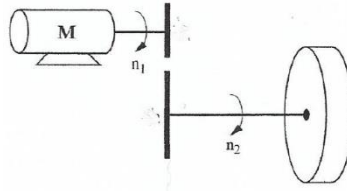
7 הערה: ענו בקצרה ובאופן ענייני, בכתב ברור ולא יותר משני משפטים בתשובה לסעיף.

- ידוע שזרם ריקם בשנאי הינו כ-3%-5% מהזרם הנומינלי של השנאי. לעומת זה, זרם ריקם במנוע השראה, הינו כ-20%-30% מהזרם הנומינלי של המנוע. לאיזה תהליך פיסיקלי, בפעולת השנאי והמנוע בריקם, נצרך הזרם? ממה נובע ההבדל בצריכה בין השנאי והמנוע?
- כידוע, הגופים של ליבת השנאי, הסטטור והרוטור של המנוע, עשויים מפחיות פלדה מבודדות חשמלית. מהי הסיבה לכך (הרי זול ופשוט יותר להשתמש בגושים של הפלדה)?
- לויסות של מתח השנאי מתקנים מסעפים (taps) לאחד מסלילי השנאי. באיור לשאלה 7 להלן ניתנת דוגמה של שנאי חד פאזי, מוריד מתח, עם מסעפים.



- למה צריך לשנות את יחס ההשנאה באמצעות המסעפים?
- מדוע עדיף להתקין את המסעפים בשנאי זה בצד הראשוני ולא בצד המשני?
- בעבר המסעפים היו בנויים על ממסרים אלקטרומגנטיים בלבד. היום מחליפים את הממסרים בהתקן אלקטרוני. מהו ההתקן האלקטרוני, שיתאים לשמש מסעף?

- 8) הביטוי הבא מתאר אופיין מכני של מנוע לזרם ישר, בעל עירור זר, במתח הזנה מסוים: $T_M(n) = 80 - 0.06n$. היחידות של המומנט הן $Nm - T_M$ ושל המהירות הן $rpm - n$. המנוע מסובב את גלגל התנופה דרך תמסורת, כפי שנראה באיור לשאלה 8.



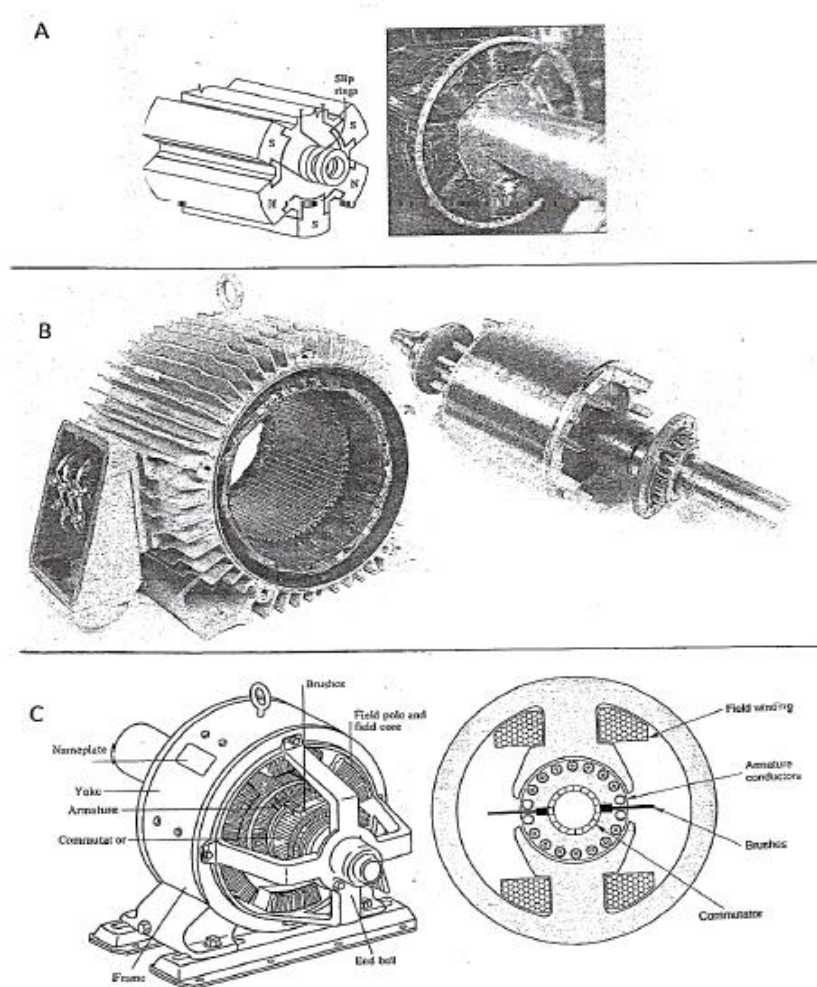
- התמסורת היא: $TR = \frac{n_2}{n_1} = 0.4$. גלגל התנופה מאופיין במומנט סטטי קבוע, $T_{LD} = 20Nm$, ובמומנט ההתמד, $J_{LD} = 8Nm \text{sec}^2$ (לגבי ציר העומס). המומנט הסטטי ומומנט ההתמד של רוטור המנוע זניחים.
- א. מהם T'_{LD} ו- J'_{LD} המומנטים של העומס לגבי ציר המנוע?
- ב. מהי מהירות המנוע n_{ss} במצב המתמיד? מהו הביטוי המתמטי של האופיין המכאני של המנוע כפונקציה של המהירות הזוויתית $T_M = f(\omega_M)$?
- ג. מתניעים את המערכת ממצב המנוחה.
- i. מהו הביטוי המתמטי של עקומת ההתנעה של המערכת $\omega(t)$?
- ii. מהו קבוע הזמן של עקומת ההתנעה τ ?
- iii. מהו הזמן t_{ss} , הנדרש להגעת המערכת למצב המתמיד?
- iv. בדוק שהביטוי $\omega(t)$ נותן את גודל המהירות, במצב המתמיד, זהה למתקבל בסעיף ב'.

הערות:

- סעיף ד' להלן אינו קשור לסעיפים הקודמים.
ענו על תוכן השאלה בקצרה, באופן ענייני ובכתב ברור, לא יותר משני משפטים בתשובה לסעיף.
ד. מבצעים בלימה דינמית של מנוע DC. תאר את המעגל חשמלי של הבלימה. למה בבלימה הדינמית המנוע נעצר מהר יותר מאשר בעצירה באמצעות ניתוק העוגן ממקור הזנה, הסבר את תשובתך.

- 9) נתונים נומינליים של מנוע לזרם ישר בעל עירור זר הם: $250V$, $14A$, $1200rpm$, $\eta = 85\%$, $R_a = 0.8\Omega$, $\Delta P_{mech} = 270W$.
- א. חשבו את הפסדי הברזל והפסדים חשמליים במצב הנומינלי.
ב. חשבו את המומנטים על ציר המנוע עבור מצב בריקס ובמצב הנומינלי.
ג. חשבו את המתח הנדרש להורדת מהירות המנוע לדי $750rpm$ כאשר על ציר המנוע מופעל המומנט הנומינלי.

10) באיורים לשאלה 10 מוצגות שלוש מכונות חשמל (לכל מכונה שתי תמונות):
מכונת DC, מכונה סינכרונית ומנוע השראה.

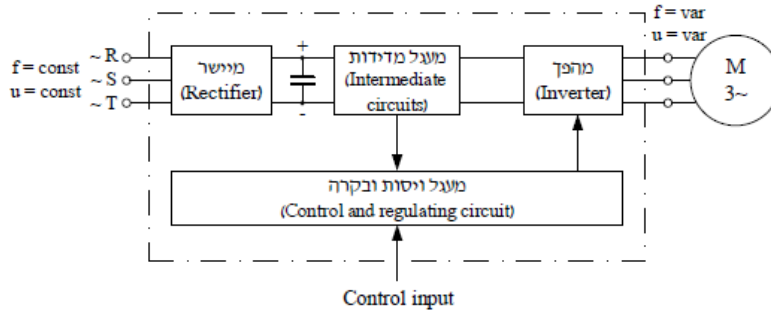


בכל תמונה יש פריט, או פריטים, שמאפשרים לזהות באופן חד-משמעי את סוג המכונה.

זהה את סוג המכונה לפי התמונות A, B ו-C. נמק את קביעותיך.

מבחן קיץ 2020 מועד ב:

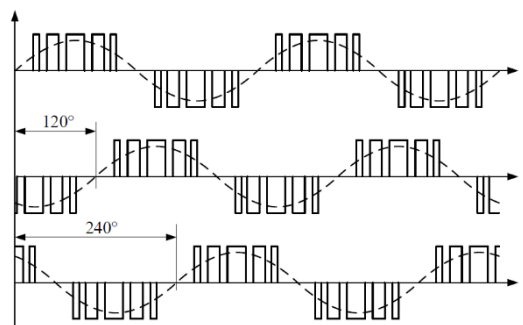
1) באיור א' לשאלה נתון מבנה של משנה מהירות אלקטרוני למנוע זרם חילופין:



איור א'

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.

- למה נדרש לשנות את תדירות המתח, המגיע למנוע, כדי לשנות את מהירות המנוע? נמק את תשובתך בעזרת הנוסחאות המתאימות.
- למה נדרש גם לשנות את המתח, המגיע למנוע? באיזה יחס לתדירות יש לשנות את המתח?
- מאיזה רכיבי הספק אלקטרוניים מורכב המיישר?
- לפי איור א', המיישר הופך מתח חילופין למתח ישר. המהפך מייצר מתח חילופין תלת פאזי. באיור ב' נראים גלי המתח לכל פאזה:



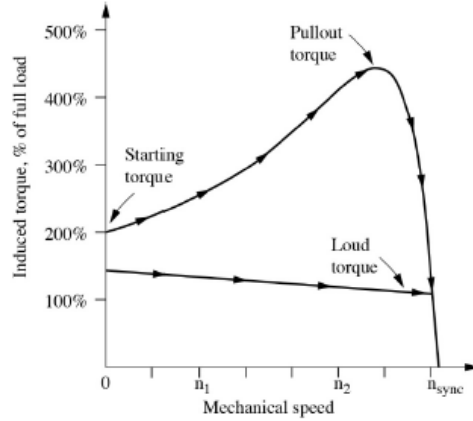
Three-phase PWM output voltage waveforms

איור ב'

- השיטה PWM מאפשרת לקבל את צורת המתח דמוי הסינוס (הקו המקווקו). מאיזה רכיבי הספק מורכב המהפך? פרט את המילים באנגלית של השיטה PWM. מהו תרגום הביטוי לעברית?

2) ענה על כל הסעיפים הבאים:

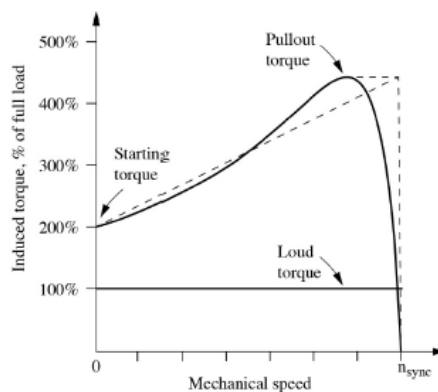
א. סעיף זה נועד לבחון באופן גרפי את תהליך התנעת מערכת הכוללת את מנוע השראה + עומס מכני. באיור א' לשאלה מתוארים שני אופייניים מכניים: של מנוע השראה ושל עומס מכני מסוים.



איור א'

החצים על פני האופייניים מראים את שינויי נקודת העבודה של המערכת במשך תהליך ההתנעה (מרגע חיבור המתח למנוע ועד להתייצבות המערכת). שינוי המהירות מ-0 ועד המהירות הסופית מתאפשר תודות למומנט הדינמי שנוצר בתהליך ההתנעה. העתק את האיור למחברתך. ציין עליו את גודלו של המומנט הדינמי במהירויות הבאות: $n = n_2$, $n = n_1$, $n = 0$.

כדי לחשב, באופן מקורב, את זמן ההתנעה, נתאר את האופיין המכני של מנוע כקירוב לטרפז, כפי שנראה באיור ב' (קו מקווקו).



איור ב'

הביטוי המתמטי עבור האופיין המכני המקורב של המנוע $T_M(\omega)$ ייראה

$$T_M(\omega) = T_{st} + \frac{T_{max} - T_{st}}{\omega_{sync}} \cdot \omega \quad \text{כך:}$$

כאן: T_{st} - מומנט התנעה, T_{max} - מומנט מרבי.

- המצב המתמיד מאופיין על ידי המהירות: $n_{sync}(\omega_{sync})$.
- נתון מנוע השראה בעל שלושה זוגות קטבים: $T_{max} = 140 \text{ Nm}$, $T_{st} = 60 \text{ Nm}$, 50 Hz .
- ב. רשום את הביטוי של אופיין המנוע $T_M(\omega)$.
- ג. המנוע מניע עומס מכני המאופיין על ידי מומנט סטטי קבוע: $T_{LD} = 40 \text{ Nm}$ ומומנט התמד: $J_{LD} = 6 \text{ Nmsec}^2$. מזניחים את מומנט התמד של המנוע. חשב את פרק זמן ההתנעה t_{st} של המערכת.

הנחיה לפתרון:

את המשוואה $T_M(\omega) = T_{din}(\omega) + T_{LD}$ אפשר להביא לצורה קנונית

$$\tau \frac{d\omega(t)}{dt} - \omega(t) = c \quad \text{הבאה:}$$

פתרון המשוואה יהיה: $\omega(t) = c \cdot \left(e^{\frac{t}{\tau}} - 1 \right)$ (שימו לב: ה- e בחזקה חיובית).

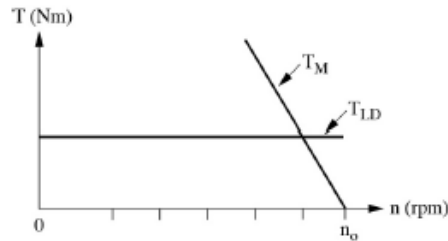
הצבת: $\omega = \omega_{sync}$ מאפשרת למצוא את פרק זמן ההתנעה t_{st} .

3) מנוע DC בעל עירור זר מוזן במתח V_M . התנגדות העוגן R_a .

המנוע מסובב עומס מכני בעל מומנט קבוע T_{LD} .

באיור שלפניך מתוארים שני אופיינים מכניים:

של המנוע: $T_M = f(n)$ עבור מתח ההזנה מסוים V_M ושל העומס: $T_{LD} = const$.



בהמשך מתייחסים לשני מקרים שבהם משנים אחד מהנתונים בפעולת המנוע.

א. מוסיפים בטור לעוגן המנוע נגד R_{add} . התנגדות מעגל העוגן תהיה $R_a + R_{add}$.

i. העתק את האיור לשאלה למחברתך והוסף, באופן איכותי, את הקו

המתאר את אופיין המנוע $T_M'(n)$ עבור פעולת המנוע כשהנגד R_{add}

במעגל העוגן. סמן על פני השרטוט את נקודת העבודה של המערכת.

ii. איך ישתנו (יגדלו, יקטנו, או יישארו ללא שינוי) המאפיינים הבאים:

הזרם הנצרך, מהירות המנוע, נצילות המנוע?

נמק את התשובה לגבי כל מאפיין.

ב. אין נגד נוסף במעגל העוגן. מורידים מתח הזנת המנוע לידי: V_M' , $(V_M' < V_M)$.

i. העתק את האיור לשאלה למחברתך והוסף, באופן איכותי, את הקו

המתאר את אופיין המנוע $T_M''(n)$ עבור פעולת המנוע במתח V_M' .

סמן על פני השרטוט את נקודת העבודה של המערכת.

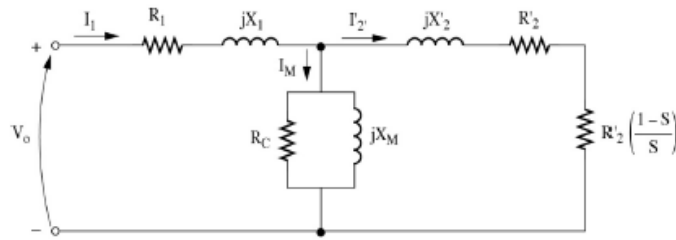
ii. איך ישתנו (יגדלו, יקטנו, או יישארו ללא שינוי) המאפיינים הבאים:

הזרם הנצרך, מהירות המנוע ונצילות המנוע?

נמק את התשובה לגבי כל מאפיין.

4) ענה על כל הסעיפים הבאים:

א. מעגל תמורה מדויק לפאזת מנוע השראה אפשר לתאר בתצורה הבאה:



נתייחס לתיאור מעגל הרוטור.

הנתון R_2' מאפשר למצוא את ההפסדים ברוטור: $\Delta P_{rot} = 3 \cdot (I_2')^2 \cdot R_2'$

נתייחס לנתון: $R_2' \cdot \left(\frac{1-s}{s}\right)$

איזה מאפיין בפעולת המנוע נתון זה מאפשר למצוא? הצג את הנוסחה.

ב. בפאזות הרוטור של מנוע השראה מושרה מתח חילופין.

האם תדירות מתח החילופין f_2 ברוטור זהה לתדירות מתח הזנת המנוע f_1 ?

אם התשובה היא "לא", מהו הקשר בין שתי התדירויות?

ג. מנוע השראה בעל שני זוגות קטבים וחיבור הסלילים בכוכב, מוזן

במתח של: $460V, 50Hz$. ההפסדים הקבועים (מגנטיים ומכניים)

שווים ל- $1,100W$ (נתון זה מבטל את הרכיב R_c במעגל התמורה).

יתר הנתונים של מעגל התמורה הם:

$R_1 = 0.641\Omega, X_1 = 1.106\Omega, R_2' = 0.332\Omega, X_2' = 0.464\Omega, X_M = 26.3\Omega$

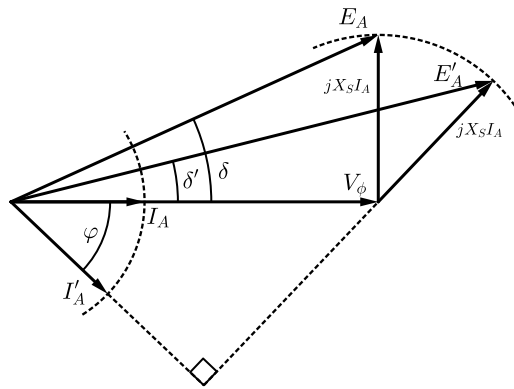
המנוע מסובב עומס מכני בהחלקה של 2.2%.

i. חשב את הזרם I_1 הנצרך על ידי המנוע.

ii. חשב את נצילות המנוע $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$ במצב העבודה הנתון.

5) גנרטור סינכרוני עם חיבור סלילים בכוכב הוא בעל הנתונים הנומינליים הבאים: 3.2kV , 50Hz , 1.0MVA . ההיגב הסינכרוני שווה ל- $X_s = 1.2\Omega$, התנגדות הסלילים זניחה.

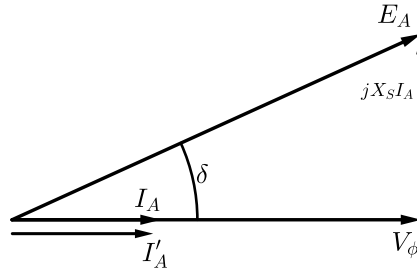
א. הגנרטור מספק לצרכנים זרם נומינלי. בפעולת המערכת ערכו של הזרם אינו משתנה, אך המופע נע בין $\cos \varphi = 1$ (עומס התנגדותי) ל- $\cos \varphi = 0.8$ (עומס השראי). נדרש לשמור על מתח קבוע ושווה למתח הנומינלי. באיור א' מוצגת דיאגרמה וקטורית איכותית לשני מצבי פעולת הגנרטור: $\cos \varphi = 1$ ו- $\cos \varphi = 0.8$. בדיאגרמה מתבטאים התנאים הנדרשים של פעולת המערכת: מתח וזרם נומינליים.



איור א'

- כאן: V_ϕ - מתח פאזי של הגנרטור. מהתבוננות בדיאגרמה מסיקים כי הכא"ם E_A וזווית העומס δ משתנים עם שינוי המופע.
- חשב את תחום השינוי של הכא"ם E_A ושל זווית העומס δ .
 - האם התוצאות משקפות את מה שנראה בדיאגרמה?
 - מה הוא האמצעי במערכת הקובע את הכא"ם הנדרש?

ב. הגנרטור פועל בתנאים הבאים: עומס התנגדותי, מתח זורם נומינליים. ברגע מסוים נותק חלק מהצרכנים, הדבר הביא להקטנת הזרם לידי חצי מהזרם הנומינלי. ידוע שזרם העירור של הגנרטור לא השתנה. באיור ב' מוצגת דיאגרמה וקטורית איכותית לפעולת הגנרטור בזרם הנומינלי בעל אופי התנגדותי.



איור ב'

העתק את האיור למחברתך.
תאר את הדיאגרמה למצב של הזרם הקטן מהנומינלי (מסומן I'_A).
איך ישתנו (יגדלו, יקטנו, או יישארו ללא שינוי) המאפיינים הבאים:
הכא"ם, המתח וזווית העומס (נסמן: δ' , V'_ϕ , E'_A)?
חשב את הערכים החדשים של המאפיינים שהשתנו.

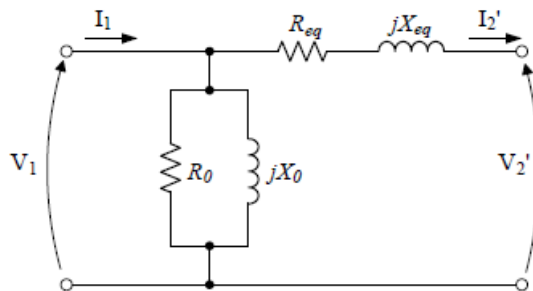
הנחייה לפתרון: אפשר להיעזר במשפט פיתגורס.

6) נתון מנוע לזרם ישר בעל מגנטים קבועים (Permanent Magnet). התנגדות סליל העוגן היא 0.8Ω . המנוע פועל במתח של $220V$.

- א. מהו תפקידם של מגנטים קבועים במנוע?
- ב. המנוע פועל ללא עומס על צירו (בריקס), צורך זרם של $2.0A$ ומסתובב במהירות של 1040rpm . בריקס, הספק המוצא של המנוע שווה לאפס. לאן הולך ההספק שנצרך ממקור ההזנה?
- ג. במצב עבודה מסוים, המנוע צורך זרם של $20A$. מה תהיה מהירות המנוע? מהי נצילות המנוע במצב זה?
- ד. רוצים להגיע למהירות של 400rpm באמצעות הורדת מתח ההזנה. ידוע שהמומנט על ציר המנוע הוא קבוע, ללא תלות במהירות. איזה מתח יש לחבר למנוע?

7) נתון שנאי חד פאזי מוריד מתח: 100kVA , $6000/400\text{ [V/V]}$, 50Hz .

ההתנגדות של סליל המתח הגבוה היא: $R_1 = 0.72\Omega$, ושל סליל המתח הנמוך היא: $R_2 = 0.007\Omega$. ההיגב של סליל המתח הגבוה הוא: $X_1 = 0.92\Omega$, ושל סליל המתח הנמוך: $X_2 = 0.009\Omega$. באיור לשאלה מתואר מעגל התמורה של השנאי:



מרכיבי המעגל: $R_{eq} = R_1 + R_2'$, $X_{eq} = X_1 + X_2'$. במצב ריקס, בהזנת השנאי במתח הנומינלי, נצרך הזרם של $2.0A$ בגורם הספק של 0.16 .

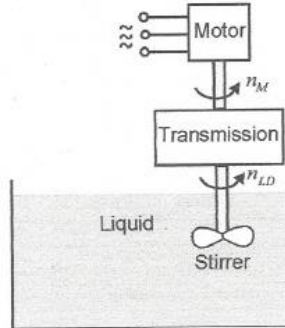
- א. מצא את הערכים של R_0 ושל X_0 .
- ב. חשב את המתח המשני.

הערה:

אפשר להניח כי זווית המופע של המתח הראשוני זהה לזווית המופע של המתח המשני ושווה ל-0.

- ג. חשב את נצילות השנאי במצב המתואר.

8) לערבוב חומרים נוזליים (Liquid) משתמשים בבוחש (Stirrier). במתקן, המתואר באיור שלפניך, הבוחש מסתובב באמצעות מנוע השראה תלת פאזי בחיבור משולש דרך תמסורת (Transmission).



המנוע מוזן במתח של: $400V$, $50Hz$. התנגדות הסליל הפאזי של הסטטור

היא: $R_1 = 0.48\Omega$. התמסורת היא בעלת היחס: $TR = \frac{n_{LD}}{n_M} = 0.2$.

בפעולת המערכת נמדדו:

הזרם הנצרך מהרשת $10.8A$, מהירות המנוע $n_M = 1460\text{rpm}$

וגורם ההספק $\cos \varphi = 0.82$.

ידועים הפסדי הברזל $\Delta P_{Fe} = 80W$ וההפסדים המכניים $\Delta P_{mech} = 60W$.

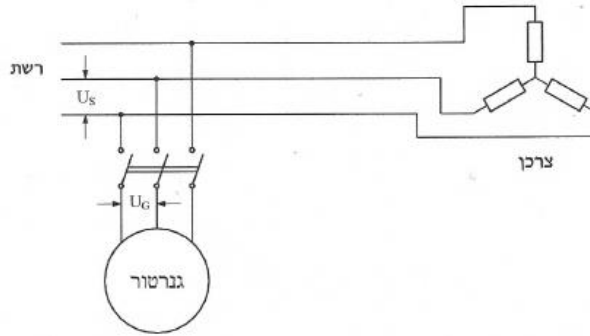
א. חשב את מהירות הבוחש n_{LD} .

ב. חשב את המומנט על ציר המנוע T_M .

ג. חשב את המומנט על ציר הבוחש T_{LD} .

9) ענה על כל הסעיפים. אין קשר בין סעיפי השאלה.

א. כידוע, תחנות כוח מצויידות בכמה גנרטורים סינכרוניים תלת פאזיים, אשר מתחברים לרשת או מתנתקים ממנה בהתאם לגודל העמסת המערכת. התהליך מתואר באיור א'.



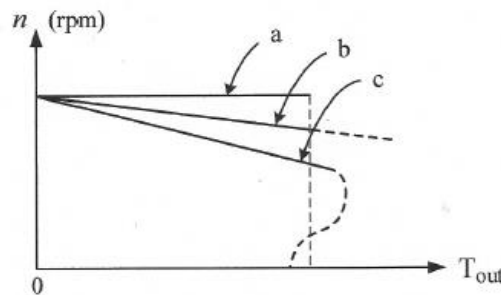
איור א'

מניחים שהגנרטור מתחבר לרשת חשמלית בעלת הספק אינסופי. מהנחה זו נובע כי מתח הרשת, U_s , ותדירות הרשת, f_s , הם ערכים קבועים ואינם תלויים בגנרטור, המתחבר לרשת. כדי למנוע את מכת הזרם בסלילי הגנרטור המתחבר, חייב להתקיים ברגע החיבור התנאי: $u_G = u_s$, כאשר u_G ו- u_s הם הערכים הרגועים של מתח הגנרטור ושל מתח הרשת. בצורה מפורשת התנאי הזה ייראה כך:

$$U_G^{\max} \cdot \sin[(\omega t)_G - \varphi_G] = U_s^{\max} \cdot \sin[(\omega t)_s - \varphi_s]$$

כאשר: φ - זווית מופע, $\omega = 2\pi f$ - תדירות זוויתית. שוויון זה מתקיים רק כאשר מתמלאים ארבעה תנאים הכרחיים בעת החיבור. פרט את התנאים הללו. מהי הדרך להשגתם?

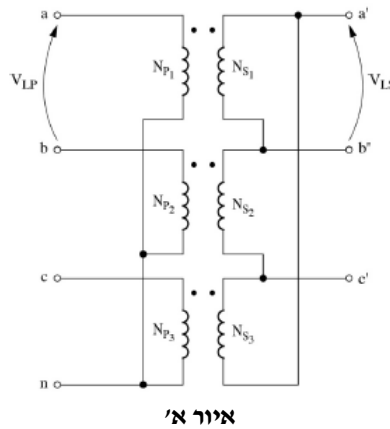
ב. באיור ב' לשאלה מתוארים שלושה אופיינים, a, b ו-c, של תלות מהירות המנוע n במומנט על צירו T_{out} .



איור ב'

האופיינים מתייחסים לשלושה סוגי מנועים: מנוע לזרם ישר, מנוע סינכרוני ומנוע השראה. התאם כל אופיין לסוג המנוע שלו.

10) ענה על כל הסעיפים. אין קשר בין סעיפי השאלה.
א. באיור א' מתואר שנאי תלת פאזי אידיאלי.



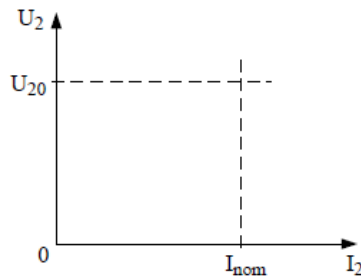
איור א'

- i. מהם סוגי החיבורים של הסליל הראשוני (primary) ושל הסליל המשני (secondary)?
ii. נתונות מספר כריכות בסלילים:

$$N_{S1} = N_{S2} = N_{S3} = 240 \text{ turn}, N_{P1} = N_{P2} = N_{P3} = 1200 \text{ turn}$$

לשנאי מתחבר מתח בראשוני: $V_{LP} = 3460V$. מצא את המתח במשני V_{LS} .

- ב. על שלט השנאי רשומים, בין היתר, שני המתחים, המתח הראשוני והמתח המשני, לדוגמה: $3300 / 400 [V/V]$. אם מתחבר לראשוני מתח של $3300V$, אין זה אומר שבהכרח במשני יהיה המתח $400V$. כידוע, המתח במשני משתנה לפי הגודל והאופי של העומס ותלוי בו. מהי המשמעות של הנתון $400V$?
ג. בכל זאת, לחישוב איזה נתון של השנאי משתמשים ביחס המתחים המופיע בשלט?
ד. ידוע ששינוי המתח בשנאי תלוי בגודל העומס (הזרם I_2) ובסוג העומס (זווית המופע φ_2). באיור לשאלה נתונה מערכת צירים: $U_2 = f(I_2)$.



איור ב'

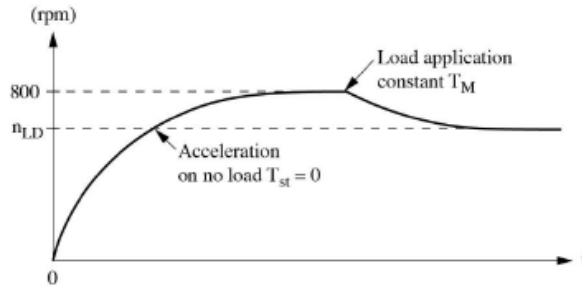
המתח U_{20} - מתח ריקם של השנאי.

העתק את האיור למחברתך ושרטט באופן איכותי את שלוש העקומות של שינוי המתח על פני העומס עבור: העומס ההתנגדותי, העומס ההשראי והעומס הקיבולי.

- 11** מנוע השראה מסובב משאבה צנטריפוגלית. המשאבה דורשת בתחילת ההתנעה מומנט של : $T_p^{st} = 20 \text{ Nm}$.
- התלות בין מומנט המשאבה T_p לבין מהירות המשאבה n היא ריבועית ומבוטאת באמצעות הביטוי הבא : $T_p - T_p^{st} = k_p \cdot n^2$ - קבוע המשאבה. במהירות הקבועה של 960rpm נדרש המומנט של $T_p = 140 \text{ Nm}$.
- א. מצא את קבוע המשאבה k_p .
- תאר את ביטוי האופיין המכני של המשאבה $T_p = f(n)$.
- ב. בנה את האופיין המכני $T_p(n)$ בתחום בין 0 ל-960rpm (יש לקחת את מספר המהירויות בתחום ולחשב את המומנטים).
- ג. בפעולת המערכת במהירות הקבועה של 960rpm המנוע מוזן במתח של 400V, פועל בגורם ההספק של 0.84 ובנצילות של 86%. חשב את הזרם הנצרך מהרשת.

מבחן קיץ 2020 מועד א:

- 1) באיור שלפניך מוצגות עקומות התנעה והעמסה של מערכת מנוע DC + עומס מכני. המנוע בעל עירור זר. כדי להקל על התנעת המערכת מנתקים את העומס בתהליך ההתנעה בעזרת מצמד (clutch) בו מצוידת המערכת.



נתוני המנוע הם: התנגדות סליל העוגן $R_a = 0.8 \Omega$, מומנט התמד של רוטור המנוע $J_M = 2 \text{ Nm sec}^2$, מומנט ריקם של המנוע זניח $T_0 = 0$ ($T_{out} = T_{em}$).
נתוני העומס הם: המומנט הסטטי קבוע ושווה ל- $T_{LD} = T_{st}$, מומנט התמד $J_{LD} = 6 \text{ Nm sec}^2$.

- א. מתניעים את המנוע, ללא עומס, באמצעות חיבור מתח של 100 V לעוגן. המנוע מגיע למהירות הקבועה (המהירות במצב המתמיד) של 800 rpm . מהו קבוע הזמן של עקומת ההתנעה τ_{st} ? מהם הביטויים המתמטיים של השתנות המהירות בזמן $\omega_{st}(t)$ ו- $n_{st}(t)$? בדוק שבמצב המתמיד הביטוי נותן ערך של 800 rpm .
- ב. כאשר המערכת מגיעה למהירות הקבועה, העומס מתחבר לציר המנוע. המהירות יורדת ומתייצבת בערך נמוך יותר - n_{LD} . מהו קבוע הזמן של עקומת ההעמסה τ_{LD} ? מהם הביטויים המתמטיים של השתנות המהירות בזמן $\omega_{LD}(t)$ ו- $n_{LD}(t)$ מרגע חיבור העומס?

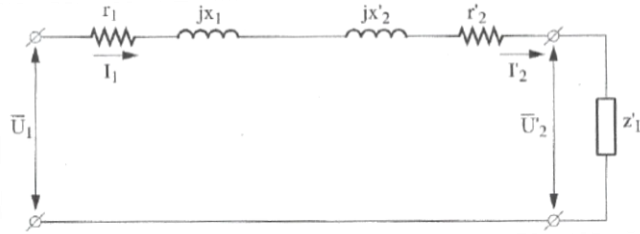
הנחייה לפתרון סעיפים א' ו-ב':

נסמן קבוע המנוע - $k_a \cdot \phi = k_M$. בניית הביטוי של האופיין $T_M = f(\omega)$ מבוססת על שתי המשוואות הבאות: $V_M = k_M \cdot \omega + I_M \cdot R_a$ ו- $T_M = k_M \cdot I_M$. אחרי הצבת הנתונים יתקבל הביטוי:

$$T_M(\omega) = \frac{k_M}{R_a} \cdot V_M - \frac{k_M^2}{R_a} \cdot \omega(t)$$

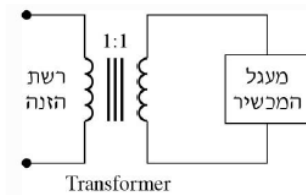
הערה: אין קשר בין הסעיפים א' ו-ב' לבין הסעיפים ג' ו-ד'.

- 2) נתון שנאי חד פאזי בעל הספק של 4.0 kVA ומתחים של $460/230$ [V/V] באיור א' מוצג מעגל תמורה מקורב (ללא ענף המגנט).



איור א'

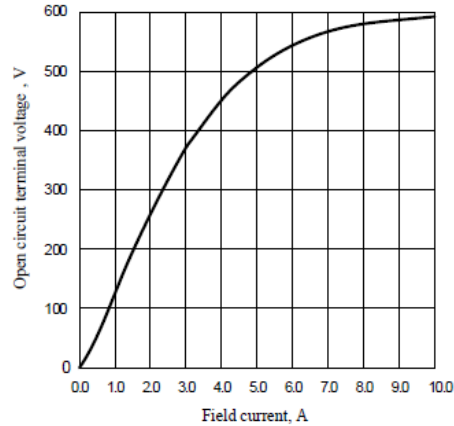
- נתוני מעגל התמורה הם: $I_1 = I'_2$, $r_1 = 0.62\Omega$, $x_1 = 1.35\Omega$, $r'_2 = 0.56\Omega$, $x'_2 = 1.22\Omega$.
 השנאי מוזן במתח של 460V. זרם העומס הוא קבוע ושווה לזרם הנומינלי של השנאי.
 גורם ההספק של העומס משתנה בין $\cos \varphi = 1$ (עומס התנגדותי) לבין $\cos \varphi = 0.7$ מפגר.
 א. חשב את המתח על פני העומס U_2 עבור שני הערכים של גורם ההספק.
 (הנחייה לפתרון: הנח שהזרם הוא בעל גורם הספק זהה לאורך כל מעגל התמורה).
 ב. בנה שני אופיינים $U_2 = f(I_2)$ (במערכת צירים אחת) עבור גורמי הספק הנתונים בדיעת המתח בריקים ובהנחה שהאופיינים הם ליניאריים.
 ג. מעגלי מכשירים רבים מתחברים לרשת הזנה דרך שנאי בעל יחס השנאה של 1:1 (שנאי מבדיל) ולא ישירות לרשת. ראה איור ב'. אילו יתרונות מושגים בכך?



איור ב'

- ד. בחיבור שנאים תלת פאזיים במקביל יש להקפיד, בין היתר, על שייכות השנאים לאותה קבוצת חיבורים ועל שוויון מתחי הקצר. האם שנאים השייכים לקבוצות חיבורים שונות לא יכולים לעבוד במקביל בכל תנאי?
 האם שנאים בעלי קבוצת חיבורים זהה ומתחי קצר שונים לא יכולים לעבוד בכל תנאי? נמק את תשובתיך.

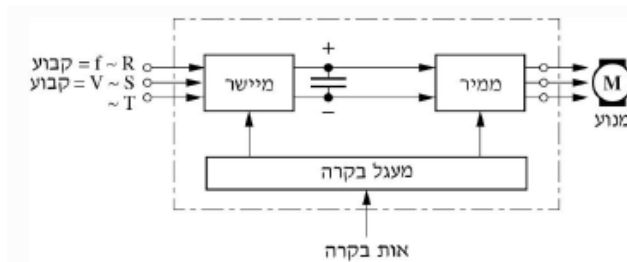
- 3) נתוני גנרטור סינכרוני הם: חיבור סלילים במשולש, ארבעה קטבים, מתח נומינלי $400V$, $50Hz$, התנגדות סליל פאזי $R_a = 0.015\Omega$, היגב סינכרוני $X_s = 0.1\Omega$. ההפסדים הקבועים (המגנטיים והמכאניים) בגנרטור הם $56kW$. באיור לשאלה מוצג אופיין המבטא את התלות בין מתח המוצא של הגנרטור בריקם לבין זרם העירור.



- א. הגנרטור מספק לצרכנים זרם של $800A$ בגורם הספק משתנה בין $\cos \varphi = 1$ לבין $\cos \varphi = 0.7$ מפגר. נדרש לשמור על מתח המוצא $400V$ בכל המצבים. מצא את תחום שינוי זרם העירור הנדרש כדי לקבל את המתח של $400V$.
 ב. מה יהיה תחום שינוי נצילות הגנרטור עבור העומסים המצוינים בסעיף א'?
 ג. מהי מהירות הסיבוב של רוטור הגנרטור?

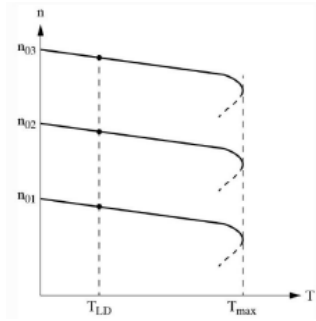
הערה: אין קשר בין סעיפים א' ו-ב' של השאלה.

- 4) ענה על הסעיפים הבאים:
 א. מעגל משנה מהירות אלקטרוני של מנוע השראה, המוצג באיור א', מורכב משני מעגלי הספק (המיישר והממיר) ומעגל הבקרה.



איור א'

- במוצא של המיישר מתקבל מתח ישר קבוע. הממיר בונה גל של מתח חילופין. באיור ב' לשאלה נראים אופיינים מכניים תקינים של מנוע השראה אשר מחובר למשנה המהירות, עבור המהירויות השונות.



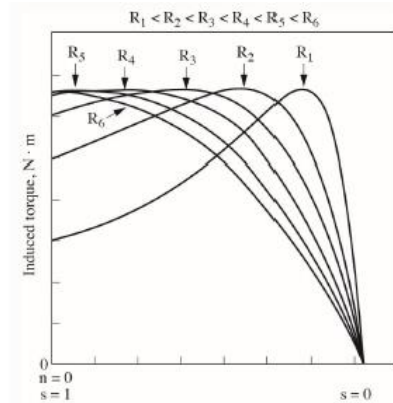
איור ב'

אלו מאפיינים של המעגל נחוץ לשנות באמצעות הממיר ומעגל הבקרה כדי לקבל את האופיינים המוצגים באיור ב'? נמק את התשובה בעזרת הנוסחאות וההסברים המתאימים.

ב. מנוע השראה תלת פאזי בחיבור כוכב פועל במתח $400V$, $50Hz$ ומספק לעומס המכני הספק של $3.2kW$. במצב עבודה זה מהירות המנוע היא $950rpm$, גורם ההספק 0.7 והנצילות 82% . התנגדות של הסליל הפאזי בסטטור היא 0.6Ω . ההפסדים המכניים במנוע הם $190W$. חשב את:

- i. המומנט על ציר המנוע.
- ii. המומנט האלקטרומגנטי.
- iii. ההפסדים המגנטיים במנוע.

5 להגדלת מומנט התנעה של מנוע השראה, משתמשים במנוע השראה בעל רוטור מלוּפף עם אפשרויות הכנסת נגדים בטור לסלילי הרוטור. הדבר מוצג באיור הבא בו נראים אופיינים מכניים של המנוע עבור התנגדויות שונות במעגל הרוטור.



אפשר לראות מהאיור שהמומנט המרבי לא משתנה עם הכנסת הנגדים למעגל הרוטור, אלא שהחלקה הקריטית s_{cr} , שבה מתקיים המומנט המרבי, גדלה וזוהי לתחילת הצירים.

- א. הצג את הנוסחה לחישוב החלקה הקריטית s_{cr} (דרך מאפייני מעגל התמורה של המנוע).
הסבר באמצעות הנוסחה את האפשרות להגדלת מומנט ההתנעה.
- ב. מהם החסרונות של מנוע עם רוטור מלוּפף בהשוואה למנוע עם רוטור כלוב?
- ג. למה נחוץ הספק עיוור שמנוע השראה צורך מהרשת?

6 הנתונים הנומינליים של מנוע DC בעל עירור זר הם: 1000rpm , 250V , 2700W ,

התנגדות סליל העוגן היא $R_a = 1.2\Omega$.

המנוע מיועד להפעלת מסוע המעביר חומר לתהליך מסוים.

המהירות הנדרשת מהמסוע היא 200rpm ולכן משתמשים בתמסורת

בעלת מקדם $TR = 0.2$.

א. המומנט מהמסוע הוא יחסי למשקל החומר על פניו.

אסור להעמיס מנוע במומנט מעל המומנט הנומינלי.

חשב את המומנט המרבי של המסוע.

ב. מזניחים את מומנט הריקם של המערכת (מצב שבו המסוע ריק).

חשב את הזרם שצורך המנוע בתנאי ההעמסה המרבית.

הנחיה לפתרון:

שימוש בשתי משוואות היסוד של המנוע הישר $V_M = k_a \cdot \phi \cdot \omega + I_M \cdot R_a$

ו- $T_{em} = k_a \cdot \phi \cdot I_M$ מביא למשוואה ריבועית לגבי הזרם.

יש לבחור את הערך המתאים לנתוני השאלה.

ג. מה תהיה מהירות המסוע הריק?

ד. במקום שימוש בתמסורת, אפשר להגיע למהירות הנדרשת של המסוע

באמצעות הורדת מתח הזנת המנוע. אם מורידים את מתח המנוע לערך

הנדרש (ללא התמסורת), בידיעה שתנאי פעולת המסוע אינם משתנים,

האם יש להחליף את המנוע בגדול יותר או להשאיר את הנוכחי?

נמק את התשובה.

7 מנוע DC בעל עירור זר מסובב עומס מכני מסוים שעבורו המומנט T_{LD} עולה באופן

ליניארי עם עליית המהירות. התנגדות סליל העוגן היא $R_a = 1.2\Omega$.

מזניחים את מומנט הריקם של המערכת.

במצב עבודה מסוים של המערכת, המנוע מוזן במתח של 240V , מסתובב במהירות

של 2000rpm וצורך זרם של 10A . כאשר מורידים באמצעות הורדת המתח את מהירות

המערכת ל- 1000rpm , הזרם הנצרך על ידי המנוע יורד ל- 8A .

על בסיס שני מצבי פעולת המערכת הידועים אפשר לבנות את האופיין המכני של העומס.

א. מהו הביטוי המתמטי של האופיין המכני $T_{LD} = f(n)$?

ב. בנה את האופיין בצירים T ו- n ובקנה המידה המתאים.

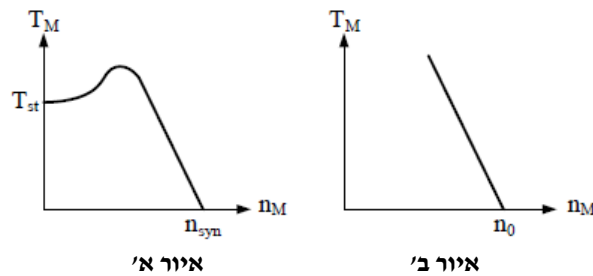
ג. מהו מתח הזנה למנוע כאשר המנוע מסתובב במהירות של 1000rpm ?

הערה: אין קשר בין סעיפי השאלה.

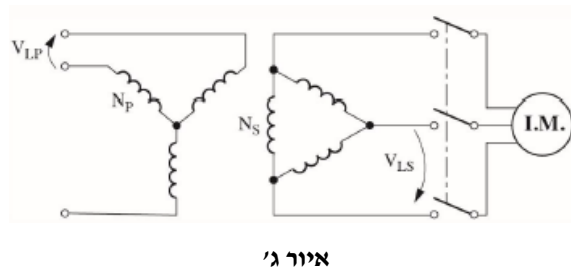
8) ענה על כל הסעיפים הבאים:

א. באיור א' מוצג אופיין מכני של מנוע השראה הבנוי עבור המתח הנומינלי. העתק את האופיין למחברתך ושרטט, באופן איכותי, את האופיין עבור מתח שקטן מהמתח הנומינלי.

ב. באיור ב' מוצג אופיין מכני של מנוע לזרם ישר בעל עירור זר עבור המתח הנומינלי. העתק את האופיין למחברתך ושרטט, באופן איכותי, את האופיין עבור מתח שקטן מהמתח הנומינלי.



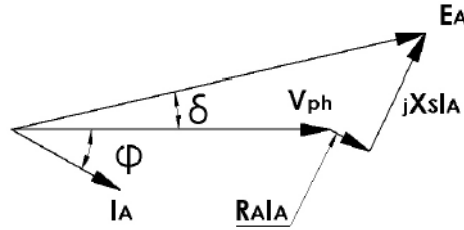
ג. באיור ג' מוצגת מערכת חיבור מנוע השראה (Induction Motor) לרשת חשמל דרך שנאי תלת פאזי. מספר הכריכות בסליל הפאזי הראשוני הוא $N_p = 800$ turns ואילו בסליל המשני מספר הכריכות הוא $N_s = 500$ turns.



במצב עבודה נומינלית המנוע צורך 32A במתח 400V.

- i. מהו המתח ראשוני V_{LP} ?
- ii. בהנחה שהשנאי הוא אידיאלי, מהו ההספק המדומה (ב-kVA) הנדרש של השנאי? מהו הזרם בראשוני?

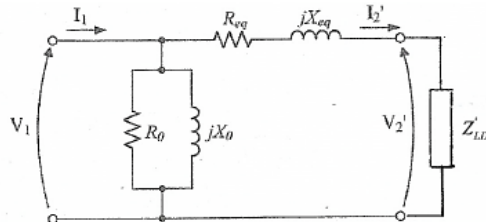
9) באיור שלפניך מוצגת דיאגרמה וקטורית של גנרטור סינכרוני עבור פאזה אחת.



- E_A - כא"מ פאזי, V_{pk} - מתח פאזי, I_A - זרם פאזי, R_A - התנגדות סליל הפאזה, X_s - היגב סינכרוני של סליל הפאזה, φ - זווית המופע, δ - זווית העמסה.
- א. לפי הדיאגרמה הוקטורית, העומס של הגנרטור הוא בעל אופי השראי. איך מגיעים למסקנה זו?
- ב. מהם הגורמים בפעולת המערכת, אשר קובעים את גודל הכא"מ, E_A . נמק את התשובה בעזרת הנוסחאות המתאימות.
- ג. סרטט באופן איכותי את הדיאגרמה הוקטורית למקרה, שבו העומס הוא התנגדותי טהור.

10) נתון שנאי חד פאזי מוריד מתח - $2300 / 230 [V / V]$.

חישובי השנאי מבוססים על מעגל תמורה מקורב הנראה באיור הבא:



מרכיבי מעגל התמורה הם:

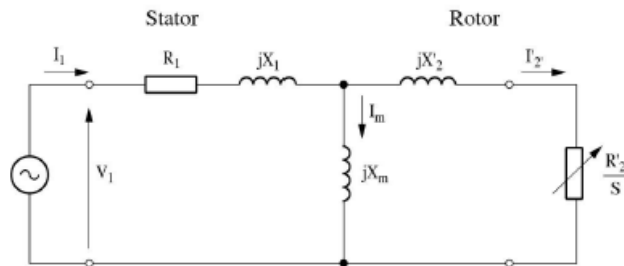
$$R_0 = 106 \text{ k}\Omega, X_0 = 11 \text{ k}\Omega, R_{eq} = 4.45 \Omega, X_{eq} = 6.45 \Omega$$

השנאי מוזן במתח של 2300 V .

לשנאי מתחבר עומס בעל עכבה: $Z_{LD} = (2.8 + j1.5) \Omega$ (לא מתוקן לראשוני).

- א. השנאי פועל בריקם (העומס אינו מחובר לשנאי).
חשב את הזרם בריקם, I_0 , ואת גורם ההספק, $\cos \varphi_0$.
כעת לשנאי מתחבר העומס.
- ב. מהו גורם ההספק של העומס $\cos \varphi_{LD}$?
- ג. חשב את הזרם, I_1 , הנצרך בראשוני.
- ד. מהו גורם ההספק $\cos \varphi_1$ בכניסת השנאי?

11 סלילי מנוע השראה מחוברים בכוכב. מעגל תמורה חשמלי מקורב של פאזת המנוע נראה באיור הבא :



המאפיינים של מעגל התמורה הם :

$$X_m = 7.2\Omega, X_2 = 0.18\Omega, R_2 = 0.07\Omega, X_1 = 0.19\Omega, R_1 = 0.082\Omega$$

בעומס מסוים המנוע מסתובב במהירות של 940rpm וצורך זרם של 80A.

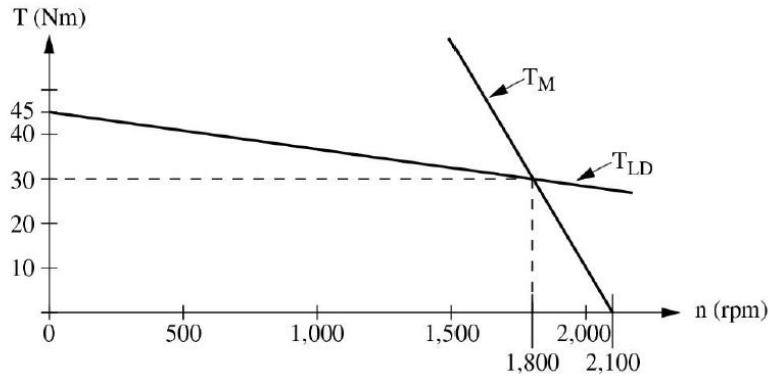
א. מצא את גורם ההספק $\cos \varphi$ במצב עבודת המנוע הנתון.

(רמז: יש למצוא את זווית המופע של הזרם הנצרך).

ב. חשב את מתח הזנת המנוע ואת ההספק הנצרך במצב הנתון של עבודת המנוע.

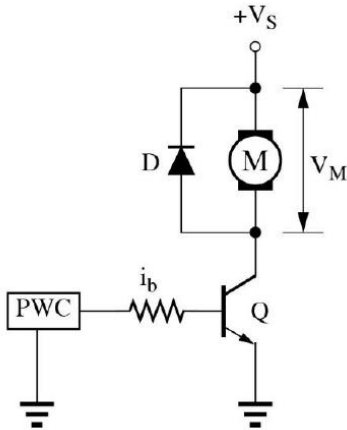
מבחן אביב 2020 מועד א:

- 1) מנוע DC בעל עירור זר מסובב עומס מכאני בעל אופיין $T_{LD} = f(n)$ כמתואר באיור לשאלה. באיור מתואר גם אופיין $T_M = f(n)$ של המנוע עבור מתח הזנה מסוים.



- לכל אופיין מוגדרות שתי נקודות של תלות בין המומנט למהירות.
- כתוב, על סמך הנתונים, את שני הביטויים המבטאים תלות בין המומנטים T_M ו- T_{LD} לבין המהירות n .
 - תאר את הביטויים הנ"ל כפונקציות של המהירות הזוויתית ω .
 - נתון שמומנט ההתמדה (האינרציה) השקול של העומס והמנוע הוא $J_{\Sigma} = 2 \text{ Nm sec}^2$. מתניעים את המערכת ממצב המנוחה. תאר את ביטוי השתנות המהירות ω בזמן $\omega = f(t)$ בתהליך ההתנעה. מהו קבוע הזמן של התהליך? בדוק שהביטוי נותן את המהירות $n = 1800 \text{ rpm}$ במצב המתמיד.

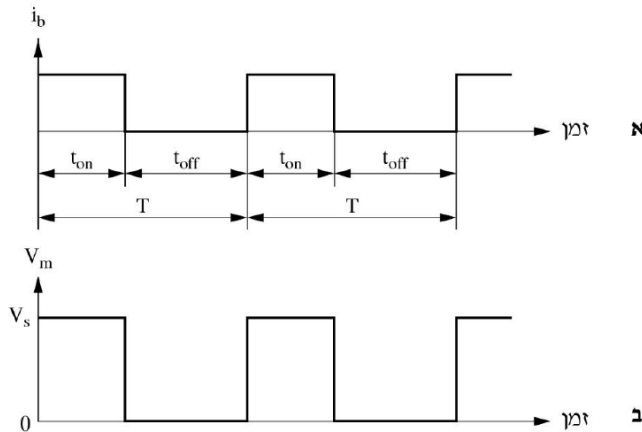
2) באיור א לשאלה 2 מוצג מעגל בקרת מהירות מנוע DC בעל מגנטים קבועים.



איור א' לשאלה 2

בקרת המהירות מבוססת על שינוי המתח הממוצע המסופק למנוע. השיטה המקובלת לשינוי המתח היא בקרת רוחב הדופק (PWC-pulse width control) או אפנון רוחב הדופק (PWM). טרנזיסטור ההספק Q הוא מסוג בי פולרי NPN. מניחים שהטרנזיסטור הוא אידיאלי.

מעגל בקרה PWC מספק זרם i_b לבסיס הטרנזיסטור באופן מחזורי (זמן מחזור T) כמתואר באיור ב' לשאלה 2.



איור ב' לשאלה 2

המחזור T מחולק לפרקי הזמן t_{on} ו- t_{off} .

בפרק הזמן t_{on} זורם זרם בבסיס הטרנזיסטור Q, הטרנזיסטור ברוויה, ולמנוע מסופק מתח המקור V_S . בפרק הזמן t_{off} אין זרם בבסיס, הטרנזיסטור בקטעון, וכתוצאה מכך אין מתח על הדקי המנוע. נתוני המעגל עבור המהירות המסוימת הם:
 $T = 50\text{m sec}$, $t_{on} = 20\text{m sec}$, $V_S = 24\text{V}$

א. הגדר את המושג: יחס המיתוג DC (Duty Cycle), למה שווה יחס המיתוג במצב העבודה הנתון?

ב. חשב את המתח הממוצע V_M על הדקי המנוע עבור מצב העבודה הנתון.

ג. מה תפקידה של הדיודה D במעגל?

ד. האם גל שינוי הזרם במנוע יהיה זהה לזה של שינוי המתח?

אם התשובה היא "לא", העתק למחברת את גל שינוי המתח על פני המנוע ותאר על פניו, באופן איכותי, את גל שינוי הזרם.

3 נתונים על שנאי תלת פאזי הם : $3.3kV / 0.4kV$, $S_{nom} = 120kVA$

א. בניסוי ריקם במתח הנומינלי נמדדו בכניסה לסליל הראשוני הערכים הבאים :

$$\cos \varphi_{10} = 0.18 , I_{10} (\%) = 4\%$$

על סמך מדידות אלו, חשב את ההפסדים המגנטיים ΔP_{FE} בליבת השנאי. הזרם הנצרך בריקם נחוץ ליצירת תהליך פיזיקלי מסוים בשנאי, נוסף לכיסוי ההפסדים המגנטיים ΔP_{FE} . מהו התהליך?

ב. בניסוי קצר בזרם הנומינלי נמדדו בכניסה הערכים הבאים :

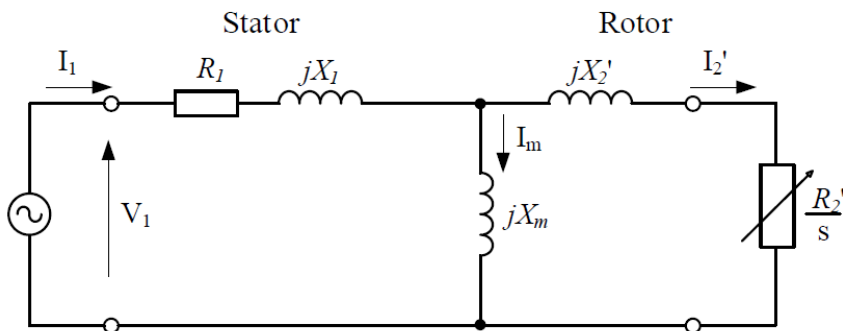
$$\cos \varphi_{1k} = 0.48 , U_{1k} (\%) = 6\%$$

על סמך מדידות אלו חשב את ההפסדים החשמליים ΔP_{cu} בסלילי השנאי במצב העבודה הנומינלי. האם הם תלויים במידת העמסת השנאי? נמק את התשובה.

ג. במצב עבודה מסוים השנאי מועמס ב-50% מהעומס הנומינלי עם גורם הספק מפגר של 0.8. חשב את נצילותו של השנאי במצב העבודה הנתון.

ד. כאשר שני שנאים פועלים במקביל, איך משפיעים מתחי הקצר של השנאים על חלוקת העומס בין השנאים? נמק את התשובה.

4 מתח הזנת מנוע השראה תלת פאזי הוא $400V$, $50Hz$ וסליליו מחוברים במשולש. מעגל תמורה חשמלי מקורב של פאזת המנוע נראה באיור הבא :



המאפיינים של מעגל התמורה הם :

$$X_m = 7.2\Omega , X_2' = 0.18\Omega , R_2' = 0.07\Omega , X_1 = 0.19\Omega , R_1 = 0.082\Omega$$

בעומס מסוים המנוע מסתובב במהירות של 960rpm.

א. מעגל תמורה זה מוגדר כמעגל תמורה מקורב.

איזה ענף חסר בו ומה המשמעות הפיסיקלית של הענף החסר?

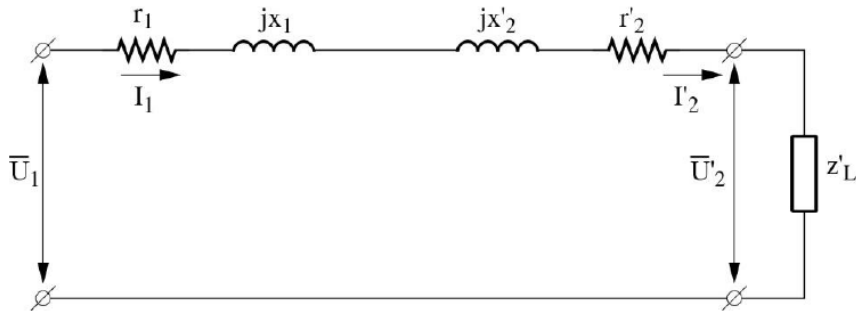
ב. חשב את הזרם הנצרך מהרשת. מהו גורם ההספק בו פועל המנוע?

ג. בהסתמך על מעגל התמורה הנתון, הסבר למה בהתנעת המנוע נצרך

זרם שהוא גדול פי 4-5 מהזרם הנומינלי?

5 נתון שנאי חד פאזי בעל יחס השנאה: $a = \frac{U_1}{U_2} = 2$.

בפעולת שנאי זה נדרש לשמור על מתח קבוע במוצאו $U_2 = 115V$ כאשר זרם העומס קבוע בערכו $I_2 = 20A$, אך עם שינוי המופע בתחום בין $\cos \varphi_2 = 1$ (עומס התנגדותי) לבין $\cos \varphi_2 = 0.7$ מפגר (עומס השראי). השתמשו במעגל תמורה מקורב (ללא ענף המגנוט) המתואר באיור לשאלה כדי למצוא את תחום שינוי המתח בראשוני U_1 הנדרש.



מאפייני המעגל הם: $r_1 = 0.2\Omega$, $X_1 = 0.3\Omega$, $r_2' = 0.24\Omega$, $X_2' = 0.32\Omega$. הזרמים הם: $I_1 = I_2'$.

א. חשב את המתח U_1 הנדרש ואת זווית המופע φ_1 כאשר העומס הוא התנגדותי ($\cos \varphi_2 = 1$).

בנה, באופן איכותי, את הדיאגרמה הוקטורית למקרה זה.

ב. חשב את המתח U_1 הנדרש ואת זווית המופע φ_1 כאשר העומס הוא השראי ($\cos \varphi_2 = 0.7$).

בנה, באופן איכותי, את הדיאגרמה הוקטורית למקרה זה. הנחייה לפתרון:

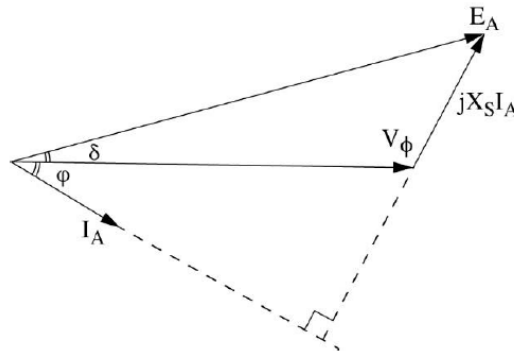
הנח וקטור U_2' כבעל זווית 0° .

הדיאגרמה הוקטורית תכלול חמישה וקטורים: U_1 , $I_2' \cdot X_{eq}$, $I_2' \cdot r_{eq}$, $I_2' = I_1$, U_2' .

ג. על פני לוחית של שנאי מופיע נתון הנקרא "מתח הקצר" (u_k %).

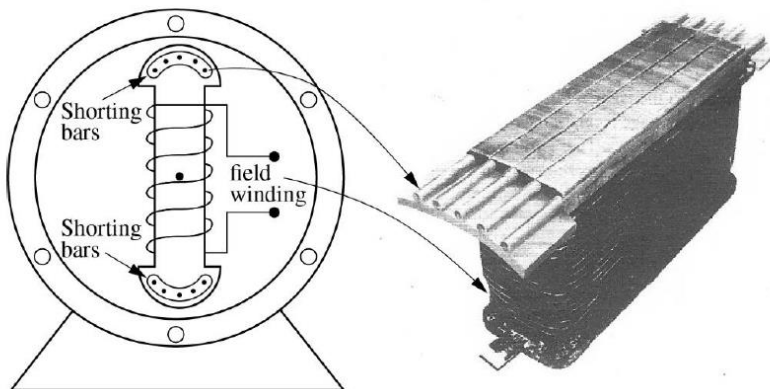
מה חשיבותו של מתח הקצר בפעולת השנאי? חשב את מתח הקצר לשנאי הנתון.

6) באיור א' לשאלה מוצגת דיאגרמה וקטורית של פאזת גנרטור סינכרוני עבור מצב מסוים של הספקת חשמל לצרכים.

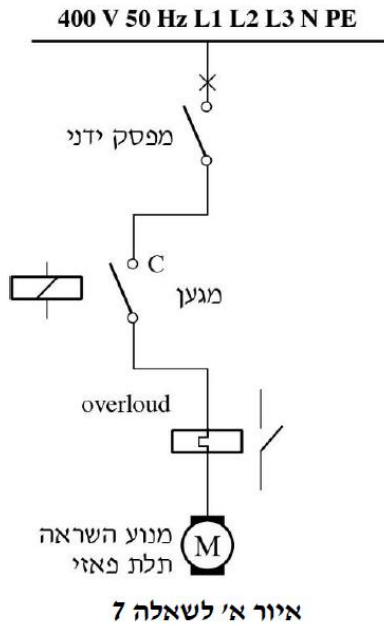


איור א' לשאלה 6

- בדיאגרמה נלקח בחשבון היגב סינכרוני X_S בלבד. במצב זה מסופק לגנרטור מומנט כניסה מכאני T_{in} . איך משתנים מאפייני מערכת הספקת החשמל, אם הזרם הנצרך I_A גדל (ללא שינוי המופע ϕ וללא שינוי זרם העירור של הגנרטור)?
- א. איך ישתנו (או לא ישתנו) המאפיינים הבאים: הכא"מ E_A , המתח V_ϕ , זווית ההעמסה δ ומומנט הכניסה T_{in} ? נמק את התשובה.
- ב. העתק את האיור א' למחברת. על בסיס האיור הזה הצג באופן איכותי את דיאגרמה וקטורית של המצב בו הזרם יותר גדול.
- ג. נוסף לסליל העירור (field winding), הנדרש גם לפעולה הגנרטורית וגם לפעולה המנועית, מופיע ברוטור של המנוע הסינכרוני סליל נוסף הבנוי ממוטות המקוצרים בקצוות (shorting bars). איזו בעיה פותר הסליל במנוע הסינכרוני? נמק את התשובה.



איור ב' לשאלה 6

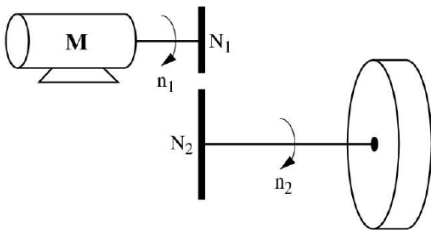


7) אין קשר בין סעיף א' לסעיפים הבאים אחריו.

א. באיור א' לשאלה מופיע קטע מתוכנית החשמל המתייחס להזנת מנוע השראה תלת פאזי.

מה מציינים הסימנים למעלה :
400V , 50Hz , L1 , L2 , L3 , N , PE
מה תפקידו של כל מכשיר המופיע
בקו הזנת המנוע?
נמק בקצרה את התשובה.

באיור ב' לשאלה מתוארת מערכת מכנית בה מנוע השראה M מסובב את



$$TR = \frac{n_2}{n_1} = 0.125$$

נתוני גלגל התנופה (על ציר הגלגל) הם :

$$T_2 = 60 \text{ Nm}$$

$$J_2 = 20 \text{ Nm sec}^2$$

$$n_2 = 120 \text{ rpm}$$

איור ב' לשאלה 7

המומנט הסטטי ומומנט ההתמדה של רוטור המנוע מוזנחים.

ב. מהם המומנט הסטטי T_1 , מומנט ההתמדה J_1 ,

ומהירות הסיבוב n_1 על ציר המנוע?

ג. המערכת מסתובבת במהירות קבועה.

כדי לעצור את המתקן מנתקים את המנוע מרשת ההזנה.

תאר את הביטוי המתמטי של עקומת העצירה $\omega_{stop}(t)$.

מהו הזמן t_{stop} , הנדרש לעצירה?

הנחייה לפתרון סעיף ג' :

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = T_M - T_{st} : \text{ בתנועה במשוואת התנועה}$$

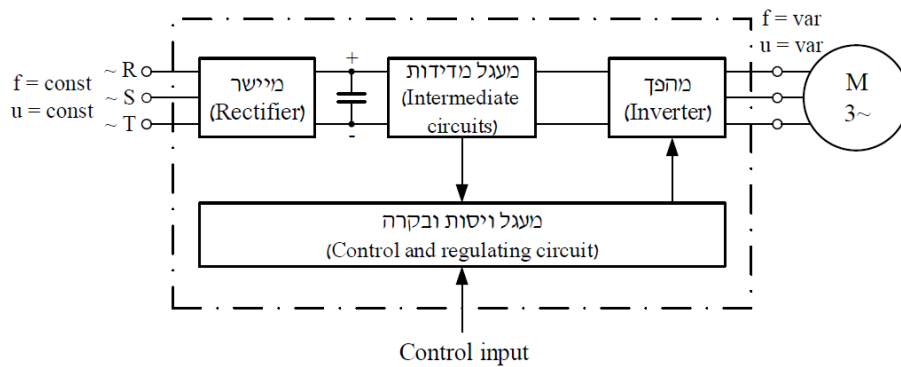
ניתוק המנוע גורם ל- $T_M = 0$ המהירות ההתחלתית בעצירה היא המהירות

ברגע הניתוק והמהירות הסופית היא אפס.

8) נתון מנוע לזרם ישיר בעל מגנטים קבועים (Permanent Magnet).
התנגדות סליל העוגן היא 0.8Ω .

- מהו תפקידם של המגנטים הקבועים במנוע?
- המנוע פועל במתח של $240V$. במצב עבודה מסוים המנוע צורך זרם של $20A$, מפתח מומנט מוצא של $40Nm$ ומסתובב במהירות של $980rpm$.
חשב את ההפסדים החשמליים וההפסדים הקבועים (מגנטים ומכניים) במנוע.
מהי נצילות המנוע במצב עבודה זה?
- על ידי הורדת מתח ההזנה רוצים להגיע למהירות של $400rpm$.
ידוע שהמומנט על ציר המנוע הוא קבוע, ללא תלות במהירות.
איזה מתח יש לחבר למנוע? מהי נצילות המנוע במצב העבודה החדש?
איך משתנה נצילות המנוע עם הורדת המהירות?

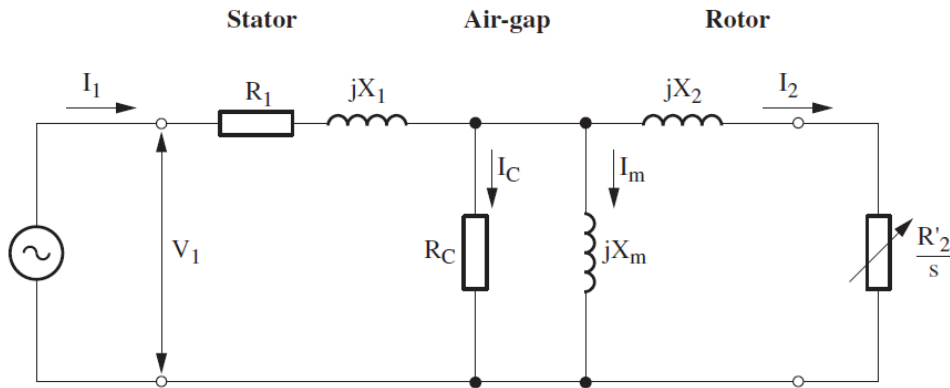
9) באיור לשאלה נתון מבנה של משנה מהירות אלקטרוני למנוע זרם חילופין.



- משנה המהירות האלקטרוני מוזן ממקור זרם חילופין שהפרמטרים שלו (התדירות וגודל המתח) קבועים.
במשנה המהירות מתבצע יישור מתח חילופין והפיכת המתח הישר למתח החילופין, תוך כדי שינוי התדירות וגודל המתח כנדרש.
- למה נדרש לשנות את תדירות המתח המגיע למנוע כדי לשנות את מהירות המנוע?
נמק את תשובתך בעזרת נוסחאות המתאימות.
 - למה נדרש גם לשנות את גודל המתח?
באיזה יחס לתדירות יש לשנות את המתח?

מבחן קיץ 2019 מועד ב:

- (1) מנוע השראה בעל חיבור כוכב מוזן במתח של 400V , 50Hz .
 הנתונים המאפיינים של מעגל תמורה הנראה באיור לשאלה הם:
 $R_1 = 0.641\Omega$, $X_1 = 1.106\Omega$, $R_2' = 0.332\Omega$, $X_2' = 0.464\Omega$, $R_C = 162.4\Omega$
 $X_m = 26.3\Omega$.



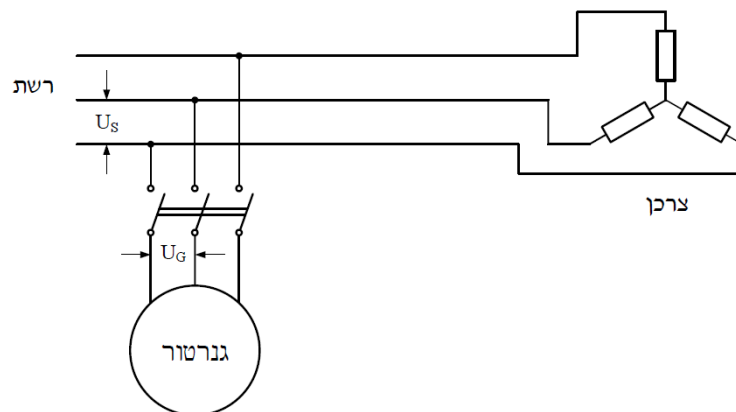
המנוע מסתובב בהחלקה - $s = 2.5\%$.

א. חשב את הזרם, I_M , הנצרך על ידי המנוע מהרשת.

ב. חשב את ההספק, P_{in} , הנצרך מהרשת.

- (2) אין קשר בין סעיפי השאלה.

א. כידוע, תחנות כוח מצוידות במספר גנרטורים סינכרוניים תלת פאזיים אשר מתחברים לרשת או מתנתקים ממנה בהתאם לגודל העמסת המערכת. התהליך מתואר באיור אי לשאלה.



איור א'

מניחים שהגנרטור מתחבר לרשת חשמלית בעלת הספק אינסופי. מהנחה זו נובע כי מתח הרשת, U_s , ותדירות רשת, f_s , הם ערכים קבועים ואינם תלויים בגנרטור המתחבר לרשת.

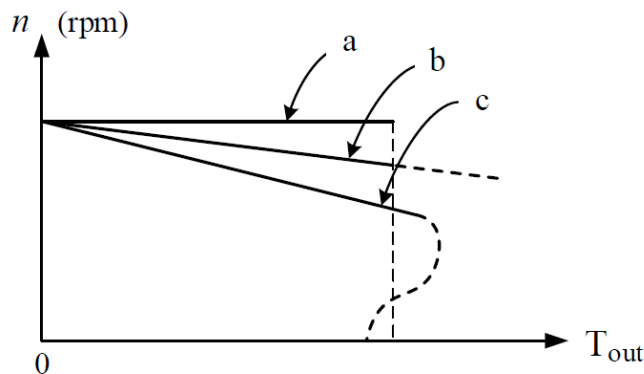
כדי למנוע את מכת הזרם בסלילי הגנרטור המתחבר, חייב להתקיים ברגע החיבור התנאי: $u_G = u_s$, כאשר u_G ו- u_s הם הערכים הרגעיים של מתח הגנרטור ושל מתח הרשת. בצורה מפורשת התנאי הזה יראה כך:

$$U_G^{\max} \cdot \sin[(\omega t)_G - \varphi_G] = U_s^{\max} \cdot \sin[(\omega t)_s - \varphi_s]$$

כאן: φ - זווית מופע, $\omega = 2\pi f$ - תדירות זוויתית.

שוויון זה מתקיים, רק כאשר מתמלאים ארבעה תנאים הכרחיים בעת החיבור. פרט את התנאים הללו. מהי דרך השגתם?

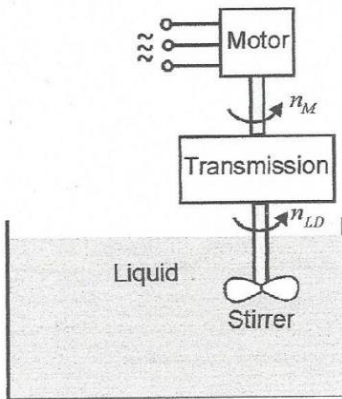
ב. באיור ב' לשאלה מתוארים שלושה אופייניים, a, b ו-c, של תלות מהירות המנוע n במומנט על צירו T_{out} .



איור ב'

האופייניים מתייחסים לשלושה סוגי מנועים: מנוע לזרם ישר, מנוע סינכרוני ומנוע השראה. התאם כל אופיין לסוג המנוע שלו.

3) לערבוב חומרים נוזליים (liquid) משתמשים בבוחש (stirrer).
במתקן המתואר באיור לשאלה, הבוחש מסובב באמצעות מנוע השראה תלת פאזי
בחיבור משולש דרך תמסורת (transmission).



המנוע מוזן במתח של $400V, 50Hz$.
התנגדות הסליל הפאזי של הסטטור היא $R_1 = 0.48\Omega$.

$$TR = \frac{n_{LD}}{n_M} = 0.2$$

התמסורת היא בעלת היחס:

בפעולת המערכת נמדדו:

$$I_M = 8.4A$$

הזרם הנצרך מהרשת

מהירות המנוע $n_M = 1460rpm$ וגורם ההספק $\cos \varphi = 0.82$.

$$\Delta P_{FE} = 80W$$

ידועים הפסדי הברזל

$$\Delta P_{mech} = 60W$$

וההפסדים המכניים

א. חשב את מהירות הבוחש n_{LD} .

ב. חשב את המומנט על ציר המנוע T_M .

ג. חשב את המומנט על ציר הבוחש T_{LD} .

4) נתונים נומינליים של מנוע DC בעל עירור זרם: המתח - $250V$,
הזרם - $12A$, המהירות - $1000rpm$, הנצילות - 90% , התנגדות סליל העוגן 1.2Ω .

א. מצא את ההספק הנצרך, P_{in} , המומנט על ציר המנוע, T_{out} , המומנט

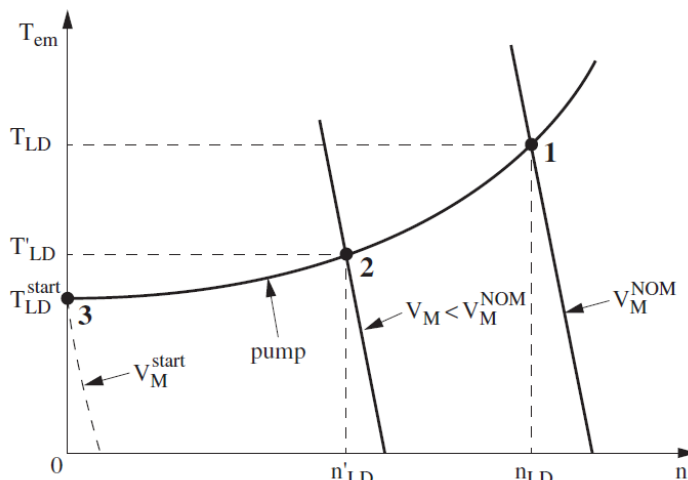
האלקטרומוגנטי, T_{em} , ומומנט הריקס, T_0 , במצב הנומינלי של פעולת המנוע.

המנוע מסובב משאבה צנטריפוגלית (pump).

באיור לשאלה מתוארים שלושה אופייניים מכניים:

האופייין של המשאבה $T_{LD} = f(n)$, שני האופייניים של המנוע $T_{em} = f(n)$,

עבור מתחים שונים של הזנת המנוע.



נקודת חיתוך 1 מגדירה את פעולת המנוע במצב הנומינלי.

- ב. כדי לקבוע מהירות נמוכה יותר של המשאבה, הורידו את מתח הזנת המנוע ל-160V. הזרם הנצרך ירד ל-8A.
- מצא את ההספק הנצרך, P_{in}' , את מהירות המשאבה, n_{LD}' , ואת המומנט T_{LD}' .
- ג. כדי לגרום לתחילת הסיבוב של המשאבה מעלים את המתח למנוע מאפס. ברגע שהמשאבה מתחילה להסתובב, נמדד הזרם של 6A.
- מצא את המתח המינימלי, V_M^{start} , הנדרש להתחלת הסיבוב, המומנט, T_{LD}^{start} , וההספק הנצרך, P_{in}^{start} .

(5) אין קשר בין סעיפי השאלה.

א. בדפי הנתונים של מנוע השראה מופיעים, בין היתר, היחסים בין המומנט

המרבי T_{max} , מומנט ההתנעה T_{start} ובין המומנט הנומינלי T_{nom}

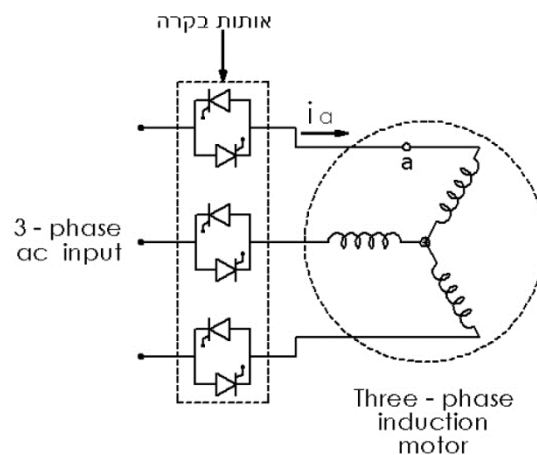
$$\text{לדוגמא: } \frac{T_{start}}{T_{nom}} = 1.8, \frac{T_{max}}{T_{nom}} = 2.7$$

סרטט באופן איכותי את האופיין המכאני של מנוע השראה $T_M = f(n)$,

וסמן עליו את הערכים T_{max} , T_{start} , T_{nom} .

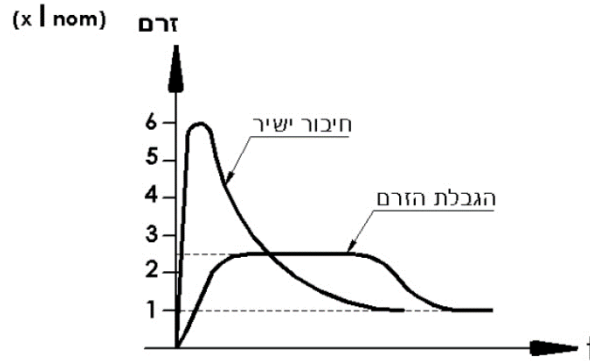
כדי להקטין את זרם ההתנעה נהוג לבצע התנעה רכה (soft start) על ידי שינוי המתח על הדקי המנוע, מהערך המינימלי הנדרש ועד למתח המלא בצורה רציפה, חלקה ומבוקרת.

המתנע האלקטרוני להתנעה רכה מבוסס על התקני הספק מסוג ה-SCR. בכל פאזה של המנוע התלת פאזי נמצא מעגל, המורכב משני התקני ה-SCR, המחוברים גב אל גב. באיור א' לשאלה 5 מוצג תרשים של המתנע הרך:



איור א'

באיור ב' לשאלה 5 מוצגות שתי עקומות של הזרם, הנצרך בתהליך ההתנעה כפונקציות של הזמן: האחת – חיבור ישיר (קבלת המתח הנומינלי) והשנייה דרך המתנע הרך.

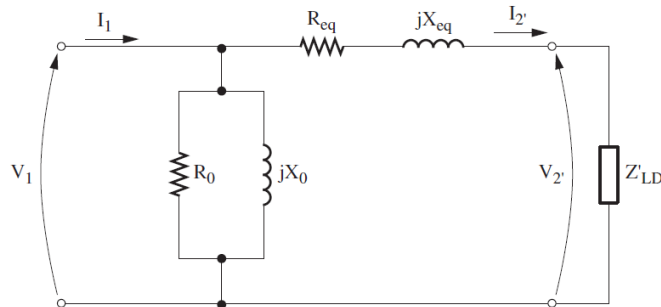


איור ב'

- ב. הסבר בקצרה למה מתפתח במנוע השראה זרם גדול בהתנעה עם חיבור מתח מלא למנוע?
- ג. לא ניתן להשיג את הגבלת הזרם המדויקת ללא מעגל משוב. איזה סוג משוב ניתן להתקין במערכת? מהו המכשיר, שמעגל המשוב מבוסס עליו?

6 נתון שנאי חד פאזי מוריד מתח 2300/230 V.

חישובי השנאי מבוססים על מעגל תמורה מקורב הנראה באיור לשאלה.



מרכיבי מעגל התמורה הם: $R_0 = 106k\Omega$, $X_0 = 11k\Omega$, $R_{eq} = 4.45\Omega$, $X_{eq} = 6.45\Omega$. השנאי מוזן במתח של 2300V.

א. השנאי פועל בריקס (העומס אינו מחובר לשנאי).

חשב את הזרם בריקס, I_0 , ואת גורם ההספק, $\cos \varphi_0$.

לשנאי מתחבר עומס בעל עכבה $Z_{LD} = (2.8 + j1.5)\Omega$ (לא מתוקן לראשוני).

ב. מהו גורם ההספק של העומס $\cos \varphi_{LD}$?

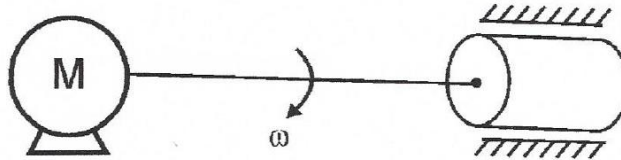
ג. חשב את הזרם, I_1 , הנצרך בראשוני.

ד. מהו גורם ההספק $\cos \varphi_1$ בכניסת השנאי?

7) אופייין מכני של מנוע לזרם ישר, בעל עירור זר, במתח הזנה מסוים מתואר

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

על ידי הביטוי הבא: $T_M(n)$ ושל המהירות n rpm. היחידות של המומנט הן Nm והמומנט של המנוע מסובב את גלגל התנופה כפי שנראה באיור לשאלה.



גלגל התנופה מאופייין על ידי המומנט הסטטי הקבוע $T_{LD} = 20Nm$,

$$J_{LD} = 8 Nm \sec^2$$

ועל ידי מומנט ההתמד של רוטור המנוע זניח.

א. מהו הביטוי המתמטי של האופייין המכאני של המנוע כפונקציה

$$T_M = f(\omega_M)$$

ב. מתניעים את המערכת ממצב המנוחה.

מהו הביטוי המתמטי של עקומת ההתנעה של המערכת $\omega(t)$?

מהו קבוע הזמן של עקומת ההתנעה τ ?

מהי מהירות המערכת ω_{ss} במצב המתמיד?

מהו הזמן t_{ss} הנדרש להגעת המערכת למצב המתמיד?

ג. המערכת נמצאת במצב המתמיד.

כדי לעצור את המתקן מנתקים את המנוע מהרשת.

תאר את הביטוי המתמטי של עקומת העצירה $\omega(t)$.

מהו הזמן t_{stop} הנדרש לעצירה?

הנחייה לפתרון סעיף ג':

ניתוק המנוע גורם ל- $T_M = 0$.

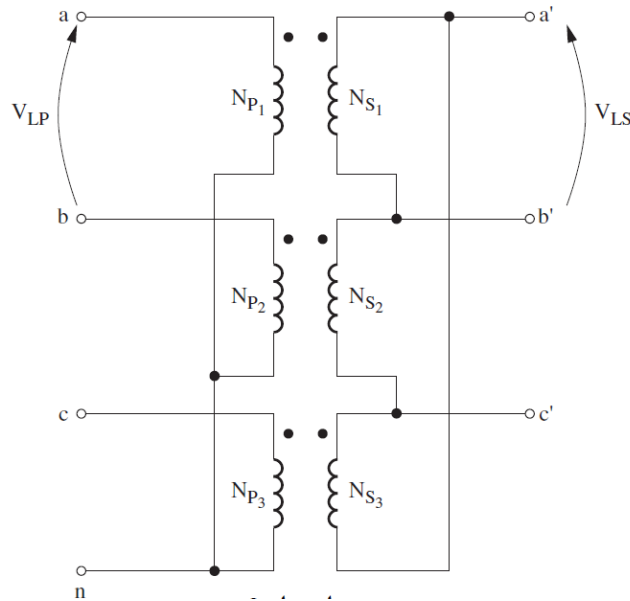
המהירות ההתחלתית בתהליך העצירה היא ω_{ss} .

המהירות הסופית היא $\omega = 0$.

ד. סרטט באופן איכותי את עקומות ההתנעה ואת עקומות העצירה $\omega(t)$.

8) אין קשר בין סעיפי השאלה.

א. באיור א' לשאלה מתואר שנאי תלת פאזי אינדאלי.



איור א'

- i. מהם סוגי החיבורים של הסליל הראשוני (primary) ושל הסליל המשני (secondary)?
 ii. נתונות מספר כריכות בסלילים:

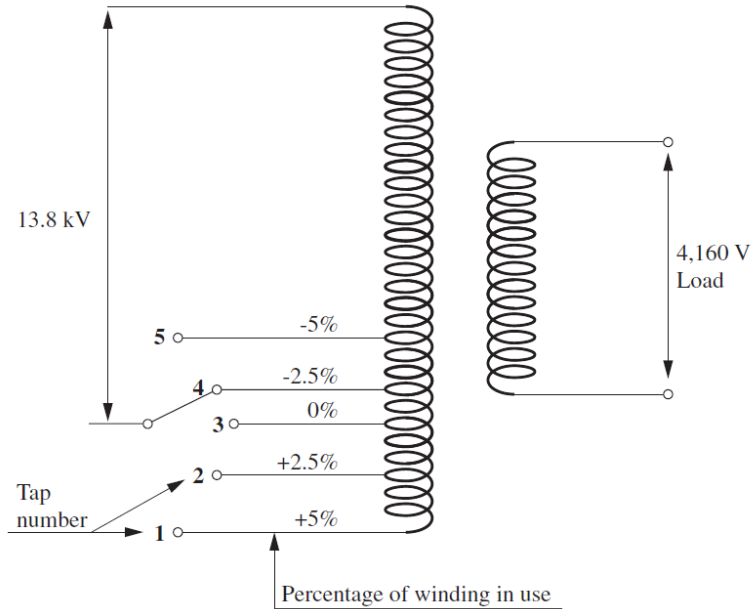
$$N_{S1} = N_{S2} = N_{S3} = 240 \text{ turn} , N_{P1} = N_{P2} = N_{P3} = 1200 \text{ turn}$$

לשנאי מתחבר מתח בראשוני: $V_{LP} = 3460 \text{ V}$.

מצא את המתח במשני V_{LS} .

- ב. הנתון העיקרי בשלט השנאי הוא יחס בין המתח הראשוני למתח המשני, לדוגמא: $3300 / 400 \text{ V}$.
 אם מתחבר לראשוני מתח של 3300 V , אין זה אומר שבכל מקרה במשני יהיה מתח של 400 V .
 כידוע המתח במשני משתנה ותלוי בגודל העומס ובאופי העומס. מהי המשמעות של הנתון 400 V ?

ג. לוויסות של מתח השנאי מתקינים מסעפים (taps) לאחד מסלילי השנאי. באיור ב' לשאלה ניתנת דוגמה של שנאי חד פאזי, מוריד מתח, עם מסעפים.

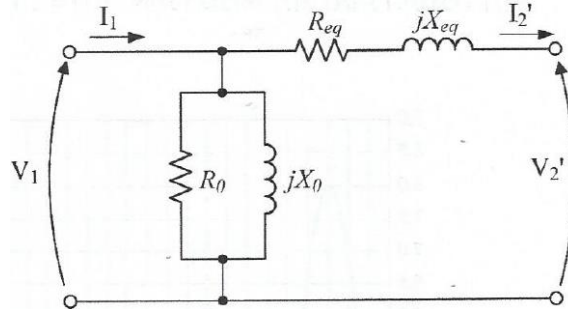


איור ב'

- i. מדוע עדיף להתקין את המסעפים בשנאי זה בצד הראשוני ולא בצד המשני?
- ii. בעבר המסעפים היו מתבססים על ממסרים אלקטרומגנטיים בלבד. היום מחליפים את הממסרים בהתקן אלקטרוני. מהו ההתקן האלקטרוני שיתאים לשמש כמסעף?

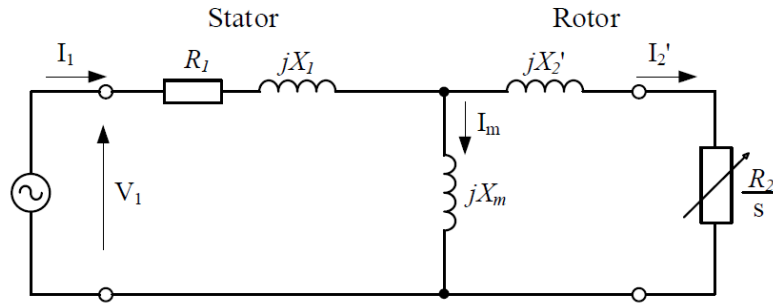
מבחן קיץ 2019 מועד א:

- (1) נתוני שנאי חד פאזי מעלה מתח הם: 50Hz , 1.5kVA , $110/230\text{V}$.
 בניסוי ריקם מהצד הראשוני, נתקבלו תוצאות הבאות: $I_1 = 0.4\text{A}$, $P_1 = 10\text{W}$, $V_1 = 110\text{V}$.
 נמדדו התנגדויות: $R_1 = 0.112\Omega$, $R_2 = 0.417\Omega$. נגדיר: $R_{eq} = R_1 + R_2'$, $X_{eq} = X_1 + X_2'$.
 נתייחס למעגל תמורה המקורב של השנאי בתצורה הבאה:



- ידוע שהעכבה הכוללת של סלילי השנאי $Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq}$ שווה ל- 0.8Ω .
 א. חשב את ארבעת המאפיינים של מעגל התמורה של השנאי הנתון.
 ב. מה הסיבה לכך שהשנאי צורך זרם 0.4A בריקם (ללא חיבור העומס לסליל המשני).
 ג. תאר איזה ניסוי יש לבצע לשנאי כדי למצוא את העכבה הכוללת Z_{eq} .
- (2) מנוע לזרם ישר בעל עירור זר מסובב משאבה צנטריפוגלית.
 המשאבה דורשת בהתנעה מומנט של $T_p^{st} = 10\text{Nm}$.
 התלות בין מומנט המשאבה T_p לבין מהירות המשאבה n היא ריבועית: $T_p - T_p^{st} = k \cdot n^2$.
 ידוע שבמהירות הנומינלית $n_{nom} = 1500\text{rpm}$ נדרש מומנט $T_p = 130\text{Nm}$.
 א. בנה את האופיין המכני של המשאבה $T_p = f(n)$.
 ב. התנגדות סליל העוגן של המנוע היא $R_a = 0.2\Omega$.
 במהירות הסיבוב של $n_{nom} = 1500\text{rpm}$ המנוע מוזן במתח של $V_{nom} = 400\text{V}$
 ונצילותו היא $\eta = 86\%$.
 בחישובים מזניחים את הפסדי הריקם במנוע, זאת אומרת מניחים ש: $T_M^{out} = T_M^{em}$.
 מצא את הזרם I_a הנצרך במהירות הנומינלית $n_{nom} = 1500\text{rpm}$.
 ג. המנוע מסובב את המשאבה במהירות $n = 800\text{rpm}$.
 חשב את המומנט על ציר המנוע, הזרם הנצרך והמתח הנדרש לסובב את המנוע במהירות זו.

3) נתון מנוע השראה תלת פאזי בעל 6 קטבים, חיבור הסלילים בכוכב. מרכיבי מעגל התמורה הפאזי המופיע באיור לשאלה הם כדלקמן:



$X_m = 23\Omega$, $X_2' = 0.209\Omega$, $R_2' = 0.144\Omega$, $X_1 = 0.503\Omega$, $R_1 = 0.294\Omega$
 במצב עבודה מסוים מספק המנוע לעומס הספק של 7.5kW במהירות של 970rpm. ההפסדים המכניים הם 420W. חשב את:

- ההספק האלקטרומגנטי P_{em} .
 - הפסדים חשמליים ברוטור ΔP_{cu}^{rot} .
 - הזרם הנצרך I_1 . הנחיה לפתרון סעיף ג:
- את ההספק האלקטרומגנטי בשאלה זו אפשר לתאר באופן הבא: $P_{em} = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_{eq}$. כאן: R_{eq} - החלק ההתנגדותי של הביטוי $Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq}$, כאשר Z_{eq} היא עכבת החיבור המקבילי של הענף המגנוט וענף הרוטור.
- נצילות המנוע. הזנח הפסדי ברזל.

4) ענה על הסעיפים הבאים:

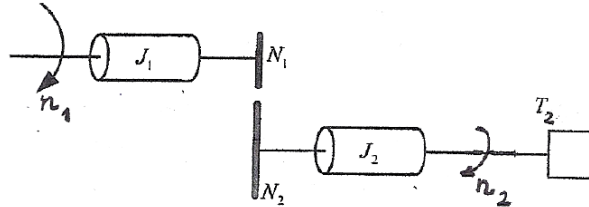
- חברת החשמל מייצרת אנרגיה חשמלית באמצעות גנרטורים סינכרוניים. החברה מחויבת לספק מתח חילופין בעל גודל מתח ותדירות קבועים, ללא תלות במידת ההעמסה של הגנרטור. איזה מאפייני תהליך ייצור החשמל, בעת שינוי העומס, יש לווסת כדי לענות על הדרישות הנ"ל?
- נתוני גנרטור סינכרוני תלת-פאזי הם:
 - חיבור הסלילים - כוכב, היגב סינכרוני $X_s = 1.0\Omega$ התנגדות הסלילים זניחה.
 - נקבע זרם העירור המתאים לקבלת מתח שלוב של 480V בריקם.
 - הגנרטור מספק לצרכנים זרם של 60A, כאשר גורם ההספק $\cos \varphi$ של הצרכנים החשמליים משתנה בתחום בין $\cos \varphi = 1$ ל- $\cos \varphi = 0.8$ מפגר, ללא שינוי הזרם.
 - חשב את שינוי המתח במוצא הגנרטור עבור תחום שינוי גורם ההספק הנ"ל. הנחיה לפתרון של סעיף ב':
 - בניית דיאגרמות וקטוריות לשני המצבים הנ"ל יכולה לעזור בחישוב המתחים.

(5) באיור לשאלה מתוארת מערכת מכנית עם תמסורת $TR = \frac{n_2}{n_1} = 0.25$,

המופעלת על ידי מנוע DC בעל עירור זר.

n_1 - מהירות סיבוב המנוע.

n_2 - מהירות סיבוב התמסורת לעומס.



נתוני העומס הם:

מומנט סטטי קבוע $T_2 = 60 \text{ Nm}$ ומומנט התמדה $J_2 = 480 \text{ Nm sec}^2$.

נתוני המנוע הם: $R_a = 0.4 \Omega$, $J_1 = 20 \text{ Nm sec}^2$. מזניחים את מומנט הריקם של המנוע.

במתח הזנה של 120 V וצריכת זרם של 6.52 A , המנוע מסובב את העומס במהירות

קבועה $n_2 = 120 \text{ rpm}$, אחרי תהליך ההתנעה.

א. חשב את מהירות המנוע, המומנט הסטטי ומומנט ההתמדה המועבר

מהעומס לציר המנוע.

הנחיה לפתרון סעיף א':

העברת המומנטים הסטטיים והדינמיים מציר העומס לציר המנוע ולהיפך.

נגדיר: n_{LD} - מהירות הסיבוב של ציר העומס.

n_M - מהירות הסיבוב של ציר המנוע.

יחס התמסורת TR מוגדר על ידי הביטוי: $TR = \frac{n_{LD}}{n_M}$.

נגדיר: T_{LD} ו- J_{LD} - הם המומנט הסטטי ומומנט ההתמדה על ציר העומס.

T'_{LD} ו- J'_{LD} - הם המומנט הסטטי ומומנט ההתמדה המועברים מציר

העומס לציר המנוע.

הקשרים הם: $T'_{LD} = T_{LD} \cdot TR$, $J'_{LD} = J_{LD} \cdot (TR)^2$.

ב. בנה ביטוי לאופיין המכני של המנוע $T_M(\omega)$ כפונקציית המהירות הזוויתית ω

במתח ההזנה של 120 V .

הנחיה לפתרון סעיף ב': בניית הביטוי של האופיין $T_M = f(\omega)$ מתבססת

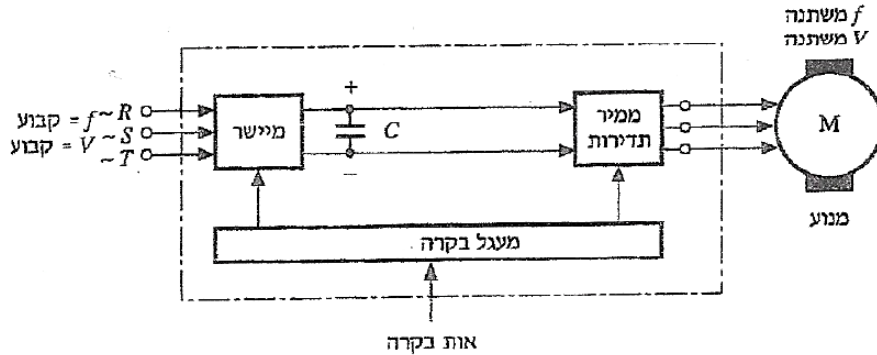
על שתי המשוואות הבאות: $V_M = K_M \cdot \omega + I_M \cdot R_a$ ו- $T_M = K_M \cdot I_M$.

ג. מתניעים את המנוע ממצב מנוחה על ידי חיבור מתח של 120 V .

תאר את הביטוי $\omega(t)$ לעקומת ההתנעה של המערכת ממצב מנוחה ועד מהירות

ההתמדה של העומס. מהו קבוע הזמן של עקומת ההתנעה?

6) באיור לשאלה מתואר תרשים של משנה מהירות אלקטרוני למנוע השראה תלת-פאזי.



מעגל משנה המהירות מורכב משלושה חלקים עיקריים:

1. מיישר הממיר את מתח החילופין של מקור ההזנה, בעל התדירות וגודל המתח הקבועים למתח הישר.
2. ממיר תדירות שתפקידו להפוך את המתח הישר למתח החילופין, עם שינוי ערכי התדירות והמתח.
3. מעגל בקרה שתפקידו לשלוט ברכיבי הספק של משנה המהירות.

א. במוצאו של מעגל המיישר מתקבל מתח ישר:

- i. המעגל יכול לספק מתח ישר קבוע.
מאיזה רכיבי הספק מורכב המעגל במקרה הזה?
- ii. המעגל יכול לספק מתח ישר משתנה.
מאיזה רכיבי הספק מורכב המעגל במקרה הזה?
- iii. מה תפקידו של הקבל C במוצא המיישר?

ב. מאיזה רכיבי הספק מורכב ממיר התדירות?

ג. למה יש צורך לשנות את התדירות של מתח החילופין?
נמק את התשובה בעזרת הקשרים המתאימים.

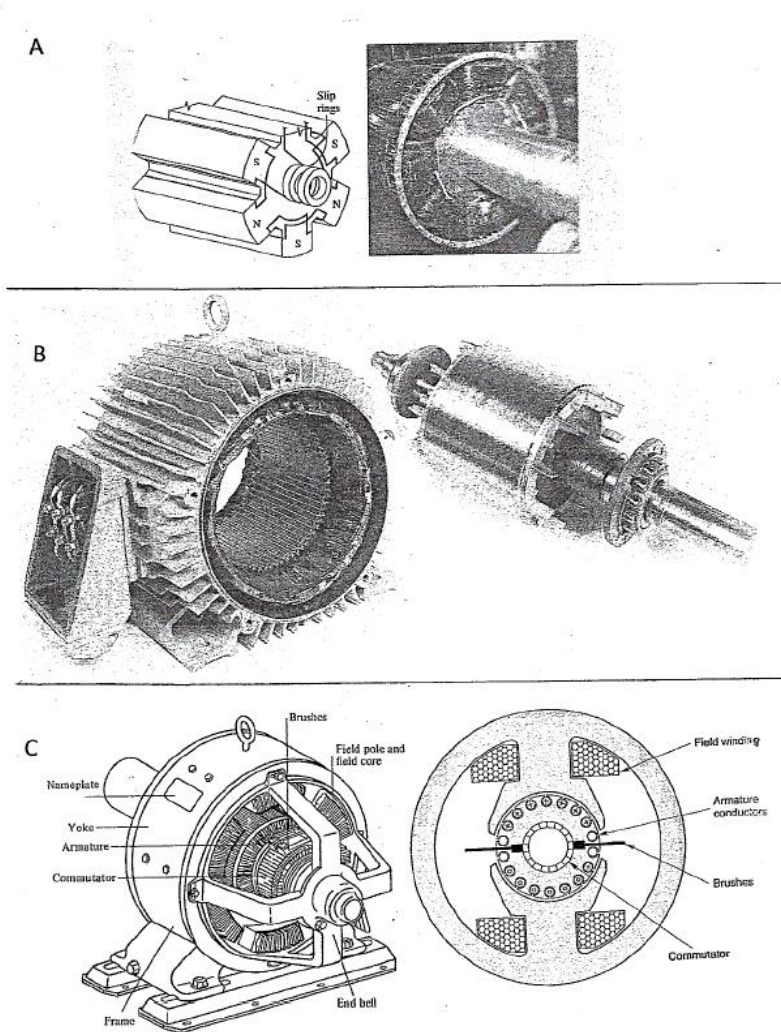
ד. למה יש צורך לשנות את גודל המתח?

נמק את התשובה בעזרת הקשרים המתאימים.

7) נתונים נומינליים של מנוע השראה הם:
 חיבור Y, הספק יציאה 50kW, מתח הפעלה 440V, 50Hz, $\cos \varphi = 0.85$.
 נצילות המנוע $\eta = 88\%$. למנוע שני קטבים מגנטיים.
 בעבודה נומינלית ההחלקה היא 5%.
 ידוע שההפסדים המכניים הם 520W וההפסדים המגנטיים הם 500W.
 חשב את:

- הזרם הנצרך.
- ההספק האלקטרומגנטי.
- ההפסדים החשמליים ברוטור ובסטטור.

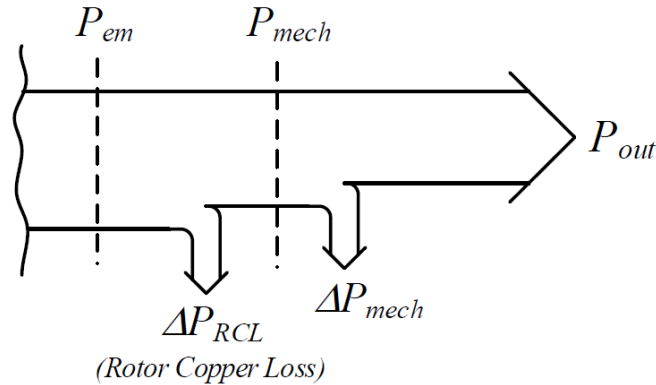
8) באיורים למטה מוצגות שלוש מכונות חשמל (לכל מכונה שתי תמונות):
 מכונת DC, מכונה סינכרונית ומנוע השראה.



בכל תמונה יש פריט או פריטים שמאפשרים לזהות, באופן חד משמעי, את סוג המכונה.
 זהה את סוג המכונה לפי התמונות A, B, ו-C. נמק את קביעותיך.

מבחן אביב 2019 מועד ב:

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



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.

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 הדרך הבאה: $T_{em} = \frac{P_{mech}}{\omega_M}$

כאשר ω_M - המהירות הזוויתית של ציר המנוע.

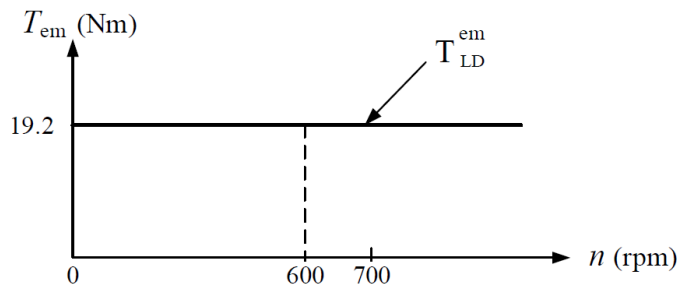
ב. פתח נוסחה לחישוב ההפסדים החשמליים ברוטור ΔP_{RCL} על סמך ידיעת ההספק P_{em} והחלקה s .

ג. השלם את תרשים ההספקים וההפסדים.

אילו הפסדים יש עוד לקחת בחשבון כדי להגיע להספק הכניסה P_{in} ?

(2) נתונים נומינליים של מנוע DC בעל עירור זר הם: המתח 250V, הזרם 12A, המהירות 1000rpm, הנצילות 90%, התנגדות העוגן $R_a = 1.2\Omega$, מומנט ריקס $T_0 = 1.2\text{Nm}$. המנוע צריך לסובב עומס בעל מומנט קבוע $T_{LD} = 18\text{Nm}$.

- א. הוכח שהמנוע מסוגל להניע את העומס הנתון.
בהמשך הפתרון מתייחסים למומנט האלקטרומגנטי של המנוע.
לגבי העומס, המומנט האלקטרומגנטי שלו יהיה $T_{LD}^{em} = 18 + 1.2 = 19.2 \text{ Nm}$.
- ב. חשב את הזרם הנצרך על ידי המנוע.
ג. נדרש לסובב את העומס במהירות של 600rpm.
איזה מתח יש לחבר למנוע?
ד. באיור לשאלה מתואר אופיין מכני של העומס:



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'.

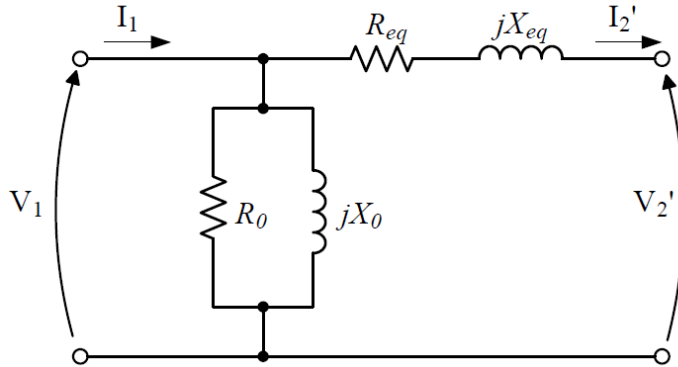
ניתן להגדיר את אופיין המנוע על ידי שתי נקודות בלבד:
נקודת העבודה הנתונה והנקודה עבור $T_{em} = 0$.

(3) נתוני גנרטור סינכרוני הם:

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

- א. הוכח שמנוע דיזל בעל הספק נומינלי של 200 kW יכול לסובב את הגנרטור הפועל בנתונים נומינליים ובעומס הנתון.
ב. מהו המומנט שהמנוע חייב לספק לגנרטור הפועל במצב נומינלי ובעומס הנתון?
ג. חשב את הכא"מ לפאזה ואת זווית העומס במצב העבודה הנתון.

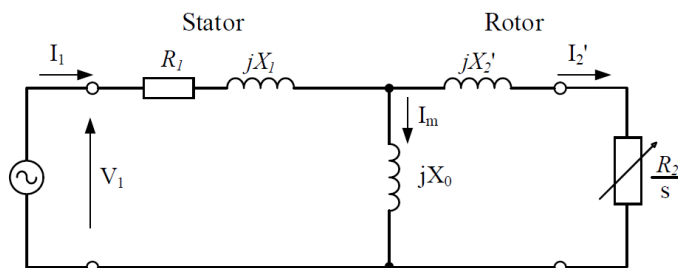
- 4) נתון שנאי חד פאזי מוריד מתח: 100kVA , $6000/400\text{V}$, 50Hz .
 ההתנגדות של סליל המתח הגבוה היא 0.72Ω ושל סליל המתח הנמוך היא 0.007Ω .
 ההיגב של סליל המתח הגבוה הוא 0.92 ושל סליל המתח הנמוך הוא 0.009Ω .
 באיור לשאלה מתואר מעגל התמורה של השנאי:



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

- המתח הראשוני של השנאי.
- הפסדי המינגוט ΔP_{FE} .
- נצילות השנאי.

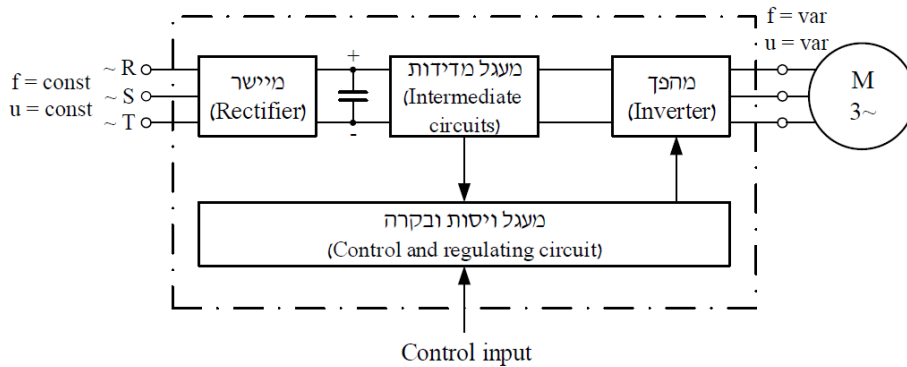
- 5) נתוני מנוע השראה תלת פאזי הם: חיבור Y , 6 קטבים, 440V , 50Hz .
 מרכיבי מעגל התמורה לפאזה הם: $R_1 = 0.082\Omega$, $X_1 = 0.19\Omega$, $R_2' = 0.07\Omega$,
 $X_2' = 0.18\Omega$, $X_0 = 7.2\Omega$ (השפעת R_0 מוזנחת). $\Delta P_{mech} = 1300\text{W}$.
 מעגל התמורה של פאזת המנוע מתואר באיור לשאלה:



- המנוע פועל בהחלקה של 0.04 .
 חשב את:

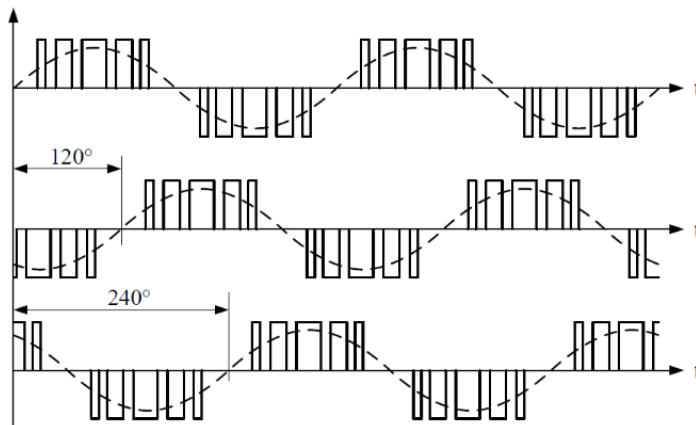
- הזרם הנצרך וגורם ההספק.
- ההפסדים החשמליים ברוטור ΔP_{Cu}^{rotor} .
- המומנטים T_{em} ו- T_{out} .

6) באיור אי' לשאלה נתון מבנה של משנה מהירות אלקטרוני למנוע זרם חילופין:



איור אי' 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.
- למה נדרש לשנות את תדירות המתח המגיע למנוע כדי לשנות את מהירות המנוע? נמק את תשובתך בעזרת הנוסחאות המתאימות.
 - למה נדרש גם לשנות את המתח המגיע למנוע? באיזה יחס לתדירות יש לשנות את המתח?
 - לפי איור אי', המיישר הופך 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?

7) אין קשר בין שני סעיפי השאלה.

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

מהם הגורמים בפעולת המערכת שקובעים את ערכו של הכא"מ?

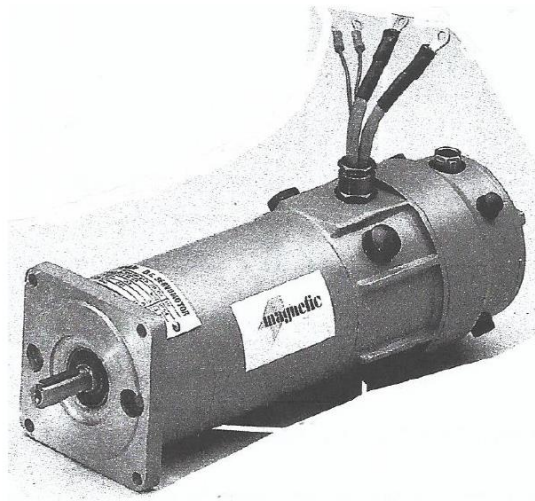
ב. תכונות דינמיות של מערכת מנוע - עומס מכני מתבטאות ביכולת המערכת

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 לשאלה נראית תמונה של מנוע בקרה תעשייתי:



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.

8) אופיין מכני של מנוע לזרם ישר, בעל עירור זר, מתואר על ידי הביטוי

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

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 $J_\Sigma = 2 \text{ Nm sec}^2$.

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

ב. תאר את הביטויים עבור T_M ו- T_{LD} כפונקציות של המהירות הזוויתית ω .

מתניעים את המערכת ממצב מנוחה.

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'?

מבחן אביב 2019 מועד א:

1 נתונים נומינליים של שנאי חד פאזי הם: $2300/230V$, $15kVA$.
לשנאי בוצעו ניסויי ריקם וקצר ונתקבלו ערכים של מרכיבי מעגל התמורה הבאים:

$$X_{eq} = X_1 + X_2' = 6.45\Omega, R_{eq} = R_1 + R_2' = 4.45\Omega, X_0 = 11k\Omega, R_0 = 106k\Omega$$

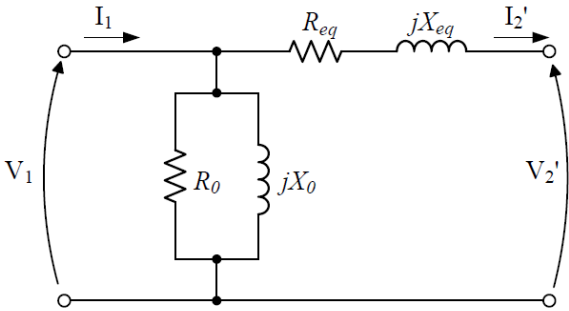
יש להשתמש במעגל תמורה הבא של השנאי:
תוך כדי עבודת השנאי משתנה האופי של
העומס וכתוצאה מכך גורם ההספק הנע בין
בין 0.5 מפגר לבין 0.9 מפגר.

כאשר השנאי מוזן במתח של $2300V$
ובעומס הנומינלי:

א. מהו שינוי המתח במוצא השנאי
עקב שינוי אופי העומס?

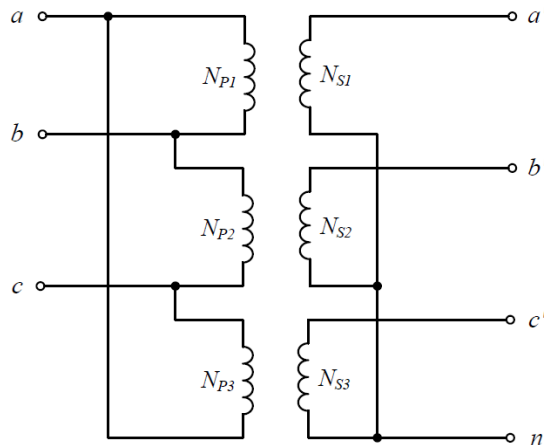
ב. מהו שינוי נצילות השנאי עקב שינוי אופי העומס?

רמז: יש למצוא את המתח במוצא והנצילות עבור שני גורמי ההספק הגבוליים.



2 השאלה מתייחסת למכונות חשמל שונות.

באיור מתואר תרשים חיבורים של סלילי השנאי התלת פאזי.



א. מהם סוגי החיבורים של הסליל הראשוני (primary) והמשני (secondary)?

ב. בארון חשמל לפיקוד מנוע מכל סוג שהוא מותקנים בין היתר מד מתח ומד זרם.
מד המתח מראה ערך קבוע שהוא בדרך כלל המתח הנומינלי של המנוע.
בזמן שהמנוע פועל ומסובב עומס מסוים הוראת מד הזרם משתנה.
מהי סיבה לכך?

ג. כדי לווסת מהירות של מנוע נדרש לשנות:

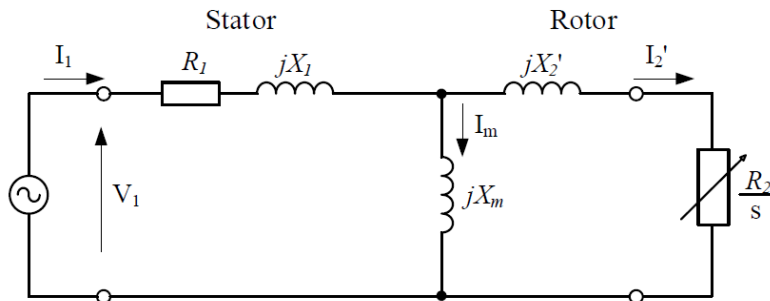
i. עבור מנוע DC את.....

ii. עבור מנוע AC את.....

נמק את התשובות. ציין בכל מקרה, מה השינוי שגורם לירידת המהירות.

- 3) אופיין מכני של מנוע לזרם ישר בעל עירור זר $T_M = f(n)$, עבור מתח הזנה מסוים מתואר על ידי הביטוי הבא: $T_M(n) = 80 - 0.05 \cdot n$ - המהירות הסיבובית ביחידות rpm ו- T_M - המומנט המתפתח על ידי המנוע ביחידות (Nm). המנוע מסובב עומס מכני בעל מומנט קבוע $T_{LD} = 20 \text{ Nm}$.
- א. שרטט את האופיין המכני של המנוע $T_M = f(n)$ (התבסס על שתי הנקודות $T_M = 0$ ו- $T_M = T_{LD} = 20 \text{ Nm}$). מהי מהירות המתקן אחרי ההתייצבות (המצב המתמיד)?
- ב. תאר את הביטוי של האופיין המכני כפונקציית המהירות הזוויתית $T_M = f(\omega)$.
- ג. נתון מומנט ההתמדה השקול של המנוע והעומס $J_\Sigma = 2 \text{ Nmsec}^2$. תאר את הביטוי של עקומת ההתנעה כפונקציית המהירות הזוויתית בזמן $\omega(t)$ וכפונקציית המהירות הסיבובית בזמן $n(t)$ (המהירות ההתחלתית היא אפס). בדוק האם הביטוי תואם את המצב המתמיד.
- ד. חשב את זמן ההתייצבות של המתקן t_{ss} (זמן ההתייצבות מחושב לפי נוסחה: $t_{ss} = 5 \cdot \tau$, כאשר τ - קבוע הזמן של תהליך ההתנעה).

- 4) סלילי מנוע השראה מחוברים בכוכב. מעגל תמורה חשמלי מקורב של פאזת המנוע נראה באיור הבא:

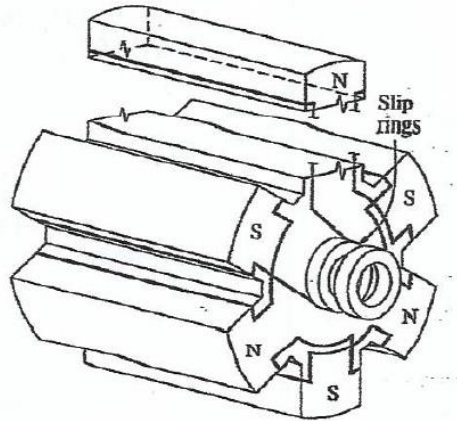


- המאפיינים של מעגל התמורה הם:
- $X_m = 7.2 \Omega$, $X_2' = 0.18 \Omega$, $R_2' = 0.07 \Omega$, $X_1 = 0.19 \Omega$, $R_1 = 0.082 \Omega$.
- בעומס מסוים המנוע מסתובב במהירות של 960rpm וצורך זרם של 140A.
- א. לפי איזה מאפיין של מעגל התמורה אפשר לדעת באיזה מצב עבודה נמצא המנוע?
- ב. מצא את גורם ההספק $\cos \varphi$ במצב עבודת המנוע הנתון (רמז: יש למצוא את זווית המופע של הזרם הנצרך).
- ג. חשב את מתח הזנת המנוע וההספק הנצרך במצב עבודת המנוע הנתון.

5 נתונים נומינליים של מנוע לזרם ישר בעל עירור זר הם :
 $R_a = 0.2\Omega$, 1200rpm , 260V , 50Hp , והנצילות $\eta = 86\%$.

- א. להתנעת מתקן המנוע על ידי המנוע נדרש מומנט השווה ל-150% מהמומנט הנומינלי של המנוע.
 מהו מומנט ההתנעה? מהו המתח ההתחלתי הנדרש לכך?
- ב. טווח המהירויות בו פועל המנוע הוא בין 400rpm לבין 1000rpm .
 המומנט הפועל על ציר המנוע הוא המומנט הנומינלי של המנוע.
 מהו טווח מתחי הזנת המנוע הנדרש?
- ג. חשב את נצילויות המנוע במהירויות של 400rpm ו- 1000rpm .
 השווה לנצילות הנומינלית. מהי המסקנה?

6 באיור לשאלה מתואר תהליך הרכבת קטבים לרוטור של גנרטור סינכרוני.



מסביב לכל קוטב מלופף סליל המקבל הזנה ממקור חיצוני באמצעות טבעות החלקה (slip rings).

- א. באיזה סוג זרם (ישר או חילופין) מזינים את סליל הרוטור?
- ב. פעולת הגנרטור הסינכרוני מבוססת על יצירת כוח אלקטרומניע מושרה בסלילי הסטטור והנוסחה לחישוב הכא"מ היא : $E = 4.44 \cdot f \cdot n \cdot \phi_{\max}$.
- i. על איזה מאפיין בנוסחת הכא"מ E משפיע כמות זוגות קטבים? נמק את תשובתך.
- ii. על איזה מאפיין בנוסחת הכא"מ E משפיע הזרם בסליל הרוטור? נמק את תשובתך.
- ג. הנתונים מתייחסים לפאזה אחת של גנרטור סינכרוני : $X_s = 1.15\Omega$, $R_a = 0.3\Omega$.
 מעמיסים את הגנרטור עד לזרם הפאזי של 60A בגורם ההספק $\cos \varphi = 1$.
 (עומס התנגדותי). חשב את הכא"מ E הנדרש לקבלת המתח הפאזי $U = 230\text{V}$.

7) ענה על הסעיפים הבאים :

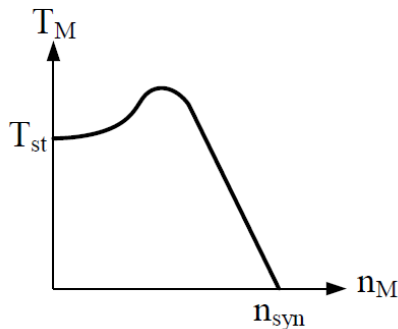
א. מהי מידת התלות של מומנט שמפתח מנוע במתח הזנת המנוע (לא תלוי במתח, תלוי ביחס ישר, תלוי ביחס ריבועי וכו')? נמק את התשובות.

i. מנוע השראה.

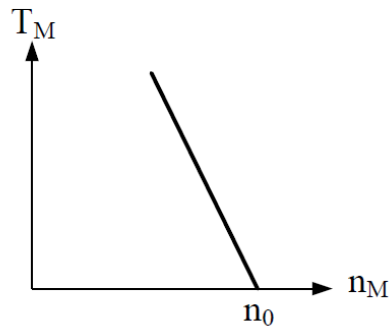
ii. מנוע לזרם ישר בעל עירור זר.

ב. באיור א' לשאלה מתואר אופיין מכני של מנוע השראה הבנוי עבור המתח הנומינלי. העתק את האופיין למחברתך ושרטט באופן איכותי את האופיין עבור המתח שקטן מהנומינלי.

ג. באיור ב' לשאלה מתואר אופיין מכני של מנוע לזרם ישר בעל עירור זר עבור המתח הנומינלי. העתק את האופיין למחברתך ושרטט באופן איכותי את האופיין עבור המתח שקטן מהנומינלי.



איור א לשאלה 7



איור ב לשאלה 7

8) נתון מנוע השראה : חיבור משולש, $400V$, $50Hz$, 4 קטבים.
במצב עבודה מסוים מסתובב המנוע עם החלקה של 3% וצורך זרם של $25A$ בגורם ההספק של 0.85. במצב עבודה זה נמדד מומנט על ציר מנוע $T_{out} = 82Nm$.
נוסף לכך נמדד מומנט בריקם $T_0 = 8Nm$.

א. חשב את הספקים הבאים : P_1 (הספק כניסה), P_{out} (הספק יציאה), P_{em} (הספק אלקטרומגנטי), ואת נצילות המנוע η .

ב. תאר, באופן איכותי, את אופיין של תלות הנצילות η בהספק המוצא P_{out} .

ג. מנתקים את העומס המכני מציר המנוע (המנוע פועל בריקם).

איך הדבר ישפיע (יגדיל, יקטין או ישאיר ללא שינוי) על :

מהירות המנוע, הזרם הנצרך, גורם ההספק, הנצילות והפסדים למיניהם. נמק את התשובות.

מבחן קיץ 2018 מועד ב:

1) השאלה מתייחסת לנושא שינוי המתח בשנאי עקב שינוי העומס.

א. נתוני השנאי החד פאזי הם: $2300/230V, 15kVA$.

העכבה הטורית של השנאי: $Z = R_{eq} + jX_{eq} = 4.45 + j6.45(\Omega)$

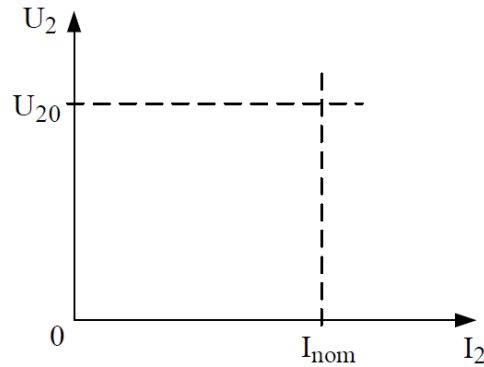
$$(R_{eq} = R_1 + R_2', X_{eq} = X_1 + X_2')$$

בתחום שינוי העומס בעל גורם הספק של 0.8 מפגר, ממצב ריקם ועד נומינלי, נדרש לשמור על המתח הקבוע של 230V במוצא.

באיזה תחום יש לשנות את המתח בראשוני כדי לקיים את הדרישה?

ב. ידוע ששינוי המתח בשנאי תלוי בגודל העומס (הזרם I_2) וסוג העומס

(זווית המופע φ_2). באיור לשאלה נתונה מערכת צירים $U_2 = f(I_2)$.



העתק את האיור למחברתך ושרטט באופן איכותי את שלוש העקומות של שינוי המתח על פני העומס עבור:

העומס ההתנגדתי, העומס ההשראי והעומס הקיבולי.

ג. קיימות כמה שיטות לוויסות המתח בשנאי.

ציין אחת מהן לפחות.

2 נתונים על שנאי תלת פאזי הם : $3.3kV / 0.4kV$, $S_{nom} = 120kVA$

א. בניסוי ריקם במתח הנומינלי נמדדו בכניסה לסליל הראשוני

הערכים הבאים : $I_{10}(\%) = 3\%$, $\cos \varphi_{10} = 0.18$.

על סמך מדידות אלו חשב את ההפסדים המגנטיים ΔP_{FE} בשנאי.

האם הם תלויים במידת העמסת השנאי? נמק את התשובה.

ב. בניסוי קצר בזרם הנומינלי נמדדו בכניסה הערכים

הבאים : $U_{1k}(\%) = 6\%$, $\cos \varphi_{1k} = 0.4$. על סמך מדידות אלו חשב את ההפסדים

החשמליים ΔP_{cu} בשנאי במצב העבודה הנומינלי.

האם הם תלויים במידת העמסת השנאי? נמק את התשובה.

ג. במצב עבודה מסוים השנאי מועמס ב-50% מהעומס הנומינלי

עם גורם הספק מפגר של 0.85 .

חשב את נצילותו של השנאי במצב העבודה הנתון.

3 התנאי ליצירת שדה מגנטי מסתובב במנוע השראה הוא קיום זרמים בסלילי הסטטור

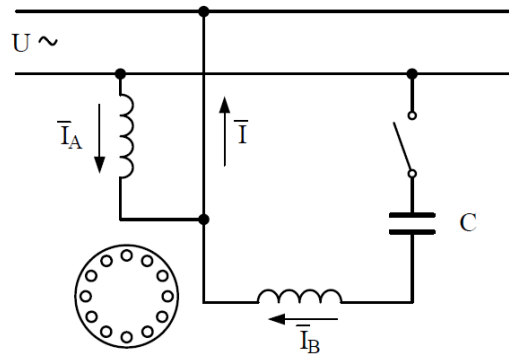
(שניים או יותר) בעלי זווית מופע שונה בינם.

א. במנוע השראה תלת פאזי קיימים שלושה זרמים פאזיים.

מהי זווית המופע בינם?

בהמשך לשאלה נתייחס למנוע השראה חד פאזי עם התנעה קיבולית.

תיאור המנוע עם ההתנעה הקיבולית מוצג באיור.



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

ב. איזו זווית מופע בין הזרמים I_A לבין I_B תגרום לקבלת מומנט ההתנעה הגדול ביותר?

ג. שרטט באופן איכותי דיאגרמה וקטורית של המנוע בעת ההתנעה

המכילה את ארבעת הוקטורים : \bar{U} , \bar{I} , \bar{I}_A , \bar{I}_B .

4) אין קשר בין סעיפי השאלה.

א. בדפי הנתונים של מנוע השראה מופיעים, בין היתר, היחסים בין

המומנט המרבי, T_{max} , ומומנט ההתנעה, T_{start} , לבין המומנט הנומינלי T_{nom} .

$$\text{לדוגמא: } \frac{T_{start}}{T_{nom}} = 1.8, \frac{T_{max}}{T_{nom}} = 2.7$$

שרטט באופן איכותי את האופיין המכני של מנוע השראה $T_M = f(n)$

וסמן עליו את הערכים: T_{max} , T_{start} , T_{nom} .

ב. מומנט שמפתח מנוע השראה מחשבים על בסיס של ההספק הפעיל הנצרך.

איך מנוצל במנוע ההספק העיוור שגם נצרך ממקור ההזנה?

ג. בתעשייה נהוג שימוש במשני מהירות אלקטרוניים לוויסות המהירות

של מנוע השראה. שינוי המהירות מבוסס על שינוי תדירות המתח המגיע למנוע,

אך באותו הזמן משנים גם את גודל המתח.

הסבר למה נחוץ לשנות את המתח ובאיזה יחס לשינוי התדירות?

5) מנוע השראה תלת פאזי בחיבור כוכב מספק עומס הספק של 3.5kW ,

במתח 400V ותדר פעולה 50Hz .

במצב זה מהירות המנוע היא 940rpm , גורם ההספק 0.7 והנצילות 80% .

התנגדות הסליל הפאזי של הסטטור היא 0.6Ω .

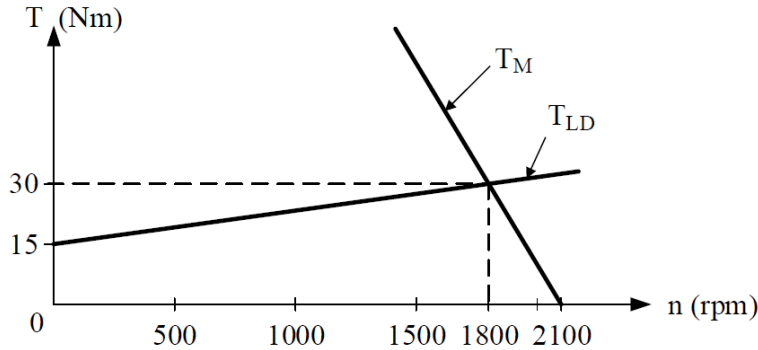
ההפסדים המכאניים במנוע הם 190W .

א. חשב את המומנט על ציר המנוע.

ב. חשב את המומנט האלקטרומגנטי.

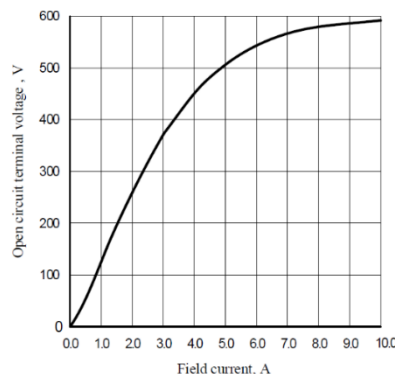
ג. מהם ההפסדים המגנטיים במנוע?

- 6) מנוע DC בעל עירור זר מסובב עומס מכאני בעל אופיין $T_{LD} = f(n)$ כמתואר באיור. באיור מתואר גם אופיין של המנוע עבור מתח הזנה מסוים. $T_M = f(n)$



- לכל אופיין מוגדרות שתי נקודות של תלות בין המומנט למהירות.
 א. כתוב, על סמך הנתונים, את שני הביטויים המבטאים תלות בין המומנטים T_M ו- T_{LD} לבין המהירות n .
 ב. תאר את הביטויים הנ"ל כפונקציות של המהירות הזוויתית ω .
 ג. נתון שמומנט ההתמדה (האינרציה) השקול של העומס והמנוע הוא $J_{\Sigma} = 2 \text{ Nm sec}^2$. מתניעים את המערכת ממצב המנוחה. תאר את ביטוי השתנות המהירות $\omega = f(t)$ בתהליך ההתנעה. מהו קבוע הזמן של התהליך. בדוק שהביטוי נותן את המהירות $n = 1800 \text{ rpm}$ במצב המתמיד.

- 7) נתוני גנרטור סינכרוני הם: חיבור סלילים במשולש, ארבעה קטבים, מתח נומינלי 450V, תדר 50Hz, התנגדות סליל פאזי $R_a = 0.015 \Omega$, היגב סינכרוני $X_s = 0.1 \Omega$. ההפסדים הקבועים (המגנטיים והמכאניים) בגנרטור הם 70kW. באיור לשאלה מוצג אופיין המבטא את התלות בין מתח המוצא של הגנרטור בריקם לבין זרם העירור.

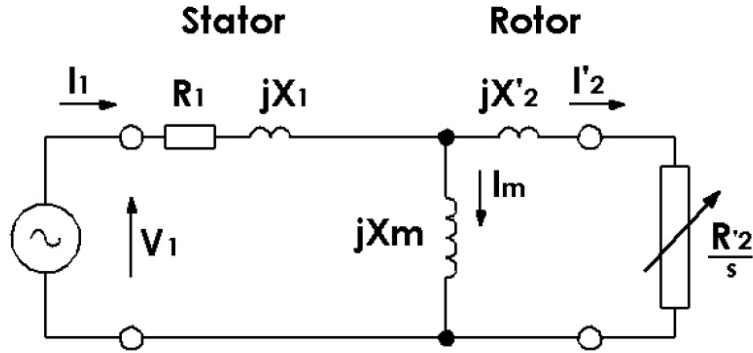


- א. מצא את זרם העירור הנדרש לקבלת המתח 450V בריקם (ללא עומס).
 ב. הגנרטור מספק לצרכנים זרם של 1200A בגורם הספק 0.8 מפגר. מצא את זרם העירור הנדרש כדי לקבל את המתח של 450V בעומס הנתון.
 ג. חשב את נצילות הגנרטור בעומס הנתון בסעיף ב'.

- 8) נתון מנוע לזרם ישר בעל מגנטים קבועים (Permanent Magnet).
התנגדות סליל העוגן היא 0.8Ω . המנוע פועל במתח של 240V.
- א. מהו תפקידם של מגנטים קבועים במנוע?
- ב. המנוע פועל ללא עומס על צירו (בריקם), צורך זרם של 2.4A ומסתובב במהירות של 1040rpm.
חשב את ההספק הנצרך.
מהם סוגי ההפסדים שהספק זה מכסה אותם?
- ג. במצב עבודה מסוים המנוע צורך זרם של 20A.
מה תהיה מהירות המנוע?
- ד. על ידי הורדת מתח ההזנה רוצים להגיע למהירות של 400rpm.
ידוע שהמומנט על ציר המנוע הוא קבוע, ללא תלות במהירות.
איזה מתח יש לחבר למנוע?

מבחן קיץ 2018 מועד א:

- (1) נתוני מנוע השראה הם: Y , $440V$, $50Hz$, שלושה זוגות קטבים. מעגל תמורה חשמלי מקורב של פאזת המנוע נראה באיור הבא:



הפרמטרים של מעגל התמורה הם:

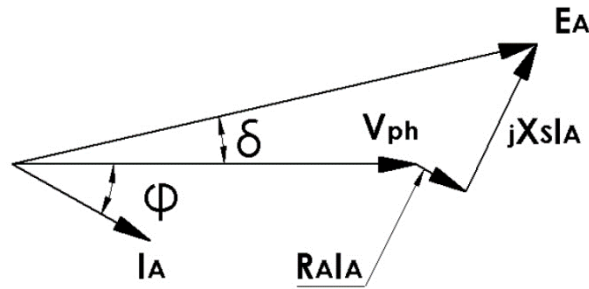
$$X_m = 7.2\Omega, X'_2 = 0.18\Omega, R'_2 = 0.07\Omega, X_1 = 0.19\Omega, R_1 = 0.082\Omega$$

בעומס מסוים המנוע מסתובב במהירות של 960rpm.

- א. מעגל זה נקרא מקורב מהסיבה שחלק מההפסדים לא נלקח בחשבון. על אילו הפסדים מדובר?
 ב. חשב את הזרם הנצרך על ידי המנוע.
 ג. חשב את זרם המיגנוט I_m .

- (2) גנרטור DC בעל עירור זר מסובב על ידי מנוע דלק במהירות קבועה של 1200rpm. הגנרטור מייצר מתח של 230V בריקס, ואילו בעומס מסוים יורד המתח ל-220V. התנגדות סליל העוגן היא 0.2Ω . ידוע שההפסדים הקבועים של הגנרטור מהווים 40% מההפסדים המשתנים בעומס הנתון (הפסדי העירור אינם נלקחים בחשבון). מהו המומנט שמספק מנוע הדלק לגנרטור -
 א. כאשר הגנרטור פועל בעומס הנתון?
 ב. כאשר הגנרטור פועל בריקס?

3) באיור מוצגת דיאגרמה וקטורית של גנרטור סינכרוני עבור פאזה אחת.



- E_A - כא"מ פאזי, V_{ph} - מתח פאזי, I_A - זרם פאזי, R_A - התנגדות הסליל, X_s - היגב סינכרוני של הסליל, φ - זווית המופע, δ - זווית העומס.
- א. לפי הדיאגרמה הוקטורית, העומס של הגנרטור הוא בעל אופי השראי. איך מגיעים למסקנה זו?
- ב. מהם הגורמים בפעולת המערכת אשר קובעים את גודל הכא"מ E_A . נמק את התשובה בעזרת הנוסחאות המתאימות.
- ג. סרטט באופן איכותי את הדיאגרמה הוקטורית למקרה שבו העומס הוא התנגדוטי טהור.

4) אופיין מכני של מנוע לזרם ישר בעל עירור זר מתואר

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

על ידי הביטוי הבא:

$$T_{LD}(n) = 20 + 0.02 \cdot n$$

אופיין מכני של עומס מסוים מתואר על ידי הביטוי הבא:

נתון:

$$T_M - \text{מומנט שמפתח המנוע ביחידות Nm}$$

$$T_{LD} - \text{מומנט שנדרש על ידי העומס ביחידות Nm}$$

$$n - \text{מהירות הסיבוב ביחידות rpm}$$

$$J_\Sigma = 4 \text{ Nm sec}^2$$

מומנט ההתמדה (האינרציה) השקול של העומס ורוטור המנוע הוא

מתניעים את המערכת ממצב מנוחה.

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

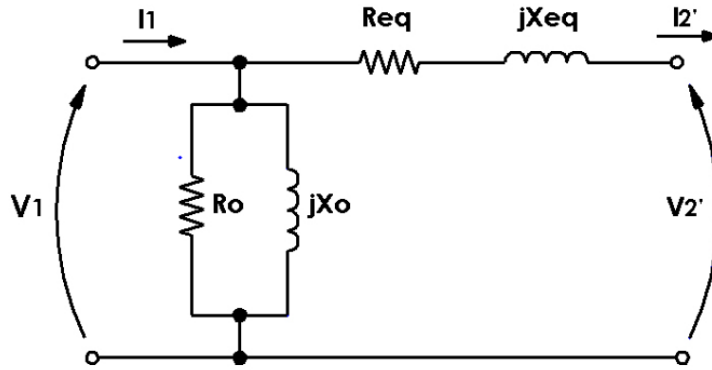
ב. כתוב את ביטוי השתנות המהירות בזמן, $\omega(t)$, בתהליך ההתנעה.

נתון: ω - המהירות הזוויתית של ציר המנוע. מהו קבוע הזמן של תהליך ההתנעה?

הנחיה לפתרון של סעיף ב':

יש לתאר את ביטוי המומנטים T_M ו- T_{LD} כפונקציות של ω .

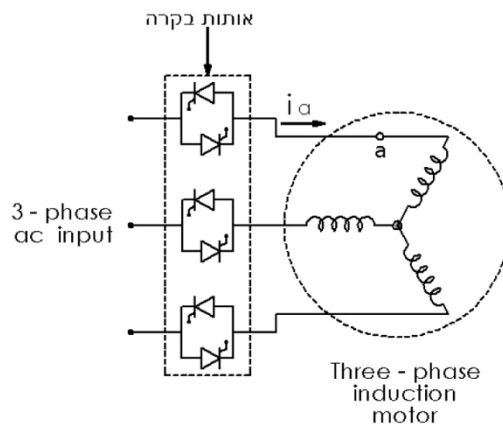
- 5) נתון שנאי מוריד מתח חד פאזי, $12/2.4\text{kV}$, 50Hz .
 נמדדו הפרמטרים הבאים של השנאי: $R_1 = 7\Omega$, $R_2 = 0.3\Omega$, $X_1 = 19\Omega$, $X_2 = 0.75\Omega$.
 לחישובים משתמשים במעגל תמורה המתואר באיור הבא:



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

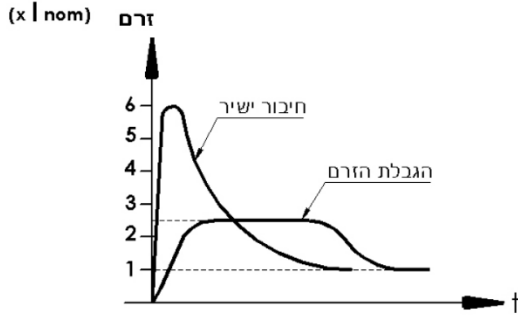
- בפעולת השנאי בריקס, בהזנתו במתח של 12kV , נמדד זרם של 1.55A בגורם הספק $\cos \varphi_0 = 0.256$ מפגר.
 השנאי מזין עומס, הצורך 40A בגורם ההספק של 0.8 מפגר, כאשר מתח ההזנה הוא 12kV .
 א. חשב את הזרם הנצרך על ידי השנאי.
 ב. חשב את המתח על פני העומס.

- 6) חיבור מתח מלא למנוע השראה גורם לעליה חדה של הזרם ההתחלתי, אשר גדול פי 5-6 מהזרם הנומינלי של המנוע, וזאת ללא קשר עם מידת העמסתו של המנוע. זרם התנעה גדול יוצר מספר בעיות – הן חשמליות והן מכניות. כדי להקטין את זרם ההתנעה נהוג לבצע התנעה רכה (soft start) על ידי שינוי המתח על הדקי המנוע מהערך המינימלי הנדרש ועד למתח המלא בצורה רציפה, חלקה ומבוקרת. המתנע האלקטרוני להתנעה רכה מבוסס על התקני הספק מסוג ה-SCR. בכל פאזה של המנוע התלת פאזי נמצא מעגל, המורכב משני התקני ה-SCR, המחברים גב אל גב. באיור אי' לשאלה 6 מוצג תרשים של המתנע הרך:



איור א' לשאלה 6

באיור ב' לשאלה מוצגות שתי עקומות של הזרם הנצרך בתהליך ההתנעה כפונקציית הזמן:
האחת - חיבור ישיר (קבלת המתח הנומינלי)
והשנייה - דרך המתנע הרך:



איור ב' לשאלה 6

- א. הסבר בקצרה למה מתפתח במנוע השראה זרם גדול בהתנעה?
- ב. תאר באופן איכותי את גל המתח בפאזה אחת של המנוע כאשר המתח קטן מהמתח הנומינלי.
- ג. לא ניתן להשיג את הגבלת הזרם המדויקת ללא מעגל משוב. איזה סוג משוב יש להתקין במערכת? מהו המכשיר שמעגל המשוב מבוסס עליו?

7 נתונים נומינליים של מנוע DC בעל עירור זר הם: $2700W$, $250V$, $1000rpm$, $\eta = 90\%$.
התנגדות סליל העוגן היא $R_a = 1.2\Omega$.

- א. חשב את הזרם הנומינלי בעוגן, I_a , את ההפסדים המשתנים, ΔP_{cu} , ואת ההפסדים הקבועים (מכניים ומגנטים), ΔP_{const} , במצב הנומינלי.
- ב. המנוע מוזן במתח הנומינלי ופועל במצב שבו הוא צורך 25% מהזרם הנומינלי. הנח שההפסדים הקבועים אינם משתנים. מה תהיה נצילות המנוע במצב זה? השווה את התוצאה עם הנצילות הנומינלית. מהי המסקנה המתבקשת מכך?
- ג. נתייחס לשלושת מאפייני פעולת המנוע:
 - i. מתח ההזנה.
 - ii. מומנט על ציר המנוע.
 - iii. התנגדות במעגל העוגן.
 שינוי של איזה מאפיין (אחד בלבד מתוך הרשימה) ישפיע על הזרם נצרך? נמק את תשובתך.

- 8) נתוני מנוע השראה הם: Y , $400V$, $50Hz$, 4 קטבים.
 התנגדות של פאזה אחת בסטטור היא 0.54Ω .
 במצב עבודה מסוים מסתובב המנוע בהחלקה של 3% , צורך זרם של $25A$
 בגורם ההספק 0.85 מפגר ובנצילות של 85.5% .
 הפסדי הברזל הם קבועים ושווים ל- $400W$.
- א. מצא את ההפסדים החשמליים בסטטור וברוטור.
 - ב. מצא את ההפסדים המכניים ואת המומנט בריקם.
 - ג. חשב את המומנט האלקטרומגנטי, T_{em} , והמומנט על ציר המנוע, T_{out} .
 - ד. מנתקים את העומס המכני מציר המנוע (המנוע פועל בריקם).
 איך הדבר ישפיע (קטן, גדל או נשאר ללא שינוי) על המאפיינים הבאים:
 - i. מהירות המנוע.
 - ii. הזרם הנצרך.
 - iii. גורם ההספק.
 - iv. הנצילות.
 אין צורך לנמק את תשובתך.

מבחן אביב 2018 מועד ב:

1 במעבדה נבדקו שני שנאים חד פאזיים בעלי אותם הנתונים $2300/230\text{ V}$, 15KVA כאשר הם משני יצרנים שונים.

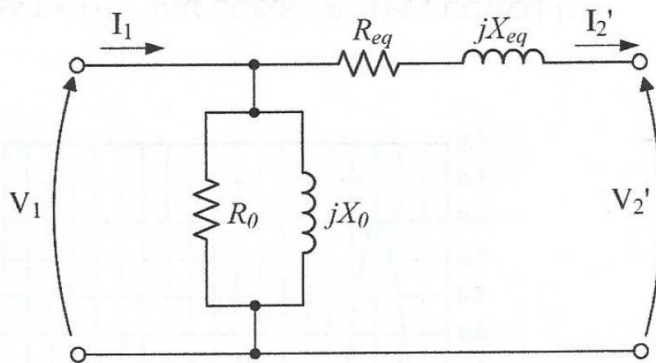
נמדדו הפרמטרים של כל אחד מהשנאים בניסויי ריקם וקצר ואלה התוצאות.
לשנאי מיצרן "a" נתקבלו: $R_1 = 2.2\Omega$, $X_1 = 3.2\Omega$, $R_2 = 0.023\Omega$, $X_2 = 0.033\Omega$, $R_0 = 105\text{k}\Omega$, $X_0 = 11\text{k}\Omega$.

לשנאי מיצרן "b" נתקבלו: $R_1 = 1.9\Omega$, $X_1 = 3.2\Omega$, $R_2 = 0.02\Omega$, $X_2 = 0.033\Omega$, $R_0 = 80\text{k}\Omega$, $X_0 = 12\text{k}\Omega$.

- שרטטו את מעגל התמורה של שנאי הספק (ללא ציון הערכים).
- באיזה שנאי הפסדי המיגנוט גדולים יותר? נמקו את התשובה.
- באיזה שנאי ההפסדים החשמליים גדולים יותר? נמקו את התשובה.
- באיזה שנאי מפלי המתח על סליליו גדולים יותר? נמקו את התשובה.

2 בשנאי חד פאזי בעל הספק נומינלי 1.0kVA ומתחים $220/110\text{ V}$ נעשו בדיקות בריקם ובקצר.

- בניסוי ריקם (oc-open circuit) נתקבלו התוצאות: $V_{oc} = V_{nom} = 220\text{ V}$, $I_{oc} = 0.3\text{ A}$, $P_{oc} = 15\text{ W}$.
- בניסוי קצר (sc-short circuit) נתקבלו התוצאות: $V_{sc} = 11\text{ V}$, $I_{sc} = I_{nom}$, $P_{sc} = 20\text{ W}$.
- א. מצאו את נתוני מעגל התמורה המקורב כפי שהוא מוצג באיור הבא.



- ב. מעמיסים את השנאי בעומס נומינלי של 1.0kVA , כאשר מחובר לראשוני מתח של 220 V . האם במשני יתקבל מתח של 110 V או שונה ממנו? אם התשובה היא מתח שונה מ- 110 V מהי משמעות של הנתון הנומינלי $220/110\text{ V}$?

3) למנוע השראה 6 קטבים, חיבור כוכב ומרכיבי מעגל התמורה הפאזי הם כדלקמן:

$$R_0 \rightarrow \infty, X_0 = 23\Omega, X_2' = 0.209\Omega, R_2' = 0.144\Omega, X_1 = 0.503\Omega, R_1 = 0.294\Omega$$

במצב עבודה מסוים מספק המנוע לעומס הספק של $P_{out} = 7.5\text{kW}$ במהירות של 970rpm וצורך זרם של 24.5A.

א. נמקו את הטענה: "לפי נתוני מעגל התמורה מזניחים את הפסדי הברזל".

ב. שרטטו את מעגל התמורה של המנוע בהתאם לנתוני המעגל ולפי המצב העבודה הנתון.

ג. חשבו את המתח שמחובר למנוע ממקור הזנה.

ד. חשבו את ההספק הפעיל הנצרך P_{in} ואת נצילות המנוע.

4) נתונים נומינליים של מנוע השראה הם:

חיבור כוכב, 50kW, 440V, 50Hz, $\eta = 88\%$, $\cos \varphi = 0.85$, 2850rpm.

למנוע זוג אחד של הקטבים: $\Delta P_{FE} = 500\text{W}$, $\Delta P_{mech} = 520\text{W}$.

א. חשבו את הזרם הנצרך.

ב. חשבו את ההספק האלקטרומגנטי P_{em} .

ג. מצאו את ההפסדים החשמליים בסטטור וברוטור.

(הנחיה לפתרון: את ההספק האלקטרומגנטי ניתן למצוא דרך תרשים זרימת האנרגיה או דרך המומנט האלקטרומגנטי והמהירות הסינכרונית).

5) נתונים נומינליים של מנוע לזרם ישר בעל עירור זר הם:

$$\Delta P_{mech} = 120\text{W}, R_a = 1.25\Omega, \eta = 85\%, 1000\text{rpm}, 12\text{A}, 250\text{V}$$

א. חשבו את הפסדי הברזל וההפסדים החשמליים במצב הנומינלי.

ב. חשבו את המומנטים על ציר המנוע עבור מצב בריקם ובמצב הנומינלי.

ג. חשבו את המתח הנדרש להורדת מהירות המנוע לידי 750rpm.

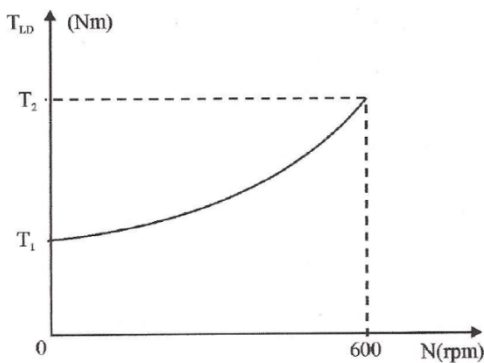
כאשר על ציר המנוע מופעל המומנט הנומינלי.

- 6) מנוע DC בעל עירור מקבילי פועל במתח קבוע של 240V. התנגדויות סלילי העוגן והעירור הן: $R_f = 120\Omega$, $R_a = 0.6\Omega$. במצב מסוים של פעולת המנוע נמדדו הנתונים הבאים: הזרם הנצרך ממקור הזנה 22A, המהירות 1240rpm, הנצילות 82%.
א. מהם ההפסדים החשמליים וההפסדים הקבועים של המנוע?
ב. בעומס אחר על ציר המנוע נצרך ממקור הזנה זרם של 14A. מה תהיה מהירות המנוע במצב זה?

- 7) נתוני גנרטור סינכרוני הם: Y , 200kVA , 480V , 50Hz , $2p = 2$, $R_a = 0.04\Omega$, $X_s = 0.25\Omega$, $\eta = 90\%$. העומס שמחובר לגנרטור הוא בעל גורם הספק 0.75 מפגר.
א. חשבו את ההספק המכני P_{in} , והמומנט T_{in} המופעלים על ציר הגנרטור בעומס הנומינלי.
ב. מהם הכא"מ לפאזה וזווית העומס בעבודת הגנרטור בעומס הנומינלי?

- 8) בתהליך הערגול (rolling) גושי המתכת נהפכים ללוחיות (plates) מתכת בעל עובי של מספר מילימטרים. בתעשייה זו נפוץ שימוש במנועי DC, תודות ליכולת שלהם לפתח את המומנטים הגדולים הנדרשים.

באיור הבא מתואר אופיין מכאני של תהליך הערגול $T_{LD} = f(n)$ עבור תחום העבודה הנדרש. האופיין מצביע על כך שהמומנט הנדרש גדל עם עליית המהירות.

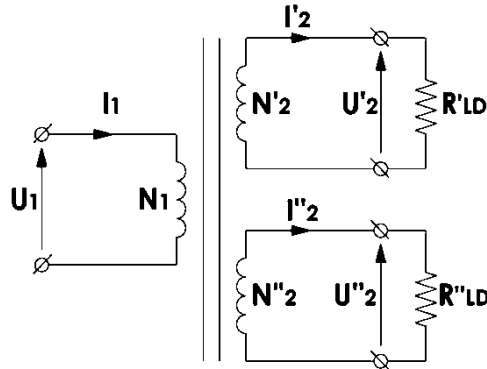


ידועים נתוני התהליך עבור שני מצבי המנוע:
בהתנתות המתקן נדרש המומנט $T_1 = 180\text{Nm}$.
במהירות $n = 600\text{rpm}$ נדרש המומנט $T_2 = 280\text{Nm}$.
למתקן הערגול נבחר מנוע DC עם עירור זר בעל הנתונים הנומינליים הבאים:
 $n_M = 1200\text{rpm}$, $V_M = 250\text{V}$, $P_{out} = 40\text{kW}$,
 $R_a = 0.06\Omega$, $\eta = 86\%$.

- א. הוכח שהמנוע עונה על דרישות העומס.
ב. מצא את הזרם הנצרך I_a , והמתח הנדרש V_M עבור פעולת המנוע במהירות של 600rpm (בהזנחת מומנט ריקם של המנוע).

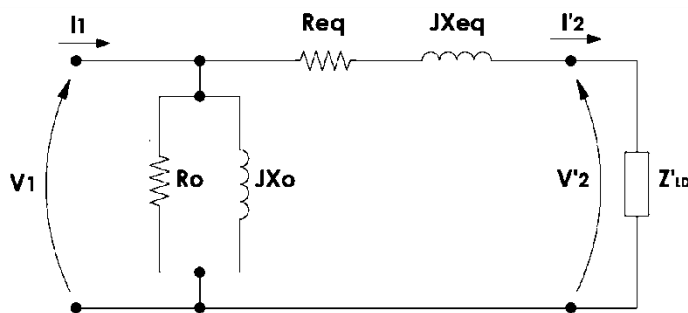
מבחן אביב 2018 מועד א:

- (1) השאלה מתייחסת לשנאי אידאלי.
השנאי מזין שני עומסים בעלי אופי התנגדותי, כפי שנראה באיור:



- נתוני השנאי: $U_1 = 230V$, $f = 50Hz$, $U'_2 = 48V$, $R'_{LD} = 20\Omega$, $U''_2 = 110V$, $R''_{LD} = 30\Omega$.
השטף המגנטי המרבי בליבת השנאי הוא $16 \cdot 10^{-4} Wb$.
א. חשבו את מספרי הכריכות N_1 , N'_2 , N''_2 .
ב. חשבו את הזרם הנצרך I_1 .

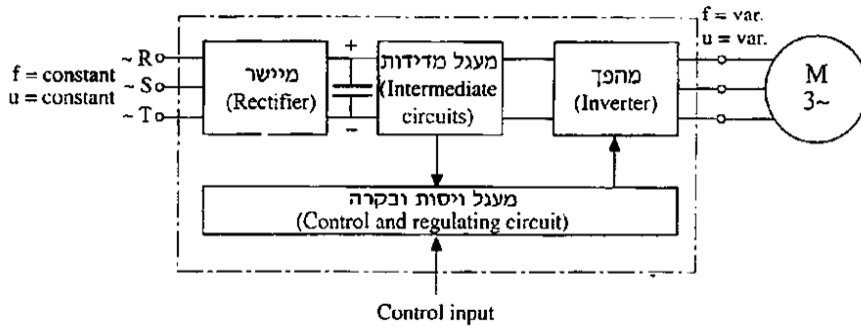
- (2) נתוני שנאי חד פאזי הם: $15kVA$, $8000/230V$.
לחישובים משתמשים במעגל תמורה מקורב המוצג באיור הבא:



- נתון: $X_0 = 70k\Omega$, $R_0 = 350k\Omega$, $R_{eq} + jX_{eq} = 80 + j300 \Omega$.
העומס מתואר על ידי עכבה $Z_{LD} = 3.2 + j1.5 \Omega$ (לא מתוקן לראשוני).
א. חשבו את הזרם שנצרך על ידי השנאי ללא עומס (זרם ריקס).
ב. השנאי מועמס בעומס הנתון.
חשבו את המתח V_2 על פני העומס.

- (3)** נתוני מנוע השראה הם: Y , $440V$, $50Hz$, שלושה זוגות קטבים. ידועים פרמטרים של מעגל התמורה:
- $$R_0 \rightarrow \infty, X_0 = 7.2\Omega, X_2' = 0.18\Omega, R_2' = 0.07\Omega, X_1 = 0.19\Omega, R_1 = 0.082\Omega$$
- בעומס מסוים המנוע מסתובב במהירות של $960rpm$.
- שרטטו את מעגל התמורה הפאזי של המנוע בהתאם לנתוני המעגל ולמצב העבודה הנתון.
 - נמקו את הטענה שלפיה נתוני מעגל התמורה מזניחים את הפסדי הברזל.
 - חשבו את הזרם הנצרך על ידי המנוע.
 - ידוע שההפסדים המכניים הם $1300W$. חשבו את הנצילות המנוע.
- (4)** נתוני מנוע השראה הם: חיבור משולש, מתח הזנה $400V$, שלושה זוגות קטבים, התנגדות פאזה אחת בסטטור 1.4Ω . בפעולת המנוע בריקם נצרך זרם של $3.8A$. נתוני המנוע בפעולה בעומס מסוים הם: מהירות המנוע $976rpm$, הזרם הנצרך מהרשת $7.5A$, המומנט המסופק לעומס $32Nm$, $\Delta P_{FE} = 300W$, $\Delta P_{mech} = 240W$.
- ההספק על ציר המנוע בריקם, שווה לאפס. הסבירו למה הזרם הנצרך בריקם כל כך גדול?
 - חשבו את ההספק שהמנוע צורך מהרשת בעומס הנתון.
 - מהו גורם ההספק $\cos \varphi$ של המנוע בעומס הנתון?
- (5)** נתונים נומינליים של מנוע לזרם ישר בעל עירור זר הם:
- $$50Hp, 260V, 1200rpm, R_a = 0.08\Omega, \eta = 86\%$$
- הנצילות היא $\eta = 86\%$.
- להתנעת המתקן המנוע על ידי המנוע נדרש מומנט השווה ל-150% מהמומנט הנומינלי של המנוע. מהו מומנט ההתנעה?
 - מהו המתח ההתחלתי המינימלי הנדרש להתנעת המתקן?
 - טווח המהירות שבו פועל המנוע הוא בין $400rpm$ לבין $1000rpm$. שינוי המהירות מתבצע על ידי שינוי מתח ההזנה. על ציר המנוע פועל מומנט קבוע השווה למומנט הנומינלי.
 - האם ישתנה הזרם הנצרך בעת שינוי המהירות? נמק את התשובה.
 - מהו טווח שינוי המתחים למנוע הנדרש לקיום שינוי המהירות?

6) באיור א לשאלה נתון תרשים מלבנים המתאר את פעולתו 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 ישור מתח חילופין והפיכת המתח הישר למתח החילופין תוך כדי שינוי התדר ואמפליטודת המתח כנדרש.

א. להלן רשימת הפרמטרים הקשורים לפעולת המנוע:

i. מתח ההזנה.

ii. תדר מתח ההזנה.

iii. הזרם שנצרך.

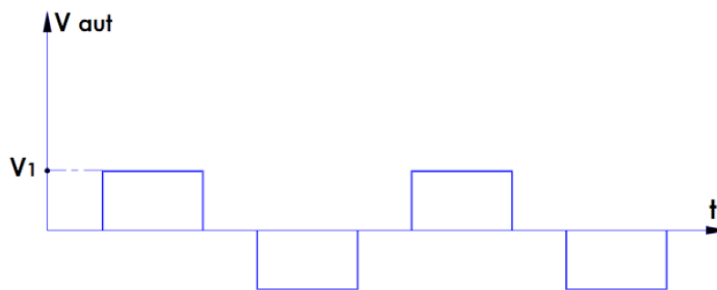
הסבר באמצעות איזה פרמטר אפשר לשנות את המהירות.

לווה את ההסבר בנוסחה המתאימה.

ב. רשום נוסחה שתבטיח את שינוי המהירות ללא שינוי המומנט על ציר המנוע.

ג. נניח שבמוצא משנה המהירות, עבור מהירות מסוימת, יתקבל מתח פאזי

כמתואר באיור ב'.



איור ב' לשאלה 6

העתק את הגרף למחברת המבחן ומתחתיו שרטט באופן איכותי את גל המתח שיתאים למהירות נמוכה יותר.

7) נתוני גנרטור סינכרוני הם: חיבור סלילים "כוכב", $f = 50\text{Hz}$, מספר קטבים - 6. מתח שלוב - 410V, היגב סינכרוני - 1.0Ω , התנגדות אוהמית זניחה.

א. באיזו מהירות יש לסובב את הגנרטור כדי לקבל את הנתונים הנומינליים?

ב. כאשר הגנרטור מספק זרם של 60A לעומס בגורם ההספק 0.8 מפגר בזרם עירור מסוים מתקבל מתח נומינלי במוצא הגנרטור.

i. איזה הספק מדומה S מספק הגנרטור לעומס?

ii. מצא את הכא"מ לפאזה E_a וזווית ההספק δ .

ג. זרם חילופין שמספק הגנרטור לצרכנים מאופיין בערך יעיל של המתח והתדירות.

i. איך ישפיע שינוי זרם העירור על המאפיינים? נמק את התשובה.

ii. איך ישפיע שינוי מהירות הסיבוב על המאפיינים? נמק את התשובה.

8) נתונים נומינליים של מנוע DC בעל עירור זר הם: 240V , 2kW , 2000rpm , $\eta = 86\%$.

המנוע מסובב משאבה צנטריפוגלית שהמומנט הנדרש שלה T_{LD} מבוטא על ידי

$$T_{LD} = T_{LD}^0 + c \cdot n_M^2$$

כאן: T_{LD}^0 - המומנט הנדרש בהתנעת המשאבה.

n_M - מהירות המנוע המשתנה.

c - קבוע.

נתון: $T_{LD}^0 = 2.57\text{Nm}$.

א. חשבו את הזרם הנצרך והמומנט על ציר המנוע במצב העבודה הנומינלי.

ב. מצא את הקבוע c בידיעה שבמהירות הנומינלית המומנט הנדרש של המשאבה שווה למומנט הנומינלי של המנוע.

ג. על ידי הורדת מתח למנוע מורידים את מהירות הסיבוב של המשאבה לידי 1200rpm .

מהו המומנט הנדרש על ידי המשאבה?

מבחן קיץ 2017 מועד ב:

- (1) גנרטור לזרם ישר מסובב על ידי מנוע דלק במהירות של 1200rpm.
התנגדות סליל העוגן 0.6Ω .
הגנרטור מספק לעומס הספק של 4kW במתח של 125V ובנצילות 80%.
א. מהו המומנט T_{in} שמספק מנוע דלק לגנרטור?
ב. מהם הפסדי הנחושת וההפסדים הקבועים (הפסדי ברזל והפסדי חיכוך) במצב עבודה זה בהזנת הפסדי סליל העירור?
ג. מהו הכא"מ E במצב עבודה זה?
- (2) נתונים נומינליים של מנוע DC בעל עירור זרם הם:
 $250V$, $12A$, $1000rpm$, נצילות 90%, $R_a = 1.2\Omega$.
א. חשבו את המומנט על ציר המנוע במצב הנומינלי.
ב. על ידי שינוי מתח למנוע הורידו את המהירות ל-600rpm כאשר על ציר המנוע פועל המומנט הנומינלי.
i. מהו המתח המחובר למנוע?
ii. מהו ההספק הנצרך ממקור ההזנה?
ג. בהזנת המנוע במתח של 250V מנתקים את העומס המכני מציר המנוע. איך הדבר ישפיע על הזרם הנצרך ועל מהירות המנוע (קטן, גדל או נשאר ללא שינוי לעומת הנתונים הנומינליים).
- (3) הנתונים מתייחסים לפאזה אחת של גנרטור סינכרוני: $R_a = 0.3\Omega$, $X_s = 1.15\Omega$.
הזרם הנומינלי הוא 60A. הקשר בין הכא"מ E_{ph} לבין זרם העירור I_f : $E_{ph} = 100I_f$.
א. בפעולת הגנרטור בריקם רוצים לקבל מתח פאזי של 230V. מהו זרם העירור הנדרש?
ב. מעמיסים את הגנרטור עד לזרם הנומינלי בגורם ההספק $\cos \varphi = 1$ (עומס התנגדותי) תוך שמירת זרם העירור בערכו המחושב בסעיף א'.
i. שרטט דיאגרמה וקטורית איכותית עבור המצב הנתון.
ii. מהו המתח שישרור בהדקי פאזת הגנרטור?
ג. במידה ומתקבל מתח שונה מ-230V, מהו זרם העירור הנדרש כדי לקבל מתח של 230V בתנאי העמסת הגנרטור כמתואר בסעיף ב'?

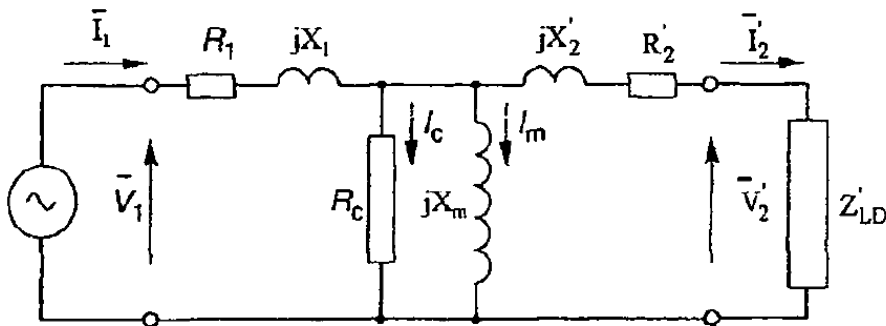
- 4) מנוע השראה תלת פאזי בחיבור כוכב הוא בעל שני זוגות קטבים. התנגדות פאזה אחת של סליל הסטטור היא 0.95Ω . המנוע מחובר לרשת $380V, 50Hz$. הפסדי הברזל הם $120W$. במצב עבודה מסוים המנוע צורך זרם של $12A$ בגורם הספק $\cos \varphi = 0.835$, נצילות המנוע היא 86.5% והחליקה היא 2.8% .
- א. מהי מהירות המנוע?
 ב. מהו המומנט T_{out} על ציר המנוע?
 ג. מהם הפסדי הנחושת בסטטור?
 ד. מהו ההספק האלקטרומגנטי P_{em} (ההספק המועבר)?
 ה. מהם הפסדי הנחושת ברוטור?

5) ענה על הסעיפים הבאים :

א. כדי לווסת את מהירות של מנוע נדרש לשנות :

- i. עבור מנוע DC את.....
 ii. עבור מנוע AC את.....

ב. באיור לשאלה מוצג מעגל תמורה של שנאי מעשי.

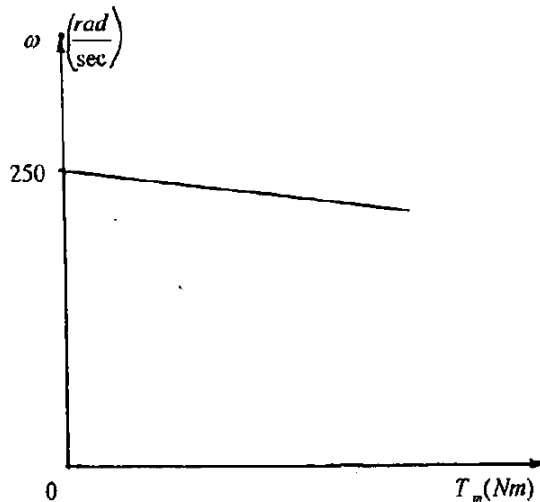


יש לענות בקצרה על משמעות הפיזיקלית של הענפים הבאים :

- i. הענף עם הנגד R_c .
 ii. הענף עם העכבה X_m .
 iii. הענף $R_1 + jX_1$.
 ג. כאשר העומס על ציר המנוע הולך ופוחת גם נצילות המנוע הולכת וקטנה. הסבר את התופעה.

- 6) נתונים נומינליים של שנאי חד פאזי הם: $2300\text{ V} / 230\text{ V}$, 15 kVA .
 לשנאי בוצעו ניסויי ריקם וקצר ונתקבלו מרכיבי מעגל התמורה כדלקמן:
 $X_k = X_1 + X_2' = 6.45\Omega$, $R_k = R_1 + R_2' = 4.45\Omega$, $X_m = 11\text{ k}\Omega$, $R_c = 106\text{ k}\Omega$.
 תוך כדי עבודת השנאי משתנה אופי של העומס וכתוצאה מכך גורם ההספק נע בין 0.5 מפגר לבין 0.9 מפגר.
 כאשר השנאי מוזן במתח של 2300 V ובעומס הנומינלי,
 א. מהו שינוי המתח במוצא השנאי עקב שינוי אופי העומס?
 ב. מהו שינוי נצילות השנאי עקב שינוי אופי העומס?
 (רמז: יש למצוא את המתח במוצא והנצילות עבור שני גורמי ההספק הגבוליים).

- 7) באיור לשאלה מוצג אופיין מכני של מנוע DC (תלות בין המהירות הזוויתית ω לבין המומנט המועבר T_m), עבור מתח מסוים שמחובר למנוע.



- התנגדות סליל העוגן היא 0.68Ω .
 ידוע שבעומס מסוים המנוע מסתובב במהירות של 2030 rpm וצורך זרם של 26.6 A .
 א. מהו המתח V_M , שעבורו נבנה אופיין מכני זה?
 ב. מהו המומנט המועבר T_m בעומס הנתון?
 ג. העתיקו את האופיין הנתון למחברת. איך יראה האופיין המכני בהשוואה לאופיין הנתון במידה והתנגדות סליל העוגן תהיה גדולה יותר?

הנחיות לפתרון:

הפתרון צריך להתבסס על נוסחאות הבאות: $T_m = k_a \cdot \varphi \cdot I_a$, $\omega = \frac{V_M - I_a \cdot R_a}{k_a \cdot \varphi}$.

(8)

נתוני מנוע סינכרוני תלת פאזי הם :

חיבור משולש, מתח הזנה $230V$, $50Hz$, היגב סינכרוני $X_s = 2.5\Omega$.

ההתנגדות האוהמית של סלילי המנוע היא זניחה.

ההפסדים הקבועים (מכניים ומגנטיים) הם $2.5kW$.

המנוע מספק לעומס מכני $P_{out} = 12kW$ בגורם הספק מקדים $\cos \varphi = 0.8$.

א. מהם הזרם הנצרך מהרשת I_n וזרם הפאזה I_{ph} ?

ב. מהו הכא"מ המושרה \bar{E}_{ph} ?

יש לציין את הערך המוחלט וזווית העמסה δ (הזווית בין הכא"מ לבין המתח).

מבחן קיץ 2017 מועד א:

- (1) שנאי שהספקו 2 קילו וולט-אמפר פועל ברשת עם תדירות של 50 הרץ. נתונים המאפיינים של מעגל התמורה של השנאי: $N_2 / N_1 = 0.472$, $X_m = 657\Omega$, $R_e = 0.682\Omega$, $X_e = 0.173\Omega$, $R_c = 1080\Omega$. הסליל הראשוני מחובר למקור מתח של 230 וולט 50 הרץ והעומס המחובר לסליל השניוני הוא עכבה $X = j2.5\Omega$, $R = 6\Omega$.
- חשב את הזרם בצד השניוני.
 - חשב את המתח בצד השניוני.
 - חשב את הזרם בליפופי הראשוני בעומס.
 - סרטט את מעגל התמורה של השנאי.
 - חשב את הנצילות השנאי.

- (2) נתון שנאי תלת מופעי בהספק כולל 170kVA המחובר בחיבור "כוכב-כוכב". המתח הקווי 6000/400 וולט. נתוני הליפופים על כל פאזה בראשוני: $X_1 = 8\Omega$, $R_1 = 3.5\Omega$, $X_2 = 0.016\Omega$, $R_2 = 0.008\Omega$. בניסוי בריקם התפתח הספק של 540W. הזרם הקווי בשניוני בניסוי בקצר הוא 245 אמפר. חשב:
- זרם פאזי ראשוני.
 - ההתנגדות האוהמית של מעגל הניסוי בקצר.
 - הפסדי הנחושת של השנאי.
 - נצילות השנאי בעומס נקוב (הנח מקדם הספק 0.8 השראתי).
 - בהעמסת השניוני בעומס של 230 אמפר ובמקדם הספק של 0.8 השראתי, חשב את שינוי המתח בשניוני באחוזים ($\Delta U_2\%$).

- (3) למנוע לזרם ישר בעירור מקבילי הנתונים הנקובים הם: מתח נומינלי 250 וולט, זרם עוגן נומינלי 64 אמפר, הספק מכני נומינלי 20 כ"ס, מהירות סיבוב נומינלית 780 סל"ד. התנגדות ליפופי העוגן 0.4 אוהם, התנגדות סלילי הסטטור 80 אוהם. מפל המתח על פני המברשות 2 וולט ומהירות סיבוב בריקם 820rpm. כדי להוריד את מהירות סיבוב המנוע הוסיפו בטור לעוגן נגד שהתנגדותו 2.38 אוהם שיחובר באופן יזום לשינוי המהירות (מצב לא נומינלי).
- חשב את הכא"מ של המנוע בפעולה נומינלית.
 - חשב את המומנט של המנוע בפעולה נומינלית.
 - חשב את הפסדי הנחושת במנוע בפעולתו הנומינלית.
 - שרטט והסבר את האופיין המכני של המהירות כתלות במומנט.
 - חשב באיזו מהירות סיבוב יסתובב המנוע כשיחובר הנגד שערכו 2.38 אוהם בטור לעוגן ועל המנוע יפעל מומנט מכני של 60N·m.

- (4) מנוע לזרם ישיר בעירור מקבילי פועל במתח הדקים של 200 וולט. התנגדות שדה העירור 200 אוהם והתנגדות סלילי העוגן 0.5 אוהם. במצב פעולה של עומס מלא המנוע פועל גם בשטף מגנטי מלא ומסתובב במהירות של 1000rpm וזרם העוגן הוא 40A. הזנח את האפשרות של רוויה מגנטית ואת מפל המתח על פני המברשות.
- א. חשב את זרם העירור והכא"מ הנגדי המתפתח בעוגן.
 - ב. לצורך קבלת מומנט של $100\text{N}\cdot\text{m}$ חשב את זרם העוגן הנדרש ואת המהירות.
 - ג. דרוש שהמנוע, באמצעות התנגדות נוספת בשדה העירור, יפתח מצב פעולה ביניים מכני 10Hp, במהירות של 1200rpm.
- חשב את ההתנגדות של ההתנגדות הנוספת שתחובר בטור לשדה העירור על מנת לבקר את הדרגה בעבודת המנוע.
- (5) למנוע השראתי תלת מופעי בעל רוטור כלוב נעשו ניסויים.
- א. ידוע שהמנוע מחובר בחיבור כוכב עם הספק נומינלי של 3 קילו וואט ותדירות של 50 הרץ. התנגדות סלילי הסטטור היא 4.54 אוהם.
 - ב. בניסוי בריקם התקבל שהזרם הקווי הוא 2.97 אמפר, המתח הקווי הוא 400 וולט, הספק כניסה של 218 וואט והפסדים מכניים של 50 וואט.
 - ג. בניסוי העוגן בבלימה התקבל תדר 12.5 הרץ, זרם קווי 5.70 אמפר, מתח קווי 44.5 וולט, הספק כניסה 422 וואט.
 - ד. בניסוי בעומס, התקבלו הנתונים הבאים: זרם קווי 5.69 אמפר, מתח קווי 400 וולט, הספק כניסה 3.29 קילו וואט והחלקה 5%. הפסדי ברזל ברוטור הם 16 וואט.
- א. חשב את רכיבי מעגל התמורה של המנוע.
 - ב. סרטט את מעגל התמורה של המנוע לניסוי בלימה.
 - ג. חשב את נצילות המנוע.
- (6) מנוע אסינכרוני תלת מופעי בעל רוטור כלוב מחובר לרשת שהמתח שלה 450 וולט בתדירות של 50 הרץ. ליפופי הסטטור מחוברים במשולש.
- א. הספק המכני הנקוב הוא 77 קילו וואט, מקדם ההספק הוא 0.84 והזרם הוא 142 אמפר. מהירות הסיבובים הנומינלית היא 1470 סל"ד ויחס המומנט הקריטי למומנט נומינלי הוא 3.7. הפסדי הברזל הם 1750 וואט וההפסדים המכניים הם 1200 וואט.
- א. חשב את הספק הכניסה של המנוע.
 - ב. חשב את הפסדי הנחושת של המנוע.
 - ג. חשב את נצילות המנוע.
 - ד. חשב את ערך ההחלקה הקריטית.
 - ה. מהו ערך מומנט ההתנעה בהתנעה ישירה.
 - ו. צריכים להוריד את מהירות הסיבוב של המנוע למהירות של 1100 סל"ד באמצעות משנה תדר תוך שמירה על חליקה נומינלית. הסבר וסרטט סכימה חשמלית לחיבור משנה התדר. הבא הסבר לפעולת המעגל.

(7) נתון מנוע סינכרוני תלת מופעי המחובר בחיבור כוכב. נצילות המנוע היא 95% והוא פועל בזרם של 24 אמפר ומתח קווי של 400 וולט, בעומס מלא ובמקדם הספק 1.

$$R_a + jX_s = (0.2 + 2j)\Omega \text{ היא מופע לכל מופע}$$

- א. חשב את המתח הפאזי.
- ב. חשב את הזרם הזורם בעומס מלא ובמקדם הספק 0.9.
- ג. חשב את הכא"מ המתפתח בעומס מלא ובמקדם הספק 0.9.
- ד. חשב את הספק הכניסה למנוע.
- ה. חשב את הפסדי הברזל בעומס מלא ובמקדם הספק 0.9.

(8) גנרטור סינכרוני בתצורה של קטבים בולטים בעל הספק של 100MVA,

מייצר מתח של 13.8kV בתדירות של 60 הרץ.

לגנרטור 8 קטבים שלסלילי העירור (בסכימת התמורה) הנתונים

הבאים: $X_d = 1.9\Omega$, ו- $X_q = 1.1\Omega$. הסלילים מחוברים בחיבור כוכב.

ניתן להזניח את ההתנגדות של סלילי הסטטור.

הגנרטור מספק צרכן השראתי בעל מקדם הספק $\cos \varphi = 0.866$.

- א. חשב את הזרם המסופק על ידי הגנרטור.
- ב. חשב את הכא"מ המושרה.
- ג. חשב את זווית המומנט δ .
- ד. חשב את המומנט המתפתח.

מבחן אביב 2017:

- (1) להלן הנתונים הנקובים של שנאי הספק חד – מופעי.
- הספק נדמה: 100kVA , מתח ראשוני 10kV ומתח שניוני 0.4kV .
- בדקו את השנאי בתנאי קצר (ניסוי קצר) כאשר צד המתח הנמוך מקוצר, וצד המתח הגבוה של השנאי מחובר אל מקור מתח חילופים של 500V .
- בצד מקור המתח, מדדו זרם של 10A והספק של 1kW .
- א. מה כמות הסלילים שבשנאי?
- ב. האם ניסוי הקצר בוצע בזרם הנקוב של השנאי?
- ג. בניסוי הקצר המתואר לעיל, מה יהיו תוצאות המדידה של הזרם וההספק אם מתח המקור יהיה 400V ?
- ד. חוזרים על בדיקת השנאי בתנאי קצר, כאשר צד המתח הגבוה מקוצר וצד המתח הנמוך מחובר אל מקור מתח החילופים.
- כמה צריך להיות מתח המקור כדי שהספק הקצר יהיה 1kW ומה עוצמת הזרם שיזרום במקור?
- ה. השנאי מוזן באנרגיה במתח של 10kV .
- הוא מזין עומס שהספקו הנדמה 70kVA , מקדם ההספק של העומס 0.8 ואופיו השראותי. מה השיעור באחוזים של מפל המתח שבשנאי, ומה שיעור המתח שבין הדקי העומס?
- (2) הנתונים הנקובים של שנאי הספק תלת-מופעי מוריד מתח, הם:
- 750kVA , $0.4\text{kV}/22\text{kV}$, $Yy0$.
- על פי תוצאות בדיקת השנאי בתנאי קצר (ניסוי קצר) ובזרם נקוב, מתח הקצר הוא 5% מהמתח הנקוב, ומקדם ההספק הוא 0.7 ואופיו השראותי.
- על פי תוצאות בדיקת השנאי ללא עומס (ניסוי ריקם) ובמתח נקוב, הספק צריכת האנרגיה של השנאי הוא 9.5kW .
- א. מה הספק העומס שבעבורו נצילות השנאי, מרבית?
- ב. כמה היא הנצילות המרבית של השנאי כאשר מקדם ההספק של העומס הוא 0.92 השראותי?
- ג. השנאי פועל בנקודת עבודה שבה המתח שבין הדקי השנאי שבצד המתח הגבוה שלו, הוא 20kV ושיעור זרם העומס הוא 75% מהזרם הנקוב של השנאי, ומקדם ההספק של העומס הוא 0.8 השראותי.
- בנקודת העבודה הזאת, מה הספק איבודי האנרגיה בשנאי?
- ד. המתח שבין הדקי השנאי שבצד המתח הגבוה שלו, הוא המתח הנקוב של השנאי. מה יהיה המתח באין עומס (מתח הריקם) שבין הדקי השנאי שבצד המתח הנמוך, אם קבוצת החיבורים של סלילי השנאי הזה תהיה $Yd5$?
- ה. האם ייתכן שבבדיקת השנאי בתנאי קצר, אופי מקדם ההספק יהיה קיבולי?

3) הנתונים הנקובים של מנוע השראה תלת מופעי בעל רוטור מלופף הם :

$$P_n = 5\text{kW} , n_n = 1435\text{min}^{-1}(\text{RPM}) , U_n = 400\text{V} , f_n = 50\text{Hz}$$

הפרמטרים החשמליים שבמעגל התמורה החשמלי שבאיור 3.1, כפי שהם נראים

$$\text{מצד הסטטור הם: } R_1 = 0.93\Omega , X_1 = 2.2\Omega , R_2' = 1.2\Omega , X_2' = 2.2\Omega , L_{\text{mag}} = 0.154\text{H}$$

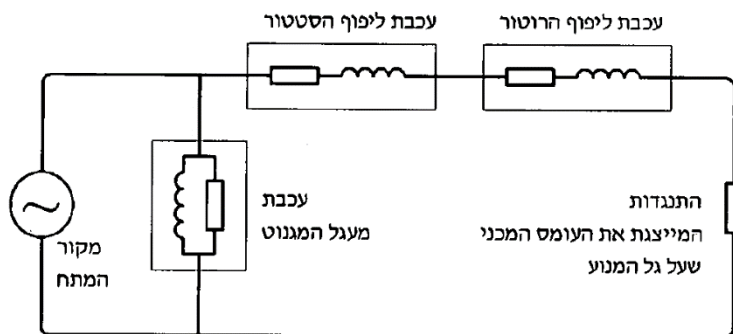
שלושת סלילי הסטטור מחוברים בחיבור כוכב.

הספק איבודי האנרגיה במעגל המגנטי שבמנוע (הפסדי ברזל) והספק איבודי האנרגיה המכניים והאחרים, קטנים מאוד בהשוואה להספק איבודי האנרגיה שבהתנגדות סלילי המנוע, ולכן אין הם נתונים.

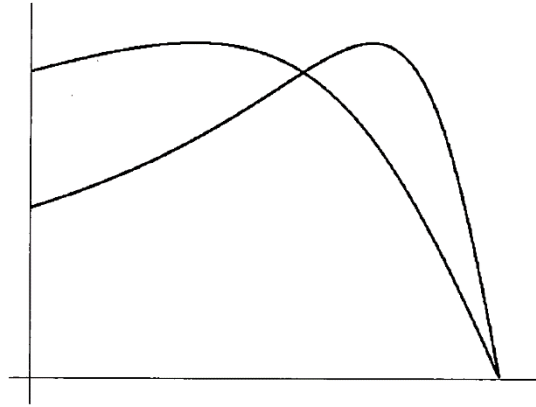
$$\text{המנוע מחובר למקור מתח תלת-מופעי של } U = 400\text{V} , f = 50\text{Hz}$$

- א. כמה זוגות קטבים יוצר הליפוף שבסטטור, ומה מהירות הסיבוב של מחוג השדה המגנטי שיוצר הליפוף שבסטטור?
 - ב. על פי מעגל התמורה שבאיור 3.1, מה עוצמת זרם ההתנעה שיזרום במוליכי הקו המחובר למנוע, ברגע חיבור המנוע ישירות למקור המתח?
 - ג. מה מומנט הפיתול שייפתח המנוע ברגע ההתנעה?
 - ד. על פי מעגל התמורה שבאיור 3.1, מה נצילות המנוע כאשר המנוע פועל בתנאים נקובים?
- לצורך הגדלת מומנט ההתנעה פי 1.8, חיברו במעגל הרוטור שלושה נגדים חיצוניים המחוברים בחיבור כוכב.
- ה. כמה היא ההחלקה הקריטית לאחר חיבור הנגדים?
 - ו. באיור 3.2 נתונים שני עקומים המתארים את האופיין המכני של המנוע בהתאמה לנתונים והשאלות שלעיל.
- מי משני העקומים הוא האופיין המכני הטבעי של המנוע?

יש להעתיק ביד חופשית את איור 3.2 אל מחברת הבחינה, יש להשלים את הגדלים הפיזיקליים (סמל ויחידות) של מערכת הצירים ולתת את התשובה על האיור שבמחברת.



איור 3.1 מעגל תמורה חשמלי (חד-מופעי) במנוע השראה תלת-מופעי בעל רוטור מלופף.



איור 3.2 אופיינים מכניים של מנוע השראה בעל רוטור מלופף.

4) הנתונים הנקובים של מנוע השראה בעל רוטור כלוב הם :

$$P_n = 10\text{kW} , n_n = 3450\text{min}^{-1} (\text{RPM}) , \eta_n = 86.5\%$$

$$.U_n = 460\text{V} , f_n = 60\text{Hz} , I_n = 17.3\text{A} , I_{\text{start}} = 93\text{A}$$

- א. כמה זוגות קטבים יש במנוע?
- ב. מה מקדם ההספק הנקוב של המנוע?
- ג. המתח שבין הדקי המנוע הוא המתח הנקוב שלו. בקירוב טוב, בתחום העבודה התקין, של המנוע, עקום האופיין המכני של המנוע T_n הוא קו ישר. על פי הקירוב הזה, מה מהירות הסיבוב של גל המנוע כאשר העומס המכני שעל גל המנוע הוא 7.5kW ?
- ד. כמה הדקים יש במנוע כדי שאפשר יהיה להתניע אותו באמצעות מתנע כוכב משולש?
- ה. המנוע מוזן במתח חילופים $400\text{V} , 60\text{Hz}$. מה עוצמת זרם ההתנעה כאשר המנוע מותנע באמצעות מתנע כוכב משולש?

5) להלן הנתונים הנקובים של מנוע זרם ישר :

הספק 4kW , מהירות סיבוב (סל"ד) : 3300min^{-1} , מתח 250V , ונצילות 85% .
התנגדות ענף העוגן 1Ω , והעירור בנוי מגנטים תמידיים (קבועים).

- א. באיזה חלק של המנוע מותקנים המגנטים התמידיים?
- ב. בעבודה בתנאים נקובים, הספק האיבודים המכניים שבמנוע הוא 50% מהספק האיבודים הקבועים.
מה הספק האיבודים החשמליים והמכניים שבמנוע כאשר הוא פועל בתנאים נקובים?
- ג. איבודי האנרגיה המכניים שבמנוע מאופיינים באמצעות מומנט פיתול מתנגד על גל המנוע, מומנט שגודלו קבוע. מה הגודל של מומנט הפיתול המתנגד הקבוע, הגורם לאיבודי האנרגיה המכניים במנוע?

ד. המנוע מחובר אל מקור מתח שגודלו שווה למתח הנקוב של המנוע.
אל גל (ציר) המנוע חיברו עומס מכני שמומנט הפיתול המתנגד שלו משתנה עם מהירות הסיבוב. האופיין המכני של העומס כפי שהוא משתקף בגל המנוע

$$T_{\text{load}}(n) = T_0 + a_T n, T_0 = 2\text{Nm}, a_T = 1.4 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{min}^{-1}} \right)$$

- ה. כאשר המנוע מניע את העומס המכני, מה מהירות הסיבוב של גל המנוע?
- ו. כאשר המנוע פעל והניע את העומס המכני בתנאים שלעיל, ניתקו את ענף העוגן ממקור המתח, ובין הדקי העוגן חיברו נגד של 10Ω .
מה עוצמת הזרם שיזרום בעוגן ברגע חיבור הנגד?

6) קרונית חשמלית מונעת באמצעות מנוע זרם ישר בעל עירור מקבילי.

בעומס קבוע (SI), הנתונים הנקובים של המנוע הם :

250V , 88.9% , 1000min^{-1} (RPM), 125kW .

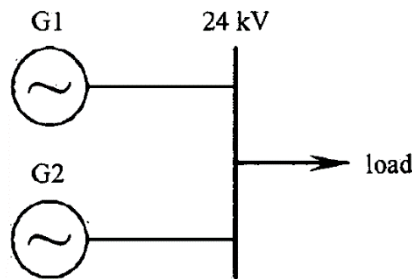
התנגדות ענף העוגן (הרוטור) היא 0.02Ω והתנגדות ענף העירור היא 25Ω .
אין להתחשב במפל המתח שגורמות המברשות (הפחמים) שבמנוע.

איבוד האנרגיה שבמנוע הם איבודים חשמליים ומגנטיים בלבד.
עקום המגנט של החומר הפרומגנטי שבמנוע הוא קו ישר אחד, והיחס שבין השטף המגנטי שיוצר ענף העירור לזרם העירור הוא יחס קבוע.

- א. כאשר המנוע פועל בתנאים נקובים כמה הוא מומנט הפיתול האלקטרומגנטי בגל המנוע?
- ב. כאשר מתח ההזנה קטן מהמתח הנקוב בעשרים אחוזים (20%) ומומנט הפיתול של העומס המכני שעל גל המנוע שווה למומנט הפיתול של העומס בתנאים הנקובים, מה תהיה מהירות הסיבוב של גל המנוע?
- ג. מה המצב התפעולי של המנוע כאשר הוא פועל לאורך זמן בתנאים שבסעיף ב'?
עליך לסמוך את תשובתך בחישוב.

- 7) נתונים שני גנרטורים סינכרוניים תלת מופעיים בתחנת כוח פרטית של מפעל, ראה איור 7.1 הגנרטורים שווים זה לזה. ההספק הנדמה הנקוב של כל גנרטור הוא 17.5MVA והמתח הנקוב שלהם הוא 24kV. סלילי הסטטור של הגנרטורים, מחוברים בחיבור כוכב (קבוצת חיבורים YN). העכבה של כל אחד משלושת סלילי הסטטור (העכבה הסינכרונית): $\bar{z}_s = (0.5 + j10)\Omega$. בבדיקה באין עומס (ניסוי ריקם) של הגנרטורים, נמצא שלקבלת מתח השווה בגודלו למתח הנקוב של הגנרטור דרוש זרם עירור של 200A. במצב תפעולי מסוים, שני הגנרטורים מועמסים יחד בעומס load בעל אופי השראותי. הספק העומס החשמלי 25MVA עם מקדם הספק של 0.6 ומתח של 24kV. גנרטור G1 מועמס בעומס השווה להספק הנדמה הנקוב שלו ובמקדם הספק של 0.8 השראותי.

- א. במצב התפעולי המתואר לעיל, מה ההספק המרוכב $\bar{S} = P + jQ$ של העומס החשמלי על כל אחד משני הגנרטורים?
 ב. מה עוצמת זרם העירור בכל אחד מהגנרטורים?
 ג. מה הגודל של זווית הפיסק שבין מחוג מתח ההדקים למחוג הכוח האלקטרומוטורי (זווית העומס) בכל אחד משני הגנרטורים?



איור 7.1 תרשים הזנות חשמלי בתחנת כוח פרטית.

- 8) מנוע סינכרוני תלת מופעי מסובב מפוח תעשייתי 3000 סיבובים בדקה. המתח הנקוב של המנוע הוא 450V וסלילי הסטטור שעכבתם $\bar{z}_s = 6j\Omega$ מחוברים בחיבור כוכב.
 א. מה תדר מערכת המתחים התלת מופעית של שיטת אספקת החשמל למנוע? המנוע מחובר אל מקור מתח תלת מופעי של 450V.
 במצב תפעולי מסוים, הכוח האלקטרומוטורי (כא"מ) המופעי שבמנוע הוא 250V וזווית הפיסק (זווית העומס) שבין מחוג מתח ההדקים למחוג הכא"מ היא 30° .
 ב. מה הספק צריכת האנרגיה במנוע?
 ג. מה גודל זרם צריכת האנרגיה במנוע ומה זווית המופע שלו? במצב תפעולי אחר, שבו מומנט הפיתול של העומס המכני נשאר ללא שינוי, הכא"מ שבמנוע גדול בעשרים אחוז (20%) בהשוואה לכא"מ שלעיל.
 ד. מה זווית הפיסק במצב תפעולי זה?
 ה. האם הגדלת הכא"מ גרמה לשיפור מקדם ההספק של צריכת האנרגיה במנוע?

מבחן קיץ 2016:

1 נתונים הנקובים של שנאי חד מופעי הם: $\Delta P_{cu,n} = 300W$, $\Delta u_k = 6\%$

$$. U_{1n} / U_{2n} = 400V / 100V, S_n = 10kVA, \Delta P_{FE} = 100W$$

- א. מחברים את הצד של השנאי בעל מתח נקוב 400V למקור מתח 400V. מהם נצילות ומתח מוצא השנאי בעומס נקוב ובמקדם הספק 0.75 השראי? הפכו שנאי זה לשנאי עצמאי חד מופעי בתמסורת $U_{1n} / U_{2n} = 500V / 400V$. עבור השנאי העצמי:
- ב. מהם הזרם הראשוני הנקוב, הזרם השניוני הנקוב, והזרם המרבי המותר בסליל המשותף?
- ג. מהו ההספק הנדמה המרבי שניתן להעמיס בו את השנאי?
- ד. מהי נצילות השנאי בעומס 40kVA ובמקדם הספק 0.8 השראי?

2 על השלטים של שלושה שנאים רשומים הנתונים הנקובים הבאים:

$$U_1 / U_2 = 6.9 / 3.3kV, Dy11, S_{n1} = 750kVA$$
 : שנאי מספר 1

$$U_1 / U_2 = 6.9 / 3.3kV, Yz11, S_{n2} = 625kVA$$
 : שנאי מספר 2

$$. U_1 / U_2 = 6.9 / 3.3kV, Dy11, S_{n3} = 500kVA$$
 : שנאי מספר 3

לשנאים בוצעו ניסויי קצר כאשר הזינה היא בצד הראשוני (6.9kV) ונמדדו הערכים הבאים:

$$. U_{k1} = 400V, I_{k1} = 50.5A$$
 : שנאי מספר 1

$$. U_{k2} = 400V, I_{k2} = 50.5A$$
 : שנאי מספר 2

$$. P_{k3} = 7.5kW, I_{k3} = I_{n3}, \cos \varphi_{k3} = 0.25$$
 : שנאי מספר 3

- א. אילו משנאים אלה ניתן לחבר במקביל ומדוע?
- ב. בהנחה שחוברו במקביל כל שלושת השנאים, מהו ההספק הנדמה שיעבור דרך כל אחד מהשנאים אם העומס המשותף הכולל הוא 1800kVA? האם ניתן לעבוד כך לאורך זמן?
- ג. מהו ההספק הנדמה המרבי שניתן לחבר לשנאים אלה כך שאף לא אחד מהם יעבוד בעומס יתר?

- (3)** נתונים הנקובים של מנוע השראה תלת מופעי בעל רוטור מלופף הם :
 $M_{cr} / M_n = 3.5$, $U_n = 400V$, $P_n = 100kW$, $\eta_n = 92\%$, $\cos \varphi_n = 0.82$, $E_{20} = 360V$
 $f_n = 50Hz$, $p = 2$, $R_2 = 0.01\Omega / ph$
 E_{20} הוא המתח בין טבעות ההחלקה ברוטור עומד.
 סלילי הסטטור מחוברים בחיבור משולש וסלילי הרוטור מחוברים בחיבור כוכב.
 ניתן להזניח את זרם המגנט ולהניח כי ההפסדים (מכניים וברזל) ברוטור זניחים.
 א. מה גודל הפסדי ההספק במוליכי הרוטור בעומס נקוב?
 ב. מהו גודל מהירות ציר (גל) המנוע הנקובה?
 ג. מהו גודל המומנט המפותח על ידי המנוע בהתנעה?
 הוסיפו למעגל הרוטור שלושה נגדים חיצוניים שערכם $R_j = 0.015\Omega / ph$
 המחוברים בחיבור כוכב לצורך הגדלת מומנט ההתנעה והורדת מהירות המנוע בעומס.
 במצב החדש :
 ד. מהו גודל מהירות ציר (גל) המנוע במומנט נקוב?
 ה. מהו גודל המומנט המפותח על ידי המנוע בהתנעה?

- (4)** למנוע השראה תלת מופעי בעל רוטור כלוב הנתונים הנקובים הבאים :
 $M_{cr} / M_n = 3.2$, $U_n = 400V$, $M_n = 50N \cdot m$, $\eta_n = 92\%$, $\cos \varphi_n = 0.84$
 $f_n = 50Hz$, $p = 2$, $n_n = 1470rpm$
 סלילי הסטטור מחוברים בחיבור משולש. ניתן להניח כי ההפסדים (מכניים וברזל) ברוטור זניחים.
 א. מהו גודל הזרם הנקוב ומהי המהירות הקריטית עבור המנוע הנתון?
 ב. עבור מנוע זה, מהו מומנט ההתנעה בהתנעה ישירה לקו, ומהו מומנט ההתנעה בהתנעת כוכב משולש?
 מנוע זה הוזן בתדר $f' = 48Hz$ בהנחה שהחליקה הנקובה של המנוע נשמרה :
 ג. מהו המתח היעיל המרבי שניתן לספק למנוע?
 ד. מהי מהירות ציר (גל) המנוע במצב זה?

- (5) נתונים הנקובים של מנוע לזרם ישר בעירור טורי הם :
 $U_n = 400V$, $P_n = 156.7kW$, $\eta = 85\%$, $R_a = 0.1\Omega$, $R_s = 0.03\Omega$, $n_n = 750rpm$
 ניתן להניח כי המעגל המגנטי ליניארי ולהזניח את מפל המתח על הפחמים,
 את תגובת העוגן ואת מומנט הריקם.
 א. מהם מומנט המנוע ומהירותו, אם הוא צורך זרם של $I_a = 460A$?
 ב. מהי מהירות המנוע אם הוא עובד במתח $U = 300V$ וצורך זרם של $I_a = 200A$?

- (6) נתונים הנקובים של עוגן מנוע זרם ישר בעירור נפרד הם :
 $P_n = 57kW$, $U_n = 600V$, $I_{an} = 100A$, $R_a = 0.3\Omega$, $n_n = 1900rpm$
 יש להתעלם ממעגל העירור, ממומנט הריקם וממפל המתח על הפחמים.
 לציר (גל) המנוע מחובר עומס מכני הכולל מסה אינרטיית (מומנט תנופה)
 שערכה $GD_{total}^2 = 8kg \cdot m^2$.
 א. מהם המומנט הנקוב ומהירות הריקם האידיאלית עבור המנוע הנתון?
 ב. מהו גודל ההתנגדות הנוספת המחוברת בטור במעגל העוגן כדי שמהירות ציר
 (גל) המנוע תהיה $n = 1000rpm$ אם המנוע עמוס במומנט נגדי שערכו $200N \cdot m$?
 מתח העירור נשאר בערכו הנקוב.

- מנוע זה מוזן באמצעות ספק מתח שבו ניתן לכוון את הגודל המירבי של זרם ההתנעה.
 ג. המנוע עמוס במומנט נגדי נקוב.
 מהו גודל זרם ההתנעה המזערי שבו יש לכייל את ספק המתח כך שמשך
 ההתנעה לא יעלה על שתי שניות : $t_{start} = 2s$?
 ד. המנוע מותנע ללא עומס מכני (בריקם) כאשר מזרימים בו זרם של $150A$.
 מהו משך ההתנעה?

7) מחולל סינכרוני תלת מופעי בעל סטטור מחובר בחיבור כוכב מזין מפעל שבו עומס מנועי בהספק 5,000kW במקדם הספק 0.8 השראי ועומס אחר בהספק 4,000kW במקדם הספק 0.92 השראי.

$$U_n = 6.9kV, \bar{z}_s = (0.15 + j3)\Omega / ph$$

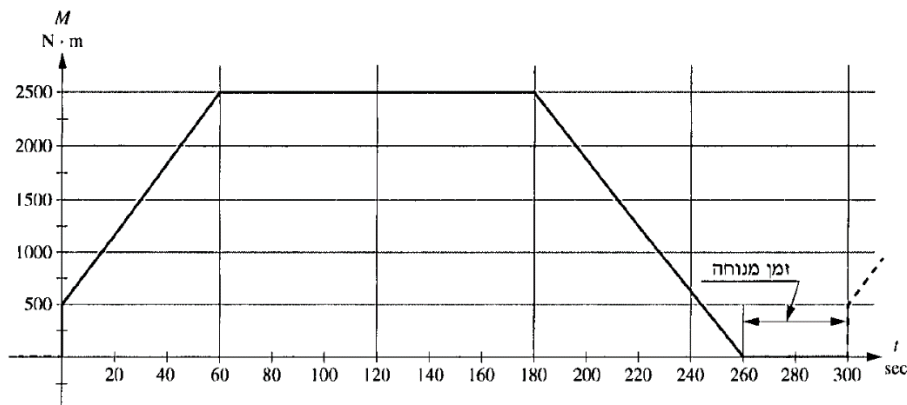
- א. מהו גודל העומס הנדמה הכולל של המחולל ומהו גורם ההספק שלו?
 ב. מהו הכא"מ המושרה בכל מופע ומהי הזווית בין הכא"מ המושרה לבין מתח ההדקים?

למחולל זה הספק נקוב של $S_n = 12MVA$, טמפרטורת סביבה תקנית - $40^\circ C$, קבוצת בידוד F (טמפרטורת עבודה מרבית $155^\circ C$). ניתן להניח כי כאשר המנוע פועל בהספק נקוב, איבודי ההספק הקבועים שווים לאיבודי ההספק המשתנים.

- ג. מהי טמפרטורת הסביבה המרבית המותרת למחולל זה עבור עבודה בעומס הנתון? תשובה מלאה היא תשובה מנומקת באמצעות חישוב מתאים.

8) למנוע סינכרוני תלת מופעי חסר הפסדים שבו הסטטור מחובר בחיבור כוכב הנתונים הנקובים הבאים: $U_n = 6.9kV, f_n = 50Hz, 2p = 4, X_s = 90\Omega$. על ידי העמסת מנוע גורמים לפיגור הרוטור בזווית מכנית של 12.5° , כלפי השדה המסתובב. ידוע שבמצב זה הכא"מ שווה ל-85% ממתח הרשת.

- א. מהם ההספק והזרם (אופי, גודל וזווית) שהמנוע צורך מהרשת?
 ב. מהם זווית העומס (הפיסוק) וזרם המנוע (אופי גודל וזווית), אם הגדילו את הכא"מ ל-115% ממתח הרשת מבלי לשנות את ההספק המכני על ציר (גל) המנוע?
 ג. האם מנוע זה מתאים לעבודה ממושכת בהתאם לדיאגרמת העבודה המחזורית המצורפת באיור לשאלה 8?
שים לב: הספק המנוע הנקוב הוא ההספק שחשוב בסעיף א'. ציר (גל) המנוע ממשיך לנוע גם ללא עומס (זמן מנוחה). תשובה מלאה היא תשובה מנומקת באמצעות חישוב מתאים.



מבחן אביב 2016:

- 1) להלן הנתונים הנקובים של שנאי תלת מופעי: $S_n = 630\text{kVA}$, Y_{yn6} , $15/0.69\text{kV}$.
יצרן השנאים סיפק גם את הנתונים האלה:
 $\cos \varphi_0 = 0.4$, $i_0\% = 0.25\%$, $\cos \varphi_k = 0.15$, $u_k\% = 6\%$.
לשנאי זה מחובר עומס המורכב משני צרכנים המחוברים במקביל: האחד בעל הספק מדומה (נדמה) של 500kVA ו- $\cos \varphi = 0.8$ (השראותי) והשני בעל הספק 154kW ו- $\cos \varphi = 1$. השנאי מוזן במתח נקוב.
א. מהם מרכיבי תרשים התמורה (R_{1k} , X_{1k} , R_{1FE} , $X_{1\mu}$) של שנאי זה מצד המתח הגבוה?
ב. מהי נצילות השנאי בעומס הנתון?
ג. מהו מתח מוצא השנאי בעומס הנתון?
ד. מהם ההספקים: הממשי, העיוור והמדומה (הנדמה) בכניסה לשנאי בעומס הנתון?

- 2) להלן הנתונים הנקובים של ארבעה שנאים תלת מופעיים:
שנאי מספר 1: $\cos \varphi_{k1} = 0.3$, $u_{k1\%} = 6.4\%$, $S_{n1} = 450\text{kVA}$, $Dy11$, $U_1/U_2 = 18/0.6\text{kV}$.
שנאי מספר 2: $\cos \varphi_{k2} = 0.3$, $u_{k2\%} = 4.8\%$, $S_{n2} = 600\text{kVA}$, $Dy11$, $U_1/U_2 = 24/0.8\text{kV}$.
שנאי מספר 3: $\cos \varphi_{k3} = 0.3$, $u_{k3\%} = 5.4\%$, $S_{n3} = 400\text{kVA}$, $Dy11$, $U_1/U_2 = 18/0.6\text{kV}$.
שנאי מספר 4: $\cos \varphi_{k4} = 0.3$, $u_{k4\%} = 4.8\%$, $S_{n4} = 450\text{kVA}$, $Dy11$, $U_1/U_2 = 15/0.5\text{kV}$.
א. אילו מארבעת השנאים הנ"ל ניתן לחבר במקביל למקור מתח תלת מופעי של 18kV ? האם את כל השנאים או רק את חלקם ומדוע?
ב. מהו ההספק המדומה (הנדמה) המרבי שניתן לחבר לשנאים שחוברו במקביל על פי סעיף א', כך שאף לא אחד מהם יועמס בעומס יתר, ומה תהיה חלוקת העומס ביניהם?
ג. כדי למקסם את יכולת העברת ההספק של קבוצת השנאים שחוברו במקביל על פי סעיף א', הוחלט לחבר משרנים בעלי מקדם הספק 0.3 בטור ליציאות המתח הנמוך של השנאי בעל מתח הקצר המזערי. מהי עכבת המשרנים הדרושים?
ד. מהי חלוקת ההספקים המדומים בין השנאים לאחר הוספת העכבה, בהנחה שההספק המדומה הכולל הוא כפי שחושב בסעיף ב'?

- (3)** נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת מופעי בעל רוטור מלופף הם :
 $\eta_n = 0.9$, $\cos \varphi_n = 0.89$, $E_{20} = 400V$, $f_n = 50Hz$, $p = 2$, $R_2 = 0.004\Omega / ph$
 $U_n = 400V$, $P_n = 200kW$
 E_{20} הוא המתח בין טבעות ההחלקה ברוטור. סלילי הסטטור מחוברים במשולש.
 סלילי הרוטור מחוברים בכוכב.
 ניתן להזניח את השפעת ענף המגנט ואת ההפסדים המכניים והאווירור ברוטור.
 א. מהם הפסדי הנחושת ברוטור?
 ב. מהי מהירות המנוע הנקובה?
 ג. מהו המומנט שמפתח המנוע בעומס נקוב?
 ד. יש לתכנן למנוע זה מתנע דרגתי כך ש: $I_{2max} = 3I_{2n}$ ו- $I_{2min} = 1.38I_{2n}$.
 מה ההתנגדות הכוללת במעגל הרוטור, ומה מספר דרגות ההתנעה?
- (4)** נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת מופעי בעל רוטור כלוב הם :
 $I_{1n} = 140A$, $\cos \varphi_n = 0.84$, $f = 50Hz$, $p = 2$, $n_n = 1470rpm$, $M_{cr} / M_n = 3.7$
 $U_n = 400V$, $P_n = 75kW$
 ניתן להניח כי ההפסדים המכניים והפסדי הברזל זניחים, וכי סלילי הסטטור מחוברים במשולש.
 א. מהי הנצילות הנקובה?
 ב. מהי החליקה הקריטית?
 ג. מהם מומנט ההתנעה בהתנעה ישירה לקו בהתנעת כוכב/משולש?
 ד. ציר (גל) המנוע נדרש להסתובב במהירות $n = 1100rpm$.
 בהנחה שהחליקה נקובה מהם תדר האספקה ומתח האספקה הנדרשים?
- (5)** נתון מנוע זרם ישר בעירור מעורב ארוך.
 במנוע זה נעשה ניסוי כאשר סליל העירור הטורי היה מקוצר. להלן נתוני המנוע שנמדדו :
 $U_{an} = 600V$, $I_{an} = 100A$, $P_n = 54kW$, $n_n = 1,800rpm$, $R_a = 0.6\Omega$, $I_f = 4A$
 מספר הכריכות בסליל העירור המקבילי שווה ל-1,000.
 מספר הכריכות בסליל העירור הטורי שווה ל-5 והתנגדותו היא 0.1Ω .
 ניתן להניח כי המעגל המגנטי לינארי ולהזניח את מפל המתח על הפחמים ואת מומנט הריקם.
 א. מהי מהירות הרוטור (גל המנוע) במצב של ריקם אידאלי (זרם העוגן שווה לאפס) כאשר סליל העירור הטורי מקוצר על עצמו?
 ב. מהי מהירות הרוטור (גל המנוע) עבור זרם נקוב בעירור מעורב-מתווסף במנוע המקורי?
 ג. מהי מהירות הרוטור (גל המנוע) עבור זרם נקוב בעירור מעורב-מתחסר במנוע המקורי?

6 נתוני הנקובים של עוגן מנוע זרם ישר בעירור נפרד הם :

$$P_n = 67.68 \text{ kW} , U_n = 600 \text{ V} , I_{an} = 120 \text{ A} , R_a = 0.3 \Omega , n_n = 1,880 \text{ rpm}$$

יש להתעלם ממעגל העירור, מומנט הריקם וממפל המתח על הפחמים.

א. מהם גודלי המומנט הנקוב ומהירות הריקם האידיאלית עבור המנוע הנתון?

ב. מהו גודל מתח העוגן הדרוש כדי שמהירות ציר (גל) המנוע תהיה $n = 1,300 \text{ rpm}$,

אם המנוע עמוס במומנט $300 \text{ N} \cdot \text{m}$? מתח העירור נשאר בערכו הנקוב.

למנוע זה טמפרטורת סביבה תקנית - 40°C , קבוצת בידוד F (טמפרטורת עבודה מרבית 155°C).

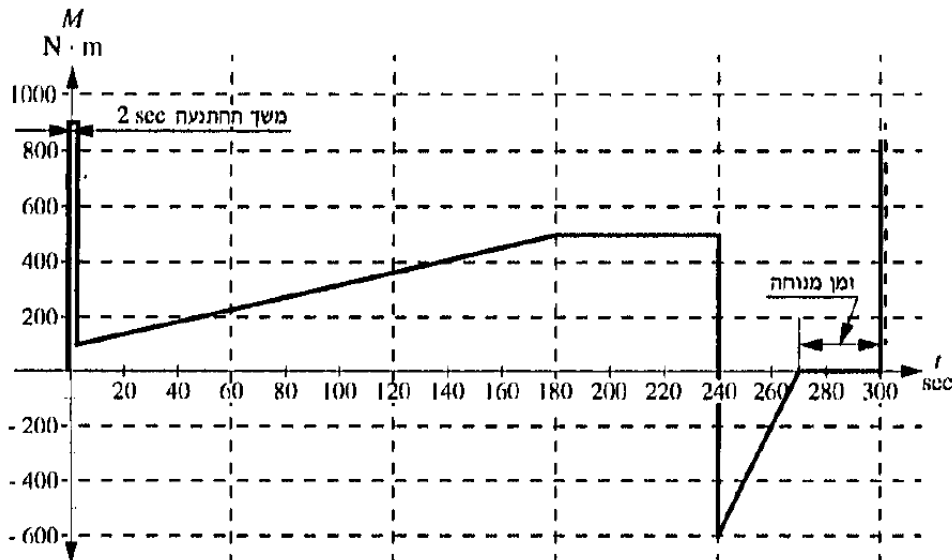
ניתן להניח כי כאשר המנוע פועל בהספק נקוב, איבודי ההספק הקבועים שווים לאיבודי ההספק המשתנים.

ג. האם מנוע זה מתאים לעבודה ממושכת על פי דיאגרמת העבודה שבאזור

לשאלה 6 בטמפרטורת סביב של 25°C ?

מקדמי החימום המוגבר (הקירור המופחת) בזמן התנעה, בלימה ומנוחה

הם: $\alpha = \beta = 0.75$. תשובה מלאה היא תשובה מנומקת באמצעות חישובים.



7) על שלט מכונה סינכרונית העובדת כמחולל תלת מופעי רשומים הנתונים הנקובים האלה :

$$U_n = 6.9 \text{ kV} , S_n = 6 \text{ MVA} , \cos \varphi_n = 0.8 , X_s = 7.5 \Omega , R_a = 1 \Omega$$

המחולל מחובר בחיבור מכני לטורבינת קיטור, וחיבור חשמלי לפס צבירה אין סופי (מערכת הספק גדולה).

סלילי הסטטור מחוברים בכוכב.

היחס בין הכא"מ המופעי לזרם העירור קבוע, והוא 150 V/A .

א. מהו גודל זרם העירור הדרוש בתנאים נקובים?

ב. באיזה משטר עבודה תעבוד המכונה הסינכרונית אם הקשר המכני בינה ובין

טורבינת הקיטור ינותק וזרם עירור ימשיך לזרום ברוטור?

ג. המכונה הסינכרונית מחוברת לפס הצבירה ללא הקשר המכני לטורבינת הקיטור.

מהם האופי, הגודל והזווית של הזרם בסלילי הסטטור אם גודל זרם העירור

הוא 50 A ?

8) מפעל תעשייתי צורך $P = 1 \text{ MW}$ במקדם הספק 0.8 השראותי ובמתח 690 V תלת מופעי.

לצורך הרחבת המפעל ושיפור מקדם ההספק שלו, הוחלט להוסיף לו מנוע סינכרוני חסר

$$U_n = 690 \text{ V} , S_n = 500 \text{ kVA} , X_s = 0.5 \Omega$$

ההספק המכני הנדרש מציר המנוע הוא 300 kW .

סלילי סטטור המנוע מחוברים בכוכב.

מקדם ההספק הנדרש מהמפעל הוא 0.92 השראותי.

א. מהם גודל זרם המנוע, אופיו ומקדם ההספק שלו?

ב. מהו הכא"מ ומהי זווית העומס של המנוע?

למנוע זה טמפרטורת סביבה תקנית - 40°C , קבוצת בידוד F

(טמפרטורת עבודה מרבית 155°C).

ניתן להניח כי בעבודה בהספק נקוב, איבודי ההספק הקבועים שווים ל-50%

מאיבודי ההספק הכוללים.

ג. האם מנוע זה יתאים לעבודה בטמפרטורת סביבה של 65°C ?

יש לנמק את התשובה באמצעות חישוב מתאים.