

משרד הכלכלה
אגף בכיר להכשרה ולפיתוח כוח אדם
תחום פדגוגיה

מאגר שאלות ותשובות במכונות חשמל לחשמלאי מוסמך חלק ב: מכונות חשמל לזרם חילופין



מאגר שאלות ותשובות במכונות חשמל לחשמלאי מוסמך - חלק ב: מכונות חשמל לזרם חילופין

סדרת מאגרי שאלות ותשובות בחשמל בהוצאת מאה

מאגרי שאלות לחשמלאי מעשי

- מ"ק 813261 - מאגר שאלות ותשובות בתורת החשמל לחשמלאי מעשי
- מ"ק 813262 - מאגר שאלות ותשובות במתקנים ובמכונות חשמל לחשמלאי מעשי

מאגרי שאלות לחשמלאי מוסמך

- מ"ק 813301 - מאגר שאלות ותשובות בתורת החשמל לחשמלאי מוסמך
- מ"ק 813303 - מאגר שאלות ותשובות במכונות חשמל לזרם ישר לחשמלאי מוסמך
- מ"ק 813304 - מאגר שאלות ותשובות במכונות חשמל לזרם חילופין לחשמלאי מוסמך
- מ"ק 813302 - מאגר שאלות ותשובות במתקני חשמל לחשמלאי מוסמך

מאגרי שאלות לחשמלאי ראשי

- מ"ק 813311 - מאגר שאלות ותשובות בתורת החשמל לחשמלאי ראשי
- מ"ק 813312 - מאגר שאלות ותשובות במכונות חשמל לחשמלאי ראשי
- מ"ק 813313 - מאגר שאלות ותשובות במתקני חשמל ורשת לחשמלאי ראשי

מחיר מומלץ לצרכן: 56.60 ש"ח



משרד הכלכלה
אגף בכיר להכשרה ולפיתוח כוח אדם
תחום פדגוגיה

**מאגר שאלות ותשובות
במכונות חשמל
לחשמלאי מוסמך**

חלק ב: שנאים ומכונות לזרם חילופין

עדכון המאגר והפקת הגרסה הנוכחית (2005)

בדיקה מקצועית:

אבי גינת, מהנדס חשמל
איגור דיקר, מהנדס ומורה לחשמל
דליה נאור, MA הוראת מדעים, חשמל ואלקטרוניקה
יוסי שרביט, עורך תוכניות לימודים
ריכוז והנחייה: יוסי שרביט, עורך תוכניות לימודים
סרטוט, עיצוב וריכוז הפקה: עליזה שליף, מאה
הגהה: אבי גינת, מהנדס חשמל
ניהול הפקה: אדריאנה הדדי, מאה

הקמה ופיתוח של המאגר הראשוני (1994)

ייזום: אמיל מלול, מנהל המחלקה הפדגוגית
ייזום, אפיון וניהול: משה אמיר, מאה
חיבור, עריכה ותחזוקה: אבי גינת, מהנדס חשמל
צוות היגוי:

דוד תרזה ז"ל, מפקח ארצי לחשמל
משה אמיר, מאה
יוסי שרביט, עורך תוכניות לימודים
יוחנן קראוס, ראש ענף בחינות ארצי

הפקת הספר: דפוס אופסט ראמים בע"מ

עיצוב העטיפה: ר.ב. ארטס

מהדורה ראשונה – 2005, תשס"ה

© כל הזכויות שמורות למאה – היחידה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי

מ"ק 813304

אין להעתיק, לתרגם, לשכפל, לאחסן במאגרי מידע, לשדר או לקלוט בכל אמצעי אלקטרוני, אופטי או אחר – שום חלק מהחומר בספר זה.
לא ייעשה שימוש מסחרי מסוג כלשהו ללא רשות בכתב מאת הנהלת היחידה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי.

הוצאה לאור:  המחלקה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי
בית ליאו גולדברג, דרך מנחם בגין 86, תל אביב מיקוד 67138
טל. 03-7347482/3, פקס' 03-7347627
דוא"ל: mea@economy.gov.il
האתר של מאה: <http://www.economy.gov.il/mea>

תוכן העניינים

5	הקדמה
7	נושא 2: שנאים (נושא 20 בתוכנ"ל) – 89 שאלות
7	א.2 עקרונות הפעולה של השנאי (סעיף 20.2 בתוכנ"ל)..... 14 שאלות פתוחות
11	ב.2 השנאי הטכני – נתונים (סעיף 20.3 בתוכנ"ל)..... 41 שאלות פתוחות
20	ג.2 שנאים תלת-מופעיים (סעיף 20.12 בתוכנ"ל)..... 29 שאלות פתוחות
29	ד.2 שנאים מיוחדים (סעיף 20.15 בתוכנ"ל)..... 5 שאלות פתוחות
31	נושא 3: מכונות לזרם חילופין (נושא 21 בתוכנ"ל) – 93 שאלות
31	א.3 מנוע השראה תלת-מופעי (סעיף 21.1 בתוכנ"ל)..... 76 שאלות פתוחות
50	ב.3 מנוע השראה תלת-מופעי – מבנה (סעיף 21.2 בתוכנ"ל)..... 12 שאלות פתוחות
55	ג.3 מנוע השראה חד-מופעי (סעיף 21.3 בתוכנ"ל)..... 5 שאלות פתוחות
57	פתרונות לנושא 2
57	א.2 פתרונות לנושא
65	ב.2 פתרונות לנושא
95	ג.2 פתרונות לנושא
117	ד.2 פתרונות לנושא
120	פתרונות לנושא 3
120	א.3 פתרונות לנושא
175	ב.3 פתרונות לנושא
183	ג.3 פתרונות לנושא
186	תוכנית מבחן מומלצת
187	מבחן לדוגמה
190	נספח: תוכניות בחינה לרמת רישוי חשמלאי מוסמך

הקדמה

מאגר השאלות והתשובות במכונות חשמל לחשמלאי מוסמך מחולק לשני חלקים:

חלק א: מכונות לזרם ישר

חלק ב: שנאים ומכונות לזרם חילופין (ספר זה)

(חלק ב של המאגר כולל גם: תוכנית מבחן מומלצת; מבחן לדוגמה; נספח – תוכניות בחינה לרמת רישוי חשמלאי מוסמך.)

מאגר השאלות והתשובות במכונות חשמל לחשמלאי מוסמך הוא חלק מסדרת מאגרים לענף החשמל והאלקטרוניקה: חשמלאי מעשי, חשמלאי מוסמך וחשמלאי ראשי.

סדרת המאגרים בחשמל פותחה על בסיס תוכניות בחינה בחשמל שאושרו בהתאם לתוכנית החשמל (רישיונות) וכן על-פי תוכניות הלימודים למגמות השונות: חשמלאי מעשי, חשמלאי מוסמך וחשמלאי ראשי. חלק משאלות אלה שימש בעבר בבחינות גמר ברמות השונות.

מאגר השאלות מתאים למבוגרים ולנוער.

מטרות מאגר בתורת החשמל לחשמלאי מוסמך

א. לסייע לתלמידים, בנוסף לשעורים הסדירים בכיתה, על ידי תרגול וחזרה יסודית ומקיפה על חומר הלימודים.

ב. להכין את התלמידים בצורה יעילה, ממוקדת והוגנת למבחן הגמר החיצוני, ובכך לאפשר להם להוכיח את ידיעותיהם.

מבנה המאגר

המאגר, על שני חלקיו, כולל 363 שאלות פתוחות ומחולק לשלושה נושאים: נושא 1 – מכונות לזרם ישר (בחלק א); נושא 2 – שנאים, ונושא 3 – מכונות לזרם חילופין (בחלק ב). הפתרונות לשאלות מרוכזים בסוף כל ספר. בתוכן העניינים מצוין, ליד כל נושא, מספרו בתוכנית הלימודים של שנת 2000.

ייצוגיות שאלות במבחן הגמר החיצוני

בסוף הספר מצורפת תוכנית מומלצת לבניית מבחן ואחריה מבחן לדוגמה שנבנה לפיה.

מחלקת הבחינות שומרת לעצמה את הזכות להוסיף שאלות חדשות למאגר לפי שיקול דעתה, בעקבות שינויים עתידיים אפשריים בתוכנית הלימודים במקצוע. בנוסף, ייתכנו שינויים בעריכת השאלות ובערכים המספריים בנתוני שאלות החישוב.

בסוף הספר מצורפות, כנספח, תוכניות בחינה לרמת רישוי חשמלאי מוסמך במקצועות: תורת החשמל ומכונות חשמל (מבחן משולב), מתקני חשמל ורשת.

תודות

תודות לכל אלה אשר סייעו להביא את המאגר המקיף לרמת איכותית ומקצועית גבוהים.

תודה מיוחדת למפקח הארצי לענף חשמל ואלקטרוניקה **דוד תרזה** ז"ל אשר ליווה את הפיתוח הראשוני של המאגר וקידם את יישומו בשדה. תהיה סדרת המאגרים בחשמל נר זיכרון לפועלו לקידום הוראת החשמל בקורסים להכשרה מקצועית.

נושא 2: שנאים

2.א: עקרונות הפעולה של שנאי

שאלה 1

שאלה 1

בשנאי 230/80V, 5KVA, המתח לכריכה הוא 0.85V וצפיפות הזרם בסלילים $2.8 \frac{A}{mm^2}$.

חשב את:

- א. מספר הכריכות בראשוני
- ב. מספר הכריכות במשני
- ג. הזרם הנומינלי בראשוני
- ד. הזרם הנומינלי במשני
- ה. שטח חתך המוליך בראשוני
- ו. שטח חתך המוליך במשני.

פתרון

חשב:	נתון:
א. $N_1 = ?$	שנאי חד-מופעי
ב. $N_2 = ?$	$S_n = 5KVA$
ג. $I_{1n} = ?$	$U_{1n} / U_{2n} = 230V / 80V$
ד. $I_{2n} = ?$	$U_N = 0.85V$ כריכה
ה. $A_1 = ?$	$j = 2.8A/mm^2$
ו. $A_2 = ?$	

$$U_N = \frac{U_1}{N_1} = 0.85V \Rightarrow N_1 = \frac{U_1}{U_N} = \frac{230}{0.85} = 271T \quad \text{א.}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \Rightarrow N_2 = N_1 \frac{U_{2n}}{U_{1n}} = 271 \frac{80}{230} = 95T \quad \text{ב.}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{5000}{230} = 21.74A \quad \text{ג.}$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{5000}{80} = 62.5A \quad \text{ד.}$$

$$A_1 = \frac{I_{1n}}{j} = \frac{21.74}{2.8} = 7.76mm^2 \quad \text{ה.}$$

$$A_2 = \frac{I_{2n}}{j} = \frac{62.5}{2.8} = 22.32mm^2 \quad \text{ו.}$$

שאלה 2

הסבר וסרטט כיצד בודקים את הפסדי הנחשת בשנאי.

שאלה 3

- א. מדוע עשוי גרעין השנאי פחים רבים מבודדים ביניהם?
 ב. האם מסוגל שנאי לשנות מתחים וזרמים בזרם ישר? הסבר.
 ג. מדוע חשובים כל כך השנאים במערכת החשמל הארצית?

שאלה 4

- בשנאי $1.5KVA$, $230V / 75V$, מספר הכריכות בראשוני הוא 250 וקוטר המוליך בראשוני $1.5mm$.
 חשב את:
 א. מספר הליפופים במשני
 ב. הזרם הנומינלי בראשוני
 ג. הזרם הנומינלי במשני
 ד. קוטר המוליך במשני, לפי אותה צפיפות זרם (לבחור קוטר מוליך מסחרי במרווחים של 0.1 מ"מ).

שאלה 5

- הצד הראשוני של שנאי מחובר למתח $230V$. למשני מחובר צרכן 50Ω וזרם דרכו $2.5A$.
 חשב את:
 א. המתח במשני
 ב. הזרם בראשוני.

שאלה 6

הסבר יתרונות וחסרונות של שנאי עצמי (אוטוטרנספורמטור) בהשוואה לשנאי חד-מופעני רגיל. לווה את ההסבר בסרטוט.

שאלה 7

בבדיקת ריקם של שנאי חד-מופעני ניתן לבדוק ארבעה פרמטרים של השנאי. ציין פרמטרים אלו והסבר כיצד הם נבדקים.

שאלה 8

- א. הסבר את פעולת השנאי האידאלי בריקם וסרטט את דיאגרמת המתחים שלו.
 ב. המתח הראשוני של שנאי, המחובר לרשת של $50Hz$, הוא $110V$. שטח חתך גרעין הברזל הוא $30cm^2$. מספר הליפופים בסליל הראשוני הוא 115.
 חשב את ההשראה המגנטית.

שאלה 9

נתון שנאי חד-מופעי $3KVA$, $400/115V$, $50Hz$, בעל חתך גרעין $(9 \times 7)cm^2$.
 האינדוקציה המירבית בגרעין $0.08 \frac{mWb}{cm^2}$ וצפיפות הזרם $3.2 \frac{A}{mm^2}$.

חשב את:

- א. מספר הכריכות בראשוני
- ב. מספר הכריכות במשני
- ג. זרם נומינלי בראשוני
- ד. זרם נומינלי במשני
- ה. קוטר המוליך בראשוני
- ו. קוטר המוליך במשני.

שאלה 10

- א. לשנאי חד מופעי מתח ראשוני של $U_1 = 500V$, יחס השנאה $K = 20$ ותדר של $50Hz$.
 בסליל המשני מלופפים 200 כריכות.
 מהו השטף המקסימלי בגרעין?
- ב. מדוע אין מציינים בנוסחה $(E_1 = 4.44N_1f\Phi_{max})$, לאיזה צד מתייחסים התדר והשטף, לראשוני או למשני?

שאלה 11

- שנאי חד-מופעי מחובר למתח של $10KV$. התדירות היא $50Hz$, צפיפות השטף המגנטי המירבי היא $1 \frac{Wb}{m^2}$, מספר הכריכות בסליל המשני הוא 300 ויחס ההשנאה הוא 25.
 חשב את שטח החתך של ליבת השנאי.

שאלה 12

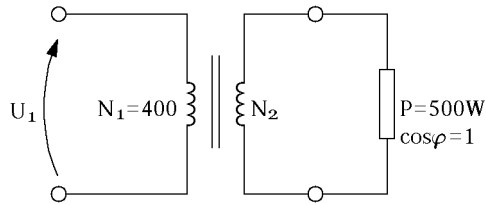
לשנאי חד-מופעי הספק נומינלי של $S = 1.1KVA$, מתחים של $220/110V$ ותדירות של $f = 50Hz$.

שטח חתך הליבה שלו הוא $25cm^2$ וצפיפות השטף המירבית $1 \frac{Wb}{m^2}$.

חשב את:

- א. מספר הכריכות בסליל הראשוני והמשני
- ב. הזרמים בסליל הראשוני והמשני
- ג. קוטר מוליכי הליפוף, כאשר צפיפות הזרם במוליכים $2.5 \frac{A}{mm^2}$.

שאלה 13

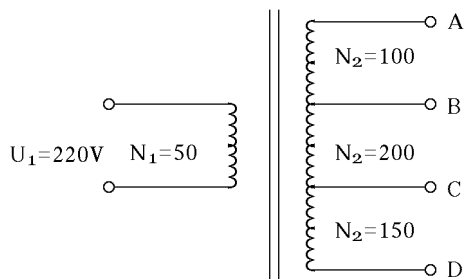


נתון שנאי חד-מופעני בעל יחס השנאה $K=10$. תדר הרשת הוא 50 הרץ והשטף המגנטי המרבי 2.5mWb . הסליל הראשוני מלופף ב-400 כריכות.

חשב את:

- א. המתח (הכא"מ המושרה) בסליל הראשוני של השנאי.
- ב. מספר הכריכות בסליל המשני
- ג. חיברו לשנאי צרכן בהספק של 500 וואט וגורם הספק $\cos \varphi = 1$. מהו הזרם שיצרוך השנאי מהרשת?

שאלה 14



באיור נתונים מספרי הכריכות בכל סליל והמתח הראשוני הוא 220V. אילו מתחים נקבל בסליל המשני בין הדקוי A ו-A, B ו-A, C ו-B, D ו-A, C ו-B.

ב.2: השנאי הטכני – נתונים

שאלה 15

נתון שנאי חד-מופעי 6/0.4 קילו-וולט, שהספקו הנקוב 60 קילו-וולט-אמפר. בבדיקת קצר שנערכה בצד הראשוני נתקבלו התוצאות האלה: מתח הקצר – 5.5%; הזרם במעגל המוזן במתח הקצר – 10A; הספק הקצר – 1.2 קילו-ואט. חשב את המתח בין הדקי הסליל המשני, העמוס בעומס נקוב, במקדם הספק 0.8 השראתי.

פתרון

נתון:

חשב:

$$U_2 = ?$$

$$\begin{aligned} U_1 &= 6KV \\ U_{20} &= 0.4KV \\ S_n &= 60KVA \\ u_k &= 5.5\% \\ I_K &= 10A \\ P_k &= 1.2KW \\ \beta &= 1 \\ \cos \varphi &= 0.8 \text{ind} \end{aligned}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{60}{6} = 10A$$

בדיקה:

$$I_K = I_{1n}$$

$$u_{RK} = \frac{P_K}{S_n} \cdot 100\% = \frac{1.2}{60} \cdot 100 = 2\%$$

$$u_{XK} = \sqrt{u_K^2 - u_{RK}^2} = \sqrt{5.5^2 - 2^2} = 5.12\%$$

$$\cos \varphi = 0.8 \Rightarrow \sin \varphi = 0.6$$

$$\delta_u = \beta(u_{RK} \cos \varphi + u_{XK} \sin \varphi) = 1(2 \cdot 0.8 + 5.12 \cdot 0.6) = 4.67\%$$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta_u}{100} \right) = 400 \left(1 - \frac{4.67}{100} \right) = 381V$$

שאלה 16

להלן תוצאות בדיקות ריקם וקצר של שנאי חד-מופעי 230/25 וולט, שהספקו הנקוב 1445 וולט-אמפר. המדידות נערכו בצד הראשוני של השנאי.
מתח בדיקת ריקם – 230V; זרם ריקם – 3% מהזרם הנקוב; הספק ריקם – 15.2W; מתח קצר – 6.2%; זרם קצר – 6.28A; הספק הקצר – 27.75W.
עוד נתונים: התנגדות הצד הראשוני 0.34Ω והיגב הצד הראשוני 1.06Ω.
א. חשב את ההתנגדות וההיגב של הצד המשני.
ב. חשב את ההתנגדות וההיגב השקולים של המעגל המגנטי.
ג. צייר תרשים של מעגל חשמלי שווה-ערך לשנאי וציין בו את ערכי רכיביו.

שאלה 17

- להלן תוצאות בדיקת הקצר של שנאי עם מקדם השנאה 10, המיועד למתח ראשוני של 6.6 קילו-וולט :
מתח קצר – 6.4%; הספק הקצר 6KW; מקדם ההספק בקצר – 0.368.
הבדיקה בוצעה בצד הראשוני בזרם שווה לזרם הנקוב.
חשב את:
- הזרם הראשוני הנקוב.
 - ההספק הנקוב של השנאי.
 - עכבת הקצר ורכיביה.
 - המתח בין ההדקים הפתוחים של הסליל המשני.

שאלה 18

- חשב את השטף המקסימלי העובר בגרעין של שנאי בעל 1000 כריכות בסליל הראשוני. השנאי מוזן מתדר של 60 הרץ והכא"מ המתפתח בצדו הראשוני הוא 220V.
- מהו השטף המקסימלי אם התדר שווה ל-50 הרץ?
- מהו שטח חתך הגרעין אם האינדוקציה $B_{\max} = 0.0165 \left(\frac{mV \text{ sec}}{cm^2} \right)$, בתדר 60 הרץ?

שאלה 19

- הסבר (כולל סרטוט):
- כיצד נעשית בדיקת ריקם לשנאי חד-מופעני? ומהי מטרת בדיקה זו?
 - כיצד בודקים קוטביות של שנאי (שתי שיטות).

שאלה 20

- מדוע אין רושמים את הספק השנאי בוואטים אלא בוולטאמפר?
- מהן שיטות הקירור השונות בשנאים?
- מדוע אין לחבר את הסליל הראשוני של השנאי למתח הגדול מהמתח הנקוב?

שאלה 21

- לשנאי חד מופעי שהספקו הנקוב 72 קילו-וולט-אמפר, עם מתח ראשוני של 3 קילו-וולט ומתח משני של 400 וולט בריקם, נערכה בדיקת קצר (הצד המשני מקוצר). התוצאות שנתקבלו הן כדלקמן:
מתח הקצר – 4.75%; הספק הקצר – 1.25 קילו-ואט; זרם הקצר – 20 אמפר.
השנאי הועמס בצרכן קיבולי עם מקדם הספק 0.8, ב-75% מהעומס הנקוב.
חשב את:
- המתח בין הדקי הצרכן.
 - עוצמת הזרם בצד המשני.

שאלה 22

- נתון שנאי חד-מופעני 10/0.4 קילו-וולט, שהספקו הנקוב 660 קילו-וולט-אמפר. התנגדות הקצר של השנאי היא 1.5 אוהם, והיגב הקצר 4.8 אוהם.
השנאי הועמס ב-88% מהספקו הנקוב, בצרכן עם מקדם הספק 0.9 השראתי.
חשב את:
- המתח בין הדקי הצרכן.
 - הזרם בצרכן.
 - ההספק הפעיל של הצרכן.

שאלה 23

ההתנגדויות וההיגבים של סלילי שנאי חד-מופעי 3/0.25 קילו-וולט, שהספקו הנקוב 39 קילו-וולט-אמפר הם אלה:

$$R_1 = 1.8\Omega ; X_1 = 6.6\Omega ; R_2 = 12.5m\Omega ; X_2 = 45m\Omega$$

השנאי הועמס בעומס יתר של 5% מעל להספק הנקוב, בצרכן השראתי עם מקדם הספק 0.88. חשב את:

- המתח בין הדקי הצרכן.
- הזרם בצרכן.
- ההספק הפעיל של הצרכן.

שאלה 24

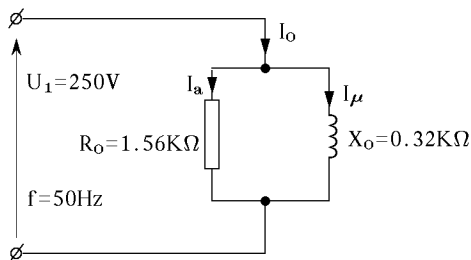
שנאי 6/0.25 קילו-וולט, שהספקו הנקוב 150 קילו-וולט-אמפר, צורך בעבודה ללא עומס הספק של 2.1 קילו-ואט. בבדיקת קצר שנערכה בצד הראשוני של השנאי נתקבלו התוצאות האלה:
מתח בדיקת הקצר – 4.5% מהמתח הראשוני; זרם הקצר – 15 אמפר; הספק הקצר – 1.8 קילו-ואט.
השנאי הועמס ב-78% מהספקו הנקוב, בצרכן השראתי בעל מקדם הספק 0.866. חשב את:

- המתח בין הדקי הצרכן.
- נצילות השנאי.

שאלה 25

להלן תרשים של מעגל תמורה של שנאי בריקס. שטח החתך של ליבת השנאי הוא 6.25 סמ"ר וצפיפות השטף המגנטי בתוכה היא 1 וובר למ"ר (ערך שיא). השנאי הוא בעל מקדם-השנאה 10. חשב את:

- זרם הריקס I_0 ואת רכיביו I_a ו- I_μ .
- איבודי ההספק בברזל השנאי.
- מקדם ההספק של השנאי בריקס.
- מספר הכריכות בסלילי השנאי.
- המתח בין הדקי המעגל המשני, כשהם פתוחים.



שאלה 26

שנאי חד-מופעי מיועד לעבוד בתדר של 50 הרץ. שטח החתך של ליבת השנאי הוא 16 סמ"ר. בסליל הראשוני 540 כריכות, ובסליל המשני 60 כריכות. כשחובר השנאי למתח בצדו הראשוני, הערך היעיל של צפיפות השטף המגנטי בליבה היה 0.85 וובר למ"ר ותצרוכת ההספק של השנאי בריקס היתה 20 וואט, במקדם הספק 0.13. חשב את:

- הכוחות האלקטרו-מניעים המושרים בסלילי השנאי.
- זרם הריקס של השנאי ואת רכיביו (הנח $U_1 \cong E_1$)
- הפרמטרים של מעגל התמורה של השנאי בריקס.

שאלה 27

ההתנגדויות והיגבי הסלילים של שנאי חד-מופעי 230/400 וולט, שהספקו הנקוב 2.53 קילו-וולט-אמפר הם אלה:

$$R_1 = 0.4\Omega ; X_1 = 1\Omega ; R_2 = 1.25\Omega ; X_2 = 3\Omega$$

בעבודה ללא עומס בצד המשני, צורך השנאי הספק של 35 וואט. השנאי הועמס ב-80% מהעומס הנקוב, בצרכן עם מקדם-הספק השראתי 0.95. חשב את:

- המתח בין הדקי הצרכן ואת נצילות השנאי.
- שיעור העומס, שבו תהיה נצילות השנאי מירבית – לצרכן עם מקדם ההספק הנתון.
- נצילות השנאי העמוס בשיעור העומס הני"ל.

שאלה 28

איבודי ההספק בנחושת של שנאי חד-מופעי 250 קילו-וולט-אמפר הם 2.75 קילו-וואט בעומס נקוב ואיבודי ההספק בברזל הם 2 קילו-וואט. המתחים הנקובים של השנאי הם 10/0.5 קילו-וולט ומתח הקצר בזרם נקוב הוא 5%. חשב את:

- שיעור העומס, בו תהיה נצילות השנאי מירבית
 - הנצילות המירבית של השנאי, במקדם הספק 0.8 (השראתי)
 - המתח בין הדקי הצרכן, כשהנצילות מירבית.
- הנצילות בעומס שהוא מחצית העומס הנקוב, במקדם-הספק 0.6 (השראתי).
 - המתח בין הדקי הצרכן בעומס זה.

שאלה 29

התנגדויות הסלילים של שנאי חד-מופעי 400/100, שהספקו הנקוב 10 קילו-וולט-אמפר הן אלה:

$$R_1 = 0.24\Omega ; R_2 = 20m\Omega$$

מתח הקצר של השנאי בזרם ראשוני נקוב, הינו 7.5%. אל הדקי הסליל המשני מחובר צרכן השראתי עם מקדם הספק 0.9, והמתח בין הדקיו הוא 94.7 וולט. נצילות השנאי הינה 95%. חשב את:

- שיעור העמסת השנאי.
- איבודי ההספק בנחושת של השנאי העמוס בשיעור שהוזכר לעיל.
- איבודי ההספק בברזל השנאי.

שאלה 30

נתון שנאי 220V/24V. בניסוי ריקם היו ההפסדים 80 וואט וגורם ההספק 0.25.

- חשב את זרם המגנוט ואת זרם הפסדי הברזל.
- סרטט תרשים של הניסוי ורשום ליד המכשירים את ההוראה של כל אחד מהם.

שאלה 31

בניסוי ריקם של שנאי 250/120V, הראה מד ההספק 150W ומד הזרם 1.25A.

- מה מביע ההספק הנמדד?
- חשב את גורם ההספק של השנאי בריקם
- חשב את זרם המגנוט של השנאי.

שאלה 32

בניסוי קצר של שנאי 6KVA, 400/180V, הראה מד ההספק 140W, מתח הקצר הוא 4.5% מהמתח הנומינלי.

חשב:

- מה מביע ההספק הנמדד?
- את הזרם בכל צד בשנאי
- את המתח המחובר לשנאי בניסוי הקצר
- גורם ההספק בקצר.

שאלה 33

בניסוי קצר של שנאי 2.5KVA, 230/115V, הראה מד ההספק 120W. חשב את הפסדי הנחשת כאשר לשנאי מחובר:

- צרכן המהווה 75% מהעומס הנומינלי
- צרכן 1.5KW בגורם הספק 0.85.
- צרכן הצורך 15A.

שאלה 34

בשנאי 230V/125V, 50Hz, הזרם בריקם הוא 5A בגורם הספק של 0.28. מספר הכריכות במשני הוא 175. חשב את:

- הפסדי הברזל
- זרם המגנט
- הערך המירבי של השטף בגרעין.

שאלה 35

בשנאי 1.5KVA, 230V/60V, הפסדי ניסוי קצר הם 80W. בהנחה שהפסדי הקצר בסליל הראשוני שווים להפסדי הקצר במשני, חשב את:

- ההתנגדות האוהמית של הסליל הראשוני
- ההתנגדות האוהמית של הסליל המשני.

שאלה 36

על שנאי רשום: 5KVA, 230V / 150V. התנגדות הצד הראשוני היא 0.8Ω והתנגדות הצד המשני – 0.06Ω . בניסוי ריקם צורך השנאי 50W.

חשב את:

- הפסדי הנחשת בעומס נומינלי
- נצילות השנאי בעומס 1.5KW, בגורם הספק של 0.86.

שאלה 37

לשנאי 150KVA, יש נצילות של 96.5% ב-70% עומס אוהמי. בניסוי ריקם נמדד הספק של 1.2KW. חשב את:

- הפסדי הנחשת בעומס מלא.
- הנצילות ב-65% עומס ובגורם הספק של 0.85.

שאלה 38

נתון שנאי חד-מופעי 1.5KVA, 400/230V. האם אפשר לחבר מנוע שעליו רשום: 1HP, 230V, גורם הספק 0.7 ונצילות של 65%. נמק.

שאלה 39

נתון שנאי 15KVA, 1800V / 480V, בעל שטח גרעין של $12 \times 15 \text{ cm}$ ואינדוקציה מירבית של $0.12 \text{ m} \frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2}$.

- מספר הליפופים במשני הוא 370.
 הנצילות בחצי עומס עם גורם הספק 0.85 היא 83%.
 הפסדים קבועים של 480W.
 חשב את:
- תדר הרשת
 - מספר הליפופים בראשוני
 - ההתנגדות האוהמית של כל סליל בהנחה שהפסדי הנחושת בסליל הראשוני שווים לאלה שבמשני.

שאלה 40

צרכן 8Ω מחובר לשנאי 230V / 80V.
 חשב:

- את ההתנגדות המשוקפת של הצרכן באיזה יחס השנאה תהיה התנגדותו המשוקפת של הצרכן:
- 32Ω
- 0.5Ω

שאלה 41

לשנאי חד מופעי, בהספק נקוב של 1067 קילו-וולט-אמפר, יש בצד הראשוני 301 כריכות ובצד המשני 164. שטח חתך הגרעין הוא 595 סמ"ר.

השנאי מוזן מהרשת בצד הראשוני במתח של $\frac{10000}{\sqrt{3}}$ וולט.

מתח הקצר 5.5%, הפסדי הנחושת 14.5 קילו-ואט, התדירות היא 50 הרץ.

- חשב את:
- צפיפות השטף המירבית
 - הרכיב האוהמי של מתח הקצר
 - הרכיב ההשראתי של מתח הקצר
 - המתח בצד המשני.

שאלה 42

בניסוי בריקם של שנאי, בהספק של 15 קילו-וולט-אמפר נתקבלו הנתונים האלה:

- מתח ראשוני: 1500 וולט
 עוצמת הזרם: 0.4 אמפר
 מקדם ההספק: 0.7
 בניסוי בקצר של אותו שנאי התקבלו הנתונים האלה:
 מתח ראשוני: 50 וולט
 עוצמת הזרם: 10 אמפר
 מקדם ההספק: 0.3
 חשב את נצילות השנאי בעומס מלא ובמקדם הספק 0.8.

שאלה 43

אילו תופעות פיסיקליות גורמות להפסדי אנרגיה בשנאי? איך ממיינים הפסדים אלה? באילו גורמי תפעול של השנאי תלוי כל אחד מהני"ל?

שאלה 44

על שלט של שנאי חד-מופעי רשומים הנתונים האלה:

$$S = 10 \text{ KVA}$$

$$U_1 = 5 \text{ KV}$$

$$U_2 = 250 \text{ V}$$

$$\eta_n = 0.92$$

$$R_1 = 0.3 \Omega$$

$$R_2 = 0.003 \Omega$$

כאשר השנאי מעומס עומס אוהמי מלא, חשב את:

- א. התנגדות הקצר
- ב. הפסדי הנחשת
- ג. הפסדי הברזל.

שאלה 45

נתון שנאי חד-מופעי בעל הספק של 20 KVA ומתחים של 6/0.38 KV. השנאי עובד בעומס מלא וגורם ההספק של העומס הוא 0.90.

$$\Delta P_{Cu} = 200 \text{ W} \quad \text{בניסוי בקצר מצאו:}$$

$$I_K = 2 \text{ A}$$

$$U_K = 4\%$$

חשב את המתח המשני של השנאי.

שאלה 46

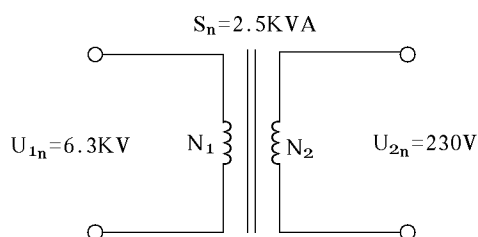
נתון שנאי חד-מופעי 2.5 KVA, 6.3 KV / 230V. בניסוי ריקם: הזרם הוא 30 mA במקדם הספק 0.42.

בניסוי קצר: מתח הקצר 4.5% ומקדם ההספק 0.78. חשב את:

- א. הפסדים הקבועים
- ב. זרם המגנט

ג. הפסדי הנחשת בעומס מלא

ד. נצילות השנאי בחמישית מהעומס ובגורם הספק 0.86.



$$I_o = 30 \text{ mA}$$

$$\cos \varphi_o = 0.42$$

$$U_K = 4.5\%$$

$$\cos \varphi_K = 0.78$$

שאלה 47

בניסויים שנערכו לשנאי חד-מופעי בריקם ובקצר, התקבלו התוצאות האלה:
 בריקם: $U_2 = 13.75V$; $P_0 = 70W$; $I_0 = 3A$; $U_1 = 220V$
 בקצר: $P_K = 215W$; $I_K = 60A$; $U_K = 4V$
 הספק השנאי הוא $S = 6.5KVA$.

חשב את:

- יחס ההשנאה
- הפסדי הברזל והנחושת
- גורם ההספק בריקם
- מקדם הספק בקצר
- נצילות השנאי, אם $\cos \varphi_2 = 1$
- הפרמטרים של השנאי (Z_x , R_K , X_K)

שאלה 48

לשנאי חד-מופעי עם הנתונים האלה:

$$S = 100KVA$$

$$U_n = 10/0.4KV$$

$$f = 50Hz$$

$$U_K = 5\%$$

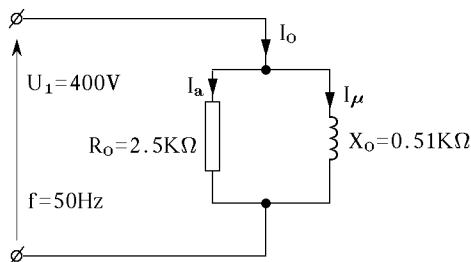
$$I_K = 10A$$

$$\Delta P_{Cu} = 1KW$$

חשב את המתח המשני של השנאי בעומס מלא ובמקדם הספק 0.8.

שאלה 49

להלן תרשים של מעגל תמורה של שנאי בריקם. שטח החתך של ליבת השנאי הוא 6.25 סמ"ר וצפיפות השטף המגנטי בתוכה היא 1 וובר למ"ר (ערך שיא). השנאי הוא בעל מקדם-השנאה 0.8.



חשב את:

- זרם הריקם I_0 ואת רכיביו I_a ו- I_μ .
- איבודי ההספק בברזל השנאי.
- מקדם ההספק של השנאי בריקם.
- מספר הכריכות בסלילי השנאי.
- המתח בין הדקי המעגל המשני, כשהם פתוחים.

שאלה 50

נתון שנאי 20KVA, 6600/400V, הפסדי ברזל 220W והפסדי נחושת מירביים 315W.
 חשב את:

- נצילות השנאי בעומס מלא $\cos \varphi = 1$
- נצילות השנאי בשליש העומס המירבי $\cos \varphi = 1$
- נצילות השנאי בשליש העומס המירבי $\cos \varphi = 0.75$.

שאלה 51

שנאי 10/0.4 קילו-וולט, שהספקו הנקוב 300 קילו-וולט-אמפר, צורך בעבודה ללא עומס הספק של 1.2 קילו-ואט. להלן תוצאות בדיקת הקצר שבוצעה בצד הראשוני: מתח הקצר 5.5%; זרם הקצר 30 אמפר; הספק הקצר 5.7 קילו-ואט. השנאי הועמס בצדו המשני בצרכן השראתי בעל מקדם הספק 0.85 ונצילותו היתה מירבית.
חשב את:

- מידת העמסת השנאי יחסית להספק הנקוב (β_{opt}).
- המתח בין הדקי הצרכן.
- נצילות השנאי.

שאלה 52

שנאי חד-מופעי מחובר למתח של 400 וולט. הצד המשני עמוס בצרכן אוהמי שצורך זרם של 18 אמפר, במתח הדקים של 133 וולט. מקדם ההספק של כל מערכת השנאי העמוס הוא 0.92 ונצילותה 95%. כאשר השנאי מופעל בריקם הוא צורך זרם של 1.1 אמפר במקדם הספק 0.095.
חשב את:

- הזרם בצד הראשוני.
- איבודי ההספק בליבת הברזל.
- איבודי ההספק בסלילי הנחושת.
- התנגדות הקצר של השנאי.

שאלה 53

הספקו הנקוב של שנאי חד-מופעי הוא 10 קילו-וולט-אמפר והמתחים הנקובים – 400/230 וולט. התנגדות הסליל הראשוני 0.11 אוהם ואת היגבו יש להניח כשווה להיגב של הסליל המשני, משוקף לצד הראשוני.
בניסוי ריקם נתקבלו התוצאות הבאות: $U_0 = U_1$; $I_0 = 0.75A$; $P_0 = 60W$
בניסוי קצר נתקבלו התוצאות הבאות: $U_K = 14V$; $I_K = 25A$; $P_K = 125W$

- חשב את הערכים של רכיבי סכימת התמורה של השנאי.
- צייר תרשים של סכימת התמורה, ורשום עליו את ערכי הרכיבים.
- חשב את ההתנגדות ואת ההיגב של הסליל המשני.

שאלה 54

נתון שנאי בעל הספק 20KVA , 2200V / 220V , 50Hz. בניסוי שנערך בשנאי זה התקבלו התוצאות האלה:
הפסדי נחושת 240W והפסדי ברזל 220W.
חשב את נצילות השנאי:
א. בעומס נומינלי
ב. בחצי עומס.
הערה: בשני המקרים העומס הוא השראתי בגורם הספק של 0.8.

שאלה 55

נתון שנאי חד-מופעי 15/0.4 קילו-וולט, שהספקו הנקוב 180 קילו-וולט-אמפר. להלן תוצאות בדיקת הקצר, שנערכה בצידו הראשוני של השנאי:
מתח הקצר – 5%; הספק הקצר – 2 קילו-ואט; זרם הקצר – 10 אמפר.
השנאי הועמס ב-85% של העומס הנקוב, במקדם הספק 0.92 השראתי.
חשב את:
א. המתח בין הדקי הצרכן.
ב. עוצמת הזרם בצרכן.

ג.2: שנאים תלת-מופעיים

פואנה

שאלה 56

ההתנגדויות וההיגבים של המופעים של שנאי תלת-מופע, בחיבור Y/Y, שהספקו הנקוב 630 קילו-וולט-אמפר, ומתחיו 22/0.4 קילו-וולט הם כדלקמן:

$$R_1 = 4.5\Omega ; X_1 = 15\Omega ; R_2 = 1.5m\Omega ; X_2 = 10m\Omega$$

איבודי ההספק של השנאי כשהוא עובד בלי עומס בצד המשני הם 3.2 קילו-ואט.

השנאי הועמס בעומס נקוב, בצרכן השראתי עם מקדם-הספק 0.866.

חשב את:

א. איבודי ההספק בנחשת של השנאי.

ב. נצילות השנאי.

ג. המתח השלוב בין הדקי הצד המשני, העמוס בצרכן.

פתרון

חשב:	נתון:
$\Delta P_{Cu} = ?$	א. Y/Y
$\eta = ?$	ב. $S_n = 630KVA$
$U_2 = ?$	ג. $U_1 = 22KV$
	$U_{20} = 0.4KV$
	$R_1 = 4.5\Omega$
	$X_1 = 15\Omega$
	$R_2 = 1.5m\Omega$
	$X_2 = 10m\Omega$
	$P_0 = 3.2KW$
	$\beta = 1$
	$\cos \varphi = 0.866ind$

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{22}{0.4} = 55$$

א. לחיבור Y/Y:

$$R_K = R_1 + K^2 R_2 = 4.5 + 55^2 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3} = 9.04\Omega$$

$$I_1 = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_1} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 22} = 16.53A$$

$$\Delta P_{Cu} = 3I_1^2 R_K = 3 \cdot 16.53^2 \cdot 9.04 = 7410W$$

$$\cos \varphi = 0.866 \Rightarrow \sin \varphi = 0.5$$

ב.

$$P_0 = \Delta P_{Fe}$$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi}{\beta S_n \cos \varphi + \Delta P_{Fe} + \beta^2 \Delta P_{Cu}} \cdot 100\% = \frac{1 \cdot 630 \cdot 0.866}{1 \cdot 630 \cdot 0.866 + 3.2 + 1^2 \cdot 7.41} \cdot 100 = 98.1\%$$

$$u_{RK_{ph}} = \frac{I_1 R_K}{U_{1_{ph}}} \cdot 100\% = \frac{16.53 \cdot 9.04}{\frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}} \cdot 100 = 1.18\% \quad .ג$$

$$X_K = X_1 + K^2 X_2 = 15 + 55^2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 45.25 \Omega$$

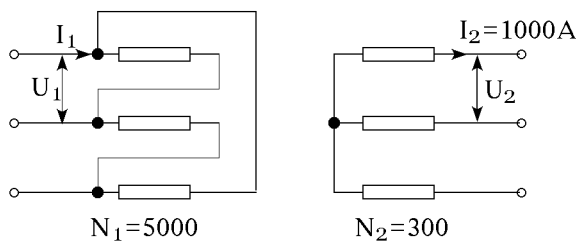
$$u_{XK_{ph}} = \frac{I_1 X_K}{U_{1_{ph}}} \cdot 100\% = \frac{16.53 \cdot 45.25}{\frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}} \cdot 100 = 5.89\%$$

$$\delta_{u_{ph}} = \beta(u_{RK_{ph}} \cos \varphi + u_{XK_{ph}} \sin \varphi) = 1(1.18 \cdot 0.866 + 5.89 \cdot 0.5) = 3.97\%$$

$$U_{2_{ph}} = U_{20_{ph}} \left(1 - \frac{\delta_{u_{ph}}}{100}\right) = \frac{400}{\sqrt{3}} \left(1 - \frac{3.97}{100}\right) = 221.8V$$

$$U_2 = U_{2_{ph}} \sqrt{3} = 22.8 \sqrt{3} = 384V$$

שאלה 57



נתון שנאי (Δ/Y)
 תלת מופעי (אידיאלי)
 המתח בראשוני: $4KV$
 השנאי מספק זרם $I_2 = 1000A$

חשב את:

- המתח השלוב במשני?
- הזרם הקווי I_1 שצורך השנאי מהרשת?
- ההספק המדומה שמספק שנאי זה?

שאלה 58

להלן נתונים נקובים של שנאי תלת-מופעי בחיבור Δ/Y :
 הספק: 800 קילו-וולט-אמפר
 מתחים: 22/0.4 קילו-וולט
 תדר: 50 הרץ
 הסליל הראשוני של מופע מונה 7620 כריכות.
 השנאי הועמס בעומס נקוב, בצרכן השראתי בעל מקדם-הספק 0.77.
 חשב את:

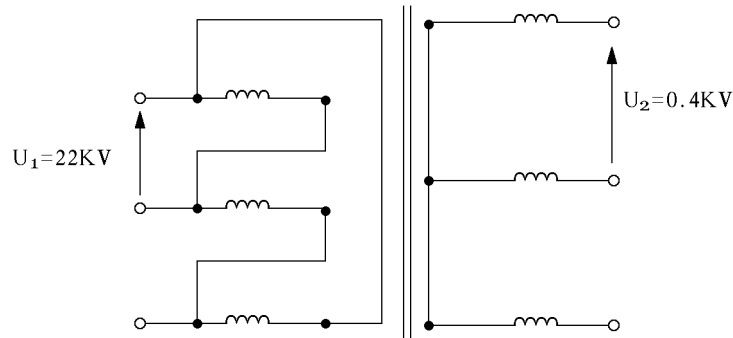
- יחס ההשנאה.
- מספר הכריכות בסליל המשני של המופע.
- המתח השלוב בין הדקי הצרכן.
- נצילות השנאי.

שאלה 59

להלן תוצאות בדיקת הקצר של שנאי תלת-מופעיי בחיבור Δ / Y , שהספקו הנקוב 160 קילו-וולט-אמפר ומתחיו הם 22/0.4 קילו-וולט:

$$U_K = 455V ; I_K = 2.17A ; P_K = 320W$$

השנאי הועמס בצדו המשני בצרכן שהספקו 80 קילו-ואט במקדם הספק 0.72 השראתי.



חשב את:

- יחס ההשנאה
- הזרמים השלובים – הראשוני והמשני
- המתח השלוב בין הדקי הצרכן.

שאלה 60

שנאי תלת-מופעיי, שהספקו הנקוב 400 קילו-וולט-אמפר ומתחיו הנקובים 22/0.4 קילו-וולט, מספק אנרגיה לצרכן השראתי עם מקדם-הספק 0.92. המתח השלוב בין הדקי הצרכן הוא 391 וולט.

בניסוי קצר שנערך בזרם נקוב, התקבלו הנתונים האלה: $P_K = 8KW$; $u_K = 4\%$ כמוכן נתון שנצילות מירבית מתקיימת כאשר השנאי עמוס ב-200 קילו-וולט-אמפר.

חשב את:

- הספקו הפעיל של הצרכן המחובר אל השנאי.
- עוצמת הזרם בסלילי הצד המשני של השנאי, המחוברים בכוכב.
- נצילות השנאי.

שאלה 61

הספקו הנקוב של שנאי תלת-מופעיי הוא 400 קילו-וולט-אמפר. המתח השלוב בצד המשני בריקם – 400 וולט, מקדם ההספק של השנאי בקצר הוא 0.216, והוא נקבע בזרם-קצר השווה לזרם הנקוב. השנאי צורך בריקם הספק בשיעור 960 ואט.

השנאי הועמס בעומס של 275 קילו-וולט-אמפר, במקדם-הספק 0.9, והמתח השלוב בצד המשני היה 403 וולט.

חשב:

- האם אופי העומס המחובר לשנאי הוא השראתי או קיבולי? על סמך מה קבעת את קביעתך?
- את מתח הקצר באחוזים.
- את הספק הקצר.
- את נצילות השנאי.

שאלה 62

להלן נתוני שנאי תלת-מופעי: הספק נקוב – 800 קילו-וולט-אמפר; מתח משני נקוב – 400 וולט; מקדם הספק בקצר, שנמדד בזרם-קצר השווה לזרם הנקוב – 0.22; איבודי הספק בריקם – 2.1 קילו-ואט. השנאי הועמס בעומס 480 קילו-וולט-אמפר, במקדם-הספק השראתי 0.85 והמתח השלוב המשני היה 390 וולט.

חשב את:

- מתח הקצר של השנאי, באחוזים.
- הספק הקצר, בזרם נקוב.
- נצילות השנאי.

שאלה 63

להלן נתוני שנאי תלת-מופעי: הספק נקוב – 190 קילו-וולט-אמפר; מתח משני נקוב – 400 וולט; איבודי הספק בריקם – 1.44 קילו-ואט.

בעומס נקוב, במקדם-הספק השראתי 0.86, היה המתח השלוב בין הדקי הצד המשני 380 וולט. בעומס 114 קילו-וולט-אמפר, נצילותו של השנאי מירבית.

חשב את המתח השלוב בין הדקי הצרכן ואת נצילות השנאי, אם יועמס ב-95 קילו-וולט-אמפר, במקדם הספק השראתי 0.68.

שאלה 64

להלן נתונים של שנאי תלת-מופעי: הספק נקוב 630 קילו-וולט-אמפר; מתחים נקובים 22/0.4 קילו-וולט; תדר 50 הרץ Y/Y ; איבודי הספק בריקם 3.1 קילו-ואט; מקדם ההספק בקצר, שנמדד בזרם ראשוני נקוב – 0.24.

השנאי הועמס בעומס השראתי של 360 קילו-ואט במקדם הספק 0.8, והמתח בין הדקי הצרכן היה 386 וולט.

חשב את:

- מתח הקצר, באחוזים.
- הספק הקצר.
- נצילות השנאי.

שאלה 65

להלן תוצאות הבדיקות של שנאי תלת מופעי 22/0.4 קילו-וולט, שהספקו הנקוב 50 קילו-וולט-אמפר בחיבור Y/Δ :

בדיקת ריקם, שנערכה בצד הראשוני, במתח נקוב: $P_0 = 210W$; $I_0 = 36.7mA$

בדיקת קצר, שנערכה בצד הראשוני, בזרם נקוב: $P_K = 1250W$; $u_K = 4\%$

התנגדותו של המופע בצד הראשוני היא 120 אוהם, והיגבו 300 אוהם.

חשב:

- את רכיבי זרם הריקם.
- את הפרמטרים של מעגל תמורה לשנאי.
- את ההתנגדות וההיגב של מופע בצד המשני.
- סרטט את תרשים מעגל התמורה וציין עליו את הערכים שמצאת.

שאלה 66

- לשנאי תלת-מופעני שהספקו הנקוב 250 קילו-וולט-אמפר בחיבור Δ / Y נערכה בדיקת ריקס במתח ראשוני נקוב של 22 קילו-וולט. במהלכה נמדד זרם שלוב של 0.197 אמפר במקדם הספק 0.1. בדיקת הקצר נערכה בזרם נקוב בצד הראשוני ונמדדו מתח קצר 6% ומקדם הספק 0.3.
- השנאי הועמס בצרכן השראתי שהספקו 240 קילוואט במקדם הספק 0.92.
- חשב את:
- איבודי ההספק בברזל ובנחושת של השנאי העמוס.
 - נצילות השנאי.
 - שיעור העומס במקדם הספק 0.92, עבורו תהיה נצילות השנאי מירבית ואת ערכה של נצילות זו.

שאלה 67

- נתון שנאי תלת-מופעני בעל יחס ליפופים של 7:4 ומתח ראשוני של 7.5KV. חשב את המתח שיתקבל בצד המשני בכל אחת מצורות חיבור השנאי.

- Y / Y
- Y / Δ
- Δ / Δ
- Δ / Y

שאלה 68

- יש לתכנן שנאי תלת-מופעני $400V / 120V$, בחיבור Δ / Y , $12KVA$, $50Hz$. חשב את:

- הזרם הנומינלי בסלילי השנאי.
- מספר הכריכות בכל צד לפי מתח ליפוף של 0.8V.
- שטח חתך הגרעין לפי אינדוקציה מירבית $\frac{0.12mWb}{cm^2}$.
- שטח חתך המוליכים לפי צפיפות זרם $2.6 \frac{A}{mm^2}$.
- הפסדים קבועים כאשר נפח הברזל $0.015m^3$, המשקל הסגולי של הברזל $7.8 \frac{gr}{cm^3}$ והפסדי הברזל $1.5 \frac{W}{Kg}$.
- הפסדי הנחושת בעומס נומינלי, אם היקף כריכה ממוצעת הוא 42cm.

שאלה 69

- בשנאי $20KVA$, $6.3KV/400V$, $50Hz$, מתח הקצר הוא 5.4%, הפסדי ניסוי קצר הם 450W. חשב את:

- המתח במשני ב-60% עומס בגורם הספק 0.85 (L).
- המתח במשני ב-42% עומס בגורם הספק 0.68 (L).

שאלה 70

נתוני השלט של שנאי תלת-מופעיים הם:
 מתח ראשוני: 12600V הפסדי נחשת: 4300W
 מתח משני: 400V הפסדי ברזל: 800W
 הספק נקוב: 50KVA חיבור השנאי: Δ / Y

- א. חשב את הזרם הנקוב בראשוני.
 ב. חשב את נצילות השנאי בהעמסתו ב-60% מהעומס הנקוב, במקדם הספק 0.9.

שאלה 71

לשנאי תלת-מופעיים הנתונים האלה: Δ / Y ; 33000/400V ; 120KVA
 בצד המשני של השנאי מחובר מנוע תלת-מופעיים שנתוניו הם:
 הספק נקוב: 85KW
 נצילות: 0.88
 מקדם הספק: 0.9

- חשב את:
 א. הזרם בקו הזינה למנוע
 ב. יחס השנאה של השנאי
 ג. זרם הקו הראשוני של השנאי.

שאלה 72

לשנאי תלת-מופעיים נתונים כדלקמן:
 הספק נקוב: 420 קילו-וולט-אמפר.
 מתח ראשוני: 10000 וולט $\pm 5\%$.
 מתח משני: 400 וולט Y / Y_0 .
 שטח חתך גרעין השנאי: 279 סמ"ר.
 צפיפות השטף המקסימלית: 1.43 וובר למ"ר.
 חשב את:
 א. מספר כריכות הסליל הראשוני.
 ב. מספר כריכות הסליל המשני.
 ג. מספר הכריכות הדרוש לשינוי המתח ($\pm 5\%$).

שאלה 73

לשנאי תלת-מופעיים נתונים כדלקמן:
 הספק נקוב של 20 קילו-וולט-אמפר.
 תדירות של 50 הרץ.
 הפסדי ריקם של 180 וואט.
 הפסדי קצר של 600 וואט.
 חשב את נצילות השנאי בעומס נקוב ומקדם הספק של:
 א. $\cos \varphi = 0.8$
 ב. $\cos \varphi = 1$

שאלה 74

- לשנאי תלת-מופעני נתונים כדלקמן:
- הספק 320 קילו-וולט-אמפר.
 - הפסדי ריקם של 1.7 קילו-ואט.
 - הפסדים בניסוי קצר של 5.7 קילו-ואט.
- חשב את הנצילות המקסימלית והעומס שבו מושגת נצילות זו:
- א. בעבור מקדם הספק 0.8.
 - ב. בעבור מקדם הספק 1.

שאלה 75

- שנאי תלת-מופעני מחובר בחיבור משולש-כוכב.
- המתח ברשת הראשונית: 6000 וולט
- המתח ברשת המשנית: 380 וולט
- השטף: $2 \cdot 10^6$ מכסוול (0.02 וובר)
- התדירות: 50 הרץ
- חשב את מספר הכריכות בכל סליל בהנחה שהפסד המתח על הקווים הוא 2.5% בכל צד.

שאלה 76

בשנאי תלת-מופעני היחס בין מספר הכריכות בסליל הראשוני למספר הכריכות בסליל המשני של אותו

מופע $\left(\frac{N_1}{N_2}\right)$, שווה ל-6.

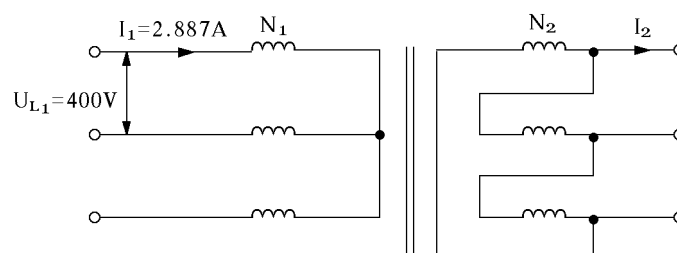
חשב את היחס בין המתח השלוב בצד הראשוני למתח השלוב בצד המשני $\left(\frac{U_1}{U_2}\right)$, עבור 4 קבוצות

החיבורים האלה:

- א. Δ / Y
- ב. Y / Δ
- ג. Δ / Z
- ד. Y / Z

שאלה 77

נתון שנאי תלת-מופעני אידיאלי.



יחס ההשנאה הוא $K = 20$, המתח בסליל הראשוני הוא $U_{L1} = 400V$ והזרם שהוא צורך הוא

$$I_1 = 2.887A$$

- א. מצא את הזרם I_2 .
- ב. מצא את המתח המשני.
- ג. מהו ההספק שמספק השנאי לצרכנים אשר גורם ההספק שלהם הוא $\cos \varphi_2 = 0.75$?
- ד. הסבר את שני סוגי הפסדים הקיימים בשנאי, ואיך ניתן למדוד אותם.

שאלה 78

הספק שנאי תלת-מופעי הוא 25KVA. הפסדי הריקם הם 200W והפסדי הקצר – 700W. מצא את הנצילות של השנאי:

- א. בעומס נקוב וגורם הספק 0.8
 ב. בחצי עומס מהעומס המלא וגורם הספק 0.1.

$$\eta = \frac{P_1 \cdot \beta}{P_1 \cdot \beta + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \beta^2} \quad \text{העזר בנוסחה:}$$

שאלה 79

נתון שנאי תלת-מופעי Y/Y בעל הספק נומינלי של $S_n = 25KVA$. הפסדי הספק במצב ריקם $P_0 = 125W$ והפסדי הספק בקצר $P_K = 600W$.
 חשב את הנצילות של כל מופע, אם מקדם ההספק בכל מופע שונה ושווה ל-0.85 במופע אחד, 0.8 במופע שני ו-0.9 במופע שלישי.

שאלה 80

נתון שנאי תלת-מופעי. בניסוי קצר צרך השנאי מהרשת 1700W ובניסוי ריקם צרך 1535W. בעבודה מספק השנאי זרם של 75 אמפר, במתח שלוב של 400 וולט ובגורם הספק 0.9.
 א. מה נצילות השנאי?
 ב. מהו יחס ההשנאה, אם הסליל הראשוני מחובר ל-22KV?
 ג. מהו הזרם שצורך השנאי בעומס של 75A בסליל המשני?

שאלה 81

לשנאי תלת-מופעי שהספקו הנקוב 250 קילו-וולט-אמפר בחיבור Δ/Y נערכה בדיקת ריקם במתח ראשוני נקוב של 22 קילו-וולט. במהלכה נמדד זרם שלוב של 0.197 אמפר במקדם הספק 0.1. בדיקת הקצר נערכה בזרם נקוב בצד הראשוני ונמדדו מתח קצר 6% ומקדם הספק 0.3.
 השנאי הועמס בצרכן הראיתי שהספקו 240KVA במקדם הספק 0.92.
 חשב את:
 א. איבודי ההספק בברזל ובנחושת של השנאי העמוס.
 ב. נצילות השנאי.

שאלה 82

לשנאי תלת-מופעי שהספקו הנקוב 250 קילו-וולט-אמפר בחיבור Δ/Y נערכה בדיקת ריקם במתח ראשוני נקוב של 22 קילו-וולט. במהלכה נמדד זרם שלוב של 0.175 אמפר במקדם הספק 0.15. בדיקת הקצר נערכה בזרם נקוב בצד הראשוני ונמדדו מתח קצר 6% ומקדם הספק 0.3.
 השנאי הועמס בצרכן הראיתי שהספקו 240KVA במקדם הספק 0.92.
 חשב את:
 א. איבודי ההספק בברזל ובנחושת של השנאי העמוס.
 ב. נצילות השנאי.

שאלה 83

נתוני השלט של שנאי תלת-מופעיים הם :

מתח ראשוני: $12600V$	הפסדי נחושת: $4300W$
מתח משני: $400V$	הפסדי ברזל: $800W$
הספק נקוב: $50KVA$	חיבור השנאי: Δ / Y

- א. חשב את הזרם הנקוב בראשוני.
 ב. חשב את נצילות השנאי בהעמסתו בעומס הנקוב, במקדם הספק 0.9.

שאלה 84

שנאי תלת-מופעיים מיועד לעבוד בעומס נומינלי של $75KVA$. מתחי השנאי הם $6300/400V$. בניסוי ריקם התקבל הספק של $800W$. בניסוי קצר במתח קצר של 5% מהמתח הנומינלי, התקבלו זרמים נומינלים וגורם הספק בקצר 0.3.
 חשב את:

- א. המתח בהדקי הסליל המשני, אשר מועמס ב-75% מההספק הנומינלי בגורם הספק 0.6 השראתי.
 ב. נצילות השנאי בעומס של סעיף א'.

4.2: שנאים מיוחדים

שאלה 85

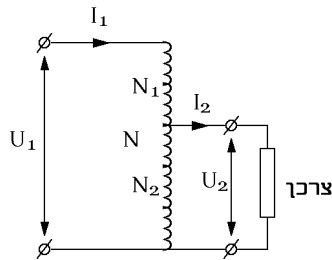
נתון אוטו טרנספורמטור (שנאי עצמי) בעל מתחים של 220/90V. השנאי מזין צרכן חד-מופעי הצורך זרם של 10A. המספר הכללי של הכריכות הוא 500. חשב את:

א. מספר הכריכות בחלק המשותף ובחלק הנותר.
 ב. עוצמת הזרם הראשוני.

הערה: אפשר להזניח את הזרם בפעולה בריקם ואת מפלי המתח של השנאי.

פתרון

<p>חשב:</p> <p>א. $N_1, N_2 = ?$</p> <p>ב. $I_1 = ?$</p>	<p>נתון: שנאי עצמי</p> $K = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{220V}{90V}$ <p>צרכן חד-מופעי: $I_2 = 10A$ צרכן מספר כולל של הכריכות: $N = 500(T)$</p>
--	---



א.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N}{N_2} = \frac{N_1 + N_2}{N_2}$$

$$N_2 = \frac{U_2(N_1 + N_2)}{U_1} = \frac{U_2 \cdot N}{U_1} = \frac{90 \cdot 500}{220} = 205(T)$$

$$N_1 = N - N_2 = 500 - 205 = 295(T)$$

ב.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_1 = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1} = \frac{90 \cdot 10}{220} = 4.09A$$

שאלה 86

- א. מנה כמה מהשימושים הביתיים בשנאי.
 ב. מהם השימושים בשנאי עצמי, מהו יתרונו?
 ג. מהו חיבור זיג זג?

שאלה 87

שנאי עצמי (אוטו-טרנספורמטור) 380/220 וולט מכיל 720 כריכות והוא מספק למעגל המשני זרם של 10 אמפר.
 צפיפות הזרם אחידה בכל הכריכות ושווה ל-2 אמפר לממ"ר.
 אורך ממוצע של כריכה 157 מ"מ.
 חשב את משקל הנחושת בשנאי העצמי (משקל סגולי של הנחושת הוא 8.9 gr/cm^3).

שאלה 88

נתון אוטו-טרנספורמטור (שנאי עצמי) חד-מופעי, שתפקידו לספק לצרכן מסוים הספק של 1200W במתח של 48V. מתח הרשת הוא 115V. המספר הכללי של כריכות השנאי העצמי הוא 280.

חשב את:

- א. מספר הכריכות של הצד הראשוני ושל הצד המשני
 ב. הזרם בצד הראשוני.

הערה: הצרכן הוא אוהמי בלבד.

שאלה 89

נתון שנאי עצמי 380/220 וולט ושנאי עצמי 380/60 וולט. מאיזה שנאי אפשר להשיג הספק גדול יותר (עבור צריכת זרם שווה מהרשת)?

העזר בנוסחה:
$$S = \frac{U_1 \cdot I_1}{t} + \frac{U_1 \cdot I_1}{t} (t - 1)$$

נושא 3: מכונות לזרם חילופין

3.א: מנוע השראה תלת-מופעי

שאלה 1

שאלה 1

נתון מנוע השראתי תלת-מופעי. המנוע מחובר לרשת בעלת מתח של 380V והוא מספק הספק יעיל (מכני) של 40KW. מספר הקטבים במופע – 4.

$$\cos \varphi_n = 0.87$$

$$\eta_n = 93\%$$

$$s = 3\%$$

$$\Delta P_n = 300W \quad \text{הפסדים מכניים ונוספים :}$$

חשב את:

א. עוצמת הזרם בקו המנוע.

ב. הפסדי הברזל והנחושת יחד.

ג. את מהירויות המנוע.

פתרון

חשב:

$$I_{1L} = ?$$

$$\Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} = ?$$

$$n_2 = ?$$

נתון:

מנוע השראה תלת-מופעי:

$$U = 380V$$

$$P_2 = 40KW$$

$$2p = 4$$

$$\cos \varphi_n = 0.87$$

$$\eta_n = 93\%$$

$$s = 3\%$$

הפסדים מכניים ונוספים:

$$\Delta P_n = 300W$$

$$I_{1L} = \frac{P_2}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U_{L1} \cdot \cos \varphi_n} = \frac{40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0.93 \cdot 380 \cdot 0.87} = 75.1A \quad \text{א.}$$

$$\Sigma \Delta P = P_1 - P_2 = \frac{P_2}{\eta} - P_2 = \frac{40000}{0.93} - 40000 = 3010W \quad \text{ב.}$$

$$\Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} = \Sigma \Delta P - \Delta P_n = 3010 - 300 = 2710W$$

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500rpm \quad \text{ג.}$$

$$n_2 = n_1(1 - s) = 1500(1 - 0.03) = 1455rpm$$

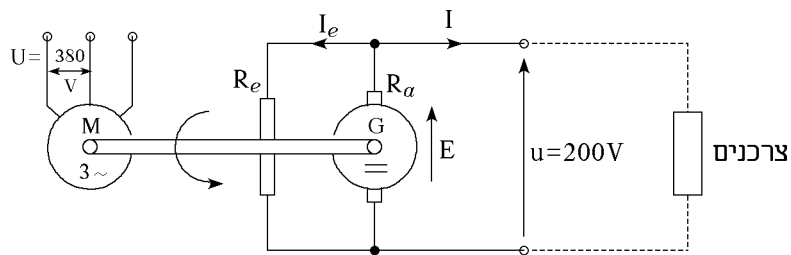
שאלה 2

- מנוע אסינכרוני תלת מופעי מסתובב במהירות של 2955 סל"ד, בחליקה של 1.5% ובתדר 50Hz.
- מהי מהירות השדה בסטטור?
 - כמה זוגות קטבים יש במנוע?
 - האם יכול להיות מצב במנוע תלת מופעי אסינכרוני, שהחליקה תהיה אפס?
 - מהו תדר הרוטור?

שאלה 3

- למנוע השראה תלת מופעי אסינכרוני, 4 זוגות קטבים, תדר 50 הרץ, נצילות 92 אחוז ומהירות סיבוב 720 סל"ד.
המתח השלוב הוא 400 וולט והמנוע צורך 35 אמפר בגורם הספק 0.8.
- מהי המהירות הסינכרונית?
 - מהי החליקה?
 - מהם המומנטים: נומינלי, מקסימלי, התנעה?
 - האם אפשר להתניע את המנוע בעומס?
- $$\frac{M_{\max}}{N_{\text{nom}}} = 1.8 ; \quad \frac{M_0}{M_{\text{nom}}} = 0.9$$

שאלה 4



- מנוע השראה, המחובר לרשת תלת מופעית בעלת מתח שלוב של 380V, מסתובב במהירות של 950 סל"ד ומסובב גנרטור לזרם ישר.
המנוע צורך 20 אמפר ונצילותו 87%. גורם ההספק של המנוע הוא 0.86.
נצילות הגנרטור לזרם ישר היא 90% והמתח בהדקו 200 וולט.
- מהו הזרם שמספק הגנרטור לצרכנים?
 - מהי החליקה של המנוע האסינכרוני (אם ידוע שיש לו שלושה זוגות קטבים ותדר הרשת 50 הרץ)?

שאלה 5

- למנוע השראה תלת-מופעי אסינכרוני הספק של 60KW על ציר המנוע ונצילות של 90%. המנוע עובד במתח שלוב של 400 וולט ומקדם הספק של 0.85, בתדר 50Hz. למנוע שני זוגות קטבים, וחליקה 3%.
- מהי המהירות הסינכרונית?
 - מהי מהירות הרוטור (אסינכרונית)?
 - מהו הזרם שצורך המנוע מהרשת?
 - מהם הפסדי המנוע?

שאלה 6

מנוע השראה תלת-מופעי עם רוטור מלופף, בעל 6 קטבים, ניזון מרשת בתדר 50 הרץ. הסטטור והרוטור מחוברים בכוכב. התנגדות הרוטור היא 0.16 אוהם למופע והיגבו 0.64 אוהם למופע. בין שתי טבעות מעגל הרוטור הפתוח נמדד מתח של 173 וולט. בעומס נקוב על הגל בשיעור 25 קילוואט, מסתובב הרוטור במהירות של 955 סל"ד.

כדי להקטין את מהירות הרוטור, חובר אל הטבעות ראוסטט שהתנגדותו 0.84 אוהם למופע. חשב את:

- עוצמת הזרם ברוטור ואת המומנט הסיבובי על הגל, בעומס נקוב.
- מהירות הרוטור אחרי חיבור הראוסטט, בתום תהליך ההתנעה.

שאלה 7

מנוע השראה תלת-מופעי עם רוטור מלופף, שהספקו על הגל 20 קילוואט, פועל במתח שלוב של 400 וולט, בתדר 50 הרץ. עוצמת הזרם בסטטור, המחובר בכוכב, היא 40 אמפר. המנוע הוא בעל 6 קטבים. התנגדות הסטטור היא 0.25 אוהם למופע, והתנגדות הרוטור המשוקפת לסטטור היא 0.21 אוהם למופע. עוצמת הזרם ברוטור המחובר בכוכב, משוקפת לסטטור, היא 37 אמפר. נצילות המנוע 86% והוא מאבד הספק בברזל בשיעור של 655 וואט.

חשב את:

- מהירות סיבובי המנוע בעומס נקוב.
- המומנט הסיבובי המועבר בגל.
- החליקה הקריטית ואת מומנט השיא.

שאלה 8

מנוע השראה תלת-מופעי עם רוטור מלופף, מחובר למתח של 220 וולט בתדר 60 הרץ. למנוע 6 קטבים. הסטטור והרוטור מחוברים בכוכב. התנגדות הסטטור זניחה והיגבו 0.99 אוהם למופע. התנגדות הרוטור 30 מיליאוהם למופע והיגבו – 90 מיליאוהם למופע. בין הטבעות הפתוחות נמדד מתח של 60 וולט. המנוע העמוס מסתובב במהירות של 1140 סל"ד ואיבודי ההספק לחיכוך ואיורור הם 310 וואט.

חשב את:

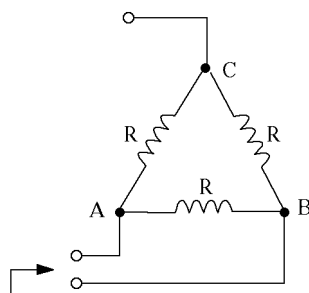
- מומנט השיא של המנוע.
- החליקה הקריטית.
- ההספק המועבר על-ידי גל המנוע.
- המומנט האלקטרו-מגנטי.

שאלה 9

הסטטור של מנוע השראה תלת-מופעי, בעל 4 קטבים, מחובר במשולש. התנגדות סלילי הסטטור שנמדדה בין ההדקים של לוח החיבורים על המנוע, היא 0.32 אוהם. המנוע מחובר למתח של 400 וולט בתדר 50 הרץ והוא צורך מהרשת הספק של 24 קילו-ואט במקדם-הספק 0.8. הנצילות היא 86% במהירות של 1410 סל"ד. איבודי ההספק בברזל הם 600 וואט.

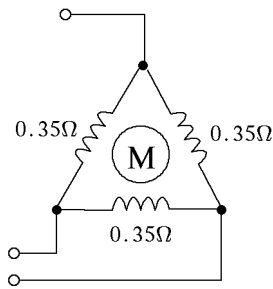
חשב את:

- איבודי ההספק בנחשת של הסטטור ושל הרוטור.
- איבודי ההספק לחיכוך ואיורור.
- המומנט הסיבובי המועבר באמצעות הגל.



התנגדות נמדדת
0.32Ω

שאלה 10

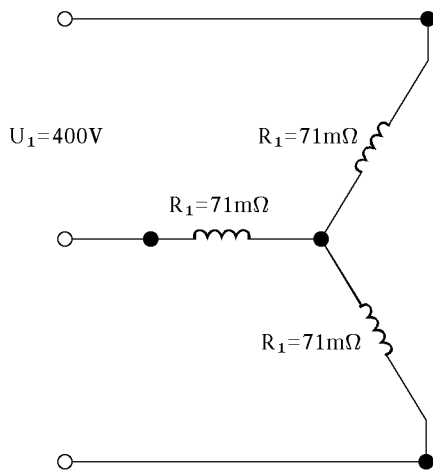


הסטטור של מנוע השראה תלת-מופעי מחובר במשולש. התנגדותו היא 0.35Ω אוהם למופע, והוא בעל 4 קטבים. הספקו הנקוב של המנוע על הגל הוא 40 כוחות סוס, כשהגל מסתובב במהירות של 1428 סל"ד. מקדם ההספק של המנוע הוא 0.88 ונצילותו 87%. איבודי ההספק המכניים של המנוע הם 2.5% מההספק הנצרך מהרשת. המנוע מחובר למתח של 400V, בתדר 50 הרץ.

חשב את:

- א. איבודי ההספק בנחשת של הסטטור ושל הרוטור.
- ב. איבודי ההספק בברזל.
- ג. המומנט הסיבובי המועבר על-ידי גל המנוע.

שאלה 11



הסטטור של מנוע השראה תלת-מופעי מחובר בכוכב והתנגדותו היא 71 מיליאוהם למופע. למנוע 6 קטבים והוא מחובר למתח של 400 וולט בתדר 50 הרץ. מקדם ההספק של המנוע הוא 0.9. המנוע מפתח הספק על הגל בשיעור של 35 קילו-ואט, במהירות סיבובית של 945 סיבובים לדקה. איבודי ההספק בסטטור הם 1.37 קילו-ואט. כדי להתגבר על החיכוך והאווורור חייב המנוע לפתח מומנט סיבובי של 20 ניוטון-מטר.

חשב את:

- א. איבודי ההספק בנחשת של הרוטור.
- ב. עוצמת הזרם במופעים של הסטטור.
- ג. איבודי ההספק בברזל.
- ד. נצילות המנוע.

שאלה 12

הסטטור והרוטור של מנוע השראה תלת-מופעי מחוברים בכוכב. למנוע 6 קטבים והשטף המגנטי לקוטב הוא 8 מיליוובר. מספר הכריכות במופע של הסטטור הוא 144 ובמופע של הרוטור – 58. מקדמי הליפוף של הרוטור והסטטור זהים ושווים ל-0.9. ההתנגדות של הרוטור הינה 72 מילאוהם למופע והיגבו 0.5 אוהם למופע. המנוע מחובר לרשת בתדר של 50 הרץ והוא עובד בחליקה של 5.4%.

חשב את:

- א. המתח השלוב של הרשת.
- ב. המתח בין 2 טבעות החלקה, כשמעגל הרוטור פתוח.
- ג. המהירות הסיבובית של הרוטור.
- ד. תדר הזרם ברוטור המסתובב.
- ה. עוצמת הזרם ברוטור המסתובב.
- ו. עוצמת הזרם ברוטור ברגע ההתנעה.

שאלה 13

מנוע השראה תלת-מופעי עם רוטור מלופף, בעל 4 קטבים, מחובר למתח שלוב של 400 וולט בתדר 50 הרץ. הסטטור מחובר בכוכב וההיגב שלו למופע הוא 2.1 אוהם. את התנגדותו הפעילה אפשר לראות כזניחה. ברוטור ניח ובמברשות מורמות נמדד מתח של 130 וולט בין 2 טבעות. התנגדות הרוטור למופע היא 36 מיליאוהם, והיגב 0.25 אוהם. אפשר להניח כי מקדמי הליפוף של הסטטור והרוטור שווים. כשהוא מקוצר, מסתובב הרוטור במהירות של 1440 סל"ד.

חשב את:

- עוצמת הזרם ברוטור ברגע ההתנעה.
- עוצמת הזרם ברוטור המסתובב.
- המומנט האלקטרו-מגנטי של המנוע.
- מומנט השיא.

שאלה 14

מנוע השראה תלת-מופעי בעל 8 קטבים, מחובר למתח של 400 וולט, בתדר 50 הרץ. המנוע מפתח על הגל מומנט סיבובי של 245 ניוטון-מטר במהירות של 720 סל"ד. איבודי ההספק לחיכוך ואוורור הם 1.43 קילו-ואט. איבודי ההספק בסטטור הם 1.87 קילו-ואט. מקדם ההספק של המנוע הוא 0.86.

חשב את:

- החליקה.
- איבודי ההספק בנחושת של הרוטור.
- ההספק שצורך המנוע.
- הנצילות.
- עוצמת הזרם בסטטור.

שאלה 15

מנוע השראה תלת-מופעי עם 6 קטבים, בעל רוטור מלופף, פועל במתח שלוב של 400 וולט, בתדר של 50 הרץ. התנגדות הרוטור היא 0.12 אוהם למופע והיגבו 0.3 אוהם למופע. מספר הליפופים במופע של הסטטור גדול פי 3.5 ממספר הליפופים למופע של הרוטור. הסטטור מחובר במשולש והרוטור בכוכב. המנוע עובד בחליקה של 5%, ומאבד הספק של 535 וואט לחיכוך ואוורור.

חשב את:

- הזרם ברוטור.
- ההספק האלקטרו-מגנטי של המנוע.
- המומנט האלקטרו-מגנטי.
- ההספק על הגל.
- המומנט הסיבובי על הגל.

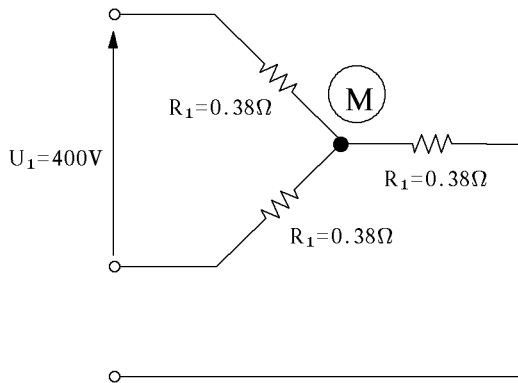
שאלה 16

מנוע השראה תלת-מופעי בעל 6 קטבים, מופעל מרשת בעלת תדר של 50 הרץ. בנצילות של 84% ההספק האלקטרו-מגנטי, המועבר מהסטטור לרוטור, הוא 12 קילו-ואט. איבודי ההספק בנחושת של הרוטור הם 720 וואט, ואילו איבודי ההספק בסטטור הם 690 וואט.

חשב את:

- המהירות הסיבובית של המנוע.
- ההספק ואת המומנט הסיבובי המועברים על ידי גל המנוע.
- ההספק המכני של המנוע (כולל איבודי הספק לחיכוך ואוורור).
- המומנט הסיבובי הדרוש כדי להתגבר על חיכוך ואוורור.

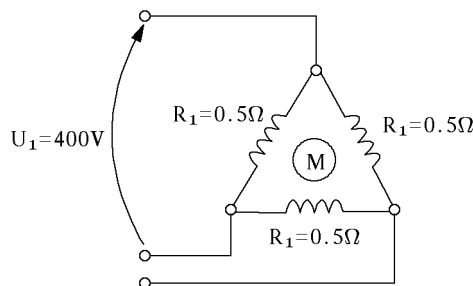
שאלה 17



הסטטור של מנוע השראה תלת-מופעי בעל 4 קטבים מחובר בכוכב. התנגדות הסטטור היא 0.38 אוהם למופע. המנוע מחובר למתח של 400 וולט בתדר 50 הרץ והוא מעביר באמצעות הגל מומנט סיבובי בשיעור של 56.4 ניוטון-מטר, במהירות סיבובית של 1440 סל"ד. עוצמת הזרם בסטטור הינה 15.4 אמפר, במקדם הספק 0.896. איבודי ההספק בברזל של המנוע הם 222 וואט. חשב את:

- ההספק המועבר על-ידי גל המנוע.
- נצילות המנוע.
- ההספק האלקטרו-מגנטי.
- איבודי ההספק בנחושת של הרוטור ואת איבודי ההספק המכניים.

שאלה 18



הסטטור של מנוע השראה תלת-מופעי מחובר במשולש. התנגדותו 0.5 אוהם למופע והוא בעל 6 קטבים. המנוע מחובר למתח של 400 וולט בתדר של 50 הרץ. בבדיקת פעולת המנוע בלי עומס על הגל, במתח נקוב, נתקבלו התוצאות האלה:
זרם ריקם של 8 אמפר; הספק ריקם – 1.2 קילו-ואט. בבדיקת המנוע בעומס, במתח נקוב, נתקבלו התוצאות האלה:
הספק נכנס – 21 קילו-ואט, זרם של 40 אמפר;
מהירות – 960 סל"ד; איבודי הספק לחיכוך ואורור – 560 וואט. חשב את:

- איבודי ההספק בברזל ובנחושת של הסטטור ובנחושת של הרוטור.
- נצילות המנוע.
- המומנט הסיבובי המועבר על ידי גל המנוע.
- מקדם ההספק של המנוע העמוס.

שאלה 19

מנוע השראה תלת-מופעי בעל שני קטבים פועל במתח של 400 וולט ובתדר של 50 הרץ. הסטטור והרוטור מחוברים בכוכב. התנגדות הסטטור היא 0.13 אוהם. כשמעגלי הרוטור פתוחים, נמדד מתח של 174 וולט בין שתיים מטבעותיו. בבדיקת קצר שבוצעה בזרם שווה לזרם הנקוב נתקבלו התוצאות האלה: מתח קצר – 36 וולט; הספק הקצר – 840 וואט. בעומס נקוב מעביר גל המנוע הספק של 12 קילו-ואט, מקדם ההספק של המנוע הוא 0.85 ונצילותו 80%. המטרה היא להתניע את המנוע במומנט התנעה שווה למומנט השיא שלו. חשב את:

- ההתנגדות שצריך להוסיף לכל מופע במעגל הרוטור, כדי לבצע את ההתנעה כאמור.
- מומנט ההתנעה.

שאלה 20

מנוע השראה תלת-מופעי בעל 4 קטבים פועל במתח של 400 וולט, בתדר של 50 הרץ. הסטטור והרוטור מחוברים בכוכב. התנגדות הסטטור זניחה. התנגדות הרוטור היא 35 מיליאוהם למופע. היגב הקצר של המנוע הוא 4 אוהם. כשמעגלי הרוטור פתוחים, נמדד מתח של 80 וולט בין שתי טבעות. המנוע העמוס עובד בחליקה של 0.04.

חשב את:

- א. המומנט האלקטרו-מגנטי.
- ב. מומנט ההתנעה.
- ג. החליקה הקריטית.
- ד. מומנט השיא.
- ה. ההתנגדות שצריך לחבר בטור למופעים של הרוטור, כדי לבצע התנעת המנוע במומנט השיא.

שאלה 21

מנוע השראה תלת-מופעי בעל 4 קטבים פועל במתח של 400 וולט בתדר של 50 הרץ. הסטטור מחובר במשולש. התנגדותו זניחה והיגבו 0.7 אוהם למופע. הרוטור מחובר בכוכב, התנגדותו 8 מיליאוהם למופע, היגבו 54 מיליאוהם למופע והמתח בין 2 טבעות כשמעגלי פתוחים הוא 180 וולט. היחס בין מומנט השיא של המנוע למומנט הנקוב הוא 1.4.

חשב את:

- א. החליקה הקריטית.
- ב. מומנט השיא.
- ג. המומנט הנקוב.
- ד. מהירות סיבובי המנוע.

שאלה 22

מנוע השראה תלת-מופעי בעל 6 קטבים, פועל במתח של 400 וולט ובתדר של 50 הרץ. התנגדות הרוטור משוקפת לסטטור היא 0.5 אוהם למופע. היגב הקצר של המנוע הוא 3 אוהם למופע. הסטטור והרוטור מחוברים בכוכב. המנוע פועל בחליקה של 4.2% ומעביר דרך גל הספק בשיעור של 11.8 קילו-ואט.

חשב את:

- א. המומנט האלקטרו-מגנטי של המנוע (תוך הזנחת התנגדות הסטטור).
- ב. ההספק האלקטרו-מגנטי.
- ג. המומנט הסיבובי על גל המנוע ואת איבודי ההספק המכניים.
- ד. עוצמת הזרם ברוטור, משוקפת לסטטור.

שאלה 23

מנוע השראה תלת-מופעי פועל במתח של 400 וולט בתדר של 50 הרץ. הסטטור הוא בעל 4 קטבים, והוא מחובר בכוכב, וכך גם הרוטור. היחס בין מספר הכריכות במופע של הסטטור לבין מספר הכריכות במופע של הרוטור הינו 3:2 ומקדמי הליפוף של הסטטור והרוטור שווים בערכם. התנגדות הרוטור הינה 80 מיליאוהם למופע והיגב הקצר של המנוע הוא 1.44 אוהם למופע. המנוע עובד בחליקה של 5% ואיבודי ההספק המכניים שלו הם 0.985 קילו-ואט. התנגדות סליל הסטטור זניחה.

חשב את:

- א. המומנט האלקטרו-מגנטי של המנוע (את התנגדות הסטטור אפשר לראות כזניחה).
- ב. ההספק האלקטרו-מגנטי.
- ג. ההספק על הגל.
- ד. המומנט הסיבובי המועבר על-ידי הגל.
- ה. עוצמת הזרם ברוטור.

שאלה 24

המומנט הנקוב של מנוע השראה תלת-מופעי הוא 400 ניוטון-מטר, במהירות של 965 סל"ד. התנגדות הרוטור היא 0.12 אוהם למופע והכא"מ המושרה במופע של רוטור נייח, מחובר בכוכב, הוא 124 וולט. אל המופעים של הרוטור חוברו, באמצעות הטבעות, שלושה נגדים של 1.33 אוהם כל אחד, וגל המנוע הועמס במומנט של 225 ניוטון-מטר.

חשב את:

- הזרם הנקוב ברוטור (לפני הוספת הנגדים).
- הזרם ברוטור אחרי הוספת הנגדים.
- המהירות החדשה.

שאלה 25

הספקו הנקוב של מנוע השראה תלת-מופעי עם רוטור מלופף, הוא 36 קילו-ואט, כשמהירות הסיבוב של הרוטור היא 720 סל"ד. למנוע 8 קטבים והוא מוזן ממקור בתדר של 50 הרץ. התנגדות הרוטור היא 0.1 אוהם למופע. כאשר מעגלי הרוטור פתוחים, נמדד מתח של 150 וולט בין הטבעות. כדי להקטין את מהירות סיבובי הרוטור, בלי שיחול שינוי במומנט העומס, חובר ראוסטט שהתנגדותו 0.4 אוהם למופע, בטור עם הרוטור.

חשב את:

- מהירות הרוטור כאשר הראוסטט מחובר.
- המומנט הסיבובי על הגל.
- הספק המנוע על הגל במהירות החדשה.
- עוצמת הזרם ברוטור לכל אחת מהמהירויות.

שאלה 26

הספקו הנקוב של מנוע השראה תלת-מופעי עם רוטור מלופף הוא 21 קילו-ואט. מהירות הרוטור 970 סל"ד. למנוע 6 קטבים והוא מוזן ממקור בתדר של 50 הרץ. התנגדות הרוטור היא 50 מיליאוהם. כדי להוריד את מהירות הרוטור ל-760 סל"ד, בלי שיחול שינוי במומנט העומס, חובר ריאוסטט בטור עם המופעים של הרוטור.

חשב את:

- המומנט הסיבובי של המנוע.
- ההתנגדות של מופע בריאוסטט.
- הספק המנוע במהירות החדשה.

שאלה 27

מנוע השראה תלת-מופעי, בעל 4 קטבים עם רוטור מלופף, מחובר למתח של 400 וולט בתדר של 50 הרץ. המנוע צורך מהרשת 24 קילו-ואט במקדם-הספק של 0.88. הרוטור מסתובב במהירות של 1440 סל"ד, ונצילותו 90%. הסטטור והרוטור מחוברים בכוכב. התנגדות הסטטור היא 60 מיליאוהם למופע והתנגדות הרוטור 20 מיליאוהם למופע. היגבו 75 מיליאוהם למופע. בין הטבעות במעגלי הרוטור הפתוחים נמדד מתח של 120 וולט.

חשב את:

- איבודי ההספק בנחשת של הסטטור והרוטור.
- איבודי הריקים $(\Delta P_0 = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{mech})$
- המומנט הסיבובי על הגל.

שאלה 28

- באילו גורמים תלויה מהירות הסיבוב של מנוע בעל רוטור מלופף, הפועל בעומס נקוב?
- באילו מקרים תעדיף להשתמש במנועים בעלי רוטור מלופף?
- מדוע דרושה התנעה מודרגת של מנוע לעומת התנעה ישירה?

שאלה 29

- הסבר את התופעות שלהלן בפעולת מנוע השראתי. לווה תשובותיך בנוסחאות מתאימות.
- מה תהיה מהירות המנוע בחליקה $s=0$, $s=1$?
 - מה יהיה הכא"מ של הרוטור אם יסתובב במהירות סינכרונית?
 - מדוע גבוה בהרבה זרם ההתנעה מזרם העבודה?

שאלה 30

מנוע השראתי תלת-מופעי $380V$, $50Hz$, בעל 8 קטבים וחליקה נומינלית 4%, צורך מהרשת $20KW$. הפסדי הסטטור $0.5KW$, המומנט הדרוש כדי להתגבר על ההפסדים המכניים של הרוטור $1Kgm$. חשב את נצילות המנוע.

שאלה 31

- למנוע השראה הפועל בתדר $50Hz$ יש 4 קטבים. הוא מסתובב בחליקה של 3.8%. חשב:
- את מהירות סיבוב המנוע
 - באיזו חליקה תהיה מהירותו 1230 סל"ד.

שאלה 32

למנוע השראה הפועל בתדר $60Hz$ יש 6 קטבים. החליקה שלו משתנה בתלות בעומס, בין 0.5% בריקם ל-6% בעומס מלא. חשב את תחום המהירויות של המנוע.

שאלה 33

- למנוע השראה תלת-מופעי. המתח המושרה ברוטור בלום הוא $125V/50Hz$ על כל סליל. התנגדות הרוטור היא 0.15Ω למופע והיגבו במצב בלום 2.8Ω למופע. לחליקות של 2%, 5%, 8% וברוטור בלום, חשב את:
- המתח המושרה ברוטור.
 - ההיגב ההשראתי של כל סליל ברוטור.
 - עכבת כל סליל ברוטור.
 - הזרם בסלילי הרוטור.
 - תדירות זרם הרוטור.

שאלה 34

מנוע השראה תלת-מופעי בעל 6 קטבים מחובר לרשת. תדירות הרשת $50Hz$ והמתח $380V$. המנוע מסתובב בחליקה של 4% וצורך זרם של $160A$. מקדם ההספק של המנוע הוא 0.85 והפסדי הנחשת והברזל בסטטור הם $1000W$. חשב את המומנט האלקטרומגנטי הפועל על הגל.

שאלה 35

נתון מנוע אסינכרוני, תלת מופעי בעל נתונים כדלקמן:

השטף: $\Phi = 2.18 \cdot 10^{-2} \text{Wb}$

מספר הכריכות בכל מופע של הסטטור: $N_1 = 96$

מספר הכריכות בכל מופע של הרוטור: $N_2 = 80$

מקדם הליפוף של הסטטור: $K_1 = 0.94$

מקדם הליפוף של הרוטור: $K_2 = 0.96$

תדירות: $f = 50 \text{Hz}$

חשב:

- הכא"מ המושרה בסלילי הסטטור במצב מנוחה.
- הכא"מ המושרה בסלילי הרוטור במצב מנוחה.
- הכא"מ המושרה בסלילי הרוטור המסתובב בחליקה של 2.6%.

שאלה 36

מנוע אסינכרוני תלת מופעי, בעל 4 קטבים, משנה את החליקה מ-0.5% עד 4% בתלות בעומס. חשב תחום שינוי המהירות של המנוע כאשר הוא מוזן בתדר של:

- 50 הרץ
- 60 הרץ
- 100 הרץ.

שאלה 37

למנוע אסינכרוני תלת-מופעי נתונים כדלקמן:

הספק – 2.8 קילו-ואט, מהירות 1420 סל"ד, נצילות 83.5%, מקדם הספק – 0.85.

זרם התנעה גדול פי 5.5 מהזרם הנקוב, מומנט מקסימלי גדול פי 2 מהמומנט הנקוב ומומנט התנעה גדול פי 1.9 מהמומנט הנקוב.

המנוע מוזן מרשת של 380/220 וולט, 50 הרץ.

חשב את:

- מספר הקטבים והחליקה.
- המומנט הנקוב.
- המומנט המקסימלי.
- מומנט ההתנעה.
- זרם נקוב וזרם התנעה בחיבור הסטטור בכוכב.
- זרם נקוב וזרם התנעה בחיבור הסטטור במשולש.

שאלה 38

האם ניתן להתניע מנוע אסינכרוני תלת-מופעי בעומס נומינלי מלא, במתח מוקטן ב-10%, אם נתון כי מומנט ההתנעה במתח מלא גדול פי 1.2 מהמומנט הנקוב.

שאלה 39

לבדיקת נתונים של מנוע אסינכרוני תלת-מופעי, כאשר הסטטור בכוכב, בוצעו ניסויים בעומס נקוב, בקצר ובריקם. תוצאות הניסויים הם כדלקמן:

220 וולט	–	מתח קווי	בעומס נקוב:
14.2 אמפר	–	זרם	
4000 ואט	–	הספק מהרשת	
960 סל"ד	–	מהירות	
50 וולט	–	מתח קווי	בקצר:
14.2 אמפר	–	זרם	
350 ואט	–	הספק מהרשת	
0	–	מהירות	
220 וולט	–	מתח	בריקם:
2.8 אמפר	–	זרם	
250 ואט	–	הספק מהרשת	

חשב את:

- הספק המנוע
- מומנט המנוע
- מקדם ההספק הנקוב
- מקדם ההספק בעבודה בריקם
- נצילות נקובה

שאלה 40

נתון מנוע אסינכרוני תלת-מופעי עם רוטור מלופף, בעל נתונים אלה: הספק 3.5 קילו-ואט, מתח 380/220 וולט, תדירות 50Hz, מהירות 910 סל"ד, נצילות 0.7, מקדם ההספק 0.73, מתח בין טבעות ההחלקה של רוטור בלום 204 וולט, זרם נקוב ברוטור 12.2 אמפר.

הסטטור מחובר בכוכב ומוזן במתח של 380 וולט והרוטור מחובר בכוכב חשב את:

- הזרם מהרשת.
- מקדם השנאה בין הזרמים K_i .
- החליקה.
- תדירות הזרם ברוטור.
- המומנט הנקוב.

שאלה 41

במכונה אסינכרונית תלת-מופעית עם רוטור מלופף, מחוברים סלילי הסטטור במשולש וסלילי הרוטור בכוכב. ברוטור 288 מוליכים ואילו בסטטור 736 מוליכים. הסטטור מחובר אל רשת של 220 וולט.

חשב את:

- הכא"מ של הסטטור.
- הכא"מ של הרוטור.
- הכא"מ של הרוטור בחליקה של 3%

שאלה 42

מנוע אסינכרוני תלת-מופעי, בעל 6 קטבים ברוטור מלופף, מוזן במתח של 3000 וולט ומפתח מומנט של 74.7 קילוגרם-מטר, במהירות של 980 סל"ד. הזרם מהרשת הוא 18.5 אמפר ומקדם ההספק הוא 0.87.

חשב את:

- הספק המנוע
- החליקה
- הנצילות.

שאלה 43

מנוע אסינכרוני תלת-מופעי, בעל 6 קטבים ברוטור מלופף מוזן במתח של 380 וולט ומפתח מומנט של 4.2 קילוגרם-מטר, בחליקה של 7% המנוע מקבל מהרשת הספק של 5.1KW וזרם של 10.6A. חשב את:

- א. מקדם ההספק
- ב. מהירות הסיבוב
- ג. ההספק
- ד. הנצילות.

שאלה 44

מנוע אסינכרוני תלת-מופעי מקבל מהרשת הספק של 60 קילו-ואט. ההפסדים בסטטור הם 1 קילו-ואט. חשב את:

- א. ההספק האלקטרו-מגנטי המועבר מהסטטור לרוטור.
- ב. הפסדי הנחשת ברוטור כאשר המנוע מסתובב בחליקה של 3% (בהנחה שניתן להזניח הפסדים מכניים).
- ג. ההספק המכני שהמנוע מפתח.

שאלה 45

נתון מנוע אסינכרוני תלת-מופעי עם רוטור מלופף. התנגדות מופע אחד של הרוטור היא 0.0174, מהירותו 705 סל"ד והתדירות היא 50 הרץ. חשב התנגדות נוספת שיש לחבר לכל מופע של הרוטור כדי שהמנוע יסתובב במהירות של 600 סל"ד, כאשר מומנט העומס אינו משתנה.

שאלה 46

בכל מופע של הסטטור במנוע השראתי תלת-מופעי יש 160 מוליכים. בכל מופע של הרוטור יש 40 מוליכים. הסטטור מחובר במשולש לרשת של 380x3 וולט. התנגדות כל מופע של הרוטור היא 0.6 אוהם והיגבו ההשראתי במנוחה הוא 2 אוהם. חשב את:

- א. זרם הרוטור בהתנעה.
- ב. זרם הרוטור ברגע שהחליקה שווה ל-8% התעלם ממפל המתח בסטטור.

שאלה 47

מנוע אסינכרוני תלת-מופעי עם רוטור כלוב (סלילי הסטטור מחוברים במשולש) מפתח, בחיבור ישיר לרשת, מומנט התנעה של 21.42 קג"מ וצורך מהרשת זרם התנעה של 260 אמפר. מוליכי הרשת מסוגלים להעביר זרמים עד 180 אמפר. המנוע מניע משאבה הדורשת מומנט התנעה של 5.1 קג"מ. האם ניתן להתניע את המנוע באמצעות מתנע כוכב משולש? נמק תשובתך.

שאלה 48

בין הנתונים של מנוע השראתי תלת-מופעי, המופיעים בקטלוג, מצאנו :
הספק נומינלי :

$$P_n = 10KW$$

$$n_n = 960rpm$$

$$\eta = 0.88$$

$$\cos \varphi = 0.85$$

$$U_n = 380V$$

$$K_m = 1.2$$

$$K_{kr} = 2.6$$

$$K_I = 5.5$$

מהירות נומינלית :

נצילות :

מקדם ההספק :

מתח נומינלי :

יחס בין מומנט התנעה למומנט נומינלי :

יחס בין מומנט קריטי למומנט נומינלי :

היחס בין זרם התנעה לזרם נומינלי :

חשב את :

א. מומנט ההתנעה.

ב. המומנט הקריטי.

ג. זרם ההתנעה.

שאלה 49

הסבר מדוע במנוע השראתי (אסינכרוני) תלת-מופעי, זרם התנעה גדול מאוד לעומת הזרם בעבודה.

שאלה 50

למנוע השראתי תלת-מופעי 4 קטבים. המנוע פועל ברשת שתדירותה 60 הרץ.
התנגדות הרוטור היא 0.062 אוהם למופע. המהירות המתאימה למומנט מקסימלי היא 1530 סל"ד.
חשב את :

א. ההיגב ההשראתי של הרוטור (למופע).

ב. התנגדות הנגד החיצוני שיש לחבר בטור עם סליל אחד של הרוטור כדי לקבל מומנט מקסימלי בעת ההתנעה.

שאלה 51

מנוע השראתי תלת-מופעי מניע ישירות גנרטור לזרם ישר (לשתי המכונות ציר משותף).
נתוני הגנרטור לזרם ישר הם אלה :

$$P = 44KW \quad \text{הספק :}$$

$$n = 1450rpm \quad \text{מהירות סיבוב :}$$

$$\eta = 0.88 \quad \text{נצילות :}$$

המנוע ההשראתי מוזן מרשת תלת-מופעית, 50 הרץ במתח קווי של 380 וולט.
נתוני המנוע הם אלה :

$$\cos \varphi = 0.85 \quad \text{מקדם ההספק :}$$

$$\eta_M = 0.86 \quad \text{נצילות :}$$

חשב את :

א. עוצמת הזרם שהמנוע צורך מהרשת.

ב. מספר הקטבים במנוע.

ג. החליקה במנוע.

שאלה 52

מנוע השראתי תלת-מופעי בחיבור כוכב, פועל במתח שלוב של 380 וולט, זרם התנעה של 260 אמפר ומומנט התנעה של 210Nm.
רשת הזינה מסוגלת לסבול זרם מקסימלי של 180A.
המנוע מפעיל מתקן המצריך מומנט התנעה של 100Nm.
בדוק, האם אפשר להתניע את המנוע בעומס, על-ידי חיבור סלילים בטור עם שלושת מופעי המנוע.

שאלה 53

במנוע השראתי תלת-מופעי, עם רוטור מלופף, קיים שטף מגנטי: $\Phi = 45 \cdot 10^{-3} \text{Wb}$
בליפוף הסטטור 360 כריכות ומקדם הליפוף הוא $K_1 = 0.935$.
בליפוף הרוטור 30 כריכות ומקדם הליפוף הוא $K_2 = 0.956$.
תדירות הרשת 50 הרץ.
חשב את:
א. הכא"מ המתפתח בסטטור.
ב. הכא"מ המתפתח ברוטור הבלום.
ג. הכא"מ המתפתח ברוטור בחליקה של $s = 0.04$.

שאלה 54

נתון מנוע אסינכרוני תלת-מופעי בעל הספק מכני של 6KW ומהירות של 1425 סל"ד. על ציר המנוע מרכיבים גלגל רצועה שקוטרו 16.5 ס"מ. תדירות הזרם ברשת 50 הרץ.
חשב את:
א. המומנט המכני של המנוע (M).
ב. הכוח הפועל על הרצועה (F).
ג. תדירות הזרם המושרה בסלילי הרוטור.

שאלה 55

נתון מנוע השראתי תלת-מופעי, בעל הנתונים האלה:

$$U_n = 380V$$

$$P_{2n} = 9KW$$

$$n_{2n} = 1470rpm$$

$$\cos \varphi_n = 0.82$$

$$\eta_n = 90\%$$

$$f_1 = 50Hz$$

חשב את:

- המהירות הסינכרונית, תדירות הזרם המושרה ברוטור ואת החליקה.
- עוצמת הזרם הזורם בסלילי הסטטור, אם הסלילים מחוברים במשולש.

שאלה 56

מנוע אסינכרוני תלת-מופעי, בעל 4 קטבים בכל מופע, מחובר לרשת שתדירותה 60Hz. ההתנגדות האוהמית של הרוטור, לכל מופע היא 0.07Ω , המהירות המתאימה למומנט מקסימלי היא 1530 סל"ד.
חשב:

- את ההיגב ההשראתי של הרוטור, למופע אחד.
- מהי התנגדותו של הריאוסטט החיצוני שיש לחבר בטור עם כל סליל של העוגן, כדי לקבל מומנט מקסימלי בעת ההתנעה?

שאלה 57

- נתון מנוע דלנדר, המסוגל לספק שתי מהירויות שונות ברוטור. עבור המהירות הראשונה n_2' , מחוברים סלילי הסטטור כך, שיתקבלו 6 קטבים לכל מופע. עבור המהירות השנייה n_2'' , מחוברים סלילי הסטטור כך שיתקבלו 2 קטבים לכל מופע.
- המנוע מחובר לרשת תלת-מופעית בעלת תדירות של 50Hz . התנגדות העוון במופע אחד היא 0.03 אוהם. מניחים שהתנגדות העוון קבועה בשני סוגי החיבור.
- החליקה המקסימלית היא: $s_{\max} = 0.12$ חשב את:
- המהירויות הסינכרוניות והאסינכרוניות בשני סוגי החיבור בחליקה מקסימלית.
 - ההיגב ההשראתי של הרוטור.
 - התנגדות הריאוסטט לכל מופע, הדרושה כדי לקבל מומנט מקסימלי בעת התנעה.

שאלה 58

להלן נתונים של מנוע אסיכרוני תלת-מופע:

$$P_{2n} = 25\text{KW}$$

$$\eta_{\max} = 85\%$$

$$\cos \varphi = 0.90$$

$$U_n = 400\text{V}$$

חשב את:

- עוצמת ההפסדים הקבועים (מגנטיים ומכניים) $\Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{mech}$ (קבועים)
 - עוצמת ההפסדים המשתנים (האווהמים בנחושת והנוספים) כאשר הנצילות מקסימלית.
 - עוצמת הזרם בסטטור, בחיבור כוכב, כאשר הנצילות מקסימלית.
- הערה: נצילות מירבית מתקבלת כאשר ההפסדים הקבועים שווים להפסדים המשתנים.

שאלה 59

נתון מנוע השראתי תלת-מופע בעל הספק מכני של 12KW ומתח נומינלי של 410V .

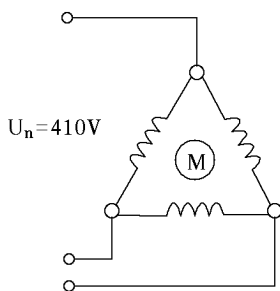
$$\cos \varphi = 0.80$$

$$\eta_n = 80\%$$

$$\Delta P = 85\text{W} \text{ קבועים} \text{ הפסדים קבועים מגנטיים ומכניים יחד}$$

חשב את:

- עוצמת הזרם בסלילי הסטטור (חיבור משולש).
- עוצמת ההפסדים המשתנים (אווהמים והנוספים).



שאלה 60

נתון מנוע אסיכרוני תלת-מופע בעל הספק מכני של 10KW ומהירות של 1400 סל"ד. על ציר המנוע מורכב גלגל רצועה שעליו פועל כוח מכני של 550N . תדירות הזרם ברשת היא 60Hz . חשב את:

- המומנט המכני על המנוע (ביחידות "Nm" ו-"kgm").
- קוטרו של גלגל הרצועה.
- תדירות הזרם המושרה ברוטור.

שאלה 61

מנוע השראתי תלת-מופעי, בעל 6 קטבים, מחובר לרשת במתח של 380V ובתדירות של 50Hz. מהירות המנוע 900 סל"ד והוא צורך זרם של 20A (בחיבור כוכב).

$$\cos \varphi_n = 0.89$$

$$\eta_n = 90\% \quad \text{נצילות נקובה:}$$

חשב את:

- החליקה והמהירות הסינכרונית.
- המומנט המכני וההספק המכני.

שאלה 62

חשב את המומנט המתאים ל-120% מהמתח הנומינלי, אם המומנט הנומינלי של המנוע ההשראתי שווה ל-100Nm. חשב גם את המומנט המתאים למתח הנמוך ב-15%.

שאלה 63

מנוע השראתי תלת-מופעי בחיבור דלתור (שתי מהירויות) צורך זרם של 60A מרשת בעלת תדירות של 50Hz, ומתח של 380V.

בשני סוגי החיבורים, מקבלים בכל מופע פעם 6 קטבים ופעם 2 קטבים. החליקה בשני המצבים היא 0.03. הנצילות ומקדם ההספק שווים שניהם ל-0.92.

חשב את:

- המהירויות בשני המצבים.
- המומנט המכני בשני המצבים.

שאלה 64

מהי מכונה אסינכרונית? כיצד היא בנויה ומהו עקרון פעולתה?

שאלה 65

מנוע השראה תלת-מופעי מחובר לרשת דרך מתנע כוכב-משולש.

על שלט המנוע רשום: $10HP ; 400V ; 3 \sim ; 50Hz ; \cos \varphi = 0.87 ; \eta = 0.8$. זרם התנעה גדול פי 5 מהזרם הנומינלי.

חשב את:

- זרם ההתנעה בחיבור ישיר לרשת
- זרם ההתנעה בחיבור דרך המפסק כוכב-משולש.

שאלה 66

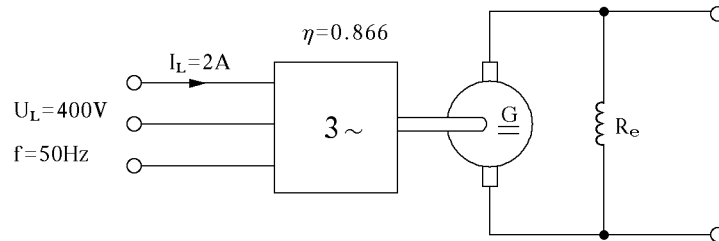
מנוע השראה תלת-מופעי עם רוטור מלופף, בעל 6 קטבים, מחובר למתח של 400 וולט בתדר של 50 הרץ. בעומס נקוב על הגל מסתובב הרוטור במהירות של 970 סל"ד. מומנט-השיא של המנוע הוא 250 ניוטון-מטר והוא מופיע במהירות של 820 סל"ד. איבודי ההספק המכניים בעומס נקוב הם 135 ואט. את התנגדות המופעים של הסטטור אפשר לראות כזניחות.

חשב את:

- ההספק המועבר על-ידי גל המנוע.
- המומנט הסיבובי על הגל.
- עוצמת הזרם ברוטור, משוקפת לסטטור.

שאלה 67

באיור מתואר מנוע תלת-מופעי המניע גנרטור לזרם ישר בעירור מקבילי. המנוע הוא אסינכרוני ומהירותו הסינכרונית היא 3000 סל"ד והחליקה – $s=3\%$.



- א. מהי מהירות הציר המניע את הגנרטור?
- ב. מהו ההספק שצורך המנוע האסינכרוני מרשת החשמל (בהנחה ש $\cos \varphi = 1$)?
- ג. מהו ההספק המועבר לגנרטור אם נצילות המנוע האסינכרוני היא $\eta = 0.866$?
- ד. מהו הכא"מ שמתפתח בגנרטור לזרם ישר, אם $K\phi = 0.06873$?

שאלה 68

מנוע השראה תלת-מופעי המחובר במשולש, פועל במתח של 400V/50Hz. הספקו 5HP, נצילותו 68% והוא מסתובב במהירות 735 סל"ד. גורם ההספק 0.76. חשב את:

- א. הזרם שצורך המנוע (הזרם בקו המנוע)
- ב. הזרם בסלילי הסטטור
- ג. מספר הקטבים בסטטור
- ד. החליקה של המנוע
- ה. הזרם וההספק שצורך המנוע בהיותו מחובר בכוכב לאותו מתח
- ו. תדירות זרם הרוטור.

שאלה 69

מנוע השראה תלת-מופעי המחובר בכוכב לרשת 400V / 50Hz, צורך ממנה הספק חשמלי של 28KW. זרם המנוע 46.5A. המנוע מסתובב במהירות של 2880 סל"ד. ההתנגדות האוהמית של כל מופע בסטטור היא 0.158Ω . הפסדי הברזל 800W. ההפסדים המכניים זניחים. חשב את:

- א. הפסדי הנחושת בסטטור
- ב. הפסדי הנחושת ברוטור
- ג. ההספק המכני בציר
- ד. המומנט על הציר
- ה. נצילות המנוע.

שאלה 70

- מנוע תלת-מופעי מחובר לרשת חשמלית.
- א. מהו ערך החליקה ברגע ההתנעה (מהירות הרוטור ברגע ההתנעה היא אפס)
 - ב. מהי תדירות המתח המושרה ברוטור ברגע ההתנעה?

שאלה 71

למנוע השראתי תלת-מופעי הנתונים האלה:

$$P_{mech} = 3HP$$

$$U = 400V$$

$$\cos \varphi = 0.8$$

$$\eta = 88\%$$

המנוע מחובר בחיבור משולש.
הזרם בהתנעה ישירה גדול פי 6 מן הזרם הנומינלי של המנוע.
חשב את עוצמת הזרם בהתנעה על-ידי חיבור כוכב-משולש של סלילי הסטטור.

שאלה 72

א. סרטט אופיין של מומנט של מנוע השראה אסינכרוני כתלות במהירות.
ציין את הנקודות החשובות באופיין:

- (1) מומנט נומינלי
- (2) מומנט מקסימלי שנקרא גם מומנט קריטי
- (3) מומנט התנעה (M_0).

ב. הסבר מהי הבעיה כאשר מומנט ההתנעה קטן מהמומנט הנומינלי.

שאלה 73

נתון מנוע אסינכרוני תלת-מופעי בעל שישה קטבים (שלושה זוגות קטבים). המנוע מחובר למתח של 400 וולט וצורך זרם של 180 אמפר בגורם הספק 0.85. תדר הרשת 50 הרץ. הפסדי הברזל והנחושת בסטטור הם 1500 ואט יחד. המנוע עובד בחליקה של 3.5 אחוז ונצילותו $\eta = 0.97$.

- א. באיזו מהירות מסתובב הרוטור?
- ב. מהו המומנט האלקטרו-מגנטי הנמסר לרוטור?
- ג. מהם ההפסדים ברוטור?
- ד. מהו המומנט על ציר המנוע?

שאלה 74

מנוע השראה תלת-מופעי עם רוטור מלופף, בעל 6 קטבים, מוזן ממקור בתדר של 50 הרץ. הספקו הנקוב של המנוע הוא 40 קילו-ואט בחליקה של 3.6% ונצילותו היא 86%. התנגדות הרוטור היא 30 מיליאומהם למופע. כדי להקטין את מהירות סיבובי הרוטור ב-25%, בלי שיחול שינוי במומנט העומס, חוברו נגדים באמצעות הטבעות בטור עם המופעים של הרוטור.
חשב את:

- א. התנגדותם של הנגדים שחוברו לרוטור.
- ב. הספק המנוע על הגל במהירות החדשה.
- ג. נצילות המנוע במהירות החדשה.

שאלה 75

למנוע השראה תלת מופעי המחובר בחיבור משולש הנתונים האלה:

$$P_{mech} = 4HP$$

$$U = 400V$$

$$\cos \varphi = 0.83$$

$$\eta = 90\%$$

הזרם בהתנעה ישירה גדול פי 6 מהזרם הנומינלי של המנוע.
חשב את עוצמת הזרם בהתנעה על ידי חיבור כוכב משולש של סלילי הסטטור.

שאלה 76

מנוע השראתי תלת-מופעי בעל רוטור כלוב, פועל במתח קווי של $400V$. המנוע צורך זרם קווי של $50A$. סטטור המנוע מחובר במשולש. ההספק הנצרך מהרשת הוא $28KW$, מהירות הסיבוב הנומינלית של הרוטור היא $2850rpm$, התנגדות מופע בסטטור 0.16Ω , הפסדי הברזל הכוללים $750W$ ונצילות המנוע 89% . החליקה הקריטית שווה ל- 0.24 , המומנט המירבי גדול פי 3 מהמומנט הנומינלי. חשב את:

- א. הפסדי הנחשת ברוטור ובסטטור ואת ההפסדים המכניים.
- ב. המומנט על הציר.
- ג. המומנט האלקטרומגנטי.
- ד. מומנט החיכוך.
- ה. מומנט ההתנעה של המנוע.

3.ב: מנוע השראה תלת-מופעי – מבנה

שאלה

שאלה 77

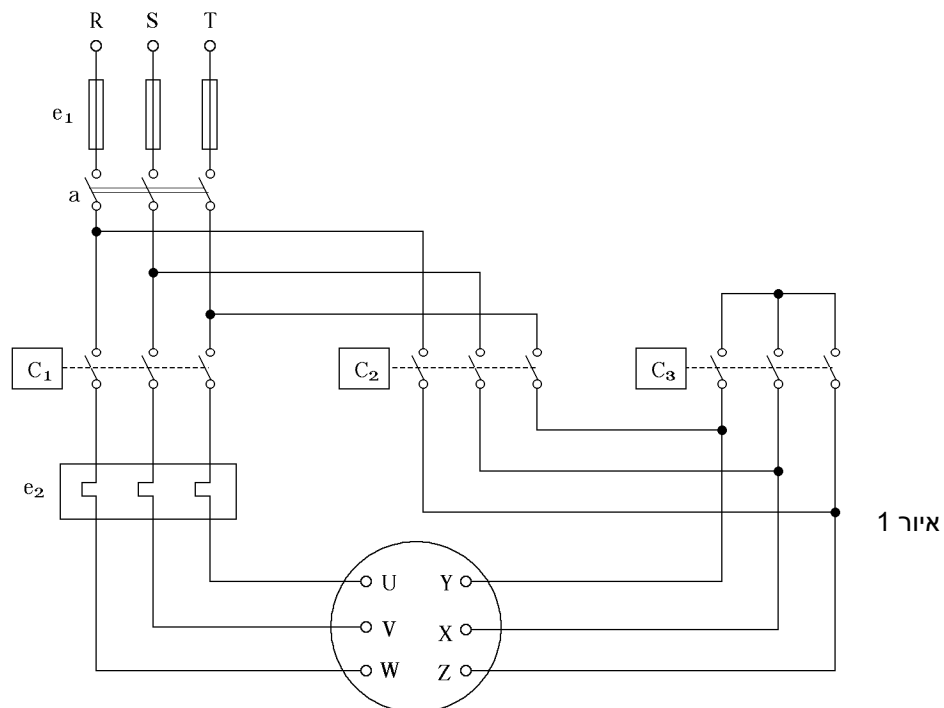
הסבר ותאר שיטות התנעה למנועי השראה, שהנך מכיר:
 א. בעלי רוטור כלוב
 ב. בעלי רוטור מלופף.

פתרון

שיטות התנעה למנועי השראה תלת-מופעיים, בעלי רוטור כלוב ורוטור מלופף
 למנועים בעלי הספק מעל 4HP, דורשת חברת החשמל נקיטת אמצעים להקטנת זרמי התנעה, כדי למנוע הפרעות גדולות ברשת (בעיקר בגלל מפלי מתח פתאומיים).

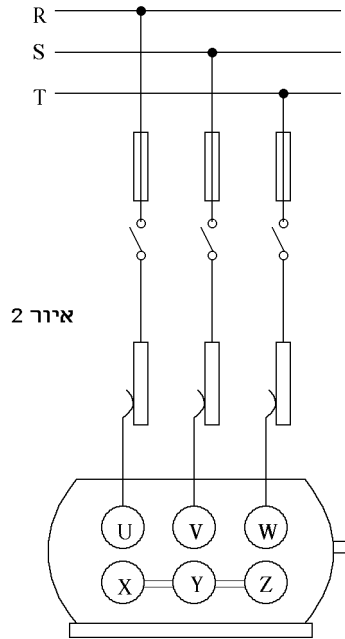
א. למנועים בעלי רוטור כלוב, כל השיטות להקטנת זרם ההתנעה מתבססות על ירידת המתח ברגע התנעה. משום כך יש לכל השיטות האלה חיסרון משותף והוא הקטנת מומנט ההתנעה (שתלוי במתח בריבוע). נתאר את השיטות הנפוצות להתנעת בעלי רוטור כלוב.

1) התנעה בעזרת מתנע כוכב-משולש (איור 1)
 שיטה זו מתאימה רק למנועים המחוברים במשולש, עם 6 הדקים. תחילה מחבר המתנע את שלושת הסלילים הסטטוריים בכוכב. במצב זה המתח בכל סליל יקטן פי $\sqrt{3}$ מהנקוב. כשהמהירות מגיעה לכ-65% ממהירות הסיבוב הנקובה, ממתגים את חיבור הסלילים מכוכב למשולש. כתוצאה משימוש במתנע Y/Δ , הזרם בקו המתנע מוקטן פי 3 לעומת התנעה ישירה. חסרון השיטה הוא שמומנט ההתנעה מוקטן פי 3.



(2) התנעת בעזרת מתנע נגדים (איור 2)

הנגדים מחוברים בטור לליפופי הסטטור. ניתן לחברם לפני הליפופים או אחריהם. שיטה זו אינה נפוצה, בגלל הפסדי אנרגיה בנגדי המתנע. גם הייצור המכני של המתנע צריך להיות קפדני כדי להבטיח מגע טוב בעת ההתנעה.



איור 2

(3) התנעה בעזרת מתנע שנאי עצמי (איור 3)

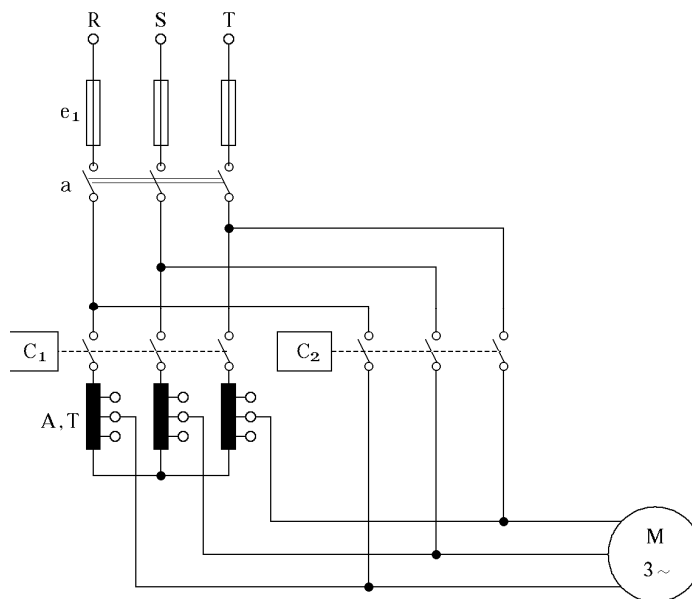
שיטה זו משמשת בדרך כלל להתנעת מנועים בעלי הספק שמעל ל-15KW וכאשר אי אפשר להשתמש במתנע כוכב-משולש (למשל למנועים מיועדים לעבוד בכוכב, או שיש להם גישה רק לשלושה הדקים).

לפי שיטה זו הזרם ברשת קטן (לעומת הזרם בחיבור ישיר) לפי ריבוע יחס הקטנת המתח:

$$I_{ק} = K^2 I_{מנוע}$$

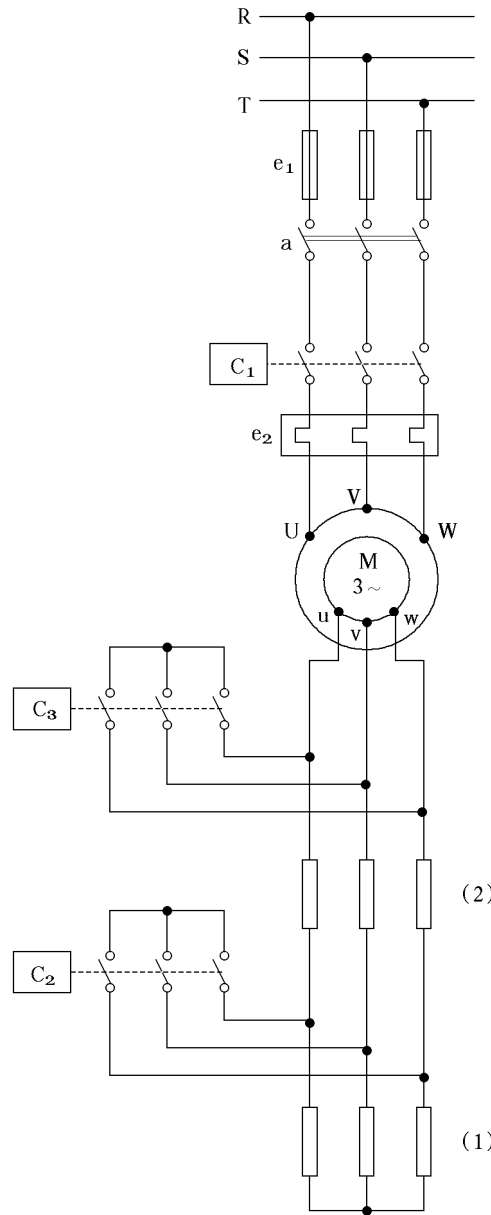
למשל, אם המתח מוקטן פי 2 ($K=2$) הזרם בקו מוקטן פי 4.

יתרון שיטה זו הוא שהמומנט התחלתי M_{st} אינו מוקטן באותה מידה, כמו זרם ההתנעה ברשת.



איור 3

4) התנעת מנועים בעלי רוטור מלופף בעזרת מתנע נגדים (איור 4)



איור 4

ב. משתמשים במנועים בעלי רוטור מלופף במקרים האלה:

- 1) מכונה גדולה שדרוש לה מומנט התנעה גדול כדי להתגבר על התנגדות החלקים הכבדים להאצתם.
 - 2) כאשר נדרשת הגבלה גדולה של זרם התנעה.
 - 3) כאשר נדרש ויסות מהירות הסיבוב בתחום רחב.
- בעת חיבור המנוע לרשת, המתנע מחובר בשלמותו בטור עם סלילי הרוטור. כאשר מהירות הסיבוב עולה, מקצרים בהדרגה את הדרגות של הנגדים. בהגיע המנוע למהירות האסינכרונית מקוצר הרוטור לגמרי. הקונטקטור C_1 מחבר את הסטטור לרשת. על-ידי הפעלת הקונטקטור C_2 מקצרים דרגה (1) של המתנע והפעלת הקונטקטור C_3 מקצרת את הדרגה השנייה (2) של המתנע והרוטור נשאר מקוצר.

שאלה 78

- א. הסבר מדוע, ברגע ההתנעה, הזרם הדרוש על-ידי מנוע אסינכרוני תלת-מופעי גדול בהרבה לעומת הזרם בזמן העבודה?
- ב. באיזה סוג של מנוע אסינכרוני תלת-מופעי ניתן להגדיל את מומנט ההתנעה וכיצד?
- ג. הסבר בקיצור איך ניתן להקטין את זרם ההתנעה במנוע אסינכרוני עם רוטור כלוב כפול?

שאלה 79

איך ניתן לשנות את מהירות הסיבוב של מנוע אסינכרוני תלת-מופעי? לווה את הסברך בתרשימים מתאימים.

שאלה 80

תאר את השיטות להתנעת מנוע השראתי אסינכרוני תלת-מופעי הידועות לך.

שאלה 81

- אחד המופעים, במנוע השראתי תלת-מופעי, צורך זרם כפול מאשר כל אחד משני המופעים האחרים. הסבר:
- א. מה משמעות התקלה?
- ב. כיצד מגלים אותה?
- ג. כיצד מתקנים אותה?

שאלה 82

- א. ציין שיטות התנעה של מנועים אסינכרוניים.
- ב. סרטט תרשים רב-קווי של חיבור מנוע תלת-מופעי לרשת והתנעה בעזרת מתנע נגדים (מחובר למעגל הרוטור).

שאלה 83

מנוע המאוחסן זמן ממושך עלול לספוג רטיבות. לפיכך רצוי לבדוק את התנגדות הבידוד ב"מגר" (מד התנגדות) של 500 וולט. ערכה המינימלי – R_{\min} – חייב להיות:

$$R_{\min} = \frac{20U}{1000 + 1.5P}$$

כאשר:

R_{\min} – התנגדות הבידוד (מגהאוהם – $M\Omega$)

U – מתח הרשת (וולט)

P – הספק המוצא (כ"ס – HP).

נתוני המנוע התלת-מופעי K132S הם: $n = 2890 \text{rpm}$; $I = 14 \text{A}$; $\eta = 0.86$; $400/230 \text{V}$;

$\cos \varphi = 0.88$; התנגדות הבידוד – $5.5 M\Omega$.

האם התנגדות הבידוד מספקת?

שאלה 84

תן לפחות ארבע סיבות הגורמות לכך שמנוע השראתי אינו מתחיל להסתובב. הסבר כיצד תאתר ותמנע את התקלה האפשרית.

שאלה 85

תאר, סרטט והסבר את שיטת ההתנעה בעזרת מתנע נגדים, למנוע השראתי תלת-מופעי עם רוטור כלוב.

שאלה 86

- א. אילו קשיים קיימים בהתנעתו של מנוע השראה אסינכרוני תלת מופעי?
- ב. מהו חיבור כוכב משולש ובמה הוא מסייע להתנעת המנוע?
- ג. איך אפשר להגדיל את המומנט בהתנעה?

שאלה 87

הסבר את עקרון הפעולה של מנוע סינכרוני.

שאלה 88

מנוע דלנדר בעל שתי מהירויות כוכב-כוכב כפול, חובר בטעות כמנוע תלת-מופעי בעל מהירות אחת בחיבור כוכב. מהי ההשפעה על המנוע? נמק תשובתך.

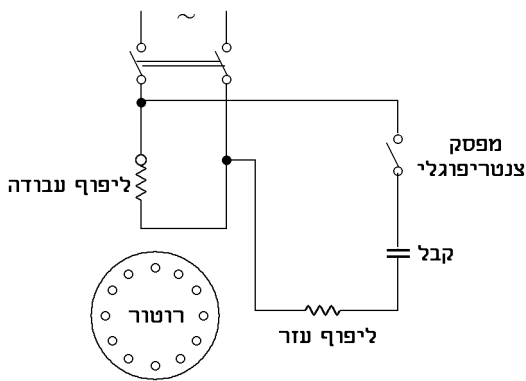
ג.3: מנוע השראה חד-מופעי

שאלה 89

- א. מהן שיטות ההתנעה המקובלות עבור מנוע השראה חד-מופעי?
 לווה את הסברך בתרשימים מתאימים.
 ב. מנוע תלת-מופעי מתחמם בעבודתו יתר על המידה.
 מנה סיבות להתחממותו והצע פתרון מעשי לבעיה זו.

פתרון

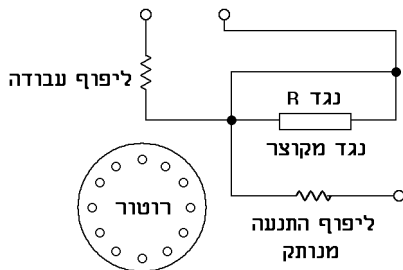
- א. שיטות התנעה של מנוע השראתי חד-מופעי עיקרון המשותף לכל שיטות ההתנעה הוא יצירת מומנט התחלתי. זאת על ידי יצירת שדה מגנטי מסתובב בעזרת מקור שטף נוסף, המוזז מן השטף הראשי, מבחינת המופע והמיקום הזוויתי. קיימות מספר שיטות התנעה:



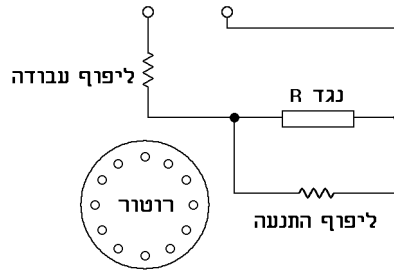
איור 1

1) התנעה בעזרת ליפוף עזר וקבל (איור 1)
 תפקיד סליל העזר והקבל ליצור מומנט התחלתי בכיוון מסוים. בעזרת הקבל מקדים הזרם דרך ליפוף העזר את הזרם בסליל העבודה בזווית בת 90° . בתום ההתנעה יש לנתק את ליפוף העזר מהרשת על ידי מפסק צנטריפוגלי (כאשר המהירות הסיבובית של הרוטור מגיע לכ-70% מערכה הנקוב, פותח המפסק הצנטריפוגלי את מגעיו). שיטת התנעה זו מקובלת במתקנים הדורשים מומנט התנעה ניכר: $M_{st} = (2 \div 3)M_n$, כדוגמת מתקני מיזוג אוויר, מחדסים, מקררים וכדומה.

- 2) התנעה על-ידי פיצול הליפופים (איור 2)
 בשיטה זו נעשית ההתנעה בשתי דרגות על ידי מתנע מיוחד. בדרגה (א), אופיו השראתי של סליל ההתנעה גורם להפרש מופע ניכר בין זרמו והזרם דרך הנגד. בתום פעולת ההתנעה מעבירים את המתנע לדרגה השנייה (ב). במצב זה רק ליפוף העבודה מחובר, ליפוף ההתנעה נשאר פתוח והנגד מקוצר. שיטה זו נפוצה במתקנים שאינם דורשים מומנט התנעה גדול במיוחד (כגון מאוררים).



ב

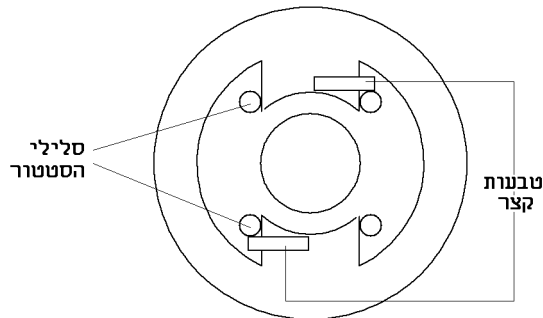


א

איור 2

- 3) התנעה בשיטת טבעות הקצר (איור 3)
 שיטה זו שימושית רק במנועים בעלי הספק נמוך מאוד, הדורשים מומנט התחלתי נמוך מאד (מאוררים, פטיפונים). בטבעת הקצר מושרה זרם, הנמצא בהפרש מופע כלפי הזרם בליפוף

הסטטור. מתקבל שדה מסתובב היוצר מומנט קטן ביותר, אבל מספיק עבור מנועים בעלי הספק נמוך (5W עד 25W)



איור 3

- ב. סיבות להתחממותו של מנוע תלת-מופע ופתרון מעשי
- (1) עומס יתר (הקטן את העומס והגדל את הספק המנוע)
 - (2) מיתוג המנוע לעתים קרובות מידי (הגדל זמן ההפסקה או השתמש במנוע בעל רוטור מלופף)
 - (3) מתח יתר (מותר עד 5% בלבד)
 - (4) מתח נמוך מאד (בדוק מתח הרשת ושטח החתך של מוליכי המתקן)
 - (5) נתק באחד המופעים (בדוק בעזרת נורות ביקורת)
 - (6) נתק בליפוף (אם הנתק נמצא בחיבור להדקים – תקן אותו)
 - (7) קצר בין הכריכות או בין הליפוף לגוף (לפף מחדש)
 - (8) אוורור גרוע (נקה את מעברי האוורור)
 - (9) המאוורר אינו מסתובב (שנה כיון הסיבוב או החלף את המאוורר)
 - (10) הרוטור מתחכך בסטטור (החלף מסבים)
 - (11) גופים זרים בין הרוטור לסטטור (פרק וסלק)
 - (12) תנאי עבודה אינם מתאימים למנוע (החלף המנוע לתנאים הדרושים)

שאלה 90

- א. מדוע יש להוסיף קבל למנוע השראה חד-מופע?
- ב. מה יש לעשות כדי לשנות את כיוון הסיבוב במנוע השראה חד-מופע?

שאלה 91

ערוך תרשים חיבורים של מנוע השראתי חד-מופע, הכולל ליפוף ראשי ועזר, מפסק צנטריפוגלי וקבל התנעה והסבר את תפקידם של כל המרכיבים.

שאלה 92

תאר את השיטות הידועות לך להתנעת מנוע השראתי אסינכרוני חד-מופע.

שאלה 93

במנוע השראה חד מופעי מורכבים קבל ומפסק צנטריפוגלי. הסבר את התפקיד שממלא כל אחד מהפריטים האלה ואת עקרון פעולתם.

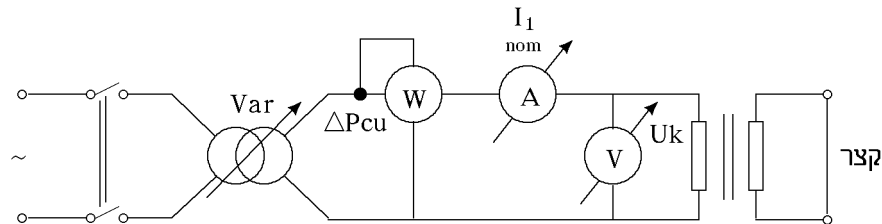
פתרונות לנושא 2

פתרונות לנושא 2.א

פתרון שאלה 1 – ראו עמוד 7

פתרון שאלה 2

לבדיקת הפסדי הנחושת, מקצרים את הצד המשני של השנאי ומעלים את המתח בצד הראשוני על ידי ווריאק עד לקבלת זרם נומינלי בצד הראשוני. כאשר מקבלים זרם נומינלי ניתן למדוד בצד הראשוני, את מתח הקצר, ובנאטמטר בראשוני, את הפסדי הנחושת של השנאי. הפסדי הנחושת נובעים מהתנגדות המוליך בסלילים שגורם להתחממות השנאי, לכן בבדיקת קצר בודקים גם את התחממות השנאי בעבודה ממושכת.



פתרון שאלה 3

א. גרעין השנאי עשוי פחים רבים המבודדים זה מזה כדי למנוע זרמי מערבולת שנוצרים משינוי השטף בגרעין השנאי. זרמי מערבולת אלה נוצרים כיוון שהשנאי עובד בזרם חילופין ומשנה את כיוון השטף בגרעין כל הזמן (גודלו וכיוונו). זרמי המערבולת גורמים להפסדים והתחממות השנאי, לכן מקטינים אותם על-ידי השימוש בפחים.

ב. שנאי עובד על עקרון השראה עצמית בסליל ראשוני והשראה הדדית בסליל משני, השראה

והתפתחות כא"מ יכולות להיווצר רק אם השטף משתנה כל הזמן ($E = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta T}$ חוק פרדיי). לכן

בזרם ישר יהיה שטף קבוע ולא יהיה כא"מ שיתפתח (לא בסליל הראשוני ובוודאי שלא בסליל המשני).

ג. חשיבות השנאים במערכת החשמל הארצית היא בשינוי פרמטרים של ההספק. ביציאה מתחנת

הכוח הם מעלים את המתח כך שהזרם יהיה נמוך וההפסדים $\Delta P = I^2 \cdot R$ לאורך הקווים יהיו נמוכים יחסית כדי שיהיה אפשר לחסוך בשטח חתך של מוליכים.

ליד הבית או באזורי מגורים מורידים השנאים את המתח למתח שנוכל להשתמש בו - ממתח גבוה למתח נמוך.

פתרון שאלה 4

נתון:	חשב:
שנאי חד-מופעי	א. $N_2 = ?$
$S = 1.5 KVA$	ב. $I_{1n} = ?$
$U_{1n} / U_{2n} = 230V / 75V$	ג. $I_{2n} = ?$
$N_1 = 250T$	ד. $\begin{cases} d_2 = ? \\ j_2 = j_1 \end{cases}$
$d_1 = 1.5mm$	קוטר מסחרי כל 0.1 מ"מ

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \Rightarrow N_2 = \frac{N_1 \cdot U_{2n}}{U_{1n}} = \frac{250 \cdot 75}{230} = 82T \quad .א$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{1500}{230} = 6.52A \quad .ב$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{1500}{75} = 20A \quad .ג$$

$$j_1 = \frac{I_{1n}}{A_1} ; A_2 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 1.5^2}{4} = 1.766mm^2 ; j_1 = \frac{I_{1n}}{A_1} = \frac{6.52}{1.766} = 3.692A/mm^2 \quad .ד$$

$$j_2 = j_1 = 3.692 \frac{A}{mm^2} ; j_2 = \frac{I_{2n}}{A_2} \Rightarrow A_2 = \frac{I_{2n}}{j_2} = \frac{20}{3.692} = 5.417mm^2$$

$$A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} \Rightarrow d_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5.417}{3.14}} = 2.627 \Rightarrow d_2 = 2.7mm \quad \text{קוטר מסחרי}$$

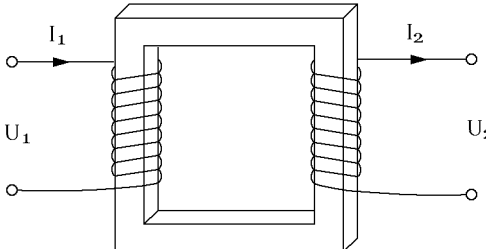
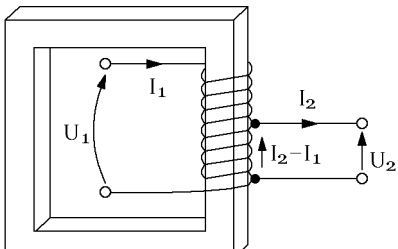
פתרון שאלה 5

חשב:	נתון:
$U_2 = ?$	א. שנאי חד-מופעי
$I_1 = ?$	ב. $U_1 = 230V$
	ג. $R = 50\Omega$ צרכן
	ד. $I_2 = 2.5A$ צרכן

$$U_2 = I_2 \cdot R = 2.5 \cdot 50 = 125V \quad .א$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \Rightarrow I_1 = \frac{I_2 \cdot U_2}{U_1} = \frac{2.5 \cdot 125}{230} = 1.36A \quad .ב$$

פתרון שאלה 6

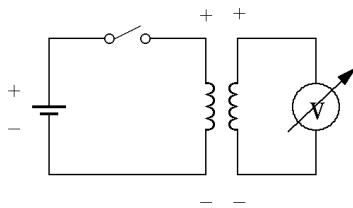
שנאי חד-מופעלי	שנאי עצמי
	
<p>יתרונות אין צורך בסנף אמצעי שמסבך את הליפופים. יש הפרדה חשמלית בין הסליל הראשוני והמשני וההספק מועבר על ידי שטף חשמלי בלבד. לכן הוא מגן (שיטת הפרד-מגן) ומונע סגירת מעגל חשמלי בהתחשמלות. יותר בטוח בעת תקלות חשמליות.</p>	<p>יתרונות פשוט וזול יחסית כי יש לו ליפוף אחד בלבד. ניתן להשתמש במוליכים בעלי שטח חתך קטן יותר בחלק מהשנאי (בחלק שבו זורם הזרם $I_2 - I_1$), כיוון שזורם בקטע זה זרם קטן יותר וכך אפשר לחסוך מקום. באותו הספק הליבה קטנה יותר.</p>
<p>חסרונות גדול יותר, כבד יותר, יקר יותר. המוליכים חייבים להיות בקוטר מתאים לזרם שצורכים מהשנאי במשני או שהשנאי צורך בראשוני.</p>	<p>חסרונות החיבור בין המתח הראשוני והמשני הוא דרך מוליכים ולא דרך שטף מגנטי ולכן אין הפרדה חשמלית בין הראשוני למשני. דבר זה עלול לגרום לבעיות ותקלות ולכן שנאי זה אינו יכול לשמש כשנאי הפרד-מגן ולמנוע סגירת מעגל חשמלי בהתחשמלות.</p>

פתרון שאלה 7

הפרמטרים הנבדקים הם:

א. תמסורת השנאי K – נבדק על-ידי מדידת המתחים U_1 ו- U_2 ומציאת היחס ביניהם:

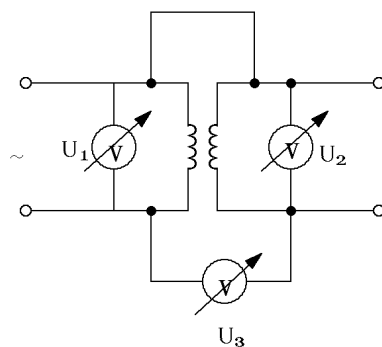
$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$



ב. הפסדי ריקם – קריאת מדידת מד ההספק מראה את הפסדי הריקם הכוללים את הפסדי זרמי המערבולת והפסדי עניבת החשל.

ג. עקום המגנוט – משנים את מתח הווריאק מאפס ועד לערך המירבי ומוודדים את הזרם I_{10} דרך הסליל הראשוני.

ד. קוטביות השנאי – אפשר לבדוק ב-2 שיטות.



(1) מחברים סוללה לסליל הראשוני של השנאי ובמשני מחברים מד מתח ישר. ברגע חיבור הסוללה יראה מחוג מד המתח סטייה. אם הסטייה חיובית, הקוטביות היא חיבורית ואם הסטייה שלילית הקוטביות היא חיסורית.

(2) חיבור מקור מתח חילופין לסליל הראשוני. מחברים הדק אחד של הסליל הראשוני עם הדק אחד של הסליל המשני. בין ההדקים האחרים מחברים 3 מדי מתח כמתואר באיור.

אם הקוטביות חיבורית, יורה מד המתח U_3 את סכום המתחים U_1 ו- U_2 . אם הקוטביות חיסורית, יורה מד המתח U_3 את הפרש המתחים U_1 ו- U_2 .

פתרון שאלה 8

חשב:	נתון:
א. הסבר	$U_1 = 110V$
ב. $B = ?$	$A = 30cm^2$
	$N_1 = 115$
	$f = 50Hz$

א. השנאי האידיאלי מוגדר כשנאי ללא הפסדים ומתקיים בו: $\mu = \infty, R_2 = 0, R_1 = 0$. בשנאי זה הזרם I_μ , שזורם בסליל הראשוני ליצירת שטף ϕ , שואף לאפס.

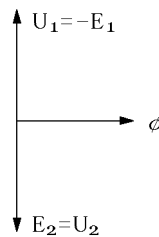
$$U_1 - N_1 \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = 0 \Rightarrow U_1 = -E_1$$

בשנאי כזה מתקיימת המשוואה:

$$E_2 = U_2 = -N_2 \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

בסליל המשני מתקבל

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$



ומקבלים

דיאגרמת המתחים

$$E = 4.44 \cdot f \cdot N \cdot \phi$$

ב.

$$\phi = \frac{E}{4.44 \cdot f \cdot N} = \frac{110}{4.44 \cdot 50 \cdot 115} = 4.3mWb$$

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{4.3 \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 10^{-4}} = 1.43 \frac{Wb}{m^2}$$

פתרון שאלה 9

חשב:	נתון:
א. $N_1 = ?$	שנאי חד-מופעי
ב. $N_2 = ?$	$S_n = 3KVA$
ג. $I_{1n} = ?$	$U_{1n} / U_{2n} = 400 / 115V$
ד. $I_{2n} = ?$	$f = 50Hz$
ה. $d_1 = ?$	$A = 9cm \cdot 7cm$
ו. $d_2 = ?$	$B_{max} = 0.08 \frac{mWb}{cm^2}$
	$j = 3.2A/mm^2$

$$N_1 = \frac{U_1}{4.44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot A} = \frac{400}{4.44 \cdot 50 \cdot 0.08 \cdot 10^{-3} \cdot 63} = 358T \quad .א$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \Rightarrow N_2 = N_1 \frac{U_{2n}}{U_{1n}} = 358 \cdot \frac{115}{400} = 103T \quad .ב$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{3000}{400} = 7.5A \quad .ג$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{3000}{115} = 26.09A \quad .ד$$

$$A_1 = \frac{I_{1n}}{j} = \frac{7.5}{3.2} = 2.344mm^2 \quad ; \quad d_1 = \sqrt{\frac{4A_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.344}{\pi}} = 1.73mm \quad .ה$$

$$A_2 = \frac{I_{2n}}{j} = \frac{26.09}{3.2} = 8.153mm^2 \quad ; \quad d_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8.153}{3.14}} = 3.22mm \quad .ו$$

פתרון שאלה 10

חשב:	נתון:
.א. $\Phi_{\max} = ?$	$U_1 = 500V$
.ב. למה לא מציינים f_2, f_1, Φ_2, Φ_1 ?	$K = 20$
	$N_2 = 200$
	$f = 50Hz$

$$K = \frac{U_1}{U_2} \quad .א$$

$$E_2 = U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{500}{20} = 25V$$

$$E_2 = 4.44 \cdot N_2 \cdot f \cdot \Phi_{\max}$$

$$\Phi_{\max} = \frac{E_2}{4.44 \cdot N_2 \cdot f} = \frac{25}{4.44 \cdot 200 \cdot 50} = 0.56(mWb)$$

$$E_1 = 4.44 \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi_{\max} \quad .ב \quad \text{בנוסחאות:}$$

$$E_2 = 4.44 \cdot N_2 \cdot f \cdot \Phi_{\max}$$

התדר מתייחס לאופי הרשת המזינה ולכן הוא משותף לשני הסלילים.
השטף מתייחס לתכונה מגנטית של הגרעין ואינו מתייחס לסלילים.

פתרון שאלה 11

<p>חשב:</p> <p>$A = ?$</p>	<p>נתון:</p> <p>$U_1 = 10KV$ $f = 50Hz$ $B_{max} = 1 \frac{Wb}{m^2}$ $N_2 = 300$ $K = 25$</p>
---------------------------------------	--

$$N_1 = N_2 \cdot K = 300 \cdot 25 = 7500T$$

$$U_1 = 4.44 \cdot f \cdot N_1 \cdot B_{max} \cdot A$$

$$A = \frac{U_1}{4.44 \cdot f \cdot N_1 \cdot B_{max}}$$

$$A = \frac{10000}{4.44 \cdot 50 \cdot 7500 \cdot 1} = 0.006m^2$$

פתרון שאלה 12

<p>חשב:</p> <p>$N_1, N_2 = ?$ $I_1, I_2 = ?$ $\left\{ \begin{array}{l} d_1, d_2 = ? \\ j = 2.5 \frac{A}{mm^2} \end{array} \right.$</p>	<p>נתון:</p> <p>א. $U = 220/110V$ ב. $S = 1.1KVA$ ג. $f = 50Hz$ $A = 25cm^2$ $B_{max} = 1 \frac{Wb}{m^2}$</p>
---	--

$$U_1 = 4.44 \cdot f \cdot N_1 \cdot B_{max} \cdot A \tag{א.}$$

$$N_1 = \frac{U_1}{4.44 \cdot f \cdot B_{max} \cdot A} = \frac{220}{4.44 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10^{-4}} = 396T$$

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{110} = 2$$

$$N_2 = \frac{N_1}{K} = \frac{396}{2} = 198T$$

$$I_1 = \frac{S}{U_1} = \frac{1100}{220} = 5A \tag{ב.}$$

$$I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{1100}{110} = 10A$$

$$A_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{5}{2.5} = 2mm^2 \tag{ג.}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4A_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2}{\pi}} = 1.59mm$$

$$A_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{10}{2.5} = 4mm^2$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4}{\pi}} = 2.26mm$$

פתרון שאלה 13

חשב:

נתון:

$$E_1 = ?$$

א. $K = 10$

$$N_2 = ?$$

ב. $f = 50Hz$

$$I_1 = ?$$

ג. $\phi_{max} = 2.5mWb$

$$P_2 = 500W$$

$N_1 = 400T$

$$\cos \varphi = 1$$

$$E_1 = 4.44N_1 \cdot f \cdot \phi_{max}$$

א.

$$E_1 = 4.44 \cdot 400 \cdot 50 \cdot 2.5 \cdot 10^{-3}$$

$$E_1 = 222V$$

$$E_2 = \frac{E_1}{K} = \frac{222}{10}$$

$$E_2 = 22.2V$$

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

ב.

$$N_2 = \frac{N_1}{K} = \frac{400}{10} = 40T$$

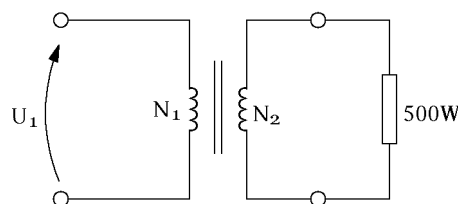
$$I_2 = \frac{P_2}{E_2} = \frac{500}{22.2}$$

ג.

$$I_2 = 22.52A$$

$$K = \frac{I_2}{I_1}$$

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{22.52}{10} = 2.25A$$



פתרון שאלה 14

חשב:

$$U_2 = U_{AB} = ?$$

.א.

$$U_2 = U_{AD} = ?$$

.ב.

$$U_2 = U_{BC} = ?$$

.ג.

$$U_2 = U_{AC} = ?$$

.ד.

נתון:

נתוני השנאי מופיעים באיור

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

לפי חוק המתחים בשנאי:

כאשר:

 U_2 – מתח בין הדקים בצד המשני N_2 – מספר הכריכות בצד המשני

$$U_2 = U_{AB}$$

.א. למציאת U_{AB} :

$$\frac{U_1}{U_{AB}} = \frac{N_1}{N_{AB}}$$

$$U_{AB} = \frac{U_1 \cdot N_{AB}}{N_1} = \frac{220 \cdot 100}{50} = 440V$$

$$N_2 = N_{AD} = 100 + 200 + 150 = 450$$

.ב. למציאת U_{AD} : $U_2 = U_{AD}$

$$U_{AD} = \frac{U_1 \cdot N_{AD}}{N_1} = \frac{220 \cdot 450}{50} = 1980V$$

$$N_2 = N_{BC} = 200$$

.ג. למציאת U_{DC} : $U_2 = U_{DC}$

$$U_{BC} = \frac{U_1 \cdot N_{BC}}{N_1} = \frac{220 \cdot 200}{50} = 880V$$

$$N_2 = N_{AC} = 100 + 200 = 300$$

.ד. למציאת U_{AC} : $U_2 = U_{AC}$

$$U_{AC} = \frac{U_1 \cdot N_{AC}}{N_1} = \frac{220 \cdot 300}{50} = 1320V$$

מהצד המשני של השנאי נקבל את המתחים האלה:

$$U_{AB} = 440V$$

$$U_{AD} = 1980$$

$$U_{BC} = 880V$$

$$U_{AC} = 1320V$$

פתרונות לנושא 2.2

פתרון שאלה 15 – ראו עמוד 11

פתרון שאלה 16

חשב:	נתון:
$R_2 = ?$	א. $U_1 = 230V$
$X_2 = ?$	$U_{20} = 25V$
$R_0 = ?$	ב. $S_n = 1445VA$
$X_0 = ?$	$U_0 = 230V$
ג. סרטט תרשים של מעגל שווה ערך לשנאי וציין בו את ערכי רכיביו	$I_0 = 3\%I_{1n}$
	$P_0 = 15.2W$
	$u_k = 6.2\%$
	$I_k = 6.28A$
	$P_k = 27.75W$
	$R_1 = 0.34\Omega$
	$X_1 = 1.06\Omega$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{1445}{230} = 6.28A \Rightarrow I_k = I_{1n} \quad \text{א. בדיקה:}$$

$$R_k = \frac{P_k}{I_{1n}^2} = \frac{27.75}{6.28^2} = 0.704A$$

$$R_2' = R_k - R_1 = 0.704 - 0.34 = 0.364\Omega$$

$$K = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{230}{25} = 9.2$$

$$R_2 = \frac{R_2'}{K^2} = \frac{0.364}{9.2^2} = 0.0043\Omega$$

$$\underline{R_2 = 4.3m\Omega}$$

$$U_k = \frac{u_k}{100} \cdot U_1 = \frac{6.2}{100} \cdot 230 = 14.26V$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{14.26}{6.28} = 2.27\Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{2.27^2 - 0.704^2} \cong 2.16\Omega$$

$$X_2' = X_k - X_1 = 2.16 - 1.06 = 1.1\Omega$$

$$X_2 = \frac{X_2'}{K^2} = \frac{1.1}{9.2^2} = 0.013\Omega$$

$$\underline{X_2 = 13m\Omega}$$

ב. בדיקה: $U_0 = U_1$

$$I_0 = 0.03 I_{1n} = 0.03 \cdot 6.28 = 0.188 A$$

$$I_a = I_0 \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_0} = \frac{15.2}{230} = 0.066 A$$

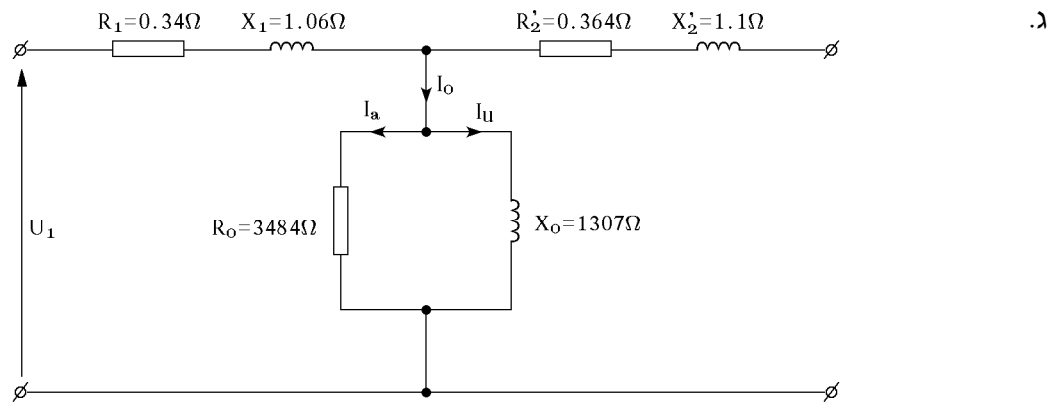
$$R_0 \cong \frac{U_1}{I_a} = \frac{230}{0.066} = 3484 \Omega$$

$$R_0 = 3484 \Omega$$

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_a^2} = \sqrt{0.188^2 - 0.066^2} = 0.176 A$$

$$X_0 \cong \frac{U_1}{I_\mu} = \frac{230}{0.176} = 1307 \Omega$$

$$X_0 = 1307 \Omega$$



פתרון שאלה 17

נתון:	חשב:
$K = 10$	$I_{1n} = ?$
$U_{1n} = 6.6KV$	$S_n = ?$
$u_k = 6.4\%$	$Z_k = ?$
$P_k = 6KW$	$R_k = ?$
$\cos \varphi_k = 0.368$	$X_k = ?$
$I_k = I_{1n}$	$U_{20} = ?$

א. $U_k = \frac{u_k}{100} \cdot U_{1n} = \frac{6.4}{100} \cdot 6600 = 422.4V$

$$I_{1n} = I_k = \frac{P_k}{U_k \cos \varphi_k} = \frac{6000}{422.4 \cdot 0.368} = 38.6 A$$

ב. $S_n = U_{1n} I_{1n} = 6.6 \cdot 38.6 = 255 KVA$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{422.4}{38.6} = 10.94\Omega \quad .ג$$

$$Z_k \cong 11\Omega$$

$$R_k = \frac{P_k}{I_k^2} = \frac{6000}{38.6^2} = 4.03\Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{10.94^2 - 4.03^2} = 10.17\Omega$$

$$U_{20} = \frac{U_{1n}}{K} = \frac{6600}{10} = 660 \quad .ד$$

פתרון שאלה 18

חשב:	נתון:
.א	$N_1 = 1000T$
	$f_1 = 60Hz$
.ב	$E = 220V$
	$f_2 = 50Hz$
.ג	$B_{max} = 0.0165 \frac{mV \text{ sec}}{cm^2}$

$$\begin{cases} \Phi_{max1} = ? \\ f_1 = 60Hz \\ \Phi_{max2} = ? \\ f_2 = 50Hz \\ A = ? \\ f_1 = 60Hz \\ B_{max} = 0.0165 \frac{mV \text{ sec}}{cm^2} \end{cases}$$

$$E = 4.44 \cdot N \cdot f \cdot \Phi_{max1} \quad .א$$

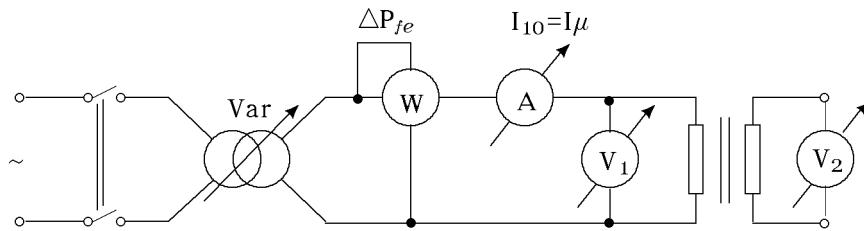
$$\Phi_{max1} = \frac{E}{4.44 \cdot N \cdot f} = \frac{220}{4.44 \cdot 1000 \cdot 60} = 0.83mWb$$

$$\Phi_{max2} = \frac{220}{4.44 \cdot 1000 \cdot 50} = 1mWb \quad .ב$$

$$\Phi_{max1} = B_{max} \cdot A \quad .ג$$

$$A = \frac{\Phi_{max1}}{B_{max}} = \frac{0.83mWb}{0.0165 \frac{mV \text{ sec}}{cm^2}} \cong 50cm^2$$

פתרון שאלה 19



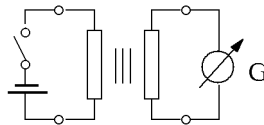
א. בדיקת ריקם נעשית במתח נומינלי בצד הראשוני של השנאי, כאשר הצד המשני הוא ללא עומס. בבדיקת ריקם בודקים כל מה שלא דורש עומס: תמסורת השנאי, קוטביות הסלילים והפסדי ריקם (הפסדי הברזל).

בדיקת תמסורת: $K = \frac{u_1}{u_2} = \frac{v_1}{v_2}$ לפי מדי המתח בראשוני ובמשני.

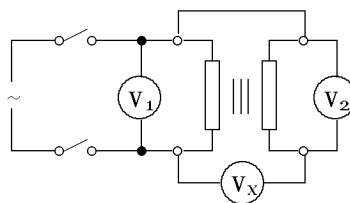
בדיקת עקום המגנט: בודקים את תלות המתח בזרם על-ידי העלאת המתח באופן הדרגתי עד למקסימום בווריאק ומודדים את זרם הריקם. מד ההספק (ואטמטר) מראה את הפסדי הברזל שנובעים מלולאת החשל ומזרמי המערבולת בשנאי.

ב. בדיקת קוטביות הסלילים:

1. בשיטת הזרם הישר – כאשר הצד הראשוני מוזן **רגעית** על-ידי מקור לזרם ישר, מודדים, בעזרת גלונומטר, את הסטייה ואת כיוונה בצד המשני.



2. במתח חילופין – מגשרים בין הדקי הסלילים של השנאי מצד אחד ומודדים את המתח בין הדקי הסלילים וכן מודדים את המתחים בצד הראשוני ובצד המשני. התוצאה מראה אם הסלילים מחוברים בטור או מנוגדים.



פתרון שאלה 20

א. הספק השנאי רשום תמיד ב-VA משום שהוא תלוי באופי הצרכן המחובר לסליל המשני של השנאי. לדוגמה: אם הצרכן הוא השראי טהור, לא יהיה הספק בוואטים אך יהיה הספק השראתי שיעבור דרך השנאי. כלומר, יהיו מתח וזרם. אם הצרכן הוא אוהמי טהור, ההספק ב-VA יהיה שווה להספק ב-W.

ב. בשנאים משתמשים בשיטות קירור על-ידי אוויר, אוויר מאולץ, שמן, וצינורות לקירור ובשנאים גדולים - שמן דרך רדיאטורים. שיטות הקירור מאפשרות לשנאי לעבוד בהספקים ובצפיפות זרם במוליכים גבוהים יותר. שנאי לא מקורר מוגבל בהספק ובצפיפות הזרם שהוא יכול להעביר על מנת שהשנאי לא יתחמם מעל המותר.

ג. מתח גבוה מהמתח הנקוב בסליל ראשוני, עלול לפרוץ את הבידוד ולגרום לקצר בין הליפופים.

פתרון שאלה 21

חשב:	נתון:
$U_2 = ?$	א. $S_n = 72KVA$
$I_2 = ?$	ב. $U_1 = 3KV$
	$U_{20} = 400V$
	$u_k = 4.75\%$
	$P_k = 1.25KW$
	$I_K = 20A$
	$\cos \varphi = 0.8cap$
	$\beta = 75\%$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{72}{3} = 24A$$

א. בדיקה

$$I_K \neq I_{1n}$$

$$R_K = \frac{P_{Kn}}{I_{1n}^2} = \frac{P_K}{I_K^2}$$

התאמת הספק הקצר לערך נקוב:

$$P_{Kn} = P_K \left(\frac{I_{1n}}{I_K} \right)^2 = 1.25 \left(\frac{24}{20} \right)^2 = 1.8KW$$

$$u_{RK_n} = \frac{P_{Kn}}{S_n} \cdot 100\% = \frac{1.8}{72} \cdot 100 = 2.5\%$$

$$\frac{u_{Kn}}{I_{1n}} = \frac{u_K}{I_K}$$

התאמת מתח הקצר לערך הנקוב:

$$u_{Kn} = u_K \cdot \frac{I_{1n}}{I_K} = 4.75 \cdot \frac{24}{20} = 5.7\%$$

$$u_{XKn} = \sqrt{u_{Kn}^2 - u_{RK_n}^2} = \sqrt{5.7^2 - 2.5^2} = 5.12\%$$

$$\cos \varphi = 0.8cap \Rightarrow \sin \varphi = -0.6$$

$$\delta u = \beta (u_{RK_n} \cos \varphi + u_{XKn} \sin \varphi) = 0.75 [2.5 \cdot 0.8 + 5.12(-0.6)] = -0.804\%$$

$$u_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta u}{100} \right) = 400 \left(1 - \frac{-0.804}{100} \right) = 403.2V$$

$$I_2 = \frac{S}{u_2} = \frac{\beta S_n}{u_2} = \frac{0.75 \cdot 72 \cdot 10^3}{403.2} = 134A$$

ב.

פתרון שאלה 22

חשב:	נתון:
$U_2 = ?$	א. $U_1 = 10KV$
$I_2 = ?$	ב. $U_{20} = 0.4KV$
$P_2 = ?$	ג. $S_n = 660KVA$
	$R_K = 1.5\Omega$
	$X_K = 4.8\Omega$
	$\beta = 88\%$
	$\cos \varphi = 0.9ind$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{660}{10} = 66A \quad \text{א.}$$

$$u_{RK} = \frac{I_{1n} R_K}{U_1} \cdot 100\% = \frac{66 \cdot 1.5}{10 \cdot 10^3} \cdot 100 = 0.99\%$$

$$u_{XK} = \frac{I_{1n} X_K}{U_1} \cdot 100\% = \frac{66 \cdot 4.8}{10 \cdot 10^3} \cdot 100 = 3.17\%$$

$$\cos \varphi = 0.9 \Rightarrow \sin \varphi = 0.436$$

$$\delta_u = \beta(u_{RK} \cos \varphi + u_{XK} \sin \varphi) = 0.88(0.99 \cdot 0.9 + 3.17 \cdot 0.436) = 2\%$$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta_u}{100}\right) = 400 \left(1 - \frac{2}{100}\right) = 392V$$

$$I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{\beta S_n}{U_2} = \frac{0.88 \cdot 660 \cdot 10^3}{392} = 1482A \quad \text{ב.}$$

$$P_2 = \beta S_n \cos \varphi = 0.88 \cdot 660 \cdot 0.9 = 522.7KW \quad \text{ג.}$$

פתרון שאלה 23

חשב:	נתון:
$U_2 = ?$	א. $U_1 = 3KV$
$I_2 = ?$	ב. $U_{20} = 0.25KV$
$P_2 = ?$	ג. $S_n = 39KVA$
	$R_1 = 1.8\Omega$
	$X_1 = 6.6\Omega$
	$R_2 = 12.5m\Omega$
	$X_2 = 45m\Omega$
	$\beta = 1.05$
	$\cos \varphi = 0.88ind$

$$K = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{3}{0.25} = 12 \quad .א$$

$$R_K = R_1 + K^2 R_2 = 1.8 + 12^2 \cdot 12.5 \cdot 10^{-3} = 3.6 \Omega$$

$$X_K = X_1 + K^2 X_2 = 6.6 + 12^2 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 13.08 \Omega$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{39}{3} = 13A$$

$$u_{RK} = \frac{I_{1n} R_K}{U_1} \cdot 100\% = \frac{13 \cdot 3.6}{3000} \cdot 100 = 1.56\%$$

$$u_{XK} = \frac{I_{1n} \cdot X_K}{U_1} = \frac{13 \cdot 13.08}{3000} \cdot 100 = 5.67\%$$

$$\cos \varphi = 0.88 \Rightarrow \sin \varphi = 0.475$$

$$\delta u = \beta(u_{RK} \cos \varphi + u_{XK} \sin \varphi) = 1.05(1.56 \cdot 0.88 + 5.67 \cdot 0.475) = 4.27\%$$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta u}{100}\right) = 250 \left(1 - \frac{4.27}{100}\right) = 239.3V$$

$$I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{\beta S_n}{U_2} = \frac{1.05 \cdot 39 \cdot 10^3}{239.3} = 171.1A \quad .ב$$

$$P_2 = \beta S_n \cos \varphi = 1.05 \cdot 39 \cdot 0.88 = 36KW \quad .ג$$

פתרון שאלה 24

חשב:	נתון:
$U_2 = ?$	.א $U_1 = 6KV$
$\eta = ?$	.ב $U_{20} = 0.25KV$
	$S_n = 150KVA$
	$P_0 = 2.1KW$
	$u_K = 4.5\%$
	$I_K = 15A$
	$P_K = 1.8KW$
	$\beta = 78\%$
	$\cos \varphi = 0.866ind$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{150}{6} = 25A \quad .א \quad \text{בדיקה}$$

$$I_K \neq I_{1n}$$

$$\frac{P_{Kn}}{I_{1n}^2} = \frac{P_K}{I_K^2} \Rightarrow P_{Kn} \cdot \left(\frac{I_{1n}}{I_K}\right)^2 = 1.8 \left(\frac{25}{15}\right)^2 = 5KW$$

התאמת הספק הקצר לערך הנקוב:

$$u_{RK} = \frac{P_{Kn}}{S_n} \cdot 100\% = \frac{5}{150} \cdot 100 = 3.33\%$$

$$\frac{u_{Kn}}{I_{Kn}} = \frac{u_K}{I_K} \Rightarrow u_{Kn} = u_K \cdot \frac{I_{Kn}}{I_K} = 4.5 \cdot \frac{25}{15} = 7.5\% \quad \text{התאמת מתח הקצר לערך הנקוב:}$$

$$u_{XK} = \sqrt{u_{Kn}^2 - u_{RK}^2} = \sqrt{7.5^2 - 3.33^2} = 6.72\%$$

$$\cos \varphi = 0.866 \Rightarrow \sin \varphi = 0.5$$

$$\delta u = \beta(u_{RK} \cos \varphi + u_{XK} \sin \varphi) = 0.78(3.33 \cdot 0.866 + 6.72 \cdot 0.5) = 4.87\%$$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta u}{100}\right) = 250 \left(1 - \frac{4.87}{100}\right) = 237.8V$$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi}{\beta S_n \cos \varphi + P_0 + \beta^2 P_{Kn}} \cdot 100\% = \frac{0.78 \cdot 150 \cdot 0.866}{0.78 \cdot 150 \cdot 0.866 + 2.1 + 0.78^2 \cdot 5} \cdot 100 = 95.17\% \quad \text{ב.}$$

פתרון שאלה 25

חשב:	נתון:
$I_a = ?$	א. $U_1 = 250V$
$I_\mu = ?$	$f = 50Hz$
$I_0 = ?$	$R_0 = 1.56K\Omega$
ΔP_{Fe}	ב. $X_0 = 0.32K\Omega$
$\cos \varphi_0 = ?$	ג. $A = 6.25cm^2$
$N_1 = ?$	ד. $B_{\max} = 1 \frac{Wb}{m^2}$
$N_2 = ?$	
$U_{20} = ?$	ה. $K = 10$

$$I_a = \frac{U_1}{R_0} = \frac{250}{1560} = 0.16A \quad \text{א.}$$

$$I_\mu = \frac{U_1}{X_0} = \frac{250}{320} = 0.781A$$

$$I_0 = \sqrt{I_a^2 + I_\mu^2} = \sqrt{0.16^2 + 0.781^2} = 0.797A$$

$$\Delta P_{Fe} = P_0 = U_1 I_a = 250 \cdot 0.16 = 40W \quad \text{ב.}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{I_a}{I_0} = \frac{0.16}{0.797} = 0.2 \quad \text{ג.}$$

$$N_1 \cong \frac{U_1}{4.44 f B_{\max} A} = \frac{250}{4.44 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 6.25 \cdot 10^{-4}} \cong 1800 \quad \text{ד.}$$

$$N_2 = \frac{N_1}{K} = \frac{1800}{10} = 180$$

$$U_{20} = \frac{U_1}{K} = \frac{250}{10} = 25V \quad \text{ה.}$$

פתרון שאלה 26

חשב:	נתון:
.א	$f = 50\text{Hz}$
	$A = 16\text{cm}^2$
.ב	$N_1 = 540$
	$N_2 = 60$
	$B = 0.85 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$
.ג	$P_0 = 20\text{W}$
	$\cos \varphi_0 = 0.13$

$$E_1 = 4.44 f N_1 B_{\max} A = 4.44 \cdot 50 \cdot 540 \cdot 0.85 \sqrt{2} \cdot 16 \cdot 10^{-4} = 231\text{V} \quad .\text{א}$$

$$E_2 = E_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} = 231 \cdot \frac{60}{540} = 25.6\text{V}$$

$$U_1 \cong E_1$$

$$I_a = \frac{P_0}{U_1} = \frac{20}{231} = 0.0866\text{A} \quad .\text{ב}$$

$$I_0 = \frac{I_a}{\cos \varphi_0} = \frac{0.0866}{0.13} = 0.666\text{A}$$

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_a^2} = \sqrt{0.666^2 - 0.0866^2} = 0.66\text{A}$$

$$R_0 = \frac{U_1}{I_a} = \frac{231}{0.0866} = 2667\Omega \quad .\text{ג}$$

$$X_0 = \frac{U_1}{I_\mu} = \frac{231}{0.66} = 350\Omega$$

פתרון שאלה 27

חשב:	נתון:
.א	$U_1 = 230\text{V}$
	$U_{20} = 400\text{V}$
.ב	$S_n = 2.53\text{KVA}$
.ג	$R_1 = 0.4\Omega$
	$X_1 = 1\Omega$
	$R_2 = 1.25\Omega$
	$X_2 = 3\Omega$
	$P_0 = 35\text{W}$
	$\beta = 80\%$
	$\cos \varphi = 0.95\text{ind}$
	$\eta' = \eta_{\max}$

$$U_2 = ?$$

$$\eta = ?$$

$$\beta' = ?$$

$$\eta' = ?$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{2530}{230} = 11A \quad .א$$

$$K = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{230}{400} = 0.575$$

$$R_K = R_1 + K^2 R_2 = 0.4 + 0.575^2 \cdot 1.25 = 0.813\Omega$$

$$u_{RK} = \frac{I_{1n} R_K}{U_1} \cdot 100\% = \frac{11 \cdot 0.813}{230} \cdot 100 = 3.89\%$$

$$X_K = X_1 + K^2 X_2 = 1 + 0.575^2 \cdot 3 = 1.99\Omega$$

$$u_{XK} = \frac{I_{1n} X_K}{U_1} \cdot 100\% = \frac{11 \cdot 1.99}{230} \cdot 100 = 9.52\%$$

$$\cos \varphi = 0.95 \Rightarrow \sin \varphi = 0.312$$

$$\delta u = \beta(u_{RK} \cos \beta + u_{XK} \sin \varphi) = 0.8(3.89 \cdot 0.95 + 9.52 \cdot 0.312) = 5.33\%$$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta u}{100}\right) = 400 \left(1 - \frac{5.33}{100}\right) = 378.7V$$

$$P_K = I_{1n}^2 R_K = 11^2 \cdot 0.813 = 98.4W$$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi}{\beta S_n \cos \varphi + P_0 + \beta^2 P_K} \cdot 100\% = \frac{0.8 \cdot 2530 \cdot 0.95}{0.8 \cdot 2530 \cdot 0.95 + 35 + 0.8^2 \cdot 98.4} \cdot 100 = 95.15\%$$

$$\beta' = \beta_{opt} = \sqrt{\frac{P_0}{P_N}} = \sqrt{\frac{35}{98.4}} = 0.596 \quad .ב$$

$$\eta' = \eta_{max} = \frac{\beta' S_n \cos \varphi}{\beta' S_n \cos \varphi + P_0 + \beta'^2 P_K} \cdot 100\% = \frac{0.596 \cdot 2530 \cdot 0.95}{0.596 \cdot 2530 \cdot 0.95 + 35 + 0.596^2 \cdot 98.4} \cdot 100 = 95.34\% \quad .ג$$

פתרון שאלה 28

חשב:		נתון:
$\beta_{opt} = ?$	(1) .א	$S_n = 250KVA$
$\eta_{max} = ?$	(2)	$\Delta P_{Cu} = 2.75KW$
$U_2 = ?$	(3)	$\Delta P_{Fe} = 2KW$
$\eta' = ?$	(1) .ב	$U_1 = 10KV$
$U_2' = ?$	(2)	$U_{20} = 0.5KV$
		$u_K = 5\%$
		$\eta = \eta_{max}$
		$\cos \varphi = 0.8ind$
		$\beta' = 0.5$
		$\cos \varphi' = 0.6ind$

$$\beta_{opt} = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu}}} = \sqrt{\frac{2}{2.75}} = 0.853 \quad (1 \quad .א)$$

$$\eta_{max} = \frac{\beta_{opt} S_n \cos \varphi}{\beta_{opt} S_n \cos \varphi + P_0 + \beta_{opt}^2 P_K} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{0.853 \cdot 250 \cdot 0.8}{0.853 \cdot 250 \cdot 0.8 + 2 + 0.853^2 \cdot 2.75} \cdot 100 = 97.7\% \quad (2)$$

$$U_{RK} = \frac{P_K}{S_n} \cdot 100\% = \frac{2.75}{250} \cdot 100 = 1.1\% \quad (3)$$

$$U_{XK} = \sqrt{U_K^2 - U_{RK}^2} = \sqrt{5^2 - 1.1^2} = 4.88\%$$

$$\delta u = \beta_{opt} (U_{RK} \cos \varphi + U_{XK} \sin \varphi) = 0.853(1.1 \cdot 0.8 + 4.88 \cdot 0.6) = 3.25\%$$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta u}{100}\right) = 500 \left(1 - \frac{3.25}{100}\right) = 484V$$

$$\eta' = \frac{\beta' S_n \cos \varphi'}{\beta' S_n \cos \varphi' + P_0 + \beta'^2 P_K} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{0.5 \cdot 250 \cdot 0.6}{0.5 \cdot 250 \cdot 0.6 + 2 + 0.5^2 \cdot 2.75} \cdot 100 = 96.54\% \quad (1 \quad .ב)$$

$$\delta u' = \beta' (U_{RK} \cos \varphi' + U_{XK} \sin \varphi') = 0.5(1.1 \cdot 0.6 + 4.88 \cdot 0.8) = 2.28\% \quad (2)$$

$$U_2' = U_{20} \left(1 - \frac{\delta u'}{100}\right) = 500 \left(1 - \frac{2.28}{100}\right) = 489V$$

פתרון שאלה 29

חשב:	נתון:
$\beta = ?$	.א $U_1 = 400V$
$\Delta P_{Cu} = ?$	.ב $U_{20} = 100$
$\Delta P_{Fe} = ?$	.ג $S_n = 10KVA$
	$R_1 = 0.24\Omega$
	$R_2 = 20m\Omega$
	$u_K = 7.5\%$
	$\cos \varphi = 0.9ind$
	$U_2 = 94.7V$
	$\eta = 95\%$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{10 \cdot 10^3}{400} = 25A \quad .א$$

$$K = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{400}{100} = 4$$

$$R_K = R_1 + K^2 R_2 = 0.24 + 4^2 \cdot 0.02 = 0.56\Omega$$

$$P_{KN} = I_{In}^2 R_K = 25^2 \cdot 0.56 = 350W$$

$$\delta_u = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100\% = \frac{100 - 94.7}{100} \cdot 100 = 5.3\%$$

$$U_{RK} = \frac{P_{Kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{350}{10 \cdot 10^3} \cdot 100 = 3.5\%$$

$$u_{XK} = \sqrt{u_K^2 - u_{RK}^2} = \sqrt{7.5^2 - 3.5^2} = 6.63\%$$

$$\cos \varphi = 0.9 \Rightarrow \sin \varphi = 0.436$$

$$\beta = \frac{\delta_u}{u_{RK} \cos \varphi + u_{XK} \sin \varphi} = \frac{5.3}{3.5 \cdot 0.9 + 6.63 \cdot 0.436} = 0.877$$

$$\beta = 87.7\%$$

$$\Delta P_{Cu} = \beta^2 P_{Kn} = 0.877^2 \cdot 350 = 269.2W \quad \text{ב.}$$

$$\Delta P_{Fe} = \frac{100\beta S_n \cos \varphi}{\eta} - \beta S_n \cos \varphi - \Delta P_{Cu} = \left(\frac{100}{\eta} - 1 \right) \beta S_n \cos \varphi - \Delta P_{Cu} = \quad \text{ג.}$$

$$= \left(\frac{100}{95} - 1 \right) \cdot 0.877 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0.9 - 269.2 = 146.2W$$

פתרון שאלה 30

חשב:	נתון:
$I_\mu = ?$	א. 220V / 24V
$I_0 = ?$	$P_0 = 80W$
סרטט תרשים של הניסוי	ב. $\cos \varphi_0 = 0.25$

$$P_0 = U \cdot I_0 \cdot \cos \varphi \Rightarrow I_0 = \frac{P_0}{U \cdot \cos \varphi} \quad \text{א.}$$

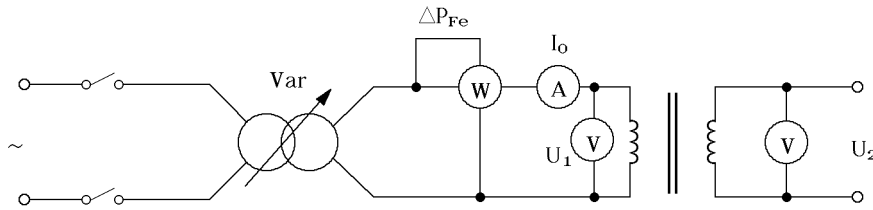
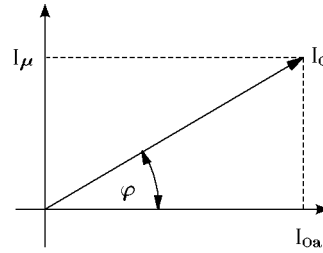
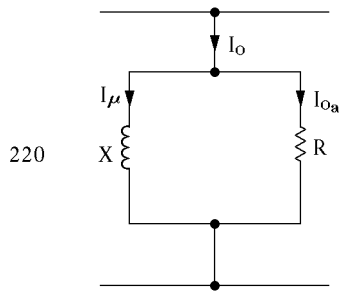
$$I_{0a} = I_0 \cdot \cos \varphi = \frac{P_0}{U} = \frac{80}{220} = 0.36A$$

$$\cos \varphi = 0.25 \Rightarrow \tan \varphi = 3.873$$

$$I_\mu = I_0 \sin \varphi = \frac{P_0 \sin \varphi}{U \cos \varphi} = \frac{P_0}{U} \tan \varphi = \frac{80}{220} \cdot 3.873 = 1.4A$$

המשך הפתרון בעמוד הבא.

ב.



פתרון שאלה 31

$P_0 = ?$
 $\cos \varphi_0 = ?$
 $I_\mu = ?$

חשב:

- א. ניסוי בריקם של שנאי חד-מופעני
- ב. $U_{1n} / U_{2n} = 250V / 120V$
- ג. $P_0 = 150W$
 $I_{10} = 1.25A$

נתון:

א. ההספק בריקם P_0 מבטא את ההפסדים בברזל של השנאי ($P_0 = \Delta P_{Fe}$) שהם הפסדים קבועים (אינם תלויים בגודל העומס).

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1n} \cdot I_{10}} = \frac{150}{250 \cdot 1.25} = 0.48$$

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2}$$

$$I_{Fe} = \frac{P_0}{U_{1n}} = \frac{150}{250} = 0.6A \quad ; \quad I_\mu = \sqrt{1.25^2 - 0.6^2} \cong 1.1A$$

פתרון שאלה 32

$P_K = ?$
 $I_{1n}, I_{2n} = ?$
 $U_{KV} = ?$
 $\cos \varphi_K = ?$

חשב:

- א. שנאי חד-מופעני
- ב. $S_n = 6KVA$
- ג. $U_{1n} / U_{2n} = 400 / 180V$
- ד. $P_K = 140W$
 $U_K = 4.5\%$

א. ההספק בקצר (P_K) מבטא את ההפסדים בנחושת בשני הליפופים של השנאי הראשוני והמשני בעומס נקוב:

$$P_K = \Delta P_{Cu_n} = R_1 \cdot I_{1n}^2 + R_2 \cdot I_{2n}^2$$

$$\Delta P_{Cu} = \beta^2 \cdot \Delta P_{Cu_n} = \beta^2 \cdot P_K \quad \text{ההפסדים בנחושת יחסיים לריבוע יחס העמסה:}$$

$$\beta = \frac{S}{S_n} = \frac{I_2}{I_{2n}} \quad \text{כאשר יחס העמסה (β) שווה:}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{6000}{400} = 15A \quad \text{ב.}$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{6000}{180} = 33.33A$$

$$U_K \% = \frac{U_{KV}}{U_{1n}} \cdot 100 \Rightarrow U_{KV} = \frac{U_K \% \cdot U_{1n}}{100} = \frac{4.5 \cdot 400}{100} = 18V \quad \text{ג.}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_K \cdot I_{1n}} = \frac{140}{18 \cdot 15} = 0.5185 \quad \text{ד.}$$

פתרון שאלה 33

חשב:

נתון:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta P_{Cu1} = ? \\ \beta_1 = 75\% \\ \left. \begin{array}{l} \Delta P_{Cu2} = ? \\ P_2 = 1.5KW \\ \cos \varphi_2 = 0.85 \end{array} \right\} \text{צרכן} \\ \Delta P_{Cu_a} = ? \\ I_2 = 15A \end{array} \right\}$$

$$\begin{array}{l} S_n = 2.5KVA \\ U_{1n} / U_{2n} = 230/115 \\ P_K = 120W \end{array}$$

$$P_K = \Delta P_{Cu_n} \quad ; \quad \Delta P_{Cu1} = \beta_1^2 \cdot P_K = 0.75^2 \cdot 120 = 67.5W \quad \text{א.}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_2 = \frac{S}{S_n} = \frac{\frac{P_2}{\cos \varphi_2}}{S_n} = \frac{\frac{1500}{0.85}}{2500} = \frac{1764.7}{2500} = 0.7058 \\ \Delta P_{Cu2} = \beta_2^2 \cdot P_K = 0.7058^2 \cdot 120 = 59.79W \end{array} \right. \quad \text{ב.}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_3 = \frac{I_2}{I_{2n}} \quad ; \quad I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{2500}{115} = 21.74A \\ \beta_2 = \frac{I_2}{I_{2n}} = \frac{15}{21.74} = 0.69 \\ \Delta P_{Cu_a} = \beta_3^2 \cdot P_K = 0.69^2 \cdot 120 = 57.13W \end{array} \right. \quad .ג$$

פתרון שאלה 34

חשב:	נתון:
.א $\Delta P_{Fe} = ?$	שנאי חד-מופעי
.ב $I_\mu = ?$	$U_{1n} / U_{2n} = 230 / 125V$
.ג $\phi_{max} = ?$	$f = 50Hz$
	$I_{10} = 5A$
	$\cos \varphi_0 = 0.28$
	$N_2 = 175$

$$\Delta P_{Fe} = P_0 = U_{1n} \cdot I_{10} \cdot \cos \varphi_0 = 230 \cdot 5 \cdot 0.28 = 322W \quad .א$$

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2} \quad ; \quad I_{Fe} = \frac{P_0}{U_{1n}} = \frac{322}{230} = 1.4A \quad .ב$$

$$I_\mu = \sqrt{5^2 - 1.4^2} = 4.8A$$

$$U_1 \cong 4.44 \cdot N_1 \cdot f \cdot \phi_{max} \quad .ג$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \Rightarrow N_1 = \frac{N_2 \cdot U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{175 \cdot 230}{125} = 322T$$

$$\phi_{max} = \frac{U_1}{4.44 \cdot f \cdot N_1} = \frac{230}{4.44 \cdot 50 \cdot 322} = 3.22mWb$$

פתרון שאלה 35

חשב:	נתון:
.א $\Delta P_{Cu1} = \Delta P_{Cu2}$	$S = 1.5KVA$
.ב $R_1 = ?$	$U_{1n} / U_{2n} = 230V / 60V$
.ג $R_2 = ?$	$P_K = 80W$

$$P_K = \Delta P_{Cu_n} = 80 = \Delta P_{Cu_{1n}} + \Delta P_{Cu_{2n}} = 2\Delta P_{Cu_{1n}}$$

$$\Delta P_{Cu_{1n}} = \frac{P_K}{2} = \frac{80}{2} = 40W = \Delta P_{Cu_{2n}}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{1500}{230} = 6.52A \quad .א$$

$$\Delta P_{Cu_{1n}} = R_1 \cdot I_{1n}^2 \Rightarrow R_1 = \frac{\Delta P_{Cu_{1n}}}{I_{1n}^2} = \frac{40}{6.52^2} = 0.94\Omega$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{1500}{60} = 25A \quad .ב$$

$$\Delta P_{Cu_{2n}} = R_2 \cdot I_{2n}^2 \Rightarrow R_2 = \frac{\Delta P_{Cu_{2n}}}{I_{2n}^2} = \frac{40}{25^2} = 0.064\Omega$$

פתרון שאלה 36

חשב:	נתון:
.א	$S_n = 5KVA$
.ב	$U_{1n} / U_{2n} = 230V / 150V$
	$R_1 = 0.8\Omega$
	$R_2 = 0.06\Omega$
	$P_0 = 50W$

$$\Delta P_{Cu_n} = ?$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta = ? \\ P_2 = 1.5KW \\ \cos \varphi_2 = 0.86 \end{array} \right.$$

$$\Delta P_{Cu_n} = R_1 \cdot I_{1n}^2 + R_2 \cdot I_{2n}^2 \quad .א$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{5000}{230} = 21.739A \quad ; \quad I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{5000}{150} = 33.333A$$

$$\Delta P_{Cu_n} = 0.8 \cdot 21.739^2 + 0.06 \cdot 33.333^2 = 444.732W$$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cdot \cos \varphi_2}{\beta S_n \cdot \cos \varphi_2 + \beta^2 \cdot \Delta P_{Cu_n} + \Delta P_{Fe}} \quad .ב$$

$$\beta = \frac{S}{S_n} = \frac{\cos \varphi_2}{S_n} = \frac{0.86}{5000} = 0.3488$$

$$\eta = \frac{0.3488 \cdot 5000 \cdot 0.86 \cdot 100}{0.3488 \cdot 5000 \cdot 0.86 + 0.3488^2 \cdot 444.732 + 50} = 93.5\%$$

פתרון שאלה 37

חשב:	נתון:
.א	$S_n = 150KVA$
.ב	$\left\{ \begin{array}{l} \eta_1 = 96.5\% \\ \beta = 70\% \\ \cos \varphi_2 = 1 \end{array} \right.$
	$P_0 = 1.2KW$

$$\Delta P_{Cu_n} = ?$$

$$(\beta = 100\%)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_2 = ? \\ \beta' = 65\% \\ \cos \varphi_2' = 0.85 \end{array} \right.$$

$$\eta_1 = \frac{\beta S_n \cos \varphi_2}{\beta S_n \cdot \cos \varphi_2 + \beta^2 \cdot \Delta P_{Cu_n} + \Delta P_{Fe}} \quad .א$$

$$\beta = 0.7$$

$$\cos \varphi_2 = 1$$

$$0.965 = \frac{0.7 \cdot 150000 \cdot 1}{0.7 \cdot 150000 \cdot 1 + 0.7^2 \cdot \Delta P_{Cu_n} + 1200}$$

$$0.965 \cdot (150000 \cdot 0.7 + 0.49 \cdot \Delta P_{Cu_n} + 1200) = 105000$$

$$101325 + 0.47285 \cdot \Delta P_{Cu_n} + 1158 = 105000$$

$$0.47285 \cdot \Delta P_{Cu_n} = 2517 \Rightarrow \Delta P_{Cu_n} = \frac{2517}{0.47285} = 5323.04W$$

$$\eta_2 = \frac{\beta' S_n \cdot \cos \varphi_2' \cdot 100}{\beta S_n \cdot \cos \varphi_2 + \beta^2 \cdot \Delta P_{Cu_n} + \Delta P_{Fe}} = \frac{0.65 \cdot 150000 \cdot 0.85 \cdot 100}{0.65 \cdot 150000 \cdot 0.85 + 0.65^2 \cdot 5323 + 1200} = 96\% \quad .ב$$

פתרון שאלה 38

חשב:	נתון:
האם אפשר לחבר מנוע עם הנתונים האלה?	$U_{1n} / U_{2n} = 400V / 230V$
	$S_n = 1.5KVA$
	$U_M = 230V$
	$P_{2M} = 1HP$
	$\cos \varphi_M = 0.7$
	$\eta_M = 65\%$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{1500}{230} = 6.52A$$

$$I_M = \frac{P_{2M}}{\eta_M \cdot U_M \cdot \cos \varphi_M} = \frac{1 \cdot 736}{0.65 \cdot 230 \cdot 0.7} = 7.033A$$

מסקנה: בגלל ש- $I_M > I_{2n}$ אי אפשר לחבר את המנוע, כי עוברים מעל הזרם המותר (I_{2n}) של השנאי.

פתרון שאלה 39

:נתון	:חשב
	א. $S_n = 15KVA$
	ב. $U_{1n} / U_{2n} = 1800 / 480V$
	ג. $A = 12cm \cdot 15cm$
	$B_{max} = 0.12mWb / cm^2$
	$N_2 = 370T$
	$\left\{ \begin{array}{l} \eta = 83\% \\ \beta = 0.5 \\ \cos \varphi = 0.85 \end{array} \right.$
	$\Delta P_{ad} = 480W = \Delta P_{Fe}$
	$f = ?$
	$N_1 = ?$
	$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = ? \\ R_2 = ? \end{array} \right.$
	$\Delta P_{Cu1} = \Delta P_{Cu2}$

$$U_2 = 4.44 \cdot f \cdot N_2 \cdot B_{max} \cdot A \quad \text{א.}$$

$$f = \frac{U_2}{4.44 \cdot N_2 \cdot B_{max} \cdot A} = \frac{480}{4.44 \cdot 370 \cdot 0.12 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 15} = 13.53Hz$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \Rightarrow N_1 = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} N_2 = \frac{1800}{480} \cdot 370 = 1388T \quad \text{ב.}$$

$$\Delta P_{Cu1n} = r_1 \cdot I_{1n}^2 \quad ; \quad \Delta P_{Cu2n} = r_2 \cdot I_{2n}^2 \quad \text{ג.}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{15000}{1800} = 8.333A \quad ; \quad I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{15000}{480} = 31.25A$$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cdot \cos \varphi_2}{\beta S_n \cdot \cos \varphi_2 + \beta^2 \cdot \Delta P_{Cu_n} + \Delta P_{Fe}} = \frac{0.5 \cdot 15000 \cdot 0.85}{0.5 \cdot 15000 \cdot 0.85 + 0.5^2 \cdot \Delta P_{Cu_n} + 480} = 0.83$$

$$\beta = 0.5$$

$$0.5 \cdot 15000 \cdot 0.85 = 0.83(0.5 \cdot 15000 \cdot 0.85 + 0.5^2 \cdot \Delta P_{Cu_n} + 480)$$

$$6375 = 5291.25 + 0.2075 \cdot \Delta P_{Cu_n} + 398.4$$

$$0.2075 \cdot \Delta P_{Cu_n} = 685.35 \Rightarrow \Delta P_{Cu_n} = 3302.89W = 2\Delta P_{Cu_n} = 2 \cdot \Delta P_{Cu2n}$$

$$\Delta P_{Cu1n} = \Delta P_{Cu2n} = \frac{3302.82}{2} = 1651.44W$$

$$R_1 = \frac{\Delta P_{Cu1n}}{I_{1n}^2} = \frac{1651.44}{8.333^2} = 23.78\Omega \quad ; \quad R_2 = \frac{\Delta P_{Cu2n}}{I_{2n}^2} = \frac{1651.44}{31.25^2} = 1.69\Omega$$

פתרון שאלה 40

חשב:	נתון:
א. $R' = ?$	צרכן $R = 8\Omega$
ב. $\begin{cases} K_1 = ? \\ R_1' = 32\Omega \end{cases}$	$U_{1n} / U_{2n} = 230V / 80V$
ג. $\begin{cases} K_2 = ? \\ R_2'' = 0.5\Omega \end{cases}$	

$$R' = K^2 \cdot R = \left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}}\right)^2 \cdot 8 = \left(\frac{230}{80}\right)^2 \cdot 8 = 66.12\Omega \quad \text{א.}$$

$$R_2' = K_1^2 \cdot R = 32 \Rightarrow K_1^2 = \frac{R_2'}{R} \Rightarrow K_1 = \sqrt{\frac{R_2'}{R}} = \sqrt{\frac{32}{8}} = \frac{2}{1} \quad \text{ב.}$$

$$R_3' = K_2^2 \cdot R = 0.5 \Rightarrow K_2 = \sqrt{\frac{R_3'}{R}} = \sqrt{\frac{0.5}{8}} = 0.25 = \frac{1}{4} \quad \text{ג.}$$

פתרון שאלה 41

חשב:	נתון:
א. $B_{\max} = ?$	שנאי חד-מופעני:
ב. $\Delta U_R \% = ?$	$S_n = 1067 KVA$
ג. $\Delta U_X \% = ?$	$N_1 = 301T$
ד. $U_{20} = U_{2n} = E_2 = ?$	$N_3 = 164T$
	$A = 595 cm^2$
	$U_1 = \frac{10000}{\sqrt{3}} V$
	$U_K \% = 5.5\%$
	$\Delta P_{Cu} = 14.5 KW$
	$f = 50 Hz$

$$U_1 = 4.44 \cdot f \cdot N_1 \cdot B_{\max} \cdot A \quad \text{א.}$$

$$B_{\max} = \frac{U_1}{4.44 \cdot f \cdot N_1 \cdot A} = \frac{\frac{10000}{\sqrt{3}}}{4.44 \cdot 50 \cdot 301 \cdot 595 \cdot 10^{-4}} = 1.45 \frac{Wb}{m^2}$$

$$\Delta U_R \% = \frac{\Delta P_{Cu}}{S_n} \cdot 100 = \frac{14.5}{1067} \cdot 100 = 1.36\% \quad \text{ב.}$$

$$\Delta U_X \% = \sqrt{(U_K \%)^2 - (\Delta U_R \%)^2} = \sqrt{5.5^2 - 1.36^2} \cong 5.33\% \quad .ג$$

$$\frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow U_{2n} = U_{20} = E_2 = \frac{U_{1n} \cdot N_2}{N_1} = \frac{10000}{\sqrt{3}} \cdot 164 = 3146V \quad .ד$$

פתרון שאלה 42

חשב:

נתון:

$$\eta = ?$$

$$\begin{cases} \beta = 1 \\ \cos \varphi = 0.8 \end{cases}$$

$$S_n = 15KVA$$

בריקם:

$$\begin{cases} U_{1n} = 1500V \\ I_0 = 0.4A \\ \cos \varphi_0 = 0.7 \end{cases}$$

בקצר:

$$\begin{cases} U_K = 50V \\ I_K = I_{1n} = 10A \\ \cos \varphi_K = 0.3 \end{cases}$$

$$\Delta P_{Fe} = P_0 = U_{1n} \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 = 1500 \cdot 0.4 \cdot 0.7 = 420W$$

$$\Delta P_{Cu} = P_K = U_K \cdot I_K \cdot \cos \varphi_K = 50 \cdot 10 \cdot 0.3 = 150W$$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi \cdot 100}{\beta \cdot S_n \cos \varphi + \beta^2 \cdot P_K + P_0}$$

$$\beta = 1$$

$$\cos \varphi = 0.8$$

$$\eta = \frac{1 \cdot 15000 \cdot 0.8 \cdot 100}{1 \cdot 15000 \cdot 0.8 + 1^2 \cdot 150 + 420} = 95.5\%$$

פתרון שאלה 43

הפסדי אנרגיה בשנאי נגרמים:

א. בגלל תופעות היסטריזיס של גרעין הברזל.

ב. בגלל זרמי המערבולת בגרעין הברזל.

ג. בגלל הזרם הזורם בסלילי השנאי וגורם לחימום מוליכי הסלילים בשל התנגדותם האוהמית.

הפסדי האנרגיה האלה נהוג למיין כהפסדי ברזל, הכוללים הפסדי היסטריזיס והפסדי זרמי מערבולת וכן הפסדי נחושת בסליל הראשוני והמשני של השנאי:

$$\Delta P_{Cu} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2$$

הפסדי הברזל תלויים בריבוע צפיפות השטף של השנאי והם קיימים הן בתפעולו ללא עומס והן בתפעולו בעומס. אי לכך הם נחשבים להפסדים קבועים, שניתן למדוד אותם בניסוי ריקם. לעומת זאת תלויים הפסדי הנחושת של השנאי במידת העמסה שלו. הפסדי הנחושת עולים בריבוע הזרם והם ניתנים למדידה בניסוי קצר.

פתרון שאלה 44

		חשב:	נתון:
$\cos \varphi = 1$: כאשר $\beta = 1$	$\left\{ \begin{array}{l} R_K = ? \\ \Delta P_{Cu} = ? \\ \Delta P_{Fe} = ? \end{array} \right.$	א.	שנאי חד-מופעי
		ב.	$S_n = 10KVA$
		ג.	$U_{1n} = 5KV$
			$U_{2n} = 250V$
			$\eta_n = 0.92$
			$R_1 = 0.3\Omega$
			$R_2 = 0.003\Omega$

$$R_K = R_1 + R_2' = R_1 + K^2 \cdot R_2 = R_1 + \left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}}\right)^2 \cdot R_2 = 0.3 + \left(\frac{5000}{250}\right)^2 \cdot 0.003 = R_K = 1.5\Omega \quad \text{א.}$$

$$\Delta P_{Cu} = P_K = I_K^2 \cdot R_K = I_{1n}^2 (R_1 + R_2') = \left(\frac{S_n}{U_{1n}}\right)^2 \cdot R_K = \left(\frac{10000}{5000}\right)^2 \cdot 1.5 = 6W \quad \text{ב.}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi + \beta^2 \cdot P_K + P_0} \quad \text{ג.}$$

נציב בנוסחת הנצילות ונקבל: $\left\{ \begin{array}{l} \cos \varphi = 1 \\ \beta = 1 \end{array} \right.$ גורם ההספק של העומס : בעומס נקוב :

$$\eta = \frac{S_n}{S_n + P_K + P_0} = \frac{10000}{10000 + 6 + P_0} = 0.92$$

$$0.92 \cdot 10000 + 0.92 \cdot 6 + 0.92 \cdot P_0 = 10000$$

$$\Delta P_{Fe} = P_0 = \frac{10000 - 9200 - 5.52}{0.92} = 863W$$

פתרון שאלה 45

		חשב:	נתון:
$U_2 = ?$			שנאי חד-מופעי
			$S_n = 20KVA$
			$U_{1n} / U_{2n} = 6 / 0.38KV$
			$\beta = 1$ יחס ההעמסה
			$\cos \varphi_2 = 0.90$
			$\Delta P_{Cu} = 200W$
			$I_K = 2A$
			$U_K = 4\%$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{20 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^3} = 3.33A$$

$$\Delta P_{Cu_n} = \Delta P_{Cu} \cdot \left(\frac{I_{1n}}{I_K}\right)^2 = 200 \cdot \left(\frac{3.33^2}{2}\right) = 554.4W$$

$$U_{K_n} \% = U_K \cdot \frac{I_{1n}}{I_1} = 4 \cdot \frac{3.33}{2} = 6.66\%$$

$$\Delta U_R \% = \frac{\Delta P_{Cu_n}}{S_n} \cdot 100 = \frac{554.4}{20000} \cdot 100 = 2.77\%$$

$$\Delta U_X \% = \sqrt{(U_{K\%})^2 - (\Delta U_R)^2} = \sqrt{6.66^2 - 2.77^2} = 6.06\%$$

$$\Delta U_{\%} = \beta(\Delta U_{R\%} \cdot \cos \varphi_2 + \Delta U_{X\%} \cdot \sin \varphi_2) = 1(2.77 \cdot 0.9 + 6.06 \cdot 0.436) = 5.13\%$$

$$U_2 = U_{2n} \left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100}\right) = 380 \left(1 - \frac{5.13}{100}\right) = 360.5V$$

פתרון שאלה 46

נתון:

חשב:

$\Delta P = ?$	א. קבועים	$S_n = 2.5KVA$	
$I_{\mu} = ?$	ב.	$U_{1n} = 6.3KV$	
$\Delta P_{Cu_n} = ?$	ג.	$U_{2n} = 230V$	
$(\beta = 1)$		$\begin{cases} I_0 = 30mA \\ \cos \phi_0 = 0.42 \end{cases}$	בניסוי ריקם:
$\eta = ?$	ד.		$\begin{cases} U_K = 4.5\% \\ \cos \phi_K = 0.78 \end{cases}$	בניסוי קצר:
$\begin{cases} \beta = \frac{1}{5} = 0.2 \\ \cos \phi_2 = 0.86 \end{cases}$			

$$\Delta P_{\text{קבועים}} = \Delta P_{Fe} = P_0 = U_{1n} \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 = 6300 \cdot 0.03 \cdot 0.42 = 79.38W \quad \text{א.}$$

$$I_{Fe} = \frac{P_0}{U_n} = \frac{79.38}{6300} = 0.0126A = 1.26mA \quad \text{ב.}$$

$$I_{\mu} = \sqrt{30^2 - 12.6^2} = 27.23mA$$

$$\Delta P_{Cu_n} = P_K = U_K \cdot I_{1n} \cdot \cos \varphi_K \quad \text{ג.}$$

$$U_{K(V)} = \frac{U_K \% \cdot U_{1n}}{100} = \frac{4.5 \cdot 6300}{100} = 283.5V$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{2500}{6300} = 0.3968A$$

$$\Delta P_{Cu_n} = P_K = 283.5 \cdot 0.3968 \cdot 0.78 = 87.75W$$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_n \cos \varphi_2 + \beta^2 \cdot P_K + P_0} \cdot 100 \quad .ד$$

$$\beta = \frac{S}{S_n} = \frac{1}{5} = 0.2$$

כאשר יחס ההעמסה

$$\eta = \frac{0.2 \cdot 2500 \cdot 0.86 \cdot 100}{0.2 \cdot 2500 \cdot 0.86 + 0.2^2 \cdot 87.75 + 79.38} = 83.84\%$$

פתרון שאלה 47

חשב:	נתון:
.א	$U_1 = 220V$
.ב	$I_0 = 3A$
.ג	$P_0 = 70W$
.ד	$U_2 = 13.75V$
.ה	$U_K = 4V$
	$I_K = 60A$
.ו	$P_K = 215W$
	$S = 6.5KVA$

$$K = ?$$

$$\Delta P_{Cu}, \Delta P_{Fe} = ?$$

$$\cos \varphi_0 = ?$$

$$\cos \varphi_K = ?$$

$$\left\{ \eta = ? \right.$$

$$\left. \cos \varphi_2 = 1 \right.$$

$$Z_K, R_K, X_K = ?$$

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{13.75} = 16$$

.א יחס ההשנאה

$$\Delta P_{Fe} = P_0 = 70W$$

.ב

$$\Delta P_{Cu} = P_K = 215W$$

$$P_0 = U_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 \cdot I_0} = \frac{70}{220 \cdot 3} = 0.106$$

.ג

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_K \cdot I_K} = \frac{215}{4 \cdot 60} = 0.896$$

.ד

$$\eta = \frac{S \cdot \cos \varphi_2}{S \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + P_K} = \frac{6500}{6500 + 70 + 215} = 0.958$$

.ה

$$R_K = \frac{P_K}{I_K^2} = \frac{215}{60^2} = 0.0597\Omega$$

.ו

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K} = \frac{4}{60} = 0.0667\Omega$$

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = \sqrt{0.066^2 - 0.0597^2} = 0.296\Omega$$

פתרון שאלה 48

חשב:	נתון:
	$S = 100KVA$
	$U_n = 10/0.4KV$
	$f = 50Hz$
	$U_K = 5\%$
	$I_K = 10A$
	$\Delta P_{Cu} = 1KW$

$$\begin{cases} U_2 = ? \\ \beta = 1 \\ \cos \varphi = 0.8 \end{cases}$$

$$I_{n1} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 10A = I_K$$

$$\delta_u = \beta (U_{RK} \% \cdot \cos \varphi + U_{XK} \% \cdot \sin \varphi)$$

$$U_{RK} \% = \frac{P_K}{S_n} \cdot 100\% = \frac{1}{100} \cdot 100 = 1\%$$

$$U_{XK} \% = \sqrt{U_K^2 \% - U_{RK}^2 \%} = \sqrt{5^2 - 1^2} = 4.899\%$$

$$\delta_u = (1 \cdot 0.8 + 4.899 \cdot 0.6) = 3.739\%$$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta_u}{100} \right) = 400 \left(1 - \frac{3.739}{100} \right) = 385V$$

פתרון שאלה 49

חשב:	נתון:
.א	$U_1 = 400V$
	$f = 50Hz$
	$R_0 = 2.5K\Omega$
.ב	$X_0 = 0.51K\Omega$
.ג	$A = 6.25cm^2$
.ד	$B_{max} = 1 \frac{Wb}{m^2}$
.ה	$K = 8$

$$I_a = ?$$

$$I_\mu = ?$$

$$I_0 = ?$$

$$\Delta P_{Fe} = ?$$

$$\cos \varphi_0 = ?$$

$$N_1 = ?$$

$$N_2 = ?$$

$$U_{20} = ?$$

$$I_a = \frac{U_1}{R_0} = \frac{400}{2500} = 0.16A$$

$$I_\mu = \frac{U_1}{X_0} = \frac{400}{510} = 0.784A$$

$$I_0 = \sqrt{I_a^2 + I_\mu^2} = \sqrt{0.16^2 + 0.784^2} = 0.8A$$

$$\Delta P_{Fe} = P_0 = U_1 I_a = 400 \cdot 0.16 = 64W$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{I_a}{I_0} = \frac{0.16}{0.8} = 0.2 \quad .ג$$

$$N_1 \cong \frac{U_1}{4.44 f B_{\max} A \cdot 50} = \frac{400}{4.44 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 6.25 \cdot 10^{-4}} \cong 2880 \quad .ד$$

$$N_2 = \frac{N_1}{K} = \frac{2880}{8} = 360$$

$$U_{20} = \frac{U_1}{K} = \frac{400}{8} = 50V \quad .ה$$

פתרון שאלה 50

חשב: נתון:

.א	$\begin{cases} \eta = ? \\ \cos \varphi = 1 \\ \beta = 1 \end{cases}$	$s = 20KVA$ $U = 6600 / 400V$ $\Delta P_{Fe} = 220W$
.ב	$\begin{cases} \eta = 1 \\ \cos \varphi = 1 \\ \beta = \frac{1}{3} \end{cases}$	$\Delta P_{Cu} = 315W$
.ג	$\begin{cases} \eta = 2 \\ \cos \varphi = 0.75 \\ \beta = \frac{1}{3} \end{cases}$	

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi + \Delta P_{Fe} + \beta^2 \Delta P_{Cu}} \quad .א \quad \text{בעבור } \beta = 1 ; \cos \varphi = 1$$

$$\eta = \frac{1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1}{1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1 + 220 + 1^2 \cdot 315} = 0.9739$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1}{\frac{1}{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1 + 220 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 \cdot 315} = 0.9632 \quad .ב \quad \text{בעבור } \beta = \frac{1}{3} ; \cos \varphi = 1$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.75}{\frac{1}{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.75 + 220 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 \cdot 315} = 0.9515 \quad .ג \quad \text{בעבור } \beta = \frac{1}{3} ; \cos \varphi = 0.75$$

פתרון שאלה 51

חשב:	נתון:
.א. $\beta_{opt} = ?$	$U_1 = 10KV$
.ב. $U_2 = ?$	$U_{20} = 0.4KV$
.ג. $\eta_{max} = ?$	$S_n = 300KVA$
	$P_0 = 1.2KW$
	$u_k = 5.5\%$
	$I_k = 30A$
	$P_k = 5.7KW$
	$\cos \varphi = 0.85 \text{ind}$
	$\eta = \eta_{max}$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{300}{10} = 30A$$

$$I_k = I_{1n}$$

$$\beta = \beta_{opt} = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{1.2}{5.7}} = 0.459$$

$$\cos \varphi = 0.85 \Rightarrow \sin \varphi = 0.527$$

$$u_{Rk} = \frac{P_k}{S_n} \cdot 100\% = \frac{5.7}{300} \cdot 100 = 1.9\%$$

$$u_{xk} = \sqrt{u_k^2 - u_{Rk}^2} = \sqrt{5.5^2 - 1.9^2} = 5.16\%$$

$$\Delta u\% = \beta(u_{rk} \cos \varphi + u_{xk} \sin \varphi) = 0.459(1.9 \cdot 0.85 + 5.16 \cdot 0.527) = 1.99\%$$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\Delta u\%}{100}\right) = 400 \left(1 - \frac{1.99}{100}\right) = 392V$$

$$\eta_{max} = \frac{\beta_{opt} S_n \cos \varphi}{\beta_{opt} S_n \cos \varphi + P_0 + \beta_{opt}^2 P_k} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{0.459 \cdot 300 \cdot 0.85}{0.459 \cdot 300 \cdot 0.85 + 1.2 + 0.459^2 \cdot 5.7} \cdot 100 = 98\%$$

.א. בדיקה:

.ב.

.ג.

פתרון שאלה 52

חשב:	נתון:
.א. $I_1 = ?$	$U_1 = 400V$
.ב. $\Delta P_{Fe} = ?$	$\cos \varphi_2 = 1$
.ג. $\Delta P_{Cu} = ?$	$I_2 = 18A$
.ד. $R_K = ?$	$U_2 = 133V$ $\cos \varphi_1 = 0.92$ $\eta = 95\%$ $I_0 = 1.1A$ $\cos \varphi_0 = 0.095$

$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = 133 \cdot 18 \cdot 1 = 2394W$.א.

$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{2394}{0.95} = 2520W$

$I_1 = \frac{P_1}{U_1 \cos \varphi_1} = \frac{2520}{400 \cdot 0.92} = 6.85A$

$\Delta P_{Fe} = P_0 = U_1 I_0 \cos \varphi_0 = 400 \cdot 1.1 \cdot 0.095 = 41.8W$.ב.

$\Delta P_{Cu} = P_1 - P_2 - \Delta P_{Fe} = 2520 - 2394 - 41.8 = 84.2W$.ג.

$R_K = \frac{\Delta P_{Cu}}{I_1^2} = \frac{84.2}{6.85^2} = 1.79\Omega$.ד.

פתרון שאלה 53

חשב:	נתון:
.א. $R_0 = ?$	$S_n = 10KVA$
$X_0 = ?$	$U_1 = 400V$
$R_2' = ?$	$U_{20} = 230V$
$X_1 = ?$	$R_1 = 0.11\Omega$
.ב. צייר את סכימת התמורה	$X_1 = X_2'$
$R_2 = ?$	$U_0 = U_1$
$X_2 = ?$	$I_0 = 0.75A$ $P_0 = 60W$ $U_K = 14V$ $I_K = 25A$ $P_K = 125W$

$$I_a = \frac{P_0}{U_1} = \frac{60}{400} = 0.15A \quad .א$$

$$R_0 = \frac{U_1}{I_a} = \frac{400}{0.15} = 2667\Omega$$

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_a^2} = \sqrt{0.75^2 - 0.15^2} = 0.735A$$

$$X_0 = \frac{U_1}{I_\mu} = \frac{400}{0.735} = 544\Omega$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{10}{0.4} = 25A \quad \text{בדיקה}$$

$$I_K = I_{1n}$$

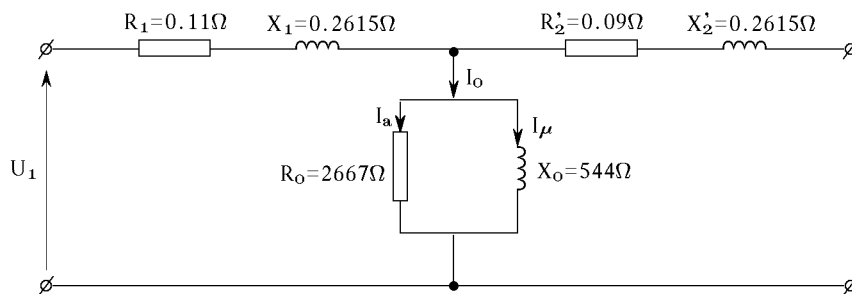
$$R_K = \frac{P_K}{I_{1n}^2} = \frac{125}{25^2} = 0.2\Omega$$

$$R_2' = R_K - R_1 = 0.2 - 0.11 = 0.09\Omega$$

$$Z_K = \frac{U_K}{I_{1n}} = \frac{14}{25} = 0.56\Omega$$

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = \sqrt{0.56^2 - 0.2^2} = 0.523\Omega$$

$$X_1 = X_2' = \frac{X_K}{2} = \frac{0.523}{2} = 0.2615\Omega$$



ב.

$$K = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{400}{230} = 1.74 \quad .ג$$

$$R_2 = \frac{R_2'}{K^2} = \frac{0.09}{1.74^2} = 0.0297\Omega$$

$$X_2 = \frac{X_2'}{K^2} = \frac{0.2615}{1.74^2} = 0.0864\Omega$$

פתרון שאלה 54

חשב:	נתון:
א. $\eta = ?$	$S = 20KVA$
$\beta = 1$	$U = 2200V / 220V$
ב. $\eta = ?$	$f = 50Hz$
$\beta = 0.5$	$\Delta P_{Cu} = 240W$
	$\Delta P_{Fe} = 220W$
	$\cos \varphi = 0.8$

א. בעבור $\beta = 1$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi + \Delta P_{Fe} + \beta^2 \Delta P_{Cu}}$$

$$\eta = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 0.8}{20 \cdot 10^3 \cdot 0.8 + 220 + 240} = 0.972$$

ב. בעבור $\beta = 0.5$

$$\eta = \frac{0.5 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.8}{0.5 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.8 + 220 + 0.5^2 \cdot 240} = 0.966$$

פתרון שאלה 55

חשב:	נתון:
א. $U_2 = ?$	$U_1 = 15KV$
ב. $I_2 = ?$	$U_{20} = 0.4KV$
	$S_n = 180KVA$
	$u_K = 5\%$
	$P_K = 2KW$
	$I_K = 10A$
	$\beta = 85\%$
	$\cos \varphi = 0.92ind$

א. בדיקה

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{180}{15} = 12A$$

$$I_K \neq I_{1n}$$

$$R_K = \frac{P_{Kn}}{I_{1n}^2} = \frac{P_K}{I_K^2}$$

התאמת הספק הקצר לערך הנקוב:

$$P_{Kn} = P_K \cdot \left(\frac{I_{1n}}{I_K} \right)^2 = 2 \cdot \left(\frac{12}{10} \right)^2 = 2.88KW$$

$$u_{RK_n} = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100\% = \frac{2.88}{180} \cdot 100 = 1.6\%$$

$$\frac{u_{K_n}}{I_{1n}} = \frac{u_K}{I_K}$$

התאמת מתח הקצר לערך הנקוב:

$$u_{K_n} = u_k \cdot \frac{I_{1n}}{I_K} = 5 \cdot \frac{12}{10} = 6\%$$

$$u_{X_{k_n}} = \sqrt{u_{K_n}^2 - u_{RK_n}^2} = \sqrt{6^2 - 1.6^2} = 5.78\%$$

$$\cos \varphi = 0.92 \Rightarrow \sin \varphi = 0.392$$

$$\delta_u = \beta (u_{RK_n} \cos \varphi + u_{X_{k_n}} \sin \varphi) = 0.85(1.6 \cdot 0.92 + 5.78 \cdot 0.392) = 3.177\%$$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta_u}{100}\right) = 400 \left(1 - \frac{3.177}{100}\right) = 387V$$

$$I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{\beta S_n}{U_2} = \frac{0.85 \cdot 180000}{387} = 395.3A$$

ב.

פתרונות לנושא ג.2

פתרון שאלה 56 – ראו עמוד 20

פתרון שאלה 57

נתון:	חשב:
	א. Δ/Y
	ב. $U_1 = 4KV$
	ג. $I_2 = 1000A$
	$N_1 = 5000T$
	$N_2 = 300T$
	$U_2 = ?$
	$I_1 = ?$
	$S = ?$

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{ph1}}{U_{ph2}} \quad .א$$

$$U_{ph2} = \frac{N_2 \cdot U_{ph1}}{N_1} = \frac{300 \cdot 4000}{5000} = 240V$$

$$U_2 = \sqrt{3} \cdot U_{ph2} = 415.7V$$

$$I_2 = I_{ph2} = 1000A \quad .ב$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_{ph2}}{I_{ph1}}$$

$$I_{ph1} = \frac{N_2 \cdot I_2}{N_1} = \frac{300 \cdot 1000}{5000} = 60A$$

$$I_1 = \sqrt{3} \cdot I_{ph1} = \sqrt{3} \cdot 60 = 103.92A$$

$$S = \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot U_1 = \sqrt{3} \cdot 103.92 \cdot 4000 = 720KVA \quad .ג$$

$$S = \sqrt{3} \cdot I_2 \cdot U_2 = \sqrt{3} \cdot 1000 \cdot 415.7 = 720KVA$$

פתרון שאלה 58

	חשב:	נתון:
$K = ?$	.א	Δ / Y
$N_2 = ?$	.ב	$S_n = 800KVA$
$U_2 = ?$	.ג	$U_1 = 22KV$
$\eta = ?$	.ד	$U_{20} = 0.4KV$
		$f = 50Hz$
		$u_K = 6\%$
		$\Delta P_{Cu} = 11KW$
		$\Delta P_{Fe} = 1.45KW$
		$N_1 = 7620T$
		$\beta = 1$
		$\cos \varphi = 0.77$
$K = \frac{U_1}{U_{20ph}} = \frac{U_1 \sqrt{3}}{U_2} = \frac{22\sqrt{3}}{0.4} = 95.26$		.א עבור חיבור Δ / Y
$N_2 = \frac{N_1}{K} = \frac{7620}{95.26} = 80$		.ב
$u_{RK} = \frac{\Delta P_{Cu}}{S_n} \cdot 100\% = \frac{11}{800} \cdot 100 = 1.375\%$		.ג
$u_{XK} = \sqrt{u_K^2 - u_{RK}^2} = \sqrt{6^2 - 1.375^2} = 5.84\%$		
$\cos \varphi = 0.77 \Rightarrow \sin \varphi = 0.638$		
$\delta_u = \beta(u_{RK} \cos \varphi + u_{XK} \sin \varphi) = 1(1.375 \cdot 0.77 + 5.84 \cdot 0.638) = 4.78\%$		
$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta_u}{100}\right) = 400 \left(1 - \frac{4.78}{100}\right) = 381V$		
$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi}{\beta S_n \cos \varphi + \Delta P_{Fe} + \beta^2 \Delta P_{Cu}} \cdot 100\% = \frac{1 \cdot 800 \cdot 0.77}{1 \cdot 800 \cdot 0.77 + 1.45 + 1^2 \cdot 11} \cdot 100 = 98\%$		.ד

פתרון שאלה 59

נתון:	חשב:
	א. Δ / Y
$K = ?$	ב. $S_n = 160KVA$
$I_1 = ?$	$U_1 = 22KV$
$I_2 = ?$	ג. $U_{20} = 0.4KV$
$U_2 = ?$	$U_K = 455V$
	$I_K = 2.17A$
	$P_K = 320W$
	$P = 80KW$
	$\cos \varphi = 0.72ind$

$$K = \frac{U_1}{U_{20ph}} = \frac{U_1 \sqrt{3}}{U_{20}} = \frac{22\sqrt{3}}{0.4} = 95.3$$

א. בעבור חיבור Δ / Y :

$$I_1 = \frac{S_n}{U_1 \sqrt{3}} = \frac{160}{22\sqrt{3}} = 4.2A$$

ב.

$$I_2 = KI_{1ph} = K \cdot \frac{I_1}{\sqrt{3}} = 95.3 \cdot \frac{4.2}{\sqrt{3}} = 231A$$

$$I_K \neq I_1$$

ג. בדיקה :

$$\frac{P_{K_n}}{I_1^2} = \frac{P_K}{I_K^2}$$

התאמת הספק הקצר לערך נקוב :

$$P_{K_n} = P_K \left(\frac{I_1}{I_K} \right)^2 = 320 \cdot \left(\frac{4.2}{2.17} \right)^2 = 1198W$$

$$\frac{U_{K_n}}{I_1} = \frac{U_K}{I_K}$$

התאמת מתח הקצר לערך הנקוב :

$$U_{K_n} \cdot \frac{I_1}{I_K} = 455 \cdot \frac{4.2}{2.17} = 880V$$

$$u_K = \frac{U_{K_n}}{U_1} \cdot 100\% = \frac{880}{22 \cdot 10^3} = 4\%$$

$$u_{RK} = \frac{P_{K_n}}{S_n} \cdot 100\% = \frac{1198}{160 \cdot 10^3} \cdot 100 = 0.75\%$$

$$u_{XK} = \sqrt{u_K^2 - u_{RK}^2} = \sqrt{4^2 - 0.75^2} = 3.93\%$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{80}{0.72} = 111.1KVA$$

$$\beta = \frac{S}{S_n} = \frac{111.1}{160} = 0.694$$

$$\cos \varphi = 0.72 \Rightarrow \sin \varphi = 0.694$$

$$\delta u = \beta(u_{RK} \cos \varphi + u_{XK} \sin \varphi) = 0.694(0.75 \cdot 0.72 + 3.93 \cdot 0.694) = 2.27\%$$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\delta u}{100}\right) = 400 \left(1 - \frac{2.27}{100}\right) = 391V$$

פתרון שאלה 60

חשב:	נתון:
$P = ?$	$S_n = 400KVA$
$I_2 = ?$	$U_1 = 22KV$
$\eta = ?$	$U_{20} = 0.4KV$
	$\cos \varphi = 0.92$
	$U_2 = 391V$
	$u_K = 4\%$
	$P_K = 8KW$
	$S_{opt} = 200KVA$

$$\delta u = \left(1 - \frac{U_2}{U_{20}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{391}{400}\right) \cdot 100 = 2.25\%$$

.א

$$u_{RK} = \frac{P_K}{S_n} \cdot 100\% = \frac{8}{400} \cdot 100 = 2\%$$

$$u_{XK} = \sqrt{u_K^2 - u_{RK}^2} = \sqrt{4^2 - 2^2} = 3.46\%$$

$$\cos \varphi = 0.92 \Rightarrow \sin \varphi = 0.392$$

$$\delta u = \beta(u_{RK} \cos \varphi + u_{XK} \sin \varphi)$$

$$2.25 = \beta(2 \cdot 0.92 + 3.46 \cdot 0.392)$$

$$\beta = \frac{2.25}{3.2} = 0.704$$

$$S = \beta S_n = 0.704 \cdot 400 = 282KVA$$

$$P = S \cos \varphi = 282 \cdot 0.92 = 259KW$$

$$I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{282 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 391} = 416.4A$$

.ב

$$\beta_{opt} = \frac{S_{opt}}{S_n} = \frac{200}{400} = 0.5$$

.ג

$$P_0 = \beta_{opt}^2 P_K = 0.5^2 \cdot 8 = 2KW$$

$$\eta = \frac{P}{P + P_0 + \beta^2 P_K} = \frac{259}{259 + 2 + 0.704^2 \cdot 8} = 0.9775$$

פתרון שאלה 61

חשב:	נתון:
א. האם אופי העומס המחובר לשנאי הוא השראתי או קיבולי?	$S_n = 400KVA$
ב. $u_K = ?$	$U_{20} = 400V$
ג. $P_K = ?$	$\cos \varphi_K = 0.216$
ד. $\eta = ?$	$P_0 = 960W$ $S = 275KVA$ $\cos \varphi = 0.9$ $U_2 = 403V$

$$\beta = \frac{S}{S_n} = \frac{275}{400} = 0.6875 \quad .א$$

$$\delta u = \left(1 - \frac{U_2}{U_0}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{403}{400}\right) \cdot 100 = -0.75\% \quad \text{הצרכן הוא קיבולי:}$$

$$\delta u = \beta(u_K \cos \varphi_K \cos \varphi + u_K \sin \varphi_K \sin \varphi) \quad .ב$$

$$\cos \varphi_K = 0.216 \Rightarrow \sin \varphi_K = 0.976$$

$$\cos \varphi = 0.9 \Rightarrow \sin \varphi = -0.436$$

$$-0.75 = 0.6875[u_K \cdot 0.216 \cdot 0.9 + u_K \cdot 0.976(-0.436)]$$

$$-\frac{0.75}{0.6875} = -0.231u_K$$

$$u_K = \frac{0.75}{0.6875 \cdot 0.231} = 4.72\%$$

$$P_K = \frac{u_K \cos \varphi_K}{100} \cdot S_n = \frac{4.72 \cdot 0.216}{100} \cdot 400 = 4.08KW \quad .ג$$

$$\eta = \frac{S \cos \varphi}{S \cos \varphi + P_0 + \beta^2 P_K} \cdot 100\% = \frac{275 \cdot 0.9}{275 \cdot 0.9 + 0.96 + 0.6875^2 \cdot 4.08} \cdot 100 = 98.8\% \quad .ד$$

פתרון שאלה 62

חשב:	נתון:
א. $u_K = ?$	$S_n = 800KVA$
ב. $P_K = ?$	$U_{20} = 400V$
ג. $\eta = ?$	$\cos \varphi_K = 0.22$ $P_0 = 2.1KW$ $S = 480KVA$ $\cos \varphi = 0.85 \text{ind}$ $U_2 = 390V$

$$\delta u = \left(1 - \frac{U_2}{U_{20}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{390}{400}\right) 100 = 2.5\% \quad .א$$

$$\beta = \frac{S}{S_n} = \frac{480}{800} = 0.6$$

$$\cos \varphi_K = 0.22 \Rightarrow \sin \varphi_K = 0.975$$

$$\cos \varphi = 0.85 \Rightarrow \sin \varphi = 0.527$$

$$\delta u = \beta(u_K \cos \varphi_K \cos \varphi + u_K \sin \varphi_K \sin \varphi)$$

$$2.5 = 0.6(u_K \cdot 0.22 \cdot 0.85 + u_K \cdot 0.975 \cdot 0.527)$$

$$\frac{2.5}{0.6} = 0.7u_K$$

$$u_K = \frac{2.5}{0.6 \cdot 0.7} = 5.95\%$$

$$P_K = \frac{u_K}{100} \cdot \cos \varphi_K \cdot S_n = \frac{5.95}{100} \cdot 0.22 \cdot 800 = 10.5 \text{ KW} \quad .ב$$

$$\eta = \frac{S \cos \varphi}{S \cos \varphi + P_0 + \beta^2 P_K} \cdot 100\% = \frac{480 \cdot 0.85}{480 \cdot 0.85 + 2.1 + 0.6^2 \cdot 10.5} \cdot 100 = 98.6\% \quad .ג$$

פתרון שאלה 63

חשב:	נתון:
$U_2' = ?$	.א $S_n = 190 \text{ KVA}$
$\eta' = ?$	.ב $U_{20} = 400 \text{ V}$
	$P_0 = 1.44 \text{ KW}$
	$\beta = 1$
	$\cos \varphi = 0.86 \text{ ind}$
	$U_2 = 380 \text{ V}$
	$S_{opt} = 114 \text{ KVA}$
	$S' = 95 \text{ KVA}$
	$\cos \varphi' = 0.68 \text{ ind}$

$$\beta_{opt} = \frac{S_{opt}}{S_n} = \frac{114}{190} = 0.6 \quad .א$$

$$P_K = \frac{P_0}{\beta_{opt}^2} = \frac{1.44}{0.6^2} = 4 \text{ KW}$$

$$u_{RK} = \frac{P_K}{S_n} \cdot 100\% = \frac{4}{190} \cdot 100 = 2.1\%$$

$$\delta u = \left(1 - \frac{U_2}{U_{20}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{380}{400}\right) 100 = 5\%$$

$$\cos \varphi = 0.86 \Rightarrow \sin \varphi = 0.51$$

$$\begin{aligned}\delta u &= \beta(u_{RK} \cos \varphi + u_{XK} \sin \varphi) \\ 5 &= 1(2.1 \cdot 0.86 + u_{XK} \cdot 0.51) \\ u_{XK} &= \frac{5 - 2.1 \cdot 0.86}{0.51} = 6.26\%\end{aligned}$$

$$\beta' = \frac{S'}{S_n} = \frac{95}{190} = 0.5$$

$$\cos \varphi' = 0.68 \Rightarrow \sin \varphi' = 0.733$$

$$\delta' u = \beta' (u_{RK} \cos \varphi' + u_{XK} \sin \varphi') = 0.5(2.1 \cdot 0.68 + 6.26 \cdot 0.733) = 3\%$$

$$U_2' = U_{20} \left(1 - \frac{\delta u'}{100}\right) = 400 \left(1 - \frac{3}{100}\right) = 388V$$

$$\eta' = \frac{S' \cos \varphi'}{S' \cos \varphi' + P_0 + \beta'^2 P_K} \cdot 100\% = \frac{95 \cdot 0.68}{95 \cdot 0.68 + 1.44 + 0.5^2 \cdot 4} \cdot 100 = 96.36\% \quad \text{ב.}$$

פתרון שאלה 64

חשב:	נתון:
$u_K = ?$	א. Y / Y
$P_K = ?$	ב. $S_n = 630KVA$
$\eta = ?$	ג. $U_{1n} = 22KV$
	$U_{20} = 0.4KV$
	$f = 50Hz$
	$P_0 = 3.1KW$
	$\cos \varphi_K = 0.24$
	$I_K = I_{1n}$
	$P = 360KW$
	$\cos \varphi = 0.8ind$
	$U_2 = 386V$

$$\beta = \frac{S}{S_n} = \frac{P}{S_n \cos \varphi} = \frac{360}{630 \cdot 0.8} = 0.714$$

.א

$$\delta u = \left(1 - \frac{U_2}{U_{20}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{386}{400}\right) \cdot 100 = 3.5\%$$

$$\cos \varphi_K = 0.24 \Rightarrow \sin \varphi_K = 0.97$$

$$\cos \varphi = 0.8 \Rightarrow \sin \varphi = 0.6$$

$$\delta u = \beta(u_K \cos \varphi_K \cdot \cos \varphi + u_K \sin \varphi_K \cdot \sin \varphi)$$

$$3.5 = 0.714(u_K \cdot 0.24 \cdot 0.8 + u_K \cdot 0.97 \cdot 0.6)$$

$$(0.192 + 0.582)u_K = \frac{3.5}{0.714}$$

$$u_K = \frac{3.5}{0.714 \cdot 0.774} = 6.33\%$$

$$U_K = 0.0633U_{1n} = 0.0633 \cdot 22 = 1.393KV \quad .\text{ב}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{1n}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 22} = 16.53A$$

$$P_K = \sqrt{3}U_K I_{1n} \cos \varphi_K = \sqrt{3} \cdot 1.393 \cdot 16.53 \cdot 0.24 = 9.572KW$$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi}{\beta S_n \cos \varphi + P_0 \beta^2 P_K} \cdot 100\% = \frac{0.714 \cdot 630 \cdot 0.8}{0.714 \cdot 630 \cdot 0.8 + 3.1 + 0.714^2 \cdot 9.572} \cdot 100 = 97.8\% \quad .\text{ג}$$

פתרון שאלה 65

חשב:	נתון:
$I_a = ?$	.א. Y / Δ
$I_\mu = ?$	$U_1 = 22KV$
$R_0 = ?$	.ב. $U_{20} = 0.4KV$
$X_0 = ?$	$S_n = 50KVA$
$R_2' = ?$	$I_0 = 36.7mA$
$X_2' = ?$	$P_0 = 210W$
$R_2 = ?$	.ג. $u_K = 4\%$
$X_2 = ?$	$P_K = 1250W$
סרטת תרשים תמורה	.ד. $R_1 = 120\Omega$
	$X_1 = 300\Omega$

$$I_a = \frac{P_0}{\sqrt{3}U_1} = \frac{210}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3} = 5.51 \cdot 10^{-3} A \quad .\text{א}$$

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_a^2} = \sqrt{36.7^2 - 5.51^2} = 36.3mA$$

$$R_0 = \frac{U_1}{\sqrt{3}I_a} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 5.51 \cdot 10^{-3}} = 2.3 \cdot 10^6 \Omega \quad .\text{ב}$$

$$X_0 = \frac{U_1}{\sqrt{3}I_\mu} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 36.3 \cdot 10^{-3}} = 3.5 \cdot 10^5 \Omega$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 22} = 1.31A$$

$$R_K = \frac{P_K}{3I_{1n}^2} = \frac{1250}{3 \cdot 1.31^2} = 243\Omega$$

$$R_2' = R_K - R_1 = 243 - 120 = 123\Omega$$

$$U_k = \frac{u_K}{100} \cdot U_1 = \frac{4}{100} \cdot 22 \cdot 10^3 = 880V$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_{1n}} = \frac{880}{1.31} = 672\Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{672^2 - 243^2} = 627\Omega$$

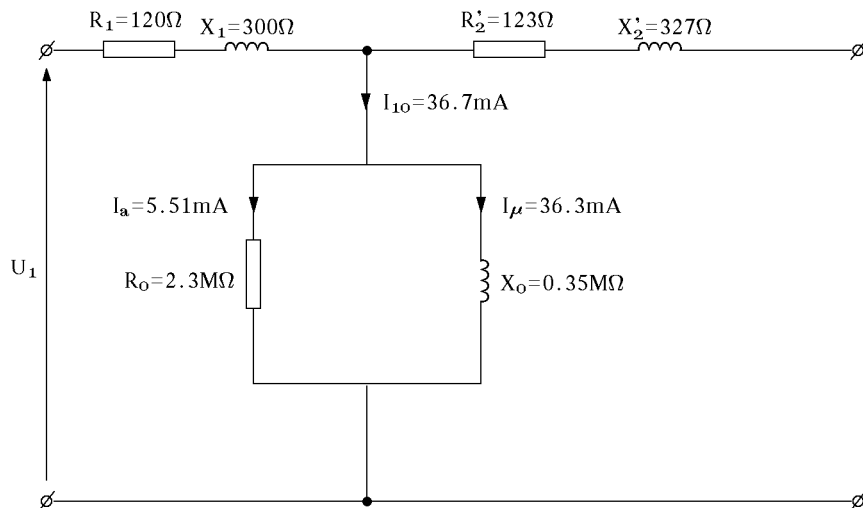
$$X_2' = X_k - X_1 = 627 - 300 = 327\Omega$$

$$K = \frac{U_1}{\sqrt{3} \cdot U_{20}} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 31.75$$

ג.

$$R_2 = \frac{R_2'}{K^2} = \frac{123}{31.75^2} = 0.122\Omega$$

$$X_2 = \frac{X_2'}{K^2} = \frac{327}{31.75^2} = 0.324\Omega$$



ד.

פיתרון שאלה 66

חשב:	נתון:
$\Delta P_{Fe} = ?$	א. Δ / Y
$\Delta P_{Cu} = ?$	$S_n = 250KVA$
$\eta = ?$	ב. $U_1 = 22KV$
$\beta_{opt} = ?$	ג. $I_0 = 0.197A$
$\eta_{max} = ?$	$\cos \varphi_0 = 0.1$
	$I_k = I_{1n}$
	$u_k = 6\%$
	$\cos \varphi_k = 0.3$
	$P = 240KW$
	$\cos \varphi = 0.92ind$

$$\Delta P_{Fe} = P_0 = \sqrt{3}U_1 I_0 \cos \varphi_0 = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 0.197 \cdot 0.1 = 750W \quad .א$$

$$I_{1ph} = \frac{S_n}{3U_1} = \frac{250}{3 \cdot 22} = 3.79A$$

$$U_k = \frac{u_k}{100} \cdot U_1 = \frac{6}{100} \cdot 22 \cdot 10^3 = 1320V$$

$$P_k = 3U_k I_{1ph} \cos \varphi_k = 3 \cdot 1320 \cdot 3.79 \cdot 0.3 = 4500W$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{240}{0.92} = 261KVA$$

$$\beta = \frac{S}{S_n} = \frac{261}{250} = 1.043$$

$$\Delta P_{Cu} = \beta^2 P_k = 1.043^2 \cdot 4500 = 4895W$$

$$\eta = \frac{P}{P + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu}} \cdot 100\% = \frac{240}{240 + 0.75 + 4.895} \cdot 100 = 97.7\% \quad .ב$$

$$\beta_{opt} = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{750}{4500}} = 0.408 \quad .ג$$

$$\eta_{max} = \frac{\beta_{opt} S_n \cos \varphi}{\beta_{opt} S_n \cos \varphi + P_0 + \beta_{opt}^2 P_k} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{0.408 \cdot 250 \cdot 0.92}{0.408 \cdot 250 \cdot 0.92 + 0.75 + 0.408^2 \cdot 4.5} \cdot 100 = 98.4\%$$

פתרון שאלה 67

חשב:	נתון:
$U_2 = ?$	שנאי תלת-מופעי
א. בחיבור Y/Y	$\frac{N_1}{N_2} = 7:4$
ב. בחיבור Y/Δ	$U_1 = 7.5KV$
ג. בחיבור Δ/Δ	
ד. בחיבור Δ/Y	

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow U_2 = \frac{U_1 N_2}{N_1} = 7500 \frac{4}{7} = 4285.7V \quad .א \quad \text{בחיבור Y/Y}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3}N_1}{N_2} \Rightarrow U_2 = \frac{U_1 N_2}{\sqrt{3}N_1} = 7500 \frac{4}{\sqrt{3} \cdot 7} = 2474.36V \quad .ב \quad \text{בחיבור Y/Δ}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow U_2 = \frac{U_1 N_2}{N_1} = 7500 \frac{4}{7} = 4285.7V \quad .ג \quad \text{בחיבור Δ/Δ}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{\sqrt{3}N_2} \Rightarrow U_2 = \frac{U_1 \sqrt{3} N_2}{N_1} = \frac{7500 \cdot \sqrt{3} \cdot 4}{7} = 7423.07V \quad \Delta / Y \text{ בחיבור } \text{ד.}$$

פתרון שאלה 68

חשב:	נתון:
א. $I_{ph1n} = ?$	שנאי תלת-מופעי
ב. $I_{ph2n} = ?$	$U_{1n} / U_{2n} = 400V / 120V$
$\begin{cases} N_1 = ? \\ N_2 = ? \\ U_{ליפיק} = 0.8V \end{cases}$	בחיבור Δ / Y $S_n = 12KVA$ $f_n = 50Hz$
ג. $\begin{cases} A_{גרעיק} = ? \\ B_{max} = 0.12 \frac{mWb}{cm^2} \end{cases}$	
ד. $\begin{cases} A_1 = ? \\ A_2 = ? \\ j = 2.6A / mm^2 \end{cases}$	
ה. $\begin{cases} \Delta P_{Fe} = ? \\ V = 0.015m^3 \\ \gamma_{Fe} = 7.8gr / cm^3 \\ K_{Fe} = 1.5W / Kg \end{cases}$	
ו. $\begin{cases} \Delta P_{Cu_n} = ? \\ L_m = 42cm \text{ דיקף ממוצע של כריכה} \end{cases}$	

$$\left. \begin{aligned} I_{1L_n} &= \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1L}} = \frac{12000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 17.32A \\ I_{1ph1} &= \frac{I_{1L}}{\sqrt{3}} = \frac{17.32}{\sqrt{3}} = 10A \end{aligned} \right\} \text{א. בחיבור משולש}$$

$$I_{ph2n} = I_{2L_n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_{2L}} = \frac{12000}{\sqrt{3} \cdot 120} = 57.74A \quad \text{בחיבור כוכב}$$

$$N_1 = \frac{U_{1ph}}{U_{ליפיק}} = \frac{400}{0.8} = 500T \quad \text{ב.}$$

$$N_2 = \frac{U_{2ph}}{U_{ליפיק}} = \frac{120}{0.8} = 87T$$

$$U_{1ph} = 4.44 \cdot f \cdot N_1 \cdot B_{\max} \cdot A \quad .ג$$

$$A = \frac{U_{1ph}}{4.44 \cdot f \cdot N_1 \cdot B_{\max}} = \frac{400}{4.44 \cdot 50 \cdot 500 \cdot 0.12 \cdot 10^{-3}} = 30.03 \text{cm}^2$$

$$A_1 = \frac{I_{1phn}}{j} = \frac{10}{2.6} = 3.85 \text{mm}^2 \quad .ד$$

$$A_2 = \frac{I_{2phn}}{j} = \frac{57.74}{2.6} = 22.2 \text{mm}^2$$

$$\Delta P_{Fe} = K_{Fe} \cdot G_{Fe} \quad .ה$$

$$G_{Fe} = V_{Fe} \cdot \gamma_{Fe} = 0.015 \cdot 7800 \text{Kg} / \text{m}^3 = 117 \text{Kg}$$

$$\Delta P_{Fe} = 1.5 \cdot 117 = 175.5 \text{W}$$

$$l_1 = N_1 \cdot L_m = 500 \cdot 0.42 = 210 \text{m} \quad .ו$$

$$r_1 = \frac{\rho l_1}{A_1} = \frac{0.018 \cdot 210}{3.85} = 0.981 \Omega$$

$$\Delta P_{Cu1n} = 3 \cdot r_1 \cdot I_{1phn}^2 = 3 \cdot 0.981 \cdot 10^2 = 294.3 \text{W}$$

$$l_2 = N_2 \cdot L_m = 87 \cdot 0.42 = 36.54 \text{m}$$

$$r_2 = \frac{\rho l_2}{A_2} = \frac{0.018 \cdot 36.54}{22.2} = 0.0296 \Omega$$

$$\Delta P_{Cu2n} = 3 \cdot r_2 \cdot I_{2phn}^2 = 3 \cdot 0.0298 \cdot 57.74^2 = 296 \text{W}$$

$$\Delta P_{Cu_n} = \Delta P_{Cu1n} + \Delta P_{Cu2n} = 294.3 + 296 = 590.3 \text{W}$$

פתרון שאלה 69

חשב:

נתון:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_2 = ? \\ \beta = 60\% \\ \cos \varphi_2 = 0.85 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U_2' = ? \\ \beta' = 42\% \\ \cos \varphi_2' = 0.68 \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} .א \quad S_n = 20 \text{KVA} \\ U_{1n} / U_{2n} = 6.3 \text{KV} / 400 \text{V} \\ f = 50 \text{Hz} \\ .ב \quad U_K = 5.4\% \\ P_K = 450 \text{W} \end{array} \right\}$$

$$U_2 = U_{2n} \left(1 - \frac{\Delta U \%}{100} \right) \quad .א$$

$$\Delta U \% = \beta (\Delta U_R \% \cdot \cos \varphi_2 + \Delta U_X \% \cdot \sin \varphi_2)$$

$$\Delta U_R \% = \frac{P_K}{S_n} \cdot 100 = \frac{450}{20000} \cdot 100 = 2.25 \%$$

$$\Delta U_X \% = \sqrt{(U_K \%)^2 - (\Delta U_R \%)^2} = \sqrt{(5.4)^2 - (2.25)^2} = 4.909\%$$

$$\Delta U \% = 0.6(2.25 \cdot 0.85 + 4.909 \cdot 0.526) = 2.69676\%$$

$$U_2 = U_{2n} \left(1 - \frac{\Delta U \%}{100} \right) = 400 \left(1 - \frac{2.69676}{100} \right) = 389.2V$$

$$U_2' = U_{2n} \left(1 - \frac{\Delta U \%}{100} \right) \quad .ב$$

$$\Delta U' = \beta' \cdot (\Delta U_R \% \cdot \cos \varphi_2' + \Delta U_X \% \cdot \sin \varphi_2') =$$

$$= 0.42(2.25 \cdot 0.68 + 4.909 \cdot 0.733) = 2.15388\%$$

$$U_2' = 400 \left(1 - \frac{2.15388}{100} \right) = 391.38V$$

פתרון שאלה 70

	חשב:	נתון:
$I_{1n} = ?$	.א	שנאי תלת-מופעי:
$\left\{ \begin{array}{l} \eta = ? \\ \beta = 60\% \\ \cos \varphi_2 = 0.9 \end{array} \right.$	.ב	$U_{1n} = 12600V$
		$U_{2n} = 400V$
		$S_n = 50KVA$
		$\Delta P_{Cu} = 4300W$
		$\Delta P_{Fe} = 800W$
		Δ / Y חיבור:

$$\left. \begin{array}{l} I_{1L_n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1L}} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 12600} = 2.29A \\ I_{1Ph_n} = \frac{I_{1L_n}}{\sqrt{3}} = \frac{2.291}{\sqrt{3}} = 1.323A \end{array} \right\} \text{הליפוף הראשוני מחובר במשולש} \quad .א$$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2 + \beta^2 \cdot P_K + P_0} = \frac{0.6 \cdot 50000 \cdot 0.9 \cdot 100}{0.6 \cdot 50000 \cdot 0.9 + 0.6^2 \cdot 4300 + 800} \cong 92\% \quad .ב$$

פתרון שאלה 71

חשב:		נתון:
$I_{LM} = ?$	א.	שנאי תלת-מופעי:
$K = ?$	ב.	$S_n = 120KVA$
$I_{L1} = ?$	ג. שנאי	$U_{1n} / U_{2n} = 33000 / 400V$
		Δ / Y חיבור:
		מנוע תלת-מופעי:
		$P_{2nM} = 85KW$
		$\eta_M = 0.88$
		$\cos \varphi_M = 0.9$

$$I_{LM} = \frac{P_{2nM}}{\eta_M \cdot \sqrt{3} \cdot U_{LM} \cdot \cos \varphi_M} = \frac{85000}{0.88 \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9} = 154.91A \quad \text{א.}$$

$$K = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{33000}{400} = 82.5 \quad \text{ב.}$$

$$I_{L2} = I_{2ph} = I_{LM} = 154.91A \quad \text{ג. בחיבור כוכב של הצד המשני של השנאי}$$

$$I_{ph1} = \frac{I_{L2}}{K} = \frac{154.91}{82.5} = 1.88A$$

$$I_{L1} = I_{ph1} \cdot \sqrt{3} = 1.88 \cdot \sqrt{3} = 3.25A$$

פתרון שאלה 72

חשב:		נתון:
$N_1 = ?$	א.	שנאי תלת-מופעי:
$N_2 = ?$	ב.	$S_n = 420KVA$
$\Delta N = ?$	ג.	$U_1 = 10000V \pm 5\%$
		$U_2 = 400V$
		Y / Y_0 חיבור:
		שטח הגרעין: $A = 279cm^2$
		$B_{max} = 1.43Wb/m^2$

$$U_{Ph1} = \frac{U_{1L}}{\sqrt{3}} = \frac{10000}{\sqrt{3}} = 5773.5V \quad \text{א. בסליל הראשוני:}$$

$$U_{Ph1} = 4.44 \cdot f \cdot N_1 \cdot B_{max} \cdot A$$

$$N_1 = \frac{U_{Ph1}}{4.44 \cdot f \cdot B_{max} \cdot A} = \frac{5773.5}{4.44 \cdot 50 \cdot 1.43 \cdot 279 \cdot 10^{-4}} \cong 652T$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{Ph1}}{U_{Ph2}} = \frac{U_{L1}}{U_{L2}} \Rightarrow N_2 = \frac{N_1 \cdot U_{L2}}{U_{L1}} = \frac{652 \cdot 400}{10000} = 27T \quad \text{ב. בסליל המשני:}$$

$$\Delta N_1 = \pm 5\% \cdot N_1 = \pm \frac{5}{100} \cdot 652 = \pm 33T \quad \text{ג. } \Delta N_1 = \text{מספר הכריכות הדרוש לשינוי המתח:}$$

פתרון שאלה 73

$\begin{cases} \eta_1 = ? \\ \beta_1 = 1 \\ \cos \varphi_1 = 0.8 \end{cases}$	<p>חשב:</p> <p>א.</p>	<p>נתון: שנאי תלת-מופעלי: $S_n = 20KVA$ $f = 50Hz$</p>
$\begin{cases} \eta_2 = ? \\ \beta_2 = 1 \\ \cos \varphi_2 = 1 \end{cases}$	<p>ב.</p>	<p>$P_0 = 180W$ $P_K = 600W$</p>

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi \cdot 100}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi + \beta^2 \cdot P_K + P_0}$$

א. בעבור $\beta = 1$; $\cos \varphi = 0.8$

$$\eta_1 = \frac{1 \cdot 20000 \cdot 0.8 \cdot 100}{1 \cdot 20000 \cdot 0.8 + 1^2 \cdot 600 + 180} = 95.35\%$$

ב. בעבור $\beta = 1$; $\cos \varphi = 1$

$$\eta_2 = \frac{1 \cdot 20000 \cdot 1 \cdot 100}{1 \cdot 20000 \cdot 1 + 1^2 \cdot 600 + 180} = 96.25\%$$

פתרון שאלה 74

$\begin{cases} \beta = ? \\ \eta_{1max} = ? \\ \cos \varphi_2 = 0.8 \end{cases}$	<p>חשב:</p> <p>א.</p>	<p>נתון: שנאי תלת-מופעלי $S_n = 320KVA$ $P_0 = 1.7KW$</p>
$\begin{cases} \eta_{2max} = ? \\ \cos \varphi_2 = 1 \end{cases}$	<p>ב.</p>	<p>$P_K = 5.7KW$</p>

א. התנאי לקבלת נצילות מקסימלית הוא שההפסדים הקבועים יהיו שווים להפסדים המשתנים:

$$P_0 = \beta^2 \cdot P_K$$

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}} = \sqrt{\frac{1700}{5700}} = 0.546$$

מכאן ניתן לחלץ את יחס ההעמסה (β):

$$\eta_{1\max} = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi \cdot 100}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi + \beta^2 \cdot P_K + P_0} =$$

$$= \frac{0.546 \cdot 320,000 \cdot 0.8 \cdot 100}{0.546 \cdot 320,000 \cdot 0.8 + 0.546^2 \cdot 5700 + 1700} = 97.6\%$$

$$\begin{cases} \beta = 0.546 \\ \cos \varphi_1 = 0.8 \end{cases}$$

$$\eta_{2\max} = \frac{0.546 \cdot 320,000 \cdot 1 \cdot 100}{0.546 \cdot 320,000 \cdot 1 + 0.546^2 \cdot 5700 + 1700} = 98.1\% \quad .ב$$

$$\begin{cases} \beta = 0.546 \\ \cos \varphi_2 = 1 \end{cases}$$

פתרון שאלה 75

חשב:	נתון:
.א	שנאי תלת-מופעי
	חיבור הסלילים: Δ / Y
.ב	$U_{1n} = 6000V$
	$U_{2n} = 380V$
	$\phi = 0.02Wb = 2 \cdot 10^6 Mx$
	$f = 50Hz$

$$U_{L_1} = U_{Ph_1} = 6000V \quad .א$$

$$E_{Ph_1} = U_{1ph} - R_{1ph} \cdot I_{1ph} = U_{1ph} - \frac{2.5}{100} \cdot U_{1ph} = 6000 - \frac{2.5}{100} \cdot 6000 = 5850V$$

$$E_{1Ph} = 4.44 f N_1 \phi \Rightarrow N_1 = \frac{E_{1Ph}}{4.44 \cdot f \cdot \phi} = \frac{5850}{4.44 \cdot 50 \cdot 0.02} = 1318T$$

$$U_{2Ph} = \frac{U_{2L}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V \quad .ב \quad \text{הצד המשני מחובר בכוכב ולכן:}$$

$$E_{2Ph} = U_{2Ph} + R_{2Ph} \cdot I_{2Ph} = U_{2Ph} + \frac{2.5}{100} \cdot U_{2Ph} = 220 + \frac{2.5}{100} \cdot 220 = 225.5V$$

$$E_{2Ph} = 4.44 f \cdot N_2 \cdot \phi$$

$$N_2 = \frac{E_{2Ph}}{4.44 f \cdot \phi} = \frac{225.5}{4.44 \cdot 50 \cdot 0.02} = 51T$$

פתרון שאלה 76

		חשב:	נתון:
$\frac{U_1}{U_2} = ?$	א. בחיבור Δ / Y		$\frac{N_1}{N_2} = 6$ שנאי תלת-מופעי
$\frac{U_1}{U_2} = ?$	ב. בחיבור Y / Δ		
$\frac{U_1}{U_2} = ?$	ג. בחיבור Δ / Z		
$\frac{U_1}{U_2} = ?$	ד. בחיבור Y / Z		
$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{\sqrt{3}N_2} = \frac{6}{\sqrt{3}}$	א. בחיבור Δ / Y		
$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3}N_1}{N_2} = \sqrt{3} \cdot 6$	ב. בחיבור Y / Δ		
$N_2' = \frac{N_2}{2}$	ג. בחיבור Δ / Z		
$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{3 \cdot N_2'} = \frac{N_1}{3 \cdot \frac{N_2}{2}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N_1}{N_2} = \frac{2}{3} \cdot 6 = \frac{12}{3} = 4$			
$N_2' = \frac{N_2}{2}$	ד. בחיבור Y / Z		
$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{\sqrt{3}N_2'} = \frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot \frac{N_2}{2}} = \frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2} = \frac{6 \cdot 2}{\sqrt{3}} = \frac{12}{\sqrt{3}}$			

פתרון שאלה 77

		חשב:	נתון:
$I_2 = ?$	א.		שנאי תלת-מופעי:
$U_{2L} = ?$	ב.		$K = 20$
$P = ?$	ג.		$U_{L1} = 400V$
$\cos \varphi = 0.75$	ד. הסבר		$I_1 = 2.887A$
$\Delta P_{Fe}, \Delta P_{Cu}$			
$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1ph}}{U_{2ph}} = \frac{I_{2ph}}{I_{1ph}}$			א.
$I_{2ph} = K \cdot I_{1ph} = 20 \cdot 2.887 = 57.74A$			
$I_2 = \sqrt{3} \cdot I_{2ph} = \sqrt{3} \cdot 57.74 = 100A$			

$$U_{2ph} = \frac{U_{1ph}}{K} = \frac{U_{1L}}{\sqrt{3} \cdot K} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20} = 11.55V \quad .ב.$$

$$U_{2L} = U_{2ph} = 11.55V \quad \text{חיבור משולש}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{2L} \cdot I_{2L} \cdot \cos \varphi_2 = \sqrt{3} \cdot 11.55 \cdot 100 \cdot 0.75 = 1500W \quad .ג.$$

.ד. בשנאים קיימים שני סוגי הפסדים:

(1) הפסדי נחושת עקב ההספק המתפתח בהתנגדות מוליכי הנחושת, המלוכפים בשנאי. הפסדים אלו מודדים כאשר המשני מקוצר ובראשוני מעלים את המתח עד שמקבלים בו זרם נומינלי.

(2) הפסדי הברזל הנוצרים עקב זרמי מערבולת בפחיות ועקב לולאת החשל. הפסדים אלו נמדדים בריקם במתח נומינלי. כדי להקטין הפסדים אלו, מחולקת ליבת השנאי להרבה פחיות המבודדות ביניהן, להקטנת זרמי המערבולת.

פתרון שאלה 78

חשב:	נתון:
א. $\eta_1 = ?$	$S_1 = S_n = 25KW$
ב. $\eta_2 = ?$	$\Delta P_{Fe} = 200W$
	$\Delta P_{Cu} = 700W$
	$\cos \varphi_1 = 0.8$
	$\cos \varphi_2 = 1$
	$\beta_1 = \frac{P_{\text{עומס}}}{P_{\text{עומס נומינלי}}} = 1$
	$S_2 = \frac{1}{2} \cdot S_n = 0.5S_n$
	$\beta_2 = 0.5$

$$\eta_1 = \frac{P_1 \cdot \beta_1}{P_1 \cdot \beta_1 + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \beta_1^2} \quad \text{א. נצילות השנאי בעומס מלא וגורם הספק 0.8:}$$

$$P_1 = S_n \cdot \cos \varphi_1 \quad \text{כאשר:}$$

$$\eta_1 = \frac{S_n \cdot \cos \varphi_1 \cdot \beta_1}{S_n \cdot \cos \varphi_1 \cdot \beta_1 + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \beta_1^2} \quad \text{מציבים את כל הנתונים:}$$

$$\eta_1 = \frac{25000 \cdot 0.8 \cdot 1}{25000 \cdot 0.8 \cdot 1 + 200 + 700 \cdot 1^2} = 0.956 = 95.6\%$$

$$\eta_2 = \frac{P_2 \cdot \beta_2}{P_2 \cdot \beta_2 + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \beta_2^2} \quad \text{ב. נצילות השנאי בחצי עומס וגורם הספק 1:}$$

$$P_2 \cdot \beta_2 = 0.5S_n \cdot \cos \varphi_2 \quad \text{כאשר:}$$

$$\eta_2 = \frac{0.5S_n \cdot \cos \varphi_2}{0.5S_n \cdot \cos \varphi_2 + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \beta_2^2} \quad \text{מציבים את כל הנתונים:}$$

$$\eta_2 = \frac{0.5 \cdot 25000 \cdot 1}{0.5 \cdot 25000 \cdot 1 + 200 + 700 \cdot 0.5^2} = 0.97 = 97\%$$

פתרון שאלה 79

חשב:

נתון:

$$\eta_1, \eta_2, \eta_3 = ?$$

$$S_n = 25KVA$$

$$P_0 = 125W$$

$$P_K = 600W$$

$$\cos \varphi_1 = 0.85$$

$$\cos \varphi_2 = 0.8$$

$$\cos \varphi_3 = 0.9$$

$$\eta = \frac{\frac{S_n}{3} \cdot \cos \varphi}{\frac{S_3}{3} \cdot \cos \varphi + \frac{P_0}{3} + \frac{P_K}{3}} = \frac{S_n \cdot \cos \varphi}{S_n \cdot \cos \varphi + P_0 + P_K}$$

$$\eta_1 = \frac{25000 \cdot 0.85}{25000 \cdot 0.85 + 125 + 600} = 0.967$$

$$\eta_2 = \frac{25000 \cdot 0.8}{25000 \cdot 0.8 + 125 + 600} = 0.965$$

$$\eta_3 = \frac{25000 \cdot 0.9}{25000 \cdot 0.9 + 125 + 600} = 0.969$$

פתרון שאלה 80

חשב:

נתון:

$$\eta = ?$$

$$\left\{ K = ? \right.$$

$$\left\{ U_1 = 22KV \right.$$

$$\left\{ I_1 = ? \right.$$

$$\left\{ I_2 = 75A \right.$$

א.

שנאי תלת-מופעי

ב.

$$P_K = 1700W$$

ג.

$$P_0 = 1535W$$

$$I_2 = 75A$$

$$U_2 = 400V$$

$$\cos \varphi = 0.9$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot I_2 \cdot U_2 \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 75 \cdot 400 \cdot 0.9 = 46765W$$

א.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe}$$

$$\Delta P_{Cu} = 1700W$$

$$\Delta P_{Fe} = 1535W$$

$$P_1 = 46765 + 1700 + 1535 = 50000W$$

$$\eta = \frac{P_2 \cdot 100}{P_1} = \frac{46765 \cdot 100}{50000} = 93.5\%$$

בקצר

בריקם

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{22000}{400} = 55 \quad .ב$$

$$K = \frac{I_2}{I_1} \quad .ג$$

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{75}{55} = 1.36A$$

פתרון שאלה 81

חשב:	נתון:
.א $\Delta P_{Fe} = ?$	Δ / Y
$\Delta P_{Cu} = ?$	$S_n = 250KVA$
$\eta = ?$	.ב $U_1 = 22KV$
	$I_0 = 0.197A$
	$\cos \varphi_0 = 0.1$
	$I_k = I_{1n}$
	$u_k = 6\%$
	$\cos \varphi_k = 0.3$
	$S = 240KVA$
	$\cos \varphi = 0.92ind$

$$\Delta P_{Fe} = P_0 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 0.197 \cdot 0.1 = 750W \quad .א$$

$$I_{1ph} = \frac{S_n}{3U_1} = \frac{250}{3 \cdot 22} = 3.79A$$

$$U_k = \frac{u_k}{100} \cdot U_1 = \frac{6}{100} \cdot 22 \cdot 10^3 = 1320V$$

$$P_k = 3U_k \cdot I_{1ph} \cdot \cos \varphi_k = 3 \cdot 1320 \cdot 3.79 \cdot 0.3 = 4500W$$

$$\beta = \frac{240}{250} = 0.96$$

$$\Delta P_{Cu} = \beta^2 \cdot P_k = 0.96^2 \cdot 4500 = 4147.2W$$

$$\eta = \frac{S \cdot \cos \varphi_2}{S \cdot \cos \varphi_2 + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu}} \cdot 100 = \frac{240 \cdot 0.92}{240 \cdot 0.92 + 0.75 + 4.1472} \cdot 100 = 97.83\% \quad .ב$$

פתרון שאלה 82

חשב: נתון:

$\Delta P_{Fe} = ?$	.א	Δ / Y
$\Delta P_{Cu} = ?$		$S_n = 250 KVA$
$\eta = ?$	.ב	$U_1 = 22 KV$
		$I_0 = 0.175 A$
		$\cos \varphi_0 = 0.15$
		$I_k = I_{1n}$
		$u_k = 6\%$
		$\cos \varphi_k = 0.3$
		$S = 240 KVA$
		$\cos \varphi = 0.92 ind$

$$\Delta P_{Fe} = P_0 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 0.175 \cdot 0.15 = 1000W \quad .א$$

$$I_{1ph} = \frac{S_n}{3U_1} = \frac{250}{3 \cdot 22} = 3.79A$$

$$U_k = \frac{u_k}{100} \cdot U_1 = \frac{6}{100} \cdot 22 \cdot 10^3 = 1320V$$

$$P_k = 3 \cdot U_k \cdot I_{1ph} \cdot \cos \varphi_k = 3 \cdot 1320 \cdot 3.79 \cdot 0.3 = 4500W$$

$$\beta = \frac{240}{250} = 0.96$$

$$\Delta P_{Cu} = \beta^2 \cdot P_k = 0.96^2 \cdot 4500 = 4147.2W$$

$$\eta = \frac{S \cdot \cos \varphi_2}{S \cdot \cos \varphi_2 + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu}} \cdot 100\% = \frac{240 \cdot 0.92}{240 \cdot 0.92 + 1000 + 4147.2} \cdot 100 = 97.72\% \quad .ב$$

$$\eta = 97.72\%$$

פתרון שאלה 83

חשב: נתון:

$I_{1n} = ?$	.א	שנאי תלת-מופעי :
$\left\{ \begin{array}{l} \eta = ? \\ \cos \varphi_2 = 0.9 \\ \beta = ? \end{array} \right.$	.ב	$U_{1n} = 12600V$
		$U_{2n} = 400V$
		$S_n = 50 KVA$
		$\Delta P_{Cu} = 4300W$
		$\Delta P_{Fe} = 800W$
		Δ / Y חיבור :

$$\left. \begin{aligned} I_{1L_n} &= \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1L}} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 12600} = 2.29A \\ I_{1Ph_n} &= \frac{I_{1L_n}}{\sqrt{3}} = \frac{2.291}{\sqrt{3}} = 1.323A \end{aligned} \right\} \text{א. הליפוף הראשוני מחובר במשולש}$$

$$\eta = \frac{S_n \cdot \cos \varphi_2}{S_n \cdot \cos \varphi_2 + P_K + P_0} = \frac{50000 \cdot 0.9 \cdot 100}{50000 \cdot 0.9 + 4300 + 800} = 89.8\% \quad \text{ב.}$$

פתרון שאלה 84

חשב:	נתון:
א. $U_{2L} = ?$	$S = 75KVA$
ב. $\eta = ?$	$U_{1L} = 6300V$
	$U_{2L} = 400V$
	$P_0 = 800W$
	$U_K = 5\%$
	$\cos \varphi_K = 0.3$
	$\beta = 0.75$
	$\cos \varphi_2 = 0.6$

$$\Delta P_{Cu_n} = \frac{\Delta U_{KR\%} \cdot S_n}{100} \quad \text{א.}$$

$$\Delta U_{KR\%} = U_K \% \cdot \cos \varphi_K = 5 \cdot 0.3 = 1.5\%$$

$$\Delta U_{KX\%} = U_K \% \cdot \sin \varphi_K = 5 \cdot 0.954 = 4.77\%$$

$$\Delta P_{Cu_n} = \frac{1.5 \cdot 75000}{100} = 1125W$$

$$\Delta U \% = \beta (\Delta U_{KR\%} \cdot \cos \varphi_2 + \Delta U_{KX\%} \cdot \sin \varphi_2)$$

$$\Delta U \% = 0.75 (1.5 \cdot 0.6 + 4.77 \cdot 0.8) = 3.53\%$$

$$U_2 = U_{2n} \left(1 - \frac{\Delta U \%}{100} \right) = 400 \left(1 - \frac{3.53}{100} \right) = 385.87V$$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2 + \Delta P_{Fe} + \beta^2 \cdot \Delta P_{Cu_n}} \quad \text{ב.}$$

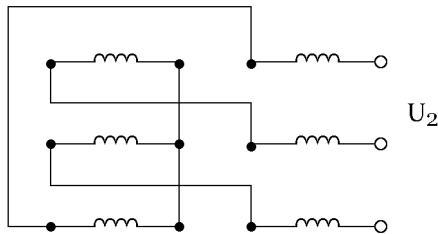
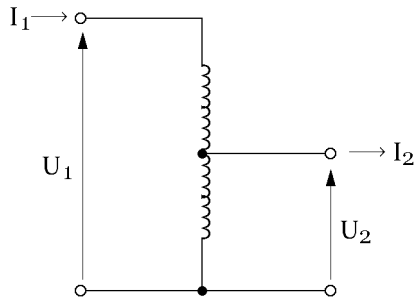
$$\eta = \frac{0.75 \cdot 75000 \cdot 0.6}{0.75 \cdot 75000 \cdot 0.6 + 800 + 0.75^2 \cdot 1125} = 0.959$$

$$\eta = 95.9\%$$

פתרונות לנושא 7.2

פתרון שאלה 85 – ראו עמוד 29

פתרון שאלה 86



א. השימוש הביתי הוא בדרך כלל במוצרי האלקטרוניקה הדורשים מתח נמוך (מיושר באמצעות מיישר). שנאים מצויים בספקי כוח של טלוויזיות, מכשירי רדיו, מערכות סטריאו ופוניות ועוד.

ב. שנאי עצמי משמש להתנעת מנועים וכשנאי מוריד או מעלה מתח ביחס עד 1:2. יתרונו הוא בפשטותו: הוא מורכב רק מסליל אחד עם סניף מרכזי. יתרון נוסף הוא שבחלק הסליל המשותף לראשוני ולמשני זורם הפרש הזרמים $I_2 - I_1$ ולכן ניתן לחסוך בחלק זה בשטח חתך המוליכים.

חסרונו בכך שהוא אינו מהווה הפרדה חשמלית בין החלק הראשוני והמשני.

ג. חיבור זיג זג הינו חיבור בו מחלקים כל סליל בחלק המשני של השנאי התלת-מופעי לשני חצאי סלילים, שכל אחד מהם נמצא על מופע אחר. דבר זה עוזר לשמור על איזון המופעים כאשר הצריכה אינה מאוזנת.

פתרון שאלה 87 – 997

חשב:	נתון:
	שנאי עצמי חד-מופעי
	$K = 380 / 220V$
	$N = 720T$
	$I_2 = 10A$
	$j = 2A/mm^2$
	כריכה $l_m = 157mm$

$$\begin{cases} G_{Cu} = ? \\ \gamma_{Cu} = 8.9 gr/cm^3 \end{cases}$$

$$G_1 = N_1 \cdot l_{m1} \cdot A_{Cu1} \cdot \gamma_{Cu}$$

$$G_2 = N_2 \cdot l_{m2} \cdot A_{Cu2} \cdot \gamma_{Cu}$$

$$N_2 = \frac{N \cdot U_2}{U_1} = \frac{720 \cdot 220}{380} = 420T$$

$$N_1 = N - N_2 = 720 - 420 = 300T$$

$$A_{Cu1} = \frac{I_1}{j} \quad ; \quad U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \Rightarrow I_1 = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1} = \frac{220 \cdot 10}{380} = 5.8A$$

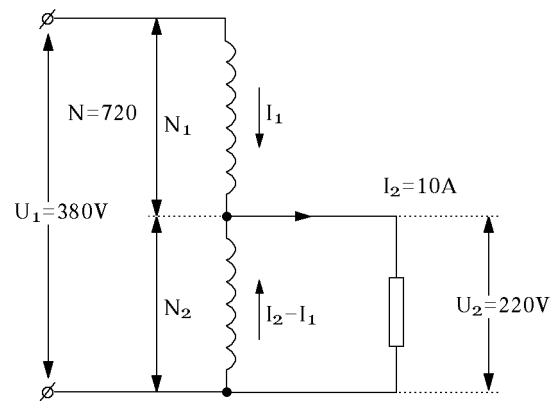
$$A_{Cu1} = \frac{I_1}{j} = \frac{5.8}{2} = 2.9mm^2$$

$$A_{Cu2} = \frac{I_2 - I_1}{j} = \frac{10 - 5.8}{2} = 2.1 \text{ mm}^2$$

$$G_1 = 300 \cdot 15.7 \cdot 2.9 \cdot 10^{-2} \cdot 8.9 = 1215 \text{ gr}$$

$$G_2 = 420 \cdot 15.7 \cdot 2.1 \cdot 10^{-2} \cdot 8.9 = 1232 \text{ gr}$$

$$G_{Cu} = G_1 + G_2 = 1215 + 1232 = 2447 \text{ gr}$$



פתרון שאלה 88

חשב:	נתון:
א. $N_1, N_2 = ?$	אוטו טרנספורמטור חד מופעי
ב. $I_1 = ?$	צרכן $\begin{cases} P_2 = 1200W \\ \cos \varphi_2 = 1 \end{cases}$
	$U_2 = 48V$
	$U_1 = 115V$
	$N = 280(T)$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N}{N_2} \quad .א.$$

$$N_2 = \frac{U_2 \cdot N}{U_1} = \frac{48 \cdot 280}{115} = 117(T)$$

$$N_1 = N - N_2 = 280 - 117 = 163(T)$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad .ב.$$

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2 \cdot \cos \varphi_2} = \frac{1200}{48 \cdot 1} = 25A$$

$$I_1 = \frac{U_2 I_2}{U_1} = \frac{48 \cdot 25}{115} = 10.43A$$

פתרון שאלה 89

חשב:	נתון:
$S_I = ?$	א. $U_1 = 380$
$S_{II} = ?$	ב. $U_2 = 220$
	} שנאי I
	$U_1 = 380$
	$U_2 = 60$
	} שנאי II

$$S = \frac{U_1 \cdot I_1}{t} + \frac{U_1 \cdot I_1}{t}(t-1)$$

בנוסחה:

$$\frac{U_1 \cdot I_1}{t}(t-1)$$

ההספק המעובד מבחינה מגנטית-חשמלית:

$$\frac{U_1 \cdot I_1}{t}$$

הספק עובר:

$$t = \frac{U_1}{U_2}$$

יחס התמסורת:

נעשה השוואה בין חלק ההספק העובר של שנאי I ושל שנאי II.

$$S_I = \frac{U_1 \cdot I_1}{t_1} = \frac{380 \cdot I_1 \cdot 220}{380} = I_1 \cdot 220 \quad ; \quad t_1 = \frac{380}{220}$$

שנאי I:

$$S_{II} = \frac{U_1 \cdot I_1}{t_2} = \frac{380 \cdot I_1 \cdot 60}{380} = I_1 \cdot 60 \quad ; \quad t_2 = \frac{380}{60}$$

שנאי II:

היות שהזרם בסליל הראשוני בשנאי I שווה לזרם בסליל הראשוני בשנאי II:

$$I_1 \cdot 220 > I_1 \cdot 60 \quad ; \quad S_I > S_{II}$$

מכאן שמהשנאי העצמי הראשון אפשר להשיג הספק גדול יותר.

פתרונות לנושא 3

פתרונות לנושא א.3

פתרון שאלה 1 – ראו עמוד 31

פתרון שאלה 2

חשב:	נתון:
א. $n_1 = ?$	$n_2 = 2955rpm$
ב. $p = ?$	$s = 1.5\%$
ג. האם יכול להיות מצב שבו $s = 0$?	$f = 50Hz$
ד. $f_2 = ?$	

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 \quad .א$$

$$\frac{s \cdot n_1}{100} = n_1 - n_2$$

$$n_2 = n_1 - \frac{s \cdot n_1}{100} = \left(1 - \frac{s}{100}\right) n_1$$

$$n_1 = \frac{n_2}{\left(1 - \frac{s}{100}\right)} = \frac{2955}{\left(1 - \frac{1.5}{100}\right)} = 3000rpm$$

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} ; \quad p = \frac{60 \cdot 50}{3000} = 1 \quad .ב$$

כמות זוגות קטבים

זוג אחד של קטבים.

ג. במצב רגיל לא יכול להיות שהחליקה תהיה אפס כי זה אומר שהרוטור מסתובב במהירות הסטטור ולא חותך את השדה המגנטי אלה נע יחד ולכן לא יתפתח מומנט ברוטור.

מצב כזה יכול להיות רק אם נסובב במאולץ את הרוטור במהירות הסטטור על ידי גורם חיצוני.

$$f_2 = s \cdot f_1 = \frac{1.5}{100} \cdot 50 = 0.75Hz \quad .ד$$

תדר הרוטור

פתרון שאלה 3

חשב:	נתון:
א. $n_1 = ?$	$p = 4$
ב. $s = ?$	$f = 50Hz$
ג. $M_0 = M_{ST} = ? ; M_{max} = ? ; M_n = ?$	$\eta = 92\%$
ד. האם אפשר להתניע את המנוע בעומס הנקוב $(M_{ST} \geq M_n)$?	$n = 720rpm$
	$U = 400V$
	$I = 35A$
	$\cos \varphi = 0.8$

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750rpm \quad .א$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 = \frac{750 - 720}{750} \cdot 100 = 4\% \quad .ב$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 35 \cdot 0.8 = 19.4KW \quad .ג$$

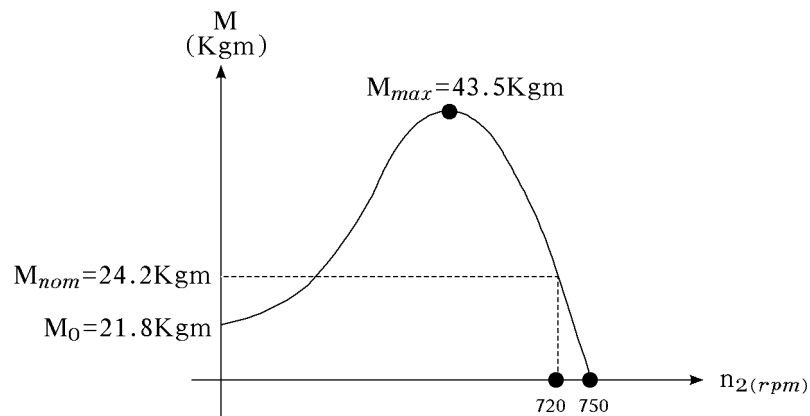
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{out} = \eta \cdot P_{in} = 0.92 \cdot 19.4 = 17.85KW$$

$$M_{nom} = \frac{975 \cdot P_{out} (KW)}{n_2} = \frac{975 \cdot 17.85}{720} = 24.2Kgm$$

$$\frac{M_{max}}{M_{nom}} = 1.8 \Rightarrow M_{max} = 1.8 \cdot M_{nom} = 1.8 \cdot 24.2 = 43.5Kgm$$

$$\frac{M_0}{M_{nom}} = 0.9 \Rightarrow M_0 = 0.9M_{nom} = 0.9 \cdot 24.2 = 21.8Kgm$$

.ד. אי אפשר להתניע את המנוע בעומס נקוב $M_0 < M_{nom}$



פתרון שאלה 4

חשב:	נתון:
.א. $I = ?$	מנוע השראה אסינכרוני
.ב. $s = ?$	$U = 380V$
$p = 3$	$n_2 = 950rpm$
$f = 50Hz$	$I = 20A$
	$\eta = 0.87$
	$\cos \varphi = 0.86$
	גנרטור לזרם ישר
	$\eta = 0.9$
	$U = 200V$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{א. מנוע השראה אסינכרוני:}$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 20 \cdot 0.86 = 11.32 \text{KW}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{out} = \eta \cdot P_{in} = 0.87 \cdot 11.32$$

$$P_{out} = 9.85 \text{KW}$$

$$\text{מנוע } P_{out} = \text{גנרטור } P_{in} = 9.85 \text{KW}$$

$$P_{in} = 9.85 \text{KW}$$

גנרטור לזרם ישר:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$P_{out} = \eta \cdot P_{in} = 0.9 \cdot 9.85 = 8.865 \text{KW}$$

$$I = \frac{P_{out}}{U} = \frac{8865}{200} = 44.32 \text{A}$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 \quad \text{ב.}$$

$$n_2 = 950 \text{rpm}$$

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{rpm}$$

$$s = \frac{1000 - 950}{1000} \cdot 100 = 5\%$$

פתרון שאלה 5

חשב:	נתון:
$n_1 = ?$.א.	$P_{out} = 60 \text{KW}$
$n_2 = ?$.ב.	$\eta = 90\%$
$I = ?$.ג.	$U = 400 \text{V}$
$\Sigma \Delta P = ?$.ד.	$\cos \varphi = 0.85$
	$f = 50 \text{Hz}$
	$p = 2$ זוגות קטבים
	$s = 3\%$

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{rpm} \quad \text{א.}$$

$$s\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 \quad \text{ב.}$$

$$\frac{3}{100} \cdot n_1 = n_1 - n_2$$

$$n_2 = n_1 - \frac{3}{100} \cdot n_1 = 1500 - \frac{3}{100} \cdot 1500 = 1455 \text{rpm}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad .ג$$

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} = \frac{60}{0.9} = 66.67 \text{ KW}$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$I = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{66670}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 113.2 \text{ A}$$

$$\Sigma \Delta P = P_{in} - P_{out} = 66.67 - 60 = 6.67 \text{ KW} \quad .ד$$

פתרון שאלה 6

חשב:	נתון:
$I_{2n} = ?$	.א Y / Y
$M_{2n} = ?$	$2p = 6$
$n_r = ?$	.ב $f_1 = 50 \text{ Hz}$
	$R_2 = 0.16 \Omega$
	$X_2 = 0.64 \Omega$
	$E_2 = 173 \text{ V}$
	$P_{2n} = 25 \text{ KW}$
	$n_n = 955 \text{ rpm}$
	$R_r = 0.84 \Omega$

$$n_s = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ rpm} \quad .א$$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1000 - 955}{1000} = 0.045$$

$$I_{2n} = \frac{E_2 s_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_2^2 + (X_2 s_n)^2}} = \frac{173 \cdot 0.045}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0.16^2 + (0.64 \cdot 0.045)^2}} = 27.6 \text{ A}$$

$$M_{2n} = 9.55 \cdot \frac{P_{2n}}{n_n} = 9.55 \cdot \frac{25000}{955} = 250 \text{ Nm}$$

$$M_{2r} = M_{2n} \quad .ב \quad \text{אחרי חיבור הנגד, בתום תהליך ההתנעה יתקיים:}$$

$$I_{2r} = I_{2n}$$

$$I_{2r} = \frac{E_2 s_r}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_2 + R_r)^2 + (X_2 \cdot s_r)^2}}$$

$$27.6 = \frac{173 s_r}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0.16 + 0.84)^2 + (0.64 \cdot s_r)^2}}$$

$$s_r = 0.28$$

$$n_r = n_s(1 - s_r) = 1000(1 - 0.28) = 720rpm$$

אחרי פעולות חילוץ הנעלים s_r יתקבל:

פתרון שאלה 7

חשב:	נתון:
$n_n = ?$	א. Y / Y
$M_2 = ?$	ב. $P_{2n} = 20KW$
$s_{cr} = ?$	ג. $U_1 = 400V$
$M_{max} = ?$	$f_1 = 50Hz$
	$I_1 = 40A$
	$2p = 6$
	$R_1 = 0.25\Omega$
	$R_2' = 0.21\Omega$
	$I_2' = 37A$
	$\eta = 86\%$
	$\Delta P_{Fe} = 655W$

$$\Delta P_{1Cu} = 3I_1^2 R_1 = 3 \cdot 40^2 \cdot 0.25 = 1200W \quad .א$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{20000}{0.86} = 23255W$$

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_{1Cu} - \Delta P_{Fe} = 23255 - 1200 - 655 = 21400W$$

$$\Delta P_{2Cu} = 3I_2'^2 R_2' = 3 \cdot 37^2 \cdot 0.21 = 862.5W$$

$$s = \frac{\Delta P_{2Cu}}{P_{em}} = \frac{862.5}{21400} = 0.0403$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm$$

$$n_n = n_s(1 - s) = 1000 \cdot (1 - 0.0403) = 960rpm$$

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_{2n}}{n_n} = 9.55 \cdot \frac{20000}{960} = 199Nm \quad .ב$$

$$M_{em} = 9.55 \cdot \frac{P_{em}}{n_s} = 9.55 \cdot \frac{21400}{1000} = 204.4Nm \quad .ג$$

$$M_{em} = 9.55 \cdot \frac{U_1^2 R_2'}{n_s \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_k^2 \right] s}$$

$$204.4 = 9.55 \cdot \frac{400^2 \cdot 0.21}{1000 \left[\left(0.25 + \frac{0.21}{0.0403} \right)^2 + X_k^2 \right] \cdot 0.0403}$$

$$0.02567 = \frac{1}{29.82 + X_k^2}$$

$$X_k = \sqrt{\frac{1}{0.02567} - 29.82} = 3\Omega$$

$$s_{cr} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = \frac{0.21}{\sqrt{0.25^2 + 3^2}} = 0.0698$$

$$M_{\max} = \frac{M_n}{2} \left(\frac{s_{cr}}{s} + \frac{s}{s_{cr}} \right) = \frac{199}{2} \left(\frac{0.0698}{0.0403} + \frac{0.0403}{0.0698} \right) = 230Nm$$

פתרון שאלה 8

חשב:	נתון:
$M_{\max} = ?$	א. Y/Y
$s_{cr} = ?$	ב. $U_1 = 220V$
$P_2 = ?$	ג. $f_1 = 60Hz$
$M_{em} = ?$	ד. $2p = 6$
	$R_1 \Rightarrow 0$
	$X_1 = 0.99\Omega$
	$R_2 = 30m\Omega$
	$X_2 = 90m\Omega$
	$E_2 = 60V$
	$n = 1140rpm$
	$\Delta P_{mech} = 310W$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 60}{3} = 1200rpm$$

א.

$$K = \frac{U_1}{E_2} = \frac{220}{60} = 3.67$$

בעבור חיבור Y/Y

$$R_2' = K^2 R_2 = 3.67^2 \cdot 0.03 = 0.403\Omega$$

$$X_2' = K^2 X_2 = 3.67^2 \cdot 0.09 = 1.21\Omega$$

$$X_k = X_1 + X_2' = 0.99 + 1.21 = 2.2\Omega$$

$$M_{\max} = \frac{9.55}{2} \cdot \frac{U_1^2}{n_1 X_k} = \frac{9.55}{2} \cdot \frac{220^2}{1200 \cdot 2.2} = 87.5Nm$$

$$s_{cr} = \frac{R_2'}{X_k} = \frac{0.403}{2.2} = 0.183 \quad \text{ב.}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1200 - 1140}{1200} = 0.05 \quad \text{ג.}$$

$$M_2 = \frac{2M_{\max}}{\frac{s_{cr}}{s} + \frac{s}{s_{cr}}} = \frac{2 \cdot 87.5}{\frac{0.183}{0.05} + \frac{0.05}{0.183}} = 44.5 Nm$$

$$P_2 = \frac{M_2 \cdot n}{9.55} = \frac{44.5 \cdot 1140}{9.55} = 5312 W$$

$$P_{mech} = P_2 + \Delta P_{mech} = 5312 + 310 = 5622 W \quad \text{ד.}$$

$$P_{em} = \frac{P_{mech}}{1-s} = \frac{5622}{1-0.05} = 5918 W$$

$$M_{em} = \frac{9.55 P_{em}}{n_s} = \frac{9.55 \cdot 5918}{1200} = 47.1 Nm$$

פתרון שאלה 9

חשב:	נתון:
א. $\Delta P_{1Cu} = ?$	חיבור משולש
ב. $\Delta P_{2Cu} = ?$	$2p = 4$
ג. $\Delta P_{mech} = ?$	$R_{AB} = 0.32 \Omega$
ד. $M_2 = ?$	$U_1 = 400 V$
	$f_1 = 50 Hz$
	$P_1 = 24 kW$
	$\cos \varphi = 0.8$
	$\eta = 86\%$
	$n = 1410 rpm$
	$\Delta P_{Fe} = 600 W$

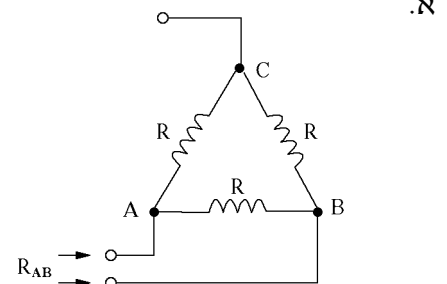
$$I_{1ph} = \frac{P_1}{3U_1 \cos \varphi} = \frac{24000}{3 \cdot 400 \cdot 0.8} = 25 A$$

$$R_{AB} = \frac{2R \cdot R}{2R + R} = \frac{2}{3} R$$

$$R = \frac{3}{2} R_{AB} = \frac{3}{2} \cdot 0.32 = 0.48 \Omega$$

$$\Delta P_{1Cu} = 3I_{1ph}^2 R = 3 \cdot 25^2 \cdot 0.48 = 900 W$$

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_{1Cu} - \Delta P_{Fe} = 24000 - 900 - 600 = 22500 W$$



$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{rpm}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1410}{1500} = 0.06$$

$$\Delta P_{2Cu} = sP_{em} = 0.06 \cdot 22500 = 1350W$$

$$P_{mech} = P_{em} - \Delta P_{2Cu} = 22500 - 1350 = 21150W \quad .ב.$$

$$P_2 = \eta P_1 = 0.86 \cdot 24000 = 20640W$$

$$\Delta P_{mech} = P_{mech} - P_2 = 21150 - 20640 = 510W$$

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{20640}{1410} = 139.8Nm \quad .ג.$$

פתרון שאלה 10

חשב: נתון:

$\Delta P_{1Cu} = ?$	.א.	Δ
$\Delta P_{2Cu} = ?$		$R_1 = 0.35\Omega$
$\Delta P_{Fe} = ?$	.ב.	$2p = 4$
$M_2 = ?$	.ג.	$P_2 = 40HP$
		$n = 1428rpm$
		$\cos \varphi = 0.88$
		$\eta = 87\%$
		$\Delta P_{mech} = 2.5\% P_1$
		$U_1 = 400V$
		$f_1 = 50Hz$

$$P_2 = 40 \cdot 736 = 29440W \quad .א.$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \cdot 100\% = \frac{29440}{87} \cdot 100 = 33839W$$

$$I_{1ph} = \frac{P_1}{3U_1 \cos \varphi} = \frac{33839}{3 \cdot 400 \cdot 0.88} = 32A$$

$$\Delta P_{1Cu} = 3I_{1ph}^2 R_1 = 3 \cdot 32^2 \cdot 0.35 = 1075W$$

$$\Delta P_{mech} = 0.025 P_1 = 0.025 \cdot 33839 = 846W$$

$$P_{mech} = P_2 + \Delta P_{mech} = 29440 + 846 = 30286W$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500rpm$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1428}{1500} = 0.048$$

$$\Delta P_{2Cu} = P_{mech} \cdot \frac{s}{1-s} = 30286 \cdot \frac{0.048}{1-0.048} = 1527W$$

$$\Delta P_{Fe} = P_1 - P_{mech} - \Delta P_{1Cu} - \Delta P_{2Cu} = 33839 - 30286 - 1075 - 1527 = 951W \quad \text{ב.}$$

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{29440}{1428} = 196.9 Nm \quad \text{ג.}$$

פתרון שאלה 11

חשב:	נתון:
$\Delta P_{2Cu} = ?$	א. Y
$I_1 = ?$	ב. $R_1 = 71m\Omega$
$\Delta P_{Fe} = ?$	ג. $2p = 6$
$\eta = ?$	ד. $U_1 = 400V$
	$f_1 = 50Hz$
	$\cos \varphi = 0.9$
	$P_2 = 35KW$
	$n = 945rpm$
	$\Delta P_1 = 1.37KW$
	$M_0 = 20Nm$

$$\Delta P_{mech} = \frac{\pi}{30} \cdot M_0 n = \frac{\pi}{30} \cdot 20 \cdot 945 = 1980W \quad \text{א.}$$

$$P_{mech} = P_2 + \Delta P_{mech} = 35 + 1.98 = 36.98KW$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 945}{1000} = 0.055$$

$$\Delta P_{2Cu} = P_{mech} \cdot \frac{s}{1-s} = 36.98 \cdot \frac{0.055}{1-0.055} = 2.15KW$$

$$P_{em} = P_{mech} + \Delta P_{2Cu} = 36.98 + 2.15 = 39.13KW \quad \text{ב.}$$

$$P_1 = P_{em} + \Delta P_1 = 39.13 + 1.37 = 40.5KW$$

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 \cos \varphi} = \frac{40.5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9} = 65A$$

$$\Delta P_{1Cu} = 3I_1^2 R_1 = 3 \cdot 65^2 \cdot 0.071 = 900W \quad \text{ג.}$$

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_1 - \Delta P_{1Cu} = 1.37 - 0.9 = 0.47KW$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{35}{40.5} \cdot 100 = 86.4\% \quad \text{ד.}$$

פתרון שאלה 12

חשב:	נתון:
$U_1 = ?$	א. Y/Y
$E_2 = ?$	ב. $2p = 6$
$n = ?$	ג. $\Phi = 8mWb$
$f_2 = ?$	ד. $N_1 = 144$
$I_{2s} = ?$	ה. $N_2 = 58$
$I_2 = ?$	ו. $K_{N1} = K_{N2} = 0.9$
	$R_2 = 72m\Omega$
	$X_2 = 0.5\Omega$
	$f_1 = 50Hz$
	$s = 5.4\%$

$$E_{1ph} = 4.44 f_1 N_1 K_{N1} \Phi = 4.44 \cdot 50 \cdot 144 \cdot 0.9 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 230V \quad .א$$

$$U_1 \cong \sqrt{3} E_{1ph} = \sqrt{3} \cdot 230 \cong 400V$$

$$E_{2ph} = E_{1ph} \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{K_{N2}}{K_{N1}} = 230 \cdot \frac{58}{144} \cdot 1 = 92.6V \quad .ב$$

$$E_2 = \sqrt{3} \cdot E_{2ph} = \sqrt{3} \cdot 92.6 = 160V$$

$$n_s = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm \quad .ג$$

$$n = n_s (1 - s) = 1000(1 - 0.054) = 946rpm$$

$$f_2 = s \cdot f_1 = 0.054 \cdot 50 = 2.7Hz \quad .ד$$

$$I_{2s} = \frac{E_{2ph}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} = \frac{92.6}{\sqrt{\left(\frac{0.072}{0.054}\right)^2 + 0.5^2}} = 65A \quad .ה$$

$$I_2 = \frac{E_{2ph}}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{92.6}{\sqrt{0.072^2 + 0.5^2}} = 183.3A \quad .ו$$

פתרון שאלה 13

חשב:	נתון:
$I_2 = ?$	א. Y/Y
$I_{2s} = ?$	ב. $2p = 4$
$M_{em} = ?$	ג. $U = 400V$
$M_{max} = ?$	ד. $f_1 = 50Hz$
	$X_1 = 2.1\Omega$
	$R_1 = 0$
	$E_2 = 130V$
	$R_2 = 36m\Omega$
	$X_2 = 0.25\Omega$
	$K_{N1} \cong K_{N2}$
	$n = 1440rpm$

$$I_2 = \frac{E_{2ph}}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{130}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0.036^2 + 0.25^2}} = 297A \quad .א$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500rpm \quad .ב$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0.04$$

$$I_{2s} = \frac{E_{2ph}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} = \frac{130}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{0.036}{0.04}\right)^2 + 0.25^2}} = 80.4A$$

$$K = \frac{K_{N1}}{K_{N2}} \cdot \frac{U_1}{E_2} = 1 \cdot \frac{400}{130} = 3.077 \quad .ג$$

$$R_2' = K^2 R_2 = 3.077^2 \cdot 0.036 = 0.341\Omega$$

$$X_2' = K^2 X_2 = 3.077^2 \cdot 0.25 = 2.37\Omega$$

$$M_{em} = 9.55 \cdot \frac{U_1^2 R_2' s}{n_1 \left[R_2'^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot s^2 \right]} = 9.55 \cdot \frac{400^2 \cdot 0.341 \cdot 0.04}{1500 \left[0.341^2 + (2.1 + 2.37)^2 \cdot 0.04^2 \right]} = 93.7Nm$$

$$s_{cr} = \frac{R_2'}{X_1 + X_2'} = \frac{0.341}{2.1 + 2.37} = 0.0763 \quad .ד$$

$$M_{max} = \frac{M_{em}}{2} \left(\frac{s_{cr}}{s} + \frac{s}{s_{cr}} \right) = \frac{93.7}{2} \left(\frac{0.0763}{0.04} + \frac{0.04}{0.0763} \right) = 113.9Nm$$

פתרון שאלה 14

חשב:	נתון:
$s = ?$	א. $2p = 8$
$\Delta P_{2Cu} = ?$	ב. $U_1 = 400V$
$P_1 = ?$	ג. $f_1 = 50Hz$
$\eta = ?$	ד. $M_2 = 245Nm$
$I_1 = ?$	ה. $n = 720rpm$
	$\Delta P_{mech} = 1.43KW$
	$\Delta P_1 = 1870W$
	$\cos \varphi = 0.86$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750rpm \quad .א$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{750 - 720}{750} = 0.04$$

$$P_2 = \frac{1}{9.55} \cdot M_2 \cdot n = \frac{1}{9.55} \cdot 245 \cdot 720 = 18470W \quad .ב$$

$$P_{mech} = P_2 + \Delta P_{mech} = 18470 + 1430 = 19900W$$

$$P_{em} = \frac{P_{mech}}{1-s} = \frac{19900}{1-0.04} = 20730W$$

$$\Delta P_{2Cu} = sP_{em} = 0.04 \cdot 20730 = 829W$$

$$P_1 = P_{em} + \Delta P_1 = 20730 + 1870 = 22600W \quad .ג$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{18470}{22600} \cdot 100 = 81.7\% \quad .ד$$

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 \cos \varphi} = \frac{22600}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.86} = 37.9A \quad .ה$$

פתרון שאלה 15

חשב:	נתון:
.א. $I_2 = ?$	Δ / Y
.ב. $P_{em} = ?$	$p = 3$
.ג. $M_{em} = ?$	$U_1 = 400V$
.ד. $P_2 = ?$	$f_1 = 50Hz$
.ה. $M_2 = ?$	$R_2 = 0.12\Omega$
	$X_2 = 0.3\Omega$
	$N_1 = 3.5N_2$
	$s = 5\%$
	$\Delta P_{mech} = 535W$

$$K = \frac{N_1}{N_2} = 3.5 \quad .א.$$

$$E_2 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_1}{K} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{3.5} = 198V \quad \Delta / Y \text{ לחיבור}$$

$$I_{2s} = \frac{E_2}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} = \frac{198}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{0.12}{0.05}\right)^2 + 0.3^2}} = 47.3A$$

$$P_{em} = 3I_{2s}^2 \cdot \frac{R_2}{s} = 3 \cdot 47.3^2 \cdot \frac{0.12}{0.05} = 16110W \quad .ב.$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm \quad .ג.$$

$$M_{em} = 9.55 \cdot \frac{P_{em}}{n_s} = 9.55 \cdot \frac{16110}{1000} = 153.8Nm$$

$$P_{mech} = P_{em}(1-s) = 16110 \cdot (1-0.05) = 15305W \quad .ד.$$

$$P_2 = P_{mech} - \Delta P_{mech} = 15305 - 535 = 14770W$$

$$n = n_s(1-s) = 1000(1-0.05) = 950rpm \quad .ה.$$

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{14770}{950} = 148.5Nm$$

פתרון שאלה 16

חשב:	נתון:
.א	$2p = 6$
.ב	$f_1 = 50Hz$
	$\eta = 84\%$
.ג	$P_{em} = 12KW$
.ד	$\Delta P_{2Cu} = 720W$
	$\Delta P_1 = 690W$

$$s = \frac{\Delta P_{2Cu}}{P_{em}} = \frac{720}{12000} = 0.06 \quad .א$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm$$

$$n = n_s(1 - s) = 1000(1 - 0.06) = 940rpm$$

$$P_1 = P_{em} + \Delta P_1 = 12000 + 690 = 12690W \quad .ב$$

$$P_2 = \eta P_1 = 0.84 \cdot 12690 = 10660W$$

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{10660}{940} = 108.3Nm$$

$$P_{mech} = P_{em}(1 - s) = 12000(1 - 0.06) = 11280W \quad .ג$$

$$M_{mech} = 9.55 \frac{P_{mech}}{n} = 9.55 \cdot \frac{11280}{940} = 114.6Nm \quad .ד$$

$$M_0 = M_{mech} - M_2 = 114.6 - 108.3 = 6.3Nm$$

פתרון שאלה 17

חשב:	נתון:
.א	Y
.ב	$2p = 4$
.ג	$R_1 = 0.38\Omega$
.ד	$U_1 = 400V$
	$f_1 = 50Hz$
	$M_2 = 56.4Nm$
	$n = 1440rpm$
	$I_1 = 15.4A$
	$\cos \varphi = 0.896$
	$\Delta P_{Fe} = 222W$

$$P_2 = \frac{\pi}{30} \cdot M_2 n = \frac{\pi}{30} \cdot 56.4 \cdot 1440 = 8505W \quad .א$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 I_1 \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 15.4 \cdot 0.896 = 9560W \quad .ב.$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{8505}{9560} \cdot 100 = 89\%$$

$$\Delta P_{1Cu} = 3I_1^2 R_1 = 3 \cdot 15.4^2 \cdot 0.38 = 270W \quad .ג.$$

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_{1Cu} - \Delta P_{Fe} = 9560 - 270 - 222 = 9068W$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500rpm \quad .ד.$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0.04$$

$$\Delta P_{2Cu} = sP_{em} = 0.04 \cdot 9068 = 363W$$

$$\Delta P_{mech} = P_{em} - \Delta P_{2Cu} - P_2 = 9068 - 363 - 8505 = 200W$$

פתרון שאלה 18

חשב:	נתון:
$\Delta P_{Fe} = ?$	.א. Δ
$\Delta P_{1Cu} = ?$	$R_1 = 0.5\Omega$
$\Delta P_{2Cu} = ?$	$2p = 6$
$\eta = ?$	.ב. $U_1 = 400V$
$M_2 = ?$	.ג. $f_1 = 50Hz$
$\cos \varphi = ?$	.ד. $I_0 = 8A$
	$P_0 = 1.2KW$
	$P_1 = 21KW$
	$I_1 = 40A$
	$n = 960rpm$
	$\Delta P_{mech} = 560W$

$$\Delta P_{0Cu} = 3I_{0ph}^2 R_1 = 3 \cdot \left(\frac{8}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot 0.5 = 32W \quad .א.$$

$$\Delta P_{Fe} = P_0 - \Delta P_{0Cu} - \Delta P_{mech} = 1200 - 32 - 560 = 608W$$

$$\Delta P_{1Cu} = 3I_{1ph}^2 R_1 = 3 \cdot \left(\frac{40}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot 0.5 = 800W$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0.04$$

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_{1Cu} - \Delta P_{Fe} = 21000 - 800 - 608 = 19592W$$

$$\Delta P_{2Cu} = sP_{em} = 0.04 \cdot 19592 = 784W$$

$$P_2 = P_{em} - \Delta P_{2Cu} - \Delta P_{mech} = 19592 - 784 - 560 = 18248W \quad .ג.$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{18248}{21000} \cdot 100 = 86.9\%$$

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{18248}{960} = 181.5Nm \quad .ג.$$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 I_1} = \frac{21000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 40} = 0.758 \quad .ד.$$

פתרון שאלה 19

נתון:	חשב:
	א. $R_r = ?$
	ב. M_{st}
	א. Y/Y
	ב. $U_1 = 400V$
	$f_1 = 50Hz$
	$R_1 = 0.13\Omega$
	$2p = 2$
	$E_2 = 174V$
	$I_K = I_{1n}$
	$U_K = 36V$
	$P_K = 840W$
	$P_{2n} = 12KW$
	$\cos \varphi = 0.85$
	$\eta = 80\%$
	$M_{st} = M_{max}$

$$I_K = I_{1n} = \frac{P_{2n}}{\eta \sqrt{3}U_1 \cos \varphi} = \frac{12000}{0.8 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 25.5A \quad .א.$$

$$R_K = \frac{P_K}{3I_{1n}^2} = \frac{840}{3 \cdot 25.5^2} = 0.43\Omega$$

$$R_2' = R_K - R_1 = 0.43 - 0.13 = 0.3\Omega$$

$$Z_K = \frac{U_K}{\sqrt{3}I_{1n}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 25.5} = 0.815\Omega$$

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = \sqrt{0.815^2 - 0.43^2} = 0.692\Omega$$

$$s_{cr} = \frac{R_2' + R_r'}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}}$$

$$s_{cr} = 1$$

להתנעה

$$R_r' = \sqrt{R_1^2 + X_K^2} - R_2' = \sqrt{0.13^2 + 0.692^2} - 0.3 = 0.404\Omega$$

$$K = \frac{U_1}{E_2} = \frac{400}{174} = 2.3$$

בעבור חיבור Y/Y

$$R_r = \frac{R_r'}{K^2} = \frac{0.404}{2.3^2} = 0.0764$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000rpm$$

ב.

$$M_{st} = M_{max} = \frac{9.55}{2} \cdot \frac{U_1^2}{n_1 (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_K^2})} =$$

$$= \frac{9.55}{2} \cdot \frac{400^2}{3000(0.13 + \sqrt{0.13^2 + 0.692^2})} = 305.3Nm$$

פתרון שאלה 20

חשב:

נתון:

$$M_{em} = ?$$

$$א. Y/Y$$

$$M_{st} = ?$$

$$ב. 2p = 4$$

$$s_{cr} = ?$$

$$ג. U_1 = 400V$$

$$M_{max} = ?$$

$$ד. f_1 = 50Hz$$

$$R_r = ?$$

$$ה. R_1 \Rightarrow 0$$

$$R_2 = 35m\Omega$$

$$X_K = 4\Omega$$

$$E_2 = 80V$$

$$s = 0.04$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500rpm$$

א.

$$K = \frac{U_1}{E_2} = \frac{400}{80} = 5$$

לחיבור Y/Y

$$R_2' = K^2 R_2 = 5^2 \cdot 0.035 = 0.875\Omega$$

$$M_{em} = 9.55 \cdot \frac{U_1^2 R_2' s}{n_s (R_2'^2 + X_K^2 s^2)} = 9.55 \cdot \frac{400^2 \cdot 0.875 \cdot 0.04}{1500(0.875^2 + 4^2 \cdot 0.04^2)} = 45.1Nm$$

$$M_{st} = 9.55 \cdot \frac{U_1'^2 R_2'}{n_s (R_1'^2 + X_K^2)} = 9.55 \cdot \frac{400^2 \cdot 0.875}{1500(0.875^2 + 4^2)} = 53.2 Nm \quad \text{ב.}$$

$$S_{cr} = \frac{R_2'}{X_K} = \frac{0.875}{4} = 0.219 \quad \text{ג.}$$

$$M_{max} = \frac{M_{em}}{2} \left(\frac{s_{cr}}{s} + \frac{s}{s_{cr}} \right) = \frac{45.1}{2} \left(\frac{0.219}{0.04} + \frac{0.04}{0.219} \right) = 127.6 Nm \quad \text{ד.}$$

$$\frac{R_2' + R_r'}{X_K} = 1 \quad \text{ה. להתנעה } s_{cr} = 1$$

$$R_r' = X_K - R_2' = 4 - 0.875 = 3.125 \Omega$$

$$R_r = \frac{R_r'}{K^2} = \frac{3.125}{5^2} = 0.125 \Omega$$

פתרון שאלה 21

חשב:	נתון:
$S_{cr} = ?$	א. Δ / Y
$M_{max} = ?$	ב. $U_1 = 400V$
$M_n = ?$	ג. $f_1 = 50Hz$
$n = ?$	ד. $R_1 \rightarrow 0$ $X_1 = 0.7\Omega$ $2p = 4$ $R_2 = 8m\Omega$ $X_2 = 54m\Omega$ $E_2 = 180V$ $\frac{M_{max}}{M_n} = 1.4$

$$K = \frac{U_1 \sqrt{3}}{E_2} = \frac{400 \sqrt{3}}{180} = 3.85 \quad \text{א. לחיבור } \Delta / Y :$$

$$R_2' = K^2 R_2 = 3.85^2 \cdot 0.008 = 0.118 \Omega$$

$$X_2' = K^2 X_2 = 3.85^2 \cdot 0.054 = 0.8 \Omega$$

$$X_K = X_1 + X_2' = 0.7 + 0.8 = 1.5 \Omega$$

$$s_{cr} = \frac{R_2'}{X_K} = \frac{0.118}{1.5} = 0.079 \quad \text{: בהזנחת } R_1$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500rpm \quad .ב$$

$$M_{\max} = \frac{9.55}{2} \cdot \frac{3 \cdot U_{1PH}^2}{n_s X_k} = \frac{9.55}{2} \cdot \frac{3 \cdot 400^2}{1500 \cdot 1.5} = 1020Nm$$

$$M_n = \frac{M_{\max}}{1.4} = \frac{1020}{1.4} = 728.57Nm \quad .ג$$

$$\frac{s_{cr}}{s} + \frac{s}{s_{cr}} = 2 \frac{M_{\max}}{M_n} \quad .ד$$

$$\frac{0.079}{s} + \frac{s}{0.079} = 2 \cdot 1.4 = 2.8$$

$$\frac{0.079^2 + s^2}{0.079s} = 2.8$$

$$s^2 - 0.2212s + 6.241 \cdot 10^{-3} = 0$$

$$s = \frac{0.2212 \pm \sqrt{0.2212^2 - 4 \cdot 6.241 \cdot 10^{-3}}}{2} = \begin{cases} 0.188 \\ 0.0332 \end{cases}$$

$s = 0.0332$ $0.188 > s_{cr}$. הערך נמצא על החלק הלא יציב של האופייני המכני ולכן

$$n = n_s(1 - s) = 1500(1 - 0.0332) = 1450rpm$$

פתרון שאלה 22

חשב:	נתון:
$M_{em} = ?$	.א. Y / Y
$P_{em} = ?$	.ב. $U_1 = 400V$
$M_2 = ?$	.ג. $f_1 = 50Hz$
$I_2' = ?$	.ד. $2p = 6$
	$R_2' = 0.5\Omega$
	$X_k = 3\Omega$
	$s = 4.2\%$
	$P_2 = 11.8KW$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm \quad .א$$

$$M_{em} = 9.55 \cdot \frac{3 \cdot U_{1PH}^2 \cdot R_2' s}{n_s (R_2'^2 + X_k^2 s^2)} = 9.55 \cdot \frac{400^2 \cdot 0.5 \cdot 0.042}{1000(0.5^2 + 3^2 \cdot 0.042^2)} = 120.7Nm$$

$$P_{em} = \frac{1}{9.55} \cdot M_{em} n_s = \frac{1}{9.55} \cdot 120.7 \cdot 1000 = 12640W \quad .ב$$

$$\Delta P_{2Cu} = sP_{em} = 0.042 \cdot 12640 = 530W \quad .ג$$

$$\Delta P_{mech} = P_{em} - \Delta P_{2Cu} - P_2 = 12640 - 530 - 11800 = 310W$$

$$n_2 = n_s(1-s) = 1000(1-0.042) = 958rpm$$

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_2}{n_2} = 9.55 \cdot \frac{11800}{958} = 117.6Nm$$

$$I_2' = \sqrt{\frac{\Delta P_{2cu}}{3R_2}} = \sqrt{\frac{530}{3 \cdot 0.5}} = 18.8A \quad .ד$$

פתרון שאלה 23

חשב:	נתון:
$M_{em} = ?$	.א Y / Y
$P_{em} = ?$	.ב $U_1 = 400V$
$P_2 = ?$	.ג $f_1 = 50Hz$
$M_2 = ?$	.ד $2p = 4$
$I_2 = ?$	.ה $R_1 = 0$
	$N_1 : N_2 = 3 : 2$
	$K_{N1} = K_{N2}$
	$R_2 = 80m\Omega$
	$X_K = 1.44\Omega$
	$s = 5\%$
	$\Delta P_{mech} = 0.985KW$

$$K = \frac{K_{N1}}{K_{N2}} \cdot \frac{N_1}{N_2} = 1 \cdot \frac{3}{2} = 1.5 \quad .א$$

$$R_2' = K^2 R_2 = 1.5^2 \cdot 0.08 = 0.18\Omega$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500rpm$$

$$M_{em} = 9.55 \cdot \frac{3 \cdot U_{1PH}^2 R_2' s}{n_s (R_2'^2 + X_K^2 s^2)} = 9.55 \cdot \frac{400^2 \cdot 0.18 \cdot 0.05}{1500(0.18^2 + 1.44^2 \cdot 0.05^2)} = 243.9Nm$$

$$P_{em} = \frac{1}{9.55} \cdot M_{em} n_s = \frac{1}{9.55} \cdot 243.9 \cdot 1500 = 38300W \quad .ב$$

$$\Delta P_{2Cu} = sP_{em} = 0.05 \cdot 38300 = 1915W \quad .ג$$

$$P_2 = P_{em} - \Delta P_{2Cu} - \Delta P_{mech} = 38300 - 1915 - 985 = 35400W$$

$$n = n_s(1 - s) = 1500(1 - 0.05) = 1425 \text{rpm} \quad \text{ד.}$$

$$M_2 = 9.55 \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{35400}{1425} = 237.2 \text{Nm}$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{\Delta P_{2Cu}}{3R_2}} = \sqrt{\frac{1925}{3 \cdot 0.08}} = 89.3 \text{A} \quad \text{ה.}$$

פתרון שאלה 24

חשב:	נתון:
$I_{2n} = ?$	א. $M_n = 400 \text{Nm}$
$I_2' = ?$	ב. $n_n = 965 \text{rpm}$
$n' = ?$	ג. $R_2 = 0.12 \Omega$
	$E_2 = 124 \text{V}$
	$R_r = 1.33 \Omega$
	$M' = 225 \text{Nm}$

$$n_s = 1000 \text{rpm} \quad \text{א.}$$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1000 - 965}{1000} = 0.035$$

$$I_2 = \frac{E_{2ph} \cdot s}{\sqrt{R_2^2 + (X_2s)^2}}$$

$$(X_2s)^2 \ll R_2^2$$

$$I_2 = \frac{E_2 \cdot s}{R_2} = \frac{124 \cdot 0.035}{0.12} = 36.2 \text{A}$$

$$I_2' = \frac{E_{2ph} \cdot s'}{R_2 + R_r} \quad \text{ב. בהזנחת } (X_2s')^2$$

$$R_r = R_2 \left(\frac{M_n \cdot s'}{M' \cdot s_n} - 1 \right)$$

$$s' = \frac{R_r + R_2}{R_2} \cdot \frac{s_n \cdot M'}{M_n}$$

$$s' = \frac{1.33 + 0.12}{0.12} \cdot \frac{0.035 \cdot 225}{400} = 0.238$$

$$I_2' = \frac{124 \cdot 0.238}{0.12 + 1.33} = 20.35 \text{A}$$

$$n' = n_s(1 - s') = 1000(1 - 0.238) = 762 \text{rpm} \quad \text{ג.}$$

פתרון שאלה 25

חשב:	נתון:
.א	$P_2 = 36KW$
.ב	$n = 720rpm$
.ג	$2p = 8$
.ד	$f_1 = 50Hz$
	$R_2 = 0.1\Omega$
	$E_2 = 150V$
	$M_2' = M_2$
	$R_r = 0.4\Omega$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750rpm \quad .א$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{750 - 720}{750} = 0.04$$

$$\frac{R_2 + R_r}{s'} = \frac{R_2}{s}$$

$$s' = s \cdot \frac{R_2 + R_r}{R_2} = 0.04 \cdot \frac{0.1 + 0.4}{0.1} = 0.2$$

$$n' = n_s(1 - s') = 750(1 - 0.2) = 600rpm$$

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{36000}{720} = 477.5Nm \quad .ב$$

$$P_2' = \frac{1}{9.55} \cdot M_2 n' = \frac{1}{9.55} \cdot 477.5 \cdot 600 = 30000W \quad .ג$$

$$I_2 = \frac{E_2 s}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_2^2 + (X_2 \cdot s)^2}} \quad (X_2 s)^2 \ll R_2^2 \quad .ד$$

$$I_2 = \frac{E_2 s}{\sqrt{3} R_2} = \frac{150 \cdot 0.04}{\sqrt{3} \cdot 0.1} = 34.6A$$

לכן:

$$I_2' = I_2 = 34.6A$$

$$I_2' = I_2 \text{ או } M_2' = M_2 \text{ אם}$$

פתרון שאלה 26

חשב:	נתון:
$M_2 = ?$	א. $P_2 = 21KW$
$R_r = ?$	ב. $n = 970rpm$
$P_2' = ?$	ג. $f_1 = 50Hz$
	$2p = 6$
	$R_2 = 50m\Omega$
	$n' = 760rpm$
	$M_2' = N_2$

$$M_2 = 9.55 \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{21000}{970} = 206.75 Nm \quad .א$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 rpm \quad .ב$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 970}{1000} = 0.03$$

$$s' = \frac{n_s - n'}{n_s} = \frac{1000 - 760}{1000} = 0.24$$

$$\frac{R_2 + R_r}{s'} = \frac{R_2}{s}$$

$$R_r = R_2 \left(\frac{s'}{s} - 1 \right) = 0.05 \left(\frac{0.24}{0.03} - 1 \right) = 0.35$$

$$P_2' = \frac{1}{9.55} \cdot M_2 n' = \frac{1}{9.55} \cdot 206.75 \cdot 760 = 16450 W \quad .ג$$

פתרון שאלה 27

נתון:	חשב:
Y/Y	א. $\Delta P_{1Cu} = ?$
$2p = 4$	$\Delta P_{2Cu} = ?$
$U_1 = 400V$	ב. $\Delta P_0 = ?$
$f_1 = 50Hz$	ג. $M_2 = ?$
$P_1 = 24KW$	
$\cos \varphi = 0.88$	
$n = 1440rpm$	
$\eta = 90\%$	
$R_1 = 60m\Omega$	
$R_2 = 20m\Omega$	
$X_2 = 75m\Omega$	
$E_2 = 120V$	

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 \cos \varphi} = \frac{24000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.88} = 39.4A \quad \text{א.}$$

$$\Delta P_{1Cu} = 3I_1^2 R_1 = 3 \cdot 39.4^2 \cdot 0.06 = 279W$$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500rpm$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0.04$$

$$I_2 = \frac{E_2 s}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_2^2 + (X_2 \cdot s)^2}} = \frac{120 \cdot 0.04}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0.02^2 + (0.075 \cdot 0.04)^2}} = 137A$$

התוצאה שתתקבל: $138.6A$, לכן ניתן לראות את $(X_2 \cdot s)^2 \gg (0.075 \cdot 0.04)^2$ כזניח ולחשב את הזרם מהנוסחה.

$$I_2 = \frac{E_2 s}{\sqrt{3}R_2} \quad \text{התוצאה שתתקבל: } 138.6A$$

$$\Delta P_{2Cu} = 3I_2^2 R_2 = 3 \cdot 137^2 \cdot 0.02 = 1126W$$

$$P_2 = \eta P_1 = 0.9 \cdot 24000 = 21600W \quad \text{ב.}$$

$$\Delta P_0 = P_1 - P_2 - \Delta P_{1Cu} - \Delta P_{2Cu} = 24000 - 21600 - 279 - 1126 = 995W$$

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{21600}{1440} = 143.3Nm \quad \text{ג.}$$

פתרון שאלה 28

- א. 1. בתדירות הרשת
2. במספר הקטבים.
- ב. 1. כאשר מומנט ההתנעה הנדרש גדול.
2. כאשר נדרש ויסות מהירות רציף בתחום רחב.
- ג. התנעה מודרגת דרושה על מנת להקטין את זרם הצריכה בהתנעה.

פתרון שאלה 29

- א. s=0 מהירות סינכרונית
s=1 מהירות 0
- ב. כא"מ ברוטור שווה ל-0
- ג. בזמן ההתנעה, כאשר הרוטור במנוחה, דומה מצב המנוע לשנאי שליפופו המשני מקוצר, התנגדותו קטנה והזרם עולה.

פתרון שאלה 30

חשב:	נתון:
$\eta = ?$	מנוע תלת מופעי
	$U_L = 380V$
	$f = 50Hz$
	$2p = 8$
	$s = 4\%$
	$P_1 = 20KW$
	$\Delta P_s = 0.5KW$
	$M_{mech} = 1Kgm$

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750rpm$$

$$n_n = n_1(1-s) = 750(1-0.04) = 720rpm$$

$$\Delta M_{mech} = 975 \frac{\Delta P_{mech}}{n_n} \Rightarrow \Delta P_{mech} = \frac{\Delta M_{mech} n_n}{975}$$

$$\Delta P_{mech} = \frac{1 \cdot 720}{975} = 0.738KW$$

$$\Delta P_{Cu2} = s \cdot P_{em} = 0.04 \cdot P_{em}$$

$$P_{em} = P_{in} - \Delta P_s = 20 - 0.5 = 19.5KW \Rightarrow \Delta P_{Cu2} = 19.5 \cdot 0.04 = 780W$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P_{mech} - \Delta P_s - \Delta P_{Cu2}}{P_1} = \frac{20 \cdot 10^3 - 738 - 500 - 780}{20 \cdot 10^3} = 0.899$$

פתרון שאלה 31

חשב:	נתון:
א.	מנוע השראה
ב.	$f = 50Hz$
	$2p = 4$
	$s = 3.8\%$

$$\begin{cases} n_2 = ? \\ s' = ? \\ n_2' = 1230rpm \end{cases}$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \Rightarrow sn_1 = n_1 - n_2 \Rightarrow n_2 = n_1 - s \cdot n_1 = n_1(1 - s) \quad \text{א.}$$

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad ; \quad n_2 = \frac{60f}{p}(1 - s)$$

$$n_2 = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s) = \frac{60 \cdot 50}{2}(1 - 0.038) = 1443rpm$$

$$s' = \frac{n_1 - n_2'}{n_1} \cdot 100 = \frac{1500 - 1230}{1500} \cdot 100 = 18\% \quad \text{ב.}$$

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500rpm \quad \text{כאשר:}$$

פתרון שאלה 32

חשב:	נתון:
א.	מנוע השראה
ב.	$f = 60Hz$
	$2p = 6$
	$s = 6\%$ בעומס: 0.5% בריקם

$$n_0 = ? \text{ בריקם}$$

$$n_2 = ? \text{ בעומס}$$

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 60}{3} = 1200rpm$$

$$n_0 = n_1(1 - s_0) = 1200(1 - 0.005) = 1194rpm \quad \text{א.}$$

$$n_2 = n_1(1 - s_2) = 1200(1 - 0.06) = 1128rpm \quad \text{ב.}$$

פתרון שאלה 33

<p>חשב: בעבור $s = 2\%, 5\%, 8\%, 100\%$ א. $E_{2s} = ?$ ב. $X_{2s} = ?$ ג. $Z_{2s} = ?$ ד. $I_{2phs} = ?$ ה. $f_2 = ?$</p>	<p>נתון: מנוע השראה תלת-מופעי עם רוטור מלופף (רוטור בלום) $E_{20ph} = 125V$ $f_1 = 50Hz$ $R_{2ph} = 0.15\Omega$ $X_{20ph} = 2.8\Omega$</p>
--	---

S%	2%	5%	8%	(רוטור בלום (במנוחה START)	
$E_{2s} = s \cdot E_{20}$	2.5V	6.25V	10V	$E_{20} = 125V$	א.
$X_{2s} = 2\pi L \cdot f_2 = 2\pi L s f_1 = s \cdot X_{20}$	56mΩ	0.14Ω	0.224Ω	$X_{20} = 2.8\Omega$	ב.
$Z_{2s} = \sqrt{R_2^2 + (s \cdot X_{20})^2}$	0.16Ω	0.205Ω	0.27Ω	$Z_{20} = \sqrt{R_2^2 + X_{20}^2} = \sqrt{0.15^2 + 2.8^2} = 2.804\Omega$	ג.
$I_{2s} = \frac{E_{2s}}{Z_{2s}} = \frac{sE_{20}}{Z_{2s}}$	15.62A	30.48A	37.04	$I_{20} = \frac{E_{20}}{Z_{20}} = \frac{125}{2.8} = 44.58A$	ד.
$f_2 = s f_1$	1Hz	2.5Hz	4Hz	$f_{20} = s_{ST} \cdot f_1 = 1 \cdot 50 = 50Hz$	ה.

פתרון שאלה 34

<p>חשב: $M_{em} = ?$</p>	<p>נתון: מנוע השראה תלת-מופעי $2p = 6$ $f = 50Hz$ $U = 380V$ $s = 4\%$ $I_L = 160A$ $\cos \varphi = 0.85$ $\Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Fe} = 1000W$</p>
---	--

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 160 \cdot 0.85 = 89512W$$

$$P_{em} = P_1 - (\Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Fe}) = 89512 - 1000 = 88512W$$

מדיאגרמה אנרגטית ניתן לכתוב:

$$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_1} ; n_1 = \frac{f \cdot 60}{p}$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{60f}{p} = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{60 \cdot 50}{3} = 104.7 \frac{rad}{sec}$$

$$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_1} = \frac{88512}{104.7} = 845 Nm$$

(בשאלה זו החליקה "s" הוא נתון מיותר)

פתרון שאלה 35

חשב:	נתון:
$E_1 = ?$	א. מנוע אסינכרוני תלת-מופעי
$E_{20} = ?$	ב. $\Phi = 2.18 \cdot 10^{-2} Wb$
$\begin{cases} E_{2s} = ? \\ s = 2.6\% \end{cases}$	ג. $N_1 = 96$ $N_2 = 80$ $K_1 = 0.94$ $K_2 = 0.96$ $f = 50 Hz$

$$E_1 = 4.44 f_1 \Phi N_1 K_1 = 4.44 \cdot 50 \cdot 2.18 \cdot 10^{-2} \cdot 96 \cdot 0.94 = 437 V \quad .א.$$

$$E_{20} = 4.44 f_1 \Phi N_2 K_2 = 4.44 \cdot 50 \cdot 2.18 \cdot 10^{-2} \cdot 80 \cdot 0.96 = 372 V \quad .ב.$$

$$E_{2s} = s \cdot E_{20} = 0.026 \cdot 372 = 9.67 V \quad .ג.$$

פתרון שאלה 36

חשב:	נתון:
$\begin{matrix} s = 0.5\% & s = 4\% \\ \begin{cases} n_1 = ? \\ f_1 = 50 Hz \end{cases} & \begin{cases} n_1' = ? \\ f_1 = 50 Hz \end{cases} \end{matrix}$	א. מנוע אסינכרוני תלת-מופעי $2p = 4$ $s = 0.5\% \div 4\%$
$\begin{matrix} \begin{cases} n_2 = ? \\ f_2 = 60 Hz \end{cases} & \begin{cases} n_2' = ? \\ f_2 = 60 Hz \end{cases} \end{matrix}$	ב.
$\begin{matrix} \begin{cases} n_3 = ? \\ f_3 = 100 Hz \end{cases} & \begin{cases} n_3' = ? \\ f_3 = 100 Hz \end{cases} \end{matrix}$	ג.

$$N_L = n(1-s) = \frac{60 \cdot f}{p} (1-s)$$

$$n_1 = \frac{60 \cdot 50}{2} (1 - 0.005) = 1493 rpm \quad f_1 = 50 Hz \quad .א.$$

$$n_1' = \frac{60 \cdot 50}{2} (1 - 0.04) = 1440 rpm$$

$$n_2 = \frac{60 \cdot 60}{2} (1 - 0.005) = 1791 rpm \quad f_2 = 60 Hz \quad .ב.$$

$$n_2 = \frac{60 \cdot 60}{2} (1 - 0.04) = 1728 \text{rpm}$$

$$n_3 = \frac{60 \cdot 100}{2} (1 - 0.005) = 2985 \text{rpm}$$

$$f_3 = 100 \text{Hz} \quad \text{ג.}$$

$$n_3 = \frac{60 \cdot 100}{2} (1 - 0.04) = 2880 \text{rpm}$$

פתרון שאלה 37

חשב:	נתון:
א. $p = ?, s = ?$	מנוע אסינכרוני תלת-מופעי :
ב. $M_n = ?$	$P = 2.8 \text{KW}$
ג. $M_{\max} = ?$	$n = 1420 \text{rpm}$
ד. $M_{st} = ?$	$\eta = 83.5\%$
ה. חיבור כוכב $I_{nY}, I_{stY} = ?$	$\cos \varphi = 0.85$
ו. חיבור משולש $I_{n\Delta}, I_{st\Delta} = ?$	$I_{st} = 5.5 \cdot I_n$
	$M_{\max} = 2 \cdot M_n$
	$M_{st} = 1.9 \cdot M_n$
	$U_{\text{רשת}} = 380 / 220 \text{V}$
	$f = 50 \text{Hz}$

$$n_1 = \frac{60f}{p} \Rightarrow p = \frac{60f}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2 \quad \text{א.}$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 = \frac{1500 - 1420}{1500} \cdot 100 = 5.3\%$$

$$n_1 = 1500 \text{rpm} \quad \text{כאשר: } n_2 = 1420 \text{rpm}$$

$$M_n = \frac{P \cdot 975}{n} = \frac{2.8 \cdot 975}{1420} = 1.92 \text{Kgm} = \frac{1.92}{0.102} = 18.8 \text{Nm} \quad \text{ב.}$$

$$M_{\max} = 2M_n = 2 \cdot 18.8 = 37.6 \text{Nm} \quad \text{ג.}$$

$$M_{st} = 1.9 \cdot M_n = 1.9 \cdot 18.8 = 35.72 \text{Nm} \quad \text{ד.}$$

$$I_{nLY} = I_{nphY} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{2800}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.835 \cdot 0.85} = 6 \text{A} \quad \text{ה.}$$

$$I_{stY} = 5.5 \cdot I_{nY} = 5.5 \cdot 6 = 33 \text{A}$$

$$I_{n\Delta} = 3 \cdot I_Y = 3 \cdot 6 = 18 \text{A} \quad \text{ו.}$$

$$I_{st\Delta} = 5.5 \cdot I_{nY} = 5.5 \cdot 18 = 99 \text{A}$$

פתרון שאלה 38

חשב:	נתון:
האם ניתן להתניע?	$M_n ; U_1 = U_n$
$\begin{cases} \frac{M_{st2}}{M_n} = ? \\ U_2 = 0.9 \cdot U_{1n} \end{cases}$	$M_{stn} = 1.2 \cdot M_n$

$$\frac{M_{st2}}{M_{st1n}} = \frac{K \cdot U_2^2}{K \cdot U_1^2} \Rightarrow M_{st2} = M_{st1n} \cdot \frac{U_2^2}{U_1^2}$$

$$\frac{M_{st2}}{M_n} = \frac{1.2 \cdot M_n \cdot \frac{0.9^2 \cdot U_1^2}{U_1^2}}{M_n} = 0.972$$

אי אפשר להתניע את המנוע

פתרון שאלה 39

חשב:	נתון:
א. $P_n = ?$	מנוע אסינכרוני תלת-מופעי
ב. $M_n = ?$	בעומס נקוב:
ג. $\cos \varphi_n = ?$	$U_{Ln} = 220V$
ד. $\cos \varphi_0 = ?$	$I_n = 14.2A$
ה. $\eta_n = ?$	$P_1 = 4000W$ $n = 960rpm$
	בקצר:
	$U_K = 50V$ $I_K = 14.2A$ $P_{1k} = 350W$ $n_k = 0$
	בריקם:
	$U_0 = 220V$ $I_0 = 2.8A$ $P_0 = 250W$

$$\Delta P_{Fe} = P_0 = 250W \quad \Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} = 250 + 350 = 600W \quad \text{א.}$$

$$\Delta P_{Cu} = P_K = 350W \quad P_{2n} = P_1 - \Delta P = 4000 - 600 = 3400W$$

$$M_n = \frac{P_2 \cdot 975}{n} = \frac{3.4 \cdot 975}{960} = 3.45 Kgm \quad \text{ב.}$$

$$\cos \varphi_n = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 14.2} = 0.74 \quad \text{ג.}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_0 \cdot I_0} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 2.8} = 0.234 \quad .ד$$

$$\eta_n = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{3400}{4000} \cdot 100 = 85\% \quad .ה$$

פתרון שאלה 40

חשב:	נתון:
$I = ?$.א	מנוע אסינכרוני תלת-מופעי
$K_i = ?$.ב	עם רוטור מלופף
$s = ?$.ג	$P = 3.5KW$
$f_2 = ?$.ד	$U_{רשת} = 380/220V$
$M_n = ?$.ה	$f_1 = 50Hz$
	$n_2 = 910rpm$
	$\eta = 0.7$
	$\cos \varphi = 0.73$
	$U_{2L} = 204V$
	$I_{2n} = 12.2A$
	Y/Y

$$I_1 = \frac{P_2}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{3500}{0.7 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.73} = 10.4A = I_{1ph} \quad .א$$

$$K_i = \frac{I_{2ph}}{I_{1ph}} = \frac{12.2}{10.4} = 1.173 \quad .ב$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 910}{1000} = 0.09 \quad .ג$$

$$n_1 = 1000rpm \leftarrow n_2 = 910rpm \quad \text{כאשר:}$$

$$f_2 = s \cdot f_1 = 0.09 \cdot 50 = 4.5Hz \quad .ד$$

$$M_n = \frac{P}{\omega_2} \quad ; \quad \omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60} = \frac{2\pi \cdot 910}{60} = 95 \frac{rad}{sec} \quad .ה$$

$$M_2 = \frac{P}{\omega_2} = \frac{3500}{95} = 36.8Nm$$

פתרון שאלה 41

חשב:		נתון:
$E_1 = ?$	.א	מנוע אסינכרוני תלת-מופעני עם
$E_{20} = ?$	.ב	רוטור מלופף, המחובר בכוכב וסלילי
$E_{2s} = ?$	.ג	סטטור המחוברים במשולש
$s = 3\%$		מספר מוליכים: $N_2 = 288$
		$N_1 = 736$
		רשת $U_1 = 220V$

$$E_1 \cong U_1 = 220V \quad .א$$

$$\begin{cases} E_1 = 4.44N_1\Phi f & \frac{E_1}{E_{20}} = \frac{N_1}{N_2} \\ E_{20} = 4.44N_2\Phi f & \end{cases} \quad .ב$$

$$E_{20} = E_1 \frac{N_2}{N_1} = 220 \cdot \frac{288}{736} = 86V \quad \text{ומכאן:}$$

$$E_{2s} = s \cdot E_{20} = 0.03 \cdot 86 = 2.58V \quad .ג$$

פתרון שאלה 42

חשב:		נתון:
$P_2 = ?$	.א	מנוע אסינכרוני תלת-מופעני,
$s = ?$	.ב	רוטור מלופף.
$\eta = ?$	.ג	$p = 3$
		$U_1 = 3000V$
		$M = 74.7 Kgm$
		$n = 980rpm$
		$I = 18.5A$
		$\cos \varphi = 0.87$

$$P_2 = \frac{M \cdot n}{975} = \frac{74.7 \cdot 980}{975} = 75KW \quad .א$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 980}{1000} = 0.02 \quad .ב$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad .ג$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 3000 \cdot 18.5 \cdot 0.87 = 83.63KW$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{75}{83.63} = 0.89$$

פתרון שאלה 43

חשב:	נתון:
$\cos \varphi_1 = ?$	א. מנוע אסינכרוני תלת-מופעי
$n_2 = ?$	ב. עם רוטור מלופף
$P_2 = ?$	ג. $p = 3$
$\eta = ?$	ד. $U_1 = 380V$ רשת $s = 7\%$ $P_1 = 5.1KW$ $I_1 = 10.6A$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_{L1}} = \frac{5100}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 10.6} = 0.73 \quad .א$$

$$n_2 = n_1(1-s) = \frac{60f}{p}(1-s) = \frac{60 \cdot 50}{3}(1-0.07) = 930rpm \quad .ב$$

$$P_2 = \frac{M \cdot n_2}{975} = \frac{4.2 \cdot 930}{975} = 4KW \quad .ג$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{4 \cdot 100}{5.1} = 78.4\% \quad .ד$$

פתרון שאלה 44

חשב:	נתון:
$P_{em} = ?$	א. מנוע אסינכרוני תלת-מופעי
$\Delta P_{Cu2} = ?$	ב. $P_1 = 60KW$
$s = 3\%$	ג. $\Delta P_1 = 1KW$
$P_2 = ?$	

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_1 = 60 - 1 = 59KW \quad .א$$

$$\Delta P_{Cu2} = s \cdot P_{em} = 0.03 \cdot 59 = 1.77KW \quad .ב$$

$$P_2 = P_{em} - \Delta P_{Cu2} = 59 - 1.77 = 57.23KW \quad .ג$$

פתרון שאלה 45

חשב:	<p>$R_V = ?$</p> <p>$n_V = ?$</p> <p>כאשר M עמוס קבוע</p>	נתון:	<p>מנוע אסינכרוני תלת-מופעי</p> <p>עם רוטור מלופף</p> <p>$R_2 = 0.0174\Omega$</p> <p>$n = 750rpm$</p> <p>$f = 50Hz$</p>
-------------	--	--------------	--

$$\frac{s_V}{s} = \frac{R_2 + R_V}{R_2}$$

$$R_V = R_2 \left(\frac{s_V}{s} - 1 \right)$$

$$s_V = \frac{n_1 - n_V}{n_1} = \frac{750 - 600}{750} = 0.2$$

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{750 - 705}{750} = 0.06$$

$$R_V = R_2 \left(\frac{s_V}{s} - 1 \right) = 0.0174 \left(\frac{0.2}{0.06} - 1 \right) = 0.0406\Omega$$

כאשר: $n_1 = 750rpm$, $n_2 = 705rpm$, אז:

פתרון שאלה 46

חשב:	<p>א. $I_{20(st)} = ?$</p> <p>ב. $\begin{cases} I_{2s} = ? \\ s = 8\% \end{cases}$</p>	נתון:	<p>מנוע השראתי תלת-מופעי</p> <p>$N_1 = 160$</p> <p>$N_2 = 40$</p> <p>$U = 3 \times 380V$ רשת</p> <p>הסטטור מחובר במשולש</p> <p>$R_2 = 0.6\Omega$</p> <p>$X_{20} = 2\Omega$</p>
-------------	--	--------------	---

$$I_{20(st)} = \frac{E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + X_{20}^2}} \quad .א$$

$$\frac{U_{1ph}}{E_{20ph}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow E_{20ph} = \frac{U_{1ph} \cdot N_2}{N_1} = \frac{380 \cdot 40}{160} = 95V$$

(במשולש $U_{1L} = U_{1ph} = 380V$)

$$I_{20} = \frac{95}{\sqrt{0.6^2 + 2^2}} = 45A$$

$$I_{2s} = \frac{s \cdot E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (s \cdot X_{20})^2}} = \frac{0.08 \cdot 95}{\sqrt{0.6^2 + (0.08 \cdot 2)^2}} = 12.2A \quad .ב$$

פתרון שאלה 47

חשב:	נתון:
האם ניתן להתניע באמצעות מתנע כוכב-משולש?	מנוע תלת-מופעי עם רוטור כלוב. סלילי הסטטור מחוברים במשולש.
	משיך $M_{st} = 21.42Kgm$
	משיך $I_{st} = 260A$
	מותר $I_{רשת} = 180A$
	משאבה $M_{st} = 5.1Kgm$

בהתנעה, כאשר המנוע עדיין במנוחה, הזרם הוא פונקציה ישירה של המתח ואילו המומנט הוא פונקציה ריבועית של המתח, מכאן:

$$\frac{I_{YstPH}}{I_{\Delta stPH}} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot U_L} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Rightarrow I_{YstL} = \frac{I_{\Delta stL}}{3}$$

$$I_{YstL} = \frac{260}{3} = 86.67A < 180A$$

$$\frac{M_{Yst}}{M_{\Delta}} = \frac{U_L^2}{3 \cdot U_L^2} = \frac{1}{3} \Rightarrow M_{Yst} = \frac{M_{\Delta}}{3} = \frac{21.42}{3} = 7.14Kgm > 5.1Km$$

כלומר, המנוע יוכל להתניע את המשאבה באמצעות מתנע כוכב משולש.

פתרון שאלה 48

חשב:	נתון:
א. $M_{st} = ?$	מנוע השראתי תלת-מופעי
ב. $M_{max} = ?$	$P_n = 10KW$
ג. $I_{st} = ?$	$n_n = 960rpm$
	$\eta = 0.88$
	$\cos \varphi = 0.85$
	$U_n = 380V$
	$K_m = 1.2 \frac{M_{st}}{M_n}$
	$K_{kr} = 2.6 \frac{M_{max}}{M_n}$
	$K_I = 5.5 = \frac{I_{st}}{I_n}$

$$M_{st} = M_n \cdot K_m \quad .א$$

$$M_n = \frac{P_n \cdot 975}{n_n} = \frac{10 \cdot 975}{960} = 10.16 \text{Kgm}$$

$$M_{st} = 10.16 \cdot 1.2 = 12.19 \text{Kgm}$$

$$M_{\max} = M_n \cdot K_{Kr} = 10.16 \cdot 2.6 = 26.41 \text{Kgm} \quad .ב$$

$$I_{st} = I_n \cdot K_I \quad .ג$$

$$I_n = \frac{P_n}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{10000}{0.88 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.85} = 20.31 \text{A}$$

$$I_{st} = 20.31 \cdot 5.5 = 111.7 \text{A}$$

פתרון שאלה 49

עוצמת הזרם ברוטור (I_{2st}) היא גדולה מאוד לעומת עוצמת הזרם בעבודה (I_{2s}) מפני שהחליקה (s_{st}) גדולה מאוד ($s_{st} = 1$) לעומת החליקה (" s ") בעבודה (השווה כמה אחוזים בלבד). לפי חוק אוהם, עוצמת הזרם ברוטור בעבודה שווה:

$$1. \quad I_{2s} = \frac{s \cdot E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} = \frac{E_{2s}}{Z_{2s}}$$

ועוצמת הזרם בהתנעה שווה:

$$2. \quad I_{2st} = \frac{1 \cdot E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (1 \cdot X_{20})^2}} = \frac{E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + X_{20}^2}}$$

כאשר משווים נוסחאות (2) ו-(1), רואים שהכא"מ, בהתנעה (E_{20}) גדול בהרבה לעומת הכא"מ בעבודה ($E_{2s} = s \cdot E_{20}$). כתוצאה מכך גם עוצמת הזרם בהתנעה גדולה מאוד ויכולה להגיע בהתנעה ישירה ל- $(4 \div 8) \cdot I_n$. למנועים גדולים מעל 3 כ"ס הדבר יכול לגרום למפלי מתח גדולים ברגע ההתנעה ולהפריע גם לצרכנים אחרים באותה רשת. כדי למנוע מצב זה ניתן להשתמש במספר שיטות התנעה, שבעזרתן אפשר להקטין את הזרם בהתנעה.

פתרון שאלה 50

חשב:	נתון:
.א. $X_2 = ?$	מנוע אסינכרוני
.ב. $\begin{cases} R_V = ? \\ M_{st} = M_{\max} \end{cases}$	תלת-מופעי
	$2p = 4$
	$f = 60 \text{Hz}$
	$R_2 = 0.062 \Omega$
	$n_{kr} = 1530 \text{rpm}$

$$S_K = \frac{R_2}{X_1 + X_2} \quad \text{א.} - \text{בהנחה שההיגב ההשראתי של הרוטור (המיוחס לסטטור) שווה לזו של}$$

$$X_2 = \frac{R_2}{2 \cdot S_{kr}} \quad \text{ומכאן} \quad S_{kr} = \frac{R_2}{2 \cdot X_2} \quad \text{הסטטור, נוכל לכתוב:}$$

$$S_{kr} = \frac{n_1 - n_{kr}}{n_1} \quad \text{כאשר:}$$

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 60}{2} = 1800 \text{rpm}$$

$$S_{kr} = \frac{1800 - 1530}{1800} = 0.15$$

$$X_2 = \frac{R_2}{2 \cdot s_{kr}} = \frac{0.062}{2 \cdot 0.15} = 0.207 \Omega$$

$$s_{kr} = 1 \quad ; \quad s_{kr} = \frac{R_2 + R_V}{2X_2} = 1 \quad \text{ב.}$$

$$R_V = 2X_2 - R_2 = 2 \cdot 0.207 - 0.062 = 0.352 \Omega \quad \text{מכאן:}$$

פתרון שאלה 51

חשב:	נתון:
א. $I_M = ?$	מנוע אסינכרוני תלת מופעי
ב. $2P_M = ?$	מניע גנרטור לזרם ישר.
ג. $s_M = ?$	נתוני הגנרטור לז"י:
	$P_{2G} = 44 \text{KW}$
	$n_G = 1450 \text{rpm}$
	$\eta_G = 0.88$
	נתוני המנוע:
	$U_{LM} = 380 \text{V}$
	$f = 50 \text{Hz}$
	$\cos \varphi_M = 0.85$
	$\eta_M = 0.86$

$$P_{2M} = P_{1G} \quad \text{א.}$$

$$P_{1G} = \frac{P_{2G}}{\eta_G} = \frac{44000}{0.88} = 50 \text{KW} = P_{2M}$$

$$P_{1M} = \frac{P_{2M}}{\eta_M} = \frac{50}{0.86} = 58.14 \text{KW}$$

$$P_{1M} = \sqrt{3} \cdot U_{LM} \cdot I_{LM} \cdot \cos \varphi_M$$

$$I_{LM} = \frac{P_{1M}}{\sqrt{3} \cdot U_{LM} \cdot \cos \varphi_M} = \frac{58140}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.85} = 104A = I_{M_{ph}}$$

$$n_1 = 1500rpm \quad ; \quad n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{120f}{2p} \quad .ב.$$

$$2p = \frac{120f}{n_1} = \frac{120 \cdot 50}{1500} = 4$$

$$s_M = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 3.3\% \quad .ג.$$

פתרון שאלה 52

חשב:
האם אפשר להתניע את המנוע בעומס, על ידי חיבור סלילים בטור עם שלושת מופעי המנוע?

נתון:
מנוע השראתי תלת-מופעי בחיבור כוכב.

$$U_L = 380V$$

$$I_{st} = 260A$$

$$M_{st} = 210Nm$$

$$I'_{max} = 180A \quad \text{רשת}$$

$$M'_{st} = 100Nm \quad \text{מנוע}$$

נסמן:

$$U' = \text{מתח מוקטן כדי שהזרם לא יעלה מעל } 180A.$$

$$I' = \text{עוצמת הזרם המקסימלית המותרת.}$$

$$\frac{I}{I'} = \frac{U}{U'} \Rightarrow U' = \frac{U \cdot I'}{I} = \frac{380 \cdot 180}{260} = 263V \quad \text{יש להקטין ביחס ישר את המתח להדקי המנוע:}$$

$$\frac{M}{M'} = \frac{U^2}{U'^2} \Rightarrow M' = \frac{M \cdot U'^2}{U^2} = \frac{210 \cdot 263^2}{380^2} = 100.6Nm \quad \text{נבחן את מומנט ההתנעה במתח מוקטן זה:}$$

התוצאה מצביעה על כך שחיבור סלילים בטור עם סטטור המנוע האסינכרוני, שמקטין את זרם ההתנעה ל-180A, יגרום למנוע לפתח מומנט התנעה של 100.6Nm, הגדול במעט מהמומנט הדרוש. לכן ניתן להתניע את המנוע בעומס לאחר חיבור הסלילים.

פתרון שאלה 53

		נתון:
$E_1 = ?$	.א.	מנוע השראתי תלת-מופעי עם
$E_{20} = ?$	.ב.	רוטור מלופף
$\left\{ \begin{array}{l} E_{2s} = ? \\ s = 0.04 \end{array} \right.$	.ג.	$\Phi = 45 \cdot 10^{-3} Wb$
		$N_1 = 360(T)$
		$K_1 = 0.935$ מקדם ליפוף הסטטור
		$N_2 = 30(T)$
		$K_2 = 0.956$ מקדם ליפוף הרוטור
		$f_1 = 50Hz$

$$E_1 = 4.44 \cdot N_1 \cdot K_1 \cdot \Phi \cdot f_1 = 4.44 \cdot 360 \cdot 0.935 \cdot 45 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 3363V \quad .א.$$

$$E_{20} = 4.44 \cdot N_2 \cdot K_2 \cdot \Phi \cdot f_1 = 4.44 \cdot 30 \cdot 0.956 \cdot 45 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 286V \quad .ב.$$

$$E_{2s} = s \cdot E_{20} = 0.04 \cdot 286 = 11.4V \quad .ג.$$

פתרון שאלה 54

		נתון:
$M = ?$	.א.	מנוע אסינכרוני תלת-מופעי
$F = ?$	.ב.	$P_2 = 6KW$
$f_2 = ?$	.ג.	$n = 1425rpm$
		$D = 16.5cm$
		$f = 50Hz$

$$M = \frac{P_2}{\omega_2} \quad ; \quad \omega_2 = \frac{2\pi \cdot n_2}{60} = \frac{2\pi \cdot 1425}{60} = 149 \left(\frac{rad}{sec} \right) \quad .א.$$

$$M = \frac{6000}{149} = 40Nm$$

$$M = F \cdot \frac{D}{2} \quad .ב.$$

$$F = \frac{2M}{D} = \frac{2 \cdot 40}{0.165} = 484N$$

$$f_2 = s f_1 \quad ; \quad s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0.05 \quad .ג.$$

$$f_2 = 0.05 \cdot 50 = 2.5Hz$$

פתרון שאלה 55

חשב:	נתון:
א. $n_1; s; f_2 = ?$	מנוע השראתי תלת-מופעי
ב. $I_{ph1} = ?$	$U_n = 380V$
	$P_{2n} = 9KW$
	$n_{2n} = 1470rpm$
	$\cos \varphi_n = 0.82$
	$\eta_n = 90\%$
	$f_1 = 50Hz$

כאשר סלילי הסטטור מחוברים במשולש

א. כאשר $n_2 = 1470rpm$, המהירות הסינכרונית תהיה: $n_1 = 1500rpm$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 = \frac{1500 - 1470}{1500} \cdot 100 = 2\%$$

$$f_2 = sf_1 = 0.02 \cdot 50 = 1Hz$$

$$I_{L1} = \frac{P_{2n}}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{9 \cdot 10^3}{0.9 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.82} = 18.53A \quad \text{ב.}$$

$$I_{ph1} = \frac{I_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{18.53}{\sqrt{3}} = 10.7A \quad \text{בחיבור במשולש:}$$

פתרון שאלה 56

חשב:	נתון:
א. $X_{2ph} = ?$	מנוע אסינכרוני תלת-מופעי
ב. $\begin{cases} R_{2p} = ? \\ M_{st} = M_{max} \end{cases}$	$2p = 4$
	$f_1 = 60Hz$
	$R_{2ph} = 0.07\Omega$
	$n_{2k(max)} = 1530rpm$

נגד נוסף עם הרוטור

$$X_{2ph} = \frac{R}{2 \cdot s_{max}} \quad \text{א.}$$

$$s_{max} = \frac{n_1 - n_{2max}}{n_1} \quad ; \quad n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 60}{2} = 1800rpm$$

$$s_{max} = \frac{1800 - 1530}{1800} = 0.15$$

$$X_{2ph} = \frac{R_2}{2 \cdot s_{max}} = \frac{0.07}{2 \cdot 0.15} = 0.233\Omega$$

$$\frac{R_2 + R_{2P}}{2X_2} = s_{\max} = s_{st} = 1 \quad .ב.$$

$$R_2 + R_{2P} = 2X_2$$

$$R_{2P} = 2X_2 - R_2 = 2 \cdot 0.233 - 0.07 = 0.396\Omega$$

פתרון שאלה 57

נתון:

מנוע דלנדר עם שתי מהירויות:

חשב:

$$\begin{cases} n_1', n_1'' = ? \\ n_2', n_2'' = ? \\ s = s_{\max} \\ X_{2ph} = ? \\ \begin{cases} R_{2ph} = ? \\ M_{st} = M_{\max} \end{cases} \end{cases}$$

.א.

$$\begin{cases} n_2' \\ 2p' = 6 \end{cases}$$

.ב.

$$\begin{cases} n_2'' \\ 2p'' = 2 \end{cases}$$

.ג.

$$f_1 = 50Hz$$

$$R_{2ph} = 0.03\Omega$$

(מניחים שההתנגדות R_{2ph} קבועה בשני סוגי החיבורים)

$$s_{\max} = 0.12$$

$$\begin{cases} n_1' = \frac{60f_1}{p'} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm \\ n_1'' = \frac{60f_1}{p''} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000rpm \end{cases} \quad .א.$$

$$n_2' = n_1'(1 - s) = 1000(1 - 0.12) = 880rpm$$

$$n_2'' = n_1''(1 - s) = 3000(1 - 0.12) = 2640rpm$$

$$X_2 = \frac{R_2}{2 \cdot s_{\max}} = \frac{0.03}{2 \cdot 0.12} = 0.125\Omega \quad .ב.$$

$$\frac{R_2 + R_{2P}}{2 \cdot X_2} = s_{\max} \quad .ג.$$

$$R_{2P} = 2X_2 - R_2 = 2 \cdot 0.125 - 0.03 = 0.22\Omega$$

פתרון שאלה 58

חשב:	נתון:
א. $\Delta P_{\text{קבועים}} = ?$	מנוע אסינכרוני תלת-מופע. $P_{2n} = 25KW$
$(\Delta P_{Fe} + \Delta P_{mech})$	$\eta_{\max} = 85\%$
ב. $\begin{cases} \Delta P_{\text{משתנים}} = ? \\ \eta = \eta_{\max} \end{cases}$	$\cos \varphi = 0.90$
ג. (בחיבור כוכב) $\begin{cases} I_{1L} = ? \\ \eta = \eta_{\max} \end{cases}$	$U_n = 400V$

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_{\text{קבועים}} + \Delta P_{\text{משתנים}} \quad \text{א.}$$

$$\Delta P_{\text{קבועים}} = \Delta P_{\text{משתנים}} \quad \text{כאשר הנצילות מקסימלית:}$$

$$\eta_{\max} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma \Delta P} = \frac{P_2}{P_2 + 2 \cdot \Delta P_{\text{קבועים}}}$$

$$\Sigma \Delta P = P_1 - P_2 = \frac{P_2}{\eta_{\max}} - P_2 = \frac{25000}{0.85} - 25000 = 4412W$$

$$\Delta P_{ad} = \frac{\Sigma \Delta P}{2} = \frac{4412}{2} = 2206W$$

$$\Delta P_{\text{משתנים}} = \Delta P_{\text{קבועים}} = 2206W \quad \text{ב.}$$

$$I_{1L} = \frac{P_2}{\eta_{\max} \cdot \sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{25000}{0.85 \cdot 1.732 \cdot 400 \cdot 0.9} = 47A = I_{1ph} \quad \text{ג. בחיבור כוכב}$$

פתרון שאלה 59

חשב:	נתון:
א. בחיבור משולש $I_1 = ?$	מנוע אסינכרוני תלת-מופע $P_2 = 12KW$
ב. אוהמים + נוספים $\Delta P = ?$	$U_n = 410V$
	$\cos \varphi = 0.8$
	$\eta = 0.8$
	$\Delta P_{ad} = 85W$
	$(\Delta P_{Fe} + \Delta P_{\text{מכניים}})$

$$I_{1L} = \frac{P_2}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{12000}{0.8 \cdot \sqrt{3} \cdot 410 \cdot 0.8} = 26.4A \quad \text{א.}$$

$$I_{1ph} = \frac{I_{1L}}{\sqrt{3}} = \frac{26.4}{\sqrt{3}} = 15.24A \quad \text{בחיבור משולש}$$

$$\Sigma \Delta P = P_1 - P_2 = \frac{P_2}{\eta} - P_2 = \frac{12000}{0.8} - 12000 = 3000W \quad \text{ב.}$$

$$\Delta P_{Cu+\text{נוספים}} = \Sigma \Delta P - \Delta P_{ad} = 3000 - 85 = 2915W$$

פתרון שאלה 60

חשב:	נתון:
א. $M_2 = ?$	מנוע אסינכרוני תלת-מופע
ב. $D = ?$	$P_2 = 10KW$
ג. $f_2 = ?$	$n_2 = 1400rpm$
	$F = 550N$
	$f_1 = 60Hz$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} \quad \omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 1400}{60} = 146.5 \left(\frac{rad}{sec} \right) \quad .א$$

$$M_2 = \frac{10000}{146.5} = 68.26Nm \quad ; \quad M_2 = \frac{68.26}{9.81} = 6.96Kgm$$

$$M_2 = F \cdot \frac{D}{2} \quad .ב$$

$$D = \frac{2 \cdot M_2}{F} = \frac{2 \cdot 68.26}{550} = 0.248m = 24.8cm$$

$$f_2 = s f_1 \quad s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1500 - 1400}{1500} = 0.066 \quad .ג$$

$$f_2 = 0.066 \cdot 60 = 4Hz$$

פתרון שאלה 61

חשב:	נתון:
א. $s, n_1 = ?$	מנוע אסינכרוני תלת-מופע.
ב. $P_2, M_2 = ?$	$2p = 6$
	$U_L = 380V$
	$f_1 = 50Hz$
	$I_L = 20A$ כוכב
	$\cos \varphi_n = 0.89$
	$\eta_n = 90\%$
	$n_2 = 900rpm$

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm \quad .א$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 900}{1000} = 0.1$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} \quad .ב$$

$$P_2 = \eta \cdot P_1 = \eta \cdot \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi = 0.9 \cdot 1.732 \cdot 380 \cdot 20 \cdot 0.89 = 10544W$$

$$\omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60} = \frac{2\pi \cdot 900}{60} = 94.2 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{10544}{94.2} = 112 \text{Nm}$$

פתרון שאלה 62

נתון:	$\begin{cases} M_n = 100 \text{Nm} \\ U_n \end{cases}$
חשב:	
א.	$\begin{cases} M_2 = ? \\ U_2 = 1.2 \cdot U_n \end{cases}$
ב.	$\begin{cases} M_3 = ? \\ U_3 = 0.85 \cdot U_n \end{cases}$

$$\frac{M_n}{M_2} = \frac{(KU_n)^2}{(KU_2)^2} = \frac{U_n^2}{1.2^2 \cdot U_n^2} = \frac{1}{1.44} = 0.694 \quad \text{א.}$$

$$M_2 = \frac{M_n}{0.694} = 144 \text{Nm}$$

$$\frac{M_n}{M_3} = \frac{(KU_n)^2}{(KU_3)^2} = \frac{U_n^2}{U_3^2} = \frac{U_n^2}{(0.85 \cdot U_n)^2} = \frac{1}{0.85^2} = \frac{1}{0.722} = 1.385 \quad \text{ב.}$$

$$M_3 = \frac{M_n}{1.385} = \frac{100}{1.385} = 72.2 \text{Nm}$$

פתרון שאלה 63

נתון:	$I = 60 \text{A}$ $f = 50 \text{Hz}$ $U_L = 380 \text{V}$ $2p = 6$ $2p' = 2$ $s = 0.03$ בשני מצבי החיבור $\eta = 0.92$ $\cos \varphi = 0.92$
חשב:	
א.	$n_2, n_2' = ?$
ב.	$M_2, M_2' = ?$

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{rpm} \quad \text{א.}$$

$$n_2 = n_1(1 - s) = 1000(1 - 0.03) = 970 \text{rpm}$$

$$n_1' = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{rpm}$$

$$n_2' = n_1'(1 - s) = 3000(1 - 0.03) = 2910 \text{rpm}$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2}$$

ב.

$$P_2 = \eta \cdot P_1 = \eta \cdot \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi = 0.92 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 60 \cdot 0.92 = 33424 \text{W}$$

$$\omega_2 = \frac{2\pi \cdot n_2}{60} = \frac{2\pi \cdot 970}{60} = 101.53 \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right)$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{33424}{101.53} = 329.2 \text{Nm}$$

$$M_2' = \frac{P_2}{\omega_2'}$$

$$\omega_2' = \frac{2\pi \cdot n_2'}{60} = \frac{2\pi \cdot 2910}{60} = 304.58 \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right)$$

$$M_2' = \frac{33424}{304.58} = 109.75 \text{Nm}$$

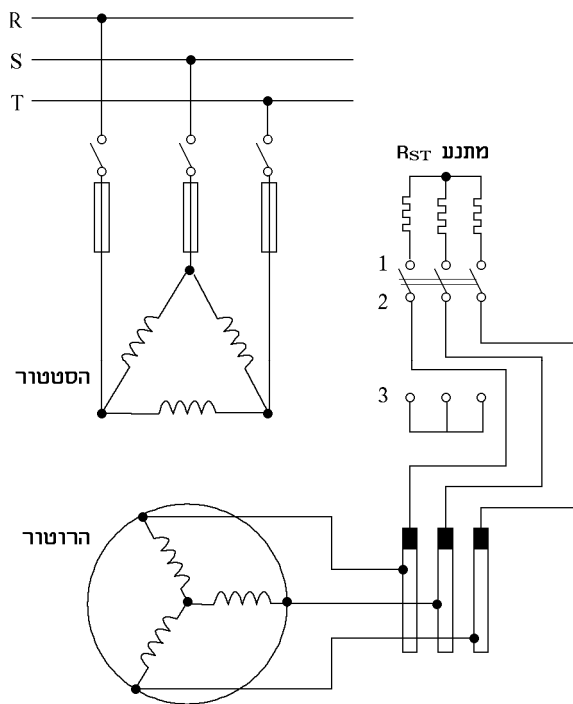
פתרון שאלה 64

מכונה אסינכרונית היא מכונה שהמהירות הסיבובית של הרוטור שלה קטנה מעט מהמהירות הסיבובית של השדה המסתובב הסטטורי שלה. המכונה פועלת על עקרון יצירת כוח משיכה בין השדה המגנטי המסתובב הסטטורי לבין השדה המגנטי של הרוטור. ההפרש היחסי בין שתי המהירויות של השדות האלה קרוי חליקה "s":

$$\begin{aligned} n_1 &= \text{מהירות סיבובית של השדה הסטטורי (סל"ד)} \\ n_2 &= \text{מהירות סיבובית של הרוטור (סל"ד)} \end{aligned} \quad \boxed{s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}}$$

עליית העומס גורמת להגדלת החליקה ולהיפך.

המכונה פועלת הודות לתופעה של השראה אלקטרומגנטית של השדה המסתובב הסטטורי במוליכי הרוטור. כדי ליצור זרמים מושרים ברוטור, המעגל החשמלי הרוטורי חייב להיות סגור. השדה המסתובב הסטטורי נוצר בעזרת שלושה ליפופים שבין ציריהם זווית של 120° במרחב ודרכם מוזרמים שלושה זרמים שזווית המופע ביניהם, בזמן הוא 120° , (למנועים השראתים תלת-מופעיים). למנוע השראתי (אסינכרוני) חד-מופע, יצירת השדה המגנטי המסתובב נעשית בעזרת מספר שיטות. השיטה הכי נפוצה היא שימוש בסליל עזר, שבין צירו לבין צירו של סליל העבודה קיימת זווית במרחב בת 90° . בין הזרם בסליל העבודה לבין הזרם בסליל העזר קיים הבדל מופע בזמן של 90° . הדבר נעשה בעזרת קבל בטור עם סליל העזר.



המכונה האסינכרונית בנויה מסטטור ורוטור:

א. **הסטטור** (החלק הנייח) בנוי מליבת ברזל שבחריציה מורכבים שלושה ליפופים, המוזנים משלושת המופעים של הרשת (R,S,T). שלושת הליפופים של הסטטור מחוברים ביניהם בכוכב או במשולש.

ב. **הרוטור** (החלק המסתובב) יכול להיות (1) רוטור כלוב או (2) רוטור מלופף.

(1) **רוטור כלוב** בנוי מפסי אלומיניום יצוק בחריצים הנמצאים בברזל הסטטורי. המוטות מאלומיניום מקוצרים בשני הקצוות בעזרת טבעות קצר (כדי שהרוטור יהיה מקוצר). (2) **רוטור מלופף** בנוי משלושה ליפופים, המחוברים ביניהם בכוכב (ראה איור). משתמשים במנוע עם רוטור מלופף כאשר דרוש מומנט התנעה יותר חזק או כאשר דרוש וויסות מהירות ברציפות. באיור ניתן לראות גם את מתנע הנגדים, שמחובר ברגע התנעה בטור עם הרוטור. אחרי ההתנעה מקוצר הרוטור בעזרת שלוש טבעות ושלוש מברשות מקוצרות ביניהן.

פתרון שאלה 65

חשב:		נתון:
א.	$I_{st} = ?$ ישיר	מנוע אסינכרוני תלת-מופעי
ב.	$I'_{st} = ?$ מתנע Y/Δ	$P_2 = 10HP$ $U = 400V$ $f = 50Hz$ $\cos \varphi = 0.87$ $\eta = 0.8$ $I_{st} = 5 \cdot I_n$

א.
$$I_{1Ln} = \frac{P_{2n}}{\eta \sqrt{3} U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{10 \cdot 736}{0.8 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.87} = 15.26A$$

ישיר $I_{st} = 5 \cdot I_n = 5 \cdot 15.26 = 76.31A$

ב. מתנע Y/Δ
$$I'_{st} = \frac{I_{st}}{3} = \frac{76.31}{3} = 25.44A$$

פתרון שאלה 66

חשב:	נתון:
$P_2 = ?$	א. $2p = 6$
$M_2 = ?$	ב. $U_1 = 400V$
$I_2' = ?$	ג. $f_1 = 50Hz$
	$n = 970rpm$
	$M_{max} = 250Nm$
	$n_{cr} = 820rpm$
	$\Delta P_{mech} = 135W$
	$R_1 \Rightarrow 0$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{p} = 1000rpm \quad .א$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 970}{1000} = 0.03$$

$$s_{cr} = \frac{n_s - n_{cr}}{n_s} = \frac{1000 - 820}{1000} = 0.18$$

$$M_{em} = \frac{2M_{max}}{\frac{s_{cr}}{s} + \frac{s}{s_{cr}}} = \frac{2 \cdot 250}{\frac{0.18}{0.03} + \frac{0.03}{0.18}} = 81.1Nm$$

$$P_{em} = \frac{1}{9.55} \cdot M_{em} \cdot n_s = \frac{1}{9.55} \cdot 81.1 \cdot 1000 = 8490W$$

$$\Delta P_{2Cu} = sP_{em} = 0.03 \cdot 8490 = 255W$$

$$P_2 = P_{em} - \Delta P_{2Cu} - \Delta P_{mech} = 8490 - 255 - 135 = 8100W$$

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{8100}{970} = 79.7Nm \quad .ב$$

$$M_{max} = \frac{9.55}{2} \cdot \frac{U_1^2}{n_s X_k} \quad .ג \quad \text{בהזנחת } R_1$$

$$X_K = \frac{R_2'}{s_{cr}} \quad ; \quad M_{max} = \frac{9.55}{2} \cdot \frac{U_1^2 s_{cr}}{n_s R_2'}$$

$$R_2' = \frac{9.55}{2} \cdot \frac{U_1^2 s_{cr}}{n_s M_{max}} = \frac{9.55}{2} \cdot \frac{400^2 \cdot 0.18}{1000 \cdot 250} = 0.55\Omega$$

$$I_2' = \sqrt{\frac{\Delta P_{2Cu}}{3R_2'}} = \sqrt{\frac{255}{3 \cdot 0.55}} = 12.43A$$

פתרון שאלה 67

חשב:	נתון:
.א. $n_2 = ?$	.א. $n_1 = 3000rpm$
$\left\{ \begin{array}{l} P_{in} = ? \\ \cos \varphi = 1 \end{array} \right.$	.ב. $s = 3\%$
$\left\{ \begin{array}{l} P_{out} = ? \\ \eta = 0.866 \end{array} \right.$	.ג. $U_L = 400V$
$\left\{ \begin{array}{l} E = ? \\ K\phi = 0.06873 \end{array} \right.$	.ד. $I_L = 2A$
	$f = 50Kz$

$$s\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 = 3\% \quad .א.$$

$$\frac{3000 - n_2}{3000} \cdot 100 = 3$$

$$3000 - n_2 = 90$$

$$n_2 = 2910rpm$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 2 \cdot 1 = 1385.64W \quad .ב.$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{out} = \eta \cdot P_{in} = 0.866 \cdot 1385.64 = 1200W$$

$$P_{out} = \text{גרטור } P_1 = 1200W \text{ מנוע אסינכרוני}$$

$$E = K\phi n_2 = 0.06873 \cdot 2910 = 200V \quad .ד.$$

פתרון שאלה 68

חשב:	נתון:
.א. $I_{1\Delta} = ?$	מנוע השראה תלת-מופעי מחובר במשולש
.ב. $I_{1ph\Delta} = ?$	.א. $U = 400V$
.ג. $2p = ?$	.ג. $f = 50Hz$
.ד. $s = ?$	.ד. $P_2 = 5HP$
$\left\{ \begin{array}{l} I_Y = ? \\ P_Y = ? \end{array} \right.$	.ה. $\eta = 68\%$
.ו. $f_2 = ?$	$n_2 = 735rpm$
	$\cos \varphi = 0.76$

$$P_{1\Delta} = \frac{P_2}{\eta} = \frac{5 \cdot 736}{0.68} = 5411.76W \quad .א.$$

$$P_{1\Delta} = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_{L\Delta} \cdot \cos \varphi \Rightarrow I_{L\Delta} = \frac{P_{1\Delta}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{5411.76}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.76} = 10.28A$$

$$I_{1PH\Delta} = \frac{I_{L\Delta}}{\sqrt{3}} = \frac{10.28}{\sqrt{3}} = 5.94A \quad .ב$$

$$n_2 = 736rpm \Rightarrow n_1 = 750rpm \Rightarrow n_1 = \frac{60f}{p} \quad .ג$$

$$p = \frac{60f}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{750} = 4$$

$$2p = 8$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 = \frac{750 - 735}{750} \cdot 100 = 2\% \quad .ד$$

$$P_{1Y} = \frac{P_{1\Delta}}{3} = \frac{5411.76}{3} = 1803.92W \quad .ה$$

$$I_{1Y} = \frac{P_{1Y}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{1803.92}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.76} = 3.43A$$

$$f_2 = sf_1 = 0.02 \cdot 50 = 1Hz \quad .ו$$

פתרון שאלה 69

חשב:	נתון:
$\Delta P_{Cu1} = ?$	.א מנוע תלת-מופעי
$M_2 = ?$	.ב $U = 400V$
$\Delta P_{Cu2} = ?$	.ג $f = 50Hz$
$P_1 = ?$	.ד $P_1 = 28KW$
$\eta = ?$	.ה $I_1 = 46.5A$
	$n_2 = 2880rpm$
	$r_{1PH} = 0.158\Omega$
	$\Delta P_{Fe} = 800W$
	$\Delta P_{מכניים} \cong 0$

$$\Delta P_{Cu1} = 3 \cdot r_{1PH} \cdot I_{1PH}^2 \quad .א$$

$$I_{1PH} = I_{1\varphi}$$

$$\Delta P_{Cu1} = 3 \cdot 0.158 \cdot 46.5^2 = 1025W$$

בחיבור כוכב:

$$\Delta P_{Cu2} = s \cdot P_{em} \quad .ב$$

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_{Fe} - \Delta P_{Cu1} = 28000 - 800 - 1025 = 26175W$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{3000 - 2880}{3000} = 0.04$$

$$\Delta P_{Cu2} = s \cdot P_{em} = 0.04 \cdot 26175 = 1047W$$

$$P_2 = P_{em} - \Delta P_{Cu2} - \Delta P_{מכניים} = 26175 - 1047 - 0 = 25128W \quad .ג.$$

$$M_2 = \frac{975 \cdot P_2}{n_2} = \frac{25.128 \cdot 975}{2880} = 8.5Kkg \quad .ד.$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{25.128}{28} \cdot 100 = 89.7\% \quad .ה.$$

פתרון שאלה 70

חשב:	נתון:
א. $s = ?$	מנוע תלת-מופעי
ב. $f_2 = ?$	

ברגע ההתנעה

א. כאשר:

n_1 - מהירות סיבוב השדה המגנטי של הרשת

n_2 - מהירות הרוטור של המנוע

ברגע ההתנעה $n_2 = 0$ ולפי הנוסחה:

$$s = \frac{n_1 - 0}{n_1}$$

$$s = \frac{n_1}{n_1} = 1$$

$$f_2 = s \cdot f_1$$

ב. תדירות המתח ברוטור f_2 היא:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

כאשר $f_1 =$ תדירות הרשת, $s =$ החליקה של מנוע שווה ל:

$$f_2 = 1 \cdot f_1 = f_1$$

תדירות המתח ברוטור ברגע ההתנעה אם $s = 1$:
תדירות המתח ברוטור ברגע ההתנעה שווה לתדירות הרשת.

פתרון שאלה 71

חשב:	נתון:
$I_{stY} = ?$	$P_{mech} = 3HP$
בחיבור כוכב-משולש	$U = 400V$
	$\cos \varphi = 0.8$
	$\eta = 88\%$
	$I_{st\Delta} = 6 \cdot I_n$

$$P_{mech} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$I = \frac{P_{mech}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{3 \cdot 736}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8 \cdot 0.88} = 4.53A$$

$$I_{st\Delta} = 6 \cdot I_n = 6 \cdot 4.53 = 27.18A$$

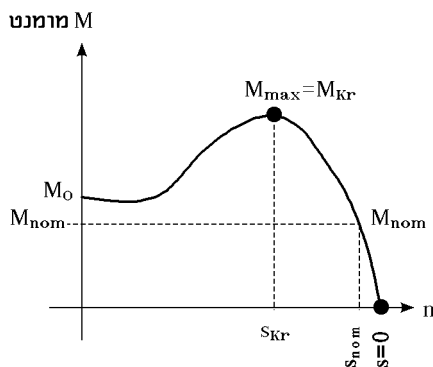
$$I_Y = \frac{I_{st\Delta}}{3}$$

$$I_{stY} = \frac{27.18}{3} = 9.06A$$

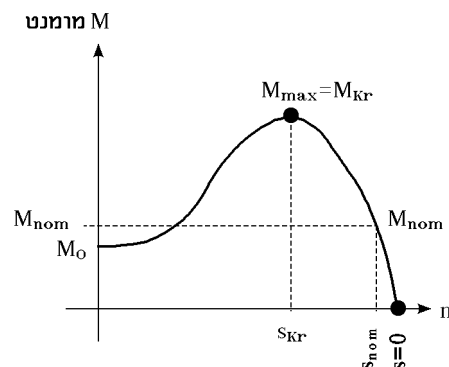
בהתנעת כוכב-משולש

פתרון שאלה 72

גרף המומנט כתלות במהירות סיבוב הרוטור (איור 1) מראה לנו בהתחלה M_0 – מומנט התנעה קטן מהמומנט הנומינלי. זאת אמרת שבמקרה כזה לא נוכל להתניע את המנוע בעומס כי מומנט ההתנעה אינו מספיק כדי לסובב את המנוע בעומס נומינלי. לאחר ההתנעה נצטרך לחבר את המנוע לעומס. הנקודה המקסימלית (M_{max}) זו הנקודה שבה נותן המנוע מומנט מקסימלי וזאת נקודת החליקה הקריטית. אם נמשיך להעמיס את המנוע הוא ייעצר. הנקודה שבה החליקה שווה לאפס ($s = 0$) משמעותה שהרוטור מסתובב במהירות הסטטור. דבר שאינו קיים, כי זה מצב מאולץ שמסובבים את הרוטור. בגרף הבא (איור 2) נוכל לראות מנוע שמומנט ההתנעה שלו גדול מהמומנט הנומינלי ולכן ניתן להתניע אותו כאשר הוא מחובר לעומס.



איור 2



איור 1

פתרון שאלה 73

נתון:

חשב:

$n_2 = ?$

$M_{em} = ?$

$\Delta P_{Cu2} + \Delta P_{m2} = ?$

$M_2 = ?$

א. $2p = 6$

ב. $U_L = 400V$

ג. $f = 50Hz$

ד. $I_L = 180A$

$\cos \varphi = 0.85$

$\Delta P_{Fe1} + \Delta P_{Cu1} = 1500W$

$s = 3.5\%$

$\eta = 97\%$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 \quad .א$$

$$\frac{1000 - n_2}{1000} \cdot 100 = 3.5$$

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm$$

$$1000 - n_2 = 35$$

$$n_2 = 965rpm$$

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_{Fe1} - \Delta P_{Cu1} \quad .ב$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 180 \cdot 0.85 = 106000W = 106KW$$

$$P_{em} = 106 - 1.5 = 104.5KW$$

$$M_{em} = 97.5 \cdot \frac{P_{em}}{n_2} = 97.5 \cdot \frac{104.5}{965} = 105.6Kgm$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{out} = \eta \cdot P_{in} = 0.97 \cdot 106 = 102.8KW \quad .ג$$

$$\Delta P = P_{out} - P_{in} = 106 - 102.8 = 3.2KW$$

$$\Delta P = \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Fe1} + \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{m2}$$

$$\Delta P_{Cu2} + \Delta P_{m2} = \Delta P - (\Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Fe1}) = 3.2 - 1.5 = 1.7KW$$

$$M_2 = 97.5 \cdot \frac{P_{out}}{n_2} = 97.5 \cdot \frac{102.8}{965} = 103.86Kgm \quad .ד$$

פתרון שאלה 74

חשב:	נתון:
$R_r = ?$	.א $M_2' = M_2$
$P_2' = ?$	.ב $2p = 6$
$\eta' = ?$	.ג $f_1 = 50Hz$
	$P_2 = 40KW$
	$s = 3.6\%$
	$\eta = 86\%$
	$R_2 = 30m\Omega$
	$n' = 0.75n$

$$n_s = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000rpm \quad .א$$

$$n = n_s(1 - s) = 1000(1 - 0.036) = 964rpm$$

$$n' = 0.75n = 0.75 \cdot 964 = 723rpm$$

$$s' = \frac{n_s - n'}{n} = \frac{1000 - 723}{1000} = 0.277$$

$$\frac{R_2 + R_r}{s'} = \frac{R_2}{s}$$

$$R_r = \frac{s'}{s} \cdot R_2 - R_2 = R_2 \left(\frac{s'}{s} - 1 \right) = 0.03 \left(\frac{0.277}{0.036} - 1 \right) = 0.2 \Omega$$

$$P_2' = \frac{1}{9.55} M_2 n' \quad \text{ב.}$$

$$P_2 = \frac{1}{9.55} M_2 n$$

$$P_2' = P_2 \cdot \frac{n'}{n} = 40 \cdot \frac{723}{964} = 30 \text{ KW}$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \cdot 100\% = \frac{40}{86} \cdot 100 = 46.5 \text{ KW} \quad \text{ג.}$$

מכיוון ש- M_2 נותר ללא שינוי, גם I_2 לא השתנה, ומתח המקור קבוע לכן גם הספק המבוא P_1 לא השתנה.

$$\eta' = \frac{P_2'}{P_1} \cdot 100\% = \frac{30}{46.5} \cdot 100 = 64.5\%$$

פתרון שאלה 75

חשב:	נתון:
$I_{stY} = ?$ בחיבור כוכב משולש	$P_{mech} = 4 \text{ HP}$
	$U = 400 \text{ V}$
	$\cos \varphi = 0.83$
	$\eta = 90\%$
	$I_{st\Delta} = 6 \cdot I_n$

$$P_{mech} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_m \cdot \cos \varphi \cdot \eta$$

$$I_n = \frac{P_{mech}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{4 \cdot 736}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.83 \cdot 0.9} = 5.69 \text{ A}$$

$$I_{st\Delta} = 6 \cdot I_n = 6 \cdot 5.69 = 34.14 \text{ A}$$

$$I_{stY} = \frac{I_{st\Delta}}{3} = \frac{34.14}{3} = 11.38 \text{ A}$$

הזרם בהתנעה ישירה

הזרם בהתנעת כוכב משולש

פתרון שאלה 76

חשב:	נתון:
$\Delta P_{Cu1} = ?$	.א. $U_L = 400V$
$\Delta P_{Cu2} = ?$	$I_L = 50A$
$\Delta P_{mech} = ?$	$P_1 = 28KW$
$M_2 = ?$	.ב. $n_2 = 2850rpm$
$M_{em} = ?$	.ג. $R_{1ph} = 0.16\Omega$
$M_0 = ?$	.ד. $\Delta P_{Fe} = 750W$
$M_{st} = ?$	.ה. $\eta = 89\%$
	$s_K = 0.24$
	$M_{max} = 3M_n$

$$\Delta P_{Cu1} = 3I_{ph}^2 \cdot R_{ph} \quad .א.$$

$$U_{ph} = U_L = 400V$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{50}{\sqrt{3}} = 28.87A$$

$$\Delta P_{Cu1} = 3 \cdot 28.87^2 \cdot 0.16 = 400W$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{3000 - 2850}{3000} = 0.05$$

$$\Delta P_{Cu2} = P_{em} \cdot s$$

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_{Cu1} - \Delta P_{Fe} = 28000 - 400 - 750 = 26850W$$

$$\Delta P_{Cu2} = 26850 \cdot 0.05 = 1342.5W$$

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot \eta\%}{100} = \frac{28000 \cdot 89}{100} = 24920W$$

$$P_{mech} = P_{em} - \Delta P_{Cu2} = 26850 - 1342.5 = 25507.5W$$

$$\Delta P_{mech} = P_{mech} - P_2 = 25507.5 - 24920 = 587.5W$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{24920 \cdot 60}{2\pi \cdot 2850} = 83.5Nm \quad .ב.$$

$$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_2} = \frac{26850 \cdot 60}{2\pi \cdot 3000} = 85.47Nm \quad .ג.$$

$$M_0 = M_a - M_2 = 85.47 - 83.5 = 1.97Nm \quad .ד.$$

המשך הפתרון בעמ' הבא.

$$M_{\max} = 3M_n = 83.5 \cdot 3 = 250.5 Nm \quad .ה$$

$$s_{st} = 1$$

$$M_{st} = \frac{2M_{\max}}{\frac{s_K}{s_{st}} + \frac{s_{st}}{s_K}}$$

$$M_{st} = \frac{2 \cdot 250.5}{\frac{0.24}{1} + \frac{1}{0.24}} = 113.7 Nm$$

פתרונות לנושא 3.3

פתרון שאלה 77 – ראו עמוד 50

פתרון שאלה 78

א. מדוע ברגע התנעה של מנוע אסינכרוני תלת-מופעי, זרם ההתנעה (I_{st}) גדול בהרבה לעומת הזרם בזמן העבודה?

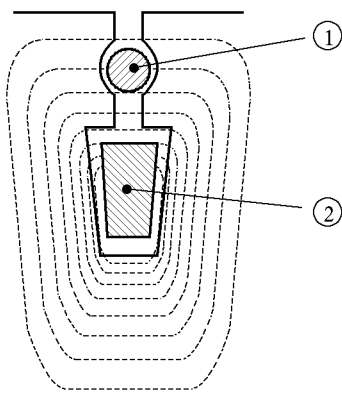
$$I_{2s} = \frac{E_{2s}}{Z_{2s}} = \frac{s \cdot E_{20}}{\sqrt{r_2^2 + (s \cdot x_{20})^2}} \quad (1) \text{ הזרם ברוטור בזמן העבודה (עם חליקה "s")}$$

$$I_{2st} = \frac{E_{20}}{\sqrt{r_2^2 + x_{20}^2}} \quad (2) \text{ ברגע התנעה } S_{st} = 1 \text{ והזרם שווה:}$$

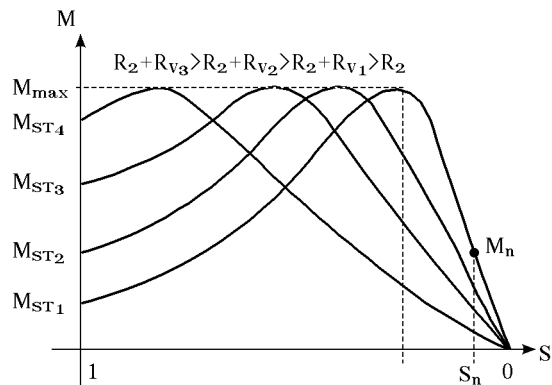
אם משווים נוסחה (1) ונוסחה (2) ניתן לראות שהכא"מ המושרה ברוטור בזמן ההתנעה (E_{20}) גדול בהרבה לעומת הכא"מ המושרה ברוטור בזמן העבודה ($E_{2s} = sE_{20}$). זאת משום שהחליקה "s" בעבודה קטנה מאד (רק כמה אחוזים), לעומת החליקה ברגע ההתנעה, ששווה ל-1. מעשית, בהתנעה ישירה, זרם ההתנעה הוא בסדר גודל של: $I_{st} = (5 \div 8)I_n$.

ב. באיזה סוג של מנוע אסינכרוני תלת-מופעי ניתן להגדיל את מומנט ההתנעה וכיצד? אפשר להגדיל את מומנט ההתנעה רק במנוע אסינכרוני תלת-מופעי עם רוטור מלופף. זאת על ידי שימוש במתנע נגדים תלת-מופעיים בטור עם הרוטור. על ידי הגדלת ההתנגדות ניתן לקבל מומנט התנעה חזק יותר ואפילו לקבל מומנט מקסימלי ברגע ההתנעה (איור א).

ג. הסבר בקיצור איך ניתן להקטין את זרם ההתנעה בעזרת מנוע אסינכרוני עם רוטור כלוב כפול. הרוטור בנוי משני כלובים (איור ב):
 (1) כלוב חיצוני עם שטח חתך קטן (1).
 (2) כלוב פנימי עם שטח חתך גדול והתנגדות אוהמית נמוכה (2) ברגע ההתנעה, משום שהשטף המגנטי המקיף את הכלוב החיצוני קטן, ההיגב ההשראתי של הכלוב החיצוני קטן יותר מזה של הכלוב הפנימי והזרם יזרום דרך הכלוב החיצוני שהתנגדות האוהמית שלו גדולה יותר מזו של הכלוב הפנימי. ככל שהמהירות הסיבובית עולה בזמן ההתנעה, תדירות הזרם ברוטור תקטן ($f_2 = sf_1$), וכתוצאה מכך גם ההיגב ההשראתי יקטן ($x_2 = 2\pi f_2 L_2$), ואז יזרום הזרם דרך כל שטח החתך, גם דרך הכלוב הפנימי. הכלוב החיצוני (עם התנגדות אוהמית גבוהה) מכונה גם כלוב התנעה.



איור ב



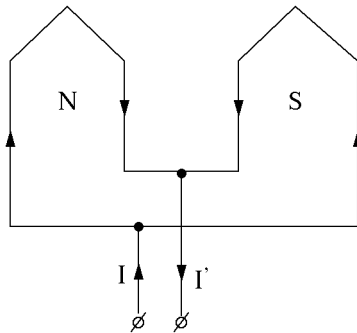
איור א

פתרון שאלה 79

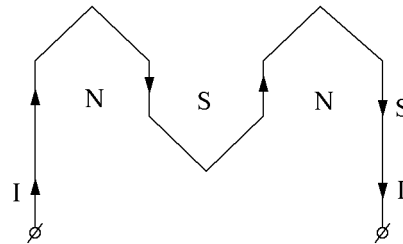
שיטות לוויסות מהירות של מנוע אסינכרוני תלת-מופעי:
$$n = \frac{60 \cdot f}{p} (1 - s)$$

לפי הנוסחה ניתן לשנות את המהירות הסיבובית של מנוע אסינכרוני תלת-מופעי על ידי:

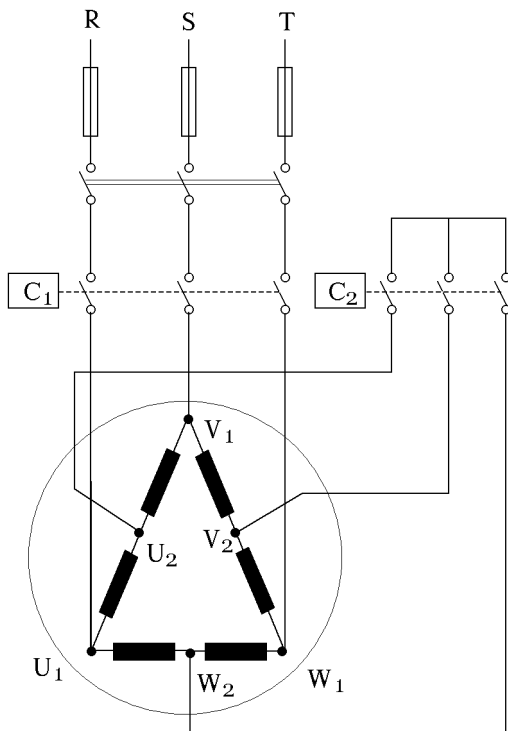
- א. שינוי התדירות (f) – כיוון שתדירות הרשת קבועה, חייבים להשתמש בממיר תדר אלקטרוני שהוא התקן יחסית יקר.
- ב. על-ידי שינוי מספר זוגות קטבים בסטטור – לפי נוסחה (1), היחס בין מהירות הסיבוב לבין מספר זוגות הקטבים הוא יחס הפוך. כדי לשנות מספר זוגות קטבים (p) נהוג לחלק כל ליפוף לשני חלקים (חצי ליפופים). ניתן לחבר את הליפופים החלקיים ביניהם בטור או במקביל ועל-ידי כך לשנות את מספר זוגות הקטבים כפי שמתואר באיורים א ו-ב.



איור ב
הסלילים במקביל (2P=2)
מהירות גבוהה

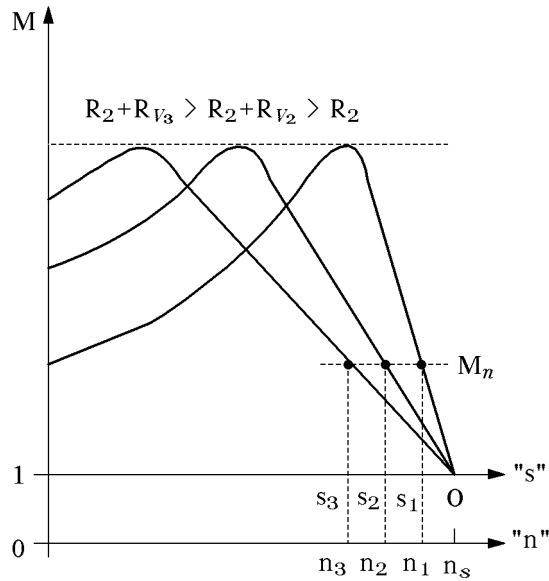


איור א
הסלילים בטור (2P=4)
מהירות נמוכה



איור ג

מנוע "דלנדר" הוא מנוע עם שתי מהירויות שמשנה את מהירותו הסיבובית רק על ידי שינוי החיבורים החיצוניים, ללא צורך להתערב בחיבורים הפנימיים של המנוע. בסטטור של מנוע דלנדר נמצאים 6 ליפופים שניתן לחבר ביניהם במשולש (מהירות נמוכה) או בכוכב כפול (מהירות גבוהה) (איור ג). החיבור נקרא גם משולש/כוכב כפול Δ / YY .
 כאשר מפעילים קונטקטור C_1 , המנוע מסתובב במהירות נמוכה, משום שחצאי הליפופים מחוברים ביניהם בטור.
 כאשר מפעילים את C_1 ו- C_2 , המנוע מסתובב במהירות סיבובית גדולה (פי 2 מהמהירות הקודמת), משום שחצאי הליפופים מחוברים ביניהם במקביל.



איור ד

ג. ויסות המהירות הסיבובית במנוע בעל רוטור מלוּפף – במנוע בעל רוטור מלוּפף ניתן לווסת את המהירות הסיבובית שלו, על-ידי הוספת נגדים בטור עם הרוטור. כתוצאה מכך החליקה "s" עולה (איור ד) והמהירות יורדת (בתנאי שמומנט העומס אינו משתנה). ניתן להוכיח שהקשר בין החליקה והתנגדות נגד הוויסות (R_r) נתון על ידי הנוסחה:

$$\frac{s_V}{s} = \frac{R_2 + R_r}{R_2}$$

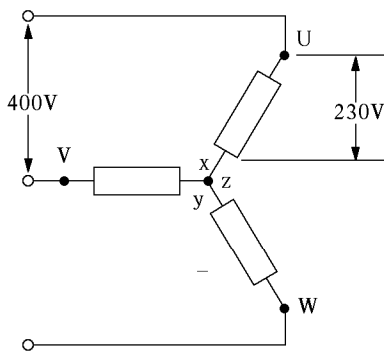
יתרון שיטה זו הוא שניתן לווסת מהירות סיבובית ברציפות. אולם יש לשיטה זו גם חיסרון והוא יצירת בזוזי אנרגיה בנגדי הוויסות.

פתרון שאלה 80

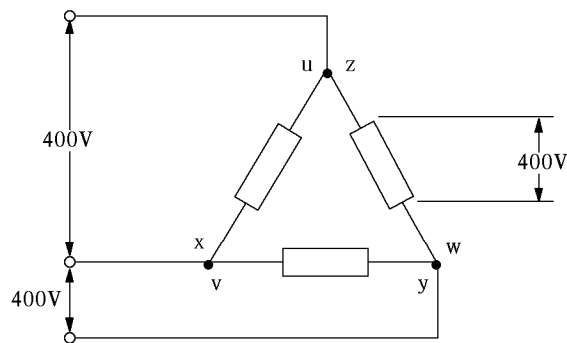
א. התנעה על-ידי חיבור ישיר לרשת: הדרך הפשוטה ביותר להתנעת מנוע היא חיבורו הישיר לרשת. הזרם ההתחלתי בהתנעה כזו גבוה מאוד (עד פי 6 מהזרם הנקוב) – ולכן מזהירה חברת החשמל לחבר ישירות לרשת רק מנועים שהספקם אינו עולה על 3HP, כדי למנוע מפל מתח גדול מדי בקווי האספקה. מרבית המנועים מסוג זה הינם בעלי רוטור כלוב.

ב. התנעה בעזרת מתנע כוכב-משולש (איור א): כדי למנוע זרמים גבוהים בזמן התנעת מנועים, משתמשים במתנע כוכב-משולש. שיטת התנעה זו מתאימה רק למנועים שבהם המתח הנמוך, המסומן על לוחית נתוני המנוע, שווה למתח הרשת, אך נהוגה גם במנועים בני מאות קווי"ט – כתחליף להתנעת שנאי.

בהתנעת מנוע בעזרת מתנע כוכב-משולש מחברים תחילה את ליפופי המנוע בכוכב. במצב זה המתח בכל ליפוף מופעי קטן פי $\sqrt{3}$ מהנקוב. כשמהירות המנוע מגיעה לכ-60% ממהירות הסיבוב הנקובה, ממתגים את החיבור הפנימי של הליפופים מכוכב למשולש.



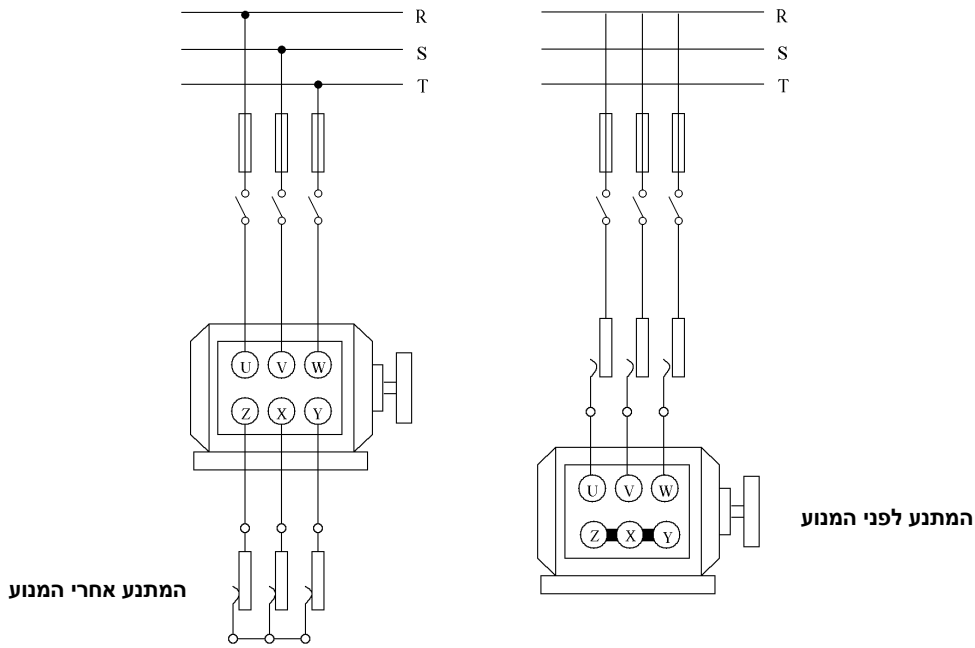
מצב התנעה – חיבור כוכב



מצב עבודה – חיבור משולש

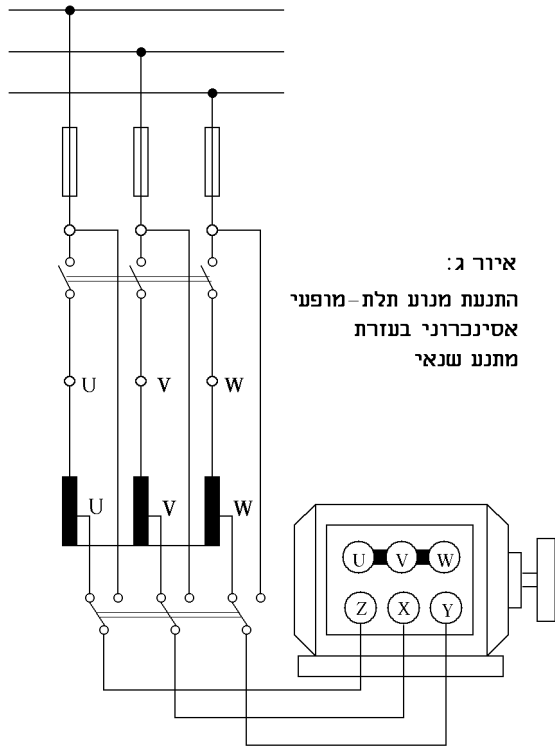
איור א: התנעת כוכב משולש

ג. התנעה בעזרת מתנע נגדים: על-ידי חיבור נגדים בטור לליפופי הסטטור ניתן להקטין את המתח על קצות הליפוף, וכך למנוע זרם התחלתי גבוה מדי. את הנגדים ניתן לחבר לפני הליפופים או אחריהם (איור ב).



איור ב: התנעה בעזרת מתנע נגדים

בשיטה זו מוגדלת ההתנגדות ש"רואה" הרשת בזמן ההתנעה, וכך נמנעת "מכת" הזרם שבחיבור ישיר. כמובן שגם המומנט ההתחלתי קטן. שיטה זו אינה נפוצה, בגלל הפסדי האנרגיה (בצורת חום) בנגדי המתנע, דרכם עובר הזרם כולו. גם הייצור המכני של המתנע צריך להיות קפדני כדי להבטיח מגע טוב בעת ההתנעה.

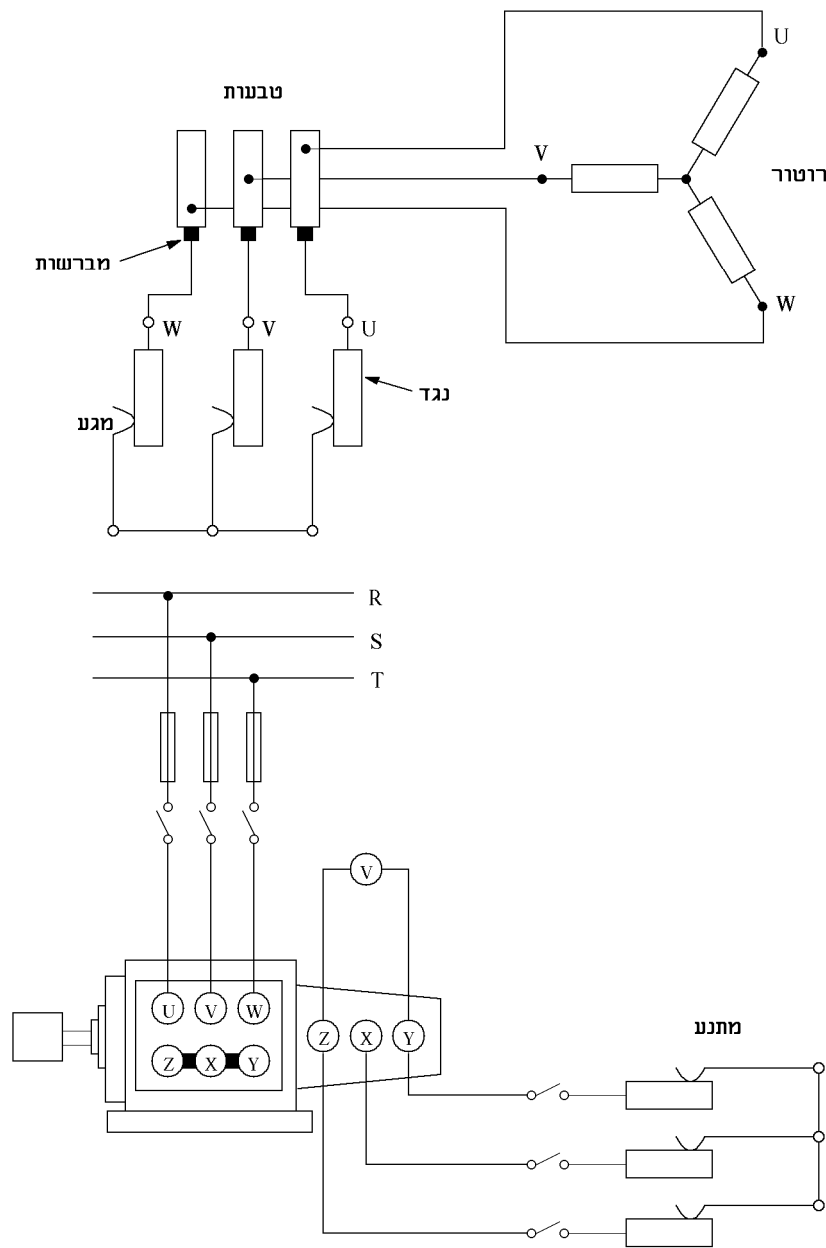


איור ג:
התנעת מנוע תלת-מופעי
אסינכרוני בעזרת
מתנע שנאי

ד. התנעה בעזרת מתנע שנאי: שיטה זו משמשת בדרך-כלל להתנעת מנועים בעלי הספק שמעל ל-15KW. התנעת מנוע תלת-מופעי אסינכרוני מתוארת באיור ג. מתנע כזה מאפשר תנאי התנעה טובים, כיוון שהזרם ברשת קטן (בהשוואה לזרם בחיבור ישיר) לפי ריבוע יחס הקטנת המתח (ראה דוגמה להלן). יתרון השיטה בכך, שהמומנט ההתחלתי אינו מוקטן באותה מידה בה מוקטן זרם ההתנעה ברשת. ברשתות מתח נמוך משמש לצורך זה שנאי עצמי (אוטו-טרנספורמטור). בתחילת ההתנעה מוזן למנוע מתח השווה בקירוב למחצית מתח הרשת (איור ג). אחר-כך מעבירים את מפסק המתנע למצבו השני (חיבור למתח הרשת עצמו), והזרם קטן עד הגיעו לערך הנקוב.

ה. התנעת מנועים בעלי רוטור מלופף בעזרת מתנע נגדים

- משתמשים במנועים בעלי רוטור מלופף במקרים הבאים:
- במכונה גדולה, בה דרוש מומנט התנעה גדול כדי להתגבר על התנגדות החלקים הכבדים להאצתם (התמדה).
 - כאשר נדרשת הגבלה גדולה של זרם ההתנעה.
 - כאשר נדרש ויסות מהירות הסיבוב בתחום רחב.
- במנוע בעל רוטור מלופף מחוברים קצות ליפופי הרוטור לשלוש טבעות החלקה שעל ציר המנוע, המבודדות זו מזו וגם מן הציר (איור ד). שלוש מברשות פחס נלחצות על-ידי קפיצים אל טבעות החלקה ומחוברות אל הנגדים שבמתנע; תפקידן לאפשר רציפות הולכה חשמלית בין החלק הנח (מתנע-הנגדים) לחלק הנע (ליפוף הרוטור).
- התנגדותם של שלושת הנגדים ניתנת לשינוי על-ידי הזזת שלושה זחלנים (מגעים ניידים), צמודים זה לזה, הנעים יחד על פניהם. המגעים מחוברים ביניהם גם מבחינה חשמלית, ולפיכך מחוברים הנגדים עצמם בכוכב.



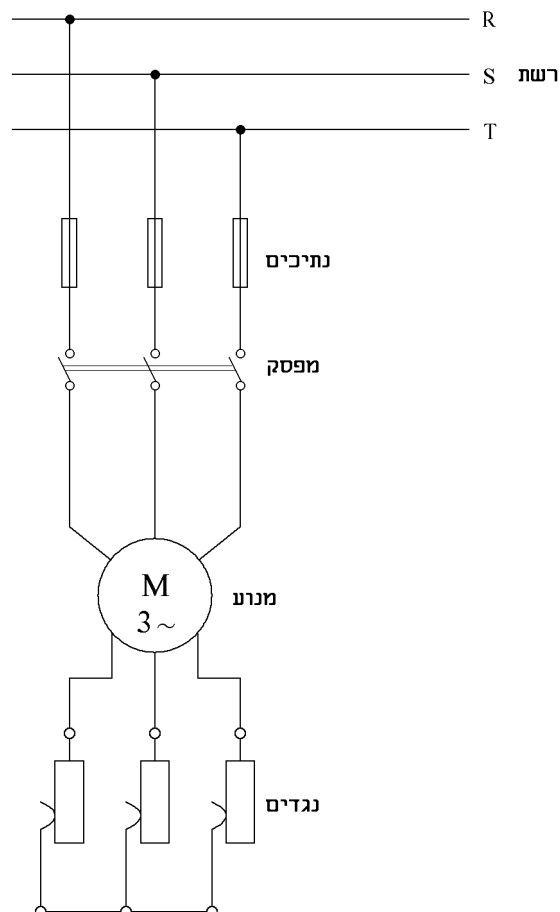
איור ד: מנוע בעל רוטור מלופף מחובר למנוע נגדים

פתרון שאלה 81

- א. התקלה נגרמת בגלל קצר בין הכריכות בסליל פאזי אחד.
- ב. ניתן לגלות את התקלה באמצעות מדידת זרם פאזי או באמצעות מדידת התנגדות הסלילים.
- ג. מתקנים את התקלה על ידי החלפת הסליל המקוצר.

פתרון שאלה 82

- א. קיימות מספר שיטות התנעה של מנועים אסינכרוניים, שבעזרתן מנסים להקטין את השינויים בזרם ובמתח בהתאם לדרישות חברת החשמל ובהתאם לתכונות החשמליות של המנוע. השיטות העיקריות הן אלה:
 - (1) התנעה על-ידי חיבור ישיר לרשת
 - (2) התנעה בעזרת מתנע "כוכב-משולש"
 - (3) התנעה בעזרת מתנע נגדים במעגל הזינה לסטטור
 - (4) התנעה בעזרת מתנע שנאי עצמי
 - (5) התנעה בעזרת מתנע נגדים במעגל הרוטור, במנוע בעל רוטור מלופף.
- ב. תרשים רב-קווי של חיבור מנוע תלת-מופעי לרשת והתנעה בעזרת מתנע נגדים.



פתרון שאלה 83

חשב:

נתון:

$R_{\min} = ?$

מנוע תלת-מופעי K132S

$n = 2890rpm$

$I = 14A$

$\eta = 0.86$

$U = 400V$

$\cos \varphi = 0.88$

בידוד $R = 5.5M\Omega$

$R_{\min} = \frac{20U}{1000 + 1.5P}$ כדי לקבוע אם התנגדות הבידוד מספקת, עלינו לחשב את R_{\min} לפי:

$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \eta \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 14 \cdot 0.86 \cdot 0.88 = 7.34KW$ לשם כך עלינו למצוא את ההספק P :

$P = 7.34KW = 9.97HP$

$R_{\min} = \frac{20 \cdot U}{1000 + 1.5P} = \frac{20 \cdot 400}{1000 + 1.5 \cdot 9.97} = 7.88M\Omega$

$R_{\min} = 7.88M\Omega$

בידוד $R < R_{\min}$

תשובה: התנגדות הבידוד, שהיא $5.5M\Omega$, אינה מספקת.

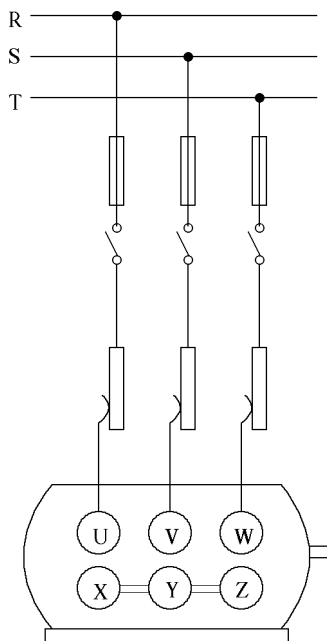
פתרון שאלה 84

סיבה אפשרית	איתור ומניעת התקלה
1 נתק במוליכים (במנוע בעל רוטור מלוּפף)	יש לבדוק את המהדקים והמוליכים ולתקן
2 מתח ההזנה נמוך מאוד	יש למדוד את מתח ההזנה
3 קצר לגוף המנוע	יש לבדוק במד התנגדות ("מגרי")
4 תקלה במתנע	יש לבדוק את המגעים. אם התקלה היא מכנית – יש להחליף את המתנע

פתרון שאלה 85

התנעה בעזרת מתנע נגדים:

הנגדים מחוברים בטור לליפופי הסטטור. ניתן לחברם לפני הליפופים או אחריהם. שיטה זו אינה נפוצה, בגלל הפסדי אנרגיה בנגדי המתנע. גם הייצור המכני של המתנע צריך להיות קפדני כדי להבטיח מגע טוב בעת ההתנעה.

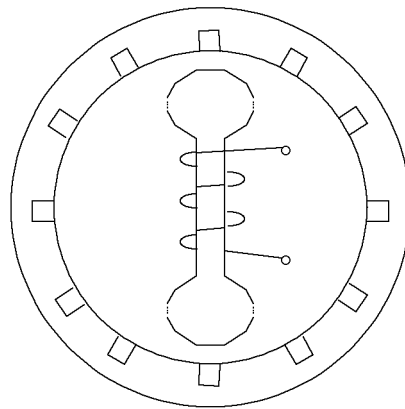


פתרון שאלה 86

- א. עקב אופיו ההשראתי של המנוע מתקבלים בזמן ההתנעה זרמים הגדולים פי $8 \div 4.5$. מהזרם הנקוב. זרם פתאומי בסדר גודל כזה גורם להפרעות ברשת, בעיקר למפל מתח פתאומי. כמו כן, מומנט ההתנעה מוגבל בזמן התנעת המנוע לערך M_0 ומומנט זה חייב להיות גדול יותר ממומנט העומס (המתנגד לתנועה), המחובר למנוע.
- ב. בחיבור כוכב משולש מחברים תחילה את ליפופי המנוע בכוכב ולאחר שמהירות המנוע מגיעה לכ-65% מהמהירות הנקובה, ממתגים את החיבור מכוכב למשולש. בשיטה זו מקטינים את היחס בין זרם ההתנעה לזרם הנקוב פי שלושה. אולם שיטה זו מקטינה גם את המומנט ההתחלתי M_0 פי 3. לכן יש לדאוג שהמומנט הנגדי יהיה קטן משליש המומנט ההתחלתי בזמן ההתנעה.
- ג. מומנט בהתנעה אפשר להגדיל על ידי מתנע נגדים. בשיטה זו מחוברים לסלילי הרוטור נגדים משתנים בכוכב, בעזרת מברשות. בזמן ההתנעה מכוונים את הנגדים להתנגדות מירבית, דבר הגורם לזרם התנעה נמוך ומומנט גבוה. בהדרגה מקטינים את התנגדות הנגדים עד לקצר ומגיעים לזרם נומינלי ומומנט נומינלי.

פתרון שאלה 87

- במנוע סינכרוני, הרוטור מלופף ודרכו מזרימים זרם ישר, שגורם ליצירת לשדה המגנטי של הרוטור. שדה זה יכול ליצור כא"מ אם נסובב את הרוטור ולשמש כגנרטור. אפשרות אחרת היא לחברו לרשת ואז ישמש כמנוע.
- בסטטור מותקנים 3 סלילים בזווית של 120° , המחוברים בכוכב או במשולש. הסלילים מוזנים מרשת תלת-מופעית ומייצרים שדה מגנטי מסתובב.



- כאשר הכא"מ ברוטור גדול יותר הוא גנרטור וכאשר מתח הרשת גדול יותר הוא משמש כמנוע. הרוטור מקבל זרם ישר בדרך כלל על ידי גנרטור לזרם ישר המחובר על אותו ציר.

פתרון שאלה 88

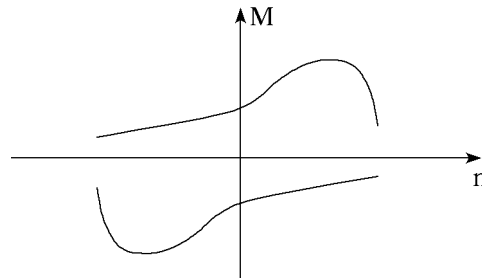
- במנוע בעל שתי מהירויות, המחובר כמנוע בעל מהירות אחת בכוכב, ייווצר קצר חשמלי כי המנוע יעבוד כשנאי שהצד המשני שלו מקוצר.

פתרונות לנושא ג.3

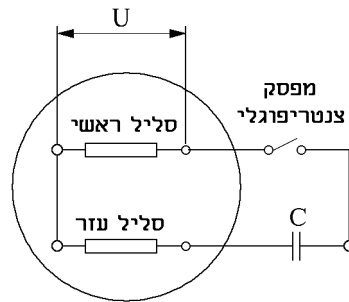
פתרון שאלה 89 – ראו עמוד 55

פתרון שאלה 90

א. ההבדל בין מנוע השראה חד-מופע לתלת-מופע הוא, שבחד-מופע השדה המגנטי פועם ואינו מסתובב. לכן צריך לגרום לרוטור להתחיל ולהסתובב, וזאת בעזרת סליל עזר וקבל. הקבל גורם להפרש מופע כך שהשדות המגנטיים בסליל הראשי ובסליל העזר לא יהיו באותו מופע ויווצר שדה מגנטי מסתובב.



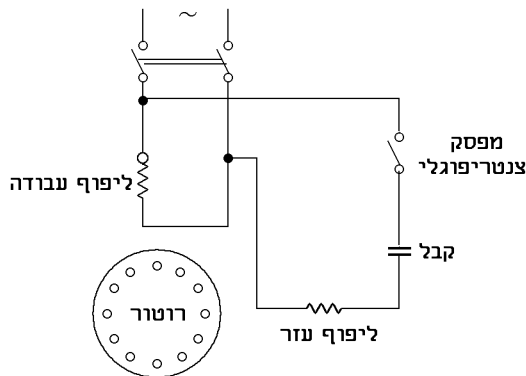
ב. כדי לשנות את כיוון הסיבוב, יש לשנות את חיבורי סליל העזר והקבל או לשנות את חיבורי הסליל הראשי.
אם נשנה את הקוטביות בשניהם ימשיך המנוע להסתובב באותו כיוון.



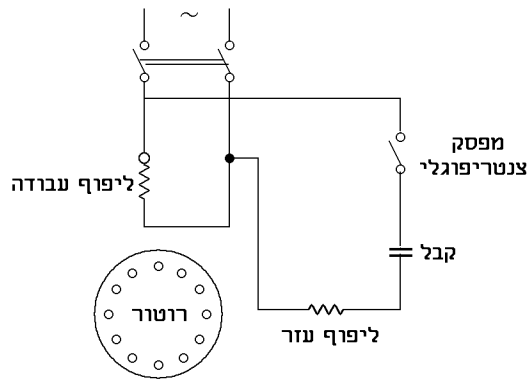
הערה: המפסק הצנטריפוגלי המורכב על ציר המנוע (רוטור), נפתח כאשר מהירות המנוע מגיעה לכ-70% מהמהירות הנומינלית.

פתרון שאלה 91

שיטות התנעה של מנוע חד-מופע. התנעה בעזרת ליפוף עזר וקבל (ראה איור). בשיטה זו מותקן במנוע, בנוסף לליפוף העבודה, ליפוף עזר הממוקם על ההיקף בזווית של 90° . ליפוף העזר מחובר לרשת דרך קבל כך שנוצר הפרש ניכר בין הזרם בליפוף העזר והזרם בליפוף העבודה. כתוצאה מכך נוצר שדה מסתובב הגורם למומנט התנעה לצורך התנעת המנוע. לאחר שמהירות הרוטור מגיעה ל-70% מערכה הנקוב, מתנתק סליל העזר על-ידי מפסק צנטריפוגלי.



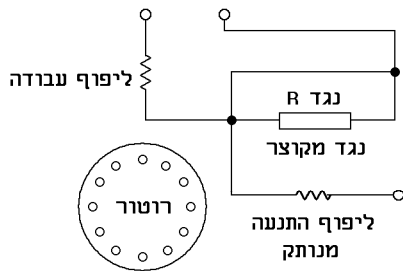
פתרון שאלה 92



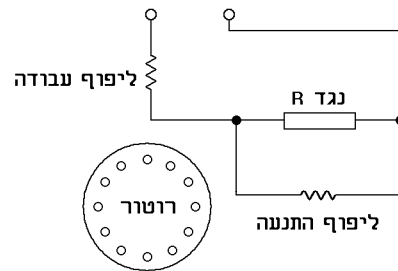
איור א: מעגלי ליפוף העבודה וליפוף העזר

א. **התנעה בעזרת ליפוף עזר וקבל (איור א):**
 בשיטה זו מותקן במנוע, בנוסף לליפוף העבודה, ליפוף עזר הממוקם על ההיקף בזווית של 90° . ליפוף העזר מחובר לרשת דרך קבל כך שנוצר הפרש ניכר בין הזרם בליפוף העזר והזרם בליפוף העבודה. כתוצאה מכך נוצר שדה מסתובב הגורם למומנט התנעה לצורך התנעת המנוע. לאחר שמהירות הרוטור מגיעה ל-70% מערכה הנקוב מתנתק סליל העזר על-ידי מפסק צנטריפוגלי.

ב. **התנעה על-ידי פיצול הליפופים:** בשיטה זו (איור ב) נעשית ההתנעה בשתי דרגות על-ידי מתנע מיוחד. בדרגה הראשונה (1) ליפוף העבודה מחובר בטור עם נגד (R), וליפוף ההתנעה מחובר במקביל לאותו נגד. אופיו ההשראתי של סליל ההתנעה גורם להפרש מופע ניכר בין זרמו והזרם דרך הנגד. בתום פעולת ההתנעה מעבירים את המתנע לדרגה השנייה (2). במצב זה רק ליפוף העבודה מחובר ישירות לרשת. ליפוף ההתנעה נשאר פתוח, והנגד מקוצר. מנועים עם התנגדות גבוהה בליפוף ההתנעה מיוצרים להספקים עד 2 כוחות סוס. והם נפוצים במתקנים שאינם דורשים מומנט התנעה גדול במיוחד (מכונות כביסה, מאווררים וכו').

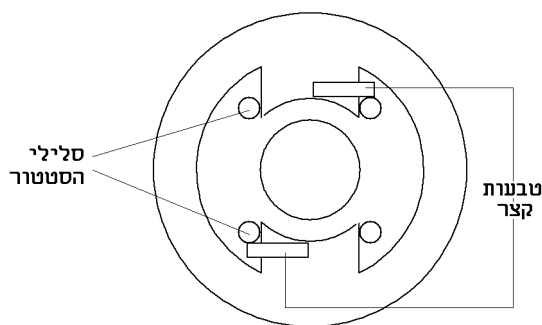


(2)



(1)

איור ב: התנעה בשיטת פיצול הסלילים



איור ג: התנעה בשיטת טבעות קצר

ג. **התנעה בשיטת טבעות הקצר:** שיטת התנעה זו שימושית רק במנועים בעלי הספק נמוך מאוד, המתחילים את תנועתם במומנט התחלתי נמוך מאוד (מאווררים, פטפונים וכו').
 סביב חלק מהקוטב מתקינים טבעת קצר מנחושת (איור ג). בטבעת הקצר מושרה זרם (עקב השתנות השטף המתמדת בגרעין הברזל), הנמצא בהפרש מופע כלפי הזרם בליפוף הסטטור. מתקבל אפוא שדה מסתובב היוצר מומנט סיבוב – אמנם קטן ביותר, אך מספיק עבור מנועים להספק נמוך (5 עד 25 וואט).

פתרון שאלה 93

במנוע השראה חד מופעי מותקנים בנוסף לסלילי העבודה גם סליל עזר (סליל התנעה) הממוקמים על היקפו של המנוע בנטייה זוויתית יחסית לסליל העבודה.

סליל העזר מחובר לרשת דרך קבל שתפקידו ליצור הפרש מופע ניכר בין הזרם בליפוף העזר לבין הזרם בליפוף העבודה. שילוב הנטייה הזוויתית הגאומטרית עם הפרש המופע בין זרמי שני הסלילים יוצר שדה מגנטי מסתובב שגורם להתנעת המנוע.

תפקיד סליל העזר הוא רק להתניע את המנוע ולכן יש לנתקו בתום ההתנעה. כמו כן הקבל שהינו בן עשרות עד מאות מקרופרדים מיועד לפעול במשך שניות אחדות בלבד ובתכיפות שאינה עולה על 20 התנעות לשעה. מגבלה זו מחייבת ניתוק מעגל העזר בתום ההתנעה.

ניתוק מעגל העזר נעשה על-ידי מפסק צנטריפוגלי. המפסק מורכב בדרך כלל מזוג קפיצים שטוחים הנוגעים זה בזה רק כאשר הרוטור נח או מסתובב במהירות נמוכה. כאשר מהירות הרוטור מגיעה לכ-70% מערכה הנקוב מופסק המגע בין הקפיצים עקב הכוח הצנטריפוגלי וכך ניתק מעגל סליל העזר.

תוכנית מבחן מומלצת
מובנית לפי תוכנית הלימודים (2002)
במקצוע מכונות חשמל
לחשמלאי מוסמך

הנושא במאגר	קוד השאלות לפי תוכנית	מספר שאלות פתוחות במאגר	מספר שאלות פתוחות במבחן לפי נושאים	הנושא
נושא 2	2.2.20	89	2 (3)	שנאים
נושא 1	2.2.19	181	3 (2)	מכונות לזרם ישר
נושא 3	2.2.21	93	3 (3)	מכונות לזרם חילופין
		363	8	סה"כ

מבנה הקוד :

מספר ראשון משמאל מסמן את סוג המסלול :

1 – חשמלאי מעשי

2 – חשמלאי מוסמך

3 – חשמלאי ראשי

מספר שני מסמן את סוג השאלה :

1 – שאלה סגורה

2 – שאלה פתוחה

מספר שלישי מסמן את מספר הנושא לפי תוכנית הלימודים.

מבחן לדוגמה במכונות חשמל לחשמלאי מוסמך

שנאים

שאלה 1

ההתנגדויות וההיגבים של סלילי שנאי חד-מופעי 3/0.25 קילו-וולט, שהספקו הנקוב 39 קילו-וולט-אמפר הם אלה:

$$R_1 = 1.8\Omega ; X_1 = 6.6\Omega ; R_2 = 12.5m\Omega ; X_2 = 45m\Omega$$

השנאי הועמס בעומס יתר של 5% מעל להספק הנקוב, בצרכן השראתי עם מקדם הספק 0.88. חשב את:

- א. המתח בין הדקי הצרכן.
- ב. הזרם בצרכן.
- ג. ההספק הפעיל של הצרכן.

שאלה 2

בשנאי 20KVA, 6.3KV/400V, 50Hz, מתח הקצר הוא 5.4%, הפסדי ניסוי קצר הם 450W. חשב את:

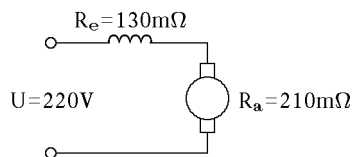
- א. המתח במשני ב-60% עומס בגורם הספק 0.85 (L).
- ב. המתח במשני ב-42% עומס בגורם הספק 0.68 (L).

מכונות לזרם ישר

שאלה 3

מנוע מקבילי מסתובב במהירות של 1500 סל"ד. המנוע מחובר ל-220V וצורך 15A. התנגדות הרוטור היא 0.8Ω , והתנגדות הסטטור היא 80Ω . חשב את מהירות הסיבוב כאשר המנוע צורך 12A (הנח שהשטף אינו משתנה).

שאלה 4



מנוע לז"י עם עירור טורי פועל במתח של 220 וולט. המומנט הסיבובי המועבר על-ידי הגל בעומס נקוב הוא 70 ניוטון-מטר, במהירות 1500 סל"ד. התנגדות העוגן היא 120 מיליאוהם והתנגדות העירור הטורי 130 מיליאוהם. המנוע עובד בנצילות של 88%.

בעומס מופחת הועבר בגל הספק של 13.4 כוחות סוס ונצילות המנוע היתה 82%. את אופיין המגנוט יש לראות כליניארי. את מפל-המתח במברשות אפשר להזניח. חשב את:

- א. הזרם הנצרך מהרשת בעומס נקוב.
- ב. איבודי ההספק בנחושת ואת סכום איבודי ההספק המכניים (חיכוך ואיורור) ובברזל, בעומס נקוב.
- ג. איבודי ההספק בנחושת ואת סכום איבודי ההספק המכניים ובברזל, בעומס מופחת.
- ד. המהירות הסיבובית בעומס מופחת.

שאלה 5

למחולל בעירור מקבילי נתונים כדלקמן:
 הספק נומינלי 55 קילוואט; מתח נומינלי 230 וולט; מהירות נומינלית 940 סל"ד; שטף לזוג קטבים $12 \cdot 10^{-3}$ וובר; מספר המסלולים המקבילים 2; מספר המוליכים 640; מספר הקטבים 4; זרם עירור 3.7 אמפר.
 חשב את:

- א. זרם המחולל בעומס נומינלי
- ב. הזרם ברוטור
- ג. הכא"מ המושרה במוליכי הרוטור
- ד. התנגדות מוליכי הרוטור
- ה. התנגדות סליל העירור.

מכונות לזרם חילופין**שאלה 6**

למנוע השראתי תלת-מופעי 4 קטבים. המנוע פועל ברשת שתדירותה 60 הרץ.
 התנגדות הרוטור היא 0.062 אוהם למופע. המהירות המתאימה למומנט מקסימלי היא 1530 סל"ד.
 חשב את:

- א. ההיגב ההשראתי של הרוטור (למופע).
- ב. התנגדות הנגד החיצוני שיש לחבר בטרור עם סליל אחד של הרוטור כדי לקבל מומנט מקסימלי בעת ההתנעה.

שאלה 7

מנוע השראה תלת-מופעי המחובר במשולש, פועל במתח של 400V/50Hz. הספקו 5HP, נצילותו 68% והוא מסתובב במהירות 735 סל"ד. גורם ההספק 0.76.
 חשב את:

- א. הזרם שצורך המנוע (הזרם בקו המנוע)
- ב. הזרם בסלילי הסטטור
- ג. מספר הקטבים בסטטור
- ד. החליקה של המנוע
- ה. הזרם וההספק שצורך המנוע בהיותו מחובר בכוכב לאותו מתח
- ו. תדירות זרם הרוטור.

שאלה 8

ערוך תרשים חיבורים של מנוע השראתי חד-מופעי, הכולל ליפוף ראשי ועזר, מפסק צנטריפוגלי וקבל התנעה והסבר את תפקידם של כל המרכיבים.



מפתח לפתרונות ראו בעמוד הבא.

את הפתרונות למבחן ניתן למצוא לפי הפירוט הזה :

שאלה מספר	פתרונות	מספר השאלה במבחן
23	חלק ב :	1
69	פתרונות לנושא 2	2
42	חלק א :	3
32	פתרונות לנושא 1	4
150		5
50	חלק ב :	6
68	פתרונות לנושא 3	7
91		8

נספח: תוכניות בחינה לרמת רישוי חשמלאי מוסמך

המקצוע: תורת החשמל והרשת

1. מטענים, כוחות ושדות חשמליים
2. הפוטנציאל והמתח החשמלי
3. הזרם החשמלי
4. התנגדות ומוליכות תלות בטמפרטורה
5. המעגל החשמלי
6. חוק אוהם
7. חוקי כירכהוף
8. מעגלים טוריים מקביליים ומעורבים
9. הספק חשמלי
10. מדידות חשמליות והשפעתן על הגדלים הנמדדים
11. כא"מ ומקורות מתח
12. שיטות לפתרון מעגלים כגון: העתקה כוכב למשולש וכו'
13. אלקטרוסטטיקה וקיבול
14. מטענים בתנועה, כוחות ושדות מגנטיים
15. היווצרות שדות מגנטיים על ידי זרמים בעלי מסלולים שונים
16. התכונות המגנטיות של החומר
17. כא"מ מושרה
18. השראות הדדית, השראות עצמית ומשרנים
19. מעגלים מגנטיים
20. זרמים ומתחים במעגל RL טורי ומקבילי
21. מעגלי זרם חילופין
22. הספקים במעגלי זרם חילופין
23. מחולל ועומס תלת-מופעיים
24. תיקון גורם ההספק

המקצוע: מכונות חשמל

מכונות לזרם ישר

1. השראת כא"מ – עקרון הפעולה של מחולל לזרם ישר
2. מבנה מכונה לזרם ישר
3. ליפוף הרוטור
4. ליפוף עניבה פשוט
5. ליפוף גלי פשוט
6. חישוב כא"מ מושרה בתלות שיטת הליפוף
7. תגובת העוגן וליפופי קיזוז
8. קומוטציה במכונות לזרם ישר
9. קוטבי ביניים (מפנה)
10. מחוללים (גנרטורים) לזרם ישר
11. מחוללים בעירור נפרד – עירור זר

12. מחוללים בעירור מקבילי
13. מחוללים בעירור טורי
14. מחוללים בעירור מעורב
15. עבודה במקביל של מחוללים לזרם ישר
16. דיאגרמה אנרגטית של מחוללים לזרם ישר
17. מנועים לזרם ישר
18. מיון מנועים לזרם ישר לפי שיטת העירור
19. התנעת מנוע לזרם ישר
20. מנוע בעירור מקבילי
21. מנוע בעירור טורי
22. מנוע בעירור מעורב
23. ויסות המהירות של מנועים לזרם ישר
24. הפסדים ונצילות של מכונות לזרם ישר

שנאים

1. מבנה ועקרון פעולה
2. השנאי בריקם
3. תרשים שווה ערך ודיאגרמת המחוגים של השנאי בריקם
4. זרם מגנוט של השנאי זרם ריקם
5. נתונים נקובים של שנאים
6. השנאי בעומס
7. השנאי בקצר
8. שינוי המתח של השנאי
9. הפסדים ונצילות של שנאי
10. ניסוי ריקם וניסוי בקצר של השנאי
11. שנאים תלת-מופעיים
12. קבוצות חיבורים
13. פעולת שנאים בחיבור מקבילי
14. שנאי עצמי אוטו-טרנספורמטור

מכונות לזרם חילופין

1. מכונת השראה (מכונה אסינכרונית) תלת-מופעית
2. מבנה מספר סיבובים ותדירות
3. מנוע אסינכרוני בעבודה בריקם ובעומס
4. תרשים תמורה של המכונה האסינכרונית
5. האופייניים המכניים של המנוע
6. בעיות התנעה של מנועים אסינכרוניים
7. מכונת השראה חד-מופעית
8. מנוע טורי אוניברסלי

המקצוע: עבודה מעשית ומעבדה במתקני חשמל (ביצוע במתקן חשמלי עד 3x80A)

1. שיטות חיווט ואינסטלציה חשמלית
2. ניסויים ומדידות חשמל
 - מעגלי איתות וסיגנלזציה
3. הרכבת מעגלי תאורה, כולל נורות פלורסצנטיות
4. הרכבת ציוד ביתי/תעשייתי
5. הרכבת לוחות משנה, כולל מפסקי פחת
6. מעגלי פיקוד למנועים: מערכות פיקוד ובקרה מורכבים
 - הפעלה והפסקה
 - הפיכת כיוון סיבוב
 - התנעות (כוכב משולש, שנאי עצמי וכו')
 - חיבורי מנועים לרשת
 - שינוי מהירות סיבוב במנועים מסוגים שונים
 - פיקוד ובקרה לתהליך תעשייתי בעזרת בקר מתוכנת
7. בחירה, בדיקה והתקנת אמצעי הגנה
8. לוגיקה ואיתור תקלות במתקן חשמלי
9. בטיחות ותקנים ישראליים לחשמל

המקצוע: מתקני חשמל ורשת

1. טכנולוגיה של חומרי חשמל
2. תורת המאור
3. תכנון מתקני מאור
4. צרכני חשמל ביתיים ותעשייתיים
5. הגנות במתקני חשמל ובמעגלי צריכה
6. הארקות במתקני חשמל
7. בטיחות כללית ובטיחות חשמל
8. גורמים לתאונות חשמל ואמצעי הגנה מפני התחשמלות
9. חוק החשמל ותקנים ישראליים לחשמל
10. בעיות שיפור מקדם ההספק
11. חישוב ותכנון רשתות חשמל – רשתות חלוקה
12. תכנון מתקני חשמל לביצוע עד 3x80A