

משרד החינוך  
המינהל למדע ולטכנולוגיה  
הפיקוח על מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים  
ומגמת מערכות בקרה ואנרגיה

## מגמת מערכות בקרה ואנרגיה

תכנית לימודים במקצוע

# המרת אנרגיה והינע א'

סמל מקצוע 33.9102

כיתה י"ג

אדר תשס"ז (פברואר 2007)

מהדורה להערות

תכנית הלימודים במקצוע  
המרת אנרגיה והינע א' – 120 שעות

כיתה י"ג

<u>מס' שעות</u>	<u>ראשי פרקים</u>
24	1. שנאי הספק ומדידה
4	2. מבוא להינע חשמלי
20	3. משוואת התנועה
24	4. מכונה לזרם ישר
4	5. מבוא למכונות חשמל סובבות רב-מופעיות
20	6. מכונות השראה תלת-מופעיות
4	7. מכונות השראה חד-מופעיות
20	8. התנעת מנועים חשמליים
<hr/> 120	סה"כ

- 1.1 תפקיד השנאי במערכת הספק.
- 1.1.1 שנאי הספק כמתאם בין רמות שונות של מתחי האספקה במערכות הספק בזרם חילופין.
- 1.1.2 מאפיינים כלליים של שנאי הספק (בהתאם ליישום הנדרש).
- 1.1.3 ערכים נקובים של שנאי.
- 1.1.4 מבנה וציוד נלווה של שנאי הספק (מיכל השנאי, מיכל התפשטות, ממסר בוכהולץ, שסתום שחרור לחץ ונשם).
- 1.1.5 מיון שנאים לפי סוג הבידוד ושיטות הקירור.
- 1.2 שנאי חד-מופעי אידיאלי.
- 1.2.1 יחס השנאה של שנאי.
- 1.2.2 חישוב מתחים, זרמים והספקים בשנאי.
- 1.2.3 דיאגרמה פאזורית של המתחים והזרמים בשנאי אידיאלי.
- 1.3 שנאי מעשי חד-מופעי.
- 1.3.1 תיאור וחישוב של מעגל התמורה של שנאי מעשי, עבור מעגלי תמורה מסוג T ו-T.
- 1.3.2 ניסוי ריקם בשנאי – סרטוט דיאגרמת מחוגים של המתחים והזרמים בשנאי.
- 1.3.3 ניסוי בקצר בשנאי – סרטוט דיאגרמת מחוגים של המתחים והזרמים.
- 1.3.4 שנאי בעומס – חישוב המתח השניוני של שנאי בעומסים שונים.
- 1.4 שנאי תלת-מופעי.
- 1.4.1 תיאור של שנאי תלת-מופעי כשלושה שנאים חד-מופעיים מחוברים יחדיו.
- 1.4.2 שיטות חיבור של סלילי שנאי תלת-מופעי. חיבור משולש, חיבור כוכב וחיבור "זיג-זג".
- 1.4.3 כלל השעון לקבוצות חיבורים נפוצות בשנאי תלת-מופעי.
- 1.4.4 חישוב המתח השניוני של שנאי תלת-מופעי בעבודה בריקם עבור קבוצות חיבורים שונות.
- 1.4.5 חישוב המתח השניוני של שנאי תלת-מופעי בעומסים שונים (התנגדות, השראותי וקבולי). חישוב המתח הראשוני הדרוש לקבלת מתח שניוני נקוב בעומסים שונים. בניית דיאגרמת המתחים של שנאי בעומס.
- 1.4.6 חישוב נצילות של שנאי, חישוב הנצילות המרבית בשנאי.
- 1.4.7 חישוב של פרמטרי קצר וריקם מתוך ניסוי קצר וריקם. שיקוף עכבות.
- 1.4.8 חיבור שנאים במקביל- תנאים הכרחיים ומומלצים. חלוקת העומסים בין השנאים המחוברים במקביל.

- 1.5 שנאי מדידה.
- 1.5.1 מפרט טכני של שנאי זרם להגנה ולמדידה. יחס זרמים. גבולות, שגיאות יחס וזווית בעומס מלא וחלקי. העומס המרבי המותר לשנאי זרם להגנה ולשנאי זרם למדידה לצורך שמירה על גבול הדיוק.
- 1.5.2 מפרט טכני של שנאי מתח. יחס מתחים. גבולות, שגיאות, יחס וזווית בעומס מלא וחלקי, העומס המרבי המותר לשמירה על גבול הדיוק.
- 1.6 שנאי עצמי.
- 1.6.1 תרשים חיבורים ועיקרון הפעולה של שנאי עצמי.
- 1.6.2 תחום השימוש של שנאי עצמי, פירוט היתרונות והחסרונות של שנאי עצמי בהשוואה לשנאי הספק רגיל.
- 1.7 שנאי עצמי תלת מופעי בחיבור V – סקירה.

## 2. מבוא להינע חשמלי 4 ש'

- 2.1 מבנה עקרוני של מערכת הנע חשמלי: מכונה חשמלית הפועלת כמנוע/בלם. מנגנון מכני. מערכת לבקרת תנועה.
- 2.2 אופייניים מיכניים – תלות מהירות הסיבוב במומנט של מנועים חשמליים ומנגנונים מיכניים אחרים. הסבר מושג קשיחות האופיין. חשיבות קשיחות האופיין להתאמת המנוע למערכת הבקרה.
- 2.3 מציאת נקודת העבודה משותפת, באמצעות האופינים המיכניים, למנוע החשמלי ולמנגנון המיכני. יציבות סטטית של נקודת העבודה בעת שינויי עומס קטנים.

## 3. משוואת התנועה 20 ש'

- 3.1 חישוב העברת כוחות לציר המנוע בתנועה קווית.
- 3.2 חישוב העברת מומנטים לציר המנוע בתנועה סיבובית.
- 3.3 חישוב העברת מסות התמד לציר המנוע בתנועה קווית.
- 3.4 חישוב העברת מסות התמד לציר המנוע בתנועה סיבובית.
- 3.5 חישוב זמני ההתנעה, עצירה ובלימה עבור מומנט דינאמי קבוע.

## 4. מכונה לזרם ישר 24 ש'

- 4.1 מבנה ועיקרון הפעולה של מכונה לזרם ישר.
- 4.1.1 מבנה עקרוני.
- 4.1.2 ליפוף העוגן.
- 4.1.3 חישוב הכא"מ.
- 4.1.4 משוואת המתחים עבור מחולל ומנוע.

- 4.1.5 תגובת העוגן.
- 4.1.6 תהליך הקומוטציה.
- 4.2 מאזן הספקים במכונה.
- 4.2.1 סוגי ההפסדים במכונה: הפסדים קבועים והפסדים משתנים.
- 4.2.2 נצילות ונצילות מרבית של מכונה לזרם ישר. חישובים.
- 4.3 שיטות חיבור של סלילי העירור:
- 4.3.1 עירור נפרד (זר), עירור במקביל לעוגן (מקבילי), עירור בטור לעוגן (טורי) ועירור מעורב, קצר, או ארוך, מתווסף (מסייע) או מחסר (מתנגד).
- 4.4 מחולל לזרם ישר:
- 4.4.1 מומנט נגדי.
- 4.4.2 תיאור אופיין הריקים -  $E=f(I_e)$  במהירות רוטור קבועה במחולל בעל עירור נפרד ובעל עירור מקבילי. חישוב גודל ההתנגדות הכוללת במעגל העירור במחולל לקבלת מתח מוצא דרוש, במהירויות רוטור שונות. מושג ההתנגדות הקריטית במהירויות רוטור שונות.
- 4.4.3 תיאור אופייני ההעמסה -  $U=f(I)$  במחולל בעל: עירור נפרד, עירור מקבילי, עירור טורי ועירור מעורב, עבור זרם עירור מקבילי ומהירות סיבוב רוטור קבועים, או עבור התנגדות סלילי עירור מקבילי ומהירות סיבוב רוטור קבועים.
- 4.4.4 תיאור תהליך העירור העצמי במחולל הפועל בעירור מקבילי, או בעירור טורי.
- 4.4.5 חישוב תלות מתח מוצא המחולל בתנאי עירור (נפרד, מקבילי, טורי ומעורב) והעמסה שונים.
- 4.4.6 חישוב נקודת העבודה המכאנית ונקודת העבודה החשמלית של מחולל בתנאי עירור (נפרד, מקבילי, טורי ומעורב) והעמסה שונים.
- 4.4.7 חישוב נצילות במחולל.
- 4.5 מנוע לזרם ישר.
- 4.5.1 כא"מ נגדי.
- 4.5.2 תיאור האופייניים  $n=f(M)$  ו- $n=f(I_a)$  בתנאי עירור (נפרד, מקבילי, טורי ומעורב) והעמסה שונים. הסבר המושג "סיבובי ריקם אידיאלי" עבור מתחי עוגן (במנוע עם אספקת מתח נפרדת לעוגן) וזרמי עירור שונים.
- 4.5.3 חישובי מהירויות, מומנטים והספקים במנוע.
- 4.5.4 חישוב של תגובת מנוע לשינויים בעומס וגבולות העמסת המנוע..
- 4.5.5 חישוב נקודת העבודה המכאנית ונקודת העבודה החשמלית של מנוע בתנאי העמסה שונים.
- 4.5.6 חישוב נצילות מנוע בתנאי עירור שונים.

- 5. מבוא למכונות חשמל סובבות רב - מופעיות** **4 ש'**
- 5.1 שדה מגנטי מסתובב.
- 5.1.1 תאור השדה המגנטי השקול המתקבל במערכת של שלושה סלילים מוזזים במרחב ובזמן.
- 5.1.2 חישוב המהירות של שדה מגנטי סובב בתלות בתדירות המתח המסופק ובמספר זוגות הקטבים המגנטיים בסטטור. מנוע מסוג דלנדר.
- 5.2 מבנה הליפוף במכונות תלת-מופעיות (סקירה קצרה).
- 5.2.1 מבנה מעשי של מכונה תלת-מופעית המאפשר יצירת שדה מגנטי סובב.
- 5.2.2 שיטות ליפוף הסלילים והחיבור בין הסלילים: ליפוף גלי, ליפוף עניבה.
- 5.2.3 כא"מ של כריכה בודדת, סליל וקבוצת סלילים (ליפוף). מקדם הליפוף.
- 5.3 עיקרון הפעולה של מכונות חשמל סובבות רב-מופעיות. מנוע תגובה, מנוע סינכרוני עם רוטור בעל מגנט קבוע, או עם לפוף דרכו זורם זרם ישר. מנוע אסינכרוני.
- 6. מכונות השראה תלת מופעיות** **20 ש'**
- 6.1 תיאור המבנה העקרוני של רוטור במנוע השראה תלת-מופעית: רוטור כלוב, רוטור כלוב כפול ורוטור מלופף.
- 6.2 תיאור מאזן ההספקים במכונה: הפסדי הספק מכאניים וחשמליים.
- 6.3 הגדרת נצילות המנוע.
- 6.4 נתונים נקובים של מנוע השראה תלת-מופעית.
- 6.5 תיאור מעגל התמורה של מכונת השראה מעשית. חישוב מעגלי תמורה מסוג T ו-T.
- 6.6 אופיין מכני של מנוע השראה:
- 6.6.1 תלות המומנט המיכני במהירות המנוע – נוסחת קלוס.
- 6.6.2 תגובת המנוע לשינויי עומס בתחום בו המנוע יציב ובתחום בו המנוע לא-יציב.
- 6.6.3 תיאור התנהגות האופיין המכאני של המנוע (כולל חישובים) בתלות ב: שני מתח ההזנה, הוספת נגד במעגל הרוטור במנוע בעל רוטור מלופף, שינוי תדירות מתח ההזנה.
- 6.7 מדידת הפרמטרים של מנוע השראה:
- 6.7.1 ניסוי ריקם, אפיון מנוע בריקם.
- 6.7.2 ניסוי-קצר (רוטור בלום), אפיון מנוע בקצר.
- 6.8 משטרי עבודה של מכונת השראה תלת מופעית:
- 6.8.1 תאור עבודת מכונת השראה תלת מופעית כמחולל אסינכרוני עצמאי או על רשת קשיחה.
- 6.8.2 תאור עבודת מכונת השראה תלת מופעית כבלם אלקטרומגנטי.
- 6.8.3 תאור עבודת מכונת השראה תלת מופעית כמצמד החלקה אסינכרוני.

**7. מכונות השראה חד מופעיות 4 ש' ש'**

7.1 מבנה ועיקרון הפעולה של מנוע חד-מופע.

7.2 שיטות התנעת של מנוע חד-מופע ושיטות להפיכת כיוון הסיבוב.

**8. התנעת מנועים חשמליים 20 ש' ש'**

8.1 התנעת מנועים לזרם ישר.

8.1.1 חישוב מתנע להתנעת מנוע לזרם ישר בעירור נפרד – מקבילי. תיאור האופייניים.

8.1.2 חישוב מתנע להתנעת מנוע לזרם ישר בעירור מעורב. תיאור האופייניים.

8.1.3 חישוב מתנע להתנעת לזרם ישר בעירור טורי. תיאור האופייניים.

8.1.4 התנעת מנועים לזרם ישר (התנעה רכה) באמצעות מערכות המבוססות על מעגלים

אלקטרוניים (אלקטרוניקת הספק) התנעה תוך בקרה של עוצמת זרם ההתנעה. תיאור האופייניים.

8.1.5 תיאור היתרונות והחסרונות של שיטות ההתנעה השונות.

8.2 התנעת מנועי השראה תלת מופעיים.

8.2.1 תיאור של עקרון הפעולה וסרטוט של המעגל החשמלי הדרוש להתנעת מנוע

השראה תלת-מופע על-ידי חיבורו ישירות למתח (התנעה קשה).

8.2.2 תיאור של עקרון הפעולה וסרטוט של המעגל החשמלי הדרוש להתנעת מנוע

השראה תלת-מופע באמצעות הוספת נגדים לסטטור.

8.2.3 תיאור של עקרון הפעולה וסרטוט של המעגל החשמלי הדרוש להתנעת מנוע

השראה תלת-מופע באמצעות שנאי עצמי.

8.2.4 תיאור של עקרון הפעולה וסרטוט של המעגל החשמלי הדרוש להתנעת מנוע

השראה תלת-מופע באמצעות חיבור כוכב-משולש.

8.2.5 תיאור, חישוב וסרטוט של המעגל החשמלי של מתנע להתנעת מנוע השראה

תלת-מופע עם רוטור מלופף באמצעות הוספת נגדים במעגל הרוטור.

תיאור של האופייניים השונים.

8.2.6 תיאור של מתנע "רך" למנועי השראה המבוסס על מעגלים אלקטרוניים

(אלקטרוניקת הספק – ממיר תדר).

8.2.7 תיאור של היתרונות ושל החסרונות של שיטות ההתנעה השונות.

תיאור של תחומי היישום של השיטות השונות.

## ספרות מומלצת

1. אוסטר ב., יסודות ההנע החשמלי, הוצאת אורט ישראל, תל-אביב, מהדורה שלישית, 1989.
2. ד"ר אלכסנדרוביץ' א., הנע חשמלי, הוצאה לאור לסטודנטים בטכניון (מכלול), 1972.
3. ד"ר אלמקיס ד., המרת אנרגיה, הוצאת המרכז לטכנולוגיה חינוכית (מטח), 1989.
4. קוסטנקו מ.ו-פיוטרובסקי ל., מכונות חשמל א' ו-ב', אורט ישראל, 1975.
5. Kosow I. L., Electric Machinery and Transformers, Prentice Hall, 2nd edition, 1991
6. Ryff F.P., Electric Machinery, Second Edition, Prentice Hall, 1994
7. Say M.G., the Performance and Design of Alternating Current Machines, Pitman & Sons, 1961
8. Wildi T, Electrical Machines, Drives And Power Systems, International Edition, Sixth Edition, Prentice Hall. 2006
9. Skvarenina L. T. & William D. E., Electrical Power And Controls, Second Edition, Prentice Hall. 2004
10. Hubert I. C., Electric Machines – Theory, Operation, Applications, Adjustment And Control, Second Edition, Prentice Hall. 2002