

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

מגמת הנדסת חשמל בקרה ואנרגיה

תכנית לימודים במקצוע

אלקטרוניקה של מערכות הספק

סמל מקצוע 33.9113

כיתה י"ד

תכנית הלימודים במקצוע

אלקטרוניקה של מערכות הספק – 96 שעות

כיתה י"ד

מספר השעות	ראשי פרקים
8	1. מבוא לעיבוד ובקרת הספק
6	2. מאפיינים חשמליים של אותות מחזוריים
14	3. רכיבים אופייניים המותקנים במערכות לבקרת הספק
12	4. ממירים מסוג AC/DC – (מיישרים)
16	5. בקרת הספק במעגלי ז"ח
8	6. בקרת הספק במעגלי ז"י
12	7. ממירים ממותגים – (DC/DC Converters)
6	8. ממירי תדר
10	9. ממירים מסוג DC/AC – מהפכים (Inverters)
6	10. בעיות אופייניות למעגלי אלקטרוניקת הספק
96	סה"כ

8 שעות

1. מבוא לעיבוד ובקרת הספק

- 1.1 עקרונות של מערכת לעיבוד הספק
- 1.2 מבנה אופייני של מערכת לבקרת הספק – ערוץ הספק וערוץ בקרה.
- 1.3 תיאור של גישות שונות לתהליכי בקרת הספק:
 - 1.3.1 בקרת מופע
 - 1.3.2 מיתוג בנקודת האפס (ZVS), (ZVC)
 - 1.3.3 בקרת מעטפת
 - 1.3.4 אפנון רוחה הדופק (PWM)
- 1.4 מאפיינים של מערכת לעיבוד הספק: מתח מבוא, מתח מוצא, הספק, נצילות, פיזור חום וממדים פיזיים (נפח, משקל, ממדים).

6 שעות

2. מאפיינים חשמליים של אותות מחזוריים

- 2.1 תיאור של המאפיינים של אותות מתח או זרם מחזוריים מסוג גל סינוס וגל מרובע המחוברים לעומס התנגדוטי טהור.
- 2.2 תיאור מתמטי וסרטוט של צורות הגלים המחזוריים סינוס וגל מרובע של מתח כתלות בזמן $v(t)$, זרם כתלות בזמן $i(t)$, הספק כתלות בזמן $p(t)$.
- 2.3 חישוב של הערך הממוצע של: מתח, זרם והספק.
- 2.4 חישוב של הערך היעיל של מתח וזרם

14 שעות

3. רכיבים אופייניים המותקנים במערכות לבקרת הספק

- תיאור של מבנה עקרוני, עקרון הפעולה ואופיין זרם-מתח עבור ההתקנים הבאים:
- 3.1 דיודת הספק.
 - 3.2 טרנזיסטור הספק דו-נושאי BJT.
 - 3.3 טרנזיסטור הספק תוצא-שדה עם שער מבודד – Power MOSFET.
 - 3.4 טריסטורים (TRIACK, SCR).
 - 3.5 טרנזיסטור דו-נושאי עם שער מבודד – IGBT.
 - 3.6 GTO.
 - 3.7 MCT.

12 שעות

4. ממירים מסוג AC/DC – (מיישרים)

- 4.1 מיישר חד-מופעי לא מבוקר חד-דרכי ודו-דרכי (גשר דיודות, ושנאי עם סנף אמצעי המחובר לשתי דיודות). המיישרים מחוברים לאות מבוא סינוסי ולעומס התנגדתי במוצא. חישוב של הערך הממוצע ושל הערך היעיל של הזרם, או המתח, במוצא המיישר חישוב של FF , R_F , PIV . סרטוט של צורות הגלים במבוא ובמוצא המיישר.
- 4.2 מיישר תלת-מופעי לא מבוקרים חד-דרכי ודו-דרכי. עבור כל אחד מן המעגלים: חישוב של הערך הממוצע והערך היעיל של הזרם, או המתח, במוצא המיישר. סרטוט של צורות גלים המתקבלות במבוא ובמוצא המיישר.
- 4.3 יישומים אופייניים של מיישרים, כגון: ספק ומטען, ציפוי גלווני ומהפכים – (Inverters).

16 שעות

5. בקרת הספק במעגלי ז"ח

בקרת הספק עבור אות מבוא סינוסי ועומס התנגדתי טהור.

- 5.1 בקרת הספק במעגל חד-מופעי עבור יישור חצי גל, גל שלם מיושר וגל שלם לא מיושר.
- 5.1.1 סרטוט של מעגלים אופייניים עבור כל אחת מצורות הגלים. סרטוט של צורות הגלים במבוא ובמוצא המעגלים.
- 5.1.2 הכרת זווית ההולכה וזווית ההצתה בכל אחד מהמעגלים. חישוב של הערך הממוצע ושל הערך היעיל של הזרם, או המתח במוצא מעגלי הבקרה כתלות בזווית ההצתה. חישוב של ההספק המתפתח בעומס כתלות בזווית ההצתה.
- 5.1.3 קביעת זווית ההצתה הרצויה באמצעות פתרון גרפואניליטי
- 5.2 בקרת הספק במעגל תלת-מופעי עם גל מיושר
- 5.2.1 סרטוט של מעגל אופייני ושל צורות הגלים במבוא ובמוצא המעגל
- 5.2.2 חישוב של הערך הממוצע והערך היעיל של המתח, או הזרם במוצא כתלות בזווית ההצתה.
- 5.2.3 חישוב של ההספק הממוצע כתלות בזווית ההצתה.
- 5.3 תיאור של יישומים אופייניים למעגלי הבקרה השונים: בקרת מהירות של מנוע אוניברסלי, בקרת תאורה ובקרת טמפרטורה.

8 שעות

6. בקרת הספק במעגלי ז"ח

בקרת הספק עבור אות מבוא סינוסי ועומס התנגדתי טהור.

- 6.1 בקרת הספק בשיטת אפנון רוחב הדופק (PWM). במבוא למעגל מחובר מתח ישר. סרטוט של מעגל אופייני (מעגל הבקרה יתואר כמלבן). סרטוט של צורות הגלים המתקבלות בעומס.
- 6.2 חישוב של הערך הממוצע והערך היעיל של הזרם, או המתח במוצא המערכת כתלות במחזור הפעולה (Duty Cycle).
- 6.3 חישוב של ההספק הממוצע בעומס כתלות במחזור הפעולה (Duty Cycle).
- 6.4 תיאור של יישומים אופייניים, לדוגמה: בקרת מהירות של מנועים לז"ח, בקרת תאורה ובקרת טמפרטורה.

7. ממירים ממותגים – (DC/DC Converters) 12 שעות

- 7.1 ממירים מסוג STEP-DOWN (BUCK), תיאור של עקרון הפעולה של מעגל אופייני. סרטוט של צורות הגלים המתקבלות על הסליל, על הדיודה, על הקבל ובמוצא הממיר כתלות באפנון. חישוב של: I_{IN} , I_O , D , V_{OUT} .
- 7.2 ממיר מסוג STEP-UP (BOOST), תיאור של עקרון הפעולה של מעגל אופייני. סרטוט של צורות הגלים המתקבלות על הסליל, על הדיודה, על הקבל ובמוצא הממיר כתלות באפנון. חישוב של: I_{IN} , I_O , D , V_{OUT} .
- 7.3 ממיר מסוג FLYBACK – תיאור של עקרון הפעולה של מעגל אופייני. סרטוט של צורות הגלים V_p , V_s , V_{OUT} .
- 7.4 יישומים אופייניים של ממירים ממותגים: ספק כוח, UPS.

8. ממירי תדר 6 שעות

- תיאור של עקרון הבקרה בשיטת הפעל-הפסק-ON-OFF.
- 8.1 ממיר תדר חד-מופעי הפועל בהמרה ישירה (CYCLOCONVERTER (AC/AC). תיאור מפורט של מעגל ההספק ותיאור, כדיאגרמת מלבנים, של מעגל הבקרה. סרטוט של צורות הגלים במבוא ובמוצא המעגל.
- 8.2 תיאור, כדיאגרמת מלבנים, של ממיר תדר חד-מופעי הפועל בהמרה עקיפה (AC/DC+DC/AC).

9. ממירים מסוג DC/AC – מהפכים (Inverters) 10 שעות

- 9.1 ממירים ממתח ישר למתח חילופין חד-מופעי המבוססים על מעגל חצי גשר ועל מעגל גשר מלא – סרטוט של מעגלים אופייניים. סרטוט של צורות הגלים המתקבלות במבוא ומוצא המעגל. חישוב הערך היעיל של מתח המוצא.
- 9.2 ממיר ממתח ישר למתח חילופין תלת-מופעי – סרטוט של מעגל אופייני ליצירת מתח סינוסי באמצעות קרוב של גלים מלבניים. סרטוט של צורות הגלים המתקבלות במבוא ובמוצא המעגל.

10. בעיות אופייניות למעגלי אלקטרוניקת הספק 6 שעות

- 10.1 בעיות קיצון בתריסטורים: הדלקה לא מבוקרת עקב שינויי מתח מהירים $\left(\frac{dV}{dt}\right)$ ובעיית חימום נקודתי עקב שינויי זרם מהירים $\left(\frac{di}{dt}\right)$. פתרונות עקרוניים לצמצום השפעת תנאי הקיצון.
- 10.2 כיבוי של תריסטורים בזרם ישר וחילופין: תיאור עקרוני של קומוטציה טבעית וקומוטציה מאולצת.
- 10.3 פיזור חום במעגלי הספק- מקורות החום במעגלים ושיטות לקירור: עקרונות של קירור טבעי וקירור מאולץ.

ספרות מומלצת

1. M. H. Rashid, ***Power Electronics Circuits, Devices and Applications***, Prentice Hall. Inc, 1994.
2. D.W. Hart, ***Introduction to Power Electronics***, Prentice Hall. Inc, 1997.
3. Robert W. Erikson, ***Fundamentals of Power Electronics***, New York, Chapman and Hall, 1997.