

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

---

מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים  
התמחות מערכות אלקטרוניות

תכנית הלימודים במקצוע

# מערכות בקרה

סמל מקצוע 11.9113

כיתה י"ד

כסלו תשס"ז (דצמבר 2006)

## תכנית הלימודים במקצוע

### מערכות בקרה להתמחות מערכות אלקטרוניות – 132 שעות

#### כיתה י"ד

<u>מספר שעות</u>	<u>ראשי פרקים</u>
10	1. מבוא
28	2. שימוש בהתמרת לפלס לפתרון משוואות דיפרנציאליות
20	3. מציאת פונקצית התמסורת של מערכות בקרה
20	4. תגובה של מערכות מסדר ראשון ומערכות מסדר שני כתלות בזמן
8	5. בדיקת היציבות של מערכות בקרה
24	6. המיקום הגיאומטרי של השורשים (מ.ג.ש)
22	7. ניתוח תגובת התדר של מערכות בקרה באמצעות דיאגרמות בודה
132	סך-הכול

- 1. מבוא** **10 שעות**
- 1.1 דוגמאות למערכות בקרה (אוטומציה).
  - 1.2 תרשים מלבנים של מערכת בקרה הכוללת מתמר, משוב, בקר, מפעיל, תהליך.
  - 1.3 דוגמאות למערכות בקרה הפועלות בחוג סגור: בקרת מצב ובקרת מהירות של מנוע לזרם ישר, בקרת תנועה של נתיב נסיעה לכלי רכב הכוללת מספר רמזורים וחיישנים.
  - 1.4 הכרת המבנה והבנת עקרון הפעולה של: מנוע לזרם ישר, מנוע לזרם חילופין ומנוע צעד.
  - 1.5 הכרת המבנה והבנת עקרון הפעולה של טכומטר מגנטי וטכומטר אופטי, אנקודר אופטי.
- 2. שימוש בהתמרת לפלס לפתרון משוואות דיפרנציאליות** **28 שעות**
- 2.1 דוגמאות לייצוג מערכות בקרה ומערכות חשמליות באמצעות משוואות דיפרנציאליות מסדר ראשון ומסדר שני. לדוגמה: משוואה דיפרנציאלית לייצוג מעגלי RC, מעגלי RL ומעגלי RCL. משוואה דיפרנציאלית מסדר ראשון לתהליך חימום, משוואה דיפרנציאלית מסדר שני למערכת מכנית הכוללת מסה, קפיץ ומרסן.
  - 2.2 פתרון משוואות דיפרנציאליות מסדר ראשון ומסדר שני בשיטה הקלסית.
  - 2.3 התמרת לפלס לפתרון משוואות דיפרנציאליות ויתרונה על-פני השיטה הקלסית.
  - 2.4 משפטי התמרת לפלס, הצגה של התמרת לפלס לביטויים נפוצים, הצגת טבלה של התמרת לפלס.
  - 2.5 מציאת ההתמרה ההפוכה לביטויים מורכבים באמצעות פירוק לגורמים.
- 3. מציאת פונקצית התמסורת של מערכות בקרה** **20 שעות**
- 3.1 מציאת פונקצית התמסורת של מערכת לבקרת מצב הפועלת בחוג סגור ומורכבת ממנוע לזרם ישר (שדה קבוע) ופוטנציומטר כמתמר זווית.
  - 3.2 מציאת פונקצית התמסורת של מערכת לבקרת מהירות המורכבת ממנוע לזרם ישר וטכומטר.
  - 3.3 אלגברה של דיאגרמת המלבנים, מציאת פונקצית התמסורת, חישוב השגיאה.
  - 3.4 פישוט של דיאגרמת מלבנים על-ידי "הזזת" נקודות או על-ידי "הזזת" נקודות סיכום.

- 4. תגובה של מערכות מסדר ראשון ומסדר שני לאותות שונים כתלות בזמן 20 שעות**
- 4.1 חישוב של השגיאה במצב המתמיד במערכת מסדר ראשון ובמערכת מסדר שני בעבור מבואות מסוג ה'לם', מדרגה, שיפוע ופרבולה.
- 4.2 חישוב של תגובה בזמן של מערכות מסדר ראשון בעבור מבואות מסוג ה'לם', מדרגה, שיפוע ופרבולה, חישוב התגובה בזמן של מערכות מסדר שני (עם מקדמי ריסון שונים) בעבור מבואות מסוג ה'לם', מדרגה, שיפוע ופרבולה.
- 5. בדיקת היציבות של מערכות בקרה 8 שעות**
- 5.1 הגדרת המושג "יציבות של מערכת בקרה".
- 5.2 חקירת המשוואה האופיינית של מערכת בקרה והצגת קריטריון ראוט (Rout) לבדיקת יציבות של מערכת בקרה.
- 6. המיקום הגיאומטרי של השורשים (מ.ג.ש) 24 שעות**
- 6.1 מיפוי של אפסים וקטבים במישור המורכב.
- 6.2 מציאת הקטבים והאפסים של תמסורת החוג הפתוח.
- 6.3 חישוב האסימפטוטות: מרכזן וזוויותיהן.
- 6.4 חישוב של זוויות העזיבה מקוטב ושל זוויות ההתכנסות לאפס.
- 6.5 חישוב של נקודות החיתוך עם הציר המדומה ועם הציר הממשי.
- 6.6 סרטוט של המיקום הגיאומטרי של השורשים, קביעת מצב היציבות של המערכת ותגובתה לפי הקטבים הדומיננטיים.
- 7. ניתוח תגובת התדר של מערכות בקרה באמצעות דיאגרמות בודה 22 שעות**
- 7.1 תיאור הקשר בין תגובת התדר של מערכת בקרה לתגובה בזמן שלה.
- 7.2 הצגה של הפרש הזווית בין אות המוצא לאות המבוא של מערכת הבקרה כפיגור בזמן.
- 7.3 הצגה של פונקציית התמסורת של מערכת בקרה במישור התדר על-ידי החלפת המשתנה S (של התמרת לפלס) במשתנה המדומה  $j\omega$ .
- 7.4 סרטוט גרף מקורב אסימפטוטית, על-גבי נייר חצי-לוגריתמי, של תלות הערך המוחלט של פונקציית התמסורת בתדר.
- סרטוט גרף מקורב אסימפטוטית, על-גבי נייר חצי-לוגריתמי, של הזווית כתלות בתדר.

7.5 ניתוח היציבות, או אי-היציבות, של מערכת בקרה על-ידי מציאת עודף ההגבר ועודף הזווית באמצעות הגרפים שסורטטו.

7.6 הצגת טבלאות תיקון לגרפים האסימפטוטיים שסורטטו.

## ספרות מומלצת

1. מערכות בקרה ואוטומציה, פרופ' פסן, הוצאת מכלול, הטכניון, חיפה (1990)
2. מערכות משוב ובקרה, סדרת שאום (1957)
3. בקרה לינארית, חלקים א', ב', ג', פרופסור פויאר, הוצאת מטח ובית-הספר של האוניברסיטה הפתוחה (1980)
4. אלקטרוניקה תעשייתית, וילי רוזנבלום, הוצאת אורט (1982)
5. *Linear Control System – Convention and Modern* D'Azzo & Houpis McGraw-Hill (1986)