



משרד החינוך  
המינהל למדע ולטכנולוגיה

# תכנית לימודים

מכטרוניקה      התמחות:

בקרת תהליכים      מקצוע:

י"ד      כיתה:

תשע"א 2011

# בקרת תהליכים

שעות לימוד: הנדסאי 156 שעות  
טרימסטרים: ג\*, ד, ה  
מבחן חיצוני: מערכות מכטרוניות ה (710923)

## א. מבוא

תכנית לימודים זו היא המשך של תכנית הלימודים **המעודכנת** (תאריך כתיבה 2010) לכיתה י"ג. כקודמתה, היא עוסקת באופן שבו אפשר לבקר תהליכים פיזיקליים שונים. המקצוע בקרת תהליכים מציג לסטודנטים בעיות בסיסיות הקשורות לוויסות ולבקרה של תהליכים פיזיקליים המוכרים להם מסביבתם הקרובה, ודרך מובנית לחקירתן ולפתרוןן.

## ב. מטרות

- הכרת מושגי היסוד הקשורים למערכות בקרת תהליכים.
- הבנת העקרונות הבסיסיים שעל פיהם פועלות מערכות לבקרת תהליכים.
- הכרה ויישום של שיטות מתמטיות הנדרשות במערכות בקרת תהליכים.
- הכרה ויישום של שיטות לניתוח ביצועים של מערכות בקרת תהליכים.

## ג. דרכי הוראה

1. מומלץ במידת האפשר להדגים את העקרונות הפיזיקליים במעבדה.
2. יש להמחיש את תגובתן של מערכות בקרה באמצעות גרפים במישור הזמן.
3. תכנית הלימודים נכתבה בפרקי זמן המתאימים לשבוע הוראה אחד לפי מספר שעות ההוראה השבועיות שבתכנית.

## ד. פירוט התכנים (הנושאים)

שעות	נושאי הלימוד (טרימסטר ג*)
	<b>6 תהליך אינטגרטור (20 שעות)</b>
5	6.1 מאפייני אינטגרטור. קבוע האינטגרציה התמרת לפלס של אינטגרטור
5	6.2 מערכת לבקרת <b>מפלס</b> ללא מוצא כאינטגרטור
5	6.3 מערכת לבקרת <b>טמפרטורה ללא זרימה</b> עם בידוד אידאלי כאינטגרטור
5	6.4 ניתוח תגובת אינטגרטור עם בקר יחסי לאילוף בערך רצוי ולאילוף בעומס
	<b>7 בקרים תעשייתיים (40 שעות)</b>
5	7.1 משוואת בקר <b>יחסי</b> במישור הזמן ומישור לפלס
5	7.2 תגובת פיגור מסדר ראשון עם בקר P
5	7.3 משוואת בקר <b>אינטגרלי</b> במישור הזמן ומישור לפלס משוואת בקר PI במישור הזמן ומישור לפלס
5	7.4 תגובת פיגור מסדר ראשון עם בקר PI
5	7.5 משוואת בקר נגזרתי במישור הזמן ומישור לפלס משוואת בקר PD במישור הזמן ומישור לפלס משוואת בקר PID במישור הזמן ומישור לפלס
5	7.6 תגובת פיגור מסדר ראשון עם בקר PID
5	7.7 תגובות בקרים לאילוצי מדרגה בחוג פתוח
5	7.8 תגובות בקרים לאילוצי שיפוע בחוג פתוח

שעות	נושאי הלימוד (טרימסטר ד ו-ה)
	<b>8 מבוא ליציבות מערכות בקרה (24 שעות)</b>
4	8.1 ניתוח תגובת מערכת אינטגרטור המחובר בטור לפיגור מסדר שני עם בקרי PID
4	8.2 תיאור גרפי איכותני (לא כמותי) של תגובת מערכת זר <sup>1</sup> שינוי משתני הבקר והשפעתם על תגובת המערכת
4	8.3 כניסות הים ושיפוע למערכות בקרה. התמרת לפלס של אילוצים אלו

<sup>1</sup> מומלץ להמחיש את תגובת המערכות בזמן בעזרת תוכנת סימולציה.

שעות	נושאי הלימוד (טרימסטר ד ו-ה)
4	8.4 מבוא ליציבות. הגדרת יציבות
4	8.5 משוואה אופיינית של מערכת
4	8.6 מיקום השורשים כתנאי ליציבות
	<b>9 קריטריון ראוט Routh (24 שעות)</b>
4	9.1 עקרונות לשימוש בקריטריון ראוט
4	9.2 עקרונות טבלת ראוט
4	9.3 ניתוח תחומי יציבות של מערכות שונות בעזרת קריטריון ראוט
4	9.4 מציאת הגברים של בקר יחסי שעבורם המערכת יציבה
4	9.5 בדיקת יציבות של מערכות בחוג פתוח בעזרת קריטריון ראוט
4	9.6 שיפור יציבות מערכות בעזרת בקרים
	<b>10 מיקום גיאומטרי של שורשים (48 שעות)</b>
4	10.1 שורשי משוואה חזרה מתמטית
4	10.2 ייצוג המשתנה המדומה
4	10.3 דוגמה לפתרון משוואה עם משתנה מדומה
4	10.4 קטבים ואפסים של משוואה אופיינית
4	10.5 תנאי הגודל
4	10.6 תנאי הזווית
4	10.7 כללים שימושיים בבניית מג"ש <sup>2</sup> : כללים 1, 2 ו-3
4	10.8 כללים שימושיים בבניית מג"ש: כללים 4, 5, 6 ו-7
4	10.9 בניית מג"ש לתהליכים מבוקרים שונים
4	10.10 קביעת ערכם של משתני המערכת בעזרת מג"ש
4	10.11 תרגול וסיכום
4	10.12 תרגול וסיכום
156	<b>סה"כ שעות בכיתה י"ד (טרימסטרים ג*, ד, ה)</b>

<sup>2</sup> מספור הכללים לפי עמודים 125 עד 130 בספר הלימוד המומלץ: "מערכות בקרה דוגמאות ותרגילים", קופייקס מיכאל הוצאת אורט.

## ה. רשימת מושגים ומילות מפתח

1. אינטגרטור
2. בקר תעשייתי PID
3. יציבות מערכות בקרה
4. אילוץ הלם ואילוץ שיפוע
5. משוואה אופיינית
6. מיקום שורשים של משוואה אופיינית.
7. קריטריון ראוט
8. מיקום גאומטרי של שורשים

## ו. ספרות עזר – ביבליוגרפיה

1. קופייקיס מיכאל, **מערכות בקרה דוגמאות ותרגילים**, הוצאת אורט. ספר מומלץ.
2. בהיר זאב, **מבוא לבקרה**, הוצאת "מערכות הספק".
3. בהיר זאב ולוי אבי, **בקרת תהליכים**, הוצאת אורט.
4. פויאר אריה, **בקרה לינארית**, הוצאת האוניברסיטה הפתוחה.