

# מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים

התמחות

## מערכות מחשוב ובקרה

---

תכנית הלימודים במקצוע

מערכות בקרה

סמל מקצוע: 11.201

מערכות בקרה לכיתה י"ב – לימודים עיוניים

מערכות בקרה לכיתה י"ב – לימודים התנסותיים

התוכנית כוללת 120 שעות עיוני ו-60 שעות התנסות בכיתה י"ב.  
חלוקת השעות ללימודי המקצוע **מערכות בקרה** בכיתה י"ב נתונה בטבלה להלן:

סה"כ			כיתה י"ב		שם המקצוע
כללי	ה	ע	ה	ע	
6	2	4	2	4	מערכות בקרה

# תוכנית הלימודים במקצוע

## מערכות בקרה

### לימודים עיוניים (כתה י"ב – 120 שעות)

#### 12 שעות

#### 1. מבוא למערכות בקרה

- 1.1 מושגי יסוד בבקרה: אותות ומערכות, אות רצוי, אות מצוי, מדידה והתמרה, השוואה ושגיאה. בקרה בחוג פתוח ובקרה בחוג סגור - משוב.
- 1.2 דוגמאות למערכות בקרה טכנולוגיות.
- 1.3 המבנה הכללי של מערכות בקרה: הבקר, המפעיל, ההתקן המבוקר ורכיב המדידה.
- 1.4 תאור מערכות באמצעות תרשימי מלבנים.

#### 26 שעות

#### 2. מערכות בקרה במצב מתמיד

- 2.1 מושג ה"תמסורת". תמסורת של רכיב ויחידות התמסורת. רכיבים נפוצים במערכות בקרה ותמסורותיהם.
- 2.2 מושג ה"תמסורת של מערכת". חישוב תמסורת שקולה של מערכת מתוך התמסורות של רכיבי המערכת. השפעת המשוב על חישוב תמסורת של מערכת עם משוב. חישובי אות מוצא של מערכת.
- 2.3 דוגמאות לחישוב התמסורת ואות המוצא של מערכות בקרה במצב מתמיד.
- 2.4 שיטות לפישוט של דיאגרמות מלבנים מורכבות. דוגמאות לשיטות שונות.
- 2.5 מערכות בקרה מרובות מבואות. הפרעות במערכות בקרה. חישובי תמסורת של מערכת עם הפרעה.
- 2.6 שגיאת המערכת במצב המתמיד. דוגמאות.

**3. חיישנים ומתמרים במערכות בקרה**

- 3.1 חיישנים ומתמרים למדידת טמפרטורה
  - 3.1.1 חיישן דו-מתכת
  - 3.1.2 צמד טרמי (נושא רשות)
  - 3.1.3 חיישן חום התנגדותי - טרמיסטור
  - 3.1.4 מעגלי התמרה ושימוש בגשר וויטסטון
- 3.2 חיישני אור ומתמרים אלקטרו-אופטיים
  - 3.2.1 פוטו-דיודה
  - 3.2.2 פוטו-טרנסיסטור
  - 3.2.3 תא פוטו-וולטאי (נושא רשות)
  - 3.2.4 נגד רגיש לאור (LDR, נושא רשות)
  - 3.2.5 דיודה פולטת אור (LED)
  - 3.2.6 דיודת לייזר וסיב אופטי (נושא רשות)
- 3.3 חיישנים ומתמרים למדידת מהירות ומצב
  - 3.3.1 מתמרים פוטנציומטריים
  - 3.3.2 שנאי הפרש (LVDT, נושא רשות)
  - 3.3.3 טכומטר חשמלי
  - 3.3.4 טכומטר מגנטי ספרתי (נושא רשות)
  - 3.3.5 חיישן אפקט HALL (נושא רשות)
  - 3.3.6 מקודד אופטי
- 3.4 חיישנים למדידת כוחות ותאוצות
  - 3.4.1 מד מעוות ושימושיו
  - 3.4.2 מדידת כוחות בשיטת איזון מומנטים (נושא רשות)
  - 3.4.3 מתמרי תאוצה

**4. מפעילים ומעגלי וויסות**

- 4.1 מנועים חשמליים
  - 4.1.1 מנועי זרם ישר (DC): מבנה ועקרון פעולה. מעגלים לבקרת מנועי DC. עקרון פעולה של מנועי AC (נושא רשות)
  - 4.1.2 מנועי צעד: מבנה ועקרון פעולה. מעגלים לבקרת מנועי צעד.
- 4.2 גופי חימום
  - 4.2.1 סוגים של מקורות חום
  - 4.2.2 מעגלים לבקרת כמות החום

## 28 שעות

## 5. התגובה הדינמית של מערכות בקרה

- 5.1 הסבר המושג "תגובה דינמית". מצב מעבר לעומת מצב מתמיד. אילוצים (אותות מבוא) הגורמים לתגובה דינמית. סוגי אילוצים.
- 5.2 סיווג מערכות: מערכות מסדר ראשון (פיגור יחיד בזמן). דוגמאות.
- 5.3 ניתוח מתמטי של תגובת מערכת בחוג פתוח מסדר ראשון (במישור הזמן בלבד).
- 5.4 השפעת המשוב על תגובת מערכת בקרה מסדר ראשון: דוגמה מפורטת.
- 5.5 סיווג מערכות: מערכות מסדר שני. דוגמאות. (נושא רשות)
- 5.6 ניתוח מתמטי של תגובת מערכת בחוג פתוח מסדר שני (במישור הזמן בלבד. נושא רשות).
- 5.7 השפעת המשוב על תגובת מערכת בקרה מסדר שני : ניתוח תגובת מערכת מסדר שני. (נושא רשות)

## 14 שעות

## 6. בקרים ושילובם במערכות בקרה

- 6.1 אפיון בקרה: בקרה דו-מצבית ובקרה רציפה.
- 6.2 מימוש בקרים אנלוגיים באמצעות מעגלים אלקטרוניים המבוססים על מגברי שרת.
- 6.3 תצורות בקרה (דיון איכותי במישור הזמן בלבד):

## תכנית הלימודים במקצוע

### מערכות בקרה

#### לימודים התנסותיים (כיתה י"ב – 60 שעות)

##### כללי

במסגרת הלימודים ההתנסותיים יכול התלמיד לבצע ניסויים ו/או פרויקטים הניסויים בתוכנית זו יערכו עם חומרה ותוכנה. ניתן להשתמש לצורך ביצוע הניסויים בחומרה קיימת או בחומרה שפותחה במיוחד לניסויים המפורטים בהמשך. ציוד המדידה הדרוש (רבי מודד ספרתיים, מחוללי אותות, משקפי תנודות ספרתיים, וכו') הוא סטנדרטי. בתי הספר יוכלו להשתמש בכל צב"ד שהוא ובתנאי שיתאים לביצוע הניסויים. נושאי הפרויקטים המוצעים לבניה מכסים את תכני הניסויים המופיעים בתכנית כך שניתן להחליף ביצוע ניסוי בביצוע פרויקט. ניתן לבצע ניסויים בלבד, וצרוף של ניסויים ופרויקטים כך שילמדו התכנים המוגדרים בתכנית.

##### סביבת העבודה

סביבת העבודה תכלול עמדה לכל צוות ובה ציוד המדידה: רב מודד ספרתי, מחולל אותות, משקף תנודות ספרתי (אפשרי מכשיר אחד למספר עמדות). ניתן להחליף משקף תנודות ספרתי בכרטיס מחשב עם תוכנה מתאימה (הדמיית משקף באמצעות מחשב הכוללת אפשרות של אגירת נתונים או מצב Transient Recorder). כל תלמיד יבצע כ-10 ניסויים או מספר ניסויים ומספר פרויקטים. מרב הניסויים יתבצעו באחת משלוש החלופות הבאות: 1. שימוש במערכות ובציוד קיים. 2. בניית מעגל הניסוי על-גבי מטריצה לפי דרישות הניסוי. 3. שימוש במעגל מודפס שפותח במיוחד לניסוי. הבחירה בחלופה הראשונה אפשרית בתנאי שהמערכת הקיימת מאפשרת את ביצוע הניסוי על-פי המטרות והמטלות המפורטות בתכנית הלימודים. ניסוי אחד מומלץ להקדיש להכרת ציוד המדידה (ניסוי נספח), הניסוי האחרון יתבצע באמצעות תוכנה ייעודית (ניסוי הדמיית מערכת בקרה באמצעות מחשב). את הפרויקטים ניתן לבצע על-גבי מטריצה, לוח וקטור או מעגל מודפס. יש ללוות ביצוע פרויקט בתייעוד מסודר.

##### עקרונות מנחים לביצוע ניסויים

מרבית הניסויים כוללים שני חלקים:

- א. חלק רגיל, המיועד לכלל התלמידים.
- ב. חלק אתגרי, המיועד לתלמידים מתקדמים המעוניינים להעמיק בחומר מעבר למה שנלמד. כאן התלמידים יתבקשו לפתור בעיה באמצעות שינוי מסוים בחומרה או בתוכנה של הניסוי.

להלן הצעה לשלבי העבודה של ניסוי:

- א. תיאור הבעיה או המשימה.
- ב. תאור מערכת הבקרה ברמה העקרונית (תרשים מלבנים או תרשים זרימה).
- ג. הכרת המעגל החשמלי של חומרת הניסוי והבנת עקרון פעולתו.
- ד. בניה וחיבור של המעגל החשמלי.
- ה. בדיקת החומרה.
- ו. ביצוע מדידות ובדיקות המערכת על-פי הוראות והנחיות.
- ז. כתיבת תיעוד הכולל: הכנות לניסוי, מהלך הניסוי, דו"ח תוצאות וניתוחם.

## רשימת הניסויים ותוכנם

### **ניסוי 1: בקרה דו-מצבית (OFF-ON) בחוג סגור**

1. תאור מערכת בקרה דו-מצבית בחוג סגור על-ידי תרשים מלבנים.
2. מימוש בקר דו-מצבי באמצעות מגברי שרת (מגבר הפרש ומשווה) ובניית מערכת עם משוב. דוגמה למערכת: בקרת טמפרטורה בסביבת גוף חימום עם מתמר טמפרטורה למתח.
3. כיול המתמר במערכת.
4. מדידת אות מוצא של מערכת בקרה דו מצבית בפעולתה בחוג סגור כתוצאה מהפרעה פתאומית לפעולת המערכת.

#### חלק אתגר:

5. בדיקת השפעת וויסות ה"זמן המת" של הבקר על תגובת המערכת בחוג סגור. השוואה עם התגובה בחוג הפתוח.

### **ניסוי 2: בקרה יחסית (פרופורציונלית) בחוג סגור**

1. מימוש בקרה יחסית בחוג סגור באמצעות מעגל המבוסס על מגברי שרת (מגבר הפרש ומגבר מסכם) ומתמר. שילוב הבקר והמתמר במערכת ובניית המערכת עם המשוב. דוגמה: מערכת בקרת טמפרטורה בסביבת גוף חימום עם מתמר טמפרטורה למתח.
2. בדיקת השפעת הפרעה פתאומית על תגובת המערכת בחוג סגור והשוואה לתגובת חוג פתוח.
3. מדידת זמן הפיגור של המערכת בחוג הסגור בתגובה לאות מדרגה והשוואה לתגובת חוג פתוח.

#### חלק האתגר:

4. חישוב קבוע הזמן של המערכת בחוג הסגור מתלות אות המוצא בזמן והשוואתו לקבוע הזמן בחוג הפתוח.

### ניסוי 3: בקרה יחסית של זווית ( "מצב" ) מנוע ז"י בחוג סגור

1. תאור מערכת בקרת מצב הפועלת בחוג סגור על-ידי תרשים מלבנים.
2. מימוש מערכת בקרת מצב בחוג סגור הכוללת פוטנציומטר מבוא, בקר יחסי, דוחף זרם, מנוע ז"י, פוטנציומטר מוצא עם צימוד למנוע, ומגבר משוב.
3. מדידת תגובת המערכת (זווית סיבוב פוטנציומטר המוצא) לאות מדרגה וחישוב מאפייני המערכת בחוג הסגור. השוואה עם מאפייני המערכת בחוג הפתוח.

#### חלק האתגר:

4. שינוי בחומרה: בקרה סימולטנית של מהירות ומצב על-ידי משוב כפול.

### ניסוי 4: בקרת מהירות מנוע ז"י בחוג פתוח בשיטת אפנון רחב דופק (PWM)

1. תאור מערכת בקרת מהירות בשיטת PWM הפועלת בחוג פתוח על-ידי תרשים מלבנים.
2. מימוש בקר מהירות מנוע בשיטת PWM עם הגבר קבוע באמצעות מעגל אנלוגי, שילוב הבקר במערכת, ובניית המערכת.
3. מדידת מהירות סיבוב של מנוע ז"י הפועל בחוג פתוח בתגובה לשינוי פתאומי בעומס וניתוח התגובה במישור הזמן.

#### חלק האתגר:

4. שינוי בחומרה: מימוש בקרת PWM באמצעות רכיבים ספרתיים.

### ניסוי 5: בקרת מהירות מנוע ז"י בחוג סגור בשיטת אפנון רחב דופק (PWM)

1. תאור מערכת בקרת מהירות בשיטת PWM הפועלת בחוג סגור על-ידי תרשים מלבנים.
2. הכרת השימוש בטכוגנרטור למדידת מהירות הסיבוב של מנוע.
3. מדידת מהירות סיבוב של מנוע ז"י באמצעות מדידת המתח הנוצר על-ידי טכוגנרטור המחובר לציר המנוע. כיול טכוגנרטור.
4. מימוש בקר מהירות מנוע בשיטת PWM עם הגבר קבוע באמצעות מעגל אנלוגי, שילוב הבקר והטכוגנרטור במערכת, ובניית המערכת עם המשוב.
5. חישוב קבוע הזמן של המערכת הפועלת בחוג סגור מתוך מדידות תגובתה לאות מדרגה. השוואה לתוצאות החוג הפתוח.

#### חלק האתגר:

6. שינוי הגבר הבקר ומדידת מאפייני המערכת כתלות בהגבר הבקר.



## **ניסוי 6: הדמיה של בקרת תהליכים עם בקר יחסי (P) באמצעות סימולציות מחשב עם תוכנה ייעודית**

1. תיאור מערכת בקרה עם בקר P ותהליכים מסדר ראשון ושני בחוג סגור על-ידי תרשים מלבנים.
2. בדיקת השפעת ההגבר וקבוע הזמן של התהליך המבוקר על מקדם הריסון של המערכת.
3. השפעת הגבר הבקר על מקדם הריסון של המערכת.

### חלק האתגר:

4. שינוי הבקר היחסי לבקר יחסי-אינטגרלי (PI) ובדיקת הגורמים המשפיעים על היציבות של המערכת.

## **ניסוי נספח: הכרת משקף תנודות ספרתי**

1. לימוד המאפיינים הייחודיים למשקף תנודות ספרתי: אגירת אותות ועיבוד אותות. הכרת השימוש במשקף תנודות למדידת תופעות מעבר.
2. מדידה וניתוח מאפייני אות מחזורי באמצעות משקף תנודות ספרתי.
3. אגירת אות המוצא של מערכת מסדר ראשון וניתוח תופעת המעבר של המערכת במישור הזמן. דוגמה למערכת: מעגל RC עם מקור זרם ישר.

## **עקרונות מנחים לביצוע פרויקטים**

- להלן שלבים עקרוניים בבניית והפעלת פרויקטים
1. אפיון המערכת והסבר פעולתה
  2. בניית מערכת לפי: מעגל נתון, דיאגרמת מלבנים.
  3. הפעלה ראשונית לבדיקת כשירות ואיתור תקלות
  4. ביצוע בדיקות נדרשות ורישום תוצאותיהן
  5. ביצוע שינוי או תוספת במערכת על-פי דרישה מוגדרת – שינוי דורש תכנון עצמאי של התלמיד
  6. תיעוד תהליך הבניה והבדיקות

## **נושאי הפרויקטים, הבדיקות והשינויים הנדרשים**

1. הפעלה וכוון סיבוב של מנוע לזרם ישר של מנוע המופעל באמצעות גשר H, או באמצעות רכיב מוכלל (כדוגמת L293) – (מכסה חלק מניסוי 6)

### תיאור המערכת

המערכת מורכבת ממתג הפעלה, מתג הקובע את כיוון הסיבוב, מעגל גשר (או רכיב מוכלל), מנוע ז"י ונורות חיווי.

### בדיקות נדרשות

1. תלות מהירות הסיבוב של המנוע במתח המנוע
2. תלות הזרם במנוע בעומס המחובר לציר המנוע
3. בדיקת פעולת גשר H עבור שלושה מצבי פעולה: קדימה, אחורה, עצירה

### שינוי נדרש

4. תכנון מעגל לבקרת כיוון סיבוב המנוע המבוסס על מעגל מוכלל (למשל SN754410 או L293)

## 1. בקרת מהירות הסיבוב של מנוע לזרם ישר בשיטת PWM (מתאים לניסוי 8)

### תיאור המערכת

המערכת בנויה מאפן PWM בעל Duty cycle הניתן לשינוי באמצעות פוטנציומטר, מדוחף זרם ומנוע

### בדיקות נדרשות

1. הרכבה ובדיקה של אפן PWM
2. בדיקת השפעת רוחב הדופק על מהירות הסיבוב של מנוע "לז" – בניית גרף תלות המהירות ב Duty cycle

### שינוי נדרש

3. תכנון, בנייה ובדיקת אפן PWM המבוסס על שימוש בגל משולש

## 2. בקרת טמפרטורה בחוג סגור באמצעות מעגל ספרתי (מתאים לניסוי 2)

### תיאור המערכת

המערכת מורכבת מחיישן טמפרטורה הנמצא בחוג המשוב, מגבר, ממיר A/D, משווה ספרתי, המשווה בין הטמפרטורה הנמדדת לטמפרטורה הרצויה ארבעה מפסקים שלפי מצבם נקבעת הטמפרטורה הרצויה, דוחף זרם וגוף חימום.

### בדיקות נדרשות

1. כיוול חיישן טמפרטורה הממומש כדיודה כך שיפעל בתחום רצוי (למשל: 20°-50°).
2. בדיקת פעולת ממיר A/D בעל ארבע סיביות
3. בדיקת פעולת המשווה הספרתי
4. בדיקת פעולת המערכת בחוג פתוח
5. בדיקת פעולת המערכת בחוג סגור עבור מספר טמפרטורות

### שינוי נדרש

6. בניית מערכת ברוחב שמונה סיביות – בדיקת פעולת המערכת והשוואתה למערכת ברוחב ארבע סיביות.

## 3. מערכת לשמירה על מהירות סיבוב קבועה באמצעות חיישן אופטי (מתאים לניסוי 4)

### תיאור המערכת

מערכת אופטית-מכנית המפיקה אות אור שתידרו יחסי ישר למהירות המנוע המחובר לציר המערכת, מגבר הפרש, ממיר  $f/V$  הנמצא בחוג המשוב, פוטנציומטר לכיוון המהירות הרצויה, דוחף ומנוע.

### בדיקות נדרשות

1. בדיקת פעולת הממיר  $f/V$  ויצירת גרף קשר בין המהירות למתח
2. בדיקת השפעת מתח המנוע על מהירותו, יצירת גרף קשר בין מהירות המנוע למתח
3. בדיקת פעולת המערכת בחוג פתוח ובחוג סגור
4. בדיקת השפעת עומס על ציר המנוע על מהירות המנוע

### שינוי נדרש

5. המרת מעגל הבקרה האנלוגי במעגל ספרתי