

מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים

התמחות

מערכות מחשוב ובקרה

תכנית הלימודים במקצוע המשותף

מערכות בקרה ממוחשבות

סמל מקצוע: 11.202

עדכון: פברואר 2014

מערכות בקרה ממוחשבות לכיתה י"ב – לימודים עיוניים

מערכות בקרה ממוחשבות לכיתה י"ב – לימודים התנסותיים

התכנית כוללת 90 שעות לימודים עיוניים ו-90 שעות לימודים התנסותיים בכיתה י"ב. חלוקת השעות ללימודי המקצוע **מערכות בקרה ממוחשבות** בכיתה י"ב נתונה בטבלה להלן:

סה"כ			כיתה י"ב		שם המקצוע
כללי	ה	ע	ה	ע	
6	3	3	3	3	מערכות בקרה ממוחשבות

תכנית הלימודים במקצוע

מערכות בקרה ממוחשבות

לימודים עיוניים (כתה י"ב – 90 שעות)

60 שעות

1. בקרה באמצעות מחשב

- 1.1 המישק בין המחשב ו"העולם החיצוני"
- 1.1.1 הגדרת ה"עולם החיצוני" במערכת בקרה ממוחשבת: רכיבי מדידה, רכיבי התמרה, רכיבי הגברה, ורכיבי הפעלה. תיאור והסבר ברמת תרשימי מלבנים.
- 1.1.2 הצורך בהגברת האותות מ/אל העולם החיצוני. השימוש במגברי שרת למדידה והפעלת רכיבי קצה. דוגמאות למעגלי הגברה מעשיים.
- 1.1.3 מעגלים להמרת אות אנלוגי לאות ספרתי (A/D) ואות ספרתי לאות אנלוגי (D/A): מבנה ועקרונות פעולה (ברמת תרשים מלבנים).
- 1.1.4 דוגמאות מעשיות למעגלי A/D ו-D/A פשוטים. השימוש בדפי יצרן.
- 1.1.5 ממשקי תקשורת בין המחשב ל"עולם החיצון": ממשק טורי (RS232), ממשק מקבילי, ממשק IEEE 488 (מפרטים חשמליים, תפקודיים, ונוהליים).
- 1.1.6 שיטות תקשורת במערכות בקרה תעשייתיות: השוואה בין שיטת HART (Highway Addressable Remote Transmission) לשיטת FIELDBUS.

השימוש בשפה עילית C לבקרת תהליכים – 30 שעות

1.2 חלופה א'

- 1.2.1 חזרה על עקרונות הפעולה של שיטות בקרה: בקרה דו-מצבית (ON-OFF), בקרת ON-OFF עם "תחום מת", בקרה פרופורציונאלית (P), ובקרה פרופורציונאלית-אינטגרלית (PI). השוואה בין שיטות הבקרה והתאמתם ליישומים שונים.
- 1.2.2 עקרונות המימוש של שיטות הבקרה באמצעות תוכנה.
- 1.2.3 אלגוריתם לבקרת ON-OFF ומימושו בשפה עילית.
- 1.2.4 אלגוריתם לבקרה רציפה (פרופורציונאלית) ומימושו בשפה עילית.
- 1.2.5 אלגוריתם לבקרה בשיטת אפנון רחב דופק (PWM) ומימושו בשפה עילית.
- 1.2.6 אלגוריתם לבקרה פרופורציונאלית-אינטגרלית במישור הזמן ומימושו בשפה עילית.

השימוש בשפה עילית VB לבקרת תהליכים – 30 שעות

1.2 חלופה ב'

- 1.2.1 חזרה על עקרונות הפעולה של שיטות בקרה: בקרה דו-מצבית (ON-OFF), בקרת ON-OFF עם "תחום מת", בקרה פרופורציונאלית (P), ובקרה פרופורציונאלית-אינטגרלית (PI). השוואה בין שיטות הבקרה והתאמתם ליישומים שונים.

- 1.2.2 עקרונות המימוש של שיטות הבקרה באמצעות תוכנה.
- 1.2.3 אלגוריתם לבקרת ON-OFF ומימוש בשפה עילית.
- 1.2.4 אלגוריתם לבקרה רציפה (פרופורציונאלית) ומימוש בשפה עילית.
- 1.2.5 אלגוריתם לבקרה בשיטת אפנון רוחב דופק (PWM) ומימוש בשפה עילית.
- 1.2.6 אלגוריתם לבקרה פרופורציונאלית-אינטגרלית במישור הזמן ומימוש בשפה עילית.

תכנית הלימודים במקצוע

מערכות בקרה ממוחשבות

לימודים התנסותיים (כיתה י"ב – 90 שעות)

כללי

בהתנסות יבוצעו ניסויים ממוחשבים או פרויקט, ויעשה שימוש ברכיבי קצה שיחברו אל המחשב באמצעות מישק מתאים. הפעלת רכיבי הקצה תעשה באמצעות:

- א. תכניות מקורות בשפה עילית (כגון, שפת C) להדמיית פעולת הבקרים השונים שייכתבו על-ידי התלמידים ועל-ידי מפתחי הניסויים.
- ב. תוכנה ייעודית המבוססת על שפה גראפית שבאמצעותה ניתן לדמות את פעולת הבקרים השונים (למשל תוכנה המבוססת על שפת G).

בכל הניסויים והפרויקטים המחשב יחליף את הבקר האנלוגי ו/או הבקר הספרתי, על-ידי שימוש בתוכנה המתאימה לביצוע פעולת הבקר. התלמיד יבצע חלק מהניסויים, לפחות אחד בשפה עילית ואחד באמצעות שפה גראפית או פרויקט אחד

סביבת העבודה

בכל עמדת עבודה יהיה מחשב עם תוכנות מתאימות. יידרשו לפחות שתי תוכנות:

1. מהדר שפה עילית (למשל גרסת C המיועדת לפיתוח יישומים למיקרובקרים כמו ה-C51 למשל).
2. תוכנה גרפית ייעודית לשליטה ובקרה של רכיבי קצה המבוססת על ממשק גרפי.

בכל עמדה ימצא מישק שיחבר רכיבי קצה ליציאה הטורית או המקבילית של המחשב. התלמידים יבנו "מערכת בקרה" על-ידי חווט של רכיבי הקצה (חיישנים, מתגים, ממסרים, נורות, מנועים, וכו') אל המישק והמחשב. צב"ד סטנדרטי שיעמוד לרשות התלמידים (בנפרד או במשותף עם עמדות אחרות) יכלול: רב מודד ספרתי, מחולל אותות, משקף תנודות (רצוי סקופ ספרתי).

עקרונות מנחים

התלמידים יוכלו לבחור בין ביצוע מספר ניסויים מובנים, לבין ביצוע 2-3 פרויקטים, או שילוב של ניסויים מובנים ופרויקט. הכרת המישק והתוכנות הנדרשות לביצוע הניסויים, תתבצע במהלך שעות מעבדה מיוחדות.

רכיבי הקצה ישמשו להמחשת התהליך (או הרכיב) המבוקר ומתמר המשוב בלבד. כל פונקציות הבקרה האחרות ימומשו בתוכנה.

ה"גרעין" של כל ניסוי או פרויקט יכלול את הפעלת התוכנה, כתיבת התכנית ו/או הפעלתה וניתוח התוצאות. מרבית התוכנות הגרפיות המסחריות מאפשרות ביצוע ניסוי בקרה עם רכיבים

ומכשירי מדידה "וירטואליים" בלבד. חובה לבצע את הניסויים גם עם חומרה ואין להסתפק בניסויי הדמיה בלבד.

כל ניסוי יכלול:

- א. ניסוי בסיסי, המיועד לכלל התלמידים. חלק זה יכלול תכנית מחשב מוכנה הכתובה בשפה עילית (VB או C), או בשפה גראפית (שפת G).
- ב. ניסוי אתגרי, המיועד לתלמידים מתקדמים המעוניינים להעמיק בחומר מעבר למה שנדרש. בחלק זה יתבקשו התלמידים לפתח תכנית מחשב באופן עצמאי, או לשפר את תכנית המחשב הקיימת, או לתכנן ולממש מערכת בקרה בהתאם לדרישות נתונות.

הצעה לניסויים מובנים, והנושאים העיקריים הנכללים בהם

הערה: כל אחד מהניסויים המפורטים להלן נועד להמחיש מושגים עיוניים, ולהקנות מיומנויות מסוימות, כמו להבין פעולת מעגל חשמלי נתון, לבנות מעגל חשמלי על פי תכנית נתונה, וכו'. בכל ניסוי ניתנת דוגמה למערכת שבאמצעותה ניתן להשיג את מטרות הניסוי. מורים יוכלו להשתמש בחומרה שונה, או בתוכנה שונה, או אף להוסיף ניסויים, ובתנאי שיישמר הקף הניסוי ויושגו מטרות הניסוי.

ניסוי 1: בקרת טמפרטורה דו-מצבית (ON-OFF) בחוג סגור

- ניסוי זה הוא המשך הניסוי הראשון עם רכיבי חומרה זהים אולם עם תכנית הלוקחת בחשבון את אות המשוב במערכת. שלבי הניסוי כוללים:
 2. תיאור המערכת ברמת תרשים מלבנים וברמת מעגל חשמלי.
 2. בניית מעגל חשמלי על פי תרשים נתון הכולל נגד הספק ("מקור חום"), חיישן חום ודוחף זרם. חיבור המעגל למחשב באמצעות מישק.
 3. הפעלת התוכנה למיתוג מקור החום בחוג סגור על פי דרישות נתונות.
 4. רישום המתח על החיישן כתגובה למיתוג מקור החום ממצב OFF למצב ON וההפך. שמירת התוצאות בקבצי מחשב.
 5. ניתוח התוצאות השמורות בקבצי המחשב וחישוב קבוע הזמן של המערכת. השוואת קבוע הזמן של המערכת בחוג פתוח לקבוע הזמן בחוג סגור.

חלק אתגר:

6. שינוי בתוכנה המאפשר מיתוג מחזורי של מקור החום. חישוב הטמפרטורה הנמדדת על-ידי החיישן בתלות בתדר המיתוג של מקור החום.

ניסוי 2: בקרה יחסית של מהירות הסיבוב של מנוע זרם ישר (ז"י) בחוג סגור

- ניסוי זה הוא המשך הניסוי הקודם עם רכיבי חומרה זהים אולם עם תכנית הלוקחת בחשבון את אות המשוב במערכת. שלבי הניסוי כוללים:
 1. תיאור המערכת ברמת תרשים מלבנים וברמת מעגל חשמלי.
 2. בניית מעגל חשמלי הכולל מנוע ז"י, דוחף זרם למנוע, ומערכת אופטית למדידת מהירות המנוע

חיבור המעגל החשמלי למחשב באמצעות המישק.

3. הפעלת התוכנה לבקרה יחסית של מצב המנוע בחוג סגור ועל פי דרישות נתונות.
4. מדידת השינוי במהירות המנוע כתוצאה משינוי מדרגה בעומס על המנוע. שמירת התוצאות בקבצי מחשב.
5. ניתוח התוצאות השמורות בקבצי המחשב וחישוב קבוע הזמן של המנוע. השוואת קבוע הזמן של המערכת בחוג הסגור לקבוע הזמן בחוג הפתוח

חלק אתגר:

6. שינוי התוכנה והוספת אפשרות לבקרה יחסית-אינטגרלית של מהירות מנוע ז"י. חזרה על סעיפים 4-5 לעיל

ניסוי 3: בקרה יחסית של זווית (בקרת "מצב") בחוג סגור

ניסוי התלמידים הוא המשך הניסוי הקודם עם רכיבי חומרה זהים, אולם עם תכנית הלוקחת בחשבון את אות המשוב במערכת. שלבי הניסוי כוללים:

1. תיאור המערכת ברמת תרשים מלבנים וברמת מעגל חשמלי.
2. בניית מעגל חשמלי הכולל מנוע ז"י עם תמסורת פנימית, דוחף זרם למנוע, ופוטנציומטר סיבובי עם ציר משותף לציר המנוע. חיבור המעגל החשמלי למחשב באמצעות המישק.
3. הפעלת התוכנה לבקרה של זווית המנוע בחוג פתוח ועל פי דרישות נתונות.
4. מדידת השינוי במתח על הפוטנציומטר הסיבובי כתוצאה משינוי מדרגה בעומס על המנוע. שמירת התוצאות בקבצי מחשב.
5. ניתוח התוצאות השמורות בקבצי המחשב וחישוב התדר הטבעי ומקדם הריסון של המערכת.

חלק אתגר:

6. שינוי התוכנה ואפשרות לבקרה יחסית-אינטגרלית של זווית המנוע. חזרה על סעיפים 4-5 לעיל

ניסוי 4: בקרת מנוע צעד (STEPPER)

בניסוי התלמידים משתמשים בתכנית קיימת ונקייה משגיאות, הכתובה בשפה עילית (C או VB), לבקרה של המהירות של מנוע צעד בחוג פתוח. שלבי הניסוי כוללים:

1. תיאור מערכת לבקרת מנוע צעד עם מקודד אופטי ברמת תרשים מלבנים וברמת מעגל חשמלי.
2. בניית מעגל חשמלי הכולל מנוע עם מיתוג צעד מלא, גשר H, ומקודד אופטי. חיבור המעגל החשמלי למחשב באמצעות המישק.
3. הפעלת התוכנה לבקרה של מנוע צעד בשיטת PWM ועל פי דרישות נתונות.
4. מדידת השינוי במהירות המנוע כתוצאה משינוי מדרגה בעומס על המנוע. שמירת התוצאות בקבצי מחשב.
5. ניתוח התוצאות השמורות בקבצי המחשב וחישוב קבוע הזמן של המנוע.

חלק אתגר:

6. שינוי המעגל החשמלי ותוכנת המחשב למיתוג המנוע בשיטת "חצי צעד".

ניסוי 5: הדמיית תהליך עם שימוש בקוצבי זמן ומונים

בניסוי התלמידים משתמשים בתכנית קיימת ונקייה משגיאות הכתובה בשפת G ללימוד ההבדלים שבין מערכת בקרה צירופית לבין מכונת מצבים מחזורית. דוגמה: מערכת אזעקה לעומת מערכת לבקרת רמזור יחיד. שלבי הניסוי כוללים:

1. תיאור תהליכים במערכת צירופית ובמכונת מצבים מחזורית ברמת תרשים זרימה הכולל, בין השאר, שימוש בקוצבי זמן מחזוריים, בשערים לוגיים, ובמונים.
2. הפעלת התכנית למימוש תרשים הזרימה של מערכת אזעקה ושל מערכת לבקרת רמזור.
3. הדמיית התהליכים באמצעות התכנית.

חלק אתגר:

4. שדרוג התכנית לבקרת מערכת של מספר רמזורים.

ניסוי 10: בקרה של רכיבי קצה (חומרה) באמצעות תוכנת הדמיה

ניסוי זה הוא המשך הניסוי הקודם עם רכיבי קצה המחליפים חלק מיחידות תכנית ההדמיה. רכיבי הקצה מחוברים באמצעות ממשק למפתח המקבילי של המחשב. שלבי הניסוי כוללים:

1. תיאור תהליכי קלט/פלט באמצעות תכנית הכתובה בשפה גרפית.
2. הדמיית מפענחים וממירים בתוכנה.
3. שילוב רכיבי חומרה, דוגמת מפסקים בתוכנה.
4. חיבור מעגל חשמלי נתון באמצעות הממשק למפתח המקבילי, והדמיית פעולת המעגל.

חלק אתגר:

5. שדרוג החומרה לבקרת מערכת של מספר רמזורים.

ניסוי 6: הדמיה של תהליך אקראי

בניסוי התלמידים משתמשים בתכנית קיימת ונקייה משגיאות הכתובה בשפת גרפית ליצירת סדרת מספרים אקראיים המשמשים כאות המבוא לרכיב תצוגה (הממומש בחומרה). דוגמה: מערך של דפ"א המדמה קוביית משחק. שלבי הניסוי כוללים:

1. תיאור תהליך ליצירת מספר אקראי ברמת תרשים זרימה הכולל, בין השאר, שימוש במחולל אותות ווירטואלי, לולאות, שערים לוגיים, מונים, מפענחים, והתקן תצוגה.
2. הפעלת התכנית המממשת את תרשים הזרימה.
3. הדמיה של הטלת קובייה ובדיקת אקראיות התוצאות.

חלק אתגר:

5. הרחבת התוכנה והחומרה להדמיית התוצאה המתקבלת בהטלה סימולטנית של שתי קוביות.

הצעות לפרויקטים

העבודה על כל פרויקט תוכל להיערך על-פי מודלים שונים, בהתאם לפרויקט הנבחר, מידת העניין של התלמידים, רצון המורה, ועוד. מודל מקובל הוא המודל של "פתרון בעיות": הגדרת דרישות, הצעת פתרונות אלטרנטיביים, חיפוש מקורות ופתרונות בספרות וברשת, בחירת הפתרון המועדף, תכנון מערכת, מימוש מערכת, בדיקות, ושיפורים. מודל אחר הוא שימוש במוצר (מעגל חשמלי, תכנית מחשב, רכיב אלקטרוני, וכו') קיים, ניתוח המוצר, וניסיון לשפרו. חלק חשוב בכל אחד מהפרויקטים כולל פיתוח וכתובת תוכנה מתאימה. כל אחד מהפרויקטים כולל גם עבודה עם חומרה המשמשת אמצעי לבדיקת רעיונות, להעמקת הידע, ופיתוח החשיבה.

פרויקט 1: הצגה חזותית של מערך תווי ASCII באמצעות מערך של דיודות פולטות אור (דפ"א) – (רפי להחליף בפרויקט בבקרה או להפכו לפרויקט בקרה)

הדרישות:

1. מפענח חזותי של תווי ASCII המתקבלים בהקשת סימן על מקלדת מחשב.
2. הצגה חזותית בעזרת מערך של לפחות 7 דפ"א.
3. פענוח 128 תווי ASCII נומריים ואלפאנומריים שניתן ליצור באמצעות המקלדת.
4. לכל סימן במקלדת יתאים צרף יחיד של מערך הדפ"א.
5. תוכנה עם ממשק גרפי המזהה את התו על המקלדת.

החומרה:

1. החומרה כוללת את מערך הדפ"א ומישק בין הדפ"א ליציאה הטורית של המחשב.
2. המישק כולל מיקרובקר מתוכנת מראש (תוכנה צרובה ב-ROM) דוגמת PIC16F84 או 89C2051 עם מוצא אחד למערך הדפ"א ומוצא נוסף למערך של 8 מיקרומפסקים.
3. כבל תקשורת טורית סטנדרטי בין המישק ליציאה הטורית של המחשב.
4. בהתאם לסוג המיקרובקר, המישק כולל רכיבים מוכללים נוספים (כמו משקף תנודות, מפענח, נועל, וכו').

התוכנה:

1. המיקרובקר מתוכנת מראש (התכנית צרובה ב-ROM) לקריאת נתונים המתקבלים מהיציאה הטורית, הפעלת מערך דפ"א על-פי הנתונים, ושידור נתוני המערך למחשב.

2. תלמידים יכתבו, יבדקו וישתמשו בתוכנת מחשב עם ממשק גרפי השולחת ומקבלת נתונים מהבקר. התוכנה תציג סימולטנית מקלדת עם התו "הנבחר" יחד עם הצרוף המתאים של מערך הדפ"א.
3. חלק אתגר: תלמידים ישתמשו בתוכנת פיתוח מתאימה של המיקרובקר על מנת להציג בתוכנת המחשב את תו ה-ASCII המתקבל מכל צרוף של מערך המיקרומפוסקים.

כללי

1. התלמידים יוכלו להשתמש במישק קיים הכולל מיקרובקר, או לבנות את המישק על-פי הנחיות מפורטות שאותן ניתן למצוא ברשת.
הערה: נושא המיקרובקרים נלמד בצורה יותר יסודית הן באופן עיוני והן באופן מעשי במסגרת המקצוע "מבוא לרובוטיקה". ניתן ואף רצוי לשלב פעילות ניסויית עם מיקרובקרים גם בלימוד המקצוע "בקרה ממוחשבת" עם כי בפחות הדגשה.
2. עיקר העבודה בפרויקט זה תעשה בפיתוח ושימוש בתוכנת המחשב עם הממשק הגרפי.

פרויקט 2: תיכנון ובניית מערכת לאיסוף נתוני טמפרטורה (data logger) דרך היציאה הטורית במחשב

הדרישות:

1. קריאה ורישום נתונים מארבעה חיישני טמפרטורה ספרתיים במקביל ובזמן אמת.
2. חיישנים במרחק עד מספר עשרות מטר מהמחשב שאינם דורשים מקורות כוח עצמאיים.
3. תקשורת קווית בין חיישנים למישק וליציאה הטורית במחשב.
4. דיוק מדידה ורישום של לפחות 0.01 אחוז מתחום המדידה המלא.
5. קצב העברת נתונים מהחיישנים למחשב – לפחות 2400 ביט לשנייה.
6. תוכנה מתאימה לשליטה בהעברת הנתונים ובעיבוד הנתונים.

החומרה:

1. החומרה כוללת בנוסף לחיישנים גם מישק בין החיישנים ליציאה הטורית של המחשב.
2. חיישני הטמפרטורה הספרתיים פועלים עם מתח מיוצב מהמישק ומשדרים נתונים כמילים באורך 9 ביטים לפחות. למשל: החיישן הספרתי DS18S20 שלו דיוק מדידה (אבסולוטי) של 0.5°C .
3. "לב" המישק הוא מיקרובקר מתוכנת מראש הפועל כ-DTE (Data Terminal Equipment) בקו ה-RXD של היציאה הטורית. למשל: המיקרובקר PIC 12C509 או המיקרובקר 89C205.

התוכנה:

1. המיקרובקר מתוכנת מראש (התכנית צרובה ב-ROM) לקריאת נתוני החיישנים והעברתם למחשב.
2. תלמידים יכתבו, יבדקו וישתמשו בתוכנת מחשב שתקרא את נתוני החיישנים לקובץ, תשמור את הנתונים, ותציג את הנתונים כגרפים של הזמן. תלמידים ישתמשו בתוכנה מסחרית (למשל גיליון אלקטרוני) על מנת לנתח את הנתונים.
3. חלק אתגר: תלמידים ישתמשו בתוכנת פיתוח מתאימה של המיקרובקר על מנת לשדרג את התוכנה הצרובה בו.

כללי:

1. התלמידים יוכלו להשתמש במישק קיים הכולל מיקרובקר, או לבנות את המישק על-פי הנחיות מפורטות שאותן ניתן למצוא ברשת (ראו הערה לפרויקט הראשון).
2. עיקר העבודה בפרויקט זה תעשה בפיתוח ושימוש בתוכנת המחשב ובניתוח התוצאות באמצעות הגיליון האלקטרוני. רצוי שהתכנית תיכתב בשפה גרפית (שפת G) או בשפה אחרת "מונחית עצמים".

הצעות נוספות לפרויקטים

- פרויקט 3: בקרה של רכיב קצה באמצעות תקשורת בתחום ה-IR
- פרויקט 4: בקרה של מנוע ז"י באמצעות רשת האינטרנט
- פרויקט 5: בקרה של כמות העשן (שריפה) עם מערכת אזעקה
- פרויקט 6: בקרה של מחולל עם עומס משתנה
- פרויקט 7: בקרה של מערכת תנועה רב-רמזורית
- פרויקט 8: בקרה של בית "אקולוגי"