



מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים

חלופות:

- אלקטרואופטיקה
- בקרה ורובוטיקה
- ביו רפואה
- תקשורת במערכות אלקטרוניות

דבר המפמ"ר

אנו עומדים בפתחה של תקופה של חידושים טכנולוגיים, אתגרים חשיבתיים והתנסויות מרתקות. במגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים אתם תחשפו לסביבת למידה מתקדמת ומשמעותית. זכרו, כי אתם חלק חשוב מהמחר ובידכם הכוח והידע לקחת חלק בפיתוח דור העתיד.

הפקדתי בידי צוות מורי המגמה, אחריות רבה, לחשוף אתכם לידע חדשני, להנחות אתכם בפרויקטים מאתגרים ולהוביל אתכם להצלחה.

שלומי אדמונד אחנין

מפמ"ר מגמות הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים ומערכות בקרה ואנרגיה

תוכן עניינים

1	דבר המפמ"ר
3	חלופה 1 – אלקטרו-אופטיקה
26	חלופה 2 – בקרה ורובוטיקה
53	חלופה 3 – ביו רפואה
82	חלופה 4 – תקשורת במערכות אלקטרוניות

חלופה 1 – אלקטרו-אופטיקה

120 שעות עיוניות + 60 שעות התנסות

רציונל כללי למקצוע ההתמחות

רציונל

המחקר והפיתוח בתחום האלקטרואופטיקה התרחבו מאוד בשנים האחרונות, עם כניסתן של טכנולוגיות מתחום זה לכל תחומי החיים: רפואה, תאורה, מוזיקה, בידור ופנאי, מחשוב ותקשורת, תעשיית הנשק ועוד. טכנולוגיות מתחום האלקטרואופטיקה הן חלק הולך וגדל מפעילות הפיתוח של תעשיות עתירות מדע בארץ ובעולם.

המטרה העיקרית של לימודי האלקטרואופטיקה בתיכונים היא הבנה מדעית ויישומית של המבנה והפעולות של מערכות אלקטרואופטיות פשוטות ומורכבות. תוכנית הלימודים כוללת מגוון מושגים הקשורים באופטיקה גאומטרית ופיזיקלית, בחישובים ובמקורות אופטיים שונים. בתוכנית הלימודים יש מרכיב התנסותי משמעותי – התלמידים נדרשים לנתח וליישם מערכות אלקטרואופטיות המבוססות על עקרונות פיזיקליים אופטיים בסביבת מערכות משובצות מחשב. בבחירת הנושאים התחשבנו בשיקולים האלה:

- הנושאים יסקרו סקירה מקיפה של עולם האלקטרוניקה.
- הנושאים רלוונטיים בתעשייה.
- הנושאים ישתלבו בפרויקטים.

במהלך העבודה על הפרויקטים יחויבו התלמידים לשלב חלק מהנושאים הנלמדים. התלמידים ייבחנו על נושאים אלה במסגרת ההגנה על הפרויקט. למעבר לתוכנית הלימודים המלאה לחצו על הקישור:

http://meyda.education.gov.il/files/MadaTech/Megama_Technologit/elecomp/new_prog_03_2017/electrooptika.pdf



או סרקו את הקוד:

יעדים לימודיים של החלופה

אלקטרו אופטיקה

פרק 1: מבוא לאלקטרו אופטיקה

1. האות הסינוסואידלי

- א. הגדרת המושגים: אות, אות מחזורי, אות חילופין.
- ב. מציאת זמן המחזור של אות, תדירותו והתדירות הזוויתית שלו בהינתן הפונקציה המתמטית שלו או התיאור הגרפי שלו.
- ג. כתיבת משוואה של אות סינוסואידלי בהינתן הגרף במערכת צירים או תמונת הסקופ.
- ד. שרטוט תרשים עקרוני של אות סינוסואידלי בהינתן הפונקציה המתמטית של האות.
- ה. מציאת הזמנים שבהם האות הסינוסואידלי מקבל את הערך המרבי, את הערך המזערי ואת הערך אפס.
- ו. שרטוט ממוחשב באקסל או ב-MATLAB של אות סינוסואידלי בהינתן תדירות האות, תנופתו וזווית המופע שלו.
- ז. הצגת אות סינוסואידלי בציר התדר (ספקטרום).
- ח. שרטוט ממוחשב של סכום של שני אותות סינוסואידליים בציר הזמן.
- ט. הצגת סכום של שני אותות סינוסואידליים בציר התדר.

2. חיישני אור ומתמרים אלקטרו אופטיים

2.1 המרת אותות פיזיקליים

- א. הבאת דוגמה אחת לפחות של חיישן (או מתמר) הממיר תנועה באות חשמלי, ולהפך.
- ב. הבאת דוגמה אחת לפחות של חיישן (או מתמר) הממיר אות אופטי באות חשמלי, ולהפך.
- ג. הבאת דוגמה אחת לפחות של חיישן (או מתמר) הממיר אות תרמי באות חשמלי, ולהפך.
- ד. הבאת דוגמה אחת לפחות של חיישן (או מתמר) הממיר אות אקוסטי (קול) באות חשמלי, ולהפך.

2.2 חיישן אור LDR – אופיין המתאר תלות ההתנגדות בעוצמת האור ומעגלי יישום

- א. חילוץ התנגדות חיישן אור LDR לעוצמת תאורה נתונה מתוך אופיין תלות ההתנגדות בעוצמת האור.
- ב. שרטוט מעגל, הכולל משווא בחוג פתוח, להפעלת נורה כשרמת ההארה בסביבה נמוכה.
- ג. שרטוט מעגל, הכולל משווא בחוג פתוח, להפעלת נורה כשרמת ההארה בסביבה גבוהה.
- ד. שרטוט מעגל, הכולל מגבר הופך מופע (או מגבר שאינו הופך מופע), לשינוי עוצמת ההארה של נורה בהתאם לרמת ההארה בסביבה.
- ה. חישוב מתחים וזרמים במעגל הכולל חיישן אור LDR ומשווא בחוג פתוח.
- ו. חישוב מתחים וזרמים במעגל הכולל חיישן אור LDR ומגבר הופך מופע (או מגבר שאינו הופך מופע).
- ז. קריאת נתוני רכיב מדף המפרט הטכני שלו, הכולל מפרט חשמלי, מפרט אופטי ואופיין רגישות.

2.3 פוטו-דיודה, פוטו-טרנזיסטור, דפ"א (LED)

- א. שרטוט הסימול הסכמתי של פוטו-דיודה, פוטו-טרנזיסטור ודפ"א.
- ב. מציאת נקודת עבודה של דפ"א והסבר משמעותה.
- ג. חילוץ הערך הרצוי לפתרון בעיית תכנון מתוך אופיין עוצמת הארה וזרם (פוטו-דיודה, פוטו-טרנזיסטור ודפ"א).
- ד. קריאת נתוני רכיב מדף המפרט הטכני שלו.

3. אופטיקה גאומטרית ותופעות יסודיות של האור

3.1 מבנה העין והתנאים לראייה

- א. קישור בין חוויות ויזואליות (ראיית עצמים ודמויות) ובין מהלך האור.
- ב. זיהוי חלקי העין המאפשרים ראייה.
- ג. רישום התנאים לראייה.

3.2 מקורות אור וגלאי אור

- א. הכרת מקורות האור השונים.
- ב. הבחנה בין מקור אור נקודתי למקור אור לא נקודתי.

- ג. הבחנה בין מקור אור לגוף המחזיר אור.
- ד. הגדרת המושג "גלאי אור" – מכשיר המאפשר גילוי אור.

3.3 אפיונים ראשוניים של האור

- א. הבאת דוגמות של המרת אנרגיית אור באנרגיות אחרות.
- ב. תיאור של המרת האנרגיה המתבצעת בגלאי האור המשמש למדידה של עוצמת אור.
- ג. הבנת אפשרויות האינטראקציה של האור עם חומר (החזרה, בליעה, העברה) ואפיון גופים על פי תגובתם לאור.
- ד. חישוב בעזרת מהירות האור.

3.4 ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים

- א. הכרת השיטה לייצוג מהלך האור באמצעות קרניים.
- ב. שימוש בתרשימי קרניים לאיתור מקום צל.
- ג. הגדרת המושג "קרן אור".
- ד. הבנה של דרך התפשטות האור – בתווך אחיד בקווים ישרים.

3.5 הספקטרום של האור

- א. הכרת הצבעים המרכיבים את האור.
- ב. רישום צבעי האור המתקבלים בקשת.

3.6 תופעת ההחזרה – מושגים בסיסיים

- א. הבנה של תופעת ההחזרה והתנאים לקיומה.
- ב. הגדרת המושגים: קרן פוגעת, קרן מוחזרת, זווית הפגיעה, זווית ההחזרה.
- ג. הבחנה בין החזרה מסודרת להחזרה מפוזרת.
- ד. שרטוט מסלולי החזרה של אור על פי חוקי ההחזרה.

3.7 דמות של עצם במראה מישורית

- א. בניית מהלך האור ואיתור דמות של עצם נקודתי.
- ב. בניית דמות של עצם קווי.

3.8 שדה ראייה של מראה מישורית

- א. הגדרת המושג "שדה ראייה".
- ב. שרטוט שדה ראייה של מראה מישורית וסימונו.
- ג. זיהוי הימצאות גוף בשדה ראייה.

3.9 תופעת השבירה – מושגים בסיסיים

- א. הבנה של תופעת השבירה והתנאים לקיומה.
- ב. הגדרת המושגים: קרן פוגעת, קרן נשברת, זווית הפגיעה, זווית השבירה, מקדם שבירה.

- ג. הבנת חוק סנל והשימוש בו.
- ד. שרטוט מסלולי שבירה של אור על פי עקרונות השבירה וחוק סנל.

3.10 תופעת ההחזרה המלאה – מעבר אור במנסרה ובסיב אופטי

- א. הבנה של תופעת ההחזרה המלאה והתנאים לקיומה.
- ב. תרגול חישובים של המושג זווית קריטית.
- ג. הגדרת המושג "זווית ההסחה", והבנת ביטוי במעבר אור במנסרה.
- ד. תיאור סיב אופטי והאופן שאור נע בו.

3.11 תופעת הנפיצה – תלות שבירת האור באורך הגל

- א. הבנה של תופעת הנפיצה והתנאים לקיומה.
- ב. תרגול הקשר בין מקדם השבירה לאורך הגל.
- ג. הכרת דוגמות לנפיצה – הקשת בענן.

3.12 עדשות

- א. אפיון צורני של עדשות כדוריות.
- ב. מושגים בסיסיים בעדשות
- ג. דמות של עצם בעדשה מרכזת ומפזרת.

פרק 2: מבוא ל-MATLAB

- א. ייצוג מספרים מרוכבים במערכת צירים קרטזית ובמערכת צירים פולרית.
- ב. המרת מספרים מרוכבים מייצוג קרטזי לייצוג פולרי.
- ג. ביצוע פעולת חשבון בסיסיות: חיבור, חיסור, כפל, חילוק, העלאה בחזקה.
- ד. הצגה ב-MATLAB של מספרים מרוכבים במערכת צירים קרטזית ובמערכת צירים פולרית.
- ה. ייצוג וקטורים ומטריצות.
- ו. ביצוע פעולות חשבוניות בווקטורים ובמטריצות.
- ז. שרטוט גרף של כל פונקציה שהיא ושל פונקציית סינוס.
- ח. כתיבת פונקציה כקובץ נפרד, ושימוש בפונקציה.

פרק 3: תקשורת תקבילית

1. מבוא לתקשורת

- א. הסבר הצורך באפנון להעברת אותות שמע בצורה אלחוטית.
- ב. שרטוט מבנה בסיסי של מערכת תקשורת הכוללת משדר ומקלט אלחוטי.

2. אפנון AM

- א. רישום הנוסחה המתמטית לתיאור אות מאופן AM.
- ב. מציאת תדר האות הנושא ותדר אות המידע בהינתן האות המאופן.
- ג. הגדרת גורם האפנון וחישובו בהינתן תדר האות הנושא ותדר אות המידע.
- ד. שרטוט ידני וממוחשב של התלות הזמנית של האות המאופן.
- ה. שרטוט תמונת הספקטרום של אות מאופן AM.
- ו. מציאת רוחב הפס בהינתן תמונת הספקטרום של האות המאופן.
- ז. כתיבת משוואה של האות המאופן בהינתן תמונת הספקטרום של האות.
- ח. חישוב ההספקים של שני פסי הצד והספק האות הנושא.
- ט. הגדרת המושגים: פס צד עליון ופס צד תחתון.
- י. חישוב הנצילות של אות מאופן AM.
- יא. הצגת אות מאופן AM באופן מעשי ועל גבי משקף תנודות בהדמיה.

3. אפנון FM

- א. חישוב תדר רגעי של אות מאופן FM.
- ב. חישוב מקדם אפנון β בהינתן נתוני אות מאופן FM.
- ג. כתיבת משוואה של אות מאופן FM בהינתן אות מידע, אות נושא ומקדם אפנון.
- ד. חישוב תדר מרבי ותדר מזערי של אות מאופן FM.
- ה. חישוב סטיית תדר מרבית.
- ו. שרטוט אות מאופן FM ב-MATLAB.
- ז. הצגת אות מאופן FM על גבי משקף תנודות בהדמיה.
- ח. שימוש בטבלת פונקציית בסל לחישוב ערכי פסי הצד של אות מאופן FM.
- ט. חישוב רוחב הפס באמצעות נוסחת קרסון.

4. משדרים ומקלטים

- א. שרטוט תרשים מלבנים עקרוני של משדר AM.
- ב. פירוט מרכיביו של משדר AM.
- ג. שרטוט צורת האות במבוא ובמוצא של כל אחד ממרכיביו של משדר AM.
- ד. שרטוט תרשים מלבנים עקרוני של מקלט AM ישיר.
- ה. פירוט מרכיביו של מקלט AM ישיר.
- ו. מאפייני מקלט והגדרת המושגים: רגישות, ברירות, רוחב פס, נאמנות, חסינות לרעש.
- ז. שרטוט צורת האות במבוא ובמוצא של כל אחד ממרכיביו של מקלט AM ישיר.
- ח. גלאי AM:
 - a. שרטוט תרשים עקרוני של גלאי AM.
 - b. שרטוט צורת אות המוצא לשלושה תכנונים של קבוע הזמן:
$$T \approx \tau; T < \tau; T > \tau.$$
 - ט. שרטוט תרשים מלבנים עקרוני של משדר FM.
 - י. הגדרת תפקידו של ה-VCO.
 - יא. מציאת קבוע האפנון k_f בהינתן אופיין של ה-VCO.
 - יב. חישוב סטיית תדר במוצא VCO ובמוצא משדר FM.

פרק 4: תקשורת ספרתית

1. האות הספרתי

- א. שרטוט מעגל דגימה ושמירה עקרוני.
- ב. שרטוט האות במוצא מעגל דגימה ושמירה בהינתן אות מבוא ותדר דגימה.
- ג. הגדרת משפט הדגימה של נייקוויסט.
- ד. תיאור גרפי של אותות בזמן ביצוע פעולות הדגימה והשמירה.
- ה. הגדרת המושג "פעולת הכימוי".
- ו. הגדרת המושג "פעולת הקידוד".
- ז. שיטות לקידוד האות.

2. שיטות אפנון וריבוב ספרתי

- א. שרטוט אות נתון המאופנ באפנון תנופת הדופק (PAM).
- ב. שרטוט אות נתון המאופנ באפנון דופק מקודד (PCM).
- ג. שיטות ספרתיות בסיסיות למפתוח ולאפנון (ASK, FSK, PSK), ותיאור גרפי של האותות בשיטות האפנון השונות.
- ד. תרשים מלבנים עקרוני לתיאור מערכות לייצור האפנונים ASK, FSK, PSK.
- ה. תרשים מלבנים עקרוני לתיאור גילוי של אות מאופנ מתוך האפנונים ASK, FSK, PSK.

פרק 5: תקשורת אלקטרו אופטית

1. מקורות אור לתקשורת אופטית

1.1 תכונות של מקור אור

- א. כתיבה של לפחות שלוש תכונות הנדרשות ממקור אור המשמש לתקשורת סיב-אופטית.
- ב. הגדרת המושג: יעילות חיצונית (יעילות הספק) של מקור אור.
- ג. הגדרת המושגים: אורך גל ורוחב הקו של מקור אור.

1.2 מאפייני דפ"א (LED) – תכונות ושימושים

- א. פתרון גרפי של נקודת עבודה של דפ"א בהינתן אופיין מתח זרם ונתוני המעגל.
- ב. חישוב נקודת עבודה של דפ"א.
- ג. מציאת רוחב הקו של דפ"א בהינתן גרף המתאר את התגובה הספקטרלית שלו מתוך דפי יצרן.
- ד. מציאת זווית הפליטה של דפ"א בהינתן עקום קרינה.

2. גלאי אור

2.1 תכונות של גלאי אופטי

- א. הצגת ארבע תכונות עיקריות של גלאי אור טוב: רגישות גבוהה, זמן תגובה קצר, תגובה ליניארית, רעש פנימי נמוך.
- ב. חישוב אורך גל הקיטעון של דיודה.

2.2 פוטו-דיודה.

- א. חישוב אורך גל הקיטעון של דיודה בהינתן פער האנרגיה בין רמת הולכה לרמת הערכיות.
- ב. הגדרת המושגים: אורך גל שיאי, זרם חושך.
- ג. אופייני V-I של פוטו-דיודה.
- ד. תכנון מעגל גילוי הכולל פוטו-דיודה ומגבר שרת.

2.3 מבנה ועקרון פעולה של רשת תקשורת סיב-אופטית.

- א. שרטוט תרשים עקרוני של רשת תקשורת סיב-אופטית.

פרק 6: עיבוד תמונה

1. מבנה התמונה

- א. פירוט המאפיינים של תמונה: צבעוניות, בהירות, רמות אפור, ניגודיות, הפרדה, רעש.
- ב. חישוב ניגודיות בתמונה נתונה.
- ג. הגדרת המושג "פיקסל".
- ד. חישוב כמות הסיביות שתמונה תופסת בהינתן מספר הפיקסלים ומספר רמות האפור והצבעוניות.

2. שיפור, החלקה וסינון של תמונה

- א. הסבר מהי היסטוגרמת רמת אפור, ושרטוט היסטוגרמה של תמונה פשוטה.
- ב. אבחון טיב הניגודיות בתמונה על פי ההיסטוגרמה שלה.
- ג. שרטוט סוגים שונים של פונקציות העתקה פשוטות המשמשות להגדלת הניגודיות בתמונה.
- ד. הסבר פעולות סינון בסיסיות, העברת נמוכים והעברת גבוהים.
- ה. בניית מסכת סינון בגודל נתון למטרה נתונה.
- ו. הסבר השיטות להדגשת קצוות.
- ז. רישום המסכות להדגשת קצוות.
- ח. הדגמת פעולת החלקה של תמונה בשיטת הממוצע הנע עם מסננים שונים.
- ט. הסבר פעולות מרחביות המשמשות להפחתת רעש בתמונה.
- י. הסבר הפחתת רעש באמצעות מיצוע N מסגרות עוקבות.

3. פעולות גאומטריות

- א. כתיבת קוד להגדלת התמונה או להקטנתה.
- ב. כתיבת קוד לסיבוב התמונה בזווית 90° ובכל זווית אחרת.
- ג. כתיבת קוד לקבלת תמונת ראי.
- ד. כתיבת קוד להזזת התמונה למיקום הרצוי.

עזרי הוראה והפניות לחומר עזר

פרק 1: מבוא לאלקטרואופטיקה

האות הסינוסואידלי

[אתר אלקטרואופטיקה](#)

חיישני אור ומתמרים אלקטרואופטיים

1. אתר מלווה – רוב המידע בנושא מופיע באתר אלקטרואופטיקה.
2. [דף מפרט – LDR](#)
3. [דף מפרט – פוטו-דיודה 1](#), [דף מפרט – פוטו-דיודה 2](#)
4. [דף מפרט – פוטו-טרנזיסטור 1](#), [דף מפרט – פוטו-טרנזיסטור 2](#)
5. [דף מפרט – דפ"א \(LED\)](#)

אופטיקה גאומטרית ותופעות יסודיות של האור

1. אתר מלווה – המידע בנושא מופיע באתר אלקטרואופטיקה באופן חלקי.
2. [הדמיה בנושא שבירה והחזרה](#)
3. [סרטון בנושא עדשות](#)
4. בספר "מערכות תקשורת – תקשורת אלקטרואופטית" בהוצאת מט"ח יש חומר לימודי בנושא. ראו – אופטיקה גאומטרית ואופטיקה פיזיקלית: עמ' 19–58.

פרק 2: מבוא ל-MATLAB

1. אתר מלווה – תרגילי ה-MATLAB ושל המצגות למורה המופיעים באתר.
2. תרגילים בליווי הסברים מופיעים בספר "ניסויים בתכנת הדמייה מתמטית – חלק א'", הוצאת מט"ח.
3. לתרגילים בנושא מספרים מרוכבים אפשר להיעזר בספר "מדריך למורה – מערכות חשמל", הוצאת מט"ח. ראו – עמ' 15–52.

פרק 3: תקשורת תקבילית

חלק זה יורחב בתוכנית הלימודים של החלופה **תקשורת במערכות אלקטרוניות**.

1. אתר מלווה – חומרי עזר ומצגת הוראה בנושא אפנון AM מופיעות באתר. אין באתר חומרים בנושא אפנון FM. חומר עזר בנושא זה אפשר למצוא בספר "תקשורת תקבילית ותקשורת ספרתית", הוצאת מט"ח. ראו – אפנון תדר: עמ' 151–161.
2. חומר עזר בנושא מבנה עקרוני של משדר ומקלט מופיע בתוכנית הלימודים של החלופה **תקשורת במערכות אלקטרוניות**.

פרק 4: תקשורת ספרתית

חלק זה יורחב בתוכנית הלימודים של החלופה **תקשורת במערכות אלקטרוניות**, ואפשר להיעזר בחומרים מחלופה זו.

פרק 5: תקשורת אלקטרואופטית

הספר "מערכות תקשורת – תקשורת אלקטרואופטית", הוצאת מט"ח. ראו – מקורות אור בתקשורת אלקטרואופטית: עמ' 119–154; גלאים אופטיים: עמ' 155–182.

פרק 6: עיבוד תמונה

הספר "עיבוד ספרתי של תמונות", הוצאת מט"ח. ראו – אפיון תמונה: עמ' 11–15; ספרור תמונה: דגימה: עמ' 49–58, כימוי: עמ' 61–64; שיפור ניגודיות של תמונה: עמ' 71–92; פעולות סינון מרחביות: עמ' 93–124; פעולות גאומטריות: עמ' 161–167.

מערכי ניסוי ותרגילים ב-MATLAB

פרק 1: מבוא לאלקטרו אופטיקה

1. [ניסוי: מעגל גילוי אור](#)
2. אפשר להשתמש במערכי הניסויים שלהלן מתוך הספר "מערכות תקשורת – תקשורת אלקטרו אופטית: ניסויים ופרויקטים", הוצאת מט"ח:
 - ניסוי: החזרה של אור ושבירתו, עמ' 9–16.
 - ניסוי: נפיצה, התאבכות, עקיפה וקיטוב באור, עמ' 17–32.

פרק 2: מבוא ל-MATLAB

1. אתר מלווה - רגילי ה-MATLAB ושל המצגות למורה המופיעים באתר.
2. תרגילים בליווי הסברים מופיעים בספר "ניסויים בתכנת הדמייה מתמטית – חלק א'", הוצאת מט"ח.

פרק 5: תקשורת אלקטרו אופטית

- כדי להבין טוב יותר את המושגים התאורטיים אפשר להשתמש במערכי הניסויים שלהלן מתוך הספר "מערכות תקשורת – תקשורת אלקטרו אופטית: ניסויים ופרויקטים", הוצאת מט"ח:
- ניסוי: דיודה פולטת אור (דפ"א) – תכונות ושימושים, עמ' 75–95.
 - ניסוי: דיודת לייזר, עמ' 97–116.

תרגילים לדוגמה:

פרק 1: מבוא לאלקטרואופטיקה

האות הסינוסואידלי

לחצו על הקישור ל**[דוגמות של תרגילים](#)** מתוך אתר אלקטרואופטיקה.

תוכלו להכין דפי תרגילים באמצעות טפסים עם אפשרות של למידה עצמאית או עם אפשרות שליחת הפתרונות למורה.

שימו לב, את הנושאים הקשורים לשרטוט גרפים אפשר לבצע לאחר שהתלמידים יכירו את תוכנת MATLAB.

חיישני אור ומתמרים אלקטרואופטיים

1. מעגל LDR חוג פתוח.

2. מעגל LDR חוג סגור.

3. דף מפרט של פוטו-דיודה.

4. תכנון מעגל הכולל צמד: דפ"א (LED) ופוטו-טרנזיסטור.

אופטיקה גאומטרית ותופעות יסודיות של האור

1. **[ראיית עצמים, אפיון האור, ייצוג מהלך האור](#)**

2. **[חוקי החזרה](#)**

3. **[שבירת האור](#)**

4. **[עדשות](#)**

פרק 2: מבוא ל-MATLAB

לפניכם תרגילים ב-MATLAB, ולהם מערכים באתר:

להלן קישורים לתרגילים:

- [ניסוי בנושא הכרת סביבת העבודה ב-MATLAB](#)
- [ייצוגים גרפיים ב-MATLAB](#)
- [מספרים מרוכבים](#)
- [אות הרמוני מרוכב](#)
- [פירוק ספקטרלי של אות מאופנן AM](#)

פרק 3: תקשורת תקבילית

באתר המלווה יש שאלות ברמה בסיסית.

כאן מופיעות שאלות לדוגמה ברמת בחינות הבגרות:

שאלה 1

נתון האות: $X_{AM}(t) = 14\cos(\pi 10^6 t) + 6\cos(\pi 10^3 t)\cos(\pi 10^6 t)$

- א. חשבו את תדר האות הנושא ותדר אות המידע.
- ב. שרטטו ביד חופשית את צורת האות, בתלות בזמן.
- ג. חשבו את מקדם האפנון.
- ד. חשבו את נצילות השידור.

שאלה 2

נתון אות מאופנן AM, שמשוואתו:

$$X_{AM}(t) = 12 \cdot [1 + 0.2 \cdot \cos(6280 \cdot t)] \cdot \cos(6.28 \cdot 10^6 t)$$

הספקו של האות המאופנן הוא 12W.

- א. חשבו את רוחב הפס של האות המאופנן.
- ב. (1) חשבו את הספקו של האות הנושא.
(2) חשבו את הספקו של אות המידע.
- ג. שרטטו את ספקטרום התדרים של האות המאופנן. ציינו בשרטוטכם את התדר ואת העוצמה של כל אחד מקווי הספקטרום.

שאלה 3

אות נושא, שתדרו 800 kHz ועוצמתו 12 V, מאופנן תנופה (AM) על ידי אות סינוסאידלי שתדרו 2.5 kHz. מקדם האפנון הוא 0.8.

- א. חשבו את הערך המרבי ואת הערך המזערי של מתח האות המאופנן.
- ב. שרטטו את צורת האות המאופנן, בתלות בזמן. ציינו בשרטוטכם את הערכים שחישבתם בסעיף א.
- ג. שרטטו את ספקטרום התדרים של האות המאופנן. ציינו בשרטוטכם את התדר ואת העוצמה של כל אחד מקווי הספקטרום.
- ד. חשבו את רוחב הפס של האות המאופנן.

שאלה 4

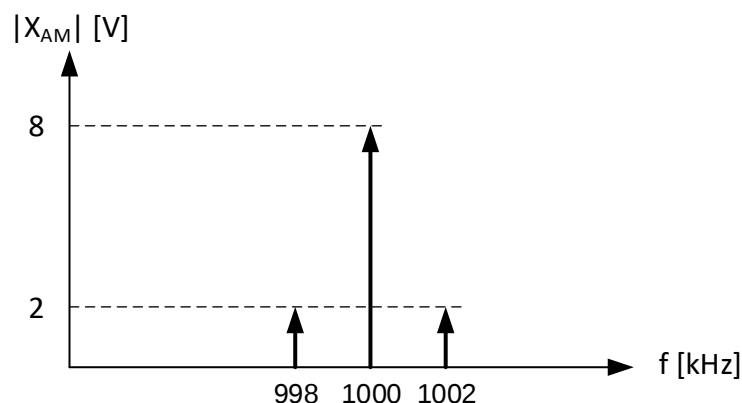
נתון אות המידע: $x_M(t) = 4 \cdot \cos(\pi \cdot 10^3 \cdot t)$ [V], המאפנן באפנון AM את אות הנושא:

$$x_C(t) = 10 \cdot \cos(3 \cdot \pi \cdot 10^6 \cdot t)$$
 [V]

- א. שרטטו את ספקטרום התדרים של האות המאופנן. ציינו בשרטוטכם את התדר ואת העוצמה של כל אחד מקווי הספקטרום.
- ב. חשבו את רוחב הפס של האות המאופנן.
- ג. חשבו את נצילות השידור.

שאלה 5

באיור מתואר ספקטרום של האות $X_{AM}(t)$.

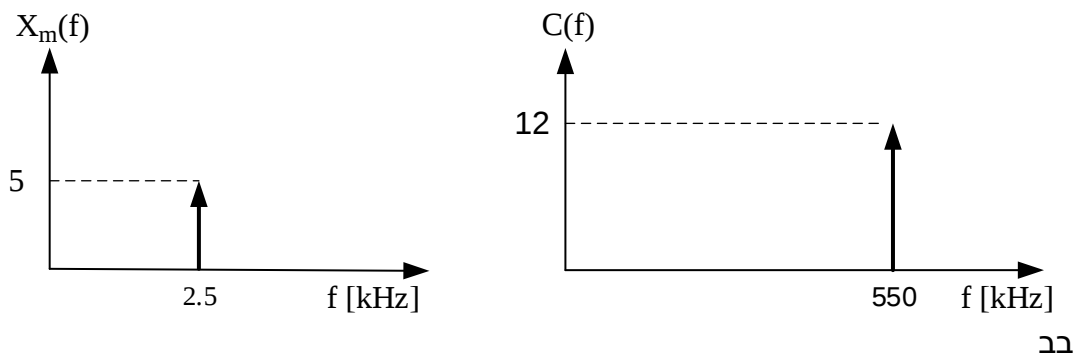


- א. כתבו את תדר האות הנושא ואת תדר האות המאפנן של האות $X_{AM}(t)$.

- ב. חשבו את רוחב הפס של האות המאופנ.
- ג. חשבו את מקדם האפנו.
- ד. שרטטו את צורת האות המאופנ, בתלות בזמן. ציינו בשרטוטכם את הערכים המרביים והמזעריים של האות המאופנ.
- ה. חשבו את נצילות השידור.

שאלה 6

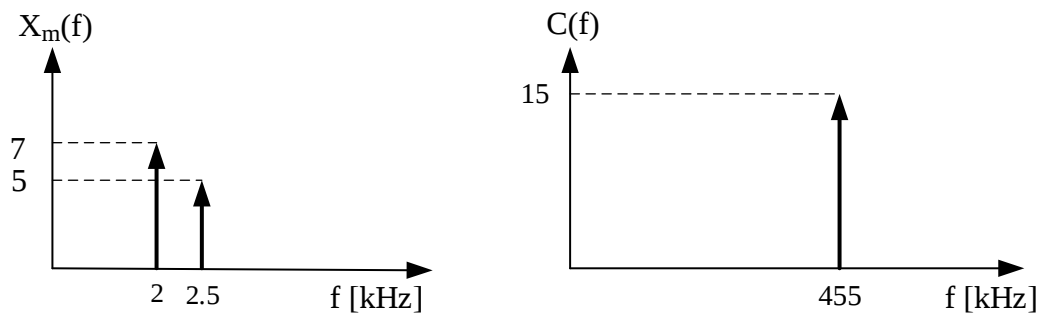
באיור מתוארים ספקטרום המתח של האות מאפנ המידע $X_m(f)$ וספקטרום המתח של האות הנושא $C(f)$. שיטת האפנון היא אפנון תנופה (AM). כמו כן, נתון שהתנגדות האנטנה במשדר היא 8Ω .



- א. כתבו את המשוואה המתמטית של אות המידע $x_m(t)$, אות הנושא $c(t)$ והאות המאופנ $x_{AM}(t)$, בתלות בזמן.
- ב. חשבו את רוחב הפס של האות המאופנ.
- ג. חשבו את הספק האות הנושא.
- ד. חשבו את הספק האות המאופנ.
- ה. חשבו את נצילות השידור.

שאלה 7

באיור מתוארים ספקטרום המתח של אות מאפנ מידע $X_m(f)$, המורכב משני אותות סינוסואידליים, וספקטרום המתח של האות הנושא $C(f)$. שיטת האפנון היא אפנון תנופה (AM).



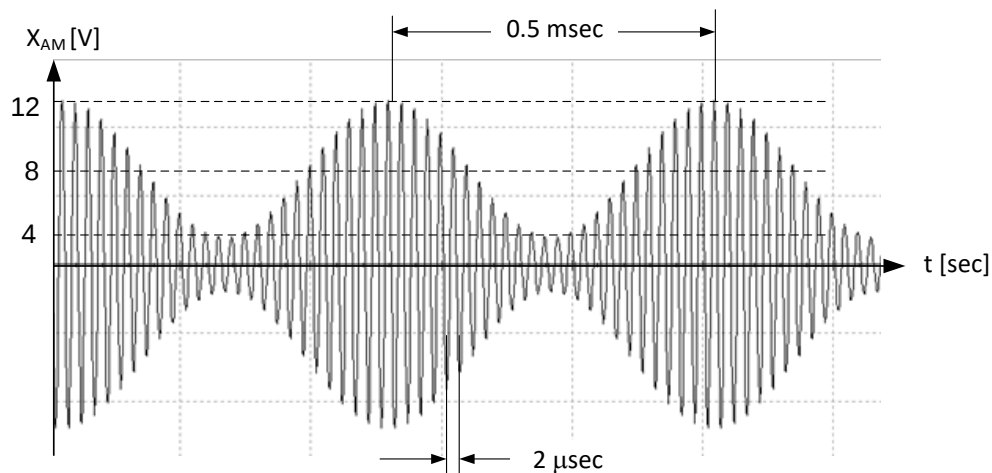
- א. כתבו את המשוואה המתמטית של אות המידע $x_m(t)$, אות הנושא $c(t)$ והאות המאופן $X_{AM}(t)$, בתלות בזמן.
- ב. חשבו את רוחב הפס של האות המאופן.
- ג. שרטטו באמצעות מחשב את אות המידע $x_m(t)$ בזמנים $0 < t < 2$ msec.

שאלה 8

- נתון אות מאופן AM, שמשוואתו: $X_{AM}(t) = 12 \cdot [1 + 0.9 \cdot \cos(6280 \cdot t)] \cdot \cos(628 \cdot 10^5 t)$.
- הספקו של האות המאופן הוא $P_{AM} = 15W$.
- א. חשבו את רוחב הפס של האות.
 - ב. חשבו את הספק האות הנושא.
 - ג. שרטטו את ספקטרום התדרים של האות המאופן. ציינו בשרטוטכם את התדר ואת העוצמה של כל אחד מקווי הספקטרום.
 - ד. חשבו את נצילות השידור.
 - ה. חשבו את מקדם האפנון הנדרש כדי לקבל נצילות שידור של 10%.

שאלה 9

באיור מתואר אות מאופן AM, בתלות בזמן.



- א. חשבו את התדר של אות המידע ואת עוצמתו.
- ב. חשבו את התדר של האות הנושא ואת עוצמתו.
- ג. חשבו את רוחב הפס של האות המאופן.
- ד. חשבו את מקדם האפנון.
- ה. שרטטו את הספקטרום של האות המאופן. ציינו בשרטוטכם ערכים רלוונטיים.

שאלה 10

- א. שרטטו תרשים מלבנים עקרוני של משדר AM, והסבירו את תפקידו של כל אחד ממרכיביו.
- ב. שרטטו תרשים מלבנים עקרוני של מקלט AM ישיר, והסבירו את תפקידו של כל אחד ממרכיביו.

שאלה 11

משדר FM מפיק אות נושא בתדר 110 MHz ובעוצמה של 15 V. סטיית התדר המרבית של האות המאופן היא 25 KHz ומקדם האפנון הוא 8.

- א. חשבו את תדר אות המידע.
- ב. חשבו את רוחב הפס של האות המאופן.
- ג. כתבו את משוואת האות המאופן כפונקציה של הזמן.

שאלה 12

נתון אות מאופנן אפנון FM, שמשוואתו:

$$X_{FM}(t) = 20 \cdot \sin[2 \cdot \pi \cdot 95 \cdot 10^6 t + 7 \cdot \cos(6 \cdot \pi \cdot 10^4 t)]$$

- א. חשבו את רוחב הפס של האות המאופנן.
- ב. חשבו את סטיית התדר המרבית.
- ג. חשבו את הספק השידור בהינתן שהתנגדות האנטנה היא 50Ω .

שאלה 13

נתונים אות המידע: $x(t) = 5 \cdot \cos(1256t)$

והאות הנושא: $c(t) = 3 \cdot \cos(16\pi \cdot 10^4 t)$

אות המידע מאפנן את האות הנושא באפנון FM, עם גורם אפנון $\beta = 5$.

- א. מהי סטיית התדר?
- ב. מהו קבוע האפנון k_f ? תזכורת – $f_{c(max)} = k_f \cdot A_m$.
- ג. כתבו את המשוואה של התדר הרגעי $f(t)$.
- ד. מהו התדר המרבי? מהו התדר המזערי?
- ה. כתבו את המשוואה של האות המאופנן $X_{FM}(t)$.
- ו. חשבו לפחות נקודת זמן אחת שבה אות המידע מגיע לערכו המרבי, לפחות נקודת זמן אחת שבה אות המידע מגיע לערכו המזערי ולפחות נקודת זמן שבה אות המידע מגיע לערך אפס.
- ז. ציינו את ערכו של התדר הרגעי של האות המאופנן בכל אחד מזמנים אלו.

שאלה 14

- א. שרטטו תרשים מלבנים עקרוני של משדר FM, והסבירו את תפקידו של כל אחד ממרכיביו.
- ב. שרטטו תרשים מלבנים עקרוני של מקלט FM בסיסי, והסבירו את תפקידו של כל אחד ממרכיביו.

שאלה 15

משדר FM כולל את המרכיבים: מתנד מבוקר מתח (VCO), כופל תדרים ומגבר הספק. המתנד מבוקר המתח הוא אפן FM, והתדר המרכזי שלו הוא 5 kHz. מספקים למתנד אות מידע, שמשוואתו: $x(t) = 4 \cos(2\pi \cdot 10^3 t)$. עקב כך, משתנה התדר במוצא ה-VCO ב- $\pm 40 \text{ Hz}$, כופל התדרים מכפיל את התדר פי 1,500, והתנופה שנמדדת במוצא המשדר היא 10 V.

- מהי סטיית התדר המרבית במוצא המשדר?
- חשבו את מקדם האפנון.
- חשבו את רוחב הפס המשודר.
- חשבו את הספק האות המאופן.

פרק 4: תקשורת ספרתית

שאלה 1

- הגדירו את המושגים: כימוי, שגיאת כימוי.
- הציעו שיטה או דרך, אחת או יותר, להקטנת שגיאת הכימוי.

שאלה 2

נתונה סדרת הנתונים 001 100 010 011 110 101. הנתונים משודרים משמאל לימין. שרטטו את צורת האות הספרתי המאופן, לפי התנאים האלה:

- האות מאופן בשיטת אפנון רוחב דופק (PWM).
- האות מאופן בשיטת אפנון דופק מקודד (PCM).

בשני השרטוטים הקפידו על קנה מידה מתאים.

שאלה 3

מספקים לאפן כלשהו אות מידע חסום סרט, שהתדר הגבוה שלו בספקטרום התדרים הוא 6 kHz.

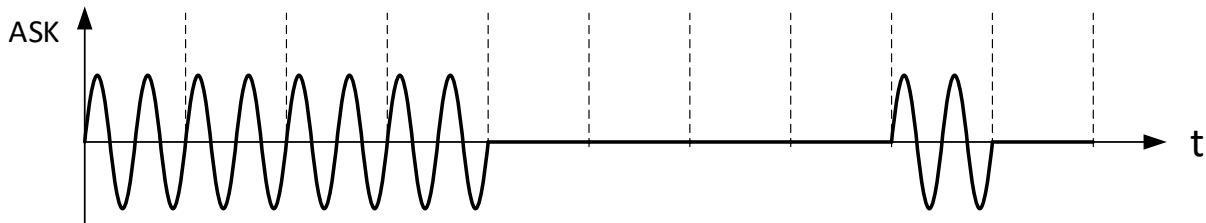
- חשבו מה צריך להיות תדר הדגימה המינימלי כדי שיהיה אפשר לשחזר את האות המקורי מדגימותיו.
- חשבו מה צריך להיות מרווח הדגימה המרבי בין שתי דגימות עוקבות.

שאלה 4

- א. שרטטו תרשים מלבנים עקרוני של מערכת ליצירת אות בשיטת מפתוח תנופה (ASK).
- ב. ציינו את שמה ואת תפקידה של כל אחת מן היחידות המרכיבות את המערכת ליצירת אות בשיטת מפתוח תנופה (ASK).

שאלה 5

באיור מתואר אות מידע ספרתי המשודר בשיטת מפתוח תנופה (ASK).



- א. כתבו את אות המידע המשודר.
- ב. שרטטו את צורת האות בשיטת מפתוח FSK.
- ג. שרטטו את אות המידע בקידוד RZ.

פרק 6: עיבוד תמונה

לפניכם תרגיל מסכם ב-MATLAB.

בחרו תמונה בגודל 512×512 , בעלת 256 רמות אפור. על התמונה עליכם לבצע את המשימות האלה:

1. הצגת התמונה המקורית.
2. הצגת היסטוגרמה של רמות האפור.
3. הצגת התמונה בשחור לבן בלבד או ב-2 רמות אפור בלבד.
4. הצגת התמונה ב-16 רמות אפור בלבד.
5. יצירת תמונה המייצגת את התשליל (negative) של התמונה המקורית.
6. ביצוע פעולות גאומטריות:
 - i. הקטנה של התמונה לחצי מגודלה, לרבע מגודלה ולשמינית מגודלה.
 - ii. הגדלה של התמונה באמצעות אינטרפולציה לינארית.
 - iii. סיבוב התמונה ב- 90° וב- 45° .
7. חידוד קצוות התמונה באמצעות מסכות שונות, והצגת התמונה המתקבלת.
8. העברת התמונה דרך מסנן מעביר גבוהים ומסנן מעביר נמוכים.

חלופה 2 – בקרה ורובוטיקה

120 שעות עיוניות + 60 שעות התנסות

רציונל כללי למקצוע ההתמחות

מטרות תכנית הלימודים במקצוע מערכות בקרה ממוחשבות ורובוטיקה, הן:

1. להציג תמונה מקיפה של עולם האלקטרוניקה.
2. ליישם נושאים שנלמדו בתכנית הלימודים הבסיסית ובמקצועות התמחות אחרים, הכוללים פרקים במכניקה, בבקרה, ברובוטיקה, באלקטרוניקה ובתכנות.
3. להקנות לתלמיד את הידע והמיומנויות הדרושים בתחום, כדי שיהיה מסוגל להגיש פרויקט גמר בסוף לימודיו.

התכנית מתמקדת בשני נושאים מרכזיים: בקרה ממוחשבת ורובוטיקה. נושאים אלה מעניינים, אפשר לעשות בהם מגוון רחב של פרויקטים, והם אף חלק מרכזי מעולנו.

כיום התחומים שתופסים תאוצה רבה הם: רכבים אוטונומיים, שמערכות בקרה מתוככמות משולבות בהם; האינטרנט של הדברים (IoT), הכוללת מערכות חיישנים מתחומים שונים; רובוטיקה ומערכות בקרה לסוגיה המתקשרות דרך הרשת; ועוד.

מצד אחד התכנית מקיפה את כל הנושאים העקרוניים להתמחות, ומצד שני היא מאפשרת למורה גמישות וחופש בחירה באמצעים למימושם ולהמחשתם. למורים יש חופש בחירה רחב להשתמש בסוגי חיישנים שונים: אנאלוגיים או דיגיטליים, בפרוטוקולים לתקשורת עם מודולים בשיטות: RS-232, SPI, I2C, שהן בסיס לחיבור חיישנים לבקרים ומהם לרשת. בתחום הרובוטיקה התכנית מאפשרת התנסות עם מגוון מפעילים כמו: מנועי DC, מנועי סרבו, מנועי צעד, וכן עם מגוון חיישנים הרלוונטיים לתחום הרובוטיקה.

בתכנית הלימודים יש מרכיב התנסותי משמעותי – על התלמידים לבנות מוצר טכנולוגי בתחום הבקרה הממוחשבת. בעצם, בלמידה מבוססת פרויקטים, אנו מטפחים למידה משמעותית ומקווים לעודד תלמידים רבים להמשיך בלימודים טכנולוגיים.

הערות לתכנית הלימודים

נושאי הבקרה הקלאסית (פרק 1) מופיעים בפירוט בספר מערכות מחשוב ובקרה – מערכות בקרה, ספר דיגיטלי ללא עלות (ספק: משרד החינוך), הכולל דוגמאות ותרגילים. אלה הנושאים:

- מבוא למערכות בקרה
- חיישנים ומתמרים במערכות בקרה
- מפעילים ושובם במערכות בקרה
- סוגי בקרים

גם חלק מנושאי הרובוטקה (פרק 3) מופיעים בספר הנ"ל, ואלה הם:

- חיישנים במערכות רובוטיות
- מנועים ובקרת המנועים

משום שנושאים רבים מופיעים בספר הנ"ל, הפרק שלפניכם מתמקד בבקרה ממוחשבת בלבד וכולל את נושא הבקרה בחוג סגור באמצעות מחשב. פרק זה תמציתי, ולכן מומלץ לנקוט גישה של תיאור דוגמאות של מערכת ממוחשבת הכוללת את הבקר, את החיישן ואת המפעיל.

- קריאה מחיישנים שונים: אנלוגיים באמצעות ADC, פרוטוקולים טוריים, תדר, רוחב פולס. כדי לחבר את הנושא לפרויקטים ולתחום המיקרו-בקרים (ארדואינו), מומלץ להציג חיישן מכל סוג, להסביר את העיקרון הפיזיקלי של החיישן (תחום פיזיקלי – אופטי, מכני, תרמי וכדומה), את סוג החיבור, וכן להציג קוד לקריאת הנתון של החיישן.
- הצגת מפעילים שונים: מנוע DC, רכיב אור, רכיב חום, PWM (DC), זווית הצתה (SCR, TRIAC), מנועי סרבו וצעד; הסבר פעולת המפעילים (מופיע בספר) והצגת קוד להפעלה של כל מפעיל (אלגוריתם וקוד).
- כתיבת קוד ליצירת בקרה בחוג סגור, הכולל מפעיל, בקר וחיישן ויצירת בקורות שונות: בקרה דו מצבית, בקרה רציפה, בקרה PID, עבור דוגמאות שונות של מערכות בקרה. מומלץ להביא דוגמאות, לנתח אותן מרמת התכנון, הפרמטרים של החיישן והמפעיל, סוגי התקשורת, סוג הבקרה ועוד; וכן לכתוב תרשים מלבנים, תרשים זרימה וקוד. כל אלה הם כלים מעולם הבקרה והמחשב שישתלבו בתכנון פרויקט הגמר של התלמידים.

בקרה ממוחשבת – רקע ודוגמאות

בקרה דו מצבית – On-off control

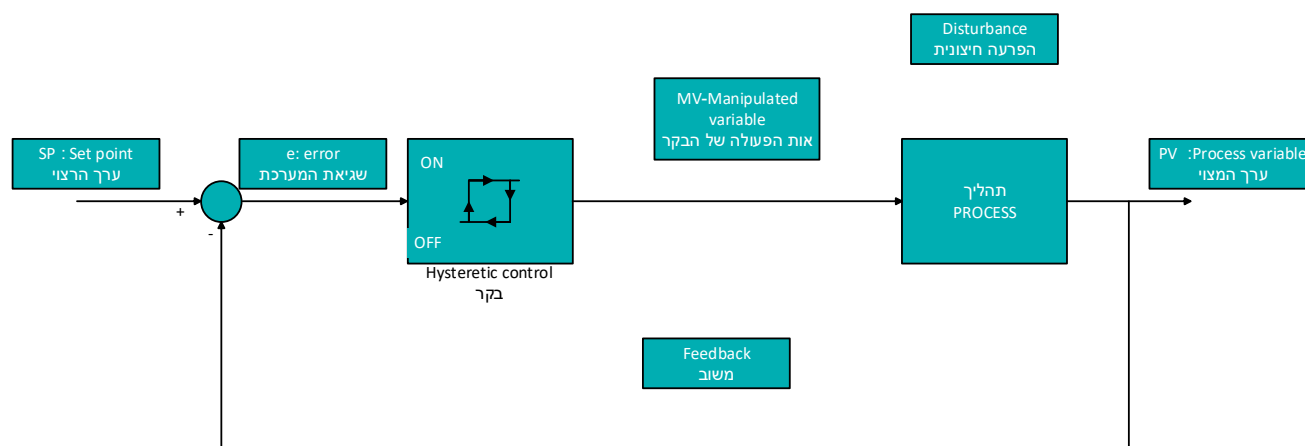
יעדים לימודיים:

- רקע
- דוגמה למערכת בקרה דו מצבית
- הבנת המערכת, בקר ורכיבי הפעלה. תיאור מלבני של המערכת הכוללת רכיב מדידה (חיישן) ורכיבי הפעלה
- סוג התקשורת של החיישן והתאמתו למיקרו-בקר (אנלוגי באמצעות ממיר אנלוגי לדיגיטלי ADC, דיגיטלי באמצעות תקשורת טורית או מדידת רוחב פולס, תדר ועוד)
- בקרה של רכיבי בקרה של מפעילים דו מצביים באמצעות רכיבי מיתוג, כמו ממסר או טרנזיסטור
- אלגוריתם של הבקרה דו מצבית
- מימוש האלגוריתם באמצעות תרשים זרימה ובאמצעות קוד לבקר ארדואינו

רקע

בקרה דו מצבית היא הבקרה בחוג סגור (מערכות בקרה, ספר דיגיטלי, משרד החינוך, עמ' 25) הפשוטה ביותר והשימושית ביותר במכשירים ביתיים, שבהם האלמנט הפשוט ביותר לביצוע בקרה זו הוא תרמוסטט הקיים במכשירי חימום רבים (מערכות בקרה, ספר דיגיטלי משרד החינוך, עמ' 22).

בתרשים המלבנים שלפניכם מערכת בקרה בחוג סגור דו מצבית:



תיאור האותות והמלבנים:

SP: Set Point – אות הכניסה (משתנה מבקר) של המערכת המייצג את הערך הרצוי של המערכת.

PV: Process Variable – אות המוצא (משתנה מבוקר) של המערכת המייצג את הערך המצוי של המערכת.

e: error – אות השגיאה של המערכת המבטא את ההפרש בין הערך הרצוי לערך המצוי.

MV: Manipulated Variable – אות מוצא של הבקר התלוי בשגיאה ובסוג הבקר.

Disturbance – הפרעה חיצונית המשפיעה על מוצא המערכת.

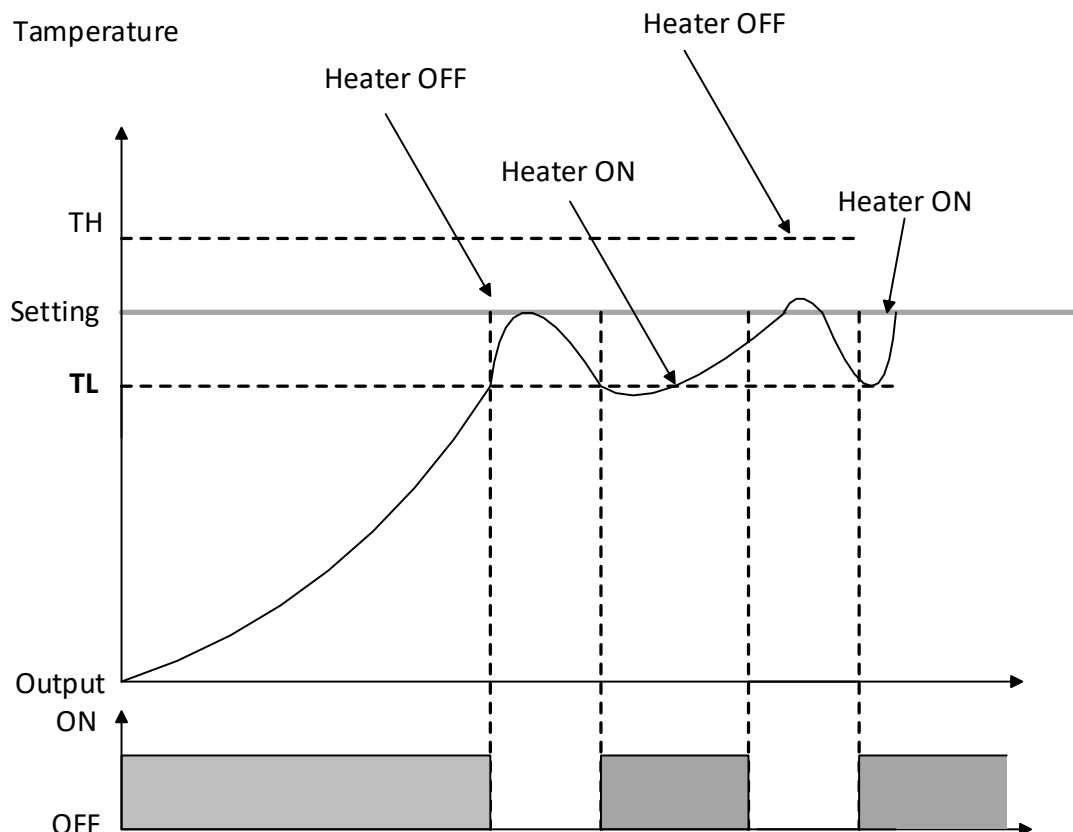
Feedback – אות המשוב.

Hysteretic Control – בקר המערכת המקבל את השגיאה ומספק אות מתאים בהתאם לעקומת החשל של הבקר.

Process – מתאר את תהליך המערכת המספק את הערך המצוי של המערכת בהתאם לאות שמקבל מהבקר ולהפרעות של המערכת.

מערכת בקרה זו מאופיינת באופיין החשל או היסטריזיס (מערכות בקרה, ספר דיגיטלי, משרד החינוך, עמ' 285) כדי שאות המוצא PV ינוע בין שני ערכים סביב הערך הרצוי SP. למשל הטמפרטורה של מנהץ שכוון ל-80 מעלות תנוע בין $80 - \Delta T$ (TL) לבין $80 + \Delta T$ (TH). ΔT הוא הערך שנבחר על ידי המתכנן.

לדוגמה, הגרף שלפניכם מתאר את פעולת החימום של המערכת בציר הזמן. במצב ON יש חימום עד לטמפרטורה TH, ואז המערכת עוברת למצב OFF ויש קירור טבעי עד לטמפרטורה TL.

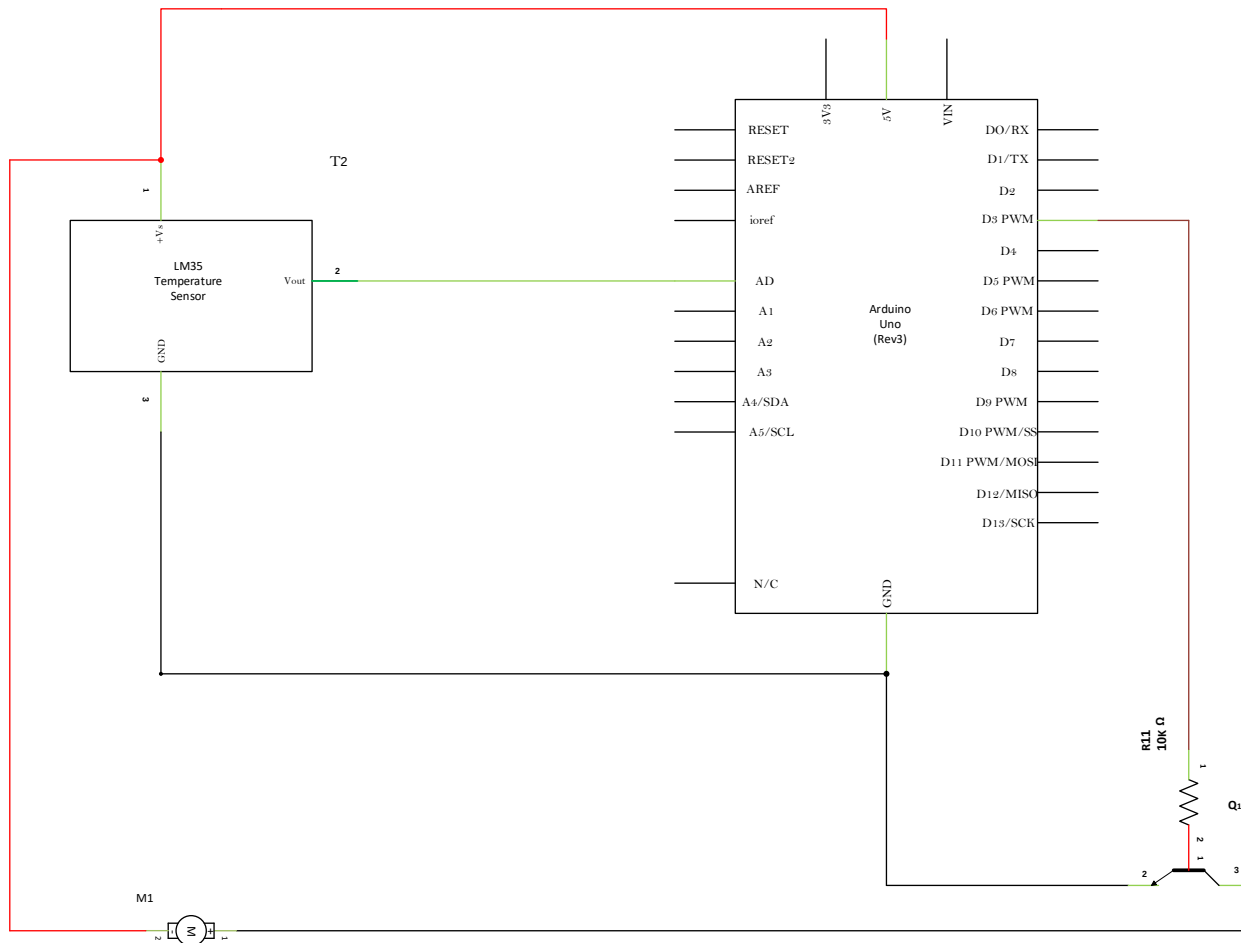


גם במקרה של בקרה ממוחשבת, קל לבקר מערכת כזו משום שיש צורך לקרוא את המידע מהחיישן ולהפעיל את אלמנט הבקרה בשני מצבים בלבד.

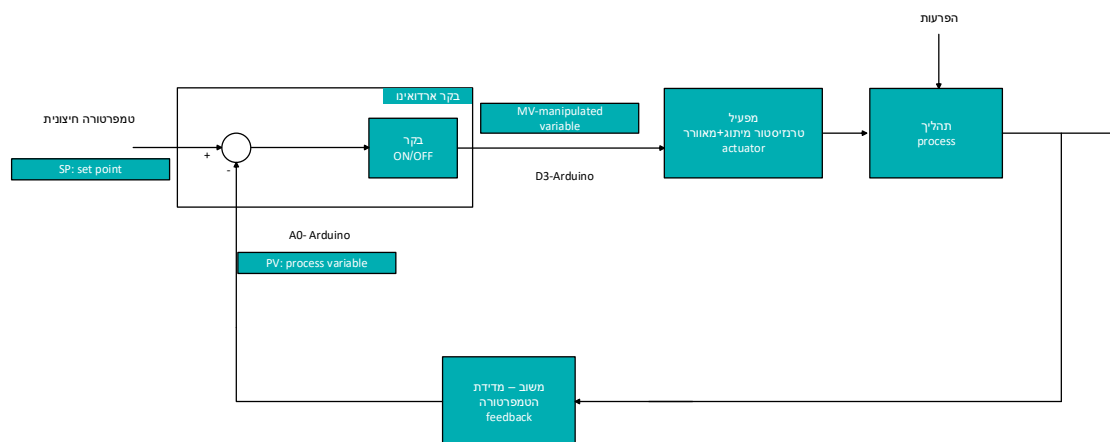
דוגמה למערכת בקרת טמפרטורה באמצעות בקר ארדואינו

להלן מערכת בקרת טמפרטורה דו מצבית באמצעות בקר ארדואינו. המערכת כוללת חיישן טמפרטורה אנלוגי LM35 (על החיישן לומדים בנושאים הקשורים למיקרו-בקרים) ומאורר המופעל בהתאם לערך הטמפרטורה. המאורר פועל כאשר הטמפרטורה מעל $TH=30^{\circ}$, ונכבה כאשר הטמפרטורה יורדת מתחת ל- $TL=25^{\circ}$.

בתרשים שלפניכם חיישן הטמפרטורה LM35 מתחבר לכניסה האנלוגית A0 של בקר הארדואינו, והמאורר מחובר דרך טרנזיסטור מיתוג ליציאה הדיגיטלית D3 של בקר הארדואינו.



אפשר גם לתאר את המערכת הנ"ל באמצעות תרשים מלבנים של מערכת בקרה בחוג סגור:



תיאור המבלינים:

משוב – חיישן טמפרטורה.

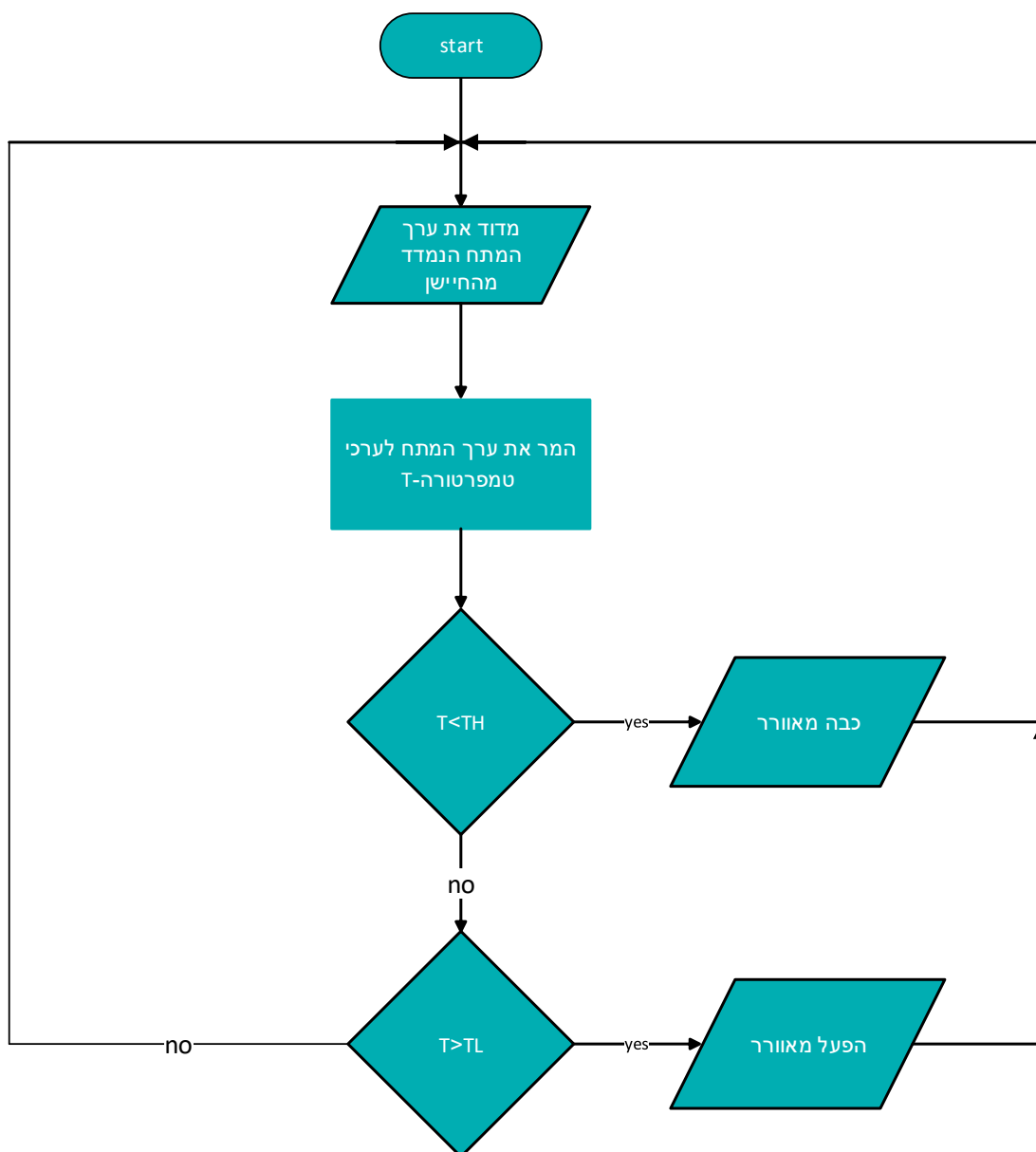
בקר יחידת ההשוואה – מיקרו-בקר ארדואינו המקבל את המתח האנלוגי מחיישן הטמפרטורה, ממיר אות למידע דיגיטלי באמצעות ממיר A/D ומחשב את השגיאה.

מפעיל – כולל את טרנזיסטור המיתוג המפעיל את המאורר.

תהליך – כולל את כל היחידות המשפיעות על חימום האזור (כמו גודל החדר, בידוד ועוד).

אלגוריתם המערכת

תהליך הבקרה מתבצע באמצעות תוכנה הקובעת את פעולת המערכת. את האלגוריתם אפשר לתאר באמצעות תרשים זרימה ובאמצעות קוד הכתוב באחת משפות התוכנה.



קוד לבקר ארדואינו

```
#define Setpoint 30
#define Hysteresis 10
#define sensorPin A0    // Pin sensor LM35
#define fanPin 3        // Pin FAN

float temperature;
float TH = Setpoint + (Hysteresis / 2), TL = Setpoint - (Hysteresis / 2);

void setup() {
    Serial.begin(9600);    // initialisation of the serial connection
    pinMode(fanPin, OUTPUT);    // pin is a output
}

void loop() {
    temperature = analogRead(sensorPin); // reading analog sensor value
    temperature = temperature * 0.488;    // correcting to °C

    if (temperature > TH) {
        // switch FAN on, if temperature is higher than TH
        digitalWrite(fanPin, HIGH);
    }
    else if (temperature < TL) {
        // switch FAN off, if temperature is lower than TL
        digitalWrite(fanPin, LOW);
    }
    // send the temperarue to the serial monitor
    Serial.print(temperature); Serial.println(" °C");
    delay(500);    // wait 0.5sec
}
```

תרגול

1. מדוע המערכת לבקרת טמפרטורה דו מצבית באמצעות בקר ארדואינו היא מערכת בחוג סגור?
2. כיצד מזהים שהמערכת כוללת בקרה דו מצבית?
3. עיינו בדפי המפרט של החיישן LM35, ומצאו את הקשר בין מתח מוצא של החיישן לבין טמפרטורת החיישן?
4. עיינו בתוכנה בפקודה: $temperature = temperature * 0.488$, והסבירו את הערך המספרי 0.488.
5. מדוע יש צורך בחיבור הטרנזיסטור למאוורר?
6. הסבירו את תופעת החשל בבקרה זו, והסבירו כיצד היא מתממשת (תוכנה, חומרה).
7. כיצד תיראה צורת הגל של הטמפרטורה בציר הזמן?
8. הסבירו מה מפריע למערכת, וכיצד ההפרעה תשפיע על צורת הגל של הטמפרטורה בציר הזמן.
9. תכננו מערכת בקרת אור דו מצבית, הכוללת חיישן אור LDR, נורה ובקר ארדואינו. במערכת שתתכננו הנורה דולקת כאשר עוצמת האור נמוכה מ-50% מהערך המקסימלי של האור, וכבויה כאשר הערך שווה 50% מהערך המקסימלי של האור או קטן ממנו.
 - א. שרטטו תרשים של המעגל.
 - ב. שרטטו תרשים מלבנים של מערכת הבקרה.
 - ג. שרטטו תרשים זרימה המתאר את אלגוריתם המערכת.
 - ד. כתבו קוד לבקר ארדואינו.

בקרה רציפה: בקרה P (Proportional control)

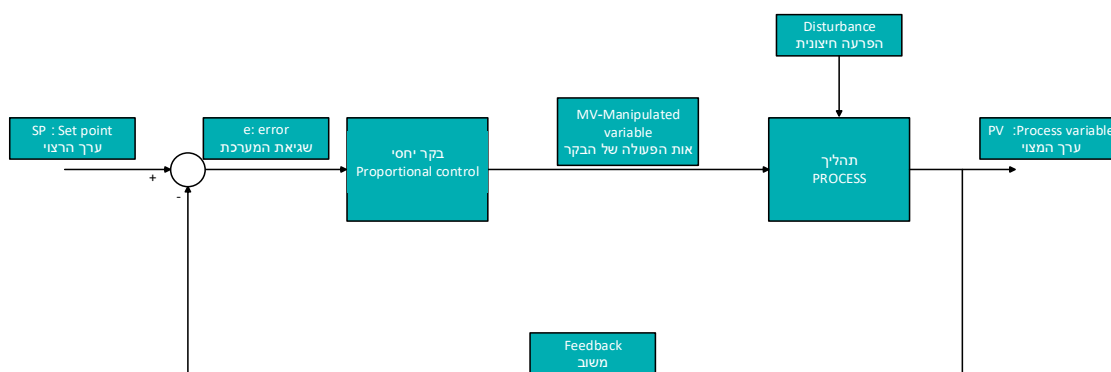
יעדים לימודיים:

- רקע
- הצגת דוגמה למערכת בקרה מסוג זה
- הבנת המערכת, תיאור מלבני של המערכת הכולל רכיב המדידה (חיישן) בקר ורכיבי הפעלה
- סוג התקשורת של החיישן והתאמתו לבקר (אנלוגי באמצעות ממיר אנלוגי לדיגיטלי ADC, דיגיטלי באמצעות תקשורת טורית אומדית רוחב פולס, תדר ועוד)
- בקרה של רכיבי הפעלה רציפה
- אלגוריתם של הבקרה הרציפה
- מימוש האלגוריתם באמצעות תרשים זרימה ובאמצעות קוד לבקר ארדואינו

רקע

בסעיף זה נלמד כיצד מבקרים תהליך בצורה רציפה, לעומת בקרה דו מצבית שבה יש שני מצבים בלבד. בבקרה רציפה הבקר מספק ערכים משתנים בין 0 ל-100%, ובבקרה הדו מצבית, כאמור, הבקר מספק שני מצבים בלבד, והם: 0 או 100%.

בתרשים שלפניכם מערכת הבקרה הכוללת את בקר היחסי P.



במערכת המתוארת בתרשים אות מוצא הבקר יחסי באופן ליניארי לשגיאה בין הערך הרצוי (SP: Set Point) לערך המצוי (PV: Process variable). כדי להקטין שגיאה זו מעלים את הגבר הבקר, דבר העלול לגרום לאי יציבות המערכת. פתרון לבעיה הוא שימוש בבקרה מסוג I, ועליה יוסבר בהמשך.

ביטוי לבקר

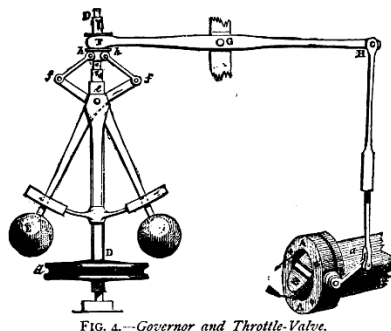
$$m(t) = K_P e(t) + m_0$$

K_P – הגבר הבקר

$e(t)$ – שגיאת המערכת, הפרש בין ערך רצוי לערך מצוי $e=SP-PV$

m_0 – כיוול המוצא לערך התחלתי רצוי עם שגיאה 0

אחת הדוגמאות הקלאסיות הראשונות לבקרה רציפה, היא מערכת מכנית שהשתמשו בה במנועי הקיטור: fly-ball governor, שנועדה לבקר את מהירות רכבת הקיטור.



התמונה מאתר: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/Centrifugal_governor.png

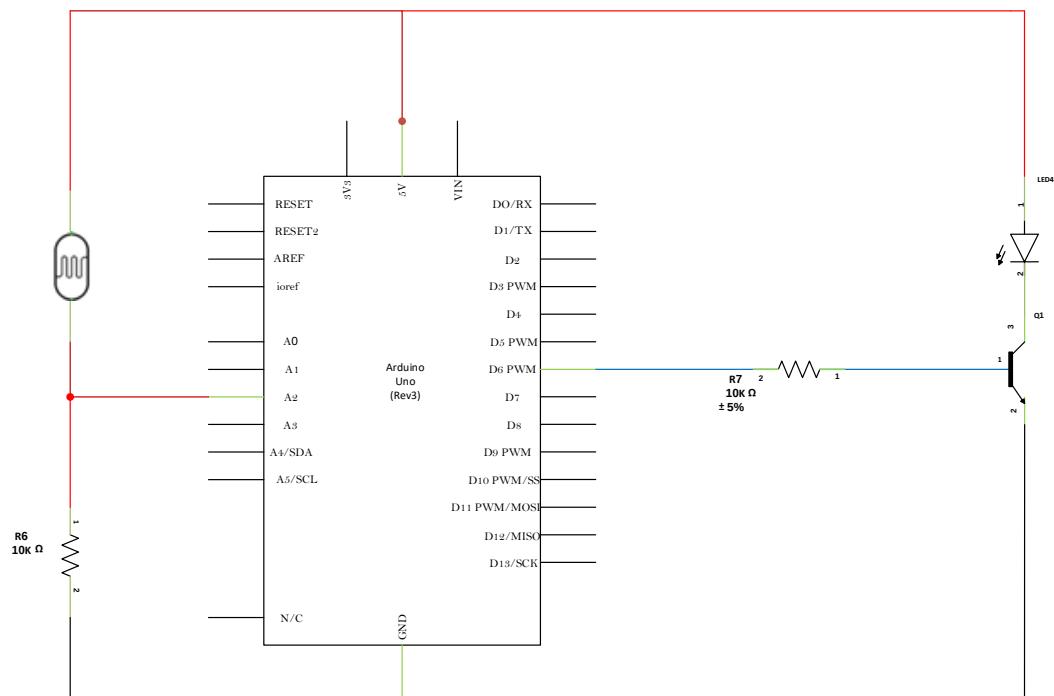
במערכת זו, אם מהירות רכבת הקיטור גדלה בגלל תנאי השטח, מהירות הסיבוב של המנוע תגדל בהתאם. הכוח הצנטריפוגלי ירים את הכדורים בהתאם למהירות, יגרום לשסתום להיסגר וכך יוריד מהירות המנוע.

אם מערכת הבקרה היא חשמלית, השליטה על הספק העומס (מנוע, נורה, גוף חימום ועוד) מתבצעת באמצעות ממירי מתח ישר DC to DC convertor, אפנון רוחב פולס PWM במעגלי DC, רכיבי הצתה אלקטרוניים, כמו Triac ו-SCR במעגלי AC ועוד (נושאים אלה נלמדים באלקטרוניקה ובמיקרובקרים).

לדוגמה במערכת לבקרת אור, הפעלת רכיב התאורה נעשית באמצעות אות PWM המסופק על ידי הבקר (מחשב) וחיישן אור LDR המודד, לצורך בקרה, את עוצמת ההארה. הבקרה תהיה רציפה (אף על פי שלאות PWM יש מספר סופי של 256 רמות, נוכל להתייחס אל הבקרה כאל כמעט רציפה) ותדאג לכך שכל שרמת ההארה תהיה גבוהה יותר, תאורת ה-LED תקטן בהתאמה.

דוגמה למערכת בקרת אור יחסית באמצעות בקר ארדואינו

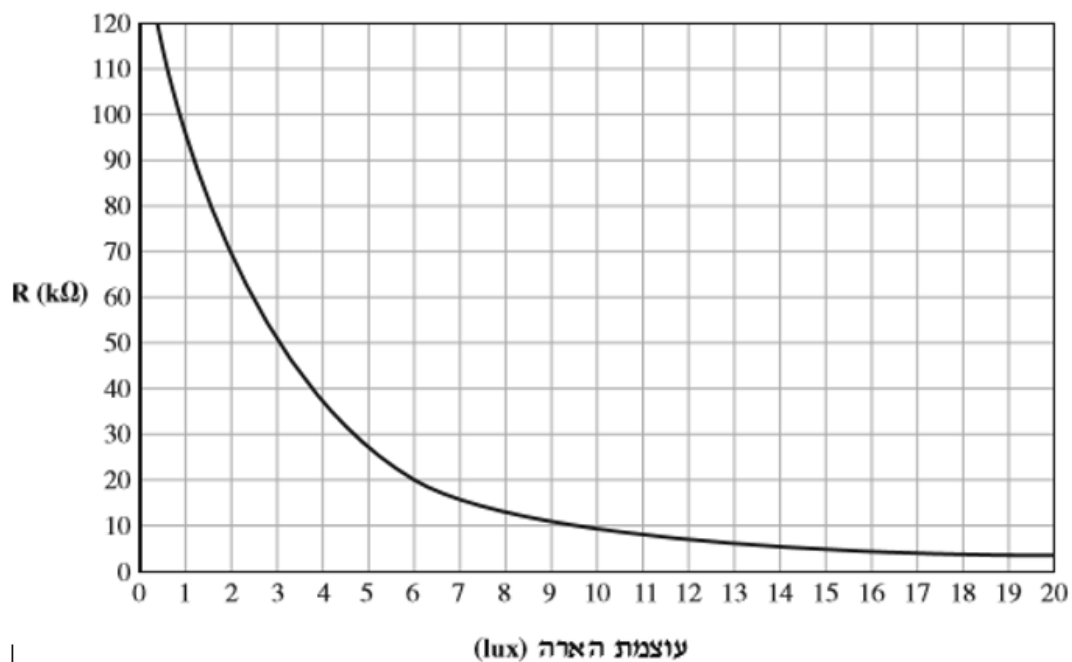
בתרשים שלפניכם מופיעה מערכת לבקרת אור באמצעות בקר ארדואינו.



המערכת מודדת את רמת ההארה באמצעות חיישן LDR המחובר לנגד בטור, כדי להמיר את שינוי ההתנגדות בשינוי מתח. מתח זה הוא יחסי לעוצמת ההארה – ככל שעוצמת ההארה גדולה יותר, המתח גדול יותר. בקר הארדואינו מספק, בהתאם למתח יחסי לעוצמת ההארה אות PWM לנורית LED דרך טרנזיסטור מיתוג. אות ה-PWM קובע את הספק נורית ה-LED ולכן גם את עוצמת הארת הנורית. אלגוריתם הבקרה יתבצע על פי תוכנת הבקר.

חיישן LDR

חיישן LDR משמש במערכת כרכיב למדידת עוצמת האור לצורך הבקרה הרציפה. הגרף שלפניכם מתאר את הקשר בין התנגדות החיישן לעוצמת האור ביחידת lux . שינוי ההתנגדות מומר לשינוי המתח באמצעות המעגל הכולל נגד המחובר אליו בטור.

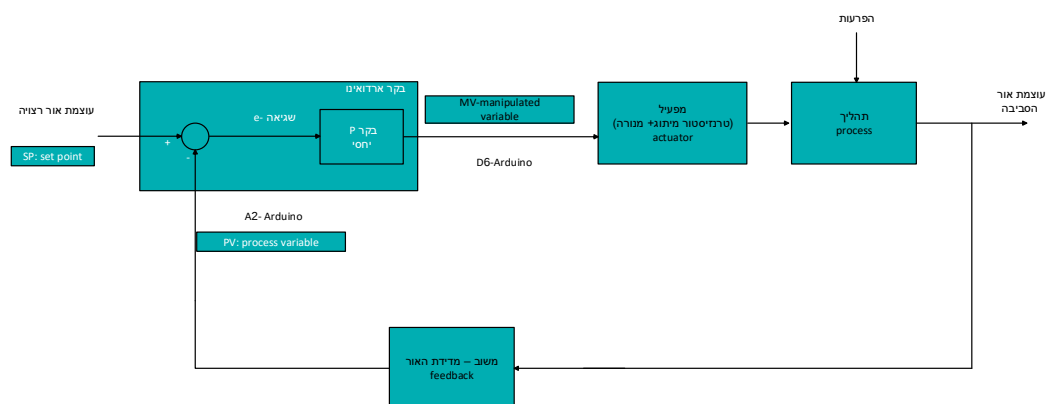


בקישור שלפניכם יש הסבר על חיישן LDR, וכן דוגמאות ותרגילים:

<http://archive.c3.ort.org.il/Apps/WW/page.aspx?ws=c95853ea-7439-4431-b760-fa7e35c2dc61&page=3e98e78a-2822-41a6-a11b-f76b8cd85ab4&fol=e7555278-7aee-412f-a5ae-d838a2e19841>

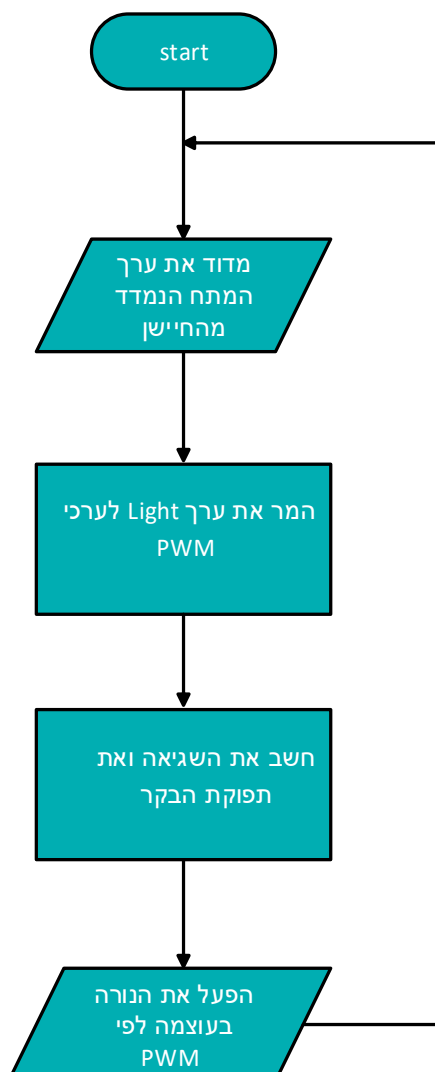
תרשים הבקרה

תיאור המערכת דומה לבקרה הדו מצבית שהזכרנו. ההבדל הוא ביחידת הפעלת העומס – LED. במקרה זה נקבל רצף של ערכים (בבקר ארדואינו 256 מצבים לפי 8 סיביות) ולא של שני מצבים בלבד.



תרשים זרימה

בבקרה רציפה יש צורך לספק למפעיל אות היחסי לשגיאה לפי הגבר K שנקבע לבקר P .



קוד לבקר ארדואינו

```
#define Setpoint 100 // 0 to 255
#define K 1

int ldrPin = A2;    // select the input pin for LDR
int ledPin = 6;     // select the pin for the LED
int lightValue;    // variable to store the value coming from the LDR
int error, ControOut;

void setup() {
    // declare the ledPin as an OUTPUT:
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

void loop() {
    // read the value from the sensor(max -1023)
    // and convert to PWM(max-255) , 1023/255=4
    lightValue = analogRead(ldrPin) / 4;
    error = Setpoint - lightValue;
    ControOut = K * error;
    if (ControOut > 255) ControOut = 255;
    if (ControOut < 0) ControOut = 0;
    // control PWM
    analogWrite(ledPin, 255 - ControOut);

    delay(500);
}
```

שאלות

1. הסבירו את ההבדל בין בקרה דו מצבית לבקרה רציפה.
2. הסבירו את עיקרון הבקרה במערכת בקרת אור רציפה באמצעות בקר ארדואינו.
3. עיינו בגרף חיישן ה-LDR, וחשבו את המתח המסופק לבקר הארדואינו כאשר עוצמת ההארה נעה בין 2lux ל-15lux.
4. חשבו את המידע הדיגיטלי של שני הערכים הנזכרים בסעיף הקודם.
5. חשבו, לפי הקוד לבקר ארדואינו המופיע לעיל, את ערך ה-PWM בעוצמת הארה של 2lux, ושרטטו את צורת הגל במוצא רכיב הארדואינו בהדק D6.
6. האם יש חשיבות למיקום החיישן בבקרה זו? חשבו על מצב שבו החיישן קרוב מדי לנורית ה-LED.
7. מה יקרה כאשר החיישן יהיה קרוב מדי לנורית ה-LED?
8. האם הספק נורית ה-LED יהיה ביחס ישר לערך ה-PWM?
9. הקשר בין המתח המסופק על ידי מעגל ה-LDR לבין עוצמת ההארה אינו ליניארי (ראו גרף ה-LDR). הציעו דרך לשפר את הליניאריות.
10. תאורה חיצונית מפריעה למערכת. כיצד תשפיע הפרעה זו על עוצמת הארת ה-LED?
11. האם יש חשיבות להשהיה הקיימת בתוך הלולאה?

תרגיל סיכום – בקרה של מנוע סרבו

מנוע סרבו הוא מערכת בקרה רציפה בחוג סגור וכולל מנוע DC, פוטנציומטר על ציר המנוע, גיר, בקר פנימי המקבל רוחב פולס ובהתאם משנה את זווית המנוע.

1. שרטטו תרשים מלבנים של המערכת וציין בה תפקיד כל מרכיב.
2. שרטטו תרשים זרימה המתאר את האלגוריתם של המערכת.

מטרת התרגיל היא לתאר את מבנה הפנימי של מנוע סרבו, הכולל מערכת בקרה רציפה בחוג סגור. מנוע סרבו כולל מנוע DC, פוטנציומטר על ציר המנוע, גיר, מערכת בקר המקבלת רוחב פולס ובהתאם משנה את זווית המנוע. בתרגיל נפרק את המערכת למרכיבי הבקרה ונזהה את האותות השונים של המערכת.

בקרת PID

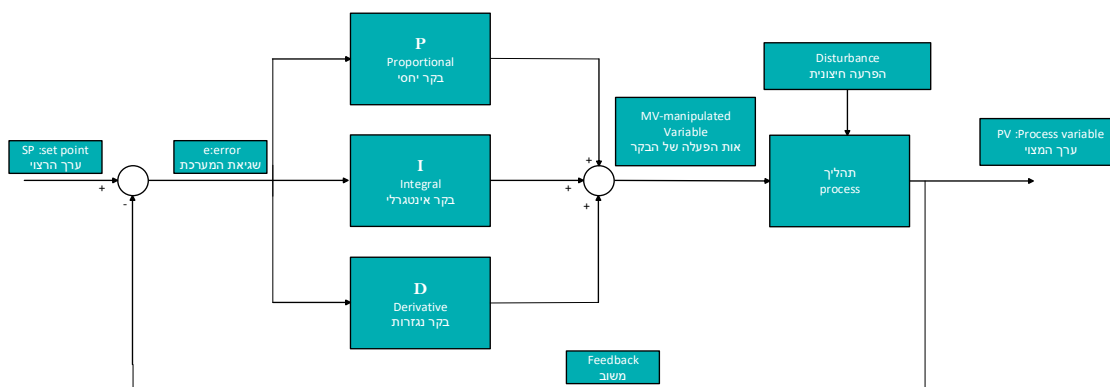
יעדים לימודיים:

- רקע
- הצגת דוגמה למערכת בקרת PID
- הבנת המערכת, תיאור מלבני של המערכת הכוללת רכיב המדידה (חיישן), בקר ורכיבי הפעלה
- סוג התקשורת של החיישן והתאמתו לבקר (אנלוגי באמצעות ממיר אנלוגי לדיגיטלי ADC, דיגיטלי באמצעות תקשורת טורית או מדידת רוחב פולס, תדר ועוד)
- שימוש בספריית בקרה PID של בקר ארדואינו
- מימוש הבקרה באמצעות תרשים זרימה וקוד לבקר ארדואינו

רקע

בקרת PID שימושית וחשובה במערכות שבהן יש צורך לבקר תהליך מורכב הדורש שליטה דינמית טובה ודיוק (תגובה סטטית). ברובוטיקה יש חשיבות גדולה בבקרה זו, לדוגמה מערכת סיגוי הגורמת לאיזון ההתקן הדו גלגלי, או בקרת רחפן שבה יש צורך מצד אחד לאזן את זווית הרחפן ומצד שני לבקר במהירות את תנועתו.

בתרשים שלפניכם מערכת בקרה הכוללת בקר PID המשלב שלושה אלמנטים של בקרה: P, I, D.



תיאור חלקי הבקרה

בקה P – בקרה פרופורציונאלית (Proportional)

אות מוצא הבקר יחסי לשגיאה הרגעית. להלן משוואת הבקר:

$$m_{(t)} = K e_{(t)}$$

K הוא הגבר הבקר. תפקיד בקר זה הוא לבקר את התהליך בצורה דינמית, בהתאם לשגיאה המתקבלת, ולתקן את השגיאה קרוב ככל האפשר לאפס. העלאת ההגבר של הבקר תקטין את השגיאה, אבל הגבר גדול מדי, כלומר מעל לערך קריטי, עלול לגרום לחוסר יציבות של המערכת, לכן אי אפשר להגיע לשגיאה 0 באמצעותו בלבד.

בקה I – בקרה אינטגרלית (Integral)

מוצא הבקר תלוי באינטגרל (סיכום) השגיאה בזמן. להלן פונקציית הבקר במישור הזמן:

$$m_{(t)} = R \int e_{(t)} dt$$

R הוא מהירות האינטגרציה (Reset rate). כל עוד קיימת שגיאה, תפוקת הבקר תשתנה בזמן עד שהשגיאה תתאפס. שינוי פרמטרים של בקרה זו תקבע את הזמן לתיקון השגיאה, ואולם קצב גבוה מדי של תיקון יפגע ביציבות המערכת.

בקה D – בקרת נגזרת (Derivative)

בקה המגיבה לקצב השינוי בזמן, כלומר נגזרת; ככל שקצב השינוי בזמן גדול יותר, תפוקת הבקר גדולה יותר. להלן פונקציית הבקר במישור הזמן:

$$m_{(t)} = T \frac{de_{(t)}}{dt}$$

T הוא מקדם הנגזרת – Derivative time. תפקיד בקרה זו הוא להגיב לשינויים מהירים בתפוקת המערכת כתוצאה מהפרעות חיצוניות. בקרה D אינה עומדת בפני עצמה ומשולבת עם P, כלומר בקר PD, או עם PI, כלומר בקר PID.

שילוב שלושת סוגי הבקרה – PID

בשילוב שלושת סוגי הבקרה PID יש חלוקה של התפקידים לטיפול בשגיאת המערכת. מקדם ה-P הוא הדומיננטי ותפקידו לבקר את התגובה הדינמית של המערכת וגם את התגובה הסטטית שלה (להקטין את השגיאה ככל האפשר); מקדם ה-I דואג לתקן את השגיאה לאפס בתלות בזמן; ומקדם ה-D מגיב לשינויים מהירים בזמן ונכנס לפעולה בזמן הפרעות מהירות הדורשות תגובה מתאימה. להלן משוואת הבקר:

$$m_{(t)} = K \left(e_{(t)} + R \int e_{(t)} dt + T \frac{de_{(t)}}{dt} \right)$$

נוסף על כך, אפשר להביע את משוואת הבקר בצורה נוספת, שבה כל בקר הוא פרמטר נפרד המתאים יותר לתרשים המלבנים שתואר לעיל. בתרשים הנ"ל כל בקר מספק אות לפי השגיאה.

$$m(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

אפשר להביע את הקשר בין שתי הנוסחאות כך:

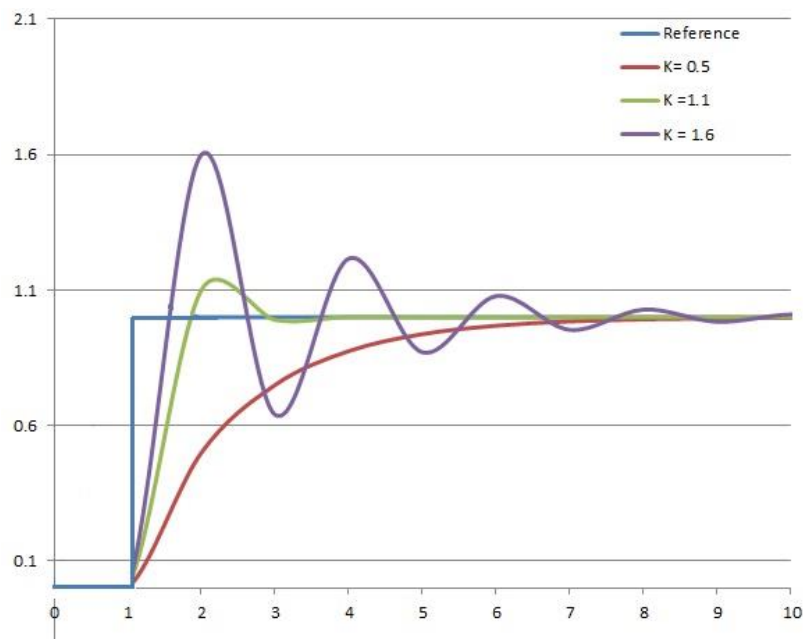
$$K_P = K \quad K_I = K \cdot R \quad K_D = K \cdot T$$

תיאור שינוי הפרמטרים של הבקרה על תגובת המערכת לגל מדרגה בכניסה

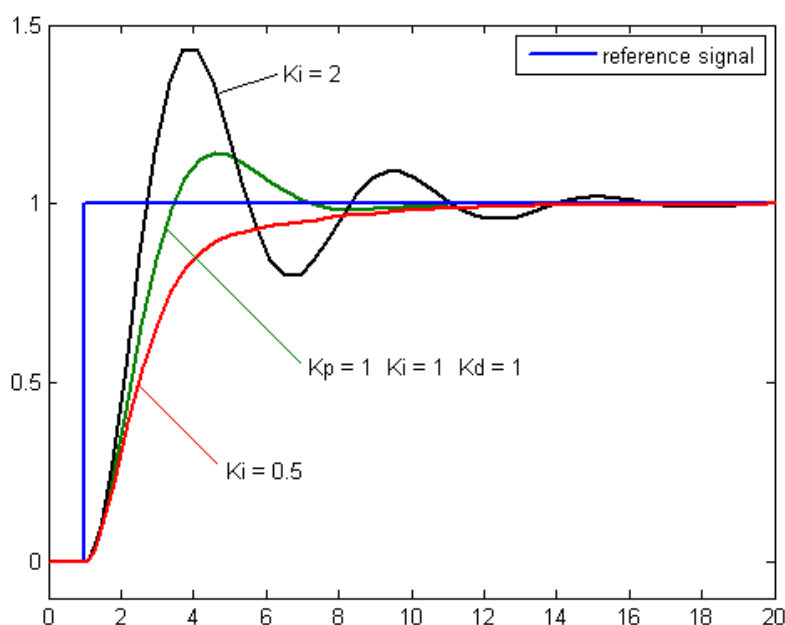
כדי להבין את תפקידו של כל בקר, מובאים שלושה גרפים המתארים תגובת מערכת לשינוי פרמטרים של כל אחד מן הבקרים וכן קישורים לסימולציות.

הגרפים נלקחו מהאתר: https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller

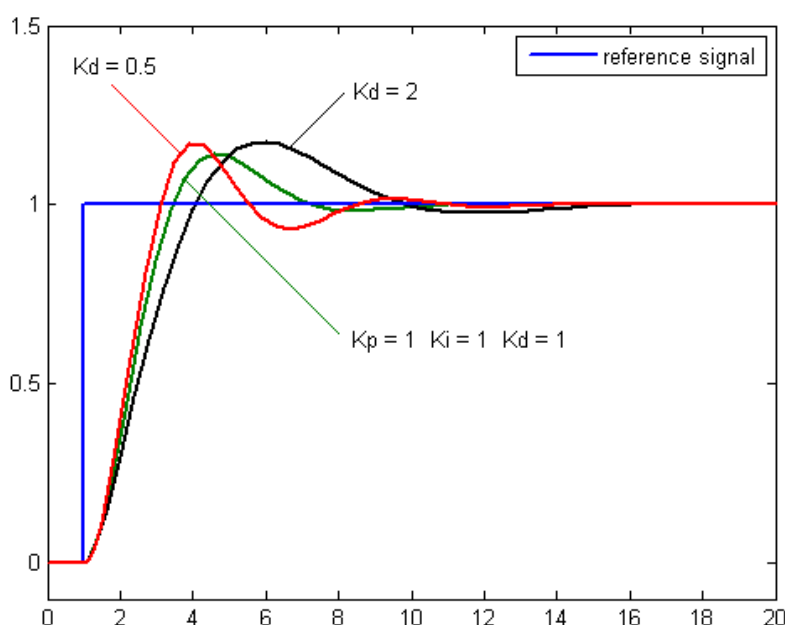
גרף 1: תגובה של שינוי בקרה P ללא שינוי בבקרה I ו-D



גרף 2: תגובה של שינוי בקרה I ללא שינוי בבקרה P ו-D



גרף 3: תגובה של שינוי בקרה D ללא שינוי בבקרה P ו-I



בקישור להלן סימולציה של בקרה PID – שינוי ערכים של הפרמטרים:

<http://www.rentanadviser.com/en/pid-fuzzy-logic/pid-fuzzy-logic.aspx>

בקישור להלן סימולציה של שינוי תגובה של מערכת בקרה PID:

https://en.wikipedia.org/wiki/Control_system#/media/File:PID_Compensation_Animated.gif

מימוש בקרה PID בתוכנה

אפשר לכתוב תכנית המבצעת את הפעולות המתמטיות של שלושת הבקרים P, I, D.

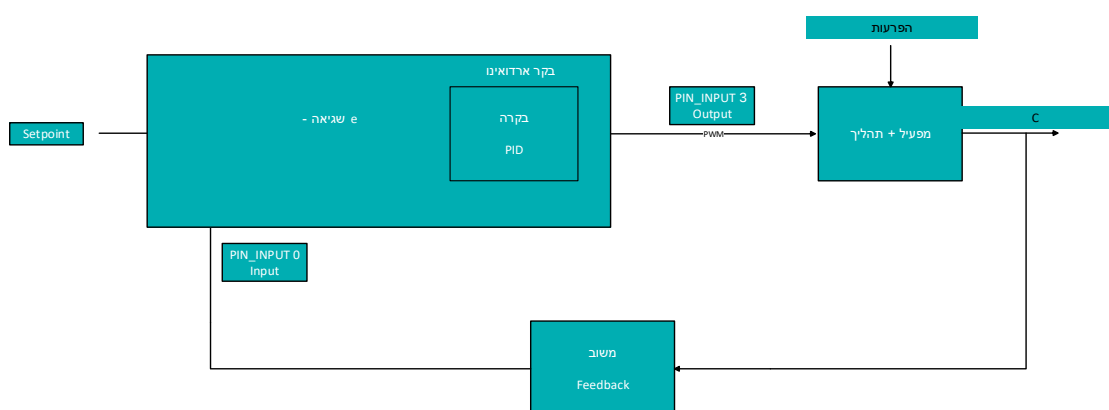
בשל מורכבות הכתיבה יצרו בסביבת ארדואינו ספרייה בשם **PID_v1.h** לשימוש בבקרה PID.

להלן קישור:

<http://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary>

<http://www.instructables.com/id/Arduino-PID-Library-Luminosity-Control/>

בדוגמה הבסיסית שלפניכם בקרת PID מתבצעת באמצעות בקר ארדואינו. Set-point מייצג את הערך הרצוי של הבקרה. ערך ה-input מתקבל מכניסה אנלוגית בהדק A0 שאליו יחובר החיישן, והערך ה-output מתקבל בהדק D3 מספק אות PWM ליחידת המפעיל.



בתכנית, האובייקט myPID מקבל את ערכי הכניסה והיציאה של הבקרה ואת ערכי הבקרה PID: K_p , K_i , K_d . הפונקציה Compute מחשבת את ערכי ה-PID של הבקר בהתאם לשגיאה: (error=Set point-Input) ומספקת את הערך המחושב למשתנה Output.

קוד לבקר ארדואינו

```

/*****
 * PID Basic Example
 * Reading analog input 0 to control analog PWM output 3
 *****/

#include <PID_v1.h>

#define PIN_INPUT A0
#define PIN_OUTPUT 3

//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint, Input, Output;

//Specify the links and initial tuning parameters
double Kp = 2, Ki = 5, Kd = 1;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

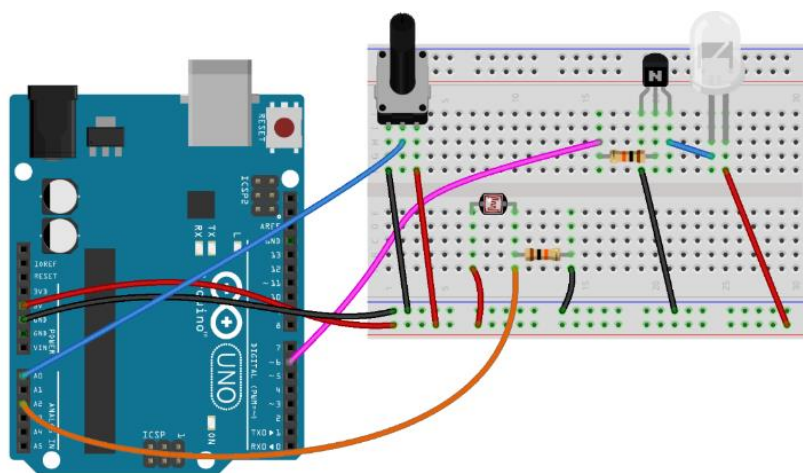
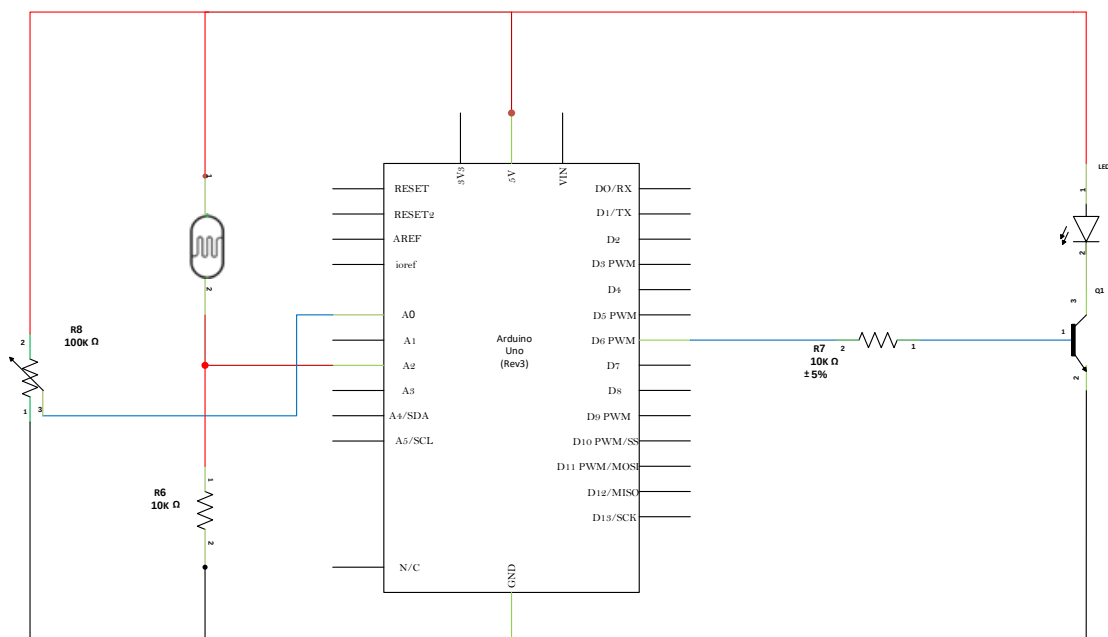
void setup()
{
    //initialize the variables we're linked to
    Input = analogRead(PIN_INPUT);
    Setpoint = 100;

    //turn the PID on
    myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}

void loop()
{
    Input = analogRead(PIN_INPUT);
    myPID.Compute();
    analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);
}

```

חברו את המערכת לפי השרטוט ותמונת חיבור הרכיבים לבר ארדואינו שלפניכם:



איור: חיבורי המערכת

תכנית הבקרה

```
#include <PID_v1.h>

#define PIN_LDR A2
#define PIN_Potentiometer A0
#define PIN_LED 6

//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint, Input, Output;

//Specify the links and initial tuning parameters
double Kp=2, Ki=5, Kd=1;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

void setup(){
    //initialize the variables we're linked to
    Input = analogRead(PIN_LDR);
    Setpoint = 100;
    //turn the PID on
    myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}

void loop(){
    Setpoint = analogRead(PIN_Potentiometer)/4;
    Input = analogRead(PIN_LDR)/4;
    myPID.Compute();
    analogWrite(PIN_LED, Output);
}
```

התכנית מקבלת את הערך הרצוי האנלוגי מפוטנציומטר המחובר להדק A0 ומכניסה למשתנה
:Setpoint

Setpoint = analogRead(PIN_Potentiometer)/4;
התכנית מקבלת את הערך המצוי מחיישן LDR דרך הדק A2:

Input = analogRead(PIN_LDR)/4;
החלוקה ב-4 היא כדי להתאים את הערך האנלוגי 0-1023 לערך PWM ל-LED בין 0 ל-255.

התכנית משווה בין שני הערכים ומחשבת את מוצא בקרת PID:

```
myPID.Compute();
```

ומוציאה ערך זה לנורית ה-LED באמצעות המשתנה Output:

```
analogWrite(PIN_LED, Output);
```

שאלות

1. לבקר P בלבד, הסבירו כיצד משפיע ההגבר על יציבות המערכת.
2. למה נחוצה הוספת בקרה I למערכת?
3. למה נחוצה הוספת בקרה D למערכת?
4. הסבירו כיצד משנים את הפרמטרים: P, I, D בתוכנת המערכת.
5. הציעו רעיון למימוש של שלושת סוגי הבקרה בתוכנה.
6. תכננו מערכת לבקרת סיבובי מנוע DC באמצעות בקר ארדואינו ובקרה PID. התייחסו לסוג החיישן, לדוחף, לחיבורים וכו'.

ניסוי 1: בקרת אור PID

מטרת הניסוי – לבקר על עוצמת תאורה באמצעות בקרת PID.

הניסוי כולל בקר ארדואינו, שחיישן LDR ו-LED תאורה מחוברים אליו, כפי שמתואר באתר. בניסוי זה נשנה פרמטרים של בקרת ה-PID ונראה את השפעת השינוי על יציבות המערכת, דיוק ומהירות תגובה. ההוראות לניסוי בקישור:

[/http://www.instructables.com/id/Arduino-PID-Library-Luminosity-Control](http://www.instructables.com/id/Arduino-PID-Library-Luminosity-Control)

1. התקינו את ספריית PID:

<http://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary>

2. צרבו את התכנית לבקר הארדואינו.

PID_FrontEnd_ArduinoSampleCode

תוכנה נוספת היא – processing המיועדת להציג גרפים של מוצא הבקר והתהליך, עם אפשרות שינוי הפרמטרים של PID:

[/https://processing.org/download](https://processing.org/download)

ספרייה עבור התוכנה

<http://www.sojamo.de/libraries/controlP5/#installation>

כל התוכניות והספריות

<https://github.com/jeijip/Flying-Carpet>

ניסוי 2: בקרת מנוע DC

ניסוי נוסף שאפשר לבצע עם בקרה PID ואותה הספרייה, הוא בקרה על מהירות הסיבוב של מנוע DC.

המערכת כוללת בקר ארדואינו, שמחובר אליו מנוע DC עם חיישן אינקודר על הציר למדידת מהירותו של המנוע. מנוע מחובר לבקר דרך דוחף זרם.

1. בחרו מנוע DC הכולל אינקודר.
2. בחרו דוחף זרם המתאים לנתוני המנוע.
3. חברו את הדקי חיישן האינקודר ודוחף המנוע להדקי בקר הארדואינו המתאימים.
4. כתבו קוד להפעלת מערכת הבקרה בחוג הסגור לבקרה PID על מהירות המנוע. השתמשו בספרייה המתאימה לבקרה PID.
5. הפעילו את המערכת ובדקו את תגובת המערכת (מהירות המנוע) לשינויים (שינוי עומס ושינוי עומס)

מקורות

- הסברים על כל סוגי הבקרה:
https://en.wikipedia.org/wiki/Control_system
<https://controlguru.com/table-of-contents>
- הסבר על בקרה PID באמצעות בקר ארדואינו:
<https://scholarscompass.vcu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5737&context=etd>
- ספר דיגיטלי: "[מערכות מחשוב ובקרה – מערכות בקרה](#)", הוצאת משרד החינוך, 2006.
- פסן דוד, "מבוא לבקרה ואוטומציה", הוצאת מכלול 1994.

חלופה 3 – ביו רפואה

מבוא

בעשורים האחרונים הרפואה בארץ מתקדמת בצעדי ענק, בין השאר בזכות הכנסת מערכות טכנולוגיות והנדסיות חדישות ומתוחכמות. תעשיית המכשור הרפואי בארץ מגוונת ומתקדמת, והיא ממציאה ומפתחת מערכות שהן חלק הכרחי בטיפול הרפואי המודרני. אבחון וטיפול בבעיות רפואיות באמצעות מערכות מכשור מתקדמות – הכוללות מחשבים, רובוטים, חיישנים ועוד – קיימות כיום כמעט בכל טיפול רפואי. חלק נכבד מהמערכות המתקדמות ביותר הן מתוצרת ישראל, למשל: חברת מזור מייצרת רובוטים מדויקים לניתוחי גב, אשר נקנתה לא מזמן ב-1.6 מיליארד דולר והמפעל כולו ימשיך לפעול בישראל; חברת לומניס הפועלת ביוקנעם מייצרת מכשור לניתוחי לייזר מדויקים; ביוסנס וובסטר הפועלת גם היא ביוקנעם היא חברת בת של ג'ונסון אנד ג'ונסון והמצליחה ביותר מחברות הצווד הרפואי שלה. ביוסנס וובסטר מפתחת מערכות למיפוי תלת מימדי מדויק של הלב, צנטרים ועוד.

מסלול התמחות הנדסת ביו-רפואה, בתוך מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים, הוא מסלול המשלב מדע, טכנולוגיה ורפואה כדי לחשוף את התלמידים לידע ולמיומנויות הדרושים להם כדי להשתלב בעתיד בתעשיית המכשור הרפואי.

תלמידי המגמה לומדים את כל מקצועות הבסיס של מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים כולל תכנות, מקצוע המאפשר להם להמשיך ללימודי טכנאים והנדסאים. התלמידים רוכשים ידע ומתנסים מעשית שיאפשרו להם להשתלב בעבודה בבתי חולים, במוסדות רפואיים ובחברות שמפתחות, מייצרות ומשווקות מכשור רפואי. כמובן, הכשרתם מאפשרת להם להמשיך לתארים אקדמיים בתחומי ההנדסה.

חלק חשוב מלימודי המקצוע כולל סיורים מקצועיים במפעלים ובמוסדות רפואיים כדי לראות את המכשור, להתנסות בו ולהפעיל אותו. הלימודים כוללים גם הרצאות מקצועיות של אנשי אקדמיה ומומחים. המטרה של הצגת הפיתוחים והחידושים בתחום היא להעשיר את הידע של התלמידים.

יעדי התוכנית

- א. להקנות לבוגרים ידע בתחומי הפיזיולוגיה והכרה של גוף האדם.
- ב. להקנות לבוגרים מושגים בסיסיים בהנדסה ביו-רפואית.
- ג. להקנות לבוגרים כלים לחשיבה מדעית לפיתוח מערכות רפואיות.
- ד. להקנות לבוגרים ידע ליצור מערכת מעשית המורכבת מחומרה ומתוכנה.

ה. לחנך את הבוגרים לשמור על בטיחות בפיתוח מערכות אלקטרוניות רפואיות ובהפעלתן.

ו. להכיר לבוגרים את עולם תעשיית המכשור הרפואי בחברות ההייטק ואת יישומי המכשור בבתי חולים ובמוסדות הרפואיים.

ז. לחשוף את הבוגרים לאנשים בעלי מוגבלויות, חולים וקשישים. לעורר בהם חמלה ורצון לסייע ולהקל על חייהם.

קהל היעד

תוכנית הלימודים מיועדת לבוגרי כיתות ט' בעלי יכולות גבוהות בתחומים מתמטיקה, פיזיקה ומדעי הטבע.

שילוב המקצועות בהתמחות זו הוא ייחודי ונותן מענה ראשון מסוגו לתלמידים ותלמידות המעוניינים לשלב ביולוגיה בהתמחותם במקצועות ההנדסה.

גוף האדם כמערכת

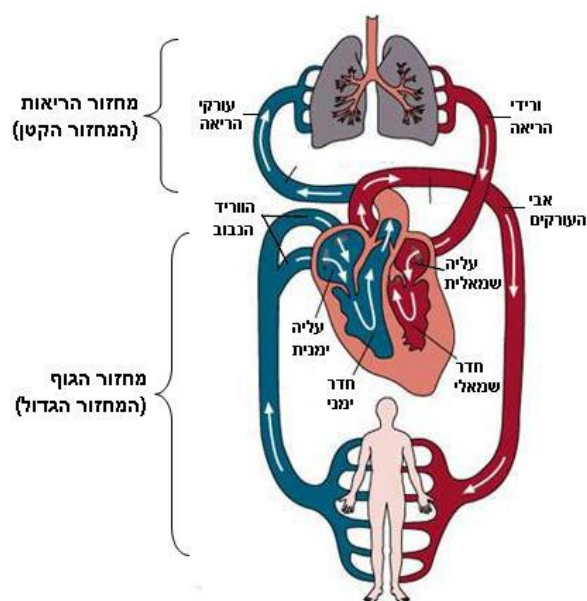
בפרקים העוסקים באנטומיה אתייחס למערכות גוף האדם באנלוגיה לענפי ההנדסה:

- מכונות – השלד, תנועת האיברים השונים ומערכות זרימת הנוזלים בגוף.
- חומרים – תכונות המאפיינות את החומרים השונים בגוף האדם.
- חשמל ואלקטרוניקה – מערכות תקשורת, רכישה ועיבוד מידע בגוף האדם, הולכה עצבית, מתח, זרם והתנגדות בגוף האדם.
- כימיה – הרכב החומרים הכימיים בגוף.

הערות דידקטיות:

חומרי הלימוד בנושא אנטומיה של גוף האדם מופיעים באתרי האינטרנט ובספרי ביולוגיה (ר' ביבליוגרפיה). כאן אפרט על המערכת הקרדיו-וסקולרית בלבד.

המערכת הקרדיו-וסקולרית, מערכת הובלת הדם, מורכבת מהלב, מכלי הדם ומהדם הזורם בהם. מערכת זו היא המקשרת הראשית בין המערכות בגוף והמובילה העיקרית של חומרים ממקום למקום בגוף. לכן היא מרכיב חיוני ומרכזי בתפקוד הגוף ובשמירת יציבות הסביבה הפנימית בגוף, הומאוסטאזיס.



התפקיד העיקרי של הלב והדם הוא להוביל ולהעביר חומרים שונים בתוך הגוף:

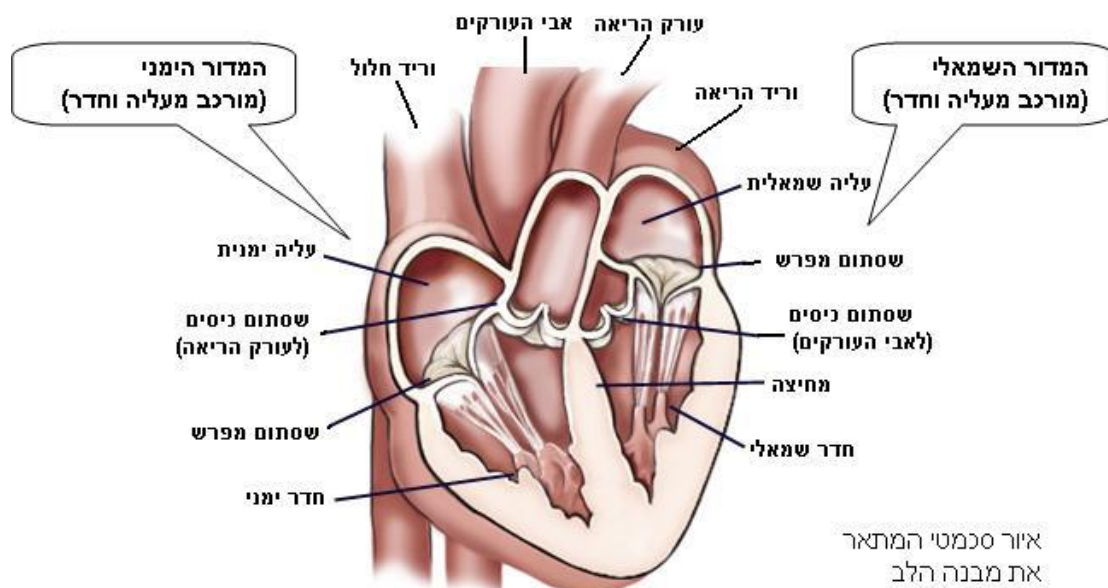
- הובלת חמצן אל האיברים ושחרור פחמן דו-חמצני מתוך הגוף
- הובלת מזון ממערכת העיכול אל תאי הגוף והרחקת פסולת (חילוף חומרים)
- הובלת מים
- הובלת הורמונים
- החלפת חום לבקרת טמפרטורת הגוף

הדם מכיל את נוזל הדם (שבו מומסים חומרים חשובים לגוף, כגון: מלחים, גלוקוז, חלבונים ועוד), טסיות הדם (אחראיות לקרישה), תאי דם לבנים (מערכת חיסונית) ותאי דם אדומים (מובילים חמצן). הורידים מובילים דם מהגוף אל הלב והעורקים מובילים דם מהלב אל הגוף.

מקור מידע:

<https://www.slideshare.net/hagarmiskhari/ss-45313730>

הלב הוא משאבה שרירית שיוצרת את הלחץ המניע את זרימת הדם.



הלב פועל כשתי משאבות נפרדות. צידו הימני של הלב הוא משאבה המורכבת מהעלייה הימנית והחדר הימני: העלייה הימנית קולטת את הדם הוורודי, שחוזר מהגוף לאחר שסיפק לו חמצן ומזון וקלט ממנו פחמן דו-חמצני. התכווצות העלייה הימנית מעבירה דם זה לחדר הימני ומשם אל הריאות שבהן הוא מתמלא בחמצן. מהריאות, ורידים מוליכים דם עשיר בחמצן אל העלייה השמאלית. כשהיא מתכווצת מועבר דם זה אל החדר השמאלי וכשהוא מתכווץ הדם מוזרם אל אבי העורקים, וממנו – לכל הגוף.

הדם זורם בכיוונים הנכונים בזכות מסתמים (שסתומים) הנפתחים ונסגרים באופן פסיבי בשל הפרשי לחצים משני צידי המסתם. הדם זורם תמיד ממקום שהלחץ בו גבוה למקום שהלחץ בו נמוך. יש שני סוגי מסתמים:

1. בין העליות לחדרים – מסתמים אלה מונעים תנועת דם מהחדרים לעליות גם כשהלחץ בעליות נמוך יותר בעת התרפותן.

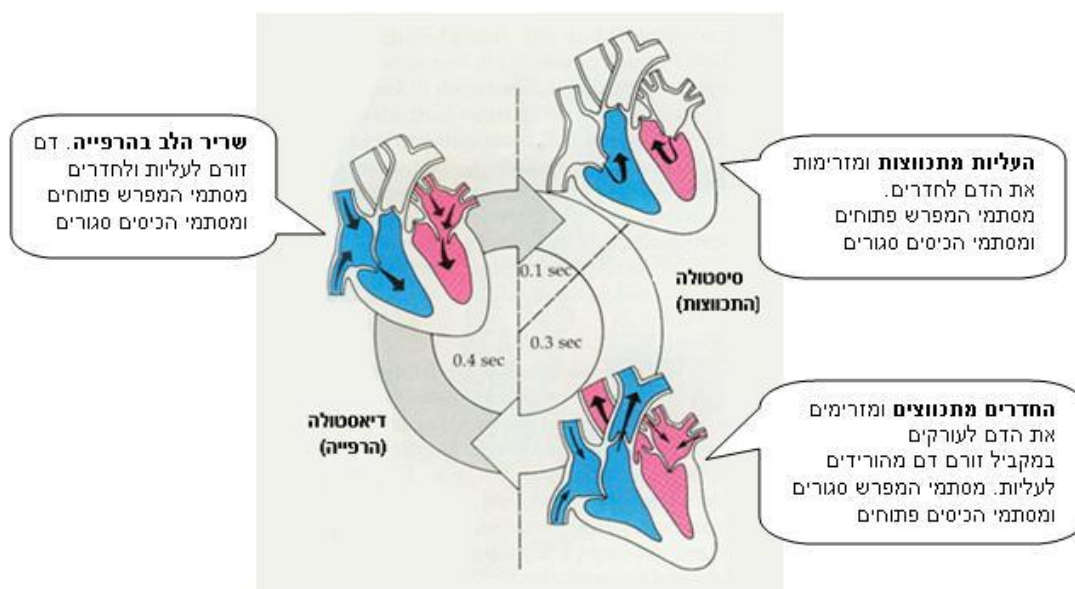
2. בין החדרים לעורקים – מסתמים אלה מונעים מעבר דם מהעורקים לחדרים, שכן העורקים מיועדים להולכת דם רק בכיוון אחד – מהלב אל הגוף.

אם הנפח של העלייה או החדר גדל – הלחץ יורד. אם נפח שלהם קטן – הלחץ עולה.

התרפות העליות מגדילה את נפחן ומורידה את הלחץ בהן ללחץ נמוך מזה שבאורידים ובחדרים, ולכן דם זורם מן האורידים לעליות.

תזמון פעולת הלב

בפעולת הלב כמשאבה יש כמה שלבים עוקבים המתרחשים באופן מחזורי מרגע כניסת הדם ללב ועד יציאתו ממנו:



א. התרפות החדרים – שלב הדיאסטולה – הלב במנוחה ושריר הלב רפוי. כאשר העליות עדין רפויות והחדרים מתחילים להתרפות, דם עשיר בחמצן מגיע מהריאות דרך הוורידים לעלייה השמאלית ודם עשיר בפחמן דו-חמצני מגיע מהגוף דרך הוורידים לעלייה הימנית. נפחם של החדרים גדל, והלחץ בהם נמוך מאשר הלחץ בעליות. הפרש הלחצים גורם לפתיחת מסתמים והעברה פסיבית של חלק גדול מהדם (70%) מהעליות לחדרים. שלב זה נמשך כ-0.4 שניות.

ב. התכווצות עליות – מקטינה את נפח העליות ובכך מעלה את הלחץ בהן ושאר הדם, כ-30% עובר לחדרים, שבהם הלחץ נמוך יותר.

ג. התכווצות חדרים – שלב הסיסטולה – מעלה את הלחץ בהם, והוא עולה על הלחץ בעליות ובעורקים. הדם אינו חוזר לעליות כי המסתם סגור לזרימה בכיוון זה. עקב כך דם זורם מהחדרים לעורקים – מהחדר השמאלי לאבי העורקים ומהחדר הימני לעורק הריאה. בסוף שלב זה מתחילה התרפות העליות, השלב הראשון של מחזור הפעימה הבאה, והן מתמלאות בדם שמגיע מהוורידים הראשיים. בשלב זה נשמע קול הלב הראשון מתוך שניים המרכיבים מחזור פעימה. קול זה נובע מהסגירה של המסתמים שבין העליות לחדרים.

הלחץ בחדרים נמוך מזה שבעורקים ולכן דם מתחיל לחזור מהעורקים לחדרים. הלחץ של הדם היוצא מהחדרים גורם להתרחבות מקומית של העורק בחלקו הצמוד למסתמים שגורם לכך שהמסתמים בין החדרים לעורקים נסגרים ואינם מאפשרים כניסת דם מהעורקים ללב. זמן קצר לאחר מכן החדרים שוב מתמלאים דם מהעליות. סגירת המסתמים שבין החדרים לעורקים יוצרת את קול הלב השני.

מכשיר המדידה הפשוט ביותר הוא הסטטוסקופ (מסכת). הוא מורכב מזוג צינוריות גומי או פלסטיק המתחברות מצד אחד למכשיר האזנה ובצד שני לאוזניות. למכשיר האזנה יש שני צדדים. צד אחד הוא מעין פעמון המשמש להאזנה לצלילים בתדרים הנמוכים ולאיוושות, והצד השני הוא דיאפרגמה המשמשת להאזנה לצלילים בתדרים גבוהים יותר. מיקום נכון של מכשיר ההאזנה על הגוף הנמדד מעלה את דיוק הקליטה והאיבחון. בעזרת הסטטוסקופ אפשר לזהות עומס-יתר על הלב (פעילות חזקות), זרימה מועטת לחדר השמאלי (פעילות חלשות), בעיה במסתמים (איוושה) וכן בעיות בדרכי הנשימה. אם יש חשד לבעיה, אז יש צורך לבצע בדיקות נוספות באמצעים מדויקים יותר.

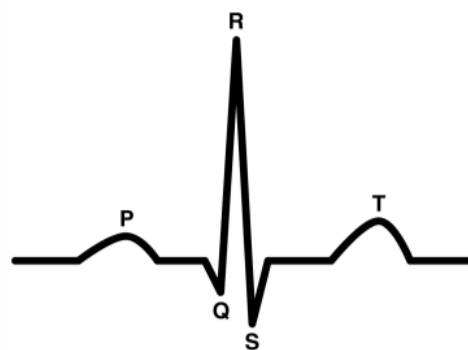
לקטרוקרדיוגרם ECG

אלקטרוקרדיוגרם – אק"ג (ECG או במקור הגרמני EKG) – היא מערכת לרישום השינויים במתח החשמלי הנוצר בשריר הלב בעת פעולתו כאשר עוברים בו פולסים חשמליים שמקורם בקוצב הלב. המתח הנוצר בשריר הלב מועבר אל המכשיר באמצעות אלקטרודות המוצמדות לגופו של הנבדק.

במצב מנוחה הלב פועם בקצב די קבוע של 60–100 פעימות בדקה. כלומר מחזור נמשך בין 0.6 שנייה לשנייה.

עקרון הפעולה של האק"ג מבוסס על כך שלכל תא חי יש פוטנציאל חשמלי שנוצר עקב הבדלים בריכוזי יונים (אטומים של יסודות שונים הטעונים חשמלית) הנמצאים משני צידי קרום התא, כלומר בתוך התא ובסביבה החיצונית לו. לשרירים המרכיבים את תזמון פעולת הלב (קוצב הלב) יש יכולת לייצר פולסים חשמליים בעוצמה גבוהה. פולסים אלה נעים לאורך שריר הלב ונקלטים באלקטרודות המוצמדות במקומות שונים בגוף (צורת הגל מתעגלת מעט בנקודות הקצה עקב המעבר דרך חלקי הגוף, אך התבנית והתדר נשמרים).

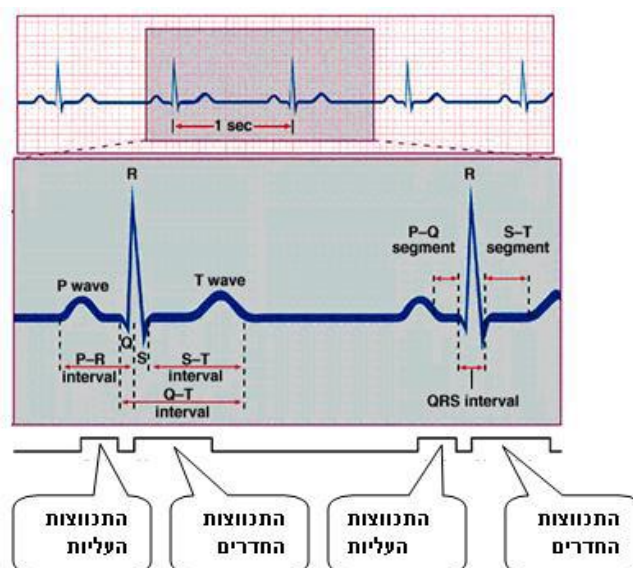
איור האק"ג מתקבל על סרט נייר מילימטרי, הנע במהירות קבועה בכיוון אופקי, והוא נראה כסדרה של גלים שונים המופיעים בסדר קבוע בכל מחזור פעימה. לכל גל יש כינוי אות: P, Q, R, S ו-T, כפי שנראה באיור להלן:



P – גל המבטא את העברת הדחף על פני העליות בעת התכווצותן.

QRS – גלים המבטאים את התפשטות הדחף החשמלי על פני החדרים בעת התכווצותם.

T – גל המבטא את התרפות שריר הלב (חזרה למצב רפוי).



בדיקת האקג מתבצעת בשלוש דרכים: בשכיבה, במאמץ או בהתחברות של 24 שעות למערכת ניידת הקולטת נתונים.

בזמן הבדיקה מחברים את הנבדק לאלקטרודות המחוברות למקומות שונים בגוף, בהתאם לבדיקה הנדרשת.

בדיקה זו מלמדת על תפקודו של הלב. מרישום האק"ג מאבחנים ישירות את קצב פעולת הלב, אי סדירות בקצב הלב, שינויים במחזור פעולת הלב ובעוצמת האותות החשמליים. למשל: שינויים בתפקוד שריר הלב עקב אירוע של התקף לב עלולים להתבטא כשינויים בתדר או

בעוצמת ההתכווצות – התארכות המרחק בין P ל-Q מעידה על פגם בהולכת הדחף בין העליות והחדרים, שיבוש בקטע QRS, עליית הקטע ST או היפוך בגל עשויים להעיד על התקף לב.

לחץ דם ומדידתו

לחץ דם קובע את הכוח שמפעיל הדם על דופן כלי הדם. הוא נוצר עקב פעולת הלב הדוחס דם אל כלי הדם, ובעקבות זאת נוצרת זרימת דם אל הרקמות השונות בגוף. ככל שהדם מתרחק מהלב וככל שכלי הדם מתפצלים והופכים לעורקיקים ונימים הלחץ פוחת בהדרגה. לחץ הדם נמדד בעורק הזרוע מעל למרפק בגובה הלב. בזמן התכווצות ערכו של לחץ הדם בעורק הזרוע הוא כעשירית מערכו של הלחץ שיוצר הלב המתכווץ ביציאה לעורק הראשי. מטעמים היסטוריים נהוג למדוד לחץ דם בערכים של מילימטר כספית (ממ"כ). לדוגמה, לחץ דם שנוצר בעורק הזרוע עקב התכווצות הלב הוא כ-120 ממ"כ השווה בערך ללחץ שמפעילים 160 גרם לסנטימטר. לחץ זה דוחף עמוד כספית לגובה של 120 מ"מ בצינור זכוכית דק.

לחץ הדם משתנה על פי פעילות הלב:

1. סיסטולי – לחץ דם שנוצר כשהחדרים מתכווצים ודוחסים את הדם לעורקים. זהו הלחץ הגבוה ביותר בעורקים.
2. דיאסטולי – לחץ דם שנוצר כשחדרי הלב בהרפיה ואינם מזרימים דם לעורקים. זהו הלחץ הנמוך ביותר.

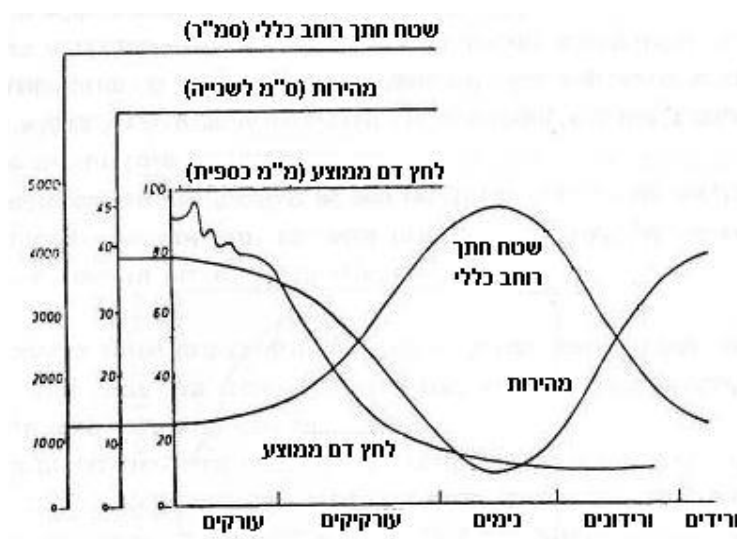
מדידת לחץ דם:

עקרון הפעולה מבוסס על יצירת לחץ חיצוני על עורק הזרוע באמצעות שרוול מתנפח המחובר למכשיר מדידה. סטטוסקופ מאפשר לשמוע את איוושת הדם הזורם בפעימות כשהלחץ בשרוול יורד מתחת ללחץ הסיסטולי. הפעולה מתבצעת בשלושה שלבים, ואלה הם:

1. מנפחים את השרוול עד שהוא מפעיל על עורק הזרוע לחץ שעולה על לחץ הדם הסיסטולי בעורק. במצב זה נחסמת זרימת הדם לחלוטין באותו אזור.
2. הלחץ שמפעיל השרוול משוחרר באיטיות. מיד לאחר שהלחץ יורד מתחת ללחץ הדם הסיסטולי, הדם מצליח לפרוץ את החסימה שיצר השרוול, וכל פעימה של הלב גורמת לפרץ נוסף של דם דרך העורק. את קולות הערבול של הדם אפשר לשמוע בסטטוסקופ. קולות אלו נשמעים כל עוד לחץ הדם בשרוול עוד גבוה מלחץ הדם הדיאסטולי, ולכן אין זרימת הדם במצב דיאסטולי. בשלב זה נמדד לחץ הדם הסיסטולי כערך של הלחץ כאשר מתחילים לשמוע את קולות הערבול.

3. ממשיכים להוריד באיטיות את הלחץ שיוצר השרוול, וכשהוא מגיע מתחת לערכו של הלחץ הדיאסטולי הזרימה חוזרת להיות רציפה ולא נשמעים קולות בסטטוסקופ. בנקודה זו נקבע ערך לחץ הדם הדיאסטולי.

כיום מודדים את לחץ הדם במכשירים אלקטרוניים המבצעים את שרשרת הפעולות באופן אוטומטי, מנפחים, קולטים ומעבדים את הקולות, מציגים על מסך ושומרים בזיכרון את התוצאות. בבדיקה מודדים ומציגים גם את הדופק (מספר הפעימות לדקה).



איור: השינוי בשטח חתך רוחב כללי, המהירות והלחץ של הדם בכלי הדם לאורך מסלול זרימת הדם

מבוא למכשור אלקטרוני

מכשור אלקטרוני משמש ברפואה לשני תפקידים בסיסיים:

א. אבחון

ב. טיפול

מערכות רבות משלבות אבחון וטיפול יחד.

מערכות האבחון הן מערכות מדידה. חלק מהן הן מערכות קולטות בלבד המודדות תופעות גופניות, כגון: מד חום, מד גלוקוז, מד חמצן בדם. מערכות אחרות משדרות וקולטות. מערכות אלו מאפשרות הסתכלות לתוך הגוף באמצעות הקרנה אל הגוף והפקת נתונים מהאות המתקבל, כגון: אק"ג, אולטראסאונד, MRI ועוד.

האותות המתקבלים במוצא החיישנים או האלקטרודות צריכים לעבור עיצוב: סינון, הגברה, המרה לאות ספרתי. במוצא המעצב תהיה הדרגה המעבדת שהתוצאה שלה תוצג על מסך, מדפסת וכד'.

הערות דידקטיות:

כדאי להדגים ולבקש מהתלמידים לשרטט סכימות מלבנים מפורטות של מכשירים מסוג זה. יש להתחיל מהמערכות הפשוטות ביותר והתיאור הפשוט ביותר המייחד כל מערכת לפי סדר זה:

א. קלט – עיבוד – פלט

ב. חיישן – עיצוב אות – עיבוד אות – התאמה לרמות במוצא (מפעיל) – דרגת מוצא

דוגמאות טובות מאד הן: מד לחץ דם ו-ECG שתוארו לעיל.

דרגות הכניסה למערכות הקולטות הן חיישנים או אלקטרודות.

חיישנים ממירים ערכים פיזיקליים לאותות חשמליים (מתח, זרם, התנגדות). החיישנים המוכרים ביותר הם חיישני טמפרטורה (למידת חום גוף), חיישני אינפרא-אדום (למידת רמת החמצן בדם), מיקרופונים, חיישני לחץ ועוד. לדוגמה במדי חום:

1. **מדי חום דיגיטליים.** כולם פועלים על אותו עקרון, שבבסיסו עומד טרמיסטור. הטרמיסטור הוא רכיב שמשנה את ההתנגדות שלו בהתאם לטמפרטורה. ההתנגדות הזאת מתורגמת לזרם חשמלי.

2. **מד חום לשימוש בתעלת האוזן.** המכשירים בנויים מקולט קרינה אינפרא-אדומה שמעבד את המידע שנקלט מאזור התופית באוזן.

קישור למקור מידע על חיישנים:

<http://school.kotar.cet.ac.il/KotarApp/Viewer.aspx?nBookID=94920013#139.2414.6.default>

הערות דידקטיות:

בנושא זה אפשר לערוך ניסויים רבים המופעים בתוכנית הלימודים. אפשר לערוך ניסויים גם על חיישנים שאינם מופיעים בתוכנית הלימודים. ניסויים אלה יעזרו לתלמידים בבחירת עבודת הגמר.

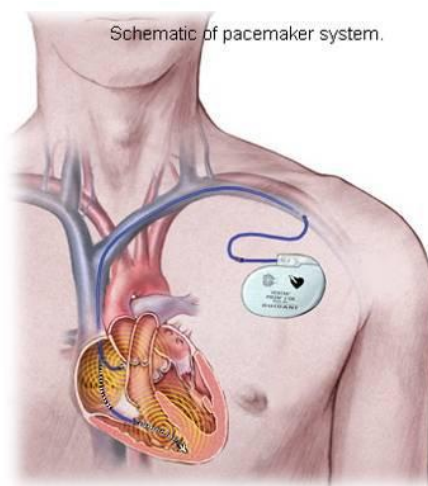
אלקטרודות

אלקטרודה היא מוליך חשמלי המשמש ליצירת מגע בין המכשיר החשמלי עם מתווך לא מתכתי, כלומר עם גוף האדם.

האלקטרודות משמשות כדרגת כניסה למכשירי מדידה, כגון: ECG למדידת מתח פעילות שריר הלב, EEG למערכת העצבים ועוד. האלקטרודות קולטות את האות החשמלי הנפלט מגוף האדם, והן מאפשרות לבדוק את הפרש הפוטנציאלים של שתי נקודות בגוף. האלקטרודות הן דרגת הסינון הראשונה של האות החשמלי, ולכן החוטים חייבים להיות קצרים. כך תהיה חשיפה מינימלית לרעשים חיצוניים. מבנה החוטים צריך להיות מסועף כדי שרעש בחוט אחד יהיה באותו ערך, אך בקוטביות הפוכה, לרעש בחוט השני. כך סך כל הרעש יהיה אפס.

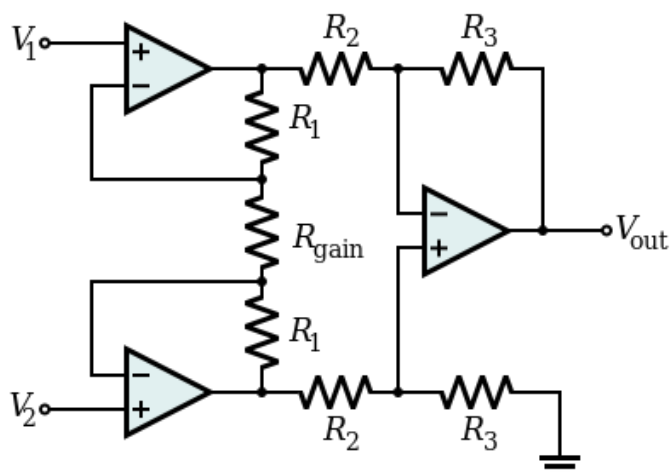
כדאי לקרוא חומר נוסף על אלקטרודות בהצעת הניסוי בסוף החוברת.

נוסף על מדידה, האלקטרודות משמשות גם במכשירים טיפוליים, לדוגמה בקוצב לב. כאשר קוצב הלב הטבעי אינו מתפקד אפשר להשתיל קוצב לב שממנו יוצאות אלקטרודות המשגרות פולסים חשמליים הגורמים להתכווצות של שריר הלב. להלן איור המתאר שימוש באלקטרודות בקוצב לב. אלקטרודות משמשות גם במכשירים לגירוי עצבי לצורכי פיזיותרפיה למשל.



הערות דידקטיות:

אין צורך לפרט פה על מגברים ומסננים. אפשר ללמוד עליהם בספרי אלקטרוניקה רבים. כאן אתייחס רק למגבר מכשור.



מגבר מכשור הוא מגבר הפרש המיועד למדידת אותות נמוכים מאוד, המאפיינים מתחים הנמדדים בגוף האדם.

מגבר מכשור הוא מגבר מדויק עם כניסה הפרשית. הוא מגביר את ההפרש בין שני אותות מתח כניסה תוך דחיית כל האותות המשותפים ("שהתלבשו") בשתי הכניסות. מגברי המכשור נמצאים בשימוש רחב ביישומי מדידה, ביישומי איסוף נתונים וביישומי רפואה רבים, שבהם נדרש לשמור על דיוק DC והגבר גבוה בסביבה רועשת, שקיימים בה אותות אופן-משותף גדולים (בדרך כלל בתדר קו הכוח).

מגבר הפרש בסיסי שאינו אידיאלי, מגביר נוסף על הפרש האותות במבואותיו V_d (בהגבר A_d) את ממוצע הסכום שלהם V_c (בהגבר A_c). יחס דחיית האות המשותף נקרא:

$$CMRR = A_d/A_c$$

$$V_o = A_d(V_d + \frac{1}{CMRR} \cdot V_c)$$

ככל שה- $CMRR$ בעל ערך גבוה יותר, המתח המשותף זניח יותר. במגבר מכשור אידיאלי ה- $CMRR$ הוא אינסוף, כלומר שרק הפרש האותות הכניסה יוגבר, ואות סכומם כלל לא יגיע למוצא ($A_c=0$).

לדוגמה, בין האדמה במכשיר הנמדד לאדמה בסקופ יש הפרש פוטנציאליים, גם אם מקצרים ביניהן את האדמות, זאת משום שלקו הקצר עצמו יש התנגדות פנימית שאיננה 0. לכן גם יש מפל מתח בין האדמות. בדרך כלל מפל מתח זה הוא זניח, אבל כאשר נמדדים אותות הנמוכים מעשרית mV ערך המתח בין האדמות הוא משמעותי.

משום כך במדידת אותות נמוכים מאוד משתמשים במגבר מכשור בכניסה למשקף. כניסה אחת שלו היא האות מהמכשיר הנמדד, והכניסה השנייה היא אדמה של האות מהמכשיר הנמדד. כיוון שהמגבר מגביר רק את הפרש האותות לא תהיה השפעה על מפל המתח בין האדמות.

חשוב לציין כי יש לדאוג למגבר בעל ספרת רעש נמוכה במיוחד ושגיאות DC מינימליות.

לפניכם חומר לקריאה נוספת על מגבר מכשור ויישומו בבדיקות רפואיות:

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/practical-uses-of-instrumentation-amplifiers/>

הטכנולוגיה דימות רפואי משמשת להסתכלות לתוך גוף האדם באמצעות בדיקות לא פולשניות, המבוססות על כך שרקמות גוף האדם מעבירות סוגים שונים של גלים: גלים על-קוליים, גלי X, וקרינה אלקטרומגנטית בתדרים שונים.

שיטות הדימות נחשבות לבלתי הרסניות, ואפשר לערוך באמצעותן בדיקות כדי לקבל מידע על המבנה האנטומי ועל תפקוד האיברים. הדימות הרפואי מתבצע על ידי מקור קרינה פנימי או חיצוני. גלאים קולטים את הקרינה, ומעבד משתמש בכלים מתמטיים כדי ליצור תמונה תלת ממדית של הנבדק. את התמונה מפענח רופא מומחה – רדיולוג.

שיטות הדימות נחלקות לשלושה סוגים:

1. העברה – בשיטה זו הקרינה יוצאת ממקור, עוברת דרך האיבר הנבדק לצדו השני ויוצרת "צל" שעוצמתו תלויה במבנה הרקמות שעברה הקרן. לדוגמה צילום רנטגן.
2. מעקב – מקור קרינה מיוחדר לאיבר הנבדק. באמצעות הקרינה הנפלטת מהגוף מקבלים מידע על צורת האיבר ותפקודו. לדוגמה בדיקות רדיונוקלידיות, כגון PET.
3. החזרה – קרינה נפלטת אל הגוף ממקור קרינה, פוגעת באיברים ומוחזרת לכיוון המקור (הדים). ניתוח ההדים מאפשר ליצור תמונה של האיבר הנבדק. לדוגמה בדיקת אולטרא סאונד.

העקרונות הפיזיקליים של הטומוגרפיה הממוחשבת

הקרינה האלקטרומגנטית (אלמ"ג) היא גל רוחבי, המתקדם במהירות האור. הקרינה מאופיינת בתדר או באורך גל. התדר הוא מספר המחזורים בשנייה, אורך הגל הוא היחס בין מהירות האור בריק לתדר הגל, והוא מציין את אורכו במטרים של מחזור אחד. נושא האנרגיה של הגל האלקטרומגנטי הוא הפוטון. לכל פוטון יש אנרגיה יחסית בעוצמתה לתדר. היחס ביניהם נקרא קבוע פלנק.

גלי הרדיו, המיקרו, וגלי האור הם גלים אלקטרומגנטיים. גלי האור אינם חודרים דרך רקמות בילוגיות, אך קיימים גלים אלמ"ג שמסוגלים לחדור לרקמות בילוגיות ונקראים גלי X. תחום אורכי הגל של קרינה זו הוא 5 פיקומטר עד 10 ננומטר. גלים אלה נקראים גם גלי רנטגן על שם מי שגילה אותם בשנת 1895 ופתח עידן חדש בגלי הרפואה. קרינה זו חודרת דרך חומרים שאינם שקופים לאור נראה, וגורמת להם להשחיר לוח צילום שניצב מאחורי הגוף שעליו מקרינים. בבדיקה, מקרינים קרינת X לאיבר שרוצים לבדוק. ההנחתה של קרינת X ברקמת עצם שונה באופן משמעותי מההנחתה ברקמות רכות – הקרינה שתעבור דרך עצם תגיע לצד השני מונחתת במידה רבה יותר מזו שפגעה באזורי רקמה רכה. סרט צילום שמונח בצד השני של הנבדק מושפע מהקרינה שמגיעה אליו בדומה להשפעת אור. ככל שיגיעו יותר פוטונים לנקודה מסוימת הסרט יושחר יותר. בתמונה שתתקבל עליו, ככל שהרקמה תהיה רכה יותר היא תהיה מושחרת יותר. קרני X יכולות להאיר חומרים ולהפוך את קרינת הרנטגן לאור נראה על מסך, וכך אפשר לקבל תמונה באופן מיידי ללא צורך בפיתוח.

איכות התמונה תלויה בהבחנה בין הרקמות השונות, כלומר בניגודיות. הניגודיות בין עצם לרקמות רכות ברורה, אך כדי להפריד בין איברים בעלי רקמה רכה משתמשים בחומרי ניגוד המוחדרים לאיבר, כגון בריום או יוד. לחומרים אלו יש מקדמי הנחתה שונים באופן משמעותי מזה של רקמה רכה, וכך מתקבלת ניגודיות ברורה בתמונה.

בצילום רנטגן רגיל מתקבלת תמונה דו-מימדית שכל נקודה בה מושפעת מההנחתות של כל השכבות שעברה בדרך. ריבוי השכבות מקשה על פענוח מדויק של המצב, ולכן משתמשים בשיטה שבה יוצרים חתכים של האזור הנבדק. שיטה זו נקראת טומוגרפיה. בזמן הצילום מזיזים את המקור, בזמנית מזיזים את לוח הצילום בכיוון הפוך. התזוזה מתבצעת כך שהקו המקשר בין המקור למרכז הלוח עובר דרך נקודה קבועה במישור שרוצים לצלם. כך מתקבלת תמונה ברורה של המישור הרצוי לעומת טישטוש של שאר המישורים. בשל שינוי הכיוון של המיקוד מקבלים סדרת תמונות של חתכים בעומקים שונים באיבר הנבדק.

פיענוח תמונה בשיטות אלה קשה משום שיש רעש מהמישורים הלא רצויים. בשנת 1970 נכנסה לשימוש הטומוגרפיה הממוחשבת המשתמשת בשיטות מתמטיות לחישוב מקדמי הנחתה בחתך של הגוף. השיטה מבוססת על חלוקת החתך הנמדד למשבצות קטנות ובמשך הבדיקה נסרקת כל משבצת פעמים רבות מכיוונים שונים בזמן שהמערכת כולה מסתובבת סביב גופו של הנבדק. ערכי עוצמות הקרינה המשתנות מועברות למחשב המשתמש בנוסחאות לחישוב מקדם ההנחתה בכל משבצת. כיום, עם פיתוח ה-CT אפשר לבדוק גם מערכות הנמצאות בתנועה מתמדת כמו הלב והריאות.

מכשיר ה-CT הוא כלי חשוב ביותר לאבחון ולתכנון הטיפול במחלות שונות כולל סרטן, מחלות זיהומיות, מחלות דלקתיות, בעיות בעמוד השדרה ומחלות מולדות. המכשיר משלב קרינת X עם טכנולוגיית מחשבים מתקדמת כדי ליצור תמונות של הגוף. בתמונות אלו, נראים האיברים הפנימיים, כלי הדם, העצמות והרקמות בפירוט רב.

העקרונות הפיזיקליים של מכשיר

אולטראסאונד

אולטראסאונד הם גלים אקוסטיים (גלי קול או לחץ המעבירים אנרגיה מכנית, שאינה מלווה בהעברת חומר, ומקורה בשינוי מקומי בלחץ בתווך) המתקדמים בתווך חומרי בתדירויות הגבוהות מתחום השמע (מעל 20 קילוהרץ). המבנה והתכונות של החומר שהגל עובר דרכו משפיעים על ניחות הגל. ליצירת גלים אלה יש צורך להמיר אותות חשמליים לגלי קול בתדרים הרצויים ובחזרה מגלי קול למתח. המרה זו נעשית באמצעות גבישים פיאזואלקטריים המשמשים כמשדר וגם כמקלט. בזמן שידור הפעלת מתח בתדר מסוים על גביש גורמת להתרחבות והתכווצות הגביש. תנועות אלה גורמות ליצירת גל קול באותו תדר, המתקדם בתווך. בזמן קליטה גל הקול הפוגע בגביש גורם לשינוי בצורת הגביש, להתרחבות ולהתכווצות היוצרות מתח באותו תדר ובעוצמה יחסית לעוצמת הגל הפוגע.

באולטראסאונד משתמשים בתופעות המאפיינות התפשטות גלי קול – החזרה ושבירה, פיזור והנחתה. כולן תלויות בתדר ובתכונות התווך. את הגבולות בין הרקמות השונות מאתרים לפי ההדים המוחזרים. המשדר, שמוצאו גביש פיאזואלקטרי (מתמר) מוצמד לגוף ומשדר פולס אולטראסוני בתדר נבחר לשטח הנבדק. האות נע בגוף במהירות קבועה עד הנקודה שבה משתנה הרקמה. בנקודת הגבול, חלק מהאות מוחזר וחלק ממשיך להתקדם. האות המוחזר הוא ההדש הגביש קולט. הזמן שעבר מהשידור לקליטה והמהירות הידועה של התקדמות הגל מאפשרים לחשב את מרחק הרקמה המחזירה מהמכשיר. תהליך זה חוזר שוב ושוב בזמן שמשדרים את האות לנקודה אחרת בכל פעם (הסחה). כך מתקבלת תמונה דו מימדית של

העומקים היחסיים בכל נקודה ונקודה על פני האזור הנסרק. קצב הסריקה צריך להיות גבוה מאוד כדי לקבל תמונה יציבה על המסך ולראות את השינויים ששמקורם בתנועת הנבדק.

לשימוש באולטראסאונד למטרות אבחון יש יתרונות רבים, ואלה הם:

1. קרינת אולטראסאונד אינה מזיקה. למעשה זהו גל קול. לכן ניתן לעשות בדיקות חוזרות ונשנות בהפרשי זמן קצרים. כמו כן אפשר לבדוק נשים בהיריון בלי לגרום נזק לעובר.
2. קצב דגימה גבוה – אלפי פולסים בשנייה, המאפשרים לעקוב אחרי שינויים בזמן אמת – למשל תנועות עובר.
3. משדרים ומקלטים יעילים – משדרים וקולטים מאותו מקור – גבישים פיאזואלקטריים. אפשר להשיג את הגבישים בגדלים מזעריים המאפשרים מדידה בתוך הגוף בניתוחי לפריסקופיה, ואפילו החדרה לכלי דם. עלות המכשיר עצמו נמוכה לעומת עלות המכשירים MRI ורנטגן, ולכן מאפשרת לרופאים להחזיק מכשיר מדידה כזה בקליניקה, למשל לגניקולוגים במרפאות מעקב היריון.
4. מגוון מדידות גדול – בשל התלות בין תכונות החומר לתכונות האקוסטיות המאפיינות אותו אפשר לבדוק מגוון גדול של פרמטרים ברקמות בעזרת אולטראסאונד.

שימושי האולטראסאונד:

התמונות המתקבלות ממכשיר האולטראסאונד נותנות תמונה מהירה ומדויקת של רקמות רכות, ולכן מאפשרות לזהות בדיוק רב מרחקים וגדלים. באמצעותן אפשר לזהות גידולים, ציסטות, אבנים בכליות ובכיס המרה. יישום חשוב של אולטראסאונד הוא במעקב אחרי התפתחות עובר בתקופת ההריון.

שידור אות אולטראסאונד בעוצמה גבוהה משמש רבות גם בתחום הטיפולי – ריסוק אבנים בכליות, קרישי דם ורקמות לא רצויות – לרוב בשילוב עם MRI.

MRI : Magnetic Resonance Imaging

MRI סריקה איטית מאוד המציגה את התמונה הטובה ביותר של רקמות רכות. היא משמשת לאבחון גידולים, מחלות שונות של עמוד השדרה, פגיעות מוח, פגיעות ומחלות באיברי הבטן, במפרקים, בשדיים ובכלי הדם.

עיקרון המצפן: כאשר מטם מחט של מצפן ממקומה היא תחזור למצב מנוחה להצביע על קו צפון-דרום.

גוף האדם מורכב מכ-60% מים. בכל מולקולה של מים יש שני אטומים של מימן. גם החלבון והשומן הנמצאים בגוף עשירים במימן. כמות לא תקינה של מים מאפיינת פתולוגיות רבות שבדקים באמצעות ב-MRI. זו הסיבה העיקרית שעל אטומי המימן מופעלת התהודה המגנטית.

סריקת ה-MRI מתבצעת בזמן שהנבדק שוכב בתוך מגנט טבעתי המקורר ל- 4°C , טמפרטורה שבה המוליכות גבוהה ואפשר להזרים זרם גבוה במגנט. ה-MRI מפעיל על פרוטוני המימן שדה מגנטי חזק שגורם להם להסתדר באחידות לפי כיוון השדה. פולסים של גלים אלקטרומגנטיים בתדר גבוה של כ-100MHz (גלי רדיו בתדר התהודה של פרוטוני המימן) נשלחים אל הגוף ומזיזים את הפרוטונים. כשגלי הרדיו נפסקים, הפרוטונים חוזרים לכיוונם הקודם ופולטים מכל רקמה אותות בהתאם למספר אטומי המימן שבה. המחשב מנתח את האותות לתמונה המציגה שכבות דקות של הרקמה על המסך.

יש לבדיקת MRI שימושים רבים. המהנדס המפעיל מחליט על אופי הפעלת הסריקה בהתאם לאיבר שבדקים ולמחלה שרוצים לאבחן. לדוגמה: כדי לבדוק כלי דם מזריקים גדוליניום, חומר ניגוד שגורם לכלי הדם לבלוט כך שבתמונה כל שאר הגוף מחשיך לעומתם. לאנשים הרגישים לחומר הניגוד יעשו בדיקה אחרת: ממגנטים וממתנינים. אחרי המתנה קצרה זורם דם חדש ורואים הבדל בקוטביות בין הדם החדש לרקמות האחרות.

כיום טיפולים משולבים של אולטראסאונד ו-MRI מחליפים ניתוחים פולשניים – תוך כדי MRI מרסקים בעזרת שידור גלי אולטראסאונד ממוקדים גידולים שונים. אפילו מרפאים פרקינסון בשיטה חדשנית זו בעזרת שידור גלי האולטראסאונד ממוקדים לנקודה המתאימה במוח.

הערות דידקטיות:

חשוב להראות את הסרט בקישור להלן המדגים את התהליך:

<https://www.youtube.com/watch?v=zBtQChFW6js&feature=youtu.be>

כדאי להראות גם כתבה ארוכה יותר בנושא:

<https://www.youtube.com/watch?v=3hTj4WKOTT8>

תקשורת

תקשורת עוסקת בהעברת מידע. מטרת פרקי הלימוד בנושא זה היא לחשוף את התלמיד לעקרונות העברת מידע – למושגים הבסיסיים, לטכניקות ולמגבלות. בספר הלימוד **תקשורת תקבילית ותקשורת ספרתית** בהוצאת משרד החינוך, מט"ח ועוד, הקיים גם בגרסה מקוונת,

מופיעים כל הפרקים הדרושים לתלמידים. לכן, אפרט כאן רק את ההדגשים ואת הקשר למערכות רפואיות.

מטרת מערכת התקשורת היא להעביר מידע למרחק ולכיוון הרצויים בנפרד ממידע השייך למשתמשים אחרים.

כל מערכת תקשורת בנויה משלושה מרכיבים בסיסיים: משדר, מקור המידע; מקלט, יעד המידע; ותווך שדרכו עובר המידע מהמשדר למקלט. אפשר למיין את מערכות התקשורת בדרכים רבות. כאן אתייחס לשניים מהם:

א. כיוון הזרימה:

1. מערכת דו-כיוונית מלאה שבה כל קצה משמש בו זמנית כמשדר וכמקלט.
2. מערכת חצי דו-כיוונית שבה כל קצה יכול לשמש כמשדר או כמקלט. ברגע נתון כל קצרה יכול להיות רק אחד מהשניים.
3. מערכת חד-כיוונית שבה קצה אחד הוא תמיד המשדר והקצה השני תמיד הוא המקלט.

ב. סוג התווך:

1. תקשורת קווית, שבה קו פיזי מעביר את המידע מהמשדר אל המקלט.
 2. תקשורת אלחוטית שבה אין קו פיזי בין המשדר למקלט.
- בתכנון מערכת תקשורת, ייעוד המערכת מגדיר את הבחירה בתווך. למשל: משתמשים בתווך אלחוטי במערכת ניידת (סלולר), לצורך הפצת מידע לאזור גיאוגרפי רחב היקף (רדיו), וכשאינן אפשרות קשר קווי בין המשדר למקלט (לווינים, דימות רפואי).
- להלן מגבלות בסיסיות של מערכת תקשורת:

1. רעש :

- א. רעש פנימי, בעיקר תרמי, שמקורו ברכיבי המשדר והמקלט עצמם.
- ב. רעש חיצוני שמקורו בתווך.
2. תדר ורוחב פס: לכל אפיק תקשורת יש תדר עבודה מרכזי שנקבע בהתאם לנתוני המערכת, לתחום התדר (רוחב הפס) שתלוי בסוג המידע ובשיטת השידור, וכן באילוצים הנובעים משימוש של מערכות רבות באותו תווך.

הערות דידקטיות:

כדאי ללמוד את הפרקים בתקשורת אנלוגית ותקשורת ספרתית מספר הלימוד שמופיע בקישור להלן:

http://school.kotar.cet.ac.il/KotarApp/Viewer.aspx?nBookID=93204598#1.0_6.default

כדוגמה למערכת תקשורת אלחוטית כדאי לתת מערכות כגון pillcam שהומצאה בישראל, בחברת given imaging. באינטרנט יש חומרים וסרטוני הדגמה רבים על פעולתה.

בטיחות ותקנים במערכת ביו-אלקטרונית

כאשר משתמשים במכשור רפואי בבית החולה, בקליניקה או בבית החולים יש להבטיח שלא יהיו נזקים בעקבות השימוש במכשור. נזקים עלולים להיגרם למטופל, לרופא או למטפל ולסביבה. התקן האמריקאי מפקח על היבטים אלו לפני הוצאת המכשיר לשימוש ומאשר את השימוש בו. הוא מפקח על היבטים אלה גם לאורך זמן. התקן האירופאי מוסיף בדיקה שהמכשיר אכן ממלא את הפונקציה שהיצרן מתחייב עליה (כלומר עליו לבצע את הפעולה שלשמה נועד).

השימוש במכשור לצורכי אבחון וטיפול רפואי מערב ארבעה גורמים שיש לתת עליהם את הדעת בשלבי התכנון וההפעלה של הצידוד, ואלה הם:

1. המכשיר עצמו.

2. המטופל.

3. הצוות המטפל.

4. הסביבה.

אפשר ללמד היבטים רבים של כל אחד מהם, החל מתכנון עיצובי של המכשיר וכלה בסכנות של זיהום איכות הסביבה. להלן אתמקד רק בחלק מההיבטים האפשריים.

בטיחות בעבודה עם זרם חשמלי:

זרם חשמלי משמש לטיפולים רפואיים ולטיפולים קוסמטיים. כשהזרם החשמלי עובר דרך גוף האדם הוא גורם לתגובות שונות בהתאם לעוצמת החשמל שמזרימים. התופעות יכולות להיות מועילות ורצויות או מסוכנות עד כדי התחשמלות למוות. בזמנים קצרים, במתח DC ובסדר גודל של מיליאמפרים הוא עשוי להיות מורגש אך לא מזיק. ואולם, מגע יד במוליך זרם גבוה יותר מ-10 מיליאמפר יגרום להתכווצות השרירים סביב המוליך, ואי אפשר יהיה להתנתק

ממנו. 20 מיליאמפר הוא זרם שאם יזרום בגוף במשך זמן מסוים הוא יגרום לשיתוק נשימה. אם יזרום בגוף זרם של 50 מיליאמפר במשך שנייה הוא יגרום לפרפור לב. זרם של אמפר אחד ומעלה יגרום לכוויות, ואם יזרום בגוף במשך כמה שניות הוא יגרום לדום לב ולמוות. לכן כאשר מתכננים ומפעילים ציוד חשמלי יש לשמור על בטיחות המטופל והצוות הרפואי ולהימנע מהתחשמלות.

במקרים רבים משתמשים במכשור חשמלי ברצף למשך זמן ארוך. לכן חובה להבטיח כי גם במקרה של תקלה במערכת החשמל תמשיך אספקת זרם חשמלי לציוד, כלומר חייב להיות גיבוי. בעבודה עם סוללות יש להקפיד להחליף אותן לפני שתהיה פגיעה בתפקוד המכשיר. תקנים רבים מתייחסים לנהלי עבודה בציוד חשמלי בתחום הרפואה. הפירוט מוקפד מאוד משום שהציוד משמש להחייאה ולטיפול מצד אחד, אך יכול לסכן חיים מצד שני.

בטיחות בעבודה עם קרינה מייננת

קרינה מייננת משמשת לאבחון בעזרת חומרים רדיואקטיביים (מיפויים). משתמשים בה במכשירי רנטגן ו-CT, או במכשירים משולבים – Pet-CT. כמו כן, משתמשים בה לטיפולים בקרינה (רדיותרפיה) ואף לעיקור ציוד רפואי (סטריליזציה).

קרינה מייננת היא קרינה חודרת אשר גורמת ליינון החומר לתוכו היא חודרת. זוהי קרינה בעלת עוצמה המאפשרת לשחרר אלקטרון מאטום או ממולקולה.

קרינה רדיואקטיבית וקרינת X (רנטגן) נחשבות קרינות מייננות. קרינה רדיואקטיבית היא קרינה מייננת הנפלטת מחומרים רדיואקטיביים ברציפות עד שהם דועכים (לוקח לחומרים אלה זמן רב לדעוך). סוגי הקרינה הרדיואקטיבית הנפלטת מחומרים אלה: אלפא, ביתא ונאטרונים – שהם חלקיקים, גאמא – שהיא קרינה אלקטרומגנטית. קרינת X היא קרינה אלקטרומגנטית מלאכותית, הנוצרת במכשירים מיוחדים לכך. לא מדובר בקרינה רציפה כמו קרינה רדיואקטיבית. הפסקת פעולת המכונה או הפסקת מקור החשמל, מפסיקה את הקרינה מיד.

עם גילוי קרני X והקרינה הרדיואקטיבית והשימוש בהן לאבחון ולטיפול, הוכר הצורך להגן על הנחשפים להן. זאת לאחר שחוקרים, כדוגמת מארי קירי, סבלו מפגיעות קרינה עקב חשיפה לא מבוקרת.

תאי הגוף רגישים לשינויים הכימיים הנוצרים בעקבות היינון. המולקולות המרכיבות את הרקמה החיה גדולות ומורכבות, והוצאת אלקטרון עלולה לגרום לשינוי המבנה הכימי של המולקולה ולפגוע בתפקוד הביולוגי המקורי שלה. אם תא נפגע קלות קיימת אפשרות החלמה. כשהתא נחשף למנות גדולות של קרינה הוא יפסיק למלא את תפקידו הרגיל, ותא סמוך אליו ימלא את מקומו. כשתאים ניזוקים הגוף יוצר תאים מסוגם באופן מוגבר, וכך מסתגל לפגיעה.

רק פגיעה בו זמנית במספר רב של תאים תגרום נזק לגוף כולו. הפגיעה המשמעותית ביותר היא בתאים שאינם מתחדשים כגון תאי עצב וביציות בשחלות.

לקרינה המייננת יש גם השפעה עקיפה על הרקמה החיה. הקרינה עלולה לגרום למולקולת מים להיפרד לרדיקלים חופשיים שיש להם השפעה רעה על הגוף.

השפעת הקרינה המייננת על ריקמה ביולוגית תלויה במשתנים שונים:

1. כמות הקרינה וסוגה – ההשפעה הביולוגית של מנת קרינה α הוא בערך פי 20 ממנה זהה של קרינה X או γ .

2. זמן החשיפה לקרינה – קרינה יש השפעה חזקה יותר על הרקמה ככל שזמן החשיפה קצר יותר.

3. גודל האזור החשוף לקרינה – ככל שהאזור החשוף לקרינה גדול יותר, הנזק של הקרינה מסוכן יותר.

4. סוג הרקמה החשוף לקרינה – לא כל הרקמות רגישות באותה מידה לקרינה מייננת. תאי מוח העצם, הבלוטות ורקמות עובר, שבהן חלוקת תאים מהירה וחילוף חומרים מוגבר, הן הרגישות ביותר. כמו כן, פגיעה בתאי המין, זרע וביציות, עלולה להשפיע על הדורות הבאים. קרינה מייננת גדולה עלולה לפגוע במבנה המולקולות הנושאות את המידע התורשתי. פגיעה זו יכולה, גם שנים רבות לאחר החשיפה, לגרום להתרבות של תאים פגומים ולהעלאת הסיכוי לחלות במחלות סרטניות.

הגנה מפני קרינה מייננת

ההנחה הלינארית היא כי קיימת סכנה לנזק ביולוגי מכל מנת קרינה שהיא. הנחה זאת היא הבסיס לתקנים שקובעים הגופים המקצועיים הבין-לאומיים. נתונים אלו מתעדכנים ומתפרסמים בהתאם לממצאי מחקרים הנערכים בנושא. מטרת התקנים היא ליצור איזון בין הרצון להפחית ככל האפשר את החשיפה של אנשים לקרינה מייננת ובין הצורך להשתמש בטכנולוגיה המשתמשת בה. המנות המותרות נקבעות על סמך שיקולים של תועלת באבחון מוקדם אמין, העשוי להציל חיים, לעומת סיכון בחשיפה הרגעית. בשל השיקולים של עלות מול תועלת מקרינים לפי הצורך בלבד. כאשר מקרינים אדם בקרינה מייננת נוקטים אמצעי זהירות להגנה על איברים שאינם צריכים להיות מוקרנים, בעיקר על איברים רגישים, וכן ועל הצוות הרפואי בסביבה. המיסוך בין האדם המוקרן למקור הקרינה נעשה באמצעות חומרים בולעי קרינה. כאשר עובדים עם חומרים רדיואקטיביים משתמשים בבגדים מיוחדים וציוד מגן. מידת החשיפה של העובד לקרינה נמדדת בקביעות, ואם עבר את הגבול המותר לו, הוא מורחק

מחשיפה לקרינה באופן זמני או קבוע. נוסף על כך, משתדלים להימנע מהקרנה על נשים הרות כי הרגישות של בעובר לקרינה גבוהה מאוד.

הצעות לתרגילים ולבחינות

מטרת התרגול כאן אינו שינון החומר, חשוב ככל שיהיה, אלא פיתוח מיומנויות חקר בעבודה עצמית ובעבודת צוות. כדאי שהתרגול ישמש כהכנה מקצועית לקראת ביצוע עבודת הגמר בכיתה י"ב. נוסף על כך, התרגול הוא הזדמנות לחשוף את התלמידים לחידושים ולהמצאות עדכניים בתחום, ובעיקר חידושים והמצאות ישראליות. במהלך השיעורים מומלץ להציג לתלמידים פיתוחים והמצאות המוצגים בטורים מקוונים המתעדכנים יום-יום, כגון: טכנומדיק של YNET (<https://www.ynet.co.il/home/0,7340,L-3428,00.html>). שיעורי בית רבים יכולים להתבסס על מאמרים אלה. שימו לב שמאמרים ישנים עלולים לרדת מהאתר, ואם יש מאמר שמתאים לתלמידים בעיניכם כדאי לגבותו.

דוגמה לתרגיל:

לפניכם מאמר מטכנומדיק המציג פיתוח חדשני של מערכת (אפשר לתת לתלמידים לבחור מערכת כרצונם).

- א. האם המערכת משמשת לטיפול או לאבחון?
- ב. זהו את החיישן במערכת. איזה גודל פיזיקלי נכנס לחיישן ובאיזה יחידות? מה תחום העבודה של החיישן? הציגו את תשובתכם בגרף.
- ג. מהי תצוגת המערכת? מדוע נבחרה תצוגה זו? האם אפשר לבחור בתצוגה אחרת?
- ד. מה כושר ההבחנה? האם הוא מתאים לתפקיד המערכת? אם כושר ההבחנה לא ידוע, אפשר לשאול מה צריך להיות כושר ההבחנה שמתאים לשימוש המערכת.
- ה. שרטטו סכימת מלבנים למערכת המוצגת.
- ו. האם המערכת צריכה להיות ניידת או נייחת?
- ז. תכננו קופסה המתאימה למערכת.
- ח. האם המערכת היא המצאה חדשנית או שכלול של מערכות קודמות? מצאו מערכות קודמות בעלות אותו תפקיד, והשוו ביניהן.
- ט. מה הסכנות בשימוש במערכת למטופל, למטפל ולסביבה? כיצד ניתן למזער אותן?

אפשר לשלב מטלות של תכנון חומרה ותוכנה למערכת נתונה, כגון מד טמפרטורה, מערכת לבדיקת שמיעה ועוד. תכנונים אלה יכולים לשמש לניסוי מעבדה. כך התלמידים מתנסים בתכנון וביצוע פרויקט קטנים שיכינו אותם לעבודת הגמר.

חשוב לדרוש מהתלמידים לתעד את הכנת המטלה בחוברת, להכין מצגת ולהציג בפני הכיתה.

כדאי להתאים את המערכות לנושא הנלמד. לדוגמה: מערכת ספירומטר כשלומדים על דרכי הנשימה או מערכת לבדיקת שדה הראייה כשלומדים על העין. מומלץ להתחיל במערכות פשוטות, וכשהתלמידים רוכשים ידע במקצועות החומרה והתוכנה להתקדם למערכות מורכבות יותר.

ניסוי לדוגמה

מערכת הקרדיווסקולרית

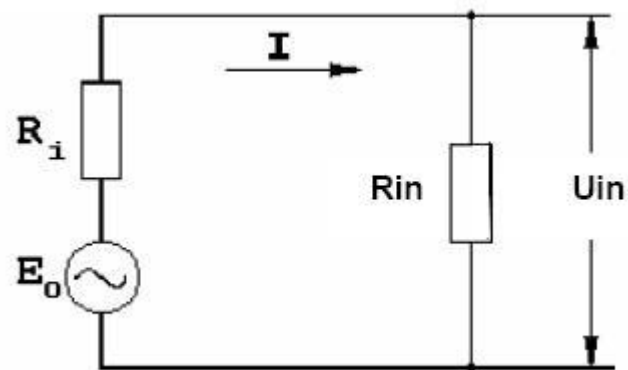
הצעת משחק – ניסוי הדמיה מומלץ המדגים בדיקת ECG ופענוח בדיקה:

<https://www.nobelprize.org/educational/medicine/ecg/index.html>

הרחבה בנושא אלקטרודות

מידת פוטנציאלים חשמליים

כדי שנוכל למדוד מבחינה אנרגטית בצורה נכונה את הפעילות הביו-חשמלית, כלומר להתאים תכונות של יחידת מדידה עם הנבדק, נצטרך להרכיב דוגמה למעגל חשמלי של מקור מתח הנוצר בבדיקה. למטרה זו אפשר להשתמש בסקיצה באיור להלן, המתאר התנגדות של רקמה ביולוגית עם מקור חשמלי E_o .



איור: מעגל חשמלי המתקיים

R_{in} הוא התנגדות כניסה למכשירי המדידה (מד מתח, מגבר) בנקודת חיבור לבדק, גודל R_i מורכב מהתנגדות חשמלית של רקמות והתנגדות של חיבורי מעבר מהאלקטרודות לבדק.

גודל התנגדות מעבר בין האובייקטים לאלקטרודות תלוי בגודל האלקטרודות, בצפיפות המגע שלהן עם האובייקט, בנוכחות או באי נוכחות של נוזל או חומר אחר המעביר חשמל. מהמעגל החשמלי רואים שהפונקציה של המתח בכניסת המגבר היא:

$$U_{in} = I_o \cdot R_{in} = E_o \cdot \frac{R_{in}}{R_i + R_{in}}$$

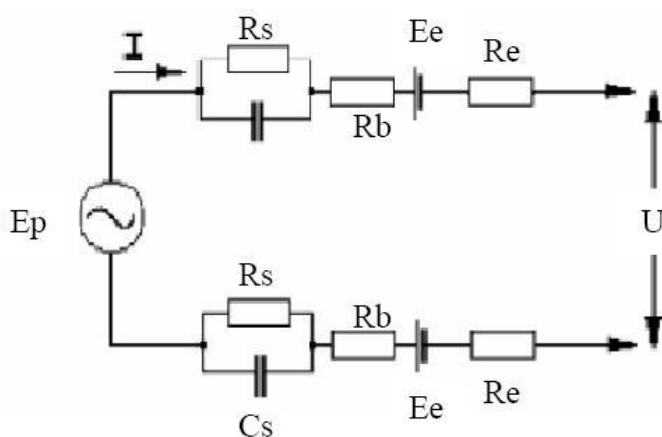
בפונקציה רואים שמתח הכניסה למגבר גדל עם עליית התנגדות R_{in} , אבל אף פעם לא מגיע

לערכו של E_o , כי גודל $\frac{R_{in}}{R_i + R_{in}}$ תמיד קטן מ-1. אם $R_{in} = R_i$, אז $U_{in} = 1/2 E_o$. מכך נובע: אם R_{in} בקרוב שווה R_i , אז גודל U_{in} יהיה קטן באופן משמעותי ביחס לגודל של E_o .

בהתאם לכללים, התנגדות הכניסה של המגברים בשביל מחקרים אלקטרו-פיזיולוגיים חייבת להיות פי 10–20 יותר מהתנגדות האובייקט המקסימלי. במצב זה כדי למצוא את R_{in} צריך לדעת את הגודל של R_i .

בגלל השימוש באלקטרודות מתכתיות ישנם אלמנטים אקטיביים, כגון פוטנציאל האלקטרודה. נוסף להם ישנם במעגל אלמנטים פסיביים, כגון חוטים המחוברים את אובייקט הבדיקה עם המגבר. אלמנטים אלו משפיעים על תהליך המדידה, לכן עדיף לבדוק את השפעתן של האלקטרודות ולהתחשב בהן.

סכמת חישוב מעגל חשמלי למדידת ביו-פוטנציאלים



מקור ביו-פוטנציאלים – E_p ;

התנגדות העור – R_s ;

קיבול העור – C_s ;

התנגדות רקמת גוף – R_b ;

פוטנציאל האלקטרודה – E_e ;

התנגדות האלקטרודה – R_e ;

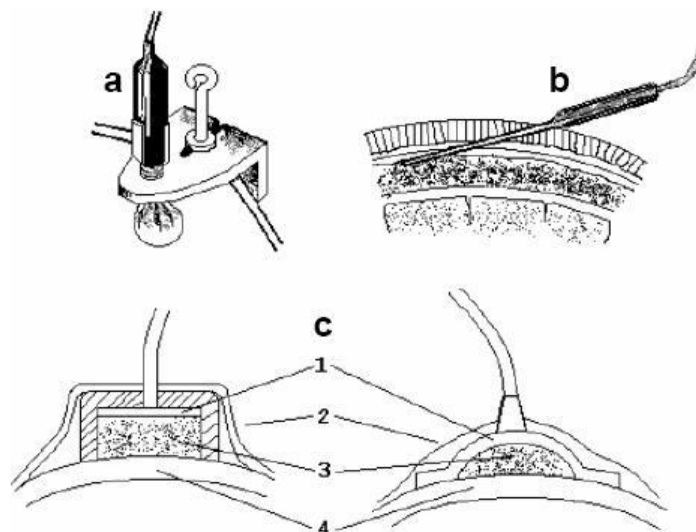
מתח כניסה – U

גודל ההתנגדות של העור נע בין מאות אוהם כאשר רקמת העור יבשה. השתנות של התנגדות רקמות גוף פנימיות פחות משמעותית, בסדר גדול של מאות אוהם.

קיבול רקמת העור תלוי בשטח פנים של האלקטרודה הצמודה באזור.

איורים של מבנה האלקטרודה

ישנם מבנים שונים של אלקטרודות. שני החלקים הבסיסיים של אלקטרודה הם: חיבור מתכתי וגוף עשוי מגומי. האיור להלן מציג מבנה של אלקטרודות בסיסיות.



a – אלקטרודה גשרית; b – אלקטרודה מחט

c – אלקטרודות קעורות (1 – מתכת; 2 – נייר דבק; 3 – משחת אלקטרודה; 4 – עור)

אלקטרודות מוצבות על הגוף או מוכנסות לאיבר מסוים, בהתאם לסוג הבדיקה. כך נקבעים הגודל והצורה של האלקטרודות.

בעזרת האלקטרודות אפשר לבדוק הפרש פוטנציאלים בין שני איברי גוף, בין שתי נקודות על פני איבר מסוים או בין אזור מסוים בגוף לבין פוטנציאל אפסי. הדרך למדידת פוטנציאלים השכיחה ביותר, היא מדידה על פני הגוף. אלקטרודות חיצוניות מודבקות לגוף או מחוברות לגוף בחגורות אלסטיות או באמצעים מורכבים יותר (EKG – קובע, ECG – אפוד). האלקטרודות מתחברות למכשיר בעזרת חוטים. בנקודת חיבור לגוף יש חלל ובו נמצא אלקטרוליט (חומר מוליך). אלקטרודות מחוברות היטב מאפשרות לאדם לזוז כשהן מחוברות אליו, אבל צריך לזכור שכל תזוזה גורמת לרעשים בגלל פעילות שרירית. כדי לקבל נתונים מדויקים ונקיים מרעשים יש לאלקטרודות מבנה למדידה ספציפית.

תחומי שימוש באלקטרודות:

משתמשים באלקטרודות לשם אבחון מחלות שונות. אלקטרודות הן רכיב חשוב מאוד במכשירי מדידת פעילות חשמלית של הגוף. להלן כמה תחומים שבהם יש שימוש באלקטרודות:

EEG (אלקטרו-אנצפלוגרפיה)

EEG היא אחת השיטות האובייקטיביות לבחינת פונקציות של מערכת העצבים, והיא מודדת את הפרש הפוטנציאלים בין שתי נקודות על פני הקרקפת של הנבדק. בהתאמה לזה, לכל ערוץ הקלט של מכשיר מובילים פוטנציאלים משתי אלקטרודות.

סוגי האלקטרודות למדידות EEG הן: אלקטרודות קרקפת דיסקית, אלקטרודות קולודיון, אלקטרודות מחט, אלקטרודות קפיץ ואלקטרודה גשרית.

ECG

ECG הוא מכשיר שמודד מתח המאפיין את פעילות שריר הלב.

EMG (אלקטרו-מיוגרפיה)

EMG הוא מכשיר שמודד ביו-פוטנציאלים של שרירים המהווים סוג של פעילות ביו-חשמלית. אלקטרודות במדידה זו מחוברות לקבוצות של שרירים ובודקות את פעילותן.

EOG

EOG הוא מכשיר שקולט ביו-פוטנציאלים שבעין המופיעים בין הקוטב הקדמי לקוטב האחורי בתזוזת העין. אלקטרודות מחוברות בדרך כלל לאזורים חיצוניים של פינות העיניים.

חוץ מחיבורים בסיסיים אלו, משתמשים גם בחיבורים חזיתיים, שבהם אלקטרודות מחוברות על פני החזה.

דרישות לאלקטרודות

אלקטרודות הן הרכיב החשוב ביותר במערכת הקליטה. משום שאלקטרודות קולטות אותות חלשים, לצורך יעילות גבוהה יותר הן חייבות להיות קטנות ככל האפשר, להשיק לקרקפת בקלות, לא לגרום לאי נוחות ולהישאר במקום לאורך הזמן הדרוש למדידה בלי שיזוזו. נוסף על כך, לאחר כל בדיקה חייבים לנקות ביסודיות את פני האלקטרודה, משום ששאריות של חומר אלקטרוליטי ישנו את הפוטנציאל של האלקטרודה ויגרמו לאי דיוק במדידה בבדיקות הבאות.

כמו כן, החוטים שבאמצעותם אות הנקלט מועבר למכשיר עצמו חייבים להיות קצרים כדי שלא להיחשף לרעשים חיצוניים ולהעביר את האות הקרוב ביותר לאות שנקלט. כמו כן, מומלץ שהמבנה של החוטים עצמם יהיה מסועף, כך הרעש שמופיע בחוט אחד יהיה שווה לרעש בחוט שני, רק שלילי. כלומר סך כל הרעש יהיה שווה לאפס.

מקור:

<http://www.antinaziresistance.org/Apps/WW/Page.aspx?ws=7c9d4dbd-d8e3-4c8b-acc5-cf4925a6847e&page=019af05a-2560-4ed1-95f0-b9d6aadbf09a&fol=a9192d6d-86bf-40aa-afaf-1d1a1cefc3fe>

מטרות הניסוי:

הצגת גלי ECG על גבי משקף תנודות באמצעות חיבור אלקטרודות אל גוף האדם.

הציוד נדרש:

- כרטיס ad8232
- 3 אלקטרודות
- מטריצה
- ספק כוח
- משקף תנודות

מהלך הניסוי יתבסס על דפי המידע:

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/ad8232-heart-rate-monitor-hookup-guide>

הרחבה לניסוי:

חיבור המוצאים האנלוגיים של הרכיב לכניסת מיקרו-מעבד, למשל ארדואינו, מאפשר דגימה ועיבוד של האותות המחזוריים. אלגוריתם הטיפול באות פועל באופן הזה: מתבצעת השוואה של האות העכשווי לאות הקודם, ומההפרש התדר ועוצמת הגל מחושבים בזמן אמת. לחיצה על הקישור מובילה לספריות שאפשר למצוא בהן תוכנית הפעלה של תהליך בקרה הפועל

בלולאה בשילוב תוכנית פסיקה. הפסיקה מופעלת באמצעות גלישת הטיימר בבקר ודוגמת 500 פעמים בשנייה את עוצמת הגל כדי לקבל תמונה מדויקת של ההשתנות בתלות בזמן. אפשר לאחסן מידע זה, להציגו על גבי תצוגת המיקרו מעבד ואף לשדרו למרחק.

ביבליוגרפיה

ספרים מומלצים להרחבה

לבריאות מכל הלב, מ' וליצקר, הוצאת האגף לתכנון ופיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך, המחלקה להוראת טכנולוגיה ומדעים הטכניון, ומל"מ.

ביולוגיה של האדם, ע' מרקוזה-הס, ד' פרנקל, נ' בשן, הוצאת המרכז להוראת מדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים, האגף לתכנון ופיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך, המרכז הישראלי להוראת מדעים.

תקשורת תקבילית ותקשורת ספרתית, ש' גלעם, הוצאת מט"ח ואחרים.

אבחון מחלות, האנציקלופדיה הרפואית החדשה, בעריכת ד"ר לוי וא' אנג'ל, הוצאת ידיעות אחרונות.

אולטראסאונד: עקרונות פיסיקליים וישומים רפואיים, ח' אזהרי, הוצאת הפקולטה להנדסה ביו-רפואית הטכניון.

פיסיקה בשרות האיבחון הרפואי, מ' רונן, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, 1989

MRI – המדרך המלא: רפואה ופיזיקה נפגשות, ע' בן חורין, הוצאת אחווה, 2016

אתרים מומלצים

מדריך למורה שנת 2004 בעריכת מוטי ווסק:

<https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm#search/MosheT%40admin.ort.org.il/162aaae0c0dac645?projector=1&messagePartId=0.1>

הסבר על MRI של מכון דוידסון:

https://davidson.weizmann.ac.il/online/maagarmada/med_and_physiol/%D7%90%D7%99%D7%9A-%D7%94-MRI-%D7%A4%D7%95%D7%A2%D7%9C

<http://mriguide.co.il/mri-%D7%90%D7%99%D7%9A-%D7%94%D7%95%D7%90-%D7%A2%D7%95%D7%91%D7%93/>

ביבליוגרפיה על PET

http://fmri.co.il/?page_id=47

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/mada/282062.html

טכנומדיק, המציג טכנולוגיות רפואיות חדשות:

<https://www.ynet.co.il/home/0,7340,L-3428,00.html>

חוברת עזר בהוצאת אורט (שממנה נלקחו, בין השאר, האיורים):

<http://archive.c3.ort.org.il/APPS/Public/GetFile.aspx?inline=yes&f=Files/6202BF2E-DF58-4347-9B32-1ECFD84803A3/0B33BBF1-B13D-4242-8923-27FCB1EBA96E/6C391EF5-3E00-4667-B6A0-C285E3D9AB21/AB750C1F-013B-4EAA-9099-F76641A31CC3.pdf&n=%D7%A1%D7%A4%D7%A8%20%D7%91%D7%99%D7%95%D7%A8%D7%A4%D7%95%D7%90%D7%94.pdf>

עמ' 101 – 107 הצעות לניסויים ופרוייקטונים בנושא דרכי הנשימה

חלופה 4 – תקשורת במערכות אלקטרוניות

מבוא

לימודי מקצוע ההתמחות מיועדים לתת לתלמיד חוויה טכנולוגית מעשירה בסביבה עדכנית באחת החלופות. העקרון המנחה של ההתמחות הוא חינוך לחשיבה, חקר, תכנון וביצוע פרויקטים. המטרות העיקריות של מקצוע זה הן לטפח לומד המסוגל ומיומן מצד אחד בלמידה עצמאית ומצד שני בעבודת צוות. אלו המיומנויות שידרש להן הבוגר בעבודתו בתעשיית ההייטק.

לימודי ההתמחות כוללים שלושה מרכיבים - התמחות במיקרומעבדים כבסיס לעבודה על הפרויקט, מעבדת פרויקטים לישום ואינטגרציה בין הנושאים שנלמדו והתמחות באחד מנושאי החלופה.

מדריך זה עוסק במרכיב השלישי, עבור בתי ספר הבוחרים בחלופה תקשורת במערכות אלקטרוניות.

תכנית הלימוד בחלופה כוללת 120 שעות לימוד עיוני ו 60 שעות לימוד התנסותי. מטרת הלימוד בחלופה זו היא הבנת מבנה ואופן פעולה של רשתות תקשורת מודרניות – החל מרשתות תקשורת אנלוגיות דרך תקשורת תאית ועד תקשורת נתונים דרך רשת האינטרנט. בתכנית מאות רבות של מושגים כשהעיקריים בהם: אפנון אותות תקבילי וספרתי, פרוטוקולים, שירותי רשת, מודל שרת-לקוח, שכבות בארכיטקטורה של מערכת תקשורת, אמינות של העברת נתונים. בתכנית נכלל מרכיב התנסותי משמעותי, לפיו נדרשים התלמידים לכתוב יישומי תקשורת בסביבת מערכות משובצות מחשב ולהפעיל תוכנות ניטור, כדי לעקוב אחר הפעולה של הפרוטוקולים.

נושאי חלופה זו קרובים לעולמם של התלמידים והם מכירים ומשתמשים בהם בחיי היום יום. כדאי מאד לנצל זאת כדי להקנות למקצוע יתר משמעות וענין. לדוגמה – כל תלמיד מכיר באופן שטחי את המושגים WI-FI, BLUETOOTH וטלפון סלולרי. ההיכרות עם מושגים אלה הופכת את ההעמקה בנושא למעניינת ומאפשרת התנסויות רבות ומגוונות במהלך השיעורים. ההכרות המוקדמת של התלמידים עם רבים מהמושגים, גם אם באופן שטחי מאפשרת למידה פעילה, שיתוף רב של התלמידים בשיעור והכוונתם להעמקה וחקר.

אתרי אינטרנט רבים (ספרים מקוונים, מאמרים, מצגות, תמונות) עוסקים בנושאים שבתכנית וכדאי מאד להשתמש בהם. כמעט כל נושא בתכנית מלווה בספר לימוד מתאים ובמדריך למורה וחוברת ניסויים.

חשוב! עבודת התלמידים בשעות המעבדה על הפרוייקטים צריכה להעמיק ולבסס את התכנים הנלמדים בשיעורים העיוניים. בהמשך מפורטות הדגמות מעבדה לנושאים הנלמדים. פרוייקט הגמר חייב לממש את העקרונות הנלמדים ביחידה זו. בפרוייקט הגמר חובה לשלב נושאים מתכנית הלימודים של החלופה, כך שתינתן לתלמידים הזדמנות ליישם את הנלמד ולהפגין בבחינה את הידע שרכשו בלימודים העיוניים.

פרק 1: עקרונות בתקשורת תקבילית וספרתית

הפרקים הראשונים של תכנית הלימודים עוסקים בתקשורת תקבילית ותקשורת ספרתית. פרקים אלה נלמדים שנים רבות במקצוע תקשורת בהתמחות מערכות אלקטרוניות. פרקים אלה מציגים בפני התלמיד את המושגים הבסיסיים בתקשורת – העברת מידע ממקום למקום באמצעות מערכות אלקטרוניות.

המטרה העיקרית של פרקים אלה היא לפתח לתלמיד את המושגים הבסיסיים בתקשורת תקבילית וספרתית. ההגדרות כוללות הגדרה מילולית וכן יחידות רלוונטיות/נוסחאות/גרפים/סכימות מלבנים/מעגלים חשמליים לפי הצורך.

בפרקי התקשורת האנאלוגית מומלץ להדגים את העקרונות ע"י מידע שמע (קול) ומערכת רדיו. דוגמאות אלו מוכרות לתלמידים ומאפשרות קישור קל של החומר לעולמם. באופן כזה ניתן להרבות לשתף את התלמידים בשיעור ולאתגר אותם לחשיבה וחקר.

לפרקים אלה קיים ספר לימוד הכולל את המידע הנדרש להוראה. "תקשורת תקבילית ותקשורת ספרתית" מאת שמחה גלעם,

<https://school.kotar.cet.ac.il/KotarApp/Viewer.aspx?nBookID=93204598#1.4187.6.default>

בנוסף, כדאי להעזר בפרק המבוא מספר "תקשורת נתונים" מאת ד"ר אייל שפרוני, בהוצאת מט"ח

https://books.google.co.il/books?id=gwUUUs_Y_eF8C&printsec=frontcover&hl=iw&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

מדריך זה אינו משמש כתקציר לחומר הנלמד אלא מתרכז בהגדרת המטרות האופרטיביות בכל סעיף בתכנית הלימודים.

מבוא לתקשורת

- תיאור אות שמע ותרשים מערכת שמע הכוללת מיקרופון, מגבר ורמקול
להכיר תחום התדר של אות השמע.
להוציא מידע ממשוואות ולשרטט גרפים של מתח כפונקציה של זמן ושל תדר לאות סינוס.
לזהות סימונים מוסכמים למיקרופון ורמקול להכיר תפקיד ואופן פעולת מיקרופון ורמקול.
לשרטט סכימת מלבנים עקרונית של מערכת שמע.
- הצורך באפנון להעברת השמע בצורה אלחוטית
להסביר ולחשב את הקשר בין תדר השידור לאורך האנטנה
לתאר את התווך במונחים של ריבוי אפיקים.
לדעת את תפקידי האפנון בתקשורת אלחוטית .
- הפרדה בין אפיקים והקטנת גודל האנטנה המשדרת.
להגדיר את מושג – גל נושא .
- מבנה בסיסי של משדר ומקלט אלחוטי
לשרטט סכימת מלבנים עקרונית של משדר מקלט אלחוטי. להסביר תפקיד כל מלבן.
לתאר תיאור מילולי וגרפי של אות הכניסה והיציאה מכל מלבן כפונקציה של הזמן ושל התדר (גרף ספקטרום).
להבין את הצורך בהגברה ובהתאמת ההספק המשודר למרחק ולכיווני השידור.
- מאפיינים עיקריים של רשת תקשורת אלחוטית : סוג מידע, טווח, תדרי עבודה, רוחב פס, רעש ומקורותיו, יחס אות לרעש
לפרט סוגי מידע בעיקר אות שמע ונתונים ספרתיים
להסביר את השפעת טווח השידור על תכנון מערכת.
להכיר באופן כללי את תדרי העבודה של מערכות אלחוטיות .
לזהות ולהבחין בין סוגי רעש – רעש פנימי ורעש חיצוני.
להכיר את מושג יחס אות לרעש ולבצע חישובי יחס אות לרעש.
רשות: הכרת מושג דציבל וחישוב יחס אות לרעש ב db.

- אופני התפשטות של גלי הרדיו – גלי קרקע, גלי רקיע
להכיר את עקרונות שידור בתצורות שידור קרקע ורקיע.
להשוות בין תצורות השידור האלחוטי – גל ישיר, גל רקיע וגל קרקע.
במונחים של מרחק שידור, ניחות ושימוש.
- סוגי אנטנת ומאפיינים
לדעת מה תפקיד האנטנה המערכת תקשורת.
להגדיר את המושג – שדה אלקטרומגנטי
להכיר מבנה אנטנות איזוטרופית, דיפול וצלחת.
להסביר את אופי התפשטות הגל מהאנטנות השונות (אונה)
לבחור את האנטנה המתאימה לשידור לטווח ולכיוונים הנדרשים.

אפנון AM

- תיאור האפנון בציר הזמן וציר התדר
לשרטט גרפים (מידע, נושא ומאופנ) של מתח לעומת זמן ומתח לעומת תדר.
לדעת לקרוא נתוני מתח ותדר מהגרפים.
- חישוב גורם האפנון
לחשב גורם אפנון ולדעת את התחום המעשי של ערכיו.
להסביר כיצד משפיע ערך גורם האפנון על גרף האות המאופנ.
להבין את השיקולים בבחירת גורם אפנון במערכת תקשורת
- תיאור אות מאופנ סינוסואידלי ואות מאופנ כללי
להבין את מונח האות האקראי ואת הצגת אות המידע כסינוס לפישוט החישובים.
לרשום משוואת אות מידע סינוס, אות נושא ואות מאופנ .
לשבץ במשוואה נתונים מספריים מתוך גרף אות מאופנ ולהפך.
- תרשים מלבנים של משדר AM - הכולל בין היתר מעביר נמוכים, אפנ, מגבר RF ואנטנה
להגדיר מהו מסנן ומה תפקידו
להכיר את סוגי המסננים לפי תחומי תדר LPF BPF HPF
לשרטט ספקטרום עקרוני לסוגי המסננים השונים .
להכיר את מושג ותפקיד האפנ במשדר.
לשרטט גרפים לציר תדר ולציר זמן בכניסה וביציאת האפנ.
לדעת ולהסביר מהו מתנד ליצירת גל נושא ומה הדרישות ממנו במונחים של יציבות ונקיון תדר.
לשרטט תרשים מלבנים עקרוני של משדר ושל AM
- מאפייני משדר (יציבות תדר, הספק שידור, נצילות)
להסביר מהי יציבות תדר ומה הבעיה בחוסר יציבות .
להכיר נוסחת חישוב הספק מתוך מתח והתנגדות ולבצע חישובים .
להגדיר מושגי נצילות משדר ונצילות שידור ולהבחין ביניהם.
להכיר נוסחת נצילות שידור והתלות בינה למקדם האפנון. לחשב את הנצילות המקסימלית.
לבצע חישובי נצילות שידור מתוך נתונים מספריים או מתוך ערכים בגרף אות מאופנ.

- תרשים מלבנים של מקלט AM ישיר, מקלט סופר-טרודיין הכולל: מגבר RF, ערבול, מתנד מקומי, מסנן תדר ביניים, מגבר תדר ביניים, גלאי, מגבר שמע, AGC
לשרטט סכימת מלבנים של מקלט ישיר ומקלט סופר הטרודיין.
להסביר תפקיד כל מלבן והשפעתו על אות הקליטה.
לשרטט גרפים כניסה ויציאה של האות לכל מלבן בתלות בזמןם ובתלות בתדר.
לחשב תדרים ומתחים במוצא כל מלבן
לרשום משוואת אות במוצא כל מלבן
להשוות בין מקלט ישיר למקלט סופר הטרודיין.
מאפייני מקלט: רגישות, ברירות, דחיית תדר בבואה, עיוותים, חסינות לרעש.
להגדיר כל תכונה - מילולית ויחידות המדידה.
לזהות אלו מלבנים במקלט משפיעים על כל תכונה .
לחשב תדר בבואה לאפיק נתון.
להכיר לפחות שתי דרכים להקטין השפעת תדר הבבואה – סופר הטרודיין כפול ותכנון אופטימלי של תדר ביניים.

FM אפנון

- תיאור אות מאופנן FM בתחום הזמן ובתחום התדר
לרשום משוואת התדר הרגעי לאות FM
לרשום משוואת המתח הרגעי של אות FM עבור מידע סינוס.
לבצע חישובים של מקדם אפנון β ותחום שינוי תדר בהשפעת המידע $F\Delta$.
חישוב רוחב פס אפיק שידור.
לשרטט גרפים של אות המידע, גל הנושא והאות המאופנן בתלות בזמן ובתדר.
- השוואה בין שיטות שידור AM ו-FM
לתאר בטבלה הבדלים בתחומי תדר, טווח, תצורת שידור, רוחב פס, נצילות משדר.
- תרשים מלבנים של משדר FM: מסנן מעביר נמוכים, מתנד מבוקר מתח, מכפלי תדר, מגבר הספק.
לדעת לשרטט סכימת מלבנים משדר FM
להסביר את תפקידו של כל מלבן
לשרטט גרפים במבוא ומוצא כל מלבן בתלות בזמן ובתדר.
- מאפייני משדר: יציבות תדר, הספק שידור ונצילות.
להגדיר כל תכונה, לדעת את יחידות המדידה והדרגות המשפיעות על כל תכונה.
- תרשים מלבנים של מקלט FM: מגבר ת"ר מתכוונן, ערבל, מסנן תדר ביניים, מתנד מקומי מתכוונן, מגבר תדר ביניים, גלאי, מגבל, AFC.
לשרטט סכימת מלבנים של מקלט סופר הטרודין FM.
להסביר תפקיד כל מלבן והשפעתו על אות הקליטה.
לשרטט גרפים כניסה ויציאה של האות לכל מלבן בתלות בזמן ובתלות בתדר.
לחשב תדרים ומתחים במוצא כל מלבן
לרשום משוואת אות במוצא כל מלבן
- מאפייני מקלט: רגישות, ברירות, רוחב פס, נאמנות, חסינות לרעש.
להגדיר כל תכונה - מילולית ויחידות המדידה.
לזהות אלו מלבנים במקלט משפיעים על כל תכונה.
חשוב: דוגמאות לישום מערכות אלו נתונות בקישורים הבאים:
<https://www.youtube.com/watch?v=b5C9SPVIU4U>
<https://www.instructables.com/id/RF-315433-MHz-Transmitter-receiver-Module-and-Ardu>

האות הספרתי

- הפיכת אות מידע אנלוגי לאות מידע ספרתי. תיאור גרפי של שיטות להצגת מידע ספרתי (PAM, PWM, PPM, PCM).
להבין מאפייני אות אנלוגי ואות ספרתי במונחים של רציפות בערכי מתח ובזמן.
להכיר את מושג הדגימה כצעד ראשון להפיכת אות אנלוגי לספרתי.
להכיר שיטות הצגת מידע (PAM, PWM, PPM, PCM). בכל שיטה מיהו הגודל הקבוע ומי הגודל הנושא בתוכו את המידע הדגום.
לשרטט גרפים של אות מידע דגום בהצגתו בשיטות הנ"ל בתלות ציר הזמן.
- פעולות דגימה ושמירה. דיאגרמת מלבנים עקרונית של מערכת לדגימה ושמירה; תיאור מעגל דגימה ותיאור צורות הגלים במוצאו. משפט הדגימה – משפט ניקוויסט. תיאור גרפי של אותות, בזמן ביצוע פעולות הדגימה והשמירה.
לדעת את משפט הדגימה של ניקוויסט ולתרגל חישובים בערכי מידע מעשיים.
להבין את עקרון תהליך דגימה ושמירה ומה מטרתו.
לשרטט מעגל עקרוני של דגום ושמור ולהסביר את אופן פעולתו וצורות הגלים במבוא ובמוצא המעגל.
- פעולת הכימוי, רעש כימוי, מדדי קצב (b/s, baud)
להגדיר את מדדי קצב העברת המידע ולזהות את ההבדל ביניהם.
להבין את תפקיד פעולת הכימוי בשלבי הפיכת אות אנלוגי לספרתי.
לחשב את מספר הכמויות בהתאם למספר הסיביות הספרתיות.
לחשב את רעש הכימוי.
- פעולת הקידוד. שיטות לקידוד האות; שיטת RZ ושיטת NRZ, מנצ'סטר רגיל ודיפרנציאלי
להסביר עקרון כל שיטה.
לשרטט גרף לאות מידע ספרתי נתון בכל שיטה בתלות בזמן.
להשוות בין השיטות.
- שחזור האות. מערכות סינכרוניות ואסינכרוניות
להסביר מהי מערכת סינכרונית ואסינכרונית.
להשוות בין המערכות.
- דיאגרמת מלבנים של מערכת שידור וקליטה של ערוץ תקשורת ספרתי
לדעת לשרטט סכימת מלבנים של ערוץ תקשורת ספרתי PCM (ברמת הפירוט שבספר הלימוד).

לדעת להסביר תפקיד כל מלבן

לשרטט אותות כניסה ויציאה לכל מלבן בהתאם לנתונים. בתלות בזמן

- סיבות לשגיאות בהעברת מידע ספרתי

לפרט לפחות שתי סיבות שגיאה ולהעריך כיצד ניתן להקטין או לשהות שגיאות

אלו.

שיטות אפנון וריבוב ספרתי

- עקרונות של אפנון דפקים: אפנון תנופת הדופק (PAM) אפנון דופק מקודד (PCM)
לשעת מה תפקיד האפנון באות ספרתי.
להכיר את עקרונות כל שיטה. מה הפרמטרים הקבועים בכל שיטה ומה משתנה בתלות במידע.
לשרטט גרף בתלות בזמן של אות מאופנן בכל שיטה.
להשוות בין השיטות
- ריבוב אותות ספרתיים, ריבוב בזמן TDM
להכיר את מושג הריבוב ותפקידו.
להכיר ריבוב בין אפיקים בחלוקת זמן
להדגים בגרף ריבוב של 3 אפיקי מידע שונים.
לחשב את קצב העברת הפולסים בקו בהתאם לנתונים עבור מספר אפיקים מרובבים.
להכיר את הריבוב בחלוקת תדר כשיטה נוספת לריבוב.
חשוב: קישורים להדגמות במעבדה לשימוש בריבוב בזמן :
<https://www.youtube.com/watch?v=BptzcTznE-4>
<https://www.youtube.com/watch?v=uQMUPhyoXoE>
- שיטות ספרתיות בסיסיות למפתוח ואפנון (ASK, FSK, PSK) תיאור גרפי של האותות בשיטות האפנון השונות. דיאגרמות עקרוניות לתיאור מערכות לייצור האפנונים הדרושים. דיאגרמה עקרונית לתיאור גילוי של אות מאופנן.
להסביר את הצורך במפתוח עבור אותות ספרתיים.
להגדיר את עקרונות כל שיטת מפתוח .
להשוות את שיטות המפתוח לאפנונים אלחוטיים באותות אנאלוגיים.
לשרטט סכימת מלבנים למערכת מפתוח בכל שיטה.
לשרטט לכל שיטת מפתוח גרף מתח כפונקציה של זמן עבור אות מידע נתון.

התנסות

ביצוע ניסויים המתייחסים לחומר הנלמד ומבוצעים באופן מקביל ללימוד העיוני הוא חלק חשוב מהבנת החומר. בנוסף להדגמות שהוצעו בקישורים, ספרי ניסויים מציעים ניסויים מגוונים וקיימים גם בגרסה מקוונת:
<https://school.kotar.cet.ac.il/KotarApp/Viewer.aspx?nBookID=97616579#11.1535.6.default>

פרק 2: עקרונות ברשתות תקשורת בין

מחשבים

תקשורת מחשבים (או תקשורת נתונים) מתייחסת לכל סוג של העברת מידע בין מחשבים, החל משני מחשבים הממוקמים זה ליד זה ועד להעברת מידע בין מחשבים רבים הנמצאים במרחק רב זה מזה, על כדור הארץ או מחוץ לו ברשת לווינים. המידע בתקשורת בין מחשבים הוא אות בינארי – סיביות. תקשורת בין מחשבים יכולה להתבצע באופן קוי – לדוגמה קוי טלפון מנחשת או סיבים אופטיים, ובאופן אלחוטי ע"י המרת אות המידע לאות אלקטרומגנטי המועבר באוויר ממסדר למקלט.

בפרק זה יכירו התלמידים את המבנה והפעולה של רשתות תקשורת מודרניות – תקשורת בין מחשבים. במיוחד את המבנה והפעולה של האינטרנט. המושגים העיקריים הם: פרוטוקולים, שירותי רשת, מודל שרת-לקוח, ארכיטקטורה של מערכת תקשורת, אמינות בהעברת נתונים.

פרק זה ניתן בקלות ללמד באופן מעניין ביותר משום שהוא מאפשר לתלמידים להעמיק ולהבין מושגים הקשורים לעולם האינטרנט שבו הם מרבים להשתמש בחיי היום יום. הלימודים העיוניים מלווים במרכיב התנסותי משמעותי, הכולל בין השאר כתיבת יישומי תקשורת פשוטים בשפה עילית C או VB והפעלת תוכנות ניטור העוקבות אחר פעילות של פרוטוקולים. בהמשך קישור לחוברת ההתנסויות של המקצוע.

פרק זה מומלץ ללמד בצמוד לספר "תקשורת נתונים" ד"ר אייל שפרוני, בהוצאת מט"ח
<https://school.kotar.cet.ac.il/KotarApp/Viewer.aspx?nBookID=97613613#17.3293.6.default>

הספר תואם במדויק את התכנים והרמה הנדרשת מהתלמיד ולכן לא נדרש כאן פירוט נוסף.

https://books.google.co.il/books?id=EyODfNNCtVkC&printsec=frontcover&hl=iw&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

מקור נוסף: ספר מקוון "עקרונות תקשורת נתונים" מאת עמנואל וינד בהוצאת האוניברסיטה הפתוחה.

https://books.google.co.il/books?id=P-rAY4dmiulC&printsec=frontcover&hl=iw&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

מומלץ לעבוד בצמוד לתכנית הלימודים המפורטת והספרים וללוות את הלימודים העיוניים בניסויים המוצעים.

לביצוע הניסויים יש להעזר בחוברת "תקשורת נתונים התנסויות" שכתבו ד"ר אייל שפרוני, ד"ר יובל שביט וגדי הרמן.

https://books.google.co.il/books?id=q6tiFEsMQe8C&pg=PA3&lpg=PA3&dq=%D7%AA%D7%A7%D7%A9%D7%95%D7%A8%D7%AA+%D7%A0%D7%AA%D7%95%D7%A0%D7%99%D7%9D+%D7%A0%D7%99%D7%A1%D7%95%D7%99%D7%99%D7%9D&source=bl&ots=UVVJE6Y6zo&sig=ACfU3U3PBIG-xjZXiCZe_0sinbMqIbHn6A&hl=iw&sa=X&ved=2ahUKEwj7xvOpp73hAhVN2qQKHZS7BO8Q6AEwCHoECAkQAQ#v=onepage&q=%D7%AA%D7%A7%D7%A9%D7%95%D7%A8%D7%AA%20%D7%A0%D7%AA%D7%95%D7%A0%D7%99%D7%9D%20%D7%A0%D7%99%D7%A1%D7%95%D7%99%D7%99%D7%9D&f=false

פרק 3: יישומים בתקשורת

WI-FI

טכנולוגיית Wi-Fi מאפשרת העברה אלחוטית של נתונים, בין מכשירים שמחוברים לרשת ה-Wi-Fi. היתרון המרכזי הוא שאין צורך בחיבורים של כבלים לרשת. טכנולוגיה זו אידיאלית לכן למחשבים ניידים. המכשירים מתחברים באופן פשוט וזול. כדי ליצור רשת Wi-Fi נדרש רק נתב אלחוטי שאליו יתקשרו המכשירים. כדי להתקשר נדרש להזין שם הרשת והסיסמה).

חשוב להתייחס לנושא דרך ישום כגון:

<https://www.youtube.com/watch?v=9QZkCQSHnko>

<https://www.youtube.com/watch?v=8KhtkUTJfok>

רשת ה-Wi-Fi מוגדרת כרשת אלחוטית במרחב המקומי (LAN Wireless). לרוב מבוססות רשתות אלה על תקני IEEE 802.11 ו-Wi-Fi מהווה שם נרדף להן. תקני 802.11 מאפשרים פריסת רשת תקשורת שבה משודרות חבילות נתוני IP בין הצרכנים השונים, למרחקים של כמה עשרות מטרים.

הסבר על התקן: https://he.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

מומלץ להתחיל את ההכרות עם פרק זה בקישור הבא:

<https://he.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>

המפנה גם לקישורים נוספים. כדאי להפנות את התלמידים גם לקישור
http://study.eitan.ac.il/sites/index.php?portlet_id=110520&page_id=111
http://study.eitan.ac.il/sites/index.php?portlet_id=110520&page_id=112

BT - Bluetooth

תקן פתוח לשידור וקליטה אלחוטית בתדר גבוה של כ-2.4GHz בהספק נמוך יחסית המתאים למרחקים קצרים וליצירת תקשורת במרחב האישי (Personal Area – PAN Network). רשתות BT לרוב דינמיות ומוקמות על בסיס זמני (אד הוק). הקשר בין ההתקנים המחוברים נעשה ללא צורך בשרת.

רכיב Bluetooth מיועד לתקשורת נתונים באופן אלחוטי כדוגמת קשר בין smart phone לדיבורית, אוזניות, מוצרי בית חכם, מחשבים ניידים, שעונים חכמים ועוד. ל-BT יכולת לתקשר בין 8 התקנים במקביל. אין צורך בקו ראייה בין ההתקנים. טווח השידור מתחלק ל-3 רמות: רמה נמוכה – הספק 1mW מרחק של 1 מטר. רמה בינונית 2.5mW – עד 10 מטר. רמה גבוהה 100mW עד 100 מטר. חסרון ה-BT הוא ברוחב הפס הנמוך, שאינו מאפשר העברת קבצים גדולים. מקור השם Bluetooth – שן כחולה, הוא כינויו של המלך הראלד הראשון שמלך על דנמרק וחלקים מנורווגיה במאה העשירית ואיחד את השבטים הדנים לממלכה אחת. הלוגו של BT מורכב מראשי התיבות של שמו בכתב רוני שהוא הכתב הסקנדינבי העתיק. השם נבחר ב-1997 משום שתקן ה-BT נועד לאחד את פרוטוקולי התקשורת לפרוטוקול בסטנדרט אחיד).

דוגמאות לישום:

<https://www.youtube.com/watch?v=sXs7S048elo>

<https://www.youtube.com/watch?v=x3KAXjnP06o>

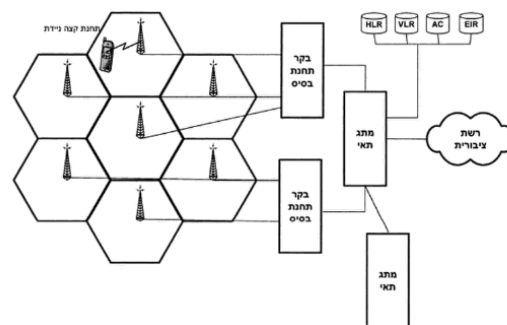
בויקיפדיה ערך מפורט מאד שכדאי לקרוא:

<https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%91%D7%9C%D7%95%D7%98%D7%95%D7%AA%27>

לביצוע התנסות ניתן להעזר בספר "ארדואינו חלק א" מאת שי מלול בפרק תקשורת טורית – UART.

תקשורת סלולרית

תקשורת תאית (סלולרית) מיועדת למתן שירותים מגוונים של דיבור, הודעות, וידאו, אינטרנט ועוד למשתמשים ניידים (Mobile Stations). מרחב הכיסוי מחולק לתאי שטח קטנים, המתוארים כמשושים בשרטוט. בכל אחד מהם נמצאת יחידת בסיס (Base Transceiver Station) של משדר ומקלט ואנטנה הממוקמת גבוה כדי "לכסות" את כל השטח. השידור האלחוטי נעשה בתדרים גבוהים מאד כדי להקטין את גודל היחידות והאנטנות. תפקיד התא הוא לנהל את הערוץ האלחוטי ולהעביר מידע מהמשתמש ואליו. כאשר המשתמש מתנייד בשטח הוא עובר מתא אחד לתא הסמוך לו בלי ניתוק קשר. המתג התאי (Mobile Switching Center) – מרכזיה – שולטת על קבוצת תאים ולה תפקידים רבים: למתג את השיחות בין התאים, לנהל את השיחות, לקשר לרשתות תאיות ורשתות תקשורת ארציות, לזהות את המנוי ולעקוב אחריו, לנהל הקצאת תדרים ואת החיוב הכספי של המשתמש.



מבנה רשת בסיסית

השרטוט מספר מערכות תקשורת – תקשורת לווינים ותקשורת קוית של מט"ח.

חשוב: דוגמאות לישום

<https://www.youtube.com/watch?v=9UEcT5GxdBk>

<https://www.youtube.com/watch?v=n-RkWRUw62g>

מערכת טלפון נייד ראשון הופעלה בארה"ב ב-1946 אך רק ב-1978 הופעלה הרשת התאית הראשונה. בישראל הוקמה לראשונה רשת תקשורת תאית בשנת 1986 ע"י חברת פלאפון.

סקירת התפתחות הסלולר במונחים של דורות:

המלה "דור" בחברת סלולר משמשת לציון טכנולוגיה חדשה, דור מסמל החלפה מלאה של רשת האנטנות של החברה. דור ביניים (כמו למשל 3.5) מתייחס שדרוג תוכנה לתשתית הקיימת מבחינת המשתמש עם כל עליה בדור הוא מקבל קצב גלישה גבוה יותר, אפליקציות ושירותים חדשים המאפיינים את הסמארטפונים. הדור הראשון – מערכות המבוססות על תקשורת אלחוטית אנאלוגית. הטכנולוגיה הנפוצה בהן היא AMPS- advanced mobile phone system. הדור השני – מערכות המבוססות על תקשורת אלחוטית ספרתית – איכות שמע משופרת והרחבת שירותים למנוי. הטכנולוגיה הנפוצה בהן היא GSM - global system for mobile communication. הדור השלישי – מערכות מבוססות תקשורת אלחוטית רחבת פס. מאפשרות העברת נתונים ותמונות בקצב מהיר יותר. הדור הרביעי – עליית קצב גלישה באופן משמעותי (עד 200 מגהביט לשניה) הטכנולוגיה היא Long Term Evolution - LTE שאליה מתכנסות כל חברות הסלולר בעולם. הדור החמישי – עליה משמעותית של מהירות הגלישה (1 ג'יגה בייט לשנייה). ישפיע בעיקר על פיתוחים טכנולוגיים בתחום תקשורת רציפה בין מערכות בערים חכמות. לדוגמה חיבור רציף בין מכונות אוטונומיות אחת לשניה ולרמזורים, בתים חכמים, תעשייה, בנקאות והגנת סייבר.

שיטות גישה מרובות משתמשים

ביצוע ריבוב של ערוצים על ידי מרבב יכולה לייעל באופן משמעותי את השימוש בקו תקשורת, אך הצורך בריכוז כל ערוצי הכניסה למקום אחד בו נמצא המרבב מהווה חיסרון מהותי לשימוש במרבבים. במערכת תקשורת סלולרית, אי אפשר לרכז את הטלפונים הסלולרים למקום אחד על מנת שיתחברו כולם למרבב אחד. ישנן שיטות אחרות לשימוש במשאב משותף, המתבססות על עקרונות הריבוב, ללא הצורך במרבב. שיטות אלו מאפשרות שימוש בערוץ משותף, או **Division Multiple Access** ומכאן הסיומת DMA לשיטות השידור הסלולריות. לפיכך:

Code Division Multiple Access - CDMA מאפשר לכל טלפון לקודד את השיחה שלו בקוד ייחודי המבדיל אותו משאר הטלפונים

Time Division Multiple Access - TDMA למכשירים הפועלים בשיטה זו יש מנגנון פנימי הגורם להם לשדר ולקלוט מידע רק בחלון- הזמן המוקצה להם, ולא בחלונות זמן שמוקצים לטלפונים אחרים.

Frequency Division Multiple Access - FDMA מאפשר למכשירים שונים לפעול בתדרים שונים

קריאה נוספת בנושא גישה מרובת משתמשים בסלולר:

<https://searchnetworking.techtarget.com/definition/CDMA-Code-Division-Multiple-Access>

לפירוט נוסף של הנושאים בתקשורת הסלולרית כדאי להשתמש בספר "רשתות תאיות – טכנולוגיה ושירותים" מאת עמנואל וינד.

https://books.google.co.il/books?id=yz5C0J9SUCsC&printsec=frontcover&hl=iw&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false