



משרד החינוך  
המינהל למדע ולטכנולוגיה

# תכנית לימודים

**מכטרוניקה**

התמחות:

**מבוא להנדסת חשמל  
ואלקטרוניקה**

מקצוע:

**י"ד**

כיתה:

תשע"א 2011

# מבוא להנדסת חשמל ואלקטרוניקה

שעות לימוד:	הנדסאי 144 שעות עיוני + 36 שעות התנסות
טרימסטרים:	ג*, ד, ה
דרישות קדם:	קורס מבוא להנדסת חשמל ואלקטרוניקה הנלמד בטרימסטרים א ו-ב
מבחן חיצוני:	מערכות מכטרוניות ה (710923)

## א. מבוא

תכנית הלימודים מתרכזת בהבנת עקרונות פעולתם של מעגלים בסיסיים ורכיבים אופייניים בתחומי האלקטרוניקה התקבילית, תעשייתית וספרתית ובתחום ההינע החשמלי מתוך כוונה להשלים ולהעמיק את הבסיס שניתן בכיתה י"ג בתחומי החשמל והאלקטרוניקה.

יש חשיבות ליצירת שפה מקצועית משותפת והבנת מושגי יסוד בנושאי האלקטרוניקה היישומית הבאים לידי ביטוי במערכות המכטרוניות השונות. ההתנסות המעשית בתחומים אלו תקיף הן נושאים שנלמדו בטרימסטרים א-ב והן נושאים הנלמדים בתכנית זו תוך התמקדות בהכרת מכשור אלקטרוני מעבדתי (צב"ד), ניסויים במעגלי DC ו-AC בסיסיים, מעגלים טרנזיסטורים, מגברי שרת ורכיבים ספרתיים.

## ב. עקרונות

- תכנית זו היא המשך לתכנית הלימודים שנלמדה בכיתה י"ג.
- טרימסטר ג\* יתמקד בלימוד הפרקים הדנים באלקטרוניקה תקבילית ובתחילת לימוד נושא האלקטרוניקה התעשייתית בהיקף של 4 ש"ש ובלמוד התנסותי (מעבדה) בהיקף של 3 ש"ש.
- טרימסטרים ד-ה יתמקדו בלימוד הפרקים הדנים באלקטרוניקה תעשייתית (המשך), באלקטרוניקה ספרתית ובהינע חשמלי (מכונות חשמל), בהיקף של 4 ש"ש.
- יש להקפיד על מתן דוגמאות רלוונטיות לחומר הנלמד בקורס זה מתחום המכטרוניקה המשלב מעגלים אלקטרוניים עם חיישנים, רכיבי בקרה ומכניקה.

## ג. מטרות

1. הכרת מושגי יסוד ועקרונות פעולה של רכיבים ומעגלים תקביליים (אנלוגיים).
2. הכרת מושגי יסוד ועקרונות פעולה של רכיבי בקרת הספק ומעגלי אלקטרוניקה תעשייתית.
3. הכרת מושגי יסוד ועקרונות פעולה של נושא המיתוג הספרתי, רכיבים ומעגלים ספרתיים.
4. הכרת מושגי יסוד ועקרונות פעולה של רכיבים מתחום ההינע החשמלי.

# 11. פירוט התכנים (הנושאים) – לימוד עיוני

שעות	נושאי הלימוד
	<b>טרימסטר ג* – אלקטרוניקה תקבילית (36 שעות)</b>
3	<b>1 טרנזיסטור ביפולרי (BJT)</b> מבנה עקרוני של הרכיב, תיאור הדקים, רכיבי NPN לעומת PNP עקרון פעולת הטרנזיסטור, משוואת הזרם פרמטרי $\beta$ , מושגי קיטעון, הולכה ורוויה בטרנזיסטור
2	<b>2 טרנזיסטור ביפולרי בזרם ישר</b> ניתוח מעגל טרנזיסטורי בסיסי הכולל 2 מקורות מתח קו עבודה ונקודת עבודה של טרנזיסטור מעגלים טרנזיסטורים בעלי מקדם עצמי
4	<b>3 טרנזיסטור ביפולרי בזרם ישר</b> חישוב וסרטוט נקודות עבודה במעגלים בעלי מקדם עצמי תיאור נושא יציבות נקודות העבודה והשליטה על מיקומה דרך נגדי הבסיס
2	<b>4 הגברת מתח/זרם בטרנזיסטור ביפולרי</b> מושגי עבודה בזרם חילופין: מעגל תמורה, COMMON, פרמטרי H תרגול מעבר ממעגל הגברה נתון למעגל תמורה
3	<b>5 הגברת מתח/זרם בטרנזיסטור ביפולרי</b> ניסוח משוואת זרם מבוא זרם מוצא במעגל תמורה חישובי הגבר זרם במעגלי C.E. ניסוח משוואת מתח מבוא ומתח מוצא במעגל תמורה חישובי הגבר מתח במעגלי C.E.
2	<b>6 הגברת מתח/זרם בטרנזיסטור ביפולרי</b> מושגי התנגדות מבוא והתנגדות מוצא של טרנזיסטור
4	<b>7 הגברת מתח/זרם בטרנזיסטור ביפולרי</b> ניתוח דוגמה של מעגל הגברה בעל מקור מתח לא אידיאלי ניתוח דוגמה של מעגל הגברה בעל COMMON שונה השוואת הגברי מתח/זרם של מעגל C.E. לעומת C.C. ו-C.B.

שעות	נושאי הלימוד
2	8 תרגול ניתוח מעגל טרנזיסטורי שלם הכולל מקורות מתח ישר וחילופין
2	9 עקרונות עבודה עם טרנזיסטור ביפולרי כמתג
2	10 טרנזיסטור תוצא השדה (FET) הגדרות יסוד – סוגים, תיאור הדקים, סימון חשמלי, עקרון פעולה
4	11 טרנזיסטור תוצא השדה (FET) ניתוח מעגל FET בסיסי היכרות עם נוסחת הזרם של רכיב ה FET חישוב וסרטוט קו עבודה ונקודת עבודה של טרנזיסטור FET
2	12 טרנזיסטורי FET ו-MOSFET כמתגים מבוקרים השוואה בין מאפייני טרנזיסטור BJT לטרנזיסטור FET
2	13 תרגול וסיכום
2	14 מבחן
36	סה"כ

אלקטרוניקה תעשייתית (36 שעות)	
(נושאים 1, 2, 3 ו-4 נלמדים בטרימסטר ג* והשאר בטרימסטר ד)	
3	1 חזרה: דיודות (תפקיד, סימול חשמלי, אופיין, עקרון פעולה, דוגמאות לשימושים): זנר, LED, פוטודיודה, מעגל יישור חצי גל / גל שלם
4	2 רכיבי בקרת הספק (תיריסטורים) – SCR מיישר סיליקון מבוקר, DIAC, TRIAC: סימון חשמלי, הדקים, אופייניים, עקרון פעולה
3	3 ניתוח וחישובים מעגלים יישומיים משולבי רכיבים לבקרת הספק
4	4 טרנזיסטור חד-צמתי (UJT): הדקים, פרמטרים אופייניים, עקרון פעולה אופיין מתח לזרם ב-UJT תיאור וניתוח מעגל מתנד תפוגה עם UJT
4	5 טרנזיסטור חד צמתי מתוכנת (PUT): הדקים, פרמטרים אופייניים, עקרון פעולה, תיאור וניתוח מעגל מתנד תפוגה עם PUT
4	6 מעגלי בקרת הספק: הסבר מושגים: בקרת הספק, מעגלים לבקרת זווית הצתה, זווית הולכה, זווית כיבוי, עומס, מתח ממוצע, מתח יעיל

שעות	נושאי הלימוד
6	7 ניתוח פעולתם של מעגלי בקרת הספק: מעגלי לבקרת חצי גל מעגלי בקרת גל שלם (עם DIAC, TRIAC, SCR) חישובי מתח ממוצע ויעיל על גבי העומס, חישובי זווית הצתה, חישובי הספק נמסר לעומס, סרטוט צורות גלים
2	8 עקרונות בקרת הספק במעגלים תלת-פאזיים
2	9 תרגול וסיכום
2	10 תרגול וסיכום
2	11 מבחן
36	סה"כ
<b>אלקטרוניקה ספרתית (44 שעות)</b>	
2	1 הסבר מושגים: אות ספרתי בהשוואה לאות אנלוגי, סוגי אותות ספרתיים, ביטוי מתמטי, מאפיינים ותיאור גרפי
2	2 ייצוג מספרים בסיסי ספירה שונים ושיטות מעבר ביניהם בסיסים מקובלים בתחום האלקטרוניקה (2,8,16) ומעבר מהיר ביניהם
2	3 פעולות חשבון יסודיות בבסיס הבינארי שיטות לייצוג מספרים בינאריים מסומנים (שליליים)
1	4 צפנים בינאריים (משקלי, BCD, גריי, ASCII)
2	5 פסוקים לוגיים, פסוקים פשוטים ומורכבים קשרי "גם", "או", "לא" טבלאות אמת לתיאור פסוק לוגי מורכב ולתיאור בעיה מילולית
4	6 שעים לוגיים (XOR, NOR, NAND, NOT, AND, OR) מימוש פונקציה לוגית באמצעות שעים / מתגים מציאת ביטוי לוגי למוצא מערכת שעים נתונה
3	7 אלגברה בוליאנית: כללים, כללי צמצום, חוקי דה-מורגן לפישוט ביטויים לוגיים
2	8 הוצאת פונקציה מתוך טבלת אמת רישום קנוני של פונקציות (סכום של מכפלות, מכפלה של סכומים)

שעות	נושאי הלימוד
2	9 מימוש פונקציות באמצעות שערי NOR / NAND בלבד
4	10 צמצום פונקציות באמצעות מפות קרנו (מפות ל-3 ו-4 משתנים)
3	11 מערכות חישוב ספרתיות: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ משווה בינארי</li> <li>■ מסכם למחצה, מסכם מלא, מסכם גלי</li> <li>■ מחסר למחצה</li> </ul>
4	12 מרבבים, מפלגים, מפענחים ומפענחי תצוגה (מבנה מלבני, עקרון פעולה, מימוש פונקציות, דוגמאות לשימושים מעשיים) עקרונות הפעלת תצוגת 7 מקטעים (7 Segmet)
4	13 דלגלים כבסיס לרכיבי זיכרון (TFF, JKFF, DFF, SRFF) שיטות לדרבון דלגלים ניתוח גרפי של מוצאי דלגלג בהתאם לכניסות ואות דרבון
2	14 מונים ספרתיים: ניתוח דוגמה למונה אסינכרוני מעלה / מטה הבנוי מדלגלים הסבר מושגים: מודולו, סינכרוני / אסינכרוני, זמני השהיה
3	15 ממירי A/D, D/A: עקרונות המרה, מאפיינים של ממירים מעשיים, דרכי חישוב אות כניסה / יציאה
2	16 חזרה, תרגול וסיכום
2	17 מבחן
44	סה"כ
<b>הינע חשמלי / מכונות חשמל (28 שעות)</b>	
2	1 חזרה – מגנטיות (שדה מגנטי, קווי שטף, השראה מגנטית) חוק פרדי הכוח המופעל על תיל נושא זרם
2	2 מושגי יסוד במכונות חשמל: מנוע / מחולל מומנט אלקטרומגנטי, מומנט מכני

שעות	נושאי הלימוד
	כא"מ מושרה הפסדים ונצילות
2	<b>3</b> מונחים בסיסיים במכונות חשמל: סטטור, רוטור, ציר, קטבים מגנטיים, ערכים נקובים (נומינליים), סוגי הפסדים
4	<b>4</b> מכונה לזרם ישר: מבנה וחלקים, עקרון פעולה <b>מכונה לזרם ישר כמחולל</b> – חישוב כא"מ מושרה, סוגי ליפוף ברוטור, אופייין ריקם, אופייין עומס, עקום מגנוט, סכמת תמורה של מחולל, משוואת המתח במחולל, ניתוח הפסדים ודיאגרמת זרימת הספק, חישוב נצילות
4	<b>5</b> <b>מכונה לזרם ישר כמנוע</b> – סכמת תמורה (בעירור זר), משוואת המתח במנוע, אופייין ריקם ואופייין עומס של מנוע ז", ניתוח סוגי הפסדים ודיאגרמת זרימת אנרגיה, חישובי נצילות חישובי מהירות סיבוב ומומנט בציר המנוע
4	<b>6</b> שיטות לעירור מכונות לזרם ישר: זר, עצמי (טורי, מקבילי, מעורב) תרשים חשמלי של סוגי העירור וניתוח יתרונות וחסרונות של כל שיטה
4	<b>7</b> עקרונות במכונות לזרם חילופין (מכונות השראה): מבנה ועקרון פעולה מושג השדה המגנטי המסתובב וחישוב מהירותו מושג החליקה הפסדים ונצילות של מכונות השראה
1	<b>8</b> מנועי צעד – עקרון פעולה, דוגמאות לשימוש מעשי
1	<b>9</b> מנועי סרוו – עקרון פעולה, דוגמאות לשימוש מעשי
2	<b>10</b> חזרה והעמקה: בקרת תנועה של מכונות ז"י באמצעות גשר H, ואפנון רוחב דופק (PWM).
2	<b>11</b> חזרה וסיכום
2	<b>12</b> מבחן
<b>28</b>	<b>סה"כ</b>



## 2. פירוט התכנים (הנושאים) – לימוד התנסותי

שעות	נושאי הלימוד
	<b>מעבדה בחשמל ואלקטרוניקה (36 שעות)</b>
3	<b>1</b> היכרות עם צב"ד חשמל ואלקטרוניקה: רב מודד (DMM) – מדידת מתח, זרם והתנגדות ספק כוח, מחולל אותות, משקף תנודות עקרונות בטיחות בעבודה במעבדה
3	<b>2</b> היכרות עם רכיבים, שיטות סימון נגדים / קבלים / מעגלים משולבים. תרגול עקרונות הלחמה של מוליכים ורכיבים שונים.
3	<b>3</b> היכרות עם קוד הצבעים של הנגדים לסימון ערכם חיבור נגדים בטור, במקביל ובמעורב מדידת מתחים וזרמים במעגל
3	<b>4</b> היכרות עם תוכנת הדמיה (EWB / מולטיסימ) ובניית מעגל מעורב + צב"ד למדידת מתחים וזרמים. בדיקת חוקי קירכהוף במעגל
3	<b>5</b> בניית מעגל לטעינה / פריקת קבל. קבלת גרף הטעינה / פריקה על גבי משקף תנודות
3	<b>6</b> בניית מעגל יישור לחצי גל / גל שלם שימוש במחולל אותות ובמשקף תנודות (סקופ) להפעלת המעגל ותצפית על צורות הגלים המתקבלים בו
3	<b>7</b> ניסויים במגברי שרת (משווה, מהפך, עוקב, מגבר יחידה) מעגל משווה עם חיישן (אור/טמ"פ) ומתח ייחוס
3	<b>8</b> בניית מעגל טרנזיסטורי (ביפולרי) בחיבור CE ובדיקת הגבר המתח/זרם ונקודת העבודה של הטרנזיסטור
3	<b>9</b> בניית גשר ויטסטון ובדיקת מתחי היציאה שלו עם / בלי העמסה ומגבר חוצץ
3	<b>10</b> בניית מעגלים להפעלת פוטו-דיודה / דפ"א (LED)
3	<b>11</b> ניסויים בשערים לוגים / מעגלים ספרתיים: ■ מימוש פונקציה לוגית באמצעות שערים, שימוש במפענח / מרבב / מפלג

שעות	נושאי הלימוד
3	12 מבחן
36	סה"כ

## ה. דרכי הוראה

1. בזמן הוראת המקצוע יש להדגיש את חשיבות השליטה בשפה (ולא בהכרח בידע).
2. יש להציג לסטודנטים דוגמאות רבות ככל האפשר של מעגלים יישומיים בזמן הלימוד, להראות ולהדגים את רלוונטיות הנושאים הנלמדים לתחום העיסוק ולחיים בכלל.
3. בשיעורי ההתנסות, חשוב לשמור על יחס של חצי מבחינת הניסויים המבוצעים באופן מעשי (עם רכיבים וצב"ד) לעומת ניסויים המבוצעים באמצעות תוכנת הדמיה. כמו כן, יש לתרגל את הסטודנטים בכתיבת דוח מעבדה המתאר את מטרות הניסוי, את שלבי הביצוע, את התוצאות והמסקנות.

## ו. רשימת מושגים ומילות מפתח

בתחום האלקטרוניקה התעשייתית:	בתחום האלקטרוניקה התקבילית:
1. צומת PN, מחסום פוטנציאליים, דיודה	1. טרנזיסטור FET, BJT
2. אופיין דיודה, הולכה, קיטעון	2. הגבר
3. ממתח קדמי, ממתח אחורי, זרם זליגה	3. מצבי הולכה / קיטעון / רוויה
4. דיודת זנר	4. קו עבודה, נקודת עבודה
5. דיודה פולטת אור (דפ"א – LED)	5. מקדם עצמי
6. בקרת הספק	6. מעגל תמורה למתח ישר, מעגל תמורה למתח חילופין
7. תיריסטורים: DIAC, TRIAC, SCR	7. COMMON
8. PUT, UJT, מתנדי תפוגה	8. פרמטרי H
9. זווית הצתה, הולכה, כיבוי	9. התנגדות מבוא ומוצא של מעגל הגברה
10. מתח ממוצע, מתח יעיל	10. טרנזיסטור כמתג
11. בקרת חצי גל / גל מלא	
12. בקרת הספק תלת פאזי.	

## בתחום האלקטרוניקה הספרתית:

1. אות אנלוגי, אות ספרתי
2. לוגיקה, פסוק לוגי, פסוק מורכב
3. בסיס ספירה
4. בינארי, אוקטלי, דצימלי, הקסאדצימלי
5. צופן בינארי
6. שער לוגי
7. מתג N.C, N.O
8. אלגברה בוליאנית
9. חוקי צמצום
10. כללי דה-מורגן
11. פישוט פונקציות, ליטרלים
12. טבלת אמת
13. רישום קנוני
14. מפת קרנו
15. משווה בינארי
16. מחסר בינארי
17. מסכם בינארי
18. מרבב
19. מפלג
20. מפענח, מפענח תצוגה
21. דלגלג
22. דרבון
23. מונה בינארי
24. מודולו
25. סינכרוני / אסינכרוני
26. ממיר ספרתי לאנלוגי
27. ממיר אנלוגי לספרתי
28. מתח יחוס

## בתחום ההינע החשמלי:

1. אנרגיה, המרת אנרגיה
2. שדה מגנטי, קווי שטף מגנטיים, השראה מגנטית
3. חוק פרדיי
4. כלל יד שמאל
5. כוח
6. הפסדי אנרגיה / נצילות
7. מנוע
8. מחולל (גנרטור)
9. מומנט אלקטרומגנטי / מכאני
10. כא"מ מושרה
11. סטטור
12. רוטור
13. קטבים מגנטיים
14. ערך נקוב / נומינלי
15. מברשות
16. טבעות החלקה
17. קולקטור / קומוטטור
18. ליפוף גלי / עניבה
19. דיאגרמה אנרגטית
20. סכמת תמורה
21. עירור זר / עצמי
22. מכונת השראה
23. חליקה
24. מנוע סרוו
25. מנוע צעד
26. גשר H
27. PWM

## ז. ספרי לימוד מוסלצים

### בתחום האלקטרוניקה התקבילית:

1. טרנזיסטורים (תיאוריה ותרגילים). הימלברנד שלמה וערב דוד, הוצאת אלי מיטב.
2. אלקטרוניקה כללית (סוג 2, חלקים 6, 7). אינג' רוזנבלום וילי, הוצאת מט"ח והאוניברסיטה הפתוחה.

### בתחום האלקטרוניקה התעשייתית:

1. אלקטרוניקה תעשייתית. אינג' רוזנבלום וילי, הוצאת אורט.
2. אלקטרוניקה תקבילית כרך ב' (פרקים 4–5). תמיר דניאל וגלעם שמחה. הוצאת אורט.

### בתחום האלקטרוניקה הספרתית:

1. מיתוג ומערכות ספרתיות (חלקים א, ב). אילון אריה, שורץ יעקב, אהרון אהרון. הוצאת מט"ח והאוניברסיטה הפתוחה.
2. ממירי D/A A/D. אורי שמעוני, הוצאת האוניברסיטה הפתוחה.

### בתחום ההינע החשמלי:

1. מכונות חשמל, פרקים נבחרים. אוסטר ב', הוצאת אורט.
2. יסודות ההינע החשמלי, אוסטר ב'. הוצאת אורט.
3. מבוא למערכות המרה ובקרה (חלק ב). ד"ר אלמקיס דוד. הוצאת אורט.

## ח. הערות

1. נושא הדיודות נלמד בטרימסטר א' ומשמש כאן כבסיס להמשך הלימוד של תחום האלקטרוניקה התעשייתית. לכן מומלץ לפתוח את לימוד התחום בחזרה על נושא הדיודות.
2. נושא מנועי ז"י וגשר H נכלל בנושאי טרימסטר ב'. מומלץ ללמדו באופן עקרוני בלבד, המאפשר הבנה בסיסית של עקרון פעולת המנוע והשליטה על כיוון סיבובו באמצעות טרנזיסטורי מיתוג בלי להיכנס לניתוח מעמיק של מבנה המנוע, מרכיביו ועקרונותיו החשמליים (2–3 ש"ש). הנושא נלמד בהרחבה בתכנית זו. את יתרת שעות הלימוד המתפנות בטרימסטר ב יש להפנות לתרגול מעגלים הכוללים חיישנים, מגברי שרת ומערכות אלקטרוניות-מכניות משולבות.