



משרד התעשייה המסחר והעסקה  
אגף בכיר להכשרה ולפיתוח כח - אדם  
**טהר** המכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה וביי-ט

# תוכנית לימודים להנדסאי אלקטרוני

**מקצוע: תורה החשמל**

הורד מהאתר של מתי דוד

|                       |              |                |
|-----------------------|--------------|----------------|
| מספר פרק/מקצוע<br>2.1 | מהדורה מס' 2 | תאריך<br>02/07 |
|-----------------------|--------------|----------------|

# תורת החשמל

## 2.1 תורת החשמל

### לטכני והנדסאי אלקטרוני

|           |     |      |
|-----------|-----|------|
| סימסטר א' | 128 | שעות |
| סימסטר ב' | 112 | שעות |
| סה"כ      | 240 | שעות |

### ראשי פרקים

1. מבוא ומושגי יסוד
2. מעגלי זרם ישיר
3. מגנטיות
4. אלקטромגנטיות
5. אלקטrostטיקה
6. מעגלי זרם חילופין
7. תופעות מעבר
8. רשתות זוגיים
9. רשתות תלת פאזיות
10. מבוא למכונות חשמל

### הקדמה

תורת החשמל הוא מקצוע מרכזיז ובסיסי ומהויה דרישת קדם למקצועות אחרים כמו "אלקטרוניקה ספרטית" ו"אלקטרוניקה תקביבית" ומעבדות שונות, שנלמדים במקבילה לאלקטרוניקה. במקביל למקצוע זה נלמדת מעבדת חשמל שבה מיישמים באופן מעשי חלק מהנושאים הנלמדים במקצוע זה באמצעות בניה מעגלים חשמליים שונים וכן מתרגלים ביצוע מזידות חשמליות באמצעות מכשירי מדידה.

במידה ושעות הלימוד אינן מספיקות ניתן להשתמש בשעות לימוד מהמקצוע "פיזיקה" שבו נלמדים בעצם נושאים קרובים ודומים לאלו הנלמדים ב"תורת החשמל".

בSIMSTRIM א' וב' – הלימודים משותפים לטכנאים והנדסאים ובסיום סימסטר ב' (בלימודי יום) ניגשים הסטודנטים לבחינה ממלכתית.

מטרות המקצוע "תורת החשמל" הם הכרת התופעות והחוקים של תורת החשמל והקניית בסיס ללימוד מקצועות האלקטרוניקה.

עם סיום הלימודים בתורת החשמל יוכל הסטודנטים:

א. לנתח ולהסביר את התופעות והחוקים החשמליים המובאים בתכנית בצהרה אינטואטיבית

ב. להסביר את המשוואות המתמטיות המתארות את התופעות והחוקים הנ"ל ואת הגדרים הפיזיקליים הנכללים בהם.

ג. לנתח ולהתיר רשותות שונות בזרם ישיר ובזרם חילופין על ידי חישוב זרמים, מפלי מתח, הספקים או גדרים אחרים תוך שימוש במשוואות הנ"ל, ובטכניקות לפתרון מעגלים ורשתות שנרכשו במהלך הלימודים.

ד. להסביר את עקרון הפעולה של התקנים חשמליים.

פרוט הנושאים

## 10 שעות

## 4 שעות

1. מבוא1.1 מושגי יסוד

- א. השימוש באנרגיה חשמלית. דוגמאות להתקנים ומכשירים חשמליים: נורת להט, גוף חימום, מנוע.
- ב. סקירת תופעות: חשמליות, מגנטיות, אלקטромגנטיות, אלקטростטיות, תרמיות וכימיות.
- ג. צורות העברה של אנרגיה חשמלית: הולכה קרינה.
- ד. תיאור מודל של מבנה האטום: הלקיקים יסודיים ותכונותיהם החשמליות. מטען חשמלי חיובי ושלילי, מטען האלקטרון כיחידת מטען בסיסית. רמות אנרגיה.
- ה. מושג השדה החשמלי, הכוח הפועל על מטען חשמלי הנמצא בשדה, כוחות בין מטענים שווי סימן ושוני סימן (לא חישובים), מושג הפוטנציאלי  $V$  והבדל פוטנציאליים, מתח חשמלי  $V$ .
- ו. חומרים בשימוש בחשמל: מוליכים, מוליכים למחצה וմבודדים והבדלים בתכונותיהם החשמליות הנגורות מהמבנה האטומי.

## 6 שעות

1.2 אלקטродינמיקה

- א. הגדרת זרם חשמלי  $I$  כתנועה מכוונת של מטען חשמלי, הקשר בין כמות מטען וזמן לגודל הזרם. יחידת הזרם אמפר.
- ב. הקשר בין מתח זרם על רכיב ליניארי (נגד). התנגדות חשמלית  $R$  ויחידות התנגדות  $\Omega$ , חוק אוהם, מעגל חשמלי. המוליכות החשמלית ויחידות הסימנס. הערה: יש להציג שקיים התקנים אלקטронיים רבים שהם אינם ליניאריים ולאיים מקיימים את חוק אוהם (למשל דיודה).
- ג. מקורות מתח וזרם אידיאליים ומעשיים והבדלים ביניהם.
- ד. אנרגיה חשמלית  $E$ , עבודה  $W$  והספק חשמלי  $K$  ויחידותיהם: הג'אול ( $J$ ), ווט-שעה ( $Wh$ ), ווatt ( $W$ ) בהתאם. המרת אנרגיה חשמלית, נזילות.
- ה. התנגדות ומוליכות סגולית. ערכי התנגדות סגולית של חומרים נפוצים כמו: נחושת, זהב, אלומניום, ברזל, תרכובות מתכתיות שונות, פחס, מבודדים שונים: זכוכית, מيكا שמן וכו'. הקשר בין מידת המוליך וההתנגדות הסגולית להתנגדות הכלולית, השפעת הטמפרטורה על גודל ההתנגדות הסגולית של חומרים שונים, מדם טמפרטורה שלילי וחובי (PTC, NTC). חישוב ההתנגדות בטמפרטורה כל שהיא כאשר נתונה הטמפרטורה ב-  $T_0$ .

## תורת החשמל

- ו. תיאור גרפי של זרם ומתח בתלות בזמן. הגדרת מצב מתמיד, ו מצב מעבר.  
תיאור זרם ישיר בעל ערך קבוע בזמן. תיאור גרפי של זרם חילופין.

**32 שעות**

### **2. מעגלי זרם ישיר**

**4 שעות**

#### **2.1 חוק א Ohm**

- א. שימוש בחוק א Ohm לחישוב זרם ומפלי מתח במעגל חשמלי.  
ב. חיבור התנגדות בטור, במקביל ובמעורב – חישוב התנגדות שcolaה, חישוב זרמים, מפלי מתח והספק פיזור (על הנגדים), במעגלים הכלולים התנגדויות בטור, במקביל ובמעורב.  
ג. מחלק מתח במעגל טורי ומחלק זרם במעגל מקבילי.  
ד. העברת הספק חשמלי לצרכן דרך קו העברה: חישוב התנגדות הקו לפי הנטונים החשמליים והפיסיים, חישוב ההספק המגיע לעומס, חישוב נזילות המעגל.  
ה. פתרון מעגלי זרם ישיר בעלי חוג אחד.

**10 שעות**

#### **2.2 חוקי קירכהוף**

- א. ניסוח החוקים והרכבת משוואות של רשת בעלת שני חוגים. הערה: יש להציג שחוקי קירכהוף תקפים גם בזרם חילופין.  
ב. פתרון מעגלים בשיטת זרמי חוגים ושיטות מתחי צמתים, שימוש בדטרמיננטים ובמטריצות (לפי קרמר).

**12 שעות**

#### **2.3 משפטים רשות**

יש לתרת דוגמאות מעשיות לשימוש בכל אחד מהמשפטים הבאים. הערה חשובה: יש להציג אלו משפטיים מתקיים רק במערכת ליניארית.

- א. משפטי טבנין ונורטון: החלפת מקורות מתח במקורות זרם ולהפוך, מקוות מתח זרם מעשיים.  
ב. מקרה פרטי של מעגל בזרם ישיר – גשר וויטסטון מאוזו ולא מאוזן).  
ג. המרת כוכב למשולש ולהפוך, יישומים בפתרון רשותות בשרים ישיר.  
ד. משפט ההרכבה (סופרפוזיציה), איפוס מקורות מתח זרם בלתי תלויים.  
ה. משפט ההדדיות.  
ו. שימוש במקור בווחן לחישוב התנגדות Shcolaה של רשת.

## תורת החשמל

- ג. משפט העברת הספק מירבי לעומס.
- ח. משפט מילמן ו שימושיו.
- ט. מקורות תלויים. מקור מתח תלוי זרם, מקור מתח תלוי מתח, מקור זרם תלוי מתח ומקור זרם תלוי זרם. הפעולות שיש לבצע במקורות תלויים כאשר משתמשים במשפט רשות, לדוגמה: משפט הסופרפוזיציה, משפט טבנוי ומשפט נורטון ועוד.

3 שעות

### 2.4 טכנולוגית של התקנים בזרם ישר

- א. נגדים – ערבים נקובים (התנגדות, פיזור הספק, דיווק). שיטות ייצור (פחם, חוט התנגדות ותחמושת מתכת). קוד צבעים לסימון נגדים. נגד משתנה – חיבור ריאויסטט וחיבור פוטנציאומטרי.
- ב. מקורות מתח – תא חשמלי. הגדרת המונחים כא"ס (מתוך ריקם) ומתח הדקים בהעמסה. התנגדות פנימית, קיבול תאים ויחידות אמפר-שעה (Ah). חיבור תאים זהים ושוניים, בטור במקביל ובמעורב. חישוב הבא"ס וההתנגדות הפנימית ומציאת השילוב לקבלת הספק מרבי.

3 שעות

### 2.4 מדידות יסודיות במעגל זרם ישר

- א. מבנה עקרוני של מכשיר מדידה עם סליל נע. מדידה מודרנית באמצעות המירה של זרם או מתח למספר (Analog To Digital). ערבים נקובים של מכשיר מדידה – תחום מדידה, דיווק, רגישות V/Q לינאריות, ורזולוציה.
- ב. ההתנגדות הפנימית של מתח ומד זרם אידיאליים. השפעת ההתנגדות הפנימית של מכשיר המדידה במדידה מתח וזרם וчисוב השגיאה.
- ג. שיטות מדידה – ישירה ועקיפה. מדידת זרם ומתח – צורת חיבור של מודדים במעגל.
- ד. הרחבת תחום מדידה של מד זרם באמצעות מיצד (שנט).
- ה. הרחבת תחום המדידה של מד מתח באמצעות חיבור נגד כופל טורי.
- ו. מדידת ההתנגדות – אוחמתר. מדידה באמצעות מתח וזרם.
- ז. חישוב השגיאה במדידה לפי אופן חיבור מכשיר המדידה.
- ח. בניית מד ההתנגדות טורי ומקבילי וכיוול הסקללה.
- ט. מדידת ההתנגדות באמצעות גשר ויטסטון. דוגמאות.

**8 שעות**

**3. מגנטיות**

- א. סקירה על מהות המגנטי, שדה מגנטי וקווי שטף, כתבים מגנטיים והכוחות ההדדיים הפועלים ביניהם, השדה המגנטי של כדור הארץ.
- ב. הגדרת המונחים: שדה מגנטי, קווי כוח, שטף מגנטי, צפיפות שטף מגנטי (איןדוקציה מגנטית) B ויחידותיהם במערכת MKSA.
- ג. עצמה השדה המגנטי H, חידרות מגנטית (פרמאביליות)  $\mu$ , חידרות של חלל ריק  $\mu_0$ , חלוקת חומרים לפי תוכנות מגנטיות: דיאמגנטיים, פאראמגנטיים, פרומגנטיים. עקומת המגנוט H-B, ענייבת החישל (Hysteresis), רוויה מגנטית.

**18 שעות**

**4. אלקטרו-מגנטיות**

**6 שעות**

**4.1 כוחות בשדה מגנטי**

- א. השדה המגנטי של הזרם החשמלי. חוק ביו-סבר ואמפר, כלליים לקביעת כיוון השדה המגנטי. שדה מגנטי של תיל ישר וארוך. כלל הבורג הימני.
- ב. תיאור הכוח הפועל על מטען חשמלי הנע בשדה מגנטי. כיוון הכוח וчисוב גודלו. כלל היד השמאלית. תיאור מסלול התנועה של מטען חשמלי הנע בשדה מגנטי.
- ג. הכוח הפועל על מוליך נושא זרם בשדה מגנטי. חישוב הכוח המופעל על כריכה. עקרון הפעולה של אלקטرومגנטי. מנוע חשמלי. חישוב עוצמת השדה והכוח הפועל בין שני מוליכים נושא זרם.

**6 שעות**

**4.2 מעגלים מגנטיים**

- א. חישובי השדה המגנטי במרכז כירעה מעגלית. אנלוגיה לחוק אוּם במעגל מגנטי – חוק הופקינסון. התנגדות מגנטית (מיואן). כוח מגנטו-מניע (כמ"ס). IN, חוק המעגל המגנטי – חוק השטפים, האנלוגיה בין מעגל מגנטי לבין מעגל חשמלי.
- ב. שימוש בגרעין ברזל, מבנה הגרעין, חיצ' האוויר. תופעת החישל (הטיסטרוזיס) חומרים מגנטיים קשים ורכיים.
- ג. פתרון מעגלים מגנטיים חד-שטפיים ודו-שטפיים. חישוב במאון המגנטי על פי ממדי הגרעין וחדירות היחסית, שימוש בעקומות מגנות (לא ליניאריות). שיטות פתרון מקורבות בקטע הלינארי של העקום לפי משפט הסופרפויזציה. חישוב הזרם הדרוש לקבלת צפיפות שטף נתונה בחיצ' אוויר.

## תורת החשמל

ד. דוגמאות לניצול התופעות המגנטיות בחשמל ואלקטרוניקה: אלקטرومגנט, מנוע, גנרטור, פעמו, ממסר, רמקול שניאי. הקשר בין עוקמת המגנות לסוג ה התקן החשמלי: עבור מגנט קבוע – עוקמת מגנות רחבה, עבור רמקול – עוקמת מגנות צרה.

### 6 שעות

#### 4.3 כוח אלקטרו-מגנטי מושרָה

- א. מקרים שונים של היוצרות כוח אלקטרו-מגנטי מושרָה. משפט פרדי, משפט לנץ.
- ב. תיאור וחישוב כא"ם במוליך נס ו בכיריכת המסתובבת בשדה מגנטי. ייצור מתח חילופין סינוסי, מחולל לזרם ישיר.
- ג. הגדרת ההשראות העצמית  $L$ , ויחידת החנרי  $H$ . חישוב השירות עצמית של: תיל ישר, שני תיילים מקבילים, סליל טבעי (טורואיד) בעל חתך מלכני או עגול, כבל חד ציר (קואקסיאלי).
- ד. חיבור סלילים בטור ובמקביל (לא השראות הדזית), חישוב ההשראות של הסליל השקול.
- ה. השראות הדזית: מעגלים צמודים מגנטית (באופן חיובי ושלילי ולא חיבור חשמלי). חישוב ההשראה השcoleה עם סלים המתחברים בטור ובמקביל עם צימוד בניהם.
- ו. מקדם הצימוד  $a$ , השראות הדזית. שניי כקרה פרטיא של מעגלים צמודים.
- ז. אנרגיה האגורה בשדה מגנטי. אנרגיה האגורה בסליל נשא זרם. אנרגיה בסלים צמודים.

### 12 שעות

#### 5. אלקטrostטיקה

- א. מטען חשמלי  $Q$ , דרכים לצבירת מטענים חשמליים, חוק שימור המטען.
- ב. תיאור וחישוב כוחות אלקטrostטיים: חוק קולון, חדיות דיאלקטרית  $\epsilon$ , חדיות של חלל ריק  $\epsilon_0$ .
- ג. תיאור וחישוב עוצמת שדה אלקטrostטי  $E$  במרחב של מטען נקודתי.
- ד. פוטנציאל חשמלי  $P$ , הקשר בין עוצמת שדה חשמלי לפוטנציאל, פוטנציאל של כדורי, משטה שווה פוטנציאל, הפרש פוטנציאלים – מתח.
- ה. שטף חשמלי, משפט גאוס, השראה אלקטrostטית.
- ו. קבילים – הגדרת הקיבול  $C$ . חישוב קיבול של קובל לווחות. חישוב הקיבול השקול: בחיבור קבילים בטור, במקביל ובמעורב.

## תורת החשמל

- ז. כוחות ואנרגיה בשדה חשמלי. אנרגיה אגורה בקבל. כוחות משיכה בין לוחות הקבל.
- ח. תנועה של מטען חשמלי בשדה חשמלי, שימוש בלוחות הטיה אלקטrostטיים (איסצילוסקופ).
- ט. חומרים דיאלקטריים, מתח פריצה, חוזק דיאלקטרי, השפעת הכנסתו של חומר על גודלו של הקיבול.
- ו. טכנולוגיה של קבלים: שיטות ייצור, סיווג לפי החומר הדיאלקטרי והמבנה, קבלים אלקטROLיטיים, קבלי טנטולם, נייר, קרמיקה ונכיצ'. שיטות סימון הקבלים.
- יא. שימוש בתופעות אלקטrostטיות, וולטמטר אלקטrostטי.

96 שעות

### 6. זרם חילופין

38 שעות

### 6.1 תיאור מתמטי וגרפי

- א. הגדרת מקור מתח סינוסי.
- ב. הגדרת מושגים: זמן מחזור  $T$ , תדר  $f$ , תדרות זוויתית  $\omega$  והקשר ביניהם:  
ערך רגעי ( $t$ ), ערך מרבי (ערך שייא)  $v_m$ , ערך יuil  $v_{rms}$  (Root Mean Square), גורם הצורה (Form Factor). חישוב ערך ממוצע וערך יuil של מתח חילופין סינוסי, ריבועי (עם Duty Cycle כל שהוא) משולש, סינוס מיושר (חד דרכי ורב דרכי).
- ג. תיאור אנליטי וגרפי של מתח וזרם חילופין, זווית המופע (קידום ופיגור).
- ד. חישוב ערך יuil וממוצע של מתח שקול המרכיב מרכיב ישיר ורכיב חילופין. גל ריבועי ורכיב DC, גל סינוס ורכיב DC. חישוב ערך ממשי (אפקטיבי) של מתח המרכיב ממספר מתחים סונוסיים בעלי תדר שווה והפרש מופע ביניהם.
- ה. מבוא לטורי פורייה של כמה אוטות פשוטים (גל מקובע, משולש, וסינוס מיושר).
- ו. מספרים מרוכבים – פעולות חשבון בתיאור פולרי וקרטזי (השלמה וחזרה – הנושא נלמד במלואו במתמטיקה).
- ז. תיאור גדלים סינסויים על ידי פאוזר מסתווב. גדלים סינסויים במופעים שונים. מיצאת סכומים, הפרשים, מכפלות וumnoות של גדלים סינסויים בעזרת תיאור פאוזרי. הערה: רצוי להציגם חישובם בחלק זה עבור הלומדים גם באמצעות המחשבון.
- ח. תיארו מתח חילופין ע"י מספרים מרוכבים, בצורה קרטזית ופולרית.

**20 שעות**

**6.2 היגבים ועכבות**

- א. סליל אידיאלי בזרם חילופין, מופע הזרם ביחס למתח, היגב השראי  $X$ , סכימת תמורה של סליל מעשי.
- ב. קבל אידיאלי בזרם חילופין. מופע הזרם ביחס למתח. היגב קיבולי  $X$ , סכימת תמורה של קבל מעשי, זרמי זliga, הפסדים דיאלקטריים.
- ג. תאור וחישוב התנגדות אוחמתית, היגב קיבולי והשעראי ע"י פאזוריים ומספרים מרוכבים. דיאגרמה פזורית. מושג העכבה  $Z$  (Impedance), המוליכות  $G$  (Conductance), מניחות  $B$  (Susceptance), ומתריות  $\Gamma$  (Admittance). הפרש המופע בין מתח וזרם בסליל וקבל, היגבים בתלות בתדרות.
- ד. חיבור טורי ומקבילי של ריבבים במעגלי זרם חילופין תוך שימוש במספרים מרוכבים וע"י פאזוריים, מעבר בין עכבה טורית ומקבילתית.

**18 שעות**

**6.3 הספק במעגלי ז"ח**

- א. חישוב הספקים במעגלי זרם חילופין – הספק ממשי (אקטיבי)  $P$  (W), הספק היגבי (ריינטיבי)  $Q$  (VAR) והספק מדומה  $S$  (VA), חישוב הספקים בעזרת מספרים מרוכבים.
- ב. גורם ההספק ( $\Phi = \cos \phi$ ) ומשמעותו. שיפור גורם ההספק. מושלש הספקים. שיטות למדידת הספק.
- ג. התנאי להעברת הספק מכיסימי לעומסים שונים במעגלי AC, חישובי עכבה צמודה.

**12 שעות**

**6.4 שיטות לפתרון והתרה של מעגלים בזרם חילופין**

- א. שימוש בדיאגרמות פאזוריים לפתרון מעגלים חד-חוגיים.
- ב. שיטת זרמי חוגים מתחי צמתים. פתרון המשוואות בעזרת דטרמיננטים ומטריצות.
- ג. חישובים בעזרת משפט טבנין ונורטון.
- ד. שימוש במשפט הסופרפוזיציה לפתרון מעגלי AC עם מקורות בתדרים שונים.

### 18 שעות

### 6.5 תהודה במעגלי זרם חילופין

- א. הגדרות: תדרות תהודה, מקדם טיב ( $Q_f$ ) (Quality Factor), רוחב סרט (רוחב פס)  $\Delta f$ . תדר חצי הספק. דוגמאות מעולם התקשורות האנלוגית.
- ב. מעגל תהודה טורי - חישוב תדר תהודה, מקדם הטיב, רוחב הסרט, תלות העכבה בתדר.
- ג. מעגל תהודה מקבילי - כנ"ל ובטוספת התנגדות דינמית  $R_d$ , חילופי אנרגיה במעגל תהודה.
- ד. ניתוח מעגלי תהודה שונים: מעגל תהודה בחיבור מעורב, מעגלים עם קיבול משתנה.

### 36 שעות

### 7. תופעות מעבר

- א. מהות תופעת המעבר - הסבר עקרוני.
- ב. חקירת מעגלים בזמן המעבר: מעגל RC, מעגל L-R, מעגל RLC. יש לפתור באמצעות משוואות דיפרנציאליות, תנאי התחלה (מתח קבועים וזרם בסילילים). תגובה למדרגה סינוס ורמפה. הערה יש להסתיע בחומר שנלמד במסגרת המקצוע מתמטיקה.
- ג. חקירת מעגלים בזמן המעבר: מעגל RC, מעגל L-R, מעגל RLC. יש לפתור באמצעות טרנספורם לפט. תגובה למדרגה סינוס ורמפה. הערה יש להסתיע בחומר שנלמד במסגרת המקצוע מתמטיקה.

### 12 שעות

### 8. רשתות זוגיים

- א. הגדרת המונח זוגיים, מקדמי Z של הזוגיים.
- ב. מנתטים אסימטריים וסימטריים, Z ו T.
- ג. הגדרת המונח עכבה אופיינית  $Z_0$ , עכבות קוצר ועכבות נתק, קבוע ההתרפשות, קבוע הניחות וקבוע המופע.
- ד. דוגמאות לנитוח של מסנן LPF מסוג Z. הינוות לתדר.
- ה. חיבור כסודי של חוליות זוגיים.

**8 שעות**

**9. מערכות תלת מופעיות (תלת פזיות)**

- א. מתחים וזרמים תלת-מופעיים ויצירתם, מהולל תלת-פזוי, תיאורים גרפיים ופואזריים. זרמי קו, זרמי מופע, זרם אפס, מתחים שלובים, מתחי מופע.
- ב. תיאור של מערכות תלת-מופעיות סימטריות עם 3 ו-4 מוליכים.
- ג. חיבור צרכנים בכוכב ובמשולש. המרות כוכב-משולש.
- ד. חישוב הספקים וגורם ההספק במערכות תלת-מופעיות תוך התחשבות בהפסדים בקו החזנה, חישוב נצילות, גורם ההספק ותיקונו.
- ה. יצירת שדה מסתובב על ידי מערכת זרמים תלת-מופעיים.

**8 שעות**

**10. מבוא למכונות חשמל**

**2 שעות**

**10.1 תנאי חד-פז**

- א. מבנה, חלקו התנאי העיקריים.
- ב. חוק ההשראה העצמית וההבדית, יחסיו התנאה. טנאי אידיאלי - השנהת מתח, השנהת זרם, שיקוף עכבות. תיאום עומסים בעזרת טנאי אידיאלי.
- ג. שיקולים לבחירת גודל וסוג הברזל לגרעין.
- ד. טנאי מעשי - סכימת תמודה, ייצוג הפסדי ברזל והפסדי נחושת.
- ה. ניסויים לקבעת הפסדי הטנאי. ניסוי בריקס, ניסוי בקצר.
- ו. נצילות טנאי.
- ז. עקרון פעולה של טנאי עצמי.

**2 שעות**

**10.2 מכונה לזרם ישיר**

- א. מבנה וחקלקים העיקריים. סליל עירור (שדה), עוגן, קולט.
- ב. עקרון פעולה של מכונה לזרם ישיר - משוואות יסודיות של מכונות לזרם ישיר, כא"ם נגדי.
- ג. צורות עירור: זר, מקבילי, טורי ומעורב.
- ד. עבודות המכונה כגנרטטור - השפעת העמסה על מתח החדקים.
- ה. עבודות המכונה כמנוע - השפעת העמסה על מהירות הסיבוב.
- ו. שימושים במערכות בקרה - טכוכנתור.

**2 שעות**

**10.3 מבנה אסינכראונית**

- א. מבנה וחלקים עיקריים : סטטור, רוטור.
- ב. עקרון פעולה של המכונה - שדה מסתובב, החלקה.

**2 שעות**

**10.4 מכונה סינכרונית**

- א. מבנה וחלקים עיקריים. סטטור, עוגן.
- ב. עקרון פעולה של המכונה.

**ספרות עזר בעברית**

הספרים בעברית אינם מכסים את כל החומר וחלקים מטפל בנושאים הנלמדים ברמה נמוכה מדי, لكنו מומלץ להיעזר בכמה ספרים וגם בספרות אנגלית.

1. תורת החשמל, שיטות פתרון מעגלי זרם ישר, יאן לרוון, הוצאה שורש.
2. מבחני מה"ט בתורת החשמל, אריאל סגל ויאן לרוון, הוצאה שורש.
3. יוסף אדמיניסטר - מעגליים חשמליים, סדרת שואום (סטימצקי).
4. חשמל א - יחידות 8 - 1, חשמל ב יחידות 6 - 1 (מהדורה זמנית), הוצאה ביה"ס לטכנולוגיה של האוניברסיטה הפתוחה, 1988-1999.
5. תורת החשמל - ספר לימוד כרך א' כרך ב': הוצאה מט"ח וביה"ס לטכנולוגיה של האוניברסיטה הפתוחה, 1992.
6. תורת החשמל, שאלות ותרגילים, הוצאה מט"ח וביה"ס לטכנולוגיה של האוניברסיטה הפתוחה, 1992.
7. חשמל זרם ישר וחילופין, צ.ס. זיסקינד - (תרגום מאנגלית) - הוצאה אורט ישראל 1981.
8. תורת החשמל והמגנטיות חלקים א' ב' ג' - ג. פקטה - הוצאה מכללת בזק.
9. פיזיקה תיכונית - סירס זימנסקי - חשמל ומגנטיות א' ב' - הוצאה יבנה (רמה נמוכה מדי).
10. יסודות תורת החשמל - ח. גרון חלק א' ו - ב' הוצאה אורט ישראל.
11. פיצ'רלד והיגנבטן, מבור לחשמל ואלקטרוניקה - זרם ישר הוצאה אורט ישראל (תרגום מאנגלית).
12. קובץ בעיות בתורת החשמל, חלקים א' ב' אינג' פרוימוביץ, הוצאה אורט ישראל, 1980 – ספר בעייתי שעוסק במערכות תלת פיזיות.
13. מכונות חשמל, פרקים נבחרים, אינג' ב. אוסטר, הוצאה אורט ישראל, 1984.

**ספרות עזר באנגלית**

1. *Basic Circuit Theory*, Charles A. Desoer, Ernest S. kuh, McGraw-Hill Education, 1969
2. *Basic Electric Circuit Theory*, Isaak D. Mayergoyz , W. Lawson, Academic Press, 1997
3. *Schaum's Outline of Basic Circuit Analysis*, John O'Malley, McGraw-Hill, 1992
4. *Schaum's Outline of Electric Circuits*, Mahmood Nahvi, Joseph A. Edminister, McGraw-Hill, 2002
5. *Basic Electric Circuits*, Donald P. Leach, John Wiley & Sons, 1984
6. *Introduction to Electric Circuits*, Richard C. Dorf & James A. Svoboda, John Wiley & Sons, 2006
7. *Fundamentals of Electric Circuits*, Charles K. Alexander & Matthew N. O. Sadiku, McGraw-Hill, 2002
8. *Electric Circuit Analysis*, David E. Johnson & John L. Hilburn, Prentice Hall, 1995
9. *Elementary Linear Circuit Analysis*, Leonard S. Bobrow, Oxford University Press, 1986
10. *Electric Circuit Analysis*, David E. Johnson, John L. Hilburn, Johnny R. Johnson, Peter D. Scott, John Wiley & Sons, 1997
11. *Alternating-Current Circuits*, Russell M., M.S. and Corcoran, George F., M.S. Kerchner, Wiley & Sons
12. *Electric Circuits & Networks*, Robert D. Strum & John R. Ward, Prentice Hall, 1985
13. *Circuit Analysis*, Leonard J. Tung, Bing Woon Kwan, World Scientific Publishing Company, 2002