

# תוכן הקורסים (סילבוסים) בתכנית לתואר שני בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה

הסילבוסים מסודרים בסדר עולה של מספרי הקורסים

## 55003 - מתמטיקה מתקדמת Advanced Mathematics

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

מטרת הקורס להקנות לסטודנט ידע בניתוח של פונקציות במשתנים מרוכבים, טורי פורייה מוכללים ושימושיהם.

### הנושאים שיילמדו בקורס:

מרחבים מטריים: הגדרה מושגים בסיסיים, קבוצות פתוחות וסגורות במרחב מטרי, התכנסות ורציפות במרחב מטרי.  
פונקציות של משתנה מרוכב: נקודות סינגולאריות, חתכי-הסתעפות, אינטגרליים במישור המרוכב. מיפוי קונפורמי.  
ניתוח פונקציות המוגדרות ע"י אינטגרליים (דוגמאות: פונקציות גמה וזתה, פונקציות אליפטיות). פונקציות המוגדרות ע"י משוואות דיפרנציאליות במישור המרוכב (דוגמאות: פונקציות בסל ולג'נדר).  
טורי פורייה מוכללים. ייצוגים אינטגרליים. התמרות אינטגרליות, התמרות הפוכות. שימושים בפתרון משוואות דיפרנציאליות רגילות וחלקיות.

### ספרי לימוד:

1. W. Rudin, Principles of Mathematical Analysis, Mc-Graw –Hill Co., NY
2. S.D. Fisher, "Complex Variables", Wadsworth & Books/Cole, Mathematics series. 2<sup>nd</sup> ed., Dover, 1999.
3. J. W. Brown and R. V. Churchill, "Complex Variables and Applications", 6<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill, 1996.
4. Ablowitz, M.J., Focas, A.S. "Complex Variables: Introduction and Application", Cambridge University Press, 1997.
5. Needham, T., "Visual Complex Analysis". Clarendon Pub., 2000.
6. Arfkan, B.G., Weber, H.-J., "Mathematical Methods for Physicists", Harcourt/Academic Press, 5<sup>th</sup> ed., 2000.
7. ס. זעפרני, א. פינקוס, טורי פורייה והתמרות אינטגרליות. הוצאת הפקולטה למתמטיקה, טכניון 1997.

# 55004 - ניתוח מטריציאלי ותהליכים אקראיים במערכות הספק

## Matrix Analysis and Accidental Processes in Power Systems

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

בקורס זה יכיר הסטודנט שיטות מתקדמות בניתוח מערכות הספק, כגון: שימוש במטריצות ובתורת הגרפים. כמו-כן ירכוש הסטודנט ידע בשיטות האופטימיזציה בתהליכים אקראיים במערכות הספק ושימוש בחוקי הסטטיסטיקה וההסתברות. לניתוח מערכות.

### נושאים שילמדו:

1. אלגברה של מטריצות.
2. משוואות בסיסיות של רשתות בצורה מטריציאלית.
3. תורת הגרפים ויישומה לניתוח רשתות.
4. טרנספורמציה ליניארית בניתוח ופתרון רשתות.
5. שיטות האיטרציה בפתרון רשתות.
6. שיטות האופטימיזציה בניתוח מערכות.
7. תהליכים אקראיים במערכות הספק.
8. שימוש בשיטות הסטטיסטיות וההסתברות בניתוח מערכות.

### פרות:

1. S. Lipschutz, Linear Algebra, McGraw Hill, 1991
2. Sheldon M. Ross, Introduction to Probability and Statistics for Engineering and Scientists, ELSEVIER, 2004
3. A. Shenkman, Topological methods of circuit analysis, HAIT.2006

# 55010 - שיטות חישוביות באלקטרומגנטיות

## Computational Methods in Electromagnetics

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

הסטודנט ילמד לפתור משוואות מקסוול ע"י שיטה אנליטית או נומרית המתאימה לבעיה ולאחר מכן לבחון את הפתרון המתקבל.

### נושאים שיילמדו בקורס:

שיטות אנליטיות לפתרון בעיות אלקטרומגנטיות, שיטת הפרדת משתנים, שיטת טורים. שיטות נומריות: שיטות הפרשים סופיים. אלגוריתמים מפורשים ובלתי-מפורשים. יציבות, התכנסות, וקונסיסטנטיות. שיטת הקולוקציה. שיטת הטעות המינימאלית. מוסגים של שיטת המומנטים, שיטות אלמנטים סופיים. בחירת שיטת החישוב המתאימה לפתרון הבעיה. מימוש הפתרון ע"י תכנות Matlab ו-Maple על דוגמאות חישוב של התקנים אלקטרומגנטיים.

### ספרי לימוד:

1. Sadiku, M., "Numerical Techniques in Electromagnetics", CRC Press, Boca Raton, 2001.
2. Collin, R.E., "Field Theory of Guided Waves", 2<sup>nd</sup> Ed. IEEE Press, 1991.
3. Umashankar, K., Taflove, A., "Computational Electromagnetics", Artech House, 1993.
4. Kraus, J. D., Electromagnetics, Mc-Graw-Hill, New York, 1988 and later editions.
5. A. Beltzer, Engineering Analysis, Academic Press, London, 1995.

# 55011 - בקרה אוטומטית מתקדמת

## ADVANCED AUTOMATIC CONTROL THEORY

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרות:

בקורס זה ילמד הסטודנט נושאים מתקדמים בתורת הבקרה הכוללים תכנון הבקרה של מערכות מינימום פאזה ומערכות לא יציבות באמצעות בקרי PID, עקרונות שיטת QFT, בקרה של מערכות הכוללות אלמנטים לא ליניאריים ונושאים בבקרה ספרתית.

### הנושאים שיילמדו בקורס:

1. עקרונות התכנון במישור התדר - חזרה.
2. מערכות עם אי ודאיות, עקרונות כללים של שיטת QFT.
3. תכנון בקרי PID בשיטת זיגלר-ניקולס עבור מערכות מינימום פאזה.
4. תכנון בקרי PID של מערכות מושהות בזמן ומערכות שאינן בפאזה מינימאלית.
5. מבוא למערכות לא-ליניאריות ולדינמיקה לא ליניארית.
6. שיטת הפונקציה המתארת, מעגלי גבול.
7. מסלולים במישור הפאזה, שיטת האיזוקלינות.
8. מערכות בקרה ספרתיות – שיטות אנליזה (RL, NYQUIST).
9. שיטות התמרה מהמישור הרציף למישור הבדיד.
10. תכנון של מערכות בקרה ספרתיות.

### ספרי לימוד:

1. "בקרה ב" – ספר לימוד מאת ד"ר מרסל סידי בהוצאת מכון טכנולוגי חולון 2008.

### ספרי עיון:

1. Davis H., Introduction to nonlinear differential equations, Dover 1962
2. Saucedo R and Schiring E., Introduction to continuous and digital control systems, MacMillan 1968
3. Gelb & Vander Velde, Multiple-Input Describing Function, McGraw-Hill, 1968
4. Sidi M., Design of Robust Control Systems-from Classical to Modern Practical Approaches, Krieger Publishing Company, 2001

## 55013 - מיתוג רך וממירים עם קבלי מיתוג Soft-Switching and Switched Capacitor Converters

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### הנושאים שיילמדו בקורס:

הסטודנט ילמד את הממירים שפותחו בשנים האחרונות – ממירים עם נצילות מאוד גבוהה וגודל פיסי מאוד קטן.  
תורת העברה מבוקרת של אנרגיה דרך מעגל של קבלי-מיתוג, ממירים ואינברטרים מסוג קבל-מיתוג עובר עליית והורדת מתח, נוסחת הנצילות, תנודות במתח מוצא, ערך הקבל הממותג ותדר המיתוג. מיתוג רך: עם תדר מיתוג משתנה, מיתוג בלי הפסדים לזרם אפס (Zero-current switching) או למתח אפס (zero-voltage switching), מיתוג רך עבור כל מתח כניסה וכל עומס. zero voltage transition, zero current transition.  
ממירים מיתוג רך עם תדר מיתוג קבוע ומפסקים משניים. טופולוגיות של ממירים עם מיתוג רך עבור כל הטרנזיסטורים ודיודות. ממירי מתח חלופי - מתח ישר עם מתח זרם כניסה באותה פאזה (single switch-single stage), עם שתי רמות ועם רמה אחת (single switch-single stage), אינברטרים עם מיתוג רך.

### ספרי לימוד:

1. IEEE Transactions on Power Electronics 1994-2002

## 55014 - עיבוד אותות ספרתי מתקדם Advanced DSP

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### הנושאים שיילמדו בקורס:

עיבוד אותות רב קצביים, מערכות דסימציה ואינטרפולציה, מסנני polyphase, מערכות רב-שלביות ובנק מסננים. מערך מסנני QMF. שגיאות במסננים עקב אורך מילה סופי – Floating point, Fixed point ניתוח אותות אקראיים, שיערוך פרמטרים של ספקטרום ההספק. מסננים אדפטיביים, Short term Fourier transform, התמרות Wavelet. שימוש באנליזת Wavelet לצורך: de-noising, דחיסה, pattern recognition, edge detection. מערכות איסוף נתונים, ארכיטקטורות DSP.

### ספרי לימוד:

1. Proakis J., Ch .Rader , F.Ling, Ch.Nikias, "Advanced Digital Signal Processing". Mc.Millan Publ., 1992.
2. Boaz Porat, A course in Digital signal Processing, John Wiley&Sons, INC, 1997
3. Vaseghi V., "Advanced Processing and Digital Noise Reduction", Wiley, 1996.
4. Editor V.K.Madisetti, D.B.Williams, "The Digital Signal Processing Handbook", CRC & I EEE Press, 1997.
5. R. Rao and A. Bopadikar, Wavelet Transforms, Introduction to Theory and Applications, Addison-Wisley, 1998.

## 55015 - התפשטות גלים מתקדם Advanced Wave Propagation

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

מטרות הקורס: להקנות לסטודנט הבנה מעמיקה ומספר שיטות פרקטיות הדרושים לניתוח ותכנון מובילי גלים והתקנים פוטוניים שונים. בנוסף לפרקים קלסיים הקורס יכסה גם את עקרונות התפשטות גלים בגבישים פוטוניים דו- ותלת-ממדיים, המהווים מהפכה אמיתית בפיתוח מערכות אופטואלקטרוניות.

### הנושאים שילמדו בקורס:

1. משוואות מקסוול ומשוואות הגלים (במישור התדר). תנאי שפה, תנאי קרינה, ויחידות פתרון. עקרון אינוואריאנטיות הסקלה. גלים מישוריים.
2. שיטות מטריציאליות לניתוח התפשטות גלים בתווך שכבתי, מטריצות תמסורת (M) ומעבר (T).
3. התפשטות גלים בתווך מחזורי חד-ממדי. משפט Floquet והרמוניות מרחביות. משוואת הנפיצה ודיאגרמת Brillouin. מהירות הפאזה ומהירות החבורה.
4. התפשטות גלים בגבישים אלקטרומגנטיים/פוטוניים דו- ותלת-ממדיים: סריג מרחבי והופכי, משפט Bloch. הקשר לפיזור Bragg ודיאגרמת Ewald.
5. הפרדת משתנים ואופני התפשטות (מודים) בגלבים חלולים, גלבו לוחות. גלבים פתוחים וגלים משטחיים, שכבה דיאלקטרית אחידה. פלזמונים משטחיים. מודים נודדים ריאקטיביים.
6. התפשטות גלים במערכות מפולגות צמודות. מודים קומפלקסיים. CMT ושימושיה בניתוח גלבים והתקנים פוטוניים.
7. ניתוח התפשטות גלים בגלבים רב-שכבתיים. הכללה למבנים גליליים, סיבי Bragg וקואקס דיאלקטרי.
8. טכניקת הווריאציות. בניית פונקציונלים סטאציונריים ומציאת ערכים עצמיים באמצעות שיטת Rayleigh-Ritz.
9. קירוב אופטיקה גיאומטרית. משוואות האייקונל והעוצמה. קרניים בתווך שכבתי. נקודת חזרה וקאוסטיק. שיטת WKB. שכבה ליניארית ופונקציות Airy.
10. קירוב פרקסיאלי ומשוואה פרבולית. שיטת צעדים מפוצלים (split-step). שימוש באופטיקה אינטגרלית.
11. התפשטות גלים בסיבים הבנויים על גבישים פוטוניים: שיטות ניתוח ודיאגרמות הנפיצה.
12. דפקטים נקודתיים וקוויים בגבישים פוטוניים. התפשטות מנותבת במערכות מהודים צמודים. תהודות Fano. שימוש בפוטוניקה, התקני מיקרוגל ואנטנות.

### ספרי לימוד:

1. A. Yariv and P. Yeh, Photonics: Optical Electronics in Modern Communications, 6th. ed. (Oxford University Press, New York, 2006).

הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה

2. J.-M. Lourtioz et al., Photonic Crystals: Towards Nanoscale Photonic Devices (Springer, New York, 2005).
3. A. Ishimaru, Electromagnetic Wave Propagation, Radiation, and Scattering (Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991).

## 55016 - עיבוד תמונות מתקדם Advanced Image Processing

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### נושאים

1. רקע כללי ומבוא:
  - א. סקירה על נושאי הקורס.
2. ריענון בנושאים שונים הקשורים לעיבוד תמונה, הדמיה, ושדות אקראיים (random fields)
  - א. מושגי יסוד במורפולוגיה מתמטית ועיבוד תמונות בינאריות.
  - ב. גישות יוריסטיות (heuristic) וגישות מבוססות מודלים של ראייה אנושית.
  - ג. גישות מבוססות תורת האינפורמציה (information theoretic approaches) ותורת זיהוי תבניות סטטיסטית.
3. פרקים בראיית מכונה:
  - א. מושגי יסוד במורפולוגיה מתמטית ועיבוד תמונות בינאריות.
  - ב. גישות יוריסטיות (heuristic) וגישות מבוססות מודלים של ראייה אנושית.
  - ג. גישות מבוססות תורת האינפורמציה (information theoretic approaches) ותורת זיהוי תבניות סטטיסטית.
4. מבוא לרדיולוגיה רפואית:
  - א. עקרונות ההדמיה הרפואית.
  - ב. הדמיה בקרני רנטגן – חישוב איכות הדמות ואופטימיזציה.
  - ג. טומוגרפיה ממוחשבת, התמרת ראדון (Radon transform), ושיטות לחישוב מעשי של התמרת ראדון ההפוכה.
  - ד. גישות לרפואה גרעינית (nuclear medicine) – הדמיה בקרני גאמה – הדמיה בעזרת מצלמות נקב, מצלמות גאמה סורקות (קולימטור חורים) ו-Coded aperture imaging.

### ספרי לימוד:

1. William K. Pratt, Digital Image Processing: PIKS Inside, 3rd Edition (John Wiley and Sons, 2001).
2. Anil K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing (Prentice Hall, NJ, 1989).
3. Harrison H. Barrett and William Swindell, Radiological Imaging (Academic Press, 1997).
4. Richard O. Duda and Peter E. Hart, Pattern Classification and Scene Analysis (John Wiley and Sons, 1973) or later edition.



**בנוסף, חלק מהחומר יילקח מפרקים נבחרים בספרים הבאים:**

5. Jean Serra, Image Analysis and Mathematical Morphology (Academic Press, 1984).
  6. A. Rosenfeld and A. C. Kak, Digital Picture Processing, Second Edition, Volumes 1 and 2 (Academic Press, New York, 1982).
  7. T. S. Huang, Editor, Two-Dimensional Digital Signal Processing II (Springer Verlag, New York, 1981).
  8. David Marr, Vision (Freeman and Company, 1982).
- יתכן וילמד חומר גם ממאמרים – הודעה על כך תינתן למשתתפים בבא הזמן, והעתקי המאמרים יהיו בספריה או באתר הקורס באינטרנט.

**55017 - אופטיקה קוונטית**  
**Quantum Optics**

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3  
דרישת קדם: 55031 תורת הקוונטים

**כללי :**

מטרת הקורס ללמד את הסטודנט תופעות בסיסיות באופטיקה קוונטית ואינטראקציה בין אטום ובין קרינה אלקטרומגנטית.

**הנושאים שילמדו בקורס:**

תאור קלסי למחצה של אינטראקציה בין אטום ובין שדה. תנודות Rabi. וקטורי Dirac: bra, ket וקטורים. קוונטיזציה של שדה אלקטרומגנטי, אופרטורי יצירה (creation) והשמדה (Annihilation), הצגת וקטור פוטנציאל באמצעות תדרים חיוביים ושיליים ואופנים מרחביים, אופרטור מספר החלקיקים, הצגות שונות: Heisenberg, Shroedinger, ואינטראקציה. אפיון מצבי שדה במרחב פזה, משוואת התנועה עבור אופרטור בהצגת Heisenberg, סטטיסטיקת פוטונים, הגדרה ותכונות של מטריצת הצפיפות, מתנד הרמוני בהצגה קוונטית. תאור קלסי למחצה של לייזר. תאור קוונטי של אינטראקציה בין אטום ובין שדה. מצבים קוהרנטיים ו-squeezed, מערכות דיסיפטיביות.

**ספרי לימוד:**

1. P. Meystre, M. Sergeant III. Elements of Quantum Optics. Springer, Berlin, 1999.
2. C. Gerry, P. Knight, Introductory Quantum Optics, Cambridge University Press, New York, 2005.

**ספרי עיון:**

3. M. Orszag, . Quantum Optics. Bucher. 2000.

## 55022 - התקנים משולבים לתקשורת אופטית Integrated Devices for Optical Communications

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

השכבה הפיסית של המערכות ברשתות תקשורת אופטיות כוללת רכיבים אלקטרואופטיים רבים. לכן יש חשיבות רבה להציג לסטודנטים רכיבים משולבים מתקדמים בתקשורת אופטית לעסוק בביצועי רכיבים והשפעתם על מערכות ורשתות תקשורת אופטיות.

### הנושאים שילמדו בקורס:

תאור כללי של לייזר מוליכים למחצה (מל"מ), סקירה של משוואת גלים, מבנה הפסים ותכונות אופטיות של מל"מ, עירור, פליטה עצמית ומאולצת של אור במל"מ, צמתים מעורבים, מהוד אופטי, לייזר מל"מ מסוג DFB, DBR ו-VCSEL, לייזרים מתכוונים (tunable lasers), אפנון ישיר של לייזר, מנחי גל, אופנים במנחה גל, מנחי גל דו-ממדיים, מגבר אופטי מבוסס מל"מ SOA, בור קוונטי (quantum wells) ונקודות קוונטיות, (quantum dots), מעגלים והתקנים פוטונים משולבים ושימושים עיקריים במערכות תקשורת.

### ספרי לימוד:

1. A. Yariv and P. Yeh, "Photonics, Optical Electronics in Modern Communications", Sixth edition, Oxford University Press, 2006
2. Ghafouri-Shiraz, H., "Distributed Feedback Laser Diodes", Wiley, 1996
3. Ghafouri-Shiraz, H., "Laser Diode Amplifiers", Wiley, 1995

4. Murphy, E.J. (Editor), "Integrated Optical Circuits and Components: Design and Applications", Marcel and Dekker, 1999.
5. Nishihara, H., M. Haruna and T. Suhara, "Optical Integrated Circuits", McGraw-Hill, 1989.

## 55023 - נושאים נבחרים בהתפשטות גלים Selected Topics in Wave Propagation

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3  
דרישת קדם: 55003 מתמטיקה מתקדמת

### מטרות הקורס:

להקנות לסטודנט הבנה מעמיקה ומספר שיטות פרקטיות הדרושים לניתוח ערוצי תקשורת אלחוטית.

### הנושאים שילמדו בקורס:

חזרה על משוואות מקסוול ומשוואות הגלים. מגננוני יסוד בהתפשטות גלי רדיו: החזרה, שבירה, עקיפה, ופיזור. התפשטות בחלל חופשי. תווכים לא אחידים. קירובי האופטיקה הגיאומטרית. משוואה פארבולית. שיטות נומריות. מבנה האטמוספירה. התפשטות גלי רדיו בטרופוספירה ויוניספירה. השפעת הקרקע. מודלי large scale. חיזוי הפסדי נתיב במודל עם קו ראייה (LOS). הפסדי נתיב במערכות ללא קו ראייה (NLOS). מודלים מעשיים להתפשטות בשטח פתוח (outdoor) באזורים כפריים ועירוניים. מודלים מסוג ray tracing. תכנון ערוץ למערכת תאית בהתבסס על חיזוי הפסדי נתיב, קביעת אחוז כיסוי שטח. מודלים להתפשטות בתוך הבניינים (indoor), חדירה של גלים לתוך בניינים. עקרונות התפשטות גלים בתווך אקראי, פונקציות הקוהרנטיות, ומשוואת העברת הקרינה (RTE). מודלי small scale, תופעות multipath ואפקט דופלר. התפשטות בפס רחב. פרמטרים עיקריים של ערוצים עם דעיכות והחזרות: רוחב פס קוהרנטי-delay spread, זמן קוהרנטי-Doppler spread. מודלים אנליטיים בערוצי MIMO: מודל Kronecker ומודל עלומה עצמית (eigenbeam). התפשטות גלי ELF, VLF, LF, HF, מיקרוגלים, גלים מילימטריים וגלים אופטיים. התפשטות גלים במערכות מכ"מ וחישה מרחוק. מבוא לבעיות הפוכות.

## ספרי לימוד:

1. Propagation of Radio waves, edited by L. W. Barclay, 2nd. ed. (IEE, 2002).
2. J. D. Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel, 2nd. ed. (Wiley, New York, 2000).
3. H. L. Bertoni, Radio Propagation for Modern Wireless Systems (Prentice Hall, 1999).

## 55024 תורת המידע Information Theory

אופן הוראה : שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

תורת המידע עונה על שתי שאלות מרכזיות בתורת התקשורת: עד כמה ניתן לדחוס מידע? (תשובה: האנטרופיה H של המקור), ומהו קצב העברת המידע המקסימאלי בערוץ התקשורת? (תשובה: קיבול ערוץ C). התורה ישימה לשטחי מדע נוספים כמו מדעי המחשב, פיזיקה (תורת המידע הקוונטית), כלכלה (הימורים, תשואה בתיק מניות), מתמטיקה (אי שווים) סטטיסטיקה והסתברות.

### הנושאים שיילמדו בקורס:

מבוא מושגי יסוד, מקורות וערוצים: אפיון מודלים מקובלים למקורות אינפורמציה, ערוצי תקשורת וקריטריוני עיוות; קידוד מקורות ללא עיוות ודחיסת מידע כולל קידוד בלוקים, אנטרופיה ותכונותיה, קידוד מאורך קבוע למשתנה: צפני UD, צופן הופמן, אי שיוון Kraft, קידוד אריתמטי, צפינה מאורך משתנה לאורך קבוע. אלגוריתם למפל-זיו. קידוד מקורות עם עיוות: פונקציית קצב-עיוות ותכונותיה, חישוב פונקציית קצב-עיוות, קוונטיזציה, פונקציית קצב-עיוות למקור גאוס, משפט הפוך למשפט הצפינה. מעבר מידע בערוץ רועש: קיבול ערוץ, חישובי

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה](#)

קיבול ערוץ במקרים פשוטים, משפט הצפינה לערוצים, ומשפט הפוך למשפט הצפינה, ערוץ עם משוב. קידוד משולב מקור-ערוץ: משפט עיבוד הנתונים, משפט ההפרדה מקור-ערוץ. מבוא לתורת הצפינה.

### ספר לימוד:

Thomas M. Cover and Joy A. Thomas, *Elements of Information Theory*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2006.

### ספרי עיון:

1. David J. C. MacKay, *Information Theory, Inference, and Learning Algorithms*, Cambridge University Press, 2003 and [www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/itila/book.html](http://www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/itila/book.html). (Free online)
2. Robert G. Gallager, *Information Theory and Reliable Communication*, John Wiley & Sons, Inc., 1968.
3. Richard E. Blahut, *Principles and Practice of Information Theory*, Addison-Wesley, 1987.

## 55025 - מערכות תקשורת רדיו Radio communication systems

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

קורס זה מיועד להקנות לסטודנטים ידע והבנה באפיון וניתוח ערוצי תקשורת אל-חוטית המושפעים מתופעות של ריבוי נתיבים ואפקט דופלר. הקורס מהווה מבוא מקיף של תיאוריה ושיטות אנליטיות הדרושות לתכנון מערכות רדיו.

### נושאים

1. הקדמה, סקירה על מערכות תקשורת אלחוטיות.
2. התפשטות גלי רדיו, הפסדי דרך במרחב החופשי, מודל 2 קרניים, מודלי ערוץ אמפיריים (אוקומורה, הטה). עקיפה ושבירה של גלי רדיו. הסתרה. הסתברות של ניתוק קשר עקב הסתרה.
3. ערוץ דעיכה. מודלים סטטיסטיים לערוץ עם ריבוי נתיבי תקשורת. תגובת הלם של ערוץ משתנה בזמן. ערוץ דעיכה צרת סרט ורחבת סרט. רוחב סרט קוהרנטי, תופעת דופלר והשפעתה על ספקטרום האות. זמן קוהרנטיות של הערוץ.
4. קיבולת של ערוץ דעיכה. הגדרות- קיבולת ארגודית (שנון) וקיבולת עם אפשרות ניתוק הערוץ. אבחנה בין ערוצי דעיכה שטוחה ודעיכה תלויה תדר. השפעת ידיעת מצב הערוץ (CSI) במקלט ומשדר על קיבולת הערוץ.

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה](#)

5. ביצועי שיטות אפנון ספרתיות בערוץ דעיכה. מדדים להערכת ביצועי הערוץ בתנאים שונים. חישוב הסתברות שגיאה והסתברות ניתוק הקשר בערוץ דעיכה.
6. מערכות תקשורת המבססות על שוני (diversity) מרחבי ושוני ספקטראלי. אלגוריתמים לשידור וקליטה במערכות מבוססות שוני. השוואה עם ערוץ AWGN.

#### ספרי לימוד

1. A. Goldsmith, "Wireless Communications" Cambridge University Press 2 (2005).
2. T.S. Rappaport, "[Wireless Communications](#)", Wiley, 2002.
3. 3. Lee, W.C.Y., "[Mobile Communications Design Fundamentals](#)", 2nd Ed., Wiley, (1993)

## 55028 - מערכות הספק מתקדמות Power Systems Advanced

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

#### כללי:

הקורס מיועד לתת לסטודנטים ידע כללי ומעמיק יותר על נושאים שונים במערכות הספק ואנרגיה. הקורס נותן ראייה רחבה יותר על משמעות של מערכות המבצעות עיבוד של אנרגיה והספק הגדרתן ומציאת פונקציות בקרה להשגת עיבוד אנרגיה מבוקש. הקורס הינו קורס כללי בפן התיאורטי.

#### הנושאים שיילמדו בקורס:

1. חוקי תבנין מורחבים.
2. הגדרות של מקור מתח, זרם ומקור הספק.
3. מקורות אנרגיה קשים ורכים
4. אופיינים של מקורות שונים.
5. רשתות צימוד מבוססות שנאי משתנה בזמן.
6. רשתות צימוד מבוססות ג'ראטורים.
7. רשתות צימוד מבוססות נגדים חסרי הפסדים.

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה](#)

8. ממירים קיבוליים כרשתות זוגיים חסרות הפסדים.
9. הרמוניות במערכות הספק
10. המרות DC/AC נטולת הרמוניות.
11. יישומי תיאוריה לסינתזת של מערכות פוטוולטאיות ומערכות הספק שונות.
12. תיאוריות העברת הספק
13. נושאים כלליים העיבוד הספק.

#### **ספרי לימוד:**

1. R.W. Erickson and D. Maksimovic, Fundamentals of Power Electronics (Second Edition), 2006.

#### **2. מאמרים נבחרים ע"י המרצה**

# 55031 - תורת הקוונטים לאלקטרוניקה

## Quantum Theory for Electronics

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### תכני הקורס

(א) בסיס עיוני של תורת הקוונטים (18 שעות)

1. סקירה של מכאניקה קוונטית. פונקציות הגל ומשמעות הפיסיקלית שלה. התיאור של מדידים (observables). משוואת שרדינגר (Schroedinger). משוואת שרדינגר בלתי תלויה בזמן. רמות האנרגיה העמידות של המערכת (stationary states). אופרטורים. פונקציות עצמיות וערכים עצמיים. סימונים של דיראק (Dirac). הצגה של מטריצות.
2. חלקיק בבור פוטנציאל אינסופי. חלקיק בבור פוטנציאל בעומק סופי.
3. פיזור במכאניקה קוונטית. מנהור דרך מחסום פוטנציאל מלבני.
4. מתנד הרמוני. רמות האנרגיה ופונקציות הגל. אופרטורים של יצירה והריסה.
5. תורת הפרעות. מתנד לא-הרמוני. הפרעות במקרה של ניוון. משוואה סקולרית (secular equation). הפרעות תלויות בזמן. כלל הזהב של פרמי (Fermi Golden Rule).

(ב) מבוא לפיסיקה של מצב מוצק (20 שעות)

1. מבנה של גבישים. סימטריה טראנסלטרית (translational). פונקציות מחזוריות שריג הפוך. פסי ברילואן (Brillouin). משפט בלוך (Bloch). צפיפות המצבים האלקטרוניים.
2. אלקטרונים במתכות. מודל של פסים. אלקטרונים כמעט חופשיים. המסה האפקטיבית. משטח פרמי. פס הערכיות ופס ההולכה. קירוב של הקשר החזק (tight-binding approximation).
3. סטטיסטיקה של פרמי-דיראק (Fermi-Dirac). החום הסגולי של האלקטרונים.
4. תנודות הרמוניות של השריג. פונונים אקוסטיים (acoustic) ואופטיים (optical). מודלים של אינשטיין ושל דאביי (Debye). החום הסגולי של המוצקים בטמפרטורות נמוכות. פיזור של אלקטרונים על פונונים. התנגדות.

(ג) מעברים קרינתיים במערכות קוונטיות (4 שעות)

1. קרינה ספונטאנית. קרינה מאולצת. מקדמים של אינשטיין. צפיפות הקרינה (חוק פלאנק).
2. הסתברות של מעברים קרינתיים בין הרמות. קירוב דו-קוטב (dipole approximation).

### ספרות מומלצת:

1. D.J. Griffiths, "Introduction to Quantum Mechanics", 2-nd ed. Prentice-Hall/Pearson, 2005.
2. S. Gasiorovich, "Quantum Physics", 3-rd ed. J. Wiley, 2003.

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה](#)



3. R. Eisberg and R. Resnick, "Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids Nuclei and Particles", 2-nd ed. J. Wiley, 1985. Chapters 4 - 10.
4. Y. Peleg, R. Pnini and E. Zaarur, "Shaum's Outline of Theory and Problems of Quantum Mechanics", McGraw-Hill, 1998.
5. S. Fluegge, "Practical Quantum Mechanics", Vol. 1. Springer Verlag, 1971.
6. C. Kittel, "Introduction to Solid State Physics". 8-th ed. J. Wiley, 2004.
7. J.M. Ziman, "Principles of the Theory of Solids". 2-nd ed Camb. Univ. Press. 1979.
8. N.W. Ashcroft and N.D. Mermin, "Solid State Physics". Brooks Cole Publ. Co. 1976.

9. "פרקים בפיסיקה מודרנית", יח' 1-11. הוצאת האוניברסיטה הפתוחה, 198

## 55032 נושאים נבחרים באופטיקה Selected Topics in Optics

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

כללי:

קורס זה בא להוסיף חומר מרכזי באופטיקה שאינו נכלל בתוכנית תואר ראשון (גם במסגרת מסלול אלקטרו-אופטיקה) במרבית האוניברסיטאות והמכללות בארץ, ושהכרות אתו חיונית להבנת התקנים וטכנולוגיות אופטיות מרכזיות רבות.

### נושאי הקורס

1. תורת הדיפרקציה הסקאלרית ואופטיקת פוריה (ריענון).
2. קוהרנטיות וקיטוב
  - א. סוגי קוהרנטיות ומדידתם
  - ב. התנהגות אור קוהרנטי, והתנהגות אור לא-קוהרנטי
  - ג. קוהרנטיות חלקית – משפט Van-Cittert-Zernike
  - ד. קיטוב חלקי
3. אופטיקה סטטיסטית
  - א. Laser speckle
  - ב. טורבולנציה אטמוספירית והתקדמות אור באטמוספירה.
  - ג. Astronomical speckle
4. Near Field Optics
  - א. גלים דועכים באופטיקה
  - ב. שיטות למיקוד אור מעבר לגבול הדיפרקציה הקלאסית
  - ג. Plasmons באופטיקה

### ספרות:

1. M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, 6th Edition (Pergamon, Oxford, 1980).
2. J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, 2nd edition (McGraw-Hill Science/Engineering/Mathematics Series, 1996).
3. J. W. Goodman, *Statistical Optics* (Wiley-Interscience – John Wiley and Sons, New York, 1985).
4. Suganda Jutamulia, Editor, *Selected Papers on Near-Field Optics* (SPIE, Bellingham WA USA, 2002).
5. מאמרים והפניות נוספים ע"פ בחירת המרצה.

# 55034 תקשורת אופטית מודרנית Modern Fiber Optics Communication

אופן הוראה: שו"ת  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

## כללי:

מטרת הקורס להקנות לסטודנט יכולת תכנון וניתוח מערכות תקשורת אופטית מודרנית, הבנת עקרון פועלה, מבנה ושימושים בה התקנים מתקדמים כגון: לייזרים עם בורות קוונטיים ונקודות קוונטיות, מגברים אופטיים, מוליכי גל אופטיים, התקנים פוטוניים מבוססים על סיליקון. לחשוף את הסטודנט למגבלות המערכות הנ"ל ודרכים להתגברותן.

## הנושאים שילמדו בקורס:

מבנה של מערכת תקשורת אופטית, סיבים אופטיים: הפסידים וניחות בסיב אופטי, נפיצה, השפעת הנפיצה לערוץ אופטי. תופעות לא ליניאריות, פרמטרים של ערוץ תקשורת אופטי. קיבול הערוץ, רוחב סרט, נצילות ספקטראלית, קצב שגיאה, יחס אות לרעש אופטי, התערבות של אותות, אות אופטי. אפנון של אות אופטי. שיטות מתקדמות של אפנון. משדר. דיודת-לייזר. לייזרים מבוססים על בורות קוונטיים ונקודות קוונטיות. לייזר עם מהוד מאונך. לייזר עם משוב מפולג (DFB). אפנון ישר של קרינת לייזר. אפנון חיצוני קרינת לייזר. טכנולוגית רדיו על סיב אופטי. המגברים האופטיים מבוססים על מ"מ, Raman, EDFA, מקלט. גלאים. גילוי קוהרנטי. מוליך גל אופטי "סיליקון על מבודד". התקנים פוטונים מבוססים על סיליקון –מבודד. תקנים פוטונים משולבים.

## ספרי לימוד:

1. Yariv, A., "Photonics, optical electronics in modern communications", Oxford University Press, 2007.
2. G. Agrawal. Fiber-Optic Communication Systems. Wiley. New York. 2010.
3. Graham T. Reed (Ed.), "Silicon photonics: the state of the art", Wiley, Chichester, England, 2008.
4. Okamoto, K., "Fundamentals of optical waveguides", Academic Press, New York, 2000.
5. L. Kazovsky, S. Benedetto, A. Willner. Optical Fiber Communications. Artech House, London, 1996.

## 55102 - מאפנני אור מרחביים Spatial Light Modulators

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

בקורס זה יילמדו טכניקות של אפנון אור וטכנולוגיות של מאפנני אור מרחביים (Spatial Light Modulators) הקיימים כיום. הקורס יכסה את השימושים העיקריים של מאפנני אור מרחביים, הכוללים: צגים, מקרני אור, עיבוד נתונים אופטי, מערכות לתקשורת אופטית.

### הנושאים הנלמדים:

עוצמה, פאזה וקיטוב של אור. מטריצת Jones. התפשטות אור בחומרים אנאיזוטרופיים. שבירה כפולה. שיטות אפנון של אור. אפנון אלקטרו-אופטי, מגנטו-אופטי, אקוסטו-אופטי, מכאנו-אופטי ו-Electro-Absorption. אפנון אור מרחבי. סוגים שונים של גבישים נוזליים. אפנון קיטוב, פאזה ועוצמה של אור בתא גביש נוזלי. מבנה, אופן הפעולה וביצועים של מאפנני אור מרחביים מבוססי-גביש נוזלי. מסכי גביש נוזלי ומקרני אור. מבנה, אופן הפעולה וביצועים של מאפנני אור מרחביים מבוססי-מיקרו-מראות. עיבוד נתונים אופטי עם מאפנני אור מרחביים. מאפנני אור מרחביים להטיית אלומת אור ולמיתוג אופטיים.

### ספרי לימוד:

1. Spatial light modulator technology: materials, devices, and applications / edited by Uzi Efron. New York: Marcel Dekker, 1995.
2. Optical applications of liquid crystals / edited by L. Vicari. Bristol: Institute of Physics Pub., 2003.
3. Deng-Ke Yang and Shin-Tson Wu, "Fundamentals of liquid crystal devices". Chichester: Wiley, 2006.
4. Collings P. J., "Liquid crystals: nature's delicate phase of matter". Princeton, N.J.: Princeton Architectural Press, 2002.
5. Boer W., "Active matrix liquid crystal displays". Amsterdam: Elsevier/Newnes, 2005.
- Yeh P. and Gu C., "Optics of liquid crystal displays". New York: Wiley, 1999.

## 55103 - נושאים נבחרים בסיבים אופטיים Selected Topics in Fiber-Optics

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

מטרת הקורס היא להקנות ידע תיאורטי ויישומי בהתפשטות גלים בסיבים אופטיים בהתחשבות בתופעות דיספרסיה ואי-ליניאריות; במגוון סיבים; יישומם עיקריים; בסיסי ייצורם, בדיקות ומדידות אפיונם.

### הנושאים שיילמדו בקורס:

1. היסטוריה של סיבים אופטיים
2. התפשטות גלים בסיבים: התפשטות גלים בסיבים, סוגי סיבים, דיספרסיה בסיבים אופטיים, תופעות אי-ליניאריות בסיבים.
3. סיבים מיוחדים ויישומם: סיבים עם מאפייני דיספרסיה שונים, סיבים שומרי קיטוב, סיבים עם ליבה של מקדם שבירה גבוה, סיבים עם שטח אופן קטן/גדול, סיבים אקטיביים, סיבים חלולים.
4. מגברים ולייזרים מבוססי סיבים: יסודות, מבנה, מאפיינים.
5. רכיבים פסיביים וחיבורים: מחברים, ריתוך, רכיבים פסיביים מבוססי סיבים.
6. סריגי ברג: יסודות, מאפיינים, ייצור, יישומים
7. ייצור סיבים: חומרים, תהליכי ייצור
8. כבלים אופטיים: מבנה כבלים, יסודות תכנון, תהליכי ייצור
9. בדיקות ומדידות: בדיקות ומדידות פרמטרים ומאפיינים של סיבים וכבלים, תיקנים ומפרטים
10. חיישנים מבוססי סיבים אופטיים: היקרנות לבניית חיישנים, חיישנים על אפנון אמפליטודת, פאזות וקיטוב אור בסיב

### ספרי לימוד:

1. Agrawal, G.P., "Fiber-optic Communication Systems", A Wiley-Interscience publication, Third Edition, 2002.
2. Keiser G., "Optical Fiber Communications", McGraw-Hill, Third Edition, 2000.
3. Becker P.C., Olsson N.A., Simpson J.R., "Erbium-Doped Fiber Amplifiers", Academic Press, 1999.
4. Othonos, A., Kalli, K., "Fiber Bragg Gratings", Artech House, 1999.
5. Derickson D., "Fiber optic test and measurement", Prentice Hall PTR, 1998.
6. Culshaw B., Dankin J., "Optical Fiber Sensors. Vol. 1- 4, Artech House, 1988- 1997.

### ספרי עיון

7. Kaminow, I.P., Koch T.L. Editors, "Optical Fiber Telecommunications", Academic Press, 1997.
8. Saleh, B.E.A., Teich, M.C., "Fundamentals of Photonics", Wiley, 1991.
9. Agrawal, G.P., "Nonlinear Fiber Optics", Academic Press, Third Edition, 2001.

## 55104 - מעבדה מתקדמת באלקטרו-אופטיקה Advanced Electro-Optics Laboratory

אופן הוראה: מעבדה

שעות שבועיות: 4

נקודות זכות: 3

### מטרות הקורס

קורס זה נועד להקנות לסטודנטים לתואר שני באלקטרו-אופטיקה ועבודת תמונה הכרות מעמיקה (ולרבים מהם, ראשונה) עם טכניקת העבודה המעשית, והתיאוריה מאחוריה, במעבדה אופטית מודרנית, המשלבת מדידות אופטיות מורכבות עם אנליזה ועיבוד תמונה ממוחשבים. הוא מהווה את הגשר בין החומר הנלמד בקורסים תיאורטיים במסלול ובין היישום המעשי שלהם במחקר ובתעשייה.

### הניסויים

1. בטיחות בעבודה מעשית עם לייזרים.
2. הכרות עם המעבדה – טכניקות בכיוון מערכות אופטיות.
3. אפיון גלאי דמות וכיולם.
4. מדידת עצמים תלת ממדיים באמצעות אור לא-קוהרנטי.
5. מדידת מדויקת של משטחים תלת-ממדיים באמצעות אינטרפרומטריה.
6. **Speckle** קוהרנטי ושימושו למדידות.
7. אפיון מעבדתי של עדשות ומערכות אופטיות ומדידת הביצועים והפרמטרים שלהם.
8. ניסויים באופטיקת פורייה וסינון מרחבי.

### הערות

יתכנו תוספות והרחבות לרשימת הניסויים המופיעה כאן.

### ספרות

1. Daniel Malacara (editor): Optical Shop Testing (Wiley-Interscience, 1992).
2. Joseph W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, 2nd edition (McGraw-Hill Science/Engineering/Math. Series, 1996).
3. Harrison H. Barrett, Kyle Myers, Foundations of Image Science (John Wiley & Sons, 2003).
4. חוברת הקורס, העתקי מאמרים מדעיים שונים, וחוברות הסבר לציווד המעבדה שימסרו ע"י המרצה לסטודנטים לפי הצורך.

## 55105 - רשתות עצביות מתקדמות Advanced Neural Networks

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי

סטודנט ילמד שיטות מתקדמות של למידה של רשתות עצביות ושימושים שלהן בעיבוד אותות ומיון.

### נושאים שילמדו בקורס:

מבוא: מקורות של רשתות עצביות מלכותיות (ANN) כחלק של בינה מלכותית. שיטות למידה, לימוד בו-זמני ולימוד סדרתי. לימוד רשתות רב-שכבתית. לימוד ייצוגיות. יכולת הכללה של רשת עצבית. לימוד מונחה ובלתי-מונחה. הפרדה ליניארית, לימוד והגבלות של Perceptron. שימושיו של Perceptron. Adaline. זיהוי תבניות על ידי רשתות עצביות. רשתות מסתגלות. רשתות רב-שכבתיות ושיטה של התפשטות אחורית. קירוב של פונקציות על ידי רשתות רב-שכבתיות. לימוד שיוכי ושימושיו.

רשת Hopfield ושימושיו. רשת Elman ושימושיו. רשתות של ארגון עצמי. רשת Kohonen ושימושיו. שימושים של רשתות עצביות לעיבוד נתונים וזיהוי תבניות.

### ספרות:

1. Hagan, M. T. et al. "Neural Networks Design", PWS, Thomson, Boston, 1999 and later editions.
2. Mehrotra, K, et. al. "Elements of Artificial Neural Networks", MIT Press, Cambridge MA 1997 and later editions.

## 55106 - מיקרו- אופטיקה ואופטיקה דיפרקטיבית Micro-Optics and Diffractive Optics

אופן הוראה: שיעור

שעות שבועיות: 3

נקודות זכות: 3

### כללי

קורס זה מהווה מבוא למערכות ורכיבים אופטיים מתקדמים לא-קונבנציונליים. הדגש יהיה על התיאור והיישום של מיקרו-אופטיקה ושל אופטיקה דיפרקטיבית, גישות לתכנון מערכות אלו, וסקירה של שיטות הייצור הנפוצות (יחסית) שלהם, וכמובן על יישומים מעשיים.

### נושאי הקורס

1. מבוא לעקרונות אופטיקת פוריה.
2. העיקרון ההול וגרפי.
3. עקרונות תכנון העדשות הקלאסי.
4. רכיבים אופטיים דיפרקטיביים ורכיבים אופטיים הולוגרפיים.
5. אופטיקה בינארית.
6. יעילות דיפרקציה ברכיבים דיפרקטיביים וברכיבים הולוגרפיים.
7. שיטות חישוב לרכיבים דיפרקטיביים, הולוגרפיים והיורידים.
8. שיטות ייצור של רכיבים דיפרקטיביים וברכיבים הולוגרפיים.
9. מערכי עדשות ותכונותיהם.
10. שיטות ייצור של מערכי עדשות.
11. יישומים של מערכי עדשות.

### ספרים:

1. D. C. O'Shea, T. J. Suleski, A. D. Kathman and D. W. Prather, Diffractive Optics: Design, Fabrication and Test, SPIE Vol. TT62 (SPIE, Bellingham WA, 2004).
2. H. P. Herzig, Micro-Optics: Elements, Systems and Applications (Taylor and Francis, London, 1997).
3. J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, 2nd edition (McGraw-Hill Science/Engineering/Mathematics Series, 1996).

### ספרי עזר:

4. T. W. Stone and B. J. Thompson, editors, Selected Topics on Holographic and Diffractive Lenses and Mirrors, SPIE vol. MS 34 (SPIE, Bellingham WA, 1991).
5. Papers and articles as provided by the lecturer.



## 55202 - רכיבים ומעגלים מגנטיים Magnetic Components and Circuits

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרת הקורס:

בקורס זה ילמד הסטודנט תכונות בסיסיות של חומרים פרומגנטיים, שיטות חישוב של מעגלים והתקנים אלקטרומגנטיים. מטרתו של הקורס היא להקנות לסטודנט ידע בתכנון ויישום של מעגלים מגנטיים.

### תוכן הקורס בראשי פרקים:

1. תכונות חומרים מגנטיים: פרמאביליות, רוויה, מגנטיות שיוויונית, כוח קוהרסיבי.
2. הפסדי היסטריזיס ומערבולת, הפסדים סגולים, הפסדי גרור.
3. חישוב מעגלים מגנטיים: מעגלים ליניאריים ובלתי ליניאריים.
4. העשויים מעגלים מגנטיים ממספר חומרים.
5. המעגל המגנטי בעירור זרם ישר ובעירור זרם חילופין.
6. חישוב של אנרגיה מגנטית, חישוב של הפיזור וההפסדים.
7. חישובי כוחות אלקטרומגנטיים, פרו רזוננס.
8. כללי תכנון להתקנים אלקטרומגנטיים.
9. עקרונות התכנון, תכנון אופטימאלי בשיקולים כלכליים.

### ספרות מקצועית:

1. Bozorth, R.M., "Ferromagnetism", IEEE, 1993.
2. Halliday D., Resnick R., Krane K., "Fundamentals of Physics, Part 2, 7<sup>th</sup> Ed.
3. Fitzgerald, A. E., "Electric Machinery", McGraw Hill, 1990.

### ספרי עיון:

4. Burke, Harry E., "Handbook of Magnetic Phenomena", Van Nostrand Reinhold Co., 1986.
5. Smit, J., "Magnetic Properties of Materials", McGraw Hill.

## 55203 - מערכות בקרה של הינע חשמלי Control Systems of Electric Drives

אופן הוראה: שיעור

שעות שבועיות: 3

נקודות זכות: 3

### מטרות:

בקורס זה ילמד הסטודנט תכונות בסיסיות של מערכות בקרה של הינע חשמלי. מטרת הקורס היא להקנות לסטודנט הבנה בסיסית של ניתוח ותכנון של מתקני הינע חשמלי אוטומטי.

### הנושאים שילמדו בקורס:

מערכות הינע חשמלי עם מנוע DC בחוג פתוח ובחוג סגור, ממירים מבוקרים אלקטרוניים למנוע DC, ממיר "CHOPPER" עם מנוע DC במערכות בקרה שונות, מנוע אסינכרוני המוזן ממיר תדר ומערכות בקרה המתאימות, PWM -אינברטור במערכות בקרה של מנוע אסינכרוני, מערכות בקרה של הינע חשמלי סינכרוני, ממירים ממותגים שונים למנועים קטנים ומערכות בקרה מסוימות, מערכות הינע חשמלי במתקנים של רובוטים.

### ספרי לימוד:

1. A. El-Sharkawi. Fundamentals of Electric Drives. Brooks/Cole, 2000.
2. G. P. Dubey. Fundamentals of Electrical Drives. Alpha Science Int. Ltd. 2001.

### ספרי עיון:

1. I. Boldea, S. Nasar. Electric Drives. Mc. Graw-Hill, 1998.
2. V. Subrahmanyam. Electric Drives. Mc. Graw-Hill, 1996.

## 55204 - התקני מערכות הספק Power System Devices

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרות:

בקורס זה יכיר הסטודנט תכונות בסיסיות של התקני מערכות הספק למיניהם. מטרתו של הקורס להקנות לסטודנט ידע מעמיק במבנה ועיקרון פעולה של התקנים אלה ולחשוף את הסטודנט בפני בעיות התפקוד של ההתקנים בתנאים נורמליים וקיצוניים: בעיות החימום והקירור, בעיות היציבות האלקטרו-דינאמית ועוד.

### הנושאים שילמדו בקורס:

סקירה על מסדרי מתח גבוה ומתח עליון: מפסיקי זרם ומנתקים, פסי צבירה שנאי מדידה ועד. סוגים של בידוד בהתקני חשמל: מוצק (חרסינה, זכוכית, פולימרים וכו'), נוזלי (שמן וכו'), וגזי (אוויר, SF<sub>6</sub> וכו'); חומרים די-אלקטריים ומוסג של  $\tan \delta$ . מובילי זרם: תופעת סקין-אפקט ואפקט התקרבות, התחממות של מוליכים ושיטות שונות של קירור, כוחות אלקטרו-דינאמיים הפועלים על מוליכים. תורת המגע החשמלי, עבודתו של מגע במצב נורמאלי ובהפרעות, מבנים שונים של מגעים. התפרקויות ופריצות חשמליות. תורת הקשת החשמלית, אופייניים סטטיים ודינאמיים, תנועתה של קשת בין מוליכים, עקרונות כיבוי הקשת במפסיקי זרם. קונסטרוקציות של מפסיקי זרם למתח גבוה ונמוך. שנאי זרם ומתח, מבנים, עיקרון פעולה וניתוח שגיאותיהם. מערכות הגנה ליתרת זרם וירידת מתח: הגנה דיפרנציאלית, הגנה מרחק-כיוונית ואחרות, סלקטיביות, ממסרים אלקטרוניים. הגנה בהתקני מתח נמוך: הגנה בפני זרמי יתר (הגנה תרמית) ובפני זרמי קצר (הגנה מגנטית).

### ספרי לימוד:

1 Pansini, A.J., "High Voltage Power Equipment Engineering", Fairmont Press, 1995

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידיעון תשע"ה](#)

- 2 Wrighta and CV. Christopoulos, "Electrical Power System Protection", Chapman & Hall, 1993
- 3 Kuffel, E., W. S. Zaengl and J. Kuffel, "High Voltage Engineering: Fundamentals", Newnes, 2000
- 4 Ruben, G.D., "High Voltage Circuit Breakers, Design and Application", 1996.
- 5 Kussy, F.W., J.L., Warren, "Design Fundamentals of Low Voltage Distribution and Control", Dekkel, 1987.

## **55205 - מערכות הגנה מפני ברקים Lightning Protection Systems**

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### **נושאים שיילמדו בקורס:**

1. התפתחות של ברק ופרמטרים חשמליים. אפיוני פעילות ברקים.
2. תנועת גלי מתח יתר בסכמות. שינוי גודל של מתח יתר וצורתו בעת תנועה בקווים.
3. קולטי ברק. עקרונות תכנון של מערכות הגנה עבור מבנים ומתקנים מפני פגיעה ישירה של ברקים.
4. סוגים של מגני ברק, עקרונות פעולה ובחירתם.
5. מתחי יתר בקווים עיליים עקב פגיעה ישירה של ברק ועקב פגיעת ברק בקרבתם (מתחי יתר מושרים).
6. הגנת קווים למתחים גבוהים בפני מתחי יתר של ברק.
7. הגנת תחנות כוח ותחנות משנה מפני מתחי יתר של ברק המגיעים מקווים.
8. השפעת ברקים על רשת מתח נמוך והגנתה והגנתן בפני מתחי היתר.
9. מתחי יתר פנימיים: מתחי יתר המופיעים בעת הפסקת קווים ושנאים בריקים, עליית מתח בקווים ארוכים במשטר ריקם, תהודה ברזלית (ferroresonance).
10. הגבלת מתחי יתר פנימיים.
11. משטר נקודת אפס ברשתות למתחים גבוהים.

### **ספר לימוד:**

1. י.גורגוב, "טכניקות מתח גבוה", דפוס קדם, תל אביב, 2010.

### **ספרות מקצועית:**

1. E. Kuffel, W. S. Zaengl, "High-voltage engineering", Pergamon Press, New York, 2001.
2. M.S. Naidu, V. Kamaraju, "High voltage engineering", McGraw-Hill, New York, 1996.
3. ב. בזטקין, ב. לריונוב, "טכניקת מתחים גבוהים", אנרגואטומויזדט, מוסקבה, 1986

## 55206 - אמינות של מערכות הספק Reliability of Power Systems

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרת הקורס:

בקורס זה ילמד הסטודנט פונקציות בסיסיות, חישוב וניתוח אמינות של מערכות הספק. מטרתו של הקורס להקנות לסטודנט הבנה של שימוש במדדי אמינות לתיכנון התקני חשמל ומערכות הספק.

### תוכן הקורס בראשי פרקים:

1. פונקציות בסיסיות בחישובי אמינות של רכיבים.
2. פונקציות סיכון. תהליכי מרקוב. ניתוחי אמינות של מערכות.
3. מודלים לחישובי אמינות של מערכות הייצור.
4. מודלים של העומס במערכת הייצור.
5. חישוב מדדי אמינות לקביעת הרזרבה הדרושה במערכות הייצור.
6. חישוב אמינות של תחנות משנה וסכמות הזנה.
7. מרכיבים אקטיביים ופסיביים. חישוב מדדי אמינות של קווי העברה.
8. תקלות תלויות ובלתי תלויות.
9. הגדרת מדדי אמינות השימושיים בתכנון מערכות הספק וקריטריוני התכנון.
10. חישוב מדדי אמינות המערכת, כולל ייצור והעברה (Composite Reliability).

### ספרות מקצועית:

1. Bergen, Arthur R., "Power Systems Analysis", Prentice – Hall, 2000.
2. Anderson P.M., Fouad A.A., "Power System Control and Stability", IEEE Press, New York, 2003.

### ספרי עיון:

Jerry C. Whitaker, "AC Power Systems Handbook", 1998.

## 55207 - מעבדה מתקדמת למערכות הספק אלקטרוניות Power Electronic Laboratory

אופן הוראה: מעבדה  
שעות שבועיות: 4  
נקודות זכות: 3

### מטרת הקורס:

בקורס זה ילמד הסטודנט להכיר בצורה מעשית מבנה הממירים (ספקים) על בסיס ממיר המוריד מתח, ממיר המעלה מתח, ממרים מסוג קבל-ממותג, שני סוגי מיתוג של טרנזיסטורים – מיתוג קשיח ומיתוג רך וניתוח משטרי עבודה של הממירים האלה. מטרה הקורס להקנות הסטודנט הבנה בסיסית בביצוע תכנון מתקדם בתחום ספקים.

### תוכן הקורס בראשי פרקים:

- הכרה מעשית של ממירים מתח ישר מסוים למתח ישר נמוך או גבוה יותר , (DC-DC buck converter and boost converter) עם מיתוג קשיח.
- הכרה מעשית של ממירים מתח ישר מסוים למתח ישר נמוך יותר עם מיתוג רך (buck converter with ZVT) - חלק 1.
- ניתוח עבודת הממיר המוריד מתח למתח ישר נמוך יותר עם מיתוג רך (buck converter with ZVT) - חלק 2.
- הכרה מעשית של ממירים מתח ישר מסוים למתח ישר גבוה יותר עם מיתוג רך (boost converter with ZVT) - חלק 1.
- ניתוח עבודת הממיר המוריד מתח למתח ישר גבוה יותר עם מיתוג רך (boost converter with ZVT) - חלק 2.
- ניתוח עבודת הממיר המוריד מתח למתח ישר נמוך יותר על בסיס ממיר עם קבל ממותג (SC step down) - חלק 1.
- ניתוח עבודת הממיר המוריד מתח למתח ישר נמוך יותר על בסיס ממיר עם קבל ממותג (SC step down) - חלק 2.
- ניתוח עבודת הממיר המוריד מתח למתח ישר גבוה יותר על בסיס ממיר עם קבל ממותג (SC step up) - חלק 1.
- ניתוח עבודת הממיר המוריד מתח למתח ישר גבוה יותר על בסיס ממיר עם קבל ממותג (SC step up) - חלק 2.

הכרת תכנת הדמיה של מעגלים אלקטרוניים (Orcad Pspice) ושימוש בתכנת ההדמיה עבור מעגלי ממירי DC – DC עם מיתוג רך ועם SC.

#### ספרות עזר:

1. תדריכים לניסויים במעבדה מתקדמת מערכות הספק אלקטרוניות.

## 55208 - שיטות הגנה במערכות הספק Protection of Electric Power Systems

אופן הוראה: מעבדה  
שעות שבועיות: 4  
נקודות זכות: 3

#### מטרת הקורס:

בקורס הסטודנט ילמד פונקציות ותכונות בסיסיות של התקני הגנת חשמל, יכיר חישוב ושימוש בהגנות על צרכני חשמל ומערכות הספק. מטרתו של הקורס להקנות לסטודנט הבנה בסיסית של ניתוח ותכנון מערכות הגנת חשמל.

#### תוכן הקורס בראשי פרקים:

1. תפקידים ותכונות בסיסיות של התקני הגנת חשמל.
2. סוגי תקלות ומצבים בלתי תקינים של רשת חשמלית.
3. אופן הפעולה ויסודות תכנון של הגנות קווי התמסורת.
4. הגנת זרם (כולל בדיקת המתח), הגנה דיפרנציאלית, הגנת הפחת. הגנת המיקרו-מעבד.
5. סוגי תקלות ומצבים לא תקינים של גנראטורים.
6. אופן פעולת הגנות הגנראטורים, בחירת סוגי ההגנות, חישוב ותכנון.
7. הגנות בסיסיות של שנאי ושנאי עצמי, חישוב ותכנון.
8. הגנות פסי צבירה של תחנות כוח ותחנות השנאה.
9. הגנות של מנועים א-סינכרוניים וסינכרוניים.
10. עקרונות תכנון של הגנות מערכות הספק.
11. הגנה מרוכזת ואוטונומית, שימוש בבקרה מרחוק, השוואת הגנות חשמל.

#### ספרות מקצועית:

1. Gers J.M., Holmes E.J., "Protection of Electricity Distribution Networks", London, 2004.
2. Anderson P.M., "Power System Protection", IEEE Press, New York, 1999.

#### ספרי עיון:

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידיעון תשע"ה](#)

3. Anderson P.M., Fouad A.A., "Power System Control and Stability", IEEE Press, New York, 2003.
4. Ziegler G., "Numerical Distance Protection: principles and application", Siemens, 1999.
5. Blackburn J.L., "Protective Relaying: principles and applications", New York, 1998.
6. Power System Protection, V.4: "Digital Protection and Signaling", IEEE, London, 1995.

## FB,TL - 55209 ממירים FB,TL Converters

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

בקורס זה יסקרו עקרונות פעולה של ספקי כח למתח זרם גבוה הפועלים בנצילות המרה גבוהה. מטרה זו מושגת תוך שימוש בממירי מיתוג רך בגשר מלא ובגשר שלש רמות.

### הנושאים שילמדו בקורס:

מיתוג קשה עם בקרת רוחב דופק (PWM) בממירי זרם ישר עם גשר מלא וממירים משולשים. הפסדי הולכה ומיתוג, יעילות המרה. ממירי היסט מופע עם בקרת רוחב דופק. מגברי מתח יתר פסיביים ואקטיביים. ממירי "חצי מפל מתח" על טרנזיסטורי המיתוג הראשיים. "חוצה אפס" וממירי שלש רמות. פתרונות בראשוני ובמשני. הרחבת תחום העומס עבור פתרון "חציית אפס". ממירי "חוצה אפס זרם ומתח" וממירי שלש רמות ושיטות לשמירת זרם ראשוני אפסי בזמן "הילוך חופשי". מיישרים כפולים ומשולשים. ממירי זרם ישר חמש רמות, "חוצה אפס זרם וחוצי אפס מתח" וחוצי אפס רגילים, בעלי שליש מפל מתח על טרנזיסטורי המיתוג הראשיים. חקרית מקרי תכנון מעשיים.

### ספרי לימוד:

1. IEEE Transactions on Power Electronics 2001-2006.
2. Proceedings of PESC (Power Electronics Specialist Conference) 2001-2006.



## 55210 - אנרגיות חלופיות Renewable Power Supplies

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרת הקורס:

בקורס זה ילמד הסטודנט להכיר את הבסיס התיאורטי והפיסיקלי של ייצור אנרגיית ממקורות אנרגיה מתחדשים או חלופיים, סיבות ראשיות הדורשות לעבור על המקורות אנרגיות אלו. להלן מקורות האנרגיה שייסקרו בקורס: אנרגיית שמש, אנרגיית רוח, אנרגיית מים, אנרגיה גרעינית, אנרגיה גיאותרמית, אנרגיה של מים, גאות ושפל, אנרגיית ביו-מסה. מטרתו של הקורס הינה להקנות לסטודנט הבנה בסיסית וידע כללי בתחום האנרגיה החלופית וגם בדרכי חסכון באנרגיה. הטעמה עשויה על הייצור והמרת אנרגיה חשמלית. בתום הקורס יוכל התלמיד לנתח ולתכנן מערכות המפיקות חשמל ממקורות אנרגיה ברי קיימה.

### תוכן הקורס בראשי פרקים:

1. התדלדלות מקורות אנרגיה לא מחודשות, זיהום של אדמה ואוויר, שינויים באקלים. טכנולוגיות בסיסיות של ייצור אנרגיית חימום ואנרגיה חשמלית היום.
2. עקרונות E4 - דרכי חיסכון באנרגיה והורדת פליטת גזים. שיטות חיסכון באנרגיה חשמלית במערכות שונות.
3. אנרגיית שמש – מאפיינים כללים, "קבוע שמש". שיטות המרת של אנרגיה שמש לאנרגיית חימום ולאנרגיית חשמלית. מערכות מעורבות.
4. תאי וסוללות שמש, מאפיינים כללים, עקרון ביצוע הספק אופטימאלי (MPPT). שני סוגים תמיכה-מצבר (זרם ישר) ורשת חשמלית (זרם חילופין). התאמת רמות שונות של מתח ישר בעזרת ממירי DC-DC.

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה](#)

5. בית ירוק ובית שמש. שדה של סוללות שמש וקבלת אנרגיה מרבית. התאמת רמות שונות של מתח ישר עם מתח רשת בעזרת ממירי DC-AC.
6. אנרגיית רוח - מאפיינים כללים. מבנה של טורבינת רוח. הספק כניסה, חוק בתץ (Betz). התפלגות וויבול (Weibull) של מהירות רוח, שיטות הגבלת השפעה של מהירות יתר על המערכת.
7. אסטרטגיות שימוש באנרגיית רוח – אנרגיה מכאנית, חימום וחשמל. קבלת ושמירה במימן, תאי דלק. טורבינת רוח במשטר אוטונומי ועם רשת חשמלית. בחירת גנראטורים חשמליים, עבודה עם מהירות קבועה ומשתנה.
8. אנרגיה גרעינית ותרמו גרעינית. סוגי שימוש באנרגיה גרעינית, מבנה של כור גרעיני, תחנות כוח גרעיניות.
9. אנרגיה של מים, אנרגיה של גאות ושפל. ניצול אנרגיה גיאותרמית וביו-מסה.

#### ספרי לימוד:

1. Kruger P., *Alternative energy resources: the quest for sustainable energy*, John Wiley & Sons, 2006.
2. M.R. Patel, *Wind and Solar Power Systems*. Taylor&Francis, 2006.

#### ספרי עיון:

1. Gipe P., *Wind Power*, Chelsea Green Publishing Company, Vermont, 2004.
2. Markvart T., *Solar Electricity*, John Wiley & Sons, NY, 2006.

## 55211 ממירים אלקטרוניים למתקני חשמל

### Electronic Converters for Electric Installations

אופן הוראה: שיעור ותרגיל

שעות שבועיות: 3

נקודות זכות: 3

#### מטרות הקורס:

בקורס זה ילמד הסטודנט להכיר ידע בסיסי בטכנולוגיה של רכיבים בסיסיים, תכנון וניתוח של ממירים אלקטרוניים במערכות הספק.

#### הנושאים העיקריים שילמדו בקורס הם:

1. רכיבים אלקטרוניים עיקריים.  
**Power Diode, Thyristor, BJT, MOSFET, IGBT, GTO**
2. חישובי הספק ואופייניים עיקריים של מערכות אלקטרוניות.
3. ממירים AC-DC (rectifiers).

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידיעון תשע"ה](#)

- מיישרים לא מבוקרים ומיישרים מבוקרים: מיישר חד פאזי חד דרכי ודו דרכי עם עומס  $RL$ ,  $R$ , מיישר תלת פאזי.
4. ממירים **DC-AC** (inverters). אינוורטור חד פאזי עם מתח מוצא ריבועי, אינוורטור **PWM**, אינוורטור תהודה.
  5. ממירים **DC-DC**. סקירה של סוגים שונים של הממירים.
  6. שימוש בתוכנה **SimPowerSystem** להדמיה וניתוח של ממירים שונים.

#### ספרי לימוד:

1. Hart D. Power Electronics. McGraw-Hill, 2011.
2. Rashid M. Power Electronics. Prentice Hall, 2005.

#### ספר עיון:

3. Mohan N., Undeland T., Robins W. Power Electronics. John Wiley, 2003.

## 55213 תאי שמש Solar Cells

אופן הוראה: שו"ת  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

הקניית ידע על המבנה, הפיסיקה ואופן הפעולה של תאי שמש.

הקורס יכסה את התחומים הבאים: מבנה ופרמטרים בסיסיים של תא שמש, תאי שמש מבוססי סיליקון (מצעים גבישיים, אמורפיים ורב-גבישיים), תאי שמש מבוססי שכבות דקות (CdTe, CIGS), מבנים רב-צמתיים, צימוד בין צמתיים, שימוש בדיודת מנהרה, תאי שמש אורגניים, תאי שמש מבוססי צבע (DSSC), שיטות לריכוז קרינה ועקיבת שמשיות ייצור של תאי שמש ומגמות חדשות בטכנולוגיות תאי שמש.

#### ספרי לימוד:

1. "The Physics of Solar Cells", J. Nelson, World Scientific, New Jersey (2003).
2. "Physics of Solar Cells", P. Wuerfel, Wiley VCH, Berlin (2004).
3. "Third Generation Solar Cells" M.A. Green, Springer (2003)

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה](#)

4. "Applied Photovoltaics", S.R.Wenham ,M.A.Green,M.E.Watt,R.Corkish,Earthscan,  
London (2010).

## **55214 טכנולוגיות תאי דלק Fuel Cells Technology**

אופן הוראה: שו"ת  
ש"ש: 3  
נ"ז: 3

קורס זה יספק הבנה בסיסית בעקרונות המדעיים (אלקטרוכימיה, תרמודינמיקה וקינטיקה) העומדים מאחורי פעילותו של תא דלק. הקורס יציג את מאפייני, הביצועים והנצילות של תאי דלק. הקורס ידון באפשרות שילוב מערכות תאי דלק במגוון יישומים טכנולוגיים. הסטודנטים בקורס יבחנו פיתוחים חדשים בתחום (באמצעות קריאת מאמרים מדעיים).

### **הנושאים שיילמדו בקורס:**

הקורס יסקור מושגים טכניים ומונחים הקשורים בתאי דלק, יציג את הבסיס המדעי העומד מאחורי פעילות תקינה של תאי הדלק. טכנולוגיה וסוגים של תאי דלק, אופיינים חשמליים של תאי דלק, הפסדים ומגבלות בפעילות התא ואף יציע מגוון יישומים של תאי דלק במערכות חשמליות ואלקטרוניות. הסטודנטים בקורס יסקור פיתוחים חדשים בתחום (באמצעות קריאת מאמרים מדעיים).

**הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה**

---

## ספרות מומלצת:

1. J. Larmianie, and A. Dicks, "Fuel Cell Systems Explained", Wiley & Sons, NY, (2001).
2. G. Hoogers, "Editor Fuel Cell Technology Handbook", CRC Press, Boca Raton, FL, (2003).
3. R. O'Hayre, S.W. Cha, W. Collela and F.B. Prinz, "Fuel cell Fundamentals", Wiley & Sons, NY, (2006).
4. K. Kuang and K. Easler, "Fuel Cell Electronics Packaging", Springer Science, NY, (2007).
5. S. Srinivasan, "Fuel Cells From Fundamentals to Applications", Springer Science, NY, (2006).

## 55303 - מיקרוסקופיה אלקטרונית Electron Microscopy

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

בקורס זה ילמד הסטודנט את עקרונות הפעולה של מיקרוסקופים אלקטרוניים ושיטות שונות, שימושים בייצור התקני מיקרואלקטרוניקה. מבוא לסוגים שונים של מיקרוסקופים ושימושיהם. מיקרוסקופים אלקטרוניים: חודר וסורק.

### הנושאים שילמדו בקורס:

אופטיקה אלקטרונית. חלקי המיקרוסקופ האלקטרוני הסורק. תותח אלקטרוני בצורה טריודה. זרם פליטה זרם אלומה. בהירות. עדשות אלקטרומגנטיות במיקרוסקופ האלקטרוני הסורק. תכונות של העדשות האלקטרומגנטיות. יצור אלומת אלקטרוני עם קוטר מינימאלי. השוואה בין מקורות אלקטרוניים. מאפיינים של המיקרוסקופ. פעולת גומלין בין האלקטרוניקה ובין הדגם. פיזור אלסטי ואינאלסטי. נפח פעולת הגומלין. השפעת אנרגיית הקרן והמאפיינים האטומיים של המטרה על נפח האינטראקציה. סיגנלים של אלקטרוניקה מפוזרים. סיגנלים של אלקטרוניקה משניים. קרני רנטגן. בניית תמונה ומשמעותה. גלאים של

אלקטרוניום וקרני רנטגן. הגדלה ומידת הנקודה על המסך. עומק שדה. איכות תמונה. כשר הפרדה. מגרעות התמונה. עקרון פעולה של ספקטרומטר מפריד אנרגיה קרני רנטגן ואנליזה בעזרתו. עיבוד סיגנלים. אנליזה ממוחשבת. שגיאות. אנליזה איכותית. אנליזה כמותית. מיפוי דיגיטלי של יסודות. הכנת הדגמים. שיטות ציפוי לבדיקת דגמים ומיקרואנליזה במיקרוסקופ אלקטרוני.

#### ספרי לימוד:

1. Goldstein, Joseph I. (et al): "Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis"; 3d edition, New-York, Plenum Press, 2003.
2. Brandon, David Kaplan, Wayne D. "Microstructural characterization of materials". Chichester: Wiley, 1999.
3. Watt, Ian M. "The principle and practice of electron microscopy". 2nd Edition. Cambridge University Press, 1997.
4. Fultz, B., Howe, J.M., "Transmission of electron microscopy and diffractometry of materials", 3d Edition. Springer, 2008.

## 55307 - דיודות לייזר Laser Diodes

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

#### מטרת הקורס:

הקניית ידע בסיסי באופן הפעולה ותכונותיהן של דיודות לייזר, יישומים, והיבטים הנדסיים של שימוש בדיודות אילו.

#### תוכן הקורס:

1. מבוא. רמות ופסי אנרגיה, פליטה ספונטנית ומאולצת, תיחום מרחבי של נושאי מטען ופוטונים, מוליכים למחצה ללייזרים, גידול אפיטקסיאלי.
2. עקרונות דיודות לייזר. יצור ורקומבינציה של נושאי מטען, דיודה פולטת אור, פליטה ובליעה של פוטונים, הגבר סף, עצמת הלזירה ביחס לזרם, יעילות ופיזור חום.
3. מראות ומהודים. ייצוג על ידי מטריצות פיזור, סריגים, לייזרים מסוג DBR, DFB, VCSEL.

4. הגבר וזרם שאיבה. הגבר אופטי, פליטה ספונטנית, רקומבינציה, מוליכים למחצה ותכונותיהם, יחסי קרמר-קרוניג.
5. תכונות דינמיות. משוואות הקצב, מצב יציב, אפנון, רוחב פס, רעש.
6. עקרונות פיסיקליים של מיתוג אורך גל. מיתוג רציף ומיתוג מקוטע. משך זמן המיתוג.
7. לייזרים ממותגי אורך גל בעלי אופן יחיד מסוג DFB, DBR. דינאמיקה של מיתוג אורך הגל. טווח המיתוג, אפנון עצמת הלייזר.
8. לייזרים ממותגי אורך גל בעלי טווח מיתוג רחב SG-DBR, GCSR.
9. שימושים והיבטים של תכנון מקור לייזר. תקשורת אופטית, ייצוב אורך גל, אמינות.

#### ספרי לימוד:

1. M. C. Amann and J. Buus, Tunable laser diodes. Artech, 1998.
2. L. A. Coldren, S. W. Corzine, Diode lasers and photonic integrated circuits, Wiley, 1995. (TA1700.C646)
3. Amnon Yariv, Quantum Electronics, Wiley, 1998. (QC688.Y37)

## 55308 - פיתוח קוד אופטימאלי ליישומי עיבוד תמונה Optimal Code for Image Processing

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

#### תוכן הקורס:

1. שיטות ואריאציוניות בעיבוד תמונה
  - a. נחשים גאודזיים
  - b. דיפוזיה לא ליניארית
2. מציאת מאפיינים בתמונות
  - a. Fourier & Gabor Descriptors
  - b. Phase Congruency
  - c. Wavelets and their relatives

- .d SIFT
- .e SURF
- 3. מנועי חיפוש ויזואליים
  - .a MPEG7
  - .b מאפייני צבע
  - .c שיטות מבוססות גראדיינטים
  - .d טקסטורות
  - .e צורה
  - .f היסטוגרמות
  - .g Visual Words
  - .h Recognition
- 4. אלגוריתם Viola Jones לזיהוי פרצופים
- 5. הפילטר הבילאטרלי
- 6. GPU Computing with CUDA & Applications in image processing

### ספרי לימוד:

ספר שנכתב ע"י מרצה הקורס וישוכלל לסטודנטים בקורס באשור המרצה.

1. M. Fiegin, A. Rubinfeld, C. Sagiv, "Optimal Code for Image Processing Applications"

## 55309 - חיישנים ביו-רפואיים Biomedical sensors

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרת הקורס:

הקורס יציג את עקרונות הפעולה של חיישנים ביו-רפואיים, את השימוש בטכנולוגיות מיקרואלקטרוניקה למזעור מעבדה על שבב ויסקור יישומים נפוצים כגון מדידת רמת הסוכר בדם וגילוי זיהומים במים.

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידיעון תשע"ה](#)



### תוכן הקורס בראשי פרקים:

1. סקירה כללית של חיישנים ביו-רפואיים
2. עקרונות האלקטרוכימיה וחיישנים אלקטרוכימיים.
3. שיטות חישה אופטיות.
4. שיטות חישה מבוססות MEMS .
5. חיישני ISFET.
6. מעבדה על שבב ו BioMEMS
7. דוגמאות של יישומים נפוצים כגון ניטור רמות סוכר בדם וניטור מזהמים במים.

### ספרי לימוד:

1. R. S. Marks, C. R. Lowe, D. C. Cullen, H. H. Weetall, I. Karube, "Handbook of biosensors and biochips", Wiley-Interscience, NY, 2007.
2. E. Kress-Rogers, "Handbook of biosensors and electronic noses", CRC press, NY, 1996.
3. K. R. Rogers and A. Mulchandani, "Affinity biosensors: techniques and protocols", Humana Press, NY, 1998.

## 55310 - דימות מכ"מ Radar Imaging

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרות הקורס

להקנות לסטודנט הבנה מעמיקה ומספר שיטות פרקטיות הדרושות לניתוח ותכנון מערכות מכ"מ הבונות תמונה, כולל מערכות SAR, GPR, ומכ"מ UWB.

הנושאים שילמדו בקורס: אלקטרומגנטיות של מטרות ומבנים מורכבים. פיזור גלים מכ"מ. עקרונות שחזור הולוגרפי וטומוגרפי בתחום המכ"מ: התמרת Feig-Greenleaf למכ"מ טווח-דופלר, מערכות מכ"מ מפתח סינתטי (SAR), מכ"מ החודר לתוך הקרקע (GPR), מכ"מ UWB הבונה תמונה. יסודות גיאומטריה אינטגרלית: התמרות Radon ו- Abel, קשר עם התמרות Fourier ו-Hilbert. נוסחאות היפוך. מבוא למתמטיקה של בעיות הפוכות: דגימה וכימוי, יחידות פתרון, יציבות, תלות

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידיעון תשע"ה](#)

רציפה בנתונים, שיטות רגולריזציה, כושר הפרדה (רזולוציה). בעיות עם נתונים חלקיים. אלגוריתמי השחזור: filtered backpropagation (FBP), שיטות שחזור Fourier, שיטות איטרטיביות, אלגוריתמים אלגבריים ישירים. עיבוד אותות במערכי אנטנות. שיטות תת-מרחב, LSM, ושיטת הפקטוריזציה. סטטיסטיקות רעשים והפרעות. שיעור פרמטרים וצורות של מטרות שונות.

#### ספרי לימוד:

1. I. G. Cumming and F. H. Wong, Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation (Artech House, Norwood, MA, 2005).
2. Ground Penetrating Radar, 2nd. ed., edited by D. J. Daniels (IEE, London, 2004).
3. Ultra-Wideband Radar Technology, edited by J. D. Taylor (CRC, Boca Raton, 2001).
4. F. Natterer and F. Wubbeling, Mathematical Methods in Image Reconstruction (SIAM, Philadelphia, 2001).

## 55312 - ספקטרוסקופיה יישומית לחישה מרחוק APPLIED SPECTROSCOPIES FOR REMOTE SENSING

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

#### מטרות הקורס:

1. לסקור מידע על מגוון סוגי שיטות בספקטרוסקופיית לייזר לשימוש באפיון ובקרה מרחוק.
2. לספק רקע תיאורטי ומעשי על יישומי ספקטרוסקופיה בתחומים ביטחוניים ותעשייתיים.

#### פרקי הקורס:

1. רקע תיאורטי: תיאוריה קוונטית של אור, מבנה האטומים, מבנה גבישי, אורביטלים מולקולאריים, רמות אנרגיה, תנודות ויברציוניות של מולקולות.

[הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה](#)

2. **ספקטרוסקופיית לומינסנציה:** ערוך, פליטה, נדידת אנרגיה, זמן דעיכה, לומינסנציה על בסיס הפרדה בזמן, מכשור, יישומים מעשיים.
3. **ספקטרוסקופיה UV/Vis:** בליעת קרינה, חיבור למבנה הגבישי, מקור הצבעים, אבני חן.
4. **Laser Induced Breakdown Spectroscopy:** יצירת פלסמה ותכונותיה, פליטת פלסמה, מכשור ויישומים מעשיים.
5. **ספקטרוסקופיה IR:** בליעת קרינת IR, חיבור לתנודות ויברציוניות של מולקולות, מכשור, יישומים מעשיים.
6. **ספקטרוסקופיית Raman:** אפקט ראמן, gated Raman, חיבור לתנודות ויברציוניות של מולקולות, מכשור, יישומים מעשיים.
7. **X-ray induced fluorescence spectroscopy:** עירור, פליטה, יישומים מעשיים.
8. **Prompt Gamma Neutron Activation spectroscopy:** עירור, פליטה, יישומים מעשיים.
9. **תהודה מגנטית גרעינית - Nuclear magnetic Resonance:** עקרונות, יישומים מעשיים.

#### ספרי לימוד:

1. Gaft M., Reisfeld R, Panczer G., Modern luminescence spectroscopy of minerals and materials. Springer-Verlag GmbH&Co.KG, April 2005.
2. Blasse G, Grabmaier B, Luminescent materials. Springer, Berlin Heidelberg, New York - 1994.
3. A. Miziolek et al, Laser induced breakdown spectroscopy: fundamentals and applications. Cambridge University Press, 2006.
4. Beran A, Lubowitzky E., Spectroscopic methods in mineralogy, EMU Notes in Mineralogy, 2004.

## 55313 - יישומים תעשייתיים של בינה מלאכותית בראייה ממוחשבת Industrial Application of Artificial Intelligence in Computer Vision

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3  
דרישות קדם: 55016 עיבוד תמונה מתקדם

### מטרת הקורס:

הקורס יעסוק בתיאוריה וביישומים של אלגוריתמי בינה מלאכותית, המפותחים למטרות שונות במוצרים בתחומי טכנולוגיה שונים לתעשיות ההייטק המגוונות. כגון: אלגוריתמי סיווג פגמים בתעשיית המוליכים למחצה, אלגוריתמי גילוי בתעשיות הביטחוניות.

### תוכן הקורס בראשי פרקים:

בינה מלאכותית 1950-1980

גישות סטטיסטיות

שערוך (maximum likelihood, Bayesian).

שיטות שערוך של פונקציות צפיפות.

נושאים מתקדמים בעיבוד תמונה וראיה ממוחשבת,

הדמיה, טכניקות עיבוד.

מורפולוגיה מתמטית, עיבוד תמונה בינארית וחילוץ מאפיינים של עצמים תמונה.

מרחב המאפיינים ובחירת מאפיינים.

סיווג עצמים באמצעות אלגוריתמי למידה מונחית.

סיווג עצמים באמצעות אלגוריתמי למידה בלתי מונחית.

דוגמאות מהתעשייה וסיכום.

### ספרי לימוד:

1. The Elements of Statistical Learning Data Mining, Inference, and Prediction, Trevor Hastie Robert Tibshirani, Jerome Friedman (Springer Series in Statistics second edition 2008).
2. Computer Vision: Algorithms and Applications, Richard Szeliski, (Microsoft Research 2009)
3. Shape Analysis and Classification, Theory and Practice L. F. Costa and R. M. Cesar, (CRC Press 2001).
4. Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd Edition) Stuart J. Russell, Peter Norvig Prentice Hall; 2nd edition (December 20, 2002)

## 55314 יישומים של סיבים אופטיים Applications of Fiber Optics

אופן הוראה: שיעור

שעות שבועיות: 3

נקודות זכות: 3

דרישות קדם: 55103 נושאים נבחרים בסיבים אופטיים

## כללי

קורס זה נועד להקנות ידע יישומי ותיאורטי במגוון נושאים הקשורים ליישומים של סיבים אופטיים, כולל תופעות לא-ליניאריות, התקנים מבוססי סיב, עקרונות הייצור והאפיון של סיבים עבור יישומים שונים.

## נושאי הקורס

1. מבוא ורענון בעקרונות הסיבים האופטיים.
2. בדיקה ומדידה של סיבים אופטיים: מדידה ב-**(OTDR) time domain**; מדידת סיבים אופטיים ורכיבים מתאימים; מדידות הספק אופטי; מדידות ספקטאליות; מדי אורך-גל; מדידות קיטוב; מדידות הפסדי הכניסה; מדידות נפיצה (דיספרסיה) אופטית של סיבים.
3. תופעות לא-ליניאריות בסיבים: איפנון **self-phase** ו-**cross phase**; פיזור **Raman**; פיזור **Brillouin**; הגברה ע"י תופעת **Raman**; **Four-wave mixing**; סוליטונים בסיבים.
4. שריגי **Bragg** בסיבים (**FBG**): רגישות לאור של סיבים; תיאורית **FBG**; תכונות של **FBG**; יצירת **FBG** בסיב; יישומי **FBG**.
5. חיבור סיבים אופטיים: עקרונות; הפסדים בחיבור בין סיבים; "הדבקת" סיבים; מחברים לסיבים.
6. רכיבי סיב פסיביים: **WDM**; חיבור/פיצול אותות בסיבים; מבוא למבודדי אות אופטיים ו-**circulators**; מתגים; בוררי אורך גל; **Multiplexer/Demultiplexer**.
7. חיישני סיבים אופטיים: טכנולוגיות חישה בעזרת סיבים; חיישנים מבוססי אינטרפרומטריה; חיישנים מבוססי קיטוב; חיישנים מבוססי מודולציה של עוצמת האור; חיישני סיב מבוזרים.
8. כבלים של סיבים.
9. ייצור סיבים: תהליך הייצור; חומרי גלם; **Preform**; משיכת סיבים; ייצור סיבים מיוחדים.

## ספרות

1. D. Derickson, *Fiber optic test and measurement* (Prentice-Hall, 1998).
2. B. Culshaw and J. Dankin, *Optical Fiber Sensors*, Vol. 1–4 (Artech House, 1988–1997).
3. A. Othonos and K. Kalli, *Fiber Bragg Gratings* (Artech House, 1999).

## ספרי עזר ועיון

1. G.P. Agrawal, *Fiber-optic Communication Systems* 3<sup>rd</sup> edition (Wiley-Interscience, 2002).
2. I.P. Kaminow and T.L. Koch, Editors, *Optical Fiber Telecommunications* (Academic Press, 1997).
3. B.E.A. Saleh and M.C. Teich, *Fundamentals of Photonics* (Wiley-Interscience, 1991).
4. G.P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, 3<sup>rd</sup> edition (Academic Press, 2001).

## 55315 ננו טכנולוגיות והתקנים ננו אלקטרוניים Nanotechnology and nano electronic devices

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

כללי:

הקורס יחשוף לפני התלמיד את עולם הננוטכנולוגיה תוך מיקוד בנישה מיוחדת המשלבת חומרים ביולוגיים. הקורס יתאר את המגוון הרחב של הננו-חומרים תכונותיהם הכימיות והפיסיקליות ויישומיות שלהם. הקורס יתאר התקנים ממוזערים המשלבים פעילות ביולוגית אופטית או חשמלית ויחשוף את העקרונות הביולוגיים, הכימיים, האופטיים או החשמליים העומדים מאחוריהם. הקורס יאפשר לתלמיד להיחשף לנושא רב-תחומי הכולל את כלל תחומי מדעי הטבע וליישומים טכנולוגיים מתקדמים.

### הנושאים שיילמדו בקורס:

- עקרונות הננוטכנולוגיה, קלסיפיקציה של חומרי ננו, מבני כימי ותכונות פיסיקליות.
- ננו מבנים: בנייה מלמטה למעלה, הרכבה עצמית (SAM), תיילי ננו, ננו צינורות, ננו תעלות וננו נקבוביות.
- דימות ננו: מקרוסקופ אלקטרוני סורק-SEM, מקרוסקופ אלקטרוני חודר – TEM&STEM, מקרוסקופ כוח אטומי-AFM, מקרוסקופ כוח מגנטי – MFM, מקרוסקופ מינהור סורק – STM.
- ננוליתורפיה וננו-רישום: ננוליתוגרפיה אופטית, ננו ליתוגרפיה באלומת אלקטרוני, ננוליתוגרפיה של הטבעה, ליתוגרפית מגע, ננוליתוגרפיה רכה, רישום בעזרת מקרוסקופ כוח אטומי, הדפסים מולקולרים וליתוגרפיה מגנטית.
- ננואלקטרוניקה וננופוטוניקה: אלקטרוניקה מולקולרית וננו התקנים אלקטרוניים, יישום חומרי ננו במערכות של תאי שמש, התקנים אורגנו מוליכים לייצירת שבבים שקופים וגמישים, תאי דלק מיישמי חומרי ננו.
- ננוטכנולוגיה בייצור המוני: תעשיית המוליכים למחצה- ממד הננו ב-VLSI, גבול המיזעור בשיטות של ליתוגרפיה אופטית, NEMS (NanoElectroMechanicalSystem).
- מבוא לביו-ננואלקטרוניקה וביופוטוניקה: ננוחיישנים ביולוגיים וכימיים בעלי סיגנלי אור, חשמל ופיזואלקטריים, תאי דלק ביולוגיים, שבבים ביולוגיים, מעבדה על השבב (LOC), ביו-NEMS, מבני ננו מוליכים מבוססי חומרים ביולוגיים, מתגים ביולוגיים.

### ביבליוגרפיה:

1. Geoffrey A. Ozin, Andre C. Arsenault and Ludovico Cademartiri, *Nanochemistry* (Royal Society of Chemistry, Cambridge UK, 2009).
2. Christof M. Niemeyer and Chad A. Mirkin, *Nanobiotechnology: concepts, applications and perspectives* (Wiley-VCH, 2004).
3. Korkin Anatoli and Rosei Federico, *Nanoelectronics and photonics: from atoms to materials* (New York, Springer, 2008).

## 55316 נושאים מתקדמים בתקשורת אופטית

### Advanced Topics in Optical Communication

הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה

אופן הוראה: שו"ת  
שעות שבועיות: 3, נקודות זכות 3  
דרישות קדם: תקשורת אופטית 1

### כללי:

מטרת הקורס להקנות לסטודנט ידע על מבנה, עקרון הפעלה ושיטות הניתוח של מערכות תקשורת אופטית מתקדמות.

### הנושאים שילמדו בקורס:

התקדמות של מערכות תקשורת אופטית חדשנות. יתרונות של תקשורת אופטית. משוואה בסיסית של התפשטות פולסים בסיבים אופטיים. פולסים גאוסיים עם **chirp**. נפיצה בסיבים אופטיים. נפיצה כרומטית, נפיצת מוליך הגל. נפיצת הקיטוב, מהירות החבורה, נפיצת מהירות החבורה. הגבלות של איכות הערוץ האופטי בגלל הנפיצה. פיצוי הנפיצה ושיפור הערוץ האופטי. סבים אופטיים רב-אופניים, רב-ליבה, סבים פלסטיים. מקלטים אופטיים. תגובת הגלאי, זמן עלית הגלאי, רוחב סרט הגלאי. גבול קוונטי של גלאי אופטי. מערכות הגילוי הקוהרנטי. חילוקה של תדרים אורתוגונלית קוהרנטית אופטית (**CO OFDM**). מבנה של מערכות **CO OFDM**. רעש במערכות אופטיות. יחס אות לרעש אופטי (**OSNR**). רשתות אופטית – **DWDM** יחידות המבנה ומבנה כללי. תקציב של חיבור אופטי **DWDM**. קצב שגיאה (**BER**), ערבוב (**Crosstalk**). תופעות לא-ליניאריות בערוץ אופטי. פיזור מאולץ של **Brillouin** פיזור מאולץ של **Raman**. אפנון פאזה עצמי של הגל (**SPM**). סוליטונים. אפנון פאזה הדדית (**XPM**). ערבוב ארבע גלים (**FWM**). נושאים בסיסיים של קידוד כאוטי.

### ספרי לימוד:

1. G.P. Agrawal. Fiber-Optic Communications. Wiley, New York, 2010.
2. W. Shieh, I. Djordjevic. Orthogonal frequency division multiplexing for optical communications. Academic Press. London, UK; Burlington, San Diego, USA, 2010.
3. L. Kazovsky, S. Benedetto, A. Willner. Optical Fiber Communication Systems. Artech House, 1996.
4. G.P. Agrawal. Nonlinear Fiber Optics. Academic Press, New York, 2001.

## 55403 - נושאים נבחרים בתהליכים אקראיים Selected Topics in Random Processes

הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרת הקורס:

קורס זה הינו המשך לקורס אותות אקראיים ואמור להקנות לסטודנט קונספטים תיאורטיים וכלים פרקטיים מתקדמים לניתוח בעיות סטוכסטיות במערכות תקשורת ומכ"מ, בעיקר בתחום מידול ועיבוד אותות ושדות אקראיים. הקורס משמש גם כמבוא לשערוך פרמטרים וצורות-גל. הנושאים שיימדו בקורס: חזרה על תהליכים סטוכסטיים. אותות ציקלוסטוכסטיים ותהליכים עם אינקרמנטים סטוכסטיים (ת"א פרקטליים), פונקצית המבנה. תהליכי Markov. משתני מצב ומשוואות דיפרנציאליות סטוכסטיות (SDE). אינטגרלים סטוכסטיים. אבולוציית הפילוג ומשוואת Fokker-Planck. מחוללי אותות רציפים ושרשראות פולסים, שיטה ספקטרלית וסינון ספרתי בתחום הזמן. פונקציונל אופייני ופונקציונל ההסתברות, דוגמאות החישובים לאותות גאוסיים ומרקוביים. אפיון סטטיסטי של אותות רב-מימדיים ושדות אקראיים. שדות הומוגניים. מושגי יסוד בשערוך פרמטרים (משערוך נקודתי: עקבי, מוטהלסר הטייה, מספיק, שלם, יעיל, נורמלי אסימפטוטית). חסם Cramer-Rao ומטריצת Fisher. הגישה הבייסיאנית, משערכי MAP ו-ML. משערוך הריבועים הפחותים (MMSE). שיערוך צורת-גל (waveform) ליניארי. סינון, חיזוי והחלקה (סיבתי ולא סיבתי), מסן Wiener ומסן Kalman. שיערוך ספקטראלי ואלגוריתם ה- MUSIC. מבוא לאיכון, שימוש ב- MUSIC במערכי אנטנות.

### ספרי לימוד:

1. A. Papoulis and S. U. Pillai, Probability, Random Variables and Stochastic Processes, 4th. ed. (McGraw-Hill, New York, 2002).
2. H. L. Van Trees, Detection, Estimation, and Modulation Theory, Parts I, III, and IV (Wiley, New York, 2001).
3. S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing, Vol. 1 Estimation Theory (Prentice Hall, New York, 1993), Vol. 2 Detection Theory (Prentice Hall, New York, 1998).
4. C. W. Therrien, Discrete Random Signals and Statistical Signal Processing (Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1992).

## 55405 - תקשורת אופטית לא-ליניארית Non Linear Optical Communication

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3



## כללי:

מטרת הקורס ללמד את הסטודנטים תופעות לא-ליניאריות ואת השפעתן על מערכות תקשורת אופטיות ואת מגבלות הביצועים הנובעות מהן, וכן רכיבים אופטיים המבוססים על תופעות לא-ליניאריות אלו.

## הנושאים שילמדו בקורס:

1. פולריזציה לא-ליניארית. סוספטיביליות לא-ליניארית. משוואת גל בעלת העתקה לא-ליניארית. פיתוח של משוואות עבור אמפליטודה המשתנה איטית.
2. אפקט Kerr ותופעות של פעולה עצמית (*Self Phase : Self-Action Effects*) לא-ליניארית. (*Modulation, -Self-Focusing, Self-Trapping*). אפנון פאזה עצמי של הגל, הזזת פאזה לא-ליניארית.
3. אנליזה של התפשטות הפולס בתווך תווך הבעל נפיצה ולא-ליניאריות.
4. משוואת שרדינגר לא-ליניארית. פיזוי בין נפיצה לבין לא-ליניאריות. פתרונות סוליטוניים.
5. תופעת הדו-יציבות (*Bistability*). הצימוד בין שני גלים שונים בעלי תדירות שונה בסיב – *Cross-Modulation*. שבירה כפולה לא-ליניארית. אי יציבות באפנון והשפעת זמנית ומרחבית על פולס השידור.
6. פיזור מאולץ של *Brillouin* (*Stimulated Brillouin scattering*).
7. פיזור מאולץ של *Raman* (*Stimulated Raman scattering*). מגבר אופטי *Raman*.
8. ערבוב ארבע גלים (*Four Wave Mixing*). צמוד פאזה (*Phase Conjugation*) עירור ההרמוניה השלישית (*Third Harmonic Generation*).
9. ליזר מ"מ ומגבר מ"מ אופטי מבוססים על נפח, בור קוונטי, נקודות קוונטיות.
10. מגבר אופטי *EDFA*.
11. טכנולוגיה "רדיו על סיב אופטי" (*ROF*).

## ספרי לימוד:

1. Agrawal, G.P., "Fiber-optic Communication Systems", Wiley, 2<sup>nd</sup> Edition, 2002.
2. Robert W. Boyd, "Nonlinear Optics", Elsevier, Academic Press, London, 2003.
3. Agrawal, G.P., "Nonlinear Fiber Optics", Academic press, 3<sup>rd</sup> Ed., 2001.
4. Shen, Y.R., "Principles of Nonlinear Optics", Wiley, 2003.
5. Agrawal, G.P., "Applications of Nonlinear fiber optics", Academic Press, 2001.
6. Charles K. Chui, "An Introduction to Wavelets", Academic Press, 1995

## 55406 נושאים מתקדמים בתקשורת ניידת ותאית Advanced topics in Mobile and Cellular Communication Systems

הפקולטה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, ידעון תשע"ה

#### מטרות:

בקורס זה ילמדו הסטודנטים נושאים מתקדמים בתחום התקשורת האלחוטית עם דגש על אבני בניין טכנולוגיות להשגת ביצועים המתקרבים לחסמים של תורת המידע. התיאוריה והעקרונות הטכנולוגיים של תקשורת רחבת סרט בערוצים אלחוטיים ילמדו בהקשר של ההתפתחויות העדכניות של הטכנולוגיה התאית כולל: מבוא למערכות OFDM/OFDMA, CDMA, מערכות תקשורת ניידות מרובות אנטנות MIMO, שיטות קידוד ערוץ מתקדמות בתקשורת ניידת (פענוח בהחלטה רכה SDD, טורבו-קוד, LDPC).

#### הנושאים שילמדו בקורס:

חישוב של קיבול ערוצי תקשורת אלחוטיים, ביצועים של מערכות תקשורת מעל ערוצים אלחוטיים ושיטות קידוד מתקדמות לערוצים אלחוטיים. מערכות רחבות סרט CDMA, OFDM. מערכות תקשורת ניידות מרובות אנטנות MIMO. טכנולוגיות ותקנים המממשים עקרונות אלו כולל הכרת IMT-Advanced ומערכות דור רביעי. מערכות פס רחב מסוג Ultra-Wideband והכרת הקונספט המתפתח של מערכות תאיות קוויית-אלחוטיות הבנויות על Femtocell.

#### ספרי לימוד:

1. Molisch A. F., Wireless communications, John Wiley 2005
2. Tse D., Viswanath P. Fundamental of Wireless Communications, Cambridge 2005
3. Goldsmith A. Wireless Communication, Cambridge 2005

#### ספרי עיון:

4. Prasad R. and Mihovska A. "New Horizons in Mobile and Wireless communications Artech House 2009
  - vol. 1: Radio Interfaces
  - vol. 2: Networks, Services, and Applications
  - vol. 3 Reconfigurability
  - vol. 4: Ad-Hoc Networks and PANs

## 55407 - מערכות תקשורת לוויינים Satellite Communications Systems

### כללי:

מטרת הקורס להקנות לסטודנטים הבנה מעמיקה וידע בעקרונות תקשורת לוויינים. סקירה על עקרונות ופיתוחי מערכות תקשורת לווייניות. פרמטרים של מערכות לווייניות; שילוח ומסלולים שונים של לוויינים. יישומי לוויינים. נתיב ומקדם הטיב של מערכת קשר לוויינית. סוגי אנטנות מקובלים. סכמות מלבניות מפורטות של מערכת מקובלת בלוויין ומערכת אופיינית בתחנת קרקע. עקרונות מערכות ניווט באמצעות לוויינים ומגמות התפתחות צפויות.

### הנושאים שיילמדו בקורס:

חשיבות ותולדות תקשורת לוויינים. תחומי התדרים, מערכות תקשורת לווייניות שונות. אנטנות בלוויין ותכנת קרקע. חישובי נתיב ומקדמי הטיב של מערכות כולל link budget. מערכות תקשורת לוויינים גיאוסטציונריות ובמסלול נמוך. אפון במערכות לווייניות. מקלטים וחישובי רגישות. שיטות סנכרון. נייחות וניידות. לווייני ניווט GPS. מערכות קרקע ללוויינים. בנוס: מערכות תקשורת לוויינים אופטיות.

### ספר לימוד:

1. Robert M. Gagliardi, Satellite Communication, CBS Publ. & Distr. 2004.
2. M. Roden, Digital Communication System Design, Printice-Hall, 1998.
3. Y. Okunev. Phase and phase difference Modulation in Digital Communications. Artech House, 1997.
4. B. Sklar. Digital Communications. Pearson Education, Inc 2005.
5. Dennis Roddy. Satellite communications. Mc Graw-Hill Telecom Eng. Third edition.
6. B. Ackroyd. World Satellite Communications. BSP Prof. Books, Oxford, 1990.
7. Satellite Communication and Broadcasting, hand-book. Radio i Svias. Russian, 1988
8. Lectures slide.

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### נושאים שילמדו בקורס

1. מושגים בסיסיים בתכן מערכות ומעגלי RF- ליניאריות, תחום דינמי, רעש. ערבליים
2. משדרים: ארכיטקטורות, מגברי הספק בתדרי רדיו, נצילות, ליניאריות ועיוותים.
3. מקלטים: ארכיטקטורות, סופר-הטרודיין.
4. המרה ישירה, הרטלי, ויבר, מקלט עם תדר ביניים נמוך (Low-IF).
5. ערבליים. רעש. תכונות לא-ליניאריות.
5. חוג נעול מופע וסינתיסיזרים. רעש מופע.
6. שימוש בתכנת סימולציה לתכנון מערכות תקשורת רדיו.

### ספר לימוד:

1. Razavi, B. "RF Microelectronics", Prentice-Hall, 1998.

### ספרי עיון:

1. Vendelin, G.D., Pavid, A.M., Rohde, U.L., "Microwave Circuit Design Using and Nonlinear Techniques, 2<sup>nd</sup> Ed., 2005
2. Sweet, Allen A., "MIC & MMIC Amplifiers and Oscillator Circuit Design", 1990.
3. Cripps, S.C., "RF Power Amplifiers for Wireless Communications", Artech House, 1999.
4. Goyal, R., "Monolithic Microwave Integrated Circuits: Technology & Design, Artech House, 1989.
5. Pozar, D.M. "Microwave Engineering", 2<sup>nd</sup> Ed., Wiley, 1998.

## 554409 - שיטות סנכרון בתקשורת ספרתית

### Synchronization Methods in Digital Communications

אופן הוראה : שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

#### כללי:

בכל מערכת תקשורת קיימות מערכות שחזור גל נושא וסנכרון שעון. במסגרת קורס זה יוצגו שיטות שונות בשחזור שעון וגל נושא ותוסבר התיאוריה הרלוונטית. חלק ניכר מהקורס יעסוק במערכות נעילת מופע וחוגי PLL בתחום התקשורת.

#### הנושאים שיילמדו בקורס:

חוג נעול מופע, עקרונות – יישום, שימושים שונים. שחזור גל נושא: שערך פרמטרי אות, פונקצית סבירות, שחזור גל נושא וסנכרון סימבולים במקלטים. שחזור פאזת גל נושא, שחזור של פאזת גל נושא תוך שימוש ב – P.L.L. השפעות של רעש אדיטיבי לשערך פאזה. Directed decision loop and None. שחזור שעון: שערך בסבירות מקסימאלית של זמן שעון, שחזור בגישת החלטה ישירה. שערך הדדי של פאזת גל נושא וזמן שעון. הערכת ביצועים של משערך סבירות מרבית. Jitter Wander במערכות תקשורת והשפעתם על ביצועי מערכת תקשורת ספרתית.

#### ספרי לימוד:

1. Proakis, J.G., "Digital Communications", 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill, 1995.
2. Roden, M., "Digital Communication Systems Design", Prentice-Hall, 1998.
3. Gitlin, R., J. F. Hayes, S.B. Weinstein, "Data Communications principles", Plenum, 1994.
4. Trischitta, P.R., Varma E.L., "Jitter in Digital Transmission Systems", Artech House, 1989.
5. Okunev, Y., "Phase and Phase Difference Modulation in Digital Communications", Artech House, 1997.
6. Ronald E. Best "Phase locked loops Design Simulation and applications, McGraw-Hill, 1999

## 55410 - מעבדה מתקדמת לתקשורת - Advanced Communications Laboratory

אופן הוראה: מעבדה  
שעות שבועיות: 4  
נקודות זכות: 3

### כללי:

מעבדה זו עוסקת בהיבטים של מערכות תקשורת הן עבור תקשורת ספרתית מתקדמת והן עבור תקשורת אופטית החל מרמת רכיב ומודול ועד ביצועי מערכת. הסטודנט במעבדה זו יעסוק במדידות פרמטרים שונים ואפיון של רכיבי תקשורת רדיו ואופטית שונים, יחקור את התופעות הלא-ליניאריות ברכיבים ובסיבים והשפעתן על ביצועי מערכת תקשורת אופטית וכן יעסוק במדידת מאפיינים שונים של ביצועי מערכות ורשתות אופטיות.

### הנושאים שיילמדו במעבדה:

מדידת ביצועים של מערכות תקשורת רדיו ואופטיות; סיב חד ורב אופניים; ניחות ודיספרסיה, פיזור בריליון ורמן, אפנון עצמי והדדי של פאזה; לייזרים לרשתות אופטיות: DBR, DFB, Tunable - BER. התקנים Laser. גלאים אופטיים מסוג PIN ו-APD. מגברים אופטיים SOA ו-EDFA. מדידת BER. התקנים פסיביים לרשתות WDM. העברת אותות רדיו על גבי סיבים אופטיים (ROF). טכנולוגיות תקשורת רחבות סרט: UWB MB-OFDM, Impulse Radio, סימולציה של מערכות תקשורת באמצעות ADS. תוכנת

### ספרי לימוד:

1. Proakis, J.G., "Digital Communications", 3rd Ed., McGraw-Hill, 1995.
2. Gitlin, R., J. F. Hayes, S.b. Weinstein, "Data communications principles", Plenum, 1994.
3. Trischitta, P.R., Varma E.L., "Jitter in Digital Transmission Systems", Artech House, 1989.
4. Agraval, G. P., "Fiber-optic Communication Systems", A Wiley- Interscience Publication, Second Edition, 1997
5. Bajiv Ramaswami, Kumar N. Sivarjan, "Optical Networks", Academic Press, 1998.
6. K.M. Sivalingam, S. Subramaniam, "Optical WDM Networks. Principles and Practice" Kluewer, 2000

## 55411 - נושאים נבחרים בתקשורת ספרתית Selected topic in digital communication

אופן הוראה : שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

מטרת הקורס להסביר לסטודנטים נושאים מתקדמים בתקשורת ספרתית בכל שלבים של שרשרת השידור. קורס זה יכלול ניתוח המרכיבים השונים במודמים והדגשת ההבנה המערכתית מתמטית הנדרשת בכל שלב מנקודת מבט של תורת האינפורמציה והדרישות לקבלת אופטימליות מכל יחידה במסלול שידור קליטה. יסקרו וינתחו מערכות תקשורת בערוצי תקשורת שונים.

### הנושאים שיילמדו בקורס:

שיטות אפנון ספרתיות, קידוד מקור, אנטרופיה ועקרונות תורת האינפורמציה. אפיון מתמטי של ערוצי תקשורת שונים. משפט שאנון. קודי קונבולוצייה ומפענח ויטרבי. שווינים מסוג MLSE. סקירה על ביצועי הסתברויות שגיאה של שיטות האפנון השונות. ניתוח מערכות בערוצי תקשורת שונים, וניתוח גישות לערוץ: תקשורת רחבת סרט, OFDM, WDM, מערכות תקשורת ימיות.

### ספרי לימוד:

1. Proakis, J.G., "Digital Communications", 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill, 1995.
2. Roden, M., "Digital Communication Systems Design", Prentice-Hall, 1998.
3. Gitlin, R., J. F. Hayes, S.B. Weinstein, "Data Communications principles",
4. Plenum, 1994.
5. Lee, E.A., and Messerschmitt, D. G., Digital Communication, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1990.
6. Haykin, S.S., "Communication Systems" 2<sup>nd</sup> Ed., Wiley, 1983.

## 55412 -אנטנות חכמות במערכות רדיו Smart antennas in radio systems

אופן הוראה : שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי

בעקבות הפיתוח המואץ וההשקעות העצומות בתקשורת רדיו בכוח אדם ובמשאבים, התפתח לאחרונה תחום האנטנות החכמות, שיחולל מהפכה בשיפור ביצועי תקשורת ניידת ובמיוחד שינויים בתפיסת נושא התא של מערכות סלולאריות. נושא האנטנות החכמות הנו במידת-מה רב תחומי ומקיף גם את נושאי מערכות משוב ובקרה, עיבוד אותות ובמיוחד אופייני אנטנות ומערכי אנטנות. מעטים עדיין המהנדסים המכירים נושא חדשני זה, הדורש ידע רב. לכן רצוי כי מהנדס פיתוח ואיש מחקר עדכני בתחומי תקשורת רדיו יהיה בקיא וישלוט בנושא חשוב וחדשני זה.

### הנושאים שילמדו בקורס:

הקדמה: חשיבות אנטנות חכמות לשיפור מערכות תקשורת רדיו. חזרה על האופינים החשובים של אנטנות בודדות ומערכים. חזרה על ניתוח וחישובי אנטנות בודדות ומערכים. מערכים פסיביים ואקטיביים של אנטנות. שיקולי שדה רחוק וקרוב בניתוחי אנטנות. שיטות שוניות (diversity) במערכות רדיו. עקרונות של אנטנות מסתגלות וחכמות. טכניקות מיוחדות של עיבוד אותות לאנטנות חכמות לאיפוס הפרעות ולמרב אותות רצויים. אנטנות חכמות בטכניקות של מיתוג אלומה והסתגלות מלאה: ניתוח, חישובים ודוגמאות. תכנון תת-מערכת של אנטנה חכמה. יישומי אנטנות חכמות עבור תקשורת ניידת קרקעית ועבור תקשורת (חלל) לוויינית. חידושים ומגמות התפתחות בנושא אנטנות חכמות.

### ספרי לימוד:

1. Balanis, C. A., Antenna Theory, 3<sup>rd</sup> ed., Wiley, 2005.
2. Gross, F., Smart Antennas for Wireless Communication, McGraw-Hill, 2005.
3. Godara, C., Smart Antennas, CRC, 2004.



## 55413 - רשתות גישה מהירה Broadband Access Networks

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### כללי:

בקורס זה נלמד טכנולוגיות חדשות לתמסורת מידע במהירות גבוהה. הנושאים המרכזיים בקורס עוסקים בגרסאות שונות ואפליקציות של טכנולוגיה גישה מהירה ברשתות קוויות כולל cable , xDSL , modem, ורשתות אלחוטיות לטווחים קצרים כולל WLAN בתקני IEEE802.11 ורשתות אלחוטיות-אישיות (WPAN) ו WMAN בתקני IEEE802.16 וברשתות משולבות סיב אלחוטיות.

### הנושאים שילמדו בקורס:

1. מיון רשתות במהירויות גבוהות, פרוטוקולים ורשתות לגישה (access).
2. מבנה ופרוטוקולים של Frame Relay רשתות אזוריות במהירויות גבוהות, טכנולוגיה SDH, SONET ורשתות סינכרוניות: פרוטוקולים רשתות Gigabit Ethernet .
3. תקנים בינלאומיים והמלצות בתחום רשתות גישה קוויות: מבוא לטכנולוגיות xDSL: גישה מהירה על קווי HFC, סקירת תקני DOCSIS למודם כבלים.
4. גישה מהירה ברשתות אלחוטיות: סקירת משפחת פרוטוקולי רשתות מקומיות אלחוטיות בתקני IEEE802.11, התפתחויות עדכניות בטכנולוגיית פס רחב אלחוטית ניחת (FBWA) וסקירת תקני IEEE802.16 לרשת עירונית אלחוטית.
5. Ultra Wideband ותקני IEEE802.15.3a מערכות תקשורת משולבות סיב-אלחוטיות לגישה מהירה ומערכות רדיו-על-סיב.
- 6.

### ספרי לימוד:

1. [Tanenbaum, A.S., Computer Networks](#), 4th Ed., Prentice Hall, 2003.
2. Cable Modems: Current technologies and applications", Fijoleck J. et al. Ed. IEEE press, 1999
3. Fundamental of DSL technology, Ed. P. Golden, H. Dedieu, K. Jacobsen, Auerbach Publications 2006.
4. Mullet G.J. Wireless Telecommunications systems and networks, Thomson Delmar Learning, 2006

### ספרי עיון:

1. IEEE – standards, magazines
2. R. Tafazoli, Technologies for the Wireless World, I,II,III, Wiley 2005
3. Mobile WiMax, Kwang-Cheng Chen and J. Roberto B. De Marca (Ed.) Jhon Wiley & Sons 2008

## 55415 - תכן מודולים בתקשורת אלחוטיות Module Design in Wireless Communications

אופן הוראה: שיעור

שעות שבועיות: 3

נקודות זכות: 3

### מטרות הקורס:

קורס זה הנו קורס מתקדם בתכנון של מודמים אלחוטיים ומשדרים-מקלטים מודרניים לתקשורת דיגיטאלית. הוא דן בפרמטרים החשובים הקשורים לרכיבי-העל מהמדף בתחום הרדיו ופס הבסיס, ובתכנון הפרטני של אותם המעגלים שבדרך כלל לא ניתנים להשגה מן המדף. בסוף הקורס, הסטודנטים ישלטו בטכניקות ובכלים שימושיים לטווח הארוך, אשר יקנו להם הבנה יסודית של נושאים מורכבים

### הנושאים שיילמדו בקורס:

1. הנוף האלחוטי המודרני – כוונים ואתגרים.
2. ארכיטקטורות שידור-קליטה מודרניות.
3. מערכות קליטה – תכנון ומדידה.
4. תופעות טפיליות במקלטים.
5. מערכות שידור – תכנון ומדידה.
6. תופעות טפיליות במשדרים.
7. סינתסייזרים – תכנון ומדידה.
8. תופעות טפיליות בסינתסייזרים.
9. מתנדים לתדר גבוה בעלי רעש נמוך – תכנון ומדידה.
10. מתנדים גבישיים – תכנון ומדידה.
11. תופעות טפיליות במתנדים.

### ספר לימוד

1. Luzzatto, A. and Shirazi, G., "Wireless Transceiver Design", Wiley, 2007.

### מקורות נוספים

2. Clarke, K., and Hess D., "Communication Circuits, Analysis and Design", Addison Wesley 1971.
3. Schwartz, M., "Information, Transmission Modulation and Noise", McGraw-Hill, 1990.
4. Sklar, B., "Digital Communications, Fundamental and Applications", Prentice Hall, 2001.
5. Charles K. Chui, "An Introduction to Wavelets", Academic Press, 1995.

## 55416 מערכות תקשורת רדיו 2 Radio communication systems 2

שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרות הקורס:

קורס זה מתמקד בנושאים מתקדמים בתחום תקשורת רדיו כקורס המשך של מערכות תקשורת רדיו 1. הסטודנט ילמד את עקרונות פעולה ושיטות לאפיון וניתוח של מערכות תקשורת המשתמשות בטכנולוגיות חדשניות כגון **MIMO**, שידור על מספר רב של גלים נושאים, תקשורת מרחיבת סרט (**spread spectrum**).

### הנושאים שילמדו בקורס:

מערכות **MIMO**: שיטות פיענוח אפנון זמן-מרחב משולב. שיטות קידוד בערוצים אל-חוטיים: קוד ליניארי, קודי קונבולוציה, קוד טורבו, וכד'. איפנון וקידוד מסתגלים: משדר מסתגל, שיטות לבקרת קצב שידור, הספק שידור ועוד. מערכות תקשורת המשדרות על מספר גלים נושאים **MC Systems**. אפנון מרובה גלים נושאים עם חפיפה בין אפיקים. מימוש מערכות **MC**. תקשורת מרחיבת סרט, **DSSS**, **FHSS**. מערכות רבות משתמשים. שיטות ריבוב **FDMA**, **TDMA**, **SDMA**, **CDMA**.

### ספר לימוד:

1. Goldsmith A. Wireless Communication, Cambridge 2005

### ספרי עיון:

2. Tse D. Viswanath P. Fundamental of Wireless Communications, Cambridge 2005
3. Molisch A. F., Wireless communications, John Wiley 2005
4. Prasad R. and Mihovska A. "New Horizons in Mobile and Wireless communications
5. T.S. Rappaport, "[Wireless Communications](#)", Wiley, 2002.

## 55417 אר.אף.איי.סי. 2 RFIC 2

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרות הקורס

קורס זה דן בניחוח ותכנון של רכיבים אנאלוגיים שונים המשמשים במשדרים ומקלטים של מערכות תקשורת רדיו. הסטודנט ילמד מהם הפרמטרים החשובים של הרכיבים וכן כיצד להפיק אותם מדרישות מערכתיות כפי המשתקפות בתקני תקשורת שונים.

### הנושאים שילמדו בקורס:

מבוא לטכנולוגיות RFIC. מושגי יסוד- רעש, ליניאריות, וכו'. תכנון LNA. מודלי רעש של טרנזיסטור MOS וטרנזיסטור ביפולרי. תכנון מגברים בעלי טופולוגיות שונות למזעור ספרת הרעש שלהם ולרמת תיאום גבוהה להעברת הספק מרבי. תכן ערבליים. ערבליים מבוססי מיתוג. ערבלי פסיבי וערבלי אקטיבי. רעשים בערבלי. ליניאריות. ערבליים מבוססי רכיב לא-ליניארי. מבוא למתנדים לתדר גבוה.

### ספר לימוד:

1. Lee, T.L., "The Design of CMOS RF Integrated Circuits", Cambridge University Press 2004.

### ספרי עיון:

2. Luzzatto, A. and Shirazi, G., "Wireless Transceiver Design", Wiley, 2007
3. Razavi, B. "RF Microelectronics", Prentice-Hall, 1998.
4. Cripps, S.C., "RF Power Amplifiers for Wireless Communications", Artech House, 1999.

# 55555 - ראייה ממוחשבת למערכות אבטחה

## Computer Vision for Security Systems

אופן הוראה: שיעור  
שעות שבועיות: 3  
נקודות זכות: 3

### מטרות הקורס:

המטרה העיקרית של הקורס היא להקנות לסטודנטים את הידע באלגוריתמים בסיסיים בתחום של ראייה ממוחשבת. בהמשך נלמד טכניקות מתקדמות בראיה ממוחשבת על מנת להתמודד עם האתגרים במערכות בטחון. בנוסף, הסטודנטים ילמדו להשתמש בתוכנות Matlab וסיפריית OpenCV ליישום ופיתוח אלגוריתמים של ראייה ממוחשבת. הסטודנטים יתבקשו להציג מיני-פרויקט בניסיון להתמודד עם אחת הבעיות הרלוונטיות בתחום מערכות הביטחון. הסטודנטים ידרשו ליישם את הידע בתכנון פיתוח, ואנליזה שנרכש במהלך הקורס. לסיכום הקורס מבסס קשר בין הפיתוחים האקדמיים של השנים האחרונות בתחום הראיה הממוחשבת ואספקטים יישומיים הרלוונטיים לתחום מערכות הביטחון

### הנושאים שילמדו בקורס:

1. הצגת האתגרים הקיימים במערכות הביטחון והפתרונות הפוטנציאליים בעזרת הראיה הממוחשבת.
2. מבוא לסוגי מצלמות שונים, מודלים מתמטיים של המצלמות ושיטות לכיול המצלמות.
3. אלגוריתמים בסיסיים בתחום הראיה הממוחשבת הנחוצים להבנת המשך הקורס.
4. שיטות לזיהוי ומעקב אחר פנים אנושיות בוידאו.
5. זיהוי וניתוח של הבעות של פנים.
6. היכרות עם כלים כגון Matlab ו OpenCV, שיטות הערכה למערכות ראייה הממוחשבת.
7. דוגמאות לאלגוריתמים שיילמדו בקורס: Hough transform, Active Contours, Kalman filter, Particle filter, SIFT, AAM, SVM, Adaboost

### ספרי לימוד:

1. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Eddins, Digital Image Processing Using MATLAB. Prentice Hall, 2003.
2. S. Z. Li, A. K. Jain, Handbook of Face Recognition. Springer, 2005.
3. C. M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

### ספרי עיון:

1. G. Bradski, A. Kaehler, Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly, 2008.
2. D. A. Forsyth, J. Ponce, Computer Vision: A Modern Approach, Prentice Hall, 2002.
3. R. Hartley, A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2004.