

יאן לרון

אלקטרוניקה תקבילית

טרנזיסטור תופעת שדה



הוצאת שורש

הוצאת שורש (אלי מיטב)

email: elmtv@netvision.net.il

052-2671210

web: <http://www.shoresh1.co.il>

©

כל הזכויות על שמורות למחבר ולמוציא לאור
אין לצלם מאוסף זה ללא אישור מהמוציא לאור
צילום מאוסף זה ללא אישור הינו עבירה על החוק
(ויותר חשוב: זה גם לא הוגן)

ספר "אלקטרוניקה תקבילית – טרנזיסטור תופעת שדה" נכתב לאוכלוסיית הלומדים לתואר הנדסאי אלקטרוניקה הנבחנים בבחינה חיצונית במקצוע "אלקטרוניקה תקבילית". חלק מהנושאים הורחב מעל לרמה הנדרשת בלימודי הנדסאים כדי להתאים את הספר גם לסטודנטים הלומדים "אלקטרוניקה תקבילית" או "מעגלים ליניאריים" במוסדות להשכלה גבוהה. ארגון הנושאים בספר מתאים לתוכנית הלימודים של מה"ט במקצוע זה.

הדרבון לכתיבת הספר בא מפניות רבות של סטודנטים שלי שחיפשו ספר המכיל תיאוריה ותרגול בנושא זה.

הספר בא לתת מענה לסטודנטים ולמרצים למקצוע. הספר בהחלט מיועד גם ללימוד עצמי. מסיבה זו החומר העיוני מלווה בהרבה מאוד דוגמאות פתורות. בסוף כל פרק מופיעים תרגילים עם פתרונות. השאלות והפתרונות מופרדים - מתוך נסיוני, צירוף שאלה עם פתרון צמוד מפתה את הלומד לרוץ ולהסתכל ישר בפתרון במקום לפתור את התרגיל בכוחות עצמו.

כמות התרגילים משתנה מפרק לפרק בהתאם לרלוונטיות.

ההסברים בספר מלווים בתוצאות שהתקבלו בתוכנת סימולציה למעגלים אנלוגיים PSpice. שילוב תוצאות הסימולציה עוזר להבהרת הנושאים. תוצאות הסימולציה יכולות לאמת את התוצאות המחושבות או גם להצביע על הפער בין פתרון מקורב והתנהגות אמיתית של המעגל. חשוב לציין שכמעט כל החישובים במקצוע "אלקטרוניקה תקבילית" מבוססים על קירובים והזנחות. לרוב התוצאות החישוביות תואמות את התוצאות המתקבלות במעגל המעשי. במקרים מסוימים יכול להיווצר פער בין ההתנהגות של מעגל מעשי והתוצאות החישוביות. אני ממליץ בחום למרצים של המקצוע להשתמש בכלי סימולציה ככלי עזר ללימוד המקצוע.

הספר משלים את סדרת הספרים שכתבתי במקצוע "אלקטרוניקה תקבילית":

- מוליכים למחצה ודיודות
- טרנזיסטור ביפולרי – תיאוריה ותרגילים עם פתרונות מלאים
- מגברי שרת – תיאוריה
- מגברי שרת – תרגילים ופתרונות, חלק א' וב' (עם מר שלמה הימלברנט)
- אלקטרוניקה תקבילית – נושאי מתקדמים חלק א' וב'.

וכמובן ספרים עם פתרונות של מבחנים חיצוניים של מה"ט.

כמו כן מומלץ ללמוד את תוכנת הסימולציה PSpice. ספר לימוד מקיף בנושא שכתבתי הוא:

PSpice – תוכנת סימולציה של מעגלים חשמליים ואלקטרוניים.

תוכנת Demo ניתן להוריד מאתר של חברת Cadence. כמעט כל הדוגמאות בספר ניתן להריץ על

גרסת Demo.

תודה מיוחדת לאשתי, ברוריה, על התמיכה והעידוד הרבים שקבלתי בזמן הכתיבה ועל קריאה של כל החומר ותיקון שגיאות לשוניות רבות.

למרות כל הנסיונות להימנע מטעויות, אין ספק שהספר מכיל אותם. אשמח מאוד לקבל הערות והארות גם ממרצים ובמיוחד מסטודנטים. עדכונים/תיקונים/שיפורים יופיעו באתר שלי תחת "ספרים שלי".

אני מאחל לכל הקוראים לימוד מהנה !!

יאן לרון

יולי 2011

דוא"ל: jan.laron1@gmail.com

אתר: <http://mail.pet.ac.il/~jan/>

תוכן עניינים

	פרק 1: מבוא	.1
1	מיון טרנזיסטורים	1.1
1	קצת היסטוריה	1.2
4	הבדלים בין טרנזיסטורים ביפולריים וטרנזיסטורי FET	1.3
	פרק 2: מבנה ועקרון פעולה של טרנזיסטורי JFET	.2
7	מבוא	2.1
7	מבנה של טרנזיסטורי JFET	2.2
9	סימון זרמים ומתחים בטרנזיסטורי JFET	2.3
10	אופן פעולה של טרנזיסטור JFET	2.4
18	פריצה בממתח קדמי של טרנזיסטור JFET	2.5
19	עקרון פעולה של טרנזיסטור JFET עם תעלה מסוג p	2.6
21	קשרים בין מתחים וזרמים באזורי פעולה שונים	2.7
23	שאלות סיכום	
26	תשובות לשאלות סיכום	
	פרק 3: מעגלי ממתח DC לטרנזיסטור JFET	.3
31	מבוא	3.1
33	מעגל ממתח קבוע	3.2
35	מעגל ממתח עצמי	3.3
43	מעגל ממתח עם 2 נגדים	3.4
50	שאלות סיכום	
57	תשובות לשאלות סיכום	

	פרק 4: מבנה ואופן פעולה של טרנזיסטור MOSFET	.4
69	מבוא	4.1
70	מבנה של טרנזיסטור Depletion MOSFET	4.2
71	אופן פעולה של טרנזיסטור Depletion MOSFET	4.3
76	טרנזיסטור D-MOSFET עם תעלה מסוג p	4.4
81	טרנזיסטור MOSFET מסוג העשרה Enhancement	4.5
84	טרנזיסטור MOSFET מסוג העשרה Enhancement עם תעלה מסוג p	4.6
89	שאלות סיכום	
91	תשובות לשאלות סיכום	
	מעגלי ממתח לטרנזיסטורי MOSFET	.5
93	מבוא	5.1
93	שיטות ממתח לטרנזיסטורי Depletion MOSFET	5.2
100	קביעת ממתח לטרנזיסטורי Enhancement MOSFET	5.3
114	שאלות סיכום	
122	תשובות לשאלות סיכום	
	פרק 6: תכנון נקודת עבודה לתנופה מכסימלית	.6
135	מבוא	6.1
148	דוגמאות	6.2
157	שאלות סיכום	
160	תשובות לשאלות סיכום	
	פרק 7: הסבר דפי יצרן של טרנזיסטורי FET	.7
167	מבוא	7.1
168	דפי יצרן של טרנזיסטור JFET	7.2
172	דפי יצרן של טרנזיסטור MOSFET מסוג Depletion	7.3
177	דפי יצרן של טרנזיסטור MOSFET מסוג Enhancement	7.4

180 השפעת טמפרטורה על פרמטרים ואופייניים של טרנזיסטורי FET 7.5

פרק 8: מעגלי תמורה של טרנזיסטורי FET לאות קטן .8

185 מבוא 8.1

185 מודל של טרנזיסטור JFET וטרנזיסטור D-MOSFET לאות קטן 8.2

189 מודל של טרנזיסטור E-MOSFET לאות קטן 8.3

190 מעגל תמורה טורי לטרנזיסטורי FET 8.4

פרק 9: מגבר מקור משותף Common Source Amplifier .9

193 מבוא 9.1

193 מגבר מקור משותף 9.2

201 מגבר מקור משותף בסיסי ללא קבל במקור 9.3

208 מפצל פאזה Phase Splitter 9.4

218 מגבר מקור משותף עם ממתח עצמי 9.5

223 שיקוף התנגדויות ומקורות מתח בטרנזיסטורי FET 9.6

235 שאלות סיכום

246 תשובות לשאלות סיכום

פרק 10: מגבר שער משותף Common Gate Amplifier .10

269 מבוא 10.1

269 ניתוח בסיסי של מגבר שער משותף 10.2

281 ניתוח מדויק של מגבר שער משותף 10.3

287 שאלות סיכום

290 תשובות לשאלות סיכום

פרק 11: מגבר שפך משותף Common Drain Amplifier .11

310 שאלות סיכום

315 תשובות לשאלות סיכום

12. פרק 12: מגברים רב דרגתיים עם טרנזיסטורי FET, מגברי BiFET

325	מבוא	12.1
326	מגבר CS-CS-CS	12.2
331	מגבר CS-CB	12.3
335	מגבר CS-CE-CC	12.4
341	שאלות סיכום	
352	תשובות לשאלות סיכום	

13. פרק 13: טרנזיסטור JFET כנגד מבוקר מתח

369	מבוא	13.1
369	טרנזיסטור JFET כנגד מבוקר מתח	13.2
372	משוואות טרנזיסטור JFET בתחום האוהמי	13.3
373	שימושים של נגד מבוקר מתח	13.4
380	רכיבים מעשיים	13.5
383	ביבליוגרפיה	