



Ben-Gurion University of the Negev
Faculty of Engineering
Department of Electrical & Computer Engineering
The Center of Power Electronics & Mixed-Signal IC – PEMIC

חוברת הדרכה למעבדת קורס :
Switch-Mode Power Supplies
361-1-4561

המעבדה הינה חלק של קורס "Switch-Mode Power Supplies" וכוללת שלושה ניסויים. כל ניסוי נערך בפגישה נפרדת ועוסק בין היתר במבנה אחר של ממיר DC-DC. שלוש טופולוגיות בסיסיות הנלמדות במהלך המעבדה הן: Buck, Boost, Flyback. המעבדה מאפשרת להרכיב כל אחד מהממירים (בעזרת מדגם), להפעילו, לבחון צורות גלים, לבצע מדידות, לייצב ממיר בעזרת חוג משוב, לבחון פעולה והשפעה של snubber ולהפעיל ממיר במצב DCM.

אזהרה חשובה! ממיר ממותג – הינו מכשיר שמעביר אנרגיה, לכן טעות בחיבור או אופן הפעלה יכולה להביא לשריפת רכיב או חלק של המעגל! נא להקפיד על הוראות שבחוברת הדרכה ולבצע ניסוי ביתר זהירות!

שאלות הכנה, סימולציות, והכנה למעבדה

- ענה על שאלות ההכנה והגש אותן בפורמט PDF לפני תחילת הניסוי הראשון.
- בצע את הסימולציות הנדרשות לפני כל ניסוי והגש תוצאות מנומקות בפורמט PDF לפני תחילת כל ניסוי.
- עבור ביסודיות על מהלך הניסוי, ומלא מראש את החלקים שבהם נדרשת תוצאה תיאורטית מחושבת.
- לפני תחילת המעבדה ובוחן הכניסה יש לטעון את הסימולציה הפעילה במחשב המעבדה
- במהלך המעבדה תידרש "להגן" על שאלות ההכנה ועל הסימולציה, וציון על עבודות ההכנה יחושב בהתאם לאיכות ההגשה וההגנה, אך ייקבע סופית רק לאחר תיקון השאלות והסימולציה. את התיקונים יש להגיש יחד עם הדו"ח המסכם.

בוחן כניסה

בוחן הכניסה למעבדה הוא רחב-היקף ונועד לבחון את היכרותך עם כל הנושאים הקשורים בניסוי. הבוחן יכול לכלול שאלות מהתחומים הבאים:

- חומר תיאורטי רלוונטי מהקורס
- נושאים משאלות ההכנה (כולל סימולציות), ממהלך הניסוי ומהנספחים
- שאלות הקשורות לעבודה עם ציוד המעבדה

עבודה במעבדה

העבודה במעבדה זו מתבססת היכרות מעמיקה עם החומר התיאורטי של הקורס ועל ידע מעשי מקדים בעבודה נכונה עם מכשירי המדידה. על מנת להצליח לעמוד בזמני הניסוי יש להתכונן מראש ולהכיר את אופן הפעלת המכשור כחלק מעבודת ההכנה לניסוי. חובה למלא אחר כל הוראות הבטיחות בכניסה למעבדה ולהישמע בכל העת למדריך. בפרט, יש להגיע בנעליים סגורות

המעבדה בה מתבצע הניסוי **אינה** מעבדת הוראה. לפיכך, יש לאפשר סביבת עבודה תקינה, לגלות אחריות על שמירת הציוד, ולהשאיר עמדה נקייה ומסודרת כפי שהתקבלה בתחילת הניסוי. כמו כן, חל איסור גישה לשולחנות העבודה שאינם מוגדרים כחלק ממתחם העבודה.

דו"ח מסכם

ערוך דו"ח מסכם מאוחד עבור שלושת הניסויים :

- רכז את תוצאות כל הסעיפים והשווה בין התוצאות המעשיות לאלו שחושבו מראש
- בסעיפים שלא הספקת, יש להסביר את התוצאות הצפויות
- במדידת ההיענות לתדר, הוסף גרף אמפליטודה ופאזה שמשווה בין המדידה המעשית לתוצאות הסימולציה (על אותו גרף)

את הדו"ח המסכם יש להגיש בקובץ PDF אחד יחד עם שאלות ההכנה והסימולציות

ציוד לניסוי

ציוד אישי

- מדגם SMPS
- פרובים למתח
- מתאם פרוב ל BNC
- 10 כבלי בננה (5 שחור 5 אדום)
- חוט חד-גידי לבקרה (עובי AWG#28 עד AWG#26)
- חוט לדרגת הספק (עובי AWG#22 עד AWG#20)
- נגדי 1/4W וקבלים לרשת הפיצוי ע"פ הסימולציה

ציוד המעבדה

- מחשב
- ספק כח שני ערוצים
- 2 × מד-מתח \ זרם DMM
- אוסצילוסקופ

2. שאלות הכנה

את התשובות לשאלות ההכנה יש להדפיס ולהגיש למדריך לעיון לפני בוחן הכניסה בניסוי הראשון

2.1 מייצב ליניארי

עיין בדף המפרט עבור מייצב ליניארי – LM317 ועל סכמת מדגם המייצב, ענה על השאלות הבאות:

- 2.1.1 פרט את תפקידם של הרכיבים השונים בשרטוט מדגם המייצב המופיע בתחילת ניסוי 1.
- 2.1.2 מצא את ערכי הנגדים R_a ו R_b הדרושים לקבלת מתח מוצא מיוצב ל $-5V$ – הצג נוסחא.
- 2.1.3 מהו מתח הכניסה המינימלי הדרוש לקבלת מוצא $5V$? (מצא את מתח ה Dropout).
- 2.1.4 עבור $V_{in}=15V$ ו $V_{out}=5V$, מצא מהו הזרם המקסימלי שניתן להעביר במעגל ללא שריפת המייצב? הנח כי לרכיב אין גוף קירור, וטמפרטורת החדר $20^{\circ}C$. המארו שבשימוש הוא מסוג TO-220
- 2.1.5 בהנחה שרוצים לשלש את כמות הזרם מהסעיף הקודם, כיצד ניתן לבצע זאת באמצעות נגד? מה ערכו?

2.2 מדגם הניסוי

עיין במבנה של המדגם ובסכמה חשמלית מלאה, בדפי מפרט וב Application notes של הבקר UC3843
זוהי את החלקים השונים וענה על השאלות הבאות:

- 2.2.1 צייר סכמה (מופשטת) של הממיר המתאים לניסוי. הסבר את אופן הפעולה. צייר צורות גלים של זרם דרך טרנזיסטור, סליל ודיודה ומתח עליהם. הראה את הנוסחאות הרלוונטיות.
- 2.2.2 מה תפקידם של הקבלים C_{in} ו C_{out} ?
- 2.2.3 כיצד פועלת חישת הזרם לבקר? כיצד פועלת חישת הזרם למדידה בסקופ?
- 2.2.4 למה יש צורך בדוחף מבודד בממיר Buck? שרטט את מבנה הדוחף והסבר את פעולתו.
- 2.2.5 הסבר איך נוצר "שן מסור" ואיזה רכיבים קובעים את תדר המיתוג?
- 2.2.6 כיצד מוסב בקר ה Current-mode לעבודה בשיטת Voltage-mode?
- 2.2.7 בעבור פעולה בחוג פתוח (שליטה על Duty-cycle באמצעות פוטנציומטר), מצא את ערכי הנגדים R_a ו R_b הדרושים לפעולה בכל טווח ה D האפשרי עם הבקר.

2.3 שאלות כלליות

- 2.3.1 במה מתאפיין אופן פעולה DCM?
- 2.3.2 הסבר את המושגים הבאים: Line Regulation, Load Regulation.
- 2.3.3 מה זה Snubber? איזה סוגים של snubber קיימים? מה תפקידו? (עיין במאמר שבנספח).
- 2.3.4 מהם היתרונות והחסרונות של שיטת חוג קוטב דומיננטי וקוטב כפול בהשוואה אחת לשנייה? (מומלץ לענות לאחר ביצוע סימולציה עבור Buck).

3. תכנון חוג המשוב באמצעות סימולציה

את הסימולציות יש להכין עבור הטופולוגיה הרלוונטית לניסוי של אותו שבוע. יש להציג אותה למדריך ע"ג מחשב העמדה בתחילת כל ניסוי.

3.1. מודל ממוצע וסימולציית חוג פתוח

3.1.1. פתח בצורה תיאורטית את התגובה בתדר של דרגת ההספק: V_{out}/d .

3.1.2. השתמש בנתונים שבטבלה על מנת לבנות מודל ממוצע. עבור כל טופולוגיה בצע אנליזת AC על מנת למצוא את תגובת הממיר לחוג פתוח.

	BUCK	BOOST	FLYBACK
V_{in} [V]	10-20	10-20	10-20
V_{out} [V]	5	24	5
F_{sw} [kHz]	50	50	50
L [μ H]	75 (L_2)	300 (L_1)	300 (L_1); 75 (L_2)
C_{out} [μ F]	100	100	100
ESR [Ω]	0.3	0.3	0.3
R_{load} [Ω]	4.9	300	4.9
V_D [V]	0.5	0.5	0.5

3.1.3. באמצעות דפי המפרט של הבקר UC3843 בנה את המודל התיאורטי של מגבר השגיאה, הצג בסימולציה את A_{OL} - הגבר החוג הפתוח.

3.2. סימולציות חוג סגור

3.2.1. בחר מתוך הסדרה הסטרנדרטית E24, ערכי הנגדים והקבלים Ca, Rb, Rd, Re על מנת לסגור חוג בשיטת קוטב דומיננטי. באמצעות אנליזת AC הצג עבור טווח מתחי הכניסה:

- A_{OL}, β, A_{CL}
- A, B, Loop-Gain

3.2.2. בחר מתוך הסדרה הסטרנדרטית E24, ערכי הנגדים והקבלים Ca, Cb, Rb, Rd, Re על מנת לסגור חוג בשיטת קוטב כפול. באמצעות אנליזת AC הצג עבור טווח מתחי הכניסה:

- A_{OL}, β, A_{CL}
- A, B, Loop-Gain

3.3. בצע אנליזת Transient (בחוג פתוח וחוג סגור) כדי לבחון תגובת הממיר:

- למדרגה ב V_{ref}
- למדרגה במתח הכניסה (עומס קבוע) עבור שלושת המקרים
- למדרגה בעומס (מתח כניסה קבוע – 15V)

3.3.1. (ממיר Boost בלבד)
תכנן רשת פיזי לחוג משוב עם בקרת זרם עבור ממיר Boost (Peak Current Mode Control).
ערך נגד הדגימה 1 Ω (ראה סכמה חשמלית בנספח).

ניסוי 1: ספק מתמתג בטופולוגיית Buck מול מייצב ליניארי

הכנת עמדת העבודה

- בספק הכח, הגבל את הערוץ המשויך לדרגת ההספק ל-1.5A.
- הגבל את הערוץ המשויך לדרגת הבקרה ל-100mA.
- בחיבור ציוד המדידה חבר את כל האדמות יחד לנקודה אחת.

סדר הפעלה

לקראת כל שינוי במעגל המדידה בצע את הפעולות הבאות על פי סדר:

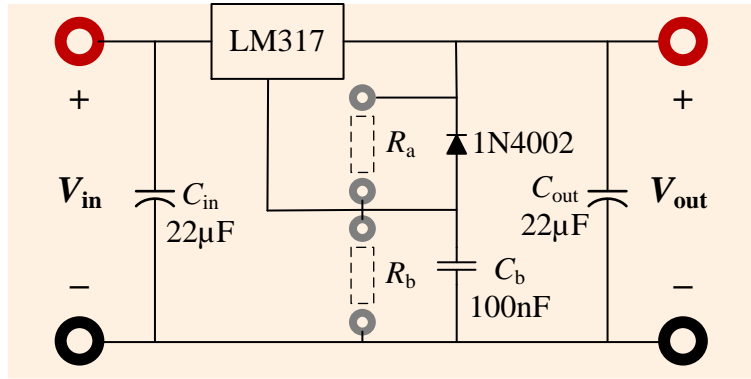
- א. הרכב את החיבורים הפנימיים של דרגת ההספק בהתאם לטופולוגיה הנדרשת (J3-J16)
הערות: הקפד על חיווט קצר ככל הניתן לצמצום השראויות, וודא מגע טוב בין המוליך למתכת!
 - א. מדוד וחבר עומס מתאים למוצא דרגת ההספק
 - ב. חבר את חיבורי המשוב הנדרשים בסעיף
 - ג. **חבר תמיד** מד מתח למוצא דרגת ההספק, כוונן את המד ל DC ולטווח המתאים
 - ד. חבר את שאר חיבורי המדידה הנדרשים בסעיף וכייל את ערוצי הסקופ בהתאם למצופה
 - ה. הזן את דרגת הבקרה, וודא פעולה תקינה (אות PWM תקין)
 - ו. וודא שערוץ ההספק ב 0V, חבר אותו למעגל והרם את המתח באיטיות, תוך כדי צפיה במד הזרם בספק ובמד המתח במוצא

אם המתח או הזרם לא תקינים הורד מיד את המתח! לאחר מכן פעל לאיתור התקלה.
בכיבוי המערכת יש לכבות ראשית את דרגת ההספק ורק לאחר מכן את דרגת הבקרה.

1. אפיון דרגת המרה ליניארית

הרכב את מדגם המייצב הליניארי:

- א. חבר את נגדי המשוב R_a ו R_b , על פי מה שחישבת בשאלות ההכנה על מנת לקבל $V_{out} = 5V$
- ב. חבר ל V_{out} עומס של 330Ω (ממדגם המעבדה)
- ג. חבר מד-זרם לכניסה ומד-מתח למוצא



העלה את מתח הכניסה, מדוד וחשב את הפרמטרים בטבלה עבור מתחי כניסה שונים בטווח של 0-15V:

V_{in}	V_{out}	I_{in}	A	P_{in}	P_{out}	η

1.1. יחס כניסה מוצא

שרטט בגרף את יחס מתח הכניסה \ מתח המוצא. רשום והסבר למדריך הסבר לצורת האופיין המתקבל:

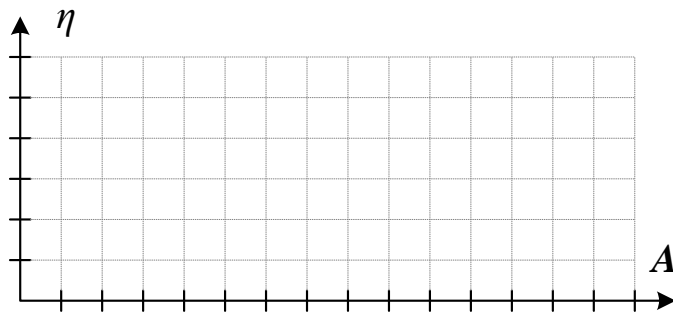


מצא את מתח המוצא ואת נפילת המתח המינימלית מתוך הטבלה, השווה לחישובים:

$V_{out,reg}$	$V_{dropout}$	
		מחושב
		נמדד

1.2. נצילות עבור מתחי כניסה שונים

שרטט בגרף את הנצילות כפונקציה של ההגבר. רשום והסבר למדריך הסבר לצורת האופיין המתקבל:



השווה בצורה גרפית את הנצילות המדודה לנצילות המחושבת.

1.3. מדידת נצילות לעומסים שונים

מדוד את הנצילות עבור מתח כניסה 10V עם העומסים הבאים: 330, 47, 22.

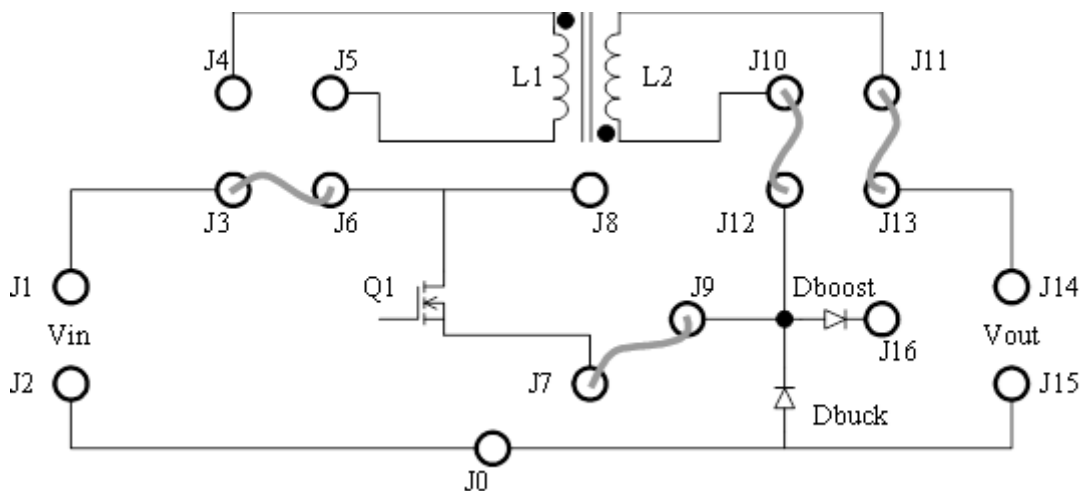
קבע את מתח הכניסה ל-10V (מדוד בכל פעם!), מדוד וחשב את הפרמטרים בטבלה עבור עומסים שונים. נתק בכל פעם את הנגד הדרוש לקבלת ההתנגדות הרצויה.

R_{load}	V_{out}	I_{in}	P_{in}	P_{out}	η
330					
47					
22 (10 + 12)					

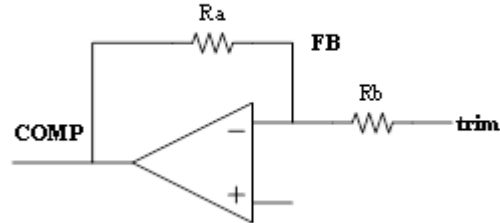
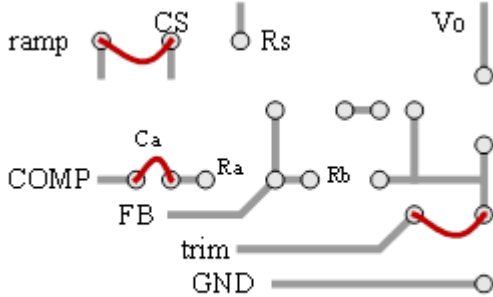
תן הסבר למדריך על הנצילויות שמתקבלות.

2. ממיר Buck – הפעלה בחוג פתוח

א. הרכב את מדגם הניסוי לפי השרטוט הבא לפעולה כממיר Buck:



- ב. חבר את רשת המשוב באופן הבא:
- גשר את יציאת שן-המסור (ramp) לחיבת הזרם בבקר
 - גשר את המקום ל C_a
 - גשר בין יציאת trim לרשת המשוב
 - מקם את נגדי R_a ו R_b ע"פ שאלות ההכנה לחוג פתוח



- חבר למוצא עומס של 4.9Ω
- חבר מד-מתח למוצא, ומד זרם לכניסה

2.1 מדידת טווח PWM

חבר את יציאת PWM במדגם לסקופ, כוונן אותו לאות הצפוי, הזן את הבקר וצפה שמתקבל אות - Duty cycle (D) גל מרובע, שמתכוונן ע"פ הפוטנציומטר במדגם.

רשום את תדר המיתוג ו ה D המקסימלי אליו ניתן להגיע:

F_{sw}	D_{max}	
		מחושב
		נמדד

2.2 הפעלת דרגת ההספק

- קבע $D=0$
- העלה את V_{in} ל-15V, כוונן את הפוטנציומטר לקבלת $V_{out} = 5V$

מדוד באמצעות הסקופ ושמור את צורות הגלים הבאות:

- צורת המתח על צומת הטרנזיסטור-דיודה-סליל
- זרם הטרנזיסטור
- אדוות המתח במוצא

מצא את הנתונים הבאים:

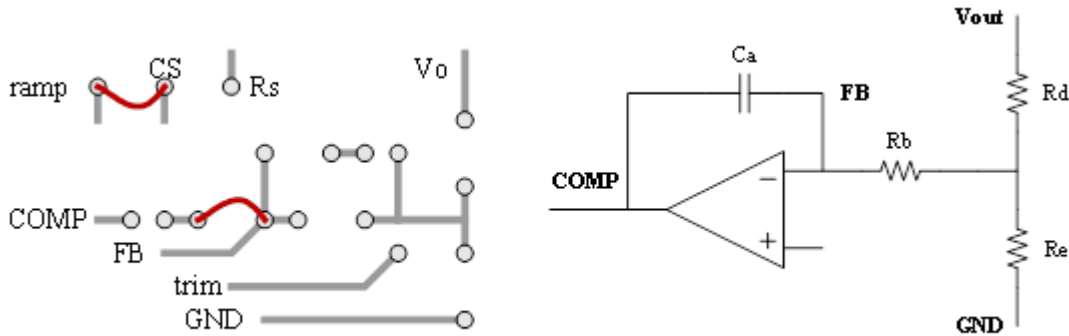
D	V_{in}	ΔV_{out}	ΔI_L	L	
					מחושב
					נמדד

- בתום המדידות הורד את D לאפס, הורד את V_{in} לאפס ונתק את V_{CC}

ממיר Buck – דינמיקה ונצילות בחוג סגור – קוטב דומיננטי

3.

- א. חבר את רשת המשוב באופן הבא (היעזרו בשרטוט השמאלי):
 a. גשר את יציאת שן-המסור (ramp) לחיבת הזרם בבקר
 b. גשר את המקום ל R_a
 c. מקם את C_a R_b R_d R_e ע"פ שאלות ההכנה לקוטב דומיננטי



- ב. חבר למוצא עומס של 4.9Ω
 ג. חבר מד-מתח למוצא, ומד זרם לכניסה

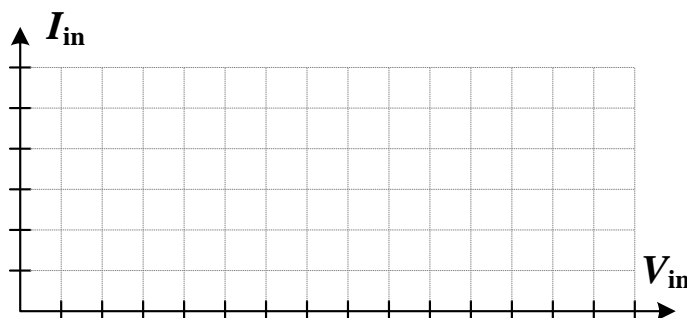
3.1 הפעלת דרגת ההספק

הפעל את המדגם, וודא שמתח המוצא התייצב לסביבות $5V$, בדוק שהמעגל יציב עבור V_{in} בטווח $10-20V$.
רמז: מתח ברב-מודד שאינו משתנה אינו בהכרח מעיד על יציבות המעגל.
 שמור תמונות מהמדידות בנקודות הקיצון בהן ניתן לחזות בצורות הגלים השונות.
 מדוד וחשב את הפרמטרים בטבלה עבור מתחי כניסה שונים:

V_{in}	V_{out}	I_{in}	D	A	P_{in}	P_{out}	η

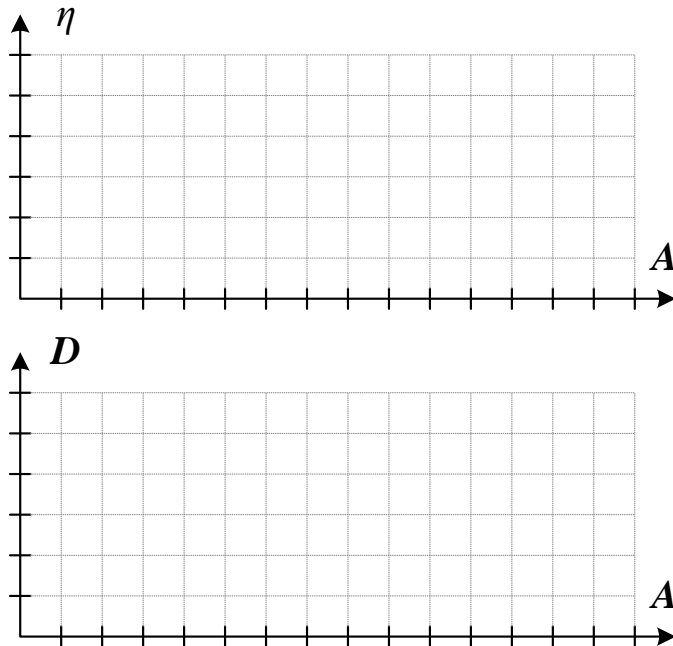
3.2 התנגדות כניסה דינמית

שרטט בגרף את יחס זרם \ מתח הכניסה. רשום והסבר למדריך הסבר לצורת האופיין המתקבל:



3.3. נצילות כניסה ויחס המרה

שרטט בגרף את הנצילות ואת D כפונקציה של יחס ההמרה. רשום ותן למדריך הסבר לאופייניים שמתקבלים:

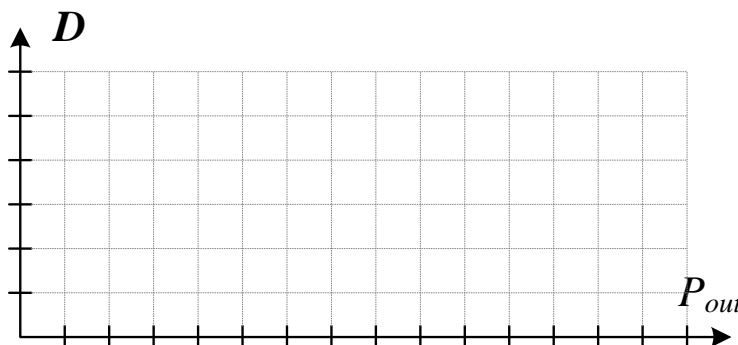


3.4. נצילות בעומסים שונים

קבע את מתח הכניסה ל- $15V$ (מדוד בכל פעם!), מדוד וחשב את הפרמטרים בטבלה עבור עומסים שונים. נתק בכל פעם את הנגד הדרוש לקבלת ההתנגדות הרצויה.

R_{load}	V_{out}	I_{in}	D	P_{in}	P_{out}	η
4.9 (10 12 47)						
9.5 (12 47)						
47						

שרטט בגרף את D כפונקציה של הספק המוצא. רשום ותן למדריך הסבר לאופיין שמתקבל:



3.5. פעולה במצב DCM

מדוד ושמור את צורת מתח הצומת דיודה-טרנזיסטור-סליל כאשר דרגת ההספק מועמסת בעומס של 47Ω . תן הסבר לצורה הסינוסואידלית המתקבלת.

ניסוי 2: ספק מתמתג בטופולוגיית Flyback – מדידת היענות לתדר

הכנת עמדת העבודה

- בספק הכח, הגבל את הערוץ המשויך לדרגת ההספק ל-1.5A.
- הגבל את הערוץ המשויך לדרגת הבקרה ל-300mA.
- בחיבור ציוד המדידה חבר את כל האדמות לנקודה אחת (J0)

סדר הפעלה

לקראת כל שינוי במעגל המדידה בצע את הפעולות הבאות על פי סדר:

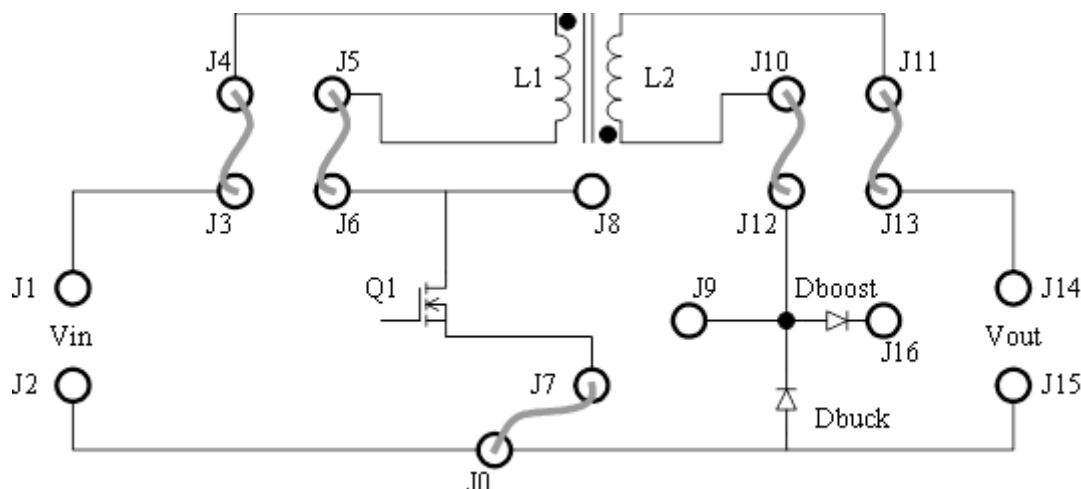
- הרכב את החיבורים הפנימיים של דרגת ההספק בהתאם לטופולוגיה הנדרשת (J3-J16)
- הערות:** הקפד על חיווט קצר ככל הניתן לצמצום השראויות, וודא מגע טוב בין המוליך למתכת!
 - מדוד וחבר עומס מתאים למוצא דרגת ההספק
 - חבר את חיבורי המשוב הנדרשים בסעיף
 - חבר תמיד מד מתח למוצא דרגת ההספק, כוונן את המד ל DC ולטווח המתאים
 - חבר את שאר חיבורי המדידה הנדרשים בסעיף וכייל את ערוצי הסקופ בהתאם למצופה
 - הזן את דרגת הבקרה, וודא פעולה תקינה (אות PWM תקין)
 - וודא שערוץ ההספק ב 0V, חבר אותו למעגל והרם את המתח באיטיות, תוך כדי צפייה במד הזרם בספק ובמד המתח במוצא

אם המתח או הזרם לא תקינים הורד מיד את המתח! לאחר מכן פעל לאיתור התקלה.

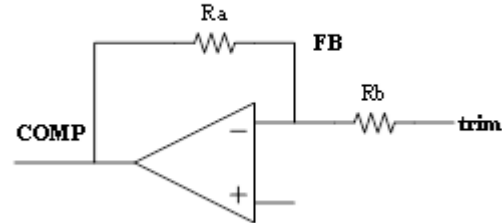
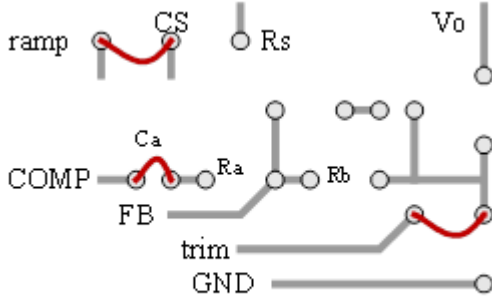
בכיבוי המערכת יש לכבות ראשית את דרגת ההספק ורק לאחר מכן את דרגת הבקרה.

1. ממיר Flyback – הפעלה בחוג פתוח

- א. הרכב את מדגם הניסוי לפי השרטוט הבא לפעולה כממיר Flyback:



- ב. חבר את רשת המשוב באופן הבא:
- גשר את יציאת שן-המסור (ramp) לחיבת הזרם בבקר
 - גשר את המקום ל C_a
 - גשר בין יציאת trim לרשת המשוב
 - מקם את נגדי R_a ו R_b ע"פ שאלות ההכנה לחוג פתוח



- חבר למוצא עומס של 4.9Ω
- חבר מד-מתח למוצא, ומד-זרם לכניסה

1.1 הפעלת דרגת ההספק

- הפעל את דרגת הבקרה ובדוק שהפוטנציומטר מכסה את טווח ה- D בצורה תקינה
- קבע $D=0$
- העלה את V_{in} ל- $15V$, כוונן את הפוטנציומטר לקבלת $V_{out} = 5V$

מדוד באמצעות הסקופ **ושמור** את צורות הגלים הבאות:

- צורת המתח על צומת הטרנזיסטור-דיודה-סליל
- זרם הטרנזיסטור
- אדוות המתח במוצא

מצא את הנתונים הבאים:

D	V_{in}	ΔV_{out}	ΔI_L	L_1	L_2	
						מחושב
						נמדד

בתום המדידות הורד את D לאפס, הורד את V_{in} לאפס ונתק את V_{CC} .

2. מדידת פונקציית התמסורת של ספק Flyback

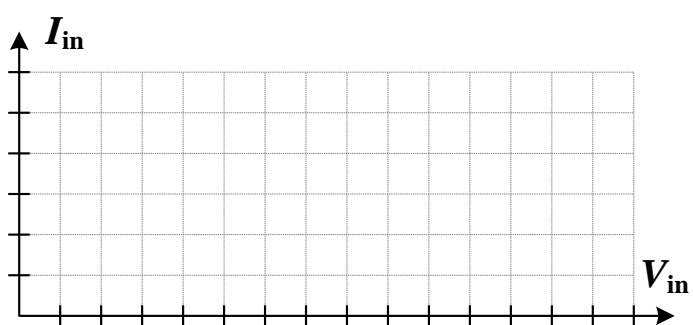
- חבר את כניסת העירור V_{ex} (excitation) לכניסת ה- Gen של הסקופ.
- חבר ערוץ אחד של הסקופ ליציאת המגבר (V_c) וערוץ שני ל V_{out}
- הפעל את הבקר ודרגת ההספק מחדש

הזן אות גל סינוסי במשרעת $10-20mV$ בתחום התדרים $100Hz-10kHz$ ומצא את פונקציית התמסורת V_{out}/V_c בעזרת הטבלה הבאה:

V_{in}	V_{out}	I_{in}	D	A	P_{in}	P_{out}	η

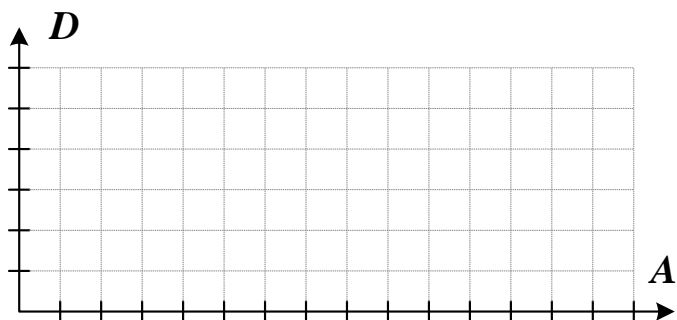
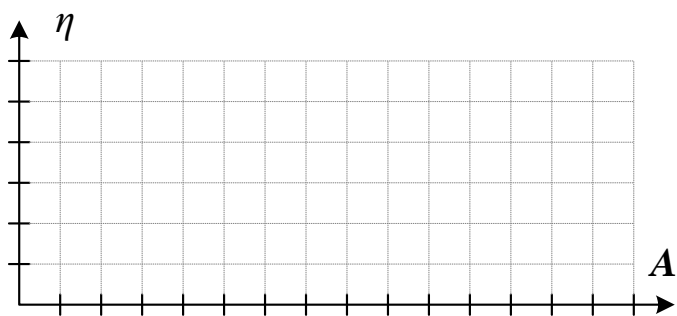
3.2. התנגדות כניסה דינמית

שרטט בגרף את יחס זרם \ מתח הכניסה:



3.3. נצילות כניסה ויחס המרה

שרטט בגרף את הנצילות ואת D כפונקציה של יחס ההמרה. רשום ותן למדריך הסבר לאופייניים שמתקבלים. במה הם שונים מהתוצאות בממיר Buck?

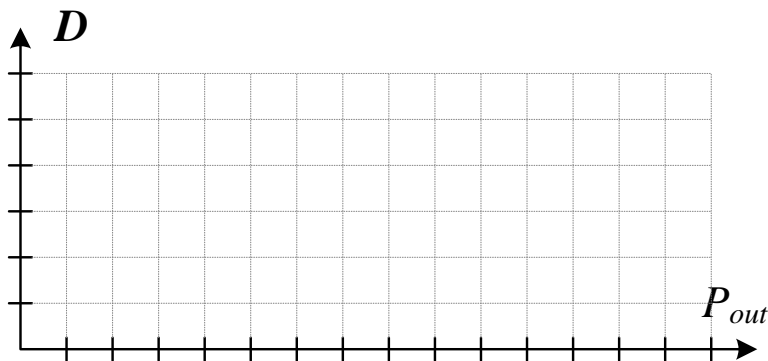


3.4. נצילות בעומסים שונים

קבע את מתח הכניסה ל-15V (מדוד בכל פעם!), מדוד וחשב את הפרמטרים בטבלה עבור עומסים שונים. נתק בכל פעם את הנגד הדרוש לקבלת ההתנגדות הרצויה.

R_{load}	V_{out}	I_{in}	D	P_{in}	P_{out}	η
4.9 (10 12 47)						
9.5 (12 47)						
47						

שרטט בגרף את D כפונקציה שלהספק המוצא:



4. Snubbers

4.1 RCD Snubber

הפעל את המדגם ואתר את התופעה הפרזיטית אותה נדרש לרסן באמצעות ה RCD Snubber. הסבר למדריך כיצד פועל מעגל ה Snubber? על אילו אלמנטים פרזיטיים מתגברים? הוסף את ה RCD snubber במיקום האופטימלי, תוך כדי צפייה בשינוי בצורת המתח. שמור תמונות עם וללא ה Snubber.

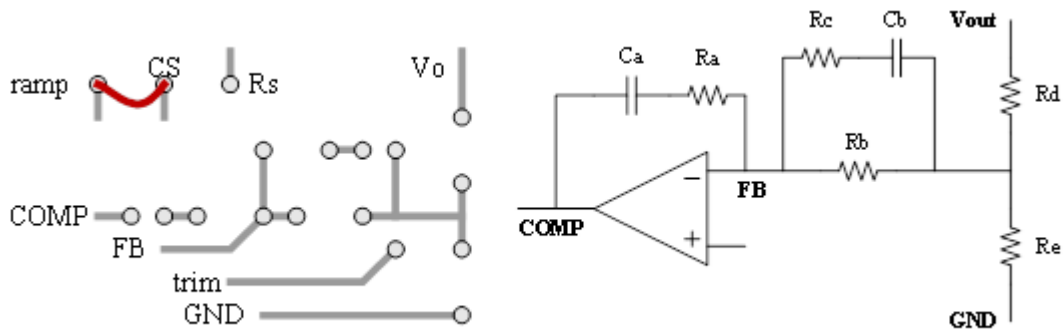
4.2 RC Snubber

הפעל את המדגם ואתר את התופעה הפרזיטית אותה נדרש לרסן באמצעות ה RC Snubber. הסבר למדריך כיצד פועל מעגל ה Snubber? על אילו אלמנטים פרזיטיים מתגברים? הוסף את ה RC snubber במיקום האופטימלי, תוך כדי צפייה בשינוי בצורת המתח. שמור תמונות עם וללא ה Snubber.

5. ממיר Flyback – קוטב כפול

א. חבר את רשת המשוב באופן הבא:

- a. גשר את יציאת שן-המסור (ramp) לחיבת הזרם בבקר
- b. מקם את C_a C_b R_b R_d R_e ע"פ שאלות ההכנה לקוטב כפול



- ב. חבר למוצא עומס של 4.9Ω
 ג. חבר מד-מתח למוצא, ומד זרם לכניסה

5.1 הפעלת זרגת ההספק

הפעל את המדגם, וודא שמתח המוצא התייצב לסביבות 5V, בדוק שהמעגל יציב עבור V_{in} בטווח 10-20V. שמור תמונות מהמידודות בנקודות הקיצון בהן ניתן לחזות בצורות הגלים השונות.

ניסוי 3: ספק מתמתג בטופולוגיית Boost – בקרת Peak Current Mode

הכנת עמדת העבודה

- בספק הכח, הגבל את הערוץ המשויך לדרגת ההספק ל-1.5A.
- הגבל את הערוץ המשויך לדרגת הבקרה ל-300mA.
- בחיבור ציוד המדידה חבר את כל האדמות לנקודה אחת (J0)

סדר הפעלה

לקראת כל שינוי במעגל המדידה בצע את הפעולות הבאות על פי סדר:

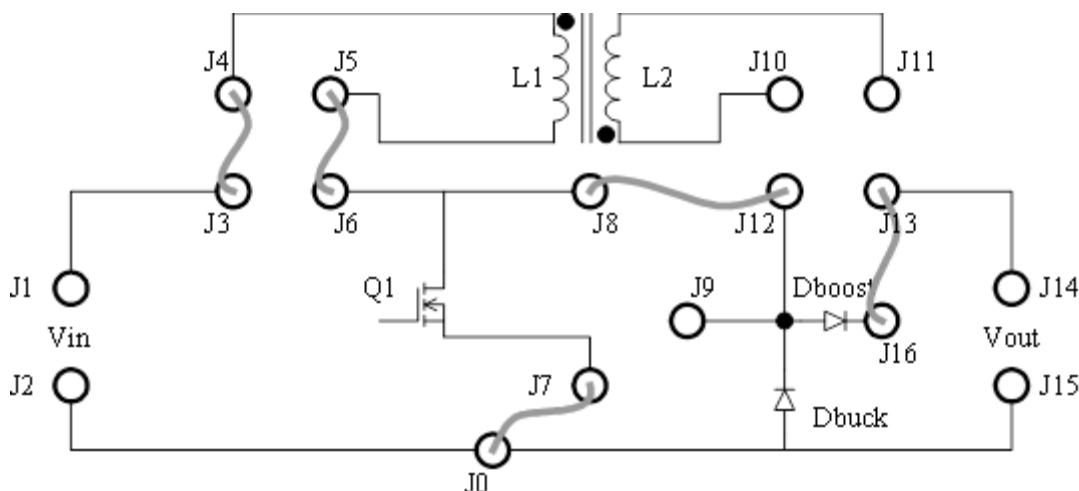
- א. הרכב את החיבורים הפנימיים של דרגת ההספק בהתאם לטופולוגיה הנדרשת (J3-J16)
- הערות:** הקפד על חיווט קצר ככל הניתן לצמצום השראויות, וודא מגע טוב בין המוליך למתכת!
- ב. מדוד וחבר עומס מתאים למוצא דרגת ההספק
 - ג. חבר את חיבורי המשוב הנדרשים בסעיף
 - ד. חבר תמיד מד מתח למוצא דרגת ההספק, כוונן את המד ל DC ולטווח המתאים
 - ה. חבר את שאר חיבורי המדידה הנדרשים בסעיף וכייל את ערוצי הסקופ בהתאם למצופה
 - ו. הזן את דרגת הבקרה, וודא פעולה תקינה (אות PWM תקין)
 - ז. וודא שערוץ ההספק ב 0V, חבר אותו למעגל והרם את המתח באיטיות, תוך כדי צפיה במד הזרם בספק ובמד המתח במוצא

אם המתח או הזרם לא תקינים הורד מיד את המתח! לאחר מכן פעל לאיתור התקלה.

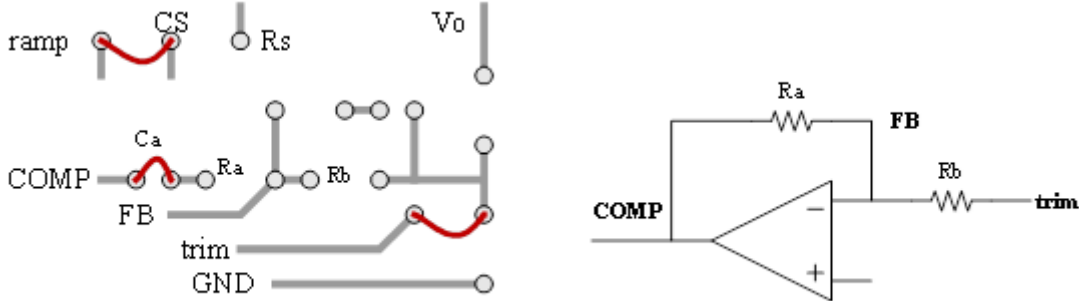
בכיבוי המערכת יש לכבות ראשית את דרגת ההספק ורק לאחר מכן את דרגת הבקרה.

1. ממיר Boost – הפעלה בחוג פתוח

- ה. הרכב את מדגם הניסוי לפי השרטוט הבא לפעולה כממיר Boost:



- ו. חבר את רשת המשוב באופן הבא:
- גשר את יציאת שן-המסור (ramp) לחיבת הזרם בבקר
 - גשר את המקום ל C_a
 - גשר בין יציאת trim לרשת המשוב
 - מקם את נגדי R_a ו R_b ע"פ שאלות ההכנה לחוג פתוח



- חבר למוצא עומס של 110Ω
- חבר מד-מתח למוצא, ומד זרם לכניסה

1.1 הפעלת דרגת ההספק

- הפעל את דרגת הבקרה ובדוק שהפוטנציומטר מכסה את טווח ה- D בצורה תקינה
- קבע $D=0$
- העלה את V_{in} ל- $15V$, כוונן את הפוטנציומטר לקבלת $V_{out} = 24V$

מדוד באמצעות הסקופ **ושמור** את צורות הגלים הבאות:

- צורת המתח על צומת הטרנזיסטור-דיודה-סליל
- זרם הטרנזיסטור
- אדוות המתח במוצא

מצא את הנתונים הבאים:

D	V_{in}	ΔV_{out}	ΔI_L	L	
					מחושב
					נמדד

בתום המדידות הורד את D לאפס, הורד את V_{in} לאפס ונתק את V_{CC} .

2. מדידת פונקציית התמסורת של ספק Boost

- חבר את כניסת העירור V_{ex} (excitation) לכניסת ה-Gen של הסקופ
- חבר ערוץ אחד של הסקופ ליציאת המגבר (V_c) וערוץ שני ל V_{out}
- הפעל את הבקר ודרגת ההספק מחדש

2.1 מדידת חוג פתוח – Voltage Mode

הזן אות גל סינוסי במשרעת $10-20mV$ בתחום התדרים $100Hz-10kHz$ ומצא את פונקציית התמסורת V_{out}/V_c בעזרת הטבלה הבאה:

F [Hz]	V_{out} [mV]	V_c [mV]	V_{out}/V_c [dB]	Δt [μs]	ϕ [deg]

הסבר למדריך את ההבדלים בתוצאות המדידה.

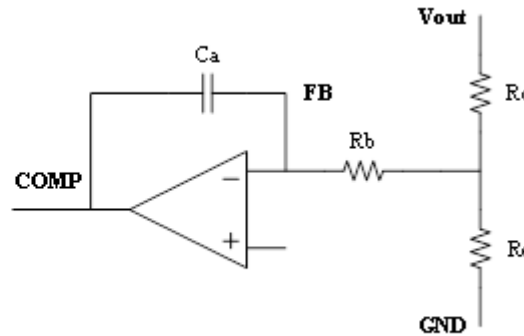
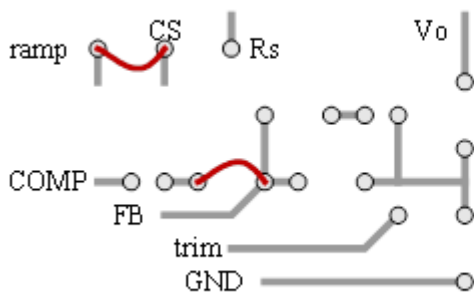
3. ממיר Boost – דינמיקה ונצילות בחוג סגור – Voltage-mode קוטב דומיננטי

א. חבר את רשת המשוב באופן הבא :

a. גשר את יציאת שן-המסור (ramp) לחיבת הזרם בבקר

b. גשר את המקום ל R_a

c. מקם את R_e R_d R_b C_a ע"פ שאלות ההכנה לקוטב דומיננטי



ב. חבר למוצא עומס של 110Ω

ג. חבר מד-מתח למוצא, ומד זרם לכניסה

3.1 הפעלת דרגת ההספק

חבר את J_7 עם J_0 במקום J_{17} .

הפעל את המדגם, וודא שמתח המוצא התייצב ל $24V$, בדוק שהמעגל יציב עבור V_{in} בטווח $10-20V$ שמור תמונות מהמדידות בנקודות הקיצון בהן ניתן לחזות בצורות הגלים השונות.

מדוד וחשב את הפרמטרים בטבלה עבור מתחי כניסה שונים :

V_{in}	V_{out}	I_{in}	D	A	P_{in}	P_{out}	η

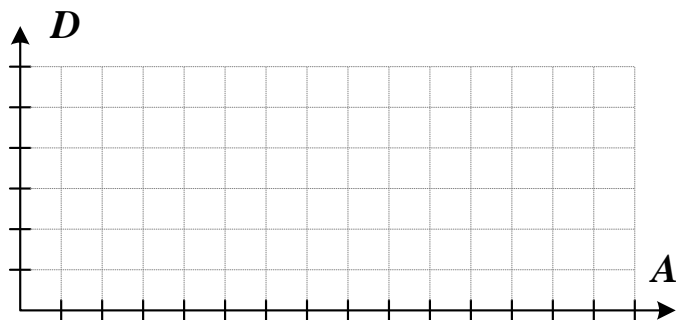
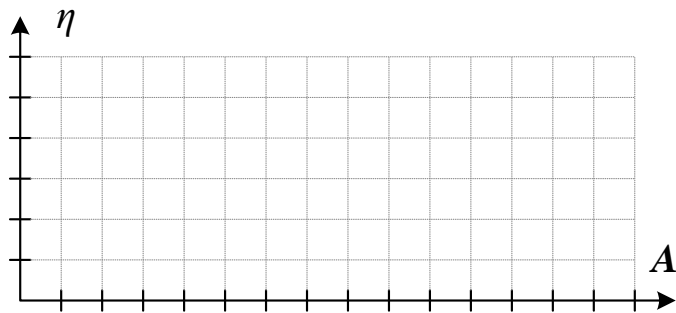
3.2. התנגדות כניסה דינמית

שרטט בגרף את יחס זרם \ מתח הכניסה.



3.3. נצילות כניסה ויחס המרה

שרטט בגרף את הנצילות ואת D כפונקציה של יחס המרה. רשום ותן למדריך הסבר לאופיינים שמתקבלים. במה הם שונים מהתוצאות בממיר Buck?

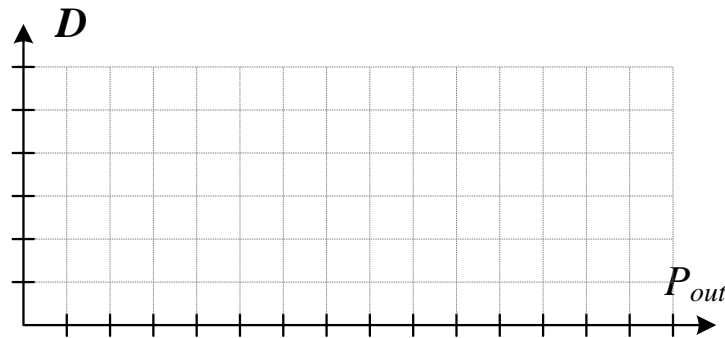


3.4. נצילות בעומסים שונים

קבע את מתח הכניסה ל-15V (מדוד בכל פעם!), מדוד וחשב את הפרמטרים בטבלה עבור עומסים שונים. נתק בכל פעם את הנגד הדרוש לקבלת ההתנגדות הרצויה.

R_{load}	V_{out}	I_{in}	D	P_{in}	P_{out}	η
110						
220						
330						

שרטט בגרף את D כפונקציה של הספק המוצא :

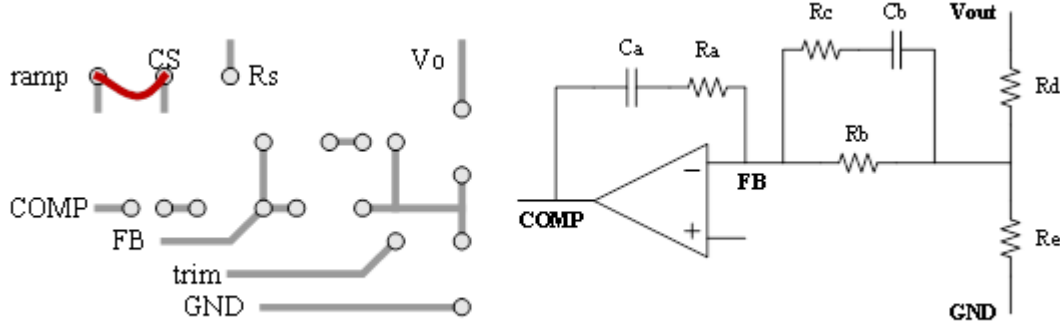


ממיר Boost – קוטב כפול

.4

א. חבר את רשת המשוב באופן הבא :

- a. גשר את יציאת שן-המסור (ramp) לחיבת הזרם בבקר
 b. מקם את R_e R_d R_b C_b C_a ע"פ שאלות ההכנה לקוטב כפול



- ב. חבר למוצא עומס של 110Ω
 ג. חבר מד-מתח למוצא, ומד זרם לכניסה

הפעל את המדגם, וודא שמתח המוצא התייצב לסביבות $24V$, בדוק שהמעגל יציב עבור V_{in} בטווח $10-20V$ שמור תמונות מהמדידות בנקודות הקיצון בהן ניתן לחזות בצורות הגלים השונות.

ממיר Boost – Current Mode

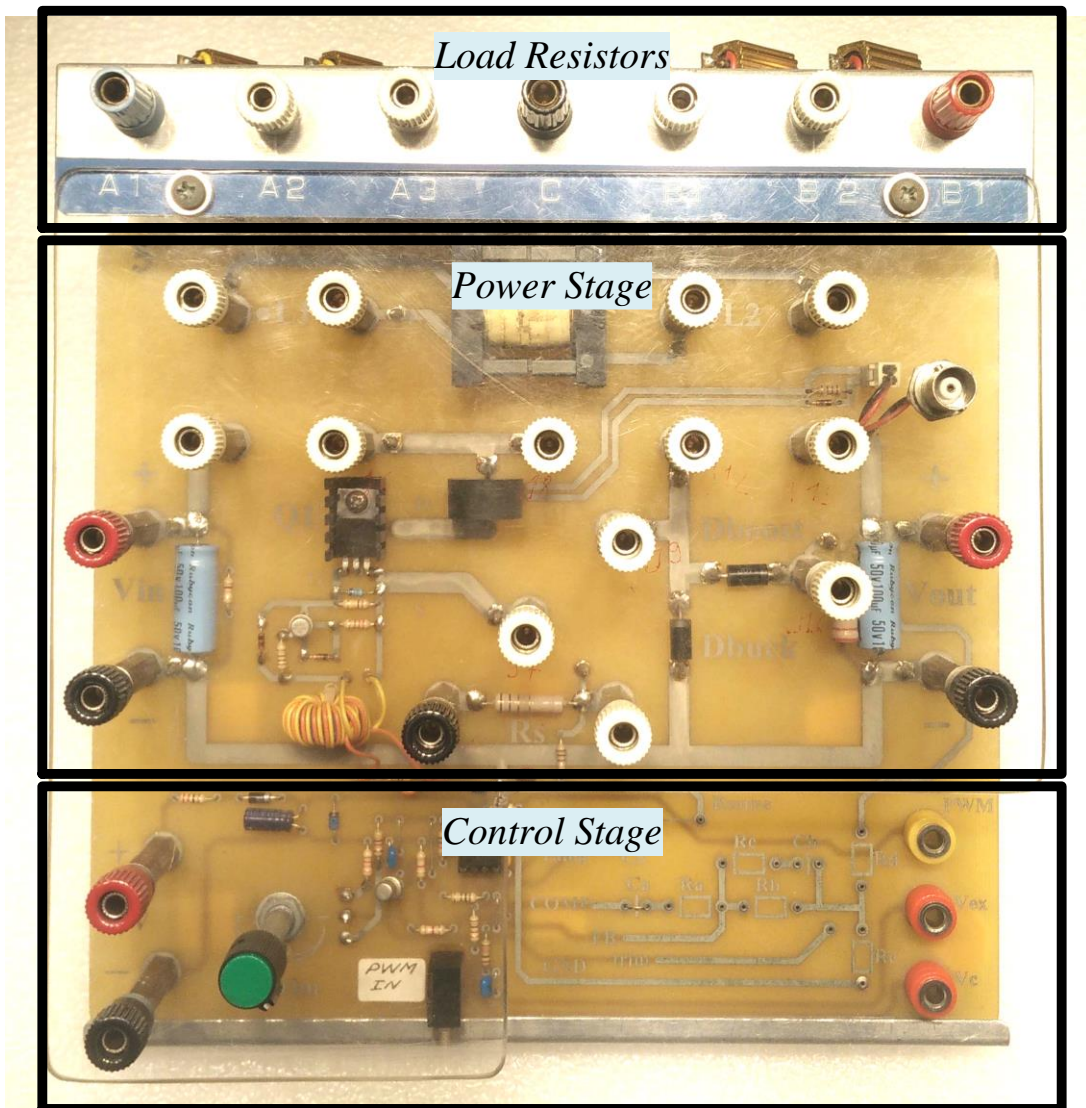
.5

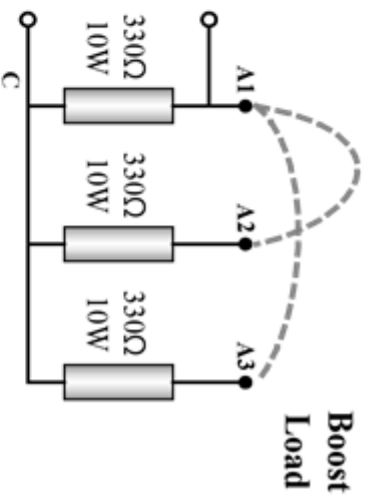
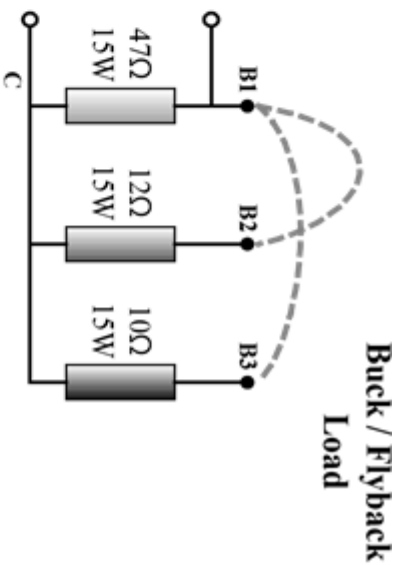
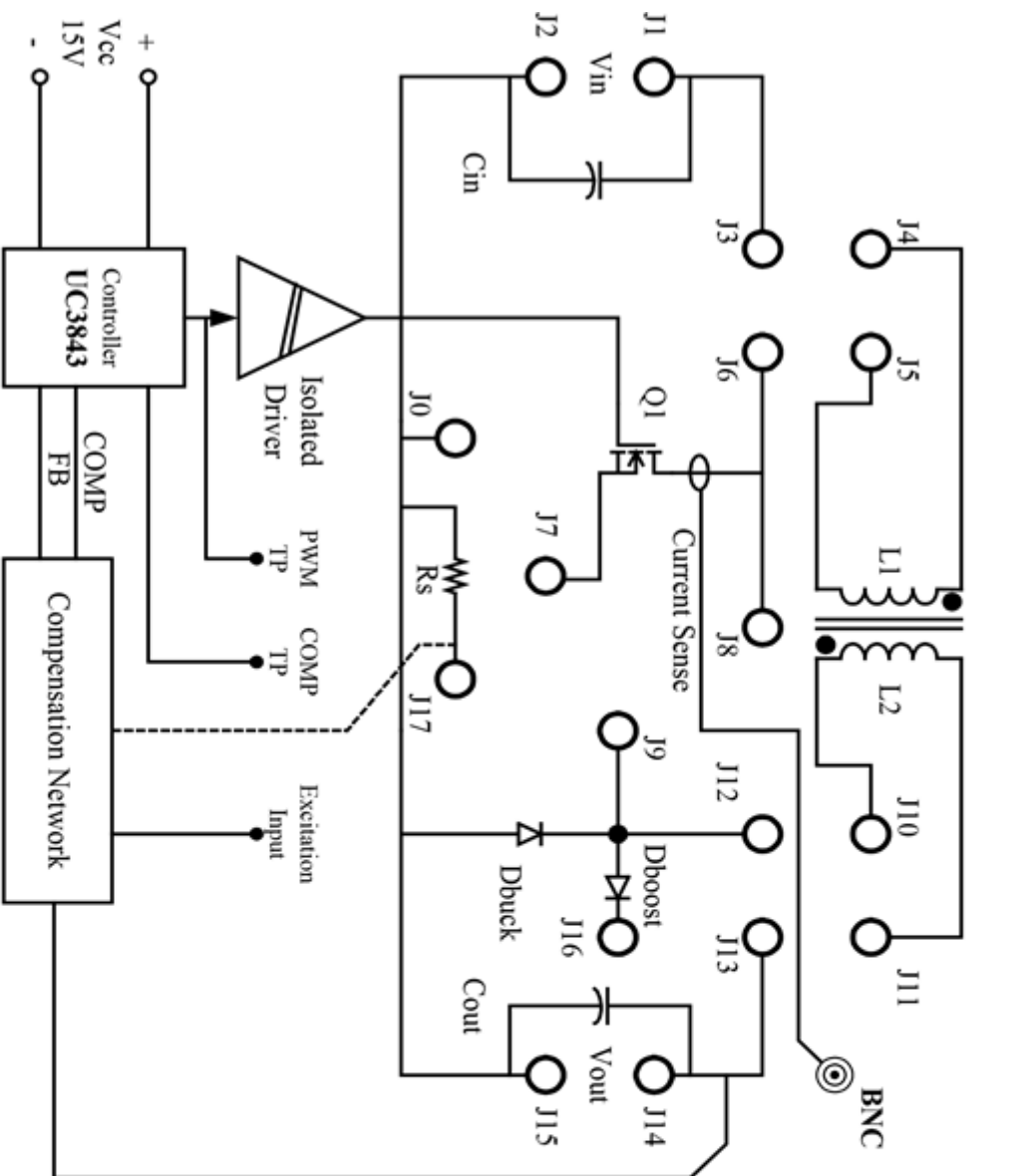
א. חבר את רשת המשוב באופן הבא :

- a. גשר את **חיישן הזרם (Rsense)** לחיבת הזרם בבקר
 b. חבר את רשת המשוב ע"פ שאלות ההכנה ל- Current Mode

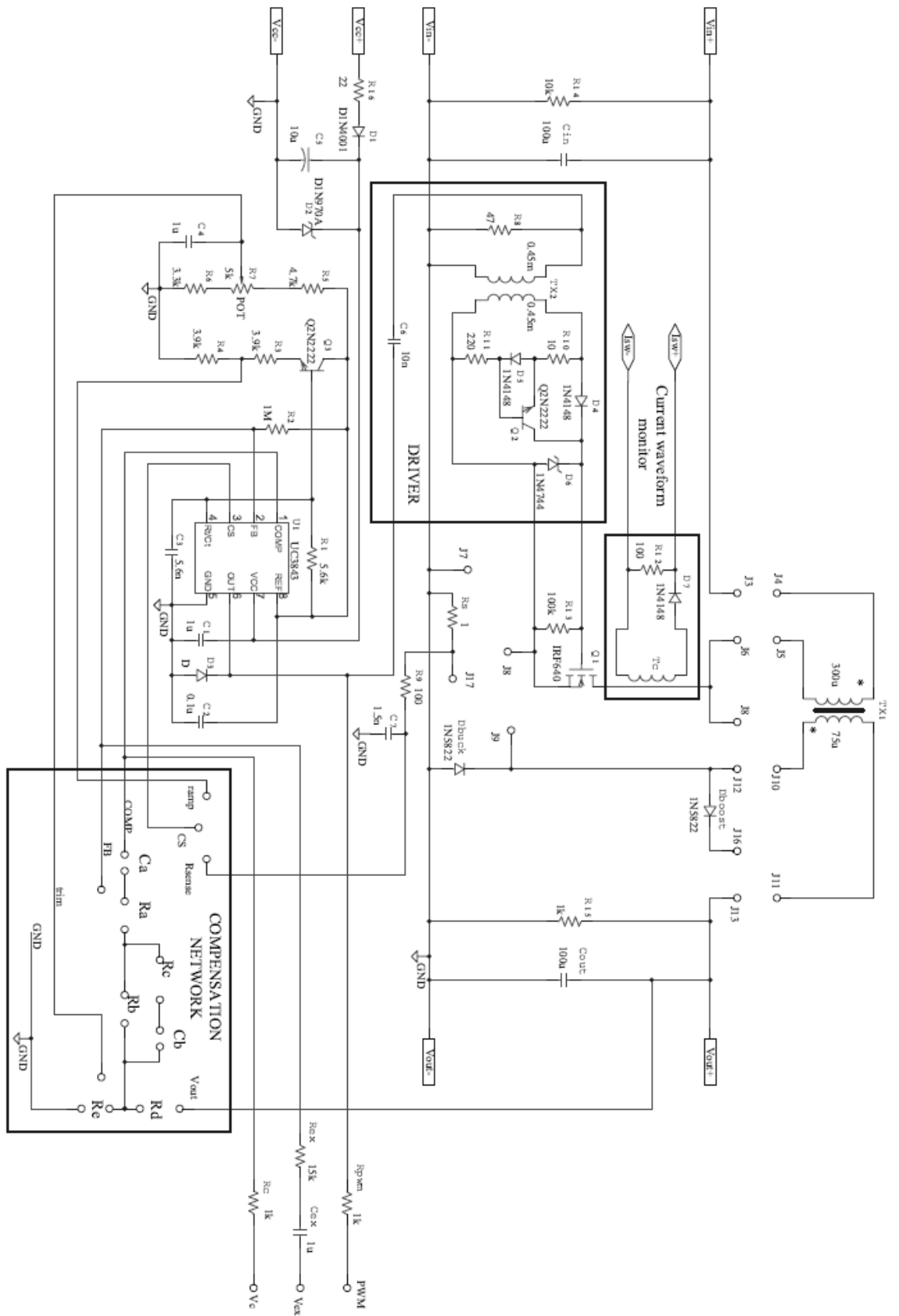
- ב. חבר למוצא עומס של 110Ω
 ג. חבר מד-מתח למוצא, ומד זרם לכניסה

הפעל את המדגם, וודא שמתח המוצא התייצב לסביבות $24V$, בדוק שהמעגל יציב עבור V_{in} בטווח $10-20V$ שמור תמונות מהמדידות בנקודות הקיצון בהן ניתן לחזות בצורות הגלים השונות.

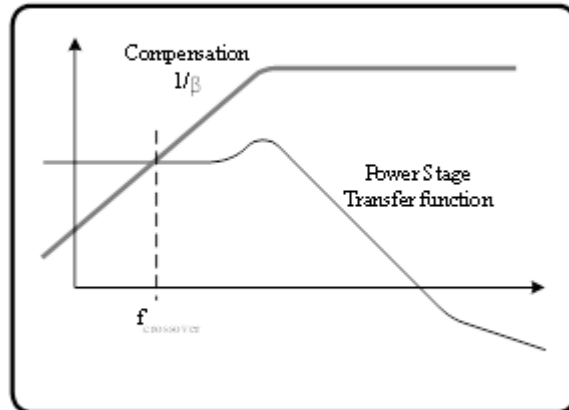
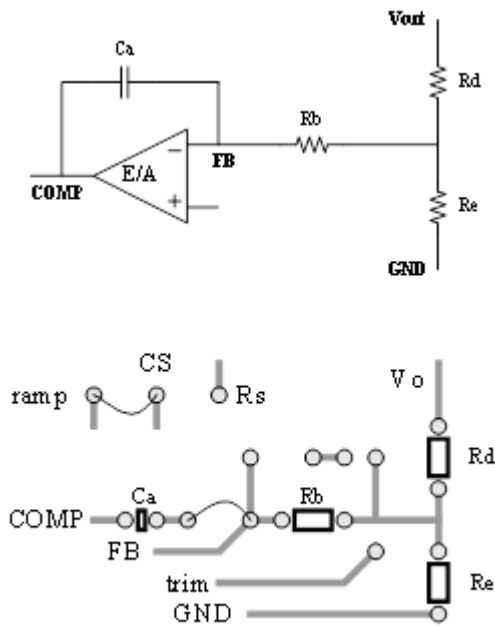




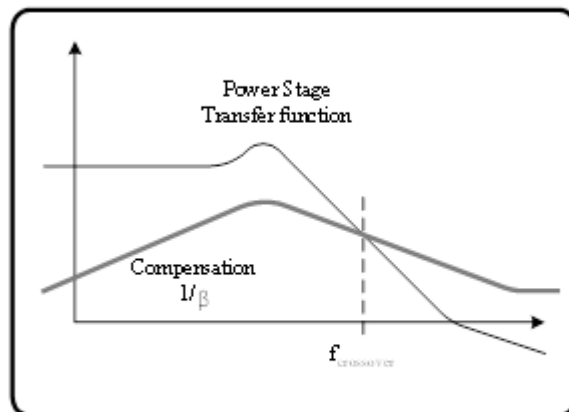
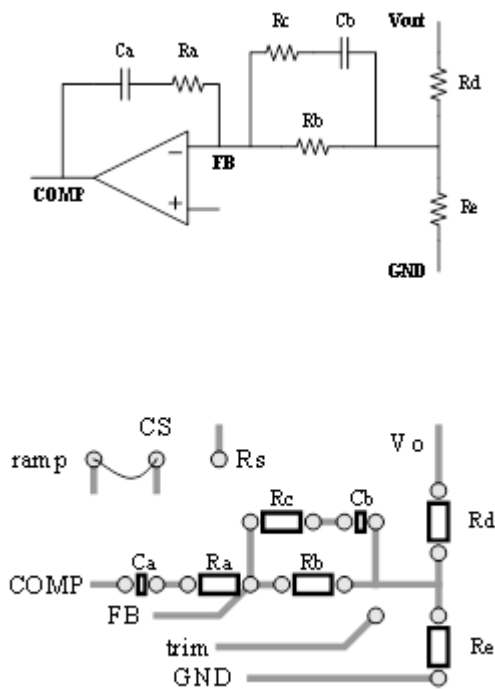
מבנה סכמתי של המדגם ועומסים



Electrical Scheme



רשת פיצוי לחוג משוב בשיטה "קוטב דומננטי" (סגירת חוג בתדר נמוך – לפני קוטב כפול של הממיר).



רשת פיצוי לחוג משוב בשיטה "קוטב כפול" (סגירת חוג בתדר גבוה – אחרי קוטב כפול של הממיר).