



Ben-Gurion University of the Negev

Faculty of Engineering Sciences

Department of Electrical and Computer Engineering

חוברת הדרכה למעבדה :

”ממירי DC-DC ממותגים”

(קורס – 36114561)

1 מבוא

המעבדה הינה חלק של קורס "ממירי DC-DC ממותגים" וכוללת שלושה ניסויים. כל ניסוי נערך בפגישה נפרדת ועוסק בטופולוגיה (מבנה) מסויימת 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! 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!

דו"ח מכין

יש להכין דו"ח מכין עבור כל אחד מניסויים. דו"ח מכין יכול סקירה על הטופולוגיה, תשובות על שאלות הכנה (ענה על שאלות 2.3-2.8 רק בדו"ח מכין ראשון), תכנון רשתות משוב, סימולצית SPICE רלוואנטית (ראה שאלות הכנה).

דו"ח מסכם

ערוך דו"ח מסכם אחד עבור שלושה ניסויים שביצעת.

צייר פונקציה תמסורת אשר נמדדה בכל ניסוי (אמפליטודה ופאזה) על גבי נייר חצי לוגריטמי. השווה עם התוצאה שנתקבלה בסימולציה.

תאר את המטרה של כל בדיקה (לפי סדר של מהלך הניסוי) ונתח תוצאות שנתקבלו עבור כל אחד מהממירים. עשה השוואה בין הממירים לגבי תוצאות שנתקבלו בבדיקות מתאימות.

2 שאלות הכנה

- 2.1 עיין במבנה של המדגם (עמוד 3) וסכמה חשמלית מלאה (ראה נספח). יש לזהות חלקים עיקריים כגון: דרגת הספק (אשר כוללת טרנזיסטור, סליל /שנאי, דיודה), דרגת בקרה (עם בקר ומעגל להרכבת רשת פיצוי), דוחף, מעגל למדידת זרם דרך טרנזיסטור (בנוי בעזרת שנאי זרם).
- 2.2 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 הרלוואנטיות.
- 2.3 עיין בדפי מפרט של הבקר (UC3843). הסבר איך נוצר "שן מסור" ואיזה רכיבים קובעים את תדר המיתוג?
- 2.4 מה תפקידם של הקבלים Cin ו-Cout (ראה עמוד 3)?
- 2.5 למה יש צורך בדוחף מבודד בממיר Buck?
- 2.6 במה מתאפיין אופן פעולה DCM?
- 2.7 הסבר את המושגים הבאים: Line regulation, Load regulation.

2.8 מה זה Snubber ? איזה סוגים של snubber קיימים? מה תפקידו? (עיין במאמר שבנספח).

2.9 תכנון חוג משוב.

תכנן רשתות משוב בעזרת סימולציה SPICE. בצע אנליזות AC למודל ממוצע בחוג פתוח ובחוג סגור. השתמש בנתונים הבאים :

Buck	$V_{in}=15V, V_{out}=5V, f_{sw}=50kHz, L=75\mu H (L_2), C_{out}=100\mu F, ESR=0.3\Omega, R_{LOAD}=4.9\Omega, V_D=0.5V$
Boost	$V_{in}=15V, V_{out}=24V, f_{sw}=50kHz, L=300\mu H (L_1), C_{out}=100\mu F, ESR=0.3\Omega, R_{LOAD}=110\Omega, V_D=0.5V$
Flyback	$V_{in}=15V, V_{out}=5V, f_{sw}=50kHz, L_p=300\mu H (L_1), L_s=75\mu H (L_2), C_{out}=100\mu F, ESR=0.3\Omega, R_{LOAD}=4.9\Omega, V_D=0.5V$

השתמש בדפי מפרט של בקר UC3843 כדי לבנות מודל של מגבר שגיאה. בצע אנליזה Transient (בחוג פתוח וחוג סגור) כדי לבחון תגובת הממיר לשינוי עומס. עבור הנגדים בחר את הערכים הקרובים מתוך סדרה סטנדרטית E24 (ראה נספח).

2.9.1 תכנן רשת פיזוי לחוג משוב בשיטה "קוטב דומננטי" (סגירת חוג בתדר נמוך – לפני קוטב כפול של הממיר – ראה עמוד 4). חשב ערכים של נגדים : R_b, R_d, R_e , וקבל C_a .

2.9.2 תכנן רשת פיזוי לחוג משוב בשיטה "קוטב כפול" (סגירת חוג בתדר גבוה – אחרי קוטב כפול של הממיר – ראה עמוד 4). חשב ערכים של נגדים : R_a, R_b, R_d, R_e , וקבלים C_a, C_b .

2.9.3 מה היתרונות והחסרונות של שתי השיטות הנ"ל? מה השפעתן על פעולת הממיר?

2.9.4* תכנן רשת פיזוי לחוג משוב עם בקרת זרם עבור ממיר Boost (Peak Current Mode Control). ערך נגד הדגימה 1Ω (ראה סכמה חשמלית בנספח). * הסעיף יבוצע לפי דרישת המדריך.

3 ציוד לניסוי

3.1 מדגם "ממירי DC-DC"

3.2 כבל Banana-Banana (שחור-5, אדום-5).

3.3 כבל BNC-BNC (1).

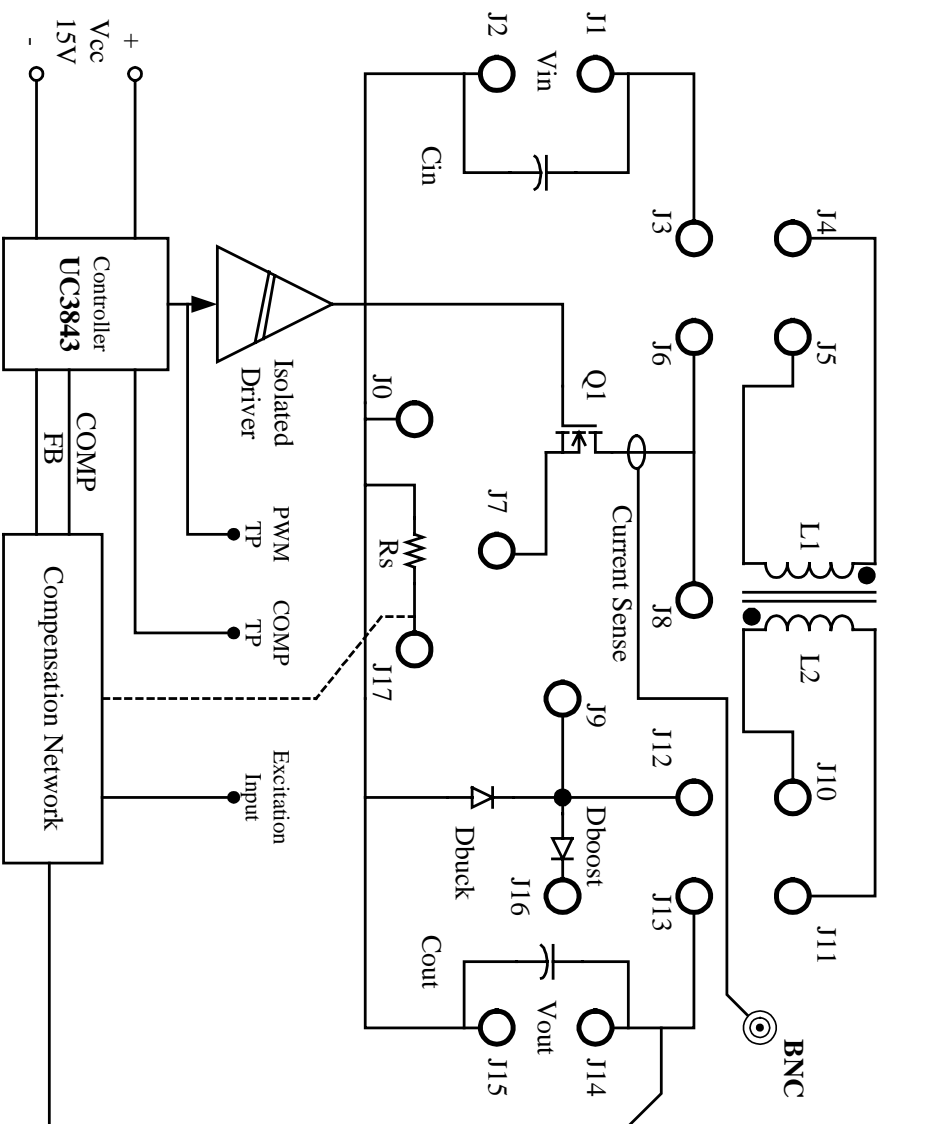
3.4 כבל BNC-Banana (3).

3.5 חוט חד-גידי AWG#26/AWG#28 (30 ס"מ).

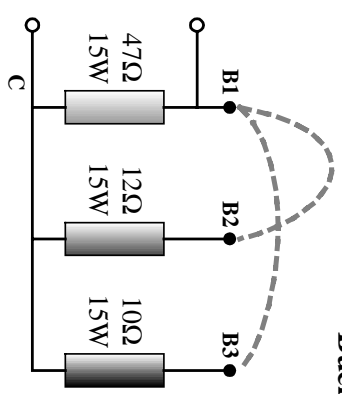
3.6 חוט חד-גידי או רב-גידי AWG#20/AWG#22 (0.5 מ' – 1 מ').

3.7 Cutter

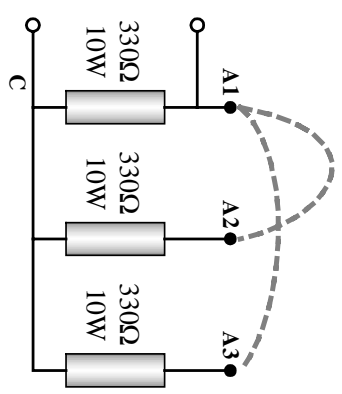
3.8 רכיבים לרשת פיזוי אשר חושבו בשאלות הכנה (נגדים – $0.25W$, קבלים – אלקטרוליטיים ו/או כרמיים).



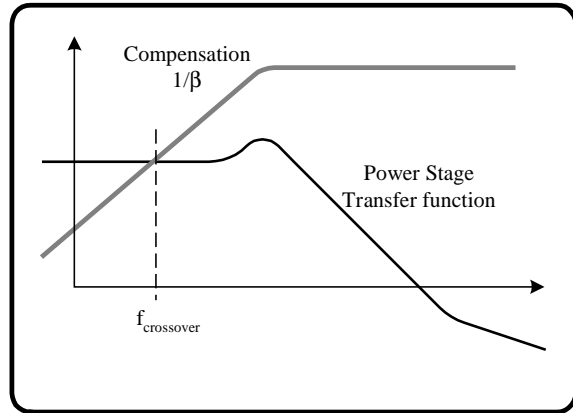
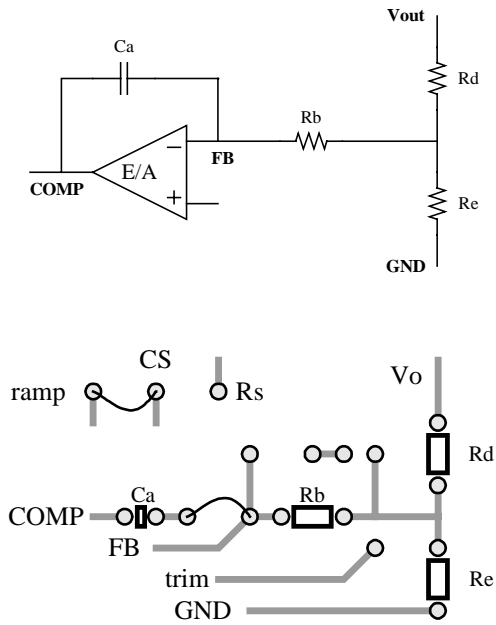
Buck / Flyback Load



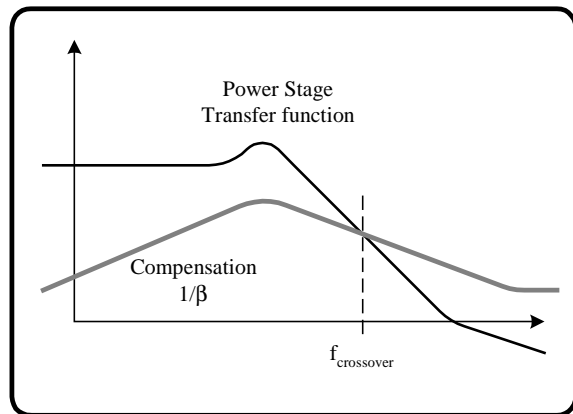
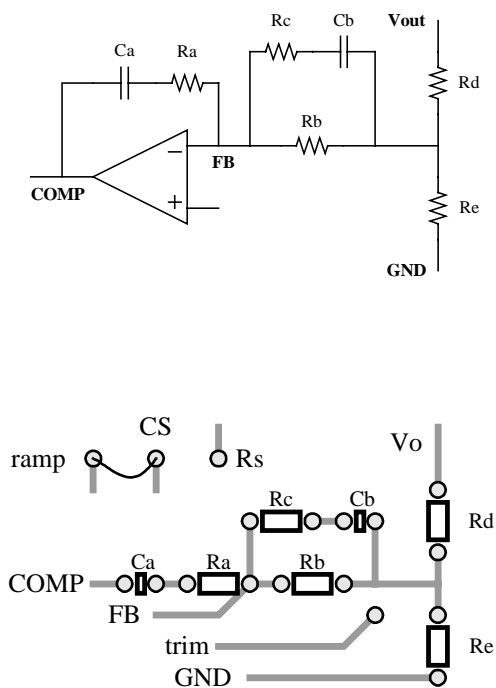
Boost Load



מבנה סכימתי של המדגם ועומסים



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



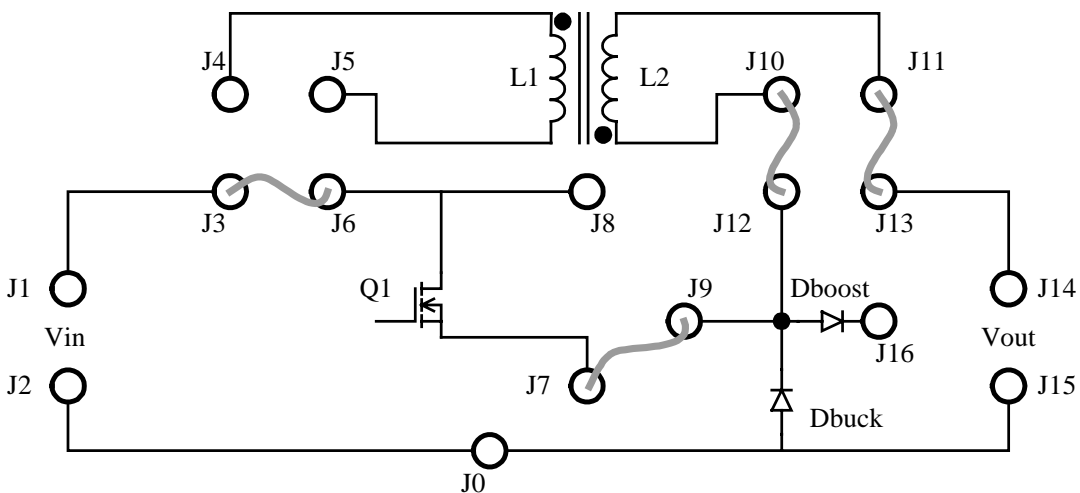
רשת פיצוי לחוג משוב בשיטה "קוטב כפול" (סגירת חוג בתדר גבוה – אחרי קוטב כפול של הממיר).
 הממיר).

מהלך הניסוי – ספק בטופולוגיה Buck.

4

- חשוב!**
- לפני תחילת הניסוי יש להגביל ספק מעבדתי לזרם מכסימלי 1A – עבור מתח הזנה V_{in} , וזרם מכסימלי 500mA – עבור מתח בקרה V_{cc} .
 - הקפד לחבר חוט אדמה של סקופ (או מחולל) בנקודה אחת (למשל J0) כדי להימנע מקצרים או חוגי אדמה.
 - לפני הפעלת המדגם וודא שלספק מחובר עומס מתאים!
 - הורד מתחי הזנה לפני כל שינוי בחיבורים.

4.1 הרכב מעגל Buck לפי שרטוט הבא :

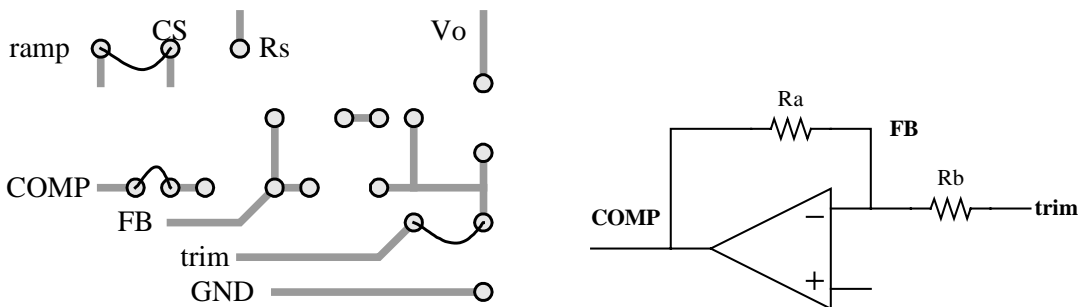


החיבורים בין המחברים שנמצאים על המדגם ייעשו בעזרת חוטים קצרים. חבר עומס 4.9Ω (במקביל) למוצא V_{out} ע"י חיבור של מחברים J14, J15 למחברים C, B1, B2, B3 (ראה מבנה סכמתי של העומסים בעמוד 3). חבר מד מתח למוצא וספק מעבדה לכניסות V_{in} ו- V_{cc} . אין להעלות מתחים בשלב זה!

הפעלת ספק בחוג פתוח.

4.2

חבר את שן מסור (ramp) לכניסה דגימת הזרם של הבקר (CS). חבר רשת נגדים סביב מגבר שגיאה של הבקר כדי לשנות Duty cycle כפי שמתואר בשרטוט. בחר נגדים R_a, R_b כך שהגבר יהיה בין 1 ל-2.



4.3 חבר ערוץ הסקופ אל מחבר PWM. העלה מתח V_{cc} ל-15V. שנה Duty cycle בעזרת כפתור "D trim" וודא שבנקודת בדיקה PWM מתקבל גל מרובע.

4.4 קבע $D=0$ (אין פולסים במוצא PWM). חבר ערוץ אחד של הסקופ ל- source (J7) של טרנזיסטור Q1, וערוץ שני למחבר BNC של שנאי זרם.

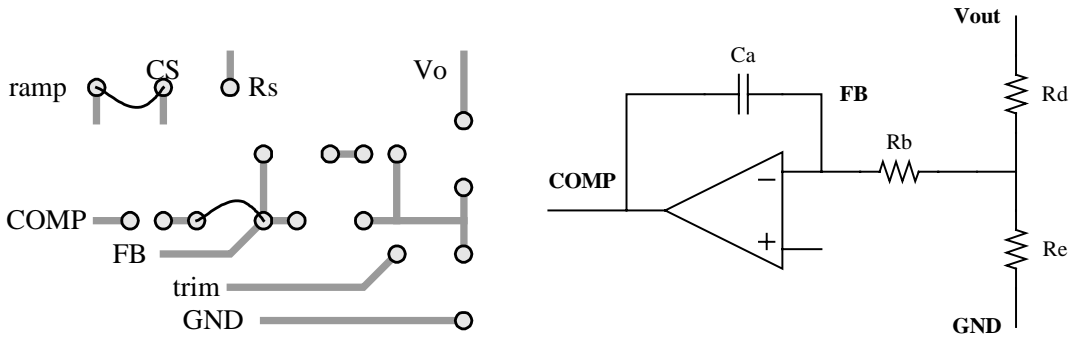
4.5 העלה מתח בכניסה V_{in} ל-15V. העלה Duty cycle בעזרת כפתור "D trim" תוך כדי צפייה בצורות גלים על גבי צג של הסקופ, עד שמתח במוצא יגיע ל-5V.

4.6 בצע מדידות הבאות:
 צפה והעתק צורות גלים (מתח בנקודה J7 - מתח על טרנזיסטור ודיודה, זרם דרך טרנזיסטור, מתח מוצא-AC).
 מדוד תדר המיתוג, Duty cycle, מתח כניסה, מתח יציאה DC, אדוות מתח מוצא, אדוות זרם דרך הסליל (יחס בין זרם הטרנזיסטור למתח במוצא של שנאי זרם הינו 1:1 - $1V=1A$). חשב ערכו של הסליל מתוך נתונים שנמדדו.
 בתום המדידות הורד Duty cycle לאפס. כבה מתחים V_{in} , V_{cc} .

4.7 מדידת פונקציה תמסורת של ספק Buck.
 חבר מחולל אותות לכניסת עירור V_{ex} (excitation) כאשר אות הוא גל סינוסי בעל מתח ממוצע אפס ומשרעת 10-20mV. ערוץ אחד של הסקופ מחובר ליציאה של המגבר COMP (V_c) וערוץ שני ליציאת הספק (V_{out}).
 העלה מתח V_{cc} ל-15V ומתח הכניסה V_{in} ל-15V. הפעל את המעגל ע"י "D trim" עד לקבלת 5V במוצא. מדוד מתח AC במוצא ומתח V_c בתחום תדרים 100Hz-10kHz כדי לקבל פונקצית תמסורת V_{out}/V_c . מדוד הפרש מופע בין שני האותות.
 כדאי למדוד מתח peak-to-peak לפי מעטפת האות. לנוחיות המדידה יש לסנכרן סקופ לפי אות הסינכרון של המחולל.
 רשום תוצאות בטבלה:

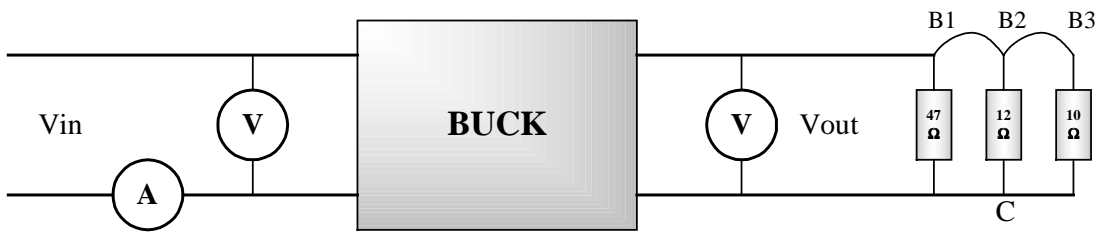
f [Hz]	V_{out} [mV]	V_c [mV]	V_{out}/V_c [dB]	Δt [μs]	ϕ [deg]
100					
200					
300					
400					
500					
600					
700					
800					
900					
1k					
2k					
3k					
4k					
5k					
6k					
7k					
8k					
9k					
10k					

4.8 הפעלת ספק בחוג סגור בעזרת חוג משוב בשיטה "קוטב דומננטי":
 הרכב רשת משוב (לפי ערכים שחושבו בעזרת סימולציה) בצורה המתוארת בשרטוט הבא :



4.9 הפעל את המדגם. וודא שמתח המוצא התייצב על 5V. בדוק יציבות ע"י שינוי מתח כניסה V_{in} בגבולות 10-20V. צפה בצורות הגלים ובשינוי Duty cycle כתוצאה משינוי מתח הכניסה.

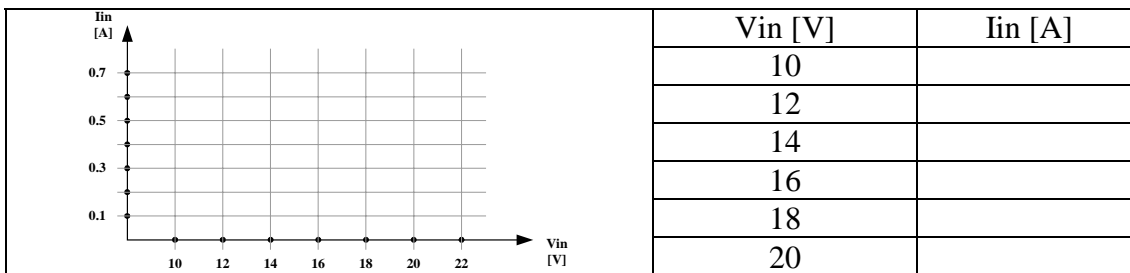
4.10 מדידת נצילות עבור מתחי כניסה שונים.
 חבר מד מתח וזרם לפי שרטוט הבא :



הפעל את המדגם. מדוד הספק כניסה, הספק יציאה ונצילות עבור שלושה מתחי כניסה שונים ועומס קבוע (4.9Ω). הקפד על יציבות מתח מוצא. רשום תוצאות בטבלה :

V_{in} [V]	I_{in} [A]	P_{in} [W]	V_{out} [V]	P_{out} [W]	Eff. [%]
10					
15					
20					

4.11 מדידת התנגדות כניסה דינמית.
 הפעל את המדגם. מדוד זרם כניסה עבור מתחי כניסה שונים ועומס קבוע (4.9Ω). רשום תוצאות בטבלה וצייר אופיין זרם-מתח :



תן הסבר לצורת האופיין שנתקבל.

4.12

מדידת נצילות עבור עומסים שונים.
 הפעל את המדגם. מדוד הספק כניסה, הספק יציאה ונצילות עבור שלושה עומסים שונים ומתח כניסה קבוע (15V). כבה מתח כניסה לפני כל שינוי עומס. רשום תוצאות בטבלה:

Rload [Ω]	Iin [A]	Pin [W]	Vout [V]	Pout [W]	Eff. [%]
4.9 (10 12 47)					
9.5 (12 47)					
47					

4.13

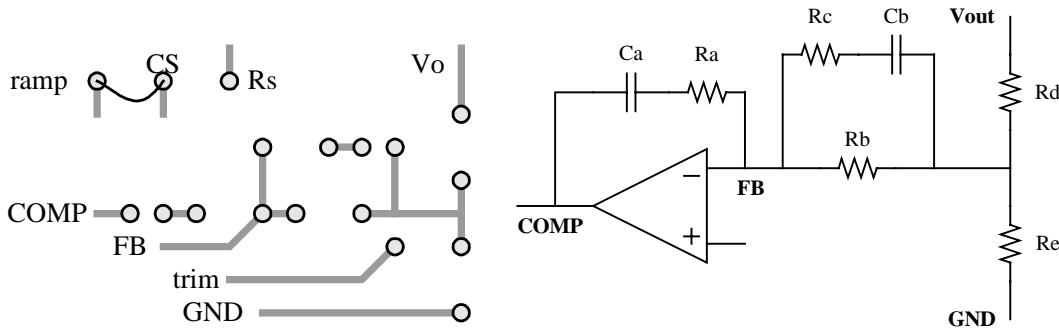
פעולת ספק במצב DCM.
 הפעל את המדגם עם עומס 47Ω . צפה והעתק צורות גלים (מתח source וזרם דרך הטרנזיסטור). תן הסבר לצורה סינוסואידלית של המתח.

4.14

חיבור snubber לדיודה.
 הפעל את המדגם עם עומס מכסימלי (4.9Ω). חבר R-C snubber במקביל לדיודה. מהו שינוי בצורת המתח על דיודה?

4.15

הפעלת ספק בחוג סגור בעזרת חוג משוב בשיטה "קוטב כפול".
 הרכב רשת משוב (לפי ערכים שחושבו בעזרת סימולציה) בצורה המתוארת בשרטוט הבא:



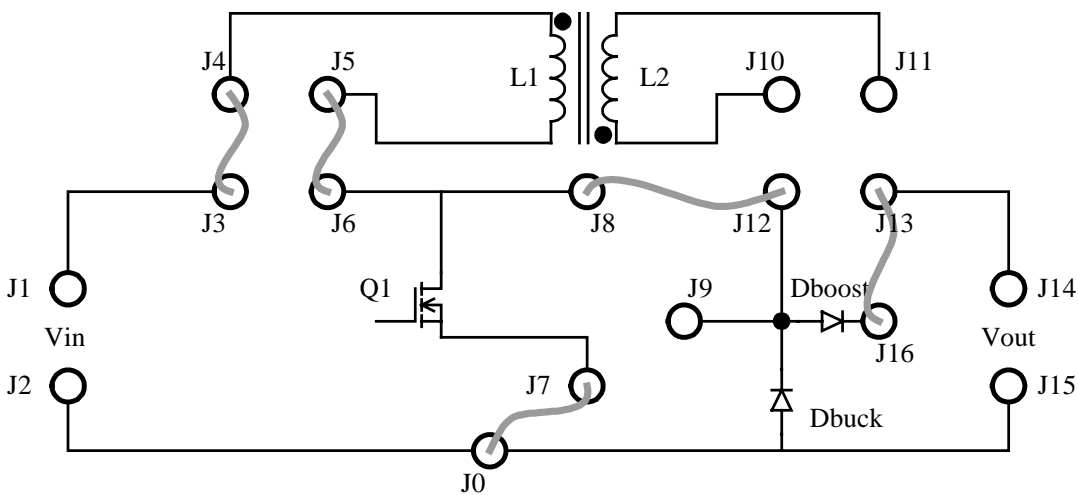
4.16

הפעל את המדגם. וודא שמתח המוצא התייצב על 5V. בדוק יציבות ע"י שינוי מתח כניסה Vin בגבולות 10-20V. צפה בצורות הגלים ובשינוי Duty cycle כתוצאה משינוי מתח הכניסה.

5 מהלך הניסוי – ספק בטופולוגיית Boost

- חשוב!**
- לפני תחילת הניסוי יש להגביל ספק מעבדתי לזרם מכסימלי 1.5A – עבור מתח הזנה V_{in} , וזרם מכסימלי 500mA – עבור מתח בקרה V_{cc} .
 - הקפד לחבר חוט אדמה של סקופ (או מחולל) בנקודה אחת (למשל J0) כדי להימנע מקצרים או חוגי אדמה.
 - לפני הפעלת המדגם וודא שלספק מחובר עומס מתאים!
 - הורד מתחי הזנה לפני כל שינוי בחיבורים.

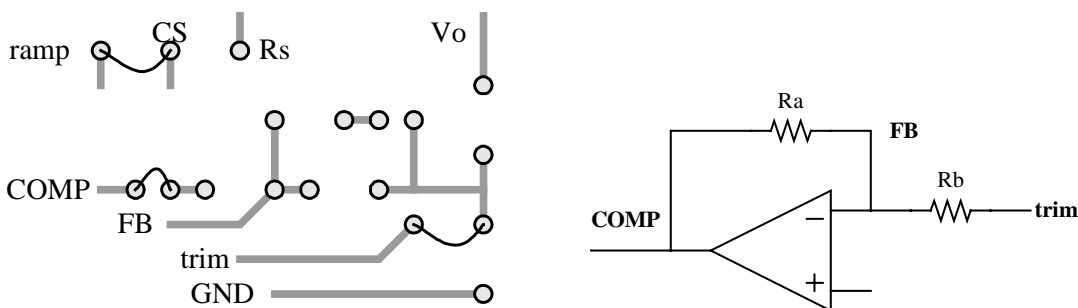
5.1 הרכב מעגל Boost לפי שרטוט הבא:



החיבורים בין המחברים שנמצאים על המדגם ייעשו בעזרת חוטים קצרים. חבר עומס 110Ω (שלושה נגדי 330Ω במקביל) למוצא V_{out} ע"י חיבור של מחברים J14, J15 למחברים C, A1, A2, A3. חבר מד מתח למוצא וספק מעבדה לכניסות V_{in} ו- V_{cc} . אין להעלות מתחים בשלב זה!

5.2 הפעלת ספק בחוג פתוח.

חבר את שן מסור (ramp) לכניסה דגימת הזרם של הבקר (CS). חבר רשת נגדים סביב המגבר כדי לשנות Duty cycle כפי שמתואר בשרטוט. בחר נגדים R_a, R_b כך שהגבר יהיה בין 1 ל-2.



5.3 חבר ערוץ הסקופ אל מחבר PWM. העלה מתח V_{cc} ל-15V. שנה Duty cycle בעזרת כפתור "D trim" וודא שבנקודת בדיקה PWM מתקבל גל מרובע.

5.4 קבע $D=0$ (אין פולסים במוצא PWM). חבר ערוץ אחד של הסקופ ל- drain (J8) של טרנזיסטור Q1, וערוץ שני למחבר BNC של שנאי זרם.

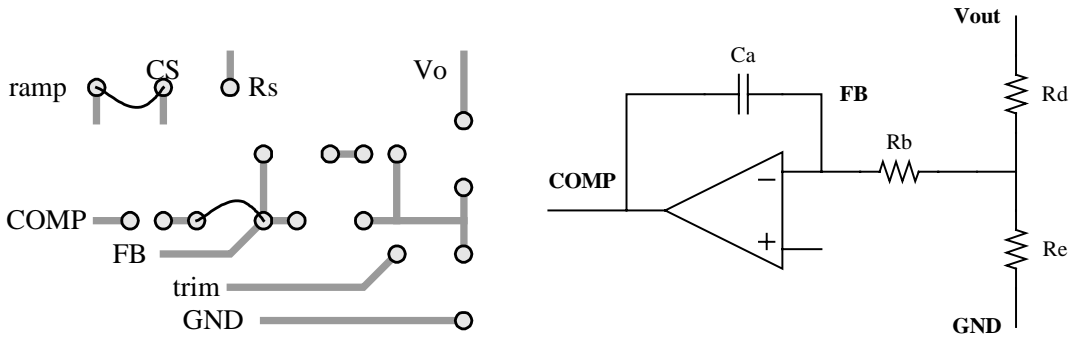
5.5 העלה מתח בכניסה V_{in} ל-15V. העלה Duty cycle בעזרת כפתור "D trim" תוך כדי צפייה בצורות גלים על גבי צג של הסקופ, עד שמתח במוצא יגיע ל-24V.

5.6 בצע מדידות הבאות:
צפה והעתק צורות גלים (מתח בנקודה J8 - מתח על טרנזיסטור ודיודה, זרם דרך טרנזיסטור, מתח מוצא-AC).
מדוד תדר המיתוג, Duty cycle, מתח כניסה, מתח יציאה DC, אדוות מתח מוצא, אדוות זרם דרך הסליל (יחס בין זרם הטרנזיסטור למתח במוצא של שנאי זרם הינו 1:1 - $1V=1A$). חשב ערכו של הסליל מתוך נתונים שנמדדו.
בתום המדידות הורד Duty cycle לאפס. כבה מתחים V_{in} , V_{cc} .

5.7 מדידת פונקציה תמסורת של ספק Boost.
חבר מחולל אותות לכניסת עירור V_{ex} (excitation) כאשר אות הוא גל סינוסי בעל מתח ממוצע אפס ומשרעת 10-20mV. ערוץ אחד של הסקופ מחובר ליציאה של המגבר COMP (V_c) וערוץ שני ליציאת הספק (V_{out}).
העלה מתח V_{cc} ל-15V ומתח הכניסה V_{in} ל-15V. הפעל את המעגל ע"י "D trim" עד לקבלת 24V במוצא. מדוד מתח AC במוצא ומתח V_c בתחום תדרים 100Hz-10kHz כדי לקבל פונקציה תמסורת V_{out}/V_c . מדוד הפרש מופע בין שני האותות.
כדאי למדוד מתח peak-to-peak לפי מעטפת האות. לנוחיות המדידה יש לסנכרן סקופ לפי אות הסינכרון של המחולל.
רשום תוצאות בטבלה:

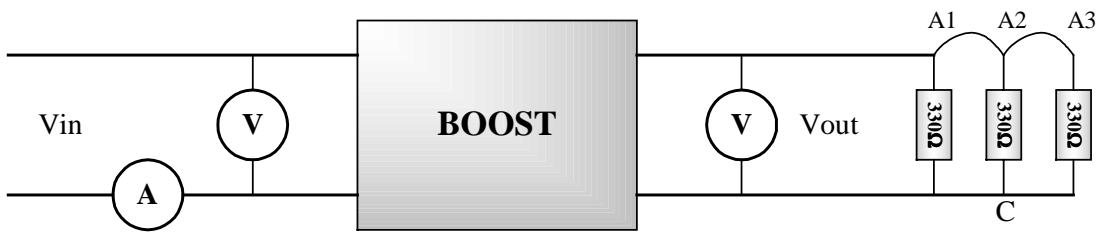
f [Hz]	V_{out} [mV]	V_c [mV]	V_{out}/V_c [dB]	Δt [μs]	ϕ [deg]
100					
200					
300					
400					
500					
600					
700					
800					
900					
1k					
2k					
3k					
4k					
5k					
6k					
7k					
8k					
9k					
10k					

5.8 הפעלת ספק בחוג סגור בעזרת חוג משוב בשיטה "קוטב דומננטי":
 הרכב רשת משוב (לפי ערכים שחושבו בעזרת סימולציה) בצורה המתוארת בשרטוט הבא :



5.9 הפעל את המדגם. וודא שמתח המוצא התייצב על 24V. בדוק יציבות ע"י שינוי מתח כניסה V_{in} בגבולות 10-20V. צפה בצורות הגלים ובשינוי Duty cycle כתוצאה משינוי מתח הכניסה.

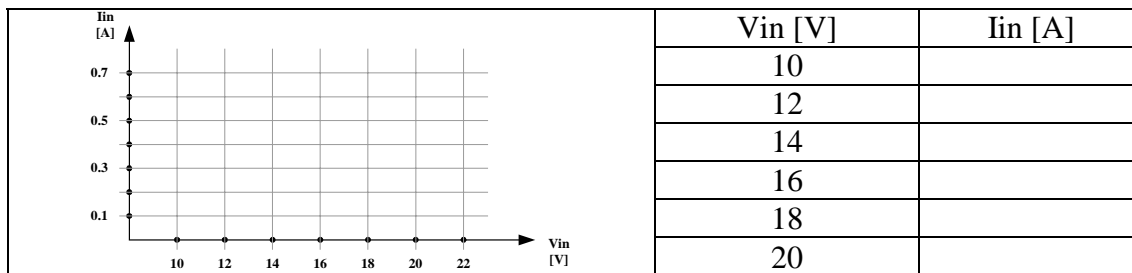
5.10 מדידת נצילות עבור מתחי כניסה שונים.
 חבר מד מתח זרם לפי שרטוט הבא :



הפעל את המדגם. מדוד הספק כניסה, הספק יציאה ונצילות עבור שלושה מתחי כניסה שונים ועומס קבוע (110Ω). הקפד על יציבות מתח מוצא. רשום תוצאות בטבלה :

V_{in} [V]	I_{in} [A]	P_{in} [W]	V_{out} [V]	P_{out} [W]	Eff. [%]
10					
15					
20					

5.11 מדידת התנגדות כניסה דינמית.
 הפעל את המדגם. מדוד זרם כניסה עבור מתחי כניסה שונים ועומס קבוע (110Ω). רשום תוצאות בטבלה וצייר אופיין זרם-מתח :



תן הסבר לצורת האופיין שנתקבל.

5.12

מדידת נצילות עבור עומסים שונים.
 הפעל את המדגם. מדוד הספק כניסה, הספק יציאה ונצילות עבור שלושה עומסים שונים ומתח כניסה קבוע (15V). כבה מתח כניסה לפני כל שינוי עומס. רשום תוצאות בטבלה:

Rload [Ω]	Iin [A]	Pin [W]	Vout [V]	Pout [W]	Eff. [%]
110 (330 330 330)					
165 (330 330)					
330					

5.13

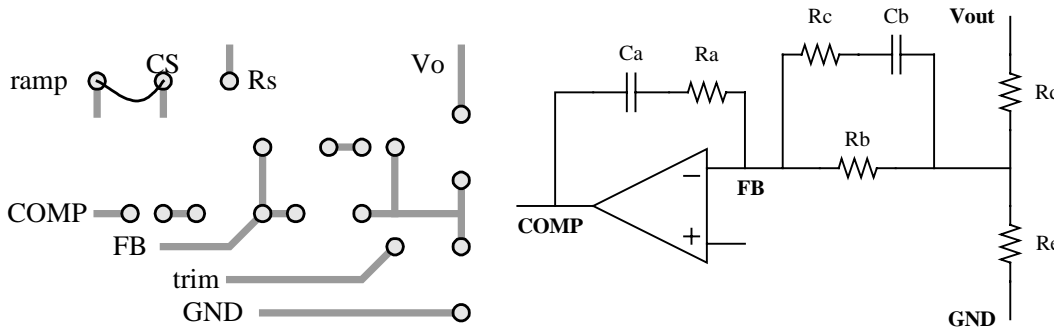
פעולת ספק במצב DCM.
 הפעל את המדגם עם עומס 330Ω . צפה והעתק צורות גלים (מתח drain וזרם דרך הטרנזיסטור). תן הסבר לצורה סינוסואידלית של המתח.

5.14

חיבור snubber לדיודה.
 הפעל את המדגם עם עומס מכסימלי (110Ω). חבר R-C snubber במקביל לדיודה. מהו שינוי בצורת המתח על דיודה?

5.15

הפעלת ספק בחוג סגור בעזרת חוג משוב בשיטה "קוטב כפול".
 הרכב רשת משוב (לפי ערכים שחושבו בעזרת סימולציה) בצורה המתוארת בשרטוט הבא:



5.16

הפעל את המדגם. וודא שמתח המוצא התייצב על 24V. בדוק יציבות ע"י שינוי מתח כניסה V_{in} בגבולות 10-20V. צפה בצורות הגלים ובשינוי Duty cycle כתוצאה משינוי מתח הכניסה.

סעיפים 5.17-5.25 מתייחסים לפעולת ממיר Boost המבוקר בשיטה Peak Current Mode (יש לבצע על פי בחירת המדריך).

5.17

חבר source של טרנזיסטור Q1 לאדמה דרך נגד דגימה R_s (מחבר J17).

5.18

בצע חיבורים כמו בסעיף 5.2 למעט חיבור של Current Sense אשר במקרה זה יחובר לנגד דגימת זרם R_s .

5.19 חזור על סעיף 5.7 - מדוד פונקציה תמסורת V_o/V_c וערוך תוצאות בטבלה.

f [Hz]	Vout [mV]	Vc [mV]	Vout/Vc [dB]	Δt [μ s]	ϕ [deg]
100					
200					
300					
400					
500					
600					
700					
800					
900					
1k					
2k					
3k					
4k					
5k					
6k					
7k					
8k					
9k					
10k					

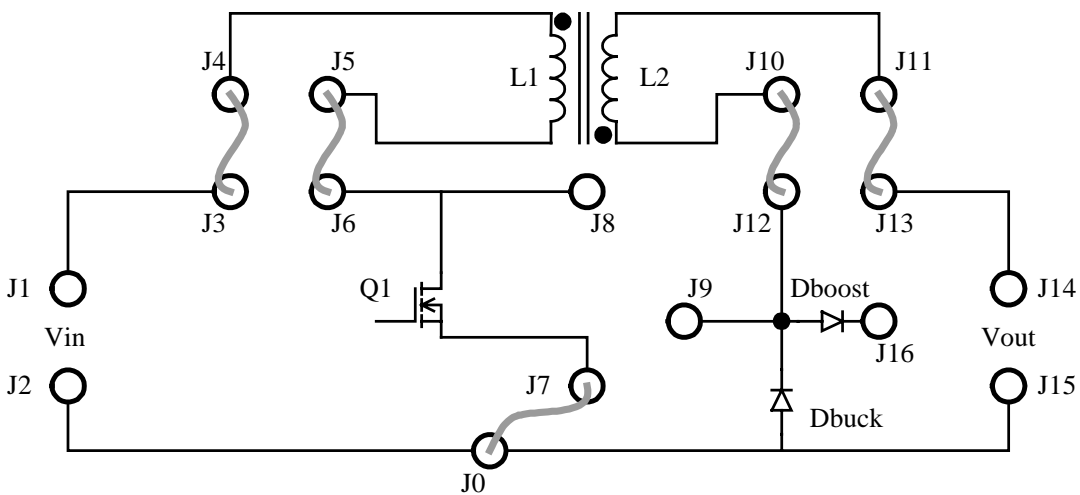
5.20 הפעלת ספק בחוג סגור.
הרכב רשת משוב (לפי ערכים שחושבו לפני ונבדקו בעזרת סימולציה).

5.21 הפעל את המדגם. וודא שמתח המוצא התייצב על 24V. בדוק יציבות ע"י שינוי מתח כניסה V_{in} בגבולות 10-20V. צפה בצורות הגלים ובשינוי Duty cycle כתוצאה משינוי מתח הכניסה.

6 מהלך הניסוי – ספק בטופולוגיה Flyback.

- חשוב!**
- לפני תחילת הניסוי יש להגביל ספק מעבדתי לזרם מכסימלי 1A – עבור מתח הזנה V_{in} , וזרם מכסימלי 500mA – עבור מתח בקרה V_{cc} .
 - הקפד לחבר חוט אדמה של סקופ (או מחולל) בנקודה אחת (למשל J0) כדי להימנע מקצרים או חוגי אדמה.
 - לפני הפעלת המדגם וודא שלספק מחובר עומס מתאים!
 - הורד מתחי הזנה לפני כל שינוי בחיבורים.

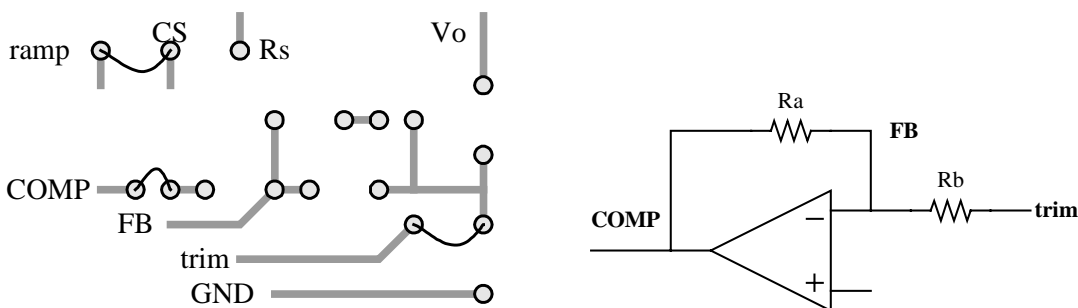
6.1 הרכב מעגל Flyback לפי שרטוט הבא :



החיבורים בין המחברים שנמצאים על המדגם ייעשו בעזרת חוטים קצרים. חבר עומס 4.9Ω (במקביל) למוצא V_{out} ע"י חיבור של מחברים J14, J15 למחברים C, B1, B2, B3 (ראה מבנה סכמתי של העומסים בעמוד 3). חבר מד מתח למוצא וספק מעבדה לכניסות V_{in} ו- V_{cc} . אין להעלות מתחים בשלב זה!

6.2 הפעלת ספק בחוג פתוח.

חבר את שן מסור (ramp) לכניסה דגימת הזרם של הבקר (CS). חבר רשת נגדים סביב המגבר כדי לשנות Duty cycle כפי שמתואר בשרטוט. בחר נגדים R_a, R_b כך שהגבר יהיה בין 1 ל-2.



6.3 חבר ערוץ הסקופ אל מחבר PWM. העלה מתח V_{cc} ל-15V. שנה Duty cycle בעזרת כפתור "D trim" וודא שבנקודת בדיקה PWM מתקבל גל מרובע.

6.4 קבע $D=0$ (אין פולסים במוצא PWM). חבר ערוץ אחד של הסקופ ל- drain (J8) של טרנזיסטור Q1, וערוץ שני למחבר BNC של שנאי זרם.

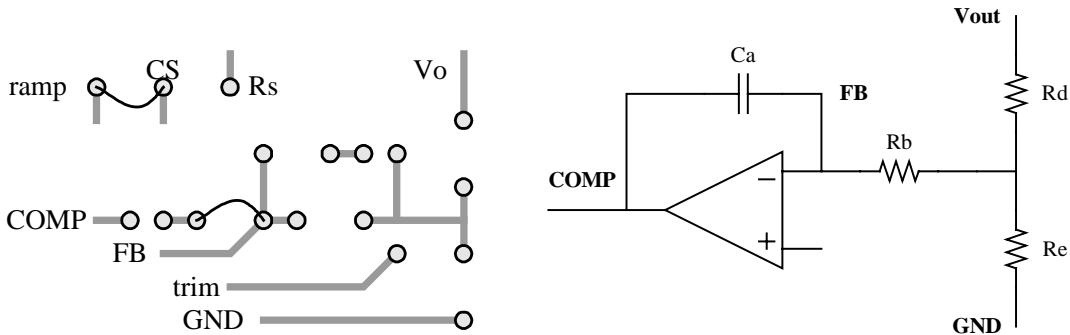
6.5 העלה מתח בכניסה V_{in} ל-15V. העלה Duty cycle בעזרת כפתור "D trim" תוך כדי צפייה בצורות גלים על גבי צג של הסקופ, עד שמתח במוצא יגיע ל-5V.

6.6 בצע מדידות הבאות:
צפה והעתק צורות גלים (מתח בנקודה J8 - מתח על טרנזיסטור, J12 - מתח על דיודה, זרם דרך טרנזיסטור, מתח מוצא-AC).
מדוד תדר המיתוג, Duty cycle, מתח כניסה, מתח יציאה DC, אדוות מתח מוצא, אדוות זרם דרך הסליל (ראשוני). חשב ערכו של הסליל מתוך נתונים שנמדדו.
בתום המדידות הורד Duty cycle לאפס. כבה מתחים V_{in} , V_{cc} .

6.7 מדידת פונקציה תמסורת של ספק Flyback.
חבר מחולל אותות לכניסת עירור V_{ex} (excitation) כאשר אות הוא גל סינוסי בעל מתח ממוצע אפס ומשרעת 10-20mV. ערוץ אחד של הסקופ מחובר ליציאה של המגבר COMP (V_c) וערוץ שני ליציאת הספק (V_{out}).
העלה מתח V_{cc} ל-15V ומתח הכניסה V_{in} ל-15V. הפעל את המעגל ע"י "D trim" עד לקבלת 5V במוצא. מדוד מתח AC במוצא ומתח V_c בתחום תדרים 100Hz-10kHz כדי לקבל פונקצית תמסורת V_{out}/V_c . מדוד הפרש מופע בין שני האותות.
כדאי למדוד מתח peak-to-peak לפי מעטפת האות. לנוחיות המדידה יש לסנכרן סקופ לפי אות הסינכרון של המחולל.
רשום תוצאות בטבלה:

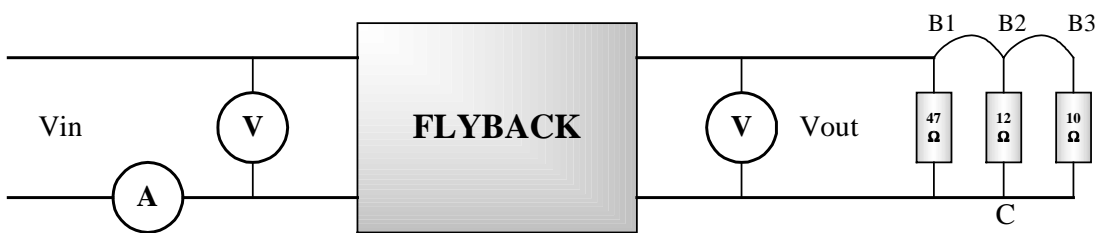
f [Hz]	V_{out} [mV]	V_c [mV]	V_{out}/V_c [dB]	Δt [μs]	ϕ [deg]
100					
200					
300					
400					
500					
600					
700					
800					
900					
1k					
2k					
3k					
4k					
5k					
6k					
7k					
8k					
9k					
10k					

6.8 הפעלת ספק בחוג סגור בעזרת חוג משוב בשיטה "קוטב דומננטי".
 הרכב רשת משוב (לפי ערכים שחושבו בעזרת סימולציה) בצורה המתוארת בשרטוט הבא :



6.9 הפעל את המדגם. וודא שמתח המוצא התייצב על 5V. בדוק יציבות ע"י שינוי מתח כניסה V_{in} בגבולות 10-20V. צפה בצורות הגלים ובשינוי Duty cycle כתוצאה משינוי מתח הכניסה.

6.10 מדידת נצילות עבור מתחי כניסה שונים.
 חבר מד מתח וזרם לפי שרטוט הבא :

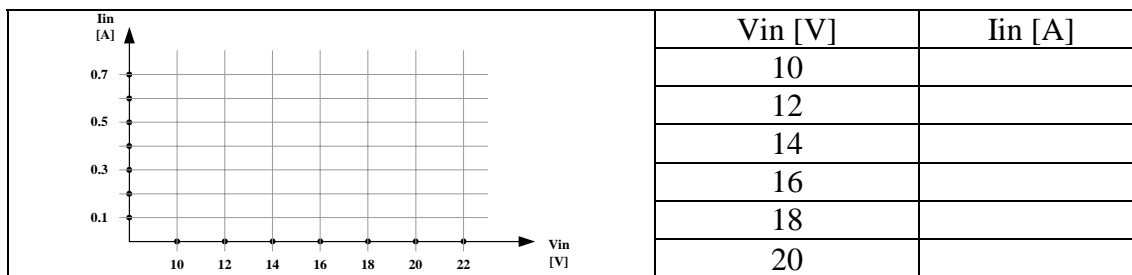


הפעל את המדגם. מדוד הספק כניסה, הספק יציאה ונצילות עבור שלושה מתחי כניסה שונים ועומס קבוע (4.9Ω) . הקפד על יציבות מתח מוצא. רשום תוצאות בטבלה :

V_{in} [V]	I_{in} [A]	P_{in} [W]	V_{out} [V]	P_{out} [W]	Eff. [%]
10					
15					
20					

6.11 מדידת התנגדות כניסה דינמית.

הפעל את המדגם. מדוד זרם כניסה עבור מתחי כניסה שונים ועומס קבוע (4.9Ω) . רשום תוצאות בטבלה וצייר אופיין זרם-מתח :



תן הסבר לצורת האופיין שנתקבל.

6.12

מדידת נצילות עבור עומסים שונים.
 הפעל את המדגם. מדוד הספק כניסה, הספק יציאה ונצילות עבור שלושה עומסים שונים ומתח כניסה קבוע (15V). כבה מתח כניסה לפני כל שינוי עומס.
 רשום תוצאות בטבלה:

Rload [Ω]	Iin [A]	Pin [W]	Vout [V]	Pout [W]	Eff. [%]
4.9 (10 12 47)					
9.5 (12 47)					
47					

6.13

פעולת ספק במצב DCM.
 הפעל את המדגם עם עומס 47Ω . צפה והעתק צורות גלים (מתח source וזרם דרך הטרנזיסטור). תן הסבר לצורה סינשוואידלית של המתח.

6.14

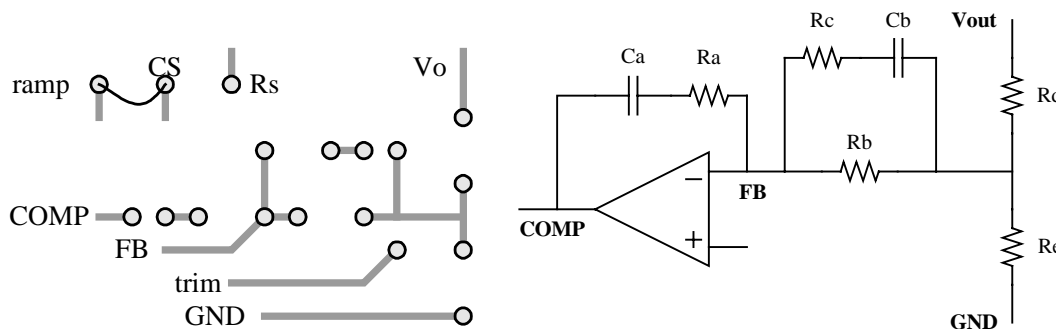
חיבור snubber לטרנזיסטור.
 הפעל את המדגם עם עומס מכסימלי (4.9Ω). חבר snubber R-C-D בין drain (J6) של הטרנזיסטור למתח כניסה Vin (J3). מהו שינוי בצורת מתח על הטרנזיסטור (V_{DS})?

6.14

חיבור snubber לדיודה.
 הפעל את המדגם עם עומס מכסימלי (4.9Ω). חבר snubber R-C במקביל לדיודה. מהו שינוי בצורת המתח על דיודה?

6.15

הפעלת ספק בחוג סגור בעזרת חוג משוב בשיטה "קוטב כפול".
 הרכב רשת משוב (לפי ערכים שחושבו בעזרת סימולציה) בצורה המתוארת בשרטוט הבא:



6.16

הפעל את המדגם. וודא שמתח המוצא התייצב על 5V. בדוק יציבות ע"י שינוי מתח כניסה Vin בגבולות 10-20V. צפה בצורות הגלים ובשינוי Duty cycle כתוצאה משינוי מתח הכניסה.