

1.1 מפגש ראשון – חלק א' הכרת הכרטיס וממיר מסוג BOOST

בחלק ראשון של הניסוי אנו נכיר את הכרטיס ונעבוד עם ממיר מסוג BOOST. אנא עבדו לפי ההנחיות.

1.1.1 הכרת הכרטיס – עבודה עם מתנד רוחב הסרט PWM

בחלק הזה אנו נפעיל את ה PWM ונבצע מדידות נדרשות כדי להכיר את הציד ונלמד על פעולת רכיבי התזמון 555, כדי להפעיל את ה PWM אנו צריכים להפעיל רק הספק הכוח המשני (auxiliary power supply)

- ודא שלא מחובר כלום לכרטיס וכוון את המתח ל ערך $12V < V_{DD} < 13V$, והזרם ל 0.
- חבר את מקור המתח להדקים המתאימים בכרטיס, נא שים לב שהחיבור נכון
- הפעל את האוצילוסקופ ומודדי המתח

(1) העבר את המתג למצב שליטה של הפוטנציומטר אשר מסומן ב (POT) ומדוד בעזרת האוצילוסקופ את תדר העבודה של הכרטיס
האם התוצאה זהה לערכים התיאוריים המצויינים בטבלת רכיב ([LMC555CM/NOPB-ND](#))? הסבר

(2) מדוד את טווח הערכים ש D_{on} מקבל מהשליטה על המתנד בעזרת הפוטנציומטר $\max D_{on}, \min D_{on}$ (

(3) ציר גרף על מחשבך האישי (אקסל או מטלב) את יחס רוחב הדופק D_{on} כפונקציה של ערך המתח V_2 אשר נמדד בנקודה $TP4$ (10 מדידות) תשתמשו באוצילוסקופ ובמודד מתח וצרפו טבלת ערכי המדידות.

$f_s [Hz]$	$D_{on} t_{on}$	$D_{off} t_{on}$	$D_{on} + D_{off}$
------------	-----------------	------------------	--------------------

- איזה התנהגות מתמטית יש לקשר בין המתח V_2 ל יחס רוחב הדופק D_{on} (איך הגרף מתנהג) ?
- מלא את הטבלה:

$\max D_{on}$	$\min D_{on}$

1.1.2 ממיר מסוג BOOST ללא משוב

מטרת חלק זה תכנון התקן מגנטי עבור ממיר מעשי מסוג BOOST

לפני שמתחילים תודאו בבקשה :

- הספק הראשי לא מחובר, הפעילו אותו וודאו שאתם קובעים המתח והזרם מאופסים
- שהמתג במצב פוטנציומטר (POT)
- חברו את קופסת העומס לכרטיס וודאו שהעומס הינו $R_{out} = 10\Omega$ (העבר את המתג לערך המתאים)
- חברו נקודות המדידה בכניסה ובמוצא של הכרטיס למדי המתח

- מדדו בעזרת מולטימטר את התנגדויות של שני מצבי הקופסה וציינו את ערכם

$R_{out} (10\Omega)$	$R_{out} (20\Omega)$

תכנון הממיר BOOST ב מצב הולכה מתמשכת (CCM):

דרישות תכן של הממיר $P_{out} = 12.5 [Watt]$ $R_{out} = 10\Omega$ $D_{on} = 0.5$ $\mu_{\%} = 0.9$
 בשאלות ההכנה נדרשתם לכתוב את הנוסחאות המתארות את המתח על הסליל במקרה הלא אידיאלי בגלל שהפיתוח מסורבל מאוד אפשר לקצר את הניתוח בשימוש בניצולות כדי לקבל תוצאות מספקות

(1) חישוב ערכי מתחי הכניסה המקסימליים והמינימאליים שהממיר שלנו יכול לעבוד בהם עבור ההספק הנתון, מתוך ההגבלות על יחס זמני העבודה

$$D_{ON,MIN} = 1 - \frac{V_{IN,MAX} \cdot \mu}{V_{OUT}} \quad D_{ON,MAX} = 1 - \frac{V_{IN,MIN} \cdot \mu}{V_{OUT}}$$

אם בתכנון נדרש מתח כניסה שאינו בטווח $V_{IN,MIN}, V_{IN,MAX}$ אנחנו לא נעמוד בדרישות של התכן.

ערכים טיפוסיים לניצולות בממיר מסוג $\mu \in [0.80, 0.90]$ BOOST, קבעו ערך ניצולות $\mu = 0.9$.

חשב את זרם הכניסה לפי

$$I_L = I_{IN} = \frac{I_{OUT}}{(1-D_{ON}) \cdot \mu} \Leftrightarrow I_L = I_{IN} = \frac{I_{OUT} \cdot V_{OUT}}{V_{IN} \cdot \mu}$$

(2) חישוב גודל הסליל המתאים להעברת זרם מקסימלי וקביעת מקדם הגליות של זרם הסליל, נשתמש בביטוי

$$\Delta i_{L(p-p)} = 2\Delta i_{L(ripple)} = \frac{V_{IN} D_{ON}}{L f_s} \quad \text{שפוחת באופן תיאוריטי}$$

נהוג לקבוע ערכים אלה בטווח הערכים:

$$\Delta i_{L(p-p)} \in [20\%, 40\%] I_L \Leftrightarrow \Delta i_{L(ripple)} \in [10\%, 20\%] I_L$$

קביעת הגליות מאפשרת חישוב ערכי הסליל המתאימים לפי

$$L_{MIN1} = \max(D_{ON}) \cdot \frac{\min(V_{IN})}{2 \cdot \Delta i_{L(ripple)} \cdot f_s}$$

וכדי להבטיח שהממיר יעבוד ב CCM נדרוש את התנאי הבא (המשוואה שמתארת את ה boarder line)

$$L_{MIN2} = \min(D_{ON}) \cdot \frac{\max(V_{IN})}{2 \cdot \min(I_{IN}) \cdot f_s}$$

קבע ערך סליל כך שבכל מקרה בטווח העבודה אנו נימצא במצב CCM

$$L > \max\{L_{MIN1}, L_{MIN2}\}$$

(3) אחרי שקיבלנו את הערכים נבנה את הסליל:

- מכיוון שהליבה נבחרה אנו נדלג על שלב בחירת הליבה והחוטמים.
- הליפופים יתבצעו על החלק האמצעי של התושבת סליל, לפני שתלפפו תרכיבו את חלקי הליבה והתושבת כדי לראות ולהרגיש איך הסליל ייבנה.
- לפני שחותכים חוטים בודקים את החישובים שוב, יסופק לכם סרט מדידה תמדדו היקף התושבת וחשבו את האורך לפני שחותכים, אם צריך תיעזרו במדריך
- בחלק הזה ליצירת חריץ אוויר אנו נשתמש ב חתיכת שקף שתסופק לכם בעובי $250 - 270 \mu m$, בחומר הרקע של המגנטיות ניתן למצוא קישור לפרמטרי הליבה. (שימו לב שהייצרן סיפק את הגדלים האפקטיביים עבור הליבה ללא "חריץ אוויר")

- מה גודל חריץ האוויר האפקטיבי?

- הסליל יחובר לקופסה בעזרת חוטים "תנין-בננה", כדי שחיבור התנין יהיה יעיל יש להלחים בדיל על קצוות החוט של הסליל (הוא מצופה חומר מבודד ופעולת ההלחמה תשרוף את הציפוי ותשמור על החוט מלהתפרק) בחלק הזה יש לעדכן את המדריך מטעמי בטיחות

השתמשו בסרט בידוד דביק להדק את הליבות וודאו שהליפופים הדוקים סביב התושבת. תהיו עדינים עם החוטים כדי לא לפגוע בציפוי הפנימי שלהם.

סכמו את התוצאות בטבלאות הבאות:

$V_{IN,MAX} [V]$	$V_{IN,MIN} [V]$	$I_{IN,MAX} [A]$	$I_{IN,MIN} [A]$	μ	$D_{ON,MIN}$	$D_{ON,MAX}$

$f [Hz]$	$L_{MIN1} [\mu H]$	$L_{MIN2} [\mu H]$	$f_s [Hz]$	$\Delta i_{L(ripple)}$

- מה גודל הסליל שבחרתם? כמה ליפופים נדרשים כדי לייצר את הסליל?
- תמדדו את התנגדות הנחושת של הסליל בעזרת מולטימטר וציינו את ערכה.
- קראו למדריך והראו לו איך חיברתם את הסליל, **אין לעבור שלב** בלי אישור המדריך.

מידת הסליל, אחרי שחיברתם את הסליל לכרטיס:

- הפעילו את האוצילוסקופ
- ודאו שהמתח מהספק המשני לא השתנה וחברו אותו לכרטיס
- ודאו שהספק הראשי לא מחובר, הפעילו אותו וכוונו את הזרם והמתח ל 0, חברו אותו לכרטיס.
- יש להגביל את הזרם בספק, הגבל את הזרם ל ערך המקסימלי שחושב מקודם $0.3A +$

- הסליל יחובר ל $P2, P7$ וצריך לקצר בין $P6, P3$

ערך המתח בכניסה $V_{IN} = 8[V]$ מה ערך הזרם הממוצע בכניסה ?

כדי למדוד את הסליל אנו נשתמש במודד זרם אשר מודד את השדה המגנטי הנוצר סביב מוליך, הוא יהיה מושפע מהסביבה לכן חשוב מאוד לכייל את הרעש לאפס, הפעל את מודד הזרם וכייל אותו יחסית לאפס באוצילוסקופ (שימו לב בלקיחת המדידות אם יש הגבר למד) (להוריד חלק זה ולתת רפרנס לנספח)

הערה: כדי לקבוע זרם מכסימלי שהספק יכול לתת, ודאו שהוא לא מחובר לכלום, קבעו מתח מקסמלי וקצרו בין הדקיו (יקרה מעבר בין CV ל CC ואז ניתן לקבוע זרם מכסימלי)

נמדוד את הסליל לפי מדידת הזרם דרכו, נבצע 10 מדידות עם ערכי זרם שונים, נמדוד את הסליל בזמני

D_{on} ו D_{off} שימו לב שניתן לבקש מהאוצילוסקופ לבצע חלק מהמדידות

מלאו טבלה של הערכים עבורם חיבתם (יחידות $V, A, kHz, \mu sec, \mu H$ בהתאמה)

V_{in}	I_{in}	f	$V_{L,ON}$	$V_{L,OFF}$	V_{out}	t_{on}	t_{off}	L_{on}	L_{off}	N

- מה הוא מתח שנופל על הסליל בשני בחלקי המחזור ואיך תמדדו אותו V_L ? האם ניתן להזניח את המתח באחד מהדקי הסליל עבור המדידות? הסבירו.
- צרפו תמונות מוגדלות של מתח ה V_{drain} , והסבירו את התופעה.
- צרפו תמונה של הזרם דרך הסליל, מה ערכו הממוצע של הסליל? האם הוא מתאים לתכן שבוצע ?
- מה משטר העבודה של הממיר עבור המדידות שלקחתם?
- צירו וצרפו גרף של V_{out} כפונקציה של V_{in} , הסבירו את התוצאה.

- חישוב נצילות :

אחרי שערך הסליל חושב, קבעו ערך זרם הממוצע שחושב, השתמשו בפוטנציומטר לקבלת הספק נדרש

במוצא ($\mu = 0.9$ $V_{IN} = 8[V]$ $R_{out} = 10\Omega$ $P_{out} = 12.5Watt$)

מה הנצילות של הממיר?

- (4 חישוב הפסדים :

ערכי RMS התיאורטיים חיבתם בשאלות ההכנה, השתמשו בהם.

א) חישוב הפסדים בדיודה (UPS840E3): (טיוויאלי)

ב) חישוב הפסדים במתג (IPB072N15N3GATMA1): (בתת פרק של הפסדים הכל מוסבר)

- ג) חשב הפסדי נחושת בליבה לפי $I_{L_{RMS}}^2 R_L$ (טריוויאלי)
- ד) השתמש בנוסחת סטיינמיצ' להערכת ההפסדים בליבה (בפרק מגנטיות יש למצוא את הנוסחה והקבועים)
- ה) האם אלה כול ההפסדים בממיר חשב! (לא כי יש הפסדי זליגה, בדיודות, בטרנזיסטור, הקבלים אינם אידאליים, החוטים בעלי אופי השראות)

- 5) צרף תמונה של מתח במוצא, האם ניתן לזהות את הגליות? (דיודת הזר עוזרת ביצוב מתח המוצא, זרם הזליגה שלה כאשר היא בבמתח אחורי, והקיבול הלא לינארי שהיא מספקת למוצא (תלוי בערך מתחה) מקבלים התנהגות מעוותת של מתח המוצא)
- ** הדיודה גם מגינה מעודף מתח במוצא!, כאשר המתח יהיה גבוה ממפתח הפריצה שלה...

1.1.3 ממיר מסוג BOOST עם משוב

- נתקו את הספק הראשי מהקופסה
- האם צריך לשנות את הערכים בכניסה? מה יהיה ערך המתח במוצא עם הפעלת המשוב?
- מה טווח הערכים של ספק הכניסה שהממיר יכול לעבוד בהם בעזרת המשוב עבור נצילות 90%
- הראו את החישובים
- למה לדעתכם צריך מנגנון הגנה ממתח יתר? (רמז אם ה PWM לא יוכל לספק את הדרישות...)
- שנו את ערכי המתח בספק הראשי כך שנעמוד בדרישות

- 6) העבר המתג למצב של משוב המסומן ב AMP, חשב את מתח המוצא עבור $R_{out} = 10\Omega$,

- 7) עבור ערכי מתחים וזרמים, שעוברים המשוב עובד ללא הפעלת מנגנון הבטיחות ממתח יתר, חשב

μ	V_{in}	V_{out}	D_{on}

שרטט t_{off} כפונקציה של V_{in} .

- מה ערך הנצילות הממוצע
- האם בתחום העבודה שבחרנו ההפסדים הם לינאריים? ניתן לחשב את מתח המוצא מהגרף?

1.1.4 ממיר מסוג BOOST במשטר עבודה DCM

- נתקו את הספק הראשי מהקופסה.
- בשלב הזה נבנה סליל חדש, פרקו את החוט מהתושבת אל תחתכו אותו!
- נתכנן ממיר אשר יעבוד ב BORDERLINE
- תכונות הממיר ב $\mu=0.9$ $R_{out}=10\Omega$ $P_{out}=2.5Watt$ $V_{in}=3V$
- השתמשו באותו חריץ אוויר כמו בשלב קודם
- העבר את המתג למצב POT

כפי שנלמד בתיאוריה כאשר $I_{L_{DCM-CCM}} = \Delta i_L = \frac{1}{2} \Delta i_L (peak - peak) = \frac{1}{2} \frac{V_{in}}{L \cdot f} D_{on}$ בשלב 2

מחושב ערך הסליל בתנאי העבודה עבור הימנעות ממצב קיטעון, יש כמה גורמים המשפיעים על הימצאות במצב קיטעון והם, מתח הכניסה, מתח היציאה, גודל הסליל וזרם המוצא.

אם נסתכל על זמן טעינה ופריקה של הסליל מקבלים שהתנאי להימצאות במצב קיטעון גם $\sigma < D_{off}$

$$\frac{V_{in}}{L} D_{on} T = \frac{V_{out} - V_{in}}{L} \sigma T \rightarrow \sigma = \frac{V_{in}}{V_{out} - V_{in}} D_{on} < D_{off}$$

(8) העבר את המתג לשליטה של הפוטנציומטר – מצב POT

- תכנון סליל במשטר עבודה BORDERLINE, ציין ערך של הסליל ובנה אותו.
- כוון את זמן הפעולה לחישובים התיאורטיים, אם לא קיבלת שהוא עובד ב BORDERLINE הסבר למה, והשתמש בפוטנציומטר לקבל מצב זה וציין את הערך של D_{on}
- צרף תמונה של זרם הסליל.
- מה הנצילות של הממיר?
- חשב את גודל הסליל הדרוש, האם הוא קטן/גדול יותר מהסליל השומש בסעיפים קודמים?

$$border\ line\ I_L = \frac{1}{2} \frac{V_{in}}{L \cdot f} D_{on} D_{off} = \frac{V_{out}}{R_{out}}$$

$$I_{out} V_{out} = \frac{1}{2} \frac{V_{in}}{L} D_{on} T \cdot V_{in} \mu \rightarrow L = \frac{V_{in}^2 \mu D_{on} T}{I_{out} V_{out}}$$

בחר את השיטה העדיפה לדעתך ובנה את הסליל, סמלץ אותו בדומה לסעיף קודם וצרף את כל התוצאות. (מבוטל)

(9) כאשר המצב הוא BOARDERLINE העבר את המתג בקופסת העומס ל $R_{out} = 20\Omega$ צרף תמונה לזרם

הסליל? והסבר! (כאשר מגדילים את העומס הזרם יקטן במוצא)

(10) עבור כל הערכים עבורם הממיר עובד ב DCM, שרטט עבור 10 מדידות

- צרף תמונה של מצב DCM מהאוצילוסקופ

D_{on}	V_{out}	V_{in}	μ

