



אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

תאריך הבחינה: 24.01.2007

שם המורה: פרופ' שמואל בן-יעקב

מבחן ב: ממירי DC-DC ממותגים

מס' קורס: 361.1.4561

מיועד לתלמידי: הנדסת חשמל ומחשבים

שנה: תשס"ז סמ': א מועד: א

משך הבחינה: 3 שעות

חומר עזר: כל חומר עזר מותר.

מדור בחינות

מספר נבחן: _____

הרצלחה

מותר שימוש במחשבוניו בלבד

אין להעביר חומר ו/או מחשבים בין

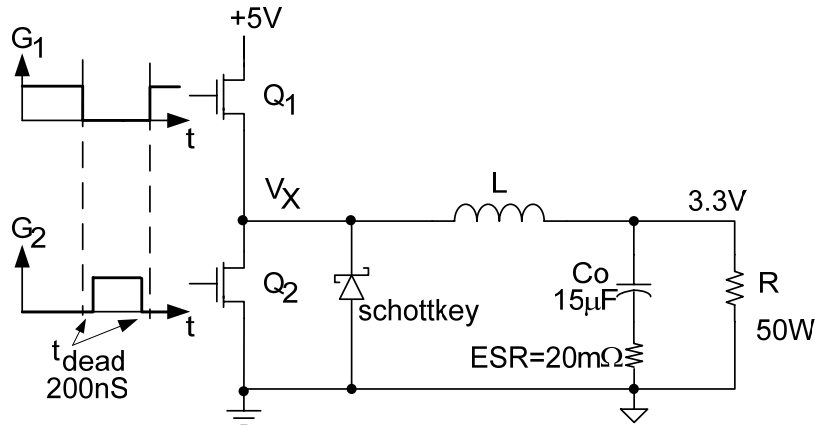
הנבחנים

הערות:

- יש לענות על 3 מתוך 4 שאלות.
- בשאלות SPICE יש לשרטט את המעגל שיוזן לסימולטור ולהסביר את סדר הפעולות (כולל סוגי האנליזות) עד לקבלת התוצאות החדשות.
- מותר לבצע חישובים מקורבים (תוך מתן הסבר להצדקת ההזנחה) אלא אם נדרש חישוב מדויק.

שאלה מס' 1

נתון ממיר Buck סינכרוני, תדר המיתוג - $f_s = 300 \text{ KHz}$.



1.1 (35%)

חשב את ערך הסליל L כך שהממיר יכנס ל DCM ב 10% מההספק הנומינלי.

1.2 (45%)

בהינתן $L=5\mu\text{H}$, חשב את אדוות המתח במוצא (ניתן לבצע חישוב מקורב).

1.3 (20%)

שרטט את המתח בנקודה Vx כפונקציה של הזמן, כולל ערכים.

פתרון שאלה מס' 1

1.1

$$D_{on} = \frac{V_o}{V_{in}} = 0.66$$

הזרם הממוצע בסליל שווה לזרם המוצא

$$I_{av} = I_o = \frac{P}{V_o} = \frac{5}{3.3} = 1.515 \text{ A}$$

בגבול DCM אדוות הזרם שווה לפעמיים הזרם הממוצע, מתוך משוואת הסליל ($V/L=di/dt$) נקבל:

$$L = \frac{V_o D_{off} T_S}{\Delta I} = \frac{3.3 \cdot 0.34}{300k \cdot 3.03} = 1.234 \mu\text{H}$$

1.2

עבור $L=5\mu\text{H}$, אדוות הזרם תהיה (מחושב לפי זמן off)

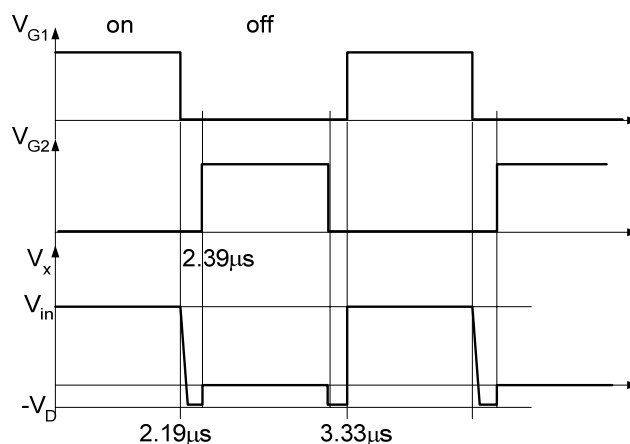
$$\Delta I = \frac{V_o D_{off} T_S}{L} = \frac{3.3 \cdot 0.34}{300k \cdot 5\mu} = 0.748 \text{ A}$$

אדוות המתח בקבל משיקולי מטען תהא:

$$\Delta V_c = \frac{\Delta I}{8C_o f_s} = \frac{0.748}{8 \cdot 300k \cdot 15\mu} = 20.78 \text{ mV}$$

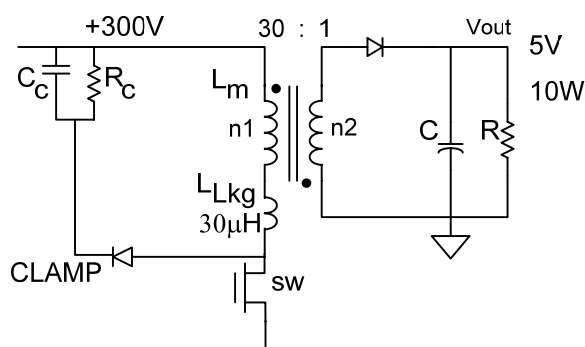
ובגין ה ESR תהא:

$$\Delta V_{ESR} = \Delta I \cdot R_{ESR} = 14.96 \text{ mV}$$



שאלה מס' 2

נתון ממיר flyback הפועל ב-CCM. תדר המיתוג - $f_s = 100 \text{ KHz}$.



2.1 (35%)

חשב את D ואת L_m כך שהממיר יעבוד בגבול CCM-DCM.

2.2 (40%)

חשב את ערכי התקני ה- clamp R_c, C_c אם דרוש שהמתח המכסימלי על הטרנזיסטור יהיה 600V .

2.3 (25%)

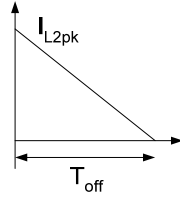
הסבר מה היתרונות/חסרונות לעבודה בגבול CCM-DCM.

פתרון שאלה מס' 2

2.1

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{n_2}{n_1} \frac{D_{on}}{D_{off}} \rightarrow \frac{D_{on}}{D_{off}} = \frac{5}{300} \cdot 30 \xrightarrow{CCM} D_{on} = 0.33$$

צורת הזרם במשני עבור עבודה בגבול CCM תהיה:



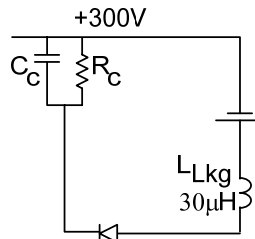
ומכאן

$$I_{L2pk} = \frac{2I_{L2av}}{D_{off}} = \frac{2 \frac{P_o}{V_o}}{D_{off}} = 5.97A$$

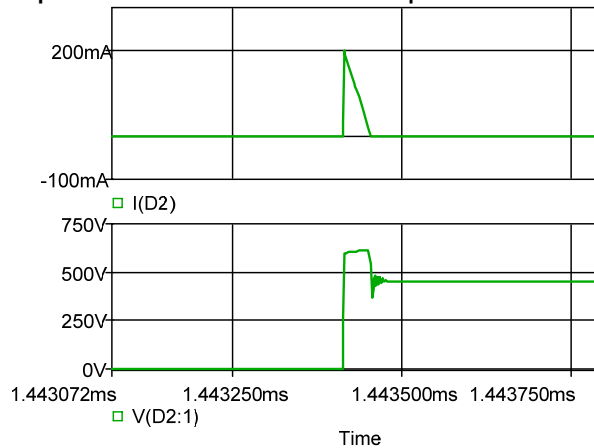
$$L_m = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \frac{V_o D_{off} T_S}{I_{L2pk}} = 5.05mH$$

2.2

תפקיד ההתקן למנוע עליית מתח עקב החלק הבלתי מצומד בגוף המגנטי (השראות זליגה/פיזור Lkg), התופעה מתרחשת בזמן off, המעגל הרלוונטי לעיניין ה clamp הנו:



החישוב צריך לקת בחשבות את סך כל האנרגיה המועברת לקבל Cc, את זה ניתן לחשב מתוך ידיעת הזרם הממוצע שמגיע לקבל. צורת הגלים הרלוונטיות הן



את הזמן שיקח לאנרגיה בסליל להתפרק ניתן לבטא באופן הבא:

$$t = \frac{I_{pk} L_{kgf}}{V_c - V_o'} = \frac{0.199 \cdot 30\mu}{300 - 150} \approx 40ns$$

ומכאן הזרם הממוצע יהיה:

$$I_{av} = \frac{I_{pk} t}{2T_s} \approx 0.4mA$$

את הנגד Rc נחשב מתוך ההספקים:

$$I_{av} V_c = \frac{V_c^2}{R_c} \rightarrow R_c = 750k\Omega$$

את הקבל מחשבים בכך שמבטיחים קבוע זמן איטי דיו

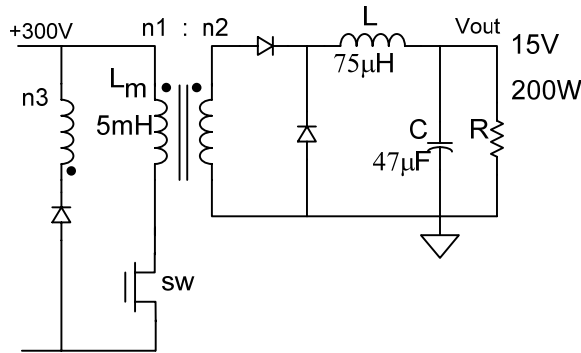
$$C_c \gg \frac{10}{R_c f_s} = 130pF$$

2.3
גבול CCM

יתרון – מיתוג בזרם אפס, אין הפסדי מיתוג, ירידת רעש מיתוג.
חסרון – אדוות זרם גבוהה.

שאלה מס' 3

נתון ממיר forward. תדר המיתוג - $f_s = 100 \text{ KHz}$.



3.1 (40%)

חשב $n_1:n_2:n_3$ בהינתן $D=0.3$. וחשב את הזרם rms דרך הטרנזיסטור.

3.2 (30%)

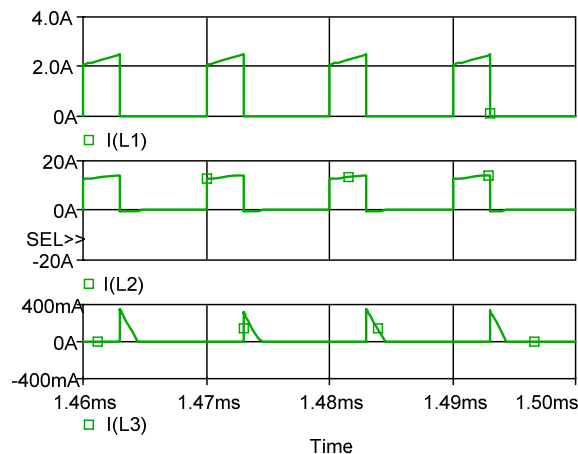
חשב זרם rms דרך n_3 .

3.3 (30%)

חשב A_p של השנאי.

פתרון שאלה מס' 3

צורת הזרמים הן:



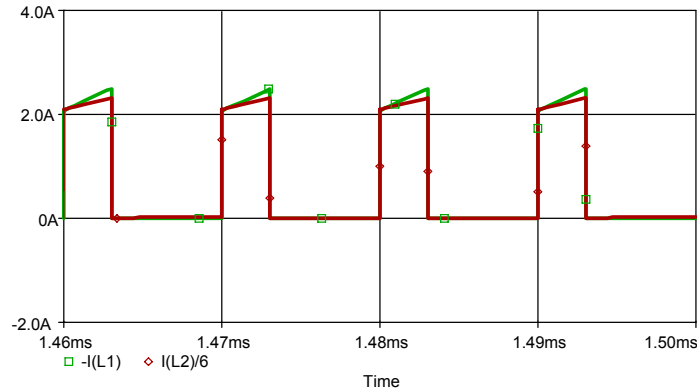
3.1

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{n_2}{n_1} D_{on} \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0.166; \frac{n_1}{n_2} = 6$$

$$\frac{V_{in}}{n_3} D_{off} \geq \frac{V_{in}}{n_1} D_{on} \rightarrow \frac{n_3}{n_1} \leq 2.33$$

$$n_1 : n_2 : n_3 \\ 6 : 1 : \leq 14$$

זרם דרך הטרנזיסטור מורכב מרמת DC (זרם ממוצע) וסכום אדוות הזרם, בגין השראות המגנטו ואדוות סליל המוצא (משוקף). אולם שיפוע הזרם ב n2 מושפע מאדוות זרם סליל המוצא בלבד.



$$I_{Lm-av} = \frac{P_{in}}{V_o D_{on}} = 2.2A$$

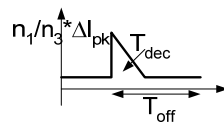
$$\Delta I_{Lm} = \frac{V_{in} D_{on}}{L_m f_s} = 0.18A$$

$$\Delta I_L = \frac{V_o D_{off}}{L f_s} = 1.4A \rightarrow \Delta I_L' = \frac{\Delta I_L}{6} = 0.233A$$

$$\Delta I = \Delta I_{Lm} + \Delta I_L' = 0.413A$$

$$I_{Qrms} = \sqrt{D_{on} \left(I_{Lm-av}^2 + \frac{\Delta I^2}{12} \right)} = 1.22A$$

3.2
נבחר $n1/n3=2$, הזרם בסליל הוא בגין אדוות זרם המגנטו בלבד (משוקף),



חישוב זמן הדעיכה של זרם reset:

$$T_{rst} = \frac{n_3}{n_1} T_{on} = 1.5\mu s$$

ומכאן:

$$I_{3rms} = \frac{n_1}{n_3} \Delta I_{Lm} \sqrt{\frac{T_{rst}}{3}} = 80mA$$

3.3
Ap מורכב משני חלקים, חלק עבור הליבה Ae וחלק בגין החלון Aw.

בגין הליבה:

$$A_e = \frac{VT}{nB_{max}} = \frac{V_{in} D_{on} T_s}{n_1 B_{max}}$$

בגין החלון:

$$A_w = \frac{n_1 I_{1rms} + n_2 I_{2rms} + n_3 I_{3rms}}{JK} = \frac{n_1 \left(I_{1rms} + \frac{n_2}{n_1} I_{2rms} + \frac{n_3}{n_1} I_{3rms} \right)}{JK}$$

11rms מסעיף א'
13rms מסעיף ב'

עבור n_2 , נדגיש כי אדוות הזרם כאן מושפעת מסליל המוצא בלבד.

$$I_{Qrms} = \sqrt{D_{on} \left(\left(\frac{P_o}{V_o} \right)^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12} \right)} = 7.3A$$

נאחד את התוצאות:

$$A_p = A_e A_w = \frac{V_{in} D_{on} T_s}{n_1 B_{max}} \frac{n_1 \left(I_{1rms} + \frac{n_2}{n_1} I_{2rms} + \frac{n_3}{n_1} I_{3rms} \right)}{JK} = \frac{900 \mu \left(1.22 + \frac{1}{6} 7.3 + \frac{2}{1} 80m \right)}{JK B_{max}} = \frac{2.34 \cdot 10^{-3}}{JK B_{max}}$$

שאלה מס' 4

השאלה מתייחסת לנתונים עבור ממיר ה forward משאלה 3

4.1 (34%)

שרטט מודל ממוצע (ניתן להשאיר את יחסי הליפופים ללא ערכים מספריים)

4.2 (33%)

חלץ את המודל לאות קטן, וחשב את הפונקציה Vo/d (f).

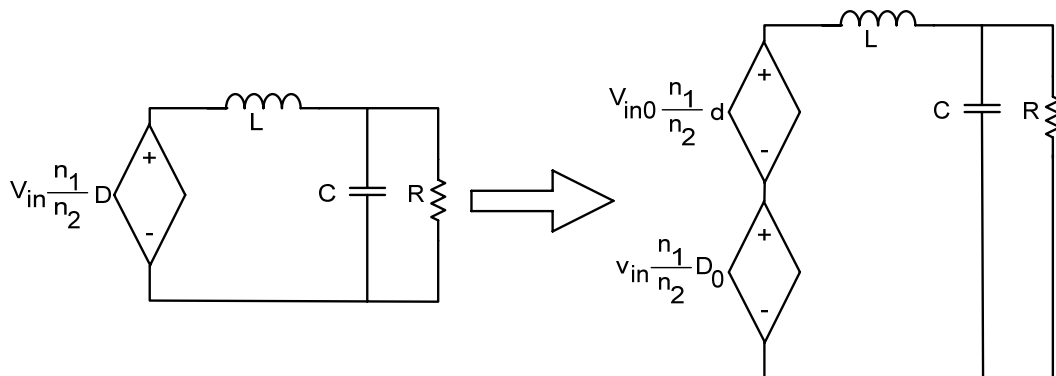
4.3 (33%)

תן הצעה לפונקציית התמסורת לבקר לייצוב המערכת.

הבקר יהיה מבוסס על מגבר שרת עם ערך ייחוס פנימי (Vref) 2.5V.

פתרון שאלה מס' 4

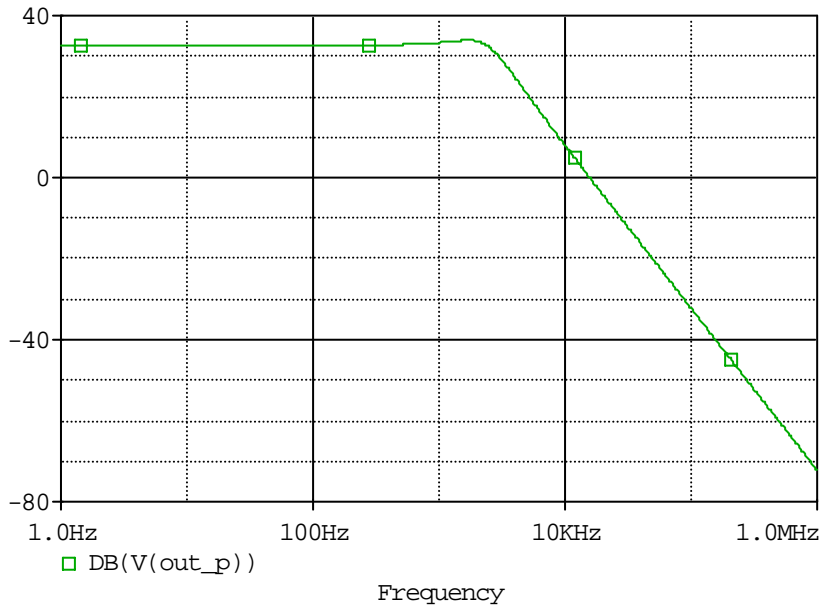
4.1



4.2

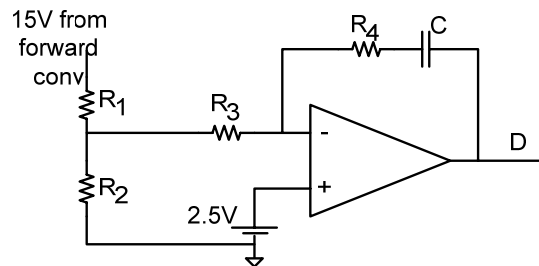
תמסורת אות קטן תהא מהצורה:

$$V_o = D \frac{n_1}{n_2} V_{in} \frac{\frac{R}{sRC+1}}{sL + \frac{R}{sRC+1}} \rightarrow \frac{V_o}{d} = \frac{V_{in} \frac{n_1}{n_2}}{s^2 LC + s \frac{L}{R} + 1}$$

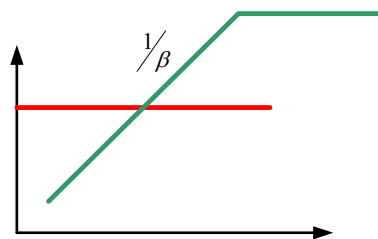


4.3

נבחר בקר מהצורה:



פונקצית התמסורת הרצויה היא מהצורה:



$$\beta = \frac{R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3} \frac{SCR_4 + 1}{SCR_3}$$

בכדי שלנגד R3 לא תהיה השפעה על מחלק המתח, יש לבחור ערכי R1 ו R2 קטנים ממנו
 ערכי הרכיבים של מחלק המתח ההתנגדותי יהיו:
 $R_1, R_2 \ll R_3$

יחס מחלק הנגדים הנו:

$$\frac{V_{ref}}{V_{o_DCDC}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2.5}{15}$$

נבחר $R2 = 1K, R1=5K$

ברצוננו שהאפס CR4 יהיה מרוחק מספיק מנקודת החיתוך, נביח 10KHz.
 נרצה ש- $1/\beta$ יחתוך את AOL בתדר נמוך מתדר הברך, נביח 1.5kHz, ונביח $R3=10K$

$$C = \frac{2.5}{15} \frac{V_{in} \frac{n1}{n2}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R3} \approx 75.8nF \rightarrow 100nF$$

$$R4 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = 159\Omega \rightarrow 150\Omega$$

