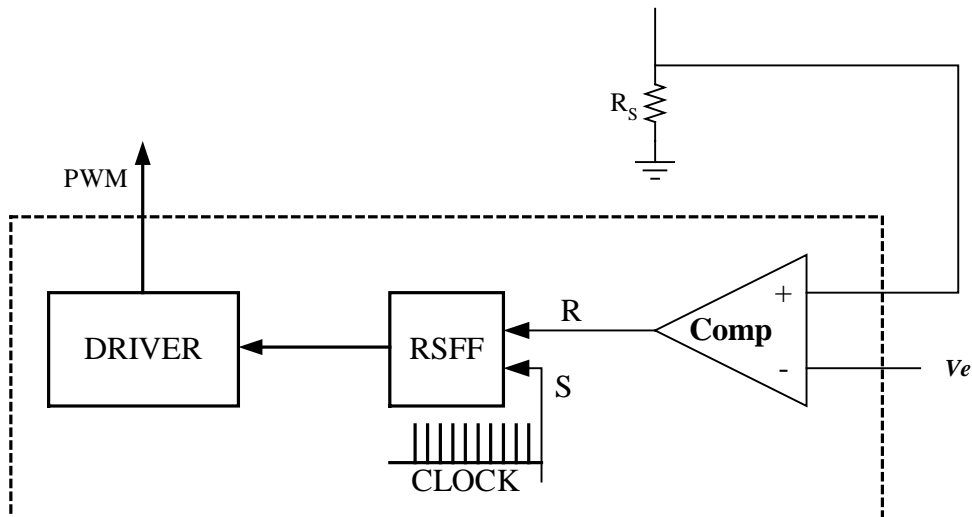
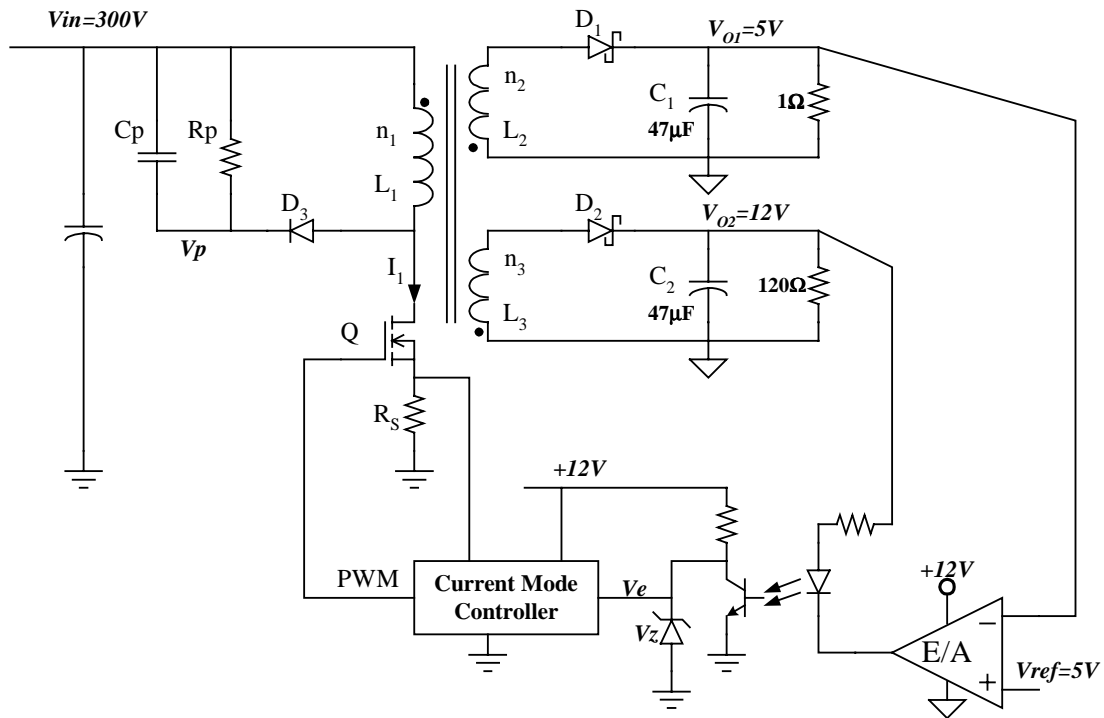


- כל חומר עזר מותר
- אין להעביר חומר בין הנבחנים
- שימוש במחשבוניס כולל מחשב מטלטל מותר



כל השאלות מתייחסות לשרטוט המצורף.
יש לענות על 3 מתוך 4 השאלות הנתונות.

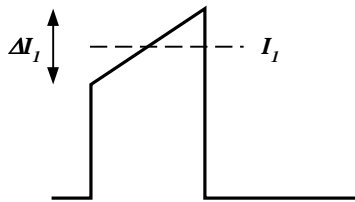
נתון:

הממיר כולל משוב עם בידוד להפרדת אדמות בעזרת optocoupler. המגבר E/A כולל קיזוז מופע והמתח V_e הוא מתח השגיאה המשווה לזרם הסליל. פעולת המודולטור משורטטת באיור הנלווה.

מניחים שנצילות המערכת 70%.

$V_{D1}=V_{D2}=0.3V$, $R_{DSon}=0.3\Omega$, $f_{sw}=100kHz$
המערכת מתוכננת כך שבמצב עבודה נומינלי $D_{on}=0.3$.

שאלה מס' 1



1.1 (33%)

חשב ערכו של L_1 כך שבמצב היציב $\Delta I_L/I_L=20\%$.

1.2 (33%)

חשב ושרטט את הזרם דרך הטרנזיסטור במצב היציב.

1.3 (34%)

חשב ושרטט את הזרם דרך הדיודה D_1 .

שאלה מס' 2

2.1 (33%)

חשב את היחס $n_1:n_2:n_3$ בהזנחת מפלי המתח על הדיודות.

2.2 (33%)

חשב את הפסדי ההולכה של D_1 ו- D_2 .

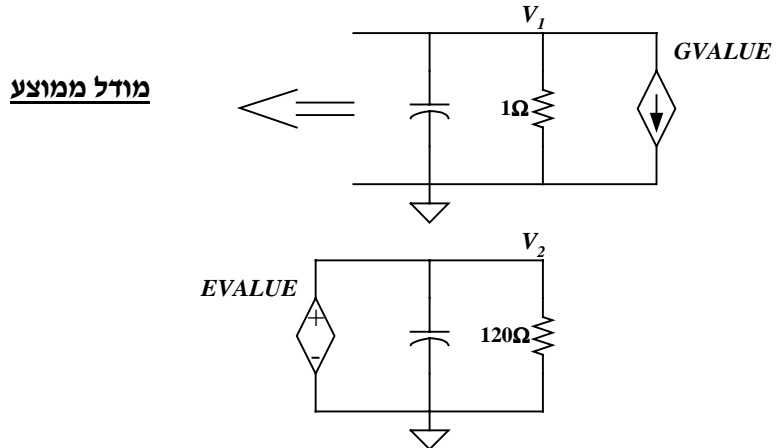
2.3 (34%)

חשב מה המתח המכסימלי על הטרנזיסטור (במצב OFF) בהזנחת תופעות פרזיטיות וללא ה-clamp.

שאלה מס' 3

3.1 (70%)

שרטט מודל ממוצע של דרגת הספק המוזנת ב-D. רמז: בנה את המודל עבור מוצא אחד והצמד אליו את המוצא השני בעזרת מקור מתח תלוי כאשר המוצא העיקרי יועמס במקור זרם תלוי. הקשר בין המקורות הוא: n_2/n_3 .



3.2 (30%)

פתח את המודל לשלב המאפשר חישוב של פונקציה התמסורת לאות קטן $\frac{v_1}{d}(f)$.

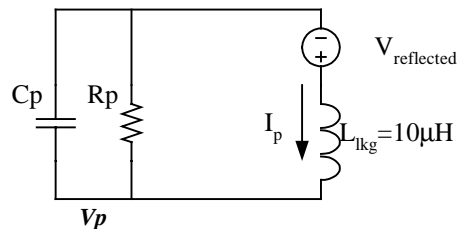
שאלה מס' 4

4.1 (30%)

הסבר מה יקבע את זרם הטרנזיסטור בהדלקת המערכת כאשר המתחים במוצא הם עדיין אפס. רמז: בדוק מה מגביל את הזרם כאשר optocoupler לא מוליך.

4.2 (70%)

מעגל תמורה המייצג את פעולת ה-clamp מיד לאחר שהטרנזיסטור עבר למצב OFF וזרם הסליל עבר למשניים הוא:



שרטט את $I_p(t)$ בהנחה $\Delta I_1/I_1=20\%$ וחשב את המתח על C_p כפונקציה של R_p .

DC-DC Switch-Mode Converters

"moed Bet"

$$ns := 10^{-9}s \quad mW := 10^{-3}W \quad m\Omega := 10^{-3}\Omega$$

Problem 1

1.1)

$$L_I = \frac{V_{in} \cdot D}{\Delta I_I \cdot f_{sw}}$$

$$\Delta I_I = 0.2 \cdot I_I = 0.2 \cdot \frac{I_{in}}{D} = 0.2 \cdot \frac{P_{in}}{D \cdot V_{in}} = 0.2 \cdot \frac{P_o}{\eta} \cdot \frac{1}{D \cdot V_{in}} = 0.2 \cdot \frac{\left(\frac{V_{o1}^2}{R_{load_1}} + \frac{V_{o2}^2}{R_{load_2}} \right)}{\eta \cdot D \cdot V_{in}}$$

$$L_I = \frac{V_{in}^2 \cdot D^2 \cdot \eta}{0.2 \cdot \left(\frac{V_{o1}^2}{R_{load_1}} + \frac{V_{o2}^2}{R_{load_2}} \right) \cdot f_{sw}}$$

$$\frac{(300V)^2 \cdot (0.3)^2 \cdot 0.7}{0.2 \cdot \left[\frac{(5V)^2}{1\Omega} + \frac{(12V)^2}{120\Omega} \right] \cdot 100kHz} = 10.8mH$$

1.2)

Average switch current (during ON part of the period):

$$I_I = \frac{\left(\frac{V_{o1}^2}{R_{load_1}} + \frac{V_{o2}^2}{R_{load_2}} \right)}{\eta \cdot D \cdot V_{in}}$$

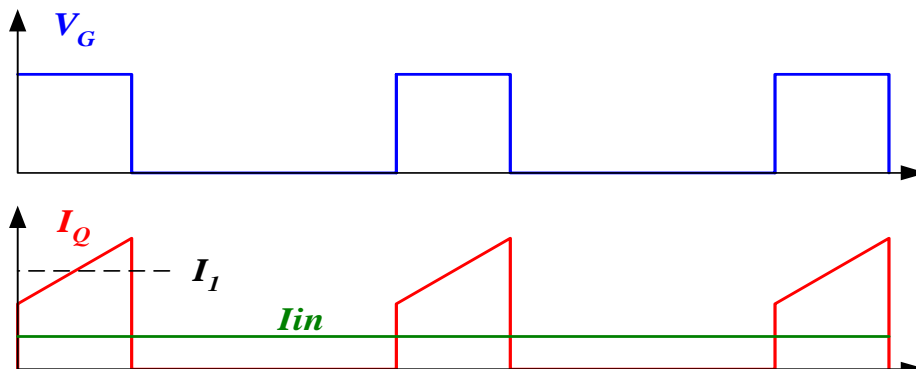
$$\frac{\left[\frac{(5V)^2}{1\Omega} + \frac{(12V)^2}{120\Omega} \right]}{0.7 \cdot 0.3 \cdot 300V} = 415.9mA$$

$$\Delta I_I = 0.2 \cdot I_I$$

$$0.2 \cdot 415.9mA = 83.2mA$$

$$I_{pI} = I_I + \frac{\Delta I_I}{2}$$

$$415.9mA + \frac{83.2mA}{2} = 457.5mA$$



1.3)

$$\frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{D}{(1-D) \cdot \frac{n_1}{n_2}}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_{in} \cdot D}{(1-D) \cdot V_{o1}}$$

$$\frac{300V \cdot 0.3}{(1-0.3) \cdot 5V} = 25.7$$

$$L_2 = \frac{L_1}{\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2}$$

$$\frac{10.8mH}{(25.7)^2} = 16.4 \mu H$$

The average D_1 current during OFF part of the period:

$$I_2 = \frac{I_{o1}}{(1-D)} = \frac{V_{o1}}{R_{load_1} \cdot (1-D)}$$

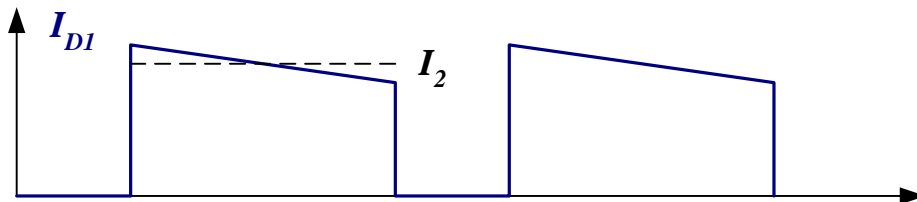
$$\frac{5V}{1\Omega \cdot (1-0.3)} = 7.1A$$

$$\Delta I_2 = \frac{(V_{o1} + V_d) \cdot (1-D)}{L_2 \cdot f_{sw}}$$

$$\frac{(5V + 0.3V) \cdot (1-0.3)}{16.4\mu H \cdot 100kHz} = 2.3A$$

$$I_{p2} = I_2 + \frac{\Delta I_2}{2}$$

$$7.1A + \frac{2.3A}{2} = 8.3A$$



Problem 2

2.1)

$$\frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{D}{(1-D) \cdot \frac{n_1}{n_2}}$$

$$\frac{V_{o2}}{V_{in}} = \frac{D}{(1-D) \cdot \frac{n_1}{n_3}}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_{in} \cdot D}{(1-D) \cdot V_{o1}}$$

$$\frac{300V \cdot 0.3}{(1-0.3) \cdot 5V} = 25.7$$

$$\frac{n_3}{n_2} = \frac{V_{o2}}{V_{o1}}$$

$$\frac{12V}{5V} = 2.4$$

$$n_1:n_2:n_3 = 25.7 : 1 : 2.4$$

2.2)

Average current through the output diodes D_1 and D_2 equals to the output DC current.

$$P_{D_1} = V_{d_1} \cdot I_{O1} = \frac{V_{d_1} \cdot V_{O1}}{R_{load_1}} \quad \frac{0.3V \cdot 5V}{1\Omega} = 1.5W$$

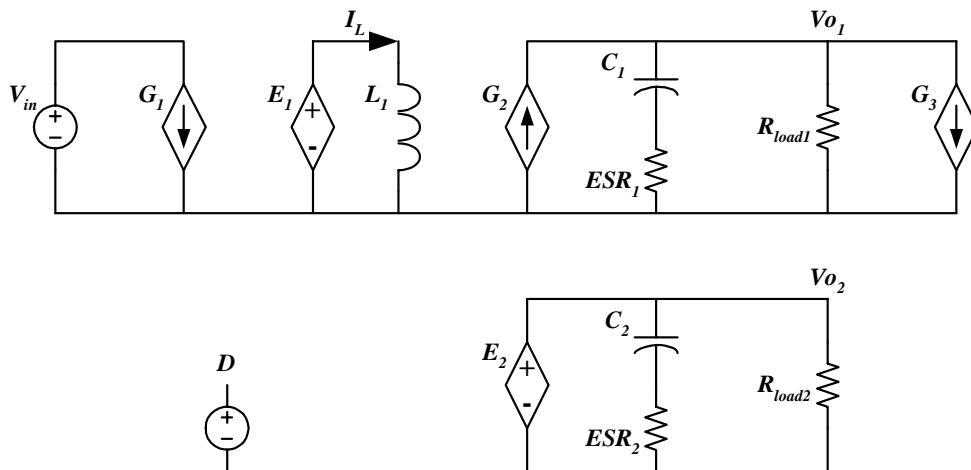
$$P_{D_2} = V_{d_2} \cdot I_{O2} = \frac{V_{d_2} \cdot V_{O2}}{R_{load_2}} \quad \frac{0.3V \cdot 12V}{120\Omega} = 30mW$$

2.3)

$$V_Q = V_{in} + V_{reflected} = V_{in} + V_{O1} \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad 300V + 5V \cdot 25.7 = 428.5V$$

Problem 3

3.1)



$$G_1 = I_L \cdot D$$

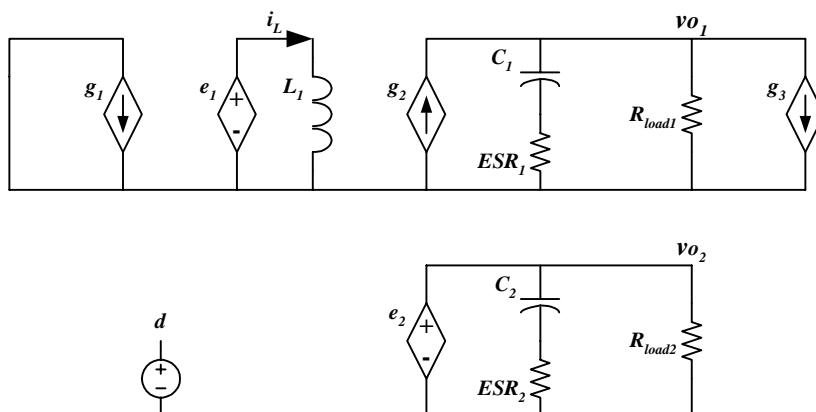
$$E_1 = V_{in} \cdot D - V_{O1} \cdot \frac{n_1}{n_2} \cdot (1 - D)$$

$$G_2 = I_L \cdot \frac{n_1}{n_2} \cdot (1 - D)$$

$$G_3 = \frac{V_{O2}^2}{V_{O1} \cdot R_{load_2}} = \frac{V_{O2}}{R_{load_2}} \cdot \frac{n_3}{n_2}$$

$$E_2 = V_{O1} \cdot \frac{n_3}{n_2}$$

3.2)



$$g_1 = i_L \cdot D + I_L \cdot d$$

$$e_1 = V_{in} \cdot d - \frac{n_1}{n_2} \cdot (v_{o_1} - V_{oI} \cdot d - v_{o_1} \cdot D)$$

$$g_2 = i_L \cdot \frac{n_1}{n_2} \cdot (1 - D) - I_L \cdot \frac{n_1}{n_2} \cdot d$$

$$g_3 = \frac{v_{o_2}}{R_{load_2}} \cdot \frac{n_3}{n_2}$$

$$e_2 = v_{o_1} \cdot \frac{n_3}{n_2}$$

Problem 4

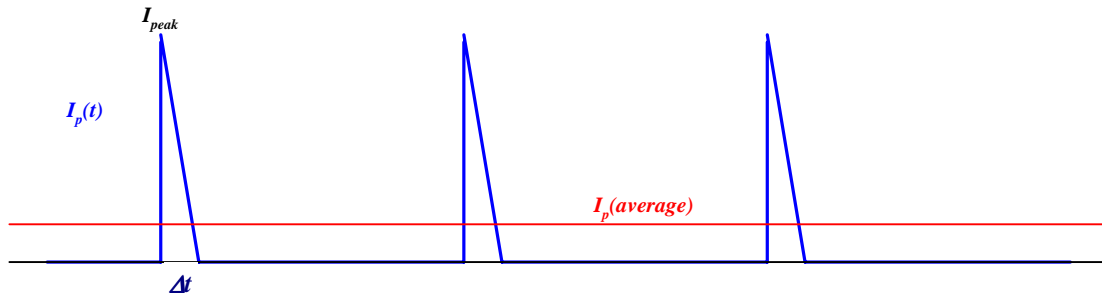
4.1)

When the converter first turns on the output voltage is zero and there is no current through the optocoupler diode. Therefore the optocoupler transistor is cut off and the voltage V_c is in its maximum which equals Zener voltage V_z (of the zener diode). This voltage sets the peak transistor current:

$$I_Q(\text{peak}) = \frac{V_z}{R_s}$$

4.2)

The energy, stored in the leakage inductance L_{lkg} flows into the capacitor C_p and then dissipates on the resistor R_p .



$$\Delta I_1 = 0.2 \cdot I_1$$

$$I_{peak} = I_{p1} = I_1 + \frac{\Delta I_1}{2}$$

$$415.9mA + \frac{83.2mA}{2} = 457.5mA$$

$$V_p = V_{Cp} = R_p \cdot I_p(average)$$

$$I_p(average) = \frac{I_{p1}}{2} \cdot \frac{\Delta t}{T_{sw}} = \frac{I_{p1}}{2} \cdot \Delta t \cdot f_{sw}$$

$$I_{peak} = \frac{(V_{Cp} - V_{reflected}) \cdot \Delta t}{L_{lkg}} = \frac{\left(V_{Cp} - V_{o1} \cdot \frac{n_1}{n_2}\right) \cdot \Delta t}{L_{lkg}}$$

$$\Delta t = \frac{I_{peak} \cdot L_{lkg}}{V_{Cp} - V_{o1} \cdot \frac{n_1}{n_2}}$$

$$V_{Cp} = R_p \cdot I_p(average) = R_p \cdot \left(\frac{I_{p1}}{2} \cdot \Delta t \cdot f_{sw}\right) = R_p \cdot \frac{I_{p1}^2}{2} \cdot \frac{L_{lkg}}{V_{Cp} - V_{o1} \cdot \frac{n_1}{n_2}} \cdot f_{sw}$$

Arranging this equation we can find the equation for V_{Cp} :

$$V_{Cp}^2 - V_{Cp} \cdot V_{o1} \cdot \frac{n_1}{n_2} - R_p \cdot \frac{I_{p1}^2 \cdot f_{sw} \cdot L_{lkg}}{2} = 0$$

$$5V \cdot 25.7 = 128.5V \quad \frac{(457.5mA)^2 \cdot 100kHz \cdot 10\mu H}{2} = 105mW$$

$$V_{Cp}^2 - V_{Cp} \cdot 128.5V - R_p \cdot 105mW = 0$$

$$V_{Cp} = \frac{1}{2} \cdot \left[128.5V + \sqrt{(128.5V)^2 + 4 \cdot R_p \cdot 105mW}\right]$$