

$n = 10^{-9}$



אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

תאריך הבחינה: 01.02.2004

שם המורה: פרופ' שמואל בן-יעקב

מבחן ב: ממירי DC-DC ממותגים

מס' קורס: 361.1.4561

מיועד לתלמידי: הנדסת חשמל ומחשבים

שנה: תשס"ד סמ': א מועד: א

משך הבחינה: 3 שעות

חומר עזר: כל חומר עזר מותר.

מדור בחינות

מספר נבחן: _____

בהצלחה

מותר שימוש במחשבוניו בלבד

אין להעביר חומר ו/או מחשבים בין

הנבחים

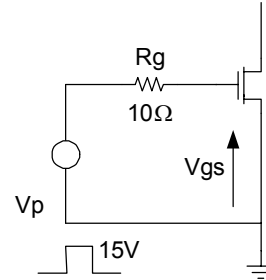
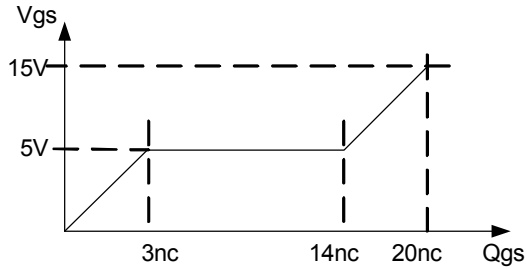
הערות:

- יש לענות על 3 מתוך 4 שאלות.
- חובה למלא טופס ריכוז תשובות.

- מותר לבצע חישובים מקורבים (תוך מתן הסבר להצדקת ההזנחה) אלא אם נדרש חישוב מדויק.

שאלה מס' 1

נתון גרף מטען כניסה ל gate של MOSFET.



1.1 (40%)

שרטט את $V_{gs}(t)$.

1.2 (30%)

חשב את ההספק המתבזבז במעגל הכניסה.

1.3 (20%)

תן הערכה ל $C_{gs}+C_{gd}$.

1.4 (10%)

תן נימוקים בעד ונגד הגדלה/הקטנה של הנגד R_G .

Solution 1

$$R_g := 10 \cdot \Omega$$

$$V_p := 15 \cdot V$$

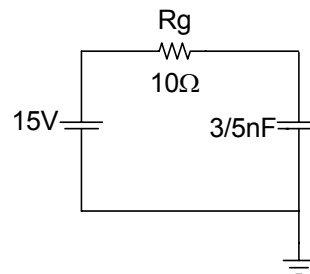
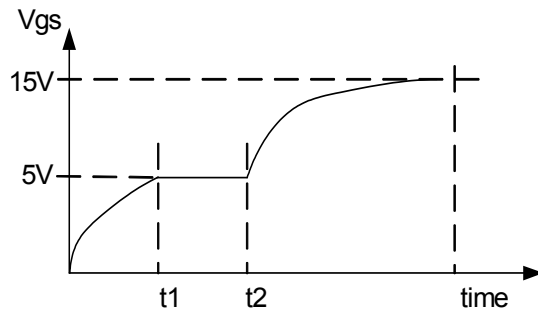
$$f_s := 400 \cdot \text{KHz}$$

$$V_t = V_1 - (V_1 - V_0) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

1.1

Draw $V_{gs}(t)$:

$$\Sigma C := \frac{3}{5} \cdot \text{nF} \quad \tau := \Sigma C \cdot R_g$$



Time period 0-t1:

$$t_1 := -\ln\left(\frac{10}{15}\right) \cdot \tau$$

$$t_1 = 2.433 \cdot 10^{-9} \text{ s}$$

Time period t1-t2:

$$\Delta Q = \Delta I \cdot t_2$$

$$\Delta Q := 14 \cdot n \cdot C - 3 \cdot n \cdot C$$

$$\Delta Q = 1.1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

$$\Delta I = \frac{\Delta V}{R_g}$$

$$\Delta I := \frac{15 \cdot V - 5 \cdot V}{R_g}$$

$$\Delta I = 1 \text{ A}$$

$$t_2 := \frac{\Delta Q}{\Delta I}$$

$$t_2 = 1.1 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

1.2

$$P_{\text{loss}} = \frac{E}{t} = \frac{Q \cdot V}{t}$$

$$P_{\text{loss}} := 20 \cdot n \cdot C \cdot V_p \cdot f_s$$

$$P_{\text{loss}} = 0.12 \text{ W}$$

1.3

$$C_{gs} + C_{gd} = \Sigma C = \frac{3}{5} \cdot nF$$

1.4

In favor of small R_g values:

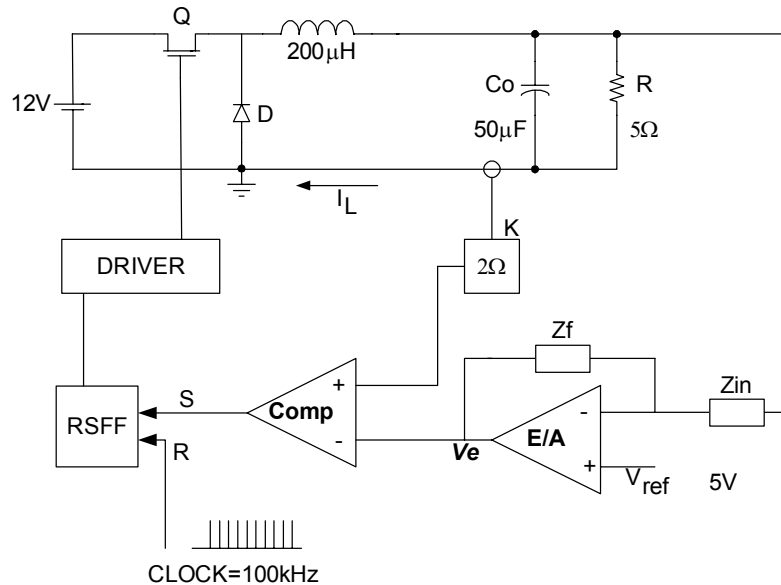
- a) Ability of fast switching

In favor of large R_g values:

- a) High drive currents
- b) High gate currents
- c) Voltage change rate is decreased - moderate turn-off diode current.

שאלה מס' 2

נתון ממיר CM כמשורטט.



(25%) 2.1

חשב מה יהיה ערך ה- DC של V_e .

(45%) 2.2

בהנחה ש $i_{Lpk} = i_{Lav}$, חשב ושרטט את $\frac{V_o}{V_e}(f)$.

(30%) 2.3

תן הצעה ל $\beta(f)$ עבור מעגל זה.

Solution 2

$$L := 200 \cdot \mu\text{H}$$

$$V_{in} := 5 \cdot \text{V}$$

$$f_{sw} := 100 \cdot \text{KHz}$$

$$K := 2 \cdot \Omega$$

2.1

The DC value of V_e equals to the inductor peak current value times K .

Output voltage equals to V_{ref} .

Output current equals to the average inductor current

$$I_L = \frac{V_e}{K}$$

$$V_{out} = V_{ref} = 5 \text{ V}$$

$$I_o := \frac{5 \cdot \text{V}}{5 \cdot \Omega}$$

$$V_{out} := 5 \cdot \text{V}$$

$$I_{L_{av}} := I_o \quad I_{L_{av}} = 1 \text{ A}$$

$$D_{on} := \frac{5}{12} \quad D_{off} := \frac{7}{12}$$

$$\Delta I := \frac{V_{out} \cdot D_{off}}{L \cdot f_{sw}}$$

$$\Delta I = 0.146 \text{ A}$$

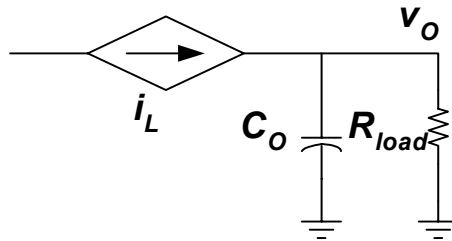
$$V_e := K \cdot \left(I_{L_{av}} + \frac{\Delta I}{2} \right)$$

$$V_e = 2.146 \text{ V}$$

2.2

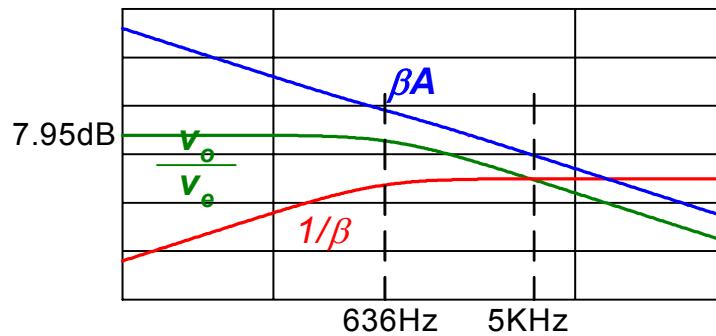
$$k := 10^3$$

$i_{Lpk} = i_{Lav}$ means that there are small changes in the inductor current, thus it can be described as a current source. The output small signal equivalent circuit is:



$$V_{out} = i_L \cdot Z_0 \quad Z_0 = \frac{R}{1 + j\omega \cdot C_0 \cdot R_0} \quad V_e = K \cdot i_L$$

$$\frac{V_{out}}{V_e} = \frac{R}{K} \left(\frac{1}{1 + j\omega \cdot C_0 \cdot R_0} \right)$$



2.3

Take β of the form: $\beta = \frac{B}{s} (1 + s \cdot T_0)$

Take crossover at: $f_c := 5 \cdot \text{KHz}$

$$\beta \text{ value at } 5\text{KHz: } \frac{V_{\text{out}}}{V_e} (f=5 \text{ KHz}) = \frac{5}{2} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{1^2 + (2 \cdot \pi \cdot 5 \text{ K} \cdot 50 \mu \cdot 5)^2}} \right] = 0.318$$

$$1/\beta \text{ value at } 5\text{KHz: } \frac{1}{\beta(f=5 \text{ KHz})} = 3.145$$

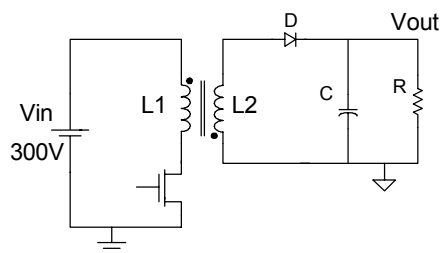
β zero frequency, take one decade before crossover $f_{\beta z} := 500 \cdot \text{Hz}$ $T_0 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\beta z}}$

$$B := \frac{3.145 \cdot s}{T_0}$$

$$B = 9.88 \cdot 10^3$$

$$T_0 = 3.183 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

שאלה מס' 3



נתון ממיר flyback כמשורטט.
מתח המוצא בחוג סגור אמור להיות 5V והספק מכסימלי 10W.
מניחים נצילות 80%.

3.1 (40%)

חשב L_1 ו L_2 כך שהממיר יהיה ב DCM בהספק מוצא מכסימלי וש- D יהיה 0.4.

3.2 (30%)

בהנחה $D=0.4$, ושהממיר עובד על גבול DCM. חשב הספק פיזור בטרנזיסטור ובדיודה א

$$V_D = 1.2\text{V} \text{ ו } R_{\text{dson}} = 10?$$

3.3 (30%)

חשב ושרטט צורת זרם דרך הקבל וחשב ערך I_{RMS} .

Solution 3

$$f_{\text{sw}} := 100 \cdot \text{KHz} \quad V_{\text{out}} := 5 \cdot \text{V} \quad V_{\text{in}} := 300 \cdot \text{V} \quad P_{\text{out}} := 10 \cdot \text{W}$$

$$D_{\text{on}} := 0.4 \quad D_{\text{off}} := 0.6 \quad \eta := 0.8 \quad T_s := \frac{1}{f_{\text{sw}}}$$

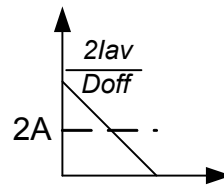
3.1

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \cdot \frac{D_{on}}{D_{off}} \quad N := 0.025$$

Output current equals to the secondary average current

$$I_{out} := \frac{P_{out}}{V_{out}} \quad I_{L2av} := I_{out}$$

The secondary current:



$$I_{L2pk} := 2 \frac{I_{L2av}}{D_{off}}$$

taking efficiency into account

$$L_2 := \frac{V_{out} \cdot D_{off}}{I_{L2pk} \cdot f_{sw}}$$

$$L_2 = 4.5 \cdot 10^{-6} \text{ H} \quad \text{or } 3.6 \mu\text{H}$$

$$L_1 := L_2 \cdot \left(\frac{1}{N}\right)^2$$

$$L_1 = 7.2 \cdot 10^{-3} \text{ H} \quad \text{or } 5.76 \text{ mH}$$

3.2

$$V_D := 1.2 \cdot V \quad R_{dson} := 10 \cdot \Omega$$

$$T_{on} := \frac{D_{on}}{f_{sw}}$$

Output current equals the diode average current

$$I_{Dav} := I_{out}$$

$$P_D := I_{Dav} \cdot V_D$$

$$P_D = 2.4 \text{ W}$$

$$P_{in} := \frac{P_{out}}{\eta} \quad I_{inav} := \frac{P_{in}}{V_{in}}$$

$$I_{inav} = \frac{1}{T} \cdot \frac{I_{pk} \cdot T_{on}}{2}$$

$$I_{pk} := \frac{2 \cdot I_{inav}}{f_{sw} \cdot T_{on}}$$

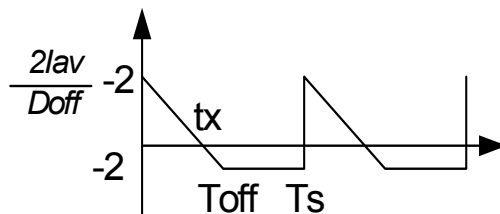
$$I_{pk} = 0.208 \text{ A}$$

$$P_{sw} := \left(\frac{I_{pk}}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot D_{on} \cdot R_{dson}$$

$$P_{sw} = 0.058 \text{ W}$$

3.3

The capacitor current:



$$T_{off} := \frac{D_{off}}{f_{sw}}$$

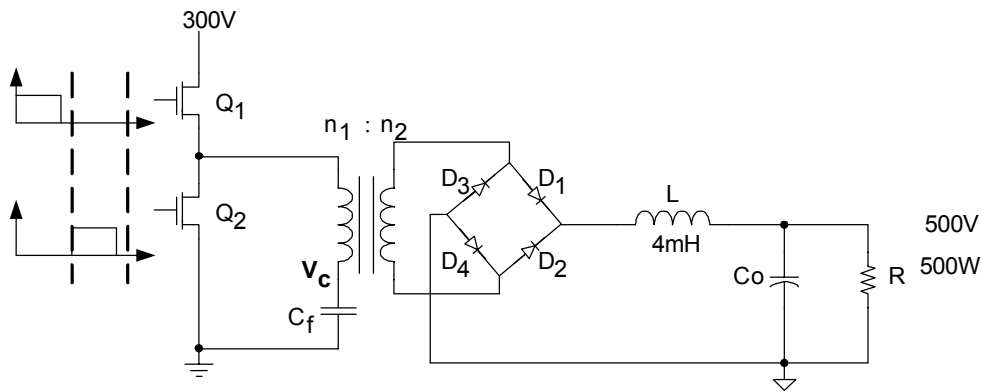
$$I_{2pk} := 2 \cdot \frac{I_{L2av}}{D_{off}}$$

$$t_x := T_{off} \cdot \frac{I_{2pk} - I_{L2av}}{I_{2pk}} \quad t_x = 4.2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$I_{Crms} := \sqrt{\frac{(I_{2pk} - I_{L2av})^2}{3} \cdot \frac{t_x}{T_s} + \frac{(-I_{L2av})^2}{3} \cdot \frac{T_{off} - t_x}{T_s} + (-I_{L2av})^2 \cdot D_{on}}$$

$$I_{Crms} = 2.211 \text{ A}$$

שאלה מס' 4



נתון ממיר PWM חצי גשר. תדר המיתוג 50KHz במצב עבודה נומינלי $D=0.8$ (מיוחס לחצי מחזור)

4.1 (20%)

חשב $n1:n2$

4.2 (20%)

חשב ושרטט זרם דרך כל אחד מהטרנזיסטורים.

4.3 (10%)

מה יהיה מתח V_c ?

4.4 (10%)

חשב ושרטט מתח על השנאי בראשוני ובמשני.

4.5 (20%)

חשב ושרטט זרם דרך הדיודות $D1$ ו $D2$.

4.6 (20%)

חשב A_p של השנאי.

Solution 4

$$f_{sw} := 50 \cdot \text{KHz} \quad D_{on} := 0.8 \quad V_{out} := 500 \cdot \text{V} \quad P_{out} := 500 \cdot \text{W}$$

$$L := 4 \cdot \text{mH}$$

4.1

$$V_{out} = \frac{300}{2} \cdot D_{on} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad N := \frac{500}{150 \cdot D_{on}} \quad N = 4.167$$

4.2

Transistor's current:

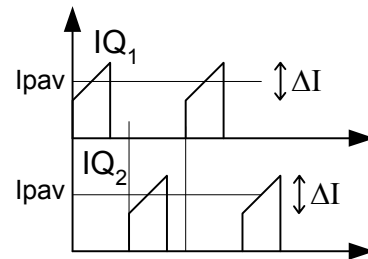
Output current equals to the average inductor current

$$I_{Lav} := \frac{P_{out}}{V_{out}} \quad I_{Lav} = 1 \text{ A}$$

$$T_{off} := \frac{1 - D_{on}}{2 \cdot f_{sw}} \quad \Delta I_s := \frac{V_{out} \cdot T_{off}}{L} \quad \Delta I_s = 0.25 \text{ A}$$

$$\Delta I_p := \Delta I_s \cdot N \quad \Delta I_p = 1.042 \text{ A}$$

$$I_{pav} := I_{Lav} \cdot N \quad I_{pav} = 4.167 \text{ A}$$



4.3

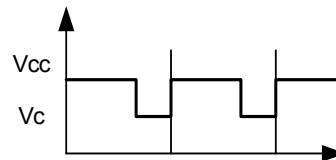
Inductor average voltage must be zero, thus the voltage V_c is equal to the DC voltage at the drain-source connection point.

When both switches are in cutoff (dead time) the voltage V_x equals to V_c .

$D_{on} = 0.8$ — related to half switching cycle

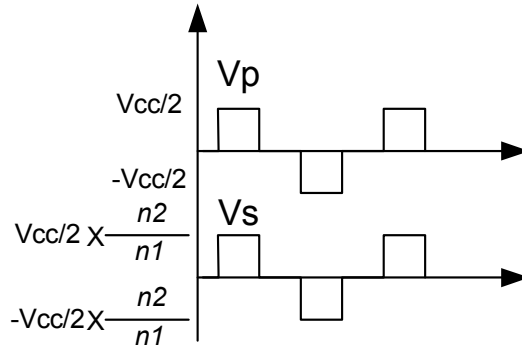
$$2 V_c = 0.4 V_{cc} + 0.4 V_{cc} + 0.4 V_c$$

$$V_c = \frac{0.8}{1.6} V_{cc} = 150 \text{ V}$$



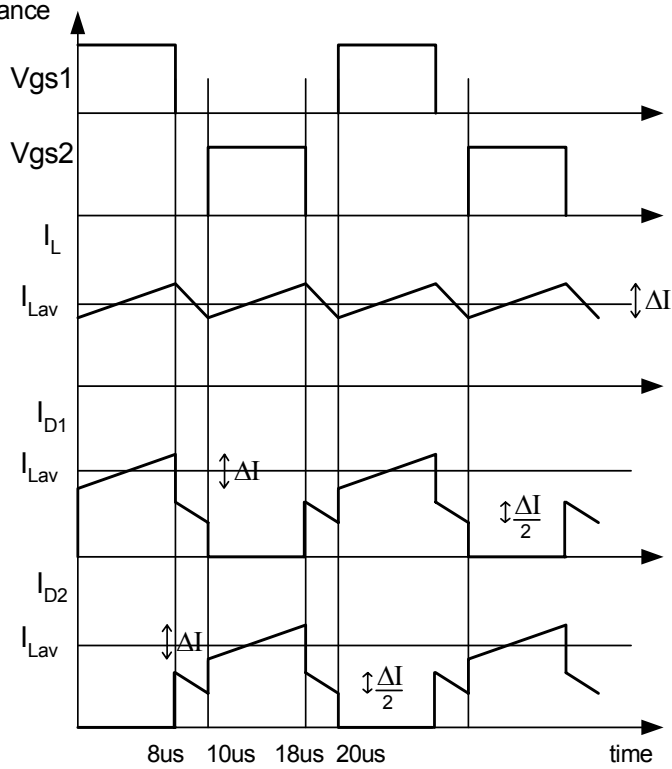
4.4

Primary and secondary Voltage:



4.5

Diodes D1 and D2 currents, approximated waveforms - neglecting magnetizing inductance



Out of question 4.2:

$$\Delta I := \Delta I_s$$

$$I_{Lav} = 1 \text{ A}$$

$$\Delta I = 0.25 \text{ A}$$

4.6

Ap equation for a square wave transformer $A_p = \frac{V_{cc} \cdot I_{rms}}{2 \cdot f_{sw} \cdot \Delta B \cdot J \cdot K}$

Take common values of J, K and ΔB

$$J := 4 \cdot \frac{A}{mm^2} \quad K := 0.5 \quad \Delta B := 0.2 \cdot T$$

$$V_{cc} := 300 \cdot V \quad f_{sw} := 50 \cdot KHz$$

The I_{rms} current of the transformer current can be determined out of the transistors current waveform of 4.2

$$I_{rms} := \sqrt{\frac{D_{on}}{2} \cdot \left[I_{pav}^2 + \left(\frac{\Delta I_p}{2\sqrt{3}} \right)^2 \right]} \quad I_{rms} = 2.642 \text{ A}$$

$$A_p := \frac{V_{cc} \cdot I_{rms}}{2 \cdot f_{sw} \cdot \Delta B \cdot J \cdot K}$$

$$A_p = 1.982 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$