

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

השאלות מתייחסות לדפי מפרט של LM2698.  
יש לענות על 3 מתוך 4 השאלות הנתונות.  
בשאלות ניתן להזניח הפסדים ו- $V_d$  אלא אם מצוין אחרת.

### שאלה מס' 1

השאלה מתייחסת למעגל בעמוד ראשון.

#### 1.1 (50%)

בהנחה שהגבלת הזרם  $I_{CL}$  היא לפי הנוסחה :  $I_{CL} = 1.9 - 0.5D_{ON} [A]$ , חשב באיזה עומס ( זרם המוצא ) יכנס הממיר להגבלת זרם אם  $V_{in} = 6V$ .

#### 1.2 (50%)

בהנחה שהתנגדות העומס היא  $500\Omega$ , מצא את המתח הממוצע בהדק 1 ( $V_c$ ) ואת זרם RMS דרך קבל  $C_{out}$ .  $V_{pwm+} = I_{sw} * K_s$ ,  $V_{in} = 6V$ .

### שאלה מס' 2

השאלה מתייחסת לשרטוט 7.

#### 2.1 (50%)

בהנחה שהמתח על  $C_{SEPIC}$  הוא קבוע, שרטט מעגל תמורה ממוצע לדרגת ההספק של הממיר ( לא כולל הבקרה ).  
**רמז :** ניתן להתייחס לכל אחד מהסלילים כסליל מתמתג עם מעגל עזר משל עצמו.

#### 2.2 (50%)

חשב ESR מכסימלי ל- $C_{in}$  כך שמתח האדווה של הקבל הוא  $V_{pp} < 100mV$ . מניחים שכל זרם האדווה זורם דרך הקבל.

### שאלה מס' 3

השאלה מתייחסת לשרטוט מס' 7.  
מאחר שמפלי המתח הרגעים על  $L_1$  ו- $L_2$  שווים, ניתן ללפף את שני הסלילים על אותו גרעין.

#### 3.1 (40%)

חשב את צורת הזרם בכל אחד מהסלילים בהנחה  $V_{in} = 6V$  ועומס  $15\Omega$ , וחשב  $I_{RMS}$  של הזרמים דרך הסלילים.

#### 3.2 (60%)

חשב  $A_p$  לגרעין המשותף בהנחה  $B_{max} = 0.05T, K = 0.5, J = 4.5 A/mm^2$ .

### שאלה מס' 4

השאלה מתייחסת לשרטוט מס' 6.  
מתח הכניסה  $6.5V$ , מתח המוצא  $8V$ .

#### 4.1 (40%)

חשב עומס המכסימלי (נגד עומס קטן ביותר) האפשרי עד שהממיר נכנס להגבלת זרם.

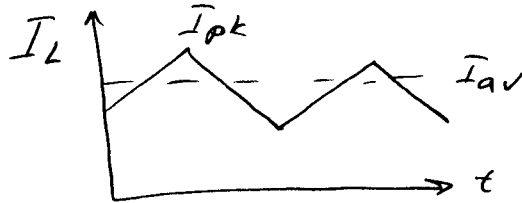
#### 4.2 (60%)

בהנחה ש-ESR של קבל  $C_{out}$  הוא  $0.5\Omega$ ,  $\frac{i_L}{v_C} = 3 \frac{A}{V}$ , הצע רשת קיזוז לקבלת רוחב סרט מכסימלי.

$$V_{in} = 6V$$

$$\underline{1.1} \text{ } \underline{1.1}$$

...  
 $\bar{I}_{CL} = 1.9 - 0.5 \cdot D_{ON} \text{ [A]}$



$$\bar{I}_{pk} = \bar{I}_{av} + \frac{\Delta I}{2}$$

$$\bar{I}_O = \bar{I}_{av} \cdot (1 - D_{ON})$$

$$D_{ON} = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{6V}{12V} = 0.5$$

$$\bar{I}_O = \left( \bar{I}_{pk} - \frac{\Delta I}{2} \right) \cdot (1 - D_{ON})$$

$$: \bar{I}_{pk} = \bar{I}_{CM} \text{ } \text{...}$$

$$\bar{I}_O = \left( 1.9 - 0.5 D_{ON} - \frac{\Delta I}{2} \right) \cdot (1 - D_{ON})$$

$$\Delta I = \frac{V_{in} \cdot D_{ON}}{L \cdot f_{sw}} ; f_{sw} = 600 \text{ kHz}$$

$$\bar{I}_O = \left( 1.9 - 0.5 \cdot 0.5 - \frac{6V \cdot 0.5}{2 \cdot 10\mu \cdot 600k} \right) \cdot (1 - 0.5) = \underline{0.7A}$$

$$R_{LOAD} = \frac{V_{out}}{\bar{I}_O} = \frac{12V}{0.7A} = \underline{17.1 \Omega}$$

1.2

$$R_{\text{Load}} = 500\Omega$$

$$V_{\text{in}} = 6V$$

$$V_{\text{PWM+}} = K_S \cdot I_{\text{sw}}$$

---

$$V_{\text{can}} - ?$$

? Cant p>3 I<sub>RMS</sub>

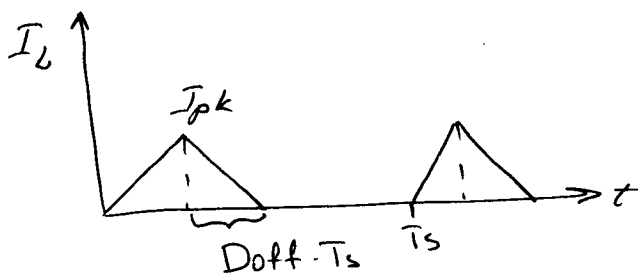
$$\bar{I}_O = \frac{12V}{500\Omega} = 24mA$$

$$D_{\text{on}} = 0.5$$

$$\bar{I}_L = \frac{\bar{I}_O}{1-D} = \frac{24mA}{0.5} = 48mA$$

$$\Delta \bar{I}_L = \frac{V_{\text{in}} \cdot D_{\text{on}}}{L \cdot f_{\text{sw}}} = \frac{6V \cdot 0.5}{10\mu H \cdot 600kHz} = 0.5A$$

$$\bar{I}_L < \frac{\Delta \bar{I}}{2} \Rightarrow \underline{\text{DCM}}$$



$$\bar{I}_O = 24mA = \frac{I_{pk}}{2} \cdot D_{\text{off}}$$

$$I_{pk} = \frac{V_o - V_{\text{in}} \cdot D_{\text{off}}}{L \cdot f_{\text{sw}}}$$

$$D_{\text{off}} = \frac{I_{pk} \cdot L \cdot f_{\text{sw}}}{V_o - V_{\text{in}}}$$

$$\bar{I}_O = \frac{I_{pk}}{2} \cdot D_{\text{off}} = \frac{I_{pk}^2 \cdot L \cdot f_{\text{sw}}}{2 \cdot (V_o - V_{\text{in}})}$$

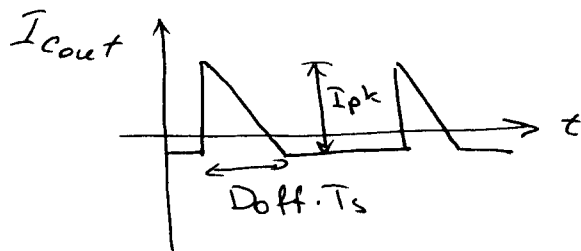
$$\bar{I}_{pk}^2 = \frac{2 \cdot (V_o - V_{in}) \cdot I_o}{L \cdot f_{sw}} =$$

$$= \frac{2 \cdot (12V - 6V) \cdot 0.024A}{10\mu H \cdot 600kHz} = 0.048 [A^2]$$

$$\bar{I}_{pk} = 219 mA$$

$$D_{off} = \frac{0.219 \cdot 10\mu H \cdot 600kHz}{12V - 6V} = 0.219$$

$$\underline{V_{caw} = \bar{I}_{pk} \cdot K_s = 0.219 \cdot K_s}$$

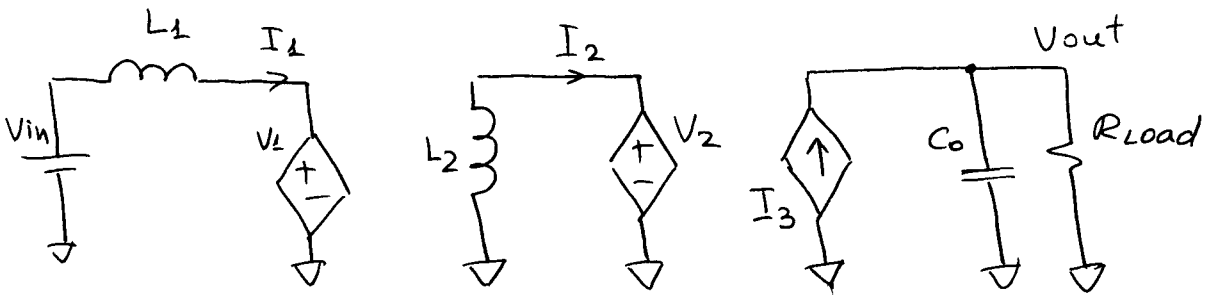


$$\bar{I}_{cRMS} = \sqrt{\bar{I}_{RMS}^2 - \bar{I}_{DC}^2}$$

$$\bar{I}_{RMS} = \bar{I}_{pk} \sqrt{\frac{D_{off}}{3}} \quad \bar{I}_{DC} = \frac{\bar{I}_{pk}}{2} \cdot D_{off}$$

$$\bar{I}_{cRMS} = \bar{I}_{pk} \cdot \sqrt{\frac{D_{off}}{3} - \frac{D_{off}^2}{4}} =$$

$$= 0.219A \cdot \sqrt{\frac{0.219}{3} - \frac{(0.219)^2}{4}} = \underline{54.1mA}$$



$$V_1 = (V_{out} + V_{in}) \cdot D_{off}$$

$$V_2 = (-V_{in} \cdot D_{on} + V_o \cdot D_{off})$$

$$I_3 = (I_1 + I_2) \cdot D_{off}$$

2.2

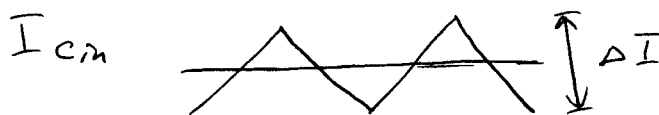
$$V_{pp} < 100mV$$

$$V_{in} = 5V$$

$$R_{Load} = 12\Omega$$

$$f_{sw} = 1.25 MHz$$

---


$$ESR_{cin} - ?$$


$$\Delta V_{PP} = \frac{\Delta I}{8 \cdot C_{in} \cdot f_{sw}} + \Delta I \cdot ESR$$

$$\Delta I = \frac{V_{in} \cdot D}{L \cdot f_{sw}}$$

$$D = \frac{1}{1 + \frac{V_{in}}{V_{out}}} = \frac{1}{1 + \frac{5V}{3.3V}} = 0.4$$

$$\Delta I = \frac{5V \cdot 0.4}{10\mu H \cdot 1.25 MHz} = 160 mA$$

$$\Delta V_{p-p} = \frac{160 \text{ mA}}{8.22 \mu\text{F} \cdot 1.25 \text{ MHz}} + 160 \text{ mA} \cdot \text{ESR} =$$

$$= \underbrace{0.7 \text{ mV}}_{\text{rjg}} + 160 \text{ mA} \cdot \text{ESR} < 100 \text{ mV}$$

$$\underline{\text{ESR} < 0.625 \Omega}$$

3.1 step

$$f_{sw} = 1.25 \text{ MHz} \quad \begin{array}{l} \text{3.1} \\ V_{in} = 6 \text{ V} \\ R_{load} = 15 \Omega \end{array}$$

? -  $I_{rms}$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  גורם הריבוי

$$V_o = 3.3 \text{ V}$$

$$D = \frac{1}{1 + \frac{V_{in}}{V_o}} = \frac{1}{1 + \frac{6 \text{ V}}{3.3 \text{ V}}} = 0.35$$

$$\Delta \bar{I}_1 = \Delta I_2 = \frac{V_{in} \cdot D}{L \cdot f_{sw}} = \frac{6 \text{ V} \cdot 0.35}{10 \mu\text{H} \cdot 1.25 \text{ MHz}} = \underline{168 \text{ mA}}$$

$$\bar{I}_o = \frac{3.3 \text{ V}}{15 \Omega} = 220 \text{ mA} \quad P_o = 3.3 \text{ V} \cdot 0.22 \text{ A} = 726 \text{ mW}$$

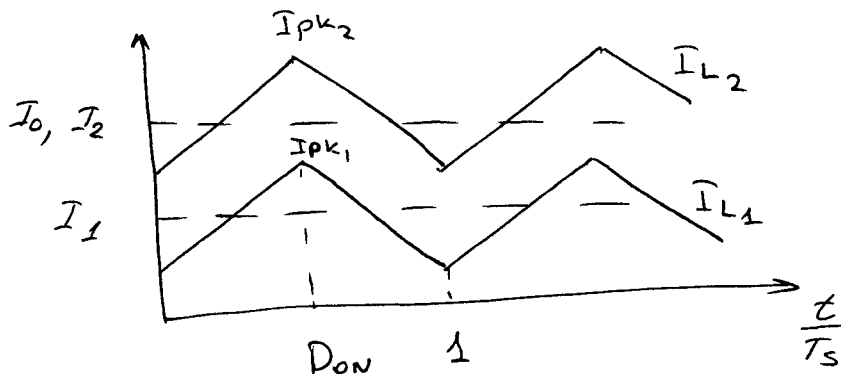
$$\bar{I}_2 = \bar{I}_o = \underline{220 \text{ mA}}$$

$$\bar{I}_1 = \frac{P_{in}}{V_{in}} = \frac{P_o}{V_{in}} = \frac{726 \text{ mW}}{6 \text{ V}} = \underline{121 \text{ mA}}$$

$$\frac{\Delta \bar{I}}{2} = 84 \text{ mA}, \quad \bar{I}_1, \bar{I}_2 > \frac{\Delta \bar{I}}{2} \Rightarrow \underline{\text{CCM}}$$

$$\bar{I}_{pk1} = \bar{I}_1 + \frac{\Delta \bar{I}}{2} = 121 \text{ mA} + 84 \text{ mA} = \underline{205 \text{ mA}}$$

$$\bar{I}_{pk2} = \bar{I}_2 + \frac{\Delta \bar{I}}{2} = 220 \text{ mA} + 84 \text{ mA} = \underline{304 \text{ mA}}$$



$$\bar{I}_{RMS} = \sqrt{\bar{I}_{av}^2 + I_{ac}^2}$$

$$\bar{I}_{ac} = \frac{\Delta I}{\sqrt{12}} = \frac{168 \mu A}{\sqrt{12}} = 48.5 \text{ mA}$$

$$\bar{I}_{RMS1} = \sqrt{(121 \text{ mA})^2 + (48.5 \text{ mA})^2} = \underline{130 \text{ mA}}$$

$$\bar{I}_{RMS2} = \sqrt{(220 \text{ mA})^2 + (48.5 \text{ mA})^2} = \underline{225 \text{ mA}}$$

3.2

$$J = 4.5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} = 4.5 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

$$B_{max} = 0.05 \text{ T}$$

$$K = 0.5$$

$$A_p = \frac{L \cdot I_{pk} \cdot \bar{I}_{RMS}}{J \cdot K \cdot B_{max}}$$

$$I_{pk} = \bar{I}_{pk1} + \bar{I}_{pk2} = 509 \text{ mA}$$

$$\bar{I}_{RMS} = \bar{I}_{RMS1} + \bar{I}_{RMS2} = 355 \text{ mA}$$

$$L = L_1 = L_2 = 10 \mu\text{H}$$

$$A_p = \frac{10 \mu\text{H} \cdot 0.509 \cdot 0.355}{4.5 \cdot 10^6 \cdot 0.5 \cdot 0.05} = 1.6 \cdot 10^{-11} \text{ m}^4 = 16 \text{ mm}^4$$



$$\underline{4.8 \text{ le}}$$

$$V_{in} = 6.5 \text{ V}$$

$$V_{out} = 8 \text{ V}$$

$$f_{sw} = 1.25 \text{ MHz}$$

∴ (I<sub>CL</sub> vs. V<sub>in</sub> : 7 31Nf2) 0221 '23 p1111

$$I_{CL} (V_{in} = 6.5 \text{ V}) = 1.85 \text{ A}$$

$$D_{ON} = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{6.5}{8} \approx 0.19 \quad (=0.188)$$

$$\bar{I}_O = \bar{I}_L \cdot (1 - D_{ON})$$

$$\bar{I}_{CL} = \bar{I}_L + \frac{\Delta \bar{I}}{2} = \bar{I}_L + \frac{V_{in} \cdot D_{ON}}{2 \cdot L \cdot f_{sw}}$$

$$\bar{I}_O = \left( \bar{I}_{CL} - \frac{V_{in} \cdot D_{ON}}{2 \cdot L \cdot f_{sw}} \right) \cdot (1 - D_{ON}) =$$

$$= \left( 1.85 - \frac{6.5 \cdot 0.19}{2 \cdot 10 \mu\text{H} \cdot 1.25 \text{ MHz}} \right) \cdot (1 - 0.19) = \underline{1.46 \text{ A}}$$

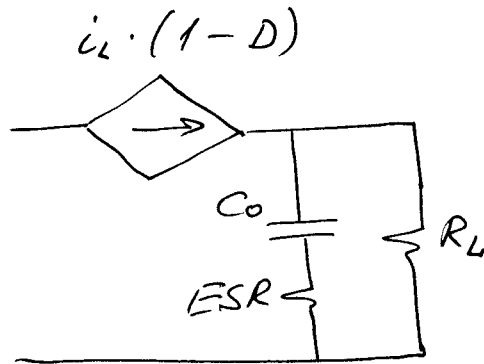
$$R_{min} = \frac{8 \text{ V}}{1.46 \text{ A}} = \underline{5.48 \Omega}$$

4.2

$$ESR_{out} = 0.5 \Omega$$

$$\frac{i_L}{U_C} = 3 \text{ A/V}$$

$$C_0 = 10 \mu\text{F}$$



DEFINITION  
1.31 N

$$P_{OL} = \frac{U_0}{U_C} = \frac{U_0}{i_L} \cdot \frac{i_L}{U_C}$$

$$U_0 = i_L \cdot Z_{out} \cdot (1-D)$$

$$Z_{out} = \frac{1}{\frac{1}{R_L} + \frac{1}{ESR + \frac{1}{j\omega C_0}}} = \frac{1}{\frac{1}{R_L} + \frac{j\omega C_0}{1 + j\omega C_0 \cdot ESR}}$$

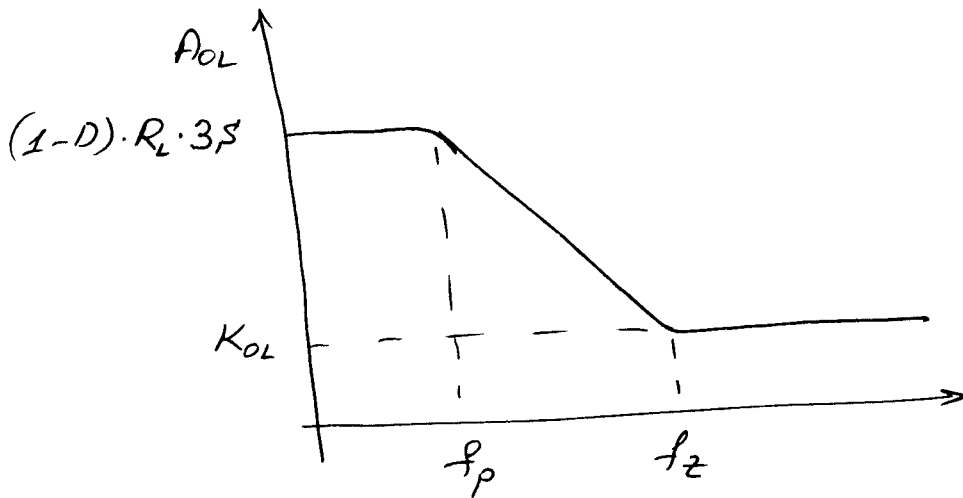
$$= R_L \cdot \frac{1 + j\omega \cdot C_0 \cdot ESR}{1 + j\omega C_0 \cdot (R_L + ESR)} = \left\{ R_L \gg ESR \right\} =$$

$$= R_L \cdot \frac{1 + j \frac{f}{f_z}}{1 + j \frac{f}{f_p}}$$

$$f_z = \frac{1}{2\pi \cdot C_0 \cdot ESR} = 31.8 \text{ kHz} \quad \text{: reko}$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi \cdot C_0 \cdot R_L}$$

$$A_{OL} = (1-D) \cdot 3S \cdot R_L \cdot \frac{1 + j \frac{f}{f_2}}{1 + j \frac{f}{f_p}}$$

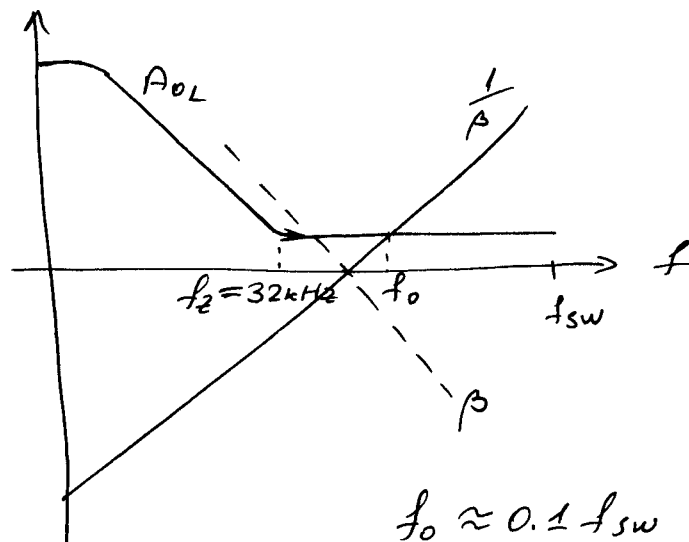


$$K_{OL} = A_{OL} (f \gg f_z) = (1-D) \cdot 3S \cdot R_L \cdot \frac{f_p}{f_z} =$$

$$= (1-D) \cdot 3S \cdot R_L \cdot \frac{2\pi \cdot C_o \cdot ESR}{2\pi \cdot C_o \cdot R_L} =$$

$$= (1-D) \cdot 3S \cdot ESR = (1-0.19) \cdot 3S \cdot 0.5 \Omega = \underline{1.215} =$$

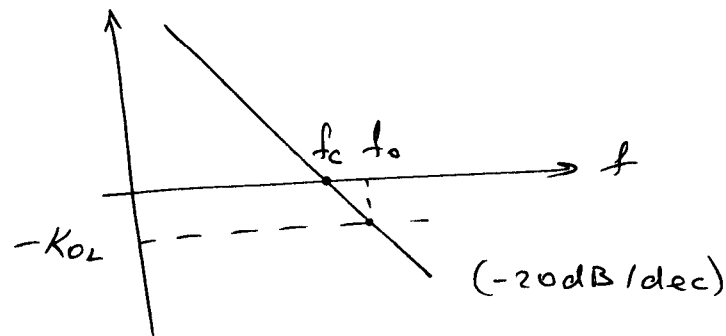
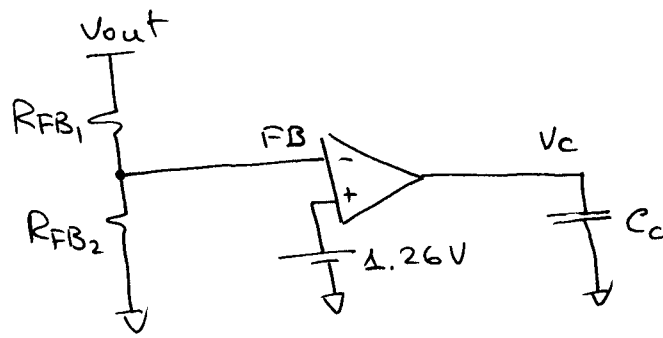
$$= \underline{1.7 \text{ dB}}$$



: nq'j

$$f_0 \approx 0.1 f_{sw} = \underline{100 \text{ kHz}} \gg f_z$$

: 8N'0סח סרס כוחה פקדס 133



$$f_c = f_0 \cdot \frac{1}{K_{OL}} = 100 \text{ kHz} \cdot \frac{1}{1.215} = 82.3 \text{ kHz}$$

$$\beta = \frac{V_c}{V_0} = \frac{V_c}{V_{FB}} \cdot \frac{V_{FB}}{V_0} = \frac{V_c}{V_{FB}} \cdot \frac{1.26 \text{ V}}{8 \text{ V}} = 0.1575 \cdot \frac{V_c}{V_{FB}}$$

$$\frac{V_c}{V_{FB}} = g_m \cdot \frac{1}{j \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_c} = \frac{1}{j \frac{f}{f_c}}$$

$$f_c = \frac{g_m}{2\pi \cdot C_c}$$

$$C_c = \frac{g_m}{2\pi \cdot f_c} = \frac{135 \mu\text{S}}{2\pi \cdot 82.3 \text{ kHz}} = 260 \text{ pF}$$