

反激变压器设计步骤

By: 小五

For: 12W OB2263

1. 符号定义

| | |
|---|--|
| $u(t) := \Phi(t)$ | Unit step function |
| $m\Omega := 10^{-3}\Omega$ | Milliohm |
| $mJ := 10^{-3}J$ | Millijoule |
| $\mu J := 10^{-6}J$ | Microjoule |
| $\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$ | Permeability of free space |
| michael830701@gmail.com | |
| $\rho(\theta) := 1.724[1 + 0.0042(\theta - 20)] 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ | Resistivity of copper at θ degC |

1. 符号定义

2. 参数定义

| | |
|--------------------------------|---|
| $V_{acmin} := 90V$ | |
| $V_{acmax} := 264V$ | $V_{dcmax} := \sqrt{2}V_{acmax} = 373.352V$ |
| $F_{line} := 50Hz$ | $T_{line} := \frac{1}{F_{line}}$ |
| $V_o := 12V$ | |
| $I_o := 1.2A$ | |
| $f_s := 65 \cdot kHz$ | |
| $P_o := V_o \cdot I_o = 14.4W$ | |
| $\eta := 75\%$ | |
| $P_{in} := \frac{P_o}{\eta}$ | $P_{in} = 19.2W$ |
| $\Delta T := 40$ | |

2. 参数定义

3. 设计步骤

Step1: 选择开关管和输出整流二极管

| | |
|-------------------|-----------|
| $V_{mos} := 600V$ | 开关管漏源耐压 |
| $V_d := 100V$ | 输出二极管反向耐压 |
| $V_f := 0.5V$ | 输出二极管正向压降 |

Step2: 计算匝比

$$0.8V_d > \frac{V_{inmax}}{n} + V_o$$

$$0.8V_{mos} > n \cdot (V_o + V_f) + V_{inmax}$$

$$n > \frac{V_{inmax}}{0.8V_d - V_o} \qquad \frac{V_{dcmax}}{0.8V_d - V_o} = 5.49$$

$$n < \frac{0.8V_{mos} - V_{inmax}}{V_o + V_f} \qquad \frac{0.8V_{mos} - V_{dcmax}}{V_o + V_f} = 8.532$$

$$5.5 < n < 8.5$$

$$n := 6$$

Step3: 确定最低输入电压和最大占空比

根据 (2-3) $\mu F/W$ 来选择输入电容

$$C_{in} := 33 \mu F$$

假设 $T_c := 3ms$

$$V_{inminc} := \sqrt{(\sqrt{2} \cdot V_{acmin})^2 - \frac{2P_{in} \cdot \left(\frac{T_{line}}{2} - T_c \right)}{C_{in}}} = 89.747V$$

$$D_{max} := \frac{n \cdot (V_o + V_f)}{n \cdot (V_o + V_f) + V_{inminc}} = 0.46$$

Step4: 计算初级临界电流均值和峰值

¼ 按照最小输入电压，最大输出功率 (P_{omax}) 的条件计算

¼ $P_o = 1/3 P_{omax}$ 时，变换器工作在 BCM

¼ $P_o < 1/3 P_{omax}$ 时，变换器工作在 DCM

¼ $P_o > 1/3 P_{omax}$ 时，变换器工作在 CCM

$$I_{in_avg} := \frac{\frac{1}{3}P_{in}}{V_{inmin}} = 0.083A$$

$$I_{pk1} := \frac{2 \cdot I_{in_avg}}{D_{max}}$$

$$\Delta I_{p1} := I_{pk1} = 0.365A$$

Step5:最大导通时间和电感量

$$T_{onmax} := \frac{D_{max}}{f_s} = 7.004 \cdot \mu s$$

$$L_p := \frac{V_{inmin} \cdot T_{onmax}}{\Delta I_{p1}} = 1.5 \cdot mH$$

Step6:变压器磁芯面积

$$K_o := 0.4$$

$$K_c := 1$$

$$B_{sat} := 0.39T$$

michael830701@gmail.com

$$B_m < \frac{1}{2} \cdot B_{sat}$$

$$B_m := 0.16T$$

$$j := 4.3 \frac{A}{mm^2}$$

$$A_{Pp} := \frac{P_o}{2 \cdot \eta \cdot K_o \cdot K_c \cdot f_s \cdot B_m \cdot j} = 0.054 \cdot cm^4$$

取TDK的PC40查
EF20参数:

$$A_e := 0.335cm^2$$

$$V_e := 1.5cm^3$$

$$A_w := 0.6048cm^2$$

$$A_P := A_e \cdot A_w = 0.203 \cdot cm^4$$

$$0.203cm^4 > 0.054cm^4$$

Step7:变压器初级匝数、次级匝数、辅助绕组及气隙长度

$$N_{pc} := \frac{V_{inmin} \cdot T_{onmax}}{A_e \cdot B_m} = 100.613$$

$$N_p := 100$$

$$N_{sc} := \frac{N_p}{n} = 16.667$$

$$N_s := 16$$

$$V_{cc} := 19V$$

$$V_{f2} := 1V$$

$$N_{vccal} := \frac{(V_{cc} + V_{f2}) \cdot N_s}{V_o + V_f} = 25.6$$

$$N_{vcc} := 25$$

$$l_{gc} := \mu_0 \cdot A_e \cdot \frac{N_p^2}{L_p} = 0.285 \cdot \text{mm}$$

$$l_g := 0.3 \text{mm}$$

Step8:满载时峰值电流,最大工作磁通密度

$$\Delta I_{p2} := \Delta I_{p1}$$

$$I_{pk2} := \frac{P_o}{\eta \cdot V_{inmin} \cdot D_{max}} + \frac{\Delta I_{p2}}{2}$$

$$I_{pk2} = 0.73A$$

$$B_{max} := \frac{L_p \cdot I_{pk2}}{A_e \cdot N_p} = 0.322 \cdot T$$

$$0.322T < 0.39T$$

$$B_{max} < B_{sat}$$

Step9:原副边电流的有效值

$$\text{原边电流中值:} \quad I_{pa} := I_{pk2} - \frac{\Delta I_{p2}}{2} = 0.55A$$

$$\text{原边电流直流分量:} \quad I_{pdc} := D_{max} \cdot I_{pa} = 0.249A$$

$$\text{原边电流有效值:} \quad I_{prms} := I_{pa} \cdot \sqrt{D_{max}} = 0.37A$$

$$\text{原边电流交流分量:} \quad I_{pac} := I_{pa} \cdot \sqrt{D_{max} \cdot (1 - D_{max})} = 0.273A$$

$$\text{副边电流直流分量:} \quad I_{sdc} := 1A$$

$$\text{副边电流中值:} \quad I_{sa} := \frac{I_{sdc}}{1 - D_{max}} = 1.84A$$

副边电流有效值: $I_{srms} := I_{sa} \cdot \sqrt{(1 - D_{max})} = 1.355A$

副边电流交流分量: $I_{sac} := I_{sa} \cdot \sqrt{D_{max} \cdot (1 - D_{max})} = 0.914A$

Step10: 计算原边绕组、副边绕组的线径, 估算窗口占有率

集肤深度:

$$\delta_c := \frac{6.61 \cdot \frac{cm}{0.5}}{\sqrt{f_s}} = 0.259 \cdot mm$$

$$\delta_{select} := 0.25mm$$

导线截面积:

$$S_{pc} := \frac{I_{prms}}{j} = 0.086 \cdot mm^2$$

$$S_{sc} := \frac{I_{srms}}{j} = 0.315 \cdot mm^2$$

$$D_{pcal} := 2 \sqrt{\frac{S_{pc}}{\pi}} = 0.331 \cdot mm$$

$$D_{scal} := 2 \sqrt{\frac{S_{sc}}{\pi}} = 0.633 \cdot mm$$

$$D_{pselect} := 0.35mm \quad \text{单股}$$

$$D_{sselect} := 0.35mm \quad \text{双股}$$

$$S_p := \pi \left(\frac{D_{pselect}}{2} \right)^2 = 0.096 \cdot mm^2$$

$$S_s := 2 \cdot \pi \left(\frac{D_{sselect}}{2} \right)^2 = 0.192 \cdot mm^2$$

$$I_{vccrms} := 0.1A$$

$$S_{vcc} := \frac{I_{vccrms}}{j} = 0.023 \cdot mm^2$$

$$D_{vcc} := 0.1mm \quad \text{双股}$$

查线组表, 得单位阻抗@20摄氏度:

$$R_{0.35DC20} := 186 \frac{\Omega}{km}$$

$$R_{0.35DC20} := 186 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$R_{0.1DC20} := 2381 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

单位阻抗@100摄氏度:

$$R_{0.35DC100} := 1.4R_{0.35DC20} = 2.604 \times 10^{-4} \frac{\Omega}{\text{mm}}$$

$$R_{0.35DC100} := 1.4R_{0.35DC20} = 2.604 \times 10^{-4} \frac{\Omega}{\text{mm}}$$

$$R_{0.1DC100} := 1.4R_{0.1DC20} = 3.333 \times 10^{-3} \frac{\Omega}{\text{mm}}$$

窗口占有率:

$$K_o \cdot A_w = 24.192 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_p \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_{pselect}}{2} \right)^2 + N_s \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_{sselect}}{2} \right)^2 \cdot 2 + N_{VCC} \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_{VCC}}{2} \right)^2 \cdot 2 = 13.093 \cdot \text{mm}^2$$

$$13.1 \text{mm}^2 > 18.5 \text{mm}^2$$

michael830701@gmail.com

OK, 设计通过

Step11: 估算温升

铁损: 查磁芯损耗曲线, PC40在 $\Delta B=0.15\text{T}$ 时为 $80\text{mW}/\text{cm}^3$

$$P_{Fe} := V_e \cdot 80 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^3} = 0.12\text{W}$$

铜损:

平均匝长: $MLT := 23.5\text{mm}$

$$R_{pdc} := N_p \cdot MLT \cdot R_{0.35DC100} = 0.612 \Omega$$

$$R_{pac} := 1.6 \cdot R_{pdc} = 0.979 \Omega$$

$$R_{sdc} := \frac{N_s \cdot MLT \cdot R_{0.35DC100}}{2} = 0.049 \Omega$$

$$R_{sac} := 1.6R_{sdc} = 0.078 \Omega$$

原边铜损: $P_p := I_{prms}^2 \cdot R_{pdc} + I_{pac}^2 \cdot R_{pac} = 0.156\text{W}$

副边铜损: $P_s := I_{srms}^2 \cdot R_{sdc} + I_{sac}^2 \cdot R_{sac} = 0.155\text{W}$

总铜损: $P_{cu} := P_p + P_s = 0.312\text{W}$

总损耗: $P_{loss} := P_{cu} + P_{Fe} = 0.432\text{W}$

温升通过经验公式：

$$\Delta t := \frac{800 \cdot P_{\text{loss}}}{34 \cdot \sqrt{AP}}$$

$$\Delta T_c := \frac{800 \cdot 0.494}{34 \cdot \sqrt{0.335 \cdot 0.6048}} = 25.823$$

$$\Delta T_c < \Delta T$$

(OK, 设计通过)

Step12: 变压器绕线结构和工艺

查EF20 Bobin的宽度为：

$$W_{\text{bobbin}} := 12.1\text{mm}$$

$$H_{\text{bobbin}} := 2.9\text{mm}$$

0.35mm的最大外径为0.424mm： 每层25匝

$$D_{\text{max_035}} := 0.424\text{mm}$$

$$W_{\text{pp}} := D_{\text{max_035}} \cdot 25 = 10.6\text{mm}$$

0.35mm的最大外径为0.424mm： 每层16匝

$$W_{\text{ss}} := D_{\text{max_035}} \cdot 16 = 6.784\text{mm} \quad \text{分两层绕}$$

0.1mm的最大外径为0.13mm： 每层25匝

$$D_{\text{max_01}} := 0.13\text{mm}$$

$$W_{\text{vc}} := D_{\text{max_01}} \cdot 25 = 3.25\text{mm}$$

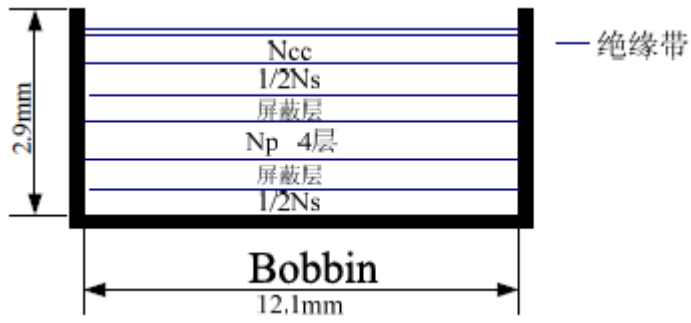
胶带厚度： $T_{\text{tape}} := 0.03\text{mm}$

胶带宽度： $W_{\text{tape}} := 12\text{mm}$

总高度： $D_{\text{max_035}} \cdot 4 + D_{\text{max_035}} \cdot 2 + D_{\text{max_01}} + T_{\text{tape}} \cdot 7 = 2.884\text{mm}$

$$2.884\text{mm} < 2.9\text{mm}$$

4. 变压器结构



4. 变压器结构

michael830701@gmail.com