

BUCK-BOOST-1500V转400V500W功率器件计算

meiguojun20220527

一、需求输入:

$$V_{bt.min} := 300 \quad V \quad \text{最低电池输入电压}$$

$$V_{bt.max} := 1500 \quad V \quad \text{最高电池输入电压}$$

$$V_o := 400 \quad V \quad \text{额定输出电压}$$

$$P_o := 500 \quad W \quad \text{额定输出功率}$$

$$I_o := \frac{P_o}{V_o} = 1.25 \quad A \quad \text{额定输出电流}$$

$$D_{max} := \frac{V_o}{V_{bt.min} + V_o} = 0.571 \quad \text{最大占空比}$$

$$E_{ff} := 0.87 \quad \text{产品效率}$$

$$P_{in} := \frac{P_o}{E_{ff}} = 574.713$$

$$I_{i.max} := \frac{P_{in}}{V_{bt.min}} = 1.916 \quad \text{输入电流}$$

$$f_{sw} := 200 \cdot 10^3 \quad Hz \quad \text{开关频率}$$

$$t := \frac{1}{f_{sw} \cdot 10^{-6}} = 5 \quad \mu S \quad \text{开关周期}$$

二、BUCK - BOOST电感量计算:

$$r := 2 \cdot 20\% = 0.4$$

电感纹波率 r , 当负载电流 $\geq 20\%I_o$ 时, 保持CCM

$$V_t := V_o \cdot (1 - D_{max}) \cdot t = 857.143 \quad V_{us}$$

$$I_{avg} := \frac{I_o}{1 - D_{max}} = 2.917 \quad A \quad I_{rms} := I_{avg} = 2.917 \quad A$$

$$\Delta I := I_{avg} \cdot r = 1.167 \quad A$$

$$L_f := \frac{V_t}{\Delta I} = 734.694 \quad \mu H \quad L_f := 740 \quad \mu H$$

三、输入电容计算：

$$I_{pk} := I_{avg} + \frac{\Delta I}{2} = 3.5 \quad A \quad \text{输入输出电容纹波电流}$$

$$I_{ci,rms} := I_{avg} \cdot \sqrt{D_{max} \cdot \left(1 - D_{max} + \frac{r^2}{12}\right)} = 1.466 \quad A \quad \text{输入电容纹波电流有效值}$$

$$\Delta V_{ci} := V_{bt,min} \cdot 2.5\% = 7.5 \quad V \quad \text{允许输入电池、电容纹波电压} \leq 3\%$$

$$ESR_{ci} := \frac{\Delta V_{ci}}{I_{ci,rms}} = 5.117 \quad \Omega \quad \text{电容等效串联电阻}$$

$$f := 120 \quad Hz \quad (\text{测试频率})$$

$$\omega := 2\pi f \quad (\text{角频率})$$

$$\delta_c := 0.2 \quad (\text{损耗角})$$

$$C_{in} := \frac{\tan(\delta_c) \cdot 10^6}{\omega \cdot ESR_{ci}} = 52.539 \quad \mu F \quad \text{取4只220uf串联}$$

四、输出电容计算：

$$\Delta V_{co} := V_o \cdot 1\% = 4 \quad V \quad (\text{允许输出} \leq 1\% \text{的纹波电压})$$

$$I_{co,rms} := I_o \cdot \sqrt{\frac{D_{max} + \frac{r^2}{12}}{1 - D_{max}}} = 1.46 \quad A \quad \text{输出电容纹波有效值}$$

$$ESR_{co} := \frac{\Delta V_{co}}{I_{co.rms}} = 2.74 \quad \Omega \quad \text{电容等效串联电阻}$$

$$C_o := \frac{\tan(\delta_c) \cdot 10^6}{\omega \cdot ESR_{co}} = 98.139 \quad \mu F \quad \text{取100}\mu F$$

五、mosfet应力计算:

M1, M4为外管, 各承受最高输入电压的一半应力, 考虑 ≥ 1.3 倍的裕量:

$$V_{ds1} := \frac{V_{bt.max}}{2} \cdot 1.3 = 975 \quad V$$

其电流峰值应力为:

$$I_{pk} = 3.5 \quad A$$

$$I_{ds1} := I_{pk} \cdot 8 = 28 \quad A \quad (\text{考虑散热条件及温升后取} \geq 8 \text{倍裕量})$$

M2, M3为内管, 各承受输出电压的一半应力, 考虑 ≥ 1.5 倍的裕量:

$$V_{ds2} := \frac{V_o}{2} \cdot 1.5 = 300 \quad V$$

六、续流二极管应力计算:

D1, D2在mos管关断时承受最高输入电压的一半应力, 考虑 ≥ 1.5 倍的裕量:

$$V_{R1} := \frac{V_{bt.max}}{2} \cdot 1.5 = 1.125 \times 10^3 \quad V \quad \text{DC反向峰值电压}$$

其正向连续电流应力为:

$$I_{F1} := I_{ci.rms} = 1.466 \quad A$$

$$I_{F1} := I_{ci.rms} \cdot 8 = 11.725 \quad A \quad (\text{考虑散热条件及温升后取} \geq 8 \text{倍裕量})$$

D3, D4在mos管关断时承受输出电压的一半应力, 考虑 ≥ 1.5 倍的裕量:

$$V_{R2} := \frac{V_o}{2} \cdot 1.5 = 300 \quad V \quad \text{DC反向峰值电压}$$

七、BUCK - BOOST电感磁芯选型:

$$j := 500 \quad A/cm^2 \quad \text{考虑电感空间对流条件后的电流密度}$$

$$K_u := 0.4 \quad \text{磁芯窗口利用系数}$$

$$B_m := 0.32 \quad T \quad \text{考虑85\%降额后最大磁通密度}$$

$$I_{pk} = 3.5 \quad A \quad \text{电感峰值电流即输入输出电容最大纹波电流}$$

$$W := \frac{L_f I_{pk}^2 \cdot 10^{-6}}{2} = 4.532 \times 10^{-3} \quad j \text{ (焦耳)} \quad \text{电感储存的能量}$$

$$AP := \frac{2W \cdot 10^4}{B_m \cdot j \cdot K_u} = 1.416 \quad \text{cm}^4 \quad \text{所需磁芯的面积积}$$

因增加3个辅助绕组，采用天通TP4A磁材，EER型磁芯绕制较好，

查表得EER404513A磁芯，其中：

$$A_e := 1.5 \quad \text{cm}^2 \quad \text{磁芯截面积}$$

$$A_w := 2.5 \quad \text{cm}^2 \quad \text{磁芯窗口面积} \quad B_s := 0.39 \quad T \quad 100 \text{度下}$$

$$AP_{core} := A_e \cdot A_w = 3.75 \quad \text{cm}^4 \quad \text{所选磁芯的面积积}$$

$$AP_{core} \geq AP, \text{ 即 } 3.75 \geq 1.416 \quad \text{符合设计要求}$$

八、BUCK - BOOST电感绕组计算：

$$N_p := \frac{L_f I_{pk} \cdot 10^{-6}}{B_m \cdot A_e \cdot 10^{-4}} = 53.958 \quad \text{匝}$$

$$\text{取 } N_p := 56 \quad \text{匝} \quad \text{原边匝数}$$

$$V_{ro} := \frac{D_{max}}{1 - D_{max}} \cdot V_{bt.min} = 400 \quad V \quad \text{反射电压}$$

$$V_{N1} := 14 \quad V \quad V_{N2} := 14 \quad V \quad V_{N3} := 20 \quad V \quad \text{副边电压}$$

$$n := \frac{V_{ro}}{V_{N1} + 0.5} = 27.586 \quad \text{匝比}$$

$$N1 := \frac{N_p}{n} = 2.03 \quad \text{匝} \quad \text{取} \quad N1 := 2 \quad \text{匝} \quad N2 := N1 = 2 \quad \text{匝}$$

$$N3 := N1 \cdot \frac{V_{N3}}{V_{N1}} = 2.9 \quad \text{匝} \quad \text{取} \quad N3 := 3 \quad \text{匝}$$

九、磁通密度验证:

$$l_g := \frac{0.4\pi \cdot N_p^2 \cdot A_e \cdot 10^{-2}}{L_f} = 0.08 \quad \text{cm} \quad \text{磁芯气隙, 中柱单边研磨}$$

$$B_{pk0} := B_s \cdot 85\% = 0.332 \quad \text{T} \quad \text{允许峰值或最大磁通密度达到Bs的85%的降额值}$$

$$B_{ac} := \frac{0.4\pi N_p \cdot \frac{\Delta I}{2} \cdot 10^{-4}}{l_g} = 0.051 \quad \text{T} \quad \Delta B := 2B_{ac} = 0.103 \quad \text{T}$$

$$B_{dc} := \frac{\Delta B}{r} = 0.257 \quad \text{T}$$

$$B_{pk} := B_{dc} + \frac{\Delta B}{2} = 0.308 \quad \text{T} \quad \text{实际峰值或最大磁通密度}$$

$$\Delta B_m := \frac{B_{pk0}}{2} \cdot 65\% = 0.108 \quad \text{T} \quad \text{允许最大磁摆在200 K频率下达到安全磁密65%的降额值}$$

$$\Delta B \leq \Delta B_m \quad B_{pk} \leq B_{pk0} \quad \text{故, 磁芯及r值符合设计要求}$$

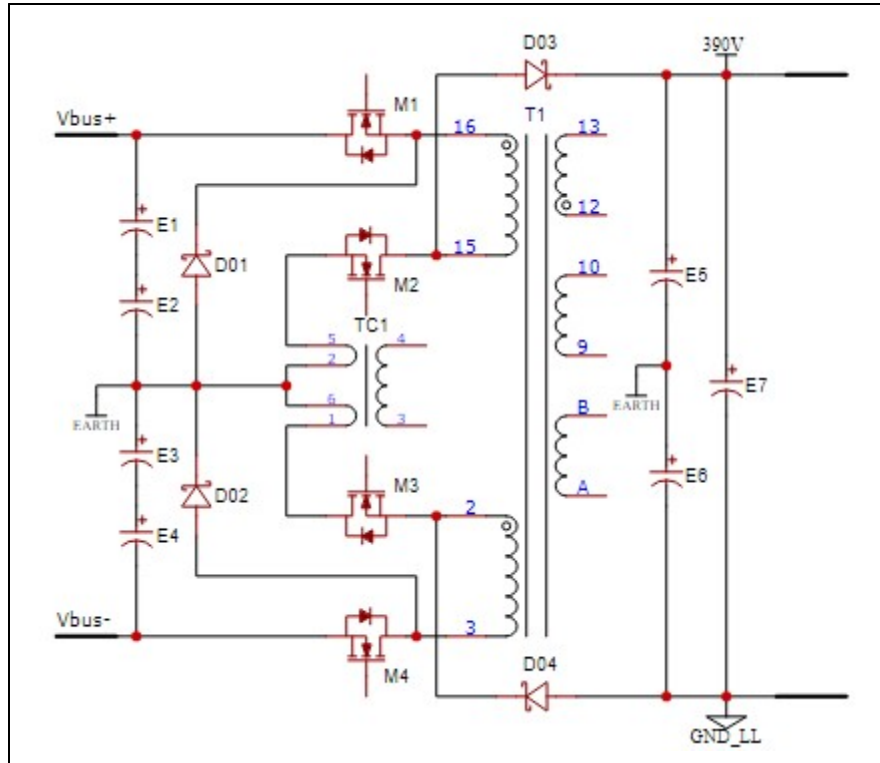
十、电感线径计算:

$$A_{wp} := \frac{I_{rms} \cdot 10^2}{j} = 0.583 \quad \text{mm}^2 \quad \text{所需导线截面积}$$

$$N_{0.1} := \text{round} \left(\frac{4A_{wp}}{\pi \cdot 0.1^2} \right) = 74 \quad \text{股} \quad \text{0.1mm 线径所需股数}$$

十一、电感损耗与温升(略)

十二、开关管损耗与温升(略)



三电平BUCK - BOOST级联拓扑电路