



单端反激式开关电源设计步骤

作者：孙浩
版本号：v05
2010-9-4

交流输入最小电压： U_{acmin} (V)
交流输入最大电压： U_{acmax} (V)
交流输入电压频率： f_L (HZ)
电源效率： η (0~100%)
输出电压 i ： V_{OUTi} (V)
输出电流 i ： I_{OUTi} (A)
偏置电压： V_B (V)

备注：

下标为 p 的代表变压器原边变量，下标为 si 的代表变压器副边第 i 个绕组的相关量，下标为 B 的代表变压器偏置绕组的相关量。

设计步骤：

1) 电源输出功率 P_O (W)

$$P_O = \sum_i^N ((V_{OUTi} + V_{Di}) \times I_{Oi})$$

其中 V_{Di} 为第 i 路输出整流二极管的正向导通压降，通常选用肖特基二极管或超快恢复二极管，选用前者， V_{Di} 一般取 0.4V；选用后者， V_{Di} 一般取 0.6V。

2) 输入端电容 C_{in} (μF)

$$C_{in} \geq (2 \sim 3) \times P_O$$

3) 输入最小直流电压 U_{dcmin} (V)

$$U_{dcmin} = \sqrt{2 \times U_{acmin}^2 - \frac{2 \times P_O \times (\frac{1}{2 \times f_L} - tc)}{\eta \times C_{in}}}$$

式中 tc (ms) 为整流桥导通时间，一般取 3.2ms。

4) 输入最大直流电压 U_{dcmax} (V)

$$U_{dcmax} = \sqrt{2} \times U_{acmax}$$

5) 确定最大占空比 D_{max}

对于常用的电流型 PWM 控制芯片，为了保证环路的稳定， D_{max} 通常不超过 0.5。

6) 确定反激电压 U_{OR} (V)

$$D_{max} = U_{OR} / (U_{OR} + (U_{dcmin} - U_{ds}))$$

故 $U_{OR} = (U_{dcmin} - U_{ds}) \times D_{max} / (1 - D_{max})$ ，其中 U_{ds} 为开关管饱和导通压降，通常设为 10V。

**7) 确定开关管漏源最低耐压 $U_{mos-min}$ (V)**

根据经验公式, 有

$$U_{mos-min} = U_{dcmax} + 1.4 \times 1.5 \times U_{OR} + 20$$

8) 设定变换器工作模式 (CCM/DCM), 确定电流纹波峰值比 K_{RP}

CCM (电流连续模式): $K_{RP} < 1$

DCM (电流断续模式): $K_{RP} = 1$

9) 确定开关频率 f (KHZ)

根据选用的芯片所能支持的开关频率以及开关管所能承受的开关能力, 选择合适的开关频率。

10) 选取合适的磁芯

选择磁芯的常用方法有面积乘法、几何法、经验选取等方法。以面积乘法为例, 计算面积乘积 A_p (cm^2), 以选取合适的磁芯。

CCM 模式:

$$A_p \geq 1.5 \times \frac{1 - D_{min}}{1 - D_{max}} \times \frac{P_O \times (\sqrt{1 - D_{max}} + \sqrt{D_{max}})}{10 \times B_m \times J \times K_u \times f \times \eta \times K_{RP}} \quad (\text{保留 } 1.5 \text{ 倍余量})$$

其中 D_{min} 为最小占空比。

$$D_{min} = U_{OR} / (U_{OR} + (U_{dcmax} - U_{ds}))$$

DCM 模式:

$$A_p \geq 1.5 \times \frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{P_O \times (\sqrt{1 - D_{max}} + \sqrt{D_{max}})}{10 \times B_m \times J \times K_u \times f \times \eta} \quad (\text{保留 } 1.5 \text{ 倍余量})$$

根据所选的磁芯, 查得其 A_e (mm^2) (磁芯中心截面积) 等参数。

11) 确定电流平均值 I_{avgp} (A)

$$I_{avgp} = P_O / (U_{dcmax} \times D_{max} \times \eta)$$

12) 确定原边峰值电流 I_{pkp} (A)

$$I_{pkp} = 2 \times I_{avgp} / ((2 - K_{RP}) \times D_{max})$$

13) 确定开关管能承受最小电流 $I_{mos-min}$ (A)

$$I_{mos-min} = 1.5 \times I_{pkp}$$

14) 确定原边有效值电流 I_{rmsp} (A)

$$I_{rmsp} = I_{pkp} \times \sqrt{D_{max} \times \left(\frac{K_{RP}^2}{3} - K_{RP} + 1 \right)}$$

15) 确定初级电感量 L_p (mH)

$$L_p = U_{dcmax} \times D_{max} / (f \times I_{pkp} \times K_{RP})$$

16) 确定最大磁通密度 B_m (T) (特斯拉)

为了防止磁芯饱和, B_m 取值范围通常为 0.2T~0.3T。

17) 原边匝数 N_p (Turn) (匝)



$$N_p = 1000 \times L_p \times I_{pkp} / (A_e \times B_m)$$

18) 副边匝数 N_{si} (Turn) (匝)

$$N_{si} = N_p \times (V_{OUTi} + V_{Di}) / U_{OR}$$

19) 偏置绕组匝数 N_B (Turn) (匝)

$$N_B = N_p \times (V_B + V_{BD}) / U_{OR}$$

V_{BD} 为偏置绕组输出整流二极管正向导通压降, 因为此绕组负载通常较轻, 故选用普通高频二极管, V_{BD} 取 0.7V。

20) 气隙长度 L_g (mm)

开气隙前的电感系数 A_L 可通过磁芯手册获得。

开气隙后的电感系数为 $A_{Lg} = 1000 \times L_p / N_p^2$ (nH/Turn²)

$$L_g = 0.4 \times \pi \times A_e \times (1/A_{Lg} - 1/A_L) \text{ (mm)}$$

为了保证变压器的可生产性, 气隙长度一般不小于 0.25~0.5mm。

21) 确定原边导线线径 D_p (mm)

考虑导线的趋肤效应, 导线的线径建议不超过穿透深度的 2 倍. 对于铜导线, 当环境温度为 20℃ 时, 穿透深度 $d = 66.1 / \sqrt{f \times 1000}$ (mm), 因此有 $D_{si} \leq 2 \times d$ (mm)。当导线电流较大

时, 可采用多股并绕方式。若原边采用 n_p 股并绕, 则有 $D_p = 1.13 \times \sqrt{I_{rmsp} / (n_{si} \times J)}$ (mm)。式

中 J (A/mm²) 为电流密度, 一般取值为 4A/mm²~10A/mm², 通常在初始设计时可选 5A/mm², 根据实际散热条件再进行调整, 偏置绕组因通常负载较轻, 流过电流较小, 故不进行特别计算, 采用与原边规格相同的导线即可。

22) 确定副边电流峰值 I_{psi} (A)

$$I_{psi} = I_{pkp} \times \frac{(V_{OUTi} + V_{Di}) \times I_{OUTi}}{P_O} \times \frac{N_p}{N_{si}}$$

23) 确定副边电流有效值 I_{rmsi} (A)

$$I_{rmsi} = I_{psi} \times \sqrt{(1 - D_{max}) \times \left(\frac{K_{RP}^2}{3} - K_{RP} + 1\right)}$$

24) 确定副边导线线径 D_{si} (mm)

$$D_{si} = 1.13 \times \sqrt{I_{rmsi} / (n_{si} \times J)}$$

n_{si} 为多股并绕的股数, 其他可参考原边导线线径的选取方法。

25) 确定输出滤波电容上的纹波电流 I_{rsi} (A)

$$I_{rsi} = \sqrt{I_{rmsi}^2 - I_{OUTi}^2}$$

26) 输出整流管最高反向峰值电压 U_{BRsi} (V)

$$U_{BRsi} = V_{OUTi} + U_{dcmax} \times N_{si} / N_p$$

实际选取值应为计算值的 1.25 倍以上。

27) 偏置绕组整流管最高反向峰值电压 U_{BRB} (V)

$$U_{BRB} = V_B + U_{dcmax} \times N_B / N_p$$

实际选取值应为计算值的 1.25 倍以上。

28) 开关管漏极箝位保护电路

漏极箝位保护电路主要有以下 4 种设计方案：

- (1) 利用瞬态电压抑制器 TVS (P6KE200) 和阻塞二极管 (超快恢复二极管 UF4005) 构成的箝位电路。
- (2) 利用阻容吸收元件和阻塞二极管构成 RCD 箝位电路。
- (3) 由阻容吸收元件、TVS 和阻塞二极管构成的箝位电路。
- (4) 由稳压管、阻容吸收元件和阻塞二极管构成的箝位电路。

29) 输入整流桥反向击穿电压 U_{BR} (V)

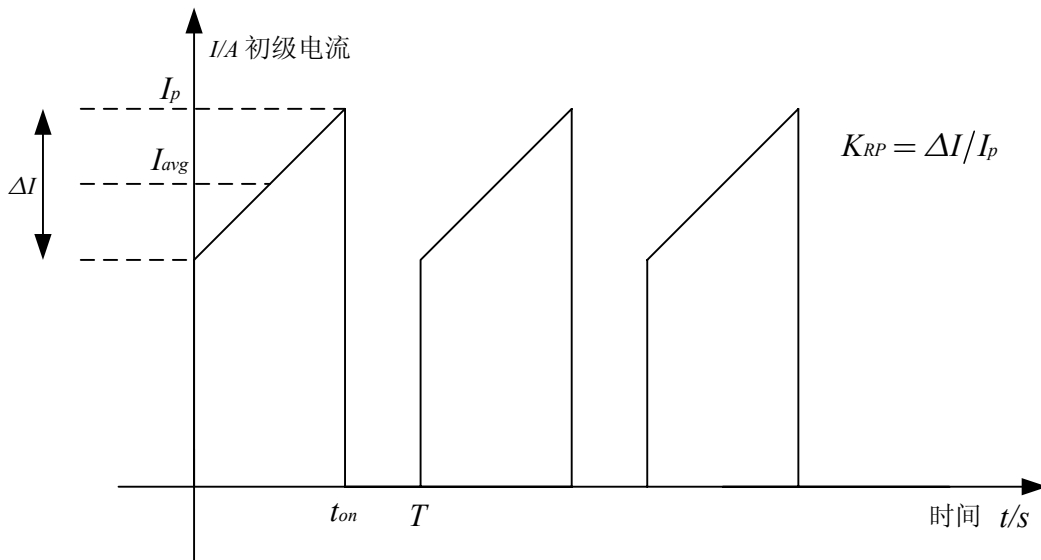
$$U_{BR} \geq 1.25 \times U_{acmax}$$

30) 输入整流桥额定电流 I_{BR} (A)

$$I_{BR} \geq 2 \times P_o / (U_{dcmax} \times D_{max} \times \eta \times \cos\varphi)$$

其中 $\cos\varphi$ 为开关电源的功率因数，一般设为 0.5~0.7。

附录



初级电流参数的图形描述

supermouse88@126.com