

开关电源设计步骤

步骤 1 确定开关电源的基本参数

交流输入电压最小值 u_{min}

交流输入电压最大值 u_{max}

电网频率 f_l 开关频率 f

输出电压 V_o (V) : 已知

输出功率 P_o (W) : 已知

电源效率 : 一般取 80%

损耗分配系数 Z : Z 表示次级损耗与总损耗的比值, $Z=0$ 表示全部损耗发生在初级, $Z=1$ 表示发生在次级。一般取 $Z=0.5$

步骤 2 根据输出要求, 选择反馈电路的类型以及反馈电压 V_{FB}

步骤 3 根据 u , P_o 值确定输入滤波电容 C_{IN} 、直流输入电压最小值 V_{imin}

令整流桥的响应时间 $t_c=3ms$

根据 u , 查出 C_{IN} 值

得到 V_{imin}

确定 C_{IN}, V_{imin} 值

$u(V)$	$P_o(W)$	比例系数($\mu F/W$)	$C_{IN}(\mu F)$	$V_{imin}(V)$
固定输入:100/115	已知	2~3	$(2\sim3)\times P_o$	90
通用输入:85~265	已知	2~3	$(2\sim3)\times P_o$	90
固定输入:230 \pm 35	已知	1	P_o	240

步

步骤 4 根据 u , 确定 V_{OR} 、 V_B

根据 u 由表查出 V_{OR} 、 V_B 值

由 V_B 值来选择 TVS

$u(V)$	初级感应电压 $V_{OR}(V)$	钳位二极管反向击穿电压 $V_B(V)$
固定输入:100/115	60	90
通用输入:85~265	135	200
固定输入:230 \pm 35	135	200

步骤 5 根据 V_{imin} 和 V_{OR} 来确定最大占空比 D_{max}

$$D_{max} = \frac{V_{OR}}{V_{OR} + V_{imin} - V_{DS(ON)}} \times 100\%$$

设定 MOSFET 的导通电压 $V_{DS(ON)}$

应在 $u=u_{min}$ 时确定 D_{max} 值, D_{max} 随 u 升高而减小

步骤 6 确定初级纹波电流 I_R 与初级峰值电流 I_P 的比值 K_{RP} , $K_{RP}=I_R/I_P$

$u(V)$	K_{RP}	
	最小值(连续模式)	最大值(不连续模式)
固定输入:100/115	0.4	1

通用输入:85~265	0.4	1
固定输入:230 ± 35	0.6	1

步骤 7 确定初级波形的参数

输入电流的平均值 I_{AVG}

$$I_{AVG} = \frac{P_o}{V_{Imin}}$$

初级峰值电流 I_P

$$I_P = \frac{I_{AVG}}{(1 - 0.5K_{RP}) \times D_{max}}$$

初级脉动电流 I_R

初级有效值电流 I_{RMS}

$$I_{RMS} = I_P \sqrt{D_{max} \times (K_{RP}^2/3 - K_{RP} + 1)}$$

步骤 8 根据电子数据表和所需 I_P 值 选择 TOPSwitch 芯片

考虑电流热效应会使 25 下定义的极限电流降低 10%，所选芯片的极限电流最小值 $I_{LIMIT(min)}$ 应满足： $0.9 I_{LIMIT(min)} > I_P$

步骤 9 和 10 计算芯片结温 T_j

按下式结算：

$$T_j = [I_{RMS}^2 \times R_{DS(ON)} + 1/2 \times C_{XT} \times (V_{Imax} + V_{OR})^2 f] \times R_{\theta} + 25$$

式中 C_{XT} 是漏极电路结点的等效电容，即高频变压器初级绕组分布电容
如果 $T_j > 100$ ，应选功率较大的芯片

步骤 11 验算 I_P $I_P = 0.9 I_{LIMIT(min)}$

输入新的 K_{RP} 且从最小值开始迭代，直到 $K_{RP} = 1$

检查 I_P 值是否符合要求

迭代 $K_{RP} = 1$ 或 $I_P = 0.9 I_{LIMIT(min)}$

步骤 12 计算高频变压器初级电感量 L_P ， L_P 单位为 μH

$$L_P = \frac{10^6 P_o}{I_P^2 \times K_{RP} (1 - K_{RP}/2) f} \times \frac{Z(1 - K_{RP}) + 1}{K_{RP}}$$

步骤 13 选择变压器所使用的磁芯和骨架，查出以下参数：

磁芯有效横截面积 S_j (cm^2)，即有效磁通面积。

磁芯的有效磁路长度 l (cm)

磁芯在不留间隙时与匝数相关的等效电感 AL ($\mu H/匝^2$)

骨架宽带 b (mm)

步骤 14 为初级层数 d 和次级绕组匝数 N_s 赋值

开始时取 $d = 2$ (在整个迭代中使 $1 < d < 2$)

取 $N_s = 1$ (100V/115V 交流输入)，或 $N_s = 0.6$ (220V 或宽范围交流输入)

$$N_s = 0.6 \times (V_o + V_{F1})$$

在使用公式计算时可能需要迭代

步骤 15 计算初级绕组匝数 N_p 和反馈绕组匝数 N_F

设定输出整流管正向压降 V_{F1}

设定反馈电路整流管正向压降 V_{F2}

计算 N_P

$$N_P = N_S \times \frac{V_{OR}}{V_O + V_{F1}}$$

计算 N_F

$$N_F = N_S \times \frac{V_{FB} + V_{F2}}{V_O + V_{F1}}$$

步骤 16~步骤 22 设定最大磁通密度 B_M 、初级绕组电流密度 J 、磁芯的气隙宽度，进行迭代。

设置安全边距 M ，在 230V 交流输入或宽范围输入时 $M=3\text{mm}$ ，在 110V/115V 交流输入时 $M=1.5\text{mm}$ 。使用三重绝缘线时 $M=0$

最大磁通密度 $B_M=0.2 \sim 0.3\text{T}$

$$B_M = \frac{100I_P L_P}{N_P S_J}$$

若 $B_M > 0.3\text{T}$ ，需增加磁芯的横截面积或增加初级匝数 N_P ，使 B_M 在 $0.2 \sim 0.3\text{T}$ 范围之内。如 $B_M < 0.2\text{T}$ ，就应选择尺寸较小的磁芯或减小 N_P 值。

磁芯气隙宽度 0.051mm

$$= 40 S_J (N_P^2 / 1000 L_P - 1 / 1000 A_L)$$

要求 0.051mm ，若小于此值，需增大磁芯尺寸或增加 N_P 值。

初级绕组的电流密度 $J=(4 \sim 10)\text{A}/\text{mm}^2$

$$J = \frac{1980}{\frac{1.27 D_{PM}^2 \times (1000 / 25.4)^2}{4 I_{RMS}}}$$

若 $J > 10\text{A}/\text{mm}^2$ ，应选较粗的导线并配以较大尺寸的磁芯和骨架，使 $J < 10\text{A}/\text{mm}^2$ 。若 $J < 4\text{A}/\text{mm}^2$ ，宜选较细的导线和较小的磁芯骨架，使 $J > 4\text{A}/\text{mm}^2$ ；也可适当增加 N_P 的匝数。

确定初级绕组最小直径（裸线） $D_{Pm}(\text{mm})$

确定初级绕组最大外径（带绝缘层） $D_{PM}(\text{mm})$

根据初级层数 d 、骨架宽带 b 和安全边距 M 计算有效骨架宽带 $b_e(\text{mm})$

$$b_e = d(b - 2M)$$

然后计算初级导线外径（带绝缘层） D_{PM} ： $D_{PM} = b_e / N_P$

步骤 23 确定次级参数 I_{SP} 、 I_{SRMS} 、 I_{RI} 、 D_{SM} 、 D_{Sm}

次级峰值电流 $I_{SP}(\text{A})$

$$I_{SP} = I_P \times (N_P / N_S)$$

次级有效值电流 $I_{SRMS}(\text{A})$

$$I_{SRMS} = I_{SP} \times \sqrt{(1 - D_{max}) \times (K_{RP}^2 / 3 - K_{RP} + 1)}$$

输出滤波电容上的纹波电流 $I_{RI}(\text{A})$

$$I_{RI} = \sqrt{I_{SRMS}^2 - I_O^2}$$

次级导线最小直径（裸线） $D_{Sm}(\text{mm})$

$$D_{Sm} = 1.13 \sqrt{I_{SRMS}/J}$$

次级导线最大外径 (带绝缘层) $D_{SM}(\text{mm})$

$$D_{SM} = \frac{b - 2M}{N_s}$$

步骤 24 确定 $V_{(BR)S}$ 、 $V_{(BR)FB}$

次级整流管最大反向峰值电压 $V_{(BR)S}$

$$V_{(BR)S} = V_O + V_{Imax} \times N_s/N_p$$

反馈级整流管最大反向峰值电压 $V_{(BR)FB}$

$$V_{(BR)FB} = V_{FB} + V_{Imax} \times N_f/N_p$$

步骤 25 选择钳位二极管和阻塞二极管

步骤 26 选择输出整流管

步骤 27 利用步骤 23 得到的 I_{RI} , 选择输出滤波电容 C_{OUT}

滤波电容 C_{OUT} 在 105、100KHZ 时的纹波电流应 I_{RI}

要选择等效串连电阻 r_0 很低的电解电容

为减少大电流输出时的纹波电流 I_{RI} , 可将几只滤波电容并联使用, 以降低电容的 r_0 值和等效电感 L_0

C_{OUT} 的容量与最大输出电流 I_{OM} 有关

步骤 28 ~ 29 当输出端的纹波电压超过规定值时, 应再增加一级 LC 滤波器

滤波电感 $L=2.2\sim 4.7 \mu H$ 。当 $I_{OM} < 1A$ 时可采用非晶合金磁性材料制成的磁珠; 大电流时应选用磁环绕制成的扼流圈。

为减小 L 上的压降, 宜选较大的滤波电感或增大线径。通常 $L=3.3 \mu H$ 滤波电容 C 取 $120 \mu F/35V$, 要求 r_0 很小

步骤 30 选择反馈电路中的整流管

步骤 31 选择反馈滤波电容

反馈滤波电容应取 $0.1 \mu F/50V$ 陶瓷电容器

步骤 32 选择控制端电容及串连电阻

控制端电容一般取 $47 \mu F/10V$, 采用普通电解电容即可。与之相串连的电阻可选 6.2 、 $1/4W$, 在不连续模式下可省掉此电阻。

步骤 33 选定反馈电路

步骤 34 选择输入整流桥

整流桥的反向击穿电压 $V_{BR} = 1.25 \sqrt{2} U_{max}$

设输入有效值电流为 I_{RMS} , 整流桥额定有效值电流为 I_{BR} , 使 $I_{BR} = 2I_{RMS}$ 。计算 I_{RMS} 公式如下:

$$I_{RMS} = \frac{P_o}{U_{min} \cos \phi}$$

$\cos \phi$ 为开关电源功率因数, 一般为 $0.5 \sim 0.7$, 可取 $\cos \phi = 0.5$

步骤 35 设计完毕

在相关的所有参数中, 只有 3 个参数需要在设计过程中进行检查并核对是否在允许的范围之内。它们是最大磁通密度 B_M (要求 $B_M=0.2T\sim 0.3T$)、磁芯的气隙宽度 (要求 0.051mm)、初级电流密度 J (规定 $J=4 \sim 10A/\text{mm}^2$)。这 3 个参数在设计的一步都要检查, 确保其在允许的范围之内。