

关于反激变压器的设计

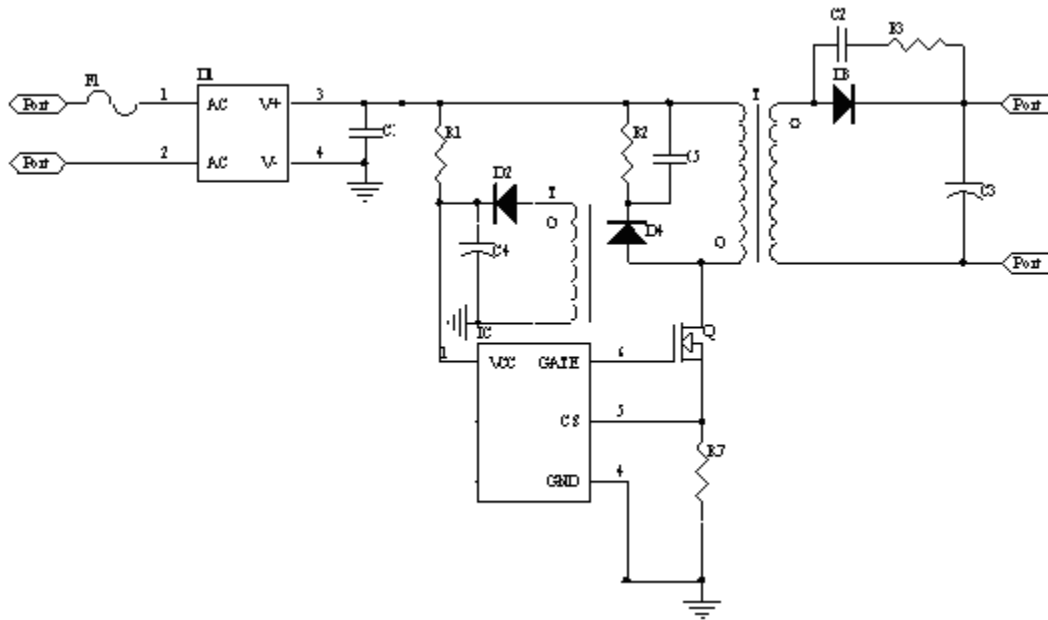
陈小平——矽恩微电子有限公司

2011-04-21

基本步骤：

- 1、确定 D_{max} 和 V_{or} 。
- 2、求匝比 n 。
- 3、求初级电感量 L_p 。
- 4、选择磁芯。
- 5、求最小初级匝数。
- 6、初级、次级和反馈绕组匝数关系。
- 7、选择线径，确定初级、次级和反馈绕组匝数。
- 8、做样品、调整参数。
- 9、参考例子。

原理：



一、确定 D_{max} 和 V_{or}

当开关管 Q 闭合时，初级线圈电压为： V_{in} （当输入为 265V 时，达到 375V），如果变压器初级线圈为： N_p ；次级线圈为： N_s 。匝比：

$$n=N_p/N_s。$$

则：次级线圈的电压为： V_{in}/n 。由于次级二极管 D3 反向，没有形成回路，所以线圈没有电流流经负载。而二极管的反向耐压：

$$V_{Df}=V_{in}/n+V_o,$$

V_o 为输出电压。

当开关管 Q 关断时，变压器中储存的能量向负载释放。次级线圈的电压

$$V_S=V_o+V_d,$$

V_d 为整流二极管 D3 正向压降。

初级线圈的电压为：

$$V_P=n*V_S+V_{leg}.$$

V_{leg} 为变压器漏感产生的尖峰电压；与输入电压反向。

设定 $V_{or}=n*V_S$ ，为反射电压。则开关管承受的电压

$$V_{ds}=V_{inmax}+V_{or}+V_{leg}.$$

实际选择开关管是必须留 20~50V 的余量。

所以：

$$V_{or}=V_{DS}- (V_{inmax}+V_{leg}+余量) =600- (375+120+20\sim50) =55\sim85V$$

V_{DS} ：开关管的额定耐压，600V

V_{in} ：在 265V 输入时，375V

V_{leg} ：一般在 120V

余量：20V~50V

根据伏秒法则： $V_{in}*T_{on}=V_{or}*T_{off}$

T_{on} ：为开关管闭合时间。

T_{off} ：为开关管关断时间。

占空比： $D=T_{on}/(T_{on}+T_{off})$ ， $T_{on}+T_{off}$ 为周期 T。

$$T_{on}=T*D$$

$$T_{off}=T*(1-D)$$

所以: $V_{in} \cdot D = V_{or} \cdot (1 - D)$

$$D = V_{or} / (V_{in} + V_{or})$$

$D_{max} = V_{or} / (V_{inmin} + V_{or})$ 建议设置在 0.3~0.5 当输入电压最小时取得最大占空比。

二、求匝比 n

$$n = V_{or} / (V_o + V_d)$$

三、求初级电感量 L_p 。

计算电感量: BCM 时,

有电感、电压、电流和时间的关系:

$$L = V \cdot t / I_{pp} \quad t: \text{为时间。} \quad I_{pp}: \text{电流的变化量。}$$

$$\text{初级电感量: } L_p = V_{inmin} \cdot T_{onmax} / I_{pp}$$

$$\text{BCM 时, } I_{pp} = 2 \cdot P_{in} / (V_{inmin} \cdot D_{max})$$

$$T_{onmax} = T \cdot D_{max} = D_{max} / f_s \quad f_s: \text{为工作频率。}$$

$$\text{所以: } L_p = V_{inmin} \cdot T_{onmax} / I_{pp} = V_{inmin} \cdot V_{inmin} \cdot D_{max} \cdot D_{max} / (2 \cdot P_{in} \cdot f_s)$$

对于 CCM 模式: 由于电流并没有下降到 0, 所以 $I_{ppccm} = K \cdot I_{ppBCM}$, K 小于 1。

$$\text{所以: } L_p = V_{inmin} \cdot T_{onmax} / I_{pp} = V_{inmin} \cdot V_{inmin} \cdot D_{max} \cdot D_{max} / (2 \cdot P_{in} \cdot f_s \cdot K)$$

当输入为窄电压时: K 取 0.6~0.8

当输入为宽电压时: K 取 0.4~0.6

实际应用时, 取值在以上的基础上乘以 1.1 倍, 再以 10% 的误差制作。

四、选择磁芯

$$A_p = A_w A_e = (P_t \cdot 10000) / (2 \Delta B \cdot f \cdot J \cdot K_u)$$

式中 $P_t = P_o / \eta + P_o$ 传输功率

J: 电流密度 A / cm² (300~500)

K_u : 绕组系数 0.2 ~ 0.5 .

五、求最小初级匝数。

$$N_p = L_p \cdot I_{pp} / (B_m \cdot A_e) = V_{inmin} \cdot T_{onmax} / (B_m \cdot A_e) = V_{inmin} \cdot D_{max} / (f_s \cdot B_m \cdot A_e)$$

此处求得的是最小匝数。

六、初级、次级和反馈绕组匝数关系

有 $n=N_p/N_s$ ，可以得到：

$$N_s=N_p/n$$

令反馈绕组为 N_a ，电压为 V_a 由于反馈绕组与次级绕组同名端同向，所以，反馈绕组电压与次级绕组电压成比例，即：

$$N_s/N_a= (V_o+V_d) / (V_a+V_{d1}) =n_a$$

V_d ：次级整流二极管正向压降

V_{d1} ：反馈绕组整流二极管 D2 正向压降

n_a ：匝比

$$N_a= N_p/(n* n_a)$$

七、选择线经，确定初级、次级和反馈绕组匝数。

线经的选择按每平方 mm 传递 4~6A 平均电流来计算。根据铜窗折中选择线经和匝数。尽量使 N_p 、 N_s 和 N_a 的取值接近整数。

八、做样品、调整参数。

按照相关的法律法规来制作样品，必须满足产品市场的法律法规。包括温升、绝缘等级、安规、EMI、EMC 等。

电磁屏蔽（法拉利屏蔽），绕组之间的屏蔽不能形成回路，一端悬空，一端连接初级或次级的冷地（没有电压突变的点）。最外层的（磁芯外屏蔽）屏蔽必须形成回路，并将节点连接到初级或次级的冷地。绕制变压器时做到：热节点（指电压或电流突变的节点）放置在底层。

九、参考例子：

用 FSEZ1317 设计一款宽电压（85~265Vac）输入，输出 DC16.5V-0.35A，效率为：0.76。

查看 FSEZ1317 的 DATESHEET，可知：其工作与 DCM，在这里 K 值取 1.5，工作频率为：50kHz。内置 1A/650V MOS 管，VCC 电压：16.5V。

1、确定 D_{max} 和 V_{or} 。

假设次级二极管正向压降 $V_d=0.7V$ ，则：

$$V_S = V_o + V_d = 16.5 + 0.7 = 17.2V$$

Vor 取 80V, $V_{inmin} = (1-a) * 85 * 1.414$ a: 为线电压整流后的纹波因子, 与所用的滤波电容的大小直接相关, 电容量越大, a 越小。一般电容量按每瓦 2~3uF, 来选择。假设 a=0.3, 则:

$$V_{inmin} = 85 * 1.414 * 0.7 = 84V$$

在这里 a 的选择必须注意了, 如果选择比实际的小了, 那么实际的将大于设计的占空比, 若 IC 有限制的话, 将导致工作异常。

$$D_{max} = V_{or} / (V_{in} + V_{or}) = 80 / (80 + 84) = 0.488$$

IC 内部设计的最大占空比为 0.6, 所以仅从占空比的角度来看是满足要求了。

验证 Vor 的合理性。已知 MOS 的 VDS=650V, 最大直流电压

$$V_{inmax} = 265 * 1.414 = 375, \text{ 假设 } V_{leg} = 120V, \text{ 则}$$

$$\text{余量 } V_y = 650 - 375 - 80 - 120 = 75V$$

余量一般有 30V 就可以了, 因此在设计 RCD 吸收电路时, 可以将 Vleg 的电压设置在 155V, 这样可以减少 RCD 吸收回路的功耗, 从而提升效率。

2、求匝比 n。

$$n = V_{or} / (V_o + V_d) = 80 / 17.2 = 4.65$$

3、求初级电感量 Lp。

$$L_p = V_{inmin} * T_{onmax} / I_{pp} = V_{inmin} * V_{inmin} * D_{max} * D_{max} / (2 * P_{in} * f_s * K) \\ = 84 * 84 * 0.488 * 0.488 / (50 * 1.5 * 2 * 17.2 * 0.35 / 0.76) \\ = 1.414mH$$

$$\text{所以 } L_p = 1.414 * 1.1 = 1.55mH.$$

4、选择磁芯。

$$A_p = A_w A_e = (P_t * 10000) / 2 \Delta B * f$$

$$* J * K_u = [(17.2 * 0.35 / 0.76 + 17.2 * 0.35) * 10000] / (2 * 0.25 * 50000 * 400 * 0.2) = 0.0768 \text{ 平方厘米}$$

式中 $P_t = P_o / \eta + P_o$ 传输功率

J: 电流密度 A / cm² (300~500)

Ku: 绕组系数 0.2 ~ 0.5 .

查磁芯手册可知, EE16 $A_p = 0.0765$ 比较接近。故选择 EE16.

5、求最小初级匝数。

EE16 的 $A_e = 19.2$ 平方毫米

$$I_{ppmax} = 2 * 17.2 * 0.35 / (0.76 * 84 * 0.488) = 0.38647A$$

$$N_p = L_p * I_{pp} / (B_m * A_e) = 1550 * 0.38647 / (0.25 * 19.2) = 125T$$

注意了: L_p 的单位是: uH, I_{pp} 的单位是: 安培 A_e 的单位是: 平方毫米。

B_m 的取值一般: 0.2~0.3, 单位: 特斯拉。

6、初级、次级和反馈绕组匝数关系。

$$n = 4.65 \quad N_S = 125 / 4.65 = 26.88, \text{ 在这里不能为小数, 取 29 圈。}$$

$$n_a = V_S / V_A = 17.2 / (16.5 + 0.7) = 1$$

$$N_A = N_S = 29 \text{ 圈}$$

$$N_P = 4.65 * 29 = 134.85 \text{ 取 } 135 \text{ 圈.}$$

- 7、选择线经，确定初级、次级和反馈绕组匝数。

初级次级平均电流最大值 0.0943A,若按 6A/mmmm,则 $D_s = 0.1415\text{mm}$ 取 0.15mm-2UEW 铜线。

反馈绕组，由于电流较小，考虑到容易绕线，取 0.13mm-2UEW 铜线。

次级平均电流 0.35A,若按 6A/mmmm,则 $D_s = 0.2726\text{mm}$,次级铜线如果用的是 2UEW 线的话，电流密度取：4~6A/mmmm；若用的是 TEX(三层绝缘线)线的话电流密度最大可取到 10A/mmmm.

- 8、做样品、调整参数。

根据第 7 步计算的方法来调整线经，使其可方便制样。绕法略.....。