

关于反激变压器的设计

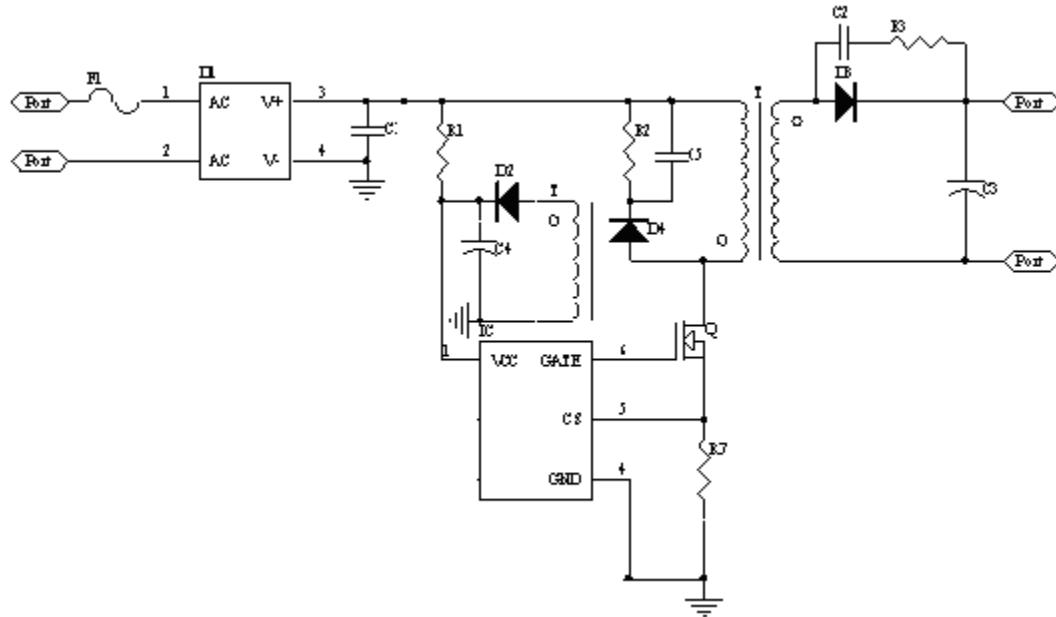
陈小平——矽恩微电子有限公司

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、选择线经，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

$$V_{ds}=V_{in\max}+V_{or}+V_{leg}.$$

实际选择开关管是必须留 20~50V 的余量。

所以：

$$V_{or}=V_{DS}- (V_{in\max}+V_{leg}+余量) =600- (375+120+20\sim 50) =55\sim 85V$$

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

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

$D_{max} = V_{out} / (V_{in, min} + V_{out})$ 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

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

三、求初级电感量 Lp。

计算电感量: BCM 时,

有电感、电压、电流和时间的关系:

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

$$\text{初级电感量: } L_p = V_{in, min} \cdot T_{on, max} / I_{pp}$$

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

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

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

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

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

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。

$$N_p = L_p \cdot I_{pp} / (B_m \cdot A_e) = V_{in, min} \cdot T_{on, max} / (B_m \cdot A_e) = V_{in, min} \cdot D_{max} / (f_s \cdot B_m \cdot A_e)$$

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 DATASHEET, 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:

$$VS=Vo+Vd=16.5+0.7=17.2V$$

V_{or} 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:

$$Vinmin=85*1.414*0.7=84V$$

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。

$$Dmax= Vor / (Vin+Vor) =80 / (80+84) =0.488$$

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 V_{or} 的合理性。已知 MOS 的 V_{DSD}=650V, 最大直流电压

$$Vinmax=265*1.414=375, 假设 Vleg=120V, 则$$

$$\text{余量 } Vy=650-375-80-120=75V$$

余量一般有 30V 就可以了, 因此在设计 RCD 吸收电路时, 可以将 V_{leg} 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。

$$n = Vor / (Vo + Vd) = 80 / 17.2 = 4.65$$

3、求初级电感量 L_p。

$$Lp=Vinmin*Tonmax/Ipp=Vinmin*Vinmin*Dmax*Dmax/ (2*Pin*fs*K)$$

$$=84*84*0.488*0.488 / (50*1.5*2*17.2*0.35/0.76)$$

$$=1.414mH$$

$$\text{所以 } Lp=1.414*1.1=1.55mH.$$

4、选择磁芯。

$$Ap = AwAe = (Pt * 10000) / 2\Delta B * f$$

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

式中 Pt = Po / η + Po 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 AP=0.0765 比较接近。故选择 EE16.

5、求最小初级匝数。

EE16 的 Ae=19.2 平方毫米

$$Ippmax=2*17.2*0.35/(0.76*84*0.488)=0.38647A$$

$$Np=Lp*Ipp / (Bm*Ae) =1550*0.38647/(0.25*19.2)=125T$$

注意了: L_p 的单位是: uH, I_{pp} 的单位是: 安培 Ae 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。

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

$$na=VS/VA=17.2/(16.5+0.7)=1$$

NA=NS=29 圈

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

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.....。