

反激变换器中元器件的选型

1. 高频变压器的设计

设计指标:

- 额定功率: 37.2W
- 工作频率: 50-60kHz
- 输入电压: 90Vac~264Vac
- 输出特性: +9.3V/±3%, 4.0A, $V_{pp} < 120mV$
- 转换效率: $\eta \geq 86\%$
- 异常保护: Surge, OCP, OVP, SCP, OLP 等

高频变压器常用的设计方法有面积乘积 (AP) 法和几何参数 (KG) 法。本次采用面积乘积 (AP) 法。

(1) 面积乘积 (AP) 法选择铁芯

设转换效率 $\eta = 78\%$, 变压器额定工作磁通密度 $\Delta B = 0.26T$, $K_u = 0.3$, $K_f = 4$, 电流密度 $J = 4A/mm^2$ 。根据 AP 法公式有:

$$A_p = A_w * A_e = \frac{P_T}{K_u * K_f * F_s * B * J} \quad \langle 1 \rangle$$

其中 A_w 、 A_e 分别是磁芯的窗口面积和磁芯截面积;

K_u 为窗口使用系数, 一般取 $K_u = 0.3 - 0.4$;

K_f 是波形系数, 即有效值与平均值之比, 正弦波为 4.44, 方波为 4;

B 为变压器工作磁场强度, 通常为 0.26T-0.3T;

F_s 为 PWM 控制器工作频率, 本文采用 0B2269 工作频率是 65KHz。 $P_T = P_o + \frac{P_o}{\eta}$

代入以上数据可得: $A_p = 850.17mm^4$

查资料选取 RM10 的铁芯, 其 A_e 值为 $98mm^2$

(2) 预估 MOS 管和次级整流管的应力, 确定匝比范围。

➤ 根据 $V_{DS} > V_{INMAX} + n(V_o + V_D) + V_{Spike} \quad \langle 2 \rangle$, V_{INMAX} 为 $264\sqrt{2}V$, 输出电压为 9.3V, 可选用额定电压为 600V 的 MOS。(Vspike 取 1.5Vro)

➤ 根据 $V_{D0} > \frac{V_{INMAX}}{n} + V_o + V_D \quad \langle 3 \rangle$, 60V 的次级整流管。

联合两式, 可求得变压器的匝比范围 $7.47 < n < 15.77$

(3) 根据最大占空比 D_{max} , 确定初次级匝比 n 。

设最大占空比 $D_{max} = 0.45$ ($D > 0.5$ 时次谐波振荡很严重), 由反激变换器输入输出特性

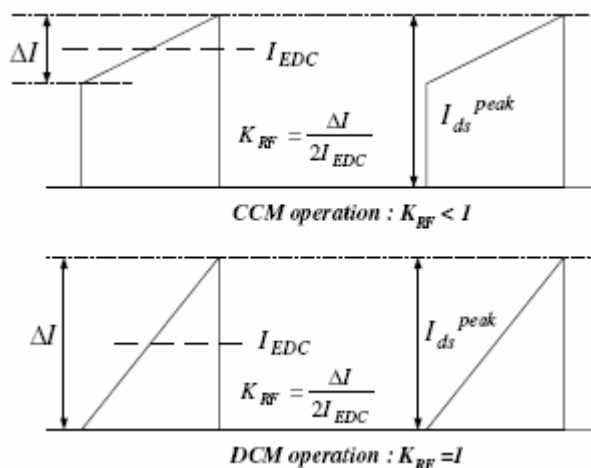
$$V_o = \frac{1}{n} \frac{D}{1-D} V_{IN}, \text{ 所以 } n = \frac{D_{\max} (V_{in\min} - 20)}{(1 - D_{\max}) * (V_{O+} V_D)} = \frac{0.45 * (85\sqrt{2} - 20)}{0.55 * 10} = 8.2 \langle 4 \rangle$$

取 $n=9$, 此时 $D_{\max}=0.47$ 。

(4) 确定变压器的初级电感 L_p

$$L_p = \frac{(V_{inDC\min} \times D_{\max})^2}{2P_{in} \times K_{RF} \times f_s} \langle 5 \rangle$$

➤ 纹波因子 K_{RF}



当输入电压为低压时，反激变换器工作于连续模式，此时 K_{RF} 可取为 $0.4 \sim 0.6$,

$$P_{in} = \frac{P_o}{\eta} = 43.3W \text{ 计算得出 } L_p = 960\mu H.$$

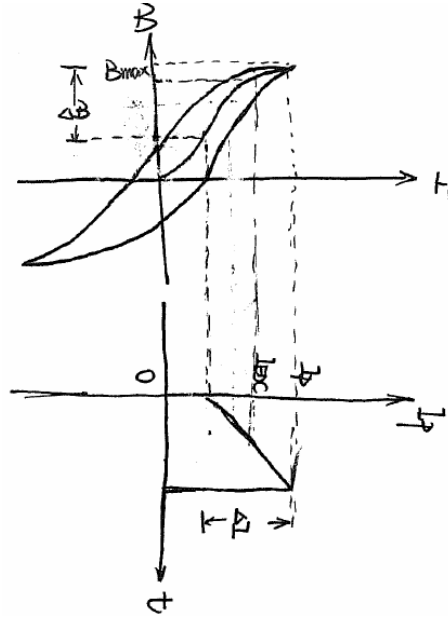
(5) 确定变压器的初次级匝数 N_p 和 N_s 以及辅助绕组的匝数 N_a 。

根据电磁感应定律有： $V * \Delta t = N * d\phi = N * \Delta B * Ae$,

$$\text{所以 } N_p = \frac{V_{inDC\min} * D_{\max} * T}{\Delta B * Ae} \langle 6 \rangle$$

➤ 计算 ΔB — 正常操作状态下的最大磁通量密度摆幅

根据磁滞曲线



由图可知, $\frac{\Delta I}{I_p} = \frac{\Delta B}{B_{\max}}$, 所以 $\Delta B = \frac{\Delta I}{I_p} * B_{\max}$, 又 $K_{RF} = \frac{\Delta I}{2I_{EDC}}$, 所以 $\Delta B = \frac{2K_{RF}}{1+K_{RF}} * B_{\max}$

($K_{RF}=0.5$, B_{\max} 定为 0.3), 所以 $\Delta B=0.2$ 。

从而计算出 $N_p=43.5T$; $N_s = \frac{N_p}{n} = 4.83T$;

PWM IC 的 V_{cc} 供电电压范围为 $12V-20V$, 取 $V_{cc}=16V$, $N_a = \frac{V_{cc}+0.7}{V_o+0.7} * N_s = 8.07T$ 。

取 $N_p=44T$, $N_s=5T$, $N_a=8T$ 。

(6) 根据初次级的电流的有效值确定绕组的线径。

➤ 初级电流有效值:

CCM 模式:

$$I_p^{rms} = \sqrt{[3(I_{EDC})^2 + (\frac{1}{2}\Delta I)] * \frac{D_{\max}}{3}} \quad \langle 7 \rangle, \quad \text{其中} \quad I_{EDC} = \frac{P_o}{V_{INMIN} * D_{\max} * \eta} = 0.92A,$$

$$\Delta I = \frac{V_{INMIN} * D_{\max}}{L_p * f_s} = 0.75A.$$

所以 $I_p^{rms} = 0.65A$ 。

DCM 模式:

由 $V_o = \frac{1}{n} \frac{D_{\min}}{1-D_{\min}} V_{IN\max}$, 算得 $D_{\min}=0.18$,

$$\Delta I = \frac{V_{in\max} * D_{\min}}{L_p * f_s} = 1.08A, \quad I_p^{rms} = I_p^{peak} * \sqrt{\frac{D_{\min}}{3}} = 0.26A \langle 8 \rangle.$$

定义初级电流密度为 $5A/mm^2$, 由 CCM 模式下 I_p^{rms} 确定初级绕组线径 $\Phi_p=0.42$ 。

➤ 次级电流有效值:

DCM 模式:

$$\text{次级电流峰值 } I_s^{peak} = \frac{2I_o}{1-D_{MAX}} = 9.76A = 14.54A \langle 8 \rangle$$

所以有效值 $I_s^{rms} = I_s^{peak} * \sqrt{\frac{1-D_{max}}{3}} = 5.1A \langle 9 \rangle$, 一般定义次级电流密度为 $6-7A/mm^2$, 当输出线超过 1m 时, 电流密度一般为 $5A/mm^2$, 确定 $\Phi_s=0.75 \times 2$ 。

计算出的变压器参数:

磁芯型号: RM10

匝比 $n=9$

初级匝数 $N_p=44T$

次级匝数 $N_s=5T$

辅助绕组匝数 $N_a=8T$

初级电感 $L_m=960\mu H$

磁学中的重要定律:

1. 安培环路定律: 解释电生磁

$$\oint H \cdot l = Np \cdot I$$

2. 电磁感应定律: 解释磁生电

$$V = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt} = N \cdot \frac{\Delta B \cdot Ae}{dt}$$

2. Bulk 电容的选择

根据最大 DC 电压纹波公式:

$$\Delta V_{DC}^{max} = \frac{Pin * (1 - D_{ch})}{\sqrt{2} * V_{line}^{min} * 2f_L * C_{DC}}$$

ΔV_{DC}^{max} 定为 20V (一般为 10%-15% V_{line}^{min} , D_{ch} 典型值为 0.2, 输入电压最小值定为 85V, 计

算出电容 $C_{DC}=120\mu F$ 。耐压必须大于 $\sqrt{2}V_{line}^{max}=373.35V$, 所以选 400V, 因客户对 HOLD UP TIME

有特殊要求, 因此还需根据实际测试确定最终容值。