

$$P_{\Sigma} = P_{Cu} + P_{Fe} + P_g = 1.5 + 0.633 + 1.01 = 3.143 \text{ (W)}$$

(16) 计算效率  $\eta$

$$\eta = \frac{P_T}{P_T + P_{\Sigma}} = \frac{55}{55 + 3.143} = 95\%$$

## 第五节 电流互感器的设计

在开关稳压电源中,为测量和控制输出电流,常用高精度、小阻值的电阻器来测量电流,并将电阻器上采样的电压反馈到控制芯片的误差放大器或限流比较器,调整驱动脉冲宽度或关断输出级,以使输出稳定或提供过流保护。若要求主回路和测控电路有电隔离,则要用霍尔元件或电流互感器来测量电流。霍尔元件的有关内容请参阅相关章节。电流互感器的工作原理请参阅相关章节。本节重点介绍电流互感器的设计方法。

电流互感器及其等效电路图如图 5-13 所示。

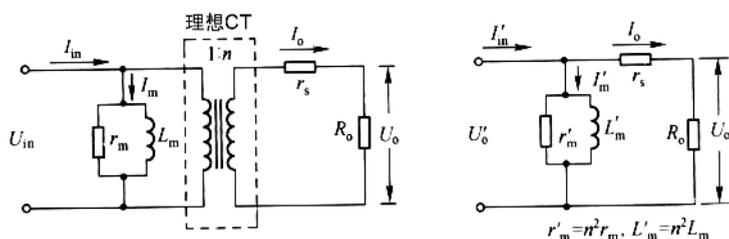


图 5-13 电流互感器及其等效电路图

图中  $I_{in}$  是待测电流;  $I_m$  是激磁电流;  $L_m$  是激磁电感;  $r_m$  是激磁电感绕组的电阻;  $I_o$  是电流互感器副边得到的电流;  $I'_{in}$  是  $I_{in}$  折算到副边的电流;  $I'_m$  是  $I_m$  折算到副边的电流;  $r'_m$  是  $r_m$  折算到副边的电阻;  $L'_m$  是  $L_m$  折算到副边的电感;  $r_s$  是副边绕组电阻;  $R_o$  是输出电阻;  $U_{in}$  是电流互感器输入电压;  $U_o$  是电流互感器输出电压。为了使  $I_o$  真实地反映  $I_{in}$ , 要求激磁电流  $I'_m$  ( $I_m$ ) 越小越好。

根据法拉第定律

$$U'_o = K_t f N_s B_w A_e \times 10^{-4} \quad (5-52)$$

由图 5-13 的右侧等效电路可得

$$U'_o = I_o (r_s + R_o) \quad (5-53)$$

比较式(5-52)和式(5-53)可得

$$A_e = \frac{(r_s + R_o) I_o}{K_t f N_s B_w} \times 10^4 \quad (5-54)$$

### 设计举例

已知原边电流  $I_{in} = 0 \sim 3A$  ,原边绕组匝数  $N_p = 1$  ;工作频率  $f = 20kHz$  ,输出电阻  $R_o = 1k\Omega$  ;工作磁感应强度  $B_w = 0.3T$  ,副边经二极管整流后输出 ,允许铁心损耗  $< 3\%$  ,输出电压  $U_o = 0 \sim 10V$  ,要求设计一个电流互感器。

设计步骤 :

(1) 计算副边绕组电流  $I_o$  .

$$I_o = \frac{U_o}{R_o} = \frac{10}{1000} = 0.01(A)$$

(2) 计算副边绕组匝数  $N_s$  .

$$N_s = \frac{I_{in} N_p}{I_o} = \frac{3 \times 1}{0.01} = 300(\text{匝})$$

(3) 计算  $A_e$  .

因电流互感器的副边经二极管整流输出 ,所以副边绕组上的电压  $(r_s + R_o)I_o$  应等于  $(U_o + U_{D_F})$  ,  $U_{D_F}$  为二极管的导通压降 ,一般为  $1V$  左右。所以  $A_e$  的表达式为

$$A_e = \frac{U_o + U_{D_F}}{K_t f N_s B_w} \times 10^4 = \frac{10 + 1}{4 \times 20 \times 10^3 \times 300 \times 0.3} \times 10^4 = 0.0153(\text{cm}^2)$$

选择环形铁氧体磁心作为电流互感器的磁心 ,由表 5-26 查得与  $A_e$  最接近的磁心为 52402 号磁心 ,其  $A_e = 0.022\text{cm}^2$  ,  $AP = 0.01\text{cm}^4$  ,  $MLT = 2.05\text{cm}$  ,  $A_w = 0.4545\text{cm}^2$  ,  $W_{Fe} = 0.63\text{kg}$  .

表 5-26 环形铁氧体磁心的参数

序号	磁心 编号	$A_s$ $\text{cm}^2$	$AP$ $\text{cm}^4$	MLT cm	$N/\text{AWG}$	$\Omega$ ( $50^\circ\text{C}$ )	$K_G$ $10^{-3}$	$A_w$ $\text{cm}^2$	$W_t$ Fe/Cu kg	$V$ $\text{cm}^3$	$A_e$ $\text{cm}^2$
1	52402	7.26	0.01	2.05	302/30	2.35		0.4545	0.63/3.12	1.42	0.022
2	52057	17.4	0.0659	2.53	1017/30	9.78		1.53	2.05/13.1	4.98	0.043
3	52167	31.5	0.516	4.23	1000/30	16.1		1.5	20.9/19	11.9	0.343
4	52038	65.9	2.91	5.97	315/20	0.697		4.24	59.6/79.4	38.3	0.686

(4) 计算有效窗口面积

设窗口有效利用系数为 0.75 ,则有效窗口面积为

$$A'_w = 0.75 \times A_w = 0.75 \times 0.4545 = 0.341(\text{cm}^2)$$

假设副边绕组占据有效窗口面积的 75% ,那么 ,副边绕组的有效面积为

$$A'_{ws} = 0.75 \times A'_w = 0.75 \times 0.341 = 0.256(\text{cm}^2)$$

(5) 计算副边绕组导线截面积  $A_{XS}$

$$A_{XS} = \frac{A'_{ws} S_2}{N_s}$$

取  $S_2 = 0.6$  ,则

$$A_{XS} = \frac{0.6 \times A'_{ws}}{N_s} = \frac{0.6 \times 0.256}{300} = 0.000512 (\text{cm}^2)$$

表 5-22 与此  $A_{XS}$  值相近的 AWG 导线为 31# 其  $A_X = 0.0005596 \text{cm}^2$ ,  $\frac{\mu\Omega}{\text{cm}} = 4294.6$

(6) 计算副边绕组电阻  $r_s$

$$r_s = MLT \times N_s \times \frac{\mu\Omega}{\text{cm}} \times 10^{-6} = 2.05 \times 300 \times 4294.6 \times 10^{-6} = 2.64 (\Omega)$$

$r_s/R_o = \frac{2.64}{1000} = 0.264\%$  ,导线的选择通过。

(7) 计算副边的输出功率  $P_o$

$$P_o = (U_o + U_{Df}) I_o = (10 + 1) \times 0.01 = 0.11 (\text{W})$$

(8) 计算允许铁心损耗  $P_{Fe}$

$$P_{Fe} < 3\% \times P_o = 0.0033 (\text{W})$$

(9) 计算铜损  $P_{Cu}$

$$P_{Cu} = I_o^2 \cdot r_s = (0.01)^2 \times 2.64 = 0.000264 (\text{W})$$

(10) 总损耗  $P_{\Sigma}$  为

$$P_{\Sigma} = P_{Cu} + P_{Fe} = 0.000264 + 0.0033 = 0.003564$$

(11) 电流互感器的效率  $\eta$

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{\Sigma}} = \frac{0.11}{0.11 + 0.003564} = 97\%$$

本章所介绍的高频变压器、扼流圈和电感器的设计方法是一种标准的设计方法。但是在开关稳压电源的设计中,往往设计人员所掌握的技术要求满足不了高频变压器等设计计算的需要。这样,设计人员就要根据手中已有元器件(如控制器、集成稳压器等)和相关资料(如开关稳压电源的类型、输出功率等)来灵活运用本章所介绍的设计方法和步骤,设计出技术指标满足要求的变压器等。