

成套开关设备用接触式在线监测温度传感器电源的研制

许玉玉, 郑义, 王小华, 荣命哲, 赵同旭

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

Design of Power Supply for On-line Monitoring Contact-type Temperature Sensor in Switchgear

XU Yu-yu, ZHENG Yi, WANG Xiao-hua, RONG Ming-zhe, ZHAO Tong-xu

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

摘要: 接触式温度传感器应用于成套开关设备,其前端电源的获取是一个主要问题。笔者利用磁饱和原理,在开关柜母线上安装一电流互感器,使其铁心在小电流时正常励磁,大电流时磁饱和,并通过计算确定其尺寸,研制了满足功率和电压要求的前端电源,从而为后端的接触式传感器和温度在线监测系统提供了稳定、不间断的电源。

关键词: 开关设备; 在线检测; 磁饱和; 互感器

中图分类号: TM59

文献标识码: A

Abstract: How to power the contact-type temperature sensor is a main problem for its application in high voltage switchgear. This paper introduces a method which utilizes magnetic saturation principle to solve the problem. A kind of current transformer is installed around the inside bus bar. It is excited normally when lower current passes through it; and saturated when higher current. Therefore, the dimensions of iron-core of current transformer can be calculated to meet the power supply requirement of the sensor at the front end, providing a stable power source for the subsequent circuit.

Key words: switchgear; on-line monitoring; magnetic saturation; transformer

1 前言

在电力系统中,中高压开关柜、GIS等高压电器在负载电流过大时会出现温升过高,最后导致电力设备损坏,从而影响整个电力系统的正常工作,甚至造成巨大的经济损失。因此,及时、准确地测出电力设备关键点的温度对于发现并排除故障具有重大意义。

目前,专门用于开关柜温度测量的仪器还很少,现场温度监测的方法主要有两种:一是在被测物表面涂一层随温度变化颜色的发光材料,通过观察其颜色变化来大致确定其温度范围,这种方法准确度低、可靠性差、不能进行定量测量^[1];另外一种方法

是使用红外测温仪测量,红外测温的准确度和可靠性受大气测试背景、距离系数、物体辐射率、工作波长、区域范围和瞬时视场角等各种因素的影响,要做到准确测量难度很大^[2];而且由于该方法要求仪器和被测点之间没有障碍物才能准确测量,这样在高压开关柜等特定场合使用不太方便。所以,笔者开发了接触式在线监测温度传感器系统,由于该监测装置处于高电位,测量人员无法接近,所以,温度传感器系统用前端电源的设计成了重中之重。

2 电流互感器作为传感器电源

2.1 应用原理

由于成套开关柜内部是一个高温、高电压、强磁场的复杂环境,在选择电源时必须考虑到其绝热、绝缘等问题。如果使用化学电池,则无论原电池、储备电池和燃料电池都无法满足开关柜内使用寿命和工作条件的要求,不能连续不断地提供稳定、可靠的电能。即使能够忍受柜体内部的物理环境,也不便于安装、维护、更换和及时充电。如果采用光伏电池供电^[3],则需要在开关柜柜体内部安装照明光源,为光伏电池提供稳定的能量来源,在运行过程中如果当照明光源损坏时非常不便于更换,同时光伏电池作为传感器电源时也存在对地绝缘的问题;而激光电源也存在着明显的不足。

解决方案可以是在母排上安装电流互感器,从中取出电流为后端传感器供电。但由于开关柜母排工作电流变化很大,一般可能达到十几倍,为保证互感器能提供较为稳定的电源,利用铁心磁饱和原理,适当地选取电流互感器铁心的材料和截面积,使之在母排小电流时正常励磁,大电流时铁心饱和,从而提供变化幅度较小的电源,再通过电子稳压装置,向传感器提供稳定可靠的电源。

图1中TA为电流互感器,这里只画出了其二次侧部分。

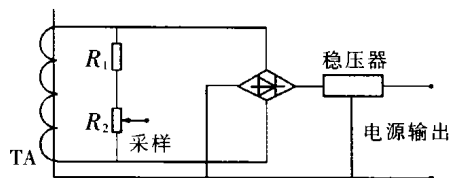


图 1 电流互感器电源原理图

采用电流互感器向温度传感器供电，而且能够在开关柜工作过程中不间断地提供电源。电流互感器较光伏电池、激光电源等使用寿命长，不易损坏，便于安装，因此是一种较好的解决方案。

2.2 基于电流互感器原理的电源设计

2.2.1 设计依据

通过选取适当的铁心材料使之在母线通过小电流时，铁心正常励磁，大电流时互感器铁心饱和，从而为后端的传感器提供了稳定的电源。并通过设计互感器参数，使之满足在现场条件下的热稳定性和动稳定性要求。

2.2.2 互感器铁心材料的选取

互感器安装在开关柜内部的母排上，由于通过母排的电流也就是互感器一次侧电流，在正常工作状态下随开关柜不同的负载变化很大，而笔者要求的传感器电源必须稳定，那么就要求电流互感器在母排通过大电流时铁心饱和，因此要求互感器铁心具有相对较小的饱和磁感应强度和很小的涡流、磁滞损耗，以增强铁心长期工作在饱和状态下的热稳定性。

选取纳米晶合金作为互感器的铁心材料，它具有高导磁率、低矫顽力、低损耗及良好的稳定性、耐磨性和耐蚀性。其饱和磁感应强度 1.25 T；居里温度 560 °C；晶化温度 510 °C；饱和磁致伸缩系数 2×10^{-6} ；密度 7.2 g/cm³；电阻率 130 $\mu\Omega$ /cm；硬度 880 kg/mm²。

2.2.3 互感器主要参数的设计

在对互感器一次侧饱和电流的选取上，如果过大，可能使得后端的传感器在该电流点以下不能正常工作，使得传感器工作范围减小；如果过小，使得互感器饱和深度增加，长期在深度饱和状态下工作，互感器发热加剧，损毁的可能性增大。因此如何减少铁心发热，并使其满足电动力要求，能够输出稳定的电压，是参数设计的关键。

为了使后端传感器在更大范围内工作，选取在开关柜母排通过电流为 50 A 时互感器饱和，以此设计其相关参数，并通过试验验证其动、热稳定性。

选取圆形铁心，因为圆形铁心损耗较小，从而减少了互感器发热，同时电磁应力性能较好。

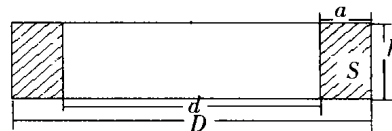
线圈磁路总磁势由原副边电流共同作用产生，即： $F = I + Ni = I_E$ ，式中： N 为线圈匝数， I_E 为励磁电流， I, i 为原、副边电流。

由磁路欧姆定律可得饱和点的饱和磁通： $\Phi_s = F_{max} \Lambda = I_{Emax} \Lambda$ ，式中： Λ 为磁路中磁导； F_{max} 为最大磁势； I_{Emax} 为最大励磁电流。截面为矩形 S 的圆环铁心

结构见图 2，设其饱和磁感应强度为 B_s ，则 $\Phi_s = B_s S$ ，一般 d 比 a 大， S 上 μ_r 近似相等。由 $\Lambda = \mu A / l$ 得：

$$\Lambda = \int_{d/2}^{D/2} \mu_0 \mu_r \frac{h}{2\pi r} dr = \mu_0 \mu_r \frac{S}{2\pi a} \ln \frac{D}{d}$$

故： $I_{Emax} = \Phi_s / \Lambda = 2\pi a B_s / [\mu_0 \mu_r \ln(D/d)]$ ，即最大励磁电流由铁心自身特性决定。其中： μ_0 为真空中的磁导率， μ_r 为介质相对磁导率。



d ——母线宽度

图 2 矩形截面环形铁心结构图

设二次侧采样电阻为 R ，线圈二次电阻为 R_L ，电感为 L ，所以衰减系数为 $\alpha = R/2L$ ， $\beta = (R + R_L)/L$ ，用拉普拉斯变换及反变换，得：

$$i(t) = -(I_m/N) [(\alpha - \beta)^2 + \omega^2]^{-1} \{e^{-\alpha t} [(\alpha(\alpha - \beta) + \omega^2) \sin \omega t + \omega \beta \cos \omega t] - \omega \beta e^{-\beta t}\}$$

进而可求出励磁电流：

$$I_E(t) = I_m \beta [(\alpha - \beta)^2 + \omega^2]^{-1} \{\omega e^{-\beta t} + e^{-\alpha t} [(\beta - \alpha) \sin \omega t - \omega \cos \omega t]\}$$

假设 $\omega \gg \beta$ ，并设 $\alpha \approx 0$ ，即电流不衰减。当 $\omega t = \pi$ ，取得最大值，即铁心开始饱和是在 $I(t)$ 过零，而不是最大值的时候。故最大励磁电流为 $I_{Emax} = I_E(\pi/\omega) = 2\beta I_m / \omega$ 。由此得到互感器的饱和电流。将饱和电流固定为 50 A，进而可以近似求出铁心尺寸^[4]。取 $d \approx 70$ mm，计算得出 $D \approx 198.6$ mm， $h \approx 56.3$ mm，确定了铁心的全部尺寸。最终试制的样品尺寸为 $D = 150$ mm， $h = 46$ mm，与计算结果比较接近，满足安装的要求。

2.2.4 试验结果及分析

在实验室条件下，开关柜母线通过 50~1 200 A 电流，验证其是否满足设计要求，即在 50 A 电流以上，其二次侧输出电压、电流基本稳定。图 3 为试验后得到的曲线。

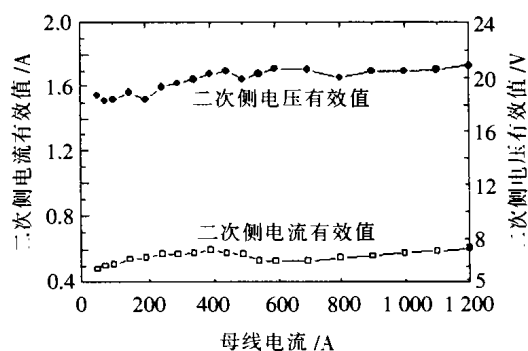


图 3 试验特性结果

为测量其在额定电流长期工作状态下的温升，在母线通过 2 000 A 电流时，即互感器铁心处于深度饱和状态下，使互感器长时间运行，室温为 12 °C，其铁

心温度为 14℃, 满足在长期饱和状态下的温度要求; 在 4s 内, 母线通过额定短路电流 40 kA, 采用红外测温器测量铁心温度为 14℃, 满足热稳定性要求。

使母线瞬时通过额定峰值电流 80 kA, 互感器未损坏, 证明其基本满足动稳定性要求。

2.2.5 电源处理电路

图 4 为电源处理电路, 输入整流滤波电路将交流电源进行整流滤波, 为稳压电路提供波纹较小的直流电压。整流单元采用二极管桥式全波整流电路, 整流桥由 4 个分立的耐压值为 6 V 的二极管组成, 将输入的交流电转变为脉冲直流电。

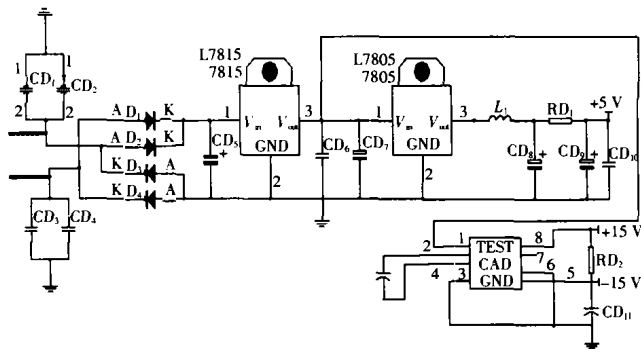


图 4 电源处理电路

4 只管又分成两对, 每对串联起来工作。当正弦交流电的正半周到来时, 即互感器次级上端为正时, 二极管 D_1 和 D_3 导通, 而 D_2 和 D_4 截止; 当正弦交流电的下半周到来时, 即变压器上端相对于下端为负时, D_2 和 D_4 导通, 而 D_1 和 D_3 截止。由图 4 可以看出, 不论是 D_1 和 D_3 导通, 或是 D_2 和 D_4 导通, 流过负载的电流方向都是一致的, 在负载上产生的电压都是上正下负, 输出波形与变压器具有中心抽头的全波整流器的整流波形相同。

在整流桥输入端分别并联了一对 C104 瓷片电容, 滤掉输入电压中的杂波。LM7805 输入滤波部分主要采用 470 μF 电解电容完成, 并在 LM7805 的输入端对地连接一个 C104 的瓷片电容。该输出电压经过一个 1000 μF 的电解电容滤波后到达 LM7815 的输入端。LM7805 输出 +5 V 电压, 为传感器供电。

从 LM7815 输出的电压经过串联在该稳压管输出端的一个 1 μH 的电感, 再通过并联在一起对地连接的一个 3.3 μF 电解电容、一个 C104 瓷片电容和一个 10 μF 电解电容对输出电压进行滤波。

LM7815 输出的 +15 V 电压输入到电源转换芯片 ICL7662, 转换成 ± 15 V 电压。整个电源模块为后端的传感器提供了 +5, ± 15 V 的电压, 满足了传感器正常工作的需要。

图 5 为互感器二次侧电压经过整流、滤波、稳压、电源处理后得到的直流电压输出波形, 其波形非常稳定, 完全可以满足传感器对电源的要求。

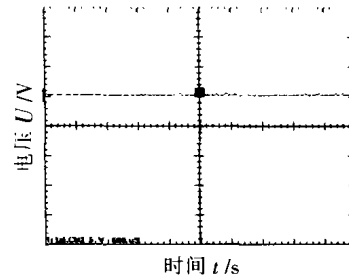


图 5 电源处理模块输出电压

3 结语

(1) 开发研制的独立电源稳定可靠, 完全可以满足在线检测传感器的要求。另外, 通过改变铁心尺寸, 调整外围处理电路等, 该电源还可以满足高压、大电流、强磁场环境下其他有源器件的要求。

(2) 后续研究工作是电流互感器的小型化、实用化以及对开关柜内的磁场分布有何影响。

参考文献:

- [1] 王志勇. 高压母线温度在线测量装置 [J]. 电力系统自动化, 2000(13): 60-61.
- [2] 董其国. 红外诊断技术在电力设备中的应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [3] 徐华清. 太阳能光纤电流传感系统 [J]. 传感器技术, 1998, 17(5): 16-18.
- [4] 谭宇刚, 韩 旻. 低频铁心式罗果夫斯基线圈饱和问题分析 [J]. 高电压技术, 2001, 27(2): 22-24.

作者简介: 许玉玉 (1977-), 男, 河北人, 硕士研究生, 研究方向为成套开关设备的在线监测。

欢迎订阅《大众用电》杂志

邮发代号 42-134 月刊

《大众用电》杂志创刊于 1985 年, 是一本全国公开发行、深受广大电气工作者及供电人员喜爱的刊物, 被中国科技期刊 (光盘版) 全文收录, 湖南省一级期刊。

主要栏目: 热点聚焦、电与社会、电力营销、电气时空、需求侧管理、电工园地、电工课堂、安全用电。

《大众用电》大 16 开 48 页 (双色), 定价: 4.5 元/期、54 元/年, 国内统一刊号: CN43-1123/TK, 全国各地邮局均可订阅, 发行部全年办理订阅业务。

地址: 长沙市韶山北路 388 号 邮编: 410007

电话: 0731-5542047 传真: 0731-5542048

E-mail: bj@dzyd.com www.dzyd.com

收款单位: 大众用电杂志社

开户行: 建行长沙市水电分理处

帐号: 1791161016900003764