

成套开关设备温度在线检测用接触式传感器的研制

郑 义, 王小华, 许玉玉, 荣命哲

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

Design of Osculatory Temperature Sensor for On-line Detection of Switchgear

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

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

摘要: 介绍了热电偶的测温 and 温度补偿的基本原理, 以及将该技术用于成套开关设备温度在线监测的情况, 解决了技术的关键问题, 研制了接触式的自动在线监测装置, 并介绍了该装置的基本结构和硬件的基本内容。

关键词: 成套开关设备; 热电偶; 温度; 在线监测

中图分类号: TM835.4

文献标识码: A

Abstract: This paper introduces the primary principle of the thermocouple for temperature measurement and compensation applied to the temperature detection in switchgear. The critical technical problem has been solved. A set of on-line detection device has been developed. The paper also mentions the overall structure and the basic contents of the hardware.

Key words: switchgear; thermocouple; temperature; on-line detection

1 前言

电器设备在高电压、大电流的状态下运行, 其可靠性和热有密切的关系, 即发热温升是关键问题之一。

由于电力设备常因电接触部位温升过高而导致故障, 研发可用于高电压导体温升测量的传感器及其独立电源已变得十分迫切。

现有的测温方式主要有两种: 红外辐射的非接触式和采用热敏器件的接触式测温传感器。非接触式红外传感器由于受环境温度、大气压的影响, 使用受到很大的局限, 而接触式的传感器直接与测温点相接触, 受环境因素的干扰小, 可实现准确、快速的温度测量。

笔者主要对开关设备故障中的温升检测系统温度传感器技术做了基础性研究, 并对在线检测用电源、信号传输做了相应的研究。

2 温度传感器工作原理

2.1 热电偶基本原理

热电偶的测量温度范围较宽, 一般为 $-50 \sim$

$1600\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最高可达 $2\ 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, 并有较好的测量准确度。另外, 热电偶已标准化, 产品系列化, 易于选用。各种热电偶都有相应的分度号, 可以用模拟法调整电路或仪表, 在工业测温中应用极为广泛^[1]。

不同的导体 A 与 B 组成两个接点, 形成闭合回路。当两个接点温度不同时, 由于两种材料自由电子密度不同, 电子将由密度高的金属向自由电子密度低的金属扩散, 这种扩散一直到动态平衡, 从而得到一个暂时的稳定的接触电动势^[1]。该电势的大小取决于两导体的材料及两接点的温度差, 而与两导体的粗细、长短无关。这种现象称为物体的热电效应, 两种导体组成的回路称为热电偶, 产生的热电势成为热电势, 热电偶中温度高的一段叫热端(测温端), 温度低的一段叫冷端。

从以上可知, 热电偶就是两种导体的组合, 其工作原理是将测温点的温度变化转换成温差电动势及接触电动势, 即电压输出。由于温差电动势比接触电动势大得多, 因此热电偶由于热电效应产生的总电动势的方向决定于其温差电动势的方向。

由于冷端不可能在实际中保持在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 在室温下测定时, 要加冷端补偿; 另外, 在实际测量中, 热端与冷端之间距离较远时, 也需要采用补偿导线。

2.2 热电偶的冷端温度补偿及其线性化

由于热电偶传感器自身的特性, 在现场监测环境中不可能使冷端温度保持为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而且热电偶产生的温差电动势是非线性的, 所以对于它的设计、使用, 主要存在两方面的问题: 冷端温度的补偿和线性化。

2.2.1 冷端温度补偿

在该系统设计中, 采用了目前效果最好的集成电路补偿的办法。采用 AD595 对热电偶冷端进行了补偿, 其具有以下特点^[2]: ①低阻抗电压, 温度线性输出; ②可零点标定; ③校准误差不大于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$; ④能在较宽的电压范围内工作; ⑤差动输入抑制了热电偶两接线端的共模干扰; ⑥低功耗。

AD595 的功能结构见图 1。

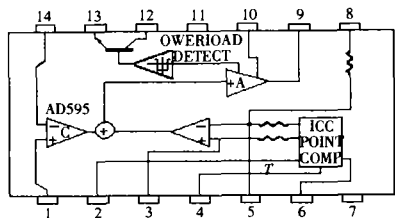


图 1 AD595 的功能结构图

补偿原理:为实现 10 mV/℃ 线性输出,并进行准确的温度补偿,AD595 经过激光修正预调,能在 25℃ 时准确匹配 K 型热电偶的传输特性。在 25℃ 时,K 型热电偶的温度系数为 40.44 μV/℃,因而 AD595 的增益必须为 247.3^[2]。

从图 1 可以看出,它由 2 个增益为 G 的放大器,1 个高增益放大器(A)、基准点(零点)补偿器等组成。一般情形下,主放大器输出(引脚 9)经由引脚 8 引至反馈回路,作为其中 1 只差动放大器(右)的反相端输入。热电偶连接引脚 1 和 14,悬空接入,引至另外 1 只差动放大器(左)输入进行放大。这两个差动放大器,增益同为 G ,互相匹配,输入的静态信号近似为零。热电偶输入信号经放大后,与反馈信号(差动放大器反相端引入)经加法电路叠加,再通过增益为 A 的主放大器放大,就可输出 1 个对应的信号。该信号又反馈至差动放大器(右),以避免诸如由于基准电平引起的一系列测量误差。换句话说,该反馈过程保证差分信号近似为零时,反馈至差动放大器(右)的信号可以准确地反映热电偶的输入信号,并在引脚 8 和 9 对应输出 1 个比例电压信号,从而实现了温度补偿。

2.2.2 线性化处理

热电偶的热电势和温度不成线性关系,一般可表示为:

$$E = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + \dots + a_n T^n \quad (n=0, 1, \dots, N) \quad (1)$$

其中: T 为温度; E 为热电势; $a_0, a_1, \dots, a_n$ 为系数。

该系统传感器所选用的 K 型热电偶热电势经 AD595 放大补偿后,其输出电压(0~600℃)为:

$$U_0 = (-11.4 + 1.009 53 U_a - 5.506 \times 10^{-6} U_a^2) \text{ (mV)} \quad (2)$$

式中: $U_a = 249.952 U_{in}$, U_{in} 为 AD595 的输入电压,即热电偶的输出电势。

虽然线性化电路只取 U_a 的最高幂次为 2,但是式(1)与式(2)是比较接近的。尽管这样,在一定的温度范围内,仍可以对原来较大的误差进行校正。

平方电路使用专用集成电路 AD538,见图 2。该集成电路有 3 个输入端子 U_x, U_y, U_z ,而且有下面的函数关系:

$$U_{out} = U_y (U_z / U_x)^m \quad (m = 0.2 \sim 5)$$

它作为平方电路,不需要再加任何元件,最适合用于线性化校正电路。AD538 内部有基准电压电路,能提供 +10 V(4 脚)和 +2 V(5 脚)的基准电压,可

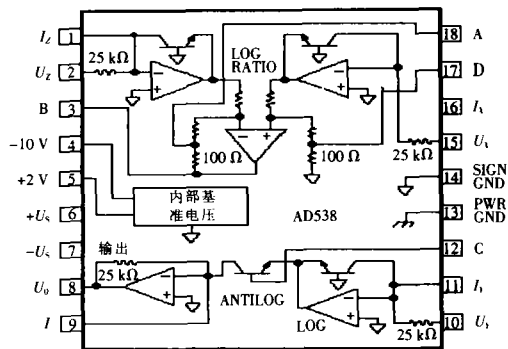


图 2 AD538 平方器

以为自身和外部提供电压源。

将 U_z, U_y 短接后,接 AD595 的输出 U_0 (9 脚),即: $U_z = U_y = U_a$ 。

U_x 端(15 脚)与 10 V(4 脚)相接,即: $U_x = 10 \text{ V}$ 。由于 B(3 脚)与 C(12 脚)相连,故: $m = 1$ 。

因此, $U_0 = U_a / 10\ 000 \text{ (mV)}$ 。

满足式(2)的电路为 1 个加法电路。这个加法器是由两个运算放大器组成的运放电路。

U_a 的一次系数 1.009 534 是由运放电路 A_1 提供的,使 $U_{01} \approx -1.009 5 U_a$ 。 A_1 是 1 个一次系数放大器; A_2 是 1 个反相加法放大电路。它将 U_{01} 转换成 $U'_{02} = 1.009 5 U_a$ 。由迭加原理得: $U_{out} = (-11 + 1.009 5 U_a - 5.55 \times 10^{-6} U_a^2) \text{ (mV)}$,与式(2)大体相当。

上述就是对热电偶传感器的温度补偿和线性化处理。实验结果表明,在 0~70℃ 环境温度范围内,补偿电路可以做到良好的冷端温度补偿;在 0~120℃ 之内,温度传感器测量误差小于 2℃,满足系统对测温范围和准确度的要求。

3 传感器的前端电源

由于传感器在开关柜母排上安装,为了解决绝缘的问题,电源从内部产生。该系统采用的解决方案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,再通过稳压装置,向传感器提供稳定可靠的电源。

4 信号的传输

4.1 光纤传输信号

先将输入信号通过低功耗放大器 AD648 进行放大,通过 ICAD650 进行 V/F 转换,通过光纤进行频率信号的传输、信号处理、显示。

该系统采用的是 HFBR-0501 系列光纤传感器,包括发射端、接收端、连接器和光纤,(下转第 24 页)

于空载时的压力特性。下面通过一个特定的切长线试验来具体描述。

4.1 开断空载长线时的电场状态

试验表明,开断空载长线电流时的断口绝缘状况是一个值得注意的问题。开断是否成功主要与断路器的充气压力和刚分速度有关。对于自膨胀式断路器,在开断小电流时,不易在断口间建立较高的压力,所以准确地研究自膨胀断路器在开断小电流时的断口状态是非常有意义的。对此,首先计算在开断空载长线电流时可能出现的严酷开距下的电场分布情况。

严酷开距是这样确定的。试验测到的最短熄弧时间是 2 ms,过 10 ms 后,即弧触头分离 12 ms(分闸动作约 22 ms 后),断口电压达到了最大值,约为 288 kV(电压系数 1.4),此时对应的开距为 60 mm(按该型断路器的行程曲线读出)。显然这是开断空载长线时最苛刻的状态。

针对上述分析的断口状态,采用静电场计算软件,计算出此时的电场分布情况,见图 5。

根据图 5 给出的电场分布,该状态下最大场强集中在静弧触头端部, $E_{\max}=22.2 \text{ kV/mm}$ 。

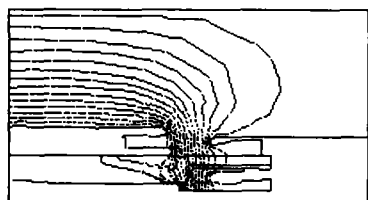


图 5 断口在切长线试验严酷开距(60 mm)下的电场分布图

4.2 开断空载长线时的绝缘校核

如图 4 所示,分闸动作 22.7 ms 后,断口间压力 p 为 0.64 MPa,高于初始压力 0.5 MPa。可以计算该状态下的 SF_6 气体间隙的工频击穿场强 E_{ik} 为^[2]:

$$E_{\text{ik}}=65 \times (10 p)^{0.73}=25.2 \text{ kV/mm} \geq 22.2 \text{ kV/mm}$$

由此可以推断断口间的绝缘设计是可行的,但裕度不大。这个结果也得到了试验的验证。当然,若燃弧时间更长,将对开断后的无重击穿更有利。

5 结论

(1)对断路器在空载下热膨胀室内的压力特性进行了测量,并与计算结果做了对比分析,两者具有较为一致的趋势和数值。测量结果表明,在静态充气压力为 0.5 MPa 时,热膨胀室内的压力升高不超过 0.12 MPa。

(2)将测试和计算的成果用以校核断路器开断空载长线时断口间的绝缘能力,结果表明断口间的动态绝缘设计是可行的,但裕度不大。这个结果也得到了试验的验证。

参考文献:

- [1] 牟京卫, K Y Park, J K Chong. SF_6 断路器开断过程的数值模拟[J]. 高压电器, 2000, 36(4):3-7.
- [2] 朱德恒, 严璋. 高电压绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.

作者简介:张文兵(1968-),男,工程硕士,高级工程师,从事高压电器的设计和研制工作。

(上接第 21 页)

带宽为 5 MHz,传输距离最远可达 35 m,完全满足该系统的要求^[3]。

光纤传输信号的优势:①抗电磁干扰;②抗共模干扰能力强;③高低电位隔离性能好;④响应时间短,准确度高。

4.2 红外传输信号

由于传感器在高电压、大电流的环境下工作,所以光纤传输信号的方案并不能做到高低电位的完全隔离,所以亦可采用红外无线传输信号的方案。

该系统中,在红外发射端采用二级放大提高发射的功率,增加传输的距离;在接收端采用集成的红外接收器使结构简单,并且降低了成本。

实践证明,在 3 m 以内的距离,红外传输装置都可以比较好地完成信号的传输,这就为解决信号在高电压、大电流环境中的准确传输和高低电位隔离提供了一种新思路。图 3 是整个系统的结构框图。

5 结语

实验证明,该传感器系统可满足对开关设备母

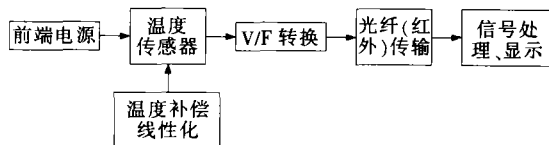


图 3 系统结构框图

线温度测量的要求,达到了很好的测量准确度,并解决了传感器前端电源的问题,在信号的传输上实现了高低电位的隔离。

参考文献:

- [1] 查美生. 热电偶用补偿导线测温误差分析及修正方法[J]. 工业仪表与自动化装置, 1998(5):3-6.
- [2] 何希才. 传感器及其应用电路 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [3] 赵仲钢. 光纤通信与光纤传感 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1993.

作者简介:郑义(1979-),男,辽宁沈阳市人,硕士研究生,研究方向为成套开关设备的在线监测。