

# 一种基于 DSP 的变压器绕组温度测量

刘翔宇 杨 明

( 国网成都供电公司变电检修工区 ,四川 成都 610041)

**摘 要:** 在传统的压力式油温温度计的基础上,采用 DSP( digital signal processing) 对绕组温度模拟计算,将传统的加热元件数字化、智能化改造,满足智能电网的要求,实际运行中准确模拟出绕组温度具有较高的实用价值。

**关键词:** 温包; 油温温度; 绕组测温; 电热元件; 匹配器; 动作接点; 热电阻 Pt100; DSP

**Abstract:** Based on the traditional pressure type oil temperature controller ,digital signal processing ( DSP) is adopted to simulate and calculate the winding temperature. The traditional heating element is digitized and intelligentized to meet the requirements of the smart grid. This method is quite useful to measure the winding temperature precisely in the actual operation.

**Key words:** thermometer bulb; oil temperature; winding temperature measurement; electrothermal element; matching device; operating contact; thermal resistance Pt100; digital signal processing

中图分类号: TM933 文献标志码: B 文章编号: 1003 - 6954( 2014) 05 - 0072 - 03

## 0 引 言

变压器运行中,如果遇到短路、过载、环境温度过高或冷却通风不够等情况时,会造成变压器过热。当绕组温度超过绝缘耐受温度时会使绝缘破坏,是导致变压器寿命缩短的主要原因之一。作为变压器运行工况监测的重要参数,油温及绕组温度的测量关系到运行中的变压器风冷投入、温高报警、温度过高跳闸等保护的正常动作。

由于目前变压器测温系统均采用压力式温度计。绕组温度的直接测量需要解决高电压隔离的问题,是一项世界级难题,国内外绝大部分变电站均采用热模拟方法间接测量变压器绕组温度。绕组温度由变压器顶层油温使仪表内弹性波纹管产生对应的角位移量,叠加仪表内发热元件产生的角位移量,从而指示变压器绕组温度,发热元件通过匹配器及变压器 TA 二次侧负载情况变化而补偿不同的铜油温差。

基于热模拟方式的绕组温度测量方式,由于通过 TA 二次侧电流对加热元件进行加热,根据铜油温差曲线产生模拟温升,这种方式受环境温度影响很大,特别是变压器轻载、重载不同的工况下,变压器周围的空气温度会有 30 ~ 40 °C 的差异,导致加热温包在不同环境温度下产生的加热温升差异很大,绕组温度测量误差很大,在成都电网某 220 kV 变电站重载运行工况下绕组温度误差达 15 °C,同时,由

于温度计安装于变压器本体,震动较大,传统的微动开关受震动影响大,误动及损坏概率很大,特别是目前大多数 220 kV 强油循环变压器,温度投入跳闸接点后这个问题日趋显著。

## 1 压力式温度计测量原理

### 1.1 压力式温度计测量原理

压力式温度计,主要由弹性元件、毛细管、温包和微动开关组成。当温包受热时,温包内感温介质受热膨胀所产生的体积增量,通过毛细管传递到弹性元件上,使弹性元件产生一个位移,这个位移经机构放大后指示出被测温度并带动微动开关,从而控制冷却系统、温度高报警、温度高跳闸的投入或退出。压力式温度计内部结构如图 1 所示。

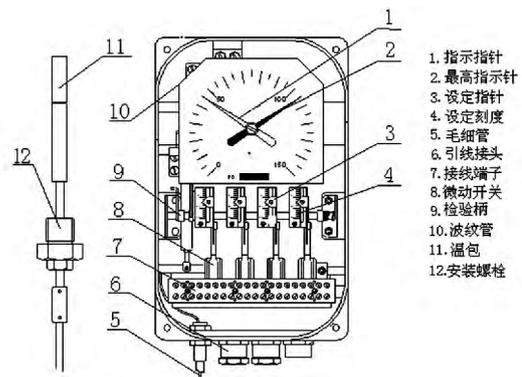


图 1 压力式温度计内部结构

### 1.2 变压器用绕组温度计测量原理

绕组温度的监测,当前国内外绝大部分变电站均采用热模拟的方法间接测量。所谓热模拟是用一个流经电热元件的加热电流所产生的附加温升,当这个附加温升调整到等同于铜油温差时就可以间接获得变压器绕组温度,也就是变压器绕组温度  $T_1$  等于变压器上层油温  $T_2$  以及绕组对油的温升  $\Delta T$  之和,即  $T_1 = T_2 + \Delta T$ 。目前,获取绕组温度的方式是校验前计算并调整好加热电流,即利用在变压器容量、额定电压、额定负荷电流和铜油温差手动计算出加热电流,利用标准源通过匹配器输出加热电流对绕组温度计进行校验。当变压器带上负荷后,通过变压器的电流互感器(一般有专用绕组)二次绕组电流,经匹配器调整后,形成与负荷成正比的加热电流,流经嵌装的电热原件,电热原件产生的热量使感温介质产生附加膨胀,从而使弹性元件产生附加位移,这个位移量就反映变压器负荷电流对绕组的温升  $\Delta T$ 。因此,在变压器加载后,测量元件的位移是由变压器上层油温和变压器加载的电流所决定的,这样就反映了变压器上层油温和绕组对油的温升之和,即变压器的绕组温度。全部通过人工进行计算、调整、校验。绕组温度计测温原理如图 2 所示。

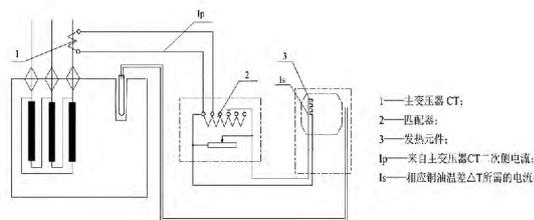


图 2 绕组温度计测温原理

## 2 变压器用绕组温度计应用现状

在实际使用中发现,基于热模拟实验间接测温的绕组温度计存在因环境温度变化以及匹配电阻长期工作发热变质而导致的测量不正确的问题。原因在于元件的加热过程是在温度计内部直接进行,存在与外部热交换的过程,当环境温度较低时加热效果达不到整定值,环境温度较高时加热效果又远远超出整定值。更重要的是匹配电阻长期发热造成调节触点氧化导致电阻值升高,分流作用减小,加热电流进一步偏离正常值。因此绕组温度计的指示值无法正确反应绕组的运行温度,同时由于温度指示的

影响会使得风冷启动、温高报警、温高跳闸等节点不能正确动作。由于绕组温度是实时进入 SCADA 系统的,而调度人员和运行人员都通过综合数据网来监视绕组温度的,因此如果绕组温度指示不正确,可能使调度人员做出错误判断,影响电网的安全稳定运行。

## 3 基于 DSP 技术的绕组温度监测

采用以数字信号处理器(digital signal processing, DSP)为核心控制芯片,专用的数字信号处理芯片 Freescale 公司的 16 位 DSP,在时钟频率 80 MHz 下,有着 40 MIPS 的指令执行进度,能够满足温度实时监测及通讯的目的。通过热电阻作为传感器,进行基本油温温度测量。热电阻的工作原理是基于热电效应。如铂电阻,其特点是精度高、稳定性好、性能可靠,尤其是抗氧化性能很强。铂在很宽的温度范围内约 1 200 °C 以下都能保证上述特性。中国已采用 IEC 标准制作工业铂电阻。按 IEC 标准,使用温度已扩大到 -200 ~ 850 °C,初始电阻有 100 Ω 和 50 Ω 两种,以常用的 Pt100 为例作为感温元件。利用护套将 Pt100 从传感器到温度计这部分保护,从而不容易遭到外界的破坏。

### 3.1 系统硬件设计

图 3 是系统的硬件框图,其中 A/D 用于采集 Pt100 的电阻信号,经 DSP 转换为电流值,TA 二次电流经隔离后同样经 A/D 转换为电流值送给 DSP,EEPROM 存储铜油温差曲线值供绕组温度计计算使用, RAM 用于历史温度值记录,RS232、RS485 及 mA 输出。

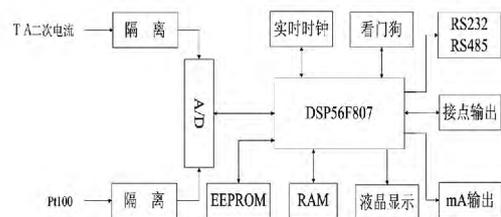


图 3 油温温度计工作原理

### 3.2 绕组温度计的工作原理

图 4 是绕组温度计工作原理流程图,其中变压器的油温温度通过感温元件 Pt100,经隔离后到 A/D 转换将 Pt100 的电阻信号转换为电流值,然后送到 DSP;绕组平均温升则是,首先变压器 TA 二次电

流通过隔离, 然后到 A/D 转换将大电流转换为小电流值后送到 DSP, 与 EEPROM 存储的铜油温差曲线值进行比较计算, 在 DSP 中绕组平均温升与油温温度进行叠加, 叠加后的电流值 mA 输出供测控装置使用和液晶显示。当温度到达接点预定设定值, 则接点闭合输出。同时 RAM 对变压器的温度进行统计、累加, 反映变压器在温度过高区间运行的时间, 对变压器运行温度区间进行有效统计。并且可以通过 RS232、RS485 串口直接读取温度实时数值和历史数值。

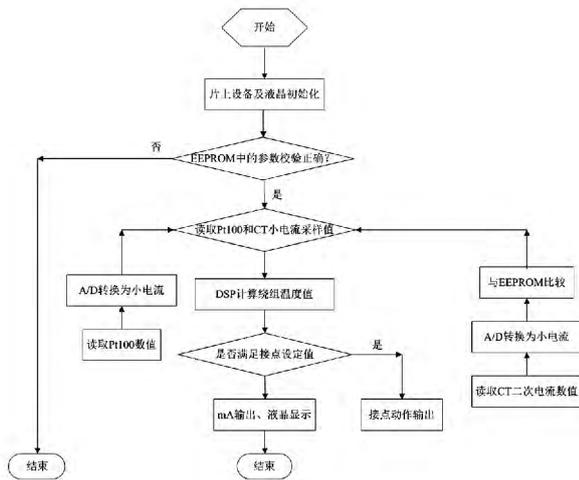


图 4 绕组温度计工作原理流程

## 4 绕组温度计检定

温度计检定项目包括外观检查、示值误差、设定点误差、切换差、稳定性、绝缘电阻、绝缘强度等项目。绕组温度计检定在一般温度计的检定项目基础上, 需增加绕组平均温升试验。根据以上检定项目, 基于 DSP 技术的绕组温度在检定前需收集相关数据并进行计算整定, 具体检定接线如图 5 所示。

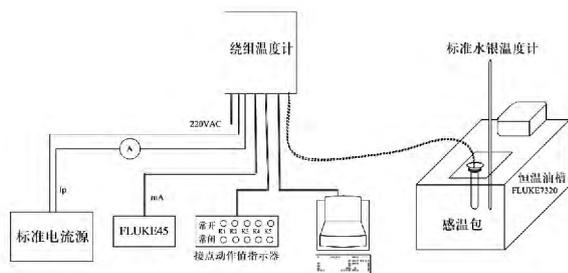


图 5 绕组温度计检定接线

为了保证在整定过程中对接点整定的可靠性及准确性, 温度计在整个试验过程中表头应垂直安装,

温包必须全部浸没, 引长管浸没不得小于管长的  $1/3 \sim 2/3$ , 温度计均要求表头和温包之间的高度差不得大于 1 m, 由于现场应用的接点会使用在风冷全停延时跳闸回路及温高跳闸回路, 因此要求接点的动作值能真实反映变压器的温度, 在读取接点动作值的时候应读取和被试表温包位于同一恒温油槽内的标准水银温度计或 Pt100 标准铂电阻。

绕组温度计接点可根据现场启动风冷、温高报警、温高跳闸的要求进行整定, 当温度指示达到整定值时接点闭合动作。

接点动作值设定完毕后, 测试接点动作误差时, 除信号电路和试验点外, 采用与示值基本误差试验相同的试验条件、试验设备和标准仪表, 测试点按照标准设定点进行, 具体方法是将被测试温度计和标准二等水银温度计或标准 Pt100 铂电阻插在恒温槽中, 并将被试温度计的端子接到信号电路中, 然后均匀改变恒温槽温度 (温度变化率应不大于  $1\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ ) 使接点产生闭合或断开的切换动作 (信号电路接通或断开), 在动作的瞬间记录标准水银温度计或标准 Pt100 铂电阻的示值, 即为接点正行程或反行程的上切换值或下切换值。在同一测试点上, 上切换值设定点的差值即为接点动作误差; 上切换值与下切换值的差值即为接点切换差。接点动作误差和切换差在各试验点上就接点闭合和断开各试验一次。

绕组温度计热模拟试验如下。

例: 某 220 kV 变电站, 变压器的额定容量为 180 000 kVA, 额定电压为 220 kV, TA 变比为 600/5, 绕组温度计接于 220 kV 侧 B 相 TA, 绕组平均温升  $\Delta T = 20\text{ }^\circ\text{C}$ , 则计算如下。

$$P = UI$$

$$I = P/U = 180\ 000 / (1.732 \times 220) = 472.391$$

(A)

$$\text{二次额定电流 } I_p = 472.391 / 120 = 3.937(\text{A})$$

$$\text{根据公式: } Y = X^2 A$$

式中  $Y$  为温升  $\Delta T$ ;  $X$  为 TA 二次额定电流。

$$\text{则: } 20 = 3.937^2 A$$

$$A = 1.29$$

先将温包浸入恒定在  $80\text{ }^\circ\text{C}$  的恒温油槽中, 待绕组温度计稳定后读取温度计示值  $T_1$ , 然后将  $I_p$ 、温升  $\Delta T$  和  $A$  的数值分别置入温度计内 EEPROM

(下转第 81 页)

引起足够思想重视,对隐患缺陷早发现早处理。只有运维好所有一、二次设备,将运维盲区风险降低到最小,才能真正掌控系统安全;③强化继电器备品备件管理,便于出现事故时及时抢修,缩短故障时间;④强化设备验收监管,提高产品质量或者改善设备原理,将机械拨轮式继电器改为数控式继电器,更为可靠;⑤改善继电器的安装位置,安装在便于观察且不易受到外部损坏干扰的位置。

参考文献

[1] 国家电力调度通信中心. 国家电网公司继电保护培训教材[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 310.

[2] RCS-921C型断路器失灵保护及自动重合闸装置技

(上接第74页)

中,待温度计示值稳定45 min后读取 $T_2$ ,  $T_2$ 与 $T_1$ 的差值即为热模拟装置的附加温升。

稳定性试验(此项目为型式试验):首先温度计在承受24 h、150℃的试验,然后在温饱处于交变温度差大于100℃且出现频率不小于50%(每一个变化周期不得超过24 h)的情况下连续工作1 000 h,试验后温度计示值基本误差、示值回差、环境温度影响、接点动作误差及切换差应合格。

绝缘电阻试验:用额定直流电压为500 V的绝缘电阻表分别测量温度计电接点端子之间、电接点端子与接地端子之间的绝缘电阻应不小于20 MΩ。

绝缘强度试验:试验应在高压侧电源容量不小于2 500 VA的高压试验装置上进行。输出接点短接后对地施加2 kV、历时1 min的正弦交流电压,漏电流设定为10 mA,应无击穿或闪络现象。

5 结 论

1) 基于DSP绕组温度计,采用了RAM可以对变压器的运行温度区间进行统计、累加,反映变压器在温度过高区间运行的时间,为合理经济地安排变压器的运行、检修提供依据,特别是在目前电力系统普遍延长检修周期,全系统推广状态检修的趋势下,这套变压器测温系统将发挥更大作用。

2) DSP绕组温度计采用Pt100作为感温元件,精度高、稳定性好、性能可靠,尤其是耐氧化性能很强。铂电阻在很宽的温度范围内约1 200℃以下都能保证上述特性。也不会因Pt100出现故障而发生接点误动的现象。

术说明书[Z].

[3] 国家电网公司人力资源部. 生产技能人员职业能力培训通用教材二次回路[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 118.

[4] CSC-103E数字式超高压线路保护装置说明书[Z].

[5] WDLK-862G微机断路器保护装置技术说明书[Z].

[6] 西安西电开关电气有限公司550 kV HGIS原理接线图[Z].

作者简介:

李文泉(1987),大学本科,主要从事变电运维和二次检修工作;

尚振华(1972),大学本科,主要从事变电运维、安全管理工作。

(收稿日期:2014-04-26)

3) 绕组温度计减少了温度补偿回路,因此不会发生因温度补偿回路故障引起远传与本体数据不一致,温度高报警、温度高跳闸误动,严重时会导致跳变压器开关等严重后果。

4) DSP绕组温度计安装于变压器端子箱内,起到了有效的防震作用,现场配线简单,调试方便。

5) DSP绕组温度计采用Pt100作为感温元件,避免因环境温度的影响而发生测量误差。

6) 可以避免出现绕组温度计匹配电阻长期发热造成调节触点氧化导致电阻值升高、分流作用减小、加热电流进一步偏离正常值的问题。

7) DSP绕组温度计采用EEPROM存储铜油温差曲线值,取代了传统的加热元件,能更加准确地反映变压器内部工作情况。

参考文献

[1] JJG 310-2002 压力式温度计[S].

[2] JJG 874-2007 温度指示控制仪[S].

[3] JB/T 8450-2005 变压器用绕组温控器[S].

[4] Q/GDW 440-2010 油浸式变压器测温装置现场校准规范[S].

[5] 徐科军,马修水,李晓林. 传感器与检测技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

作者简介:

刘翔宇(1981),硕士研究生,工程师,变电检修工区变电一次技术I岗;

杨明(1982),大学,技师,从事电测仪表、热工、电能质量监测等方面的工作。

(收稿日期:2014-05-05)