

智能变压器风冷控制系统设计

根据智能变电站功能需求，分析了目前变压器普遍采用的电磁式风冷控制系统和PLC风冷控制系统存在的问题，提出智能变压器风冷控制系统的基本框架，并且研制出基于先进电子技术的智能监控装置。本系统能够全面地监视变压器冷却系统状态，并将信息上传给智能变电站一体化监控系统。另外，还可以控制散热器风机，使变压器处在一个适宜的温度范围内，在提高运行维护效率的同时，保证变压器的安全稳定运行。

张光明^{1,3} 李洪凯² 刘齐¹ 钟丹田^{1,3} 高强¹ 王茂军^{1,3}/1. 国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院 2. 国网辽宁省电力有限公司朝阳供电公司 3. 辽宁东科电力有限公司



张光明/工程师

关键词/Keywords

智能变压器 ·
风冷控制系统 ·
智能监控装置 ·
一体化监控系统 ·

0 引言

目前，考虑到东北地区的气候条件、电网负荷情况和变压器整体结构的优化，220 kV变电站中的240/180 MV·A容量的变压器多采用自然油循环风冷（ONAF）的冷却方式。随着智能变电站逐渐的推广，智能变压器应运而生，但相关配套的风冷控制系统仍然采用电磁式或者可编程逻辑控制器(PLC)的控制模式，这两种控制方式仅能提供准确度较低的就地控制和基于私有通信协议的远程控制功能，而且对整个控制系统没有任何监测功能，这样的风冷控制系统达不到智能变压器的要求，也不能融入智能变电站一体化监控系统。

1 传统风冷控制系统

传统的风冷控制系统，如图1所示，一般由油面温度计、绕组温度计、电流继电器和电气控制四部分组成，其中电流继电器和电气控制部分放置在风冷控

制柜中，油面温度计和绕组温度计挂在变压器油箱壁上或者放置在端子箱中^[1]。风冷控制系统具有手动和自动两种控制方式，通过柜中的转换开关实现：当系统处于手动模式，运维人员可以任意分组起停散热器风机；当系统处于自动模式，控制系统会根据油面温度、绕组温度和负荷情况来控制风机的起停。自动控制中的基础数据来源于油面温度计、绕组温度计和电流继电器，这三种传感器准确度比较低，特别是绕组温度。绕组温度计工作原理是通过电流互感器取出与负荷成正比的电流，经变流器调整后，输入到绕组温控器弹性元件内的电热元件，电热元件产生的热量使弹性元件产生一个附加位移，从而产生一个比油温高一个温差的温度指示值。绕组温度计就是用这种间接的方法得到绕组温度的平均指示值。由此可见，这样的控制系统控制方式单一，运行不灵活，准确度较差。

近年来，为了适应变电站自动化，很多传统的风冷控制系统在以上部分中增加了PLC模块，提供了远方控制报警功能^[2,3]。这种形式的风冷控制系统，当自动控制时，PLC模块就地采集变压器本体顶层油温接点信号、绕组温度接点信号和负荷电流信号，并根据信号实现冷却器的自动起停控制。远程控制报警是在控制系统出现故障时，通过接点信号方式发送远程报警，并且提供远程控制。此种控制系统最大的缺点是不支持IEC 61850 协议，无法接入智能变电站的一体化监控系统，当散热器发生故障时也不能提供故障详细信息，可能延误故障的排除和装置的修复^[4-6]。

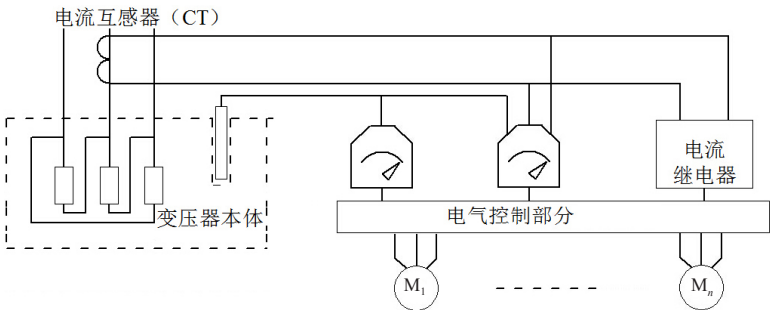


图1 传统风冷控制系统框图

2 智能变电站中的风冷控制系统设计方案

随着新一代智能变电站的不断建设，智能变压器对冷却控制系统提出了更高的要求，智能变压器风冷控制系统设计方案在IEC 61850标准实现数据共享的基础上，优化了冷却控制二次回路，实现了变压器智能冷却控制，并且兼顾了部分测量和监测功能，以便于进一步扩展变压器监控系统。

智能变压器风冷控制系统在设计过程中充分考虑到变压器状态和控制信息的传递和共享性，系统除保留原PLC风冷控制系统所有功能外，还新增了远程控制和远程监测功能，使之适应智能变压器的需求，如图2所示。除了传统系统中的油面温度计、绕组温度计、电流继电器和电气控制部分外，优化了控制二次回路、增加了变压器智能监控装置，并且把以上装置及电气元件统一放置在变压器近旁的智能组件柜中。

智能组件柜如图3所示，采用前后双开门不锈钢机柜，机柜左侧由19 in机架结构，主要放置风冷控制系统中的核心设备为智能监控装置。另外，柜内可以扩展配置变压器监控系统中其他智能设备，如中性点电流合并单元和本体智能终端等；右侧为风冷控制系统的电气控制部分，在原有传统的基础上主要增加了监控节点，如对风机电流、主备电源的工作状态和冷却系统的工作状态等，并且，其状态仍旧可以通过透明视窗进行就地显示，提高控制系统运维效率。

智能变压器风冷控制系统在功能上分为测量、监测和控制。测量和监测功能主要是监测风扇电动机的电流、主电源回路电压、顶部油温和负荷等参数，并可以通过变电站一体化监控平台来展示；控制功能可以通过两个转换开关S₁和S₂选择：S₁为就地和远方（智能），S₂为手动和自动。

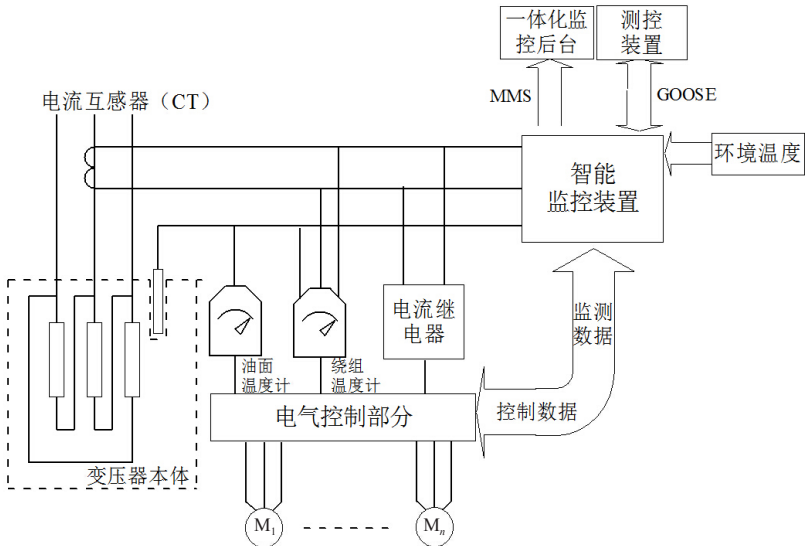


图2 智能变压器风冷控制系统框图

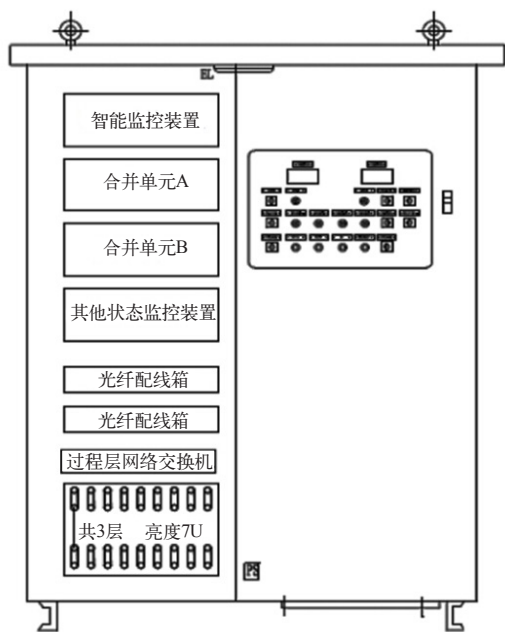


图3 变压器智能组件柜示意图

当转换开关 S_1 处在就地时，控制方式与传统方式一致。当转换开关 S_1 处在远方（智能）时，风冷控制系统交由智能监控装置控制，并可以通过测控平台来控制。远方（智能）状态时，智能监控装置将采集到的顶层油温、环境温度和负荷情况等信息，根据变压器热负荷模型（GB/T 1094.7-2008）估算出绕组热点和冷却系统的冷却效率^[7]，并依据监测到的状态和评估结果对冷却器的风扇进行控制，控制逻辑如图4所示。另外，考虑到风机的运行维护，风机的起动顺序由变压器从投运起每个风机的运行时间来决定，避免出现一部分风机使用频繁，而另一部分基本不使用的情况，这样可以均匀使用每扇风机，延长整个散

热器的使用寿命。

远程控制时，通过IEC 61850 GOOSE服务传给测控装置，而后在站内监控主机的后台集成冷却操作界面，可投入任意散热器风机或全部散热器风机。但切除时，需经冷却控制系统根据油温和负荷等情况进行综合判断，条件允许的情况下，散热器风机才能被切除。如果远程切除风机操作没有得到响应，在后台上给出相应的提示消息。消息为“根据当前xx 主变油温、负荷情况，该散热器风机无法切除！”。远程监测是指使用IEC 61850规约的MMS服务把风冷控制系统运行的状态信息发送出去，最终在信息一体化监控平台冷却系统界面进行显示，从而实现远程的故障预警和故障定位等功能。另外，智能变压器风冷控制系统还单独配置一个基于B/S结构的后台界面，方便运维人员在现场查看系统的运行情况。

3 智能监控装置设计

变压器智能监控装置是风冷控制系统的核心设备，该装置采用标准19 in插箱结构，4U高，配有主控板、开入量采集板、开出量控制板、4~20 mA信号采集板、温度量采集板、交流量采集板和电源板，并预留出扩展板，如图5所示，方便不同电压等级和结构的变压器使用。

开入量采集板、开出量控制板、4~20mA信号采集板、温度量采集板和交流量采集板统称为功能板件，功能板件在软硬件架构上基本一致，采用基于ARM Cortex-M3内核的处理器和嵌入式实时操作系统 $\mu\cos$ 。

功能板的硬件结构可以分为前端采集处理模

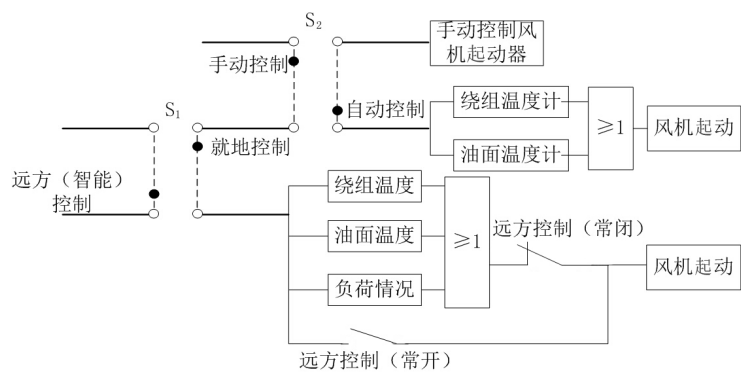


图4 风冷控制逻辑图

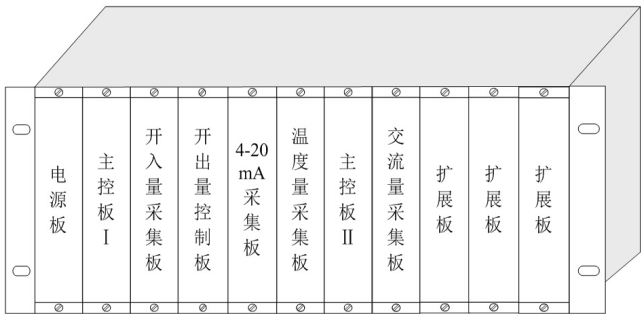


图5 智能监控装置

块、信号分析调度模块、通信模块和电源模块，如图6所示，下面以温度量采集板为例进行详细

阐述。
变压器油温通过PT100热电阻来采集，所以温度量采集板配置6路PT100采集接口，可同时采集6通道的温度量，但此功能在板件的内部是通过四片74HC4052高速多通道选择器来实现的。74HC4052能够实现数字控制选择不同的模拟通道开关，其拥有一个使能引脚，只有在使能状态时，才可以导通某两个通道。依靠其通道选择能力，可以使A-D前端模拟信号的输入每个时刻只有一个通道接入，防止了通道之间互相干扰，也满足了多通道输入的功能，使装置实现了单A-D采集

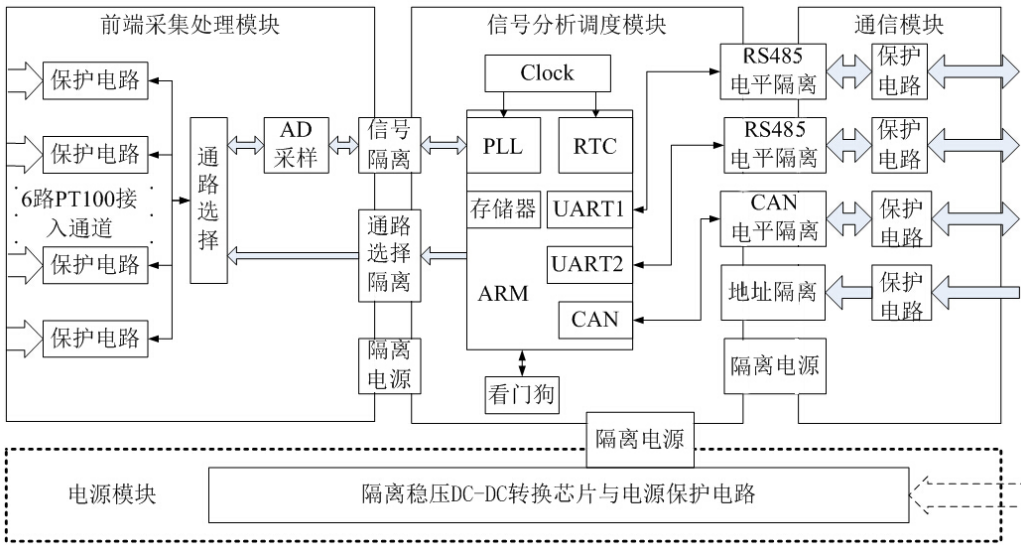


图6 功能板件硬件框图

多通道输入，节约了成本，降低了功耗，同时提高了性能。

A-D采样芯片选用的是ADI公司的AD7793。AD7793具备高度集成化、功能多样性和抗噪能力强等特点，非常适合于要求高精度和低功耗的复杂应用。PT100一般采用三线制接法，为了补偿掉PT100热电阻引线上电阻的误差，在数据采集过程中就需要有两路恒流源来激励。如图7所示，两路相等的恒流源 I_{OUT1} 和 I_{OUT2} ，在引线电阻 R_{L1} 和 R_{L2} 上引起的电压与 R_{L3} 的电压，形成共模电压，而从不影响A-D的差值采样，保证温度量采集的准确性。AD7793通过SPI总线与ARM进行数据交互，ARM会根据采集到的电压信号转换成PT100的电阻值，从而查表得到温度值，并通过RS485总线传给主控板。

主控板是整个装置的核心，其处理数据量较大，并且负责与智能变电站一体化监控系统进行信息交互，所以采用基于ARM Cortex-A8的高速处理芯片和Linux系统。该芯片主频高达720 MHz，具有低功耗、低成本和高可靠性等特性，通过易扩展的嵌入式工业控制总线接口，将片上丰富的总线接口资源（GPMC总线、MMC总线、SPI总线、I²C总线和UART接口等）与工业外设资源完美接合，板上还配有大容量的动态存储及非易失性存储设备，保证整套系统数据处理高效且持久保存。主控板通过RS485串行总线与开入量、开出量、4~20mA及温度采集等板件通信，形成快速运算处理与整体调配机制，满足现场信号的收集与

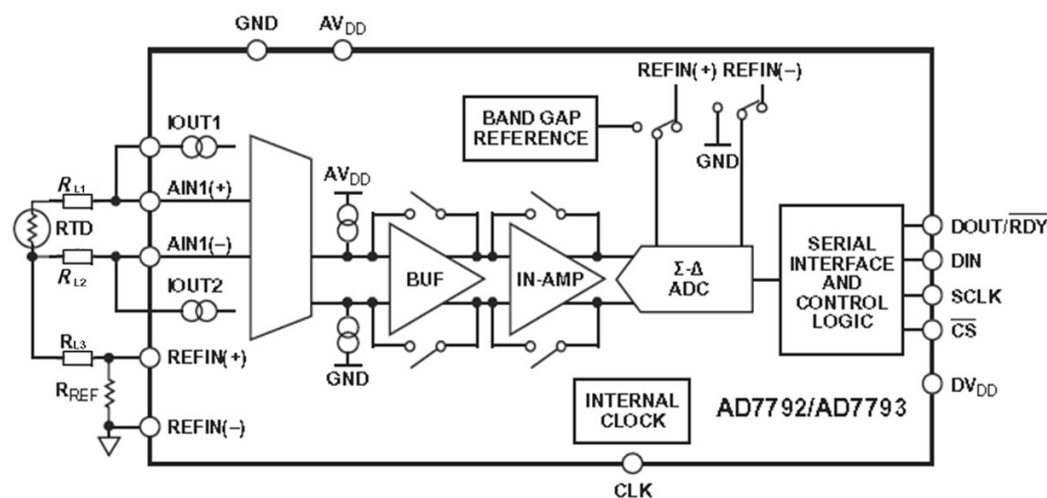


图7 A-D芯片温度采集应用框图

控制命令的发出。另外，配置有光电转换模块，满足IEC 61850的以太网接口与站内主机或其他设备进行通信。

装置的电源部分采用主从热备双电源设计，保证内部供电系统的稳定运行。每个独立板件均有自我短时恢复设计，本体故障前状态保持处理，进而保证整套系统的运行稳定性及安全性。

4 结束语

现有变压器风冷控制系统的形式已经不能满足智能变电站迅速发展的需要，针对这种情况，本文提出智能变压器风冷控制系统的设计方案。在保留了原有控制系统的全部功能的基础上，以智能监控装置为核心，进一步完善了变压器监测、控制和测量的功能，使其与智能变电站一体化监控系统无缝对接。

参考文献

[1] 康真, 张梅. 一种新型变压器风冷控制系统的设计[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(10): 23-25.
[2] 毕金磊. 基于PLC的变压器风冷控制系统的设计与

设计[D]. 山东: 山东大学, 2008.
[3] 章伟国, 顾冰, 顾克拉. 基于PLC的风冷控制系统在大型变压器上的应用[J]. 浙江电力, 2010(03): 19-20.
[4] 吴正伟, 李永灵, 胡桂平. 智能风冷控制装置在数字化变电站中的应用研究[J]. 电气技术, 2013, 11: 63-65.
[5] 潘瑾, 刘宏亮, 何平, 等. 变压器智能冷却装置控制策略分析[J]. 河北电力技术, 2014(04): 1-3.
[6] 秦传明, 谭杰, 包依平, 等. 自冷式主变辅助风冷系统的设计与实现[J]. 电工技术, 2015(03): 35-36.
[7] GB/T 1094.7-2008, 电力变压器 第7部分: 油浸式电力变压器负载导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

作者简介

张光明 (1984-), 男, 研究生, 工程师, 主要从事变压器故障诊断及监测装置研制工作。

(收稿日期: 2015-12-10) **EA**
(编辑: 朱历)