

[开关设备]

10 kV大电流开关柜风冷系统的改进与研究

文/广东电网有限责任公司中山供电局 齐明 李新海 曾令诚 王晓强 陶冶

针对系统故障率升高的问题，分析传统10 kV大电流开关柜风冷控制系统的设计缺陷，提出了相应的改进措施，采用负荷电流、温度数据采集技术，负荷电流、温度双判据起动技术，风机起停延时保持技术以及晶闸管控制技术等关键技术，研制了10 kV大电流开关柜风冷微机控制装置，实现负荷电流、温度起停双判据起动风机及外部起停、系统故障告警等功能，降低了系统的故障率，保障了设备的可靠运行。

10 kV大电流开关柜在变电站中的主要功能是投切负荷以及继电保护动作，并作为该功能的最终执行元件，确保其安全稳定的运行对整个电力系统的正常稳定运行有非常重要的意义，而在10 kV大电流开关柜的运行过程中，主要影响其稳定运行的因素就是散热。开关柜在工作过程中如果散热效果不强或散热不及时，设备内部就会出现过热现象，从而导致柜内元器件发生老化甚至损坏，引发短路爆炸、10 kV母线失电压以及供电区域大面积停电的五级电力安全事件，带来重大的经济损失和不良社会影响，为解决开关柜散热问题，目前开关柜均安装有传统10 kV大电流开关柜的风冷控制系统。其主要由工作电源、DL型电磁式过电流继电器、接触器以及风机等部分组成，但是在实际的应用过程中发现，该控制系统仍然存在风机起停值需要手动调节、准确度缺失、故障率高、高温无法感应起动以及无告警功能等诸多问题；因此针对上述缺陷，提出10 kV大电流开关柜风冷微机控制系统的改进措施，研制了10 kV大电流开关柜风冷微机控制装置，实现开关柜负荷电流、温度准确起停风机功能，避免风机频繁起停，还可实现风冷控制系统异常状况监测、告警功能，确保开关柜安

全可靠运行，提高供电可靠性。

传统10 kV大电流开关柜风冷系统结构

传统10 kV大电流开关柜风冷系统结构如图1所示，主要由工作电源、DL型电磁式过电流继电器、接触器以及风机等部分组成。

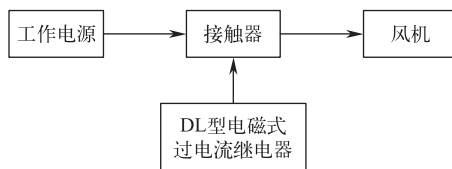


图1 传统大电流开关柜风冷系统结构

其中工作电源通过接触器与风机相连，DL型电磁式过电流继电器安装在开关柜内导体上用于采集电流并控制接触器通断，实现风机起停。工作电源用于为风机提供电能；DL型电磁式过电流继电器也叫定时限过电流继电器，用于检查开关柜三相负载电路的实际电流值，通过手动调节电流值的方式选取定值，当继电器的线圈通以交流电流时，励磁线圈电流逐渐增加并在电磁线圈中产生磁通，其中衔铁与铁心之间气隙中的磁通将作用于衔铁。随着工

基金项目：创新研究群体科学基金（032000KK52190175）。

作磁通逐渐增加,作用在衔铁上的电磁吸力越来越大。当电磁吸力大于系统反力时,衔铁将绕其转动轴转动并带动触头系统的动触头运动,从而实现常开触头的变位。经由一段时间的延时后,信号触头会与主触头接通,若线圈中的电流远大于瞬时动作电流整定值的倍数,此时电磁会发挥作用,将衔铁吸合,由此可使得主触头在不过短暂时延的前提下就能立即动作,此时工作电源与接触器形成通路;接触器输入端与工作电源相连,输出端与风机相连,当DL型电磁式过电流继电器动作后,接触器与工作电源线路导通,接触器线圈通电,此时根据电磁感应原理通电线圈内的电流会产生磁场,该磁场将对静铁心产生电磁吸附力,吸引铁心动作,使得接触器闭合,风机与工作电源间的线路导通,风机运转。

传统10 kV大电流开关柜风冷系统存在问题

如上节所说,现有的变电站所使用的传统10 kV大电流开关柜风冷控制系统均由工作电源、DL型电磁式过电流继电器、接触器和风机组成,该系统在一定程度上确实可以提升开关柜的散热能力,降低开关柜内的温度,起到为各部分元件提供散热、提升使用效率的作用,但是在现实的应用过程中,该风冷控制系统很容易出现故障,若在变电站运行过程中该系统发生故障,则开关柜载流能力被迫大幅下降,可能导致发热损坏设备,引发短路爆炸、10 kV母线失电压和供电区域大面积停电的五级电力安全事件,带来重大经济损失和不良社会影响。其主要问题如下:

1) DL型电磁式过电流继电器的起停风机定值需手动调整,导致整定数值一般准确度很低,无法达到预想的准确度,并且缺少智能性、便捷性。

2) 故障率高。当负荷电流在选定的整定值附近波动时,继电器会发出动作,波动的电流值导致继电器不断发出吸合、释放动作,从而引起接触器频繁开启、关闭,最终出现风机的不停起停现象,这一现象的出现会导致DL型电磁式过电流继电器老化,从而引起返回系数变大,接触点也会发生接触不良甚至抖动,其主要原因在于电流整定值没有设定一个适当的缓冲区间,给出适当的整定范围,导致DL型电磁式过电流继电器、接触器和风机频繁起停而损坏,近三年中山局年均发生27项开关柜风冷

控制系统缺陷,存在极大安全隐患。

3) 缺乏高温起动风扇功能,当开关柜触头、母线搭接部位出现接触不良、接触面氧化导致接触电阻增大时,较低的电流也将导致开关柜发热,此时若较低的电流未达到DL型电磁式过电流继电器电流整定值,风机将无法起动,从而导致开关柜发热,可能引发设备损坏,短路爆炸、10 kV母线失电压和供电区域大面积停电的五级电力安全事件。从而无法保证开关柜的安全稳定运行。同时当DL型电磁式过电流继电器出现问题时,也将导致风机无法正常运行而引起开关柜发热缺陷,最终出现故障。

4) 缺乏负荷电流、温度数据的采集。无法对负荷电流和开关柜温度数据进行采集,这就意味着无法知道现场实时的电流数据和温度情况,也就无法直观地对现场情况进行分析、判断,事后也无法根据采集的数据合理地设定整定值,使得整定值的确定脱离了实际,无法保证安全有效和可靠性。

10 kV大电流开关柜风冷系统改进方案

针对上述问题,研究设计了10 kV大电流开关柜风冷微机控制装置,该10 kV大电流开关柜风冷微机控制系统如图2所示,由工作电源、风冷微机控制装置、晶闸管、热耦和风机组成并安装于开关柜上,实现开关柜风冷系统的控制、监测和告警功能,并有效避免风机频繁起停而损坏风机。

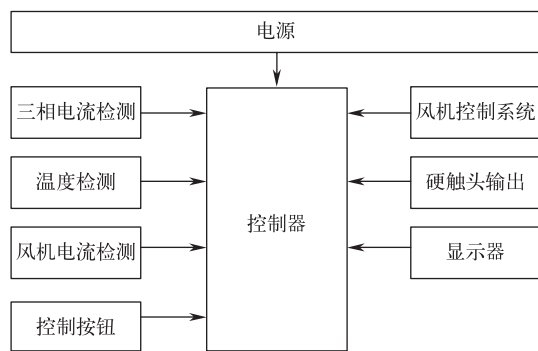


图2 10 kV大电流开关柜风冷微机控制装置

10 kV大电流开关柜风冷微机控制装置主要技术原理、功能如下:

1) 装置由电源、CPU、交流采样、温度采样、开入、开出和通信等插件及管理面板组成。

2) 装置采集开关柜负荷电流、柜内温度数据,作为风机起停依据,通过接触器控制风机起停。

3) 装置可准确整定控制风机起停的负荷电流或柜内温度起动值、返回值, 且设置适当区间, 避免二者太接近且负荷电流或柜内温度在临界值波动时造成风机频繁起停。

4) 装置可精确整定控制风机起停延时保持的启动延时保持时间值、返回延时保持时间值。风机启动或停止后, 经整定延时保持时间值后方可允许状态转换, 有效避免负荷电流或柜内温度采样值波动造成的风机频繁起停。

5) 装置可接入外部手动起停风机开入量, 控制风机起停。

6) 装置对电源失电、风冷微机控制装置故障、接触器故障和风机故障等异常状况进行监测、告警并上传调度监控, 确保开关柜风冷微机控制系统可靠运行。

本装置的运行过程中, 通过电流采集单元和温度采集单元实时记录当前数值, 保证了电流和温度数据的真实可靠性, 为现场判断分析和数值整定工作提供了依据, 完美解决了传统风冷系统无法获取直观数据的问题; 本装置通过温度采集单元提供的数据, 控制器经过逻辑判断是否高温, 输出动作信号控制风机起停, 解决了传统风机遇高温不起动的问题; 本装置通过准确整定控制风机起停的负荷电流或柜内温度起动值、返回值, 并设置适当区间, 解决了二者太接近且负荷电流或柜内温度在临界值波动时造成风机频繁起停问题。本装置通过准确整定控制风机起停延时保持的启动延时保持时间值、返回延时保持时间值, 使风机启动或停止后经整定延时保持时间值后方可允许状态转换, 有效解决了负荷电流或柜内温度采样值波动造成的风机频繁起停问题。

关键技术

10 kV大电流开关柜风冷微机控制装置功能的实现主要依靠负荷电流、温度数据采集技术, 负荷电流、温度双判据起动技术, 风机起停延时保持技术以及晶闸管控制技术。

(1) 负荷电流、温度数据采集技术

风冷微机控制装置应准确采集10 kV大电流开关柜负荷电流和柜内温度数据, 额定电流为1 A或5 A; 电流采样相对误差 $\leq 2.5\%$; 温度测量范围为 $-55 \sim 125^{\circ}\text{C}$; 温度采样绝对误差 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 。

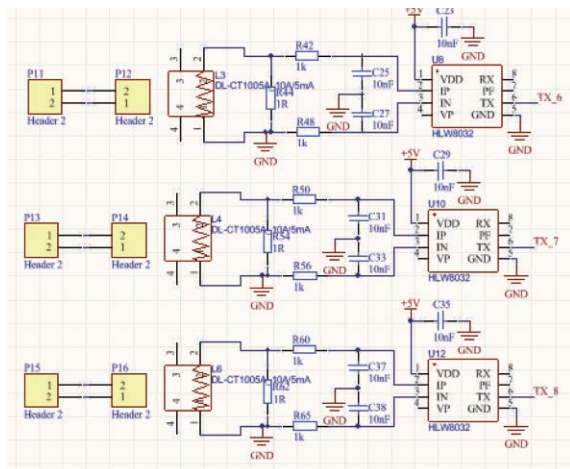


图3 电流采集单元

如图3所示, 电流测试支路接入P11/P13/P15, 通过电流传感器L3/L4/L6进行电流转换至采样芯片, 采样芯片输出后通过U14进行串口通道选择后输出对应支路电流数据至控制器串口输入端。

如图4所示, P17端口接入外部温度测量传感器, 测量值经过放大器后至控制器ADC端口。

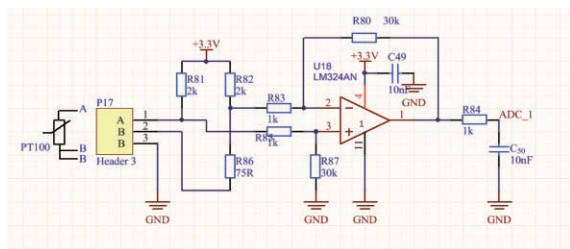


图4 温度采集单元

(2) 负荷电流、温度双判据起动技术及风机起停延时保持技术

风冷微机控制装置可按需要准确整定控制风机起停的负荷电流和柜内温度起动值、返回值, 且设置适当区间, 避免二者太接近而造成风机频繁起停。风冷微机控制装置可按需要准确整定控制风机起停延时保持的启动延时保持时间值、返回延时保持时间值, 避免因开关柜内温度、负荷电流采样值波动造成的风机频繁起停。

如图5所示, 风机启动过程中, 首先通过温度和电流监测模块实时读取温度值和电流值, 然后将数据上送给控制器, 控制器通过逻辑判断温度或电流两者之间有一个大于动作值, 就可以达到起动条件, 且经时间计数器保持一定时间后, 风机就可以

起动。风机停止过程中，风机起动后持续运行会降低设备的温度，控制器对通过监测模采集到的温度值和电流值进行逻辑判断，当温度和电流都小于返回值时，才可以达到停止条件，且经时间计数器保持一定时间后，风机停止。本装置逻辑功能的实现主要依赖于主控制器，根据电流、温度采集的数据进行判断，输出信号。负荷电流、温度起停风机技术和风机起停延时保持技术都通过主控制器实现。

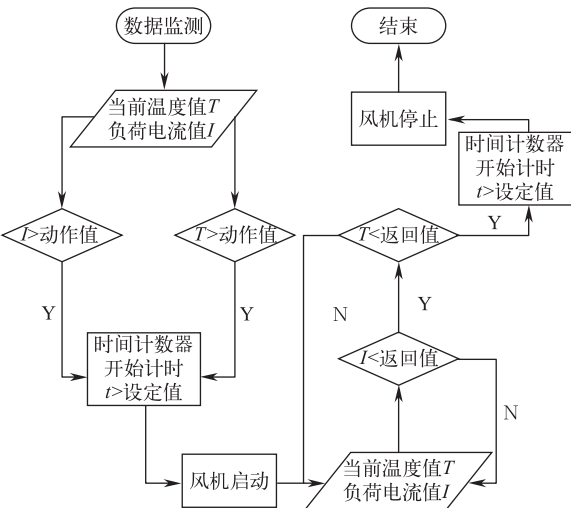


图5 负荷电流、温度双判据及风机启停延时保持流程

(3) 晶闸管控制技术

现有的传统10 kV大电流开关柜风冷控制系统均

采用控制接触器的通断实现风机的起停，该接触器触头为机械接触式触头，长时间的通断导致其容易损坏；因此设计研究的10 kV大电流开关柜风冷微机控制系统采用晶闸管控制技术，采用控制晶闸管的导通角，实现电流回路的通断，使风机回路起动或停止，有效杜绝了因接触器机械触头损坏而导致风机无法起停的回路缺陷。

结束语

10 kV大电流开关柜风冷微机控制系统集成应用了负荷电流、温度数据采集技术，负荷电流、温度双判据起动技术，风机起停延时保持技术以及晶闸管控制技术等关键技术，实现开关柜负荷电流、温度准确控制风机起停功能，避免风机频繁起停，并实现了对风冷控制系统的工作电源失电、风冷微机控制装置故障和风机故障等异常状况进行监测、告警，有效解决了传统10 kV大电流开关柜风冷控制系统存在的问题，排除安全隐患。当开关柜风冷控制系统故障告警时，调度人员可以及时调整开关柜负荷电流并通知变电运行部门消缺，确保开关柜安全可靠运行，提高了10 kV系统供电可靠性。该装置已在某供电局1座220 kV变电站中得到试点应用，自投运以来，运行效果良好。EA

(收稿日期：2021-08-30)

(上接第56页)

平衡情况下增加的额外损耗比例为

$$\lambda = 2(1 + \beta_A^2 + \beta_B^2 + \beta_A \beta_B) - \frac{2}{3}[(1 + \beta_A) \times (2 - \beta_A) + (1 + \beta_B)(1 - \beta_A - \beta_B)] \quad (11)$$

式中， λ 表示仅考虑三相电流不平衡、角度平衡的情况下由三相负载不平衡引起的线路损耗增加率，并假设零线电阻为相线电阻的2倍。

根据式(11)并结合式(10)的计算结果计算出经过优化后，由三相不平衡导致的线损增加率从1.36降低至0.54，台区运行的线路损耗率有较大幅度的下降，体现了所提优化方法的经济性能。

对于需求方，其需求响应前后的用电成本见表1。可见，该台区用户仅通过少量灵活负载参与系统的优化运行，日用电成本即可降低67.40元，体现了良好的经济性。

表1 用户用电成本

(单位：元)

	电量电费	补偿电费	实际支出
响应前	1 511.24	0	1 511.24
响应后	1 511.24	67.40	1 443.85

结束语

提出了一种考虑激励型需求响应的智慧供电台区三相负载不平衡优化治理方法，并进行了实际算例的仿真分析，仿真结果表明所提方法可有效实现台区三相负载不平衡的优化治理，并提升台区运行的经济性。但需要指出的是，所提优化治理方法是基于调控云平台获得了灵活负载调度权，从而以供电方为主导进行集中决策的模式。如何实现用户自主响应的分布式决策以及补偿电价如何制定将是进一步的研究方向。EA

(收稿日期：2021-05-13)