

「输电线路」

基于消弧开关的输电线路接地线状态的数字式动态监测装置研制

文/国网金华供电公司 蒋卫东 郑宏伟 梁加凯 柳浩

超特高压同塔多回或共走廊线路越来越多，而部分回路停电检修时线路上的感应电压和电流会对人员和设备造成威胁，所以实时掌握接地线的运行状态对运行、调度和检修作业人员都具有重要意义。分析了基于消弧开关的输电线路接地线状态的数字式动态监测装置的功能要求，设计一款能感知接地线的工作状态（正常或故障），并根据接地线的工作状态触发相应的高压开关电路，确保接地线运行在正确的工作状态，有效确保人员和线路的安全。

由于我国能源与经济逆向分布，需要采用超特高压输电线路把电力从发电中心输送到负荷中心，在经济发达地区，土地资源紧张导致线路走廊的获取越来越困难，超特高压同塔多回并架或共走廊的输电线路越来越多。输电线路在运行过程中不仅要承受运行时的电气和机械应力，还要承受雷电、山火、覆冰、污秽和大风等恶劣的灾害天气，导致线路的绝缘子、导线和金具等元件出现故障或缺陷。一般电力运行维护部门采用停电或带电检修作业来消除线路缺陷，避免缺陷引发线路故障，提高线路的运行可靠性。据电力部门的人身伤亡统计分析，在同塔多回线路部分线路停电检修时，感应电造成的事故每年都会发生，由于超特高压输电线路在地理上跨越的范围广，因而掌握接地线的状态一般非常困难且耗费大量的人力和物力，因人为疏忽等原因发生过带接地线合闸的事故。另外，对于超特高压输电线路由于负荷电流水平高，在停电的线路上会产生幅值明显的感应电流和电压，达到数千伏的感应电压或几十到数百安的感应电流，在挂接接地线时若因为操作抖动而长时间无法有效接触或脱离，产生的电弧有可能灼伤接地线夹或导线，一些电力运行维护单位在挂接或拆除接地线过程中发现500 kV以上电压等级的线路较为容易出现烧伤导线甚

至断股。

由于感应电压和电流对人员和设备的安全的影响非常大，因而，感应电压和电流的计算和测量一直都是研究的热点，国内的一些研究机构在这方面也开展了大量的研究，然而对于接地线挂接过程中的消弧技术及状态的动态监测则研究较少。因而针对超特高压双回、多回横担或同走廊多条线路长距离并行架设线路，以及线路交叉跨越点空气间隙较小的线路，当在其中某条停运线路进行检修时，因电磁感应现象停运线路会存在较大感应电压和感应电流，挂接接地线时会出现拉弧放电，对接地线线夹及接输电线路导线造成灼伤。另外，在变电站高压设备停电检修时，经常使用接地线来防止被检修设备突然来电或感应电造成人身触电事故。但是，由于人工差错因素，又容易发生带接地线合闸事故，如何有效防止带接地线合闸事故，是电力行业长期以来未能解决的安全技术难题。

装置的功能与研制

1. 功能要求

(1) 良好的导电特性

传统的接地线主要对线路的电荷或电流提供一个泄放回路，确保停电状态下或意外合闸时都

有一个可靠的接地回路，直至保护装置可靠地断开线路，因而接地线的首要功能是具有良好的导电特性并满足大电流下的热稳定要求。

(2) 消弧能力

一般线路的感应电压和电流水平较低，采用常规接地线在挂接操作过程中并不会产生明显的电弧，而对于超特高压线路，线路的感应电压和电流水平高，操作距离大，挂接接地线过程中的可靠接触与退出难题，容易产生长时间的反复拉弧而灼烧钢芯铝绞线（铝导线的熔点较低），因而对于超特高压线路的接地线具有消弧能力则可以避免此类电弧对导线的灼伤。

(3) 接地线状态实时感知能力

超特高压输电线路分布地域广，一般500 kV线路的长度在数百至1 000 km左右，而特高压线路的长度在数百至2 000 km左右，而检修时一般有多个检修区段，而多个不同位置的接地线的状态感知对运行、调度和检修等人员的决策、操作和安全具有重要意义。可以有效避免带接地线合闸或作业人员没有退出而合闸的风险。

2. 结构设计

基于超特高压输电线路接地线动态监测的要求，提出了该装置的原理图，如图1所示，其包括如下4个功能部件。

- 1) 第一接地线，设有第一线路真空继电器开关K1。
- 2) 第二接地线，设有第二线路真空继电器开关K2。
- 3) 第三接地线，设有第三线路真空继电器开关K3。
- 4) 接地线数字式动态监测模块，对接地线的状态进行感知并把其状态通过无线通信模块发送到数据中心，具有实时状态显示和通路选择

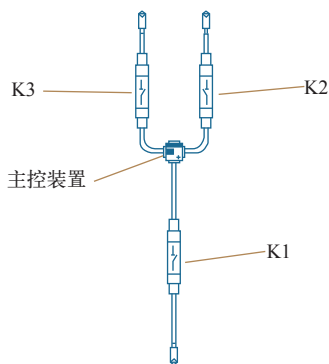


图1 基于消弧开关的接地线数字式动态监测装置的原理图

功能。

(1) 接地线数字式动态监测模块

接地线数字式动态监测模块，具有两个输入端和一个输出端，两个输入端分别通过第二接地线和第三接地线与输电线路杆塔的横担连接，输出端通过第一接地线与地线连接，第一线路开关或第二线路开关是消弧开关。接地线数字式动态监测模块包括电流传感器、信号处理电路、控制芯片、通信电路、选通电路以及显示器，如图2所示。

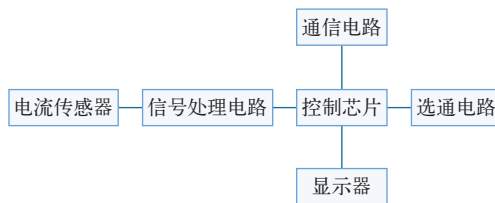


图2 接地线数字式动态监测模块组成

电流传感器可以分别采集三条接地线中的电流信号，输出检测电流信号；信号处理电路包括放大器和模数转换器，放大器对电流传感器获取的接地线上的检测信号进行放大，单片机采用低功耗的MSP430F247，处理能力强、运行速度快和开发方便等特点，性价比很高。A/D转换器采用了MAX 125芯片，MAX125是MAXIM公司推出的一种速度高、通道广、14位模-数转换芯片。由单片机控制模数转换器对放大后的检测信号进行采样和模数转换，以输出数字检测信号；单片机接收数AD采样芯片输出的数据信号，转换为流过接地线的电流数据，控制芯片采用单片机；通信电路采用GPRS模块，将实时电流数据传输至远端控制器；控制器根据实时电流数据数实时电流数值识别接地线的工作状态是否正常或故障；选通电路仅在单片机识别工作故障后，控制第一线路开关、第二线路开关和第三线路开关按次序切断；显示器接收单片机通过通信模块发出的实时电流数据，并在相应的显示终端上对实时电流值进行显示。

(2) 选通电路

选通电路包括数字启动电路和高压启动电路，数字启动电路包括晶体管Q1，晶体管Q1的控制极与控制芯片连2接，晶体管Q1的一端通过中间继电器KM1的线圈接地，另一端连接有电源，如图3所示。

高压启动电路，如图4所示，其包括第一通电

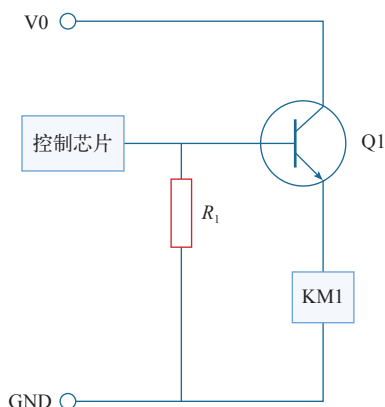


图3 数字启动电路

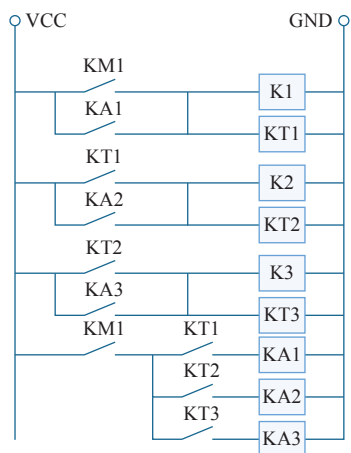


图4 高压启动电路

延时时间继电器KT1、第二通电延时时间继电器KT2、第三通电延时时间继电器KT3、第一断电延时时间继电器KA1、第二断电延时时间继电器KA2、第三断电延时时间继电器KA3，中间继电器KM1的常开触点一端与单元连接，另一端分别通过第一真空继电器K1和第一通电延时继电器的线圈接地，中间继电器KM1的常开触点并联有第一断电延时时间继电器KA1的常开触点，第一通电延时时间继电器KT1的常开触点分别通过第二真空继电器K2和第二通电延时时间继电器KT2的线圈接地，第一通电延时时间继电器KT1的常开触点并联有第二断电延时时间继电器KA2的常开触点，第二通电延时时间继电器KT2的常开触点分别通过第三真空继电器K3和第三通电延时时间继电器的线圈接地，第二通电延时时间继电器KT2的常开触点并联有第三断电延时时间继电器KA3的常开触点，第一断电延时时间继电器KA1的线圈一端通过第一通电延时时间继电器KT1的常开触点和中间继电器KM1的常开触点与电源连接，另一端接

地，第二断电延时时间继电器KA2的线圈一端通过第二通电延时时间继电器KT2的常开触点和中间继电器KM1的常开触点与电源连接，另一端接地，第三断电延时时间继电器KA3的线圈一端通过第三通电延时时间继电器KT3的常开触点和中间继电器KM1的常开触点与电源连接，另一端接地。

现场应用

1. 作业步骤

(1) 安装步骤

第一步：将输电导线用接地线夹具和横担用接电线夹具分别固定在动态监测数字式接地线上，并分别套上绝缘帽；将装置提升到铁塔横担预先选定好的接地线挂接位置，确认其消弧开关分合闸功能正常，且处于断开位置；首先安装其分支接地导线上的横担用接电线夹具到铁塔横担上。

第二步：安装其接地导线下端的输电导线用接地线夹具到输电导线上，确认接触良好。

第三步：合上消弧开关的开关，此时输电导线中感应电流开始导入接地极。

第四步：取下接地导线上端横担用接电线夹具上的绝缘帽，将横担用接电线夹具固定在铁塔横担上。

(2) 拆除步骤

第一步：从铁塔横担上取下接地导线上端横担用接电线夹具；盖上横担用接电线夹具的绝缘帽。

第二步：分消弧开关的开关。

第三步：从输电导线上拆下接地导线下端的输电导线用接地线夹具。

第四步：从铁塔横担上拆下分支接地导线上的横担用接电线夹具，完成操作。

2. 现场应用

基于消弧开关的输电线路接地线数字式动态实时监测装置在现场应用时，第一接地线与输电线路连接导线，第二接地线和第三接地线挂接在杆塔横担上，如图5所示。

在需要使输电线路与横担连接时，单片机输出高电平，晶体管Q1导通，使KM1的线圈通电；KM1的常开触点闭合，K1、KT1的线圈均通电，KA1的常开触点闭合；预设安全时间T1后，KT1的常开触点闭合，K2、KT2的线圈均通电；预设安



图5 装置的现场应用应用

全时间T2后，KT2的常开触点闭合，K3和KT3的线圈均通电。同时，在KM1的常开触点闭合时，在预设时间T1时，KA1的线圈通电；预设时间T2时，KA2的线圈通电；预设时间T3时，KA3的线圈通电，此时输电线与横担导通，完成接地。

在需要使输电线路与横担断开时，单片机输出低电平，晶体管Q1关断，使KM1的线圈断电，

KM1的常开触点断开，KA1、KA2、KA3分别按预设时间断开，具体时间KA3大于KA2大于KA1，则使K3先断开、K2再断开、K1最后断开，实现安全切断输电线路和横担之间的连接。

结束语

对研制的一款基于消弧开关的输电线路接地线状态的数字式动态监测装置的功能设计和开发过程进行了介绍，并在现场进行了应用，得到了以下结论。

1) 输电线路接地线的是确保输电线路设备和作业人员安全的重要装备，掌握线路的实时动态对运行、调度和检修人员的正确决策和安全防护具有重要意义。

2) 研制的接地线数字式实时动态监测装置，不仅能实时获取流过接地线上的电流，并能根据电流值对接地线的状态进行识别，并采取智能化的策略控制高压开关电路的投入与退出运行，确保设备和人员的安全。EA

(收稿日期：2017.07.13)

(编辑：刘群彦)

(上接第62页)

本文设计的新型呼吸器可有效解决此类问题。新型呼吸器可实现图3所示呼吸器所有功能，并在需要清洗斜网和罐体底部时可通过快速接头实现清洗。

2) 新型呼吸器硅胶入口和出口采用快速接头原理，避免图3所示呼吸器打出口和入口时须使用卡钳。

3) 新型呼吸器倒扣油杯结构，可避免图3所示呼吸器油封杯中油因呼吸剧烈而吸入罐体。市场上部分图3所示呼吸器因加工时不注意，在罐体底部出现凹槽，油封杯中油被吸入罐体后下不来，使得油封杯无法起到应有作用。

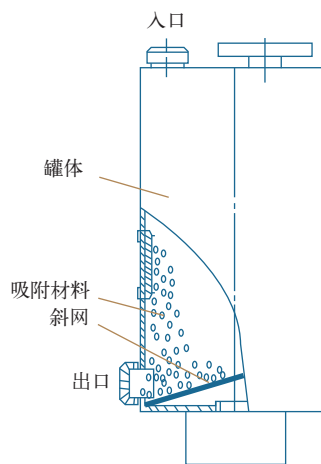


图3 带硅胶出口、入口呼吸器

更换速度快等特点，用它取代旧式呼吸器，对保证变压器油的绝缘强度，从而保证特高压变压器的安全运行有利。EA

(收稿日期：2017.04.23)

(编辑：白文亭)

结束语

按电力变压器吸湿器选用导则，此特高压变压器新型呼吸器满足例行试验和型式试验要求，实际运行半年来效果较好。此特高压变压器新型呼吸器具有维护方便、部件均可清洗、吸附材料