一种主变压器中低压侧单相接地告警系统的设计及实现

特殊运行方式下，小电流接地系统主变压器中低压侧套管至开关柜间的联络电缆（或母排）是传统电压监测装置的死区，存在电网安全隐患。根据小电流接地系统单相接地的判定原理，利用模块化设计，发明并实现了一种主变压器中低压侧单相接地告警系统，该系统解决了监测死区的问题，实现了发生单相接地故障第一时间预警，使事故及时被发现并可以采取防范措施，避免事故的扩大和停电，给故障分析和处理带来很大的便利，同时在提高故障效率和保障供电可靠性方面也有较大的用处。

李　丹　袁士超　郑　南　许育燕　虞殷树/国网浙江省电力公司宁波供电公司

李　丹/工程师

关键词/Keywords
单相接地故障·
监测死区·
单相接地告警系统·
模块化设计·

目前我国配电网均采用中性点不直接接地的方式，亦称为小电流接地系统。该方式下的各种故障中，单相接地故障是最常见的系统故障，故障发生时非故障相电压会升为线电压，造成系统过电压，长时间带此故障运行极易导致绝缘破坏，产生弧光短路接地，形成两点接地故障，严重影响系统安全[1-4]。

在电网正常运行方式下，单相接地故障可以通过母线PT采得的电压及时发现并处理，但存在部分地区如宁海等地，受电网供电负荷等影响，这些地区的110 kV变电站其中的一台主变压器（三绕组变压器）35 kV开关经常较长时间处于热备用状态，形成了该110 kV主变压器只供10 kV侧的特殊运行方式。

基于上述特殊运行方式，2012年10月7日，宁海110 kV某变电站1#主变压器中压侧套管至35 kV过渡触头柜间的联络电缆发生击穿，导致了主变压器差动保护动作跳闸的事故。事后分析，造成该事故的原因是主变压器中压侧在运行过程中发生单相接地，而主变压器中压侧套管至35 kV过渡触头柜之间的联络电缆失去了电压监测（母线电压互感器由于主变压器35 kV开关断开而失去监测作用），运行人员无法及时发现，导致接地故障长时间存在并发展成为两点接地故障或其他更严重的故障形式，造成主变压器近区短路，引起主变压器差动保护动作[5-6]。

可以看出，小电流接地系统主变压器中低压侧套管至开关柜之间的联络电缆（或母排）是传统电压监测装置的死区，为了彻底杜绝监测死区给电网带来安全隐患，开发一种主变压器开关侧单相接地告警系统显得十分必要和重要，本文根据上述需求，发明并阐述了一种主变压器开关侧单相接地告警系统的设计过程及其实现。

设计思路

1. 单相接地判定依据

小电流接地系统在发生单相金属性接地故障时，非故障相电压会升为线电压，因而可通过该特点来判断单相接地故障。根据电力系统现场运行经验，当相电压超过额定相电压的1.2倍并持续2 min，即可判断为永久性接地故障，本监测系统的设计也以此作为单相接地的

本文设计系统已成功申请专利：一种单相接地故障检测电路、方法以及系统。申请号：2013105950345公告号卷期号：CN 103558502 A 30－06。

中国知网 https://www.cnki.net

判定依据。

2. 模块化设计

基于上述单相接地判定依据，设计一种模块化单相接地故障检测系统。模块包括：电压传感器101、电压比较电路102、计时电路103以及报警电路104，其中，报警电路104包括报警器1041，原理框图如图1所示。

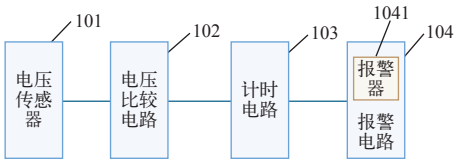

图1　单相接地故障检测系统原理框图

3. 模块化实现

根据上述模块化设计，检测系统通过电压传感器101采集变压器与过渡触头之间的连接排上的电压值。电压比较电路102侧与电压传感器101相连，接收电压传感器101采集到的电压值，并将该接收到的电压值与预设电压值进行比较，当采集到的电压值大于预设电压值时，输出第一控制信号至计时电路103。在预设时间到来时，计时电路产生第二控制信号至开关管，控制开关管开启，此时，继电器1042通电发生动作，即常开开关闭合，报警器通电，实现报警。

为了便于观察，设计时在电压比较电路102与计时电路103之间设置指示灯105。该指示灯105在电压比较电路102输出第一控制信号时点亮。即当检测到的电压高于单相额定电压的1.2倍时，指示灯点亮。此外，为了隔离高压并提高设备抗干扰能力，可在电压比较电路102与计时电路103之间设置光电耦合器106。该光电耦合器的输入端串接在电压比较电路的输出端与地之间，其输出端与计时电路的输入端相连，原理示意图如图2所示。

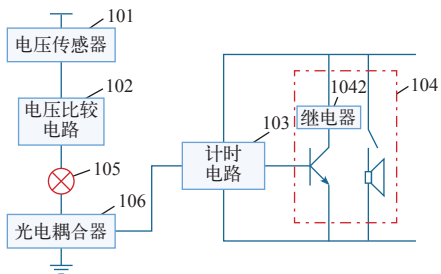

图2　单相接地故障检测系统的原理示意图

本故障检测系统给出了预设电压值和预设时间的最优方案，如定义预设电压值为连接排上的额定相电压的1.2倍、预设时间为2 min等。结合实际情况，如需要对预设值进行修正，可以通过对电压比较电路102及其计时电路103的更改分别实现预设时间和预设电压的修正。

系统的电路实现

1. 电路的分部实现及其连接方式

根据模块化设计，检测系统包括电压传感器、电压比较电路、计时电路以及报警电路四部分，如图3～图6所示。其中，电压传感器和计时电路设计时相对烦琐。

电压传感器包括压敏电阻、限流电阻、去耦

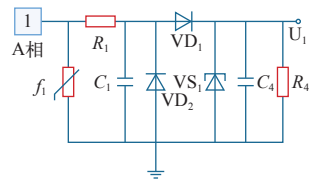

图3　A相电压传感器

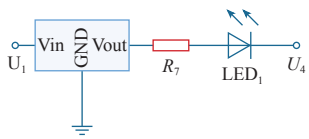

图4　A相电压比较电路

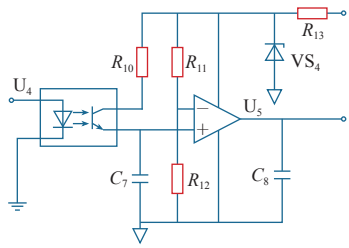

图5　计时电路

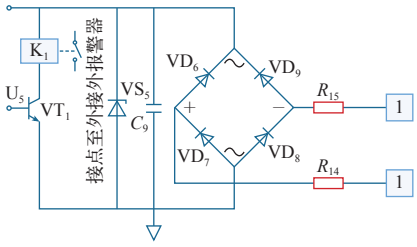

图6　报警电路

中国知网　https://www.cnki.net

电容、第一整流二极管、第二整流二极管、稳压管、滤波电容以及分流电阻。

电压传感器中串接了变压器的信号输出端与地之间的第一电容，通过该电容实现对电压的持续采集。电压传感器中压敏电阻的第一端与限流电阻的第一端相连且作为电压传感器的输入端，限流电阻的第二端分别与去耦电容的第一端、第一整流二极管的阳极以及第二整流二极管的阴极相连，第一整流二极管的阴极分别与稳压管的阴极、滤波电容的第一端以及分流电阻的第一端相连且作为电压传感器的输出端，压敏电阻的第二端、去耦电容的第二端、第一整流二极管的阳极、稳压管的阳极、滤波电容的第二端以及分流电阻的第二端均接地。

计时电路包括供电电阻、延时电容、第一分压电阻、第二分压电阻、第一稳压二极管以及运算放大器。

供电电阻的第一端分别与第一分压电阻的第一端以及第一稳压二极管的阴极相连且作为计时电路的第一输出端，供电电阻的第二端与光电耦合器的第一输出端相连，第一分压电阻的第二端分别与运算放大器的反相输入端以及第二分压电阻的第一端相连，光电耦合器的第二输出端分别与延时电容的第一端以及运算放大器的同相输入端相连，延时电容的第二端 、第二分压电阻的第二端以及第一稳压管的阴极均接地且作为计时电路的第二输出端，运算放大器的输出端作为计时电路的信号输出端。

电压比较电路和报警电路分别由比较器、开关管及其相关元件组成，结构相对简单。

2. 电路的作用及工作原理

上述电路连接方式下，压敏电阻f_1和稳压二极管VS_1进行过电压保护，通过限流电阻R_1对去耦电容C_1进行充电，实现采集电压的过程，另外增加了整流二极管VD_1和VD_2，用于使电流平稳。滤波电容C_4对采集的电压进行滤波处理，电阻R_4是用于调节启辉阀的值。此后，将采集到的电压信号输入比较器U_1的输入端，当比较器U_1的输入电压大于预设值时，输出第一控制信号，使发光二极管LED_1以及光电耦合器U_4导通。

然后光电耦合器U_4的输出信号经过电阻R_{10}给延时电容C_7充电。需要说明的是，设置不同电容的容量可以决定延时的时间，当电容C_7上充有足够的电时，即此时比较器的同相输入端的电压高于反相输入端的电压时，比较器输出第二控制信号至开关管VT_1，VT_1导通使得继电器动作，报警器发出报警。

结合上述电路工作原理，可以看出，设计的单相接地故障检测装置是采用开关量信号的传输，相比于电压或电流的直接传输，能够有效地避免电压或电流传输存在的电压畸形和失真的现象，传输效率更高。

另外，本故障检测系统还具备带电显示装置，该带电显示装置和现有技术中开关柜面板上的带电显示装置的结构和功能相同。在主变压器正常运行状态下，本单相接地故障检测装置不工作；当主变压器开关断开时，本单相接地故障检测装置工作，有效地对主变压器至主变压器开关之间发生单相接地故障进行预警，保障了供电系统的安全。

单相接地故障检测系统的实现及其流程

1. 装置调试成功并试点运行

根据上述设计，本单相接地故障检测系统已成功研制并申得专利，成品如图7、图8所示。

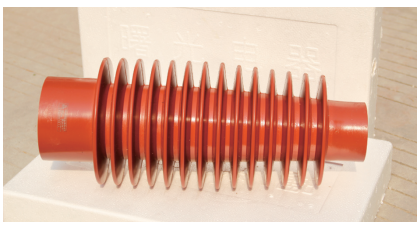

图7　单相接地故障检测系统变压传感部分

图8　单相接地故障检测系统判断显示部分

中国知网 https://www.cnki.net

2015年初，本设备已在宁海某110 kV变电站作为新技术实现了装置的试点安装和成功调试，目前正处于试运行阶段。自试运行开始至今，设备运行正常，如设备能长时间稳定运行并正确实现其功能，则将实现其更大规模的推广和应用。

2. 单相接地故障检测系统工作流程

为了能更及时地通知操作人员故障信息，在系统中设置短信收发模块，在接收到所述第二控制信号后，发送报警信息至操作人员的手机或远程控制台等电子设备，以便操作人员能及时对现场的故障进行处理。

添加上述功能后，本单相接地故障检测系统工作流程如图9所示。

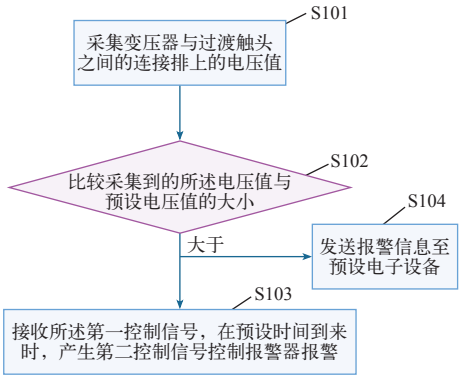

图9　单相接地故障检测系统的流程图

结束语

特殊运行方式下，主变压器中低压侧套管至开关柜之间的联络电缆（或母排）是传统电压监测装置的死区，为了彻底杜绝检测死区对电网带来安全隐患，本文发明并实现了一种主变压器开关侧单相接地告警系统：

1）解决了监测死区的问题，能够在第一时间告知运行人员电缆（或母排）的工况，一旦发生单相接地故障，可以第一时间采取防范措施，避免事故的扩大和停电。

2）给故障分析和处理带来很大的便利，在提高故障效率和保障供电可靠性方面有较大的用处。

3）本故障检测系统给出了预设电压值和预设时间的最优方案，结合实际情况，如需要对预设值进行修正，可以通过对电压比较电路102及其计时电路103的更改分别实现预设时间和预设电压的修正。

4）本设备已在宁海某110 kV变电站作为新技术实现了装置的试点安装和成功调试，目前正处于试运行阶段。自试运行开始至今，设备运行正常，如设备能长时间稳定运行并正确实现其功能，则将实现其更大规模的推广和应用。

5）为了能更及时地通知操作人员故障信息，在系统中设置短信收发模块，在接收到所述第二控制信号后，发送报警信息至操作人员的手机或远程控制台等电子设备，以便操作人员能及时对现场的故障进行处理。

参考文献

[1] 张保会，尹项根．电力系统继电保护 [M]．北京：中国电力出版社，2005．

[2] 卢文鹏．发电厂变电站电气设备 [M]．北京：中国电力出版社，2002．

[3] 董建达，翁格平，李丰伟．地区电网典型事故调度处理方案 [M]．北京：中国电力出版社，2013．

[4] 吕天石．单相接地故障引起的主变压器差动保护动作分析 [J]．电子世界，2012，10 (20)：63-64．

（收稿日期：2014－11－10）EA

欢迎订阅　欢迎投稿　欢迎刊登广告

中国知网　https://www.cnki.net