[继电保护]

就地化保护测试系统设计

文/国网河南省电力公司　陈　楷　杜兴伟　韩　伟　杨忠礼　刘　磊

针对各保护子机安装位置较为分散、数量众多，需要布置大量长电缆与测试系统连接的问题，介绍了就地化保护测试系统的系统架构和特征，提出采用甲乙类互补对称功率放大电路作为测试系统的功率放大器，最后提出分布式就地化保护环网配置方案，解决了当前存在的分布式就地化保护现场无法进行整体测试的难题。

随着智能变电站建设的快速推进，现场出现多起由于合并单元问题导致的保护不正确动作事件，额定电压为330 kV及以上的智能变电站需要采用常规采样GOOSE跳闸模式。2015年以来，电压等级为220 kV及以下的间隔继电保护装置的无防护安装和装置小型化得到了广泛的关注。至此，继电保护技术已经进入就地化时代，各种形式结构的就地化保护方案陆续提出并应用，特别是就地化分布式变压器、母线保护，已成为重点研究对象。

较之于传统的集中式保护装置，分布式就地化保护面向间隔就地放置于开关场，用于分布式数据采集。保护装置内部使用光纤进行通信，从而减小了与CT、断路器等的距离，改善了对噪声、畸变等的抗干扰能力。分布式就地化保护装置能够进行分布式计算，减轻处理器的负荷，化简硬件电路，提高保护装置的可靠性。因为分布式就地化保护面向间隔而放置，所以只需要增加分布式子机的数量即可实现扩建的需求，从而改善了就地化保护的实用性和扩展性。

然而，这种分布式结构形式为就地化保护装置的测试带来了一定的技术难题。对于常规集中式保护，只需要在保护屏前，采用继电保护测试仪或者仿真测试装置等测试系统通过短电缆或者光缆连接屏柜端子排、光纤配线架或者保护装置的光纤接口，继电保护测试工作即可以完成。而对于就地化分布式保护装置，由于各保护子机安装位置较为分散、数量众多，需要布置大量长电缆与测试系统连接，一方面每个信号均需要电缆传输，因此电缆数量较多，另一方面过长电缆存在电压下降、负载增加、易受电磁干扰等问题，无法保证测试结果的正确性。

针对以上问题，本文对就地化保护测试系统及其功率放大电路进行了研究，采用光纤以9－2 SV、GOOSE格式的数字报文传输电压、电流和开关量等测试数据至分布式保护子机，并将其就地转换为模拟电压、电流和开关量，再通过短电缆连接保护子机。采用该技术方案，利用单根光纤可传输大量数据的特点，有效减少了长距离线缆的数量，降低了接线工作量，同时也不存在电压下降、负载增加、易受电磁干扰等问题，有效解决了现有的分布式就地化保护现场无法整体进行测试的问题。

就地化保护测试系统

1. 测试系统架构

就地化保护安装在靠近一次设备的开关场，

基金项目：国家电网公司科学技术项目（张北柔性直流电网系统构建方案研究）（SGSDJY00JHJS1600141）

由于材料和尺寸的限制，就地化保护取消了人机界面，导致不方便在现场进行就地化保护功能测试工作，通常做法是在工厂调试阶段完成保护装置的功能验证，进而实现现场即插即用。本文提出了如图1所示的就地化保护测试系统。

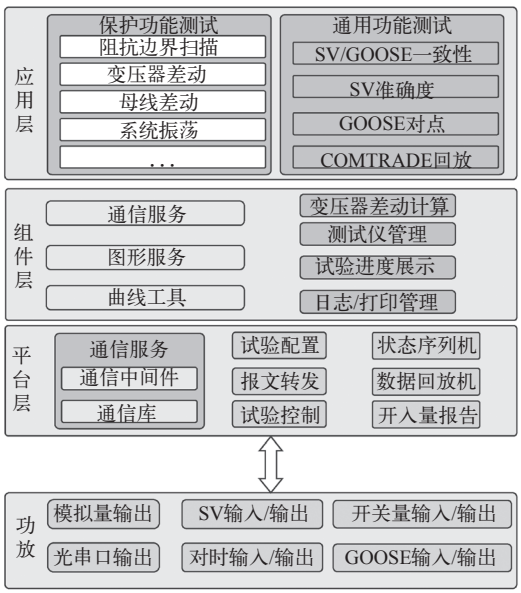

图1　就地化保护测试系统

图1中，测试系统的体系结构采用分层、标准化和模块化的设计方法，主要包括应用层、组件层和平台层。应用层具有友好的人机交互操作功能，主要包括通用测试项目编辑器、测试功能库和实例化管理器；组件层为应用软件的开发提供了支撑平台，应用软件通过调用这些组件完成相应的工作；平台层包括测试配置、状态定序器、数据回放和时间同步等模块，作用是接收上层测试任务，驱动物理数据接口输出电压、电流等。设备响应信号被反馈到上层应用软件进行数据分析。

应用层将特定测试项分解为增强状态序列或数据重放序列，并通过组件层计算每个测试序列的初始值和数据变化。使用标准协议将测试序列发送至平台层，并且平台层根据接收到的状态计算并输出每个状态的实时数据，或者直接输出回放数据，平台层也将被测设备的响应信息反馈给组件层，控制测试序列的切换、影响状态数据的计算或评估测试结果；增强状态序列和数据重放序列的应用协议数据由可扩展标记语言格式的字符串描述。

2．就地化保护测试装置

根据“间隔数据从电缆中直采直跳，跨间隔数据使用GOOSE传输”的设计原则和“六统一”的标准规范，就地化保护优化了设备接口和二次回路接线，即开关状态和交流量均通过电缆就地采集并直接进行跳闸操作，从而有效减少了终端设备数量。对于以往由于电缆长且多而带来的电流互感器的饱和问题、接地点多的问题等，该方法提供了可行的解决方法，有效提高了保护的可靠性。

传统继电保护装置采用普通的接线端子与电气设备连接，在电磁环境复杂、气候条件恶劣时防护能力和电气性能较差。而就地化保护采用专用的航插连接器，有效提高了防护能力和电气性能。同时，航插连接器上设计有防误插键位、分组键位和辅助辨色带，可以有效防止由于误插操作而带来的误接回路的问题，使用装置时只需要根据功能分组插入对应键位，即可完成可靠连接，做到即插即用，且便于维护。

同时，在就地化保护装置专用的航插连接器中设计有针对交流电流回路的自短路功能，即在交流电流回路连接触针中间安装有可靠的弹簧连接片，从而当电流互感器所在回路处于开路状态时，此举可以防止引起对装置和人身的伤害。具体操作原理为：插接操作中，当设备连接线和互感器连接线闭合时，自短路功能的弹簧连接片分离；拔插操作中，设备连接线和互感器分离时，自短路功能的弹簧连接片复位，形成回路短路，从而避免对装置和人身造成伤害。

就地化保护测试系统功率放大电路

作为就地化保护测试系统的重要组成部分，功率放大电路会对测试系统的性能产生影响。测试系统结构示意图如图2所示，根据测试需求应用层将参数指令下发给MSP430单片机，经过MSP430后得到一个幅值和频率均为确定数值的模拟电压信号，再经电压电流转换和功率放大环节得到所需电流信号。反馈控制环节依次通过采样、电流电压转换、模数转换后传输给MSP430，依靠MSP430里的PID控制器校正模拟电压信号的幅值，最终达到准确度要求。

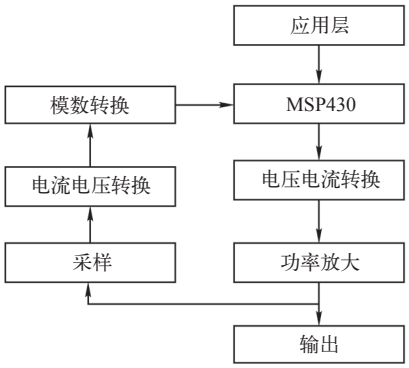

图2　系统结构示意图

图2中的功率放大环节使用甲乙类互补对称功率放大电路，如图3所示。

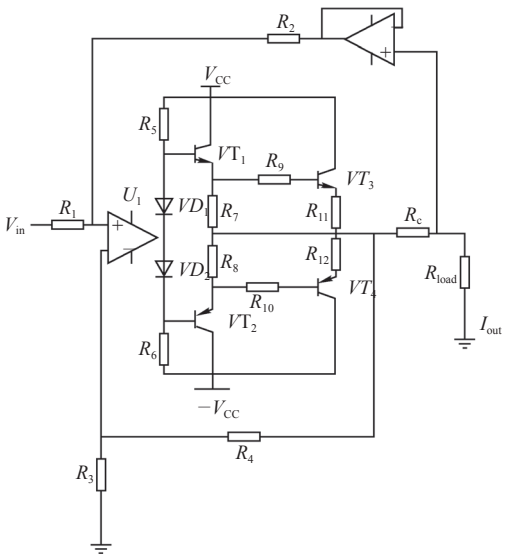

图3　甲乙类互补对称功率放大电路

使用图3中的功放电路与电压电流转换器内的运放配合从而获得所需的输出功率。中间放大器是由晶体管VT_1、VT_2、二极管VD_1、VD_2、电阻$R_5 \sim R_8$构成的互补对称的推挽式放大电路。功率输出级由晶体管VT_3、VT_4、电阻$R_{11} \sim R_{12}$构成，由于VT_1、VT_3和VT_2、VT_4分别构成了复合管，所以提升了电流放大倍数。

分布式就地化保护环网配置方案

传统的跨间隔集中式保护接线复杂，安装不便，原因是其将所有间隔的回路均接入一台继电保护设备。针对以上问题，本文提出一种分布式就地化保护环网配置方案，如图4所示。

图4为环网有主机式母线保护配置示意图，各子机分布安装在相应间隔开关场，与相邻子机相互连接，执行包括采样、获取刀开关位置和执行主机命令等程序，各子机可独立判断本间隔的保护逻辑。此外，放置专用于计算与后台通信的主机，并且通过环网式光纤通道在设备间传输数据。由于各子机位置较为分散，为了避免长电缆连接带来的各种问题，测试系统可放置在主机处，就地化保护测试功率放大器就近布置于各子机处并通过短电缆连接子机，测试系统和数字量功率放大器通过长光纤连接，从而实现分布式母线保护功能的整体测试。

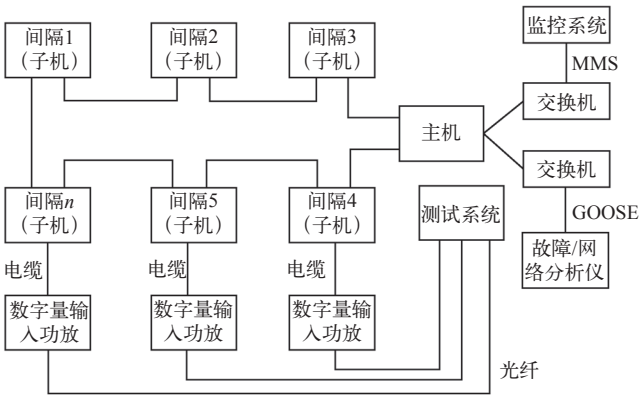

图4　环网母线分布式保护架构

就地化保护测试功率放大电路架构如图5所示，其中，系统时钟为系统内其他模块提供时间信息，数字报文采集完成对9－2SV、GOOSE报文的采集及其时间标定，其他外部接口采集及控制完成对电压、电流、开出量和GOOSE报文的输出控制，以及开入量的采集、时间标定，处理器完成数据的提取、分析和转换等工作。

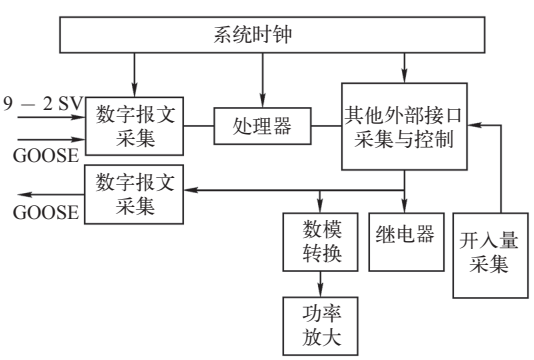

图5　就地化保护测试功率放大电路架构

9－2SV、GOOSE是IEEE 802.3规定以太网帧，其基本结构如图6所示，包括前导码、帧起始标志、目的MAC、源MAC、数据长度、数

据段、帧填充和帧校验序列，并且数据的长度固定在从前导码到UDP分组报头的末尾的已知UDP分组的MAC数据帧中。因此，设计专用硬件报文检测电路根据同步报文MAC数据帧的相关特征元素确定当前检测到的报文是否是同步报文，从而校准精确采集时间。

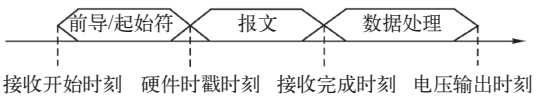

图6　9－2 SV、GOOSE报文基本结构

根据图5，从数字量输入到最终的电压、电流和开关量输出之间存在时间差且不固定，受影响因素包括：光纤传输延时、报文占用时间和纯模拟式功率放大器相位偏移等。为保证输出的同步性，因此需要根据实际情况进行时间补偿。时间补偿通过专用的硬件电路完成，CPU在分析以及确定补偿时间后，外部接口控制应能严格控制其驱动数模转换、继电器和数字报文输出的数字序列时间，如图7所示。

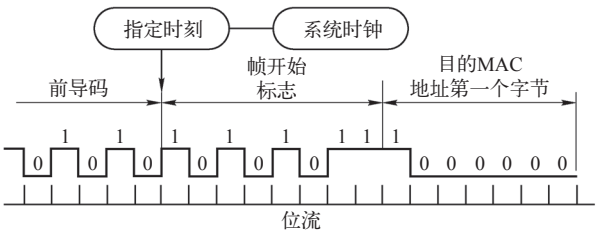

图7　数字序列时间控制示例

结束语

本文针对就地化保护装置测试系统的设计展开研究，首先介绍了就地化保护测试系统的系统架构和特征，提出采用甲乙类互补对称功率放大电路作为测试系统的功率放大器，最后提出分布式就地化保护环网配置方案。本文所提技术方案利用单根光纤可传输大量数据的特点，有效减少了长距离线缆的数量，降低了接线工作量，同时也不存在电压下降、负载增加和易受电磁干扰等问题，解决了当前存在的分布式就地化保护现场无法进行整体测试的难题。**EA**

（收稿日期：2019.08.18）
（编辑：朱金凤）

（上接第71页）

度相同才可以解锁开门。

4．除湿器

除湿器是利用珀尔帖效应和微电子技术，通过在除湿器表面形成低温，强制在除湿器表面形成结露，可以人为降低控制柜内的空气相对湿度。这种方式是近些年才出现的一种新型的防结露方式。对于使用环境苛刻的柜体，特别是对箱体的密封性有高要求无法设置换气口，或者是柜体内的元件无法承受高湿度环境的，采用除湿器可保证柜体的密封性，防止柜体内外的空气交换，避免外部潮湿空气的进入。在运行的环境温度高、湿度大的环境使用效果非常理想。但在环境温度低、湿度不大的地区则效果不明显，温度偏低环境还曾经出现除湿器结冰的情况。并且除湿器需要通过导水管将结露的水排出柜外，给柜体运行造成一定影响。

5．其他

将柜体设计成为双层结构，双层结构内加入隔热材料或者空气。使得柜内外的温度传递被阻隔，柜体内的温度变化不受外部环境影响或影响比较小，避免柜内的温度因为环境急剧变化产生温度差，形成结露。这个方式效果也比较好，适用范围比较大，但是成本很高，柜体加工要求很高。

防结露方式的选择建议

通过以上分析，结合笔者在工程设计过程中对各方案应用情况，给出方案选择建议。确定防结露方式前，应先了解柜体运行的环境条件，可参考GB/T 4797.1《电工电子产品自然环境条件——温度和湿度》执行。户内开关设备配套柜体可采用加热器配置通风窗方案，如果柜体体积不大，也可以不配置加热器。户外的柜体，高湿、高温的地区采用除湿器不开通风窗，高湿、温度偏低的地区宜采用加热器和除湿器，同时加装温湿度控制器，温度高时启动除湿器，温度低时启动加热器，柜体应开通风窗。普通地区采用开通风窗配置加热器方案比较理想，不建议加装温湿度控制器，可采用小功率加热器常投，大功率加热器手动投入的方式。智能化工程采用空调后，则柜体不开通风窗，其他除湿功能均不需要配置。**EA**

（收稿日期：2019.04.28）
（编辑：朱金凤）