

符合 IEC61850 标准的行波电流选线装置研制

施慎行¹,任立¹,刘泽宇²,董新洲¹

(1. 清华大学 电机工程与应用电子技术系 电力系统国家重点实验室,北京 100084;

2. 北京衡天北斗科技有限公司,北京 100084)

摘要: 基于故障行波理论和 IEC61850 标准,研制了中性点非有效接地系统数字化变电站中的单相接地故障行波选线装置。介绍了单相接地故障行波选线原理,故障线路电流初始行波幅值最大,极性与非故障线路相反。建立了符合 IEC61850 标准的数字化变电站中通用选线装置模型,一个包括 3 个逻辑节点的逻辑设备。设计了基于故障电流初始行波的选线装置硬件方案和软件流程,包括基于小波变换的故障行波算法和基于小波变换模极大值的选线判据。并设计了符合 IEC61850 标准中制造报文规范(MMS)的通信单元。在某数字化变电站的成功投运,证明了装置的可行性。

关键词: 单相接地; 暂态行波; 选线装置; IEC61850

中图分类号: TM 773

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2011)03-0131-04

0 引言

中性点非有效接地系统中的单相接地故障选线问题是变电站自动化系统中的难题^[1-2]。近些年,大量的理论和实践研究使得基于暂态行波的接地选线技术^[3-7]日臻完善和成熟。然而,在现有变电站自动化系统中,信息不共享,设备不能互操作,系统的可扩展性和可靠性差,严重阻碍了新技术的应用和发展。为解决这一问题,国际电工委员会第 57 技术委员会 2004 年颁布了 IEC61850 标准——变电站通信网络和系统标准,该标准是基于通用网络通信平台的变电站自动化系统唯一国际标准,代表了未来变电站自动化系统的发展方向^[8]。因此,作为变电站核心技术的故障检测技术,如何适应基于 IEC61850 标准的变电站自动化系统,是目前研究的热点。本文立足于现有的行波选线技术^[9-11],采用先进的嵌入式系统技术,研制出符合 IEC61850 标准的中性点非有效接地系统单相接地故障行波选线装置。

1 行波选线基本原理

当运行的电力系统中发生故障时,故障点将产生故障行波。根据电磁波理论,故障点产生的故障行波将沿着线路在系统中传播。由于波的折反射,变电站内故障线路和非故障线路上的电流互感器都会感受到故障行波^[9],如图 1 所示。非故障线路上电

流互感器感受到的故障初始行波为故障点初始行波在母线处的折射波。而安装在故障线路上的电流互感器,由于故障行波以接近光的速度传播,安装位置又接近母线,因此感受到的故障初始行波为故障点初始行波与母线处的反射行波的叠加。根据基尔霍夫电流定律,任一时刻流入节点的电流等于流出节点的电流,因此就故障行波到达母线发生折反射的时刻而言,故障线路上的电流初始行波应该等于所有非故障线路上的电流初始行波的和;在以统一的母线指向线路为电流正方向的前提下,故障线路上的电流初始行波与非故障线路上的电流初始行波极性相反。因此,根据上述故障发生后线路上的电流初始行波的大小和极性可以判断故障线路,这也就是行波选线的基本原理。

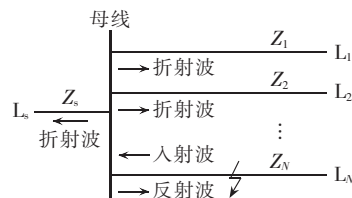


图 1 初始行波的折反射原理

Fig.1 Reflection and refraction of initial traveling wave

2 符合 IEC61850 标准的选线装置建模

IEC61850 标准为了实现变电站自动化系统中设备之间的互操作,将变电站的通信体系进行了分层,并建立各层物理装置的抽象模型和抽象通信服务接口 ACSI(Abstract Communication Service Interface),实现不依赖于具体物理设备的通信规范。IEC 61850 标准将变电站的通信体系分为 3 个层次,即变电站层、间隔层和过程层,并对每一层的实际设备

收稿日期:2010-10-08;修回日期:2010-11-11

基金项目:国家自然科学基金重点基金资助项目(50937003);教育部博士点新教师基金资助项目(20090002120028)

Project supported by the Key Program of National Natural Science Foundation of China(50937003) and Doctoral Fund for Youth Scholars, Ministry of Education of China(20090002120028)

进行建模。所有的实际设备都被称为物理设备或者服务器,在信息模型的最外层,与网络相连。每个物理设备又被抽象成一个或多个虚拟的逻辑设备,然后依据功能的不同,将逻辑设备细化成逻辑节点。逻辑节点是具有某一完整功能的最小实体单位。逻辑节点包含数据对象。数据对象则是由数据属性构成的公用数据类的命名实例。

根据标准要求,本文建立了行波选线装置模型。选线装置物理设备被分解为一个逻辑设备,命名为 SL01。该逻辑设备包括 3 个逻辑节点:LLN0、LPHD、GGIO。其中逻辑节点 LLN0 包含了该逻辑设备的公共数据、数据集和报告控制块。逻辑节点 LPHD 包含了设备铭牌、厂商名称、产品型号等制造信息,由静态映射实现,可以脱机运行。逻辑节点 GGIO 是自定义的故障选线节点,包括逻辑状态和物理状态。该节点包含了多个扩展数据类单点状态信息 SPS (Single Point Status information),用以描述所监控线路对应的状态信息。同时,所有的 SPS 信息又共同组成了 LLN0 节点中的数据集。

3 符合 IEC61850 标准的行波选线装置

3.1 硬件方案

行波电流选线装置硬件采用背插式模块结构,由一系列功能单元组合构成,包括电源单元、传感器单元、行波单元、通信单元和中央控制单元。电源单元为整个装置提供电源。传感器单元接收电流互感器的输入信号。行波单元实现故障启动、行波数据采集和行波特征提取等功能。中央控制单元实现故障线路选择功能和人机接口功能。通信单元实现 IEC61850 标准输出功能。以下具体说明行波单元、中央控制单元和通信单元设计。

行波单元是行波电流选线装置中的一个关键技术。行波单元的主要功能是进行暂态行波的数据采集和二进离散小波变换运算,其最高采样频率可以达到 10 MHz。该单元主要由行波信号预处理电路、行波启动电路、微处理器 CPU、模数转换器 AD、可编程逻辑器件(CPLD)及存储器组成,如图 2 所示。预处理电路对来自传感器单元的电流信号进行滤波处理。行波启动电路判断系统中是否发生了故障,启动行波数据处理。模数转换器 AD 带采样保持电路,具有 8 通道输入,转换精度 14 位。在微处理器 CPU 的指令控制下,模数转换器 AD 定时采集传感器单元输出的模拟电流信号,转换成数字信号供微处理器 CPU 使用。CPLD 用于地址译码及总线驱动,它的使用不仅简化了微处理器 CPU 外围电路的设计,更重要的是提高了装置的抗干扰能力。行波单元通过 CAN 总线与中央控制单元构成总线型网络。每个行波单元可采集 8 路模拟量,可以根据不同现场线路出线回数灵活配置该单元的数量。

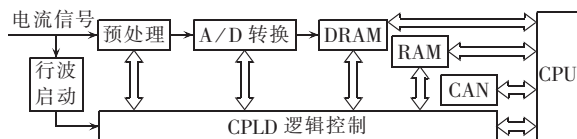


图 2 行波单元原理图

Fig.2 Schematic diagram of traveling wave unit

中央控制单元是整个选线装置的控制中心,它协调各功能单元的正常运行,完成接地选线、人机界面、硬件时钟等功能。中央控制单元与其他功能单元模块通过 CAN 总线进行通信。原理如图 3 所示。

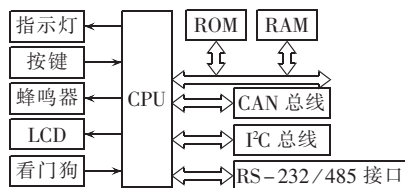


图 3 中央控制单元原理图

Fig.3 Schematic diagram of master control unit

通信单元采用工业计算机主板。处理器为英特尔超低功耗处理器 Celeron-M,主频 600 MHz,全功耗不超过 20 W;芯片组为 Intel 852 GM + 82801DB 芯片组;内存为 2 个 DDR DIMM 插槽,最大支持 2 GB DDR 内存;在板 LAN 为 Intel 82562 100 M 以太控制器网络接口。本系统设计采用 4G 的 Kingston 133X 高速 CF,以及 512M 的 DDR400 内存,采用 ATX 电源接口。并在 CPU 的散热片上添加了小风扇,增强了系统的散热能力,提高了系统可靠性。

3.2 软件方案

整个装置的软件系统包括行波单元 CPU 软件、中央控制单元 CPU 软件和通信单元软件。行波单元 CPU 软件完成行波数据小波变换算法。中央控制单元 CPU 软件完成选线判据、故障记录和人机接口软件。通信单元软件运行在嵌入式系统上,主要负责基于制造报文规范(MMS)的故障报文发送功能。

在正常运行时,行波单元行波启动电路不动作,行波单元连续地对电流信号进行采样,将采样数据循环存放在采样缓冲区。在接地发生时,行波启动元件启动,行波单元将行波采样数据由采样缓冲区转存到故障缓冲区,行波单元 CPU 对电流行波数据进行小波变换,并主动将初始行波的模极大值上传给中央控制单元,流程如图 4 所示。

中央控制单元软件在正常运行时完成人机接口功能。在故障发生后,接收行波单元发送的模极大值,首先比较模极大值的大小,选出 3 个最大的,接着比较 3 个模极大值的极性,选出其中极性与与众不同的一个所对应的线路为故障线路,如果 3 个模极大值极性相同,则判断为母线故障,最后将选线结果输出给通信单元,软件流程如图 5 所示^[12]。

通信单元软件采用了嵌入式系统技术。嵌入式系统技术以实际应用为中心,开放性和可伸缩性强,

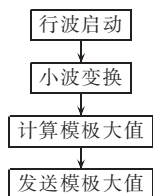


图 4 行波单元软件流程图

Fig.4 Flowchart of traveling wave unit software

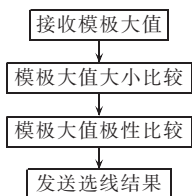


图 5 中央控制单元软件流程图

Fig.5 Flowchart of master control unit software

操作方便,并提供强大的网络支持,稳定性好。在 IEC61850 的通信开发中具有无可替代的优势。本装置采用了 WindowsXPE 作为嵌入式系统环境。该嵌入式系统应用广泛,和桌面 Windows 兼容,可移植性和操作性好^[13]。目前的 IEC61850 标准提出了基于 MMS 的特殊通信服务映射,实现了与具体厂商设备无关的抽象通信服务。MMS 规范定义了多厂商设备间的通信流程,为制造设备入网提供了方便^[14-15]。

本文所提通信单元采用基于 TCP/IP 的通信栈模式和 RFC1006 模型的 7 层通信框架完成与变电站层的 MMS 通信框架,应用面向对象技术和 Socket 编程,实现具体的通信功能。整体通信流程见图 6。

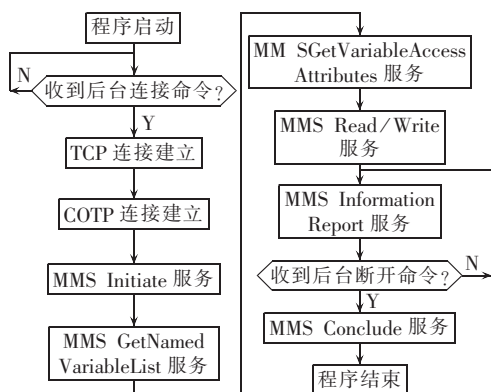


图 6 通信单元通信流程图

Fig.6 Flowchart in communication unit software

通信单元程序启动后,等待变电站自动化系统后台的连接命令,收到后台的连接命令后,启动连接线程,完成 TCP 层的连接和 COTP 层(预备传输协议)的连接,并完成 MMS 初始化(Initiate)服务,向后台确认装置的运行状态和装置的基本信息。后台发送 MMS 获取变量列表(GetNamedVariableList)服务,根据装置模型中的数据模型文件内容与通信单元交互数据集中的变量属性列表,并根据后续的 MMS 获取变量访问属性(GetVariableAccessAttributes)服务,完成相应的数据属性实例化。执行 MMS 读(Read)和 MMS 写(Write)服务,通信单元与后台交互,完成通信控制块的配置工作,并使能信息报告(Information-Report)服务。该通信单元通过 MMS 信息报告服务实现与后台的数据交互,每 5 s 向后台发送一次当前线路状态信息或者根据后台的数据总召唤命令,完成

发送。后台根据装置模型中的数据集对接收到的信息报告报文进行解析,获得当前线路状态信息。当后台发送断开命令后,程序执行 MMS 结束(Conclude)服务,断开连接,释放端口,并重新等待后台连接命令。

4 结论

IEC61850 标准是变电站自动化系统未来的发展方向,已被国内外电力企业、电力设备制造商广泛接受。本文在现有行波选线装置的基础上,采用先进的嵌入式系统技术,研制出符合 IEC61850 标准的故障选线装置,为解决数字化变电站中中性点非有效接地系统的故障选线问题奠定了基础。目前该装置已投入浙江省嘉兴供电公司田乐变运行。

参考文献:

- [1] 李冬辉,史临潼. 非直接接地系统单相接地故障选线方法综述[J]. 继电器,2004,32(18):74-78.
LI Donghui,SHI Lintong. Survey of the methods to select single-phase fault line in neutral point indirectly grounded power system[J]. Relay,2004,32(18):74-78.
- [2] 赵彦伟,李志峰. 小电流接地选线装置运行现状分析[J]. 电力学报,2006,30(1):27-31.
ZHAO Yanwei,LI Zhifeng. The analysis of fault line identifying apparatus in the small current grounded networks[J]. Journal of Electric Power,2006,30(1):27-31.
- [3] SU Qianli,DONG Xinzhou,SHI Shenxing. A new principle of fault line selection for distribution[C]//Proceedings of International Conference on 7th Developments in Power System and Protection. Amsterdam,Netherlands:IEE,2001:379-382.
- [4] 董新洲,毕见广. 配电线路暂态行波的分析和接地选线研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(4):1-6.
DONG Xinzhou,BI Jianguang. Analysis on transient travelling wave and study on fault lines selection for distribution lines[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(4):1-6.
- [5] 毕见广,董新洲,周双喜. 基于两相电流行波的接地选线方法研究[J]. 电力系统自动化,2005,29(3):17-20,50.
BI Jianguang,DONG Xinzhou,ZHOU Shuangxi. Study on fault line selection based on two-phases current traveling wave[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(3):17-20,50.
- [6] 孔瑞忠,董新洲,毕见广. 基于电流行波的小电流接地选线装置的试验[J]. 电力系统自动化,2006,30(5):21-24.
KONG Ruizhong,DONG Xinzhou,BI Jianguang. Test of fault line selector based on current traveling wave[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(5):21-24.
- [7] 王侃,施慎行,杨建明,等. 基于暂态行波的接地选线装置及其现场试验[J]. 电力自动化设备,2008,28(6):118-121.
WANG Kan,SHI Shenxing,YANG Jianming,et al. Transient-traveling-wave-based grounding line selector and its field tests[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(6):118-121.
- [8] 任雁铭,秦立军,杨奇逊. IEC61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化,2000,24(4):62-64.
REN Yanming,QIN Lijun,YANG Qixun. Study on IEC61850 communication protocol architecture[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(4):62-64.
- [9] 童晓阳,李岗,陈德明,等. 采用 IEC61850 的变电站间隔层 IED 软件设计方案[J]. 电力系统自动化,2006,30(14):54-57.
TONG Xiaoyang,LI Gang,CHEN Deming,et al. IEC61850 based

- software design scheme of bay level IED in substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(14): 54-57.
- [10] 王阳光, 尹项根, 游大海, 等. 遵循 IEC61850 标准的广域电流差动保护 IED[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(2): 53-57.
- WANG Yangguang, YIN Xianggen, YOU Dahai, et al. Development of wide area current differential protection IED conforming with IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(2): 53-57.
- [11] 宋小舟, 余锐, 操丰梅, 等. 基于 IEC61850 功能分层的母线保护方案研究[J]. 电网技术, 2006, 30(增刊): 329-332.
- SONG Xiaozhou, YU Rui, CAO Fengmei, et al. A scheme of bus protection in substation communication network and system IEC61850[J]. Power System Technology, 2006, 30(Supplement): 329-332.
- [12] DONG Xinzhou, SHI Shenxing. Identifying single-phase-to-ground fault feeder in neutral non-effectively grounded distribution system using wavelet transform[J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 2008, 23(4): 1829-1837.
- [13] 王长浩, 蒋谢芳. 基于 Windows 的嵌入式系统集成开发环境的研究与发现[J]. 陕西科技大学学报, 2005, 23(6): 118-122.
- WANG Changhao, JIANG Xiefang. The study and implementation of integrated development environment for embedded system based on Windows[J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2005, 23(6): 118-122.
- [14] 陈丽华, 陈小川. MMS 应用于变电站自动化系统时的若干问题分析[J]. 继电器, 2005, 33(10): 62-64.
- CHEN Lihua, CHEN Xiaochuan. Analysis of some cases on application of MMS in substation automation system[J]. Relay, 2005, 33(10): 62-64.
- [15] 张园园, 龚庆武. 基于 IEC61850 的数字化变电站开关设备接口装置[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(1): 108-111.
- ZHANG Yuanyuan, GONG Qingwu. Switchgear interface equipment of digital substation based on IEC61850[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(1): 108-111.

(编辑: 李 玲)

作者简介:

施慎行(1978-), 男, 江苏涟水人, 助理研究员, 博士, 研究方向为配电系统故障检测和继电保护 (E-mail: ssx99@mails.tsinghua.edu.cn);

任 立(1985-), 男, 陕西渭南人, 博士研究生, 研究方向为电力系统继电保护机通信;

刘泽宇(1984-), 男, 甘肃武威人, 研究方向为电力系统继电保护;

董新洲(1963-), 男, 陕西周至人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为行波保护、行波测距及小波变换在电力系统中的应用等。

Faulty feeder selector based on traveling wave according to IEC61850 standard

SHI Shenxing¹, REN Li¹, LIU Zeyu², DONG Xinzhou¹

(1. State Key Lab of Power Systems, Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Beijing Hengtianbeidou Technology Co., Ltd., Beijing 100084, China)

Abstract: A faulty feeder selector based on traveling wave theory and IEC61850 standard is developed for the single-phase grounding fault of digital substation in non-solid grounding power system. Its principle is presented: the amplitude of initial traveling wave on faulty feeder is higher than those on other feeders and its polarity is in inverse. General model of faulty feeder selector is established according to IEC61850, which is a logic device with three logic nodes. Its hardware scheme and software flowchart are designed, including the wavelet-transform-based traveling wave algorithm and modulus-maximum-based criterion, and especially the communication unit conforming to the MMS of IEC61850. Its successful operation in a digital substation verifies its feasibility.

Key words: single-phase grounding; transient traveling wave; faulty line selector; IEC61850