

铁路自闭/贯通线路行波故障测距系统

谢菁

(淄博职业学院, 山东 淄博 255013)

摘要: 在介绍铁路自闭/贯通线路行波故障测距原理的基础上, 系统地介绍了一种适用自闭/贯通线路的行波故障测距装置的系统结构、工作流程、所解决的各种关键技术等, 最后给出一个现场运行的实例。该行波测距系统结构合理、工作可靠, 对于自闭/贯通线路故障的准确、迅速定位, 提高供电可靠性, 以及对铁路电力系统的安全稳定和经济运行都具有十分重要的作用。

关键词: 铁路电力系统; 自闭/贯通线路; 行波; 故障测距; 全球定位系统

A traveling wave based fault location system for 10 kV automatic blocking/power continuous lines in railway power systems

XIE Jing

(Zibo Vocational Institute, Zibo 255013, China)

Abstract: Based on the analysis of the traveling wave based fault location principles, a fault location system is introduced systematically with its system structure, function flow, and some key techniques for realization of fault location for 10 kV automatic blocking/power continuous lines in railway power systems. In the end, a field example is presented. The field results show that the fault location system has reasonable structure and high reliability. It is very significant for quick and accurate fault location, high reliability of power supply, and the safe and economic operation for railway power systems.

Key words: railway power system; automatic blocking/power continuous lines; traveling waves; fault location; GPS

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)16-0074-04

0 引言

10 kV 自闭/贯通线路是铁路电力系统的重要组成部分, 肩负着为铁路信号设备可靠供电的艰巨任务^[1]。自闭/贯通线路结构复杂, 是铁路电力系统故障发生最频繁的地方。同时沿线地质和气象条件恶劣多变, 给故障的查找、维修带来极大的不便。因此, 铁路自闭/贯通线路故障测距具有极其重要的作用和意义。

经过近二十年的努力, 利用电流行波的现代行波故障测距技术在输电线路中已经获得了广泛而成功的应用, 取得了极为丰富的运行经验^[2-6]。文献[7,8]系统地总结了现代行波故障测距的关键技术问题及其解决方案。

近年来, 国内对自闭/贯通线路故障产生的暂态行波特征和测距原理进行了理论和试验研究^[9,10], 为研制相应的行波故障测距装置奠定了基础。

本文介绍了自闭/贯通线路行波故障测距的基本原理, 介绍了一种自闭/贯通线路行波故障测距系

统的结构、工作流程、关键技术和试运行结果。

1 自闭/贯通线路行波故障测距原理

对于自闭/贯通线路, 需要结合其线路结构、电压电流行波的传输特征、行波信号的获取方式、测距的可靠性等诸多因素确定其具体测距模式。

1.1 利用双端测距方法

根据行波测距基本原理, 可以利用单端方法和双端方法分别测量故障距离。

单端测距必须识别出故障点的反射波。自闭/贯通线路一般为架空、电缆混合线路, 同时受沿线变压器负荷及复杂环境影响, 行波的反射和折射过程非常复杂。故障点反射波有明显的衰减和畸变, 其自动识别变得非常困难。因此, 自闭/贯通线路中不适于采用单端自动测距方法。

而利用双端法可以最大限度降低上述因素的影响。双端行波测距法只需检测故障产生的初始行波波头到达时刻, 不需要考虑后续的反射与折射行波, 原理简单, 测距结果更可靠。

双端测距原理利用线路内部故障产生的初始行波到达线路两端测量点时的绝对时间之差值计算故障点到两端测量点之间的距离。

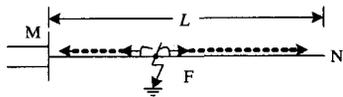


图 1 双端法行波故障测距原理示意图

Fig.1 The type D principle of traveling wave-based fault location

如图 1 所示, 设故障初始行波浪涌以相同的传播速度 v 到达 M 端和 N 端母线(形成各端第 1 个反向行波浪涌)的绝对时间分别为 T_{M1} 和 T_{N1} , 则 M 端和 N 端母线到故障点的距离 D_{MF} 和 D_{NF} 可以表示为:

$$\begin{cases} D_{MF} = \frac{1}{2}[v(T_{M1} - T_{N1}) + L] \\ D_{NF} = \frac{1}{2}[v(T_{N1} - T_{M1}) + L] \end{cases} \quad (1)$$

式中: L 为线路 MN 的长度。

1.2 利用电压行波信号

自闭/贯通线路虽然为双电源结构, 但正常工作时只由单端电源供电, 且末端一般不带有负荷, 为开路状态。

根据行波理论, 在开路状态的线路末端电流始终为零, 不可能检测到电流行波信号。而电压行波的反射波与入射波的幅值相等、极性相同, 即线路末端可检测到双倍的电压行波信号。

当自闭/贯通母线仅为一侧线路供电(单出线)时, 线路在此相当于开路状态, 即可检测到双倍的电压行波, 而不能检测到电流行波。当自闭/贯通母线为两侧线路同时供电(双出线)时, 电压电流行波在此既无反射也无折射, 即可检测到电压行波、也可检测到电流行波。

尽管自闭/贯通线路单位长度线路电阻比输电线路要大, 但其线路总长要远远小于后者。同时, 电压行波和电流行波在电路上传播时产生的衰减和畸变相近, 其频谱特性也相似。即, 利用电压行波实现故障测距是可行的。

因此, 在自闭/贯通线路末端和首端均应选用电压行波信号进行测距。

1.3 利用行波线模分量

根据分析, 短路故障行波信号只有线模分量, 没有零模分量。

接地故障行波信号同时包含零模分量和线模分量。但零模分量的传播速度慢、衰减大、受环境

影响大, 使行波波形分析较为复杂、测量精度相对较低。而行波线模分量传播速度较为稳定, 受环境影响小, 且衰减小。

即应采用行波线模分量用于测距。

综上所述, 自闭/贯通线路适于采用故障产生的电压行波线模分量, 并基于双端原理进行测距。

2 铁路自闭/贯通线路行波故障测距系统

2.1 系统构成

铁路自闭/贯通线路行波故障测距系统由行波采集与处理系统、行波综合分析系统、远程维护系统以及公共电话网等 4 部分构成, 如图 2 所示。

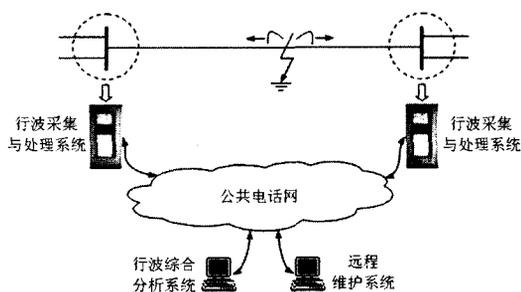


图 2 行波故障测距系统构成

Fig.2 Traveling wave based fault locating system

行波采集与处理系统安装在厂站端。它采用集中组屏式结构, 包括 XC-21 行波采集装置、T-GPS 电力系统同步时钟以及当地处理机 3 部分。XC-21 行波采集装置采用插箱式(4U/19 英寸)单 CPU(单片机)结构, 它包括中央处理单元、高速数据采集单元、高精度时钟单元及电源等插件, 主要负责电压暂态信号的采集、缓存以及暂态启动, 并生成启动报告, 其中包括暂态行波触发时刻(精确到 $1 \mu\text{s}$)、触发线路、触发类型和电压暂态波形等信息。T-GPS 电力系统同步时钟内置全球定位系统(GPS)信号接收模块, 它负责给 XC-21 提供精确秒同步脉冲信号(1PPS)及全球统一时间信息。当地处理机由一台工控机构成, 它负责接收、存储来自 XC-21 的暂态启动报告, 并与安装在线路对端所在变电所内的行波采集与处理系统交换启动数据, 从而自动给出双端行波故障测距结果。

行波综合分析系统一般设在调度端。它由 1 台普通计算机(PC)构成, 主要具有以下功能:

- 1) 自动或人工远程提取厂站端行波采集与处理系统的暂态启动报告, 并永久保存;
- 2) 自动进行双端行波故障测距;
- 3) 提供人工波形分析功能以及基于匹配滤波

器、小波变换和计算机仿真等技术的自动波形分析功能,以便对单端和双端行波故障测距结果进行验证和校正;

4) 历史故障及测距结果统计、查询。

远程维护系统由 1 台普通 PC 机构成。该系统既可以从厂站端的行波采集与处理系统获取暂态启动报告,也可以从调度端的行波综合分析系统获取暂态启动报告,并具有故障分析、统计以及远程配置和诊断等功能。

2.2 系统工作流程

在正常运行过程中, XC-21 行波采集装置内的硬件逻辑控制回路对各通道信号按设定的采样顺序和采样频率自动进行高速采样和 A/D 转换,且将 A/D 转换结果自动高速写入当前循环存储器(CRAM)中。为了提高系统对相继暂态过程的监测能力,设置了两套可以相互切换的循环存储器,且二者共用一套读写逻辑。

当系统所监视的任一路暂态信号瞬时超过设定的硬件门槛值时,高速数据采集单元中模拟比较回路的输出信号(触发信号)将立即冻结高精度时钟的当前时间信息(含微秒数),并激活中央处理单元插件中的采集控制定时电路,经过一定时间后高速数据采集电路自动停止工作,同时向 CPU 发出一外部中断信号。CPU 在暂态触发外部中断服务程序中读取本次触发的时间信息后释放高精度时钟,并对触发初始时段的暂态数据进行处理,以判断本次触发是否有效并确定触发线路。如果本次触发有效,则置启动标志。当 CPU 在主循环中检测到启动标志后即进入故障处理程序,在故障处理程序中将触发后系统所记录的所有暂态数据以及部分触发前的数据转存到系统存储区,进而形成包含暂态波形数据在内的启动报告,然后通过串行口向当地处理机发出主动上报信号。

在 XC-21 行波采集装置中,由于采用独特的软、硬件设计,使得高速数据采集过程不受 CPU 的干预,从而解决了高速采集和 CPU 低速处理之间的矛盾。

当地处理机接收到来自 XC-21 中央处理单元的主动上报信号后即进入故障处理程序。系统在故障处理程序中读取 XC-21 中央处理单元中的暂态启动报告,并通过公共电话网与线路对端所在变电所内的行波采集与处理系统交换启动数据,进而自动显示行波故障测距结果,包括故障发生时间、故障线路名称、故障类型、故障距离等信息,然后向值班人员发出告警信号,并向行波综合分析系统报告。当地处理机还能够接收通过键盘输入以及通过行波

综合分析系统下发的由故障线路对端的行波采集与处理系统所记录的故障暂态触发时间,并自动计算和显示双端行波故障测距结果。

当地处理机中的故障测距结果和暂态波形数据以标准数据库的形式存放在系统硬盘中,并可随时接受行波综合分析系统和远程维护系统的查询和调取。

3 铁路自闭/贯通线路行波故障测距关键技术问题

3.1 行波信号的获取及信号利用方式

实现双端行波测距首先需要解决在线路两端如何获取故障电压行波信号。如果装设专门互感器,不仅加大了投资,还增加了工程安装复杂程度以及线路安全隐患。所以,应首先利用线路已有设备获取行波信号。

自闭/贯通母线上配备有 3 相 PT(称为母线 PT),用以测量母线 3 相对地电压。为了在线路失压时实现备用电源自投,任何一端电源的断路器外侧均装有 PT(称为线路 PT),用来测量线路上电压,一般测量 AB 间及 CB 间线电压。

无论作为主供端还是备供端,线路 PT 均可以感受线路电压的变化。而只有作为主供端时,母线 PT 才能感受到线路电压的变化。

分析表明,任何一相接地或任何两相短路时,均可产生 AB 相和(或)CB 相间线电压行波信号。同时,文献[11]表明,由于电磁式电压互感器(PT)自身的暂态过程,一次侧行波波头传变到二次侧时会产生数个行波波头,即出现振荡过程。但其两侧的行波到达时刻和极性均相同,即可以准确、无时延地传变行波波头。因此,利用系统已有的线路 PT 可获得所需要的行波信号。

3.2 超高速数据采集

为了保证行波测距分辨率在 500 m 以上,行波信号采集频率一般不应少于 500 kHz,使用常规的由微处理器直接控制模数转换器(A/D)的方式很难实现。需要设计由硬件实现高速数据采集电路单元(DAU)记录故障电流行波信号。线路故障时,DAU 单元在记录下预定时间内的暂态电流行波后,停止数据采集,然后以相对较慢的速度将记录的数据送入由微处理器(CPU)构成的中心处理单元进一步保存、处理。

3.3 时间同步及故障行波脉冲到达时间检测

对于双端测距方法来说,如果要达到不少于 500 m 的测距分辨率,两端装置时间同步精度应该达到 3 μ s。美国全球卫星定位系统(GPS)是一种

理想的时间同步技术,能够实现两端测距装置 $1 \mu\text{s}$ 精确同步。

装置内部还设计了一个高稳定度晶振构成的时钟,时钟信号的累积误差不大于每秒 $1 \mu\text{s}$ 。

在自闭/贯通线路中,由于线路电阻大、架空电缆混合线路以及线路负荷的影响,初始行波的衰减和畸变更为严重,装置触发的时间与实际行波信号到达时间有时延,会影响故障距离计算的精度。利用小波变换在信号奇异性检测方面的作用可以提高行波到达时刻标定的准确性。

3.4 通信问题的解决

两端测距法需要解决数据通信远传问题。

由于不像保护装置那样需要在故障后立即动作,因此,不要求为测距装置之间设置常备通信通道。一般做法是在控制中心配置一台 PC 机作为行波测距系统主站,与辖区内所有的现场行波测距装置构成行波测距系统。PC 机工作站利用电话线路拨号接通现场行波测距装置,读取装置记录下的故障行波数据。行波测距系统只在故障后一段有限的时间内使用电话线,其他时间该线路仍然可以供通话使用,这就显著地降低了测距系统通信投资与费用。

也可以根据现场条件利用 SCADA、故障录波信息系统或通信网等其它系统交换故障数据。

4 装置运行情况介绍

所研制的自闭/贯通线路行波故障测距装置已在胶济铁路、青藏铁路等多个重点区域投入运行,运行效果良好。图 3 给出了一个现场的单相接地故障测试结果。

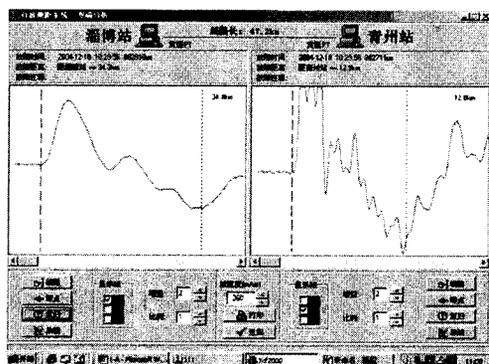


图 3 现场故障测试结果

Fig.3 Result of field test

5 结论

本文介绍了一种适用铁路自闭/贯通线路短路故障和接地故障检测的行波测距基本原理和相应装置的系统结构、工作流程和所解决的关键技术。主

要结论如下:

1) 与输电线路行波故障测距技术相比,自闭/贯通线路行波故障测距应以采用电压行波信号线模分量的双端测距原理为主。

2) 为了实现自闭/贯通线路行波故障测距原理,需要解决故障初始行波到达时间的检测、高速数据采集、行波信号的获取及信号利用方式以及通信等关键技术问题。

2) 直接利用自闭/贯通线路在线路侧的电压互感器 (PT) 可获得故障电压行波的线模分量。这样,不仅可以反应各种类型的故障,而且还节省了投资。

4) 该行波测距系统结构合理、工作可靠,对于自闭/贯通线路故障的准确、迅速定位,提高供电可靠性,以及对铁路电力系统的安全稳定和经济运行都具有十分重要的作用。

致谢

在本论文撰写过程中,山东科汇电气股份有限公司项目组提供了部分参考资料和帮助,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 华玉兴. 电力设备运行与维护[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995. 13-18, 76.
- [2] 陈平. 输电线路现代行波故障测距及其应用研究[M]. 西安: 西安交通大学, 2003.
CHEN Ping. Modern Travelling Wave Based Fault Location of Transmission Lines and Its Applications[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2003.
- [3] Gale P F, Crossley P A, XU Bing-yin, et al. Fault Location Based on Travelling Waves[A]. In: Fifth International Conference on Developments in Power System Protection[C]. York (UK): 1993.
- [4] 徐丙垠, 李京, 陈平, 等. 现代行波测距技术及其应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (23): 62-65.
XU Bing-yin, LI Jing, CHEN Ping, et al. Modern Fault Location Techniques Based on Fault Generated Traveling Waves and Their Applications[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (23): 62-65.
- [5] 陈平, 葛耀中, 徐丙垠, 等. 现代行波故障测距原理及其在实测故障分析中的应用——A 型原理[J]. 继电器, 2004, 32(2): 13-18.
CHEN Ping, GE Yao-zhong, XU Bing-yin, et al. Modern Travelling Wave Based Fault Location Principle and Its Applications to Actual Fault Analysis—Type A Principle [J]. Relay, 2004, 32(2): 13-18.
- [6] 陈平, 葛耀中, 徐丙垠, 等. 现代行波故障测距原理及其在实测故障分析中的应用——D 型原理[M]. 继电器, 2004, 32(3): 14-17.

(下转第 92 页 continued on page 92)

护装置中产生,防止保护误动。

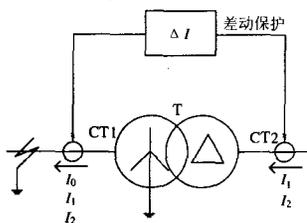


图3 Y/Δ变压器区外接地后电流示意图
Fig. 3 Ground fault current diagram out of district of Y/Δ transformer

2.5 消除保护设定值对保护影响的对策

微机差动保护启动定值的设定,直接影响保护可靠性,定值设定不合适,可能导致保护误动或拒动。定值的整定除按计算手册的原则整定外,还应注意在定值通知中将各种定值标注清楚,保护是发信还是跳闸,某些功能的投退,控制字的设定。这就要求技术人员务必了解该装置的各项内容,不能生搬计算手册条款。否则可能出现定值设定中的某些盲点,造成保护装置误跳闸;定值的详细设定是保护可靠性的重要保障。

3 结束语

本文归纳了影响微机变压器保护可靠性的几大因素,通过分析得出结论,保护程序的完善,判据的合理是保障可靠性的关键;通过对新技术、新设备的探讨,引申出高可靠性变压器保护的发展方向。

(上接第77页 continued from page 77)

- CHEN Ping, GE Yao-zhong, XU Bing-yin, et al. Modern Travelling Wave-based Fault Location Principle and Its Applications to Actual Fault Analysis—Type D Principle[J]. Relay, 2004, 32(3): 14-17.
- [7] 陈平,徐丙垠,李京,等.现代行波故障测距装置及其运行经验[J].电力系统自动化,2003,27(6): 66-69.
- CHEN Ping, XU Bing-yin, LI Jing, et al. Modern Travelling Wave Based Fault Locator and Its Operating Experience[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(6): 66-69.
- [8] 陈平,牛燕雄,徐丙垠,等.现代行波故障测距系统的研制[J].电力系统自动化,2003,27(12): 81-85.
- CHEN Ping, NIU Yan-xiong, XU Bing-yin, et al. Development of Modern Traveling Wave Based Fault Locating System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(12): 81-85.
- [9] 蔡玉梅,何正友,王志兵,等.行波法在10kV铁路自闭/贯通线路故障测距中的应用[J].电网技术,2004,29(24): 15-19.
- CAI Yu-mei, HE Zheng-you, WANG Zhi-bing, et al. Application of Travelling Wave Based Fault Location in 10KV Railway Automatic Blocking and Continuous

由此希望给继电保护技术人员提供参考价值。

参考文献

- [1] 李艳艳,刘建飞.利用模糊识别法改进变压器差动保护二次谐波原理[J].继电器,2007,增刊.
- LI Yan-yan, LIU Jian-fei. Improve the Theory of 2nd Harmonic Used in Transformer Differential Protection[J]. Relay, 2007, 35(S).
- [2] 战学牛,陈月红,刘太华,等.空投变压器导致线路差动误动的事故分析[J].继电器,2007,35(23).
- ZHAN Xue-niu, CHEN Yue-hong, LIU Tai-hua, et al. A Mal-operation Analysis of Line Current Differential Protection Caused by No-load Transformer[J]. Relay, 2007, 35(23).
- [3] WBH-800系列微机变压器保护装置技术说明书[Z]. 2002.
- Technical Manual of WBH-800 Series Computer-based Transformer Protection[Z]. 2002.
- [4] SID-3YL型微机涌流抑制器使用说明书[Z]. 2007.
- Manual of SID-3YL Computer-based Inrush Current Suppressor[Z]. 2007.

收稿日期:2008-06-30; 修回日期:2008-07-17

作者简介:

颜红建(1962-),男,高级技师,从事继电保护试验、技术管理及应用研究工作; E-mail:ldyhbj.2007@163.com

霍永锋(1976-),男,工程师,从事变电站综合自动化系统的研究及管理工作;

韩明光(1964-),男,本科,工程师,从事输变电设备的运行、检修等工作。

Power Transmission Lines[J]. Power System Technology, 2004, 29(24): 15-19.

- [10] 薛永端,徐丙垠,李京,等.铁路10kV自闭/贯通线路行波故障测距技术[J].电力系统自动化,2006,30(5): 68-73.
- XUE Yong-duan, XU Bing-yin, LI Jing, et al. Traveling Waves Based Fault Location in 10 kV Automatic Blocking and Continuous Railway Power Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(5): 68-73.
- [11] 周超,何正友,罗国敏.电磁式电压互感器暂态仿真及行波传变特性分析[J].电网技术,2007,31(2): 84-89.
- ZHOU Chao, HE Zheng-you, LUO Guo-min. Transient Simulation of Electromagnetic Potential Transformer and Analysis on Its Traveling Wave Transfer Characteristics[J]. Power System Technology, 2007, 31(2): 84-89.

收稿日期:2008-04-08; 修回日期:2008-05-28

作者简介:

谢菁(1969-),女,硕士,工程师,研究方向为计算机测控技术及其在电力系统中的应用。 E-mail:sdzbxj@126.com