

输电线光纤纵差保护通道切换的探讨

路光辉, 文劲宇, 程时杰

(华中科技大学电力工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 阐述了输电线光纤纵联电流差动保护中增加备用通道的必要性, 提出了光纤通道备用的几种方式, 给出了输电线光纤纵差保护通道的手动切换和自动切换的几种方案。

关键词: 光纤通道; 通道备用; 通道切换

中图分类号: TM726

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2002)02-0034-04

1 概述

光纤纵联电流差动保护是近年来发展相当快的输电线路保护之一, 它借助光纤通道传送输电线路两端的信息, 以基尔霍夫电流定律为依据, 能简单、可靠地判断出区内、区外故障。对于线路保护来说, 分相电流差动保护具有天然的选相能力和良好的网络拓扑能力, 不受系统振荡、非全相运行的影响, 可以反映各种类型的故障, 是理想的线路主保护。光纤通信与输电线无直接联系, 不受电磁干扰的影响, 可靠性高, 通信容量大。光纤纵联电流差动保护既利用了分相电流差动的良好判据, 又克服了传统导引线方式的种种缺陷, 具有其他保护无以比拟的优势, 因此, 近年来国内外各大公司均加强在该领域的研究开发, 各自相继推出了此类保护产品。

就光纤纵差保护的应用环境来说, 随着国家电力工业的发展, 通讯技术的日新月异, 光缆及光纤设备费用的急剧下降, 光纤通讯网在电力系统的架设越来越普遍。如广东目前已建成了光缆 1300km, SDH(Synchronous Digital Hierarchy) 站点 30 多个, 以珠江三角洲为中心的 SDH 自愈环电力光纤网络。目前, 许多地方都把发展光纤通信主干网作为电力通信的发展方向 and 重要任务, 这都为继电保护所需要的稳定、可靠的数字化信息传输通道创造了有利条件。在光纤网络敷设的光缆中, 除提供数据共用光纤通道接口, 满足数据通信、宽带多媒体、图像信息等的需要外, 还提供了继电保护专用的纤芯, 这为高压输电线的电流纵联差动保护提供了复用光纤通道(与 SDH 共用的数据通道)和专用光纤通道(利用光纤网络中继电保护用纤芯构成)。另外, 由于光纤电流差动保护简单、可靠, 不受线路运行方式的影响, 在城网和短输电线路中大量采用。如上海电网已把采用光纤分相电流纵差保护作为电网继电保护“十

五”规划的一个重要配置原则来执行, 目前已投运和即将投运的光纤电流差动保护达 194 套。因城网中输电线大多较短, 光纤芯直接接入不需附加复接设备, 管理也较方便, 故在城网中光纤电流差动保护以专用光纤通道方式为主。

光纤传输通道的稳定与否是光纤纵联差动保护正确工作的基础, 一旦光纤传输通道发生故障, 光纤纵联差动保护将不能正常工作。实际上, 为提高保护装置的可靠性, 当光纤传输通道发生故障时, 保护装置会将电流纵联差动保护自动退出。光纤通道的可靠性虽然较高, 但也有损坏的可能性, 如光缆断芯、熔纤质量不好、光纤跳线接头松动、光纤受潮或接头积灰导致损耗增大等。如 1999 年 6 月 7 日, 塘镇站到机场站的 2158/2159 两条 220kV 线路光纤保护告警, 故障原因是: 线路龙门架上 OPGW(Optical Fiber Composition Ground Wire) 与站内普通光缆接线盒由于雨天受潮引起一束光纤(4 根芯) 衰耗增大。2000 年 7 月 20 日, 吴泾第二发电厂到长春站 4410 线的两套光纤差动保护均通道告警, 原因是该线 OPGW 光缆中有几芯熔接质量不好, 光纤调换到备用芯后恢复正常。

考虑光纤信息传输通道有可能损坏, 为保证高压输电线的安全运行, 作为主保护的纵差保护不致由于通道故障而退出运行, 确实有必要为同一套纵差保护装置配置备用光纤通道。不论采用专用光纤通道或复用通道, 在工程设计中, 敷设的光缆要留有一定的备用芯线, 当工作的纤芯由于受潮或断芯等故障导致数据传输误码率增大或中断时, 可切换到备用芯线继续进行数据通信, 提高供电安全性。

2 光纤备用的几种方式

由于光纤差动保护的動作行为完全依赖于光纤通道, 通道的安全性十分重要, 应考虑通道的双重

化,对于普通光缆,一般要求敷设两根光缆,且两根光缆最好不要置于一根管道中。对于 OPWG 光缆,安全性较高,可只配备一根光缆。考虑到经济性,在敷设的光缆中增加备用纤芯是通道冗余的一种常用方法,为线路保护敷设专用光纤通道时,选择光缆时除保证主用通道所需的纤芯外,还应考虑备用通道的纤芯数。选择备用通道的纤芯数时,最好按 100% 后备考虑,采用一备一的方式,即一根工作纤芯应配置一根备用纤芯。例如,当一条 220kV 高压输电线路的两套主保护(一套主保护为分相光纤差动保护,另一套主保护为高频距离加光纤接口装置)都采用专用光纤通道传送数据时,光纤纵联电流差动保护装置的收、发讯各占一根纤芯,高频距离保护的光纤接口装置的收、发讯也各占一根纤芯,则两套保护共需 4 根工作纤芯,当采用一备一方式时,应有 4 根备用纤芯,因此至少应选择 8 芯光缆。

当纵联电流差动保护装置采用复用光纤通道方式进行通信时,也应考虑备用通道的问题。当复用通道为光纤通道时,可利用光缆中预留给继电保护的芯线或备用芯线,构建专用光纤通道作为复用通道的备用。当复用通道或复用设备故障时,可切换至专用光纤通道方式工作。实际上,当光纤专用通道和复用通道同时具备时,由于复用通道要求设备多,故障几率大,而专用通道简单、中间环节少、可靠性较高,可作为主用通道,当专用通道故障时,自动切换到复用通道。这样,既保持了专用通道的可靠性,又利用了复用通道 SDH 自愈环的优越性。

3 备用光纤通道的切换方法

备用光纤通道的切换可以手动切换,也可自动切换。手动切换简单,不需额外设备,但切换需人工干预,所需时间也较长,适用于一般输电线路的保护。自动切换需采用专用的通道切换设备或具有通道切换功能的通道接口,自动切换所需时间短,主要用于超高压输电线路或重要的联络线保护上。

1) 手动切换方案

在工程实际中,现场敷设的光缆需经光缆终端箱,通过熔纤工序和尾纤熔接在一起,然后由尾纤直接或经光缆终端箱上的法兰盘和光纤跳线接至保护装置的光纤接口。施工时,往往是熔纤后主用通道的尾纤和备用通道的尾纤捆放在一起,需用哪个通道则将哪个通道的尾纤接至保护装置。这样做,不但尾纤容易折断,通道易混淆,而且操作也十分不便。针对此种情况,我们对光缆终端箱进行了设计

改进,不但考虑了备用通道的切换,还考虑了开关旁代时通道切换的需要。下面给出一种改进的光缆终端箱的方案,这些方案可满足开关旁代切换的要求。

目前,光纤电流纵联差动保护装置(如 CSL 103 系列电流纵联差动保护装置 LFP 931 光纤差动保护装置)均有光纤通道监视功能,保护装置实时显示数据传送的错帧数或误码率,一旦错误的帧或误码率大于某一限定值,装置会自动告警,提示相关人员进行处理,检查光纤传输通道,如确认工作光纤通道故障,则切换至备用通道。

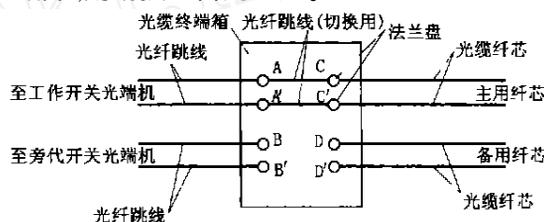


图 1 利用光缆终端箱进行切换示意图

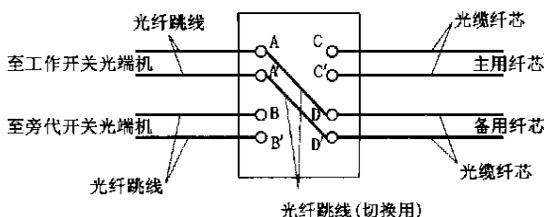


图 2 利用光缆终端箱切换到备用通道示意图

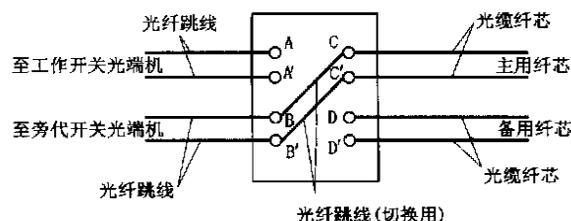


图 3 利用光缆终端箱切换到旁代开关示意图

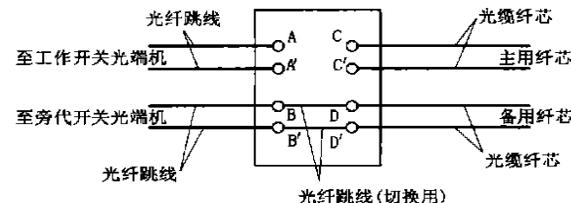


图 4 旁代开关切换至备用通道示意图

所提出的通道切换方式的工作原理如下,在工作开关投入运行的情况下, A 经光纤跳线接至 C, A 经光纤跳线接至 C (参见图 1),此时工作开关利用光缆主用通道纤芯传送数据;光纤电流差动保护装置运行时若主用通道纤芯故障,保护装置发通道告

警信号,通知相关人员进行处理,断开A—C,A—C连接,将A—D,A—D用光纤跳线接通(见图2),此时工作开关利用光缆备用通道纤芯继续传送数据;在旁代开关投入运行,工作开关退出时,A经光纤跳线接至C,A经光纤跳线接至C(图3),此时旁代开关利用光缆主用通道纤芯进行数据通信;当光缆主用通道纤芯故障,同样保护装置发通道告警信号,通知相关人员进行处理,断开B—C,B—C连接,将B—D,B—D用光纤跳线连接(图4),此时旁代开关则利用光缆备用通道纤芯继续进行数据通信。

以上工作开关和旁代开关的切换实际上是保护装置光端机的切换。

2) 自动切换方案

自动切换则是在保护装置检测到主用通道通信异常时,自动将主用通道切换到备用通道。要实现传输通道的自动切换,需增加切换模块和光端机等设备。通道切换的具体实现手段有电路切换、软件切换和光路切换三种方法。

电路切换时,同一套保护装置要求通信接口有切换电路和两套光端机,图5给出了一个通道电路切换的原理框图。

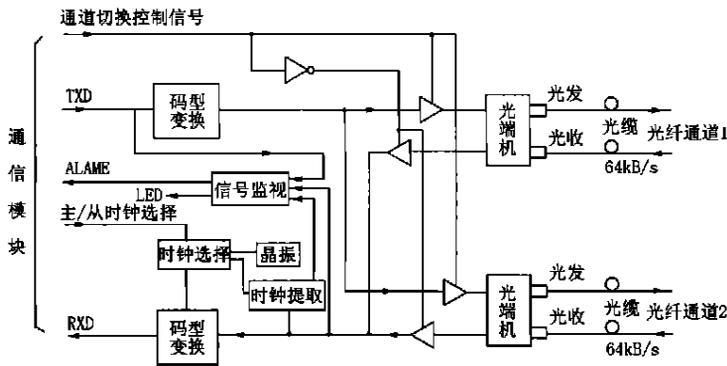


图5 通信通道电路切换的原理框图

主用通道正常时,保护装置通过工作光纤通道传送数据信息,当通信模块(通信CPU或保护CPU中通信子程序)检测到数据通信异常(收不到信号或通信误码率高)时,发出切换信号,控制切换电路将通信通道切换到备用光纤通道上,同时,发送远方命令,通知对侧的切换电路也切换到备用光纤通道上,从而实现了主用通道、备用通道的互为热备用。在以上切换时,要注意的是当备用通道为复用通道时,由于利用复用通道通信时取系统同步时钟,故通信模块需发主/从时钟切换控制信号,让通信接口切换

到从时钟方式。

软件切换则不在通信接口中增加切换电路,而是在通信模块原有的硬件资源上编制切换软件程序来进行通道切换。采用该方法进行通道切换时,同一套保护装置要求两个相同的通信接口,即两个光端机和两套码型变换等电路。两套通信接口电路同时工作,传送同样的数据信号给通信模块。通信模块同时收到两路数据信号,利用其中一路数据信号作为主用数据信号。当通信模块检测到该路通道数

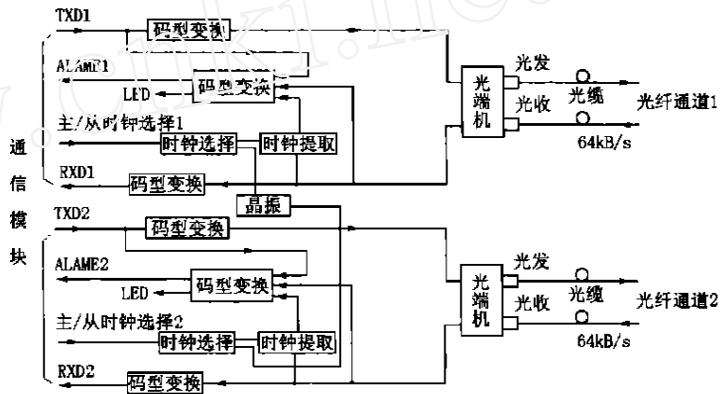


图6 软件切换所需的双通信通道原理框图

据消失或误码率高(CRC校验)时,自动取用另一路数据信号。图6给出软件切换所需的双通信通道原理框图。

两个通道的数据分别存放在两个缓冲区中,通信模块分别对它们进行CRC校验以检查两个通道的通信状况,两个通道的数据互为备用,当某个通道的数据帧丢失时,可直接从缓冲区取用相应帧的数据信息,因而避免数据重发,提高通信效率。

光路切换是利用光路切换开关在工作通道的纤芯和备用通道纤芯之间进行切换的方法。常用的光路切换器件是光开关(OPTICAL SWITCH)。光开关是一种具有一个或多个可选择的传输端口,可对光传输线路或集成光路中的光信号进行相互转换或逻辑操作的器件。光开关在通信领域中常作光路切换用。光开关能直接通断、切换和转换光信号通路,它为主、备用光通道系统之间进行通道自动切换提供了简单、经济的手段。

光开关分为机械式光开关和电子式光开关。机械式光开关以机械方式驱动光纤和棱镜等光学器件进行光路转换;电子式光开关利用电光和声光效应来切换光路。由于电子式光开关无机械惯性,响应

速度快,缺点是插入损耗大,价格高。目前常用的光开关多为机械式的。虽然机械式光开关切换时间较长,但主损耗低,串扰小,且价格低廉,使用也十分方便。

图7给出了棱镜移动式机械光开关的动作原理。

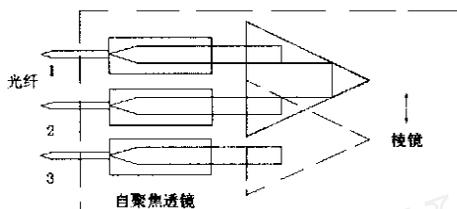


图7 棱镜移动式机械光开关示意图

使用自聚焦透镜的1X2机械式光开关(如图7示),是用一个棱镜和两个带有光纤的自聚焦透镜组成,当棱镜向上移动时,中心光纤1和光纤2耦合;当棱镜向下移动时,中心光纤1和光纤3耦合。棱镜的移动,则依靠电磁驱动或微型电机驱动,其控制信号可为电平或继电器触点。表1给出了某机械式光开关的主要技术参数

表1 光开关的主要技术参数

表1 光开关的主要技术参数	
插入损耗	0.5dB(含光纤连接器)
工作波长	1310 ±20nm,1550 ±20nm
重复性	0.05dB
串扰	-60dB
回波损耗	55dB(含光纤连接器)
切换时间	12ms(相临通道切换)
工作电压	光模块 12VDC
寿命	100,000次
工作温度	0 ~ 50
相对湿度	±30 不大于90%(无冷凝)
存储温度	-20 ~ +70

光开关的最大优点是信号可在光上直接转化应用,用它实现光纤电流差动保护通信通道的自动切换,不但简单可靠,而且大大简化了系统的结构。现有的光纤电流差动保护装置可以不做任何改动,外加一个光开关模块即可实现主备用通道的自动切换。图8给出了利用1X2光开关进行通道切换的原理框图。

在该系统中,保护装置和光缆终端箱之间装有光开关模块,利用光纤电流差动保护装置的通道告警触点作为光开关模块的切换控制信号。一旦主通道的光纤芯故障,保护装置发出通道告警信号

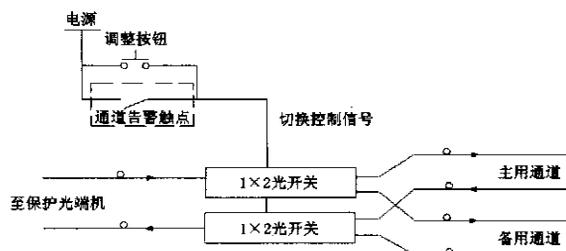


图8 利用光开关进行通道切换的原理框图

(TDG),该告警信号转换成高电平控制光开关模块动作,将光路自动切换到备用纤芯上。一侧光路进行切换时,无须保护装置向对侧传送同时告警信号,因为一旦光纤通道故障,对侧保护装置也同样发出通道告警信号,同时控制对侧光开关模块对光路进行切换。为方便通道的校对调整,该电路中增加了手动调整按钮。

图9给出了利用光开关进行旁代自动切换的原理框图。

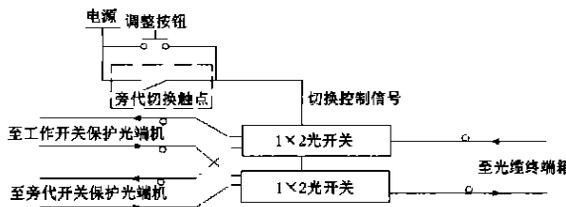


图9 光开关进行旁代自动切换的原理框图

4 结语

针对输电线光纤纵联电流差动保护主通道和备用通道的切换问题,提出了光纤通道备用的几种方式,给出了通道的手动切换和自动切换的几种方案。本文给出的几种不同的切换方案,通道的硬件冗余程度各不相同,软件自动切换硬件冗余最多,实际上是两个光纤数据通道同时工作,相对于其他方法,可靠性最高,但花费代价也最高;光路自动切换采用光开关在电讯领域里已有产品,因其简单、有效、成本低,具有应用和推广价值。

参考文献:

- [1] 王伟,胡为进. 光纤保护在上海电网的应用[C]. 第八届全国继电保护学术研讨会论文集,2001,(3):26-30.
- [2] 唐棣芳. 光纤通信[M]. 复旦大学出版社,1999,9.
- [3] 廖泽友,鲍伟廉,杨奇逊,等. 数字式高压线路电流纵差保护的通信技术[J]. 电力系统自动化,1999,23(18).
- [4] 赵建青,尹项根,陈德树. 广东电网光纤保护方案论证[J]. 电力系统通信,2001,(1):19-22.

(下转第45页)

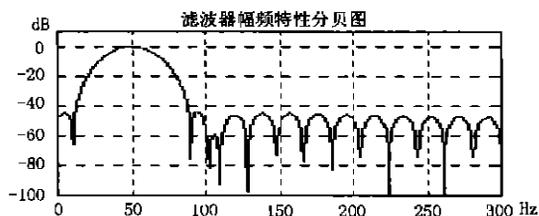


图 3 用 Matlab 所得的频谱

的绘图工具作频谱特性,则所得的特性与图 2 完全相同。

Matlab 的图形功能十分强大,plot 及一些相关的函数对于绘制 xyz 域的各种曲线、设置曲线性质、标注曲线等操作都十分简便和快捷。比较而言,上述 Delphi 控件的处理能力则有限。

5 结语

在电力线路工频参数测量装置中,采用数字滤波技术作为抗谐波干扰的措施之一。文章阐述了分别利用 Delphi 中自定义的类和 Matlab 中提供的数字信号处理函数来实现上述数字滤波器的方法,并对两种方法进行了比较分析。文章提供了一种 Delphi 与 Matlab 通过数据文件进行数据交换的方法,对于

使用 Delphi 进行系统开发,而用 Matlab 进行信号处理与分析的应用具有一定的参考价值。

在参数测量装置中,设计实现滤波器的计算量并不大,而且用户也不要求对滤波器进行在线的谱分析,因此,采用 Matlab 实现方法的意义不大,更没必要刻意追求 Delphi 与 Matlab 的混合编程。最后发布给用户的装置配套软件用 Delphi 方法实现数字滤波器,经实验室仿真和现场测试,抗谐波干扰的效果良好。

参考文献:

- [1] 陈树德. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京:水利电力出版社,1992.
- [2] Steve Teixeira, Xavier Pacheco 著,任旭钧等译. Delphi 5 开发人员指南[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 楼顺天,李博菡. 基于 MATLAB 的系统分析与设计 - 信号处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1998.
- [4] 赵敏,江帆. Delphi 与 Matlab 接口软件的设计[J]. 计算机自动测量与控制,2000,8(4):26-28.

收稿日期: 2001-06-04

作者简介: 赵霞(1975 -),女,硕士,主要从事微机在电力系统中的应用研究。

Design digital filter using Delphi and Matlab for power frequency parameters measure apparatus

ZHAO Xia

(Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper describes how to design and analyze a 50Hz ± 5 Hz band - pass FIR digital filter used in power frequency parameters measure apparatus using respectively a self - defined Delphi class and the functions supplied by Matlab. A method to share data between Delphi and Matlab is also given.

Keywords: digital filter; Delphi; Matlab

(上接第 37 页)

- [5] 彭承柱. SDH 传送网技术[M]. 电子工业出版社,1996, 12.
- [6] 杨祥林. 光纤通信系统[M]. 国防工业出版社,2000,1.

收稿日期: 2001-10-18

作者简介: 路光辉(1968 -),男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化; 文劲宇(1970 -),男,博士后,研究方向为电力系统控制; 程时杰(1945 -),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为电力系统分析与控制、人工智能在电力系统中的应用。

Switching over of the communication channels for the current differential protection of transmission lines

LU Guang-hui, WEN Jin-yu, CHENG Shi-jie

(Dept. Of Electrical Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper describes the importance of the back up channel in the optical fiber current differential protection of transmission lines. Some methods used to realize the channel back up of the optical fiber are presented. Several schemes of the channel switching over including manual and automatic one are also proposed in the paper.

Keywords: optical fiber communication channel; back up channel; channel switching over