

# 农村电网中光纤纵差保护的应用

袁涛<sup>1,2</sup>, 潘捷<sup>3</sup>, 李真<sup>4</sup>, 闫有朋<sup>2</sup>

(1.西北农林科技大学机电学院, 陕西 杨凌 712100; 2.积成电子股份有限公司, 山东 济南 250100; 3.山西省电力公司电力调度中心, 山西 太原 030001; 4.山东济南供电公司, 山东 济南 250000)

**摘要:** 指出农村电网保护配置中存在的问题, 分析了农村电网发展的趋势, 进一步提出了光纤纵差保护在农村电网中的重要性。详细阐述了光纤纵差保护的实现过程和解决方案, 针对光纤差动保护中的通道及数据传输问题进行了讨论, 提出了解决保护两侧采样同步问题的方案: 通过牛顿插值法来实现采样同步, 误差会大大减小。

**关键词:** 农村电网; 光纤纵差; SDH; OPGW; 数据同步; 牛顿插值; 帧结构; FPGA

## Application of optical fiber differential protection in rural power grid

YUAN Tao<sup>1,2</sup>, PAN Jie<sup>3</sup>, LI Zhen<sup>4</sup>, YAN You-peng<sup>2</sup>

(1.College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100,China;

2. Jicheng Electronics Co., Ltd, Jinan 250100, China; 3. Power Controlling Center of Shanxi Electric Power Company, Taiyuan 030001,China;4.Jinan Power Supply Co., Ltd,Jinan 250000,China)

**Abstract:** This paper indicates the problem in set of protection in rural power grid, analyses the trend and brings forward the important of optical fiber differential protection in rural power grid. It gives a detailed explanation on the implementation procedure and solution of optical fiber differential protection. For some problems about data transmitting and channel of differential current protection, a new method to solve them is pointed out. If to realize sampling synchronization by using Newton interpolation, the error can minish greatly.

**Key words:** rural power grid; optical fiber differential protection; SDH; OPGW; data synchronization; Newton interpolation; frame structure; FPGA

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)16-0084-04

## 0 引言

农村电网在整个电网中有着非常重要的地位。继电保护是整个电网自动化中非常关键的一环, 随着电网自动化的发展, 农网继电保护也实现了长足的发展。但是农村电网大多是10~35 kV供电, 线路保护基本上都采用二段或三段式电流保护, 按阶梯性原则整定。这类保护动作的正确性和选择性受电网的运行方式影响较大, 特别是在输电线路长、分支多、电网运行方式变化大、负荷率低的输电线路发生故障时, 常会导致继电保护无法满足快速性、选择性、可靠性和灵敏性要求<sup>[1]</sup>。针对这些特点, 本文提出了将光纤纵差保护应用到农网中的方案, 比较分析了多种同步方法, 并给出了硬件设计方案。

## 1 农村电网保护现状

(1) 由于系统运行方式变化大, 利用简单的电流、电压型保护有时很难同时满足快速性、选择性和灵敏性的要求。

(2) 随着农村电网改造工程的实施, 环形网、双回路网架不断增加, 现有保护配置(非方向元件)难以适应运行方式的要求。

(3) 现在仍运行的电磁型、晶体管型、集成电路型继电保护比微机保护可靠性差。

(4) 随着线路长度的缩短, 电流速断保护范围相应缩短, 故短线路一般没有保护范围, 影响了快速性和灵敏性。由于相间一段(电流速断)无保护范围, 减少了相间一段和相间二段保护范围的重叠区, 使保护可靠性降低。

## 2 农村电网保护的发展趋势

近年来,以计算机技术、通信技术和网络技术为代表的现代信息技术迅猛发展,把人类带进了信息时代。管理信息系统、光纤通信技术,微机保护与网络技术逐渐应用到农网继电保护领域中。同时,国家供电网络架构的发展也非常迅速:随着SDH传输系统在电力系统的大量建设和使用,SDH已经成为电力系统各类信息应用的基础平台,是继电保护、安全自动装置、自动化信息等各类电力生产信息的主要传输网络;光纤复合架空地线OPGW(Optical Fiber Composite Overhead Ground Wires)以其既有架空地线的作用,又具有通信线的性能,目前备受电力系统用户的青睐,尤其是新建电力线路<sup>[2]</sup>。所以农村电网的发展趋势应遵循环网为主的设计原则,充分发挥光纤环网的可靠性,依托电网建设,打破行政管理地域限制,尽量将各变电站都连入环网中。应利用电力系统特有的电力杆塔线路资源进行光缆敷设,优先采用OPGW及ADSS光缆敷设方式,从而根据电网一次网架的建设及通信网的发展需要使农村电力通信专网与一次电网结构和管理模式相适应,满足电力通信业务发展需要的骨干网架,提供农村电网信息传输与交换的高速、可靠平台<sup>[3]</sup>。农网继电保护要跟上电网的发展是当前刻不容缓要解决的大问题,提高农网继电保护的水平和、推动农网继电保护信息化的发展、使农网运行更加安全、稳定和可靠是电力工作者的当务之急。

## 3 农村电网中应用光纤纵差的必要性

光纤纵差保护的基本原理是通过交换线路两侧的模拟量,比较两侧电流方向或大小来判断被保护线路上是否发生了短路,以决定保护是否动作。纵差保护原理的理论基础是基尔霍夫电流定律,它具有良好的“天然”选相能力和良好的网络拓扑适应能力(能适应任何型式的输电线路),对于提高电力系统的安全稳定性和输电供电的灵活性为目标电网的建设,具有非同寻常的意义。目前,光纤纵差保护已经广泛用在电力系统中,现场运行状况良好。但是,农村电网继电保护的发展步伐远远没有跟上电网发展的速度。所以在实现农村电网的数字化、信息化和网络化的同时,也要实现农村电网的继电保护现代化,光纤纵差保护显然是必须要在农网中迅速推广的一种保护。

## 4 农村电网光纤纵差保护的实现

### 4.1 光纤纵差保护的系统组成

光纤纵差保护系统主要由保护装置、光通信接口设备和光通信系统组成,以双端光纤保护系统为例,如图1。

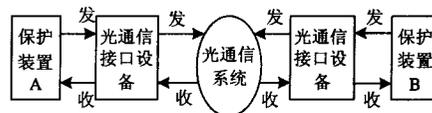


图 1 光纤纵差保护系统的组成

Fig.1 Structure of fiber optic protection system

光纤保护装置可以采用光接口方式和电接口方式与光通信接口设备相连接。光纤差动保护传输的主要是电流量数字信号,一般采用光接口方式,保护装置内置专用通信模块和光端机实现与光通信接口设备交换信息。

### 4.2 差动保护同步技术

实现电流差动保护的关键是采样同步,即参加比较的两端电流量必须为同步采样或经采样同步化处理得到。

#### 4.2.1 目前各厂家已经提出并采用的同步方法

##### (1) 基于 GPS 的同步方法

基于 GPS 的同步方法中收发各端都由一个主时钟源控制两端系统的信息收发同步,两侧采样时钟给出的采样脉冲之间具有不超过 2 ps 的相对误差,精度高,且不需通道之间的联系,不受电网频率变化的影响。但因为硬件投资较大,成本较高,不适用于中低压光纤纵差保护。

##### (2) 基于参考向量的同步方法

基于参考向量的同步方法是为了摆脱通道的束缚而提出的一种新思路。该方法利用线路模型计算出代表同一个量的两个向量,然后利用这两个向量的相位差实现采样同步。

基于参考向量的同步方法最大的优点就是完全摆脱了对通道的依赖。但是由于它在计算线路参数时对线路进行了模拟和等效,线路模型的准确性以及 CT、PT 等误差因素的影响,使得此方法在理论上还需要进一步完善。

##### (3) 基于数据通道的同步方法

基于数据通道的同步方法包括:时钟校正法、采样数据修正法和采样时刻调整法。它们都需要用通道来传送用于同步处理的各种时间信息。这三种解决方案都是基于光纤通道收、发延时相等的“乒乓算法”(即等腰梯形算法)<sup>[4]</sup>。

在同步建立期间,若光纤通道出现收、发延时不对称的情况时,采用梯形算法计算出的两侧同步

时刻会有一个固定偏差  $\Delta t$ 。基于数据通道的各种同步方法已在实际中获得应用,但仍需要改进。我们可以认为传输延时是相等的,采用上述基于数据通道的方法,例如采样时刻调整法,就可以达到相当高的精度,完全可以满足继电保护误差的需要,但是同步过程比较繁琐,需要一定的调整时间,同步后还要定时监测。

本文提出了不进行时刻调整,通过传送可靠通信帧,实现传送采样值,采样值通过牛顿插值法在对侧实现采样同步,从而不用调整采样时刻的同步过程。

#### 4.2.2 牛顿插值法实现数据同步

采用牛顿插值法实现数据同步时,两侧保护都在各自晶振控制下以相同的采样率独立采样。每一帧发送的数据包含发送和响应帧号、电流采样值及控制信息,电流采样值是对侧传来的某一采样时刻的数据<sup>[5]</sup>。过程如图2所示。

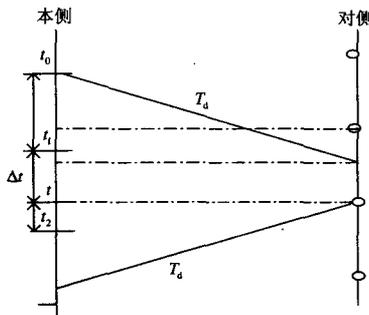


图 2 数据同步示意图

Fig.2 Sketch of data synchronization

方法叙述:我们假设两侧接收数据通道延时相等,接收数据侧首先采用“乒乓球算法”计算出通道延时  $T_d$ ,以及两侧采样偏差时间  $\Delta t$ <sup>[6]</sup>。保护装置根据对侧采样点时刻在本侧找到紧邻同一时刻的前面两个采样点  $t_0$  和  $t_1$ ,和后面一个采样点  $t_2$ ,利用此三点在  $t$  点内插作牛顿插值后得到对应于对侧的同步采样数据。

所运用的牛顿二次插值公式如下<sup>[7]</sup>:

$$N_2(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} (x - x_0) + \frac{f(x_2) - f(x_0, x_1)}{x_2 - x_0} (x - x_0)(x - x_1)$$

$f(x_1, x_2)$  和  $f(x_0, x_1)$  分别是相应点的线性插值,将  $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$  点的采样值分别对应代入即可。

通过误差分析可得对每周期采样点数  $N=12$  的情况,基波最大采样值误差为 0.899%;对  $N=24$ ,基波最大采样值误差为 0.112%。所以用牛顿插值法进行电流采样值的计算,从而实现光纤保护的同步的

方法,可以大大提高装置的可靠性。

#### 4.3 数据传输的帧结构

国际标准化组织(ISO)把面向比特通信协议作为优选的链路控制方法,是否能普遍应用面向比特通信规约,将体现系统的先进性。本文设计的通信协议帧结构如表1。

表1 HDLC的帧结构  
Tab.1 Frame structure of HDLC

标志字	地址域	控制域	信息域	校验域	标志字
7EH	A	C	I	CRC	7EH

帧头帧尾字符固定为 01111110 (16进制 0X7e),各占1字节。校验域为16位或32位CRC校验码,地址域、控制域和信息域可灵活自定义。为防止用户信息域中出现 0X7e 与帧头帧尾字符混淆,协议控制接口芯片在发送端检测到5个连续的1时会自动插0,相应的接收端会自动删0<sup>[8]</sup>。

HDLC 规程具有透明传输、可靠性高、传输效率高并具有极大的灵活性等特点。将HDLC方式引入电力系统,对电力系统的保护装置通信是积极的改进,比以往系统更加先进,使保护的性能得到很大提高。

#### 4.4 硬件解决方案

##### 4.4.1 保护装置处理器的选用

MCF5272微处理器是摩托罗拉推出的高集成度的ColdFire嵌入式微处理器。不论是在计算能力、网络控制、工业控制、图像设备,还是存储解决方案, MCF5272微处理器的高性能表现都合乎本装置的设计要求。同时,选用了32位浮点DSP作为DSP插件的主处理器,高性能的硬件平台保证了装置能够对所有继电器并行计算,所以计算能力完全有保障。同时用距离保护配合光纤保护的主保护,以及其它若干后备功能,可大大提高装置的可靠性。

##### 4.4.2 光纤数字接口设计

光纤纵差保护装置的光纤数字接口是装置中的重要组成部分,在设计中,我们运用了大规模可编程技术,其主要逻辑均在大规模现场可编程门阵列(FPGA)芯片内部实现。在FPGA内部,按照其功能可分为数据的同步传输模块、E1成/解帧器模块、线路码型变换三大功能模块。用FPGA实现的硬件框图如图3所示。

FPGA 芯片我们选用了Actel公司的ProASIC Plus APA075, ProASIC Plus系列可实现系统内可编程和多次可重编程,其系统门密度为75,000到100万门。ProASIC Plus上电即可运行,并且在上下电和断电循环中能保持所编写的设计内容。对该系统设计是一个理想的选择。

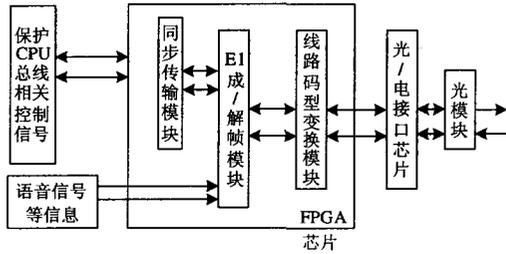


图3 用FPGA实现的光纤数字接口硬件原理框图

Fig.3 Principle block diagram of hardware for optical digital circuit using FPGA

## 5 结论

随着“新农村、新电力、新服务”的全面推进,加快农村电网工作难点问题的解决,是电力部门实现农村电网安全生产、效益服务的基础和前提,电力部门要加大疑难问题的解决、资金的投入。随着信息技术和光通信技术的迅猛发展,必将会进一步推动农网继电保护水平的提高。光纤纵差保护在农村电网继电保护中的推广和应用,必将得到更多的关注,同时农村电网会更加安全、稳定和可靠地运行。

## 参考文献

- [1] 李任翀, 田有文, 等. 信息技术在农网继电保护中的应用[J]. 农机化研究, 2008, (2): 175-177.  
LI Ren-chong, TIAN You-wen, et al. Application of Information Technology in Relay Protection[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, (2): 175-177.
- [2] 王平. OPGW光缆在电力系统中的应用[J]. 电力勘测设计, 2006, 6(3): 65-69.  
WANG Ping. The Application of OPGW Optical Cable in Electrical Power System[J]. Electric Power Survey & Design, 2006, 6(3): 65-69.
- [3] 李伟英, 赵艳, 等. 农村电网信息网络技术分析及发展[J]. 农机化研究, 2008, (4): 246-248.  
LI Wei-ying, ZHAO Yan, et al. Study and Analysis on Technology and Development of Information Network of Rural Power Grid[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, (4): 246-248.
- [4] 李永丽, 李仲青, 李斌, 等. 超、特高压长线路光纤纵差保护数据同步[J]. 天津大学学报, 2007, 40(2): 168-172.  
LI Yong-li, LI Zhong-qing, LI Bin, et al. Data Synchronization for Current Differential Protection Based on Optical Fiber Channel for EHV & UHV Long Transmission Line[J]. Journal of Tianjin University, 2007, 40(2): 168-172.
- [5] 曹团结, 尹项根, 张哲, 等. 通过插值实现光纤差动保护数据同步的研究[J]. 继电器, 2006, 34(18): 4-8.  
CAO Tuan-jie, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe, et al. A Method of Data Synchronization in Optical Fiber Differential Protection Based on Inserting Data[J]. Relay, 2006, 34(18): 4-8.
- [6] 王尔寒, 王强, 文明浩, 等. 光纤纵差保护中数据同步的误差分析及补偿办法[J]. 继电器, 2003, 31(8): 43-45.  
WANG Er-han, WANG Qiang, WEN Ming-hao, et al. Analysis on Errors of Data Synchronization and Compensation Methods for Differential Current Protection Based Channel of Optical Fiber[J]. Relay, 2003, 31(8): 43-45.
- [7] 邓建中. 计算方法(第二版)[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.  
DENG Jian-zhong. Calculational Methods, Second Edition[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001.
- [8] 梁斌, 贺家李. 基于光纤的位同步通讯纵差保护原理[J]. 天津理工大学学报, 2007, 23(5): 49-52.  
LIANG Bin, HE Jia-li. Theory of Differential Pilot Protection Based on Optical Fiber and Bit-oriented Communication[J]. Journal of Tianjin University of Technology, 2007, 23(5): 49-52.
- [9] 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.  
ZHANG Bao-hui, YIN Xiang-gen. Power System Protective Relaying[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [10] 唐成虹, 付建明, 刘宏君, 等. 光纤纵差保护装置中光纤数字接口的设计新方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(2): 83-85.  
TANG Cheng-hong, FU Jian-ming, LIU Hong-jun, et al. A New Method for the Design of the Fiber-optical Digital Interface in Current Differential Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(2): 83-85.

收稿日期: 2008-09-18; 修回日期: 2008-10-13

### 作者简介:

袁涛(1978-), 男, 硕士研究生, 从事智能监测与控制, 继电保护研究; E-mail: roundsea@sohu.com

潘捷(1966-), 男, 高级工程师, 从事电力系统暂态分析的计算与研究;

李真(1979-), 女, 工程师, 从事电力系统运行工作。