

一种线路保护复用通道故障自诊断机制

蔡 菠, 谈 浩, 李 彦, 李 响

(国家能源电力控制保护研发中心(南京南瑞继保电气有限公司), 江苏 南京 211102)

摘 要:针对线路保护复用光纤通道故障点定位的问题,在数字复接装置及保护装置上,通过检测物理层报文的编码有效性,识别通道中各位置故障标志;通过扩充通信报文保留字段,使各位置故障生成状态戳;在数字复接装置上使用心跳帧机制,解决通道故障时状态戳交换问题,通道内故障点位置能实时反映在保护装置上,实现了复用通道故障点位置在线自诊断功能。

关键词:复用通道; 故障诊断; 线路保护; 心跳帧

中图分类号: TM774

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2017)06-0073-05

0 引言

光纤通信,由于其通信容量大、可靠性高、传输距离远、抗干扰性好等优点,广泛应用于继电保护领域^[1-3]。随着保护装置的更新换代,对光纤通道的要求也日益提高^[4-6],目前光纤纵联保护通道主要有两种实现方式^[7]:专用光纤通道和复用光纤通道。专用光纤通道拓扑简单,但有下列局限:受限于装置发光功率影响,通信距离较短;每个通道独立占用光纤芯,光纤利用率低;专用光纤通道故障时,不能切换到复用通道,相对可靠性低。

复用光纤通道通常需通过复接装置(multiplexer, MUX)接入专用的通信网络中。常用的复用光纤通道拓扑形式为,保护装置通过数字复接装置,转换成电信号,由同步数字系列(synchronous digital hierarchy, SDH)的E1通道进入专用的通信网络中。复用通道有下列优点:光纤纤芯利用率高;利用中继技术能实现长距离传输;光纤通信网络能实现在线监控^[8]。

复用光纤通道的网络拓扑复杂,中间环节多,一旦出现故障,运维人员需要迅速定位故障位置,通常采用的故障定位方式有^[9-11]:(1)在各个环节逐点自环测试,这种方法需要耗费大量的人力、时间成本;(2)分析装置告警、指示灯等信息,判断故障类型、位置,这种方法需要一定的经验、技巧才能定位故障。

传统的定位方法实施缓慢,且运维人员需要对光纤通信网络的拓扑有深入的理解,尤其是遇到偶发性故障时^[12],往往很难短时间内定位故障原因,不仅费时费力,还给电网运行带来了隐患^[13,14]。

本文针对复用通道网络结构,使用一种带心跳

帧的数字复接装置,在通信报文中生成状态戳,通过识别状态戳快速定位通道故障位置,实现复用通道的故障在线自诊断。运维人员在通道任意一侧都能通过告警、液晶等手段,及时定位通道故障位置。

1 复用通道自诊断的实现

1.1 自诊断整体实现

复用通道的通信拓扑如图1所示,线路两端的保护装置分别通过数字复接装置,接入到专用的光纤通信网络中,对于保护装置来说,SDH通信网络可以认为是透传方式^[15],本文不考虑SDH通信网络的故障点定位问题。本方案共定义了6处故障点。

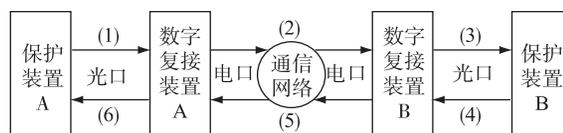


图1 复用光纤通道通信拓扑

Fig.1 Multiplexing optical channels communication topology

为了能够在两侧的保护装置上监视通道的状态信息,方案使用图2所示的传输机制。

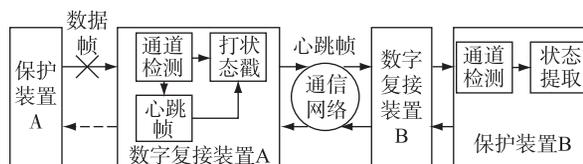


图2 通道自诊断整体结构

Fig.2 Structure of channel self-diagnosis

数字复接装置能检测光、电口的高级数据链路控(high-level data link control, HDLC)报文有效性,当HDLC报文无效时,数字复接装置立即改发心跳

报文,并将链路状态标志插入到数据帧的保留字段,两侧的保护装置通过该状态信息,定位故障点位置。

1.2 通道故障判别

本方案把接收信号的编码有效性作为通道故障的判别依据,通常复用通道上的 HDLC 报文,在物理层上有固定的编码,如 1B4B 方式下,2.048 Mbps 的串行流,链路层码流即 512 kbps,编码方式可采用不归零码(non-return to zero, NRZ): 1 被编为 1100,0 被编为 1010。

通道故障判别整体框图如图 3 所示,通过数字鉴相的方式,从原始码流中恢复出同步时钟,再根据恢复时钟鉴别原始码流的物理层编码是否在编码表中,由此鉴别接收到的 HDLC 报文是否有效。把 HDLC 报文的编码有效性作为链路是否故障的状态标志。

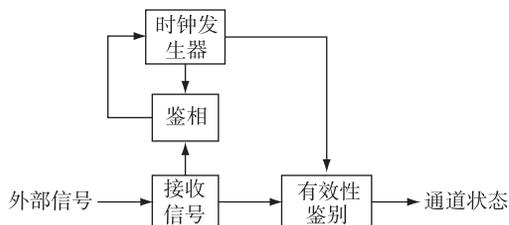


图3 通道故障判别方式

Fig.3 Detection of channel faults

1.3 状态戳定义

为使 HDLC 报文能够携带通道状态信息,本方案给 HDLC 报文增加一个保留字段,如图 4 所示,保护装置和数字复接装置把检测到的通道状态标志,填充到保留字段,作为状态戳。

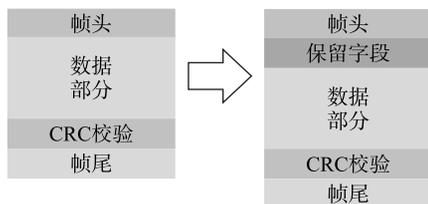


图4 状态戳字段

Fig.4 Status stamp field

在 HDLC 报文中,数据部分和循环冗余校验(cyclic redundancy check, CRC)部分有“5 连 1 插 0”的功能^[17],便于链路层在串行流中定位帧头、帧尾的位置。

在帧头之后,固定增加 8 bit 保留字段,用于生成状态戳。该保留字段定义如表 1 所示。

图 5 是 HDLC 报文的帧结构,每一个字节低 bit 先发时,由于帧头、帧尾字段固定为 0x7E,数据及校验部分遵循“5 连 1 插 0”的规则,状态戳占用 8 bit,

表 1 保留字段定义

Table 1 Reserved field definitions

8bit 保留字段	各 bit 的定义
bit0	MUX 装置本侧通路光口接收错误
bit1	MUX 装置对侧通路光口接收错误
bit2	MUX 装置本侧通路电口接收错误
bit3	MUX 装置对侧通路电口接收错误
bit4	保护装置本侧通路光口接收错误
bit5	固定为 0
bit6	保护装置对侧通路光口接收错误
bit7	固定为 0

使用 6 bit 作为通道状态标志,剩余 2 bit 固定为零,状态标志发生变位时,不会影响数据部分“5 连 1 插 0”的规则,保留字段本身也不会出现 6 个连续 1。

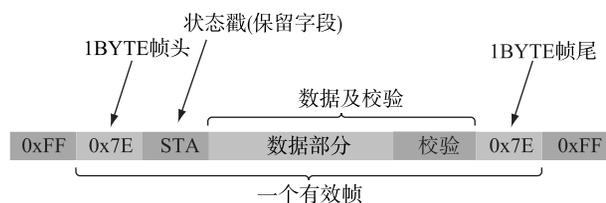


图5 增加保留字段后的 HDLC 帧结构

Fig.5 HDLC frame structure with reserved field

因此本方法生成状态戳不影响帧头帧尾的识别,同时也不影响数据字段 CRC 的计算。

1.4 心跳帧机制

复用通道有任意一处故障时,故障通路上接收端的保护装置无法得到任何报文信息,HDLC 报文中保留字段携带的状态戳不能到达保护装置上。

为此,在数字复接装置上增加心跳帧机制,如图 6 所示,当数字复接装置检测到 HDLC 报文编码无效时,转为向后级发送心跳帧,心跳帧的数据部分长度为一个字节,帧结构与普通的 HDLC 数据帧一致,同样携带一个字节的保留字段用于生成状态戳。

数字复接装置和保护装置在生成状态戳时,不区分心跳帧和数据帧,最终两侧的保护装置通过设置最小数据长度的方式,过滤心跳帧。

1.5 自诊断过程

保护装置和数字复接装置按照下列规则生成状态戳:

(1) 在数字复接装置中,检测到光、电口接收信号无效时,向本侧通道后级发送心跳帧,同时生成“MUX 装置本侧通路光(电)口接收错误”标记作为心跳帧的状态戳;向对侧链路上的数据帧生成“MUX 装置对侧通路光(电)口接收错误”状态戳。

(2) 在数字复接装置中,检测到光、电口接收信

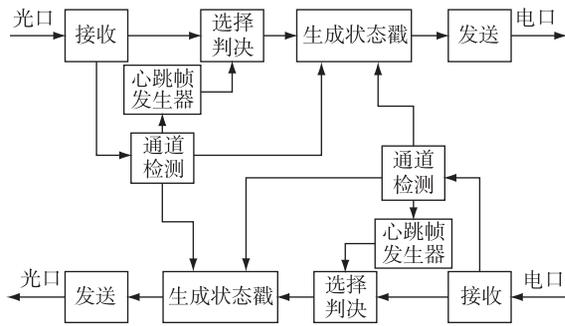


图 6 数字复接装置的心跳帧机制

Fig.6 Heartbeat frame mechanism of the MUX device

号有效时,不改变状态戳内容,正常向本链路后续转发报文。

(3) 在保护装置中,检测到接收信号无效时,向对侧通道数据帧生成“保护装置对侧通路光口接收错误”状态戳;将“保护装置本侧通路光口接收错误”信息上送应用层处理。

(4) 在保护装置中,检测到接收信号有效时,将报文状态戳上送应用层处理,并通过报文的帧长判断是否为心跳帧。数据帧正常上送应用层,心跳帧直接过滤。

按照上述规则,当线路发生故障时,故障通路上的保护装置从心跳帧的状态戳读取通道状态,故障通路对侧的保护装置从数据帧的状态戳读取通道状态。

以图 3 为例,故障通路上,数字复接装置 A 改发心跳帧,并生成“MUX 装置本侧通路光口接收错误”状态戳,数字复接装置 B 正常向后级转发,保护装置 B 正常接收报文,从状态戳中读取通道状态信息,并通过报文长度识别为心跳帧,该帧数据部分直接丢弃。

而未发生故障的通路上,数字复接装置 A 生成“MUX 装置对侧通路光口接收错误”状态戳,并打在保护装置 B 往保护装置 A 发送的正常报文中,保护装置 A 从报文中提取状态信息和正常通信数据。

2 自诊断功能验证

由于 SDH 通信网络对于本方案来说,相当于透传,因此搭建图 7 所示的测试网络。

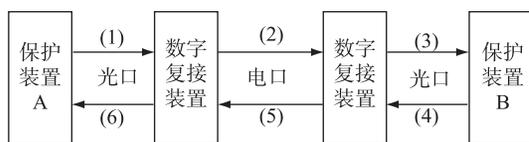


图 7 测试网络的拓扑

Fig.7 Testing communication topology

当网络中任意一处发生故障时,两侧保护装置读取到的状态戳与故障发生点唯一对应,如表 2 所示。保护装置接收到这些状态戳,即能定位故障点位置。

表 2 一处故障位置与状态戳对应关系

Table 2 Relationship between one fault location and status stamp

故障点位置	保护 A 状态戳	保护 B 状态戳
1	0x2	0x1
2	0x8	0x4
3	0x40	0x10
4	0x1	0x2
5	0x4	0x8
6	0x10	0x40

当复用通道上发生两处以上故障时,故障通路接收端的保护装置,能定位离它最近的故障点位置;故障通路对侧通路上,接收端的保护装置,能定位所有故障点的位置,如表 3 所示。

表 3 两处故障位置与状态戳对应关系

Table 3 Relationship between two fault locations and status stamps

故障点位置	保护 A		保护 B	
	状态戳	定位点	状态戳	定位点
1,2	0xA	1,2	0x4	2
2,3	0x48	2,3	0x10	3
1,3	0x42	1,3	0x10	3
4,5	0x4	5	0xA	4,5
5,6	0x10	6	0x48	5,6
4,6	0x10	6	0x42	4,6

由于自诊断过程是在线实时运行,即使发生多处故障,修复一处故障后,两侧保护装置也能实时定位出剩余故障。

3 结语

通过检测 HDLC 报文编码的有效性作为通道故障的标志,使用状态戳记录通信链路各级故障标志。当通道故障时,使用数字复接装置上的心跳帧传输状态戳。在不改变硬件结构、网络拓扑,不改变保护装置运用状况的情况下,实现了通道故障在线自诊断功能。自诊断机制使用在数字复接装置和线路保护样机中,能通过保护装置液晶直接观察到故障点所处位置。项目设计的验证过程体现了其工程实用性。

参考文献:

[1] 樊占峰, 宋国兵, 陈 玉, 等. 输电线路光差动保护初探 [J]. 电力系统自动化, 2016, 40(23): 131-135.

- optical differential protection of transmission lines [J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(23): 131-135.
- [2] 路学刚, 郑玉平, 吴通华. 基于幅相平面的三区域差动保护方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(18): 122-126.
LU Xuegang, ZHENG Yuping, WU Tonghua. Three-region differential protection method based on amplitude-phase flat[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(18): 122-126.
- [3] 马义, 张钰金, 钱苗旺, 等. 智能变电站与传统变电站若干关键技术比较[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(6): 77-79.
MA Yi, ZHANG Juejin, QIAN Miaowang, et al. Comparison between smart substation and traditional substation [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(6): 77-79.
- [4] 丁毅, 张云, 叶品勇, 等. 智能变电站光纤纵差保护采样通道延时自适应设计[J]. 华北电力技术, 2012(6): 1-4.
DING Yi, ZHANG Yun, YE Pinyong, et al. Adaptive scheme of fiber current differential protection sampling channel delay for smart substation[J]. North China Electric Power, 2012(6): 1-4.
- [5] 陈强林, 李瑞生, 马全霞, 等. 继电保护通道检测平台在光纤差动保护测试中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(8): 84-92.
CHEN Qianglin, LI Ruisheng, MA Quanxia, et al. The detection platform of relay protection channel in fiber differential protection test[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(8): 84-92.
- [6] 张佳敏, 李鹏, 王建明, 等. 智能变电站光纤差动保护同步性能测试方法研究[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(2): 30-33.
ZHANG Jiamin, LI Peng, WANG Jianming, et al. Study on synchronization test method of digital optical differential protection in smart substation [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2012, 31(2): 30-33.
- [7] 张鸿飞, 陈琳灿, 康权, 等. 光纤差动保护的通道选择及应用探讨[J]. 浙江电力, 2010, 29(7): 17-19.
ZHANG Hongfei, CHEN Lingcan, KANG Quan, et al. Discussion on channel selection and application of optical fiber differential protection[J]. Zhejiang Electric Power, 2010, 29(7): 17-19.
- [8] 崔振辉, 李林川, 冯春盛, 等. 针对线路纵差保护的SDH自愈机制研究[J]. 电力系统通信, 2012, 33(10): 44-48.
CUI Zhenhui, LI Linchuan, FENG Chunsheng, et al. Research of SDH self-healing mechanism for line current differential protection [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2012, 33(10): 44-48.
- [9] 顾友美. SDH通信网故障处理方法[J]. 江苏电机工程, 2006, 25(6): 100-101.
GU Youmei. The solutions to troubles in synchronous digital hierarchy communication network[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2006, 25(6): 100-101.
- [10] 林耿. 光纤保护通道联调方法研究[J]. 通信电源技术, 2013, 30(5): 14-16.
LIN Geng. Research on the method of testing the optical fiber protection channel [J]. Telecom Power Technologies, 2013, 30(5): 14-16.
- [11] 刘峰, 裘峰源, 刘健, 等. 光纤通道对光纤差动保护影响的试验研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(13): 97-99.
LIU Feng, QIU Fengyuan, LIU Jian, et al. Experimental study on the effect of fiber channel on the differential protection [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(13): 97-99.
- [12] 李彦, 王芊. 基于C37.94协议的纵差保护复用通道故障诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 120-122.
LI Yan, WANG Qian. A fault detection method for multiplex channel of longitudinal differential protection based on Protocol C37.94 [J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 120-122.
- [13] 崇志强, 戴志辉, 焦彦军. 典型广域保护通信网络的信息传输可靠性评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(4): 20-24.
CHONG Zhiqiang, DAI Zhihui, JIAO Yanjun. Information transmission reliability assessment of communication network in typical wide area protection [J]. Proceedings of the CSU-EP-SA, 2014, 26(4): 20-24.
- [14] 陈冬霞, 吴东升. 一起500 kV线路光纤差动保护误动原因分析[J]. 东北电力技术, 2011, 32(2): 28-29.
CHEN Dongxia, WU Dongsheng. Cause analysis on fiber differential protection misoperation for 500 kV transmission line [J]. Northeast Electric Power Technology, 2011, 32(2): 28-29.
- [15] 李响, 李彦, 刘革明. 光纤纵联保护通道故障在线诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(2): 147-150.
LI Xiang, LI Yan, LIU Geming. A channel fault diagnosis method for fiber pilot relay protection [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(2): 147-150.

作者简介:



蔡波

蔡波(1987—),男,江苏常州人,工程师,从事电力系统自动化的开发(E-mail: caibo@nrec.com);

谈浩(1988—),男,湖北鄂州人,工程师,从事电力系统继电保护开发;

李彦(1979—),男,江苏无锡人,高级工程师,从事电力系统自动化的开发;

李响(1981—),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统交直流保护控制系统平台开发。

A Fault Self-diagnosis Mechanism for Multiplexing Optical Channels of Relay Protection

CAI Bo, TAN Hao, LI Yan, LI Xiang

(National Energy Power Control and Protection Research and Development Center
(Nanjing NR Electric Co., Ltd.), Nanjing 211111, China)

Abstract: Aiming at fault point locating problem of the line protection multiplexing optical channels, the digital multiplexing device and protection device detect the channel fault flags by the validity of physical layer encoding, generate a status stamp at reserved field by expanding communication message, and use heartbeat frame mechanism of digital multiplexing device to solve the problem of exchanging status stamp when error occurs in channel. The fault point location of the channel can be detected on the protection device directly. Fault self-diagnosis mechanism is implemented for multiplexing optical channels.

Key words: multiplexing channels; fault diagnosis; line protection; heartbeat frame

(编辑 陈 娜)

(上接第 31 页)

Economic Analysis of Echelon Battery Energy Storage Based on Artificial Fish Swarm Algorithm

LIU Dahe¹, HAN Xiaojuan¹, LI Jianlin²

(1. School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;
2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: Large scale renewable energy such as wind power grid, photovoltaic grid and others has brought great challenges to the grid's safety and stability. Energy storage system should be configured so as to stabilize the power fluctuation and achieve energy smooth transfer. Under the application scenario of photovoltaic power plant, the echelon battery storage' optimal planning is analyzed in the mode of stabilizing the photovoltaic power fluctuation. Economic evaluation is assessed. The optimal planning and economic evaluation model of the photovoltaic power plant energy storage system is established to meet the minimum storage capacity cost under the limit of the grid fluctuation ratio. The artificial fish swarm algorithm is used for solution optimization, and the economy evaluation of echelon battery is assessed and compared with conventional energy storage system. The results show the rationality and validity of the model.

Key words: echelon battery energy storage; photovoltaic power plants; economy; AFSA

(编辑 陈 娜)

(上接第 72 页)

On-line Monitoring System Design of Circuit Breaker Based on Multi-core Structure

LIANG Junhan, ZHENG Jianyong, PAN Yi

(School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Aiming at the problems such as weak system processing capability and insufficient stability in online monitoring of circuit breakers, the ARM, DSP and FPGA three-core platform are used to realize the on-line monitoring of the circuit breaker. The on-line monitoring function of circuit breaker is divided into 3 parts: data acquisition, data operation and human-computer interaction. Data acquisition is completed by FPGA control ADS8568. The circuit breaker state variables are passed into the system by sensors. The DSP performs wavelet decomposition five times on the signal collected by FPGA using db2 wavelet. Processed data is transmitted to the ARM through the dual-core communication mechanism based on Syslink heterogeneous, and finally the human-computer interaction is completed by the ARM. The scheme gives full play to the advantages of three control cores, so that it has better data processing ability. Through testing, the on-line monitoring system of circuit breaker based on three-core structure has a better performance than the original system.

Key words: high voltage circuit breaker; on-line monitoring; Syslink; heterogeneous dual-core communication

(编辑 钱 悦)