

采用异步通信的纵联保护通道技术

俞波¹, 杨奇逊¹, 李国钧², 黄少锋³, 秦应力³, 赵自刚⁴

(1. 华北电力大学(北京)四方研究所, 北京 100085; 2. 东北电力设计院, 吉林长春 130021;

3. 北京四方继保自动化有限公司, 北京 100085; 4. 河北电力调度通信局, 河北石家庄 050021)

摘要: 分析了纵联保护传统的命令式通道现状, 对采用异步通信的直接数字逻辑通信通道方式进行了研究, 指出具体实施时应注意的问题。传统通道一般采用专用或复用电力线载波, 传输时间长, 可靠性低, 易受干扰, 是保护不正确动作的主要原因之一。直接数字逻辑通信采用 RS-232C 异步通信方式, 利用专用或复用的数字通道同时传输多位有效信息, 可以实现多种保护方案的结合, 具有接口简单、传输时间短、成本低等优点, 可适应不同的数字通道方式, 分析和试验表明其安全性及可靠性能满足闭锁式、允许式及远方跳闸纵联保护的要求。

关键词: 纵联保护; 数字通信; 通道; 光纤; 异步通信

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)02-0036-05

1 引言

纵联保护是超高压输电线路的主保护, 它借助于通道交换线路两端的故障信息, 实现区内故障时的快速跳闸。纵联保护主要有方向纵联保护、距离纵联保护、远方跳闸保护、差动纵联保护等几类。其中前三类称命令式纵联保护, 由通道传输分相或不分相的跳闸命令, 并结合本地保护的故障判断结果实现跳闸或不跳闸; 后一类包括导引线保护、相位比较式差动及电流差动等纵联保护, 由通道传输线路两侧的故障电流, 保护在比较两侧的故障电流后判断是区内故障还是区外故障, 区内故障则实施跳闸以切除故障。前一类通道传送的是“逻辑”信息, 后一类传送的是“数据”信息。显然, 通道是纵联保护的重要组成部分, 通道状态的好坏直接影响着纵联保护运行的安全性及可靠性。

通道类型主要有载波、微波、光纤等。电力线载波在我国应用较广, 以载频键控(ON/OFF)或移频键控(FSK)方式传输跳闸命令, 有专用载波及复用载波两种, 这种通道方式抗干扰能力差, 易受线路故障影响, 是保护不正确动作的主要原因之一^[1~3]。微波通道与线路之间没有直接联系, 不受线路故障影响, 可用于传输跳闸命令或电流数据, 但它易受气候影响发生衰落而使通道中断, 如果传输中继站有问题则要停保护, 在 500 kV 系统中应用较多^[4]。近几年来随着数字通信技术的发展, 光纤通信得到广泛应用, 由于可靠性高, 抗干扰能力强, 传输数据量大, 电力系统继电保护中使用专用或复用光纤通道日益

增加。

本文分析了命令式通道的现状, 研究了采用起止式 RS-232C 异步串行口进行数字通信的纵联保护通道方案, 并结合相应保护装置的研制结果指出了这种通道方式下不同保护方案应用时应注意的问题。

2 命令式通道现状

电力线载波通信方式可以使用闭锁式或允许式, 这种通信方式在我国已沿用几十年。闭锁式一般使用专用收发讯机, 以 ON/OFF 键控方式将信号耦合在相地通道上, 发信、停信由继电器触点控制, 收信机收到对侧信号后也由继电器触点输出给保护。允许式使用最多的是复用通道方式, 由发信继电器以触点键控 FSK 调制方式的音频接口装置, 命令信号经相耦合载波通道传输, 或者由数字式音频话路接口在数字通信系统上传输。FSK 调制的音频接口装置最多可提供 4 路命令, 但不能同时传输, 只能单独发送。

由于通信技术的发展, 这种命令信号也可由数字接口装置, 通过 64kbit/s 数字通道传输。其传输同样由保护继电器触点键控, 收信继电器触点输出。

命令信号在载波通信中由通信装置在通道上以模拟信号传输, 易受干扰, 安全性差, 可靠性低, 由于由触点控制, 传输时间较长。一般地, 专用闭锁式通道方式传输加确认时间约 5~10 ms, 复用通道由于受音频带宽的限制, 时间更长, 约 13~15 ms (传输 10~12 ms + 确认 3 ms), 数字通道也在 3~6 ms。

这些时间加上继电器时间将更长。为传输一个命令,线路两侧都需要一整套信号传输、耦合设备,成本很高。

3 采用异步通信的通道方式

现代继电保护装置多基于微处理器,硬件资源丰富,一般具有多路通信口,在数字通信技术发达的今天,可以利用公用或专用数字通信系统直接传送和接收保护的逻辑命令。这种直接通信方式与电力线载波通信相比可靠性高,通信数据量大,通信环节少,成本低,缩短了通信时间,有利于提高保护的动作时间。

3.1 通信链路

数字通信系统无论是早期的 PDH 系统,即准同步系统,还是目前广泛使用的 SDH 系统,即同步系统,信息一般由低次群向高次群复接后传输,国际电信联盟 (ITU) 对灵活复接器提出了 G797 (PDH 系统) 和 G785 (SDH 系统) 建议,使复接具有规范性。低次群最基本的是一次群,对 PCM30/32 类型而言其速率为 2048 kbit/s,由每路速率 64 kbit/s 的同步数字通道构成。对于传输数据量大、传输速率要求高的通信,例如有同步要求的数字式电流纵差保护的电流数据传输,可以直接使用 64 kbit/s 数字口。而对于命令式纵联保护的命令传输,由于数据少,两侧数据不需要同步,因此可以采用低速率、异步通信方式,即采用 RS-232C 起止式异步串行通信。这种起止式异步数据复接至 64 kbit/s 同步数字口可以选择不同速率,如 9.6 kbit/s、19.2 kbit/s 等,而通信设备提供商也能够提供相应的复接模块。

RS-232C 是美国电子工业协会 (EIA) 对数据终端设备 (DTE) 和数据通信设备 (DCE) 制定的接口标准之一,称 EIA 标准。国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 对 DTE/DCE 接口也提出了 V 系列建议,规定了接口标准^[5],这些标准相互兼容,为本文的直接数字异步通信提供了保证。

现代保护均具有 RS-232C 串行通信口,逻辑命令可以直接通过该串口收发。RS-232C 采用电缆连接时的通信距离较短,一般只有几十米。处于同一变电站内的保护与通信终端一般不在一个建筑物内,往往保护安装在控制室,通信终端安装在通信室,中间有几十米至几百米的距离,考虑到电缆连接会受电磁干扰,并且当系统发生接地故障时电缆对地电位会增加,干扰信息正确传输,因此保护与通信终端间宜采用光纤连接。图 1 显示了这种用 RS-

232C 异步串行通信口进行直接数字逻辑通信的通信链路。

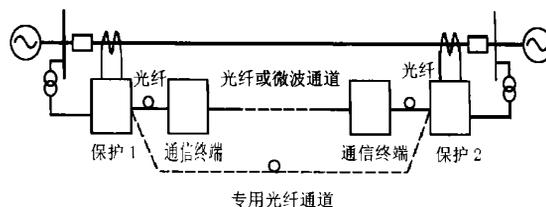


图 1 直接数字逻辑通信链路

Fig. 1 The link of direct digital logic communication

图 1 中两侧保护与各自的通信终端以光纤连接,可以采用多模光纤 (波长 0.8 μm) 或单模光纤 (波长 1.3 μm),一般无中继传输距离多模光纤可达 3~5 km,单模光纤可达 20~30 km。两个站之间经光纤或微波通道连接,可以与通信通道复用。当距离较短时,有条件时也可敷设专用光缆,不经通信终端由保护间直接相连。

3.2 帧格式

RS-232C 的起止式异步通信的报文一帧可以由多字节组成,每字节长 8~11 位,分别由起始位 (STR)、字节序码 (B)、数据 (DATA)、奇偶校验位 (P)、停止位 (STP) 构成。由于是点对点的异步通信,用于本文的这种通信方式报文不需要帧同步字节和地址码。考虑到逻辑命令传输的数据量及保护动作时间要求,报文长度不宜太长,宜采用有效信息长度为一字节 (8 位),通信速率 9.6 kbit/s 或 19.2 kbit/s 的通信方式。

报文的帧格式可以有不同种类,表 1 提供了其中一种方式。这里帧长度为两字节,字节有效信息包括 8 位信息位 (D1~D8)、6 位 CRC 校验码 (C1~C6)、字节序码 (B1、B2),每字节还包括起始位 (STR)、奇偶位 (P)、1~2 位停止位 (STP)。

表 1 两字节帧格式

Tab. 1 The frame of two bytes

STR	B1	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	P	STP
-----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	-----

STR	B2	D1	C6	C5	C4	C3	C2	C1	P	STP
-----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	-----

接收到的报文除做奇偶校验外,还做 6 位 CRC 校验,来检查位错误。C1~C6 是符合 HDLC 标准的 CRC 循环冗余检验码,可以采用如下的一般多项式形式^[5]:

$$g(x) = x^6 + x^5 + x^2 + 1 \quad (1)$$

式中 x 是信息码位值。受信侧保护对收到的

报文做上述检验,如果检查出错误,则舍弃该帧报文,继续接收下一帧报文。

4 性能分析

8 位信息的传输相当于常规载波通道同时收发 8 个命令,由于频率及带宽资源的限制,要在电力线载波通道中实现几乎不可能。如果 8 位信息在复用音频通道中采用编码传输,4.1 节的分析说明其传输时间之长将极大地延长保护动作时间。

4.1 传输时间

不同的通道方式,其传输时间不同。音频复用通道的传输时间一般为:3 ms 继电器动作时间 + 12 ms 音频设备传输时间 + 3 ms 确认时间 = 18 ms。

利用异步通信的直接数字通信方式,时间为:按 3.2 节的帧格式,一帧数据有 22 位,设传输速率是 9600 bit/s,需耗时为 $22/9600 = 2.3$ ms,发送与接收共 4.6 ms,考虑通道传输时间为 2 ms,8 位信息发、收共 6.6 ms。如果传输速率是 19.2 kbit/s,则发、收耗时为 $2 \times 22/19200 = 2.3$ ms,总时间为 4.3 ms。

如果 8 位信息由音频通道编码传输,由于模拟通道性能限制,其传输速率一般只有 1200 bit/s,则时间为: $22/1200 = 18.3$ ms,假设保护与音频传输设备间以 19.2 kbit/s 速率传输,发、收时间共 2.3 ms,则总传输时间为 20.6 ms。

显然,直接数字通信耗时少得多。

4.2 可靠性与安全性

数字通信系统以误码表征传输过程所发生的差错,CCITT 对标准数字假设参考连接(HRX)总的传输误码性能提出了 G821 建议,给出了误码率(BER)、劣化分(DM)、误码秒(ES)、严重误码秒(SES)等性能指标^[6],这里 HRX 表示一个 T 至 T 接口 27 500 km,64 kbit/s 电路交换连接。反映到一个长度 280 km 高级假设数字线路参考数字段,其误码性能指标配额为 0.45%,其中严重误码秒不大于 0.00045%,误码秒不大于 0.036%。我国电力行业对高级微波数字通道(2500 km)64 kbit/s 输出端的误码性能指标也提出了要求,规定任何月份 0.054% 以上时间的 1 s 平均误码率不大于 1×10^{-4} ^[7]。

以上指标反映了数字通道的误码允许程度,从中也可得到信道的可用时间指标^[6,7]。由于光纤通道具有很低的误码率,一般在 10^{-10} 以下,因此可以满足可靠性要求。微波通道虽然易受空间电磁波、天气等因素影响,但其影响一般呈现突发性特征,与

线路故障不相关,实践证明其可靠性可以满足要求^[4]。

对于保护利用数字通道进行通信的安全性,国际电工委员会(IEC)的 834-1 标准要求纵联保护信号出现错误码(某些信息位发生变化,变成另一有效的信息)的概率,闭锁式 10^{-4} ,允许式 10^{-7} ,直接跳闸 10^{-8} ^[8]。

因此有必要分析以 3.2 节帧格式传输 8 位有效信息的安全度。8 位信息有 256 种不同信号,6 位 CRC 不同种类为 64,显然 256 个信号中有 4 个产生同样的 CRC。当信息某些位跳变至另一具有同样 CRC 的信息时,就产生误检。另一种误检发生在信息位和 CRC 位同时跳变至另一有效的信息和对应的 CRC。

不难推算出 256 种信息码对应的按式(1)产生的 CRC 值,下面列出了其中一组值:

信息位	CRC 位
00000000	000000
01100101	000000
10101111	000000
11001010	000000

同一 CRC 值对应 4 种信息码,信息码的汉明距离(两个二进制序列间不同位的数目)有两种为 4,一种为 6,汉明距离越小,误检越易发生。6 位 CRC 的误检率可由下式表示:

$$P_{wj} = p^k (1-p)^{n-k} M/T \quad (2)$$

式中: p 是通道的误码率, k 是 CRC 无效时的最小位数, n 是被 CRC 校验的信息位数, M 是相同 CRC 组中最小汉明距离的数目, T 是最小汉明距离的 CRC 总数。

于是上述两种引起误检的错误所产生的误检率为:

$$P_{wj} = p^4 (1-p)^4 2/70 + p^4 (1-p)^{10} / 32 \quad (3)$$

式中:汉明距离为 4 的信号共有 70 个,每组 2 个,信息与 CRC 同时跳变到另一组的错误种类共 32 个。

于是可以得到不同误码率时的误检率:当 $p = 1 \times 10^{-2}$ 时, $P_{wj} = 5.57 \times 10^{-10}$; 当 $p = 1 \times 10^{-4}$ 时, $P_{wj} = 5.98 \times 10^{-18}$ 。按照文献[6]、[7]的误码率要求($p = 1 \times 10^{-4}$),采用本文的方法可以满足纵联保护的安全性要求。

5 实施方案及应注意的问题

基于这种异步通信数字通信通道的纵联保护装置已研制完成,经受了实时动态仿真设备(RTDS)的

试验,试验结果表明其动作时间比采用专用电力线载波通道的纵联保护缩短约 4~7 ms,在可靠性及安全性方面不低于后者。始于 2001 年 3 月在河北电网 500 kV 输电线路上的试运行也表明这种保护装置的安全性及可靠性可以满足要求。下面根据研制结果及这种通道的特点,对实现方式及保护方案作一些讨论。

5.1 实现方式

通信链路已在 3.1 节介绍,需要注意的是,保护装置的 RS-232C 电接口与光纤之间应该由转换器即光收发器连接。这种转换器(称光 Modem)必须实现信息的透明传输,运行可靠性应满足要求。因此此种转换器适宜直接安装在保护装置内部,而在通信终端侧可以安装在通信机架上。

这种转换器的 RS-232C 电接口应满足 EIA 或 CCITT 的 V 系列标准。从提高可靠性考虑,尽量不用外接电源,而采用通信口电源。由于大多数 RS-232C 串口只用到 TXD、RXD、GND 三个信号线,没有单独电源线,因此有必要采用能够从信号线上获得电源的光 Modem 技术。试验表明此种技术不影响正常通信。

5.2 保护方案

由于通道一次可以传输 8 位信息,因此纵联保护的方案可以有多种选择,针对不同的系统条件,这些方案可以单独采用,也可结合使用。

(a) 如果采用 OPGW 光纤通道(光纤安装在架空地线上),则传统的专用闭锁式及解除闭锁式纵联保护方式可以采用,因为若通道故障同时发生电力线故障,可以认为是区内故障。如果采用其他数字通道方式,则闭锁式不宜采用,因为当通道失效又有线路故障时,不一定是区内故障。事实上无论对闭锁式还是允许式,如果通信没有中断,则接收到的跳闸命令都可视作允许跳闸命令,只有在通信中断时,两者的逻辑才不一致。

(b) 允许式纵联保护,无论是欠范围式还是超范围式,采用专用数字通道或复用数字通道都有很高的安全性,尤其对于具有光纤或微波环路的数字通道,当使用的通道失效时,可以自动切换至另一通道,即有自愈功能。由于逻辑数据不需同步,这种通道切换容易实现,有影响的只是切换过程中的时延,而切换时同时发生输电线路故障的可能性极小,故其时延基本不会影响保护动作。

(c) 用于同杆双回线时有优越的性能。由于可以同时传输分相跳闸命令,因此对于同杆双回线中

发生的跨线或转换性故障可以实现选相跳闸。例如发生区内 I 回线 A 相跨 II 回线 B 相故障,I 回线传输 A 相跳闸命令,II 回线传输 B 相跳闸命令,不会导致三相跳闸。另外,如果向对侧传输本侧双回线的断路器位置状态,则有助于实现双回线的多相重合闸功能,实现线路准三相运行,这将有利于系统的稳定运行。

(d) 可以利用 8 位信息位中的一位来传输远方跳闸命令,接收到的远方跳闸命令通过独立的继电器触点提供给就地判别装置或跳闸装置。

6 结语

(1) 纵联保护采用基于异步通信的数字通信通道技术,可以满足闭锁式、允许式及远方跳闸纵联保护的安全性、可靠性等要求;

(2) 以 19.2 kbit/s 速率传输 8 位信息,两侧保护发、收总耗时约 4~6 ms,保护动作时间比采用电力线载波通道的纵联保护缩短约 4~7 ms;

(3) 8 位信息的同时传输,使多种保护方案可以结合使用,在用于同杆双回线时更具有优越性;

(4) 通信接口简单,环节少,通道成本低,可以适应多种数字通道。

参考文献:

- [1] 周玉兰. 1999 上半年我国电力系统继电保护运行情况[J]. 中国电力,2000,33(5): 50-53.
- [2] 赵曼勇,张葆红. 高压线路微机高频保护误动原因分析及对策[J]. 电力系统自动化,1999,23(1).
- [3] 赵志刚,曹树江,周纪录. 一种易被忽视的高频保护不正确动作原因分析[J]. 电网技术,1999,23(7).
- [4] 赵玉乃. 华北 500 kV 系统继电保护复用通道的实践[J]. 电力系统自动化,1999,23(13).
- [5] 陈永甫,谭秀华. 现代通信系统和信息网[M]. 北京:电子工业出版社,1996.
- [6] 邓忠礼,杜森,陈继努. 数字传输系统测试[M]. 北京:人民邮电出版社,1993.
- [7] 电力规划设计总院. 微波电路传输继电保护信息设计技术规定[Z]. 国家电力公司,1996.
- [8] IEC 834 - 1, Performance and Testing of Teleprotection Equipment of Power Systems. Part 1: Command Systems, 1996[S].

收稿日期: 2002-09-28

作者简介:

俞波(1963-),男,博士研究生,高级工程师,从事电力系统继电保护及变电站自动化的研究工作;

杨奇逊(1937-),男,教授,博士生导师,中国工程院院士,从事电力系统继电保护与自动化领域的研究和教学工作;

李国钧(1930-),男,高级工程师,从事电力系统电气设计工作。

The technology of channel for pilot protection using asynchronous communication

YU Bo¹, YANG Qi-xun¹, LI Guo-jun², HUANG Shao-feng³, QIN Ying-li³, ZHAO Zi-gang⁴

(1. Sifang Research Institute of North China Electric Power University, Beijing 100085, China; 2. Northeast Electric Power Design Institute, Changchun 130021, China; 3. Beijing Sifang Automation Co. Ltd., Beijing 100085, China; 4. Hebei Power Dispatching & Communication Bureau, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: This paper represents the analysis of the status of traditional commanding channels, studying of channel mode using direct digital logic communication based asynchronous communication for pilot protection, and the problems about its practice. The special channel or multi-channel using carrier wave by power lines, which has long transmission time and low reliability, and which is disturbed easily, is the one of main reason of incorrect performance of the protection relay. The direct digital logic communication, with RS-232C asynchronous communication mode, can transfer eight bits available information by digital special or multi-channel, and may integrate some protection schemes. It has some advantages, such as simpler interface, larger information transferred, shorter transmission time, lower cost. It may fit for different digital channel modes. The analysis and test shows that its security and reliability can meet the requirement of the pilot protection for blocking scheme, permission scheme and direct trip scheme.

Key words: pilot protection; digital communication; channel; optical fiber; asynchronous communication

(上接第 35 页)

基本构想:把铁磁谐振电路看作模糊控制对象,谐振电路的电压(或电流)作被控量,消谐电阻 R (或 L 、 C)为控制量,取控制对象的电压 u (或 i)与给定值 u_c (或 i_c)进行比较,将比较结果送入 Fuzzy 控制器,由 Fuzzy 控制器根据模拟控制规则调整消谐电阻 R (或 L 、 C)作用于被控对象,从而将被控对象,即谐振电路控制在非谐振状态。图 1 为消谐控制原理图。其中 Fuzzy 控制器是用计算机来模仿铁磁谐振问题专家、运行专家控制策略的一种智能型控制器。它的设计主要有以下两方面的内容:

- (1) 模糊化过程和控制规则表的形成。
- (2) 模糊控制查询表的生成。

需要说明的是,这里仅仅提出了用 Fuzzy 控制器实现消除铁磁谐振的构想,而模糊控制器的实现尚需做大量艰苦的探索研究。

5 结论

电力系统的铁磁谐振具有随机性和模糊性,因

此可以用 Fuzzy 理论来分析研究铁磁谐振问题。这是一种新的方法,具有重要的实际意义。

参考文献:

- [1] 夏承铨.非线性电路[M].北京:人民邮电出版社,1986.
- [2] Marti R. Ferroresonance in power systems:Fundamental solutions[J]. IEE PRICE EDING&C,1991:533-538.
- [3] 小本雅晴(日).模糊数学及其应用[M].天津:天津科技出版社,1983.
- [4] 秦祖泽.高压配电系统基波铁磁谐振的预测研究[J].湘潭大学自然科学学报,1997,22(3):107-110.

收稿日期: 2002-10-10; 修回日期: 2002-11-27

作者简介:

肖伟平(1959-),讲师,研究方向电力系统自动化、计算机控制;

秦祖泽(1963-),副教授,博士研究生,研究方向电力系统铁磁谐振、电力系统规划;

龙卫华(1964-),高级工程师,研究方向电力系统铁磁谐振、电力系统铁磁谐振。

Application of fuzzy theory to ferroresonance study in electric power systems

XIAO Wei-ping, QIN Zu-ze, LONG Wei-hua

(Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411101, China)

Abstract: According to fuzziness of ferroresonance in electric power systems and using Fuzzy theory, the possibility of ferroresonance resulting in electric power systems, influence factors and preventative steps are investigated. It is a new approach, which possesses important significance to supply and consummate the study on ferroresonance problem.

Key words: electric power systems; fuzziness; ferroresonance