

· 工程应用 ·

溪浙特高压直流工程 PROFIBUS DP 通信告警分析

曾丽丽

(许继电气股份有限公司,河南 许昌 461000)

摘要:溪浙特高压直流输电工程在调试期间频繁出现 PROFIBUS DP 通信误告警,该误告警由系统对报文心跳信号的检测引发。研究发现,溪浙工程的 PROFIBUS DP 为多环节非同步通信系统。心跳信号在多环节非同步系统的传递过程中被改变了时间窗,形成连续多帧有相同的心跳信号的报文,造成了 PROFIBUS DP 通信误告警。文章详细分析了心跳信号在多环节非同步系统中传递的特性,提出可行的解决方案。该研究方法对类同结构的通信系统问题分析有一定的借鉴作用。

关键词:高压直流输电;PROFIBUS DP;多环节非同步系统;心跳信号

中图分类号:TM721.1

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2017)02-0038-05

0 引言

溪浙特高压直流输电工程(溪浙工程)调试期间,直流站控系统频繁上报与现场层设备的 PROFIBUS DP 通信故障。经过多方的排查问题定位为在 DP 通信正常的情况下,在设定的检测时间内系统检测不到报文的有效心跳信号,因而报出 DP 通信故障。从总体情况来说这属于一种误告警。

溪浙工程的控制保护系统主要由运行人员控制层、控制保护层、现场设备层构成^[1-4],其中 DP 总线是连接控制保护层和现场层设备的通信总线^[5]。经研究发现,溪浙工程的 DP 通信由多智能非同步环节组成。在以往通信问题排查中,多数研究都集中在通信线路连接、通信协议、相关硬件的状态及通信配置等方面^[6],很少有针对通信中数据传递过程的研究。这方面的研究分析需要具备相应的专业知识,且需要对研究的控制平台系统软硬件设计有深入的了解^[7]。从查询的资料来看这方面的研究基本还处在空白阶段,可参考的资料和文献也比较少。

本文以溪浙工程 DP 通信误告警事件为引,通过对多环节非同步系统对心跳信号的影响做深入的研究和分析,来剖析系统 DP 通信误告警的原因。同时也希望这一研究对其他类似通信的设计和分析起到一定借鉴作用。

1 问题分析与定位

1.1 故障排查和分析

溪浙工程直流站控系统 DP 通信故障有如下特性:(1)故障通常持续 1 s 左右后自行恢复;(2)故

障为单方面的 DP 通信故障告警,即在 DP 主站(直流站控系统)监测到 DP 故障告警,而 DP 从站(测控装置)未监视到对应的 DP 通信故障。经 DP 监视仪及其他调试设备对报文进行监测,在故障报警期间,双向 DP 通信均正常,且并未出现“真正的 DP 故障”。

1.1.1 DP 通信心跳信号分析

PROFIBUS DP 是一种应用成熟的高速现场总线技术。它采用主从通信的方式,对一定配置的系统具有通信时间稳定等特性,在工业及电力等行业被广泛使用^[8]。在溪浙工程中,除开 DP 协议自身的检测外系统还通过应用层报文的心跳来对报文进行监测。具体检测机制如图 1 所示。双方的 DP 报文中,控制字 1 的最后 2 位为报文的心跳位。规则如下:

(1)有效心跳值为 01 和 10;

(2)心跳由 DP 主站发起,心跳值按发送周期在 01/10 间变化;

(3)DP 从站接收主站报文,如果在设定时间内心跳值没有在 01/10 间变化,则 DP 从站认为 DP 通信故障;

(4)DP 从站将接收到的心跳值返送主站,如果在设定时间内主站接收的心跳值没有在 01/10 间变化,则主站认为 DP 通信故障。

1.1.2 DP 通信心跳检测的作用

在通信领域中,心跳检测是一种常用的报文活动性检测方式,在端对端系统中,任何一个环节的心跳信号故障都能在末端被检测出来,因而非常适合用于多传输环节报文的有效性检测。溪浙工程的 DP 通信由多环节组成,具体组成如图 2 所示。在这多个环节中 DP 通信协议的有效检测范围是从

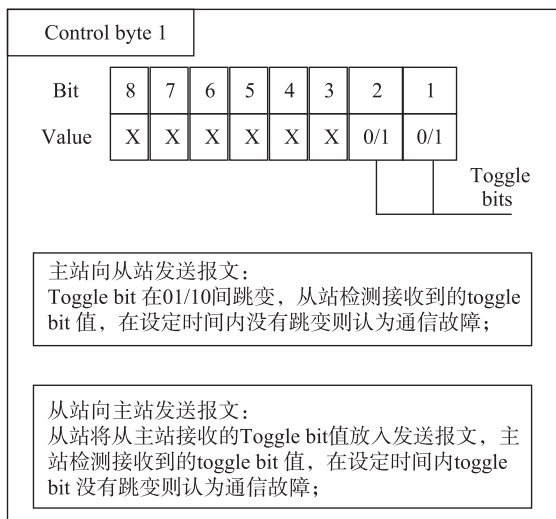


图 1 DP 主从系统对心跳信号的检查逻辑

Fig.1 DP heartbeat check logic

ECM 板卡的 ASIC 芯片到 COMM 板卡的 ASIC 芯片范围,如图 2 红框部分。而心跳信号检测则覆盖了整个数据传输环节,是对 DP 通信协议检测的良好补充。

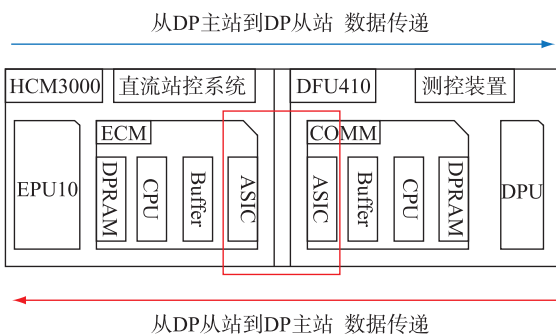


图 2 DP 主站到 DP 从站的数据传递环节

Fig.2 Data transfer links between DP master and DP slave

2 多智能环节非同步系统数据传递研究

2.1 同步与异步传输特性

在控制保护系统中,通信通常不是点到点的直接传递,而是有多个中间智能传递环节。智能传递是指数据传递不仅是物理接口间的传递,而是要通过有 CPU, ASIC, FPGA 等具有处理能力芯片的处理和传递。在本文不对这种通信方式的优缺点及其他特性进行探讨,而专注研究多智能传递环节给“DP 通信心跳告警”问题所产生的影响。

当 2 个系统为同步系统时,其数据经过适当处理可以完成同步传递——即完成一比一的传递,数据不会增加,也不会丢失,同时还保持着基本一样的时间窗特性。当 2 个系统为非同步系统时,系统间的数据传递特性就相对复杂。数据由快速系统传递给慢速系统,数据有丢失的可能,如图 3 所示。慢速系统因为处理速度跟不上,因而造成部分数据

的丢失。如 25 ms 快速系统将数据传递到 40 ms 慢速系统时,第 1,3,6 帧数据被丢失。在某种特殊情况下,比如慢速系统的执行速度是快速系统的 2 的 N 次方倍(N 为大于等于 1 的整数),对应本文研究的进行 01/10 跳变的心跳信号,在经过传递后就有可能一直为 01 或一直为 10。

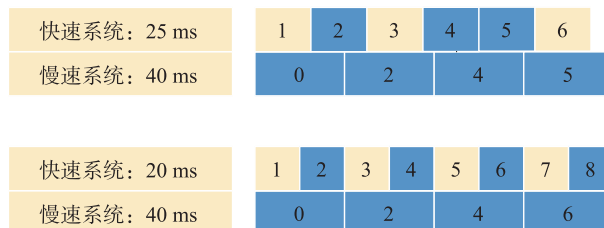


图 3 快速系统到慢速系统的数据传递

Fig.3 Data transfer from fast system to slow system

慢速系统数据传递给快速系统,数据会发生重叠,在这种传递中一般不会造成数据丢失,但因为 2 个互相传递的系统的时间窗特性不同,在进行数据传递后,接收方的数据的时间窗特性相对发送时的数据时间窗特性可能会发生变化。如图 4 所示,40 ms 慢速系统将数据传递到 25 ms 快速系统时,报文 1 的数据时间窗由 40 ms 变成了 25 ms,报文 2 的时间窗由 40 ms 变成了 50 ms。

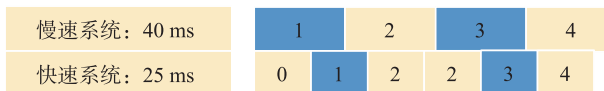


图 4 慢速系统到快速系统的数据传递

Fig.4 Data transfer from slow system to fast system

在 DP 数据的传输中,以上 2 种方式都会造成报文心跳信号时间窗的改变,使原始的按 01,10 规律跳变的心跳信号排列发生变化。

2.2 溪浙问题分析

溪浙工程的 DP 通信中多智能环节的组成如图 2 所示。智能传递环节从 DP 主站到从站分别由 EPU10, ECM - CPU, ECM - ASIC, COMM - ASIC, COMM-CPU, DPU 这 6 个环节组成,从 DP 从站到主站则按反序进行数据传递。经多方测试和数据收集,故障发生系统的多个环节运行特性如表 1 所示。

表 1 中的时间为系统运行的理想周期时间,实际数据交换的时间值会有波动。ECM-CPU 为循环执行任务,任务执行时间波动稍大,25 ms 为一个中间值。ECM-ASIC 到 COMM-ASIC 为同步方式,执行时间与系统配置的 DP 从站数量及报文长度相关,在本例中,其执行时间为 30 ms 左右,但如果实际挂接的 DP 从站数不同,该时间会稍有变化。

表 1 不同环节间的运行特性

Table 1 The run character of different link

传递环节	特性	时间 t
EPU10 到 ECM-CPU	异步,慢到快	40 ms 到 25 ms
ECM-CPU 到 ECM-ASIC	异步,快到慢	25 ms 到 30 ms
ECM-ASIC 到 COMM-ASIC	同步	30 ms
COMM-ASIC 到 COMM-CPU	异步,慢到快	30 ms 到 4 ms
COMM-CPU 到 DPU	异步,快到慢	4 ms 到 12 ms
DPU 到 COMM-CPU	异步,慢到快	12 ms 到 4 ms
COMM-CPU 到 COMM-ASIC	异步,快到慢	4 ms 到 30 ms
COMM-ASIC 到 ECM-ASIC	同步	30 ms
ECM-ASIC 到 ECM-CPU	异步,慢到快	30 ms 到 25 ms
ECM-CPU 到 EPU10	异步,快到慢	25 ms 到 40 ms

图 5 为溪浙工程直流站控系统 DP 心跳信号传递特性分析图。图 5 中,纵栏为 DP 数据从主站到从站再回到主站的各个传递环节;横栏为数据传递的时间轴;以 EPU10 为起始,EPU10 按 40 ms 周期发起按 01,10 交替变化的心跳信号,图中蓝色代表 01 的心跳信号,黄色代表 10 的心跳信号。DP 心跳信号在传递的过程中,其所占据的时间窗特性发生了变化:从 ECM-CPU 到 ECM-ASIC(快速任务到慢速任务),部分报文传递丢失造成心跳时间窗发生大的改变,在大约 280 ms 的时间点 ECM-ASIC 丢失了一个 10 心跳报文,形成 120 ms 时间窗的连续相同心跳信号的报文组;当数据最终传回 EPU10 时,10 心跳报文由原始发出的 6 帧报文减少到了 3 帧报文,丢失了 3 帧,使在 500 ms 时间窗内,形成 2 次连续 3 帧(120 ms)心跳信号相同的报文。

实际的运行中,每个传递环节读写数据的时间点并不完全是等周期间隔。假设在 EPU10 读取数据的环节,360 ms 节点的任务被推迟到 380 ms 运行,则这时读取的报文的心跳信号由 10 变为 01,形

成连续 7 帧(280 ms)心跳完全一样的报文。

现场监测的不同环节 DP 心跳信号特性如表 2 所示。随着通信数据在各智能环节中的传递,心跳信号由发送方 40 ms 的 01/10 规律跳变,逐渐出现有多组连续报文(120 ms)为相同心跳信号的现象。

表 2 心跳信号在不同传递环节中的特性

Table 2 The heartbeat signal character of different link

传递环节	心跳特性	时间/ms
主到从:EPU10	01/10 交替跳变	40
主到从:ECM-CPU	偶尔有连 2 次 01 或 10	50
主到从:ECM-ASIC	偶尔有连续 4 次 01 或 10	120
主到从:COMM-ASIC	偶尔有连续 4 次 01 或 10	120
主到从:COMM-CPU	偶尔有连续 30 次 01 或 10	120
主到从:DPU	偶尔连续 10 次 01 或 10	120
从到主:DPU	偶尔连续 10 次 01 或 10	120
从到主:COMM-CPU	偶尔连续 4 次 01 或 10	120
从到主:COMM-ASIC	偶尔连续 4 次 01 或 10	120
从到主:ECM-ASIC	偶尔连续 4 次 01 或 10	120
从到主:ECM-CPU	偶尔连续 5 次 01 或 10	125
从到主:EPU10	偶尔连续 3 次 01 或 10	120

以上对 DP 多环节数据传递的分析结果与现场测试的各传递节点的报文特性非常吻合。可以认为,在通信都正常的情况下,因为 DP 的数据传递经过了多个不同执行周期的非同步传递环节,造成报文的关键检测信号——心跳信号的丢失和时间窗的改变,心跳信号从开始的按 40 ms 周期交替变化的 01/10 信号,变成时间窗不等的非规律交替变换的心跳信号,环节越多,信号越没有规律。在某些的条件下,形成连续多帧报文有相同心跳信号的情况。当这种连续心跳相同的报文帧出现的持续时间超过设置的检测时间时,系统判定 DP 通信故障,因而误发出 DP 通信故障的告警。出现能引发 DP

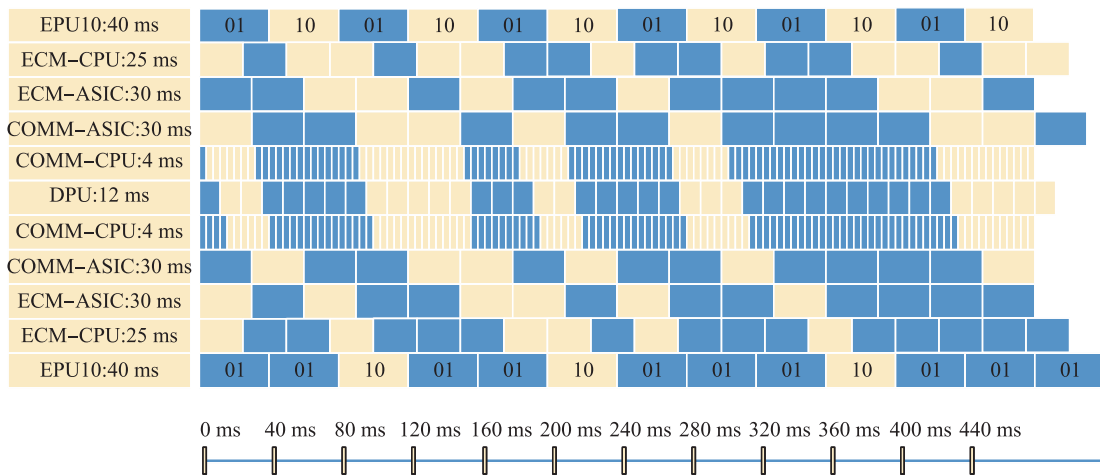


图 5 溪浙工程“直流站控系统”DP 主站到 DP 从站的多智能非同步环节心跳信号传递的特性分析图

Fig.5 The heartbeat signal character of “DC station control system” in Xizhe HVDC project

故障告警的报文特性的几率并不是特别高,因而一般在出现误告警后,因为后续的心跳检测都正常,故告警维系正常检测时间后就复归正常。这也和溪浙工程的“DP 误告警”的状态相一致。

2.3 问题扩展研究

系统增加了另外一些测试项,发现当改变某一非同步传递环节的传递时间周期参数后,心跳信号的时间窗特性也会发生大的改变,在某些测试条件下当心跳信号最终传递回 EPU10 时,甚至能完美地还原心跳信号 01/10 的交替间隔的特性。

以溪浙工程不同 DP 通信系统为例,各子系统配置不同数量的 DP 从站,不同数量的 DP 从站改变了 DP 总线的通信时间^[9-15],使 ECM-CPU 及 ECM-ASIC 环节的运行时间各有差异,因而心跳信号最终的表现也不尽相同。表 3 列出了溪浙工程各子系统配置的 DP 从站的个数及对应的 ECM-CPU, ECM-ASIC 环节的运行时间特性。

表 3 溪浙工程子系统 DP 从站数量及时间特性
Table 3 DP slave's number and time character in Xizhe HVDC project

子系统	DP 从站数量/台	ECM-CPU 周期/ms	ECM-ASIC 周期/ms
直流站控	45	25	30
交流站控	30	16	20
站用电	23	12	15
阀组控	8	4	5
极控	1	1	0.7

图 5、图 6 和图 7 分别是直流站控、交流站控和站用电系统 DP 心跳信号传递特性分析简图。从图 5 可以看出,直流站控系统心跳信号的时间窗在 ECM-ASIC 环节变化最大,最长的连续心跳时间为 120 ms。对比同样的 ECM-ASIC 环节,图 6 所示的

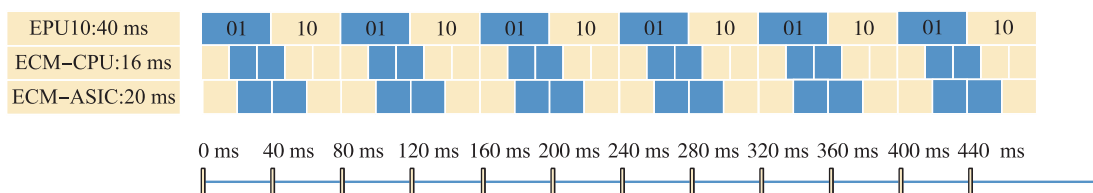


图 6 溪浙工程“交流站控系统”DP 主站到 DP 从站的多智能非同步环节心跳信号传递的特性分析图

Fig.6 The heartbeat signal character of “AC station control system” in Xizhe HVDC project

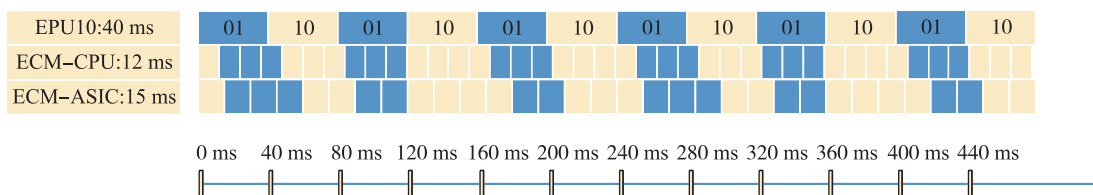


图 7 溪浙工程“站用电系统”DP 主站到 DP 从站的多智能非同步环节心跳信号传递的特性分析图

Fig.7 The heartbeat signal character of “station power system” in Xizhe HVDC project

交流站控系统中报文帧均没有丢失,心跳信号仍按 40 ms 的时间进行翻转。在图 7 所示的站用电系统中报文帧也没有丢失,但心跳时间窗有所变化,最大的心跳时间窗为 60 ms。这 3 个系统中,直流站控心跳信号在 ECM-ASIC 改变最大,连续相同时间最长,导致在相同的硬件体系中直流站控系统误报 DP 故障几率更大。因目前研究的数据和手段有限,还不能有效总结出各环节执行时间对心跳信号影响的规律性,具体规律还有待后续研究。

3 优化及改进方案

从上文的分析可知溪浙工程直流站控系统 DP 通信误告警的原因由心跳信号传输特性造成,在某些条件下 DP 主站会接收到连续多帧时间窗超过设定故障检测时间的心跳信号相同的报文,因而报出 DP 通信故障。根据现场的故障现象及实验结果,可以有以下几种优化方案。

(1) 适当延长对心跳信号的故障判别时间,避开对 DP 通信故障的误判区域。

(2) 改变心跳信号的特性。在本文所讨论的系统中,心跳信号由 01, 10 2 个交替变化的值组成,2 个值丢 1 个就容易形成连续相同的心跳信号的报文帧。后续升级设计可考虑扩展有效心跳信号值的数量,比如扩成 4 个或更多的值作为有效心跳信号,这样即使中间丢失一些报文仍可避开连续多帧为同一个心跳信号的情况,从而避免心跳状态误判。这种方案在其他通信方式中已采用,效果良好。

(3) 改变 DP 从站的配置数量来达到避开系统易发生故障误判的耦合时间点。

考虑工程实际实施的可行性、时间性等因素,溪浙工程采用第一种改进方案。经过参数修改后观

察溪浙工程直流站控 DP 系统运行正常,不再误报 DP 通信故障。

4 结语

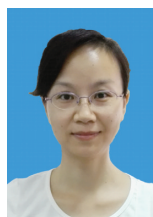
通过大量研究和分析,本文找出了溪浙工程直流站控系统误报 DP 通信故障的原因。DP 通信的多环节非同步数据传递及直流站控系统一定数量的 DP 从站配置,在一定的任务执行时间特性下使心跳信号通过多环节传递后,因部分帧的丢失及时间窗的改变而形成多帧连续相同心跳的报文。相同心跳报文帧出现的持续时间超过设置的心跳故障检测时间时,就会引发 DP 通信故障误判。

在直流输电控制保护系统中,除开 PROFIBUS DP 外还有多种通信系统也为多环节非同步数据传递系统。通过上文分析可知,多环节非同步数据传递在一定条件可能会造成报文的丢失或时间窗的改变,继而会影响报文的传输特性。因而在设计通信系统时,除考虑总线本身的协议外,还需考虑多传递环节对报文产生的可能影响,从系统设计的角度来规划和把关,满足通信在系统中的应用需求。

参考文献:

- [1] 中国南方电网超高压输电公司. 高压直流输电现场实用技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008: 3-8.
China Southern Power Grid EHV Transmission Companies. HVDC field technology questions and answers[M]. Beijing: China Electric Power Publishing House, 2008: 3-8.
- [2] 赵婉君, 谢国恩, 曾南超, 等. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 91-94.
ZHAO Wanjun, XIE Guoen, ZENG Nanchao, et al. HVDC engineering technology[M]. Beijing: China Electric Power Publishing House, 2004: 91-94.
- [3] 陶 瑜, 韩 伟. 高压直流输电控制保护技术及其应用[J]. 电力设备, 2004, 05(11): 4-8.
TAO Yu, HAN Wei. HVDC transmission control and protection technology and its application[J]. Power Equipment, 2004, 05(11): 4-8.
- [4] 石 岩, 韩 伟, 张 民, 等. 特高压直流输电工程控制保护系统的初步方案[J]. 电网技术, 2007, 31(2): 11-15.
SHI Yan, HAN Wei, ZHANG Min, et al. A preliminary scheme for control and protection system of UHVDC project[J]. Power System Technology, 2007, 31(2): 11-15.
- [5] 傅亚光, 杨亚璞, 曾丽丽, 等. 基于 PROFIBUS DP 总线的换流站测控装置研制[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(19): 118-124.
FU Yaguang, YANG Yapu, ZENG Lili, et al. Development of measurement & control device based on PROFIBUS DP for converter station[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(19): 118-124.
- [6] 金 鑫. 高压直流输电系统极控信号通信网络可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(12): 110-116.
JIN Xin. Reliability analysis on HVDC pole control signal transmission network[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(12): 110-116.
- [7] 王海军. 云广特高压直流输电工程直流保护功能分析及典型故障研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
WANG Haijun. Analysis of DC protection and typical faults in Yun Guang UHVDC project[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [8] 张志学, 肖志怀, 李朝晖. PROFIBUS 总线技术介绍[J]. 电站系统工程, 2001, 17(5): 6-8.
ZHANG Zhixue, XIAO Zhihui, LI Chaohui. Introduction of PROFIBUS bus technology[J]. Power System Engineering, 2001, 17(5): 6-8.
- [9] 刘素英. 基于 PROFIBUS 总线的单主 PLC 控制系统实时性能研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
LIU Suying. The real-time performance of PROFIBUS bus based on single PLC control system[D]. Xi'an: Xi'an Electronic and Science University, 2009.
- [10] 谢 飞, 张 华. 基于 PROFIBUS-DP 总线的 PLC 控制系统实时性能研究[J]. 工业控制计算机, 2011, 24(6): 100-101.
XIE Fei, ZHANG Hua. Real-time performance of PLC control system based on PROFIBUS-DP bus[J]. Industrial Control Computer, 2011, 24(6): 100-101.
- [11] TOVAR E, VASQUES F. Guaranteeing real-time message deadlines in PROFIBUS networks[C]. Real-Time Systems, 1998. Proceedings. Euromicro Workshop on. IEEE, 1998: 79-86.
- [12] TOVAR E, VASQUES F. Cycle time properties of the PROFIBUS timed-token protocol[J]. Computer Communications, 1999, 22(13): 1206-1216.
- [13] LEE K C, LEE S, MAN H L. Remote fuzzy logic control of networked control system via profibus-DP[J]. Industrial Electronics IEEE Transactions on, 2003, 50(4): 784-792.
- [14] LANGE R, VASQUES F, Portugal P, et al. Guaranteeing real-time message deadlines in the flexray static segment using a on-line scheduling approach[C]. IEEE International Workshop on Factory Communication Systems. IEEE, 2012: 301-310.
- [15] ALVES M, TOVAR E. Engineering PROFIBUS networks with heterogeneous transmission media[J]. Computer Communications, 2006, 30(1): 17-32.

作者简介:



曾丽丽

曾丽丽(1975—),女,广西靖西人,高级工程师,从事高压直流输电控制保护平台技术研究和开发工作。

(下转第 98 页)

- GUO Jiwei, CAI Guilong. Development of electrical equipment condition monitoring and fault diagnosis system[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2002, 21(1): 19-21.
- [14] 金逸, 刘伟, 查显光, 等. 智能变电站状态监测技术及应用[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(2): 12-15.
- JIN Yi, LIU Wei, CHA Xianguang, et al. Status monitoring technology and application of intelligent substation[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2012, 31(2): 12-15.
- [15] 吴晨曦. 扬州智能电网输变电状态监测系统应用研究[J]. 江苏电机工程, 2013, 31(6): 43-46.
- WU Chenxi. Application of yangzhou smart grid transmission and transformation status monitoring system[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2013, 31(6): 43-46.
- [16] 井永腾, 李岩. 高压自耦变压器的涡流损耗计算与屏蔽措施[J]. 高电压技术, 2012, 38(8): 1988-1994.
- YING Yongteng, LI Yan. Calculation of eddy current loss and shielding measures of high voltage autotransformer[J]. High Voltage Technology, 2012, 38(8): 1988-1994.
- [17] 赵志刚, 程志光, 刘福贵, 等. 基于漏磁补偿的变压器结构件损耗与磁通分布研究[J]. 高电压技术, 2014, 40(6): 1666-1674.
- ZHAO Zhigang, CHENG Zhiguang, LIU Fugui, et al. Study on loss and flux distribution of transformer structures based on magnetic flux leakage compensation[J]. High Voltage Technology, 2014, 40(6): 1666-1674.

作者简介:



陆云才

陆云才(1982—),男,江苏如皋人,高级工程师,从事电力设备状态评估技术研究工作;

胡汉巧(1980—),男,江苏常州人,工程师,从事电网运维管理、工程验收管理等工作;

蔚超(1985—),男,山东莱芜人,工程师,从事电力设备状态评估技术研究工作;

李建生(1987—),男,山东潍坊人,工程师,从事电力设备状态评估技术研究工作;

吴鹏(1984—),男,河南洛河人,高级工程师,从事电力设备状态评估技术研究工作。

Development and Application of Transformer Intensive Care System Based on Ultrasonic Method

LU Yuncai¹, HU Hanqiao², WEI Chao¹, LI Jiansheng¹, WU Peng¹

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company Maintenance Branch, Nanjing 211102, China)

Abstract: Ultrasonic testing technology for transformer partial discharge as an effective insulation diagnosis technology, has been widely used in UHV substation. By reference to intensive care technology, the transformer intensive monitoring system based on ultrasonic method is developed and applied in the transformer equipment with hidden trouble or emergency shutdown. Based on the characteristic data of partial discharge ultrasonic signal, this system combines real-time data of on-line or off-line characteristic data, such as DGA and SCADA operation load. Data fusion method is adopted to detect and locate the partial discharge source in real time. The field application shows that the system can detect the internal discharge fault of the transformer, providing effective support for the diagnosis and maintenance strategy of transformers.

Key words: transformer; partial discharge; ultrasonic; intensive care; location

(编辑 刘晓燕)

(上接第42页)

Analysis of PROFIBUS DP Alarm in Xizhe HVDC Project

ZENG Lili

(XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: In Xizhe HVDC project the PROFIBUS DP communication false alarm occurs frequently, which is triggered by the detection of the heartbeat signal. It is found that the PROFIBUS DP communication system is a multi-link asynchronous system. The time window of the heartbeat signal is changed by the data transfer in the multi-link asynchronous system, and the continuous multi-frame has the same heartbeat signal, which causes the false alarm of PROFIBUS DP. In this paper, the characteristics of heartbeat signal transmission in multi-link asynchronous system are analyzed in detail. The research method can be applied to similar structure communication systems.

Key words: HVDC; PROFIBUS DP; multi-link asynchronous system; heartbeat signal

(编辑 徐林菊)