

智能牵引变电所网络化自投功能研究与应用*

高黎明

(中铁第四勘察设计院集团有限公司,湖北 武汉 431000)

摘要:针对电气化铁路智能牵引变电所发生进线电源失压或牵引变压器故障,备用进线电源与备用牵引变压器自动投入问题,提出了基于GOOSE与SMV的网络化自投方案。将自投程序固化至2台既有主变测控装置,装置与装置之间、装置与智能组件之间通过GOOSE信号传递闭锁信号、开关分合闸信号或开关位置信号;合并单元通过SMV向装置传递电压、电流等模拟量。运行牵引变压器侧的主变测控装置作为自投的主用装置,另一台主变测控装置作为自投备用装置,确保自投功能顺利实现。现场试验结果验证了方法的有效性与正确性。

关键词:自投;网络化;GOOSE信号;SMV信号

中图分类号:TN919.3;TM726.1

文献标识码:A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.212476

中文引用格式:高黎明.智能牵引变电所网络化自投功能研究与应用[J].电子技术应用,2022,48(5):76-78,83.

英文引用格式:Gao Liming. Research and application of networked auto switch function of intelligent traction substation[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(5): 76-78, 83.

Research and application of networked auto switch function of intelligent traction substation

Gao Liming

(China Railway Fourth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan 431000, China)

Abstract: Aiming at the problem of auto switch of emergency incoming power supply and standby traction transformer in the intelligent traction substation of electrified railway due to voltage loss of incoming power supply or fault of traction transformer, a networked auto switch scheme based on Goose and SMV is proposed. The auto switch program is solidified to two existing traction transformer measurement and control devices. Locking signal, switch opening and closing signal or switch position signal are transmitted between devices and between devices and intelligent components through Goose. The merging unit transmits analog quantities such as voltage and current to the device through SMV. The traction transformer measurement and control device at the side of the running traction transformer is used as the main device for auto switch, and the other traction transformer measurement and control device is used as the standby device to ensure the successful accomplishment of auto switch function. The field test results verify the effectiveness and correctness of the method.

Key words: auto switch; networked; GOOSE; SMV

0 引言

近年来,我国高速铁路建设取得了巨大成就,人们对高速铁路的发展也提出了更高的要求。高速铁路一般为电气化铁路,电气化铁路的牵引供电系统主要由牵引变电所与牵引网两部分组成,一旦发生故障,会中断对机车供电,动车组失去动力来源,停止运行,造成乘客滞留,严重扰乱正常的运输秩序^[1-3]。因此,作为牵引供电系统核心部分的牵引变电所,其继电保护的配置必须合理、规范和准确。保护的可靠性关系到牵引供电系统的安全,将直接影响电气化铁路的运营状况。

牵引变电所内设置有一主一备2台牵引变压器以及对应的2路进线电源,采用2台主变测控装置分别采集进线电源的电压、电流及对应进线的隔离开关、断路器等开关量,同时实现对相应开关的控制分合闸,需要采用大量的二次电缆实现硬线连接。同时,传统的综合自动化系统在发生进线失压或牵引变压器故障时,通过设置自投装置实现进线或牵引变压器的自动投切,投入备用进线或牵引变压器,保证牵引变电所的安全供电。自投装置同样需要采用大量的二次电缆,采集开关量、电气量、保护动作信号等,进行逻辑编程,控制分合与自投相关的开关,从而实现备用电源及牵引变压器自动投切功能,但大量的二次电缆容易造成接线错误,导致装

*基金项目:国家自然科学基金项目(51777174);四川省科技计划项目(2019YJ0226)

置误动或拒动^[4-5]。

智能牵引变电所由智能化一次设备和网络化二次设备分层构建,建立在 IEC61850 通信规范基础上^[6],能够实现变电所内智能电气设备间信息共享与互操作,基本特征为一次设备智能化、二次设备网络化、站内通信光纤化、运行管理自动化。IEC61850 提出的通用面向对象变电站事件(Generic Object Oriented Substation Event, GOOSE)传输机制可以实现快速、安全的数据交换。GOOSE 可以实现保护跳合闸、遥控跳合闸及遥信量的传输^[7-8]。自投功能必需的开关控制分合闸命令、开关位置信号与联锁信号采集等均可通过 GOOSE 实现。电压、电流等模拟量通过过程层的 SMV(Sampled Measured Value)报文传输^[9-10],以采集自投功能所需的电源电流和电压等模拟量作无流有压判断。

本文针对智能牵引变电所的特点,提出了基于 GOOSE 与 SMV 实现自投功能的方案。该方案在变压器故障或进线电源失压时,自动实现变压器与进线电源的投切,保证牵引变电所的供电安全,方案的有效性正确性得到了现场试验验证。

1 传统综合自动化系统自投功能缺陷

传统综合自动化系统在牵引变电所内设置专用的自投装置,采集供电电源及备用电源的电流、电压、开关位置、合后状态等信号,根据自投方式和逻辑,关合或开断相应断路器、隔离开关,维持电源供电。传统的自投装置利用二次电缆从变电所获取电压、电流、开关位置等信息,从其他装置获取闭锁信号,通过电缆传送分合闸命令,接线十分复杂,容易出现 TA 开路、TV 短路、直流接地等故障。当变电站需要扩建线路间隔或对自投方式更改时,需要重新敷设电缆、改造自投装置,自投装置同调度、后台之间的通信也需要调整,既加大了投资,又延长了改造周期,不能适应新的变电站自动化模式。

传统综合自动化系统自投方案存在上述缺陷的主要原因是:保护装置之间不能交换信息^[11],各保护装置只能各自分合断路器与隔离开关,并采集相对应的开关位置信息。基于 IEC61850 标准的智能保护装置之间可以通过 GOOSE 传递信息,能够快速地向其他装置发出闭锁信号、保护联跳或开关分合闸信号,通过 SMV 传递电压、电流等模拟量,从而通过网络信息交互代替传统的电缆连接,使基于通信方式的自投功能实现成为可能。

当自投利用 GOOSE 实现时,可能通过网络信息交互代替传统的电缆连接,适应数字化变电站的要求。变电站自动化系统按照 IEC61850 通信标准进行建模和信息传输,通过 GOOSE 传输机制实现快速、安全的数据交换。由于 GOOSE 只能传输开关量信号和跳闸信号,不能传输模拟量数据,而传统的自投装置需要采集电源电流

和电压等模拟量作无流有压判断,必须根据智能变电站的特点作相应的调整,采用 SMV 传递电压、电流等模拟量,从而在智能牵引变电所中实现自投功能。

2 基于 IEC61850 的变电所自投方案研究

牵引变电所主接线图如图 1 所示,需要配置的保护装置与该装置应该完成的功能如表 1 所示。

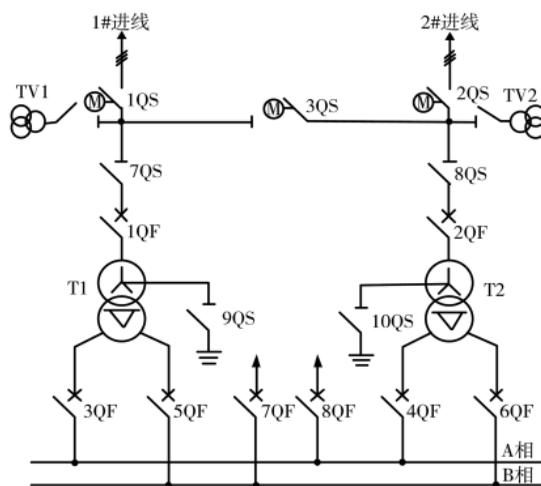


图 1 牵引变电所主接线图

表 1 保护装置配置与功能

序号	配置装置	完成功能
1	1# 主变保护装置	完成 1# 牵引变压器的保护
2	1# 主变测控装置	完成 1# 进线电源的综合测量与相关开关分合闸控制
3	1# 进线合并单元	完成 1# 进线电压、电流采集
4	2# 主变保护装置	完成 2# 牵引变压器的保护
5	2# 主变测控装置	完成 2# 进线电源的综合测量与相关开关分合闸控制
6	2# 进线合并单元	完成 2# 进线电压、电流采集
7	智能组件	完成对相应断路器与隔开的分合闸操作

基于 IEC61850 的变电站自动化系统采用分层分布式结构,由站控层、间隔层和过程层组成,分层结构示意图如图 2 所示。

站控层由一体化当地监控单元、远动通信单元、时钟同步单元构成;间隔层由保护装置、测控装置等单元构成,装置之间通过 GOOSE 交互信息;过程层由合并单元、智能组件等构成,合并单元通过 SMV 向保护装置传递信息,智能组件通过 GOOSE 与保护测控装置传递信息。

自投程序固化在两台主变测控装置中,由主变测控装置完成自投功能。在自投功能启动前,两台主变测控装置先对当前运行方式进行识别:

(1)运行方式 1:本侧进线受电,本侧变压器运行,对侧进线、对侧变压器备用;

(2)运行方式 2:本侧进线受电,对侧变压器运行,对侧进线、本侧变压器备用;

(3)运行方式 3:对侧进线受电,本侧变压器运行,本

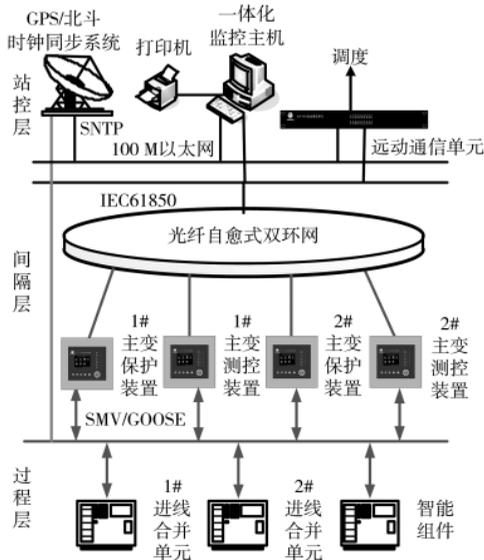


图2 智能变电站自动化系统分层结构示意图

侧进线、对侧变压器备用；

(4)运行方式4:对侧进线受电,对侧变压器运行,本侧进线、本侧变压器备用。

若一台装置识别出运行方式1,对应地另一台装置将识别出运行方式4;若一台装置识别出运行方式2,对应地另一台装置将识别出运行方式3。将变压器运行侧主变测控装置设定为主用,备用侧主变测控装置设定为备用。也即,识别出运行方式1与运行方式3的主变测控装置主用,当收到进线失压或变压器故障信息时,进入自投状态,完成自投功能。只有当主用自投装置出现故障,备用自投装置立即进入自投状态,替代主用装置,完成自投功能。

备自投动作序列遵循的原则是:先合隔离开关,后合断路器;先分断路器,后分隔离开关;先合高压侧开关,后合低压侧开关;先分低压侧开关,后分高压侧开关。

3 试验验证

针对本文提出的自投方案,课题组于2021年8月24日在赣深高铁博罗北牵引所进行了现场试验,验证了方案的有效性与正确性。博罗北牵引所没有设置变压器中性点接地隔离开关,即图1中的9QS与10QS没有,7QS与8QS为手动隔离开关,处于常合位。当1#进线带1#变压器运行,2#进线与2#变压器备用,1#进线失压时,变电所1#主变测控装置作为自投主装置,记录的自投流程如图3所示(事件记录按时间顺序从下往上看)。

其中高压侧断路器为图1中的1QF,低压侧a相断路器为图1中的3QF,低压侧b相断路器为图1中的5QF。1#进线失压启动自投,自投成功后,由原来的1#进线带1#变压器运行,变成2#进线带1#变压器运行。

2#进线带1#变压器运行,1#进线与2#变压器备用,1#变压器故障时,变电所1#主变测控装置作为自投主装置,记录的自投流程如图4所示(事件记录按时间顺序从下往上看)。

1号主变测控装置	2021-08-24 12:13:11.921	0ms	备自投成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:13:11.921	0ms	合低压侧b相断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:13:10.921	0ms	合低压侧a相断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:13:09.921	0ms	合高压侧断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:13:08.920	0ms	合开关3QS成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:13:02.920	0ms	合开关2QS成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:12:56.920	0ms	分开关1QS成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:12:50.919	0ms	分高压侧断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:12:49.919	0ms	分低压侧a相断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:12:48.919	0ms	分低压侧b相断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:12:47.919	0ms	1号进线失压启动备自投
1号主变测控装置	2021-08-24 12:12:46.024	0ms	自投已自动复归

图3 1#进线失压自投流程记录图

1号主变测控装置	2021-08-24 12:51:05.502	0ms	备自投成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:51:05.502	0ms	合低压侧b相断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:51:04.502	0ms	合低压侧a相断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:51:03.502	0ms	合高压侧断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:51:02.502	0ms	分开关3QS成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:50:56.501	0ms	分高压侧断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:50:55.501	0ms	分低压侧a相断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:50:54.501	0ms	分低压侧b相断路器成功
1号主变测控装置	2021-08-24 12:50:53.501	0ms	1号进线失压启动备自投
1号主变测控装置	2021-08-24 12:47:11.087	0ms	自投已自动复归

图4 1#主变故障自投流程记录图

间顺序从下往上看)。

其中自投分闸的低压侧b相断路器为图1中的5QF,分闸的低压侧a相断路器为图1中的3QF,分闸的高压侧断路器为图1中的1QF;自投合闸的高压侧断路器为图1中的2QF,自投合闸的低压侧a相断路器为图1中的4QF,自投合闸的低压侧b相断路器为图1中的6QF。1#变压器故障启动自投,自投成功后,由原来的2#进线带1#变压器运行,变成2#进线带2#变压器运行。

综上所述,分别通过进线失压与变压器故障启动自投,完成了进线电源与备用变压器的投切,验证了方案的正确性与有效性。

4 结论

针对智能牵引变电所的特点,本文提出了基于GOOSE与SMV实现自投功能的方案,方案中的保护装置之间、保护装置与智能组件之间可以通过GOOSE传递信息,快速地向其他装置发出闭锁信号、保护联跳或开关分合闸信号;合并单元通过SMV向保护装置传递电压、电流等模拟量,作为无流或有压的判断依据。通过在既有主变测控装置中固化自投程序,当变压器故障或进线电源失压时,启动主用主变测控装置,依次控制操作相应的隔离开关与断路器,实现自投功能。备用主变测控装置在主用装置故障时,自动投入,替代主用装置完成自投功能。赣深高铁博罗北牵引所现场试验结果验证了方案的有效性与正确性,该方案具有重要的理论意义与应用价值。

(下转第83页)

表4 不同MRRS(RCB/128 B)配置带宽效率结果

MRRS/B	RCB/B	算式	带宽效率/%	对比增长率/%
128	128	25 600/33 117	77.30	0
256	128	51 200/65 981	77.60	0.3
512	128	102 400/131 709	77.75	0.15
1 024	128	204 800/263 165	77.82	0.07
2 048	128	409 600/526 077	77.86	0.04
4 096	128	819 200/1 051 901	77.88	0.02

际带宽也需要考虑 PCIe Gen2 物理传输通道编解码的开销。

4 结论

本文介绍了 PCIe 总线的基本结构,列举了影响 PCIe 总线传输效率的多种原因,从实际应用中举例说明并计算。当然上面存储器写请求与存储器读请求的带宽有效利用率的计算只是粗略的估算,报文在实际的发送与接收过程中会涉及软件、硬件的配合处理与其他多种原因的影响,实际应用中会比理论值要低一些。如何高效地应用 PCIe 总线,只有深入理解了总线传输的原理,才能通过合理、有效的配置提高传输效率。

参考文献

- [1] 王齐.PCI Express 体系结构导读[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [2] 孟会,刘雪峰.PCI Express 总线技术分析[J].计算机工程,2006,32(23):253-255,258.
- [3] 刘军伟.多种高速串行总线的对比研究与分析[J].电子测试,2016(3):43-45.
- [4] PCI-SIG.PCI express base specification revision 3.0[Z].2010.
- [5] 李琼,郭御风,刘光明,等.I/O 互联技术及体系结构的研究与发展[J].计算机工程,2006,32(12):93-95.
- [6] 蔡万楼,赵建中,吕英杰.PCIE2.0 中 8b/10b 编码器的实现与扩展[J].南开大学学报(自然科学版),2019,52(2):34-38.

(上接第 78 页)

参考文献

- [1] 刘长利.高速铁路智能牵引供电系统的快速自愈重构技术研究[J].铁道标准设计,2020,64(4):162-167.
- [2] 姚小军.牵引供电系统故障隔离与供电恢复自动化的研究[D].成都:西南交通大学,2007.
- [3] 钱平镇.电气化铁路牵引供电系统事故恢复技术[D].大连:大连交通大学,2006.
- [4] 黄常抒,胡云花.备自投装置接线中的问题及应对措施[J].电力自动化设备,2009,29(4):147-149.
- [5] 郑曲直,程颖.备用电源自投装置设计应用的若干问题[J].电力系统保护与控制,2003,31(8):18-21.
- [6] 宋国果,舒勤.基于 OPNET 的 SMV 与 GOOSE 报文共网传输的数字化变电站技术研究与分析[J].华东电力,2012,40(3):6.

- [7] 李玉伟,潘明海.8B/10B 编码对高速传输的影响分析[J].信息安全与通信保密,2011(3):41-43.
- [8] 张月皓,柳桃荣,余开,等.高速串行总线 RapidIO 与 PCI Express 动态可重配置设计[J].电子测量技术,2020,43(3):86-91.
- [9] 孙丰霞,张伟功,周继芹,等.UM-BUS 总线测试系统中 PCIe 的设计与实现[J].电子技术应用,2019,45(5):61-65.
- [10] 廖寅龙,田泽,赵强,等.PCIe 总线物理层弹性缓冲设计与实现[J].计算机技术与应用,2016,26(6):168-170.
- [11] 郑乾,晏敏,赵建中,等.基于 PCIE2.0 的物理层弹性缓冲器设计[J].计算机工程,2014,40(10):71-75.
- [12] 许川佩,李春丰,张培源.PCI Express 协议事务层设计与仿真[J].微电子学与计算机,2018,35(9):64-69.
- [13] 孙欣欣,李娟,田粉仙,等.一种基于 PCIE 总线的 DMA 引擎研究[J].云南大学学报(自然科学版),2021,43(3):444-450.
- [14] 王亮,杨玻,王璇.基于 PCIe 总线的多处理器通信算法设计[J].信息技术与信息化,2021(2):156-158.
- [15] 赵姣,杨珂.一种 PCIE 交换芯片交换管控方法[J].中国集成电路,2020,29(Z4):62-67,84.
- [16] 刘娟,田泽,黎小玉,等.一种 SoC 芯片中 PCIe 接口的 FPGA 平台验证[J].数字通信世界,2020(4):69-70.

(收稿日期:2021-06-07)

作者简介:

潘金龙(1981-),通信作者,男,本科,工程师,主要研究方向:芯片与系统实现,E-mail:panjinlong@sgitg.sgcc.com.cn。

李德建(1977-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:主控芯片设计。

王于波(1969-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:安全芯片及主控芯片设计。



扫码下载电子文档

- [7] 柯善文,刘曙光,何能.关于变电站 GOOSE 报文传输的研究[J].继电器,2007(S1):308-310.
- [8] 夏溪惠,徐丹露,侯伟宏,等.智能变电站继电保护 GOOSE 检修机制分析[J].电工技术,2018(7):119-121,124.
- [9] 余容,黄剑,何朝明.基于 SM4 并行加密的智能电网监控与安全传输系统[J].电子技术应用,2016,42(11):66-69.
- [10] 朱全聪.智能变电站三网合一的网络架构分析与研究[J].机电信息,2012(36):142-143,145.
- [11] 何金鹏,贡保记.基于 IEC61850 的数字化备自投[J].低压电器,2013(18):36-39.

(收稿日期:2021-12-16)

作者简介:

高黎明(1986-),通信作者,男,本科,高级工程师,主要研究方向:牵引供变电技术,E-mail:51461409@qq.com。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所