

安全稳定控制系统通讯及其测试技术

宋锦海, 李惠军, 李雪明, 姬长安, 张长银

(国网南京自动化研究院, 江苏 南京 210003)

摘要: 安全稳定控制系统是保证电网安全稳定运行的重要防线, 文章介绍了目前安全稳定控制系统几种主要通讯构架, 装置之间常用的通讯方式及其特点等, 并对通讯的实时性、可靠性、安全性进行分析; 还介绍了目前安全稳定控制系统实际应用中通信用以提高可靠性的方法。根据目前安全稳定控制系统通讯技术的现状和要求提出了其测试系统的系统结构和功能要求, 为安全稳定控制系统通讯的调试和检测提供了便捷、可靠的设备。

关键词: 安全稳定控制; 通讯; E1; 误码率; 校验

Telecommunication technology and its test of security and stability control system

SONG Jin-hai, LI Hui-jun, LI Xue-ming, JI Chang-an, ZHANG Chang-yin

(Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: Security and stability control system is a very important defending device for the power system running safely. This paper introduces the main telecommunication frames of the security and stability control system. The telecommunication types applied between the stability controlling devices and the characters of telecommunication are also presented. The responding capability, reliability and safety of the stability controlling device telecommunication are analyzed in this discourse. How to improve the telecommunication capability is discussed, too. According to the development of telecommunication technology and the need of field testing, this paper brings forward the structure for the testing system of security and stability control system telecommunication and its function requirement. Thus a convenient and reliable detecting way is provided for the telecommunication checking of the security and stability control system.

Key words: security and stability control; telecommunication technology; E1; error code rate; checkout

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)12-0074-04

0 引言

长期以来, 采用稳定控制技术和设备一直是我国确保电网安全稳定运行的最重要的基本设施。“十五”期间, 为适应一批长距离大容量输电工程的需要, 特别是在全国联网、西电东送的形势下, 电网安全稳定控制技术取得了重大的进步, 区域性安全稳定控制系统得到了大量的应用^[1], 这些区域性安全稳定控制系统普遍采用“分层分布”式设计, 以不同的装置兼顾电网的第二和第三道防线, 并在设计上充分考虑两者之间的结合。在控制方式上主要采用离线策略表的形式, 并已经在多个控制系统上融入了在线预决策的功能。

随着特高压骨干电网的建成, 加强了多个区域电网的联系, 电力系统稳定问题更加复杂, 有效控制将更加困难。从全国大区联网的情况看, 需要在

已有的三道防线的基础上做更进一步的研究, 应该加强、完善和提高第二道防线, 避免第三类稳定事故的发生^[2]。这些都要求安全稳定控制系统能够高速地处理大量的电网实时运行信息, 包括所在区域电网内部信息在内的多个区域电网的信息; 区域电网的稳定控制系统之间、安控系统的各设备之间以及安控系统和其它自动化系统之间需要快速可靠地交换数据, 以适应特高压电网稳定控制的需要。

区域型安全稳定控制系统由两个或多个站的稳定控制装置组成, 单个厂站控制的信息处理能力和站间通信的处理能力随着区域控制要求的提高需要提高。光纤通信主干网的实施为实现区域间大量实时信息的高速、可靠、大容量的传送提供了良好条件, 但现有的安控设备在通信处理能力和调试手段、验证方法等方面仍然欠缺。目前的稳控装置主要依赖于本地的测量信息和通过与其它站的信息交换来

实现区域控制。随着电网的建设和发展, 安全稳定控制系统仅仅依靠稳控系统本身测量的信息是远远不够的, 需要区域电网中覆盖范围更大的信息量以及其它相邻区域电网的信息, 才能准确地实现稳定控制。因此, 要求稳控系统能够与省调或地调的 EMS 系统、继电保护信息管理系统、变电站综合自动化系统等以多种通信规约和多种高速通信接口进行数据交换^[3]。目前的稳控设备在这方面的试验、调试、检测也还比较欠缺。通讯已经逐渐成为电力系统自动化设备的关键部分之一, 现代安全稳定控制装置将朝着网络化、智能化方向发展, 通讯技术是实现网络化的基础。

1 安全稳定控制系统通讯技术

安全稳定控制系统通讯主要包括装置内部通讯、装置之间(站间)通讯、装置与外部系统的通讯。装置内部的通讯技术由于各厂家采用的技术、方案、协议不同, 其测试也局限于装置厂家。稳控装置之间的通信主要实现装置间的数据、命令交换, 通常是采用全双工交换方式, 数据传输速度快, 对数据的实时性、可靠性要求高; 典型的区域型安全稳定控制装置为主从式结构, 由三级装置组成, 主站、子站、执行站, 如广东粤东安全稳定控制系统^[5], 其基本结构见图 1。

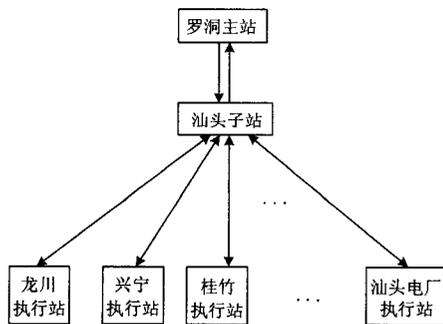


图 1 主从式安稳控制系统通讯结构

Fig.1 Telecommunication structure of master-slave security and stability control system

对于某些大型稳控系统可能有多个站无主从关系的安全稳定控制装置同时并列运行, 装置之间相互交换信息。每个站有两套装置分为 A、B 两套系统并列运行或主辅方式运行, 各站安全稳定控制装置的决策受到其它站装置的运行工况关联, 如三峡电力输出安全稳定控制系统。其基本结构如图 2。

装置与外部系统之间的通讯主要指稳控装置与后台监控系统、EMS(能量管理系统)、SCMS(安全稳定控制信息管理系统)等系统的数据交换, 数

据传输速度较慢, 主要供运行人员掌握装置的运行情况。装置之间、装置与外部系统通讯主要有以下几种方式:

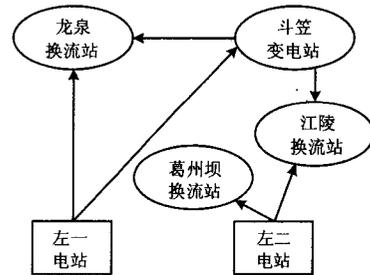


图 2 并列运行稳控系统通讯结构

Fig.2 Telecommunication structure of parallel security and stability control system

1) 触点、232/485/422

早期电力系统通讯平台以载波、微波为主, 安全稳定控制装置之间的通讯主要以触点信号、232/485/422 方式通过微波、载波传送到对侧。这种方式传送的信息量少, 可靠性、实时性较差。因此在实际应用中要采取一些必要的技术措施。

以川电东送安稳系统为例, 二滩电厂送出通道有限, 电源点与负荷中心距离遥远, 稳定问题极为突出, 为了保证机组的可靠运行, 对于各种类型的故障均要求在 250 ms 内跳开机组, 但站与站间通道均为 1200 波特率的载波通道。介于物理通道的限制, 通道使用及软件设计上采取了大量措施:

A. 站与站间使用多通道(2~3 通道);

B. 在发生故障, 传送命令时, 同一方向不同通道传送不同信息, 相互结合进行命令确认(一个通道传送需切信息, 一个通道传送需切量。);

C. 命令数据不采用帧判别, 而采用命令字节编码形式, 有效的缩短了命令传送字节数。对于接收侧在通道 1 收到需要切机的信息后, 判别通道 2 是否收到实际切机量, 执行措施。

这种通讯方式有以下的局限性:

A. 由于载波通道的局限性, 所以需要多通道配合, 但这样又增加了对通道的依赖。

B. 程序处理复杂, 效率低, 延时长, 可靠性差。

载波通道还可以传送方波命令, 但由于通道延时不定, 对于方波的高低电平持续时间定值较难整定, 而且维护不方便。

2) 64 K、E1 接口

电力系统通讯平台已经发展成为以光纤骨干网为主, 载波为辅的格局。安全稳定控制装置之间

的通讯以满足 G. 703 规约的 64 K 接口、E1 接口通讯为主。这种通讯方式物理接口、数据链路层的接口均标准化, 速度可以达到 2.048 Mbps, 误码率可达 10^{-6} , 已经成为当前安全稳定控制装置之间的主流通讯方式。基本结构如图 3。

光纤通道速度块, 可靠性高, 通道上传输数据均以帧为单位, 较音频通道大大的简化。

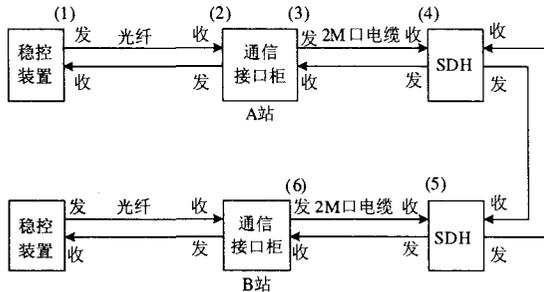


图 3 安全稳定控制系统 E1 接口典型通讯结构图
Fig.3 Typical E1 telecommunication structure of security and stability control system

3) 专用光纤

在装置之间距离较短, 传送数据较大的场合也有采用专用光纤的方式进行通讯。这种通讯方式速度快, 可靠性高, 但是非标准化, 占用的资源比较多。

4) 以太网

安全稳定控制装置与外部系统——监控系统、EMS、SCMS 等的通讯以以太网接口方式为主。虽然以太网技术具有成熟、可靠的特性, 但是标准的以太网 TCP/IP 协议由于其实时性不能完全受到使用者的控制而在工业控制实时性要求很高的应用中受到限制。随着数字化电力系统的建设和发展, IEC61850 的推广, 装置之间以及装置与外部系统的通讯将都会采用以太网的通讯方式。

安全稳定控制装置的通讯应用层协议目前绝大部分采用 DL/T 667-1999(IEC 60870-5-103:1997) 通讯规约, 将来将会逐渐过渡到以 IEC61850 为主的应用层协议^[4]。

通讯的实时性、可靠性、安全性是衡量通讯技术的几个重要方面。安全稳定控制系统要保证系统发生故障后一定时间内及时响应, 装置之间的信息通讯必须实时、可靠。根据电力系统安全稳定控制的需要以及目前的通讯技术水平, 通常两个站之间的信息传递要求在 10~30 ms 内可靠传送。对于主辅双机运行的安全稳定控制系统, 两套装置之间接受的信息时间差也必须保证在一定的范围内, 否则

如果是命令信息, 将会当成两次事故而造成措施过当。为了保证重要信息实时传输, 在装置上将通讯信息分类, 根据实时性、重要性的不同分成不同的传送优先等级。当有比当前传送信息优先级别高的信息需要传时, 立即停止当前信息的传送, 将优先级高的信息优先传送, 这样可以优先将命令信息等及时地传送到对侧。在可靠性方面, 数据链路层上通常通过硬件芯片 CRC 校验、奇偶校验等, 同时应用层协议上加正反码校验、和校验、CRC 校验、特征码校验(即帧头帧尾)。为防止错误接受信息和丢失信息, 对于命令等重要信息采取发送侧在一定时间内连续发送, 接收侧多次连续确认等方法提高可靠性。对于触点通讯方式还采取编码传送等方式。

目前应用层常用通讯帧方式如下:

表 1 正常数据帧格式

Tab.1 The frame format of general data

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
EC	91	6A	96	机组台数	机组台数反码	0				95	69	1

表 2 命令数据帧格式

Tab.2 The frame format of command data

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
EB	90	Id 号	机组功率	机组功率反码	总可切台数							

装置间的点对点通讯一般不存在通讯信息的安全问题, 当装置通过以太网与其它系统进行数据共享时就存在安全性的问题, 会受到外界一些非正常信息的干扰和破坏, 影响装置的正常工作。目前电力系统网络安全性实行按等级分区管理的原则, 安全稳定控制系统属于安全级别最高的第三区, 从管理、运行的角度已经得到多方面的重视。用户登录的验证、信息的水印加密等措施已经在一些系统中应用。目前如何保证装置级通讯信息的安全性已经成为一个重要的研究课题。在安全稳定控制系统的装置侧经常采用识别特定 IP 地址和特定端口号来提高信息的安全性, 例如装置只识别指定网关过来的几个指定 IP 地址(中调后台机等)。

2 通讯测试技术平台

由于通讯系统在安全稳定控制系统中的可靠性、实时性越来越重要。对其检测以及调试已经成为安全稳定控制系统工程调试和现场联调的一个重要内容。目前通讯调试时经常遇到下面几个问题:

1) 稳定控制装置生产厂家出厂前的工程调试

时, 必须对通讯进行调试, 而对于区域型安全稳定控制系统, 通常由多个安全稳定控制装置组成, 如果将所有装置集中在一起调试需要大量的人力、物力和场地, 有的系统是由多个厂家的装置组成, 在一起集中调试很难实现。

2) 现场进行工程调试时, 由于工程进度等原因, 跟本站通讯的站可能还不具备调试条件, 或人员限制对侧无工程调试人员。

3) 对于即将投运的系统, 如何考核和验证通讯通道的可靠性以及通讯处理逻辑等。已经投入运行的系统, 通讯发生异常时如何检查和判断异常发生的位置。

以往解决上述问题有的是通过在装置上采用特殊程序来验证, 有的通过携带简单稳控装置等方法来解决。基于上述问题, 研制开发一套安稳系统通讯测试装置, 能够模拟安控装置通讯信息, 能对通讯通道进行在线检测等功能非常必要。根据目前安全稳定控制系统应用最广泛的通讯技术, 研究开发了基于 ARM、双 E1/64K 接口的安全稳定控制通讯测试系统。系统能够对安稳装置常用通讯接口——E1/64K 接口进行通道测试, 通过以太网或 USB 接口与后台机连接, 配套相应的后台分析控制软件, 可以对通道的误码率进行在线监测、通道异常信息模拟, 安稳装置实时通讯信息显示、记录、分析, 安稳系统实时运行信息模拟等功能。

2.1 系统硬件平台

通讯测试系统的硬件平台采用基于 ARM 的具有以太网、USB 接口的平台。测试系统带两路 E1/64K 测试接口。同时附带两路外触发触点输入接口, 当有信号输入时可以启动测试系统进行通讯数据在线实时记录。其原理框图如图 4。

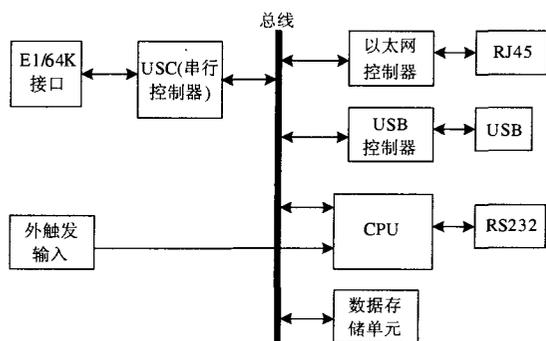


图 4 通讯测试系统硬件结构图

Fig.4 Hardware structure of telecommunication-test system

2.2 系统软件平台

测试系统软件分为两个部分——单片机上的

实时通讯监测软件以及运行在 PC 机上的后台分析软件。由于安全稳定控制系统的通讯实时性要求比较高, 因而通讯测试系统的实时性要求更高。对于单片机上的底层实时监测软件采用 C 语言编程, 采用定时查询的方式检测通讯缓存接口, 当检测到通讯数据时将其通过以太网实时上传到后台机。另外可以按照设定要求对通讯数据进行分析, 如误码率、正确帧数、错误帧数等, 同时将统计结果上传到后台机。如果检测到有外部触发信号, 测试系统开始实时纪录通讯数据, 将其放在掉电保持的数据存储区, 以供后台分析软件调用。后台分析软件主要功能是对前台机进行功能设定和数据分析。是整个通讯测试系统的人机接口和终端输出, 采用 Visual C++ 编程, 通过以太网与下位机进行数据交换。

安全稳定控制通讯测试系统的主要功能有两个: 一是对安稳装置实时通讯数据进行在线监测、分析和统计。二是根据安全稳定控制系统的要求, 模拟各种通讯信息以供现场调试使用。通讯信息模拟有两类, 一类是正常的安稳装置运行数据, 如工况信息、命令信息、异常信息等。另外一类是模拟各种错误类型的错误信息, 检测对端装置的通讯软件功能, 例如模拟校验和错误的信息发送到对侧, 看对侧的安全稳定控制装置是否能判断出校验和错误。

3 结语

通讯技术已经发展成为安全稳定控制系统的关键技术之一, 安全稳定控制不同于继电保护和监控系统, 本身的功能有其特殊性, 因此其通讯的要求也有自己的独特之处。随着系统稳定控制的需要以及电力自动化技术的发展, 安全稳定控制系统的通讯对象将远远打破目前的以安全稳定控制装置之间为主的格局, 特别是随着协调防预系统^[6]的发展和推广, 安全稳定控制系统的通讯技术将会变得多样化和复杂化。对其进行检测、调试也会变得越来越重要, 通讯测试系统的功能还有待进一步的研究和开发。

参考文献

- [1] 周勤勇, 赵良, 郭强. 区域电网 2020 目标网架稳定研究[J]. 中国电力, 2005.
ZHOU Qin-yong, ZHAO Liang, GUO Qiang. Research on Safety and Stability of Regional Power Grids in 2020[J]. Electric Power, 2005.
- [2] 陈德树. 大电网保护技术初探[J]. 电网技术, 2004, 28(9):19-22,32.

(下转第 88 页 continued on page 88)

将引出的失灵出口跳闸触点分别接入#7、#8 联变保护装置中，与其高压侧的两个开关的失灵出口跳闸触点并接后接入联变非电量保护出口跳三侧回路中。

通过现场试验验证了上述所增功能是正确的，即当发变组、线路、母联开关失灵时，只跳联变 8207、8208 开关，而当联变 8207、8208 开关失灵时通过“01、027 触点”送至联变非电量保护后跳三侧。

5 结束语

通过措施改进，完善了 BP-2B 母线差动保护装

置中失灵保护的逻辑，实现了联变 220 kV 侧开关失灵出口跳三侧的功能，为公司及电网的安全稳定运行提供了强有力的保障。2007 年 5 月 21 日，因天气下雨引起 8208B 相 CT 开关侧闪络接地，BP-2B 母线差动保护 II 母母差及失灵保护动作，跳开了#8 联变三侧开关，及时杜绝了一次主设备损坏事故，同时也验证了对 BP-2B 母线差动保护装置中失灵保护逻辑完善的正确性。

收稿日期：2007-10-11； 修回日期：2008-01-17

作者简介：

刘 锋(1974-)，男，大学，工程师，从事发电厂继电保护运行维护与管理工作。E-mail:liufeng3023289@sina.com

(上接第 77 页 continued from page 77)

- CHEN De-shu.Preliminary Research on Security Protection Technology of Large-Scale Power Grid[J]. Power System Technology, 2004, 28(9):19-22,32.
- [3] 宋锦海,李雪明,姬长安,等.安全稳定控制装置的发展现状及展望[J].电力系统自动化,2005,29(23):95-100.
- SONG Jin-hai, LI Xue-ming, JI Chang-an, et al.Present State and Development Prospect of Security and Stability Control Equipment[J].Automation of Electric Power Systems, 2005,29(23):95-100.
- [4] 沈国荣,黄健.通信技术是变电站自动化的关键[J].电力系统自动化,2001,25(10):1-5.
- SHEN Guo-rong,HUANG Jian.Communication Technique Was Highly Emphasized for Substation Automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001,25(10):1-5.
- [5] 刘瑞怡.广东电网安全稳定控制系统的通信通道[J].电力系统通信, 2004, (9): 48-50,64.
- LIU Rui-yi.Design of Communication Channel Scheme

for the Security and Stability Control System in Guangdong Power Network[J].Telecommunications for Electric Power System, 2004, (9): 48-50,64.

- [6] 薛禹胜.时空协调的大停电防御框架(一)(二)(三)[J].电力系统自动化,2006,30(1,2,3):12-20,5-14,5-14.
- XUE Yu-sheng.Space-time Cooperative Framework for Defending Blackouts Part I II III[J].Automation of Electric Power Systems, 2006,30(1,2,3):12-20,5-14,5-14.

收稿日期：2007-10-08； 修回日期：2007-11-29

作者简介：

宋锦海(1973-)，男，硕士，高级工程师，主要从事电力系统自动化及安全稳定控制方面的研究和开发；E-mail:songjinhai@nari-china.com

李惠军(1978-)，男，主要从事电力系统自动化及安全稳定控制方面的研究；

李雪明(1965-)，男，硕士，高级工程师，主要从事电力系统自动化及安全稳定控制方面的研究。

(上接第 85 页 continued from page 85)

4 结束语

继电保护装置的功能是确保电网发生常见的单一故障时稳定运行和正常供电，而保护装置难以感知系统运行状况，因此更加需要采用安稳系统来判断系统运行状况，当升压站送出断面断开时，及时通过安稳装置出口动作于切机，以保障机组的安全。同时应根据现场的具体情况整定高压电动机的低电压保护定值，在严重故障情况下确保锅炉的安全灭火和汽机的可靠停机。

随着大型机组的运行与系统的运行状况联系更加紧密，机组保护和系统保护已经融为一体，在继电保护设备的配置以及定值的整定上，不应墨守陈

规，而要根据具体的设备状况适时而定，这样才能更可靠地保障机组安全。

参考文献

- [1] 安全稳定控制系统技术说明书[Z]. 南京：南瑞继电电气有限公司，2006.
- [2] 现代电网自动控制系统及其应用[M]. 北京：中国电力出版社，2004.
- [3] 电力系统继电保护汇编[M]. 北京：中国电力出版社，2004.
- [4] 微机厂用电快速切换装置技术说明书[Z]. 南京：东大金智电气公司，2005.

收稿日期：2007-09-22； 修回日期：2007-10-10

作者简介：

丁 健(1974-)，男，工学硕士，现从事继电保护工作。E-mail:dason_dingjian@163.com