

基于 IEC 61850 的电力设备远程控制方法

王德文, 朱永利, 邸 剑, 翟学明

(华北电力大学计算机科学与技术学院, 河北省保定市 071003)

摘要: 远程控制已成为确保电力系统安全稳定运行的重要手段, IEC 61850 对电力设备的远程控制提出了更高的要求。以增强安全的操作前选择控制的有限状态机为基础, 提出了基于 IEC 61850 的电力运动系统的远程控制模型。结合实际应用的需要, 设计了基于 IEC 61850 的远方控制接口, 实现了对智能电子设备(IED)的远程访问控制, 对断路器进行了断开与闭合操作。基于上述研究所开发的系统通过了在某地区电网进行的工业现场试验并试运行, 验证了模型的正确性和方案的可行性。

关键词: IEC 61850; 远程控制; 有限状态机; 智能电子设备; 远方控制接口

中图分类号: TM764; TM73

0 引言

在电力监控系统中, 远程控制(遥控)一般由调度员人工操作, 从控制中心或集控站向变电站传送改变运行设备状态的命令。电力系统对远程控制信息的可靠性要求很高, 远程控制信息能否准确、快速地发送将直接影响电力系统的安全可靠运行。为了保证电网的安全可靠运行, 远程控制操作应从身份认证、数据安全和严格的控制操作流程等方面保证其安全性。

IEC TC57 制定的变电站通信网络与系统系列标准 IEC 61850 提出了一个新的控制模型, 对电力设备的控制操作在可靠性和实时性等方面提出了更高的要求。IEC 61850 标准已经全部出版, 已成为 IEC 的正式国际标准, 国内也颁布了电力行业标准 DL/T 860。IEC TC57 的 WG10 工作组正在制定 IEC 61850 标准的第 2 版, 新版将增加 IEC 61850-80-1(IEC 61850 与 IEC 60870-5-104/101 之间的映射)、IEC 61850-90-1(变电站之间采用 IEC 61850 进行通信)及 IEC 61850-90-2(控制中心与变电站之间采用 IEC 61850 进行通信)等内容。从中可以看出, IEC 61850 的应用不仅局限于变电站内部, 还向控制中心等方面扩展, 将成为通用网络通信平台的电力工业控制无缝自动化标准^[1-6]。文献[7-11]利用 IEC 61850 对变电站或风电场内开关闭合和互锁的访问控制进行了讨论, 主要采用公钥基础设施/特权

管理基础设施(PKI/PMI)等方法解决身份认证问题, 但并未涉及控制中心与变电站之间的远程控制。另外, 基于 IEC 61850 的智能电子设备(IED)正在进行互操作试验并将逐步推出, 可以预见, 今后新开发的产品将逐渐全面支持 IEC 61850 标准。然而, 变电站大量遗留的不满足 IEC 61850 的产品对于 IEC 61850 的实施是一个障碍^[12-13]。

综上所述, 扩展 IEC 61850 的应用范围, 在控制中心与变电站之间使用 IEC 61850 进行实时数据通信, 对变电站设备进行远方控制, 并将 IEC 60870-5-101/103/104 标准的遗留设备纳入 IEC 61850 的通信体系, 将是所面临的一个新的研究课题。

1 基于 IEC 61850 的电力远程控制模型

1.1 基于 IEC 61850 的远程控制信息模型

本文参照 IEC 61850 将电力运动的远程控制功能分布在过程层、间隔层、变电站层、控制中心层 4 个层次。过程层完成开关量 I/O、控制命令的执行等与一次设备相关的功能; 间隔层完成控制命令权限的检查和监视命令的执行等功能; 变电站层提供与远方控制中心的通信接口; 控制中心层实现远程控制命令的发送和开关量状态变化的接收等功能。

与以往的远动通信协议采用面向点的信息描述方式不同, 抽象通信服务接口(ACSI)采用面向对象的方法, 为整个变电站的物理对象(包括一次设备和测量、控制、保护等二次设备)以及通信网络定义了层次化的信息模型, 包括服务器、逻辑设备、逻辑节点、数据、数据属性, 并为变电站等实际应用定义了

公共属性类型、公共数据类和兼容逻辑节点类^[14]。

本文以遥控操作电容器组为例,从 ACSI 中抽取与控制相关的逻辑节点,如断路器(XCBL)、隔离开关(XSWI)、电容器组(ZCAP)、开关控制器(CSWI)、远方控制接口(ITCI)等逻辑节点,并通过服务器、逻辑设备以及这些逻辑节点所包含的数据对象和数据属性建立起被控实际设备与 IED 的数据模型,如图 1 所示。

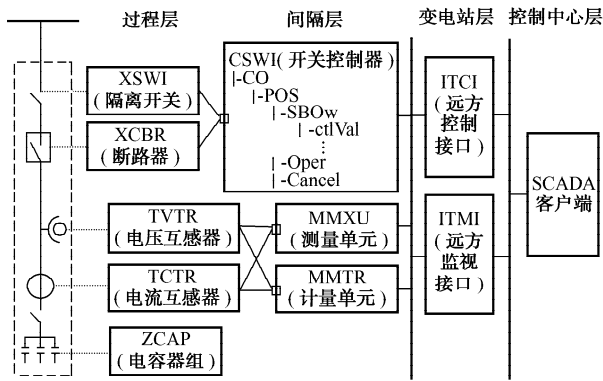


图 1 基于 IEC 61850 的远程控制信息模型
Fig. 1 An instance of information model for remote control based on IEC 61850

断路器和隔离开关等逻辑节点分布在过程层,开关控制器分布在间隔层,断路器和隔离开关的断开与闭合控制通过开关控制器实现。在变电站层,引入虚拟逻辑节点 ITCI 作为与远方控制中心的接口。大多数情况下,电力运动系统不需要获取变电站内所有数据,ITCI 所传输的数据是站层操作员接口(IHMI)的子集。

1.2 采用增强安全的操作前选择建立远程控制服务模式

ACSI 描述了设备之间的信息交换服务模型,包括数据集、定值、取代、报告、控制、通用变电站事件、时间同步及文件传输等。其中,增强安全的操作前选择是最为完整并将是应用最广泛的控制方式。它通过所定义的带值选择、操作、时间激活操作、取消和命令中止等服务来操作控制对象(带有可控数据属性的数据),实现对物理设备的控制,采用有限状态机来描述其操作行为,如图 2 所示。

有限状态机又称有限状态自动机,简称状态机,是表示有限个状态以及在这些状态之间的转换和动作等行为的数学模型。状态存储关于过去的信息,就是说它反映从系统开始到现在时刻的输入变化。转换用来连接 2 个状态,以指示状态变更。通常,一个转换要具备触发器事件(引起转换的事件)、监护

条件(一个布尔表达式,可以引用对象的属性值和触发事件的参数)、动作(给定时刻要进行的活动)和目标状态。图 2 中包含未选择、选择、等待时间激活和等待数据改变 4 个状态。客户所发出的带值选择、操作、时间激活操作、取消等服务请求是触发器事件,测试通过或未通过作为监护条件,而相应服务的肯定或否定响应成为所产生的动作,从而引发了向目标状态的转换。例如:当前若为未选择状态,一旦客户发出带值选择的服务请求,如果操作有效(测试通过),控制对象将发出肯定的响应给请求的客户,并将状态变为选择状态。

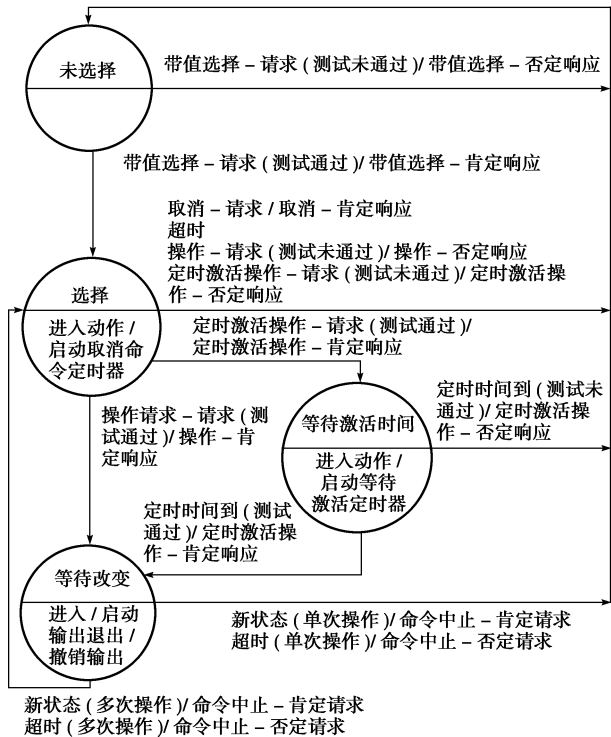


图 2 增强安全操作前选择控制的有限状态机
Fig. 2 Finite state machine of select before operate (SBO) control with enhanced security

时间激活操作是一般操作过程的补充,可以实现定时操作。由于在实际的电力运动系统中,定时遥控基本上不被使用,主要使用的是人工操作,因此,本文不再考虑时间激活操作。另外,取消操作虽然是可选的操作,取决于客户端的能力,但为了保证遥控操作的安全,远动系统中必须具备取消操作的能力。通过以上分析,本文将增强安全的操作前选择控制作为基于 IEC 61850 的电力远动远程控制模型的基础,实现调度中心向变电站设备下发远程控制命令,能有效地避免误操作,满足远程控制操作高可靠性的需要。

2 采用 IEC 61850 对 IEC 60870-5 装置的远程控制

2.1 IEC 61850 与 IEC 60870-5 服务之间的映射

由于 IEC 60870-5 系列标准在电力运动及变电站自动化中已得到广泛的用,在以 IEC 61850 为基础的数字变电站的建设和改造过程中,需要解决 IEC 61850 的 IED 与 IEC 60870-5 装置的互联和互通问题。由于 IEC 61850 与 IEC 60870-5 在体系结构上的巨大差异,需要进行服务之间、公共数据类与应用服务数据单元(ASDU)之间的映射。

IEC 60870-5-104 是目前主要的网络化远动通信协议,以信号作为基本信息模型。信号在监视方向上(变电站到控制中心)是一组实时过程值、时标和品质信息等,而在控制方向上(控制中心到变电站)是一组控制命令值和时标等。IEC 60870-5-104 的 ASDU 与 IEC 60870-5-101 的 ASDU 相同,并增加了应用协议控制信息(APCI)。APCI 与 ASDU 构成了信息传输的单位,即应用协议数据单元(APDU),如图 3 所示。

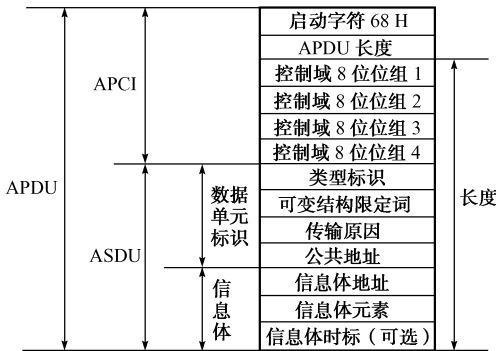


图 3 IEC 60870-5-104 的 APDU 结构

Fig. 3 Structure of IEC 60870-5-104 application protocol data unit(APDU)

为了实现控制中心对变电站内 IEC 60870-5-104 设备的远方安全控制,ACSI 控制服务与 IEC 60870-5-104 的 APDU 之间采用如下方法进行映射:ACSI 的带值选择和操作的请求服务映射为 IEC 60870-5-104 控制方向上的单点或双点命令(遥控选择或执行);ACSI 的带值选择和操作的响应服务映射为 IEC 60870-5-104 监视方向上的单点或双点命令(遥控确认);IEC 60870-5-104 监视方向上的单点信息(遥信变位)和带 CP56Time2a 时标的单点信息(事件顺序记录)映射为 ACSI 的报告服务等。例如,ACSI 操作请求被映射为 IEC 60870-5-104 控制方向上的单点命令(遥控执行),其 APDU 的数据为“68 0E 0A 00 40 00 2D 01 06 00 01 00 2F 60 00

01”。协议解析的结果如下:“68”为启动字符;“0E”为 APDU 长度;“0A 00 40 00”为 4 个控制域 8 位位组;“2D”为类型标识,单点遥控;“01”为可变结构限定词;“06 00”为传送原因,激活;“01 00”为公共地址;“2F 60 00”为信息体地址;“01”为遥控命令,表示执行闭合操作。

2.2 通信网关

本文设计了一个通信网关充当远方控制接口,对变电站内的 IEC 60870-5 数据进行集中、过滤与协议转换,并实现与控制中心数据采集与监控(SCADA)系统客户端的实时控制信息交换。通信网关主要包括 IEC 61850 服务器、IED 配置器、数据集中过滤器、协议转换器、协议驱动器等部分,主要功能描述如下。

1) IEC 61850 服务器:为客户端提供基本的 IEC 61850 服务,包括应用关联、目录获取、数据定义、报告、带值选择与操作等。

2) IED 配置器:实现可扩展置标语言(XML)文档的解析、变电站配置描述语言(SCL)文档的生成、导入/导出、传输以及 IEC 60870-5 与 IEC 61850 之间的模型映射等功能。

3) 数据集中过滤器:负责收集所连接的 IEC 60870-5 间隔测控单元或远动终端单元(RTU)等设备传送来的状态变位、测量值、事件顺序记录等监控信息,同时,接收远动主站发出的控制等命令。

4) 协议转换器:利用 IED 配置器所建立的 IEC 61850 与 IEC 60870-5 的数据和服务模型,实现 IEC 60870-5 与 IEC 61850 的转换。

5) 协议驱动器:提供系统运行所需的通信环境,包括开放系统互联(OSI)协议栈与制造报文规范(MMS)等。

通信网关是解决 IEC 60870-5 到 IEC 61850 系统之间平稳过渡这一难题的一个切实可行的方法。采用通信网关的方法可以使 IEC 61850 新设备的设计和开发直接遵循 IEC 61850 的技术体系来进行,无需考虑对现有 IEC 60870-5 设备与协议的支持,一旦条件成熟,很容易替换 IEC 60870-5 的传统设备,无须改变 IEC 61850 的通信网络和体系结构。

3 原型系统的实现和工业现场测试

3.1 原型系统

本文利用所提出的基于 IEC 61850 的电力远动远程控制模型,构建了一个原型系统,由 IEC 61850 通信网关、IEC 61850 SCADA 主站、协议接口单元

和 IEC 61850 对象浏览器等构成。该系统已在河北省邯郸供电分公司投入试运行。其运行环境为:滏园 110 kV 变电站内的 IEC 61850 通信网关通过 IEC 60870-5-104 协议接口单元接入 RTU,并利用同步数字体系(SDH) 2 Mbit/s 通信专线与调度中心基于 IEC 61850 的 SCADA 系统主站相连,如图 4 所示。

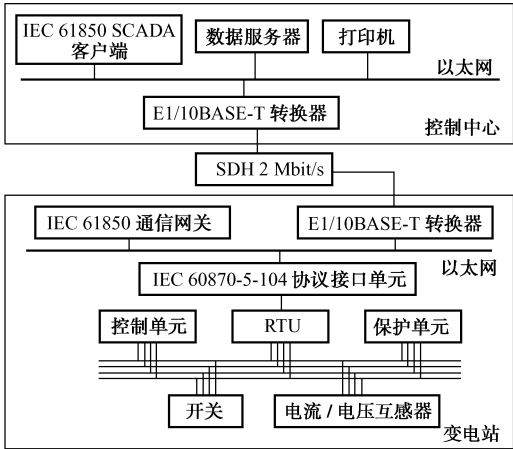


图 4 原型系统结构
Fig. 4 Structure of prototype system

3.2 测试过程

通过断开/闭合断路器对滏园 110 kV 变电站的 4 台电容器组进行了实际的投、退,控制流程如图 5 所示。

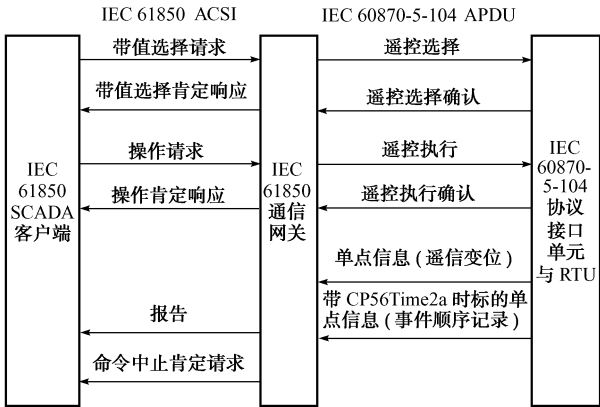


图 5 工业现场测试的操作流程
Fig. 5 Operation flow of field testing

操作人员使用 IEC 61850 SCADA 客户端软件发出带值选择请求,IEC 61850 通信网关(控制对象)检查带值选择请求服务中的对象引用参数是否与控制对象相符,并未被其他用户选择(防止误操作),然后发送遥控选择命令给 IEC 60870-5-104 协议接口单元,等待遥控选择确认,收到后向客户端发

出带值选择肯定响应,通信网关转为选择(就绪)状态,启动撤销命令定时器。

若撤销命令定时时间内通信网关未收到客户端发出执行请求,转为未选择(未就绪)状态;若在未选择状态收到执行请求,通信网关拒绝操作。

若撤销命令定时时间内通信网关收到客户端发出的操作请求,检查有效性,并发送遥控执行命令给协议接口单元,等待遥控执行确认,收到后向客户端发出操作的肯定响应,通信网关转为等待改变状态,并启动激活输出定时器。若收到遥信变位和事件顺序记录,停止激活输出,发送状态变化报告和命令中止的肯定请求给客户端。若激活输出定时时间内未收到状态变化信息,停止激活输出,发送命令中止否定请求给客户端。最后,通信网关转为未选择状态。

在测试过程中,为了保障安全,首先解除所有的遥控压板,对 4 台断路器分别进行断开与闭合的遥控操作,通过继电器动作和指示灯,验证遥控的正确性。所有操作无误后,投入遥控压板,再对各个断路器分别进行断开和闭合的遥控操作,实际控制设备,观察设备的实际状态,以验证遥控的执行是否正确。所有的遥控操作经过测试全部无误,正确率达到 100%。

4 结语

IEC 61850 是一个面向未来的开放体系,其应用不仅局限于变电站内部,正在向远方控制中心和发电系统等方面扩展,将成为电力工业控制无缝自动化标准。本文对应用 IEC 61850 在控制中心对变电站设备进行远程控制的方法进行了探索,以增强安全的操作前选择控制为基础,提出了基于 IEC 61850 的电力远动系统远程控制模型。结合实际应用的需要,通过所设计的 IEC 61850 通信网关(远方控制接口)实现了对 IEC 60870-5-104 设备的远程控制,所采用的方法也将适用于 IEC 60870-5-101/103 等设备。基于上述研究所开发的系统通过了在某地区电网进行的工业现场试验并试运行,验证了模型的优越性和方案的可行性。

参考文献

[1] IEC 61850-1 Communication networks and systems in substations; Part 1 introduction and overview. 2004.
[2] 谭文恕. 远动的无缝通信系统体系结构. 电网技术, 2001, 25(8): 7-10.
TAN Wenshu. Seamless telecontrol communication architecture. Power System Technology, 2001, 25(8): 7-10.
[3] 王德文,朱永利,邸剑. 利用 IEC 61850/MMS 的电力远动实时

- 数据交换新方法. 中国电机工程学报, 2008, 28(1): 65-70.
- WANG Dewen, ZHU Yongli, DI Jian. A new approach to exchange real-time data of power telemonitoring systems by using IEC 61850/MMS. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(1): 65-70.
- [4] 朱永利, 黄敏, 邸剑. 基于广域网的电力远动系统的研究. 中国电机工程学报, 2005, 25(7): 119-124.
- ZHU Yongli, HUANG Min, DI Jian. The study on WAN-based telecontrol system for power systems. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(7): 119-124.
- [5] KOSTIC T, PREISS O, FREI C. Towards the formal integration of two upcoming standards: IEC 61970 and IEC 61850// Proceedings of 2003 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, May 7-9, 2003, Montreal, Canada. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 24-29.
- [6] 胡靓, 王倩. 基于 IEC 61850 与 61970 的无缝通信体系的研究. 电力系统通信, 2007, 28(12): 15-20.
- HU Liang, WANG Qian. Research on seamless communication system based on IEC 61850 and 61970. Telecommunications for Electric Power System, 2007, 28(12): 15-20.
- [7] LIU N, DUAN B, WANG J, et al. Study on PMI based access control of substation automation system// Proceedings of 2006 IEEE Power Engineer Society General Meeting, June 19-22, 2006, Montreal, Canada. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006.
- [8] DUAN B, LIU N, WANG J, et al. Study on substation control interlocking combined with PKI/PMI based access security method// Proceedings of 2006 international Conference on Power System Technology, October 22-26, 2006, Chongqing, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006.
- [9] 廖建容, 段斌, 谭步学, 等. 基于口令的变电站数据与通信安全认证. 电力系统自动化, 2007, 31(10): 1-5.
- LIAO Jianrong, DUAN Bin, TAN Buxue, et al. Authentication of substation automation data and communication security based on password. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(10): 1-5.
- [10] 罗钦, 段斌, 肖红光, 等. 基于 IEC 61850 控制模型的变电站防误操作分析与设计. 电力系统自动化, 2006, 30(22): 61-65.
- LUO Qin, DUAN Bin, XIAO Hongguang, et al. Analysis and designed of anti-maloperation for substation based on control model in IEC 61850. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(22): 61-65.
- [11] 刘莉莉, 段斌, 李晶, 等. 基于 IEC 61850 的风电场 SCADA 访问控制模型设计. 电网技术, 2008, 32(1): 76-81.
- LIU Lili, DUAN Bin, LI Jing, et al. Design of IEC 61850 based secure access control model of SCADA system for wind power farm. Power System Technology, 2008, 32(1): 76-81.
- [12] 朱炳铨, 任雁铭, 姜健宁, 等. 变电站自动化系统实现 IEC 61850 的过渡期策略. 电力系统自动化, 2005, 29(23): 54-57.
- ZHU Bingquan, REN Yanming, JIANG Jianning, et al. Strategy for implementation of IEC 61850 in substation automation system during transitional. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(23): 54-57.
- [13] 孙一民, 李延新, 黎强. 分阶段实现数字化变电站系统的工程方案. 电力系统自动化, 2007, 31(5): 90-93.
- SHUN Yimin, LI Yanxin, LI Qiang. A grading solution for building digital station. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(5): 90-93.
- [14] IEC 61850-7 Communication networks and systems in substations: Part 7 basic communication structure for substation and feeder equipment. 2004.

王德文(1973—), 男, 通信作者, 博士研究生, 主要研究方向: 电力系统自动化和计算机网络. E-mail: wdewen@gmail.com

朱永利(1963—), 男, 博士生导师, 教授, 主要研究方向: 电力系统自动化、电力系统远动和人工智能。

邸剑(1968—), 男, 高级工程师, 主要研究方向: 计算机网络和通信。

A Method for Electric Power Equipment Remote Control Based on IEC 61850

WANG Dewen, ZHU Yongli, DI Jian, ZHAI Xueming

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The remote control of electric power equipment is an important approach to solving the problem of safety and steady operation of the power grid. IEC 61850 makes a new requirement on remote control for electric power equipment. Based on an analysis of the finite state machine of select before operate (SBO) with enhanced security, a new remote control model for power telecontrol system is proposed on the basis of IEC 61850. Moreover, considering the actual needs of the power telecontrol system, a telecontrol interface based on IEC 61850 is designed to control the intelligent electronic device and to open or close the circuit breakers. A prototype system based on the above-mentioned methods has been developed and gone through field-testing and trial operation in a subtransmission network, which proves that the models and methods proposed are satisfactory and feasible.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 60574037).

Key words: IEC 61850; remote control; finite state machine; intelligent electronic device; telecontrol interface