基于 IEC 61850 的智能变电站虚回路体系

胡道徐[1]，沃建栋[2]
（1. 国电南京自动化股份有限公司，江苏省南京市 210003；2. 金华电业局，浙江省金华市 321000）

摘要： 针对智能变电站取消硬电缆回路的特点，提出可基于网络化信息共享实现整套的虚回路体系。首先使用 IEC 61850 建模进行设计表达，其后的系统集成、调试配置、运行检修等系列环节均以此为统一信息源，通过自动化软件工具实现。智能变电站虚回路体系需要对 IEC 61850 标准进行针对性的扩充和完善，网络多播管理则应通过组地址注册协议（GARP）和多播注册协议（GMRP）实现自动配置，设计和系统集成环节完全融合。在统一标准支撑下可研发出完善的第三方软件，最终让各专业人员便于对虚回路进行表达、理解、实施和维护，最大限度减少信息重复配置工作，从而避免人为环节可能导致的差错。

关键词： 智能变电站；虚回路体系；设计表达；IEC 61850；信息建模；多播管理

0 引言

智能变电站[1]是在数字化变电站基础上发展起来的，是智能电网环境下对变电站技术形态的最新要求。网络化信息共享是智能变电站的重要特征，一次、二次功能的优化整合及设备形态的演变都以信息自由共享为前提。数字化网络通信可实现多路信息复用，少量光纤替代了传统变电站的大量电缆，能够把设备功能从硬件回路的束缚中解脱出来，从而给智能变电站设备形态的演变留下了广阔空间。但是，与此同时，由于硬件回路不复存在，导致传统基于设备和回路的一系列设计、施工、运行、检修等方面的做法和工具都不再适用，而基于信息交互的分布式变电站功能不会消失，因此迫切需要建立智能变电站网络化设备间信息和功能的互动模式[2]。为此，本文提出智能变电站虚回路体系，有助于指明未来标准和工程的发展方向，探索智能变电站工程模式，解决设计、调试、检修等环节的规范化、人性化问题。

1 虚回路体系概述

传统的变电站功能由设备和回路共同确定。设备具备特定的功能，且定义了外部的输入输出接口，在变电站建设时通过电缆回路实现了变电站需要的各种功能，而此后变电站生命周期内的重要工作就围绕着这些设备和回路而展开。纸质的设计图纸成为各方对工作进行理解的重要依据，必须对其进行严格的归档管理。而基于 IEC 61850 标准的智能变电站可实现功能自由分布，逻辑节点依赖通信网络实现信息传递和功能协同，功能间的信息流向关系则可以由规范化的变电站配置描述语言（SCL）来进行表达[3]。

因此，参考传统变电站围绕电气回路归档展开工作的思路，本文提出智能变电站可实施完整的虚回路体系。该体系的主要研究内容包括：①建立能够表达虚拟回路联系、适用于装置和系统的 SCL 模型标准；②确定符合信息共享要求的自动化网络配置手段；③分析智能变电站所需要的各类工具，以及基于工具的角色分工和工作流程。智能变电站虚回路体系以 SCL 虚回路模型标准和网络的自动配置管理为基础，以设计/系统集成工具、智能电子设备（IED）配置工具、调试诊断工具为手段，以包含虚回路信息的全站变电站配置描述（SCD）文件为核心，可实现站内 IED 和交换机基于唯一信息源的自动化配置，涵盖了智能变电站集成设计、施工调试和运行维护的各环节，为智能变电站的全生命周期服务。图 1 表达了智能变电站虚回路体系的架构、要素和理念。

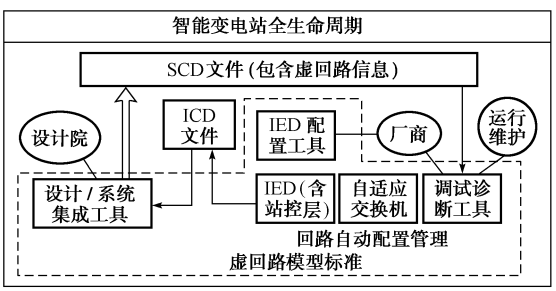

图 1 虚回路体系架构
Fig. 1 Architecture of virtual circuit system

收稿日期：2009-10-09；修回日期：2010-06-07。

2 SCL 虚回路模型标准

2.1 现行 ICD 配置的不足

本质上,模型和图纸可以表达出相同的信息,两者的最大区别只在于文件格式及阅读对象的不同。传统变电站设计图纸的阅读对象主要是人,其中多采用逻辑框图、信号回路图和自然语言描述的方式进行说明,信息含量大且带有很强的设计人员个人风格成分,很难做到完全的标准化,不利于计算机自动识别处理。而 IEC 61850 建模体系采用了规范化的面向对象表达,语义和语法定义明确,目的就是面向计算机可读,方便各类软件对模型信息进行处理。

然而,在 IEC 61850 标准第 1 版中,对于虚回路建模的考虑很不充分。虽然标准规定可以在逻辑节点的 Inputs 部分绑定外部信号[4],但其包含的信息有限,不能很好地支撑虚回路应用。主要存在的问题有:①在 IED 能力描述(ICD)文件中不能说明各逻辑节点需要多少个外部输入以及各输入信号的含义和要求;②使用的外部输入具体来源于哪一个报告、通用面向对象变电站事件(GOOSE)还是采样值未进行定义(标准把这个归结为设备或者工具的实现问题);③逻辑节点模型中未考虑如何对输入信号进行监视和访问。

2.2 虚端子与标准发展

在国内的工程应用中,为了解决上述存在的问题,提出了虚端子的建模方案[2,5]。方案中采用约定名称的通用输入输出(GGIO)模型作为 Extref 元素的 IntAddr 使用,且规定装置的输入端子统一表达在 LLN0 的 Inputs 中。虚端子方案通过 GGIO 中数据对象(DO)的描述和统一码描述(dU)来说明输入信号的含义和要求,且以"GOIN"为 GGIO 实例前缀隐含规定该信号来源于 GOOSE,对照全站 SCD 配置,可确定订阅对象的唯一性(除非 GOOSE 发送数据集中有重复信号)。针对国内的工程现状,该方案较好地弥补了前面提到的现行 ICD 配置存在的不足。

但是,虚端子是国内提出并实施的一个工程方案,主要通过命名约定的方式实现互操作,相当于在 IEC 61850 标准中引入了地区方言,因而在它身上也带有了鲜明的中国特色。例如:方案规定虚端子应该以装置为单位采用 GGIO 建模,以便于转化为图纸并与传统的二次设计规范兼容,这与 IEC 61850 标准所倡导的面向逻辑节点(最小功能单元)建模、针对 SCD 文件管理的思路矛盾,难以体现出输入信号具体被哪一种功能(逻辑节点)使用,自然也不能在对应的功能逻辑节点中对所需要的虚端子信号和回路进行监视。

为了进一步将虚端子方案拓展到智能变电站的虚回路体系,必须在现有的建模方案上进行必要的补充和完善,才能够完全体现出 SCL 建模的意义和作用。国际电工委员会(IEC)第 57 技术委员会(TC57)也已经意识到了这个问题,预计将在 IEC 61850 标准第 2 版中对此进行解决[6-7]。为此,IEC 61850-6 标准第 2 版中增加了专门的章节描述数据流建模;在 IED 层面上强化了关联和订阅信息,可以表达出装置的通信能力以及站内设备间的数据通道;Inputs 的 Extref 元素增加了 desc 属性用于信号说明,且阐述了 Inputs 选项在 ICD 和 SCD 文件中的可能用法;而在数据层面定义了对象引用定值组(ORG)公用数据类用于描述输入通道,并在若干逻辑节点中已经包含了该类型的数据对象(ORG 类型中的输入来源等属性可属于定值类,这为运行中动态改变回路关系提供了可能,当然也不排斥作为参数依靠 SCL 配置决定模型只提供查阅功能的用法)。

2.3 虚回路体系的建模要求

IEC 61850 虚回路体系对建模的基本要求是需要在 ICD 文件中包括各装置(逻辑节点)所需要的输入输出信号,并能在 SCD 文件中表示出全站的输入输出信号关联——能提供足够的信息用于确定 GOOSE 和采样值的订阅参数(多播地址、数据集等)。采纳 IEC 61850 标准第 2 版中的方案或者固化一个中国版本方案(主要需考虑到 IEC 标准修订周期与国内工程建设进度间的配合),都有可能满足这个要求。标准化建模方案有了这些信息,就具备将 SCD 文件替代传统的二次图纸作为变电站设计表达的条件,设计和系统集成工作将高度融合(意味着设计院转变为系统集成商),提供出的全站模型文件可提供给各设备厂商直接导入,完全避免了原先对照图纸人为输入信息的重复劳动和可能差错,充分体现出智能变电站所提倡的"源端维护、全网共享"、"信息只输入一次"等先进理念。

与传统的二次回路图或虚端子设计图纸相比,在模型文件中进行虚回路体系的设计表达,所包含的信息更为规范,可以供计算机直接处理,相当于将传统需要人来阅读辨识的过程改由自动化工具实现,这无疑将给智能变电站带来生产力的解放和效率的提高。当然,虚回路体系很大程度上由软件和网络报文实现,无法像传统的回路那样进行直观的感知和理解,这就需要良好的工具软件来实现人员和虚回路的交互,下文对此有专门的论述。

3　自动网络配置

3.1　现行方案及不足

虚回路体系从根本上希望设备间能够自由交换信息，也就是不仅让功能摆脱传统硬件回路的桎梏，也不要受到网络架构的束缚。从信息共享的角度来看，最好简化变电站内的网络结构，尽量让更多的设备连接到同一物理网络上以实现更多的功能，然而在实际的系统中，信息共享往往与保持电压等级隔离、间隔独立等愿望产生矛盾。为了在交换机层面对数据流把关，避免无关 IED 的数据影响特定间隔，也为了缓解各端口多播数据的压力，通常在交换机上进行虚拟局域网(VLAN)划分以实现采样值、GOOSE 和制造报文规范(MMS)数据的隔离。

在已经实施的工程中，由于缺乏交换机 VLAN 设置的规范化设计表达，交换机的各项设置工作需要在系统集成阶段由人手工完成，难以备份和追溯，一定程度上导致了操作繁琐、容易出错且不利于维护管理[8]。例如：若交换机的某端口损坏，因为存在针对端口的不同 VLAN 配置，导致哪怕有备用端口也不能简单地采用插拔网线的方式进行修复；又如，若整台交换机故障需要替换，由于交换机配置文件难以保存且不同型号间格式不兼容，往往需要将网管配置信息重新输入，不能靠工具自动化完成，又变成了一种费时费工且可能出错的工作。

3.2　GMRP 多播管理

交换机需要人工配置这一问题的产生，从根源上应归结于 VLAN 和多播管理信息未能在模型文件中进行规范表达。为了解决此问题，IEC TC57 的思路是将交换机 IED 化，这样就能够在 SCD 文件中包含有各交换机的配置，可以方便地实现信息的修改和继承，实现交换机的标准化配置流程。然而，考虑到交换机 IED 化的标准制定和设备研发均需要一定的时间，为了迫切地解决目前所遇到的多播配置问题，建议在虚回路体系中可采用组地址注册协议(GARP)、多播注册协议(GARP multicast registration protocol，GMRP)实现 IED 和交换机的互动[8]，由装置告诉交换机需要接收哪些多播地址的数据，避免了交换机的维护工作，自然也就不存在人工配置可能带来的问题。

GMRP 是一种基于以太网链路帧的自动多播配置方案，不同于 Internet 组管理协议(IGMP) Snooping 三层多播管理方法，可适用于多播报文直接映射到第 2 层的 IEC 61850 过程层通信。装置可根据 SCD 文件中的 GOOSE 和采样值配置，识别出所需要接收的以太网多播地址，采用 GMRP 报文格式告诉交换机在连接的端口上转发哪些多播报文。GMRP 不会给继电保护等关键应用带来额外的风险，因为交换机与设备间的多播配置异常带来的结果只有 2 种：转发了不希望的多播报文或收不到希望的正常报文，而这 2 种情况在人工划分 VLAN 等方式下同样可能发生，装置应会在应用层对它识别并进行相应的告警处理。

在虚回路体系中采用 GMRP 自动网络配置方案还有一个额外的好处，即设备与交换机端口间的连接不会被固化，IED 可以连接到同一网络的任意交换机端口上获取数据，备用方式灵活，并可给检修调试带来便利。如果采用此方式，可实现挂在同一网络上同类型装置的“$N+1$”冗余，亦即为网段上的 N 台运行设备配置 1 台独立的备用装置，由于装置的功能不依赖于特定的硬件回路或网络端口，因此可以在任一台故障时由备用的装置顶替运行(GMRP 可自动实现虚回路的切换)；此外，调试诊断工具也可以从 GMRP 得益，只要便携式计算机或手持设备接上交换机，运行相应的软件，就可以在同一端口进行网络上任意虚回路的监视、分析和调试工作。

4　工具软件

4.1　分类

工具软件是使用者与虚回路体系交互的界面，其易用程度直接影响智能变电站的用户体验。针对使用者的不同背景和要求，考虑信息流和工作流的合理分配，为虚回路体系服务的工具软件主要有 3 种，即设计/系统集成工具、IED 工具和调试诊断工具。这些工具软件都以包含虚回路 SCL 模型标准为依据，围绕着 SCD 文件工作，只是各自的功能和使用者有所不同。表 1 给出了 3 类工具的概况。

表 1　虚回路体系工具概况

Table 1　Survey of tools for virtual circuit system

类别	主要功能	使用者	是否通用
设计/系统集成工具	系统配置器、虚回路设计表达	设计院	是
IED 工具	为应用解析 SCD，提取虚回路信息	各设备厂商	否
调试诊断工具	虚回路监视和模拟	调试检修人员、各设备厂商	是

4.2　特点和要求

虚回路体系的设计/系统集成工具是关键的全站模型生成和处理软件，主要的使用者应当是系统集成商(设计院)。除具备 IEC 61850 标准规定的系统配置器功能之外，还应当起到某种程度上代替现

在的计算机辅助设计(CAD)制图工具的作用。该软件基于模型标准工作,独立于厂家设备,完全可以由熟悉设计院需求的第三方软件公司开发。它可以尽量按照设计人员的思路进行工作,必要时也应该提供将虚回路体系模型转化为打印图纸的功能,以便于设计内容的签署和校核。

针对虚回路的 IED 工具是指各厂商为方便自己装置(所有 3 层智能设备)的调试配置而开发的工具,应当具备从全站 SCD 文件导入虚回路信息的功能,主要的使用者为厂家技术人员。IED 工具是现阶段符合 IEC 61850 标准设备普遍具备的一种工具,主要原因是受 CPU 处理能力、内存、文件系统等限制,各装置往往不能直接从 SCD 文件解析出自身运行所需要的全部信息,而需要借助外部工具将 SCD 文件转化为装置需要的 CID 和各类私有信息。某种程度上 IED 工具的存在不利于虚回路体系的实施,原因是每次的回路更改都必须要厂商工具参与,对业主而言将形成负担(要么请厂商服务、要么需学习多厂商的不同工具软件)。将来的发展方向应该是在标准的 CID 文件中包含足够的信息,由系统配置器完成 SCD 到 CID 的解析过程,直接下载到相关的装置中执行,也就是 IEC 61850-8-1 标准的附录 D 所说明的 SCL.3 兼容模式[9-10]。在不能够实现 SCL 在线支持的情况下,厂商应将装置所需要的各种工具尽可能集成,提供一种简单易用的界面便于他人学习和使用。

调试诊断工具主要用于虚回路的监视和信号模拟,可以理解成是网络化时代的示波器、万用表及测试信号源,主要供调试和检修人员使用,也可以给厂家技术人员提供一个测试装置的手段。该工具只须从标准的 SCD 文件中提取虚回路的相关信息,与变电站所采用的设备厂商无关,因此也应该成为一种行业标准的通用工具。调试诊断工具可能有多种硬件形式,比如手持的仪表形式或者是运行于便携式计算机的通用软件,以适合不同场合使用者的差异化需求。调试诊断工具可能的功能包括:从 SCD 的虚回路列表中进行对象选择;显示对应虚回路的通信状态、信号量值及波形;虚回路报文分析和异常判断;代替现场信号源提供指定激励量;等等。其中代替现场实际信号加量的功能与现在的数字化保护测控测试仪有所重叠,作为专业的侧重不同,也许虚回路调试诊断工具应着重于回路检验,而不是进行功能或性能的考量。信号模拟功能需要将现场信号源断开,或者更好的做法是全站虚回路依赖于报文品质的测试位 Test 和装置检修状态压板自动识别[5],只有当设备处于检修态才自动切换到测试仪提供的信号源工作。另外,如前所述,调试诊断工具和虚回路体系的 GMRP 自动网络配置密切相关,两者结合方能给使用者带来最大的便利。

4.3 应用展望

以上 3 类工具中,设计/系统集成工具和调试诊断工具是虚回路体系可能得以推广的关键。前者解决了现阶段设计院定位和系统集成商角色问题,后者解决了智能变电站运行调试人员的直观认识问题。这 2 类关键工具均不依赖于具体的厂商设备,只要制定好虚回路体系的模型标准,就有望由专业公司开发而形成行业标准工具,届时智能变电站的逻辑回路再也不会让人感觉到“看不见、摸不着”了。

5 结语

智能变电站以网络化信息共享替代了传统的二次回路,导致原有的设计图纸难以指导变电站的二次施工调试。虚回路体系以 IEC 61850 标准为依据,设计出一整套适用于网络化时代的回路表达和工程实施办法,通过网络自动配置和系列工具软件,可望有效解决智能化变电站逻辑回路的“可设、可校、可配、可用”问题,值得借鉴和推广。

智能变电站虚回路体系建设应当以 SCL 模型标准化为着眼点,依托工程实际,分析信息表达的内在需求,将标准进一步深入和细化。在标准完全确定的基础上,依靠市场的力量完全可以诞生出虚回路体系的通用工具(设计/系统集成、调试诊断),各厂商设备也只需做较小的改动即可满足虚回路体系的要求,虚回路体系有望在较短的时间内实现工程化应用。

参 考 文 献

[1] Q/GDW 383—2009 智能变电站技术导则.北京:国家电网公司,2009.

[2] 徐成斌,孙一民.数字化变电站过程层 GOOSE 通信方案.电力系统自动化,2007,31(19):91-94.
XU Chengbin, SUN Yimin. A communication solution of process layer GOOSE in digitized substation. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 91-94.

[3] 邹晓玉,王浩,吴晓博. IEC 61850 标准中 SCL 语言的几个实践应用问题探讨.电力系统自动化,2006,30(15):77-80.
ZOU Xiaoyu, WANG Hao, WU Xiaobo. Discussion on practical issues of substation configuration language in IEC 61850 standards. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(15): 77-80.

[4] DL/T 860.6—2008 变电站通信网络和系统 第 6 部分:与智能电子设备有关的变电站内通信配置描述语言.2008.

[5] 朱炳铨,王松,李慧,等.基于 IEC 61850 GOOSE 技术的继电保护工程应用.电力系统自动化,2009,33(8):104-107.
ZHU Bingquan, WANG Song, LI Hui, et al. Application of

IEC 61850 GOOSE technology on protective relaying. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(8): 104-107.

[6] IEC 61850-6 Communication networks and systems for power utility automation: Part 6 configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs. 2008.

[7] IEC 61850-7-3 Communication networks and systems for power utility automation: Part 7-3 basic communication structure—common data classes. 2008.

[8] 王松,陆承宇. 数字化变电站继电保护的 GOOSE 网络方案. 电力系统自动化,2009,33(3):51-54.
WANG Song, LU Chengyu. A GOOSE network scheme for relay protection in digitized substations. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(3): 51-54.

[9] 胡道徐. 数字化变电站与 IEC 61850. 中国电力,2008,41(增刊):53-58.
HU Daoxu. Digital substation and IEC 61850. Electric Power, 2008, 41(Suppl): 53-58.

[10] DL/T 860.81—2006 变电站通信网络和系统 第 8-1 部分:特定通信服务映射(SCSM) 对 MMS(ISO 9506-1 和 ISO 9506-2) 及 ISO/IEC 8802-3 的映射. 2006.

胡道徐(1976—),男,通信作者,硕士,高级工程师,主要研究方向:智能变电站技术及相关的标准化工作。E-mail: psx600@hotmail.com

沃建栋(1976—),男,硕士,工程师,主要研究方向:继电保护专业技术管理。E-mail: wojiandongwjd@163.com

Virtual Circuit System of Smart Substations Based on IEC 61850

HU Daoxu[1], *WO Jiandong*[2]

(1. Guodian Nanjing Automation Co. Ltd., Nanjing 210003, China;
2. Jinhua Electric Power Bureau, Jinhua 321000, China)

Abstract: Considering characteristics of eliminating hard cable circuits in smart substations, implementation of integrated virtual circuit system (VCS) based on network information sharing is proposed. IEC 61850 modeling is used to express design, and system integration, debug and configuration, running repair etc. are all achieved by automatic software tools according to the unified information. For VCS of smart substation it needs to suitably expand and improve IEC 61850 standard. GMRP should be applied to achieve automatically network multicast management, and design and system integration should be fully integrated. Common software of 3rd party may be developed based on the uniform standard, so virtual circuits are easily expressed, understood, implemented and maintained by each professional. Work of information repeat configuration is fully minimized so as to avoid man-made errors.

Key words: smart substation; virtual circuit system (VCS); design express; IEC 61850; information modeling; multicast management