

基于 IEC61850 的蓄电池储能系统信息建模与运行

邓 卫, 裴 玮, 沈子奇, 赵振兴

(中国科学院 电工研究所, 北京 100190)

摘要: 结合蓄电池储能系统(BESS)的典型应用需求, 扩展 IEC61850 相关逻辑节点类, 建立蓄电池储能系统智能电子设备(IED)信息模型, 并针对信息模型提出对应的信息交互实现方法。开发了一套分布式能源示范系统对所提信息模型进行测试, 该系统的各组成单元均配置 IED。测试结果表明, 所提信息模型能够准确解析能量管理系统(EMS)下达的控制方式指令与运行调节设定值, 并进行快速、准确的响应。

关键词: 蓄电池; 储能; IEC61850; 智能电子设备; 分布式能源; 信息模型

中图分类号: TM 912

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.12.022

0 引言

随着建设经济、环保和低碳社会需求的日益强烈, 热电联供 CHP(Combined Heat and Power)、光伏、风电等分布式能源 DER(Distributed Energy Resource)受到广泛关注, 成为国内外能源领域的研究热点。DER 在增强供电可靠性、改善电能质量、实现清洁可再生能源规模化接入等方面发挥着重要的作用^[1-3]。DER 中发电技术与储能技术(如超导储能、超级电容器、飞轮、蓄电池等)相结合能够形成运行灵活的综合供能系统^[4-6], 可以进一步提高多类型能源利用效率, 降低化石能源消耗与二氧化碳排放, 促进低碳电力与低碳社会的快速发展。

在储能设备应用日益广泛的同时, 由于各设备制造厂商提供的通信接口与规约不尽相同, 给多类型储能设备的系统快速集成与功能灵活扩展带来了一定的障碍, 如何有效地组织、管理日益增多的储能设备, 成为一项具有理论与现实意义的研究课题。IEC 61850 系列标准(简称 IEC 61850, 下同)具备标准化的系统语言、语义、协议和体系结构, 详细定义了水电站、DER 以及变电站自动化等领域信息交互的公共数据类 CDC(Common Data Classes)与逻辑节点 LN(Logical Node)类^[7-8], 能够为储能设备提供面向对象的信息建模技术以及灵活的通信架构, 将有助于储能设备实现“即插即用”功能。

IEC 61850 第 7-420 部分针对多类型发电设备(如 CHP、光伏发电系统以及燃料电池等)与分散式储能设备定义了各自对应的基本 LN 类与 CDC。利用 IEC 61850 的抽象通信服务接口 ACSI(Abstract Communication Service Interface), DER 可以实现快

速的信息交互^[9-10]。目前, 围绕 DER 的 IEC 61850 相关研究涉及基于 IEC 61850 和 IEC 61400-25 的风力发电机通信数据模型^[11]、基于 IEC 61850 的电动汽车 LN 类扩展与建模^[12]、基于 IEC 61850 的分层管理及通信架构^[13-15]等方面。IEC 61850 第 7 部分定义了变电站和馈线装置基本 LN 类, IEC 61850 第 7-420 部分定义了蓄电池(ZBAT)、蓄电池充电器(ZBTC)等基本 LN 类, 提供了蓄电池状态、放电曲线、保护定值设置、运行值测量等数据对象 DO(Data Object)^[16]。在此基础上, 可以利用 ZBAT、ZBTC 等基本 LN 类构建不同类型的储能逻辑设备 LD(Logical Device)。这些 LN 与 LD 能够解决储能系统各物理设备自身的建模问题, 但较少充分考虑储能系统的典型运行方式及从储能系统整体的角度出发进行信息建模, 规模化储能系统运行时其大量物理设备仍需与相应的控制管理中心交互信息, 这一方面会给通信网络带来巨大压力, 影响通信及运行控制的可靠性, 另一方面也会影响储能系统的集成效率。基于 IEC 61850 将储能系统以整体 DER 的形式进行信息建模, 可以为其相应的运行控制与管理提供可靠、快速的通信支撑, 为完成不同运行状况下储能系统的能量管理与控制协调提供更为高效的信息交互手段, 在此基础上可以快捷实现储能系统的可靠集成。现阶段的研究工作较少涉及基于 IEC 61850 的储能系统整体建模及其实际的运行测试。

本文提出一种适用于储能系统信息建模与运行的解决方案, 针对典型储能形式——蓄电池储能系统 BESS(Battery Energy Storage System)的通用应用需求, 扩展 IEC 61850 相关的基本 LN 类, 从 BESS 整体运行的角度出发构建 BESS 智能电子设备 IED(Intelligent Electronic Device)信息模型, 进一步提出基于 IEC 61850 的 BESS 信息交互实现方法, 并进行实际的运行测试。

收稿日期: 2014-01-07; 修回日期: 2014-11-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51277170); 中国科学院知识创新工程(KGCX2-EW-329)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51277170) and the Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences(KGCX2-EW-329)

1 IEC 61850 在 BESS 中的应用

1.1 IEC 61850 LN

IEC 发布的变电站通信网络和系统标准——IEC 61850 提供变电站和馈线装置统一的信息模型和访问服务^[17-20],并随着标准的不断滚动修订,其应用范围逐步涵盖公用电力事业自动化通信网络和系统的多个领域。

IEC 61850 依据 BESS 实际的应用功能将各组成物理设备抽象成虚拟的 LD,其具体应用功能可以形成对应的 LN。LN 为交换数据功能的最小单元,是由其数据和方法定义的对象。LN 由多个 DO 组成,DO 代表不同类型的特定信息,如状态或者测量值,通常由 CDC 定义其属性类型。CDC 定义了由 1 个或多个数据属性 DA(Data Attribute)组成的结构体信息。DA 可以定义 CDC 各项具体数值的名称、类型、功能约束 FC(Function Constraint)、触发选项 TrgOp(Trigger Option)、值/值域以及强制选项等属性,其中 FC 指明可应用于该 DA 的服务,通常包括状态信息(ST)、测量值(模拟值)(MX)、设点(SP)、描述(DC)等类型;TrgOp 指明该 DA 的触发条件,可以为数据变化(dchg)、数据刷新(dupd)或品质变化(qchg)等类型。

1.2 ACSI

IEC 61850 中的 ACSI 提供客户应用和远方服务器应用之间通信、事件传输(发布者/用户)以及采样测量值传输(发布者/用户)的抽象接口,其包括基本模型与信息交换服务模型,前者支持服务器(server)模型、关联(association)模型、LD 模型、LN 模型、数据(data)模型、数据集(DataSet)模型、报告控制块 RCB(Report-Control-Block)模型、设置组控制块(setting-group-control-block)模型、面向变电站事件的通用对象 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)模型、采样值 SV(Sampled Value)传输模型等;后者则提供相应的 ACSI 服务,以完成各具体模型的通信功能。

BESS 运行时,主要交互的信息通常包括以下几种。

a. 告警信息:包括蓄电池组组端电压超上限报警、蓄电池组组端电压超下限报警、放电电流超上限报警、温度越限报警、内阻过高报警、通信故障等。

b. 设定值:充电截止电压、内阻修正系数、充电电流上限、充电曲线、输出功率等。

c. 状态信息:直流接触器开关状态、电池组投运状态、蓄电池组充放电状态等。

d. 统计信息:累计充电电量、累计放电电量、蓄电池单体电压均值、可充/放电容量等。

e. 测量值:蓄电池组组端电压、单体内阻、电池荷电状态 SOC(State Of Charge)、电池温度、输出功

率、网侧电压、系统频率等。

f. 控制指令:断路器闭合、电池组投运、启动电池组测试等。

g. 计划安排:蓄电池充电计划曲线、蓄电池放电计划曲线、交流侧输出功率调度计划等。

围绕上述 BESS 交互信息,IEC 61850 可以提供对应的 ACSI 服务,如表 1 所示。表中“√”表示其所在行对应的 ACSI 服务项目可以实现其所在列对应的信息交互功能。

表 1 BESS 信息交互及相应的 ACSI 服务

Table 1 BESS information exchange and corresponding ACSI service

ACSI 服务	交互信息						
	状态信息	测量值	统计信息	告警信息	设定值	控制指令	计划安排
GetDataValues			√				
SetDataValues					√		√
GetDataSetValue			√				
SetDataSetValue					√		√
Report	√	√		√			
Select							√
Operate							√

1.3 信息交互体系

依据 IEC 61850 提供的通信体系,BESS 运行时可采用设备层、间隔层以及系统层的信息交互分层结构。围绕该分层结构,相应形成的通信网络包括设备层与间隔层通信网络以及间隔层与系统层通信网络。

a. 设备层与间隔层通信网络。支持 IEC 61850 GOOSE、SV 通信规约的物理设备可以直接与间隔层 IED 进行信息交互,以 GOOSE 报文传输 BESS 物理设备的运行状态信息、开关量控制信息等,以 SV 报文传输 BESS 物理设备的运行数据 SV。当物理设备不支持 IEC 61850 时,可以通过其 RS-485、控制局域网(CAN)等通信接口与间隔层 IED 交互相关信息。

b. 间隔层与系统层通信网络。IEC 61850 第 8-1 部分通过特殊通信服务映射 SCSM(Specific Communication Service Mapping)实现 ACSI 的对象和服务到制造报文规范 MMS(Manufacturing Message Specification)的映射,并利用局域网进行实时与非实时的数据交换。间隔层 IED 可以采用 MMS 报文向系统层传输 BESS 运行过程中的各类型测量值与状态信息,并接收系统层下达的设定值与控制指令,经过解析后传输至相应的 BESS 物理设备。

2 基于 IEC 61850 的 BESS LN

2.1 BESS 典型应用

BESS 通常由储能器件(如铅酸蓄电池组)、控制

设备(如蓄电池充电器、直流变换器)与其他辅助设备(如直流开关、断路器)构成,通过电气连接点 ECP (Electrical Connection Point)接入电网。BESS 可以运行在有功/无功功率(PQ)控制方式,按照功率调节指令参与系统的经济调度与能量优化;BESS 也可以运行在恒压恒频(V/f)控制方式,作为电压源提供一定时间的系统电压与频率支撑,保证重要负荷的不间断电力供应。当多个 BESS 并联运行时,可以采用 PQ 控制方式,也可以运行在无互联通信线的下垂控制方式,按照有功功率-频率($P-f$)下垂特性、无功功率-电压($Q-U$)下垂特性自动均分负荷功率,实现多个 BESS 之间的协调运行。

当 BESS 输出功率时,其蓄电池充电器为直流变换器提供稳定的直流电压支撑。直流变换器运行在逆变工作状态,根据系统运行状况以 V/f 控制方式、PQ 控制方式或下垂控制方式运行,如图 1 所示。

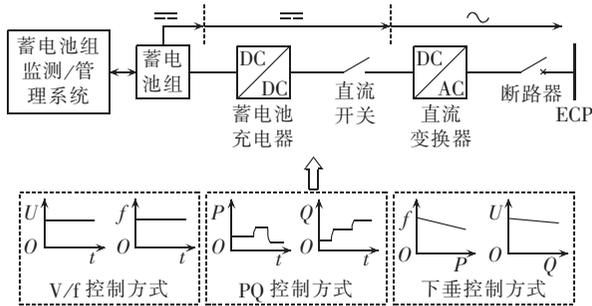


图 1 BESS 放电状态下的典型控制方式

Fig.1 Typical control modes of BESS in discharging condition

当蓄电池组充电时,受蓄电池物理特性的影响,不同 SOC 下 BESS 的充电方式不尽相同:蓄电池组电压较低时通常采用恒电流控制方式以较大的限值电流进行充电;当蓄电池组 SOC 较高时,可转入浮充或涓流充电即恒电压控制方式;恒功率控制方式可以根据蓄电池组 SOC 的变化自动调整充电电流,优化蓄电池组的充电过程。直流变换器运行在整流工作状态,将 ECP 三相交流电压变换为直流电压,作为蓄电池充电器的输入。蓄电池充电器根据系统运行状况以恒功率控制方式、恒电流控制方式或恒电压控制方式运行,如图 2 所示。

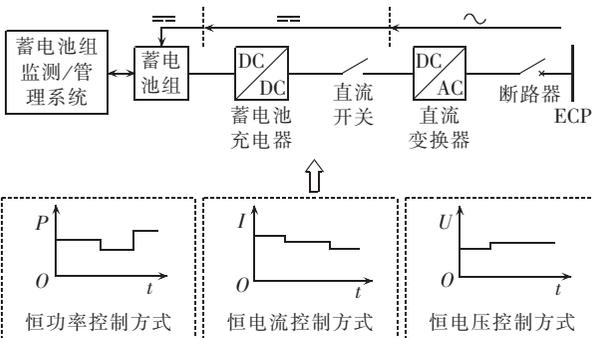


图 2 BESS 充电状态下的典型控制方式

Fig.2 Typical control modes of BESS in charging condition

2.2 BESS LN

依据 BESS 各组成物理设备的实际功能并结合 IEC 61850 第 7-420 部分规定,BESS 可以划分为多个 LD,如 ECP、蓄电池系统、直流开关、直流变换器、断路器、储能控制器等。图 3 描述了基于 IEC 61850 的 BESS LN 构成。

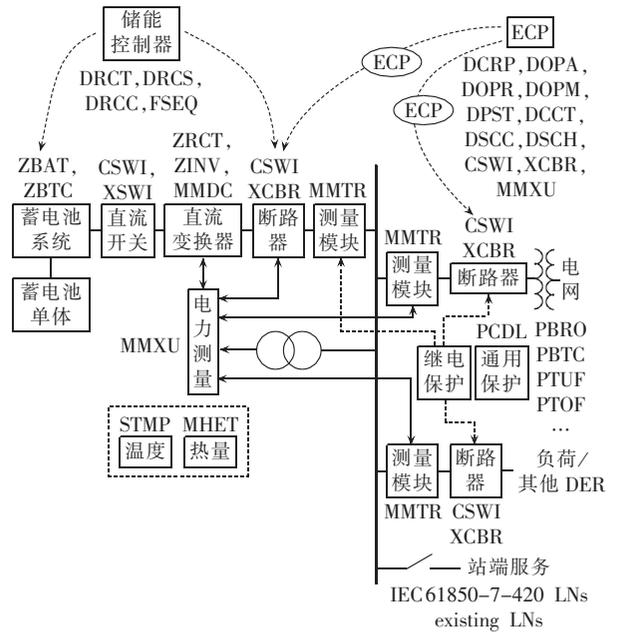


图 3 BESS LN 的构成

Fig.3 Conceptual organization of BESS LNs

基于 IEC 61850 的 BESS LN 扩展类及 LD 中,采用 DER 控制器特性(DRCT)类描述 BESS 类型、电气特性等信息;采用 DER 控制器状态(DRCS)类描述 BESS 手动/自动运行方式、本地/远程控制方式等信息;采用 DER 监视控制(DRCC)类描述 BESS 所具备的监视控制功能。

直流开关连接直流变换器与蓄电池系统的功率主电路,其建模可采用开关控制器(CSWI)类或隔离开关(XSWI)类;断路器完成 BESS、电网、其他 DER 及负荷之间的连接,其建模可采用断路器(XCBR)类或 CSWI 类;BESS 直流变换器建模可采用整流器(ZRCT)类来描述直流变换器整流工作特性,或采用逆变器(ZINV)类来描述直流变换器逆变工作特性;蓄电池系统建模可采用 ZBAT 类以及 ZBTC 类分别描述蓄电池组特性、蓄电池充电器工作特性。

对保护、测量等二次设备进行建模时,保护功能建模可采用低周频率(PTUF)类、高周频率(PTOF)类等 LN;测量功能建模可采用计量(MMTR)类描述 BESS 统计或历史数据信息,采用测量(MMXU)类描述 BESS 电流、电压以及功率等电力运行数据,采用直流测量(MMDC)类、温度测量(STMP)类、热量测量

(MHET)类等 LN 完成 BESS 不同类型的测量功能。

ECP 模型用来描述 BESS 的公共属性,如所有权、合同义务、额定容量、电气连接类型(单相或三相)、操作权限以及能量/辅助服务计划等。

IEC 61850 第 7-420 部分定义 DRCT 类来描述 1 种 DER 或同类型 DER 设备集合采用单个控制器时的控制特性与能力。DRCT 类将部分关键参数作为强制 M(Mandatory)DO,可以采用 CDC 为整数状态定值(ING)的 DO-DERNum 来设定接入的 BESS 数量,采用 CDC 为 ING 的 DO-DERtyp 来设定接入的 BESS 类型。在此基础上,结合 BESS 的实际应用需求进一步扩展 DRCT 类的相关 DO,增加 DERtyp 类型项,当 DRCT.DERtyp=6 时表明接入的 DER 为 BESS 类型。DRCT 扩展类的具体结构如表 2 所示。表中,T 表示瞬态 DO;O 表示 LN 定义的 DO 是可选的;ASG 为模拟定值;LLNO 代表 LD 的公共数据。

表 2 DRCT 扩展类
Table 2 Extended DRCT classes

数据对象名称	公共数据类	说明	T M/O
LNName		应从 LN 类继承(参见 IEC 61850-7-2)	
数据系统 LN 数据		LN 应继承公用 LN 类全部指定数据 其他 LLNO 数据可选	M O
DERNum	ING	控制器所连接 DER 单元的数量	M
DERtyp	ING	DERtyp=0,则接入 DER 为不可应用/未知	M
		DERtyp=1,则接入 DER 为虚拟或混合 DER	
		DERtyp=2,则接入 DER 为往复引擎	
		DERtyp=3,则接入 DER 为燃料电池	
		DERtyp=4,则接入 DER 为光伏系统	
MaxWLim	ASG	标称最大输出有功功率	M
		标称最大输出无功功率	
		标称启动或重启延时	
StopDlTms	ING	标称停止延时	M
LodRampRte	ING	标称负荷变化率	M

IEC 61850 第 7-420 部分定义 DRCC 类来完成 DER 运行目标值设定、控制方式切换、运行启动/停止操作等通用功能。DRCC 类的 DO(M)中,可以采用 CDC 为可控单点(SPC)的 DERStr、DERStop 分别控制 BESS 的投运、停运。结合 2.1 节分析结果,进一步扩展 DRCC 类的部分 DO,增加 CDC 为可控枚举(ENC)的 ModeSet 来设定 BESS 不同的控制方式;当 DRCC.ModeSet=1、DRCC.ModeSet=4 时,BESS 分别转入 PQ 控制、充放电恒功率控制方式,并由 DRCC.OutWSet、DRCC.OutVarSet 分别确定有功、无功功率目

标设定值;当 DRCC.ModeSet=2、DRCC.ModeSet=6 时,BESS 分别转入 V/f、充放电恒电压控制方式,并由 DRCC.OutVSet、DRCC.OutHzSet 分别提供电压、频率目标设定值。基于此,增加 CDC 为曲线设定(CSG)的 DO-PfDroopSet、DO-QVDroopSet,在 DRCC.ModeSet=3 即 BESS 转下垂控制方式时,分别由 DRCC.PfDroopSet、DRCC.QVDroopSet 确定 $P-f$ 下垂特性、 $Q-U$ 下垂特性设定值;增加 CDC 为可控模拟设点信息(APC)的 DO-OutASet,在 DRCC.ModeSet=5 即 BESS 转入充放电恒电流控制方式时,由 DRCC.OutASet 提供电流目标设定值。DRCC 扩展类的具体结构如表 3 所示。

表 3 DRCC 扩展类
Table 3 Extended DRCC classes

数据对象名称	公共数据类	说明	T M/O
LNName		应从 LN 类继承(参见 IEC 61850-7-2)	
数据系统 LN 数据		LN 应继承公用 LN 类全部指定数据 其他 LLNO 数据可选	M O
DERStr	SPC	运行投入	M
DERStop	SPC	运行停止	M
OutWSet	APC	有功功率目标设定值	O
OutVarSet	APC	无功功率目标设定值	O
OutPFSet	APC	功率因数目标设定值	O
OutASet	APC	电流目标设定值	O
OutVSet	APC	电压目标设定值	O
OutHzSet	APC	频率目标设定值	O
PfDroopSet	CSG	$P-f$ 下垂特性设定值	O
QVDroopSet	CSG	$Q-U$ 下垂特性设定值	O
AutoManCtl	SPC	AutoManCtl=On,则为自动运行设定	M
		AutoManCtl=Off,则为本地运行设定	
LocRemCtl	SPC	LocRemCtl=0,则为远程运行设定	M
		LocRemCtl=1,则为本地运行设定	
ModeSet	ENC	ModeSet=0,则 BESS 为待机	M
		ModeSet=1,则 BESS 为 PQ 控制	
		ModeSet=2,则 BESS 为 V/f 控制	
		ModeSet=3,则 BESS 为下垂控制	
		ModeSet=4,则 BESS 为充放电恒功率控制	
ModeSet	ENC	ModeSet=5,则 BESS 为充放电恒电流控制	M
		ModeSet=6,则 BESS 为充放电恒电压控制	
		ModeSet=99,则 BESS 为其他运行方式	

3 基于 IEC 61850 的 BESS 信息交互

3.1 IED 信息模型

依据 BESS 各组成物理设备的实际功能,扩展 IEC 61850 相关 LN 类,在此基础上利用可扩展标记语言 XML(eXtensible Mark-up Language)并且结合 IEC 61850 颁布的 XML 语法规则,对 BESS 各 LN 类进行实例化,确定所有关联的 DO 以及 DA 数据信息。

图 4 给出了 BESS 部分 LN 类实例的 XML 描述,代码如下。

```

<IED name="ESIED">
  <Services>
    <DynAssociation/>
    <GetDirectory/>
    <GetDataSetValue/>
    <DataSetDirectory/>
    :
  </Services>
  <AccessPoint name="A1">
    <Server>
      <LDevice desc="ES information model" inst="LD1">
        <LN0 desc="description" lnType="LN0" lnClass="
          "LLN0">
          :
        </LN0>
        <LN lnType="LPHDa" lnClass="LPHD" inst="1">
          :
        </LN>
        <LN lnType="ZBATA" lnClass="ZBAT" inst="1">
          <DOI name="MaxChaN">
            <DAI name="minVal">
              :
            </DAI>
            <DAI name="maxVal">
              :
            </DAI>
            <DAI name="units">
              :
            </DAI>
            :
          </DOI>
          <DOI name="BatsTyp">
            :
          </DOI>
          <DOI name="HiBatsVAlm">
            :
          </DOI>
          :
        </LN>
        <LN lnType="ZINVa" lnClass="ZINV" inst="1">
          :
        </LN>
        <LN lnType="XCBRa" lnClass="XCBR" inst="1">
          :
        </LN>
        :
      </LDevice>
    </Server>
  </AccessPoint>
</IED>

```

BESS LNs 通过一定的配置流程可以生成 BESS IED 信息模型所需的配置 IED 描述 CID(Configured IED Description)文件,以实现 BESS IED 信息模型的自动识别。CID 文件配置流程如图 5 所示,具体流程如下:

a. 应用 BESS 制造厂商所提供的 IED 配置工

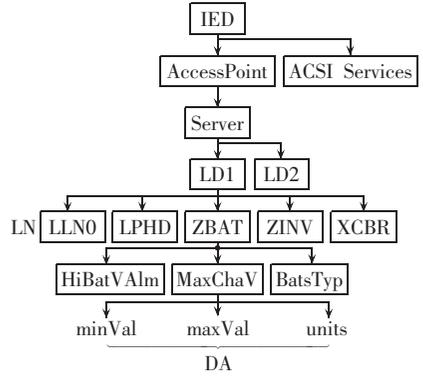


图 4 BESS 部分 LN 类实例 Fig.4 Instances of partial BESS LNs

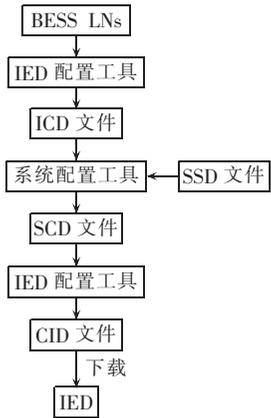


图 5 CID 文件配置流程 Fig.5 Flowchart of CID file configuration

具,将扩展的 BESS LNs 转换为符合工程实施规范的 IED 能力描述 ICD(IED Capability Description)文件;

b. 结合系统规范描述 SSD(System Specification Description)文件和 ICD 文件,进一步应用系统集成商所提供的系统配置工具形成系统配置描述 SCD(System Configuration Description)文件;

c. 在步骤 b 的基础上应用 IED 配置工具将 SCD 文件转化为 CID 文件(CID 文件记录 BESS 所有 LNs 的域名位置、数据类型等信息,并定义需要进行信息交互的具体 DataSet 内容及其 RCB 触发方式与通信服务属性),并下载至 BESS 对应的 IED。

3.2 信息交互

BESS 运行时其交互信息主要围绕状态信息、测量值以及控制指令等类型,BESS IED 工作时载入信息模型 CID 文件,并提取其中的状态信息 DO、测量值 DO 以及控制 DO 的相关配置(状态信息 DO 主要记录 BESS 的运行状态,测量值 DO 主要记录 BESS 的运行数据,控制 DO 主要调整 BESS 的运行调节值与控制方式)。当 IED 启动 ACSI 服务后,将 BESS 实际运行工况的 SV 定期更新至 DataSet 对应的状态信息 DO 与测量值 DO,并依据 RCB 触发方式与通信服务属性触发相应报告;当 BESS 接收到设置、控制请

求时,DRCC.ModeSet 响应并解析获取具体的 BESS 控制方式指令,DRCC.OutWSet、DRCC.OutVarSet 等响应并解析获取具体的 BESS 运行调节设定值,并更新对应关联物理设备的设定与控制信息。图 6 描述了基于 ACSI 的 BESS 信息交互实现流程(IHMI 为人机接口),在完成可靠、快速信息交互的基础上,BESS 可以根据系统运行状况进一步完成相应的运行控制与管理。

4 示范测试

采用如图 7 所示的 DER 示范系统作为 BESS 测试研究平台,该示范系统包含动力负荷(峰值功率为 23 kW·A)、照明负荷(峰值功率为 18 kW·A)、光伏发电阵列(额定容量为 19 kW_p)以及 BESS(采用阀控铅酸蓄电池组,其逆变器额定容量为 50 kW·A),各电流为断路器对应的额定电流。示范系统中,BESS 与其他各组成单元均配置 IED 并载入对应的信息模型 CID 文件,各 IED 通过以太网与示范系统能量管理系统 EMS(Energy Management System)进行通信互联。

图 8 描述了 BESS 采用 PQ 控制方式时的示范系统运行监测曲线,该时段内 EMS 的运行目标为控制示范系统与配电网公共连接点(PCC)无交互功率,即当示范系统出现光伏发电输出功率波动、负荷变化等情况时,EMS 将动态调整 BESS 的输出功率以维持 PCC 交互功率恒定为 0。由图 8 可知,BESS IED 信息模型能够准确解析 EMS 下达的控制方式指令与运行调节设定值:当接收到 EMS 下达的 PQ 控制方式指令时,其信息模型中的控制 DO-DRCC.ModeSet 设定为 1,信息模型中的控制 DO-DRCC.OutWSet、DO-DRCC.OutVarSet 响应 EMS 下达的功率设定值并动态更新,进而调整 BESS 直流变换器的有功/无功功率设定值,以缓冲光伏发电出力变化、负荷投切等状况引起的示范系统功率波动,维持

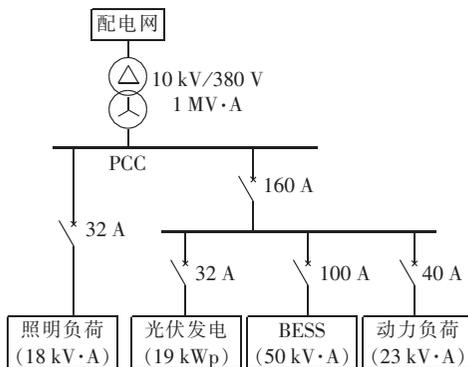


图 7 DER 示范系统结构

Fig.7 Structure of DER demonstration system

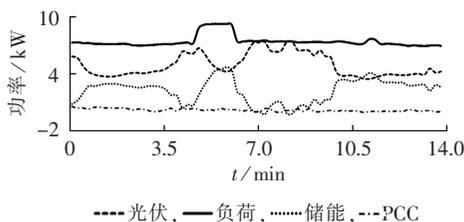


图 8 BESS 采用 PQ 控制方式时,示范系统各单元功率

Fig.8 Power curve of demonstration system in PQ control mode for different units

其 PCC 交互功率恒定。

当示范系统接受 EMS 调度转入离网运行时,BESS 将采用 V/f 控制方式为示范系统提供一定时间的电压与频率支撑。图 9 描述了 BESS 采用 V/f 控制方式时的实验波形,当 BESS IED 接收到 EMS 下达的 V/f 控制方式指令时,其信息模型中的控制 DO-DRCC.ModeSet 设定为 2,信息模型中的控制 DO-DRCC.OutHzSet、DO-DRCC.OutVSet 分别响应 EMS 下达的系统频率、电压幅值设定值,并进行动态更新,以调整 BESS 直流变换器的输出电压。图 9 实验结果表明,BESS 能够快速响应 EMS 的控制指令,在 2 个工频周期内建立示范系统电压(频率 50.0 Hz,有效值 224.1 V)并提供稳定支撑。

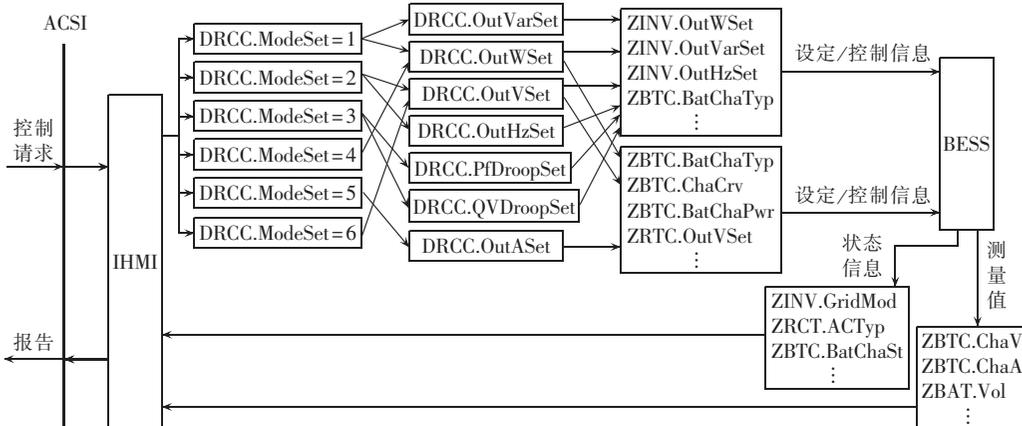


图 6 信息交互示意图

Fig.6 Schematic diagram of information exchange

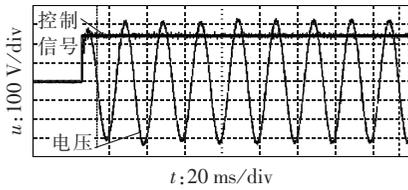


图 9 BESS 采用 V/f 控制方式时的电压波形

Fig.9 Voltage waveform of demonstration system in V/f control mode

图 10 描述了 BESS 采用充放电恒功率控制方式时的示范系统运行监测曲线,其中 EMS 在 09:58:00 前的时段对 BESS 进行 4 kW 恒功率充电,在 09:58:00 时下达 9 kW 恒功率充电指令。由图 10 可知,BESS IED 信息模型能够准确解析 EMS 控制指令:当接收到 EMS 下达的充放电恒功率控制方式指令时,其信息模型中的控制 DO-DRCC.ModeSet 设定为 4,信息模型中的控制 DO-DRCC.OutWSet 响应 EMS 下达的充放电恒功率设定值并进行动态更新,进而控制 BESS 蓄电池充电器的功率输出、完成对 BESS 的充放电恒功率控制。



图 10 BESS 采用充放电恒功率控制方式时,示范系统各单元功率

Fig.10 Power curve of demonstration system in constant power control mode for different units

上述示范系统运行测试结果表明,BESS IED 能够准确、可靠地与 EMS 进行信息交互,一方面,BESS IED 信息模型中的控制 DO 能够快速响应 EMS 控制指令,并动态更新 BESS 不同控制方式下对应的运行调节值,完成相应的运行目标;另一方面,BESS IED 信息模型中的状态信息 DO 与测量值 DO 能够依据预设的 RCB 触发方式与通信服务属性,将 BESS 实际运行状态与运行数据完整地向 EMS 进行反馈。EMS 获取的监测数据能够反映 BESS 的真实工况,为 BESS 性能测试、控制方式调整以及综合决策分析提供可靠的信息源。

5 结论

IEC61850 提供标准化的系统语言、通信服务与体系结构,为实现多类型储能设备的信息建模及标准化信息交互提供了新的解决方案。IEC61850 第 7 部分定义了变电站和馈线装置基本 LN 类,IEC61850 第 7-420 部分定义了分散式储能设备的基本 LN 类。本文针对 BESS 的应用需求扩展了相关 LN 类,并充分考虑 BESS 的典型运行方式,从 BESS 整体的角度

出发构建了基于 IEC61850 的 BESS IED 信息模型,在此基础上进一步提出了 BESS 信息交互的实现方法。实际测试结果表明,BESS IED 信息模型能够完成 BESS 与系统 EMS 之间快速、准确的信息交互,为完成不同状况下 BESS 整体的运行控制与管理提供可靠、高效的信息交互手段,进而更为快捷地实现多类型储能系统的可靠集成。本文构建的 BESS IED 信息模型可以灵活扩展,能够快速完成 BESS 新增运行方式、控制功能完善等功能,为多类型储能系统的“即插即用”提供有效的技术手段与解决方案。

参考文献:

- [1] ETEMADI A H,DAVISON E J,IRAVANI R. A decentralized robust control strategy for multi-DER microgrids-part II:performance evaluation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2012,27(4): 1854-1861.
- [2] FERREIRA P D F,CARVALHO P M S,FERREIRA L A F M,et al. Distributed energy resources integration challenges in low-voltage networks:voltage control limitations and risk of cascading [J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy,2013,4(1):82-88.
- [3] TSIKALAKIS A G,HATZIARGYRIOU N D. Centralized control for optimizing microgrids operation[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion,2008,23(1):241-248.
- [4] ABBEY C,JOOS G. Supercapacitor energy storage for wind energy applications [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2007,43(3):769-776.
- [5] BARTON J P,INFIELD D G. Energy storage and its use with intermittent renewable energy [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion,2004,19(2):441-448.
- [6] 张卫东,刘祖明,申兰先. 利用储能平抑波动的光伏柔性并网研究 [J]. 电力自动化设备,2013,33(5):106-111.
ZHANG Weidong,LIU Zuming,SHEN Lanxian. Flexible grid-connection of photovoltaic power generation system with energy storage system for fluctuation smoothing [J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(5):106-111.
- [7] OZANSOY C R,ZAYEGH A,KALAM A. Object modeling of data and datasets in the international standard IEC61850 [J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2009,24(3):1140-1147.
- [8] OZANSOY C R,ZAYEGH A,KALAM A. The application-view model of the international standard IEC61850 [J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2009,24(3):1132-1139.
- [9] 马亮,杨洪涛,汝雁飞,等. 基于 MMS-EASE 的智能装置 ACSI 服务的一致性测试软件实现[J]. 电力自动化设备,2012,32(3):109-112.
MA Liang,YANG Hongtao,RU Yanfei,et al. Implementation of conformance test software based on MMS-EASE for ACSI services of intelligent device[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012,32(3):109-112.
- [10] USTUN T S,OZANSOY C R,ZAYEGH A. Modeling of a centralized microgrid protection system and distributed energy resources according to IEC61850-7-420[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2012,27(3):1560-1567.
- [11] TIMBUS A,LARSSON M,YUEN C. Active management of distributed energy resources using standardized communications and modern information technologies [J]. IEEE Transactions on

- Industrial Electronics,2009,56(10):4029-4037.
- [12] USTUN T S,OZANSOY C R,ZAYEGH A. Implementing Vehicle-to-Grid(V2G) technology with IEC61850-7-420[J]. IEEE Transactions on Smart Grid,2013,4(2):1180-1187.
- [13] 邓卫,裴玮,齐智平. 基于IEC61850标准的微电网信息交互[J]. 电力系统自动化,2013,37(3):6-11.
DENG Wei,PEI Wei,QI Zhiping. Micro-grid information exchange based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013,37(3):6-11.
- [14] ZHABELOVA G,VYATKIN V. Multiagent smart grid automation architecture based on IEC61850/61499 intelligent logical nodes [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,2012,59(5): 2351-2362.
- [15] INGRAM D M E,SCHAUB P,TAYLOR R R,et al. Network interactions and performance of a multifunction IEC61850 process bus[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013,60(12):5933-5942.
- [16] IEC. IEC Standard IEC/TR61850-7-420 Edition 1.0 Communication networks and systems for power utility automation-part7-420;basic communication structure-distributed energy resources logical nodes[S]. Geneva,Switzerland:IEC,2009.
- [17] IEC. IEC/TR61850-7-1 Edition 2.0 Communication networks and systems for power utility automation-part7-1;basic communication structure-principles and models[S]. Geneva,Switzerland: IEC,2011.
- [18] IEC. IEC/TR61850-7-2 Edition 2.0 Communication networks and systems for power utility automation-part 7-2;basic information and communication structure-Abstract Communication Service Interface(ACSI)[S]. Geneva,Switzerland:IEC,2010.
- [19] IEC. IEC/TR61850-7-3 Edition 2.0 Communication networks and systems for power utility automation-part7-3;basic communication structure-common data classes[S]. Geneva,Switzerland:IEC,2010.
- [20] IEC. IEC/TR61850-7-4 Edition 2.0 Communication networks and systems for power utility automation-part7-4;basic communication structure-compatible logical node classes and data object classes[S]. Geneva,Switzerland:IEC,2010.

作者简介:



邓卫

邓卫(1983—),男,湖南祁阳人,副研究员,博士,从事微电网稳定控制与信息化方面的研究工作;

裴玮(1982—),男,江西南丰人,副研究员,博士,通讯作者,从事分布式发电与微电网技术方面的研究工作(**E-mail**:peiwei@mail.iee.ac.cn)。

IEC61850-based information models of battery energy storage system and its operation

DENG Wei, PEI Wei, SHEN Ziqi, ZHAO Zhenxing

(Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: The relative logical nodes of IEC61850 are extended according to the typical applications of BESS (Battery Energy Storage System) and the IEC61850-based information models are built for its IEDs (Intelligent Electronic Devices). The implementation of information exchange among these information models is proposed. A DER (Distributed Energy Resource) demonstration system is developed for testing the proposed models, each unit of which is equipped with IEDs. Test results show that, the proposed information model analyzes the control mode instruments and operational regulation settings from EMS (Energy Management System) correctly, and responds quickly and accurately.

Key words: electric batteries; energy storage; IEC61850; intelligent electronic device; distributed energy resources; information model