

## 基于 IEC 61850 的 DER 并网监控信息模型研究

吴润泽<sup>1</sup>, 王欣宇<sup>1</sup>, 张晓平<sup>2</sup>, 刘文霞<sup>1</sup>

(1. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206; 2. 广东电网公司电力科学研究院, 广东 广州 510080)

**摘要:** DER (Distributed Energy Resources) 并网需要解决的问题之一是 DER 与整个配电网系统的信息采集和交互。以 IEC 61850 标准为基础, 研究 DER 并网监控的信息内容, 设计了一种基于 IEC 61850 的综合并网监控信息模型。该模型采用面向对象的抽象方法, 将 DER 并网监控系统各设备抽象为逻辑功能节点, 分析 DER 接入 10 kV 配网的监控信息流, 定义了各信息所属的数据对象, 建立逻辑设备节点信息模型。最后以 PV (Photovoltaic System) 并网为例, 选取发电电子系统和并网点的典型逻辑节点, 建立了不同并网状态下的综合信息模型。

**关键词:** 分布式电源; 配电网; 并网监控; IEC 61850; 信息模型

### Study on supervisory control information model of DER grid-connected based on IEC 61850

WU Run-ze<sup>1</sup>, WANG Xin-yu<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-ping<sup>2</sup>, LIU Wen-xia<sup>1</sup>

(1. School of Electrical & Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. Electric Power Science Research Institute of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** To solve the problem of information acquisition and exchange, a comprehensive monitoring information model based IEC 61850 is proposed for DER accessing in the grid. The model adopts the object-oriented abstraction method to abstract the logical devices as function node, analyzes the supervising information of 10 kV distribution network of DER grid-connected and finally defines the data objects as logic function nodes. In the end, this paper makes the PV DER grid-connected as an example, chooses typical logical nodes in the generating subsystem and the electric combined point to illustrate the monitoring information model of different grid-connected patterns.

This work is supported by National High-tech R & D Program of China (863 Program) (No. 2012AA050212).

**Key words:** distributed energy recourses; distribution network; grid-connected monitoring; IEC 61850; information model

中图分类号: TM764

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)09-0001-07

## 0 引言

DER (Distributed Energy Resources) 并网是良好的集中发电补充和调峰手段, 同时也是有益的节能减排策略。因此专家学者对于 DER 并网的研究也日益增多。DER 并网一方面可以保障关键设备的持续供电, 另一方面也给电网带来双向潮流、谐波冲击、短路电流水平变化等不安全因素。而以往对于分布式电源并网模型的研究主要集中在对于电气特性的研究上。文献[1]通过对不敏感参数的聚合形成只辨识电动机比例、定子电抗等 7 个参数的负荷模型, 并给出了不同负荷水平下各类电源的出力情况

分析。文献[2]针对典型案例, 给出了实现交流充电桩信息交换的数据集/报告控制块实例、控制属性及服务流程。文献[3]给出了 DER 并网的信息模型框架, 定义了信息模型的层次结构, 但是并未给出具体的电源规模化电源并网的信息模型。

本文将在 IEC 61850 的分布式电源信息模型的基础上, 对 DER 的不同并网方式进行分析, 将并网系统分为发电电子系统和 ECP (Electrical Connection Point) 两部分, 并对两个子系统分别建立监控信息模型, 进一步总结 DER 并网的综合特性, 分析 DER 接入 10 kV 配网的监控信息流从而建立整个并网过程监控综合信息模型。以 PV 并网为例, 选取发电电子系统内部和并网点的典型逻辑节点, 给出不同并网状态下的信息模型。

**基金项目:** 教育部中央高校基本科研业务费专项资金资助 (13MS01); 国家 863 高技术基金项目 (2012AA050212)

### 1 DER 并网监控

作为电源点并入配电网的 DER，并网位置和并网方式都比较灵活。电源可以在带负荷的区域接入也可以作为独立的电源点接入电网。同时作为集中式发电的一种补充，DER 既可以在满足并网要求的时候作为电源节点向电网反向供电，也可以在不满足要求或者不需要并网的时候作为孤岛运行。DER 发电容量不同，对电力系统的影响也有所差异，容量大小与监控与否与监控信息量也相应关联。

#### 1.1 DER 的并网方式

DER 并网方式有图 1 所示的几种<sup>[4]</sup>。

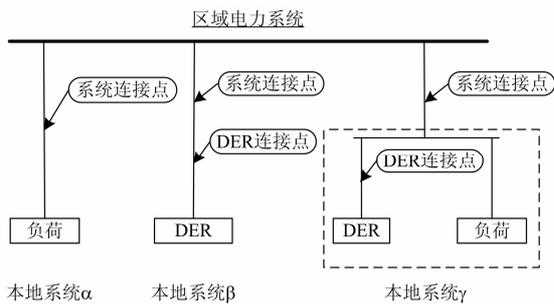


图 1 DER 并网方式

Fig. 1 Mode of DER paralleled in

系统γ中并网的 DER 带本地负荷，可以单独作为一个微系统运行，也可以通过系统连接点并网运行。

#### 1.2 DER 分类

DER 的分类主要有如下几种<sup>[5-11]</sup>：

- (1) 按照能源类型分为自然能源 DER、化石燃料 DER 和生活废弃物 DER；
- (2) 按照发电机同步情况分为同步发电机 DER 和异步发电机 DER；
- (3) 按照是否具备与配电网调度中心的通信能力及控制协议可分为可控制式 DER 和不可控制式 DER；
- (4) 按照控制方式的不同可以分为主从控制型电源和对等控制型电源等。

上述分类方式从电气特性出发，结合转化前能量形式对其进行分类。对于 DER 并网信息模型，主要考虑的因素为 DER 输出电能质量和运行方式。第一类分类方式对输出电能质量的考虑不够充分，第二类方式对并网方式的考虑不够充分，后两种方式就并网控制而言有一定的参考价值，但是对于监视信息的考虑稍显欠缺。本文按照 DER 输出电能质量的差异，对 DER 作表 1 所示分类。

不稳定 DER 输出电能质量差，发电量波动大，

并网困难，故本文选取内燃机、PV 发电作为并网代表，研究 DER 并网的信息建模。

表 1 DER 分类

Table 1 DER classification

类别	所含电源
稳定 DER	内燃机、蓄电池、微型燃气轮机、生物能发电、燃料电池（主要燃料为轻油和天然气）、小水电、地热
较稳定 DER	太阳能发电（光伏发电、光化学发电、光感应发电）
不稳定 DER	风能、潮汐等

#### 1.3 容量监控

DER 并网位置灵活，为保证并网电源对电网的影响不至于干扰到系统运行，DER 总容量不宜超过上一级变压器供电区域内最大负荷的 25%<sup>[12]</sup>，其电源总容量和监控需求如表 2 所示。

表 2 分布式电源容量监测要求

Table 2 Monitoring requirements of DER capacity

DER 总容量	要求
< 200 kW	不需监测
200 kW~1 MW	如有继电保护装置则不需监测
> 1 MW	需要监测

### 2 DER 接入配网形式

#### 2.1 并网 DER 的信息流监控

不同 DER 并网监控内容不尽相同，但是并网信息传输方式基本一致。多点 DER 并入 10 kV 的中压站信息流情况如图 2 所示。并入 10 kV 站的 DER 同时供馈线 1~4 的负荷，并入馈线 2 的 DER 为该馈线本地负荷供能。DER 监控信息通过 IED (Intelligent Electronic Device) 经保护设备汇聚至 Agent，由网关检查安全性后上传到主站处理信息。

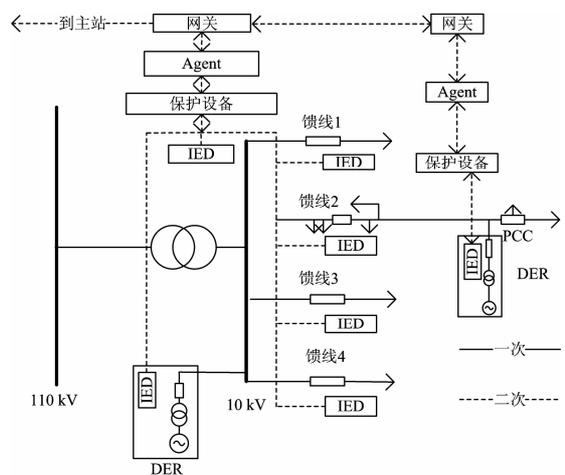


图 2 DER 并网信息流向

Fig. 2 Information flow of DER paralleled in

并网监控信息由 DER 的类型和数量决定。对于电能输出较稳定的电源, 电能信息监控所占带宽相对较少。输出不稳定的电源的电能质量和服务控制信息相对复杂, 输出电能的监控轮询周期变短, 频率增加, 信息量变大, 在电能质量或原料状态改变的情况下, 遥信信息更需及时上传, 遥控信息及时下达, 有效启停 DER, 保障电网安全。

对于多个同类 DER 并网, 信息量倍增。对于互异类型 DER 并网的情况, 监控设备需提供不同的轮询时间和可靠性标准。电源的轮询频率决定其信息量和通信等级, 相应信息量为各并网 DER 信息量累加。通信信息技术性要求以最严格者为准。

本地若接入 DER, 则在相应的馈线上需要对其

通信方式进行改变。依据 IEEE 1547 标准, 作为三遥节点, 对 DER 的监控设备需要采用光纤介质, 如果距离较远, 到本地总网关的线路上需要接中继器进行线路的延长。对于较远的 DER 接入的情况下, 需要在 DER 并网点 ECP 接入保护设备并由 Agent 将数据汇总上传给本地中压电站, 然后上传到主站进行指令的发送和监控等。

### 2.2 DER 接入 10 kV 电站监控信息分析

各类 DER 并网点的监控业务大同小异, 主要为电能质量和启停等相关控制业务数据。对于各类 DER 并网的监控信息的差异在于发电系统内部原料状态和发电设备状态的差别, 这由信息量和技术性要求决定。DER 并网监控信息如图 3 所示。

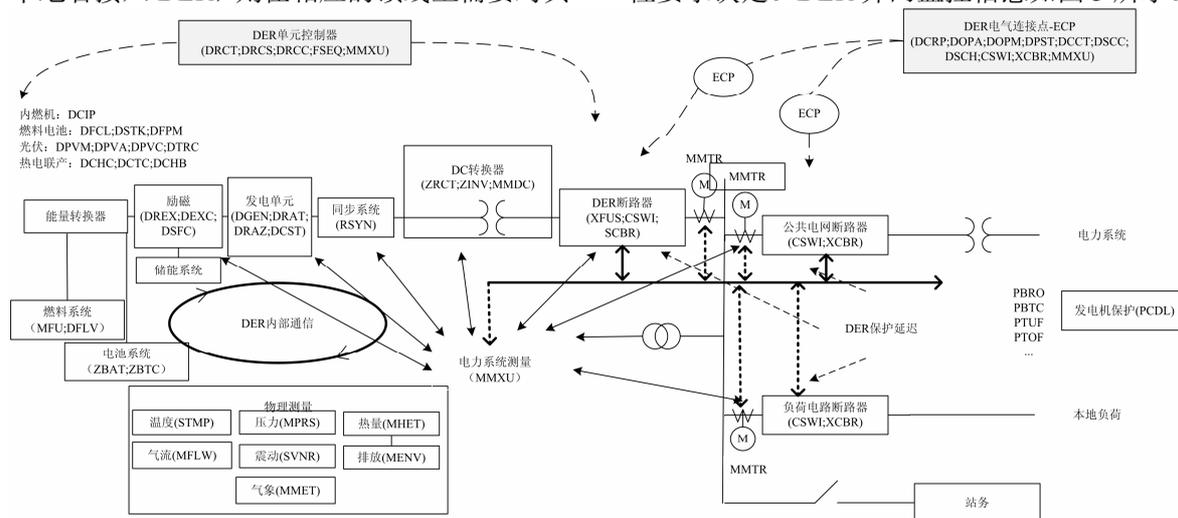


图 3 DER 综合并网监控

Fig. 3 Monitoring of DER paralleled in

内燃机发电需要监控的物理测量量主要为设备状态、能量转换单元和燃料系统的监控信息。对应 PV 发电为发电设备状态以及气象情况等。初始能源的不同造成能量转换器的功能也存在差异, 进一步决定了能量转换器监控信息不同。并网点监控信息主要差异集中在 MMSU 单元。相对于 PV, 内燃机对电能质量的轮询周期长, 信息量较小。

两类 DER 的监控信息如表 3 所示。

表 3 DER 并网监控信息

Table 3 Grid-connected DER information

DER	内部信息	MMSU
内燃机	包括物理量 (温度、压力、热量、气流、震动、排气、气象条件)、能量转换器状态、燃料系统状态、电池系统状态、开关状态、DC 转换器信息等	电能质量的全部值以及需要传输调度的业务
PV	物理量 (外界温度、面板辐照度、热量、气象条件)、能量状态、能量转换状态等业务	的业务

## 3 DER 并网监控综合信息模型

### 3.1 并网系统信息模型

采用了面向对象的建模方法, 将 DER 并网监控系统中各部分抽象为对应的 LD (Logical Devices), DER 内部系统中的逻辑设备主要包括物理测量 LD、发电 LD、储能 LD、同步 LD, ECP 按照功能抽象为断路器 LD, DC 转换 LD<sup>[13]</sup>。并网系统的综合信息模型如图 4 所示。

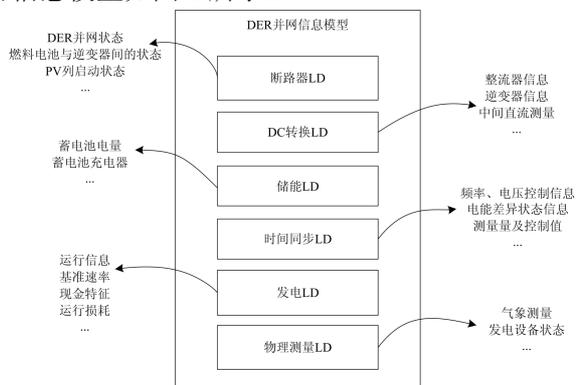


图 4 DER 并网系统信息模型框架

Fig. 4 Information model framework of DER paralleled in

### 3.2 逻辑设备信息模型

IEC 61850 规定 DER 并网的逻辑设备信息模型如图 5 所示<sup>[3]</sup>。

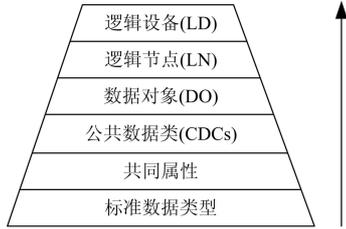


图 5 逻辑设备信息模型

Fig. 5 Information model of logical device (LD)

各功能对象按照图 5 关系从属。标准数据类型定义数据格式，包含布尔型、整型、浮点型三类。公共属性定义对象的共同属性，如数量特性等。公共数据类定义数据的类型和格式<sup>[14]</sup>。图示信息模型的下层是上层的必要部分。

DER 并网主要的逻辑设备包括 DER 单元控制器、ECP、储能设备、能量转换器、DC 转换器、开关、断路器、测量设备、发电机保护设备。各类逻辑设备通用模型如图 6 所示。

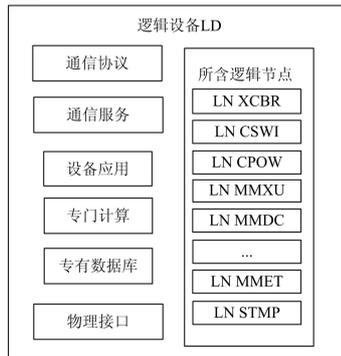


图 6 逻辑设备信息模型说明

Fig. 6 Illustration for information model of LD

对于各类逻辑设备所包含的逻辑节点如表 4 所示。

表 4 逻辑设备与所含逻辑节点

Table 4 Logical device and the contained logical nodes

逻辑设备 LD	所含逻辑节点 LN
DER 单元控制器	DRCT;DRCS;DRCC;FSEQ;MMXU
发电内部 LD	DCRP;DOPA;DOPM;DPST;DCCT; DSCC;DSCH;CSWI;XCBR;MMXU
储能设备	ZBAT;ZBTC
能量转换器	DCIP;DPVM;DPVA;DPVC;DTRC
DC 转换器	ZRCT;ZINV;MMDC
开关	CSWI;XSWI
并网 LD	断路器 CSWI;XCBR
测量设备	MMTR
发电机保护设备	PBRO;PBTC;PTUF;PTOF;PCDL...

注：DRCT：DER 控制器特点；DRCS：DER 控制器状态；DRCC：DER 监控；FSEQ：定序器；MMXU：电气测量单元；DCRP：DER 组件在 ECP 的协作特性；DOPA：DER 在 ECP 的业务自动化；DOPM：DER 在 ECP 的运行模式；DPST：ECP 点的状态信息；DCCT：DER 经济调度参数；DSCC：DER 能源和/或配套服务进度控制；DSCH：DER 能量和/或附加服务表；CSWI：燃料电池和逆变器之间的开关；XCBR：保护 PV 列的断路器；ZBAT：蓄电池；ZBTC：蓄电池充电器；DCIP：内燃机特性、测量值及控制信号；DPVM：PV 模块速率；DPVA：光伏阵列特性；DPVC：光伏阵列控制器；DTRC：跟踪控制器；ZRCT：整流器；ZINV：逆变器；MMDC：中间直流测量；XSWI：PV 系统与换流器之间的直流开关，以及作为换流器与电源系统见物理连接点的交流开关；XCBR：保护 PV 列的断路器；MMTR：电力计量。

DER 并网发电内部需要严密监控的逻辑设备包括储能系统、能量转换器、测量单元以及 DC 开关，需要监控的业务为设备外特性（设备生产厂家和型号）、设备状态、电气特性、蓄电池状态、蓄电池充电器状态、内燃机特性数据、测量信息及控制信号、PV 阵列特性、PV 控制器特性、跟踪器特性、整流器、逆变器状态、中间直流测量数据以及 DC 开关状态等。发电系统内部通信距离短、业务信息相对封闭，内部组网灵活，由 DER 系统自主决定。

DER 并网时，整个 DER 发电系统等效为公共电网的负荷点或者电源点。DER 发电能力大于本地需求，输出电能质量相对稳定时，作为电源点进行信息监控，反之则作为负荷点。

PV 发电电能质量相对稳定，发电容量一般不大（10 kW~50 MW），而一般的单个 10 kV 变电站所带负荷则远大于这个范围，PV 并网时则一般与 ECP 一起视为电网负荷点。并网的监测数据都可以从 ECP 点测得。所监控的业务内容包括：协作特性、业务自动化特性、运行模式、状态信息、DER 经济调度参数、DER 能源和/或配套服务进度控制、DER 能量和/或附加服务表、燃料电池和公网之间的开关。

各并网业务所含具体内容如下。

(1) 协作特性：所有权、经营权限、合同义务和权限、位置以及所有直接或间接地连接在 ECP 的设备认证、设备类型、连接类型、操作模式、DER 在 ECP 的结合速率、电力系统中 ECP 的运行限制。

(2) 业务自动化：ECP I/O 权限切换运行模式，启停 DER 单元。

(3) 运行模式：定义了 10 种模式：能源决定的发电水平、恒有功功率、恒电压、恒无功功率、

恒功率因数、恒输出\输入、最大无功功率、过电压、峰值负荷、孤岛。

(4) DER 组件连接状态和告警: ECP 连接状态和累积瓦塔-小时。

(5) 运行经济调度参数: 额定输出/入能量限制、DER 发电功率因数、额定最高/低电压、辅助功能、每小时运行费用、每 kWh 运行费用、启停 DER 费用、每 kW·min 运行费率、热排放消耗、碳排放消耗。

(6) 能源和配套服务规划控制: 能量-时间表、附加服务-时间表, 用 1 表示激活计时, 0 表示取消。

(7) DER 组件的能源和/或配套服务控制: 时间表种类, 包括未知、常规、备份、紧急、维护、其他几类。

(8) 控制器状态: 每个 ECP 和/或者负载连接点的开关或者断路。

(9) 实际的电力系统中每个 ECP 的测量: 有功功率、无功功率、频率、电压、电流、功率因数、总量和每相阻抗。

(10) 必要的 ECP 尖端测量信息: 间隔长度、每间隔读数 (包括统计值和历史统计值)。

### 3.3 逻辑节点信息模型

对于每类 LD 所包含的 LN, IEC 61850 给出了其所属数据对象、数据类及其公共属性。以 XCBR 为例, 逻辑节点的信息模型如图 7 所示。

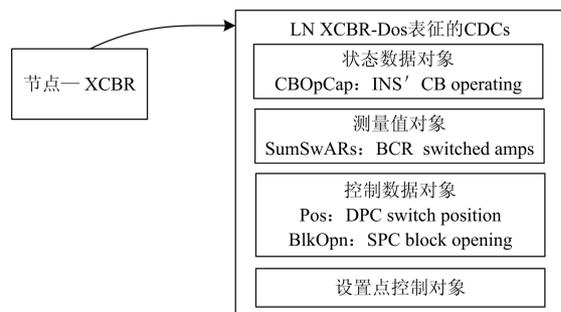


图 7 XCBR 逻辑节点信息模型

Fig. 7 Information model of XCBR logical node

数据对象是与一个或者多个逻辑节点关联的对象, 包含无类别数据对象 (通用信息)、测量值、控件、计量值、状态信息、设置 6 类<sup>[15]</sup>。数据类是基于标准数据类型和事先定义的共性群体, 包含状态信息、测量值信息、可控状态信息、可控模拟信息、状态定值、模拟定值、描述信息 7 类<sup>[15]</sup>。公共属性是事先设定的应用于不同目标的共同属性, 包含数量、模拟值、模拟值配置、范围配置、带瞬变值的步位置、脉冲配置、原发者、单位定义、向量

定义、点定义、控制模式定义、操作前定义选择等信息<sup>[14]</sup>。

## 4 PV 并网监控信息模型示例

某地为调节用电高峰, 在 10 kV 电站并入一个 20 MW 的 PV 电源, 由 1.3 节原则可知, 该电源需要有效的监控。并网系统按从发电到用电的顺序将设备按照监控功能进行抽象, 得到包含发电系统内部和并网点两个子部分的信息模型。

PV 并网时需要根据电网的控制信号启停, 各 PV 模块的工作状态在 PV 能量转换器 LD 中主要体现在受 PV 控制器 LN 控制, 即受 DPVC 逻辑节点控制。

该逻辑节点的命名规则为<sup>[3]</sup>

[LN-前缀]LN 类名称[LN-实例-ID]

其中 LN-前缀与 ID 的字符长度之和小于 7, LN 类名称使用 4 字符。

该逻辑节点包含的 DO 有系统逻辑节点数据、状态数据、设置、控制几类。各个数据对象定义如表 5~表 8 所示, 其中 M/O/C 为数据选择方式定义, 分别为必选/可选/有条件选择。

表 5 逻辑节点数据对象

Table 5 Data objects of logical node

系统逻辑节点数据	
逻辑节点要从通用逻辑节点类继承所有必选的数据	M
来自 LLN0 的数据可以随意使用	O

表 6 状态信息对象

Table 6 Status information objects

数据对象名称	通用数据类	说明	M/O/C
CtrModSt	INS	阵列控制模式状态	O

表 7 设置对象

Table 7 Setting objects

数据对象名称	通用数据类	说明	M/O/C
TrkRefV	ASG	峰值功率跟踪器参考电压	O
TrkWupV	ASG	功率跟踪器唤醒电压	O
TrkDIWupTms	ING	PV 唤醒时延	O
TrkDISlpTms	ING	PV 睡眠试验时延	O
TrkSlpW	ASG	启动睡眠测试计时器的 PV 功率点	O
TrkRte	ING	功率跟踪器更新速率	O
TrkVStp	ASG	功率跟踪器的电压扰动步长	O

表 8 控制对象  
Table 8 Control objects

数据对象名称	通用数据类	说明	
ArrModCtr	ENC	控制阵列输出功率的选择模式:	
		值	说明
		0	不适于/未知
		1	最大功率点跟踪 (MPPT)
		2	功率限幅控制器
		3	直流限制
		4	阵列电压控制
99	其他		

注: INS: 整数状态、ASG: 模拟定值、ING: 整数状态定值、ENC: 整数控制。

其中表 4 所述 LLN0 节点是描述该 LD 一般属性的节点, 包括对设备的控制和设置以及设备的本地操作、远程控制、运行时间等数据情况<sup>[3]</sup>。

PV 并网监控信息中发电系统内部的信息主要在发电系统内部传递, 用于监控设备状态和发电情况; 并网点监控目的在于保证并网电能质量符合标准, 保障电力系统的安全和稳定。

## 5 结论

本文分析了 DER 并网监控与 DER 类型、容量和并网方式的联系, 进一步研究了并网信息流传递方式, 分析了 DER 并网需要监控的信息内容, 在此基础上设计了一种基于 IEC 61850 的综合分布式电源并网信息模型。基于该模型, 选取典型的 PV 并网作为示例, 建立了并网发电系统内部的逻辑设备能量转换器中的典型逻辑节点 DPVC 的信息模型, 详细分析各信息所属的数据对象, 包含内容以及配置选择情况。依照该种方式建立的综合信息模型可为分布式电源并网监控提供一个辅助决策信息模型。

## 参考文献

- [1] 孙国霞, 张剑, 吴海江. 包含多种分布式电源的广义负荷模型辨识与适应性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(4): 105-111.  
SUN Guo-xia, ZHANG Jian, WU Hai-jiang. Research on the identification and adaptation of generalized load modeling based on distributed generators[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(4): 105-111.
- [2] 郭子健, 唐明. 基于 IEC61850 标准的电动汽车充电桩监控信息模型研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013,

41(3): 134-139.

GUO Zi-jian, TANG Ming. Research of EV charging pile monitoring information modeling based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(3): 134-139.

- [3] The International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61850-7-420 communication networks and systems for power utility automation – part 7-420: basic communication structure – distributed energy resources logical nodes[S]. Geneva, Switzerland, 2009.
- [4] The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Standards Coordinating Committee 21. IEEE 1547-2003 IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems[S]. New York, USA, 2003.
- [5] 陈昌松, 段善旭, 殷进军. 基于神经网络的光伏阵列发电预测模型的设计[J]. 电工技术学报, 2009, 24(9): 153-158.  
CHEN Chang-song, DUAN Shan-xu, YIN Jin-jun. Design of photovoltaic array power forecasting model based on neutral network[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(9): 153-158.
- [6] HEDAYATI H, NABAVINI AKI S A, AKBARIMAJD A. A method for placement of DG units in distribution networks[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2008, 23(3): 1620-1628.
- [7] 颜伟, 吕冰, 赵霞, 等. 分布式风电源与配网联络线协调规划[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(15): 1-6.  
YAN Wei, Lü Bing, ZHAO Xia, et al. Coordinated allocation of DGs and tie lines in distribution networks[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(15): 1-6.
- [8] 黄弦超. 含分布式电源的配电网故障恢复模型[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(10): 52-57.  
HUANG Xian-chao. Model of service restoration of distribution systems with distributed generation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(10): 52-57.
- [9] 黄梅, 万航羽. 在动态仿真中风电场模型的简化[J]. 电工技术学报, 2009, 24(9): 147-152.

- HUANG Mei, WAN Hang-yu. Simplification of wind farm model for dynamic simulation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(9): 147-152.
- [10] 刘方锐, 段善旭, 康勇, 等. 多机光伏并网逆变器的孤岛检测技术[J]. 电工技术学报, 2010, 25(1): 167-173.
- LIU Fang-rui, DUAN Shan-xu, KANG Yong, et al. Islanding detection methods for multiple PV converters system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(1): 167-173.
- [11] ENGLER A. Applicability of droops in low voltage grids[J]. International Journal of Distributed Energy Resources, 2001(1): 1-6.
- [12] 国家电网公司. Q/GDW480-2010 分布式电源接入电网技术规定[M]. 北京: 中国电力科学研究院, 2010.
- [13] The International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61850-7-4 communication networks and systems in substations – part 7-4: basic communication structure for substation and feeder equipment – compatible logical node classes and data classes[S]. Geneva, Switzerland, 2003.
- [14] The International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61850-7-3 communication networks and systems in substations – part 7-3: basic communication structure for substation and feeder equipment – common data classes[S]. Geneva, Switzerland, 2003.
- [15] The International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61850-7 basic communication structure for substation and feeder equipment[S]. Geneva, Switzerland, 2003.

---

收稿日期: 2013-08-01; 修回日期: 2013-11-25

作者简介:

吴润泽 (1975-), 女, 副教授, 研究生导师, 研究方向为电力系统通信与信息技术; E-mail: wurz@ncepu.edu.cn

王欣宇 (1987-), 女, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为信息通信技术在电力系统中的应用; E-mail: xy\_w\_2013@163.com

张晓平 (1984-), 男, 工程师, 主要从事配电网自动化及智能电网通信研究与测试。