

面向分布式发电系统的 CIM 扩展

丁 明, 张征凯, 毕 锐

(合肥工业大学光伏系统教育部工程研究中心, 安徽省合肥市 230009)

摘要: IEC 61970 标准《能量管理系统应用程序接口(EMS-API)》, 实现了能量管理系统中应用软件的无缝集成, 但是 IEC 61970 没有分布式发电系统的公共信息模型(CIM)。文中对原有 IEC 61970 中的 CIM 进行扩展, 建立了光伏发电系统、风力发电系统、燃料电池发电系统、储能系统的 CIM, 实现了包含分布式发电系统的完整的电网信息模型, 并应用于微网能量管理系统的设计。

关键词: 能量管理系统; 分布式发电系统; CIM; IEC 61970

中图分类号: TM614; TM76; TM734

0 引言

IEC 61970 标准《能量管理系统应用程序接口(EMS-API)》, 实现了能量管理系统(EMS)的应用软件的无缝集成, 促进了电力系统自动化的发展^[1-5]。IEC 61970 中公共信息模型(CIM)规范了接口的语义, CIM 分为 301~303 这 3 部分, 其中 301 是 CIM 的基本部分, 302 是 CIM 用于能量计划、检修和财务的部分, 303 是 CIM 用于数据采集与监视控制(SCADA)的部分^[6-8]。CIM 对电力企业所涉及对象的描述虽然非常完整和详尽, 但也需要不断修正和完善。文献[9]针对配电网的三相不对称问题, 建立了配电网线路、负载、馈线、调压器模型; 文献[10]针对配电网特有的设备重合器、分段器、开闭所和环网柜以及分布式电源建立模型; 文献[11]针对已有 CIM 中的直流模型进行了扩展。随着分布式发电技术^[12]的兴起, IEC 61970 面临着许多新的电网设备的信息模型建模问题, 需要建立完整的分布式发电系统的信息模型。

分布式发电系统主要有太阳能光伏发电系统、燃料电池发电系统、微型燃气轮机发电系统、风力发电系统; 蓄电池、飞轮、超导、超级电容器等储能系统在分布式发电系统中也占有重要位置。本文在原有 CIM 的基础上, 采用面向对象的设计方法, 按统一建模语言(UML)对上述分布式发电系统建立完整的电网信息模型, 目的是为了满足不同分布式发电系统的各种应用需求, 包括机组的经济组合和经济调度、自动发电控制、电网拓扑分析、仿真培训等。

1 分布式发电系统的 CIM 扩展原则

对于如何扩展 CIM 的问题, IEC 61970 给出了 CIM 扩展的导则, 即通过向已有类增加属性值和属性来扩展, 通过继承或关联增加新类扩展; 另外, 随着应用的增加也可以增加新的包, 目的是最大可能使用现有的 CIM^[6]。实际上, CIM 扩展要考虑 3 个问题: 是否要建立新的包; 要扩展哪些新类; 要扩展哪些已有类的属性和属性值。本文没有考虑增加新的包, 均在 CIM-301 内扩展, 扩展涉及的 CIM-301 中的电线包 Wires、发电包 Generation 中的 2 个子包, 即电力生产包 Production 和发电动态包 GenerationDynamics 以及域包 Domain。

新类的产生是通过分析分布式发电系统中的相关设备并对其抽象实现的。分布式发电系统中唯一的电力设备一般都抽象出一个新类。对于新类, 按照已有的分类指出其所属包, 说明新类之间以及新类与已有类之间的关系。扩展还会涉及一些 CIM 中的已有类, 这些类在分布式发电系统中应用时需要增加属性或属性值。本文重点介绍如何从分布式发电系统中抽象出新类, 建立完整、正确的信息模型, 给出具体的 CIM 类图。

为了便于命名的理解和规范, 所有扩展的新类及其属性的定义和命名参考相关国际术语标准^[13-14]以及相关国际文献来定义和命名。所有的扩展工作都通过使用 Rational Rose 工具实现, 从而形成一个统一、完整的分布式发电系统的逻辑视图。

2 风电场 CIM

图 1、图 2 给出了风电场在 Production 包和 GenerationDynamics 包中的框图, 图 3 给出类 WindTurbine 的具体属性。表 1 所示为风电场扩展的类。

收稿日期: 2008-06-03; 修回日期: 2008-07-14。
国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2007AA05Z240); 国家自然科学基金资助项目(50607002, 50837001); 教育部科学技术研究重大资助项目(306004)。

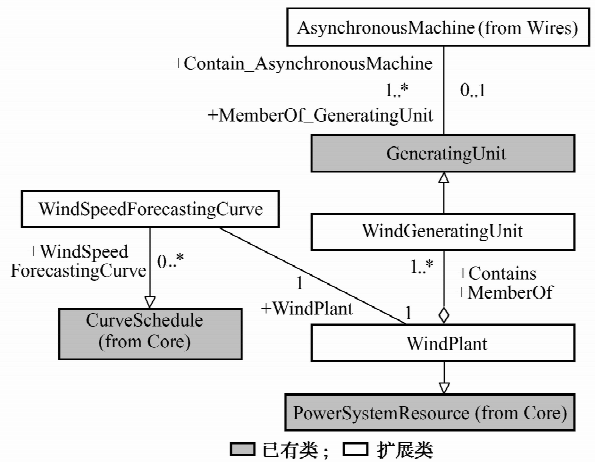


图 1 Production 包中风电场框图
Fig. 1 Wind plant model in the Production package

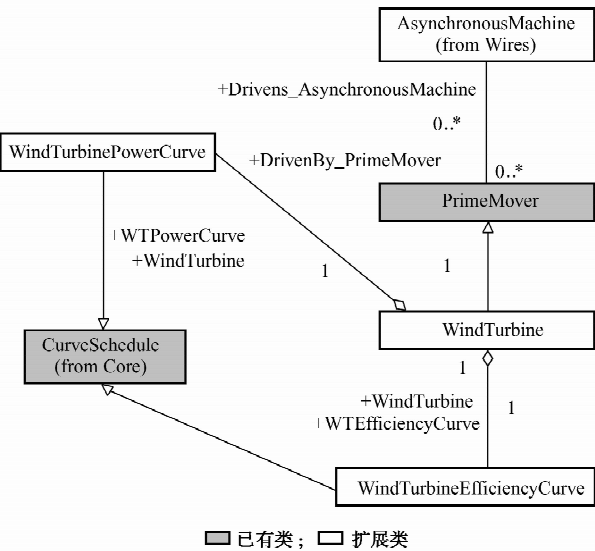


图 2 GenerationDynamics 包中风力机框图
Fig. 2 Wind plant model in the Generation Dynamics package

WindTurbine	
	ratedPower: ActivePower
	ratedWindSpeed: Float
	cutinWindSpeed: Float
	cutoutWindSpeed: Float
	useLife: Integer
	type: WindTurbineType
	pitchAngle: AngleDegrees
	diameter: Float
	areaSwept: Float
	powerControlModel: WTPowerControlMode
	numberOfBlades: Integer
	nominalRevolutions: Integer
	yawAngle: AngleDegrees

图 3 类 WindTurbine 属性
Fig. 3 Attributes of the class WindTurbine

表 1 风电场扩展类 Table 1 The extended classes of the wind plant model			
新类	父类	所属包	描述对象
WindPlant	PowerSystemResource	Production	风电场
WindGeneratingUnit	GeneratingUnit	Production	风力发电机组
WindTurbine	PrimeMover	Dynamics	风力机
WTPowerControlMode		Domain	风力机功率调节方式
WindTurbineType		Domain	风力机类型
AsynchronousMachine	RegulatingCondEg	Wires	异步电机
AsynchronousMachineType		Domain	异步电机类型
AsynchronousMachineOperatingMode		Domain	异步电机运行模式
WindTurbinePowerCurve	CurveSchedule	Production	风力机功率曲线
WindTurbineEfficiencyCurve	CurveSchedule	Production	风力机效率曲线
WindSpeedForecastingCurve	CurveSchedule	Production	风速预测曲线

风电场(wind plant)由一批风力发电机组或风力发电机组群组成。设计类 WindPlant 描述风电场,从类 PowerSystemResource 继承,是一种电力系统资源。设计类 WindGeneratingUnit 从类 GeneratingUnit 继承,描述风力发电机组,可以用于风电场的经济调度,与类 WindPlant 是一种聚集关系。设计类 WindSpeedForecastingCurve 描述风速预测曲线,对于风电场可能有超短期的风速预测,用于经济调度,也可以有中长期的风速预测曲线,用于风电场的规划等,与类 WindPlant 是一种聚集关系。

风力机(wind turbine)是将风能转化为机械能的设备,是一种原动机。风力机功率曲线描述不同风速下的风力机输出功率,风力机效率曲线描述不同风速下的风力机风能转化效率。风力机按照其轴的旋转分为水平轴和垂直轴 2 种类型。设计类 WindTurbine 描述风力机,从类 PrimeMover 继承,增加了新的原动机模型。设计类 WindTurbinePowerCurve 描述风力机的功率曲线,设计类 WindTurbineEfficiencyCurve 描述风力机的效率曲线,这 2 个曲线类都从 CurveSchedule 继承,与类 WindTurbine 是聚集的关系。

风力发电机是将机械能转化为电能的设备,其本质是同步发电机或异步发电机,CIM 中已经对同步发电机建模,因此,要扩展异步发电机模型。参考同步发电机模型设计了异步电机类 AsynchronousMachine 描述异步电机,异步电机运行模式可以为发电机、电动机或电磁制动,由其属性 operatingMode 决定。类 AsynchronousMachine 从类 RegulatingCondEg 继承,与类 Terminal 关联,从

而与其他导电设备形成拓扑网络。异步电机也可以作为发电机运行从而变为一台发电机组,因此,新增类 `AsynchronousMachine` 与类 `GeneratingUnit` 关联。

3 光伏电站 CIM

图 4 所示为光伏电站框图,描述了各个类之间的关系。

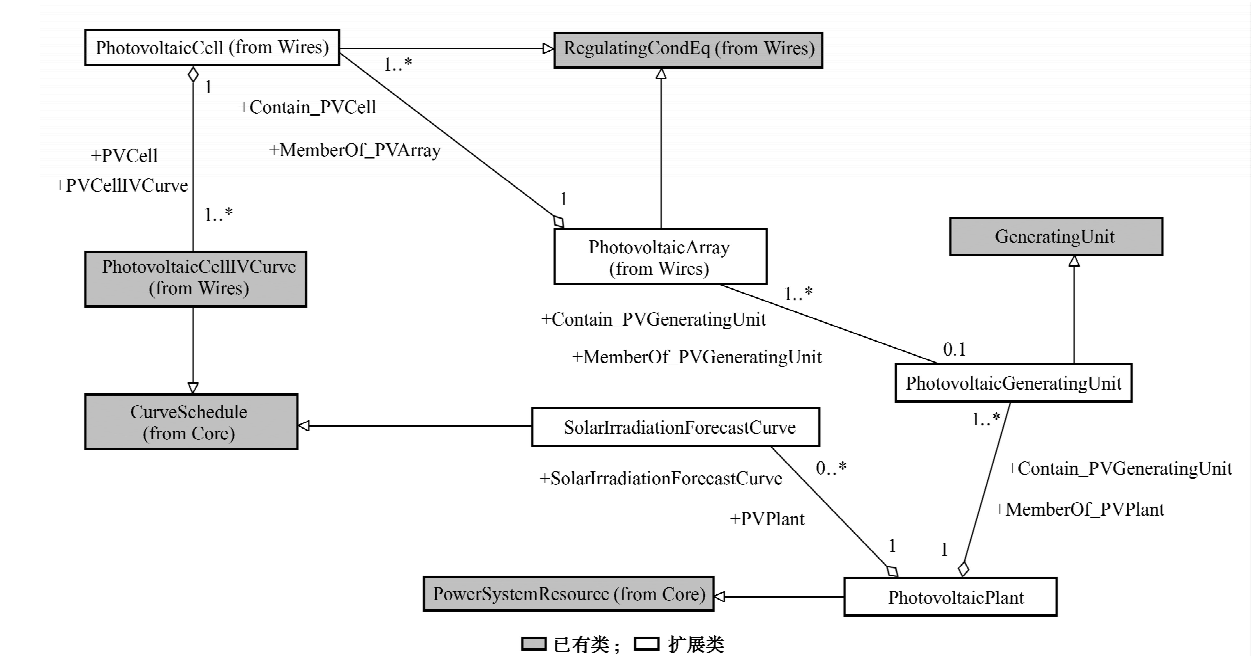


图 4 光伏电场框图
Fig. 4 Photovoltaic plant model

光伏发电是将太阳能转化为电能的一种绿色清洁的发电形式。设计类 `PhotovoltaicPlant` 描述光伏电站,从类 `PowerSystemResource` 继承。一个光伏电站通过对太阳强度的预测实现能量预测,类 `SolarIrradiationForecastCurve` 描述了太阳强度预测,这种预测可以是短期也可以是中长期的。类 `PhotovoltaicGeneratingUnit` 从类 `GeneratingUnit` 继承,描述光伏发电机组,可以用于光伏电站的经济调度。一个光伏发电机组是光伏电站的一员,因此,与类 `PhotovoltaicPlant` 是聚集关系。

实际中单体光伏电池(photovoltaic cell)都是级联在一个面板上,形成光伏组件(photovoltaic model)。为减少模型复杂性,将单体光伏电池和光伏组件统一建模为类 `PhotovoltaicCell`。类 `PhotovoltaicCell` 从类 `RegulatingCondEq` 继承,描述一个单体光伏电池或由一组单体光伏电池级联组成的光伏组件,使用中具体对象是单体光伏电池还是光伏组件,由其串联数目属性 `serialCellNumbers` 来识别,当 `serialCellNumbers` 值为 1 时为单体光伏电池,大于 1 时为光伏组件。

类 `PhotovoltaicCellIVCurve` 描述光伏电池的伏安特性曲线,由于伏安特性曲线还与温度有关,因

此类 `PhotovoltaicCell` 可能在不同温度下有一组伏安特性曲线,其与类 `PhotovoltaicCell` 是一对多的聚集关系。

光伏阵列(photovoltaic array)是光伏电站的一个发电设备,光伏阵列由许多光伏组件级联组成。从类 `RegulatingCondEq` 继承产生光伏阵列类 `PhotovoltaicArray`,与类 `PhotovoltaicCell` 是聚集关系。一个光伏阵列在发电运行时可成为一个发电机组,因此,与类 `PhotovoltaicGeneratingUnit` 是关联关系。

表 2 总结了光伏电站扩展的所有类。

表 2 光伏电场扩展类			
Table 2 The extended classes of the photovoltaic plant model			
新类	父类	所属包	描述
PhotovoltaicCell	RegulatingCondEq	Wires	光伏电池 (光伏组件)
PhotovoltaicArray	RegulatingCondEq	Wires	光伏阵列
PhotovoltaicPlant	PowerSystemResource	Production	光伏电站
PhotovoltaicGeneratingUnit	GeneratingUnit	Production	光伏发电机组
PhotovoltaicCellType		Domain	光伏电池种类
PhotovoltaicCellIVCurve	CurveSchedule	Production	光伏电池伏安曲线
SolarIrradiationForecastCurve	CurveSchedule	Production	太阳强度预测曲线

4 燃料电池电站 CIM

燃料电池(fuel cell)具有清洁、高效、环保的优点。类 FuelCellPlant 描述了燃料电池电站,从类 PowerSystemResource 继承,是一种电力系统资源。设计类 FuelCellGeneratingUnit 从类 GeneratingUnit 继承,描述燃料电池发电机组经济调度模型,其与类 FuelAllocationSchedule 和类 FossilFuel 是聚集关系。一个燃料电池发电机组是燃料电池电站的一个成员,因此,类 FuelCellGeneratingUnit 与类 FuelCellPlant 也是聚集关系。

燃料电池堆(fuel cell stack)由许多单体燃料电池通过级联组成。采取与类 PhotovoltaicCell 同样的建模方法,设计了类 FuelCell 描述一个单体燃料电池或者由许多单体燃料电池组成的燃料电池堆,这样在满足应用需求的同时简化了模型。

图 5 所示为燃料电池电站类的框图,描述了各个类之间关系。表 3 总结了燃料电池电站扩展的所有类。

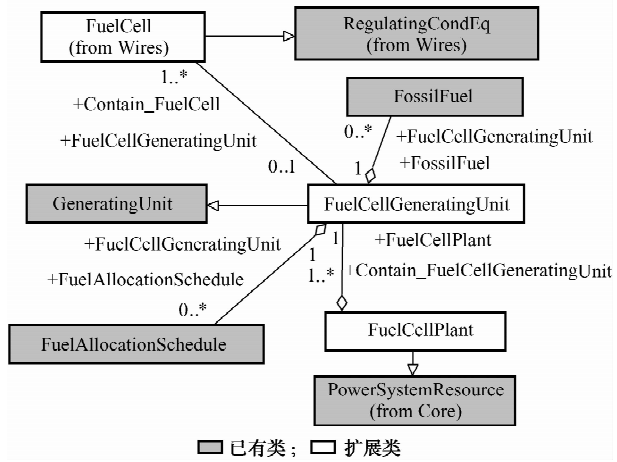


图 5 燃料电池电站框图
Fig. 5 Fuel cell plant model

表 3 燃料电池电站扩展类

新类	父类	所属包	描述
FuelCell	RegulatingCondEg	Wires	燃料电池(堆)类
FuelCellPlant	PowerSystemResource	Production	燃料电池电站
FuelCellGeneratingUnit	GeneratingUnit	Production	燃料电池发电单元
FuelCellType		Domain	燃料电池类型

5 储能系统 CIM

目前电力系统储能方式有抽水蓄能、压缩空气蓄能、化学蓄电池储能、飞轮蓄能、超导磁体蓄能及超级电容器蓄能等。储能系统在分布式发电中应用不仅能改善电力系统的稳定性,提高供电质量,还能

通过能量的储存和释放管理,实现电力系统的削峰填谷、经济运行和优化调度。

蓄电池储能系统(BESS)的能量储存和释放由其电流的流向决定,当电流流向蓄电池时,电网向蓄电池充电,储存能量,当电流由蓄电池流向电网时,蓄电池向电网释放能量。另外,类 GeneratingUnit 建立的模型只是单向的能量输出模型,没有考虑能量输入模型。因此,用于经济调度的蓄电池储能单元类 BatteryEnergyStorageUnit 不能像火力发电机组和水力发电机组那样从类 GeneratingUnit 继承,必须从新建的类 EnergyStorageUnit 继承。类 EnergyStorageUnit 描述的是一种能量输入和输出双向调度的机组模型,用于机组组合、经济调度、自动发电控制(AGC)等。其他的如飞轮储能系统、超导储能系统、超级电容器储能系统都要从其继承。

蓄电池储能系统由单体蓄电池通过串并联方式组成,同样参考类 PhotovoltaicCell 建模方法,设计类 Battery 来描述单体蓄电池或者由一组单体蓄电池组成的蓄电池组。

图 6 描述了蓄电池储能系统各类之间的关系,表 4 给出了蓄电池储能系统扩展的所有类。

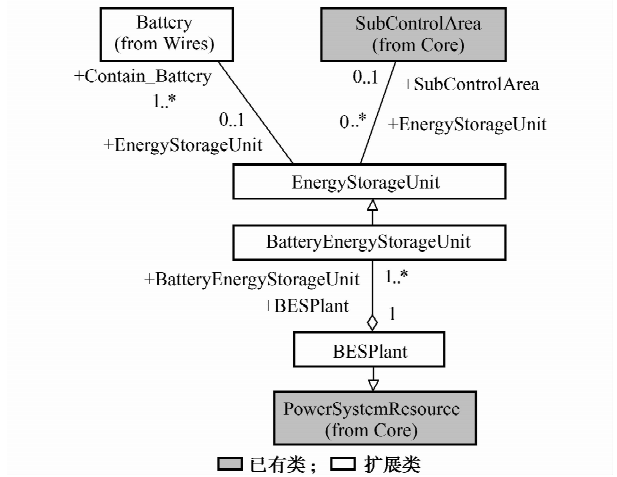


图 6 蓄电池储能系统模型框图
Fig. 6 Battery energy storage unit model

表 4 蓄电池储能系统扩展类
Table 4 The extended classes of the BESS model

新类	父类	所属包	描述
Battery	RegulatingCondEg	Wires	蓄电池
BatteryType		Domain	蓄电池类型
BatteryOperationModel		Domain	蓄电池的运行状态
BESPlant	PowerSystemResource	Production	蓄电池储能电厂
EnergyStorageUnit	SubControlArea	Production	能量储存单元
BatteryEnergyStorageUnit	EnergyStorageUnit	Production	蓄电池储能单元

6 应用

合肥工业大学分布式发电实验室建立了一个基于互补能源的分布式微网系统,包含光伏发电系统、风力发电系统、火力机组模拟系统、水力机组模拟系统、燃料电池、超级电容和蓄电池储能系统等。利用本文建立的面向分布式发电系统的 CIM,采用 Windows Server 2003 操作系统, C++ Builder 2006 集成开发环境为微网系统设计了基于 IEC 61970 的 EMS,见附录 A 图 A1。在微网 EMS 设计中对 CIM 做了以下工作:

1)以 cim10_030501.mdl 为基础完成上述模型扩展工作。

2)EMS 采用 CORBA 总线设计,数据访问接口按照 CIS/CIM 来访问。

3)建立 CIM 维护服务器。

4)将 CIM 映射到商用数据库 SQL 和实时库 FastDB 中,建立基于 CIM 的数据库。

5)将 EMS 图元代表的物理设备与 CIM 及数据库相对应,实现图模库一体化。

6)EMS 应用软件采用面向对象的设计方法,以 CIM 为基础采用 Rational Rose 设计,最后生成 C++ 代码和 CORBA 应用的接口定义语言(IDL)。如应用软件光伏发电及风力发电的超短期能量预测、分布式发电系统的机组组合和经济调度^[15]以及电网拓扑分析,这些应用软件采用上述设计方法,既遵循了 CIM 又提高了软件质量和开发效率。

7)对于已有的应用软件如含分布式发电的配电网潮流计算,虽然也是采用面向对象的设计方法,但其建模的对象与 CIM 不同,对这些应用软件上按照 IEC 61970 标准将其封装成组件。

附录见本刊网络版(<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] 张慎明,黄海峰.基于 IEC 61970 标准的电网调度自动化系统体系结构.电力系统自动化,2002,26(10):45-47,72.
ZHANG Shenming, HUANG Haifeng. Architecture of power dispatching automation system based on IEC 61970 standard. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(10): 45-47, 72.
- [2] 邵立冬,吴文传,张伯明.基于 CIM 的 EMS/DMS 图形支撑平台的设计和实现.电力系统自动化,2003,27(20):11-15,39.
SHAO Lidong, WU Wenchuan, ZHANG Boming. A CIM based interactive graphics system for EMS/DMS. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(20): 11-15, 39.
- [3] 吴文传,孙宏斌,张伯明,等.基于 IEC 61970 标准的 EMS/DTS 一体化系统的设计与开发.电力系统自动化,2005,29(4):53-57.

- WU Wenchuan, SUN Hongbin, ZHANG Boming, et al. Design of integrated EMS/DTS system based on IEC 61970. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(4): 53-57.
- [4] 董越,孙宏斌,吴文传,等.EMS 中公共信息模型导入/导出技术.电力系统自动化,2002,26(3):10-14.
DONG Yue, SUN Hongbin, WU Wenchuan, et al. Import/Export technique based on common information model (CIM) in EMS. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(3): 10-14.
- [5] 潘毅,周京阳,李强,等.基于公共信息模型的电力系统模型的拆分与合并.电力系统自动化,2003,27(15):45-48.
PAN Yi, ZHOU Jingyang, LI Qiang, et al. The separation/combination of power system model based on CIM. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(15): 45-48.
- [6] IEC 61970-301—2003 Energy management system application program interface (EMS-API): Part 301 common information model(CIM). 2003.
- [7] IEC 61970-302—2003 Energy management system application program interface (EMS-API): Part 302 common information model (CIM) financial, energy scheduling, and reservation. 2003.
- [8] IEC 61970-303—2003 Energy management system application program interface (EMS-API), Part 303 common information model (CIM) SCADA. 2003.
- [9] WANG Xiaofeng, SCHULZ N N, NEUMANN S. CIM extensions to electrical distribution and CIM XML for the IEEE radial test feeders. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(3): 1021-1028.
- [10] 顾强,王守相,李晓辉,等.配电系统元件的公共信息模型扩展.电力自动化设备,2007,27(10):91-95.
GU Qiang, WANG Shouxiang, LI Xiaohui, et al. CIM extension to distribution system components. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(10): 91-95.
- [11] 刘崇茹,张伯明,孙宏斌,等.包含直流输电系统的公用信息模型的扩展.电力系统自动化,2004,28(20):52-56.
LIU Chongru, ZHANG Boming, SUN Hongbin, et al. The extension of the common information model to analysis and control of AC/DC power system. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(20): 52-56.
- [12] 丁明,王敏.分布式发电技术.电力自动化设备,2004,24(7):31-36.
DING Ming, WANG Min. Distributed generation technology. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(7): 31-36.
- [13] IEC 60050. International electrotechnical vocabulary: Part 415 wind turbine generator systems. 1999.
- [14] IEC 60050-482—2004 International electrotechnical vocabulary: Part 482: primary and secondary cells and batteries. 2004.
- [15] 丁明,包敏,吴红斌,等.复合能源分布式发电系统的机组组合问题.电力系统自动化,2008,32(3):46-50.
DING Ming, BAO Min, WU Hongbin, et al. Unit commitment problem in distributed generation system with multiple energy sources. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(3): 46-50.

(下转第 96 页 continued on page 96)

丁 明(1956—),男,教授,博士生导师,主要研究方向:
电力系统规划及可靠性、新能源及其利用、柔性输电系统的
仿真与控制。E-mail: mingding56@126.com

张征凯(1979—),男,通信作者,硕士研究生,主要研究
方向:分布式发电系统。E-mail: zhengkaizh@126.com
毕 锐(1979—),男,博士研究生,主要研究方向:分布
式发电系统。

Distributed Generation System Oriented CIM Extension

DING Ming, ZHANG Zhengkai, BI Rui

(Photovoltaic System Research Center of MOE, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The energy management system application program interface (EMS-API) standard IEC 61970 enables the seamless integration of the application software with the energy management system. However, there is no common information model (CIM) for distributed generation system in the IEC 61970 standard. The original CIM in IEC 61970 standard is expanded to incorporate the photovoltaic power generation system, wind power generation system, fuel cell generation system as well as stored energy system. The integrated grid information model including distributed generation systems is implemented in the design of micro-grid energy management system.

This work is supported by National High Technology Research and Development Program of China (No. 2007AA05Z240), National Natural Science Foundation of China (No. 50607002, 50837001) and the Key Grant Project of Chinese Ministry of Education (No. 306004).

Key words: energy management system (EMS); distributed generation system; common information model (CIM); IEC 61970

附录 A

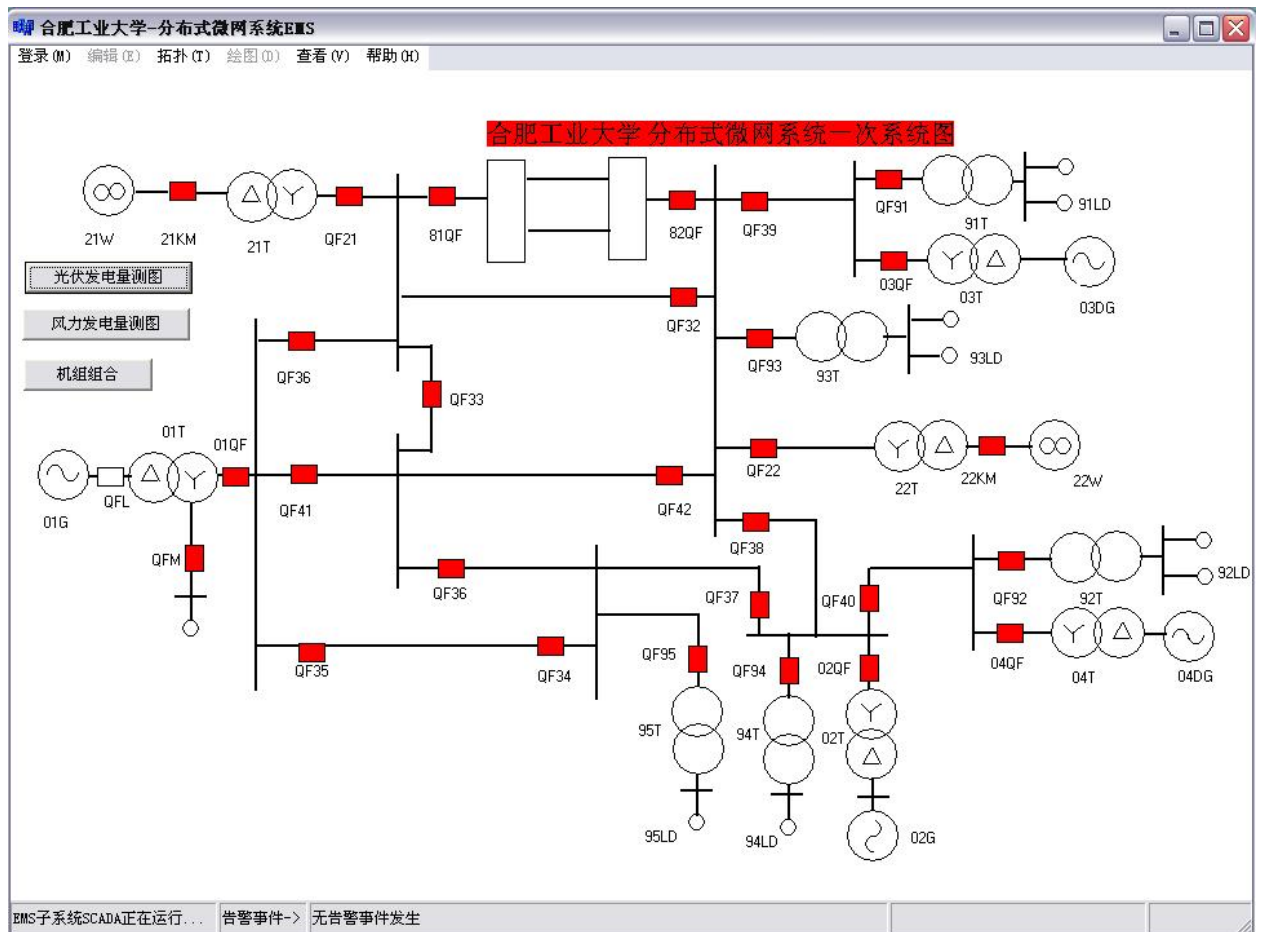


图 A1 微网 EMS 子系统 SCADA
Fig.A1 The MicroGrid EMS subsystem SCADA