

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.05.018

数字化变电站智能设备及网络 在线监测与状态评估系统*

金乃正¹, 张 亮¹, 章坚民^{2*}, 汪 彦³, 章立宗¹, 许伟国¹

(1. 国网绍兴供电公司, 浙江 绍兴 312000; 2. 杭州电子科技大学自动化学院, 浙江 杭州 310018; 3. 南京拓为电力科技发展有限公司, 江苏 南京 210016)

摘要: 针对面向数字化变电站智能设备及网络的在线监测与状态评估, 研究了变电站网络故障源及故障机理, 提出了将变电站通信网络故障分为通信背景层故障和应用层故障, 以及变电站通信状态监视的内容, 并研制了在线预警终端与子站两类装置; 重点研究了预警终端与子站的信息建模和通信建模, 以满足 IEC61850 的设计要求; 讨论了预警终端、子站与控制中心主站之间的通信以及控制中心主站的功能设计。实际运行表明, 该系统功能丰富, 信息模型标准, 集成规范, 满足了智能变电站智能设备及网络的在线监测与状态评估的要求。

关键词: 数字化变电站; 智能设备; 网络通信; 在线监测; 状态评估; 系统构建; 信息建模; 通信建模

中图分类号: TM761.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2015)05-0671-06

IEDs and communication network on-line monitoring and conditioning system for digital substation

JIN Nai-zheng¹, ZHANG Liang¹, ZHANG Jian-min²,
WANG Yan³, ZHANG Li-zong¹, XV Wei-guo¹

(1. State Grid Shaoxin Power Supply Company, Shaoxin 312000, China; 2. Automation College of Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China; 3. Nanjing Tuowei Electric Sci. & Tech. Ltd, Nanjing 210016, China)

Abstract: Aiming at real-time monitoring and state conditioning of intelligent electric devices (IEDs) and communication of digital substation, the fault sources and fault mechanisms were carefully studied, and the faults were classified into two categories as names of background faults and application faults, from which the contents of monitoring were clearly defined and two types of new IEDs were developed in names of on-line pre-caution terminals and subsystem devices. As the new types of IEDs in digital substation, their information modeling and communication modeling were discussed in detailed way, in order to follow the IEC 61850 standard which is the fundamental requirement for all IEDs in digital substation. The communications between on-line pre-caution terminal, subsystem and the master station in control center, as well as the function designs of master station, were also discussed. The successful real operation indicates that such a system has features of rich functions, standardized information modeling and integration, which can meet the requirement of real-time monitoring and state conditioning of IEDs and communication of digital substation.

Key words: digital substation; intelligent electric devices (IEDs); communication networks; on-line monitoring; condition evaluation; system construction; information modeling; communication modeling

收稿日期: 2014-12-15

作者简介: 金乃正 (1961-), 男, 浙江绍兴人, 高级工程师, 主要从事继电保护管理运行方面的研究. E-mail: jnz@21cn.com.

通信联系人: 章坚民, 男, 教授, 硕士生导师. E-mail: zhangjmhcn@hdu.edu.cn

0 引 言

数字化变电站采用网络通信,智能设备间的交互更为频繁,数据配合更为严密,因此通信网络的稳定性,以及通信报文的正确性、参数的合法性、时序的合理性等更为重要。以太网以及挂接的所有智能设备(IED),包括合并单元、保护、监控等变电站二次设备,交换机等网络通信设备、站控设备的健康状态,以及变电站环境对以太网以及 IED 的影响,均将影响变电站的正常可靠运行;数字化变电站技术还处于实践成熟阶段^[1],变电站网络通信记录仪^[2-3]在数字化变电站调试中已发挥了关键作用,也发现了智能变电站技术存在的不少问题。

网络通信记录类装置主要实现对变电站网络通信过程的侦听、监视与记录,用于真实记录网络所有可能的信号,通过报文回放测试设备的功能及网络性能,并能复现问题。但是,目前此类通信记录装置:①一般只有简单的远传报警,大量的记录数据采用就地存储,远方调用还需要人工方式;②不具备高精度数据采集和在线实时分析、预警功能,不能满足变电站运行阶段不同层次用户的应用需求。

随着数字化变电站的普及,网络通信记录仪使用

率大大提高,开始向在线状态监测与故障诊断分析等应用发展^[4-6],通过研发相应的变电站侧智能设备及网络在线监测装置和控制中心主站系统,实现对变电站智能设备及网络通信实时状态的在线监测、故障诊断、故障预警、状态评估、状态检修。

该系统的基础,即数字化变电站核心元件及系统的故障诊断、可靠性评估、状态检修等理论研究和探索,如数字化继电保护及系统^[7-8]、变电站通信系统的可靠性评估方法^[9]、二次设备状态检修理论^[10-12]等,已有一定进展;而数字变电站智能设备及网络在线监测系统,是相关理论得以大量实践验证与成熟的必要选择。

笔者研究面向数字化变电站智能设备及网络状态监测系统的体系建立。

1 系统组成及架构

1.1 系统组成

数字化变电站智能设备及网络状态监测系统,其构成示意图如图 1 所示。分为变电站侧装置和控制中心的主站系统;变电站侧装置,分为预警终端与子站装置二级,前者布置在过程层、厂站层,也可扩展接入电力数据网层,后者布置在厂站层网络和电力数据网之间。系统技术架构参照文献^[13-14]。

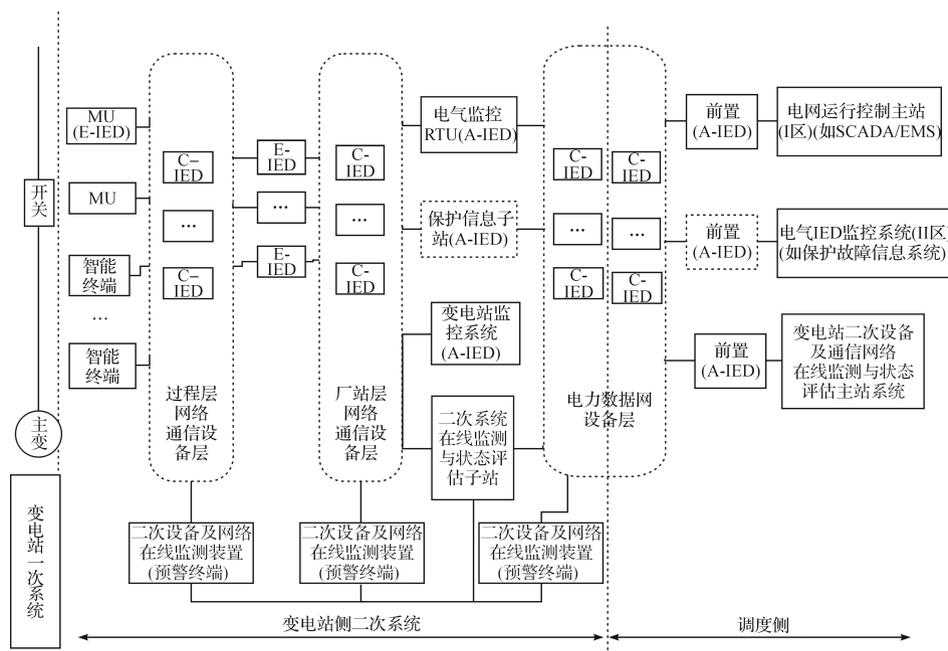


图 1 系统构成

1.2 需要状态监测的智能设备及网络

被监视的过程设备包括:①MU;②智能终端等;间隔设备包括:①保护装置;②测控装置;③数字化电能表等;通信设备包括网络交换机等;站控设备包括:

①RTU;②变电站监控系统;③保护信息子站等;被监视的设备可以进一步抽象为:①E-IED,为过程、间隔层的智能装置;②C-IED,为网络交换类设备;③A-IED,主要是站控装置以及主站前置。

1.3 智能设备及网络状态监测装置

该装置分为智能设备及网络在线监测装置与子站装置。前者也称为预警终端,装置内部采用了高精度恒温的时钟芯片,通过分频、倍频及锁相环等硬件技术产生了高频率的内部时钟计数,在网口捕捉到网络报文后立刻通过硬件对数据标记时间戳,从而保证了接收数据时间的准确性,时间精度为 16 ns;装置可接收外部 B 码或者 1 588 对时,从而保证了绝对时标的精确。预警终端以侦听方式接入过程层、厂站层和电力数据网络,不影响接入网络的正常运行;记录所接入网络的所有报文,并对这些报文进行:①网络正常状态的监测:包括各 IED 的语法检测、语义检测;②网络异常状态的监测;③承担网络通信黑匣子。子站装置收集站内所有预警终端的告警数据,并且:①对收集的告警信息进行扩大分析;②根据预设的模型,进行状态评估;③快速上报主站系统。

2 智能设备及网络状态监视内容及功能设计

本研究对数字化变电站网络通信在线故障诊断提出了故障模型,分为 MMS 故障模型、GOOSE 故障模

型、SV 故障模型和网络异常模型。根据 ISO 计算机通信的 7 层模型,本研究将网络分为背景和应用 2 层,即物理层、数据链路层、网络层、传输层纳入背景层,而会话层、表示层和应用层纳入应用层,因此网络故障分为背景故障和应用故障两类;只有在网络背景层正常的前提下,才可能有网络的应用正常。数字化变电站的网络,按其应用报文划分,可虚拟化为 MMS 网络、GOOSE 网络、SV 网络;在此基础上,实现对变电站智能设备与网络的在线监视与状态评估。

2.1 网络背景层的异常情况状态监视

2.1.1 MMS 网络背景层异常与故障

本研究对 TCP/IP 链路建立与中断、通信超时、网络流量突变等进行监视,如 TCP 握手信息、中断时结束信息是否正确;异常中断分析,包括窗口尺寸、确认号等;提出相关的指标,并按表 1 的故障模型进行判断。

2.1.2 GOOSE 网络异常

故障模型如表 2 所示。如,变电站配置文件给出了 2 个 IED 的 GOOSE 传输最短传输时间 minTime 和稳定传输时间 maxTime,则判断 GOOSE 通信中断的判断如表 2 所示。

表 1 MMS 网络背景层异常与故障模型

序	宿主	侦听值	参考定值	判据	故障判断
1	任意 2 个 IED	握手时限 T_0	握手通信时间 T_{omax}	$> = 2 \cdot T_{\text{omax}}$	接受方通信异常

表 2 GOOSE 网络背景层异常与故障模型

序	宿主	侦听值	参考定值	参考定值来源	判据	故障判断
1	任意 2 个 IED	2 帧报文时间间隔	GOOSE 传输存在最短传输时间 minTime 和稳定传输时间 maxTime	SCD	$> = (\text{maxTime} \cdot 4 + \text{minTime})$	GOOSE 通信中断

2.1.3 SV 网络异常

对 SV 网络异常,主要根据采样频率计算报文流量,异常时告警。

2.2 网络正常情况的应用层状态监视

2.2.1 MMS 故障

通过 IP 与智能设备实现关联;重点监视现象为:初始化过程中服务、数据属性、选择区域、完整性周期、人口判识、报告使能、总召唤等与变电站配置描述 SCD 文件中声明不一致;应用层通信过程不完整;通信中断;判别是正确中断还是异常中断;报文与标准通信协议不符合等。

2.2.2 GOOSE 故障

通过 MAC 地址与智能设备实现关联;重点监视现

象为:保护动作事件,心跳报文中断、初始化等与 SCD 文件设置通信组播不一致、记录文件的字节数发生突变等;判别方法,如:①GOOSE 报文与 SCD 文件不一致;②GOOSE 报文的符合性判断,按 IEC61850-7-2 的状态号 StNum 和序列号 SqNum 分为 3 种情况,检查是否符合规律等。

2.2.3 SV 故障

通过 MAC 地址与智能设备实现关联;主要故障现象:对于采用 IEC61850-9-1 协议,重点分析组播地址、APPID、逻辑设备名、采样频率是否与配置文件一致,报文中状态字是否异常、采样计算器是否正确累加等。对于采用 IEC61850-9-2 协议,重点分析组播地址、报文头是否与配置文件一致,报文中计数器是否正常、发送时延是否一致等。

3 预警终端与子站信息建模和通信建模

预警装置与子站装置均应该 IEC61850 化,即其信息模型和通信模型应遵循 IEC61850 要求。保护、测控装置由 IEC61850 进行了详细定义,而合并单元^[15]、数字式电能表^[16]、交换机^[17]的基于 61850 的建模可以借鉴。从图 1 可以知道,预警终端只是对这些 61850 化的 IED 进行报文侦听、记录和分析,并将告警的信息

提供给子站装置,由子站装置进行站级分析,并转报主站。因此以下只讨论子站的 61850 化。

3.1 子站装置的通信建模

IEC 61850 的 IED 为服务器设计,具有客户/服务器(C/S)和订阅/发布(B/S)2 种模式;按照表 1、表 2 的设计,可通过远方建立数据集和报告模式,实现预警和告警功能。子站的 IEC61850 信息模型和通信模型如图 2 所示,其与主站的通信主要通过子站装置的报告模型实现。

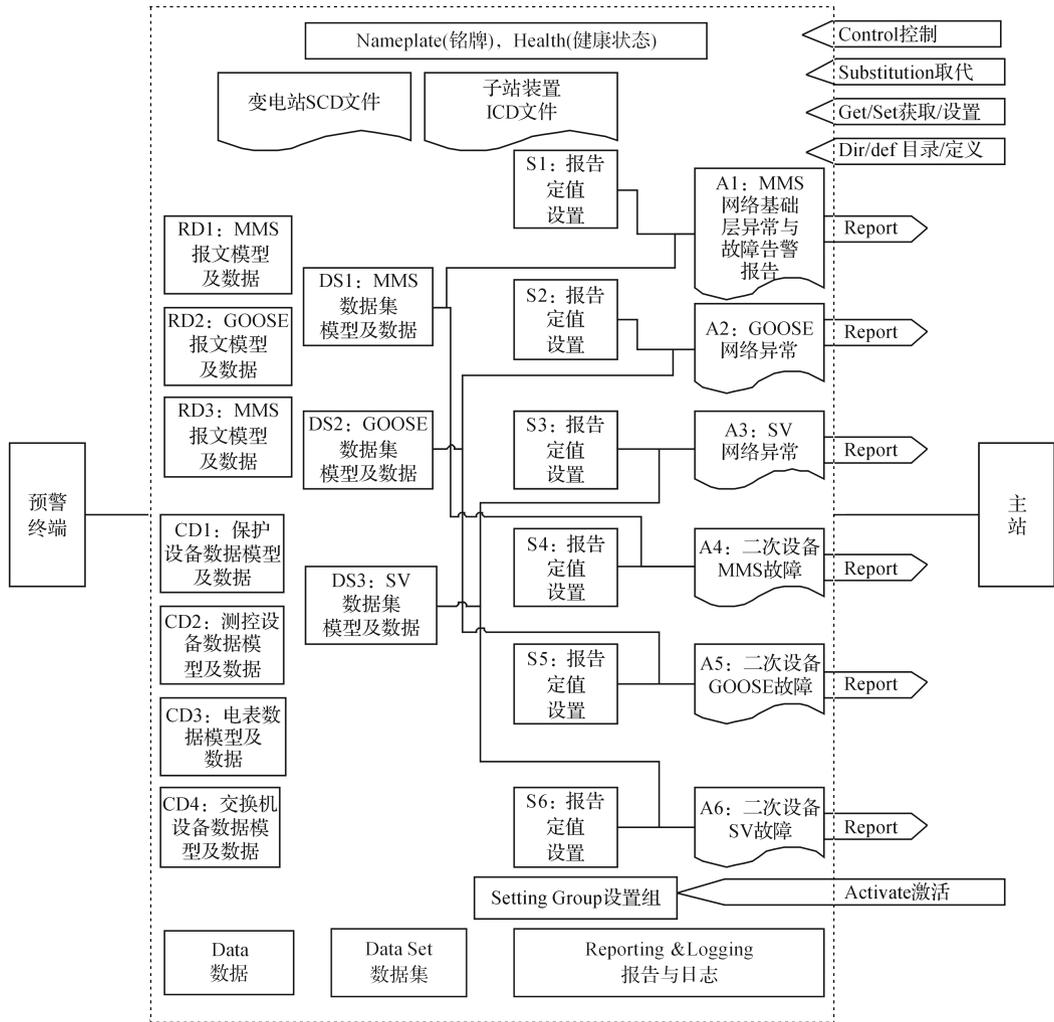


图 2 子站的 IEC61850 信息模型和通信模型

3.2 子站装置的信息建模

为实现子站装置的报告模型,以及为实现第 2 节的功能,需要在子站装置上实现 3 种报文或 3 类生数据(RD, raw data)的分析,同时对该 3 类生数据的解包分析,即获取 4 类熟数据(CD, cooked data)标准协议符合度检测,并为告警报告提取必须的数据。需要为 6 类报告(详如图 2 所示)提供必须的

报告模型设计,即其数据集、定值集、报告触发机制等设计。

3.3 预警终端的信息建模与通信建模

预警终端,主要实现对网络通信过程的侦听和记录,作为子站装置的数据采集前置,因此其信息建模可相对简单,主要以 MMS、GOOSE、SV 方式建立,然后通过以太转发到子站装置。

4 与控制中心的通信

4.1 IEC 60870-103/104

采用 IEC 60870-103 和 IEC 60870-104 方式时,两端必须进行数据项的约定扩展,才能将子站装置的告警值上送调度;无法实现主站的自由配置。

4.2 IEC61850 延伸至控制中心

本研究将主站前置机作为客户端、变电站侧的子站装置作为服务器,实现基于 IEC61850 的通信^[17],对子站装置进行包括数据集和报告方式的定义,实现远方控制中心对子站数据集、报告的定义,实现自由配置。

5 控制中心主站功能

5.1 管理功能

主站系统具备本地管理功能和对通信子站的远程管理功能,包括:语法模型文件、语义模型文件、应用模型文件的修改与保存,通信规约的统一编号;各个通信子站的相关参数和配置,包括变电站统一编号,通信子站统一编号(以变电站为范围),通信子站记录端口统一编号(以通信子站为范围),每个记录端口所包含的规约以及规约关联的模型文件;变电站内的 IED 装置信息和站内通信网络信息,并对自动化装置和站内通信网络信息进行站内统一编号;系统用户等级划分和密码保护等。

子站具备接受主站分析系统的远程管理和参数配置修改的能力,能接收语法模型文件、语义模型文件和统计模型文件并按其进行实时分析的能力,同时提供相应的密码保护措施。

5.2 实时预警功能

预警终端具备报告网络中发生的通信故障、电网事件、告警信息和评估结果等网络实时信息的能力,并且具备能够将这些信息与记录文件相关联,并在进行相应的网络分析、规约分析或应用分析时进行关联的能力。

实时预警功能根据实时在线分析的通信错误信息、应用事件信息、网络状态信息和网络统计信息进行通信和应用功能的实时预警,包括:网络流量突变或向某一趋势渐变,网络协议分布比例突变或向某一趋势渐变,通信终端在线跟踪(某设备长期不通信、出现新设备等),网络拓扑结构在线跟踪(监视交换机的工作

状态),网络攻击行为预判等。

系统在实时在线分析的基础上,依据相关故障特征和经验总结,预判网络或设备的通信状态将发生何种变化,并给出相应的告警,做到故障还未发生即被发现,减少通信故障对变电站自动化系统运行的影响。

5.3 状态评估

系统根据重要的错误、应用事件、网络状态以及预警信息,并根据设定的时间段对通信进行评估,产生评估报告。评估的对象为 IED 装置、交换机、工作站以及整个通信网络;评估的时间段可以分为日报、周报、月报等。根据智能设备健康模型,对不同对象提供不同格式的评估报告,以满足不同的层次需求,并提供相应的检修策略,辅助检修。

系统通过提取状态量和通信过程信息,综合可参考的状态模型,形成智能设备的软环境工作状态,实现智能设备软环境的状态评估。根据实际运行经验,从通信的角度定义工作对象,根据评估事件的权重和出现频率,对变电站二次系统实现状态评估。根据实际的运行情况,总结出一套行之有效的预警评估模型和预警评估导则,针对不同的用户需求,对变电站、子网、IED 设备及通信接口等形成不同的状态评估报告,为变电站智能设备及通信网络的检修策略提供依据。评估结果包括:遥信信息异常变位,遥测数据异常跃变,网络流量异常,端口分布异常,协议分布异常,网络通信质量,ARP 攻击行为和网络安全攻击行为等。

5.4 状态监视与信息发布

主站系统获取全网变电站网络通信数据采集,以二次回路图形模型方式进行监视,通过 Web 方式实时显示各个终端上报告警和错误情况,对整个通信网络进行预警和评估;提取通信数据进行详细的离线分析;通过图形化界面,将错误与检修策略关联,以方便用户进行故障的诊断与处理。

5.5 与其他主站系统的关系及数据交互

主站系统采用 CIM 模型,以便于与其他信息系统如调度 EMS、保护信息系统、调度生产管理系统,实现信息共享和交互,实现对变电站智能设备软环境到硬环境的全面综合预警与评估,以及后续的智能设备检修的工作事务管理纳入生产管理系统等。

主站的前置作为客户端,与变电站子站建立 Client/Server(客户/服务器)或 Subscribe/Publish(订阅/发布)通信方式,并在实现 IEC61850 到 IEC61970CIM 的转换;同时要实现预警终端与子站 ICD 的管理。

6 结束语

针对面向数字化变电站智能设备及网络的在线监测与状态评估,笔者研究了变电站网络故障源及故障机理,提出了将变电站通信网络故障分为通信背景层故障和应用层故障,以及变电站通信状态监视的内容。开发了相应的预警终端、变电站子站;作为数字化变电站的新型智能设备,本研究重点讨论了预警终端与子站的信息建模和通信建模,以满足 IEC61850 的设计要求;同时给出了主站系统的基本功能和利于信息共享与系统集成的设计原则。实际运行表明,该系统功能丰富,信息模型标准,集成规范,满足了智能变电站智能设备及网络的在线监测与状态评估的要求。

参考文献(References):

- [1] 徐天奇,李 琰,尹项根,等. 数字化变电站自动化系统可靠性评估[J]. 电力系统自动化,2011,35(19):12-17.
- [2] 许伟国,蒋 晔,张 亮,等. 数字化变电站中网络通信黑匣子的设计与应用[J]. 电力系统自动化,2008,32(17):92-94.
- [3] 王治民,陈炯聪,任雁铭,等. 网络通信记录分析系统在数字化变电站中的应用[J]. 电力系统自动化,2010,34(14):92-95.
- [4] 许伟国,张 亮. 智能变电站网络通信在线故障诊断系统的设计与应用[J]. 电力自动化设备,2010,30(6):121-124.
- [5] 许伟国,张 亮,金乃正. 智能变电站网络通信状态监测与故障分析[J]. 浙江电力,2012(4):8-10.
- [6] 李宁波,徐之文,张映鸿,等. 变电站谐波在线监测的应用研究[J]. 机电工程技术,2013(3):48-51.
- [7] 陈少化,马璧燕,雷 宇,等. 综合定量计算继电保护系统

可靠性[J]. 电力系统自动化,2007,31(15):111-115.

- [8] 张雪松,王 超,陈晓东. 基于马尔可夫状态空间法的超高压电网继电保护系统可靠性分析模型[J]. 电网技术,2008,32(13):94-99.
- [9] 韩小涛,尹项根,张 哲. 故障树分析法在变电站通信系统可靠性分析中的应用[J]. 电网技术,2004,28(1):56-59.
- [10] 吴杰余,张 哲,尹项根,等. 电气二次设备状态检修研究[J]. 继电器,2002,30(2):22-24.
- [11] 丁茂生,王 钢,贺 文. 基于可靠性经济分析的继电保护最优检修间隔时间[J]. 中国电机工程学报,2007,27(25):44-48.
- [12] 韩 平,赵 勇,李晓朋,等. 继电保护状态检修的实用化尝试[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(19):92-95.
- [13] 朱炳铨,姜健宁,章坚民,等. 基于 B/S/C 结构和 61850MMS 的电网继电保护故障信息系统[J]. 电力系统自动化,2004,28(24):41-45.
- [14] 褚晓锐. 变压器和应涌流对继电保护的影响及对策研究[J]. 兵工自动化,2014(5):54-57.
- [15] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等. 基于 IEC 61850 标准的采样值传输模型构建及映射实现[J]. 电力系统自动化,2004,28(21):38-42.
- [16] 章坚民,蒋世挺,金乃正,等. 基于 IEC 61850 标准的数字化变电站电能采集终端的建模与实现[J]. 电力系统自动化,2010,34(11):67-71.
- [17] 李 锋,谢 俊,赵银凤,等. 基于 IEC 61850 的智能变电站交换机 IED 信息模型[J]. 电力系统自动化,2012,36(7):76-80.
- [18] 章坚民,朱炳铨,蔡永梁,等. 基于 IEC 61850 的变电站子站系统建模与实现[J]. 电力系统自动化,2004,28(21):59-64.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

金乃正,张 亮,章坚民,等. 数字化变电站智能设备及网络在线监测与状态评估系统[J]. 机电工程,2015,32(5):671-676.

JIN Nai-zheng, ZHANG Liang, ZHANG Jian-min, et al. IEDs and communication network on-line monitoring and conditioning system for digital substation[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(5):671-676.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>