

DOI: 10.7667/PSPC180476

10 kV 高压开关设备综合自动化监控系统研制

郝佳¹, 赵隆², 纪超², 朱永灿², 张建华³

(1. 西安工程大学后勤管理处, 陕西 西安 710048; 2. 西安工程大学电子信息学院, 陕西 西安 710048;
3. 陕西能源职业技术学院机电工程系, 陕西 咸阳 712099)

摘要: 目前国内常规的 10 kV 变电站中高压开关设备日常运行、操作和维修基本上依靠人工来完成, 不仅会增加电气工人劳动强度, 而且缺乏对高压开关设备故障预判的前瞻性。针对这种人工运维模式带来的问题, 结合目前国内常规的变电站 10 kV 高压开关设备的工作流程和控制要求, 采用嵌入式工控机配套组态软件作为上位主控设备, 智能监控单元、综合保护装置等组成下位设备。上下位设备之间通过网线采用 IEC61850 中的 GOOSE 通信协议连接, 构成嵌入式工控机+智能监控单元+综保装置的小型 DCS 集散控制系统。该系统采用温升实时、断路器状态在线监测技术和智能操控、状态视频监控技术, 在满足高压开关设备日常运维需要的同时, 很大程度上提高了供配电网络的智能性、可靠性和安全性。

关键词: 高压开关设备; 综合自动化系统; 监控; 智能性

Development of 10 kV high voltage switchgear integrated automatic supervisory control system

HAO Jia¹, ZHAO Long², JI Chao², ZHU Yongcan², ZHANG Jianhua³

(1. Logistics Management Office, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. College of Electrics and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

3. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Shaanxi Energy Institute, Xianyang 712099, China)

Abstract: At present, daily operation and maintenance of high voltage switchgear basically rely on artificialness in domestic conventional 10 kV transformer substation, which not only increases electrical workers labor intensity, but also is the lack of forward-looking pre-judgment of the high voltage switchgear fault. Aiming at the problems caused by this artificial operation mode, combining the workflow and control request of 10 kV high voltage switchgear, this paper chooses embedded industrial PC as supervisory computer and takes intelligent monitoring unit, power comprehensive protection device as control computer. The supervisory computer and control computer are connected via the industrial network by adopting the GOOSE communication protocol of IEC61850, forming embedded IPC+ intelligent monitoring unit + power comprehensive protection device small-scale Distributed Control System (DCS). The system adopts technologies of temperature rise monitoring, vacuum circuit breaker state monitoring, and state video monitoring. It not only accomplishes the need of daily operation and maintenance of high voltage switchgear, but also improves the intelligence, reliability and safety of power distribution network to a great extent.

This work is supported by Natural Science Basic Research Program of Shaanxi Province (No. 2017JQ6054).

Key words: high voltage switchgear; integrated automatic control system; supervision; intelligent

0 引言

随着国民经济的迅速发展, 我国电力工业也得到了快速的发展, 不仅表现为用电量大为增加, 而且对变电站中 10 kV 高压开关设备的智能性、可靠

性和安全性要求也越来越高。由于传统变电站中高压开关设备的日常运行、操作、维护基本上依靠电气工人根据诸如高压操作票等规章制度和自身的经验进行, 容易受到电气工人责任心、知识结构、技术水平等因素的影响, 同时人工巡检模式也缺乏对高压开关设备故障预判的前瞻性。因此, 传统变电站中 10 kV 高压开关设备运维模式已经很难满足当

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划(2017JQ6054)

今社会发展的需要^[1]。

针对上述情况, 为了提高 10 kV 高压开关设备可靠性, 降低误操作、减轻电气工人劳动强度、降低人力成本及增强开关设备故障预判性, 必须革新传统的高压开关设备运维模式, 使其向智能性、高可靠性、高安全性及少人无人干预的模式发展。因此, 研制 10 kV 高压开关设备综合自动化监控系统具有重要的现实意义^[2]。

本文以某 10 kV 变电站改造工程为背景, 结合工程中高压开关设备的工作流程和控制要求, 介绍所研制的 10 kV 高压开关设备综合自动化监控系统技术特点。

1 10 kV 高压开关设备组成和工作流程

1.1 10 kV 高压开关设备的组成

10 kV 高压开关设备主要由 1 台高压进线柜、1 台高压计量柜、1 台高压 PT 柜(电压互感器柜)、7 台高压出线柜、1 台直流屏控制柜、1 台直流屏电池柜及相关配套控制设备组成。这些设备主要完成 10 kV 变电站高压供配电系统回路通断、计量、保护等功能^[3]。

(1) 高压进线柜: 由壳体、真空断路器、氧化锌避雷器、电流互感器、综合保护装置、带电显示器等组成。该柜子主要接收校外某 110 kV 变电站送来的 10 kV 电压, 具有通断、保护、控制、调节等功能。

(2) 高压计量柜: 由壳体、高压隔离开关、高压

熔断器、电流互感器、电压互感器、带电显示器等组成。该柜子主要功能是从高压侧计量, 并与负控终端和计量小盘将所用电量(kWh)远程传送给供电企业, 用于进行电量结算。

(3) 高压 PT 柜: 由壳体、高压熔断器、氧化锌避雷器、电压互感器、带电显示器等组成。该柜子主要完成各种电压显示, 提供测量表计的电压回路、继电保护系统需要的信号等。

(4) 高压出线柜: 由壳体、真空断路器、氧化锌避雷器、电压互感器、带电显示器等组成。该柜子主要完成给各个变压器高压侧供电及整条电气线路过流、接地故障跳闸保护等功能。

(5) 直流屏控制柜及电池柜: 由整流模块、监控模块、电池及配套电器元件组成。该柜子(2 面)主要完成为高压柜的操作提供直流电源, 直流电压等级为 DC110 V。

(6) 相关配套设备: 主要包括负荷控制终端、计量小盘等小型配电箱, 这些设备配合各个高压柜完成整个高压供配电过程。

1.2 10 kV 高压开关设备工作流程和原理

校外 110 kV 变电站将 10 kV 电压送至高压进线柜; 其次经过计量柜, 对用户所用电的数量进行计量; 然后进入 PT 柜, 将各种电压信号供给继电保护系统; 最后分别进入 7 个高压出线柜。配电工艺过程如图 1 所示。

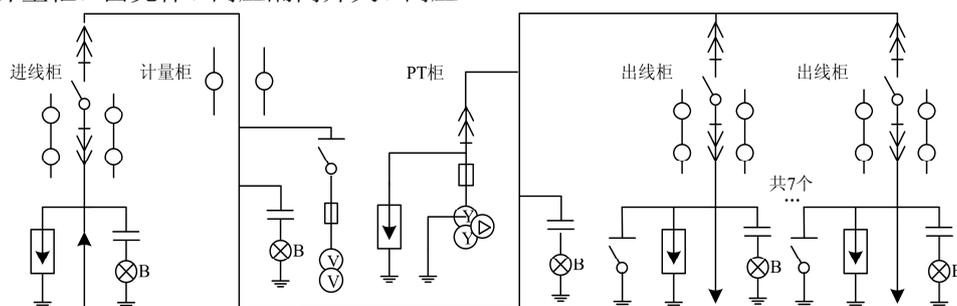


图 1 10 kV 高压开关设备一次主接线图

Fig. 1 Primary wiring diagram of 10 kV high voltage switchgear

1.3 监控技术要求

这些年以来由于高压开关设备内关键电气元件温升、本身机械零件磨损或电气工人操作失误等原因发生跳闸甚至人身伤亡事故不在少数, 这就大大降低 10 kV 供配电系统可靠性和安全性^[4]。

因此, 高压开关设备中各个电气元件温度、真空断路器状态、真空断路器手车及接地开关电机驱动系统状态参数成为 10 kV 高压开关设备最关键的 3 类工艺参数, 它们的检测精度和反应速度直接影

响整个 10 kV 高压开关设备日常运行和管理^[5]。现将这 3 类工艺参数介绍如下。

(1) 电气元件温度: 真空断路器上下触臂梅花触指温度、主母线和分支母线搭接面温度、高压电缆头搭接处温度及开关设备仪表室的环境温度。

(2) 真空断路器状态参数: 真空断路器储能电机的储能电压、电流, 合/分闸线圈电压、电流。

(3) 真空断路器手车及接地开关电机驱动系统状态参数: 真空断路器手车位置(实验、工作)信号、

手车摇入摇出电机驱动信号、手车驱动电机故障信号、接地开关分合状态信号、接地开关驱动电机合分闸信号、接地开关驱动电机故障信号。

2 10 kV 高压开关设备综合自动监控系统组成和硬件实现

2.1 控制系统组成

10 kV 高压开关设备控制系统采用 ABB 嵌入式

工控机(COM600)作为上位机, ABB 智能监控单元 MDC4、ABB 电力综合保护装置(REF615)作为下位机; 该系统上位机与综保装置(REF615)通过网线采用 IEC61850 中的 GOOSE 通信协议连接, 与 ABB 智能监控单元(MDC4)下位设备通过 RS485 总线 (Modbus 协议)进行数据传输, 构成一种典型的小型 DCS(集散控制系统), 控制系统组成原理如图 2 所示^[6-15]。

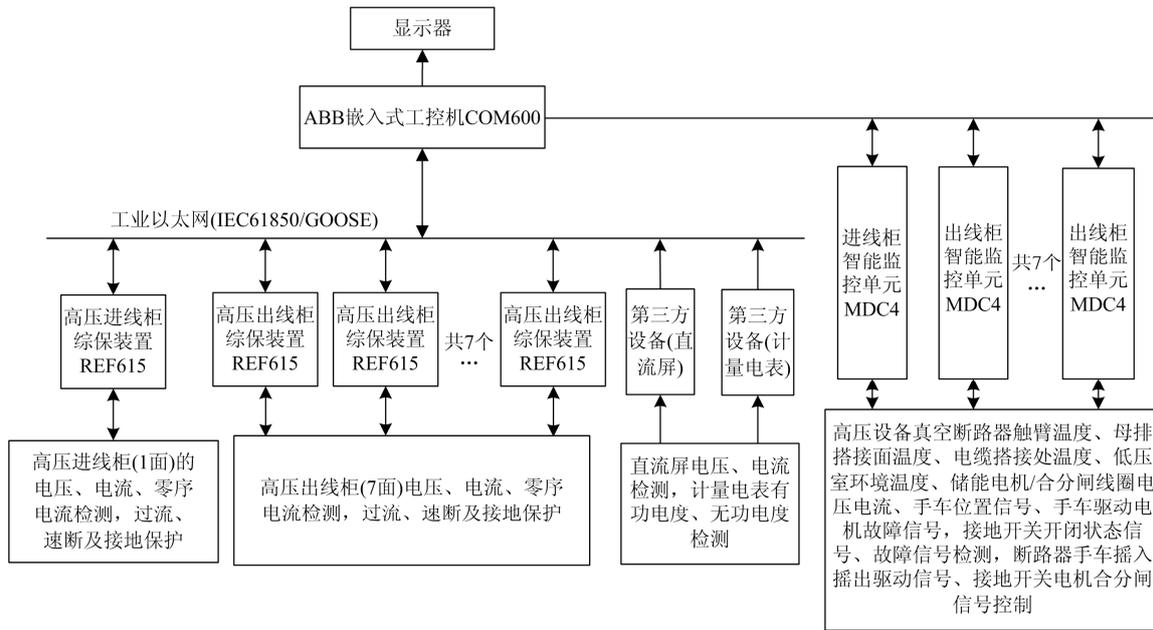


图 2 控制系统组成原理图

Fig. 2 Organization principle of control system

2.2 系统硬件实现

(1) 上位监控设备: 选择瑞士 ABB 公司嵌入式工业控制计算机 COM600, 该工控机配置酷睿 i5-4590T(主频 2.6 G)的 CPU, 8GB DDR3 内存, 128 G 工业级 SSD 硬盘, 带有 4 个 RS-232C 标准通信接口、2 个 LAN 接口及 4 个 USB 接口。该设备可以方便地与下位机通信, 实现了数据采集与监控。上位监控人机界面选择 26 英寸 SAMSUNG 液晶显示器。

(2) 下位监控设备: 选用瑞士 ABB 公司综保装置(REF615)和智能监控单元(MDC4)作为下位设备。该综保装置基于 IEC61850 标准设计和研发, 专为民用配电和工业配电系统的馈线提供理想的保护、控制、测量和监视功能, 能很好满足 10 kV 高压开关设备综合自动化监控系统需要。高压进线柜的综保装置完成进线柜电压、电流、零序电流检测及过流、速断、接地保护等功能。7 个高压出线柜综保装置分别完成 7 面出线柜电压、电流、零序电流检

测及过流、速断、接地保护等功能。同时, 通过挂接在网络上第三方设备(直流屏、计量电表)完成这些设备工艺参数(如: 直流屏电压、电流及计量电表有功、无功电度等)检测功能。

(3) 程序控制: 作为下位监控设备, 智能监控单元(MDC4)是一款集实时监视高压开关设备内关键点的运行温度、监测真空断路器控制回路状态参数及控制和保护电机驱动系统为一体的智能监测控制单元。其包括 3 个子功能系统: 温升(TRM)在线监测系统、真空断路器(ICM)状态参数监测系统和真空断路器手车电机驱动控制系统(MTS)、接地开关电机驱动控制系统(MES)。这 3 个子系统中工艺参数检测精度和反应速度直接影响整个变电站中 10 kV 高压开关设备可靠性和安全性^[16]。下面就这 3 个子系统功能做一简要介绍。

1) 温升在线监测系统: 由温度传感器、自供电 CT、采样+无线通信模块和智能监控单元 MDC4 组成。无论是断路器触臂部分还是母排、电缆搭接处

的测温点, 在每一个点上都有独立的自供电 CT。自供电 CT 通过一次导体的电流在其自身感应出二次电流供给无线通信模块, 这样使无线通信模块摆脱了对外部辅助电源的依赖。同时, 采用无线射频识别技术(RFID), 把每个测温点实际温度通过无线网络传输给智能监控单元 MDC4, 这样就做到高压侧测温传感器与接收单元完全隔离, 无需任何额外的布线, 大大提高了高压开关设备安全性^[18]。

2) 真空断路器状态参数监测系统: 由非介入式霍尔传感器和智能监控单元 MDC4 组成。通过对真空断路器合分闸线圈、储能电机回路的电压电流进行测量得到其波形, 配合该回路电压电流波形的正常范围进行工作状态判断, 一旦超出该范围, 系统向上位监控设备报警, 尽可能地提前预防部件失效的发生, 提高断路器工作可靠性。

3) 真空断路器手车、接地开关电机驱动控制系统由驱动电机和智能监控单元 MDC4 组成, 配合上位监控设备 COM600、综保装置 REF615 可以就地、远程实现高压开关设备一键式或全站程序化操作, 如断路器可以远程进行自动分合闸操作、断路器手车在工作位置和实验位置之间自动行走、接地开关自动地进行合分闸操作。同时, 安装在断路器室内的高清摄像头可以实时监视断路器手车与接地开关动作的全过程。这样以来, 就可以大大简化 10 kV 高压开关设备操作步骤, 提高操作效率, 并有效防止误操作的发生, 保证操作工人人身安全。

3 系统控制软件设计

3.1 控制程序设计

控制主程序采用 COM600 专用的配置工具软件 SAB600(Station Automation Builder 600)在独立的 PC 机上用 SCL 编程, 完成后下载到 COM600 中即可。控制程序由 1 个主程序和 5 个子程序组成^[17-18]。

控制主程序包括初始化程序和控制程序。初始化程序完成了系统的初始化和故障诊断与连锁保护, 在设备出现故障时进行声光报警。控制程序完成高压开关设备工艺参数检测、高压开关设备内关键电气元件温升检测、真空断路器状态参数检测、真空断路器手车和接地开关驱动电机参数检测控制, 分别调用相应的控制子程序。

3.2 控制子程序设计

控制子程序包括以下几种。

(1) 工艺参数检测控制子程序: 该子程序完成 1 面进线柜和 7 面出线柜电压、电流、零序电流等工艺参数检测及过流、速断、接地保护等功能。

(2) 高压开关设备内关键电气元件温升监测控

制子程序: 该子程序主要完成高压开关设备中真空断路器上下触臂温度(6 个点)、主母排和分支母排搭接处温度(3 个点)、电缆搭接处(3 个点)温度检测及超温报警功能。

(3) 真空断路器状态参数监测子程序: 该子程序主要完成真空断路器合分闸线圈、储能电机回路的电压、电流检测功能。同时, 把其测得参数与标准值进行对比, 如果发现测量值与标准值差别较大, 提前发出预警信息提示操作人员要对其进行更换。

(4) 真空断路器手车、接地开关电机驱动控制系统子程序: 该子程序主要完成真空断路器手车、接地开关电机驱动相关参数检测功能, 如手车实验位置信号、工作位置信号、电机运动信号, 接地开关合分闸位置信号、合分闸动作信号。

(5) 高压开关设备智能操控子程序: 该子程序主要完成真空断路器合分闸、手车摇入摇出、接地开关合分闸自动化操作功能。该子程序主要分为两个具体命令组: 自动分闸和自动合闸命令组。具体程序控制流程图(以自动分闸为例)如图 3 所示。

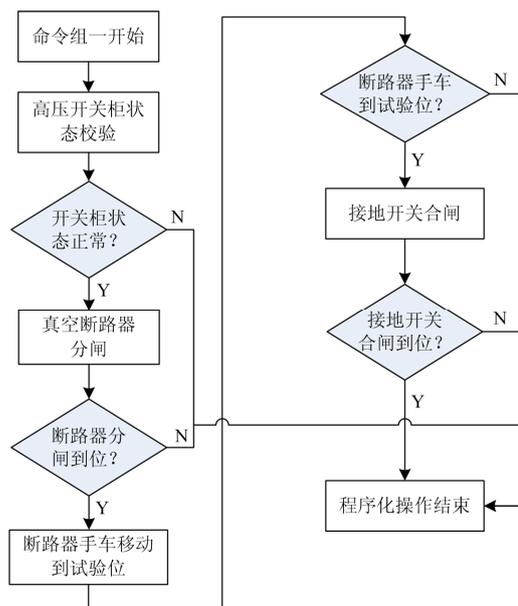


图 3 高压开关柜智能操控程序流程图

Fig. 3 Flow chart of intelligent control program for high voltage switchgear

3.3 上位监控软件开发

上位机监控画面采用 ABB SAB600 在 Windows XP professional 系统上进行开发, 监控系统软件运行画面分为用户管理界面、工况图画面、数据趋势曲线画面、历史报表画面、报警画面等。监控系统软件组成结构如图 4 所示^[19-20]。

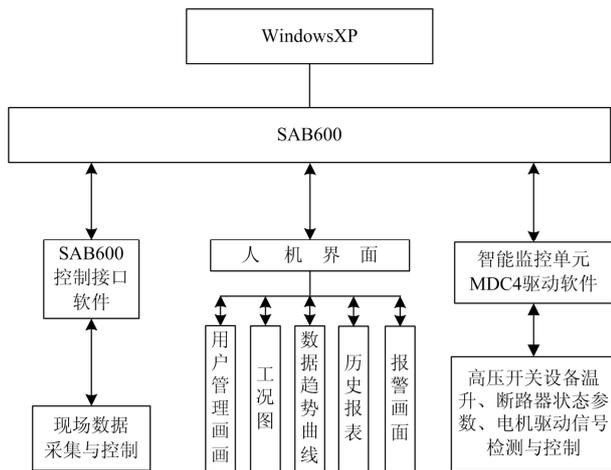


图4 系统软件模块结构图
Fig. 4 Module structure of software system

该监控软件主要实现功能：工况图对 10 kV 高压开关设备的工作状况进行实时监控，按照工况实时显示各主要工艺参数，如高压开关设备的三相电压、三相电流、零序电流、真空断路器触臂温度、母排搭接面、电缆搭接处等，同时还可以反映出各个辅助设备(如直流屏、计量电表)运行状况；数据趋势画面可以对反映各个工艺参数运行趋势的情况进行查看，可以查看实时趋势和历史趋势；历史报表画面可以查看所有工艺参数历史报表，并对生成记录数据进行存储和打印；报警画面可以对各工艺参数超限需要报警的变量进行报警并记录。系统在运行过程中各工艺参数如果出现异常情况，计算机监控系统控制柜上的红色报警灯闪动并且发出声音，同时嵌入式工控机的监视主画面上会出现故障提示，系统自动停止动作。此时操作人员必须对报警进行确认，根据监控画面上显示的故障提示，进行检修。嵌入式工控机自动对各个工艺参数的故障记录并存盘，系统硬盘可以存储半年以上的数据，供用户实时和历史打印。

4 运行效果分析

该工程于 2017 年下半年完成系统调试工作交付使用以来，实际运行表明，该系统性能优越，运行良好，具有较高的智能性、可靠性和安全性，实现了 10 kV 变电站内高压开关设备全过程优化控制，提高了高压开关设备自动化和运行管理水平，消除了安全隐患，确保了整个 10 kV 变电站的平稳、安全、高效运行。高压开关设备综合自动化系统工况图如图 5 所示。

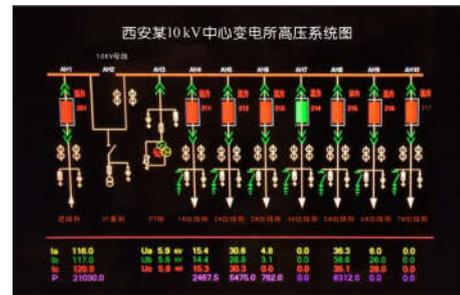


图5 综合自动化监控系统工况图
Fig. 5 Working condition diagram of integrated automation supervisory system

5 结论

该系统设计满足 10 kV 高压开关设备的工艺和控制要求，控制精度高，保护动作响应快，实现了供配电网的全过程优化控制，对改善变电站 10 kV 高压开关设备运行和管理水平、提高工作效率效果显著，具有一定的应用推广价值。

参考文献

- [1] 戎宏娜, 尹育新. 基于 DSP 的变电站自动化监控系统的研究[J]. 电源技术, 2016, 140(4): 910-911.
RONG Hongna, YIN Yuxin. Research of substation automation monitoring system based on DSP[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2016, 140(4): 910-911.
- [2] 韩旭. 变电站综合自动化系统的集成[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(10): 66-70.
HAN Xu. Substation integrated automation integration[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(10): 66-70.
- [3] 林功平. 配电自动化与 10 kV 智能化开关[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(11): 70-72.
LIN Gongping. Distribution automation and intelligent 10 kV switchgear[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(11): 70-72.
- [4] 苗红霞, 萧璇璇, 江冰, 等. 基于信息融合的预装式变电站健康状态评估[J]. 电力系统自动化, 2017, 45(14): 85-91.
MIAO Hongxia, XIAO Xuanxuan, JIANG Bing, et al. State evaluation of prefabricated substation based on information fusion[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 45(14): 85-91.
- [5] 王月月, 陈民铀, 姜振超, 等. 基于云理论的智能变电站二次设备状态评估[J]. 电力系统自动化, 2018, 46(1): 71-77.
WANG Yueyue, CHEN Minyou, JIANG Zhenchao, et al. A state assessment method for secondary equipment in intelligent substation based on cloud model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 46(1): 71-77.
- [6] 高志远, 黄海峰, 徐昊亮, 等. IEC61850 应用剖析及其发展探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 162-169.

- GAO Zhiyuan, HUANG Haifeng, XU Haoliang, et al. Discussion on applications of IEC 61850 and its development[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(1): 162-169.
- [7] 高磊. IEC61850SCL 配置文件比对工具的研究与实现[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(20): 88-96.
- GAO Lei. Research and implementation of comparison tool for IEC61850 SCL configuration file[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(20): 88-96.
- [8] 高志远, 王伟, 孙仟, 等. IPv6 及其在电力自动化系统中的应用分析[J]. 中国电力, 2016, 49(12): 114-120.
- GAO Zhiyuan, WANG Wei, SUN Qian, et al. Analysis on IPv6 and its application in electric power automation systems[J]. Electric Power, 2016, 49(12): 114-120.
- [9] 王晓蔚, 刁新魁, 胡文平, 等. 基于 D5000 系统的变电站综自调试试验系统方案与问题分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(23): 190-194.
- WANG Xiaowei, XI Xinkui, HU Wenping, et al. Development of test technology for integrated automation system in substation based on D5000 smart grid operation supporting system[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(23): 190-194.
- [10] 郝少华, 李勇, 张铁锋, 等. 新一代智能变电站通信网络及管理系统方案[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(17): 148-154.
- HAO Shaohua, LI Yong, ZHANG Tiefeng, et al. Scheme of communication network and management system of new generation smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(17): 148-154.
- [11] 周艳丽. 基于自组网的变电站远程视频监控系统设计[J]. 电源技术, 2011, 40(7): 1501-1521.
- ZHOU Yanli. Design of substation remote video monitoring system based on ad-hoc network[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2011, 40(7): 1501-1521.
- [12] 杨志宏, 周斌, 张海滨, 等. 智能变电站自动化系统新方案的探讨[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(14): 1-7.
- YANG Zhihong, ZHOU Bin, ZHANG Haibin, et al. Discussion on novel scheme of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(14): 1-7.
- [13] 姚志强, 吴艳平, 徐歆, 等. 面向智能电网的主厂站一体化关键技术探讨[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(8): 179-191.
- YAO Zhiqiang, WU Yanping, XU Xin, et al. Exploration of key technologies in integration of dispatching center and substation for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(8): 179-191.
- [14] 胡绍谦, 李力, 朱晓彤, 等. 提高智能变电站自动化系统工程实施效率的思路与实践[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(11): 173-180.
- HU Shaoxian, LI Li, ZHU Xiaotong, et al. Scheme and practice for improving engineering implementation efficiency of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(11): 173-180.
- [15] 李保恩. 智能变电站继电保护装置自动测试平台的研究和应用[J]. 电力系统自动化, 2017, 45(7): 131-135.
- LI Baoen. Research and application of automatic test platform for intelligent substation relay protection device[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 45(7): 131-135.
- [16] 安永帅, 李刚, 樊占峰, 等. 新一代智能变电站控制保护一体化智能终端研究与开发[J]. 电力系统自动化, 2017, 45(8): 138-145.
- AN Yongshuai, LI Gang, FAN Zhanfeng, et al. Research and development on intelligent terminal units incorporated with control and protection functions in new generation smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 45(8): 138-145.
- [17] 吴永超, 王增平, 吕燕石, 等. 变电站配置语言的应用及解析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(15): 38-41.
- WU Yongchao, WANG Zengping, LÜ Yanshi, et al. Application and parsing of substation configuration language[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(15): 38-41.
- [18] 修黎明, 高湛军, 黄德斌, 等. 智能变电站二次系统设计方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(11): 124-128.
- XIU Liming, GAO Kanjun, HUANG Debin, et al. Secondary system design method for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(11): 124-128.
- [19] 万书鹏, 苏大威, 张凯, 等. 支撑变电站自动化系统广域运维的服务管理中心设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(22): 149-154.
- WAN Shupeng, SU Dawei, ZHANG Kai, et al. Design and implementation of service management center for substations automation system wide operation and maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(22): 149-154.
- [20] 黄晓明, 黄志华, 张华侨, 等. 变电站整站二次设备就地化及运维方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(5): 173-178.
- HUANG Xiaoming, HUANG Zhihua, ZHANG Huaqiao, et al. Research on the localization and maintenance scheme of secondary equipment in substations[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(5): 173-178.

收稿日期: 2018-04-24; 修回日期: 2018-08-30

作者简介:

郝佳(1984—), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电气自动化工程项目设计、研究及日常管理。E-mail: haojia8423@aliyun.com

(编辑 葛艳娜)