

# 基于物联网的智能高压开关柜设计

黄新波, 方寿贤, 王霄宽, 王红亮, 李小博, 李文静

(西安工程大学 电子信息学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 设计了一种基于物联网技术的智能开关柜。智能开关柜 IED 采用 DSP+ARM 双 CPU 的结构, 通过 CAN 总线、RS-485 总线、ZigBee 技术等接收智能监测单元监测到的信息, 按照 IEC61850 协议与站控层服务中心进行通信, 实现远程监控功能。智能控制单元对柜内开关量、温度、湿度等进行监测, 并通过液晶屏、高亮指示条和指示灯显示开关柜状态, 同时负责实现开关柜电动操作控制。智能识别单元将设备信息以电子标签的形式预埋在设备中, 通过无线射频识别 (RFID) 技术直接将设备信息传递给智能开关柜 IED, 由开关柜上传到一体化信息平台, 对设备进行准确定位、跟踪。所设计的智能开关柜已成功应用于唐山虹桥变电站, 现场工作正常。

**关键词:** 物联网; 无线射频识别; IEC61850; 智能电子设备; Wi-Fi; 监控; 智能控制; 通信

**中图分类号:** TM 591

**文献标识码:** B

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.02.026

## 0 引言

高压开关柜是输配电系统中的重要设备, 一旦损毁会带来巨大的经济损失<sup>[1]</sup>。本文设计了一种全新的智能高压开关柜, 一方面具有传统开关柜的功能, 另一方面具有智能化监测、自我故障诊断等功能; 采用 ARM9 芯片 S3C2440A 和 DSP 芯片 TMS320F28335 的双 CPU 结构, 以双 CPU 为控制核心, 基于 IEC61850 协议实现了智能开关柜智能电子设备 (IED), 不但可以分析开关柜的状态并就地处理, 完成相应的动作, 而且可以通过光纤将开关柜中的信息传输到智能变电站的一体化信息管理平台中, 基于上述信息, 开关柜 IED 可对高压开关柜的运行状态进行综合诊断<sup>[2]</sup>, 实现高压开关柜的自我检测、自我诊断和自我动作等。

## 1 开关柜整体结构和原理

智能高压开关柜包括智能监测单元、智能识别单元、智能控制单元和智能开关柜 IED 4 个部分, 其整体结构原理图如图 1 所示。

### 1.1 开关柜 IED

智能开关柜 IED 设计采用先进的 ARM+DSP 双 CPU 技术, 用以接收智能开关柜监测单元采集到的三相电流、三相电压、电网频率、功率、电能、局部放电、高压开关机械特性、高压断路器母线/触头温度等数据, 并遵循 IEC61850 协议送至站控层服务中心,

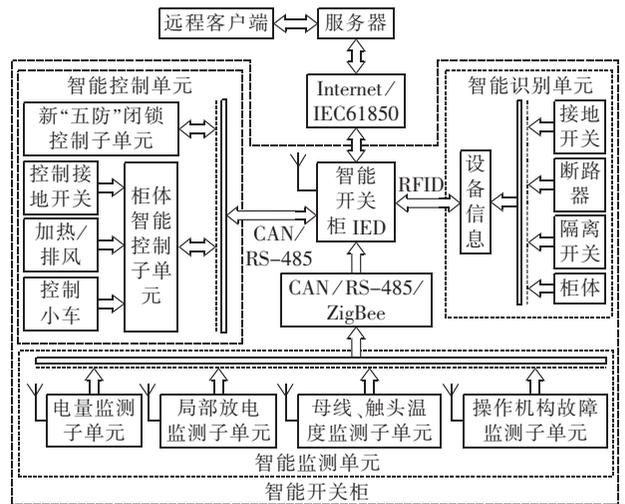


图 1 系统整体结构

Fig.1 Overall structure of system

实现远程监控功能。智能开关柜 IED 外围扩展了 CAN 网络接口、RS-485 网络接口、RS-232 接口、以太网接口、Wi-Fi 以及 SD 卡接口, 可以适应高压开关柜内各种不同的监测单元, 它把智能开关柜所需的通信方式整合到一起, 采用有线传输和无线传输的方式实现各个监测单元与 IED 之间的数据通信和控制, 克服了开关柜内高电压、大电流的强电场、强电磁辐射、高频噪声和谐波的干扰问题。

### 1.2 智能监测单元

#### 1.2.1 电量监测子单元

电量监测子单元主要是实现对母线的电压、电流、有功功率、无功功率、电网频率、功率因数和电能的实时监测。

#### 1.2.2 柜内的局部放电监测子单元

局部放电监测子单元主要是实现柜体内绝缘特性的监测。高压柜局部放电超高频监测系统硬件部

收稿日期: 2012-09-11; 修回日期: 2012-12-21  
基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2009CB-724507-3); 中国博士后基金资助项目 (20090460759)  
Project supported by a Grant from the Major State Basic Research Development Program of China (973 Program) (2009-CB724507-3) and China's Postdoctoral Fund (20090460759)

分主要由超高频天线传感器、信号调理单元、无线传输模块、电源模块组成。具体的单元框图见图 2。

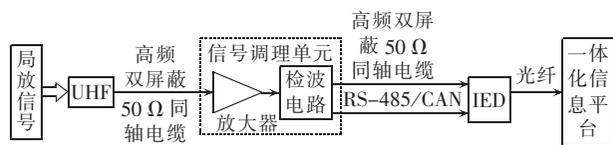


图 2 局部放电监测子单元

Fig.2 Partial discharge monitoring subunit

传感器采用阿基米德双臂螺旋天线,能实现带宽 500~1500 MHz 的局部放电信号检测,可以较好地抑制噪声干扰,同时获取尽量多的放电信息。

### 1.2.3 操作机构故障监测子单元

操作机构故障监测子单元主要从 2 个方面着手<sup>[3]</sup>:一是开关机械性能,主要是监测分合闸速度,因为它直接影响开断性能;二是监测弹簧操作机构的弹簧蓄能时间,然后与正常值进行对比,以判断操作弹簧的蓄能情况。通过监测脱扣线圈的电流来辨别脱扣线圈的工作情况,以监测分闸性能。特别是监测脱扣线圈的断线,可防止拒动等重大事故的发生。操作机构故障监测子单元<sup>[4]</sup>主要监测 3 个方面:

- 把同一类设备在最佳动作状态下事先建立的参数值与运行时的值进行比较,从而判断操作机构功能是否完好;
- 由压力传感器测得压力,根据压力值发出警报、去启动储能泵或锁住操作机构;
- 对触头磨损量的参数  $I$  (流过触头的电流) 及  $t$  进行监测处理,对触头的电磨损量进行监测和报警。

### 1.2.4 母线、触头温度监测子单元

安装在母线、触头臂上的温度监测子单元,它包含了飞思卡尔集成单片机 MC9S08QG8 (其抗干扰能力强,由于采用高压取电的工作方式,系统功耗很小)、温度传感器 DS18B20、ZigBee 无线通信模块<sup>[5]</sup>以及系统工作电源。具体如图 3 所示。

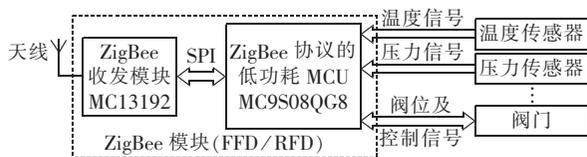


图 3 温度监测子单元

Fig.3 Temperature monitoring subunit

## 1.3 智能控制单元

智能控制单元可分为柜体智能控制子单元和智能化“五防”闭锁控制子单元,下面分别进行介绍。

### 1.3.1 柜体智能控制子单元

该柜体智能控制子单元主要包括 3 个部分:柜内开关量的监测,如断路器手车位置指示、断路器的分合指示、隔离开关的分合、接地开关的分合、储能状态、高压带电等;开关柜电动操作控制,实现控制

手车和接地开关电动执行机构完成手车电动进出和接地开关电动分合操作;开关柜内温湿度信号<sup>[6]</sup>、开关柜前的人体感应信号、有害气体浓度信号、开关柜的加热器断线信号监测。

该开关柜智能控制单元包括信号采集、信号处理、直流电机控制电路、显示、语音以及电源等模块,具体的单元原理框图如图 4 所示。

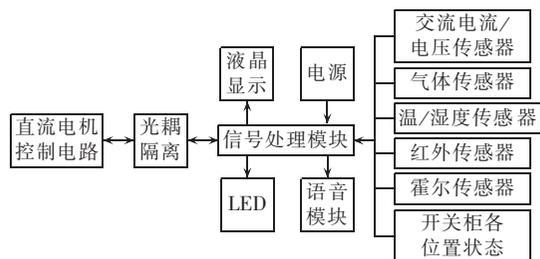


图 4 智能控制单元原理图

Fig.4 Schematic diagram of intelligent control unit

**a. 信号处理模块。**采用 ARM+DSP 的结构,使设备具有高效快速的处理能力和强大的实时监控功能。ARM 采用三星公司的芯片 S3C2440A,附加外围的键盘、液晶、以太网通信等硬件设备,用以完成整个系统的管理和控制,包括向 DSP 发送指令,要求回传数据,对数据进一步处理、存储和显示,以及与 DSP 和上位机的通信。DSP 选用德州仪器(TI)公司的 TMS320F28335 芯片,利用 DSP 的高速运算和多种片上外设的特点完成开关柜状态的数据采集,并对采集来的数据进行计算和分析,同时实时响应 ARM 的请求,将数据处理的结果发送给 ARM。DSP 与 ARM 的通信采用串行外设接口(SPI)通信。ARM 系统接收来自 DSP 的相关数据,按照事先设定的程序进行本地存储显示,并且通过以太网打包通信上传到上位机,同时可通过人机交互界面在本地显示。

**b. 直流电机控制单元**通过微控制单元(MCU)的控制手车和接地开关电动执行机构完成手车电动进出和接地开关电动分合操作。用户既可以就地按下命令按钮完成电动操作,也可以由监控系统发送远程电动操作指令来完成电动操作。为提高电动操作的可靠性,本装置能提供电机堵转保护功能和变频控制功能,具备了模拟手动操作的能力,可根据电动操作过程的实际情况调整扭矩和转速,大幅降低了机构堵转风险,并可防止故障进一步扩大。此部分采用了科学合理的控制和保护算法,可以显著提高开关柜电动操作的可靠性。

**c. 显示模块。**为了清晰地显示开关柜的各个状态,显示模块主要包括液晶屏的显示、高亮指示条的显示以及指示灯的显示。高亮显示条主要是指示相关的开关柜状态,使其更加直观、清楚;指示灯部分

主要包括:断路器手车位置指示、断路器分合指示、接地开关指示、储能提示、高压带电显示、温/湿度控制指示、触头温度报警显示、加热器 A 工作指示灯、加热器 B 工作指示灯、排风启动指示灯、高压带电指示灯以及闭锁指示灯、与上位机通信的发送指示灯以及接收指示灯<sup>[6]</sup>。

### 1.3.2 智能化“五防”闭锁控制子单元

所谓电力“五防”是指:防止误分、误合断路器;防止带负荷拉、合隔离开关;防止带电挂接地线(或接地刀闸);防止带接地线合隔离开关;防止误入带电间隔。电力系统“五防”装置中除了防止误分、误合断路器之外,其他“四防”均要求强制闭锁。控制器为智能闭锁装置的核心,首先把开关柜内所有设备在各种运行方式下的操作程序存储在控制器的存储器内,运行人员需要进行操作时,就按照一定的规程进行操作,控制器根据预选存储的程序对每一项操作进行判断。如果操作正确,就发出正确的声音提示,指示灯部分指示相关操作;如果操作错误,系统则自动播放提醒语音,并且操作无效,也无法进行下一步操作,防止运行人员误操作,保障人身和设备安全。

### 1.4 智能识别单元

智能识别单元在智能识别断路器、柜体等设备信息方面,采用的是无线射频识别(RFID)技术。射频识别技术是一项利用射频信号通过空间耦合(交变磁场或电磁场)实现无接触信息传递并通过所传递的信息达到识别目的的技术。将断路器、隔离开关、接地开关、母线、电压互感器、电流互感器、柜体等设备的本体信息以电子标签的形式预埋在设备中,通过 RFID 直接将设备信息传递给智能开关柜 IED,并遵照 IEC61850 协议由光纤上传到一体化信息平台,对设备进行准确定位、跟踪,了解设备动态信息。

### 1.5 物联网技术

物联网技术是一种在互联网技术基础上延伸和扩展的网络技术,它是通过 RFID、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,将任何物品与互联网相连接,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、追踪、监控和管理的一种网络技术。将 RFID、ZigBee 等物联网技术运用到智能高压开关柜的设计中,不仅使它具有传统开关柜的功能,而且实现智能识别、智能监测和智能控制,使智能 IED 遵循 IEC61850 协议,将数据通过光纤传输到一体化信息平台。

## 2 硬件结构和原理

硬件结构如图 5 所示。

控制部分采用 ARM9 芯片 S3C2440A 和 DSP 芯片 TMS320F28335 的双 CPU 结构,以双 CPU 为控

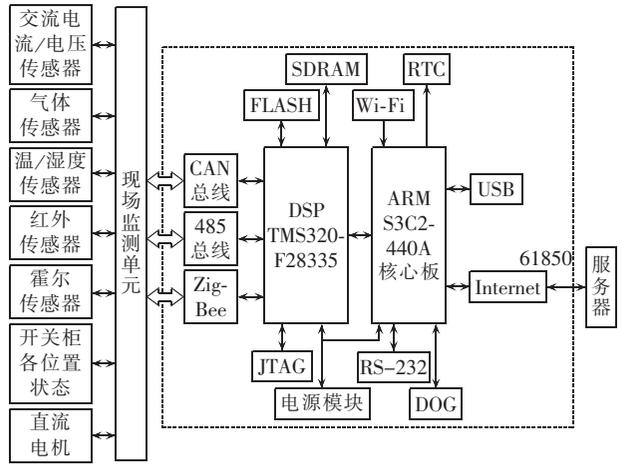


图 5 硬件结构

Fig.5 Hardware structure

制核心,在外围分别搭建 CAN 网络接口、RS-485 网络接口、RS-232 接口、以太网接口、RFID 模块,采用 IRIG-B 码对时提供精确统一的时间基准。本智能柜充分考虑电磁干扰对设备的影响,电源部分进行设计时对各供电线路进行了分区隔离。

通信部分包括 CAN 网络接口、RS-485 网络接口、RS-232 接口、以太网接口、RFID 以及 ZigBee 无线通信技术。智能监测单元将监测到的信息通过 CAN 总线或 485 总线传送到智能开关柜 IED,同时智能识别单元通过 RFID 模块识别开关柜的设备信息,经过 MCU 处理,进行相应的动作,遵循 IEC61850 协议与服务中心进行通信,实现远程监控功能。

系统电源采用开关电源模块,将输入的交流 220 V 转换成直流 5 V,然后通过线性稳压芯片 MIC29502BU 转换成 3.3 V,最终通过线性电压调节芯片 LM1117-ADJ 将 3.3 V 电压转换为 1.5 V 和 1.9 V,作为 CPU 工作电源、通信驱动电源、液晶屏电源及信号显示电源等。由于开关柜内高电压条件限制,监测单元的电源必须由内部提供,采用蓄电池等固定能量的供电方式均无法保证系统的长期运行。根据断路器触点和母线的温度升高时有电流流过的特征,采用电磁感应原理直接从断路器触点导电板或母线上获得监测单元的低电压电源。现设计一个专用电流互感器,采用坡莫合金为铁芯,可保证小电流时铁芯正常励磁、大电流时铁芯饱和,从而提供了变化幅度较小的感应电压(9~24 V)。感应电压经过限压、整流和二次稳压后获得稳定的 +5 V 电源电压输出<sup>[7]</sup>。原理图如图 6 所示。

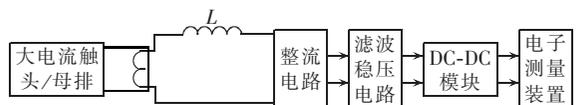


图 6 高压自具电源原理图

Fig.6 Schematic diagram of high voltage source

### 3 软件流程

智能开关柜的软件程序流程图如图 7 所示,其总体流程是一个无限循环。每次循环都将不停地查询开关柜的状态、按键的状态以及其他各个输入,送给 MCU 处理,从而使得 MCU 实时输出各种控制信号,最后清除看门狗(DOG)计数器,以确认系统正常运转。

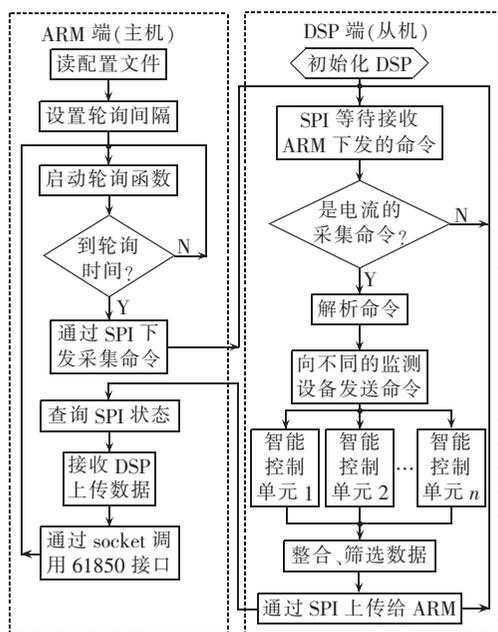


图 7 软件流程

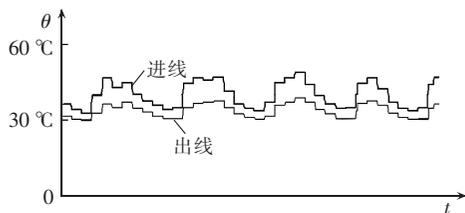
Fig.7 Flowchart of software

ARM 和 DSP 的主从结构之间采用 SPI 通信方式,稳定、迅速,使两者之间的连接高速、可靠。由于通信主要由 ARM 发起,所以设置 ARM 为主机,DSP 为从机。

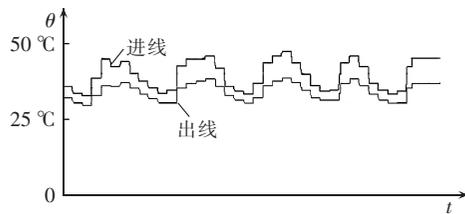
### 4 运行数据

系统已成功应用于唐山虹桥变电站,运行可靠、稳定。以智能高压开关柜中三相温升监测点温度为例,该监测点从 2011 年 8 月 20 日至 2011 年 8 月 24 日的所有数据如图 8 所示。

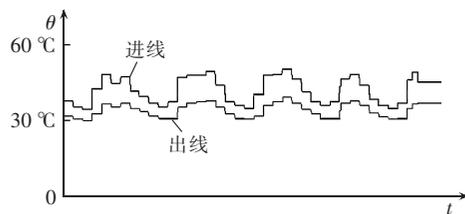
由图 8 可见,智能高压开关柜各个传感器工作正常,能有效准确地发送实时数据,监控中心的专家软件没有误报警现象,准确率为 100%。



(a) A 相母排温度



(b) B 相母排温度



(c) C 相母排温度

图 8 高压开关柜中温度监测点的数据图

Fig.8 Temperature data of monitored points in high voltage switchgear

### 5 结语

智能高压开关柜既具有传统开关柜的功能,又具有智能化监测、自我故障诊断等功能,可以就地分析和处理开关柜的状态,完成相应的动作,并遵照 IEC61850 协议由光纤将开关柜中的信息上传到一体化信息平台。智能高压开关柜采用 ARM+DSP 双 CPU 处理器,具有灵活性和可定制性,可方便实现监测设备的软硬件升级。智能开关柜可以减少巡行人员的巡视次数,实现无人值守,且投资小、免维护、抗干扰能力强,为实现智能变电站打下了坚实的基础,应用前景非常广泛。

### 参考文献:

- [1] 黄新波,陈荣贵,王孝敬,等. 输电线路在线监测与故障诊断[M]. 中国电力出版社,2008:18-24.
- [2] 黄新波. 变电设备在线监测与故障诊断[M]. 中国电力出版社,2008:99-102.
- [3] 刘建胜,鄧达,张凡. 一种用于变电站高压触点温度在线监测的新方法[J]. 电力系统自动化,2004,28(4):54-57.  
LIU Jiansheng,FENG Da,ZHANG Fan. A novel method for remote on-line temperature detection of substation high-voltage contacts[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(4):54-57.
- [4] 王玉峰,邹积岩,廖敏夫. 开关柜中电快速瞬变脉冲群耦合途径的研究及电磁隔离[J]. 电力自动化设备,2008,28(8):102-105.  
WANG Yufeng,ZOU Jiyan,LIAO Minfu. Coupling paths of EFT/B in switch cabinet and electromagnetic shielding[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(8):102-105.
- [5] 黄新波,方寿贤,付涛阳. 基于物联网的智能高压开关柜设计:中国,ZL201120472832.5[P]. 2012-07-11.
- [6] 黄新波,方寿贤. 用于高压开关柜触头温升监测的 ZigBee 通信单元:中国,ZL20120247674.3[P]. 2012-02-22.
- [7] 宁炳武. ZigBee 网络组网研究与实现[D]. 大连:大连理工大学电子信息学院,2007.

- NING Bingwu. ZigBee network research and implementation[D]. Dalian;Dalian University of Technology,2007.
- [8] 韩丽娜. 基于 ZigBee 的矿井人员管理系统设计[D]. 上海:同济大学,2007.
- HAN Lina. Design on the ZigBee technology-based mine personnel management system[D]. Shanghai;Tongji University,2007.
- [9] 杨志淳,乐健,靳超,等. 基于气体传感器技术的中高压开关柜过温监测系统[J]. 电力自动化设备,2011,31(4):116-119.
- YANG Zhichun,LE Jian,JIN Chao,et al. HV and MV switch cabinet over-temperature supervising system based on gas sensor [J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(4):116-119.
- [10] 许一声,顾霓鸿. 高压开关柜触头温度在线监测仪[J]. 高压电器,2005,41(2):139-141.
- XU Yisheng,GU Nihong. An online temperature monitoring instrument of high voltage switch cabinet contact[J]. High Voltage Apparatus,2005,41(2):139-141.
- [11] WHISTLE D B,GRAY I D. A new technique for condition monitoring of MV metal clad switchgear[C]//Fifth International Conference on Trends in Distribution;400 V-145 kV for Utilities and Private Networks. [S.l.];Institution of Electrical Engineer,1998:10-12.
- [12] 迟岩,黄种明,郑为民. 基于 AIFCS 工业配电系统开关柜设计[J]. 电力自动化设备,2006,26(7):38-42.
- CHI Yan,HUANG Zhongming,ZHENG Weimin. Design of switchboard for industrial power distribution system based on AIFCS[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(7):38-42.
- [13] 罗运虎,房淑华,吴娜,等. 基于 ISD25120 多功能语音报警卡及其应用[J]. 电力自动化设备,2006,26(1):79-82.
- LUO Yunhu,FANG Shuhua,WU Na,et al. Multi-functional sound alarming card based on ISD25120 and its application [J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(1):79-82.

#### 作者简介:

黄新波(1975-),男,山东海阳人,教授,博士后,研究方向为电力系统在线监测理论与技术(E-mail:93660561@qq.com);

方寿贤(1987-),男,安徽六安人,硕士研究生,研究方向为检测技术与自动化装置;

王霄宽(1988-),男,河南周口人,硕士研究生,研究方向为电力电子与电力传动;

王红亮(1985-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,研究方向为信号与信息处理;

李小博(1985-),男,陕西宝鸡人,硕士研究生,研究方向为检测技术与自动化装置;

李文静(1987-),女,陕西岐山人,硕士研究生,研究方向为检测技术与自动化装置。

## High voltage switchgear cabinet based on IoT technology

HUANG Xinbo,FANG Shouxian,WANG Xiaokuan,WANG Hongliang,LI Xiaobo,LI Wenjing

(College of Electronics and Information,Xi'an Polytechnic University,Xi'an 710048,China)

**Abstract:** An intelligent high voltage switchgear cabinet is designed based on IoT(Internet of Things) technologies. Its IED(Intelligent Electronic Device) applies dual-CPU(DSP+ARM) structure,which collects the information from the intelligent monitoring unit via CAN bus/485 bus/ZigBee and communicates with the service center of substation control layer for remote monitoring according to IEC61850 protocol. Its intelligent control unit monitors the binary variables,temperature and humidity of cabinet and displays the states of cabinet via LCD screen/highlighted inductor bars/inductor lights. The control unit is also responsible for the electric operation control of cabinet. Device information is assigned as electronic tag inside the device,which is read and transmitted to the IED of cabinet by the intelligent recognition unit using RFID(Radio Frequency IDentification) technology. The received information is further sent to the integrated information platform for device locating and tracking. The intelligent high voltage switchgear cabinet is installed in a substation and operates well.

**Key words:** internet of things; radio frequency identification; IEC61850; intelligent electronic device; Wi-Fi; monitoring; intelligent control; communication