

组合开关负载侧多路绝缘电阻自动测量装置的研制

蔡正梓¹, 管树威¹, 田园², 熊辉¹, 樊亮¹

(1. 国网北京市电力公司电力调度控制中心, 北京 100031; 2. 国网物资有限公司, 北京 100724)

摘要: 为了提高防爆组合开关的安全性, 需要自动检测其负载侧的绝缘性能, 设计了一种可靠的组合开关负载侧多路绝缘自动测量装置。该装置采用模块化的设计思路, 包括上位机、电源模块、高压检测电路、中央处理器Atmega16以及中央处理器Atmega64五个模块。上位机主要用来发送接收指令、显示组合开关状态和检测数据等。电源模块主要用来将工频交流电转化成供单片机使用的5 V电压和供高压检测电路使用的12 V电压。高压检测电路将直流电压12 V转变成2 500 V, 加载在负载侧测量绝缘电阻。中央处理器Atmega16主要用来检测12路的闭锁情况和驱动继电器开合负载电路。中央处理器Atmega64主要用来接收处理上位机的指令, 判断是否具备检测条件, 控制闭锁灯和检测灯的亮暗, 采集处理检测数值并发送给上位机。两个中央处理器通过RXD/TXD实现实时通信。中央处理器Atmega64与上位机的通信采用RS 485技术实现, 通信规约采用工业标准Modbus协议。工程实践表明该装置能够快速准确地检测组合开关负载侧多路绝缘电阻值, 大大提高了现场的工作效率。

关键词: 绝缘电阻; 组合开关; 多路测量; 自动测量

Development of multichannel insulation resistance automatic measurement device for load side of combination switch

CAI Zhengzi¹, GUAN Shuwei¹, TIAN Yuan², XIONG Hui¹, FAN Liang¹

(1. State Grid Beijing Electric Power Company Power Dispatch and Control Center, Beijing 100031, China;
2. State Grid Materials Co., Ltd., Beijing 100724, China)

Abstract: In order to improve the safety of explosion-proof combination switch, the insulation performance of the load side need to automatically detect. A reliable combination switch load side multi-channel insulation automatic measuring device is designed. The device adopts the modular design thinking, including PC, power supply module, high pressure detection circuit, the central processor unit (CPU) Atmega16 and Atmega64. PC is used to send and receive instruction, display combination switch state and testing data, and so on. Power supply module is mainly used to convert alternating current (AC) power into 5 V for the use of single-chip microcomputer and 12 V for high voltage testing circuit. High voltage detection circuit convert DC 12 V to DC 2 500 V which load on the load side to measure insulation resistance. The CPU Atmega16 is mainly used to detect 12 channel atresia state and drive relay opening and closing load circuit. The CPU Atmega64 is mainly used to receive PC's instructions, determine whether have test conditions, control the opening and closing of atresia light and detect light, collect and process the testing numerical value and then sent to PC. Two CPU achieve real-time communication through the RXD/TXD. The CPU Atmega64 achieve real-time communication with PC adopting RS 485 technology, and communication protocols adopt industry standard Modbus protocol. Engineering practices show that the device can rapidly and accurately detect combination switch load side multi-channel insulation resistance, greatly improve the work efficiency.

Key words: insulation resistance; combination switch; multi-channel; automatic measurement

0 引言

防爆开关被广泛地应用到各种恶劣的较为危险的环境中（如煤矿行业），其性能关系到生产作业的安全可靠性。防爆开关负载侧的绝缘电阻值对其安全运行具有很大的影响，因此需要对多路负载侧的绝缘电阻值进行测量，确保在绝缘电阻值满足运行的条件下投入开关。使用传统的绝缘电阻表测量，现场的环境恶劣危险性大，并且组合开关测点多，工作量大。本文设计的测量装置能够远程控制测量绝缘电阻，具有读数准确、使用方便等特点，能够满足现场工程的需要，大大提高了工作效率。

1 系统组成

组合开关负载侧多路绝缘自动测量装置采用模块化的设计思路，包括上位机、电源模块、高压检测电路、中央处理器Atmega16及附属电路和中央处理器Atmega64及附属电路五个模块。上位机主要用来发送接收指令、显示组合开关状态和检测数据等。电源模块主要用来将工频交流电转化成供单片机使用的5 V电压和供高压检测电路使用的12 V电压。高压检测电路将直流电压12 V转变成2 500 V，加载在负载侧测量绝缘电阻^[1]。中央处理器Atmega16主要用来检测12路的闭锁情况和驱动继电器开合负载侧电路^[2]。中央处理器Atmega64主要用来接收处理上位机的指令，判断是否具备检测条件，控制闭锁灯和检测灯的亮暗，采集处理检测数值并发送给上位机。两个中央处理器通过RXD/TXD实现实时通信。中央处理器Atmega64与上位机的通信采用RS 485技术^[3]实现，通信规约采用工业标准Modbus协议^[4-6]。系统各模块的连接关系如图1所示。

2 上位机—控制端

上位机采用工业控制机，操作平台采用

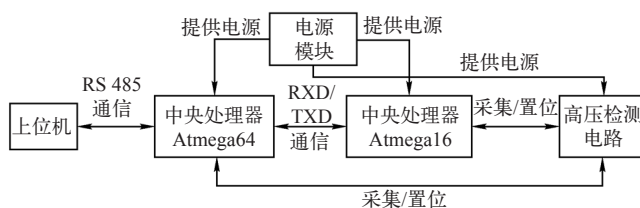


图1 系统各模块的连接关系图

Fig. 1 Connection diagram of system module

LabVIEW软件^[7-8]编写而成，包括输入区域、控制区域和输出显示区域。输入区域用来输入检测路名（ $m=0, 1, \dots, 12$ ）。控制区域有四个控制按钮，其中“检闭锁”按钮用来检测12路的闭锁状态；“检测”按钮用来控制开关分合，检测绝缘电阻；“停止”按钮用来断开所有开关以及高压检测电路；“查询”按钮用来查询历史数据。输出显示区域包括闭锁灯、检测灯以及显示检测得到的绝缘电阻值。开始工作时，启动工业控制机，按下“检闭锁”按钮，检测12路的闭锁状态，如有闭锁，则点亮相应路的闭锁灯。然后在输入区域输入检测路名，按下“确定输入”按钮，如果输入的是闭锁路名，则窗口会跳出以下内容：警告，第*路是闭锁状态，请重新输入；如果输入正确，则按下“检测”按钮，1 min后，显示区域会显示出检测到的绝缘电阻值。最后，按下“停止”按钮，则断开所有开关以及高压检测电路，为下一次的检测作好准备。整个平台操作的流程如图2所示。

3 电源模块

电源模块采用TNY280电源控制器组成的电路^[9]，实现将工频交流电压220 V整流成稳定直流电压12 V和5 V。整个电源模块连接图如图3所示，工频交流电源经整流滤波器DB107整流滤波得到直流电，电阻 R_{102} 连接EN端和直流电压上，用于欠电压的检测。储能电容 C_{121} 实现芯片动态的自供电功能。T200为反激式高频变压器，具有单输入双输出功能。 C_{126} 以及 VD_{102} 、 C_{120} 对输出的

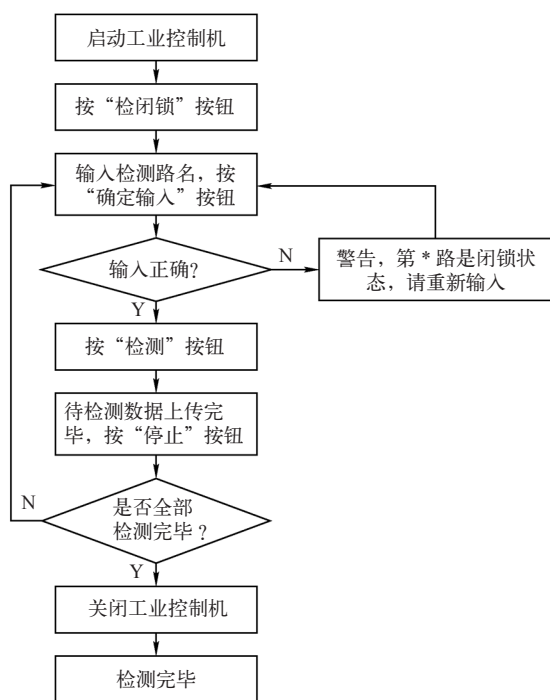


图2 上位机操作流程

Fig. 2 Operation flow chart of PC

电压进行高频整流。稳压管 D_{106} 、电阻 R_{106} 、 R_{107} 和线性光耦合照 U_{201} 构成反馈电路,通过反馈作用使输出电压保持稳定。电阻 R_{103} 、 R_{104} 、二极管 VD_{103} 以及瞬态抑制二极管 VD_{101} 构成漏极钳位电路,用来保护TNY280内部的MOSFET。工作时,TNY280电源控制器通过 C_{121} 储能充电实现自供电,当EN端的电流大于MOSFET启动阈值时,MOSFET开始斩波;通过T200实现快速电能变换,在二次侧建立起输出电压;当输出电压达到要求值时,反馈回路开始工作,通过丢掉多余的开关周期来保持电压的稳定。整个电源模块运行稳定,实现工频交流滤波整流成双直流的功能。

4 高压检测电路

高压检测电路包括降压稳压部分、全桥
逆变升压部分、倍压整流部分、电压反馈部

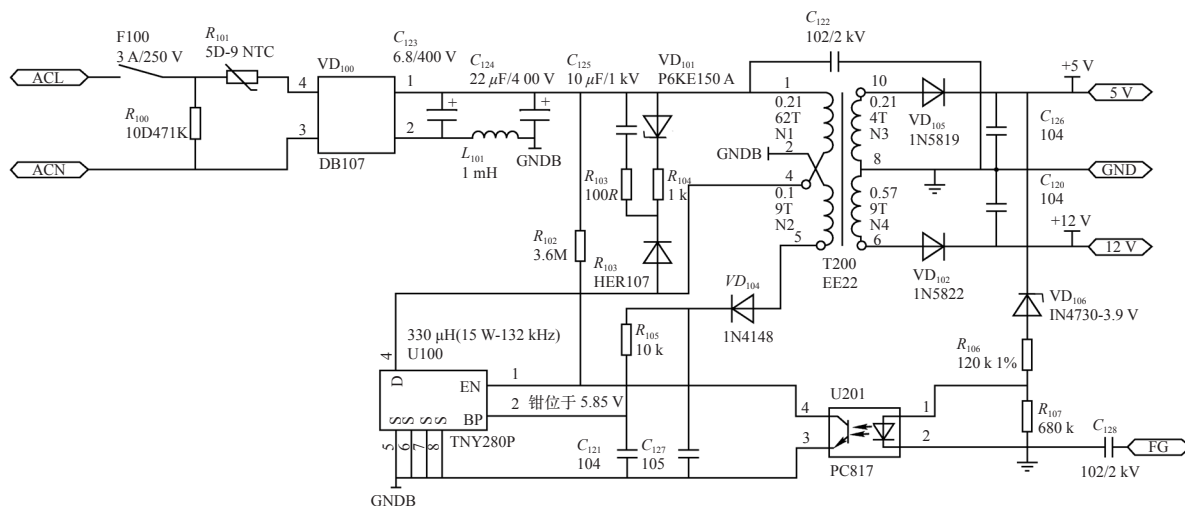


图3 整个电源模块的连接图

Fig. 3 Connection diagram of whole power supply module

分以及电压电流采集部分,其整个系统图如图4所示。工作时,电源模块输出的12 V直流电压经降压稳压器LM2576降压得到5 V,5 V直流电压经全桥逆变升压部分得出1 250 V交流电压,经倍压整流部分得到2 500 V的直流电压,最后将2 500 V电压加载在被测物上,

产生的电压值经电压电流采集部分输入到单片机中央处理器Atmega64进行处理，最后得到被测物电阻值。

电压反馈电路则是采用电阻分压法取得 5 V 电压, 通过二极管反馈到 LM2576 管脚 Fb。其中降压稳压器 LM2576 管脚 On/Off 具

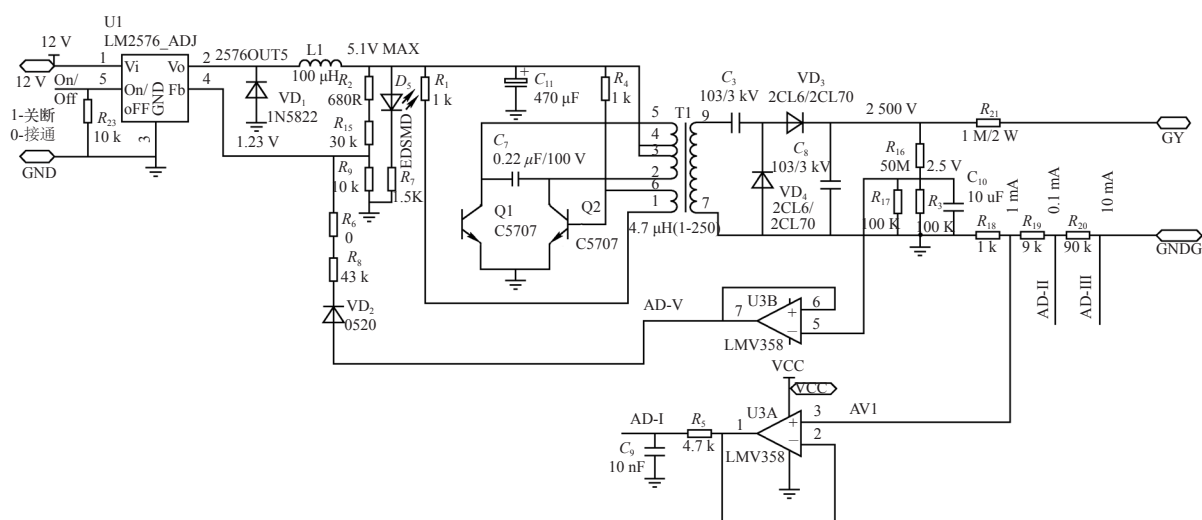


图4 高压检测电路连接图

Fig. 4 Connection diagram of high voltage detection circuit

有开断该芯片的功能，即置“1”时关断，置“0”时接通，因此可通过单片机控制该管脚的置数实现开断高压检测电路的功能。从图中可得到

$$AD-V = \frac{2\,500\,V}{50\,M\Omega + 100\,k} \times 100\,kV \approx 2.5\,V \quad (1)$$

$$AD-I = R_{18} \frac{U_m}{R_X + R_{18} + R_{19} + R_{20} + R_{21}} - \quad (2)$$

$$AD-II = (R_{18} + R_{19}) \frac{U_m}{R_X + R_{18} + R_{19} + R_{20} + R_{21}} \quad (3)$$

$$AD-III = (R_{18} + R_{19} + R_{20}) \frac{U_m}{R_X + R_{18} + R_{19} + R_{20} + R_{21}} \quad (4)$$

式中， $U_m = AD - V$ ，除了 R_X 未知外，其他均为已知，因此可以求得负载侧电路的绝缘阻值。AD-I、AD-II、AD-III三路电流经中央处理器算法选择最佳一路进行处理，从而求得所测负载侧的绝缘阻值。

5 中央处理器及附属电路

中央处理器及附属电路包括Atmega16及附属电路和Atmega64及附属电路。Atmega16是一种基于增强的AVR RISC结构的低功耗8位CMOS微控制器^[10]，速度最高可达16 MHz，能保证控制的实时性；具有一

个可编程的串行USART，能保证通信的可靠性；32个通用I/O口线，满足工作要求。中央处理器Atmega16及附属电路的连接图如图5所示。图5中，T00~T12一端连接到单片机Atmega16的I/O口，另一端连接到13路的负载侧，检测其闭锁状态。D0~D3是输出端，用来选择分合检测开关，连接到两个高速集成译码器74HC138。74HC138输出值与闭锁状态值经“与”门后，与大电流驱动阵列ULN2003相连，ULN2003输出值驱动继电器动作，从而实现分合需要检测的负载路。

Atmega64是一种高性能、低功耗的8位AVR微处理器^[11]，速度最高可达16 MHz，能保证控制的实时性；具有两个可编程^[12]的串行USART，能保证与上下游双向通信。8路10位准确度ADC（8路可选的单端输入通道、7路差分输入通道、2路差分输入通道带有可选的10x和200x的差分通道）保证有足够的通道且准确地采集数据；中央处理器Atmega64及附属电路的连接图如图6所示。图中串口USART0通过RS 485与上位机实现通信，串口USART1与Atmega16的USART直接相连实现通信。串口PF0~PF3与高压检测电路中的电压电流采集部分相连接，用来采集电压电流数据，为了确保采集

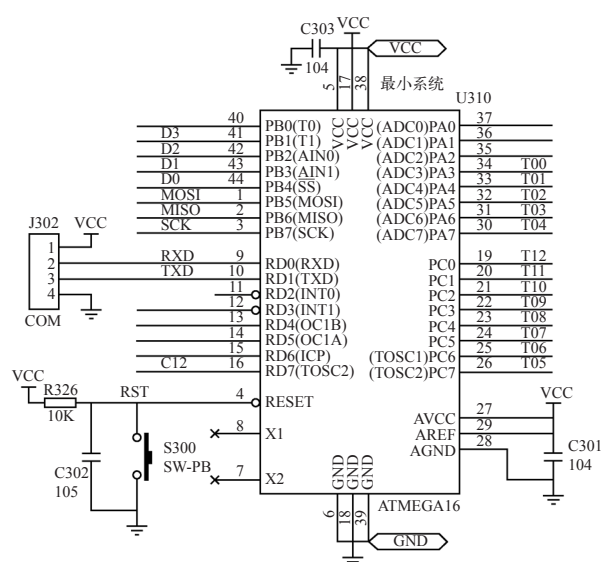


图5 中央处理器Atmega16及附属电路的连接图

Fig. 5 Connection diagram of CPU Atmega16 and attached circuit

数据的精确,采用跟随器、放大器和高准确度的采样电阻等手段提高数据的准确可靠性。T0~T12一端与闭锁灯相连接,上位机发“检闭锁”命令时,Atmega64通过串口USART0接收到命令并通过USART1下发给Atmega16,Atmega16通过USART接收到命令并执行而后将检测的闭锁状态发回给Atmega64,Atmega64接收到反馈信号点亮相应的闭锁灯并发送反馈信号给上位机。D0~D12一端与检测灯相连,当上位机发“检测”命令时,Atmega64接收到命令点亮相应的检测灯,开启高压检测电路并将命令转发给Atmega16,Atmega16接收到命令置数D0~D3,驱动相应的继电器动作,从而闭合相应的开关。过1 min后,Atmega64开启采集串口(PF0、PF1、PF2和PF3)对电压电流进行1 000次采集。采集到的数据先进行大小排序,去掉首尾各50个数,对余下的900个数求算术平均值,从而得到最终的电压电流值。而绝缘电阻值等于电压与电流的比值,Atmega64将该数据传送给上位机。上位机接收到该数据时,存储该数据;按上述方法,可测得相应负载侧的绝缘电阻。最

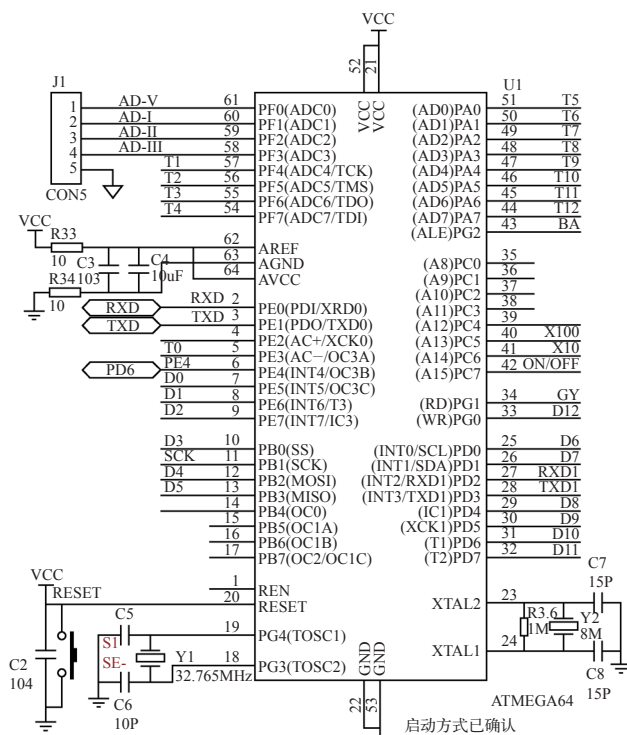


图6 中央处理器Atmega64及附属电路的连接图

Fig. 6 Connection diagram of CPU Atmega64 and attached circuit

后上位机发“停止”命令,则Atmega64置数串口PC7关闭高压检测电路并转发命令给Atmega16,Atmega16接收并执行命令将所有的继电器断开,从而断开所有的开关。

6 测试结果分析

通过软件Proteus仿真设计的系统,结果表明所设计系统运行稳定,满足设计要求。通过测量高阻值绝缘电阻的阻值,与数字绝缘电阻表VC60D+(2 500 V下测量)的测量结果进行对比,测试现场如图7所示,测量结果如下表所示。由于绝缘电阻的准确度为5%,误差较大,因此采用VC60D+的测量结果为实际值计算本装置的准确度。从表中可知本装置测得的电阻值与实际值误差在允许的范围(5%),满足测量的准确度要求。经过现场调试,结果表明本装置能满足现场需求。

7 结束语

本文详细介绍了组合开关负载侧多路绝

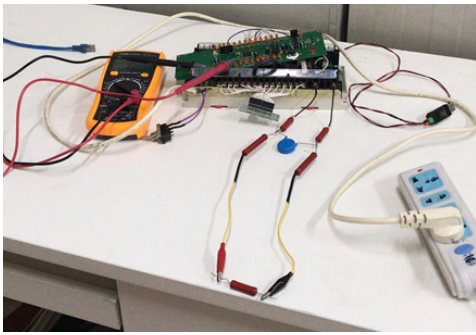


图7 现场测试示意图

Fig. 7 The field test schematic diagram

表 实验测量结果

Tab. Experimental measurement results

待测电阻/ Ω ($\pm 5\%$)	本装置测量值/ Ω (2 500 V下测量)	VC60D+测量值/ Ω (2 500 V下测量)	On
100 k	101.7	100.5	1.2
1 M	1.2	1.2	0
10 M	10.2	9.9	2.9
100 M	102.3	100.2	2.1
300 M	306.6	298.1	2.8
500 M	510.1	500.3	1.9
700 M	710.2	698.1	1.7
1 000 M	1 013.2	996.7	1.6
1 200 M	1 230.1	1 201.3	2.3
1 500 M	1 520.3	1 490.2	2.0
2 000 M	2 022.8	1 990.1	1.6

缘自动测量装置的工作原理以及各部分的结构,在性能上能够满足现场的工作需求:量程为100 k Ω ~2 000 M Ω ;误差在允许的范围(5%);能实现12路负载侧绝缘电阻的测量;测量结果实时显示,自动保存,方便历史查询使用。本装置实现远程控制,能够快速准确地检测组合开关负载侧多路绝缘电阻值,大大提高了现场的工作效率。

参考文献

- [1] 蔡正梓,李卫国,曹文彬,等.基于WiFi通信的绝缘子电阻检测机器人的研制[J].中国电力,2015,48(12):23-26.
- [2] 叶健,胡琪,解佳鹏,等.多通道绝缘电阻测试

- 仪的研制[J].声学及电子工程,2014(1):41-42.
- [3] 卢石磊.基于Modbus的RS-485总线通信体系的流量控制协议研究[D].兰州:兰州理工大学,2014.
- [4] 宋磊,彭道刚,赵斌斌,等.基于嵌入式STM32的Modbus RTU协议实现[J].仪表技术,2014(11):33-36.
- [5] 曾敏,王永华,余松森,等.MODBUS通讯协议在光伏发电能源管理控制器中的应用研究[J].电子测试,2017(8):48-50.
- [6] 秦天柱,张伟刚,瞿少成.基于Modbus协议的多路数据采集器[J].电子测量技术,2017(11):175-178.
- [7] 德湘轶.LabVIEW程序设计基础[M].北京:清华大学出版社,2012:54-99.
- [8] 李红刚,张素萍.基于单片机和LabVIEW的多路数据采集系统设计[J].国外电子测量技术,2014,33(4):62-67.
- [9] 廖珠胜,汤龙飞,许志红.低压配电系统小功率辅助电源设计[J].电器与能效管理技术,2013(3):22-25.
- [10] 张克彦,张禹瑄,赵昕,等.AVR单片机实用程序设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2012:101-112.
- [11] 张军,宋涛.AVR单片机C语言程序设计实例精粹[M].北京:电子工业出版社,2009.
- [12] 马潮.AVR单片机嵌入式系统原理与应用实践[M].北京:北京航空航天大学出版社,2011.

作者简介



蔡正梓

蔡正梓(1990-),男,硕士,工程师。主要从事电网调度、高电压试验技术、绝缘子检测等方面的研究工作。

(收稿日期:2019-01-04)EA