

基于 PLC 和工控机的冲击绝缘耐受试验控制系统

行 鹏¹, 朱宜东², 林国生³, 李 芳², 丁卫东²

(1. 西安西电电力系统有限公司, 西安 710077; 2. 西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室, 西安 710049;

3. 四川省自贡电业局, 自贡 643000)

摘要: 介绍了一种由 PLC、工控机、步进电机以及光纤通信系统组成的冲击绝缘耐受试验控制系统, 并详细说明了该系统的设计方案。该系统以 PLC 为核心控制单元, 实现了试验次数和试验电压值的任意设置; 采用光纤通信系统传输控制信号和电压监测值, 减弱了空间电磁场对控制信号的干扰; 同时采用 OPC 通信方式, 实现了工控机与 PLC 之间的数据传送。实践证明, 该系统结构简单、操作方便、可靠性高、测量精度高, 满足工程实际应用的需要。

关键词: PLC; 工控机; 步进电机; 光纤通信

中图分类号: TM835

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2012)01-0105-05

Control System of Impulse Insulation Withstand Test Based on PLC and IPC

XING Peng¹, ZHU Yi-dong², LIN Guo-sheng³, LI Fang², DING Wei-dong²

(1. Xi'an XD Power Systems Co., Ltd., Xi'an 710077, China; 2. State Key Laboratory of Electrical

Insulation and Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

3. Zigong Power Electric Bureau, Zigong 643000, China)

Abstract: One kind of control system of impulse voltage generator, composed of PLC, IPC, stepping motor and the optical fiber communication system, have been illustrated in detail. The system used PLC as the core control unit, realizing the random settings of the test times and test voltage value and used the optical fiber communication system to transmit control signal and voltage monitoring signals and weaken the interference of the electromagnetic field on the control signal. At the same time, the system used OPC communication mode between IPC and PLC to achieve data transmission. Practice has proven that the structure of control system is simple, convenient, high reliable and accurate, and can meet the needs of the engineering application.

Key words: PLC; IPC; stepping motor; optical fiber communication

0 引言

冲击电压发生器在高电压试验技术领域被广泛使用^[1]。它一般由充电电源、冲击发生器主体、测量系统和控制系统组成。现代高电压试验装置必须具有较高的自动化水平和数据采集能力^[2], 其控制系统通常必须使用工控机、PLC 等元件, 然而在冲击电压发生器工作时, 常伴随着高电压、大电流引起的电磁干扰, 对控制系统的可靠性提出了挑战。

在某型电抗器冲击绝缘耐受试验装置中, 为了提升装置的工作性能, 采用了工控机、PLC 构成控制

系统; 为了增强抗干扰能力, 在控制系统的各部分之间采用了光纤传输信号。笔者简要介绍了该装置的控制系統, 并讨论了其中的若干关键问题。

1 控制系统软、硬件设计

1.1 控制系统的总体结构

冲击绝缘耐受试验控制系统主体本身就是一个强电磁干扰源, 因此其控制系统的设计和硬件选择尤其重要^[3]。文中所设计的控制系统硬件结构见图 1, 主要由工控机、S7-200PLC、光纤通信单元、球隙调节单元、调压器控制单元等组成。

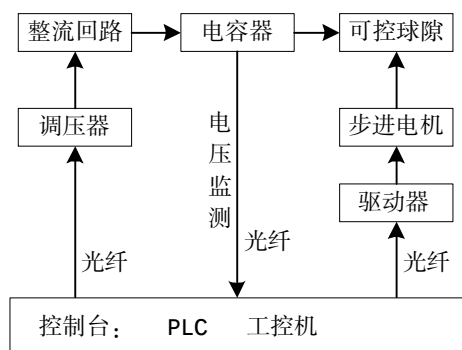


图 1 硬件系统结构图

Fig. 1 The structure of the hardware system

1.2 光纤通信单元

光纤在通信过程中传送光信号，不受电磁环境干扰。光纤通信设备两端没有电的联系，能保证输入输出端电气上的完全隔离^[4]，避免了高电压对监测和控制设备的损坏。而且在安装测试的过程中，不需要考虑接地和共地的问题。鉴于以上优点，该控制系统采用光纤传输控制信号和监测值。

利用光纤通信传输模拟量信号的系统结构图见图 2，主要由信号调理电路、V/F 转换电路、光发送器、光接收器、F/V 转换电路和滤波电路组成。

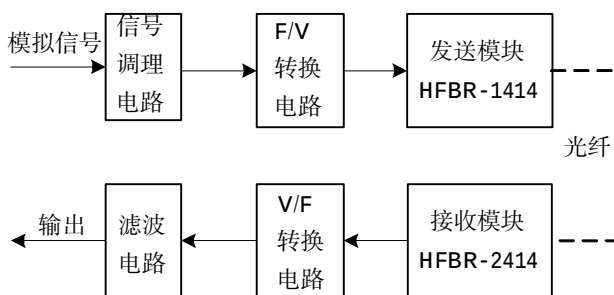


图 2 模拟量信号光纤通信系统结构框图

Fig. 2 The structure of the optical fiber communication system for analog signals

其工作原理是利用 V/F 转换电路把模拟量信号转换成与频率成正比的数字脉冲信号，然后经过光纤隔离后，由 F/V 转换电路把数字脉冲信号转换成模拟电压信号，经低通滤波器滤波后恢复为原来的模拟量信号，实现模拟信号的高精度传送。

通过现场试验实际测量，将所采集到的数据进行拟合处理，得到的拟合曲线见图 3，最大线性误差小于 0.2%，表明该测量系统具有很好的线性度和较高的测量精度^[5]，能够满足实际工程中的需要。

光纤传输数字量信号，只要控制光发送器 HFBR-1414 中发光二极管的开断和闭合，使用简单方便。利用光纤传输信息，结构简单、使用方便、保密性能好、抗干扰能力强，提高了控制系统的可靠性

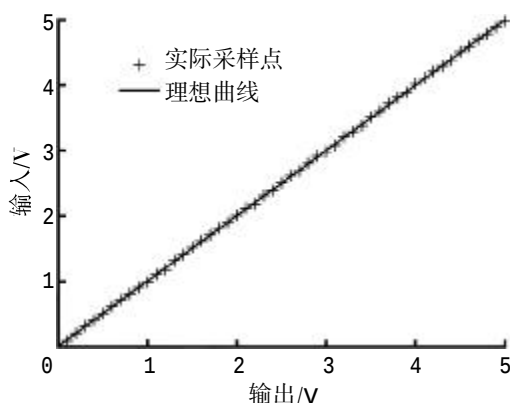


图 3 直流输出拟合曲线

Fig. 3 The fitting curve of DC outputs

和稳定性^[6]。

1.3 球隙调节单元

放电球隙是冲击电压发生器的一个重要组成部分^[7]。针对不同的冲击电压，要求球隙距离不同，因此要想得到不同电压下的实验数据，需要调节球隙之间的距离。控制系统能够根据冲击电压的设定值，自动调整球隙距离，实现对放电球隙之间距离的精确控制。

系统采用步进电机调节放电球隙之间的距离，球隙调节单元的结构见图 4，主要由 PLC、步进电机驱动器、步进电机、可调球隙等部分组成。

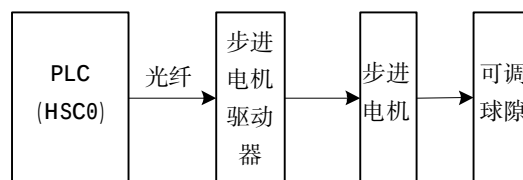


图 4 球隙调节单元结构框图

Fig. 4 The structure of sphere gap adjusting unit

具体的工作原理为：可调球隙固定在滚珠丝杠上，滚珠丝杠与步进电机固定在同一个轴心上。假定滚珠丝杠的螺距为 a ，步进电机转动一周需要 n 个脉冲。每当滚珠丝杠前进或后退一个螺距，可调球隙之间的距离就会增加或者减小 a ，步进电机转动一周。则当球隙距离为 d 时需要的脉冲个数 N 为
$$N = \frac{Nd}{a}$$
。

PLC 发出的高速脉冲通过 I0.0 口输入到高速计速器 HSC0 中，通过对 HSC0 中所得到的脉冲数与实际需要的脉冲数进行比较，判断球隙之间的距离。当 HSC0 接收的脉冲数大于预设值时，PLC 控制步进电机停止转动，以实现球隙距离的精确控制。

采用高速计数器不仅可以实现运动的精确控制^[8]，而且与 PLC 的扫描周期没有关系，误差能够控

制在 0.5% 以内, 因此采用此方法保证了高精度的球隙距离的调整。

1.4 软件设计

根据控制系统的硬件设计需求, 软件设计可分成以下 4 个模块^[8]: 球隙调节模块、调压器调节模块、触发模块和接地模块, 4 个模块之间相互配合, 保证整个冲击电压发生器的稳定可靠工作。控制系统的程序流程图见图 5。

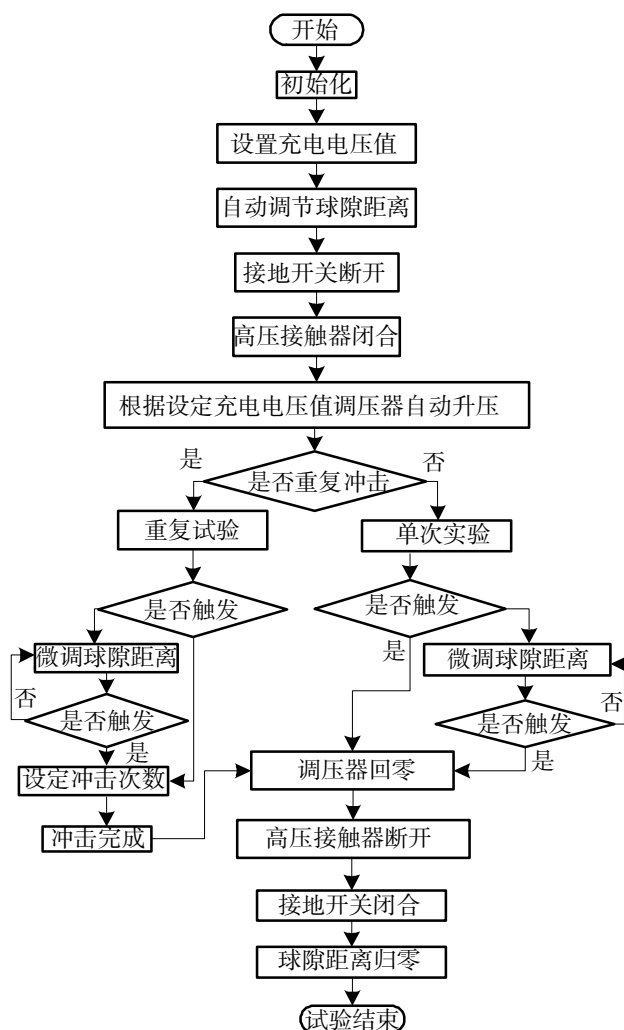


图 5 控制系统程序流程图

Fig. 5 The flowchart of the control system program

首先初始化文本显示器 TD400C、步进电机控制模块和各状态标志位^[9], 根据电压设定值, 自动调节球隙到适当的距离, 然后根据试验的需要, 设置试验模式, 即是否对试品进行重复冲击试验。根据选择的试验模式, 设定试验的次数。冲击试验完成后, 调压器自动回零, 高压接触器断开, 接地开关闭合, 整个试验完成。

在球隙距离调节和调压器调节中, 采用了闭环控制的方法, PLC 根据实际测量值, 自动调整球隙距离和调压器的电压值。采用闭环控制具有抑制干

扰的能力, 改善了系统的响应时间。由于球隙的击穿受大气条件变化响应, 因此设置了微调球隙距离, 可以满足由于大气条件的变化, 而导致球隙不能被击穿的问题。

上位机监控软件采用高级语言 Visual Basic 6.0 开发, 与下位机 S7-200 PLC 之间利用 OPC 方式进行通信, 实现对 PLC 数据的监测与控制。OPC 服务器选用西门子的 PC Access 软件, 该软件是专门用于 S7-200 PLC 的 OPC 服务器软件, 可以与任何标准的 OPC 客户端通信并提供数据信息。

本通信模块的具体开发过程如下:

1) 在 PC Access 软件中建立项目, 设置好通信方式, 将通信地址与数据类型导入;

2) 使用 PC/PPI 电缆连接工控机的串行 COM 口和 S7-200 PLC;

3) 在程序中引用 OPCDAAuto.DLL, 采用异步通信和订阅式通信两种数据访问方式实现和 OPC 服务器的通信。

采用 VB6.0 高级语言以 OPC 方式实现上位机与 PLC 的通信, 系统稳定可靠, 设计简单灵活, 设计成本低, 能够实现在各种控制系统中的广泛应用。

2 若干关键问题

2.1 一般性抗干扰措施

冲击电压发生器作为一个强电磁脉冲干扰源, 会对控制系统中的各种数字芯片、PLC、工控机和步进电机产生干扰, 主要表现为: 瞬间的高电压大电流所形成的强空间电磁场在 PLC 控制电路、光电光转换电路、步进电机控制回路中感应出超过正常工作电压的电压值; 球隙放电过程中抬高了地电位的电压; 瞬间放电引起的高频干扰信号叠加到电网电压上。这些干扰信号可能会经过地线进入 PLC 控制系统和工控机测量系统, 使测量精度降低, 造成控制回路“死机”, 甚至损坏控制设备^[10]。

为了降低或者消除这些干扰信号, 在实际的工程试验中, 采取了以下措施:

1) 把所有的电路板和弱电设备放置在金属屏蔽箱内, 减弱了由于间隙放电而引起的空间电磁场干扰;

2) 使用光纤传输控制信号和监测值, 消除了空间电磁场对控制信号的干扰;

3) 在供电电源处安装隔离变压器和低通滤波器等设备, 有效的防止干扰信号由供电电源串入。

2.2 电压电流波形测量中的抗干扰问题

采用工控机测量冲击电压电流波形时, 电磁干扰是影响测试结果的重要问题^[11]。为了使测量结果

尽可能的准确^[12],除了让分压器尽可能的靠近试品接地和在测量电缆末端增设衰减器等常规措施外,在测量回路中采用同轴电缆的平衡接法,能够消除由于地电位的升高而引起的电缆的共模干扰^[1]。电路原理图见图 6,两根电缆的长度和波阻抗必须相同,并且首末端同时匹配。

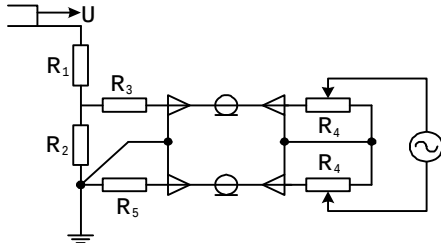


图 6 同轴电缆的平衡接法

Fig. 6 The equilibrium connection of coaxial-cable

通过以上措施,减弱了球隙瞬间放电引起的电磁干扰,消除了地电位的升高引起的共模干扰。

2.3 步进电机驱动器的保护

抗干扰能力低是步进电机在控制电路中的一个显著缺点^[13-16]。要保证步进电机稳定可靠工作,必须采取相应的措施保护步进电机及其驱动器。该控制系统在设计时采取了以下必要的保护措施:

1)安装隔离变压器和低通滤波器^[17],防止强脉冲干扰信号串入步进电机的供电电源,烧坏步进电机驱动器的供电模块;

2)遵守“一点接地”原则^[14],将步进电机的 PE 端、脉动信号的负端、方向信号负端、电源滤波器外壳、步进电机的外壳、以及步进电机和驱动器之间的电缆保护套一点接地并且接在屏蔽箱的外壳上;

3)在脉冲信号和方向信号的输入端增加瞬态电压抑制二极管(TVS)^[18-19],保护步进电机驱动器。过电压干扰信号可能进入驱动器控制信号的输入端,TVS 管可以抑制快速暂态过电压,吸收浪涌信号。

2.4 调压器控制系统的冗余保护

调压器作为冲击电压发生器装置主要的运动控制设备,一方面为了保证设备安全可靠稳定的工作,增加调压器的使用寿命;另一方面光纤比较容易被折断,导致调压器失控。因此对调压器采取了硬件冗余保护。

把调压器的上下限位信号送给 74LS138 译码器判断调压器是否到达上下限位,假如调压器到达上下限位,74LS138 发出信号控制电动机停止转动。这样就防止调压器因电动机失控而损坏。

3 结语

某型电抗器冲击绝缘耐受试验装置的控制系統由 PLC、工控机、步进电机、光纤通信模块等组成,实

现了球隙距离跟随放电电压自动调节和手动微小调节,试验过程自动化程度高。该系统经过大量的试验,没有出现控制信号被干扰的现象,能够满足试验的需求。

该控制系统实现了以下的控制功能:可任意设定充电电压和试验次数,可自动调节球隙距离;利用工控机和 PLC 之间的 OPC 通信方式,实现工控机和 PLC 之间的数据传送;利用监测值,很好地实现了反馈控制。

该控制系统具有硬件结构简单、可靠性高、可重复性好、操作方便和测量精度高等特点,满足工程实际应用的需要^[7]。

参考文献:

- [1] 张仁豫,陈昌渔,王昌长. 高电压实验技术[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
ZHANG Ren-yu, CHEN Chang-yu, WANG Chang-chang. High-voltage testing technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [2] 施 围,邱毓昌,张乔根. 高电压工程基础[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
SHI Wei, QIU Yu-chang, ZHANG Qiao-gen. High-voltage engineering foundation[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [3] 蔡国雄. 冲击电压发生器通用自动控制系统[J]. 电网技术,1990(2):49-53.
CAI Guo-xiong. The automatic control system of impulse voltage generator[J]. Power System Technology, 1990(2): 49-53.
- [4] 李建伟,刘晓宁,许留伟,等. 高精度高电压模拟量光纤隔离变换器的实现[J]. 自动化与仪器仪表,2002(6):42-44.
LI Jian-wei, LIU Xiao-ning, XU Liu-wei, et al. The design of high-precision high-voltage fiber-optic analog signal isolation converter[J]. Automation and Instrument, 2002(6):42-44.
- [5] 亢彦军,宋光德. 基于 V/F 转换的高精度模拟量信号光纤传输系统[J]. 传感器与微系统,2007,26(6):67-69.
KANG Yan-jun, SONG Guang-de. High precision analog-signal optical fiber transmission system based on V/F conversion[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2007,26(6): 67-69.
- [6] 周长庚,娄本超,马文君. 基于光纤传输的中子发生器控制系统[J]. 核电子学与探测技术,2003,23(6):510-512.
ZHOU Chang-geng, LOU Ben-chao, MA Wen-jun. The control system of neutron generator on optical fiber transmission[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2003, 23(6):510-512.
- [7] 胡志忠,朱旭东,陈文针. 冲击电压发生器计算机控制系统的研究[J]. 高压电器,1998,34(5):24-27.

- HU Zhi-zhong, ZHU Xu-dong, CHEN Wen-zhen. The research of computer control system for impulse voltage generator[J]. High Voltage Apparatus, 1998, 34(5):24-27.
- [8] 廖常初. S7-200PLC 编程及其应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.
- LIAO Chang-chu. S7-200 PLC programming and application[M]. Beijing: China Machine Press, 2008.
- [9] 西门子(中国)有限公司. S7-200 可编程控制器系统手册[K]. 2005.
- SIEMENS AG. SIMATIC S7-200 programmable controller system manual[K]. 2005
- [10] 陈景亮, 姚学玲, 刘东社, 等. 全自动冲击电流测量控制系统[J]. 电瓷避雷器, 2001(3):39-43.
- CHEN Jing-liang, YAO Xue-ling, LIU Dong-she, et al. Atuo impulse current measuring system [J]. Insulators and Surge Arresters, 2001(3):39-43.
- [11] 周凌辉, 王少荣. 强电磁干扰环境下测控系统的通信系统设计[J]. 高电压技术, 2004, 30(2):43-44.
- ZHOU Ling-hui, WANG Shao-rong. Communication system of measure-control system in heavy EMI surrounding [J]. High Voltage Technology, 2004, 30(2): 43-44.
- [12] 王学刚, 何汉生, 戚庆成, 等. 冲击电压数字测量系统的抗干扰措施[J]. 变压器, 1994(5):6-8.
- WANG Xue-gang, HE Han-sheng, QI Qing-cheng, et al. Anti-interference measures of digital measuring system for impulse voltage[J]. Transformer, 1994(5):6-8.
- [13] 陈秉岩, 周宛瑜, 朱昌平. 高压大电流步进电机驱动器异常保护措施研究[J]. 电力电子技术, 2007, 41(3):79-81.
- CHEN Bing-yan, ZHOU Wan-yu, ZHU Chang-ping. Research on abnormal protection of step motor driver with high voltage and large current [J]. Power Electronics, 2007, 41(3):79-81.
- [14] 周志敏, 徐 霞, 纪爱华. PLC 控制系统电磁兼容技术——工程设计与应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 2008.
- ZHOU Zhi-min, XU Xia, JI Ai-hua. electromagnetic compatibility technology of plc control system—engineering design and application [M]. Beijing: The Posts and Telecommunications Press, 2008.
- [15] 王 瑜, 时献江, 邵俊鹏. 基于 PLC 高速计数器的转速检测系统设计[J]. 机电工程, 2005, 22(1):33-35.
- WANG Yu, SHI Xian-jiang, SHAO Jun-peng. The design of measuring rotation speed system based on PLC[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2005, 22 (1): 33-35.
- [16] 刘 念, 谢 驰, 周 遣. 基于光纤传输的高电压设备温度测量研究[J]. 光杂杂志, 2003, 24(6):61-62.
- LIU Nian, XIE Chi, ZHOU Qian. Study of temperature testing for high voltage equipment based on fiber-optic transmission[J]. Laser Journal, 2003, 24(6):61-62.
- [17] 王新新, 马 蕾, 蔡新景, 等. 抗电磁干扰的高电压同步控制系统[J]. 高电压技术, 2010, 36(3):632-636.
- WANG Xin-xin, MA Lei, CAI Xing-jing, et al. High-voltage synchronization system with high niise-immunity[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(3):632-636.
- [18] 陈万堂, 陈红丽. 瞬态电压抑制器[J]. 传感器技术, 2001, 20(2):40-42.
- CHEN Wan-tang, CHEN Hong-li. Transient voltage suppressor[J]. Journal of Transducer Technology, 2001, 20 (2):40-42.
- [19] 赵朝阳, 胡永军, 史丽萍, 等. 基于 PLC 和 OPC 技术的信息集成的研究和应用[J]. 计算机网络与通信, 2007, 29 (2):22-23.
- ZHAO Chao-yang, HU Yong-jun, SHI Li-ping, et al. Study and application of information integration based on PLC and technology of OPC [J]. Computer Network & Communications. 2007, 29(2):22-23.
- 行 鹏(1977—), 男, 高级工程师, 现从事高压直流输电换流阀和大功率电力电子装置的技术和试验研究。

(上接第 104 页)

- ZHANG Yan-ling, LIU Gui-xiong, CAO Dong, et al. Basic operators of mathematical morphology and application in image preprocessing [J]. Science Technology and Engineering, 2007, 7(3):356-359.
- [19] 王新霞, 李国梁. 图像边缘检测分析与比较[J]. 软件导刊, 2009, 8(5):187-189.
- WANG Xin-xia, LI Guo-liang. Analysis and comparison of image edge detection [J]. Software Guide, 2009, 8(5):187-189.
- [20] 冉彦中, 曹靖华, 韦 军. 基于数学形态学的图像边缘检测方法及应用[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2007, 28(5):40-41.
- RAN Yan-zhong, CAO Jing-hua, WEI Jun. Study of mathematical morphology edge detection and its application[J]. Journal of Henan University of Science & Technology (Natural Science), 2007, 28(5):40-41.
- [21] 赵 研. 数学形态学及其在电力系统中的应用[J]. 黑龙江科技信息学报, 2009(31):13.
- ZHAO Yan. Mathematical morphology and application research in power systems [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2009(31):13.
- [22] 王小朋, 胡建林, 孙才新, 等. 应用图像边缘检测方法在线监测输电线路覆冰厚度研究[J]. 高压电器, 2009, 45 (6):69-73.
- WANG Xiao-peng, HU Jian-lin, SUN Cai-xin, et al. On-line monitoring of icing-thickness on transmission line with image edge detecting method[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(6):69-73.
- [23] 葛玉敏, 李宝树, 赵书涛, 等. 绝缘子图像中的特征目标提取[J]. 高压电器, 2009, 45(6):56-60.
- GE Yu-min, LI Bao-shu, ZHAO Shu-tao, et al. Methods to extract target in insulator-image[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(6):56-60.
- 葛玉敏(1978—), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为现代电磁测量技术, 计算机视觉。
- 李宝树(1955—), 男, 教授, 研究方向为现代电磁测量技术, 计算机视觉。
- 梁 爽(1977—), 男(满), 工程师, 从事变电检修管理工作。