

虚拟仪器在低压电弧故障断路器研制中的应用

任龙霞, 吴为麟

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:应用 LabVIEW 的虚拟仪器平台进行了故障电弧断路器(AFCI)的设计和研制, 主要包括数据采集装置和任意信号发生器两个部分。数据采集装置基于 USB9203 板卡, 具有高精度和高采样率; 任意信号发生器基于 USB9263 板卡, 发生的信号不受频率和周期性等因素的限制, 并能随时从正常工作状态切换至电弧故障状态, 更真实地模拟实际故障情况。利用该虚拟仪器平台采集电弧故障信号, 经相应的数据处理后由信号发生器发出, 并应用于 AFCI 装置的检测, 取得了良好的实验效果。

关键词: 虚拟仪器; 电弧故障断路器; 数据采集; 信号发生器

Application of LabVIEW in the development of arc fault circuit interrupters (AFCI)

REN Long-xia, WU Wei-lin

(School of Electric Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Virtual instruments based on LabVIEW have been applied in the development of arc fault circuit interrupters (AFCI). Data acquisition equipment and signal generator are both integrated in virtual instruments. Data acquisition, based on USB9203 which is an integrated circuit board, has high precision and high sampling rate. Signal generator, based on USB9263, can generate periodic signals with any frequency and irregular signals. Signals can be switched from normal condition to arc fault state momentarily, which can reflect the situation more realistically. The virtual instruments is used to acquire arc fault signals, then the signals are treated accordingly, and finally output by signal generator. The virtual instrument works very well when it is used to test AFCI in laboratory environment.

Key words: virtual instruments; AFCI; data acquisition; signal generator

中图分类号: TM561; TM930 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)05-0134-05

0 引言

随着电力事业的迅速发展, 与之相关的工业领域发展更加迅猛, 尤其是家用电器、电力电子产品的广泛使用, 大大提高了生活品质和工作质量。与此同时, 电气火灾事故发生的比例也呈增加的态势, 由此而引起的直接经济损失也相应地增加。我国电气火灾占总火灾比例从 90 年代的 16% 上升到近几年的 22% 以上, 从世界第三位跃居世界第一位^[1]。故障电弧是电气火灾中多发且最危险的隐患。低压线路发生短路、漏电、接触不良、过载等电气故障, 尤其是电弧故障时, 往往形成具有较大点火能量的起火源^[2], 随着电流的增大甚至能产生上万度的高温^[3], 远远超过常见可燃物的着火点从而引发火灾。电弧故障断路器是能监控和检测电弧故障发生并能立刻做出响应的装置, 从而降低安全隐患。

传统的断路器和保护装置, 原则上只能在短路

容量很小的电网中才能起到设备保护作用^[4]。电弧故障时的电流可能存在很高的尖峰, 但其有效值低于正常值, 为了防止短路、漏电等情况而设计的传统的断路器则无法满足要求, 不能起到全面的保护作用。20 世纪 90 年代, 国外的一些科学家已经就这个问题开始了大量的研究, 并于 1993 年研制出了第一个电弧故障短路装置 (AFCI) 样品^[5]。目前, 越来越多的人开始关注电弧故障问题。国外对于故障电弧的数学模型、特性等的研究已经比较深入, 用来判断电弧故障的方法也越来越多, 但是国内在这方面的研究仍欠缺。为了更好更精确地研究故障电弧的数学模型和特性等, 一个具有高采样率和高精度的数据采集设备的引入是非常重要的和关键的。

为了检测 AFCI 设备能否正常、快速、准确地运行, 国外已经制定了相应的行业标准和测试仪器, 比如美国联想工业公司研发推出的 Sure Test 电路分析仪。Sure Test 电路分析仪具有操作简单、测量

方便等优点,可以模拟电弧故障状态情况,但是通过对其发出的信号进行分析,发现其发出的信号单一,且该单一信号为电弧故障特征相当明显时的情况,并不能全面描述其他的电弧故障场景。然而,使用 LabVIEW 波形发生器,则可以建立一个完善的数据库,根据任何不同的应用需要(比如不同负载情况)产生具有电弧特征的各种波形。

为了更好地研究适用于国内用电环境下的电弧故障保护技术,本文首先参照美国 UL1699 标准^[6]搭建了实验平台,模拟低压电弧故障发生;其次,引入虚拟仪器^[7]进行电流数据的采集,并对采集到的波形数据进行分析,得到一些典型的电弧故障电流波形;最后,将典型的电弧故障电流波形通过虚拟仪器发生出来,用于检测 AFCI 装置。

1 虚拟仪器及其软件开发平台

虚拟仪器是仪器技术和现代计算机技术深层次结合的产物,是将实际的仪器虚拟化,通过软件编程在电脑上实现具体仪器的功能,并通过相应的板卡和电路系统相连接。虚拟仪器和传统的仪器相比,在智能化程度、可操作性、处理能力、性能价格比等方面都具有很大的优势。虚拟仪器通过友好的人机交互界面完成测试等,其核心技术是软件开发平台 LabVIEW,而板卡则是连接虚拟仪器和外界的桥梁。LabVIEW 具有与 NI (National Instruments) 公司硬件无缝连接的特点^[8]。图 1 所示为虚拟仪器工作原理。

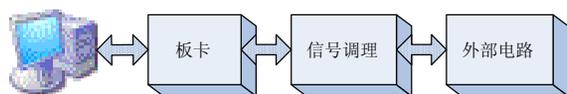


图 1 虚拟仪器工作原理

Fig. 1 Operating principle of virtual instruments

1.1 软件开发平台 LabVIEW

LabVIEW 是 NI 公司开发的虚拟仪器开发平台。LabVIEW 采用图形化编程语言(G 语言),使用各种图形、图标、连线等编程,分为前面板和程序面板两个部分。程序面板是工程师开发各种仪器的面板,而前面板则是用户操作的平台。工程师根据客户需要开发仪器,提供给用户一个简洁、美观、个性化的操作平台。用户不需要了解仪器的内部构造,只对前面板上的按钮、开关等进行操作,方便快捷。

1.2 板卡

板卡上有数据接口,通过数据线和电脑相连。在采集和发生波形时都需要在电路和虚拟仪器之间

传送数据,而板卡就是这个桥梁。比如在进行数据采集的时候,需要将采集到的模拟信号通过相应的板卡转换成数字信号,并将数据传送给虚拟仪器进行数据处理、存储等操作。

1.2.1 数据采集板卡

数据采集板卡是 NI 公司生产的 USB9203 模块。该模块有 8 个输入通道,并对每个通道进行过电压保护。一个 16 位的模数转换器对输入信号进行扫描、缓冲、调理和采样。该模块能达到的最大采样率为 200 kHz,单级输入电流为 0~20 mA,双级输入电流范围是 ± 20 mA,可以多通道采样。

1.2.2 数据发生板卡

数据发生板卡是 NI 公司生产的 USB9263 模块。该模块共有 4 个模拟输出通道,各通道共地。每个通道都有一个可产生电压信号的 16 位的数模转换器,输出电压量程 ± 10 V,电流驱动能力 ± 1 mA/通道。

虚拟仪器比传统的仪器有采样率高、精度高、速度快等优势。以前实验时用来进行数据采集的新型电能质量测量装置 PSII,不仅操作复杂,采样率低,且每次采集只能保存有限个数据。这对实验操作和数据采集之间的配合要求很高,给数据的采集造成了很大的麻烦。而虚拟仪器将采集到的数据存储到电脑硬盘上,可以存储任意长时间的数据,采集到的数据样本和实际吻合度更高,给研究提供了更好的数据样本。

2 LabVIEW 在电力系统保护与控制中的应用

随着 LabVIEW 功能的日渐强大,虚拟仪器技术的应用越来越广泛。在电力系统领域,虚拟仪器在系统测量、控制和仿真等诸多方面有着广泛的应用^[9],如用于新型电能质量检测装置和继电器的研发和测试等^[10-11],以实现传统仪器不易实现的复杂结构,降低成本并缩短开发周期。文献[7]在 LabVIEW 的基础上,配合 NI 公司的板卡构建了一个完善的继电保护实验平台,该平台实现了继电保护测试设备与被测试对象的统一,具有良好的扩展性和较高的性价比。文献[12]设计和开发了一套以 DSP 和虚拟测量技术为核心的分布式电能质量实时监测装置。利用 LabVIEW 编程实现上层管理软件,包括管理功能、监控功能、数据分析和处理功能,以及数据库功能等,并且实现了对一个变电站所有母线暂态电压以及馈线的状态进行实时监测与分析。文献[13]以 LabVIEW 为软件开发平台开发了四边形特性阻抗继电器,经过实际测试表明其能够满足要求并且具有人机界面友好、操作简便、实时

性好、精度高、可扩展性强等优点。文献[14]探讨了用以软件为系统核心的 LabVIEW 开发平台来实现作为独立电站和应急电源应用的柴油发电机组的多机并联运行控制。

3 低压故障电弧数据采集和 AFCI 装置的检测

3.1 数据采集

本文实验平台的电路结构如图 2 所示，供电电压为市电 220 V，50 Hz。电弧发生器由固定电极和移动电极组成，参照美国 UL1699 标准^[6]制作。有尖锐末端的电极是铜棒，另外一个为石墨棒。电极相互接触时电路完全闭合，移动石墨棒调节空气间隙产生电弧。

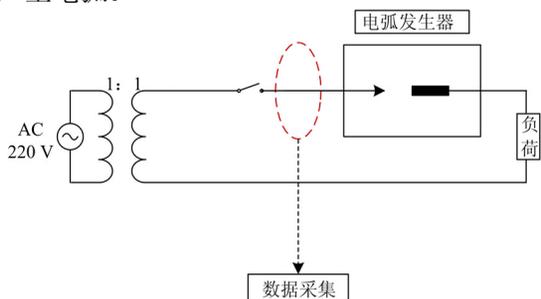


图 2 实验平台电路结构

Fig.2 Circuit construction of experiment platform

由于市电、工频条件下产生的电弧故障电流是安培级，而采集卡最大只能采集 20 mA 的电流，需要先进行信号调理，再进行数据采集并进行数据还原处理和存储，具体流程如图 3。在实验过程中使用电流互感器作为信号调理设备。

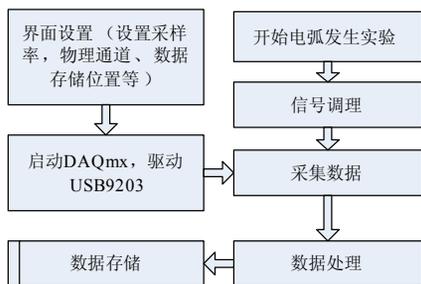


图 3 数据采集流程图

Fig.3 Flowchart of data acquisition

由于虚拟仪器使用方便快捷，并且数据存储大小没有限制，我们在采集数据时一般会同时采集正常波形和电弧波形数据，并将数据保存到 Excel 文件中。

3.2 AFCI 装置的检测

3.2.1 波形处理

采集到的数据存在很大的冗余，而波形发生的

主要目的是用于电弧故障断路器的检测，因此，需要对波形数据进行处理。在存储下来的大量的波形数据中，提取出电弧特征明显程度不同的数据并进行分类，设定电弧故障波形的长度，并将采集到的电流数据转换成满足 USB9263 技术要求的电压数据。同时，为了进行对比分析，正常工作时的电流数据也整理成和电弧故障电流波形相同的长度。

3.2.2 LabVIEW 波形发生和 AFCI 装置的检测

和数据采集一样，使用 DAQmx 发生波形。USB9263 模拟通道内阻小，仅 0.1 Ω，因此可作为理想的电压源。然而，USB9263 只能发出±10 V、1 mA 的电压波形，该信号功率小，容易受到外界干扰的影响，不能直接用于 AFCI 装置的检测。因此，需要设计一个功率放大电路对电压、电流以及功率进行调理和放大。整个流程如图 4 所示。AFCI 装置的技术指标有误差率、准确率和快速性等。为了检测研制出来的 AFCI 装置的误差率，需要大量的正常工作和电弧故障情况下的数据；为了检测其准确率，需要检测电弧故障突然发生时，AFCI 装置能否准确判断，能否在极短时间内做出反应。基于 LabVIEW 的波形发生装置除了可以发出正常和电弧故障情况下的波形以外，还可以模拟电弧故障。

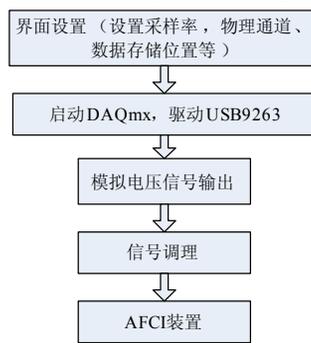


图 4 波形发生并用于 AFCI 装置的检测

Fig.4 Flowchart of signal generation and testing

传统的实验方法在电弧故障电流数据分析之前进行电弧发生实验，采集数据并进行分析，在 AFCI 装置研制完成之后也必须进行电弧发生实验，产生电弧作为检测信号检测装置的性能。然而利用电弧发生器发生电弧具有不确定性，操作复杂且具有安全隐患，因此，使用 LabVIEW 进行波形发生具有很大的优点。一方面，使用已有的数据取代了大量的电弧发生实验大大减少了工作量，并提高了安全性；另一方面，将整个实验过程分成电弧发生和 AFCI 装置的检测两个部分。

4 案例分析

4.1 数据采集

图 5 是 LabVIEW 数据采集的前面板,即用户操作面板,分为物理通道设置、采样设置和数据存储设置三个部分。物理通道设置用于设置采集卡通道和采集卡的范围。采样率和采样方式的设置要满足采样的要求,由于采集卡支持多通道同时采样,设置采样率时需要考虑同时采样的通道数以及每通道的采样率两个因素。该程序将数据存储至 Excel 文件中,数据按列存储,有效数字可以根据需要设定,添加至文件将采集到的数据写入指定文件已有的数据之后。



图 5 LabVIEW 数据采集面板

Fig.5 LabVIEW panel of data acquisition

电弧故障电流在采样率较高时有明显的高频效应^[15],因此,在进行数据采集时一般取 20 kHz 或者更高的采样率。单位时间内需要存储的数据量很大,直接存储采集到的数据可能出现数据缺失,采样率越高数据缺失的可能性越大。在程序中引入了生产者/消费者循环完美地解决了这一问题,即将采集到的数据放入一个队列之中,再从队列中依次取出数据并存储。

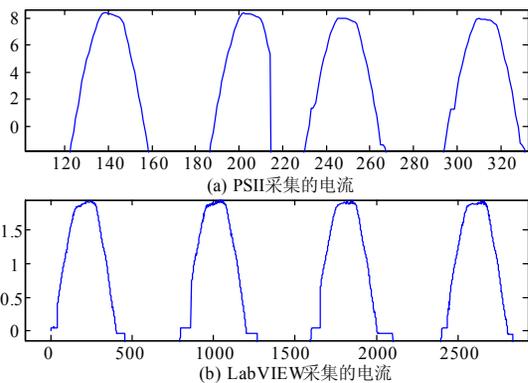


图 6 数据比较

Fig.6 Data comparison

用 LabVIEW 进行数据采集和 PSII 进行数据采集得到的数据有明显的差别,见图 6。LabVIEW 进行数据采集最大的优点是采样率高,采集的数据能更真实地体现实际情况,在图中体现为,电弧故障发生时,电流波形顶峰处有明显的毛疵。PSII 采样率低,采集的数据进行小波变换基本没有高频特性,而 LabVIEW 采集的数据高频特性非常明显。

4.2 基于 LabVIEW 的波形发生

图 7 为波形发生器的前面板,该波形发生器能产生基本波形,包括正弦、方波、三角波、锯齿波,以及存储为 Excel 格式的任意数据波形。发生波形需要进行输出波形模块参数设置和选项卡设置,前者需要根据模拟输出板卡的情况设置,其中采样模式有两种:连续采样,可以连续输出波形和有限点采样,输出有限个数据。产生什么波形、要发出哪组波形数据以及采集该组数据的采样率等的设置均在选项卡中。面板右边的波形图显示的是实际写入 USB9263 板卡的波形,示波器可以验证该波形和板卡输出的波形完全一致。对理论上需要发出的波形和写入板卡的波形进行比较(见图 7 和图 8),可以看出该波形发生器能完全不失真发生波形。

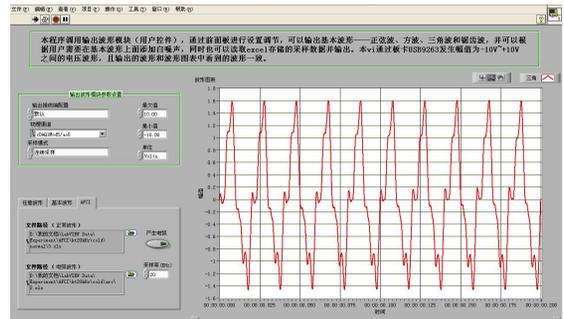


图 7 波形发生器及发出的波形

Fig.7 Signal generator and its output

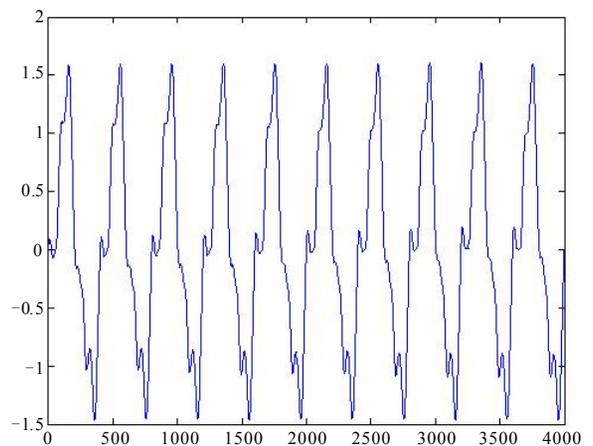


图 8 期望的波形输出

Fig.8 Waveform output of expectation

5 结论

本文将 LabVIEW 引入到低压电弧故障断路器的研制过程中,给实验过程带来了很大程度的改进。将 LabVIEW 作为数据采集设备时,和传统实验采集设备相比,具有更大的数据存储能力、更简便的操作,更友好的人机交互界面,尤其是采样率和精度都很高,对于后期的数据分析提供了更多的信息量。

将 LabVIEW 作为信号发生设备时,不仅具有传统信号发生器的特点,更有其独特之处。可以通过大量实验,将不同负载情况,同一负载不同时刻、不同功率运行情况、不同天气条件等情况下采集到的电弧故障数据整理成库,而该设备可以发生此库中所有波形。LabVIEW 波形发生装置可以全面地模拟各种情况下的电弧故障波形,可以更加全面地检测 AFCI 装置运行的可靠性和准确性。

本文对虚拟仪器在整个 AFCI 装置研发过程中的应用进行了简单介绍,可以看出虚拟仪器的引入对实验研究带来了很大的好处。不管是在数据采集和信号发生方面都减轻了工作量,提高了工作效率。但是由于实验条件的限制,只采集了电阻负载和空调制热、制冷时的电弧故障电流,同时电弧发生装置发生电弧具有随机性,采集到的数据并不全面,只能模拟几种情况下的波形。为了更好更全面地记录电弧故障状态,接下来应该做更多的实验,完善电弧故障波形库。

参考文献

[1] 符平发. 中外电气火灾十年数据分析及防控体系[J]. 电气技术, 2008, 3: 8-11.
FU Ping-fa. Data analysis of decade of Chinese and foreign electrical fire and protection[J]. Electrical Engineering, 2008, 3: 8-11.

[2] 张学楷. 低压线路常见电气火灾原因分析认定及预防措施研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.

[3] Crnko T, Dyrnes S. Arcing fault hazards and safety suggestions for design and maintenance[J]. Industry Applications Magazine, IEEE, 2001, 7 (3): 23-32.

[4] 赵淑敏. AFCI (故障电弧断路器) 的研制[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.

[5] 丁瑞金. 住户电气火灾和电弧故障断路器装置[J]. 消防技术与产品信息, 2002, 9: 60-62.
DING Rui-jin. Circuit break unit for residential electricity fire & electric arc breakdown[J]. Fire Technique and Products Information, 2002, 9: 60-62.

[6] Underwriter Laboratories Inc. UL standard for safety for arc-fault circuit-interrupters[S]. Second edition, UL

1699, 2006.

[7] 张晓春, 汪祥兵, 张华, 等. 基于LabVIEW的微机保护装置培训系统研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (17): 110-112.
ZHANG Xiao-chun, WANG Xiang-bing, ZHANG Hua, et al. Study on microcomputer-based protection training system based on LabVIEW[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (17): 110-112.

[8] 杨乐平, 等. LabVIEW高级程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

[9] 艾欣, 杨以涵, 周孝信. 虚拟仪器技术及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (15): 54-59.
AI Xin, YANG Yi-han, ZHOU Xiao-xin. Virtual instruments technology and its application to power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (15): 54-59.

[10] 刘海昌, 刘豪, 王皎侠, 等. 电能质量远程监测系统的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(13): 109-111.
LIU Hai-chang, LIU Hao, WANG Jiao-xia, et al. Design and implementing of remote power quality monitoring system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(13): 109-111.

[11] 王明渝, 周延静, 赵俊晖, 等. 网络化的电能质量综合监测系统的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 87-91.
WANG Ming-yu, ZHOU Yan-jing, ZHAO Jun-hui, et al. Research of the networked integrated monitoring system for power quality[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(1): 87-91.

[12] 邹正华, 刘永强, 王强. 基于DSP和LabVIEW的分布式电能质量检测装置设计[J]. 电力自动化设备, 2010, 30 (1): 122-126.
ZOU Zheng-hua, LIU Yong-qiang, WANG Qiang. Power quality monitoring instrument based on DSP and LabVIEW[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30 (1): 122-126.

[13] 荣雅君, 刘琳, 贾艳, 等. 基于LabVIEW的四边形阻抗继电器的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (17): 79-81.
RONG Ya-jun, LIU Lin, JIA Yan, et al. Design of impedance relay of quadrangle characteristic based on LabVIEW[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (17): 79-81.

[14] 庄宗辉, 薛毓强. LabVIEW在柴油发电机组并联运行控制系统中的应用[J]. 工业控制计算机, 2006, 19(5): 35-36.

(下转第 143 页 continued on page 143)

- transformer remote monitoring system based on GSM [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(1): 83-86.
- [7] 傅正财, 吴斌, 黄宪东, 等. 基于 GSM 网络的输电线路故障在线监测系统[J]. 高电压技术, 2007, 33 (5): 69-72.
FU Zheng-cai, WU Bin, HUANG Xian-dong, et al. Online monitoring system based on GSM network for transmission line fault[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33 (5): 69-72.
- [8] 陈启美, 王刚, 丁传锁, 等. USB 技术概况[J]. 电力自动化设备, 2001, 21 (2): 55-59.
CHEN Qi-mei, WANG Gang, DING Chuan-suo, et al. An introduction to USB technology[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21 (2): 55-59.
- [9] 刘和平, 邓力, 江渝, 等. 数字信号处理器原理、结构及应用基础—TMS320F28X [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
LI He-ping, DENG Li, JIANG Yu, et al. Digital signal processor principles, structure and application of foundation-TMS320F28X[M]. Beijing: China Machine Press, 2007.
- [10] 潘天红, 盛占石. 基于 GSM 短信技术的电网电压监测仪研制[J]. 电力自动化设备, 2005, 25 (7): 48-52.
PAN Tian-hong, SHENG Zhan-shi. Design of power network voltage monitoring instrument based on SMS technique of GSM[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25 (7): 48-52.
- [11] 邱小红, 权先璋, 林寿英, 等. 继电保护测试仪数据采集系统中的 USB 通信设计[J]. 电网技术, 2004, 28 (12): 53-56.
QIU Xiao-hong, QUAN Xian-zhang, LIN Shou-ying, et al. Design of USB communication in data acquisition system of protective relaying testing instrument[J]. Power System Technology, 2004, 28 (12): 53-56.
- [12] 陈启美, 吴永辉, 丁传锁, 等. USB 主机—硬件及软件[J]. 电力自动化设备, 2001, 21 (6): 55-58.
CHEN Qi-mei, WU Yong-hui, DING Chuan-suo, et al. USB host—hardware and software[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21 (6): 55-58.
- [13] 冷华, 李欣然, 李志军, 等. 基于 TMS320VC5509 DSP 片内 USB 接口的数据通信[J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (7): 87-89.
LENG Hua, LI Xin-ran, LI Zhi-jun, et al. Data communication based on USB interface of TMS320VC5509 DSP[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27 (7): 87-89.
- [14] 周立平, 李劼, 张文根, 等. PC 机通过 USB 口与工业控制系统的通信实现[J]. 电力自动化设备, 2005, 25 (9): 69-72.
ZHOU Li-ping, LI Jie, ZHANG Wen-gen, et al. Communication through USB between PC and industrial control system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25 (9): 69-72.
- [15] 梁鸿翔, 王润田. 基于 USB2.0 的同步高速数据采集器的设计[J]. 电子技术应用, 2004, (8): 13-15.
LIANG Hong-xiang, WANG Run-tian. Designing a synchronous high-speed data collector based on USB2.0[J]. Application of Electronic Technique, 2004, (8): 13-15.
- [16] 廖忠. USB 在远程数据采集中的应用[J]. 计算机与现代化, 2002 (1): 4-6.
LIAO Zhong. The application of USB in remote data acquisition system[J]. Computer and Modernization, 2002 (1): 4-6.
- [17] 张海峰, 苏涛, 张登福. USB 在数据采集中的应用[J]. 电力自动化设备, 2004, 24 (3): 63-65.
ZHANG Hai-feng, SU Tao, ZHANG Deng-fu. Application of USB in data collection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24 (3): 63-65.

收稿日期: 2010-03-26

作者简介:

刘建军 (1967-), 男, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为电力系统监控与调度自动化; E-mail: liujiajun88@163.com

刘 博 (1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统的测量与控制。

(上接第 138 页 continued from page 138)

- ZHUANG Zong-hui, XUE Yu-qiang. Application of LabVIEW in the system of diesel generator engines paralleled running control[J]. Industrial Control Computer, 2006, 19 (5): 35-36.
- [15] Spyker R, Schweickart D L, Horwath J C, et al. An evaluation of diagnostic techniques relevant to arcing fault current interrupters for direct current power systems in future aircraft[C]. //Electrical Insulation Conference

and Electrical Manufacturing Expo. 2005: 146-150.

收稿日期: 2010-03-19; 修回日期: 2010-04-14

作者简介:

任龙霞 (1986-), 女, 硕士研究生, 从事分布式能源和智能配电网研究; E-mail: rlxzju@hotmail.com

吴为麟 (1944-), 男, 教授, 博士生导师, 从事新能源、电力电子技术在电力系统中的应用研究。