

一种组网式工业数据采集分析系统

王明玥, 曲晓伟, 刘同磊, 张青, 于志强

(天津电气科学研究院有限公司, 天津 300180)

摘要:提出一种包括上位机软件和采集设备的组网式工业数据采集分析系统。采集设备采用FPGA作为主控芯片,兼具主从站功能。组网运行时无需特殊主站设备,用户通过地址选择器即可选择采集设备的主从属性。通过上位机软件多线程技术和FPGA高速光纤通讯技术,系统能够实现大量数据的接收、存储、解析以及显示。所提系统操作灵活简单,数据采集具备实时性高、准确率高、抗干扰能力强以及参数灵活配置等特点,在工业现场取得了较好的应用效果。

关键词:数据采集;工业数据采集分析系统;过程数据采集(PDA)

中图分类号:TP23 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd21999

A Networked Industrial Data Acquisition and Analysis System

WANG Mingyue, QU Xiaowei, LIU Tonglei, ZHANG Qing, YU Zhiqiang

(Tianjin Research Institute of Electric Science Co., Ltd., Tianjin 300180, China)

Abstract: A networked industrial data acquisition and analysis system was proposed, including host computer software and data acquisition equipment. FPGA was adopted as the master chip of the data acquisition equipment, which has the functions of both master and slave. No other special master equipment was required during the operation, and users could select the master or slave attribute of the equipment by the address selector. The system could implement the reception, storage, analysis and display of large amounts of data, by the software multi-threading technology and the FPGA high-speed optical fiber communication technology. The proposed system is flexible and simple to operate, and the data has the characteristics of high real-time performance, high accuracy, strong anti-interference ability, and flexible parameter configuration. Good application results have been achieved at industrial sites by the proposed system.

Key words: data acquisition; industrial data acquisition and analysis system; process data acquisition(PDA)

在工业领域,用户需要掌握现场工业设备的运行状况,以便进行状态监测、故障分析、预测优化等。数据采集是工业系统检测、管理和控制过程中取得原始数据的主要手段。数据采集分析系统能够将现场采集的温度、压力、风速、流量、水位、频率等非电信号转换成电信号,再传输到上位机进行存储、处理、分析和显示^[1]。

现在常见的数据采集设备大部分需要配合外设组件互连(peripheral component interconnect, PCI)接口卡或外设组件互连专用(peripheral component interconnect express, PCIE)接口卡^[2-3],与笔记本、台式机连接不方便。主控架构基本上采用“微控制单元(microcontroller unit, MCU)+ 现场

可编程门阵列(field-programmable gate array, FPGA)”的模式^[4-5],受到片上存储空间限制,当采集通道较多时数据采集周期往往较大,当监测多路信号时会导致某些高频信号无法监测;且多台设备并行时,不能保证数据采集时间点的同步且精准。

工业设备的现场应用环境通常十分恶劣,采样信号容易受到干扰,且各设备之间通常存在一定距离。目前,缺乏一种组网式数据采集分析系统,它能够采集并处理大量数据,且数据具有较高的实时性、同步性;系统设备能够方便快捷地与笔记本或台式机相连,支持设备间长距离运行,且具备较强的抗干扰能力。

基金项目:天津电气科学研究院有限公司科研开发创新基金项目(YF2017ZL003)

作者简介:王明玥(1988—),女,硕士研究生,工程师,Email:mingyue12092091@163.com

1 数据采集分析系统结构

组网式工业数据采集分析系统包括上位机软件和采集设备^[6]。上位机软件实现系统的参数设置、网卡设置,以及采集数据的接收、存储、解析及显示等功能,采集设备实现数据采集、高速光纤通讯、数据处理和传输等功能。

图1所示为一种组网式工业数据采集分析系统的结构图。数据采集设备包括多路隔离模拟量采集、多路隔离数字量采集、地址选择、高速光纤通讯、以太网通讯等电路结构,主控芯片采用FPGA。各设备之间通过高速光纤通讯级联组网,组网主站与上位机通过以太网相连。

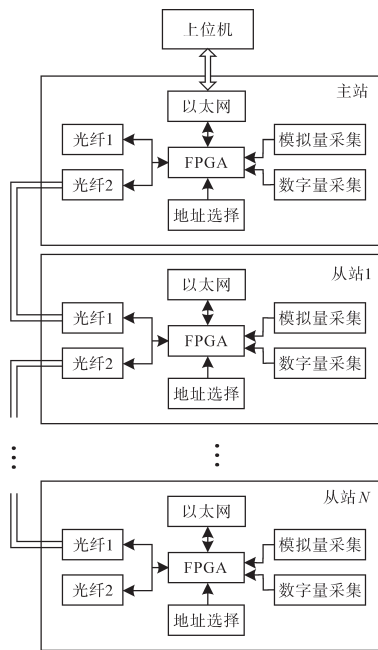


图1 一种组网式工业数据采集分析系统的结构图
Fig.1 Structure diagram of the networking industrial data acquisition and analysis system

组网式数据采集分析系统既可以单台运行,也可以组网运行。如果只有一台设备运行,那么该设备即为主站;如果多台设备进行组网运行,那么系统中有且仅有一个主站。

本系统无需特殊主站设备,采集设备兼容主从站功能。用户通过地址选择器对设备的主从属性进行选择,指定组网系统的主站设备。主站同时具备主站数据采集、从站数据汇总的功能。

本系统设备体积小,采样数据实时性高、准确度高、精度高,支持设备间长距离运行,抗干扰能力强。通过上位机软件多线程技术和FPGA高速光纤通讯技术,能够实现大量数据的接收、存

储、解析以及显示。数据采集周期可调,且不受通道总数限制。

2 上位机软件设计

上位机软件采用微软基础类库(microsoft foundation classes, MFC)开发^[7],实现系统的参数设置、网卡设置,以及采集数据的接收、存储、解析及显示等功能。上位机软件可以安装在任意带有网卡和网口的电脑设备上,该电脑作为数据采集分析系统的上位机,通过普通网线与数据采集设备连接。

上位机软件启动后,用户可以根据工业现场需求设置参数,包括:配置网卡、设置组网站点数目、激活或屏蔽站点及通道、设置采样周期、选择采样公式等。由于数据采集分析系统的重点是处理大量数据,因此上位机软件的设计重点在数据处理部分。

数据处理采用多线程技术^[8],实现大量数据的接收、存储、解析以及显示等功能,可以支持用户对数据的在线监测和离线分析。多线程包括:数据采集与存储线程、数据解析线程、数据显示线程。其中,数据采集与存储线程为主线程;数据显示线程、数据解析线程属于工作线程,无窗口操作,以避免数据采集与存储线程发生堵塞。图2所示为上位机软件数据处理的多线程结构图。

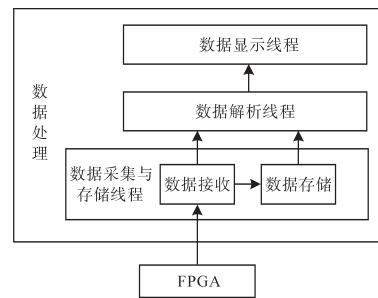


图2 上位机软件数据处理的多线程结构图
Fig.2 Multi-threading structure diagram of data processing of host computer software

数据处理部分的实现具体方法为:

1)数据采集与存储线程。内部又分为数据接收功能、数据存储功能。其中,数据接收功能为:上位机软件接收到数据后,将接收数据存到接收缓存区域内,并根据数据包长度进行处理。当接收数据有效时,将接收缓存中的数据复制到线程间缓存,并开启解析线程。数据存储功能为:上位机软件首先将接收到的原始数据处理成

为网络协议包形式的数据,并根据用户设置的采样周期将数据存储到临时数组;当上述临时数组达到指定长度后,数据存储功能进行一次写存储文件操作。

2)数据解析线程。当用户读取在线数据时,上位机软件直接从内存区域取数;当用户读取离线数据时,上位机软件从存储文件中取数,且读取数据后按照网络协议对数据进行解析。

3)数据显示线程。当用户打开视图,则开启数据显示线程。利用双缓冲技术,将解析后的数据利用双缓冲技术绘制波形图,动态显示数据变化情况。

3 FPGA 功能设计

FPGA 功能结构图如图3所示。地址选择为外置硬件器件,可选择如拨码开关等器件实现地址选择。主控芯片FPGA 主要实现时序控制、数据采集、高速光纤通讯、数据处理及以太网通讯等功能。

其中,时序控制主要控制数据采集、高速光纤通讯、以太网通讯的周期;数据采集实现多路模拟量芯片驱动及数据采集、多路数字量数据采集,并将数据传输给数据处理模块;高速光纤通讯实现主从站的数据传输,也将数据传输给数据处理模块;数据处理汇集数据后,实现通讯协议转换以及数据缓存等功能;经过处理后的数据,通过以太网通讯完成FPGA 与上位机的数据传输过程。

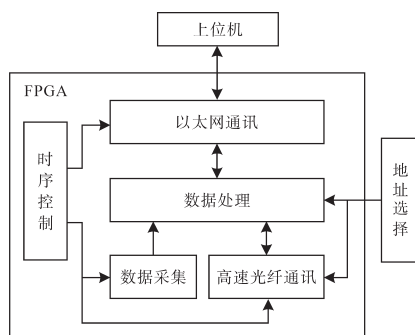


图3 FPGA 功能结构图

Fig.3 FPGA functional structure diagram

组网式工业数据采集分析系统中有且仅有一个主站。当地址选择器设置为“0”时,设备设置为主站;当地址选择器设置为非“0”时,设备设置为从站;从站应按照1,2,⋯,N的顺序进行设置,各设备根据地址选择器自动识别主、从站,并实现主从站功能。其中,主站FPGA 功能包括:时

序控制、数据采集、高速光纤通讯主站、数据处理及以太网通讯;从站FPGA 功能包括:数据采集和高速光纤通讯从站。

3.1 时序控制

FPGA 根据系统方案控制数据采集周期、高速光纤通讯周期和以太网通讯周期。

3.2 数据采集

数据采集包括多路模拟量采集和多路数字量采集,采集后的数据经过滤波,得到优化信号数据。

3.2.1 模拟量采集

实现多通道同步隔离模拟量采集。上位机软件设定模拟量数据采集的相关参数,并传输给FPGA。FPGA 根据设定参数进行芯片配置及数据采集。其中,芯片配置可以根据用户配置实现不同范围和精度的数据采集。设备支持两种采集设置:输入范围为-10~10 V,精度2 mV;输入范围为0~10 V,精度1 mV。

3.2.2 数字量采集

实现多通道同步隔离数字量采集。设备能够采集多路0~24 V 数字量。

3.3 高速光纤通讯

高速光纤通讯采用具有设置灵活、速率快、准确度高等特点的自主协议进行通讯,通讯误码率小于 $10E-10$ 。光纤通讯能够支持设备间长距离运行,且具有较强的抗干扰能力。通讯分为主站功能和从站功能,状态可通过状态字和故障字进行监测。

高速光纤通讯具备精准时钟控制功能,所有站点的时钟偏差小于200 ns,保证所有站点采集数据时间点的统一。通过该功能,用户能够用上位机软件准确对比同一时刻的不同站点不同通道的采集数据。

系统组网的站点数目可根据实际需求自由设置,从站将采集数据发送给主站,实现数据采集分析系统的组网功能。FPGA 具有主从切换的功能,包括:主从功能切换和主从数据切换。主从功能切换是根据用户设置的硬件地址,执行对应功能,并选择正确的通讯端口;主从数据切换是从站数据通过高速光纤通讯传输给主站,而主站的采集数据直接写入FPGA 内部随机存储器(random access memory, RAM)。高速光纤通讯充分考虑主、从站功能融合以及数据和站点的对应关系。

除数据传输外,从站还具备自动路由功能。

从站根据通讯内容和地址选择器,判断自身是否是尾站。当不是尾站时,FPGA通过图1所示的光纤2将通讯帧传向后面的站点;当是尾站时,FP-GA从光纤1将通讯帧回传,同时光纤2不再工作。

3.4 数据处理

主站FPGA汇总所有站点数据后,将数据按照协议处理并存入RAM中。主站FPGA每个发送周期读取本周期内所有数据,并发送至上位机软件。各从站设备虽然都具备以太网通讯功能,但只有当设备被设置成主站时,FPGA才会通过以太网通讯电路向上位机软件传输数据。

3.4.1 数据协议转换

在主站FPGA汇总数据的过程中,需要实现由“按照时间采集”向“按照站点传输”的转换。FPGA采用“乒乓操作”传输与缓存,以减少逻辑资源的使用情况。

3.4.2 数据存储

由于数据采集和高速光纤通讯的速率很快,主站FPGA汇总很多采样时间点的数据后,才会向上位机软件发送一次数据。受以太网带宽和上位机读写数据速率的限制,本周数据没有传输完成时,下一周期的部分数据就会覆盖之前数据,造成数据错误。因此,FPGA内部采用两个RAM区域存储。

图4为FPGA读写内部RAM区域的逻辑切换图。写入和读取数据的RAM区域由FPGA内部控制,确保发送数据的正确性和完整性。

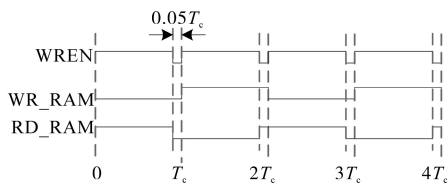


图4 FPGA读写内部RAM区域的逻辑切换图

Fig.4 Logic switching diagram of FPGA reading and writing internal RAM area

图4中, T_c 为FPGA与上位机通讯周期;WREN为主站FPGA写内部RAM的使能信号,配合高速光纤通讯周期,在 T_c 周期内95%时间有效,5%时间无效;WR_RAM为写RAM标志位,RD_RAM为读RAM标志位,二者根据WREN信号进行高低电平切换。当WR_RAM和RD_RAM为0或1时,FPGA分别写入或读取对应RAM区域的数据。

3.5 以太网通讯

主站FPGA汇总所有站点数据后,将数据按照协议处理并存入RAM中。主站FPGA每个发

送周期读取本周期内所有数据,并发送至上位机软件。各从站设备虽然都具备以太网通讯功能,但只有当设备被设置成主站时,FPGA才会通过以太网通讯电路向上位机软件传输数据。

4 系统应用效果

图5为系统显示示例图。上位机软件能够对采样数据进行合并或单独显示。其中,M代表设备,A代表模拟量,D代表数字量。图5中示例性地显示了设备1第8路模拟量、设备2第1路模拟量、设备5第2路模拟量以及设备4第8路数字量的采集和显示效果。

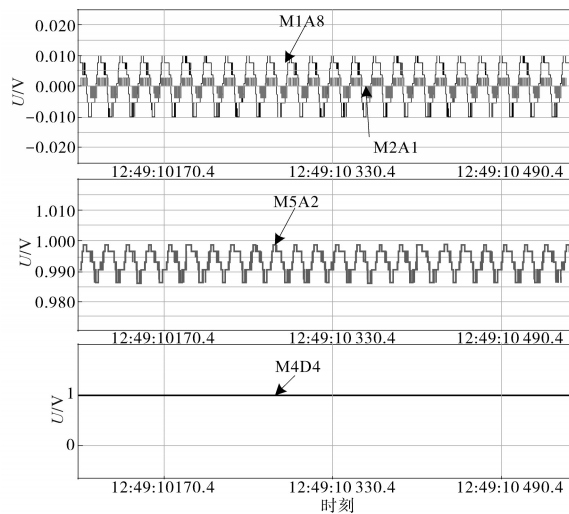


图5 组网式工业数据采集分析系统显示示例图

Fig.5 Display example of networking industrial data acquisition and analysis system

本系统已实际应用,可用于工业现场的变频器(如电压型逆变器、大功率中压变频等)系统,能够对运行过程中的数据进行采集和分析。本系统解决了工业现场数据采集受限制较多的问题,所采集的数据具备较高准确率、实时性和采样率,现场应用效果良好。

5 结论

本文提出了一种组网式数据采集分析系统,其优点及效果如下:

1)系统采用上位机软件多线程技术和FPGA高速光纤通讯技术,共同实现大量数据的接收、存储、解析以及显示。数据采集周期可调,且不受通道总数限制。

2)数据采集设备之间采用光纤连接的方式

(下转第74页)

[2] 骆妮,李建林. 储能技术在电力系统中的研究进展[J]. 电网与清洁能源, 2012, 28(2): 71-79.

[3] 徐明,李相俊,贾学翠,等. 规模化电池储能系统的无功功率控制策略研究[J]. 可再生能源, 2013, 22(7): 81-84.

[4] 丁明,陈忠,苏建徽,等. 可再生能源发电中的电池储能系统综述[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(1): 19-25.

[5] 李忠学,彭启立,陈杰. 超级电容器端电压动态特性的研究[J]. 电池, 2005, 35(2): 85-86.

[6] 郭文勇,赵彩宏,肖立业. 超导储能用电流调节器充放电数学模型及其控制系统[J]. 电工技术学报, 2007, 22(10): 117-122.

[7] 李妍,荆盼盼,王丽,等. 通用储能系统数学模型及其PSASP建模研究[J]. 电网技术, 2012, 36(1): 51-57.

[8] 吴晋波,文劲宇,孙海顺,等. 基于储能技术的交流互联电网稳定控制方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(6): 261-267.

[9] 李木一. 基于PSASP的电池储能系统建模与仿真[C]//2013年中国电机工程学会年会论文集, 2013.

[10] 任宏宇,康积涛,钱琳. 多机电力系统中储能装置的选址方

法对比分析[J]. 分布式能源, 2019, 4(2): 25-31.

[11] 吴峰,王鹏翔. 储能位置对多风电场电网平稳控制的影响研究[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(1): 88-94.

[12] 张靖,程时杰,文劲宇,等. 通过选择SVC安装地点提高静态电压稳定性的新方法[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(34): 7-11.

[13] 张崇巍,张兴. PWM整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社, 2003.

[14] 马智泉. SSG提高互联电网稳定性的仿真研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2008.

[15] 中国电力科学研究院. 电力系统分析综合程序(PSASP)用户手册[Z]. 北京:中国电力科学研究院, 2002.

[16] 孟绍良,吴军基,王虎. 电网脆弱性评价的灵敏度分析法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(5): 90-93.

收稿日期:2020-04-05

修改稿日期:2020-05-11

(上接第66页)

进行组网,传输实时性高、准确率高;各站点之间能够实现时钟同步,保证组网设备数据采样时间统一;系统支持设备间长距离运行,抗干扰能力强。

3)数据采集设备采用多通道同步隔离采集方式,支持多组模拟量、多组数字量的高精度、高采样率的数据采集,而且数据采集参数可灵活配置。

4)系统无需特殊主站设备,用户通过地址选择器即可选择采集设备的主从属性,操作灵活简单。

参考文献

[1] 李晓颖. 基于优化EtherCAT协议的多设备数据采集分析系统的FPGA设计与实现[D]. 天津:天津工业大学, 2019.

[2] 王友波,刘明业. PCI总线接口控制器的FPGA设计[J]. 北京

理工大学学报, 2004, 24(5): 423-426.

[3] 安震,张会新. 基于PCI总线与FPGA多通道信号采集传输系统的设计[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(3): 625-629.

[4] 高慧. 基于DSP的炉温数据采集控制系统的设计[J]. 电气传动, 2018, 48(12): 55-58, 62.

[5] 威尔江,彭道刚,关欣蕾,等. 智能配电自动化远方终端数据采集系统设计[J]. 电气传动, 2018, 48(7): 60-65.

[6] 郭永新,刘艳昉,曲晓伟,等. PDA数据采集分析系统研究与应用[J]. 电气传动, 2018, 48(2): 65-67.

[7] 侯俊杰. 深入浅出MFC[M]. 第2版. 武汉:华中科技大学出版社, 2001.

[8] 范宝德,刘惊雷. 基于VC的多线程编程技术及其实现[J]. 微型机与应用, 2002, 21(7): 10-12.

收稿日期:2020-06-02

修改稿日期:2020-06-29

题 名	作者	期 页	题 名	作者	期 页
基于复合控制的LLC谐振变换器轻载纹波优化	陈天锦,曹亚,曹智慧,等	8 34	一种适用于常开型功率器件的新型谐振门极驱动电路设计	张晋梅,田世野,申惠琪,等	16 10
基于准Z源有源功率解耦的改进调制策略	丁隆耀,肖先勇,李媛,等	8 40	一种耦合电感型准开关Boost变换器	房绪鹏,王晓丽,林强,等	16 16
LCL型并网逆变器的网压滤波前馈控制策略	黄伟,张代润,杜仕海,等	9 11	改善SiC MOSFET开关特性的有源驱动电路研究	卢乙,李先允,王书征,等	16 21
多电机双向直流变换器的电流应力优化策略	卢建华,郝凯敏,李飞,等	9 18	一种高效VIENNA整流器断续调制方法	李伦全,杨奕帆,李佳窃,等	16 27
基于阻抗在线观测的光伏逆变器控制策略研究	李春来,苑舜	9 24	SiC MOSFET栅源回路参数的串联扰动研究	张宇,李先允,王书征,等	16 33
数字锁相环的相位噪声分析	张占荣,王云飞,屈美霞,等	11 15	基于ELM与DWT的电能质量检测技术研究	凌万水,刘刚	17 18
基于参数跟踪的感应电机转速与磁链强跟踪滤波估计方法	张中磊,薄婷婷,孙传杰,等	11 20	开绕组电机伺服控制中开关电源的设计与应用	冯君璞,洪俊杰,江梓丹	17 23
一种LCC谐振变换器的参数设计方法	廖鸿飞,帅定新,龙涛元	11 27	直流配网DC/DC变压器设计与调试	李国胜,向保林	17 28
变结构有源钳位正激变换器	张绪,嵇保健,李俊	11 33	一种新型的混合MMC预充电策略	谭伦农,韩磊	17 34
基于DMWPWM的三电平NPC变频器改进效率优化调制策略	李君,李婉婷,施荣,等	12 3	一种基于自耦原理的农网低电压补偿变压器	姚宗溥,马崇伟,吉庆文,等	17 38
基于半桥级联的MMC子模块驱动保护电路设计	马贞,王玉巧	12 10	宽电压范围双向DC-DC变换器的控制策略研究	王静,李建国,张雅静,等	18 3
一种基于调制比较启的PWM整流器启动冲击电流抑制方法	李长辉,郑丽君,吕世轩,等	13 3	三相PWM整流器电路谐振过电压分析及预防	张绍军,张嘉或	18 10
基于EMD滤波改进的直流电流互感器现场测试研究	杨朋威,万全,刘春晖,等	13 8	基于GaN FET的1 MHz多路CLLC双向直流变换器	侯宇琦,王萍,王议锋,等	18 14
基于LCC的高压直流输电换流站无功功率控制策略研究	袁小威,王金梅,苗海东,等	13 14	一种用于可持续能源的隔离型高增益DC-DC变换器	苏诗慧,雷勇,罗茜,等	18 23
电磁搅拌机变频电源IGBT驱动电路设计 and 应用	汪亮,刘勇,李爱武,等	13 20	不平衡输入整流器多频复合谐振单周期控制	申小玲,李崇华	19 3
基于多级耦合电感的限流型等离子切割电源	陈龙,胡克满,胡国伟,等	13 27	一种新颖的TSC无功循环投切装置	孙春虎,方愿捷	19 9
基于PCPR控制的APF死区补偿策略	曹彬,李胜,吕虎伟,等	13 33	一种新型降压谐振开关电容变换器	杨莉,吴天强,梁勇,等	19 16
一种新型移相全桥变换器的研究	揭贵生,季圣贤,高山,等	13 40	双三电平光伏逆变器的拓扑与控制策略研究	王宝基,张兴,曹仁贤	20 3
新型高效LED驱动电源	毛书凡,陈壮,韩旭	14 3	带辅助控制的TCR型SVC控制策略研究	常凤筠,景伟,俞海,等	20 10
新型单相T型五电平非隔离光伏逆变器	黄春平	14 8	集群LED路灯谐波与超高次谐波的发射特性研究	谢荣斌,林义泽,闫东辉,等	20 17
CLLCC谐振型直流变换器参数设计研究	许景慧,王跃,李凯	14 13	直流配网用级联DC-DC变换系统稳定性分析	杨国朝,杨朝雯,刘仲英,等	20 24
串联阻抗的双向无线充电系统的效率优化设计	万青	14 18	站用直流电源系统中新型主动式保护装置的研究	张武洋,王同,曹子恒,等	20 29
倍压整流电路在DC/DC大升压比电路中的应用	张国森,张一鸣,张云睿,等	14 23	基于多模式控制策略的半桥转换器开关控制方法	张建平,王瑞	20 36
引入竞争机制的改进AR谱估计谐波分析方法	刘海涛,孙放,夏书悦	15 3	基于ZVS负载范围的移相全桥变换器参数优化设计	何俊鹏,张润泽,白旭峰,等	21 14
一种牵引供电系统负载电压谐波抑制策略	王丽丽	15 9	寄生参数对高增益准Z源逆变器的性能影响	房成群,国珍,郝杨阳,等	21 22
基于源极电感检测法的SiC MOSFET短路保护电路研究	李官军,卢乙,殷实,等	15 16	基于VMD-WPT和Prony算法的谐波间谐波检测	施瑶,王雅静,崔京楷,等	22 3
带功率因数校正的开关电源磁性元件设计	于广,刘龙,申华,等	15 20	具有功率因数校正功能的谐振无桥AC/DC变换器	朱利洋,孙敏	22 8
不平衡负载下逆变器并联系统电能质量治理	申小玲,郭昌海	15 25			

题 名	作者	期 页	题 名	作者	期 页
基于二阶广义积分器的LCL型并网逆变器延时补偿方法	张竣淇,康朋,田昊,等	22 15	基于改进幂次趋近律的Buck变换器滑模控制方法研究	姜文东,王海涛,张森海,等	5 58
一种大功率交流恒流源的设计	孙传杰,田凯,楚子林,等	23 10	基于高转矩电流比的开关磁阻电机DITC优化控制	许爱德,黄乐鹏,李倩妮,等	5 64
交错式电流馈电开关逆变器	张丽珍,王红燕	23 15	风电并网一次调频控制性能研究	夏祥武,田梦瑶	5 70
一种无变压器型倍频双降压式光伏并网逆变器研究	赵铭洋,崔朝晖,代云中	23 21	定频化VIENNA整流器模型预测电流控制	韩会山,靳晨聪,毕艳军	5 76
混合H桥级联逆变器的改进型调制策略	杨真理,唐红雨	23 27	电励磁同步电机无速度传感器控制研究	吴伟亮,杨合民,杨海英,等	6 38
新型有源边缘谐振的Boost ZCS-PWM软开关设计	吴阳杰,王家舜,刘健,等	24 3	孤岛微电网中的虚拟同步发电机并联控制策略	施荣,王涛,李宁,等	6 44
基于电容电压精确计算的MMC环流抑制方法	王静,孙谦浩,刘国伟,等	24 9	电压源型三相逆变器的模型预测控制策略	张薇琳,陈灵敏	6 51
基于FIMD和Hilbert变换的线路行波故障诊断	盖志强,洪卫东,张华峰	24 16	感应电机基于最大转矩输入功率比的能效优化	梁宗伟,夏加宽,张子璇,等	6 57
电流控制交错Boost变换器精确建模与设计	阎昌国,龚仁喜,安玉,等	24 22	虚拟直流发电机励磁补偿控制策略	支娜,丁可,张辉,等	7 40
* 控 制 *			基于迭代优化的多电机交叉耦合控制方法研究	李书领,段松凯,李书良	7 46
降低直流电容容值的PMSM驱动控制策略	李丽,连黎明	1 34	直流配网中飞轮储能的虚拟惯性控制策略	张宇鑫,赵兴勇,郭垚	8 47
DFIG高电压穿越暂态特性分析及控制策略改进	宁日红,罗英和,李含霜	1 40	一种输入并联输出串联模块化LCC谐振变换器	杨晓光,李宇麒,高正,等	8 54
地铁辅助逆变器新型控制策略研究	毕京斌,周双雷,夏猛,等	1 45	一种适用于真空断路器合闸的控制电路	习江飞,刘成,李正辉	9 32
一种改进的微电网无功分配控制策略研究	苗海东,王金梅,马文涛,等	1 51	U-Cell拓扑并网逆变器的MPC策略	杨青峰	9 37
基于二阶线性自抗扰的风电并网逆变器电压控制	马幼捷,赵发庆,周雪松,等	2 35	增强并网逆变器对弱电网适应能力的控制策略	张硕文,苗虹,曾成碧	9 43
基于扰动抑制的三相逆变器模型预测控制策略	张薇琳,陈灵敏	2 43	考虑锁相环多单相光伏逆变器并联稳定性分析	张自强,高建勇,时翔,等	10 23
虚拟同步发电机稳定性分析与参数设计	程诗尧,王芳,李雪城,等	2 51	一种变压器短路试验供电装置网侧电流平衡控制研究	王康,王国彬,曾静岚,等	10 30
基于PLC和组态软件的沸腾锅炉监控系统设计	马林联,马铭泽	2 58	带有滞后补偿的改进型I-V下垂控制策略	杨翔宇,肖先勇,马俊鹏	10 38
基于改进状态观测器的轧机扭振抑制策略	周红星,李园园,马志强,等	3 29	模型参数扰动对模型预测控制的影响分析	郭丽娜,索娜	10 45
改进的滑模观测器实现PMSM无传感器控制	张鑫,张传金	3 36	基于双阈值的高精度锂电池主被动均衡策略	单恩泽,王鹿军	11 40
多机系统励磁与UPFC非线性协调控制策略研究	马焯,刘栋,王一珺	3 41	基于Popov理论的微电网逆变器控制策略研究	师洪涛,蒋中南,张巍巍,等	11 48
基于功率下垂特性的直流微电网分布式控制	邱春风,曹炜,刘美娜	3 48	基于电流矢量角的IPMSM最大转矩电压比深度弱磁控制	肖焯夫,张代润	11 55
基于扰动观测的永磁同步电机单环预测控制	刘凤扬,康尔良,崔乃政,等	4 13	逆变器单神经元自调节PID电流控制策略研究	张科,刘刚,王秀茹,等	11 62
高精度定位系统的摩擦力自适应前馈补偿	杨红,李生明	4 22	基于周期控制方法的MPC开关频率调节策略	袁武,曾山	12 16
中压并网变压器的模型预测直接电流控制	原帅,赵彦平	4 27	基于改进和声搜索算法线路过载控制策略研究	王健,李国平	12 23
电压不对称攀升下DFIG暂态特性及无功协调控制	林东敏,孙永彦,张小莉,等	4 34	适用于多端柔性直流配电网的改进控制策略	李力,郭佩乾	12 28
具有中点电位非对称控制的VSVPWM技术	江雨泽,付光杰	4 40	面向微电网集群的多端口能量路由器及其分布式控制策略	郁家麟,肖龙海,胡舟,等	13 46
输入并联输出串联LCC变换器的设计	杨晓光,高正,席利根,等	4 47	混合储能系统的动态比例功率分配控制策略	张芳,张红娟,高妍,等	13 52

题 名	作者	期 页	题 名	作者	期 页
基于自适应虚拟同步发电机系统的微网逆变器控制策略研究	徐大可,盛德刚,刘亮,等	13 57	基于VSG的直流侧混合储能自适应协调控制策略	丁权,王鲁杨,陈宇宁,等	21 29
开关磁阻电机单极性正弦励磁研究	李民中,李冲,潘亚菲,等	13 64	基于虚拟同步发电机的惯量和阻尼自适应控制	孙宇新,王鹏,施凯,等	21 35
基于VSG的储能功率变流器离网并联控制策略	吴晓丹,吴冠宇,周京华,等	14 28	飞轮储能系统中双向功率变换器控制策略的分析与研究	陶雪峰,吴俊,孙露露,等	21 41
微网中基于T型三电平逆变器新型双环控制策略	张宏炯,钱叶牛,李鹏飞,等	14 33	基于分散PV-BES协调架构的孤岛直流微网电压控制	马红明,耿泉峰,霍雨佳,等	21 46
三电平Boost电路动态前馈稳压控制策略研究	杨培盛,张润泽,郝帅,等	14 40	适用于直流配电网的改进下垂电压控制策略	高闰国,匡洪海,钟浩,等	21 53
SWITSC的双馈发电机暂态特性及高电压穿越控制策略研究	曾皓冬,李华强,谢超	14 45	带有电压补偿的改进I-V下垂控制策略	薛阳,华茜,叶晓康,等	22 22
电压不对称骤升时DFIG暂态特性分析及控制策略改进	李耐心,王艳娟,孙潇,等	14 51	一种城轨用永磁辅助同步磁阻电机控制策略研究	柴璐军,张瑞峰,詹哲军,等	22 29
周期控制律电加热控制系统设计与应用	冉林,熊建军,赵照,等	14 57	基于四桥臂逆变器的PMSM断相容错控制策略	袁高龙,向保林,徐光辉	22 34
Boost PFC带恒功率负载控制方法的研究	李刚,李舒维,邱伟	15 31	三电平城轨能馈装置中点电位平衡控制策略研究	张润泽,崔扬,王海瑞,等	22 42
基于自适应下垂控制的联网型直流微网母线电压控制	丁雨,于艾清	15 39	基于暂态阻尼特性的虚拟同步发电机控制策略研究	李翀,陶鹏,申洪涛,等	22 48
基于PNN的GIS局部放电模式识别方法	李君科,李明江,李德光	15 45	轧机主传动系统自激振动的滑模变结构控制研究	张巍巍,师洪涛,王福星,等	23 33
基于改进型LADRC的SAPF双闭环控制策略研究	周雪松,崔阳阳,马幼捷,等	15 53	混合储能系统瞬态响应预测控制研究	杨磊,高妍,张红娟,等	23 39
定子磁场定向异步电机弱磁运行特性研究	贺艳晖	16 39	无位置传感器下的永磁半直驱风电机组MPPT控制	边丰硕,孟克其劳,贾彦,等	23 43
基于行波检测的水电配电网单相接地故障定位	王哲,迟福建,赵志斌,等	16 46	基于模糊自抗扰的风电场储能虚拟惯量控制	崔海林,李泰,潘荣睿	23 48
基于模糊与一致性复合智能算法的“源-网-荷-储”协同控制策略研究	张林垚,黄东明,王彦铭,等	17 44	基于PCHD模型的LCL型APF自适应模糊无源控制策略	吉晓帆,张代润,周驭涛,等	23 53
新能源汽车永磁同步电机最大转矩电流比控制	杨家印	17 52	永磁同步电机转速环扰动反馈线性化控制	扶文树,储建华,王刚	24 27
永磁同步电机新型转子磁链滑模观测器	扶文树,储建华,王刚	17 57	变电站设备状态智能识别系统技术研究	李新海,徐宝军,范德和,等	24 33
含飞轮储能微网的新型频率控制	颜玉玲,梅容芳,黄余,等	18 28	* 其 他 *		
一种改进的无刷直流电机无位置传感器启动控制策略	李华栋	18 36	基于前馈平衡控制的双向充放电系统的研究	刘向立,孟凡提,刘超,等	1 56
基于改进爬山搜索法的风力发电机传动系统控制策略研究	杨德州,张中丹,皮霞,等	19 21	基于混合威布尔分布的电能表寿命预测研究	滕永兴,曹国瑞,杨霖,等	1 61
基于双参考系的感应电机模型预测转矩控制	杨鹏,廖晓群,江元,等	19 29	断路器动作特性测试台电子电源研究	张德宽,吴健,董兆辉,等	1 67
基于强化学习的多光储虚拟同步机频率协调控制策略	张华强,牟晨东,赵玫,等	19 36	风力发电机组全功率试验台搭建及应用	牛成,鲁效平,陆帅	1 75
变电站挂轨机器人智能巡检系统技术研究	李新海,徐宝军,肖星,等	19 43	配电变压器绕组状态在线评估系统研究	黄磊,郭栋,赵越岭,等	2 62
高比例新能源和电动汽车接入背靠背并联系统优化控制	孙旭日,周超群,李延真,等	19 50	基于改进滑模频移法的孤岛检测算法研究	胡丹丹,赵倩,许昊,等	2 69
基于模型跟踪变结构算法的电子节气门控制	贾东明,张昊	19 58	转子分段斜极永磁同步电机电磁振动噪声研究	王玉娟,王华强	2 75
电控伺服助力器测试ADRC高速加载研究	范习谦,范伟军,孙正	20 44	基于谐振式MMC的直流变压器设计	郭贝贝,齐山成,赵斌	3 55
混合级联型多电平逆变器共模电压优化方法	余亚东,李杰,王乐,等	20 49	一种采用高压继电器隔离的方波电压源装置研究	张杰,蒋培,刘新竹	3 62
			交流电传动轨道车牵引系统设计	李勇斌,李博韬,李国锋,等	3 69

题 名	作者	期 页	题 名	作者	期 页
基于STM32的励磁装置数据采集系统	张晓艺,张文玲,杨彦杰,等	3 76	考虑电转气精细化模型的气电联合微网日前优化调度	赵有林,邱晓燕,赵长枢,等	11 68
新能源汽车电驱和电机测试台架系统设计与应用	王家校	4 52	基于贝叶斯网络时序模拟的气电耦合系统可靠性评估	杨晨曦,高立艾,唐巍	11 75
谐波标准下的配电网理论线损研究	曹庆,朱俊,谢荣斌,等	4 56	基于多源非健全信息融合的配电网主动故障研判方法	汪文达,张伟	12 47
基于樽海鞘群算法的仿生智能孤岛检测新方法	赵倩,胡丹丹,许昊,等	4 63	考虑燃气轮机无功支撑的IEGES有功-无功协调优化模型	张浩禹,邱晓燕,周晟锐,等	12 52
周期瞬态工况下IGBT交流加速老化方法研究	潘萧臣,孙兆龙,罗全明	4 71	离网型微电网优化运行策略研究	何瑞东,周文,路艳巧,等	12 59
基于ERTEC200P芯片的PROFINET IO工业以太网接口开发	闫菲,李腾,韩松,等	4 76	基于函数型特征数据的光伏短期功率预测方法	张林,刘继春,马靖宇,等	12 66
异步电机铁心损耗计算方法的分析与研究	翁琪	6 62	直流高压开关柜用无线电能传输系统优化研究	郭贲佳,王国庆,徐帅,等	12 74
基于西门子PLC的S曲线的实现与应用	郑剑,康宁,展鹏,等	6 69	考虑管存动态特性的电-气-热综合能源系统低碳经济调度	周晟锐,刘继春,张浩禹,等	13 69
电力电子技术在有载分接开关中应用研究	高桂英,董锐,夏小晴,等	6 73	基于阶跃激励稳态响应的感应电机匝间短路故障诊断方法研究	刘赫,雷雨秋,张心怡,等	13 75
同步发电机短路故障分析方法研究	史丽敏,杨泽江,高向前,等	7 52	光伏发电系统抑制电网功率振荡的机理研究	林健,王悦,张仪,等	14 62
基于TestStand的自动测试程序开发及应用	蔡保海,刘静,赵泽生,等	7 55	电缆故障测距的模型仿真与系统设计	金增杰,卫永琴,张琦,等	14 68
N-pod多品牌智能家居语音控制设备的设计与实现	赵彦,孙俊,时凯欣	7 59	配电网短路故障在线监测及综合诊断研究	温立彬,山雨,常亮,等	14 73
含风光柴蓄的电动汽车充电站容量优化配置方法	邢毓华,师高翔	7 67	直流偏磁下变压器绕组振动特性分析	吕舒艺,李晓华,章李烽,等	15 61
基于离散概率分布的分布式光伏电站优化配置	刘海涛,许伦,郝思鹏,等	7 75	基于超材料的高效率多源无线充电系统的研究	谢伟,王海华,贾和坤,等	15 68
大电流下SiC MOSFET模块的暂态温度特性研究	李占涛,陆海峰	8 60	S120在薄带铸轧主轧机控制系统上的应用	董云鹏,季宝伟,隋大伟,等	15 76
考虑配电网级联故障的分布式电源选址方法研究	徐晓春,王栋,李佑伟,等	8 65	定子磁场定向异步电机弱磁运行特性研究	贺艳晖	16 39
基于树莓派的预防性轻型除冰机器人行走控制系统	设计欧阳森,张真	8 71	基于行波检测的水电配电网单相接地故障定位	王哲,迟福建,赵志斌,等	16 46
单桥“寄生中频”双频感应加热电源的研究	杨朔,刘平,李常青,等	8 77	基于PLC的云平台污水处理控制系统设计	孙洁,许清河,于凤臣,等	16 51
永磁同步电机驱动系统开路故障检测方法	刘美灵,陈汉玉	9 49	分布式垂直轴风力发电机的并网特性分析	李争,董皓,曹欣,等	16 57
含源-荷-储的虚拟电厂经济性优化运行研究	张惠忠,周嘉新,张雅雯	9 55	基于场景集的虚拟电厂中储能系统优化配置研究	李志浩,刘鑫,倪筹帷,等	16 65
一种新型电气化铁道电能路由器研究	舒泳皓,张长征,王琪	9 61	市场条件下含复合储能的风光水虚拟电厂容量优化配置	范娟娟,庞靖宇,阳东,等	16 72
光储气微网优化运行研究	马磊,张超,钟鸣,等	9 67	基于关联规则的能源互联网输电线路安全分析	张志友,陈德富	17 62
基于多数据融合的电机故障诊断方法研究	袁媛,方红彬,殷忠敏	9 75	基于知识图谱的台区线损异常分析	高泽璞,赵云,张提提,等	17 69
基于串联谐振的高压充电及储能装置研究	蒋培,董理,刘新竹	10 52	风洞变频调速系统电磁兼容仿真研究	李刚,盖文,韩杰	17 75
变频器控制板自动测试系统设计	刘静,赵泽生,于洪泽,等	10 58	引入调节因子改进S变换电压暂降源识别	刘海涛,叶筱怡,吕干云,等	18 59
基于多链式能源区块链的P2P微网电能交易研究	周强,张良	10 62	低压直流配电网电压等级序列的经济性研讨	王建渊,贾灵贤,蒋琪,等	18 65
电动汽车LCL复合型无线充电研究	黄悦华,谌桥,程江洲,等	10 69	基于共享储能的微网园区系统能量协同优化	周步祥,邹家惠,董申,等	18 70
基于智能灯杆的可见光通信和亮度调节的集成化研究	邹斌,赵少锋,杨坤,等	10 76			

题 名	作者	期 页	题 名	作者	期 页
能源市场背景下含储能的光伏和热电联产评估	魏超,焦晓峰,刘永江,等	18 76	低压供电网络暗埋线路走向识别设计	胡越月,熊丙权,邓薇,等	23 76
高空电力线路精准切枝装置研制	万旭,敖娟,肖依梦,等	19 65	基于广义似然比检验算法的IM定子故障诊断	郭丽娜,张桂香	24 40
基于LabVIEW的中国效率自动检测平台设计与实现	李宗原,任高全,郭寅远,等	19 72	多类型电源参与的调峰辅助服务市场模型	李聪,何勇琪,宋丽珠,等	24 46
局部放电检测法在高压变频机组绝缘检测中的应用	唐玉龙,孙丽华	19 77	基于小波变换和HOG特征的变压器局部放电类型识别方法	李平,田秋松,霍明,等	24 52
基于d轴电流误差的永磁同步电机旋变误差角识别方法	徐鹏程	20 56	基于最优发射半径的锥形线圈WPT系统优化	王红,荆凡胜,李颖	24 57
LIMS在电工设备检测实验室的应用	孙陆楠,刘晓东,关朋,等	20 60	一种组网式工业数据采集分析系统	王明玥,曲晓伟,刘同磊,等	24 63
氢储能接入含风电的热电联产系统日前调度研究	刘永江,魏超,高正平,等	20 64	电池储能提高电网薄弱节点电压稳定性的研究	曹鹏程,李培强,孙培栋,等	24 67
单相电机变频光伏水泵在线参数识别方法研究	张翠,苏建徽,瞿晓丽,等	20 69	* 工业应用 *		
一二次融合成套开关测试平台设计与实现	孙健,刘刚,王秀茹,等	20 75	基于ATT7022E和STM32的电力数据采集系统	于广,高照玲,吴桐,等	12 35
基于EtherCAT总线的拖动示教机器人控制系统开发	陈宇鹏,高伟强,刘建群,等	21 59	自动代码生成在列车空调电源软件中的应用	侯运昌,杨东军,甄远伟,等	12 41
车载超级电容器组多工况动态特性仿真分析	丁石谷,蔡荣海,张鹏	21 66	基于图像配准的电力设备缺陷定位算法	杨鼎革,迟清,左坤,等	18 42
组网式多通道数据采集系统设计	于志强,陆桂军,于洪泽,等	21 72	主动式雷电预警系统的设计与实现	刘世宇,马磊,石涛	18 47
基于改进排列熵算法的电力系统设备状态智能识别研究	王立永,纪斌,吴红林	21 76	专用电源嵌入式控制系统DSP端口问题研究	王伟强,赵楠,宋英利	18 54
基于混合核函数相关向量机的铅酸蓄电池SOH估计方法研究	丁一,刘盛终,王旭东,等	22 56	* 交流电机无传感器控制技术 *		
电动汽车整车EMI分析定位与整改技术	韩超超,雷剑梅,陈立东,等	22 63	“交流电机无传感器控制技术”专题特约主编寄语	于泳,王勃	5 3
基于kNN算法的电力系统设备隐患在线识别方法研究	段翔兮,张华,高艺文,等	22 69	一种内嵌式永磁同步电机启动策略	郑伟杰,孙天夫,来跃深,等	5 4
基于边缘计算的智能配电网多源数据处理与融合技术研究	潘志新,翟学锋,王成亮,等	22 74	基于改进全阶滑模观测器的IPMSM无传感器控制	曹新平,尹忠刚,张彦平,等	5 10
基于三维建模的HGIS配电装置紧凑型布置优化方法	陈晨,李凯,樊庆玲,等	23 60	永磁同步电机离散化建模与分析	杨淑英,王奇帅,东野亚兰,等	5 15
小电流下空心线圈电流互感器的输出波形质量测试	侯姗,赵志山	23 65	双三相永磁同步电机模型预测电流控制研究	宋文祥,任航	6 3
微电网中储能运行模式自发切换的对策研究	张程翔,汪科,陆莹,等	23 70	无轴承永磁同步电机转子径向位移估算策略	张汉年,张涛	6 11
			基于扰动转矩观测器PMSM无位置传感器控制系统	阴建强,邬贤明,邬冯值,等	6 19