

针对燃柴机组的高精度数据采集系统的设计与实现

陈鹏,关磊,张波

(中国船舶重工集团有限公司第七〇三研究所无锡分部,江苏 无锡 214151)

摘要:介绍了基于PXI系列数据采集装置和图形化编程语言LABVIEW的燃柴机组高精度数据采集系统的设计思路与实现方式,详尽描述了高精度数据采集系统的设计方案、硬件组成和软件程序功能。系统可对电压、电流、转速等信号进行多通道连续采集,测量精度高、响应时间短,可满足多种测试方式的数据采集要求;同时具有良好的人机交互界面,能够方便的对各类信号进行显示、计算、录制、回放和存储。在实际使用过程中,该系统表现出了优秀的易操作性,高可靠性和高精度。

关键词:PXI;LABVIEW;高精度数据采集系统;TCP/IP

中图分类号:TK31 文献标识码:B DOI:10.16146/j.cnki.rndlge.2020.03.034

[引用本文格式]陈鹏,关磊,张波.针对燃柴机组的高精度数据采集系统的设计与实现[J].热能动力工程,2020,35(3):239-243. CHEN Peng, GUAN Lei, ZHANG Bo. Design and implementation of high precision data acquisition system for gas turbine/diesel engine units[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2020, 35(3): 239-243.

Design and Implementation of High Precision Data Acquisition System for Gas Turbine/ Diesel Engine Units

CHEN Peng, GUAN Lei, ZHANG Bo

(Wuxi Division of No. 703 Research Institute of CSIC, Wuxi, Jiangsu, China, Post Code: 214151)

Abstract: This paper presents the design and implementation of a high-precision data acquisition system based on PXI series data acquisition device and graphical programming language LABVIEW for gas turbine/ diesel engine units. It describes the design scheme, hardware components and software program function of the high-precision data acquisition system. The system can continuously collect multi-channel signals such as voltage, current and speed. The system has high measurement accuracy and fast response, which can meet the data collection requirements of various test methods. At the same time, it has a good human-computer interaction interface, and various types of signals can be displayed, calculated, recorded, played back, and stored conveniently. In the actual use, the system has shown excellent operability, high reliability and high precision.

Key words: PXI, LABVIEW, high-precision data acquisition system, TCP/IP

引言

新建成的船用(燃气轮机、柴油机及其联调试验)发电机组必须经过机组性能测试方可投用,在

性能测试中,着重要对机组输出的电能进行质量、安全检测,也就是针对机组各路输出的电流、电压、机组转速波形等参数,对数据采集系统的实时性、精确性、数据处理能力、人机交互能力、存储能力提出了较高要求。其中,由于系统需进行大量短路测试、稳

收稿日期:2019-10-18; 修订日期:2019-11-07

作者简介:陈鹏(1992-),男,内蒙古呼伦贝尔人,中国船舶重工集团有限公司第七〇三研究所无锡分部工程师, E-mail: chenpenggogo@163.com.

态测试、动态测试、机动性测试,需对其数据进行及时分析处理,船用发电机组对数据采集系统的精确性及数据处理能力的要求更高。

国内外有很多研究各类数据采集系统的文章,如张宇、黄伟志等^[1]强调数据采集系统的稳定性和多样性,谢冰、陈昌鑫等^[2]及王昆^[3]使用虚拟仪器系统搭建数据采集系统等,但上述数据采集系统均具有较强的通用型,却无法满足不同船用发电机组数据采集系统的特殊要求,如转速波形的记录、分析,稳态和动态测试的性能计算等。而本文所设计的高精度数据采集系统经过试验验证,能够妥善处理上述测试需求,在该专业方向上具备良好的应用前景。

1 系统的设计方案和硬件配置

1.1 系统的设计方案

此次高精度数据采集系统的总体设计框图如图 1 所示。



图 1 高精度数据采集系统的总体框图

Fig. 1 Diagram of a high precision data acquisition system

如图 1 所示,电气量传感器(包括电压、电流传感器)和转速传感器将测量信号转化为小信号($0 \sim 10 \text{ V}$ 、方波信号等);数据采集单元进行差分信号的调理,经过 A/D 转换将其转换为数字信号;数据采集站对各数据采集单元的信号进行汇总,将采集数据通过工业以太网发送给上位终端,实现数据的分析、计算、显示、存储和回放等功能;上位终端设备接收数据采集单元发送控制指令,进行通讯控制。

1.2 系统的硬件配置

1.2.1 电气量传感器

(1) 电压传感器

电压传感器用于将高电压转换为 $0 \sim 10 \text{ V}$ 的弱电信号,考虑到系统需要进行动态测试,需要传感器具有响应时间快速的特点,故采用闭环式霍尔电压传感器作为系统测试用电压传感器。

(2) 电流传感器

正常工况下,中压直流电流的测量采用精度、带宽等各项性能较好的闭环霍尔式电流传感器,低压

交流电流的测量采用精度、线性度等各项性能较好的电流互感器。短路工况下,采用响应速度快、不会饱和的罗氏线圈用作移动测量和短路测量。考虑到采集通道的通用性,对于 $0 \sim 1 \text{ A}$ 的弱电信号,可以采用精度等级较高的大功率精密电阻,将其转换为 $0 \sim 10 \text{ V}$ 的电压信号,用于数据采集单元的测量。

1.2.2 转速传感器

转速传感器主要用于测量柴油机、燃气轮机和推进电机的转速。柴发机组、燃发机组的转速为在连接轴贴磁钢片,采用磁电式传感器进行测量。由于推进电机转速和测功器转速是一致的,故在测功器的测速齿轮端(120 齿)采用电感式测速传感器进行测量。

1.2.3 数据采集单元及数据采集站

选用 NI 公司 PXI 系列数据采集装置,并基于 LABVIEW 软件进行数据的采集。系统中采用 10 块 PXIe-4300 和 1 块 PXIe-6624 卡组建数据采集单元,总计 80 路电压、电流测量通道和 8 路转速测量通道;数据采集站选用 PXIe-8135 控制器和 PXIe-1082 高性能 18 槽机箱。作为一个独立的实时采集装置,数据采集单元及数据采集站具有多路 $0 \sim 10 \text{ V}$ 模拟量信号输入和 $0 \sim 24 \text{ V}$ 方波信号输入通道。所有通道间具有通道隔离、采样同步等功能,且采样频率不低于 10 kHz 。

1.2.4 上位终端设备

上位终端设备对海量数据进行传输、存储、分析与管理,具有存储容量大、读写速度快、通讯速率高、计算能力强的特点。系统中采用单块 1 000 M 网卡实现数据传输,通过单一 10TB 磁盘阵列实现数据实时存储。配置 2 台上位终端主机,分别为数据采集主机及分析处理主机,负责实时数据的传输、存储、分析与管理,同时与场地数据采集系统工程站实现数据交换和显示。数据采集主机主要显示波形界面,进行瞬态波形录制,并进行离线瞬态参数的分析处理;分析处理主机主要显示稳态参数计算界面,并进行电能品质的分析计算测试,存储测试结果,同时与场地数据采集系统实现数据交换和显示;两台主机实现双机互备功能,正常情况下,两台主机分别运行数据采集程序和分析处理程序,当一台主机出现异常状况时,另一台主机可运行出现异常状况主机的程序。

2 系统的软件构架

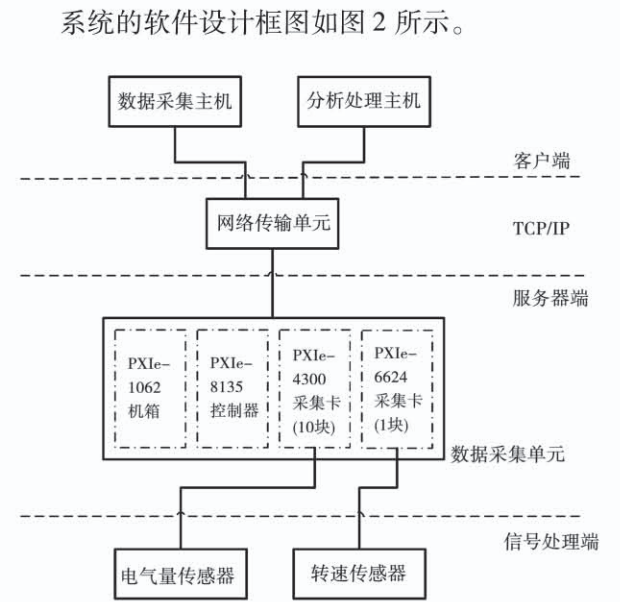


图 2 系统软件设计框图
Fig. 2 Diagram of the system software design

软件系统主要由数据采集单元(即服务器端)和上位终端设备(即客户端)两部分组成。其中,服务器端主要用于实现对电气量传感器和转速传感器的输出信号采集、并通过工业以太网将采集得到的数据发送至客户端;客户端主要用于接收服务器端的实时数据,对实时数据在线分析、存储,同时实现对实时数据的事后查询和数据冗余等功能。

2.1 数据采集单元的实时-同步采集

选用的 PXIe-4300 和 PXIe-6624 均具有独立的 ADC 转换器和计数器,可完成 10 块 PXIe-4300 上 80 个模拟量通道与 1 块 PXIe-6624 上 8 个转速通道间任意 2 个或 2 个以上通道间的同步采集,且每个通道均可以根据采样时钟进行实时、同步采集。在数据采集单元中,通过 LABVIEW 软件进行统一的采样时钟配置,使得所有通道均能根据该指定采样时钟进行数据的采集,保证了各通道数据的时效性。

2.2 服务器端-客户端的大数据网络传输

由于系统的数据量很大,必须考虑数据采集单元采集得到的数据能够实时、完整地通过网络传送到客户端,且客户端能够将数据完整保存。系统中,采用的解决方法为“生产者/消费者模式+TCP/IP 网络协议”。

在生产者/消费者的设计模式中,生产者负责数

据的采集或接收;消费者负责数据的存储或发送^[4]。两者之间通过队列的方式进行通信,生产者往队列里写入数据,消费者从队列里读出数据。TCP/IP 网络协议作为底层的网络协议,它是一种基于连接的协议,下位的数据采集单元作为服务器端不断侦听网络,当有作为客户端的上位计算机搜索相应服务器的 IP 地址要求数据共享时,数据采集单元必须先建立连接,而后传输打包数据,传输每个数据包均要接收端的确认,不会造成数据的丢失或重复。

在各数据采集单元以及上位计算机中,均采用这种模式,其示意图如图 3 所示。在数据采集单元内,生产者负责实时数据的采集,并将数据放入缓冲区,消费者负责将缓冲区的数据提取出来,并通过 TCP/IP 发送出去;在上位计算机中,生产者负责接收 TCP/IP 发送过来的数据,并将数据放入缓冲区,消费者负责将缓冲区的数据提取出来,并将数据写入磁盘保存起来。

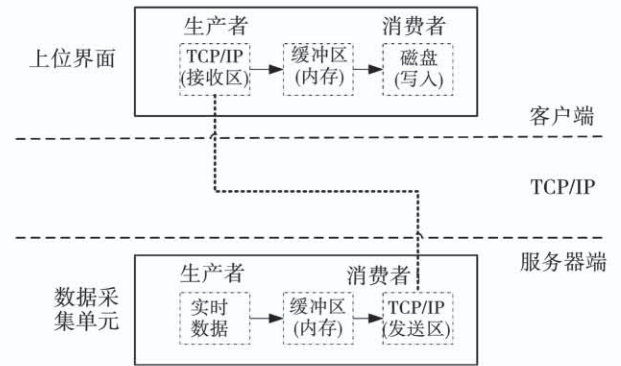


图 3 生产者/消费者模式
Fig. 3 Producer consumer model

该模式将上位计算机、数据采集单元的内存作为数据的缓冲区,很好的解决了因数据采集速率、网络传输速率以及数据存储速率之间不一致而导致的数据丢失等问题。

结合上述的生产者/消费者模式,所有同步采集的数据均能够在上位计算机上得到同步的显示、存储。

3 上位终端的软件功能

3.1 波形的采集

系统共设有 67 个数据采集通道,分别采集 20 路电压信号、44 个电流信号、3 个转速信号。67 个采集通道均实时采集原始波形信号,其采集流程如图 4 所示。



图 4 信号采集流程图

Fig. 4 Flow diagram of signal acquisition

在波形采集中,需要完成电压、电流、转速信号的硬件同步采集以及数据采集单元与上位终端设备的实时、高速数据通信。

3.2 稳态及瞬态参数的计算及波形显示

在发电机组稳态运行时,系统可以采集各信号在一段时间内的最大值,最小值,均值,方差等参数。在运用 LABVIEW 中的数组和循环计算的方法,即可实现稳态参数的计算。根据计算出的稳态数据,系统可将其描绘成实时的稳态曲线,以稳态波形的方式进行更加直观的显示,并在波形曲线的基础上,完成系统稳态参数的测试功能;同时,计算得出的所有稳态数据,均可以根据需要,进行波形的显示、分析。其功能框图如图 5 所示。

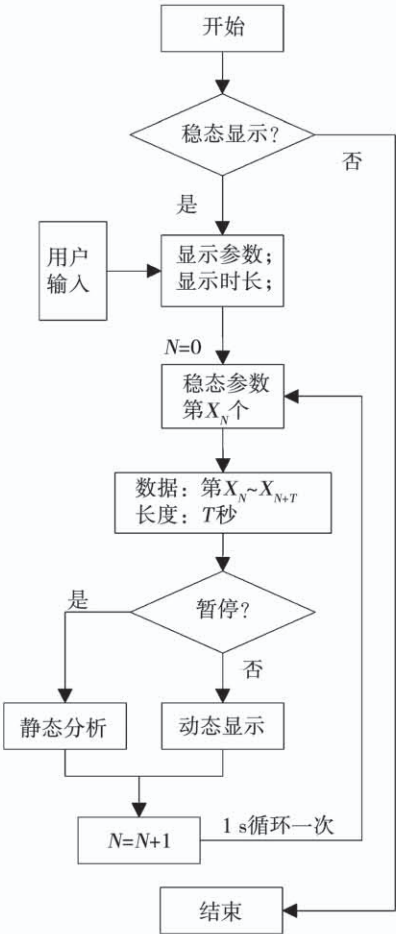


图 5 稳态参数显示流程图

Fig. 5 Diagram of the steady-state parameters display

稳态参数的波形显示,主要用于发电机组的稳态测试,如稳态电压波动率、稳态转速波动率等。

3.3 瞬态波形录制

瞬态波形的录制就是将采集得到的数据直接以波形的形式显示区别于稳态参数显示,瞬态波形显示的数据不需经过程序处理,系统可将其描绘成实时的瞬态曲线,且数据刷新时间由 1 s 缩短为 0.2 s 保证了数据传输的即时性。

根据录制的波形及用户输入的机组额定参数,按照国家军用标准对发电机组瞬态转速、电压、电流等参数的要求,除了运用计算稳态参数的方法外,还利用了迭代计算的设计思想,准确实现了转速、电压、电流等参数的瞬态参数计算,如瞬态调整率、峰值、恢复时间、最大值、最小值等。

3.4 短路试验的波形显示

为满足短路试验的要求,需要对系统的直流侧和交流侧进行短路时电压和电流信号的波形进行采集,并进行终端的显示和分析。鉴于短路试验的特殊性,短路试验的波形完成并进行原始波形的终端显示工作。

3.5 试验数据的存储、回放及导出

所有实时采集的数据以及自动计算的值均按照预先设定好的路径,完整的存储在本地磁盘中。存储语言选择 SQL 语言,SQL 语言集数据定义、数据查询、数据操纵、数据控制功能于一体,且在数据库投入运行后,还可根据需要随时逐步修改模式,且不影响数据库的运行,从而使系统具有良好的可扩充性^[5]。

客户端可以在客户端软件中选择查询时间,软件会通过 SQL 的 SELECT 命令查询指定时间的文件,即可提取出任一参数在任意时间段内的数据。软件可以将当前的测试结果直接打印出来,以便于发电机组的稳态、瞬态测试数据分析。

4 试验与分析

为了验证设计的数据采集系统的软硬件性能,在设备调试完成后,进行了一系列稳态试验、瞬态试验和短路试验,部分波形如下图 6 ~ 图 8 所示。

程序运行后,由上位机发出数据采集指令,数据采集单元在接受到指令后开始连续采集数据并传输打包数据。当上位程序接收到数据后即可进行参数

采集、波形录制等工作。当上位机不需要采集数据时发出停止采集指令,客户机端即不再向上位机发送数据。

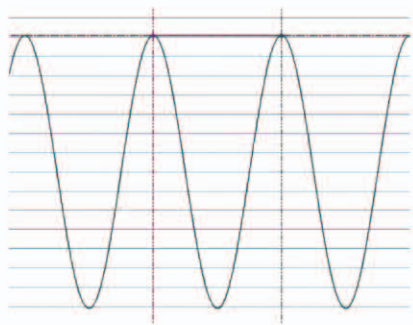


图6 稳态试验波形图

Fig. 6 Oscillogram of the steady-state test

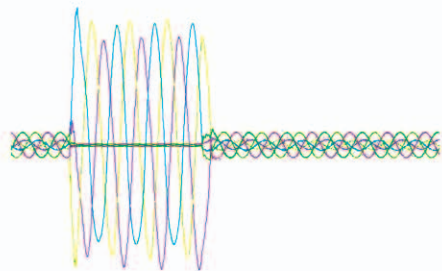


图7 逆变器短路试验波形图

Fig. 7 Oscillogram of the inverter short-circuit test

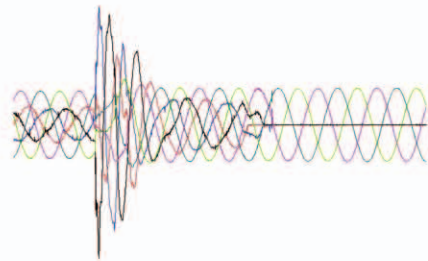


图8 柴油机及逆变器短路试验波形图

Fig. 8 Oscillogram of the diesel engine/ inverter short-circuit test

从采集到的数据及波形中可以看出,系统可以完成数据采集工作。短路试验进行时,系统响应时间符合试验要求。

5 结 论

本文所设计的基于 NI 公司的 PXI 系列数据采集卡和 LABVIEW 软件的高精度数据采集系统,系统硬件可以支撑多个电压、电流、转速测点进行多通道连续采集,软件可以完成各测点的显示、计算、录制、回放和存储功能。系统精度高,响应时间短,很好地完成了对燃气轮机、柴油机及其联调试验中的数据监视和处理工作。

参考文献:

- [1] 张 宇,黄伟志,郝 岩.基于 LabVIEW 的多功能数据采集系统的设计与实现[J]. 自动化仪表,2013,34(8):24-26.
ZHANG Yu, HUANG Wei-zhi, HAO Yan. Design and implementation of the multi-function data acquisition system based on LabVIEW[J]. Process automation instrumentation, 2013, 34(8): 24-26.
- [2] 谢 冰,陈昌鑫,郑 宾.基于 LabVIEW 的数据采集与信号处理系统设计[J]. 现代电子技术,2011,34(14):173-175.
XIE Bing, CHEN Chang-xin, ZHENG Bin. Design of data acquisition and signal processing system based on LabVIEW[J]. Modern Electronics Technique, 2011, 34(14): 173-175.
- [3] 王 昆.基于 Labview 的数据采集与信号处理系统设计与实现[J]. 电子设计工程,2018,26(15):94-97.
WANG Kun. Design and realization of data acquisition and signal processing system based on LABVIEW[J]. Electronic Design Engineering, 2018, 26(15): 94-97.
- [4] 俞希学,关 磊,陈晓波,戴志伟.基于 PCI-6624 的船用发电机组动态转速测试系统设计[J]. 电气自动化,2015,37(6):21-23.
YU Xi-xue, Guan Lei, CHEN Xiao-bo, DAI Zhi-wei. Design of a dynamic speed test system for marine generator sets based on PCI-6624[J]. Electrical Automation, 2015, 37(6): 21-23.
- [5] 何元清,付茂洛,刘期建.大学计算机基础[M]. 北京:中国铁道出版社,2013.
HE Yuan-qing, FU Mao-ming, LIU Qi-jian. University computer foundation[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2013.

(姜雪梅 编辑)