

# 基于 DAQ 的中频发电机试验系统设计与实现

刘国繁<sup>1</sup>, 杨跃龙<sup>1</sup>, 邱泓<sup>1</sup>, 于剑倩<sup>2</sup>

(1. 湖南工程学院电气与信息工程系, 湖南 湘潭 411101; 2. 上海电力公司, 上海 200002)

**摘要:** 发电机试验系统采用计算机平台和虚拟仪器技术是发展方向。介绍了基于 DAQ 的中频发电机试验系统的设计与实现。该系统以工业控制计算机为基本平台, 以 Visual Basic 为软件开发平台, 多路电压、电流信号同时采样, 实时分析和显示电压、电流、功率等电量, 并对电压进行谐波分析, 完成规定的中频交流同步发电机型式试验和出厂试验。经比较测试, 其电压、电流的系统测试误差 (引用误差) 小于 0.3%, 其他参数的系统测试误差 (相对真误差) 不大于 0.4%。系统自投入运行以来, 性能稳定, 准确可靠。

**关键词:** 发电机试验; 数据采集; 自动测试; VB 应用软件

**中图分类号:** TM306      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2005)18-0067-04

## 0 引言

中频发电机型式试验和出厂试验中, 目前一般采用常规仪表测量, 人工操作, 人工读数。这种方式明显存在测量时间不同步, 人为因素多, 工作效率低, 有些动态参数无法测量等缺点。为了克服人工读数的随意性和不确定性, 提高试验的科学性和准确性, 我们根据某大型电机制造公司的要求, 研制了一套中频发电机试验系统。该系统以中频发电机为测试对象, 典型额定频率为 400 Hz, 以工业控制计算机为基本平台, 以 Visual Basic 为软件开发平台, 多路电压、电流信号同时采样, 实时分析和显示电压、电流、功率等电量, 并对电压进行谐波分析, 完成规定的中频交流同步发电机型式试验和出厂试验。

## 1 系统组成设计

### 1.1 系统的结构形式

以计算机为核心的电机试验系统, 按所用总线, 其结构可分为三大类: VXI (VME Extension for Instrumentation) 结构、DAQ (Data Acquisition) 结构和 PXI (PCI Extension for Instrumentation) 结构。VXI 结构是机箱式结构<sup>[1]</sup>, 一个接插模块就相当于一台仪器或特定功能的器件, 多个模块共存于一个机箱组成一个测试系统。DAQ 结构直接利用标准的工业计算机总线, 将数据采集卡和必要的通用 I/O 板卡直接插入计算机的 ISA、EISA 或 PC 总线槽, 一个模板完成一种或多种 I/O 功能。PXI 结构也是机箱式结构<sup>[2]</sup>, 它以 PCI 总线为基础, 一个测试系统由共存于一个机箱的多个仪器模块组成, 一个模块相当于一台仪器。对于像电机试验系统一类规模不大的计

算机测试系统, 选择 DAQ 结构具有以下优点: 硬件结构灵活, 易于扩充; 数据处理速度快, 测量精度高; 程序结构简单, 编程、维护方便; 抗干扰能力强; 开发成本低。

### 1.2 系统功能与组成

根据用户需求, 系统主要完成以下功能: 完成试验标准规定的 28 个型式试验项目, 可选取其中的一部分作为出厂试验项目; 电压、电流、功率等电量由计算机测量, 记录结果, 电阻、温度、湿热、振动冲击等参量的测量由人工完成, 结果输入计算机; 打印、存储完整的试验报告, 可查询历史试验报告。

根据功能要求和试验方法以及可靠、经济、实用的设计原则, 经过对比分析, 确定系统采用基于 DAQ 卡的结构形式, 计算机选择工业 PC 机, 由软件完成信号分析处理, 求得被测参量。系统组成如图 1 所示。

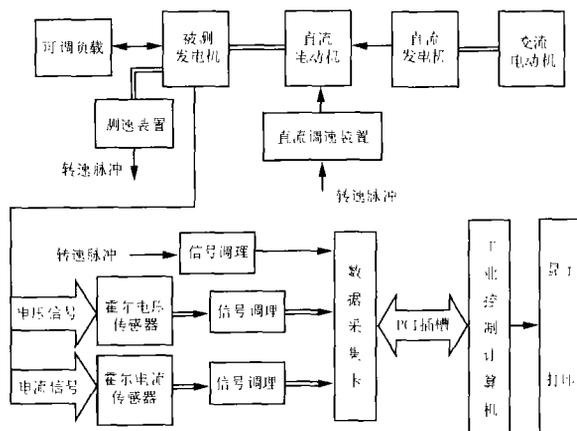


图 1 系统组成框图

Fig 1 System architecture

### 1.3 系统工作原理

被测发电机由直流电机拖动,直流电机由交流电机-直流发电机组供电,直流调速装置采用双闭环控制,保持直流电机转速恒定,其转速由测速装置检测。

可调负载的电阻、电感可以分别增加/减小。负载的突加/突卸通过控制接触器的闭合/断开来实现。

发电机进行他励发电试验时,其励磁电流通过调压器调节。

霍尔传感器将被测电压、电流变换为 mA 级电流,信号调理板将霍尔传感器输出的信号(mA 级电流)变换为电压,并进行抗混叠滤波以及将信号放大到 DAQ 卡要求的范围。

试验项目由用户根据出厂试验或型式试验的要求在计算机上选择。被测发电机的电压电流通过霍尔传感器、信号调理板、DAQ 卡输入到计算机,由计算机实时采集、分析、处理、显示。一个项目完成后,由用户选择下一个试验项目。人工测试项目则由人工输入测试结果,与计算机测试项目一起形成完整的试验报告。

## 2 信号输入通道设计

模拟量输入通道包括发电机测试信号检测、信号调理和数据采集卡。信号检测被测参量的信号变换;信号调理将传感器输出信号调理成数据采集卡允许的范围,并进行抗混叠滤波;数据采集卡将模拟信号变换为数字量送计算机。

### 2.1 霍尔传感器的选择

模拟量信号主要是电压、电流。需要检测的电压有两个三相交流电压(发电机电压、副励磁机)和一个直流电压(励磁电压),交流电压的有效值范围分别为  $0 \sim 300 \text{ V}$  和  $0 \sim 30 \text{ V}$ ,直流电压的范围为  $0 \sim 30 \text{ V}$ 。需要检测的电流有两个三相交流电流(发电机电压、副励磁机)和一个直流电流(励磁电流),交流电流的有效值范围分别为  $0 \sim 100 \text{ A}$  和  $0 \sim 2 \text{ A}$ ,直流电压的范围为  $0 \sim 2 \text{ A}$ 。选取北京莱姆(LEM)电子有限公司的霍尔传感器,分别为(电压、电流均为有效值):

LV28 - P 电压传感器:7个;输入电压:  $15 \sim 500 \text{ V}$ ;信号类型:直流、交流;输出信号:  $0 \sim 25 \text{ mA}$ ;安装形式:PCB。其中3个用于测量发电机的三相线电压,3个用于测量副励磁机的三相线电压,1个用于测量励磁电压。

LT108 - S7 电流传感器:3个;输入电流:  $0 \sim 100 \text{ A}$ ;信号频率:  $0 \sim 100 \text{ kHz}$ ;输出信号:  $0 \sim 50 \text{ mA}$ ;安装形式:底板固定。用于测量发电机的三相线电流。

LA28 - NP 电流传感器:4个;它有5对输入脚,对应的输入电压范围分别为:  $0 \sim 5, 6, 8, 12, 25 \text{ A}$ ,我们选用  $0 \sim 5 \text{ A}$  的引脚;信号频率:  $0 \sim 150 \text{ kHz}$ ;输出信号:  $0 \sim 25 \text{ mA}$ ;安装形式:PCB。其中3个用于测量副励磁机的三相线电流,1个用于测量励磁电流。

### 2.2 DAQ 卡的选择

中频发电机的频率为  $400 \text{ Hz}$ ,根据设计要求,应分析的最高谐波次数为50,故信号的最高频率为  $20 \text{ kHz}$ 。按照试验方法,需要同时采样的信号为11路。根据周期信号的非整周期采样理论<sup>[3]</sup>,要求采样点数  $N = 50 \times 2 + 1 = 101$ 。为了提高实时性,采样在2个信号基波周期完成,每周期采样不大于127点,则一路采样频率为  $127 \times 400 / 2 = 25.4 \text{ kHz}$ ,11路同时采样的采样频率为  $25.4 \text{ kHz} \times 11 = 279.4 \text{ kHz}$ ,即 DAQ 卡的多通道同时采样速率应不小于  $279.4 \text{ kHz}$ 。

DAQ 卡(板)按采样速率可分为低速、中速和高速三类,低的只有几千 S/s(采样次数/秒),高的可达几百兆 S/s。A/D 位数有8位、10位、12位和16位。中、高速 DAQ 卡一般带 FIFO (First Input First Out) 数据缓冲器。DAQ 卡的选择基于三个方面,第一,采样频率是否符合要求;第二,A/D 转换位数是否符合精度要求;第三,性价比是否合适。综合考虑这几点,我们选择台湾凌华科技股份有限公司的中速数据采集卡 PCI-9118DG。它基于32位 PCI 总线,即插即用;12位 A/D、D/A 分辨率;最高采样频率  $333 \text{ kHz}$ ;16个单端或8个差动模拟量输入通道;各通道可分别设定单/双输入极性和输入范围;支持 DMA 方式和 BURST 模式, FIFO 容量为1024个采样值,可实现信号的实时采集与存储。

### 2.3 信号调理电路设计

信号调理电路的原理框图如图2所示。



图2 信号调理电路的原理框图

Fig 2 Principle diagram of signal recuperates circuit

图2中,R将霍尔传感器输出的电流信号变换为电压信号。R应根据电流信号的有效范围和抗混叠滤波器输入的允许范围进行选择。以发电机输出

电压检测为例,电压峰峰值为  $-500 \sim 500 \text{ V}$ , LV28 - P霍尔传感器输出的电流信号有效范围为  $-36 \text{ mA} \sim 36 \text{ mA}$ ,抗混叠滤波器输入的允许范围设计为  $-3.6 \text{ V} \sim 3.6 \text{ V}$ ,应选择  $R$  为 100 。

输出跟随器由集成运算放大器 LM358 构成,起信号隔离作用,防止抗混叠滤波器对  $V_m$  的影响。抗混叠滤波器由集成芯片 MAX275 构成,它内含 2 个二阶连续时间有源滤波电路<sup>[4]</sup>,将二者串联构成一个四阶巴特沃兹 (Butterworth) 滤波器,截止频率设计为 20 kHz。Butterworth 滤波器的幅频响应在通带内非常平坦,过渡带的衰减速度比巴塞尔滤波器要快,在阻带内响应没有波纹,非常适合作为数据测试系统中的抗混叠滤波器。电压放大器将抗混叠滤波器的输出放大到满足 DAQ 卡的输入要求。为了提高信噪比,我们选择 DAQ 卡的单极性信号输入范围为  $0 \sim 10 \text{ V}$ ,双极性信号输入范围为  $-5 \sim +5 \text{ V}$ 。

### 3 软件设计

本系统选用 Windows 环境下的通用编程语言 VB6.0 (企业版) 作为开发平台,与选用专业图形编程工具软件进行开发相比,通用编程语言使用灵活,对测量的控制易于实现,与其他软件接口方便,便于选配 DAQ 卡,直接成本低。

#### 3.1 系统数据组织

系统数据分为两大类:系统控制数据和试验数据。系统控制数据包括用户信息、试验方法、系统运行记录和系统运行参数。系统控制数据组成一个 Access 文件,共 4 个表,用户信息、试验方法、系统运行记录和系统运行参数各 1 个表。一台发电机的全部试验数据组成另一个 Access 文件,共 33 个表,被试发电机的基本数据、试验进度和结果汇总各 1 个表,28 个试验项目中,不同试验项目产生的数据组用不同的表存储,同一试验项目产生的不同的数据组用不同的表存储,共 30 个表。

电机试验是间歇式工作方式,一台电机的试验可能分几个工作单元甚至几天完成,根据试验现场工况,同一试验项目可能在不同的电机之间穿插进行。因此,必须保证试验数据的完整性、正确性,同时又要考虑易操作性。在电机生产中,工号是一台发电机唯一的、终身的标识,因此,我们选取发电机的工号作为发电机的标识,一台发电机的全部试验数据存储在一个 Access 文件,其文件名由电机类别、试验类别、工号和试验序号组成,例如,工号为

0212026 的中频发电机的首次型式试验的试验数据文件名为“GMT0212026\_1”,出厂试验的试验数据文件名为“GMP023402\_1”。不同的电机、不同的试验与不同的文件一一对应,不会出现不全和混淆,既保证了数据的完整性和正确性,又易于识别和自动生成文件名。所有文件约定放在同一文件夹中。

#### 3.2 软件结构设计

本测试系统以 Windows 软件系统中的 Visual Basic 6.0 为开发平台,其软件部分主要包括以下几个模块:系统引导模块、分项试验监控模块、系统维护模块和试验报告处理模块,组成框图如图 3 所示。

系统引导模块是系统的主控程序,完成系统登录、调度试验配置、分项试验监控、试验报告处理和系统维护等模块,显示系统的名称、版本及授权者等系统说明信息。系统登录完成用户的登录与退出。用户进入系统采用身份认证,不同身份赋予不同权限,可进行不同的操作。

试验配置模块完成系统运行参数设置与记录、当前试验电机基本数据设置与试验项目选择等功能。

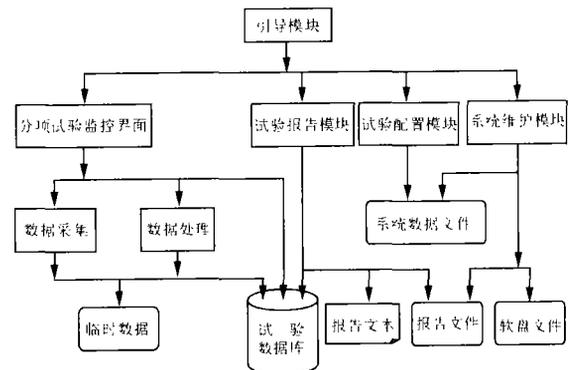


图 3 系统软件组成框图

Fig 3 System software framework

分项试验监控模块是系统运行中执行的主要模块,它由若干个试验项目监控子模块组成,每个子模块又包括界面生成、数据实时采集、数据分析、数据显示、波形与试验参数显示、数据点读取与记录等若干子程序,按试验方法以直观、简洁、可靠地获取试验原始数据、分析计算发电机性能数据和记录。

试验报告处理模块完成试验数据的整理、报告文本的生成及打印等功能。

系统维护模块完成用户权限的设置和试验报告的导入导出等功能。

#### 4 结论

系统安装及准确度调校后,经用户质量管理部对系统进行了精度测试。测试采用比较法,分别对2台被检发电机的型式试验项目,在本系统自动测试的同时,用检验仪表手工测试,进行结果比较。其电压、电流的系统测试误差(引用误差)小于0.3%,其他参数的系统测试误差(相对真误差)不大于0.4%。系统自投入运行以来,性能稳定,准确可靠。

基于DAQ的试验系统是构成低成本、小规模电机测试系统的一种结构。Windows和VB作为软件开发平台,与使用专用虚拟仪器软件开发的系统相比,便于选择第三方提供的测控板卡,便于实现实时测试,系统更灵活,界面更美观,操作更友好,成本更低廉。

#### 参考文献:

- [1] 李世平,韩增亮,戴凡. PC计算机测控技术及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2003.  
LI Shi-ping, HAN Zeng-liang, DAI Fan. PC Computer Measurement and Control Technology and Application [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2003.
- [2] 万世豪. PXI技术发展及近况[J]. 仪表技术, 2003, (3): 41-42.  
WAN Shi-hao. PXI Technology and Recent Case[J]. Instrument Technology, 2003, (3): 41-42.
- [3] 张建秋,沈毅,赵新民. 周期信号的非整周期采样理论[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1995, 27(6): 99-103.  
ZHANG Jian-qiu, SHEN Yi, ZHAO Xin-min. The Non-Integer-period Sampling Theory for Periodic Signals[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 1995, 27(6): 99-103.
- [4] MAX274/MAX275/Software/EV Kit Databook[Z]. 1996 1-28.

收稿日期: 2005-01-05; 修回日期: 2005-03-12

#### 作者简介:

刘国繁(1959-),男,教授,主要研究方向为计算机实时测控技术、计算机应用技术; E-mail: lgf@mail.hnie.edu.cn

杨跃龙(1957-),男,高级工程师,主要研究方向为电机制造与控制技术、电气自动化技术;

邱泓(1971-),男,工程师,主要研究方向为工业自动化技术。

### Design and realization of the mid-frequency generator test system based on DAQ

LIU Guo-fan<sup>1</sup>, YANG Yue-long<sup>1</sup>, QIU Hong<sup>1</sup>, YU Jian-qian<sup>2</sup>

(1. Dept of Electronic Engineering, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411101, China)

**Abstract:** It is the developing direction that the generator test system adopts the computer platform and virtual instrument technology. This paper introduces the design and realization of the mid-frequency generator test system based on DAQ. This system takes industrial control computer as the basic platform, VisualBasic as the software developing platform. It samples multi-way voltages and electric current signals at the same time. It analyzes and indicates the electric parameters of the voltage, electric current, power, etc, carries on harmonic wave analysis to the voltage, and finishes standard mid-frequency exchange synchronous generator type test and product test. Through relative test, the system testing errors (quotes the error) of its voltage, electric current are smaller than 0.3%, the system testing error (relatively real error) of other parameters is not larger than 0.4%. Since the system is put into practice, its performance is steady and accurate.

**Key words:** generator test; data acquisition; automatic test; VB application software

继电器杂志社投稿信箱改为 relay@powerkingdom.com,

敬请相互转告!