

基于虚拟仪器的电机学实验系统

徐迅, 雷勇

(四川大学 电气信息学院, 四川 成都 610065 E-mail: alex.xun.xu@hotmail.com)

摘要: “电机学”是电力类专业的一门重要专业基础课, 电机学实验是学习和研究电机理论的重要实践环节。该文将虚拟仪器与数字信号处理等技术与电机学实验相结合, 提出了基于虚拟仪器的电机学实验系统的实现方案, 并以三相变压器平台为例加以实现。系统通过电压、电流互感器将高电压、大电流转换成0~5V跟踪电压信号, 经过抗混叠滤波、采样、AD转换后送入PC, 在PC端采用NI LabVIEW8.5处理并显示, 实现了电机学实验的自动化和智能化, 为高校电机学教学实验的改进提供了新的思路。

关键词: 虚拟仪器; 电机学; 电机学实验; 互感器;

中图分类号: TP399

Electromechanical Experiment System based on Virtual Instrument

Xu Xun, Lei Yong

alex.xun.xu@hotmail.com

(School of Electrical Engineering, Sichuan University, Sichuan Chengdu610065)

ABSTRACT: Electrical Machinery is one of the important Special basis courses for students majoring in Electric. Electromechanical Experiment is the critical practical part of studying Electrical Machinery. This paper proposed a method to build an Electromechanical Experiment System based on Virtual Instrument by combining Virtual Instrument techniques and Digital Signal Processing techniques which is later realized and tested on Three-Phase Transformer. High voltage and heavy current are transformed into 0~5V tracking voltage signals by transformer in this system. These signals are then filtered, sampled, AD converted and sent to PC in which Digital signals are processed and displayed by NI LabVIEW 8.5. This System automates and intelligentizes Electromechanical Experiment procedure providing a new method for college Electromechanical Experiment improvement

Keywords: Virtual Instrument; Electrical Machinery; Electromechanical Experiment; Transformer;

“电机学”是电力类专业的一门重要专业基础课, 具有极强的理论和实践性, 电机学实验是学习和研究电机理论的重要实践环节。目前传统电机学实验通常要求实验者手动完成各电量指标的测量和计算, 存在着仪表读取误差、图表绘制精度不高、实验效率低等问题^[1]。NI LabVIEW系

列是目前业界使用最为广泛, 性能最为强大的图形化编程平台, 是虚拟仪器开发的首选工具。因此针对传统电机学实验的诸多不足, 结合虚拟仪器技术直观的图像化界面、强大的数学运算和便捷高效的数据采集功能, 本文提出了基于虚拟仪器的电机学实验系统。

电机学实验系统主要面向电力、自动化等电类专业进行教学配套实验、课程设计实验和电机学相关拓展应用。其配套实验对象主要包括直流电机、变压器、异步电机和同步电机 4 种电机学重点研究对象^[2]。

1 实验系统硬件结构

本文提出的电机学实验系统主要由三相电压、电流互感器、信号调理电路、数据采集设备和计算机终端程序四部分组成，如图 1 所示。三相交流电压、电流互感器分别将 0~500V 电压信号和 0~8A 电流信号线性转换为 6 路 0~5V 跟踪电压信号；六路信号进过信号调理电路进行抗混叠滤波和放大，消除高频噪声信号引起的频谱混叠现象；NI USB6210 数据采集器对信号调理电路输出的六路信号采样、AD 转换，通过 USB 总线将数据送入计算机；在计算机端，以 NI LabVIEW8.5 为平台，编写测量分析程序实现实时波形显示、基本量测量和电能质量指标的分析并记录采集波形数据。

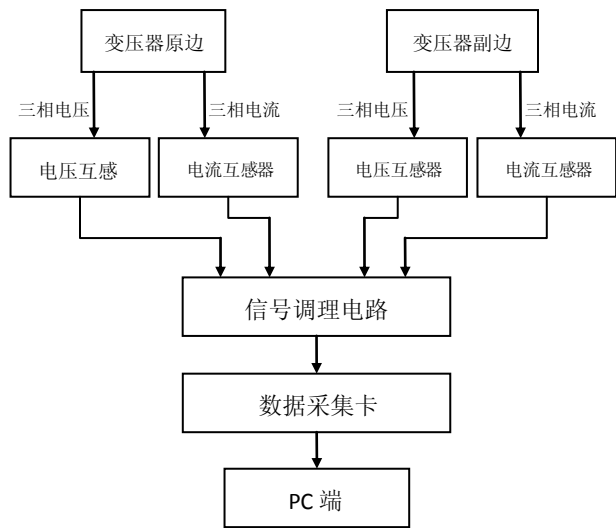


图 1 系统硬件结构

1.1 互感器

电压、电流互感器由公共铁芯和缠绕其上的两个相互间绝缘绕组组成，可将较大的交流电流转换成适于仪表测量的电流或电压信号。

本文选择了如表 1 所示的绵阳维博电子有限责任公司的 3 只 WBV1411U07 型单相电量隔离电压互感器和一只 WB3I411U37 型三相电量隔离电流互感器。单相电压互感器测试灵活，既可测线电压也可测相电压，但接线较为繁杂；三相电流互感器能同时测量三相电流。这两类传感器采用特制隔离模块，对电网和电路中的交流电流、电压进行实时测量，将其变换为标准的跟踪电压输出。具有高精度、高隔离、宽频响、低漂移、温度范围宽等特点。采用卡装式结构，结构紧凑，安装方便,适用于电力系统 3 相电路的实时检测。

表 1 互感器性能指标

类型	单相电压互感器	三相电流互感器
型号	WBV411U07	WB3I411U37
输入	AC 0-500V	AC 0-8A
输出	AC 0-5V	AC 0-5V
辅助电源	±12V	±12V
精确度级	0.1级	0.2级
响应时间	15us	15us

1.2 信号调理电路

信号调理电路主要用于对互感器输出的电压、电流跟踪信号进行抗混叠滤波。考虑到本系统在电力相关领域的拓展应用，根据国家电能质量标准对电力谐波测量仪器的规定,A级仪器分析范围在0~2500Hz之间，即基波的50次谐波。因此，本文设计的抗混叠滤波器应为截止频率在2500Hz附近的低通滤波器，同时还要保证滤波器幅频响应在通带内尽可能平坦，过度频带尽可能窄，阻带没有纹波。综合以上对抗混叠滤波器的几点要求，本文选择使用截止频率在2800Hz，品质因数Q=2.5的4阶Butterworth低通滤波器来实现抗混叠滤波功能，本文选用一块MAXIM275滤波芯片。MAXIM275集成了2个独立的2阶有源滤波器，中心频率在100Hz~300kHz间，谐波失真度小于-86dB，在全温度条件内，信噪比最大可达83dB。

图 2 所示为基于 MAXIM275 的 4 阶 Butterworth 低通滤波器电路图，各电阻阻值如表 2 所示。

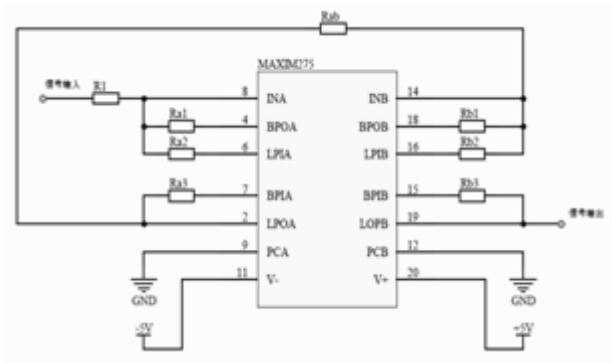


图2 Maxim275低通滤波器

表2 滤波器外接电阻值

R1	Ra1	Ra2	Ra3	Rab	Rb1	Rb2	Rb3
143	77.3	709	714	143	186.6	709	714
kΩ	kΩ	kΩ	kΩ	kΩ	kΩ	kΩ	kΩ

1.3数据采集设备

互感器转换后信号需被采样，转换为数字信号。为实现高精度、高采样率和方便编程，本文选用了NI USB6210数据采集器，对滤波后信号进行采样、AD转换，并通过USB总线将转换后数字信号传输到计算机。NI USB6210性能如下

- (1) 具有16路16位模拟输入端口，单路输入最大采样率可达250Ks/s
- (2) 拥有4路数字输入和4路数字输出

- (3) 两个32位计数器
- (4) 任意输入通道可编程

本系统主要使用了NI USB6210数据采集器的模拟输入端口，数据采集器对单通道输入模拟信号可以最大250kS/s的采样速率对其进行采样，当输入通道数n>1时，采集器可以将最大采样率平分给个通道，即此时每通道最大采样率为250/n kS/s。输入模拟信号可以差分、共地单端输入(RSE)和不共地单端输入(NRSE)三种方式连接到数据采集卡。在本系统中，共需采集六路信号，且每路信号都需以相同的采样率采样，因此最终选择了以RSE方式将电压、电流互感器输出信号连接至数据采集器

2 实验系统软件结构

2.1 实验系统功能模块

本系统采用模块化方式设计，可便于程序文件管理和添加拓展功能。如图 3 所示，根据电机学实验的基本要求，系统具备基本电量测量模块；在此基础上考虑到本实验系统在电机学相关拓展领域的应用，系统还拥有电能质量分析模块和实验报表模块。

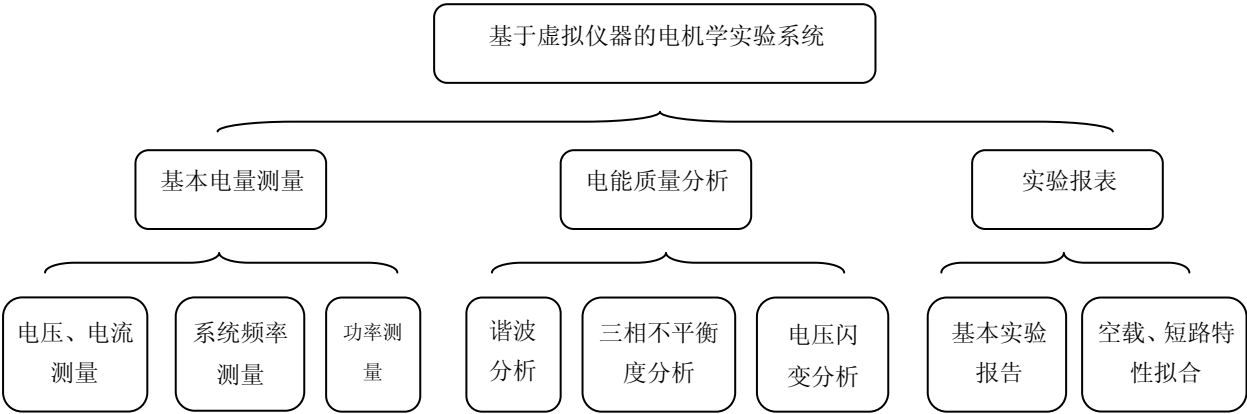
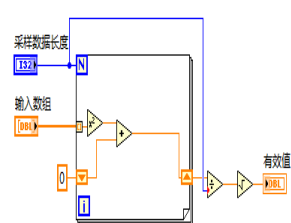


图 3 电机学实验系统软件结构

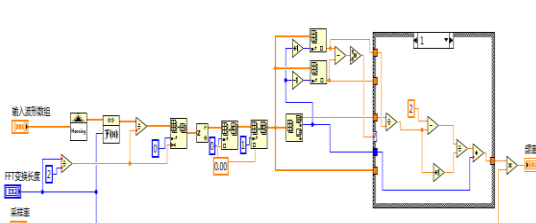
2.1.1 基本电量测量模块

基本电量测量模块是电机学实验系统的基础功能模块，为电机学实验的各项内容提供原始数据，其主要分为电压、电流测量、系统频率测量和功率测量三个子模块。

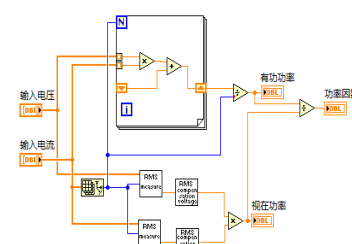
- (1) 电压、电流测量模块用于实现电压、电流有效值、峰峰值测量和波形实时显示，其



(a)有效值测量子模块



(b)频率测量子模块



(c)功率测量子模块

图 4 基本电量测量模块 LabVIEW 程序

- (3) 功率测量模块用于实现三相有功功率、视在功率和功率因数的测量，程序框图如图 4(c)所示。

2.1.2 电能质量分析模块

在基本电流测量功能基础上，为进一步拓展本系统的应用领域，为让学生对电机（变压器）运行状态有更为深入的了解，本系统增加了电能质量分析功能模块，其主要包括谐波分析、三相不平衡度分析和电压闪变分析三个子模块。

- (1) 谐波分析子模块以 NI LabVIEW8.5 提供的谐波分析 VI 为基础，能够实现对采样电压、电流信号分析到 50 次谐波，程序框图如图 5(a)所示。

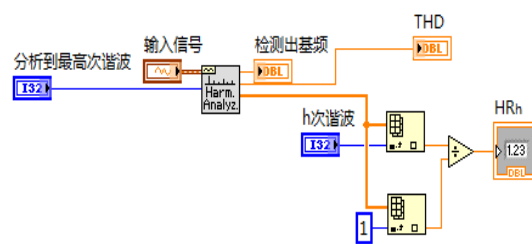
- (2) 三相不平衡度子模块按照自身定义，在 NI LabVIEW8.5 中嵌入 C 代码，将在图形化编程较为繁琐的数学运算以 C 代码形式表示，能够分别测量电压、电流三相不

中有效值的计算采用对数据采集设备采集的离散电压、电流信号求周期均方根的方式求取，程序框图如图 4(a)所示；峰峰值测量、波形实时显示采用 NI LabVIEW8.5 提供的 VI 子节点。

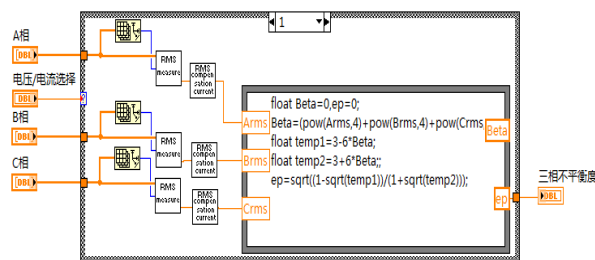
- (2) 系统频率测量模块主要实现电压、电流频率测量，以插值 FFT 改进算法进行计算，程序框图如图 4(b)所示^[3]。

平衡度，程序框图如图 5(b)所示

- (3) 电压闪变分析子模块实现了将电压波动换算成以人眼对灯光照度波动的主观感觉来度量的功能^[4]。



(a)谐波分析子模块



(b)三相不平衡分析子模块

图 5 电能质量分析模块 LabVIEW 程序

2.1.3 实验报表模块

实验报表模块用于实现电机学实验报告的自动生成和拟合电机空载、短路特性，其主要包括基本实验报告生成和空载、短路特性拟合两个字模块

- (1) 基本实验报告生成模块将实验过程中测量得到的各项数据自动填入到指定的实验报告模板中,实验报告模板通常以 word 或 excel 文档形式存储。
- (2) 空载、短路特性曲线拟合模块将电机空载或堵转运行时不同电压、电流拟合成空载、短路特性曲线^[5]。

3.2 用户界面设计

用户界面是实验者与实验过程交互的重要接口，是本系统设计的关键部分。NI LabVIEW8.5 提供了丰富的图形化控件用以美化系统前面板，包括波形图显示、数值显示与输入、文本显示与输入、表格显示与输入等，为实现操作简便、直观的测量系统前面板提供了强有力的工具。根据本系统的设计功能模块，最终本文选择了以选项卡的形式作为客户端基本界面，其中选项卡包含了基本设定、基本电量测量、电能质量分析和实验报表四个个子选项^[6]。

4 三相变压器平台测试结果

本文选用了四川大学电气信息学院电机实验室的三相变压器作为电机学实验系统的测试平台以三相市电作为变压器输入。变压器参数如表 3 所示

表 3 三相变压器参数

名称	参数
磁路系统	三相组式
联接组	Y/Y
额定视在功率	3kVA
电压额定变比	V1N/V2N=380V/190V

电流额定变比

I1N/I2N=4.5A/9.1A

从图 6 中可读出变压器原边 A 相电压有效值为 221V，系统频率为 50Hz，基本达到了设计要求。

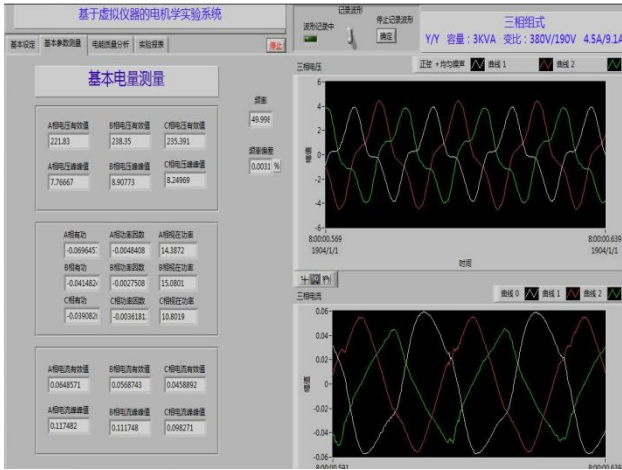


图 6 电机学实验系统前面板

同时通过实时显示的波形可以看出，由于变压器空载运行，主磁通 ϕ 饱和后为保证主磁通按正弦波形变化，激磁电流波形将会畸变为尖顶波。将激磁电流波形按傅里叶级数可分解为基波、3 次谐波、5 次谐波等奇次谐波。

参考文献

[1] 苏翼德. 电机学实验指导书 [M]. 四川大学水电学院，电气信息学院，2005.4 : 1-2

[2] 谢应璞. 电机学 [M]. 第一版. 成都: 四川大学出版社，1994.12

[3] 祁才君. 应用插值 FFT 算法精确估计电网谐波参数 [J]. 浙江大学学报(工学版)，2003.1 : 113-115

[4] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 第一版. 北京: 中国电力出版社，2004.2

[5] 孙丽玲,叶东. 计算机处理同步发电机的运行特性与参数 [J]. 电机技术，1996(2)

[6] 丁筱玲,赵立新,黄在范. LabVIEW 软件在电机学实验课程中的应用 [J]. 实验室科学，2010.4，第 13 卷第 2 期 : 106-108

作者简介：徐迅(1988-), 男, 四川绵阳人, 硕士研究生, 研究方向为复杂系统建模及虚拟仪器技术的应用