

基于 LabVIEW 伏安型电子舌系统 激励信号源的设计与实现

于亚萍¹, 康冠鹏¹, 赵 辉^{1,2}, 王志斌¹, 李留安³

(1. 天津农学院 工程技术学院, 天津 300384; 2. 天津大学 电气与自动化工程学院, 天津 300072;

3. 天津农学院 动物科学与动物医学学院, 天津 300384)

摘要: 伏安型电子舌系统最大优点是测量方法的多样性, 它主要靠激励信号的多样性来实现; 但是伏安型电子舌系统所需的大部分激励信号在电化学工作站中无法实现; 文章利用虚拟仪器技术, 采用数据采集卡 USB-6008 结合 LabVIEW 软件, 针对伏安型电子舌系统的需求, 设计一种多功能的激励信号发生器, 主要实现了电压范围 0~0.5 V, 步进电压 0.1 V, 频率分别为 1 Hz、10 Hz 和 100 Hz 的复频调幅脉冲; 电压范围 0~0.8 V, 步进为 0.1 V 的大幅脉冲、小幅脉冲、阶梯波脉冲和电压范围为 0~1.2 V 的三角波; 详细论述了不同波形产生和实现过程; 测试结果显示: 该激励信号发生器产生的波形稳定, 方式灵活, 适应于便携式伏安型电子舌测试系统。

关键词: 虚拟仪器技术; USB-6008; 激励信号; 复频调幅脉冲; 三角波

Design and Realization of Excitation Signal Source in Voltammetric Electronic Tongue System Based on LabVIEW

Yu Yaping¹, Kang Guanpeng¹, Zhao Hui^{1,2}, Wang Zhibin¹, Li Liuan³

(1. College of Engineering and Technology, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China;

2. School of Electrical Engineering & Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

3. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

Abstract: One of main advantages of voltammetric electronic tongue system is the diversity of measurement method, which depends on the multiple excitation signals. Most test excitation signals used in voltammetric electronic tongue system can not be implemented in an electrochemical workstation. In this paper, by using virtual instrument technology, USB-6008 data acquisition card is adopted combining with LabVIEW software to design a versatile excitation signal generator. Multi-frequency multi-amplitude pulse with the voltage range of 0~0.5 V, step voltage of 0.1 V, and frequency of 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz; large amplitude pulse voltammetry, small amplitude pulse voltammetry, staircase pulse, with the same voltage range 0~0.8 V, step voltage of 0.1 V; and triangle voltammetry of voltage range 0~1.2 V are realized and the design processes of different waveforms are discussed in detail. The results show these waveforms are stable and flexible, which is suitable for voltammetric electronic tongue system.

Keywords: virtual instrument; USB-6008; excitation signal; multi-frequency multi-amplitude pulse; triangular wave

0 引言

伏安型电子舌是在工作电极和参比电极之间加一个激励信号, 记录工作电极和辅助电极之间产生的电流响应, 把响应的电流值作为待分析数据, 并结合多变量分析技术对样品进行定性、定量判别的系统^[1]。伏安型电子舌不仅具有敏感性高、简易性和鲁棒性强的优点, 而且它可以通过使用不同方式激励电压信号获得更多的样品信息。目前, 可以进行伏安测试的商业化仪器有电化学工作站, 但是, 电化学工作站

存在如下问题: (1) 设备功能繁多, 价格昂贵, 伏安法测量仅是其一小部分功能; (2) 伏安型电子舌测量和电化学测量的区别在于伏安型电子舌按照一定的时间间隔进行信息的提取, 而电化学方法仅提取脉冲结束时所产生的法拉第电流^[2]; (3) 有一些在伏安型电子舌测试中常用的波形, 电化学工作站不具备这些功能, 如复频调幅脉冲、大幅脉冲和小幅脉冲等。针对以上问题, 利用“软件即是仪器”的虚拟仪器的核心概念^[3]。本文采用数据采集卡 USB-6008 结合虚拟仪器技术, 设计一种激励信号发生器^[4], 主要实现复频调幅脉冲、大幅脉冲^[5]、小幅脉冲、三角波^[6]、阶梯波脉冲等信号, 这些信号中大部分激励信号是伏安型电子舌测试系统中常用而在电化学工作站中无法实现的。

LabVIEW 是一种基于图形化的虚拟仪器编程语言, 在测试与测量^[7]、数据采集^[8]、仪器控制^[9]、数字信号分析和工业自动化^[10]等领域获得了广泛的应用; 而 USB 技术具有即插即用、速度快和自动检测的优点。因此, 本设计通过在上位机对波形、幅值、频率等参数的设计, 通过 USB-6008 将信号输

收稿日期: 2015-07-22; 修回日期: 2015-09-16。

基金项目: 天津市大学生创新创业训练计划项目(201510061093); 天津市自然科学基金项目(14JCYBJC30400)。

作者简介: 于亚萍(1979-), 女, 河南禹州人, 副教授, 在读博士, 主要从事控制科学与工程方向的研究。

通讯作者: 赵 辉(1963-), 男, 天津人, 教授, 博士生导师, 主要从事控制科学与工程领域方向的研究。

送出去。该激励信号系统设计灵活, 而且波形多样化, 适合应用于进行便携式伏安型电子舌测试系统。

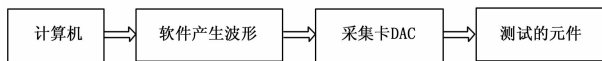


图 1 信号发生器硬件系统框图

1 系统设计

计算机在软件平台 LabVIEW 上实现对虚拟信号数据的产生, 程序里的虚拟信号通过数据采集卡变成物理信号, 进而应用于测试的元件, 如图 1 所示。本系统采用的数据采集卡为 USB-6008, 数据采集卡的各种参数如虚拟通道的选择、采样频率、触发设置等均有由 DAQmx 控制。本系统的重点在于根据自己的实际需要进行不同方式的波形设计及参数的确定。

2 波形信号模型的构建

2.1 脉冲波形

伏安型电子舌常用的脉冲激励信号有大幅脉冲、小幅脉冲、阶梯波和复频调幅脉冲, 如图 2 所示。复频调幅脉冲法是在调幅脉冲法的基础上提出来的^[11]。本设计中复频调幅脉冲电压范围设定为 0~0.5 V, 步进为 0.1 V, 设置 3 个扫描频率: 1 Hz、10 Hz 和 100 Hz; 大幅脉冲、小幅脉冲、阶梯波脉冲电压范围 0~0.8 V, 步进为 0.1 V, 具体的波形如图 2 所示。

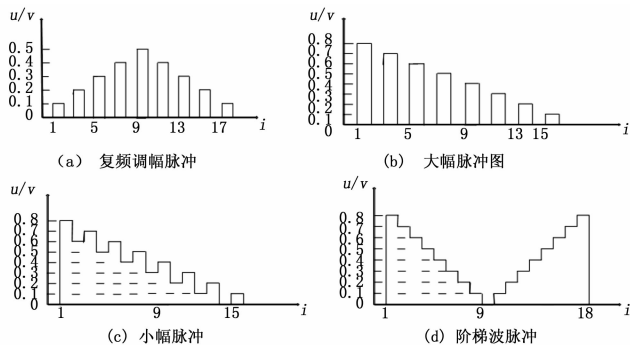


图 2 脉冲波形图

产生上述几种波形信号的数学模型是相同的, 为:

$$u = U_M \text{MOD}(i/N) \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

其中: U_M 是电压变量, 根据需求对激励信号的多个电压幅值取值; N 是同一频率下一个信号周期电压变换值的个数, 不同的波形对 N 设定的值不同, 在本设计中, 复频调幅脉冲 N 取值为 18; 大幅脉冲 N 取值为 16; 小幅脉冲 N 取值为 16; 阶梯波脉冲 N 取值为 18, 其频率由软件定时时间决定。

2.2 三角波的数学模型

三角波用于循环伏安法测定的激励信号波形, 设每个周期的数据点数为 N 个, 三角波上升阶段的采样点数为 $N/2$ 个^[12-14], 波形如图 3 所示。

产生三角波信号的数学模型为:

$$u = \begin{cases} \frac{U}{N} \text{MOD}(i/N) & (i = 0, 1, 2, \dots, n) \\ -2 \frac{U}{N} \text{MOD}(i/N) + 2U & \end{cases} \quad (2)$$

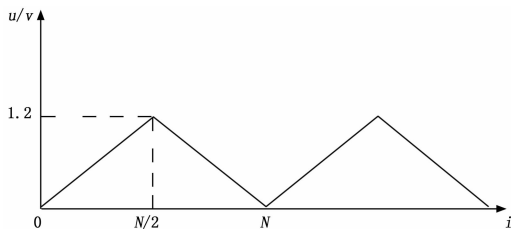


图 3 三角波形图

其中: U 是三角波的幅值, 本设计中设定为 1.2 V, 当扫描频率为 50 mV/s 时, N 取 480, 其中通过设定 N 值的大小更改扫描频率。

3 系统的程序设计

由于 USB-6008 是 NI 公司生产的 USB 接口数据采集卡, 故在使用 LabVIEW 进行程序设计时可以不考虑硬件的底层驱动问题^[15]。主要部分是程序框图的设计, 首先创建虚拟通道, 根据输出波形的类型来设置物理通道的性质, 可以设置波形的一些基本参数^[16]; 这里详细介绍复频调幅脉冲和三角波, 其余的方法类似, 不同波形设计方法采用上述提到的数学模型。

3.1 复频调幅脉冲设计

复频调幅脉冲程序流程图如图 4 所示。

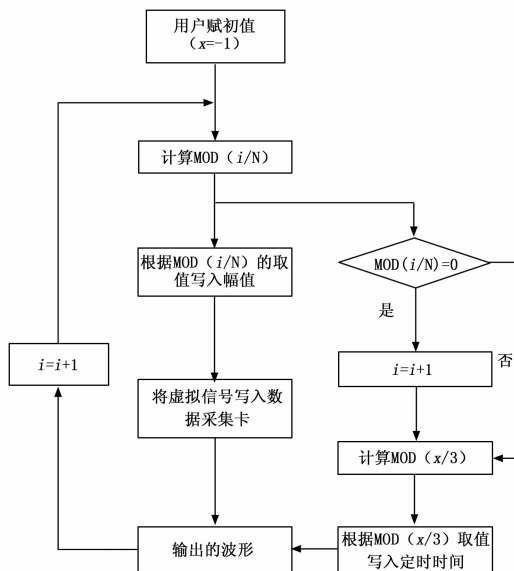


图 4 复频调幅脉冲流程图

图 4 根据复频调幅脉冲的数学模型, 同时进行输出电压幅值和频率的选择。利用 while 循环内变量 i 的不断增长, 对一个周期的电压改变次数 N 进行取余, 即 $\text{MOD}(i/N)$, 利用取余后的结果对每个周期的电压值进行选择, 然后将幅值输出到采集卡; 同时, 取余的结果 $\text{MOD}(i/N)$ 每一次取 0 的时候, 一个频率信号结束, 对变量 $x+1$, 根据 x 的值可区分是复频调幅脉冲的第几个频率信号, x 对 3 取余的结果对应于 3 种定时时间, 分别对应于 1 Hz、10 Hz 和 100 Hz 的信号频率, 当取余结果不为 0 时, 利用上一次的 $\text{MOD}(x/3)$ 所选择的定时时间输出, 这样就可连续输出 3 种不同频率的复频调幅脉冲波形。

其具体的程序框图如图 5。主要由取余、分支和延时程序组成；波形图输出时，需要加上动态数据转换，将变量转化为一维数组，程序中注意局部变量的应用。

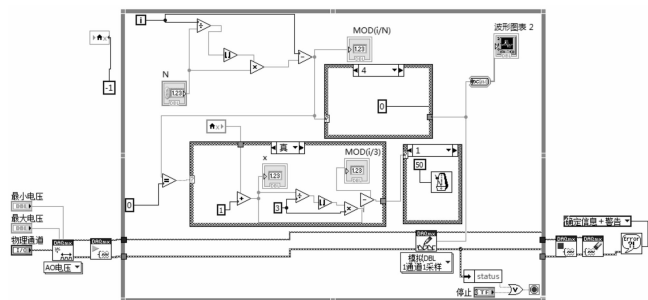


图 5 复频调幅脉冲程序框图

3.2 三角波设计

三角波的程序流程图如图 6 所示。

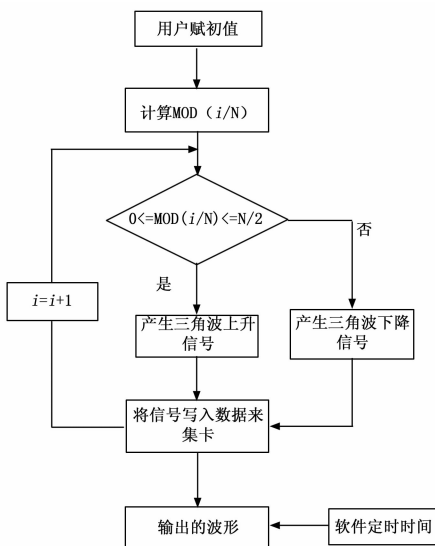


图 6 三角波流程图

图 6 根据三角波信号的数学模型产生三角波信号，首先，对三角波周期采样点数 N 进行取余，即 $MOD(i/N)$ ，若 $0 \leq MOD(i/N) \leq N/2$ ，产生三角波的上升信号，若大于 $N/2$ 将产生三角波的下降信号。设置模拟信号的通道数及采样数，这里采用模拟波形 1 通道 1 采样，然后运行，可根据实验对波形周期的需求控制程序循环次数。其具体的程序框图如图 7 所示。

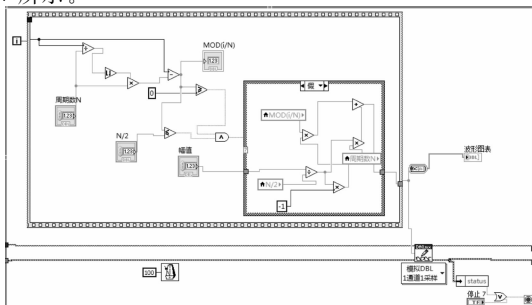


图 7 三角波程序框图

4 系统的前面板设计

前面板是用户操作界面，由输入控件和显示控件组成，用以设置控制参数并观察输出量。本系统的前面板主要由以下部分组成：信号的幅值；波形的显示部分；各个波形类型的选择等；系统的前面板如图 8 所示。

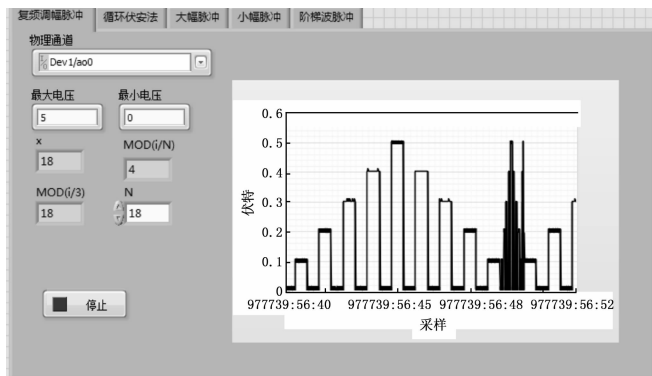


图 8 程序的前面板

在图 8 中，可根据选项卡选择所需输出的波形，只需在每一个选项卡上输入各个波形的参数，如幅值，数据采集卡的参数等。

5 测试的结果与分析

根据以上的设计，成功的实现了伏安型电子舌系统激励信号源，示波器采集的波形如图 9 所示。

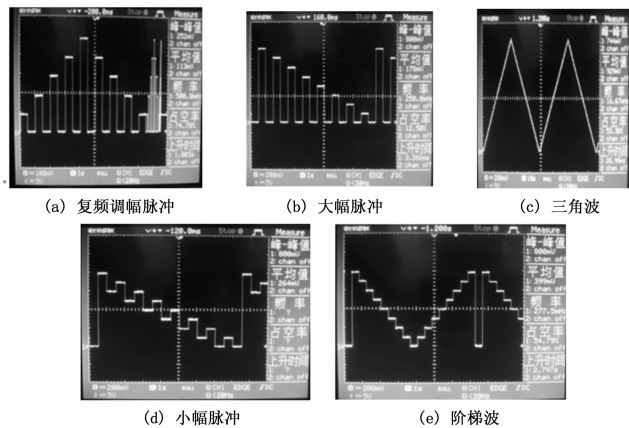


图 9 波形测试结果

以大幅脉冲波形为例 测量产生波形频率准确度，如表 1 所示。从表中看出信号频率最大误差为 0.2%，可以满足设计要求。

表 1 设定频率、实测频率与频率误差

参数	频率 Hz		
设定频率	1	10	100
实测频率	1	9.98	99.9
频率误差	0%	0.2%	0.1%

从上述的图形可以看到伏安型电子舌激励信号源实现了这几种常用的波形。信号的幅值，频率都可以根据参数进行改变，且信号频率动态范围幅值也可调，灵活性较高，能够满足

伏安型电子舌的测试与开发的需要。本系统采用数据采集卡 USB-6008, 它具有软件定时功能, 输出的频率由表 1 可以看出非常精确。

6 结论

本文从设计伏安型电子舌扫描电压的实际需求出发, 采用 LabVIEW 软件设计了基于 USB-6008 的便携、易用的伏安型电子舌的激励信号源, 主要利用了 LabVIEW 软件开发工具设计了波形的应用程序, 设计实现了复频调幅脉冲, 其电压范围 $0 \sim 0.5$ V, 步进电压 0.1 V, 频率分别为 1 Hz、10 Hz 和 100 Hz; 电压范围 $0 \sim 0.8$ V, 步进为 0.1 V 的大幅脉冲、小幅脉冲、阶梯波脉冲和电压范围为 $0 \sim 1.2$ V 的三角波。该信号源准确, 设计方式灵活, 并且能在此基础上扩展其它需要的波形信号。

参考文献:

- [1] Winquist F. Voltammetric electronic tongues - basic principles and applications [J]. *Microchimica Acta*, 2008, 163 (1-2): 3-10.
- [2] Patrik Ivarsson, Susanne Holmin, Nils-Erik Hojer, Christina Krantz-Rülcker, Fredrik Winquist. Discrimination of tea by means of a voltammetric electronic tongue and different applied waveforms [J]. *Sensors and Actuators B*, 2001, 76: 449-454.
- [3] 刘君华. 基于 LabVIEW 的虚拟仪器设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [4] National Instruments. NI USB-6008 User Guide and Specifications [Z]. National Instruments Corporation, 2008.
- [5] Arunangshu Ghosh, Bipan Tudu, Pradip Tamuly, Nabarun Bhattacharyya, Rajib Bandyopadhyay. Prediction of the aflavin and the

arubigin content in black tea using a voltammetric electronic tongue [J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2012, 116: 57-66.

- [6] Kamalika Tiwari, Bipan Tudu, Rajib Bandyopadhyay, Anutosh Chatterjee. Identification of monofloral honey using voltammetric electronic tongue [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 117: 205-210.
- [7] 张俊红, 马文朋, 李林洁, 等. 航空发动机故障诊断系统设计与实现 [J]. *计算机工程与应用*, 2014, 50 (16): 232-236.
- [8] 李琳芳, 贾芸芳, 李国厚. 基于 LabVIEW 的数据采集与处理系统设计 [J]. *河南科技学院学报 (自然科学版)*, 2015, 2: 012.
- [9] 寇雪芹, 谷立臣, 闫小乐, 等. 基于虚拟仪器的超声信号测量及测距研究 [J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48 (6): 17-20.
- [10] 刘荣荣. 基于 LabVIEW 的自动锯床位置控制系统的设计 [J]. *工业仪表与自动化装置*, 2014 (6): 34-36.
- [11] 韦真博. 伏安型电子舌的研发及其在食品检测中的应用 [D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [12] 戴成梅, 戴成建, 周启龙. 基于 LabVIEW 多功能信号发生器的设计与实现 [J]. *国外电子测量技术*, 2010, (6): 57-61.
- [13] 赵江滨, 刘世元, 胡友民, 等. 组件化虚拟仪器软件系统性能研究 [J]. *仪器仪表学报*, 2009, 30 (10): 2131-2138.
- [14] 赵立新, 郭利强, 盛振旗. 信号发生器中的宽带调频技术研究 [J]. *国外电子测量技术*, 2009, 28 (5): 35-57.
- [15] 廖传书, 黄道斌, 孙旦均, 等. LabVIEW 与 USB 的直接数据通信 [J]. *现代电子技术*, 2007, 20 (259): 4-6.
- [16] 李良华, 王洪亮, 王洪雷. 基于 LabVIEW 虚拟信号发生器的研究与实现 [J]. *计算机测量与控制*, 2009, 17 (9): 1866-1868.

(上接第 323 页)

同时能够为该系统的进一步应用提供技术基础, 比如用于数控机床中, 通过一些技术改良就能够让该系统与数控系统对接, 从而降低数控系统的研发难度和成本。

2) 利用先进的 USB3.0 外围电路模块实现了高速实时测量, 做到了数据畅通无阻地进行传输, 并且为以后更高速测量提供技术手段。

3) 利用脉冲计数原理可以切实有效地解决现阶段任意传动比的传动误差测量的问题。从而使得在齿轮加工制造机床领域内有了一种能够保证其加工精度的有力手段。

参考文献:

- [1] Astoul J, Mermoz E, Sartor M, et al. CIRP Annals - Manufacturing Technology. New methodology to reduce the transmission error of the spiral bevel [J]. *Gears*, 2014, 63: 165-168.
- [2] 吴元艳. 精密传动链动态精度检测与分析系统的研制 [D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
- [3] 孙麟治, 张鄂, 赵明晶, 等. 小模数精密齿轮传动设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- [4] Chiu Hua, Umezaki Yoji. Improvement of Gear Accuracy in Ho-

hging [J]. *Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineering*, 1988, 54 (503): 1515-1523.

- [5] 彭东林, 张光辉. 传动误差测试系统 FMT [J]. *制造机床与技术*, 1996, 5: 32-35.
- [6] 彭东林, 刘成康, 谭为民. 时空坐标转换理论与时栅位移传感器研究 [J]. *仪器仪表学报*, 2000, 21 (4): 338-342.
- [7] 彭东林. 时栅位移传感器与新型机床动态检测系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [8] 彭东林, 刘小康, 谭红民. 时空坐标转换理论与时栅位移传感器研究 [J]. *仪器仪表学报*, 2000, 4 (3): 340-342.
- [9] 高忠华, 陈锡侯, 杨继森, 等. 直线时栅传感器全误差模型和误差修正方法研究 [J]. *传感器与微系统*, 2012, 31 (8): 87-89.
- [10] Cypress Semiconductor Corporation. CYUSB30 14 EZ - USB FX3 super speed USB controller data sheet [Z].
- [11] Cypress Semiconductor Corporation. GPIF II designer 1.0 [EB/OL].
- [12] Cypress Semiconductor Corporation. Universal serial bus USB3.0 specification revision 1.0 [Z].
- [13] 袁文波, 张皓, 唐振中. FPGA 应用开发 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.