

用 NI 虚拟仪器提升电工实验教学水平

作者：时秋兰 赵伟 侯国屏

职务：研究生 博导 副教授

单位：清华大学电机系

应用领域： 院校

挑战： 引入虚拟仪器技术，改革传统电工实验教学

应用方案： 利用 NI 公司的 LabVIEW 虚拟仪器软件开发平台和 MIO-16E-4、PCI-6024E 等 DAQ 硬件板卡，开发出一系列电工实验用虚拟仪器，替代传统的电工实验仪器，成功改造实验内容，明显提升实验教学水平。

使用的产品： LabVIEW ; MIO-16E-4; PCI-6024E

介绍

目前，在中国许多高等院校中使用的教学实验仪器，仍大多为已相当落后的传统仪器。随着科学技术的不断发展以及相应学科高等教育课程教学内容的更新，传统仪器日益暴露出一些缺陷和不足。为了改善实验条件、改革实验教学方法、更新实验教学内容、提高实验教学课程的开设水平，把虚拟仪器引入实验教学已成为一种必然趋势。

实际的应用与开发

利用美国国家仪器公司的 LabVIEW 虚拟仪器开发平台和 MIO-16E-4、PCI-6024E 等 DAQ 功能板卡，清华大学电机系开发出了“虚拟频率相位计”、“电路过渡过程分析仪”、“X-Y 坐标图示仪”等多种电工实验教学用虚拟仪器，并在此基础上新排出了“正弦信号频率、相位的测量”、“电路过渡过程的研究”等一系列电工教学实验。

基于 LabVIEW 等所设计开发出

的虚拟仪器，不仅具有强大的数据运算和处理功能，而且仪器界面也可以做得非常友好和美观，能够集信号发生、数据采集、波形显示、数据处理和结果输出等多种功能于一身，替代了实验室中电压表、电流表和示波器等多种传统的功能单一的仪器设备，并使实验过程得到相当程度的简化，切实提高了电工实验教学水平。

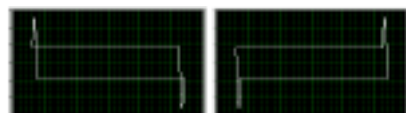
本文着重介绍上述三种虚拟仪器的设计原理及其测量实例。

虚拟频率相位计

用示波器观察并测量两同频正弦信号相位差的实验方法，除了波形比较法和利萨如图形法外，还有改进的利萨如图形法。后者的测量原理是：正弦电压信号 $u_1(t)=U_{1m}\sin(\omega t)$ 经过零比较器转换为方波信号，作为示波器 X 通道的输入，另一电压 $u_2(t)=U_{2m}\sin(\omega t+\theta)$ 则直接加到示波器 Y 通道，结果，在示波器屏幕上便可得到对应于不同相位差的特征图形。实际中若采用由运算放大器构成的鉴相器，则受其特性的局限，方波信号并不理想，于是，特征图形水平线段部分与纵向线段部分出现有交叉或无交叉的特征，如图 1 所示。



(a) θ 在第一象限 (b) θ 在第二象限



(c) θ 在第三象限 (d) θ 在第四象限

图 1 改进利萨如图特征图

根据数学原理，从所得特征图上可以读出电压 $u_2(t)$ 的峰值 U_{2m} 及两水平线段间的距离 $l=2U_{2m}\sin\theta$ ，再进行反正弦变换算出 θ ，并根据图形的特征判断出其所在的象限（见图 1）。

按上述相位测量方法，我们利用 LabVIEW 的图形显示和频率分析等模块设计出了实验用的虚拟频率相位计。该虚拟仪器通过对采集的离散被测正弦信号做 DFT 变换，求出信号频率 f ，并用软件算法代替实际的鉴相器对 $u_1(t)$ 的采样进行过零点鉴相，所得方波作 X 输入，将 $u_2(t)$ 的采样作 Y 输入。

实例 1: $f=50\text{Hz}$ 、 $\theta=30^\circ$ 条件下的测量结果如图 2 所示。

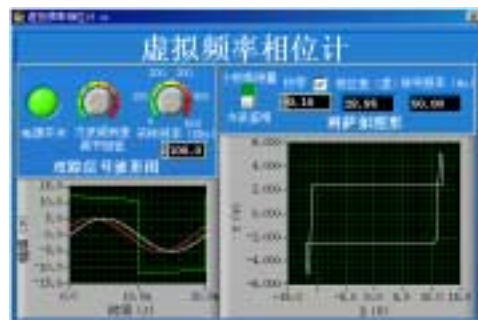


图 2 $\theta=30^\circ$ 时的测量结果

为测量小相差，可以采取和差测量法，具体原理简介如下：将 $u_1(t)=U_{1m}\sin(\omega t)$ 、 $u_2(t)=U_{2m}\sin(\omega t+\theta)$ 做归一化处理，使 $U_{1m}=U_{2m}=U_m$ ，两信号作减法运算，得到

$$\begin{aligned} u(t) &= u_2(t) - u_1(t) \\ &= U_{2m}\sin(\omega t + \theta) - U_{1m}\sin(\omega t) \\ &= 2U_m \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\theta}{2}\right) \end{aligned}$$

(公式 1)

当 θ 很小时, 有

$$\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \approx \frac{\theta}{2}, \quad \cos\left(\omega t + \frac{\theta}{2}\right) \approx \cos(\omega t)$$

此情况下, (公式 1) 可改写为 $u(t) = U_m \theta \cos(\omega t)$

(公式 2)

将 $u_1(t)$ 的采样加到 X 通道, $u_2(t)$ 的采样加到 Y 通道, 同时将测量方式设置为“小相角测量”, 在虚拟频率相位计的软面板上便可得到一水平的椭圆特征图, 其短半轴为 $Y_m = U_m \theta$, 长半轴为

$$X_m = U_m, \quad \text{所以, } \theta = \frac{Y_m}{X_m} \quad (\text{弧度}).$$

若以 ($^\circ$) 为单位,

$$\text{则 } \theta = 57.3^\circ \frac{Y_m}{X_m} \quad (\text{公式 3})$$

实例 2: 对相位差 $\theta=2^\circ$ 的两工频正弦信号进行小相角测量时, 测量结果和椭圆特征图如图 3 所示。

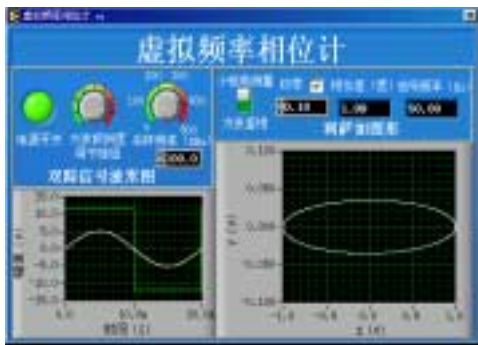


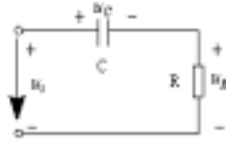
图 3 $\theta=2^\circ$ 的测量结果

电路过渡过程分析仪

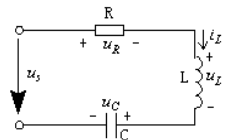
在“电路过渡过程的研究”实验中, 为测量、观察图 4 所示一阶 RC 和二阶 RLC 两实验电路的动态特性, 利用虚拟函数发生器产生频率、幅值和占空比均连续可调的方波信号, 以其作为电路的电压源。操纵“电路过渡过程分析仪”, 通过程序内部设定的算法自动计算并显示出测量结果和特性曲线; 而且还可通过移动游标来读取波形曲线上任意点的幅值及其所对

应的时刻。

RC 电路的时间常数 τ 可以在电压波形图上直接读出来, $0.368U_m$ 所对应的时间即为 τ 。



(a) 一阶 RC 电路



(b) 二阶 RLC 电路

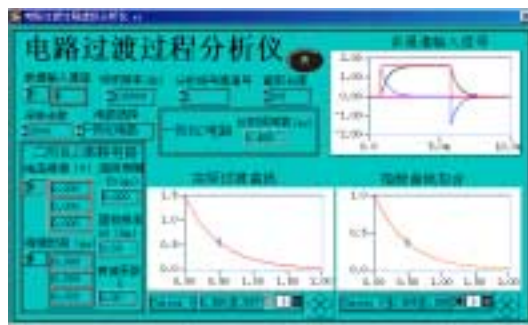
图 4 实验分析电路

RLC 串联电路的固有周期 T_0 与衰减系数 δ 也可由波形的相邻峰值计算出来, 计算公式为:

$$T_0 = t_2 - t_1, \quad \delta = \frac{1}{T_0} \ln \frac{U_{m1}}{U_{m2}}$$

(公式 4)

实例 3: 对于图 4 (a) 所示一阶 RC 电路, 选取 $R=500 \Omega$, $C=1 \mu F$, 施加 $T=10\text{ms}$ 的方波电压源, 以电阻电压为被测对象, 测量结果如图 5 所示,



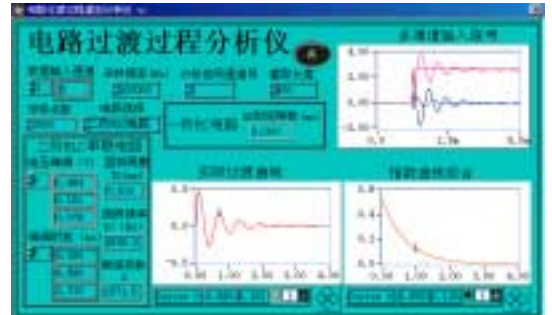
测得时间常数 τ 的值为 0.495ms 。

图 5 一阶 RC 电路的测量结果

实例 4: 对于图 4 (b) 所示的二阶 RLC 串联电路, 选取 $R=100 \Omega$ 、 $L=100\text{mH}$ 、 $C=0.1 \mu F$ (这里所给参数均为标称值), 在虚拟“电路

过渡过程分析仪”上, 将“电路选择”改为“二阶 RLC 电路”, 观察电压 u_R 、 u_L 和 u_C 的波形以及 u_R 的动态变化曲线, 如图 6 所示。

虚拟“电路过渡过程分析仪”在给出计算结果 $T_0=0.610\text{ms}$, $f_0=1639.3\text{Hz}$, $\delta=1571.6$ 的同时, 还能提供电压波形前三个峰值的大小

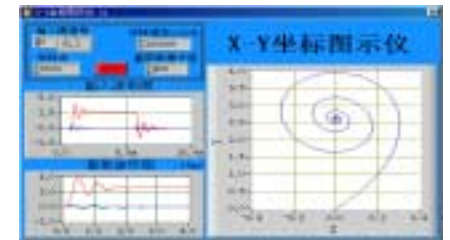


和相应时刻。实验者也可以利用这些数据计算出 T_0 、 f_0 和 δ 。

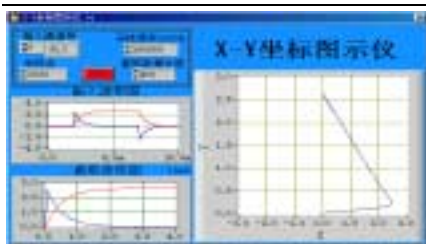
图 6 二阶 RLC 电路的测量结果

X-Y 坐标图示仪

在线性 RLC 电路中, 电感电流 i_L 和电容电压 u_C 都不会发生突变, 故常被选为分析电路动态过程的状态变量。在过去, 学生无法利用实验条件构建反映电路动态过程的状态图。而当改用虚拟仪器进行实验后, 在仪器软面板上可以很方便地显示出电路状态的变化趋势。



(a) 欠阻尼情况



(b) 过阻尼情况

图7 $i_L \sim u_C$ 状态图

在实验中，调用虚拟“X-Y坐标图示意图”，其输入通道一（X坐标）采集电阻电压 u_R ，以其代表电感电流 i_L （因为两者成线性关系）；输入通道二（Y坐标）采集电容电压 u_C 。对信号进行适当截取，使之在一个完整的过渡过程内（如方波的正半周期），仪表即可给出电路的 $i_L \sim u_C$ 状态图。图7给出了实验电路出现欠阻尼和过阻尼两种过渡过程情况时对应的 $i_L \sim u_C$ 状态图。

在实际采集信号时，由于存在电磁干扰和 A/D 转换量化误差及其它原因，进入虚拟仪器的测量信号总会含有噪声，它将不同程度地影响实验测量结果的准确度。因此，在对被测信号进行分析和处理时，要根据不同情况采取相应的方法，以尽可能消除噪声等不利影响。NI 公司的 LabVIEW 提供了丰富的信号处理模块，如 Filters、Windows 等等，利用这些模块，我们可以很方便地对采集进来的数据做适当的处理，以使测量结果更为准确。

结论

清华大学电机系的电工教学实验改革实践表明，将 NI 的虚拟仪器技术引入实验教学，不仅可以更新实验设备、降低实验仪器设备购置费用，还可减小实验测量过程中的人为误差，提高实验测量的准确度；并且，在激发学生自主学习的积极性、促进学生动手实践和增

强创新意识等方面，也收到了良好的教学效果。

采用 NI 公司的 LabVIEW 等作为虚拟仪器开发平台，大大简化了微机化仪器的开发过程，明显缩短了开发周期，而且，在系统改进和维护上，也更加容易了。