基于多功能示波器的工科基础实验教学改革

林　飞

（西南财经大学计算机与人工智能学院，成都 611130）

摘　要：针对计算机类专业工科基础实验中示波器功能单一、仪器配置不统一以及实验教学与设备管理效率低等问题，引入多功能示波器开展实验教学改革。以3个典型实验项目（单管放大电路、声速测量和电激励磁悬浮PID控制）为例，通过整合信号发生、波形观测、李萨如图分析及多维度光标测量等功能，对传统实验仪器配置和实验操作过程进行优化。实践表明，应用多功能示波器能够减少实验仪器种类，在简化实验操作与数据测量过程的同时，提高实验设备利用率和实验教学效率，帮助学生将更多精力投入到实验现象分析与参数调试中。

关键词：多功能示波器；工科基础实验；教学改革

中图分类号：G642　　**文献标识码：**A

Reform of engineering basic experiment teaching based on multifunctional oscilloscope

LIN Fei

（School of Computing and Artificial Intelligence，Southwestern University of Finance and Economics，Chengdu 611130，China）

Abstract：To address the problems of relatively limited oscilloscope functions，inconsistent instrument configurations，and low efficiency in experimental teaching and equipment management in engineering basic experiments for computer-related majors，a multifunctional oscilloscope was introduced to reform experimental teaching. Taking three typical experimental projects，namely single-transistor amplifier circuit，sound velocity measurement，and electrically excited magnetic levitation PID control，as examples，the traditional experimental instrument configuration and operating procedures were optimized by integrating functions such as signal generation，waveform observation，Lissajous figure analysis，and multidimensional cursor measurement. The practical results show that the application of multifunctional oscilloscopes can reduce the types of experimental instruments，simplify experimental operations and data measurement procedures，improve equipment utilization and experimental teaching efficiency，and enable students to devote more attention to experimental phenomenon analysis and parameter adjustment.

Key words：multifunctional oscilloscope，engineering basic experiment，teaching reform

1　引言

示波器是计算机类工科基础实验教学中常用的测试仪器，不仅支持定性观察电路或元件中的周期信号，还支持定量测量电压、周期、波形宽度以及上升和下降时间等参数[1]。目前，多数高校实验室已逐步采用数字示波器替代传统模拟示波器，但在实际教学中，其数字化、智能化和高集成度优势尚未得到充分发挥[2]。同时，不同实验课程使用的仪器种类和操作方式并不统一，学生往往需要重新熟悉仪器操作，设备配置和日常管理事务也较为烦琐[3]。

自2023年起，西南财经大学计算机与人工智能学院整合了原有电工电子实验室和计算机硬件实验室的场地与设备，在此基础上建设工科基础实验室，并按照工程教育理念对实验项目和仪器配置进行优化。经过论证与试用，实验室引入福建利利普公司XDS3102型数字多功能示波器[4]，逐步替代原有模拟示波器、信号发生器和交流毫伏表等设备，并对涉及示波器的实验项目进行统一配置。在此基础上，利用其信号发生、波形观测、参数测量和网络通信等功能，对实验操作和数据测量过程进行优化，从而减少仪器种类，提高设备利用率和实验教学效率。

本文以单管放大电路、声速测量和电激励磁悬浮PID控制3个典型实验项目为例，分析多功能示波器在基础性、综合性和设计性实验中的具体应用及教学效果，以期为教学模式改革提供参考。

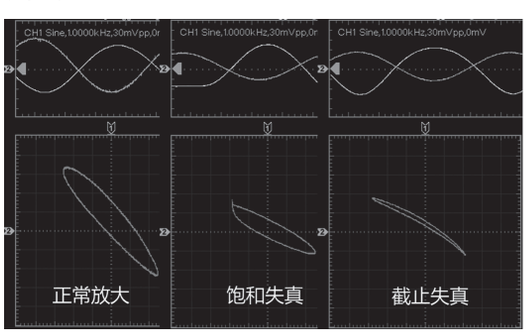
2 基础性实验项目:单管放大电路

单管放大电路是电工电子类基础实验中的典型项目,主要涉及静态工作点、电压放大倍数以及非线性失真等内容。改造前,实验通常需要同时使用双踪示波器、函数发生器、交流毫伏表和万用表等仪器[5-6]。由于仪器种类较多,且操作方式不尽相同,学生需要分别熟悉各类仪器的使用方法。为简化仪器配置,引入XDS3102型多功能示波器,其带宽为100 MHz,配置双通道,并内置双通道25 MHz任意波形信号发生器和三位半万用表功能,可承担原有多种仪器的部分测试功能,具体如下。

(1)整合多种仪器功能。在测量静态工作点时,XDS3102型多功能示波器支持使用内置万用表测量相应端点的直流电压;在测量电压放大倍数时,垂直灵敏度可达1 mV/div,内置信号发生器最小输出幅度达2 mVpp,可生成1 kHz,15 mVpp的正弦波信号,从而替代信号发生器和交流毫伏表完成相关测试。

(2)支持联网监测和远程操作。XDS3102型多功能示波器具备网口和Wi-Fi通信功能。联网后,教师可通过主控端软件查看学生端的实时波形并进行远程操作;学生可按照内置模板在线提交实验图文数据,便于教师及时掌握实验进展。

(3)结合时域波形和李萨如图判断饱和失真与截止失真。传统教材通常以理想时域波形说明两种非线性失真,但在实际实验中,仅依据时域波形较难准确判断失真类型[7]。XDS3102型多功能示波器可同时显示时域波形和李萨如图,通过图形变化辅助判断失真状态[8-9]。如图1所示,CH1为输出信号,CH2为输入信号。圆环上部出现弯折为饱和失真,对应时域波形底部出现削波;圆环下部出现弯折为截止失真,对应时域波形顶部出现平台状变化。



(a)正常放大状态 (b)饱和失真状态 (c)截止失真状态

图1 不同工作状态下的时域波形与李萨如图

3 综合性实验:声速测量

声速测量实验涉及波动理论和电子测量方法。根据声速、波长和频率之间的关系,可通过测量波长间接计算声速,常用方法包括共振干涉法和相位比较法;根据波速定义,可通过测量声波传播距离与传播时间直接计算声速,即时差法。

传统声速测量实验通常配置声速实验仪、信号源主机和双通道示波器3类设备[10]。本实验中,利用多功能示波器内置的双通道信号发生器替代独立信号源主机,从而精简仪器配置。如图2所示,原方案中信号源主机输出的正弦波需分别接入实验仪和示波器,即使采用独立任意波形发生器,也需要借助BNC三通连接器完成信号分配。采用XDS3102型多功能示波器后,利用其双通道同步输出功能,可将T1通道的幅度、频率和相位等参数同步至T2通道,在满足实验信号需求的同时减少外接连接器件。

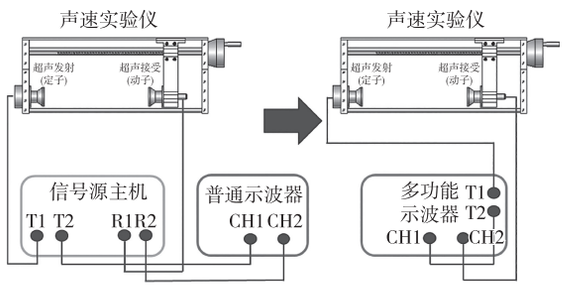


图2 声速的测量实验装置改造前后的配置对比

作为工程中常用的声速测量方法,时差法通过比较发射波与接收波之间的时间差来计算声速。传统信号源主机通常输出周期性猝发正弦波,如由16个正弦波周期组成、总间隔为10 ms的脉冲信号[11]。多功能示波器可通过波形克隆或任意波形编辑功能预先生成并存储该类信号,在实验时支持内置信号发生器直接调用。测量过程中,可利用光标功能确定发射波与接收波的起振位置,并读取二者之间的时间差,如图3所示。

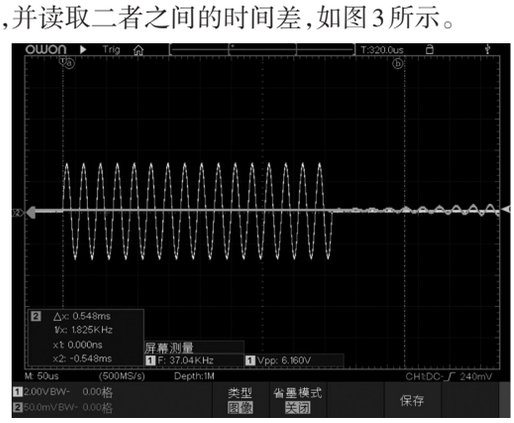


图3 发射波与接收波时间差测量

4 设计性实验:电激励磁悬浮PID控制

PID控制是计算机嵌入式方向学生需要掌握的典型闭环控制方法,电激励磁悬浮钢球实验可通过钢球位置变化直观反映PID控制效果,适合作为PID控制的综合性实验项目。实验模型及原理如图4所示,当磁力$F=mg$时,钢球无法保持稳定悬浮,需通过外部控制使位置稳定[12]。实验采用闭环PID控制调节线圈电流i,并以电涡流传感器输出电压V_t为钢球位置反馈信号。在一定

范围内，传感器输出电压 V 与钢球位置 x 可近似视为线性关系。

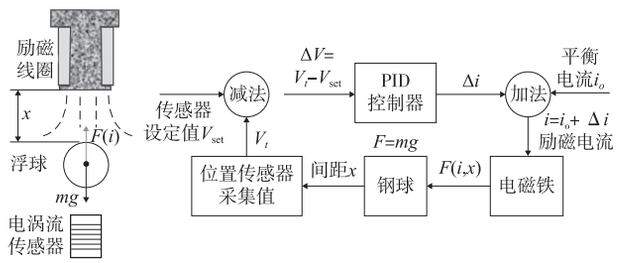


图 4　电激励磁悬浮 PID 控制原理

PID 控制实验的重点是参数整定。实验通过改变位置传感器设定值 V_{set} 形成阶跃扰动，使钢球在控制作用下调整至新的悬浮位置。通过观察阶跃激励下传感器的实时响应曲线，可分析不同 PID 参数对系统动态响应的影响。如图 5 所示，CH1 通道用于观察位置传感器实时测量值 V_t，CH2 通道用于观察设定值 V_{set} 的阶跃变化。阶跃响应中，超调量 $\sigma\%$ 可用于反映系统阻尼特性，峰值时间 t_p 和调节时间 t_s 则用于评价响应速度及稳定过程。

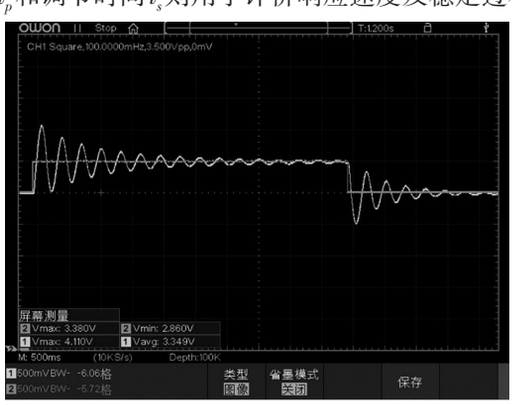


图 5　阶跃扰动下的位置传感器响应曲线

实验采用临界比例法进行 PID 参数整定。保持其中两个 PID 参数不变，仅调整另一参数，并观察阶跃响应曲线的变化。利用示波器时间和幅度双光标测量功能，在波形上设置相应测量位置，以读取超调量、峰值时间和调节时间等参数（见图 6）。通过实时比较响应曲线与预设指标，可辅助完成 PID 参数调整，并缩短波形测量所需时间。

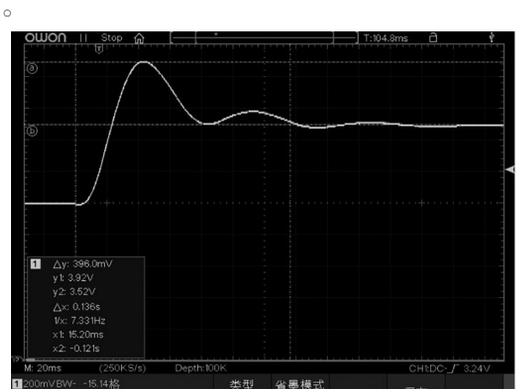


图 6　示波器时间/幅度双光标测量响应曲线时序和幅度参数

5　结束语

本文引入多功能示波器，结合单管放大电路、声速测量和电激励磁悬浮 PID 控制 3 个典型实验项目，对其在基础性、综合性和设计性实验中的应用进行了分析。实践表明，多功能示波器能够整合信号发生、波形观测、参数测量和网络通信等功能，在减少实验仪器配置的同时，简化实验操作与数据测量过程，从而提高设备利用率和实验教学效率。通过将更多测量与分析功能集中于同一设备，有助于学生将更多精力投入到实验现象分析和参数调试中。该教学改革方案可为工科基础实验仪器配置优化和实验教学改进提供参考。

参考文献：

[1] 陈尚松，郭庆．电子测量与仪器[M]．3 版．北京：电子工业出版社，2009.

[2] 郑元．数字存储示波器教学方式改进与探讨[J]．教育教学论坛，2015(29)：151-153.

[3] 高辉．多功能综合性实验方法研究[J]．计算机教育，2010(2)：154-156.

[4] 福建利利普光电科技有限公司．NDS 双通道系列数字存储示波器用户手册[EB/OL]．https：//owon.com.cn/probook/NDS_DSO_user_manual.pdf

[5] 张锋，杨建国．模拟电子技术基础实验指导书[M]．北京：机械工业出版社，2018.

[6] 高倩，黄成．模拟电子技术实验课程数字化教学模式研究与实践[J]．中国教育技术装备，2025(4)：112-115.

[7] 孙长伟，刘旭，王艳春，等．新工科背景下模拟电子技术实验课程教学创新实践[J]．现代信息科技，2023(21)：191-194.

[8] 祝秋文．示波器不常用功能的探究[J]．湖北师范学院学报(自然科学版)，2009(2)：80-83.

[9] 李凯．现代示波器高级应用——测试及使用技巧[M]．北京：清华大学出版社，2017.

[10] 四川世纪中科光电技术有限公司．ZKY-SSA_声速测定实验仪说明书[EB/OL]．http：//www.zky.cn/a/cpzx/ptwlsy/ptwlsy/2017/1031/91.html

[11] 彭智伟，梁鸿东，张姗，等．利用数字示波器测量空气中的超声速[J]．物理通报，2022(8)：116-119.

[12] 四川世纪中科光电技术有限公司．ZKY-AEB0100_电激励磁悬浮实验仪说明书[EB/OL]．http：//www.zky.cn/a/cpzx/jdwlsy/yywlsy/2022/1101/146.html

作者简介：

林飞(1981—)，硕士，助理研究员，研究方向：计算机教学、嵌入式开发。