

利用 Arduino 和 LabVIEW 探究电磁感应定律^{*}

胡 博 邹建中

(新余市第四中学 江西 新余 338000)

(收稿日期:2020-10-13)

摘 要:法拉第电磁感应定律是高中物理教学的重点和难点,为了让学生更好地学习并掌握该部分内容,设计制作了一套实验装置,通过定量实验探究的方式进行教学.该套装置使用电机带动磁铁在线圈上方匀速转动来产生感应电动势,通过控制线圈匝数、线圈与转轴距离、线圈面积3个因素来改变感应电动势,以 Arduino 为下位机采集瞬时感应电动势,以 LabVIEW 为上位机将测量结果实时显示在计算机屏幕上. LabVIEW 和 Arduino 可以功能互补,在高中物理实验教学中可以广泛应用.

关键词: LabVIEW Arduino 法拉第电磁感应定律 高中物理 实验教学

“重视科学探究能力的培养和信息技术的应用”是2017年版《普通高中物理课程标准》中提出的4个教学建议之一^[1]. 当今社会,信息技术的发展日新月异,对生活与学习的影响无处不在. 将信息技术发展成果与高中物理实验教学进行融合可以解决很多以前难以实现的疑难实验问题.

1 LabVIEW 与 Arduino 简介

LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)是一种进行虚拟仪器开发的图形化编程软件,可以对计算机外部硬件采集到的数据进行实时处理,并在计算机软件面板上实时显示测量结果,广泛应用于工业领域和学术研究领域^[2].

Arduino 是一种开源的单片机控制器,有开放源代码的软硬件平台. 硬件部分由单片机及控制系统组成,目前已经推出 Uno, Nano 等十几种型号,配套的 Arduino IDE 软件具有类似 C 语言的开发环境,语法结构简单,已有丰富的开发案例可供参考. 由于 Arduino 采用开源协议,控制器价格低廉,使用成本低,极受电子爱好者和创客的欢迎^[2].

使用 Arduino 作为下位机进行数据采集并输送到计算机,采用 LabVIEW 作为上位机进行数据处

理及实时显示,两者结合既避免了采购价格昂贵的数据采集卡等硬件设备,又解决了数据实时处理及显示、记录等难题.

2 实验装置设计与测量系统搭建

法拉第电磁感应定律是高中物理教学的重要内容. 由于实验条件所限,传统教学往往直接给出结论^[3],教学效果不佳. 经查阅文献发现,将 LabVIEW 或 Arduino 应用于中学物理实验教学已有一定的研究^[4,5]. I. Ishafit 等人借助 LabVIEW 与 Arduino 设计了一套实验装置进行磁场的测量^[6]. 本文在此基础上以探究电磁感应定律为例,介绍如何使用 LabVIEW 和 Arduino 自制教具来改进高中物理实验教学. 实验装置如图 1 所示. 装置可分为感应电动势产生系统和感应电动势测量系统两部分.



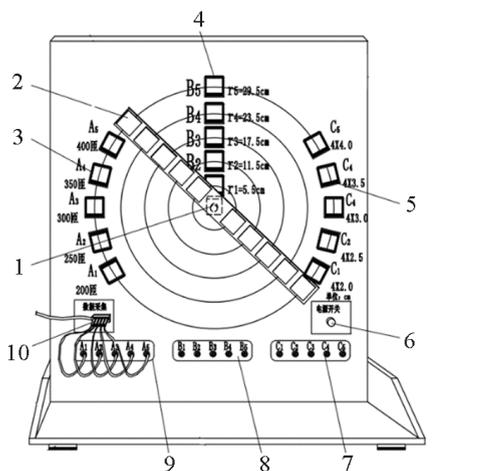
图 1 实验装置实物图

^{*} 江西省中小学、幼儿园教育信息技术研究 2019 年度立项课题“利用传感器和 Arduino 开源平台对高中物理实验教学进行改进和创新的研究”阶段性研究成果,项目编号:2019-G-1-3015

作者简介:胡博(1988-),男,本科,中教一级,研究方向为高中物理教学.

2.1 感应电动势产生系统

如图2和图3所示,面板上固定有采用同种漆包线绕制而成的3组线圈,面板中央的电机输出轴上固定有支架,支架上对称安装有10片相同的厚度为2 mm、长宽均为5 mm的薄片状钕铁硼磁铁。面板右下方安装有电机开关,当按下开关接通电源时,电机带动磁铁匀速转动经过这些线圈正上方,线圈中产生感应电动势。



1. 电机转轴;2. 磁铁;3. A组线圈;4. B组线圈;5. C组线圈;
6. 电机电源开关;7. C组线圈接线端;8. B组线圈接线端;
9. A组线圈接线端;10. Arduino Nano 控制器

图2 感应电动势产生系统正面结构图

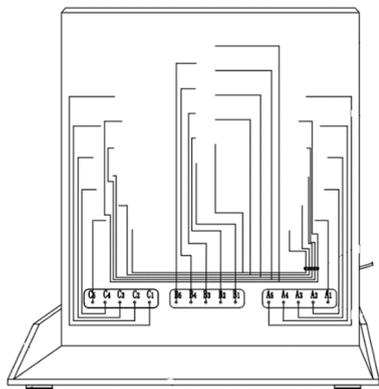


图3 感应电动势产生系统背面结构图

A组和C组线圈固定在以转轴中心为圆心的同一圆周上。A组5个线圈是边长均为4.0 cm的正方形,匝数不同,分别为200匝、250匝、300匝、350匝、400匝,用于探究感应电动势和匝数的关系。C组5个线圈均为300匝,面积不同,每个线圈长边均为4.0 cm,但宽度不同,分别是2.0 cm、2.5 cm、3.0 cm、3.5 cm、4.0 cm,安装在面板上时长边沿着圆弧切线,短

边沿半径方向,这样做的目的是保证同一磁铁经过同一圆弧上的这些线圈时磁通量的变化量不同,但是磁通量的变化时间相同,探究感应电动势和磁通量变化量的关系。B组线圈匝数和面积均相同,匝数为300匝,长宽均为4.0 cm,安装在面板上以转轴中心为圆心的圆的同一条半径上,依次向外排开,线圈中心离转轴中心的距离分别是:5.5 cm、11.5 cm、17.5 cm、23.5 cm、29.5 cm,磁铁转动时5片相同的磁铁恰好可以从5个线圈的正上方经过,由于磁铁经过的线速度不同,从而磁通量变化时间不同,用以研究感应电动势和磁通量变化时间的关系。

2.2 感应电动势测量系统

测量系统以Arduino Nano控制器为下位机采集数据,以LabVIEW为上位机将测量结果实时显示,如图4所示。

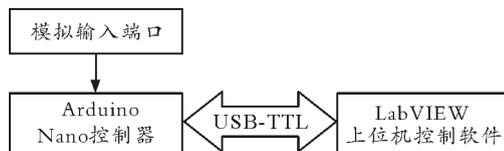


图4 测量系统框图

Arduino Nano控制器体积小、模拟输入端口多,如图5所示,其模拟端口可以直接读取0~5 V的电压。具体而言,首先使用Arduino IDE软件编写程序并上传到Arduino Nano控制器。通过程序调用A0至A4共5个模拟输入端口实时采集同一组5个线圈中的感应电动势大小,对数据进行初步处理后采用串口通讯的方式将数据传输至计算机。使用时只需将线圈导线一头接入到Arduino Nano控制器的GND端口(公共端),另一头按照对应关系依次接到Arduino Nano控制器的A0至A4端口。Arduino程序部分主要采用CASE结构来响应上位机的请求并返回相应端口的数据^[2]。

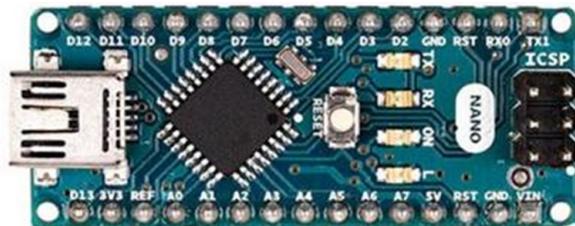


图5 Arduino Nano 控制器

在计算机上使用LabVIEW软件作为上位机,

借助 VISA 插件与 Arduino 进行串口通讯, 获得 Arduino Nano 控制器测量到的数据, 同时设置好前面板用来实时显示测量到的 5 个线圈的感应电动势的大小. LabVIEW 前面板如图 6 所示, LabVIEW 程序框图如图 7 所示.



图 6 LabVIEW 上位机前面板

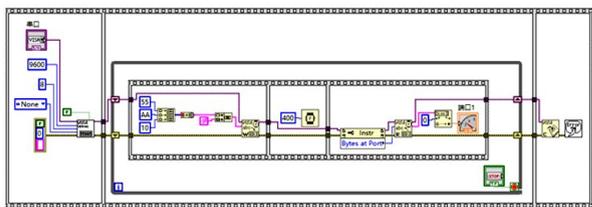


图 7 端口 1 对应的 LabVIEW 上位机程序

2.3 使用方法说明

首先用导线将所选择的某组 5 个线圈的 5 个接线柱按照顺序与 Arduino Nano 控制器的模拟输入端口 A0 至 A4 连接. 再使用 USB 电缆将 Arduino Nano 控制器与计算机连接, 并在计算机上启动 LabVIEW 软件, 打开该实验的 VI 文件, 选择 Arduino Nano 控制器连接的串口端口. 需要进行实验测量的时候按下面板上的电机开关, 然后点击 LabVIEW 软件菜单中的运行按钮即可实时测量.

3 实验过程及结果讨论

3.1 探究电动势与线圈匝数的关系

选择 A 组线圈研究感应电动势和线圈匝数的关系. 根据图 2 所示的装置结构, A 组 5 个线圈固定在同一个半径为 r 的圆周上, 5 个线圈在圆周上对应的弧长 l 相同, 设电机做角速度为 ω 的匀速转动, 最外侧磁铁做圆周运动经过 A 组各个线圈的时间 $\Delta t = \frac{l}{v}$ 相同. 由于每个线圈的面积相同, 磁通量变化量也相同. 教学中某次实验测量到的数据如表 1 所示.

表 1 感应电动势与线圈匝数关系实验数据

线圈匝数 / 匝	200	250	300	350	400
电动势 /V	0.82	1.04	1.29	1.50	1.73

使用 Excel 软件做出散点图后可以看到数据点几乎都在一条过原点的直线上, 进行线性拟合得到结果如图 8 所示.

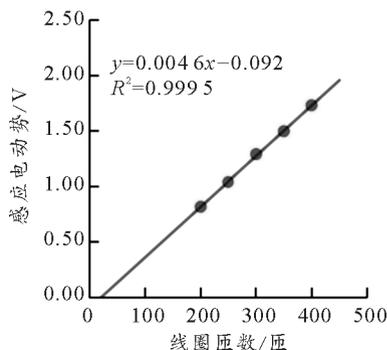


图 8 感应电动势和线圈匝数的关系

根据图像可以得出: 感应电动势大小和线圈匝数成正比.

3.2 探究电动势与磁通量变化时间的关系

B 组线圈匝数和面积均相同, 对应支架上 5 片磁铁也相同, 保证了磁通量变化量相同. 由于 B 组各线圈到转轴中心的距离不同, 支架上对应的磁铁经过时线速度不同, 所以时间肯定不一样. 根据圆周运动的规律, 磁通量发生变化的时间

$$\Delta t = \frac{l}{v} = \frac{l}{r\omega}$$

式中 l 为转过的弧长, v 为转动的线速度, r 为转动的半径, ω 为转动的角速度. 磁铁经过时转过的弧长可以认为近似相等, 同轴转动角速度一样, 所以 Δt 和转动半径 (即线圈中心到转轴中心的距离) 成反比.

教学中某次实验测量到的数据如表 2 所示. 做出散点图后进行线性拟合得到结果如图 9 所示. 根据图像可知: 感应电动势大小和转动半径成正比, 再结合前文分析可知感应电动势大小和磁通量变化时间成反比.

表 2 感应电动势与磁通量变化时间关系实验数据

转动半径 / cm	5.5	11.5	17.5	23.5	29.5
电动势 /V	0.17	0.41	0.67	0.96	1.32

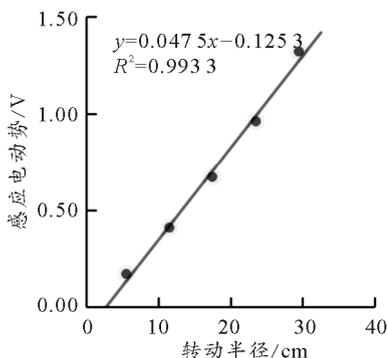


图9 感应电动势和转动半径的关系

3.3 探究电动势与磁通量变化量的关系

C组5个线圈匝数相同,固定在同一圆周上,由于线圈沿圆周方向均为4.0 cm,支架上外侧磁铁经过线圈时间相同,即磁通量变化时间相同,但宽度不同,因此面积不同,磁通量变化量不同.教学中某次实验测量数据如表3所示,进行线性拟合结果如图10所示.根据图像可以得出:感应电动势大小和线圈面积成正比,再结合前文分析可知感应电动势大小和磁通量变化量成正比.

表3 感应电动势与磁通量变化量关系实验数据

线圈面积/cm ²	8	10	12	14	16
电动势/V	0.68	0.83	1.03	1.22	1.40

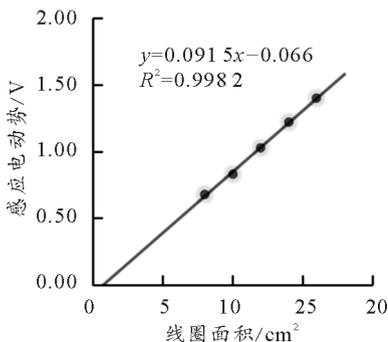


图10 感应电动势和线圈面积的关系

3.4 实验结论

由于测量系统数据测量有误差、电机转速不够稳定、线圈位置固定不够精准等原因,图8、图9和图10中个别数据点偏离拟合直线,但是各组实验结果的 R^2 均大于0.99,表示线性关系较好.同时发现拟合直线并没有严格地通过坐标系原点但比较接近.因此可以认为,上述实验结果符合高中物理实验教学的要求.根据上述实验探究的结果可以总结得出法拉第电磁感应定律:感应电动势大小和线圈匝数 N 成正比、和磁通量变化量 $\Delta\phi$ 成正比、和磁通量变

化时间 Δt 成反比.由于磁通量变化量 $\Delta\phi$ 与对应的变化时间 Δt 的比值 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 通常称为磁通量对时间的变化率,因此,法拉第电磁感应定律可表述为:导体回路中感应电动势的大小与回路中线圈匝数成正比,与穿过线圈的磁通量对时间的变化率成正比,其数学表达式为 $\epsilon = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$.

4 结束语

该实验方案克服了感应电动势大小难以调节和测量的困难,为定量探究法拉第电磁感应定律创造了条件,基于此进行法拉第电磁感应定律的实验教学,有利于学生对法拉第电磁感应定律有更深刻的认识,同时实验教学过程可以提升学生的“科学探究”核心素养.

物理学是一门实验科学,物理规律的建立离不开实验.考虑到实际教学需求和传感器、计算机等信息技术的发展,将LabVIEW和Arduino应用于高中物理实验装置的开发是非常有必要的.一方面能够很好地完成许多以前难以完成的、或者完成效果不好的定量实验.另一方面,把新技术、新方法适当地引入课堂,能够让学生更积极、更加主动地认识科学技术的发展对物理学科乃至整个社会的影响,进一步培养学生的“科学态度与责任”核心素养.

参考文献

- 1 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准[S]. 北京:人民教育出版社,2018.4~5
- 2 沈金鑫. Arduino与LabVIEW开发实战[M]. 北京:机械工业出版社,2014(1),27,191~192
- 3 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书物理·选修3-2[M]. 北京:人民教育出版社,2010.15~18
- 4 黄琪莉,吴先球. 基于LabVIEW改进法拉第电磁感应定律实验装置[J]. 物理实验,2020,40(01):60~62
- 5 胡博. 利用Arduino和传感器验证法拉第电磁感应定律[J]. 物理教学探讨,2019,37(11):46~48
- 6 Ishafit, I., T. K. Indratno, and Y. D. Prabowo. Arduino and LabVIEW-Based Remote Data Acquisition System for Magnetic Field of Coils Experiments[J]. Physics Education,2020(2):55