

法拉第电磁感应定律定量实验的创新

刘海威 蔡桂丽 梁维刚

(广西师范大学物理科学与技术学院 广西 桂林 541004)

(收稿日期:2020-07-14)

摘要:本装置结合现代技术利用 Arduino 与电子元器件等定量验证法拉第电磁感应定律,探究感应电动势与磁通量变化率、角速度、匝数等因素的关系,有助于教师教学演示及学生理解,激发学生对科技与物理的学习兴趣.

关键词:法拉第电磁感应定律 定量 Arduino

1 实验目的

人教版中学物理教材中法拉第电磁感应定律指的是:电路中感应电动势的大小,跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比^[1],即 $E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. 法拉第电磁感应定律是高中物理电磁学的重要内容,但由于感应电动势、磁通量的变化率等物理量较为抽象,且不少学生缺乏立体思维,所以在学习该内容的时候,通常感觉难以理解. 本装置通过电子仪器等定量验证了法拉第电磁感应定律,既可以帮助学生更加形象理解学习内容,亦结合当代科技,激发学生对科技与物理的热爱.

2 实验仪器设计

2.1 主要工具

42 步进电机:步进电机步距值不受电压的大小和电流的数值、波形、温度的变化等因素的影响,能让线圈在磁铁中稳定、匀速地转动,减少线圈转动对产生感应电动势的影响,笔者通过编写程序控制步进电机的输出脉冲精准控制电机转动的角速度,再通过同步带跟线圈连接起来,并用 LCD1602 液晶显示屏可显示线圈转动的速度.

线性霍尔元件:霍尔元件是根据霍尔效应,用半导体材料制成的.它具有对磁场敏感、结构简单、体积小、频率响应宽、输出电压变化大和使用寿命长等

优点,因此,在测量、自动化、计算机和信息技术等领域得到广泛的应用. 在本装置中利用霍尔元件能够精确测量出磁场中磁感应强度的大小^[2].

导电滑环:导电滑环主要由旋转(转子)与静止(定子)两大部分组成. 转子跟线圈的旋转结构连接并随之旋转运动,定子将线圈在磁场中转动产生的感应电流传输到静止的电路中,便于测量感应电动势,很好地解决了线圈在转动过程中线路旋转造成感应电动势数据难以读取的问题.

2.2 装置介绍

本实验装置由 42 步进电机及其驱动装置,线性霍尔传感器,UNO 开发板,导电滑环,1602 液晶显示器,漆包线,矩形磁铁(10 cm×150 cm×25 cm),3D 打印模具等组成,其装置图如图 1 所示.

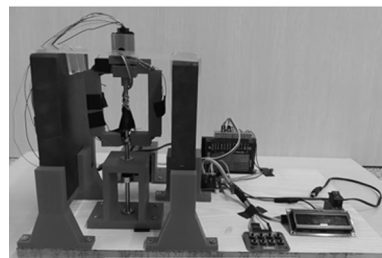


图 1 装置图

(1) 构建磁场:竖直放置两块相同的矩形磁铁,当其靠得足够近时,因磁铁间的磁感应强度相差仅几毫特斯拉,故其磁场可近似为匀强磁场.

(2) 测量磁场磁感应强度:本装置采用线性霍

作者简介:刘海威(2000-),女,在读本科生.

通讯作者:梁维刚(1977-),男,高级工程师,主要从事物理实验教学和技术工作.

尔传感器来测量两磁铁间的磁感应强度.因近似为匀强磁场,故磁感应强度取其平均值.

(3) 电流导出:当线圈在匀强磁场中旋转时,可使用导电滑环将线圈中的电流导出,即可测量和显示线圈在磁场中旋转时产生的感应电动势.在使用导电滑环之前,笔者尝试了很多方法,其中有利利用线圈正反转的方法.线圈转动由电机带动,用 Arduino 编程控制步进电机匀速正转 180° 反转 180° ,但由于步进电机自身具有保护装置,即停止前自动减速,因而测量出对应的感应电动势也减小.

(4) 改变转速:Arduino 编程控制步进电机的转速,用按键加减改变转速,并显示在 1602 液晶显示器上.

3 定量探究实验

3.1 实验操作

本装置是在匀强磁场中旋转闭合导线产生感应电动势,可由公式即 $E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 推导得到

$$E = NBS\omega \sin \omega t$$

首先,本装置可通过控制变量法分别定量测量出匝数、角速度、面积等与感应电动势的关系,即可验证电磁感应定律公式.

说明,本次测量取感应电动势最大值,即可探究或验证 $E = NBS\omega$.但由于其角速度准确,感应电动

势的瞬时值 $E = NBS\omega \sin \omega t$ 亦是准确的.此外,通过示波器或 DISlab 可显示感应电动势的波形,学生可直观看到,为学生学习交流电打下基础.具体操作如下:

(1) 用线性霍尔传感器测量出两磁铁板中线圈内的磁感应强度,取线圈中心与边缘处的磁感应强度平均值,并记录数据.

(2) 线圈面积、角速度、磁感应强度一定的情况下,分别取线圈的匝数为 900, 1 000, 1 100, 测量对应的感应电动势,记录数据,定量分析得出匝数与感应电动势的关系.

(3) 本装置通过 Arduino 编程实现手动按键加减均匀改变步进电机的转速(如角速度为 3, 4, 5, 6), 测量对应的感应电动势.记录数据,定量分析得出线圈旋转角速度与感应电动势的关系.

此外,亦可在匝数、角速度、磁感应强度一定时通过提供不同面积大小的线圈,测量对应的感应电动势,分析其关系.改变磁感应强度则需改变两磁铁间的距离,在控制匝数、角速度、面积一定时,测量其感应电动势.

3.2 实验数据

3.2.1 定量验证感应电动势与磁通量变化率的关系

保持磁感应强度、线圈面积和匝数不变,改变角速度,其实验数据结果如表 1 和图 2 所示.

表 1 探究感应电动势与角速度关系数据表

磁感应强度 / T	面积 / m^2	匝数 / 匝	角速度 / $(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	E_m 理论值 / V	E_m 实际值 / V	误差 / %
0.05	0.007 43	1 000	3	1.11	1.12	0.49
0.05	0.007 43	1 000	4	1.49	1.44	3.10
0.05	0.007 43	1 000	5	1.86	1.84	0.94
0.05	0.007 43	1 000	6	2.23	2.20	1.30
0.05	0.00 743	1 000	7	2.60	2.56	1.56
0.05	0.00 743	1 000	8	2.97	3.00	0.94

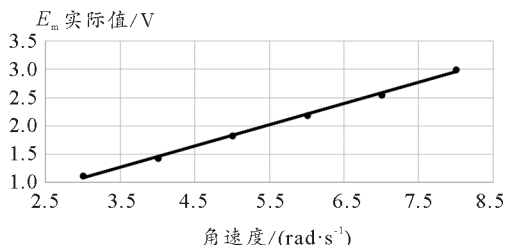


图 2 探究感应电动势与角速度的关系图

结论:在磁感应强度、线圈面积和匝数不变的情

况下,磁通量的变化率与线圈的角速度成正比关系,由表格数据可知,感应电动势跟角速度成正比,即感应电动势与磁通量的变化率成正比,也可定量验证出感应电动势最大值的公式 $E_m = NBS\omega$,误差均在实验允许的范围內.

3.2.2 定量验证感应电动势与匝数的关系

保持磁感应强度、线圈面积和角速度不变,改变线圈匝数,其实验数据结果如表 2 和图 3 所示.

表2 探究感应电动势与匝数的关系数据表

磁感应强度 / T	面积 / m ²	匝数 / 匝	角速度 / (rad · s ⁻¹)	E_m 理论值 / V	E_m 实际值 / V	误差 / %
0.05	0.007 43	900	7	2.34	2.32	0.87
0.05	0.007 43	1 000	7	2.60	2.56	1.56
0.05	0.007 43	1 100	7	2.86	2.88	0.68

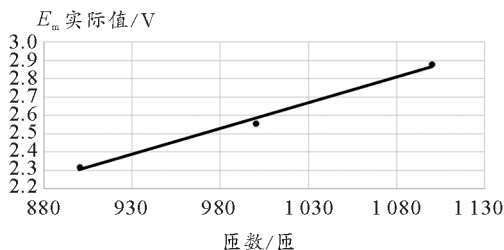


图3 探究感应电动势与匝数的关系图

结论:在磁感应强度、线圈面积、角速度即磁通量变化率不变的情况下,由表格数据可知,感应电动势与线圈匝数成正比,也可定量验证出感应电动势最大值的公式 $E_m = NBS\omega$,误差均在实验允许的范围内。

4 实验仪器创新与不足

4.1 创新点

(1) 角速度精准,便于获取.通过编程输入步进电机的脉冲频率,直接调控其转速,读取出来的角速度较为精准.相比于通过滑动变阻器等改变电流或电压的方法和用其他设备如霍尔传感器、光电门等再去测量角速度,此方法更为简便。

(2) 磁感应强度测量方便:本装置使用线性霍尔传感器来测量磁感应强度,比用特斯拉计等设备测量更方便,不受学校设备的限制。

(3) 本装置与教材中实验类似,便于学生学习迁移,同时通过导电滑环可以轻松解决线圈旋转电流导出的问题,不需制作电刷等装置即可外接电路。

(4) 本装置从现代技术与物理相结合的角度出发,将现代电子元器件如线性霍尔传感器、1602 液晶显示器、UNO 开发板等应用于物理教具中.既实现将抽象的物理知识具象化,便于学生认知重组,又让学生在在一定程度上了解现代科技,激发学生对物理与科技结合的思考与兴趣^[3,4]。

(5) 相对于别的用计算机收集数据的装置,本装置可以直接在 1602 液晶显示屏上读取磁感应强度的大小,用示波器可以显示出感应电动势与时间 t 的关系图,并且能读取实时的感应电动势大小(如图

4 所示),读取数据更简便,快捷。



图4 示波器上显示感应电动势波形图

(6) 相对于其他装置通过 $E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 中的物理量的线性关系验证,本装置可以直接验证感应电动势最大值 $E_m = NBS\omega$ 公式,此公式是由 $E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 推导而来的,推导式成立,其原式也必定成立,从而定量验证了感应电动势公式。

4.2 不足

本装置是利用两块矩形磁铁构建成一个近似均匀的强磁场,并不是真正的匀强磁场,两块矩形磁铁的距离会对实验造成一定的影响.此外,本装置中感应电动势的测量需要借助示波器、DISlab 等工具,不够简单化。

5 结束语

本装置通过实验定量探究了法拉第电磁感应定律,符合学生的认知规律,运用在课堂上,可以增强学生之间的合作精神,能让学生将物理、科学结合起来,养成一种科学探究精神。

参考文献

- 张大昌. 普通高中课程标准实验教科书高中物理[M]. 北京:人民教育出版社, 2010
- 徐爱香, 邱岚. 基于单片机的自行车测速系统设计[J]. 河南科技, 2013(24):87
- 李鼎, 冯容士, 赵进. 定量验证法拉第电磁感应定律的实验[J]. 物理教学探讨, 2019, 037(008):13 ~ 15,18
- 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(11):46 ~ 48