

# 基于 Phypox 程序的“电磁感应定律”定量探究实验改进

伍科 张旺

(安徽师范大学物理与电子信息学院 安徽 芜湖 241002)

(收稿日期:2020-11-27)

**摘要:**法拉第电磁感应定律是高中物理电磁学部分的重点内容,由于缺乏定量实验的支撑,学生往往理解起来存在较大困难.基于 Phypox 程序和自制实验教具,设计了一套高中物理实验仪器,不仅实现了定量探究,而且克服了现行实验方案的缺点,便于学生理解.

**关键词:**Phypox 程序 电磁感应定律 感生电动势 智能手机

电磁感应定律的实验探究活动始终是中学物理实验教学的难点,这种实验探究活动在中学物理课堂上也难以开展.随着数字化实验技术的发展,运用电磁学传感器能够精确采集实验数据,使法拉第电磁感应的定量实验探究成为可能.有研究者提出,将实验线圈置于亥姆霍兹线圈产生的匀强磁场中,通过手动调节励磁电流旋钮改变通入亥姆霍兹线圈的电流,引起内部磁场的变化,即可在实验线圈中产生感应电动势,但该方法很难获得随时间均匀变化的磁场<sup>[1]</sup>.也有研究者利用电机带动磁铁旋转产生磁场变化,运用磁铁转速间接反映磁通量变化率<sup>[2]</sup>.该实验虽然操作简单,容易获得实验数据,但结构复杂,很难使学生理解间接反映磁通量变化率的实验原理.

本文基于 Phypox 程序和自制教具,设计搭建一套新型电磁感应定律实验探究仪,采用常见的电学实验器材和自制教具即可开展定量探究教学.

## 1 实验原理与教具制作

探究法拉第电磁感应定律的实验原理及运用 Phypox 程序自制实验探究教学仪器的设计方案如下.

### 1.1 实验原理

磁通量  $\Phi = BS$ , 如果  $S$  和  $n$  保持不变,那么实验

探究  $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ , 可以转换为探究  $E \propto \frac{\Delta B}{\Delta t}$ . 以下自制实验仪器,主要用于测量感应电动势  $E$  与穿过线圈的磁场变化  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  的实验数据,分析两组数据之间在规律性,归纳得到法拉第电磁感应定律.

### 1.2 实验装置及制作

为开展电磁感应定律的实验探究教学,自行研制了一套实验探究仪.该装置由原线圈、副线圈、SG1641A 型函数信号发生器、KJ9208B+ 型数字万能表及智能手机等几部分组成,如图 1 所示.

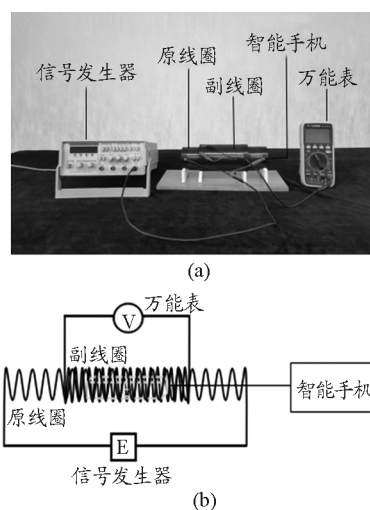


图1 实验装置示意图

其中,原线圈和副线圈采取内外套筒式放置,铜

丝规格为直径 0.49 mm 聚酯漆包线. 原线圈、副线圈和智能手机均固定在一块长木板上, 并将智能手机放在原线圈的内部中间位置. SG1641A 型函数信号发生器和 KJ9208B+ 型万用表分别与原线圈和副线圈相连接.

值得注意的是, 因通电线圈内部所产生的磁场会在其两端存在非均匀的边缘效应, 只有中间一段区域内的磁场可近似视作匀强磁场, 应选择靠近原线圈的中心区域测量匀强磁场的的数据. 通电线圈长度  $L$  与其半径  $R$  相比较, 比值越大时, 线圈内部的磁场均匀区域越大. 以长度  $L$  是其半径  $R$  的 10 倍为例, 通电线圈内部沿着轴向的磁场, 长度为  $6R$  范围内的磁感应强度分布比较均匀<sup>[3]</sup>. 本实验装置确定原线圈长度为 23.5 cm, 线圈半径为 3.8 cm, 共 473 匝. 用传感器测量可知, 原线圈内部具有匀强磁场特性的实际长度范围约为 14.5 cm, 副线圈长度应小于该长度, 因此将副线圈的长度设置为 12 cm, 直径略大于原线圈, 设置为 8.6 cm. 此外, 副线圈采用双层绕制共 485 匝, 以增强实验效果.

SG1641A 型函数信号发生器可以输出方波、三角波和正弦波等电流, 通电线圈内部及其周围便能够产生随时间变化的磁场. 实验时, 运用位于线圈内部智能手机内置的传感器, 能采集线圈内部磁场变化的实验数据, 通过 Phyphox 远程控制功能, 在笔记本电脑端远程控制数据采集, 电脑显示界面上会呈现实时绘制的  $B-t$  图像. 如果原线圈内部  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  恒定, 副线圈中产生电动势  $E$  大小将会恒定不变, 用万能表可直接测量出线圈两端电压  $U$ , 设  $R$  是万能表的内阻,  $r$  是线圈内阻, 此时线圈内部的感应电动势即可表示为  $E = U \frac{R+r}{R}$ . 由于  $R$  值远大于  $r$ , 万能表测得的路端电压  $U$  与线圈产生的感应电动势  $E$  近似相等.

## 2 实验过程与数据采集

运用 SG1641A 型函数信号发生器提供三角波

交流电, 输入原线圈, 进行电磁感应定律实验. 下面具体呈现利用 Phyphox 程序展开法拉第电磁感应定律定量实验的操作步骤.

(1) 搭建如上述图 1 所示的实验装置, 打开手机上的 Phyphox 程序, 选择测磁感应强度栏目, 点击显示界面左上角功能区, 选择远程控制功能, 将出现在手机界面上的网址输入到笔记本电脑浏览器上, 以便在远程端观察和处理实验数据.

(2) 使信号发生器输出三角波交流电, 在笔记本电脑端 Phyphox 实验界面上点击开始测量, 并将万能表调至测交变电压挡位. 可以观察到 Phyphox 实验界面上的  $B-t$  图像呈现三角波变化规律. 测得 1 至 2 个三角波周期的  $B-t$  图像, 如图 2 所示.

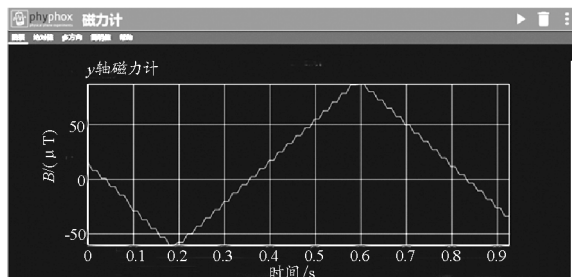


图 2 呈现三角波变化规律的  $B-t$  图像

(3) 每半个周期内, 图像的斜率  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  大小都相等, 这里选择  $B-t$  图像上半个周期内  $B$  均匀增加的一段求斜率. 在这段图像上任意选取两个点的坐标,  $(t_1, B_1)$  和  $(t_2, B_2)$ , 直接可以算出  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  的值

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{B_2 - B_1}{t_2 - t_1}$$

每半个周期内  $B$  随时间  $t$  均匀变化, 对应的  $E$  为恒定值, 因此  $E$  呈现方波变化规律, 而万能表可直接测出  $E$  的有效值. 记录万能表上感应电动势的数值, 就得到一组  $E$  和  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  的实验数据.

(4) 保持信号发生器输出频率不变, 通过调节输出波形幅度以改变  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  大小, 再测得 6 组  $E$  和  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  的数据, 如表 1 所示.

表1 原线圈中输入三角波交流电实验数据

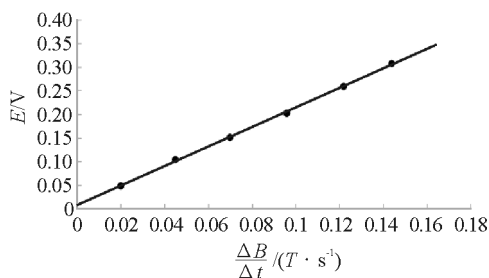
测量量	1	2	3	4	5	6
$\frac{\Delta B}{\Delta t}/(T \cdot s^{-1})$	0.020	0.046	0.070	0.096	0.122	0.144
$E/V$	0.048	0.104	0.151	0.202	0.259	0.307

(5) 利用 Excel 表格处理实验数据,选择插入图表,对 6 组实验数据进行拟合,如图 3 所示.分析  $E - \frac{\Delta B}{\Delta t}$  图像可知,图线经过原点,表明

$$E \propto \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

即面积  $S$  一定时

$$E = k \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

图3  $E - \frac{\Delta B}{\Delta t}$  线性拟合图

(上接第 107 页)

对于图 5 所示的变压器

$$k_1 k_2 = 0.93 \times 0.43 = 0.40$$

本文开头试题中的变压器

$$k_1 k_2 = \frac{2}{9} = 0.22$$

它虽然比图 5 情况的  $k_1 k_2$  小,但仍是可能的.且不说在这两种情况中线圈与铁芯的有关因素可能不同,单就图 1 情况铁芯的缺口比图 5 情况铁芯的缺口大,就会造成它的  $k_1 k_2$  变小.

电工使用的钳形电流表实际上是铁芯有缺口、原线圈匝数  $n_1 = 1$  的电流互感器(图 6).捏紧扳手张开铁芯,使通有交流电的导线穿过铁芯缺口,放开扳手合上铁芯,就能从电流表中读出导线中的电流.放开扳手后活动铁芯与固定铁芯不可能完全密合,它们之间存在着小缺口.各次测量时,两块铁芯的密合程度和通电导线在铁芯回路中的位置不会完全相同,漏磁和线圈自感变小产生的影响也不相同.这导

### 3 总结

基于 Phypox 程序和自制教具,改进了定量探究法拉第电磁感应定律的实验方案,解决了现有实验方案不能测得磁通量变化率的缺点,学生能够经历定量探究的过程,通过对实验数据的分析得出结论,有效地帮助学生理解法拉第电磁感应定律.利用智能手机 Phypox 程序开展定量探究法拉第电磁感应定律,能够提高实验的精确性和可操作性,易于推广,同时也体现了信息技术手段与物理教学的融合.

### 参考文献

- 1 陈健. 法拉第电磁感应定律的简易验证[J]. 物理教师, 2019, 40(11): 52 ~ 54
- 2 郑刘德. 法拉第电磁感应定律定量演示实验的研制[J]. 物理教师, 2016, 37(04): 50 ~ 51
- 3 陈学文, 吴莲, 张家伟, 等. 载流线圈和有限长直螺线管磁场的理论分析与讨论[J]. 大学物理, 2019, 38(10): 23 ~ 27

致各次测量时电流表读数与被测电流的比值不会相同,所以钳形电流表只能粗略测量电流.

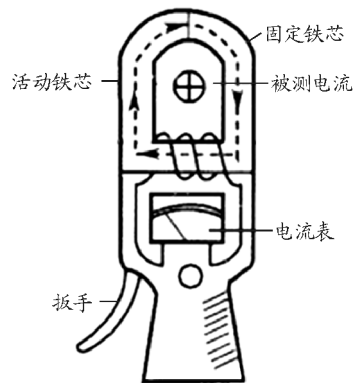


图6 钳形电流表

### 参考文献

- 1 周纪良. 5 年高考 3 年模拟[M]. 北京: 教育科学出版社, 2012. 332
- 2 陈秉乾. 电磁学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2014. 254 ~ 255