

DIS 实验新探

DIS 法拉第电磁感应定律实验器(下)

冯容士 李 鼎 (上海市中小学数字化实验系统研发中心 上海 200072)

(接上期)

三、DIS 法拉第电磁感应实验器(II)的研发

研发的动力,就来自教学需求的挑战。研发中心的信条,就是迎接挑战,把梦想变为现实,将不可能变成可能。

而这一切的基础,就是要构建另一个实验装置,来作为感生电动势的标准物理模型。该装置不能依靠导线切割磁场这种传统的方式来引发磁通量变化,还要实现磁通量变化的可控、可变。

为此,2010 年末,研发中心高级实验师陈开云等推出了一个初级模型(图 9):利用可调节电压的学生电源给初级线圈供电,通过电压的变化来改变初级线圈磁场的强弱,此时在次级线圈中便产生了对应变化的感应电动势。连接次级线圈的电压传感器记录感应电动势的大小随时间变化的情况(即 $E-t$ 图线);插在线圈内的磁传感器记录次级线圈磁感应强度随时间变化的情况(即 $B-t$ 图线)。

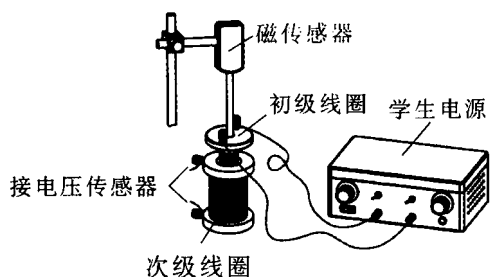


图 9

实验时,手动调节学生电源,改变初级线圈的电压,得到了如图 10 所示的实验结果。

观察图 10 可以发现:当磁感强度变化慢时(A-B 段图线缓慢上升),对应的感应电动势较小;当磁感强度没有变化时(B-C 段),对应的感应电动势为零;当磁感强度变化快时(C-D 段图线急剧下降),

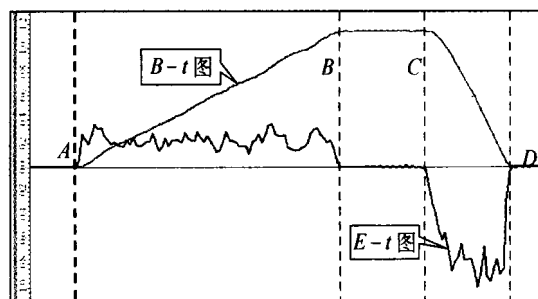


图 10

对应的感应电动势较大。由此,我们已能够初步揭示“ B ”、“ E ”之间的关系。

这一实验装置简单明了,摒弃了传统实验中普遍依赖导体切割磁感线产生感应电动势(动生电动势)的方法,所获得的是由磁场的强弱变化引起的感生电动势。这已经与张越老师的教材设计形成了统一。

但该实验并不完美。尤其是 $E-t$ 图线中“ E ”的波动太大,使得研发中心多少有些羞于面对教材组的审查。谁知张越老师见到这并不完美的实验结果之后却异常兴奋,就像探险者终于发现了期待中的宝藏一样。他随即画出了针对这个实验的理想图线(图 11)。

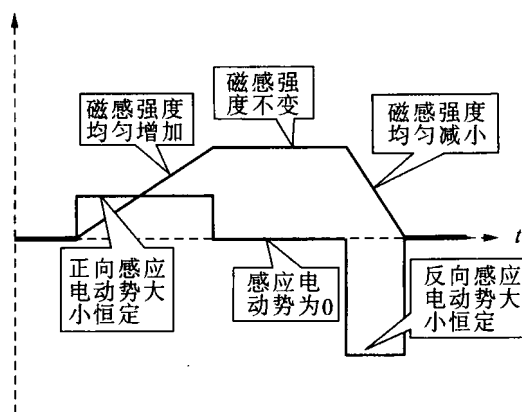


图 11

研发中心首先查明了:图 10 中 $E-t$ 图线波动过大的原因在于电源的质量和手动调节方式的局限。

限于目前我国教学仪器质量标准,学生电源普

遍性能较低,所输出的电“质量不高”,而手动调节这样的电源更难以实现输出电压的平滑过渡,所以信号波动较大也就在所难免。

拔出萝卜带出泥!理想的物理模型还需要理想的电源环境来支持。这是研发中心在研究法拉第电磁感应定律实验中的又一大收获。随后的研发工作兵分两路,一路设计专用高品质电源,一路改进实验器本身。

研发中心工程师赵进等人在高品质电源的设计方面做出了突出贡献,研发出了“DIS 专用电源”。该电源具备四种电压输出模式,即:A. 手动调节模式;B. 梯形波输出模式;C. 锯齿波输出模式;D. 组合锯齿波输出模式。通过“模式”按钮可选择实验所需的电源模式。后来的实验表明,正是该专用电源的研发成功,使获得感生电动势并通过控制变量法研究感生电动势变成了可能。

而在“实验器”的改造方面,研发中心也取得了重大进展,设计出了如图 12 所示的“DIS 法拉第电磁感应实验器(II)”。该装置沿用了“实验器(I)”所采用的独立 USB 结构,使用 DIS 磁感应强度传感器和电压传感器。感生电动势由安装在 DIS 配套器材标准底座上的初级和次级两级线圈嵌套构成的线圈组产生。

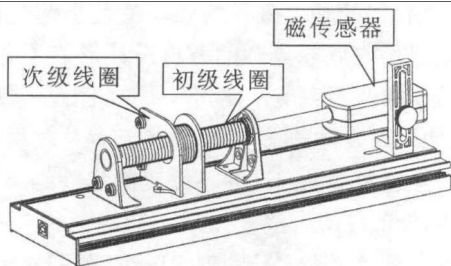


图 12

实验时,DIS 磁传感器插入初级线圈中部,用来测量初级线圈的磁场变化;DIS 电压传感器连接次级线圈,用来测量端电压 U 并以此计算感生电动势 E ;初级线圈连接 DIS 专用电源。该实验对应的软件界面如图 13 所示。实验过程如下:

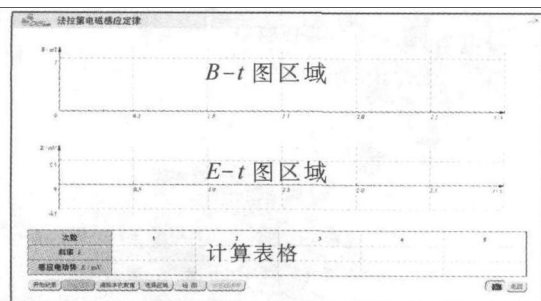


图 13

1. 手动调节电源,使磁感应强度 B 不变或随意变化,获得的“ $B-t$ ”和“ $E-t$ ”图线研究 $E-B$ 关系(图 14),可见:当 B 恒定时, E 为零;当 B 发生变化时,即产生 E 。实验显示: E 的大小与 B 的变化有关。图中“ $E-t$ ”图线的波动仍为手动调节、电源输出不够平滑所致,但已被控制在可以接受的范围内。

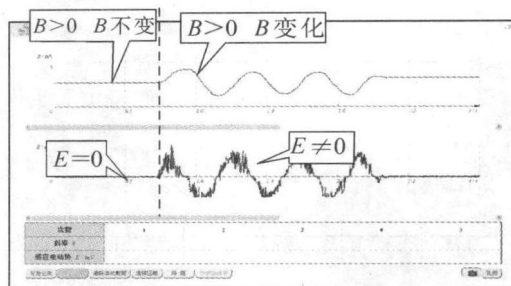


图 14

2. 将 DIS 专用电源设置为“梯形波输出模式”,通过获得的“ $B-t$ ”和“ $E-t$ ”图线研究 $E-B$ 关系(图 15)。可见: B 均匀增加时,产生正向 E ,且大小恒定; B 均匀减小时,产生反向 E ,大小亦恒定; B 不变时, E 为零。以上实验结果同样符合楞次定律。在 $B-t$ 图中截取 B 均匀变化时的斜线段,可见其斜率 $K(K = \Delta B/\Delta t)$ 与 E 的大小相关。

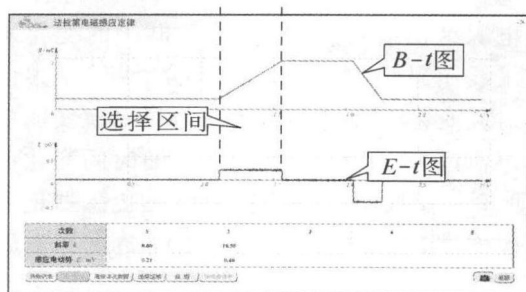


图 15

图中,电源的稳定输出保证了 B 的均匀变化,从而使得“ $E-t$ ”图线稳定,没有波动。张越老师笔下的理想图线(图 11)就此实现。然而,实验尚未完结。

3. 采用“组合锯齿波输出模式”,多次改变 B 的变化率(即“ $B-t$ ”图线的上升斜率 K),观察研究 $E-B$ 关系(图 16),可见: K 渐增大, E 随之增大。

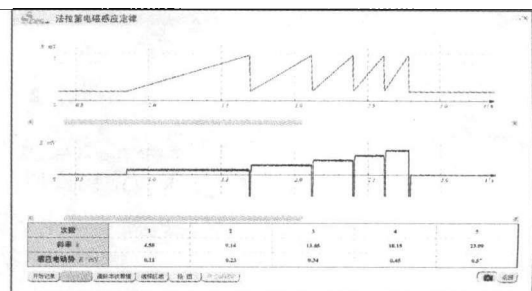


图 16

4. 利用软件的“选择区域”功能,得到“ $B-t$ ”图线每个上升段的斜率 K 和对应的感应电动势 E ,并将 K 、 E 数据记入图 16 下方的数据表格。

点击软件界面上的“绘图”,即可获得多组 K 、 E 数据点及拟合图线(图 17)。由此可见,“ $E-K$ ”图线,即“ $E-(\Delta B/\Delta t)$ ”图线是一条过原点的直线,表明 E 和 $\Delta B/\Delta t$ 成正比。

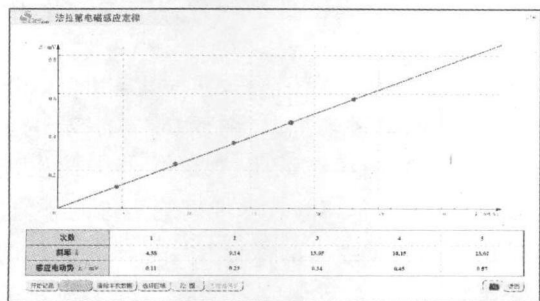


图 17

进一步实验表明: E 还与面积 S 有关,所以 $E \propto \Delta BS/\Delta t$,即 $E \propto \Delta\phi/\Delta t$ 。

再进一步实验表明:在 K ,即 $\Delta B/\Delta t$ 一定时, E 还与匝数 n 成正比。

最终得出结论: $E = n\Delta\phi/\Delta t$ 。而这就是法拉第电磁感应定律!

四、DIS 法拉第电磁感应实验器(Ⅲ)的研发

为了将单纯的规律验证推广至对更为普遍的法拉第电磁感应现象的认识,使学生更深入地理解法拉第电磁感应定律,研发中心又进而设计了 DIS 法拉第电磁感应实验器(Ⅲ)。实验器结构如图 18。

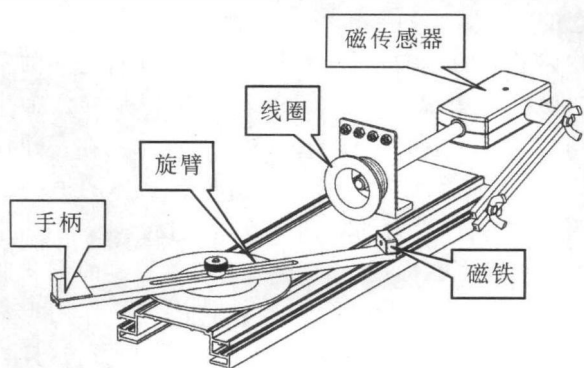


图 18

实验时,线圈的中央插入磁传感器,用来测量线圈中的磁场变化。线圈的输出连接 DIS 电压传感器,用来测量感应电动势。传感器通过采集器连接至计算机。

1. 将一个电压传感器连接至线圈的 200 匝的

抽头,打开 DIS 通用软件,使用 DIS 通用软件“组合图线”功能。旋转旋臂,点击“开始”,记录曲线如图 19,分析连续的三个波形,可见随着旋臂旋转速度变慢,电压波形的最高点逐渐降低。取每个波形从最低点到最高点的时间差、最高点的电压值,计算可得感应电动势 $E \propto 1/t$,即 $E \propto v$ (速度)。

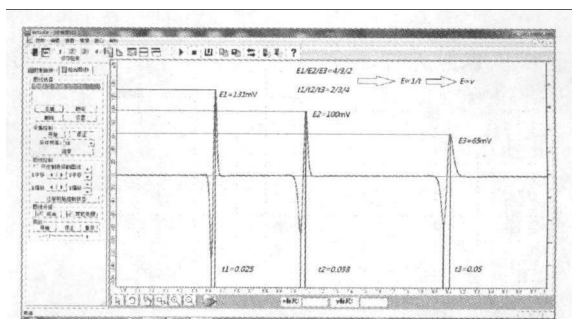


图 19

2. 将三个电压传感器分别连至线圈的 200 匝、400 匝、600 匝抽头,将三个电压传感器添加至 DIS 通用软件的组合图线,旋转旋臂,点击“开始”,记录曲线如图 20。三个波形分别对应线圈为 200 匝、400 匝、600 匝时感应电动势随时间的变化。可以看到三个波形相位相同,取三条曲线的最高点进行分析,计算可得到感应电动势 $E \propto n$ (匝数)。

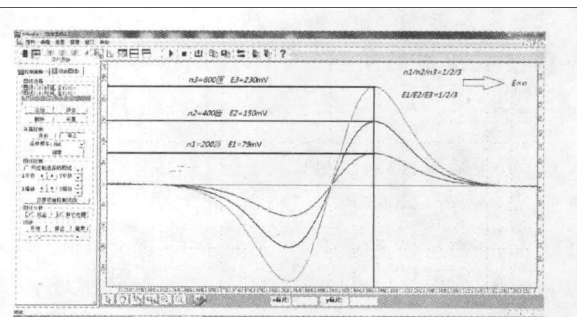


图 20

相比于前两个实验器,DIS 法拉第电磁感应实验器(Ⅲ)严格意义上来说是一个衍生产品。但就是这个衍生产品,一方面从完成了对法拉第电磁感应定律的验证,另一方面则通过优美的实测图线展示了物理学独特的美学要素。这也算是研发中心的另一收获吧!同时要提醒各位的是:该实验器展示的原理已经被广泛应用于您身边的各种测量速度的装置。

后 记

从原型到定型,法拉第电磁感应实验器用了六年多的时间,这是 DIS 系列配套实验器材中耗时最久的一个。这六年多期间,上海市中小学数字化实验系统研发中心经历了攻关的劳苦,收获了思想的升华。

升华之一,是基于对法拉第电磁感应定律的全新认识而形成的科研价值观。爱因斯坦 1918 年在写给他的朋友海因里希·灿格的一封信中说到:“当我的头脑里没有什么特别的问题可想时,我就喜欢重新证明那些我早已知道的数学和物理学定理。这本身并无目的,而只是想沉浸于愉快的思考之中……”在法拉第电磁感应实验器的研发过程中,我们逐步认识到这个已被人熟知,而且成就了人类电气时代的伟大物理定律竟然蕴含着这么丰富的内容,而对它的验证居然要接受这么多的挑战之后,我们不禁对法拉第、纽曼、韦伯、麦克斯韦等科学巨匠们当年的贡献又多了一重敬佩。在以完整的实验数据和扎实的逻辑架构实现了对该定律的验证之后,所有研发人员无不实实在在地享受到了发现和思考的快乐,并开始领略到:但凡伟大的科学发现,都是以追求思考的快乐为基础原动力的。对这种快乐的追求,也开始影响和支配我们的研发活动。

升华之二,则是研发中心进一步坚定了以技术服务于实验教学的信心。从带有致命缺陷的实验器原型初次试水遭到否定,到“DIS 法拉第电磁感应实验器(I、II)”的双剑合璧获得赞扬,再到实验器(III)的衍生拓展,研发中心几经挫折后,技术水平有了质的飞跃,并且在教学实践中体现出了技术的价值。研发完成后,很多老教师

几乎不敢相信“ B 均匀变化时,感应电动势 E 恒定”居然能够通过实验清晰、完整地做出来。因为他们已经习惯于口头讲解,并将该部分内容锁定为衡量学生物理抽象思维能力的标杆了。这无疑给了研发中心以极大的鼓励。这同时也给出一个启示:只要遵循科学理论的指引,尊重教师和专家的指导,抛弃一蹴而就的幻想和急功近利的习惯,我们完全可以做出符合教学要求的一流仪器设备。

在 DIS 法拉第电磁感应实验器 I、II、III 的研制过程中,我们始终坚持以学科教学需求来指导研发工作。多年来的实践证明:教学仪器的研发离不开技术的应用,但单纯的技术堆砌绝不等同于研发。只有经历学科教学需求的指导并经过学科教学的验证和完善,技术才能转化成为能够为教学所用的东西,进而达到改变学生学习方式的根本目的。这是一种策略,更是一种智慧。

参考文献

- [1] 张越,徐在新.物理高中二年级第二学期(试用本).上海科学技术出版社出版,2008年7月
- [2] 张越,徐在新.物理高中拓展性教材II(试用本).华东师大出版社出版,2008年7月
- [3] 张同恂,方玉珍,马淑美.物理(甲种本)(乙种本)第三册.人民教育出版社出版,1985年11月第1版

(上接第 20 页)

理解为着力点的位置变动,就无法建立动能定理,这样定义的功自然也就失去了它在物理上的价值。所以,功的定义式中的 s 指的是力所作用的那个质点的位移。

综上所述:问题 1 中,支持力作用于人体上的受力点在此过程并没有位移,所以支持力不做功。

问题 2 中,因功的定义式中 s 是位移,而位移是一个相对量,它与参照系的选择有关,因此功的大小也总是相对于选定的参照系来计算的。显然,从不同的参照系(水和岸)来研究同一个力对同一个物体,在同一个运动过程中所做的功的数值也并不相同:相对于水,人做了功;相对于岸,人没有做功。这就是功具有相对性的表现,中学阶段较少见,但并非不要求,对具有系统问题(如“子弹打木块”这类题型)在求各力的功时要取相同的参照系。

问题 3 中,施于绳子的摩擦力 f 所作用的那个质点没有发生位移,仅仅是受力点的变换,所以手作用

于绳子的摩擦力对绳子不做功。

现行的高中教材(如鲁科版必修 2)对“功”这个概念的定义是:“如果作用于某物体的恒力大小为 F ,该物体沿力的方向运动,经过位移 s ,则 F 与 s 的乘积叫做机械功,简称功”,而这种说法正是导致师生对功的定义式中的位移产生歧义的根本所在。建议给予修正,如修改为:“如果作用于某物体的恒力大小为 F ,该物体沿力的方向运动,经过位移 s ,则力 F 与物体受力点在力的方向上发生的位移 s 的乘积叫做机械功,简称功”或“力与力在物体上的作用点沿力方向的位移的乘积叫做机械功,简称功”。这样修正后并不会增加中学师生理解的难度,还能达到与大学知识衔接的目的。

参考文献

- [1] 福建师范大学物理系普通物理教研室编.力学(上册).1981年9月