

初中电磁继电器实验的改进与应用*

汪成瑞 张轶炳

(宁夏大学物理与电子电气工程学院 宁夏 银川 750021)

(收稿日期:2018-03-21)

摘要:电磁继电器是一种电子控制器件,是利用输入回路控制输出回路的装置.初中物理实验主要是用电磁铁驱动衔铁,从而达到控制电路的目的.此装置存在稳定性较差、反应较慢、衔铁易失效等诸多不足之处.利用干簧管的特性改进触点式电磁继电器,结合实验简析了二者的优缺点,并在水位预警器中应用.

关键词:电磁继电器 干簧管 水位预警器

1 引言

电磁继电器利用电磁铁,使较小的电流可以控制较大的电流,低电压可以控制高电压,直流电可以控制交流电,一般将其分为控制电路与被控电路^[1].电磁继电器的本质就是一种“自动开关”,有自动调节、安全保护、转换电路等作用.但是大多数中学物理实验室的实验仪器相对于工业电磁继电器较为落后,做工粗糙,不利于保存.在实验演示时,观察部件细微动作的可见度较低,演示效果不明显.我们把干簧管引入该试验,在水位预警器中对二者进行比较.希望在巩固电与磁基础知识的同时,培养学生动手能力,丰富课堂内容,拓宽学生思路.

2 电磁继电器的结构与原理

2.1 电磁铁的原理

在日常生活中,我们可以看到通有电流的导线附近存在磁场.这种现象称为电流的磁效应.为了定量研究电流的磁效应,引入一个电流元 Idl ,其在磁场中受的力为

$$dF = Idl \times B \quad (1)$$

恒定电流激发磁场的规律由毕奥-萨伐尔定律给出,假设 $J(x')$ 为源点 x' 上的电流密度, r 为有 x' 点到场点 x 的矢径,则场点上的磁感应强度为

$$B(x) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{J(x') \times r}{r^3} dV' \quad (2)$$

式中 μ_0 为真空磁导率,积分遍及电流分部的整个区域.对导线内的电流来说,电流集中分布在细导线上,用 Idl 表示闭合回路上的线元,导线的截面元为 dS_n ,可得

$$JdV' = JdS_n dl = JdS_n dl \quad (3)$$

对导线积分后得 Idl .因此,导线上的恒定电流激发磁场的毕奥-萨伐尔定律写为^[2]

$$B(x) = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_L \frac{Idl \times r}{r^3} \quad (4)$$

对于单位长度内的匝数为 n ,长度为 L ,横截面半径为 R 的螺线来说,当 $L \gg R$ 时可近似地将其内部磁场看成均匀的,计算轴向磁场时,把它看成多组圆线圈紧密地排列在一起,可忽略绕线的螺距,则螺线管内部的磁感应强度为

$$B = \mu_0 n I \quad (5)$$

电磁学中把能够影响磁场分部的物质叫做磁介质.在磁介质中把能使总磁场(原外磁场和介质产生磁场的叠加磁场)比原外磁长强度大大加强的磁质称为铁磁质.除了可以在外磁场的作用下产生极强的磁场外,铁磁质还具有外磁场消失后仍能保持磁化状态、相对磁导率远远大于1,在一定温度下可以变成顺磁质等性质.对于铁磁质将磁导率较大,磁滞损耗少,易磁化,也易消磁的磁质称为软磁材料.电

* 宁夏高等学校科研项目,项目编号:NGY2016077

作者简介:汪成瑞(1994-),男,在读硕士研究生,主要研究方向:中学物理教学.

通讯作者:张轶炳(1964-),女,硕士,教授,主要研究方向:物理教育.

磁继电器中要求电磁铁铁芯在通电时,能够快速被磁化;相反在断电时,能迅速消磁,所以铁芯一般选用软磁材料.这种材料在没有外磁场的条件下铁芯中的电子自旋磁矩可以自发地排列起来形成若干个微小的磁化区,即磁畴^[3].在螺线管内插入铁芯,当螺线管未通电时,铁芯内部各磁畴的磁矩方向不同,磁场互相抵消,所以整个材料对外就不显磁性;当给螺线管通入电流,由式(5)可知螺线管内部会产生磁场,在该磁场的作用下,铁芯内磁畴磁矩方向趋于一致,因此铁芯可吸引铁、钴、镍等物质.在通电螺线管内插入铁钉,铁钉可以吸引曲别针.一般把这种磁体叫做电磁体,如图1所示.

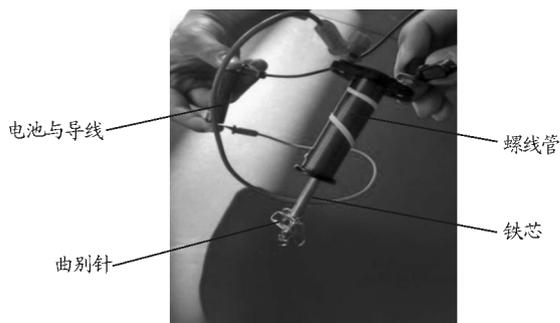


图1 自制电磁铁实物图

2.2 电磁继电器的结构及原理

电磁继电器是一种被广泛使用的继电器,其一般由铁芯、线圈、衔铁、弹簧、动触点与静触点组成.静触点包括常闭触点与常开触点两种.如图2所示为电磁继电器的结构图.其中,线圈和铁芯构成了电磁铁,B为动触点,A为常闭触点,C为常开触点.

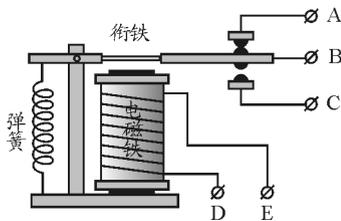


图2 电磁铁的结构图

电磁继电器的工作原理并不复杂,就是利用了电流的磁效应.如图1所示,给电磁铁D和E两端加合适的电源,线圈内有电流流过,便产生了磁场,线圈中间的铁芯被磁化产生磁力,从而衔铁在电磁引力的作用下吸向铁芯,导致动触点B远离静触点A与静触点C相接触.当电磁铁D和E两端电源断开,

电磁铁磁力消失,衔铁在弹簧的弹力作用下衔铁恢复原位,动触点B重新与静触点A相接触.

2.3 电磁继电器的实验设计

2.3.1 实验过程设计

在中学物理教学中通常用图3所示的电路图向学生讲解电磁继电器.将电源、开关、滑动变阻器与电磁继电器的D和E端串联,构成电路1;将两个小灯泡的一端与电源2正极相连接,另一端分别与常闭触点A,常开触点C相连,动触点B与电源2的负极相连,开关2,3保护电路通常处于闭合状态.在实验过程中,先将开关1断开,观察电路2的情况;再将开关2闭合,观察电路2的情况.

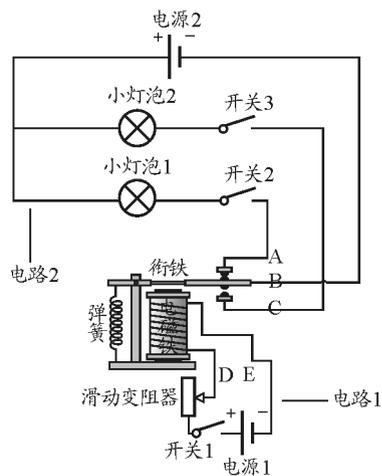


图3 电磁继电器电路图

2.3.2 实验现象展示与结论

当开关1断开时,电磁继电器处于未工作状态,动触点B与常闭触点A相互接触,小灯泡1工作,如图4所示;当开关1闭合时,电磁继电器工作,在电磁铁磁力的作用下,动触点B与常开触点C相互接触,小灯泡2工作,如图5所示.这样便可以实现,用电路1控制电路2.



图4 电磁继电器未工作状态下实物图



图5 电磁继电器工作状态下实物图

2.3.3 电磁继电器使用注意事项

在初中阶段,对于电磁继电器的部分,要求学生掌握电磁继电器的构造和原理,能根据要求连接电路,并且说明电路的工作原理.在电磁继电器实验中,要注意以下几点:

(1)分清控制电路与被控电路,控制电路是使继电器工作的电路,与激发磁场的装置相连接,通常使用较小的电流和较低的电压;被控电路一般与用电器相连接,通常使用较大的电流和较高的电压,控制电路与被控电路是独立工作的,一般不要把它们互相连接.

(2)分清继电器的动触点与静触点,图2中电磁继电器的动触点相当于一个单刀双掷开关的闸刀,所以动触点是必须连接的,而静触点则根据实际需求来连接.

(3)分清用电器是在控制电路断开时工作还是控制电路闭合时工作,从而选择合适的继电器或合适的端口.

这种传统的机械触点式电磁继电器虽然可以帮助人们较为方便地控制电路,但是它也存在不足.在实际生产生活中,使用寿命相对较短、集成度较低.在中学物理教学中,为了使学生更为清晰地观察其结构和工作过程,一般采用较大的仪器,这样必须增大控制电路的电流,学生在操作时安全性较低,并且可靠性不高.其次,该仪器在教学中使用频率不高,在保存过程中容易出现衔铁老化、触点氧化、接触不良,有些潮湿地区甚至还出现生锈腐蚀等问题.

3 利用干簧管改进电磁继电器

3.1 干簧管的结构与工作原理

干簧管也被称为舌簧管或磁簧开关,它是由Western Electric公司在1940年发明的一种磁敏开关,它具有体积小、反应速度快、工作寿命长、抗负载

冲击能力强的特点,工作可靠性高^[4].干簧管是由一个内部充满惰性气体的玻璃管构成主体,在玻璃管内部通常有2到3个磁性材料所制成的金属片,也叫簧片,图6是一种两簧片式干簧管的实物图.在两簧片的触点部是可磁化的物质(通常使用铈、金、银、钨、铁、镍等物质组成的合金),两簧片分隔的距离仅约几个 μm ,在尚未操作时,两簧片未互相接触.如果将干簧管放入磁场中,在触点部的两簧片会产生不同极性的磁性.由于磁极极性相反而相互吸引,当吸引力大于簧片的弹力时,分开的触点便会吸合;当磁力减小的一定值时,在簧片弹力作用下两触点便会恢复到初始状态.

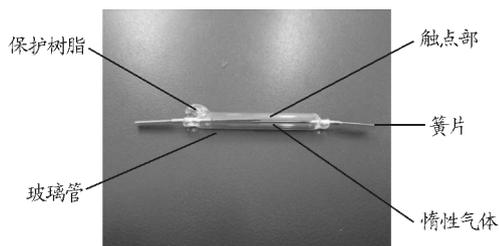


图6 干簧管的实物图

3.2 利用干簧管自制电磁继电器

3.2.1 自制继电器结构与原理

把细铜丝均匀地缠在干簧管外部,如图7所示,给铜丝两端加入适当的电压,铜丝内便会有电流流过,根据式(5)我们知道在铜丝周围会产生一个磁场,通过磁场可以控制干簧管,这样便制成一个简易的继电器.

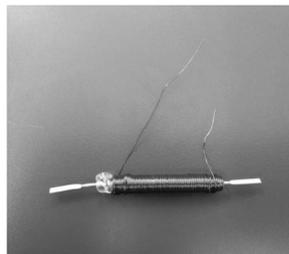


图7 自制继电器实物图

3.2.2 实验过程设计

把电源、开关、滑动变阻器与干簧电磁继电器上缠绕的铜线两端串联,构成电路1;把电源、开关、小灯泡与干簧管的簧片两端串联,构成电路2,其中开关2保护电路一般情况下处于闭合状态,如图8所示.在实验过程中,先将开关1断开观察电路2的情况,再将开关1闭合观察电路2的情况.

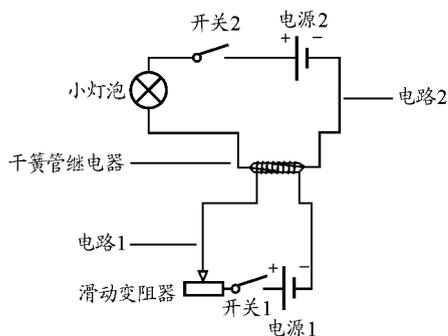


图8 干簧管继电器电路图

3.2.3 实验展现与结论

当开关1断开时,铜线内没有电流通过,干簧管内部两簧片未相互接触,导致电路2断路,小灯泡不亮,如图9所示;当开关1闭合时,干簧管外围的铜线内有电流流过,在其附近产生磁场,干簧管内部的簧片被磁化,互相吸引,使得电路2通路,小灯泡正常工作,如图10所示.这样便可以实现,用电路1控制电路2.

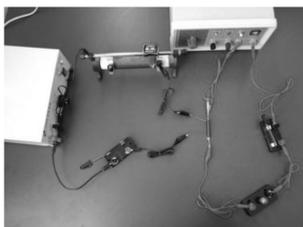


图9 干簧管继电器未工作状态下实物图

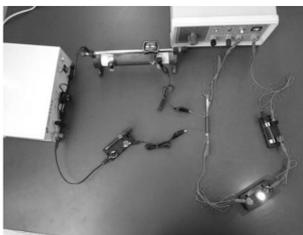


图10 干簧管继电器工作状态下实物图

干簧管继电器与传统继电器相比,不会出现金属疲劳,保证了其在工作中的稳定性.玻璃外壳便于学生对其结构和实验现象的观察.在操作时也可用磁铁代替螺线管,帮助中学生更好地理解磁化现象、电流的磁效应及其相关的应用.

3.2.4 干簧管继电器使用注意事项

在使用干簧管继电器时要注意以下几点:

(1) 干簧管的触点和簧片小巧精致,所以不能承受高电压或大电流,电流过大时,簧片会因过热失去弹性,影响电路的稳定性(学生电源不影响干簧管

的工作).如果要用过大的电流,触点式电磁继电器是更好的选择.

(2) 干簧管是磁控开关,对磁场较为敏感,因此电路周围存在比较复杂的磁场时,建议使用电磁继电器.

4 干簧管继电器改进水位预警器

4.1 基于电磁继电器的水位预警器

在初中物理中,电磁继电器经常在水位预警器中得到应用.这种水位预警器是对电磁继电器的控制电路进行改装,如图11所示.当水位低时,即水位未达到铁片M时,控制电路断路,电磁继电器未工作,此时被控电路也处于断路状态,小灯泡不亮.当水位变高,到达铁片M时,控制电路接通,电磁继电器开始工作,吸引衔铁,使动触点B与静触点C相互接触,被控电路形成完整电路,小灯泡工作,从而达到预警的目的.

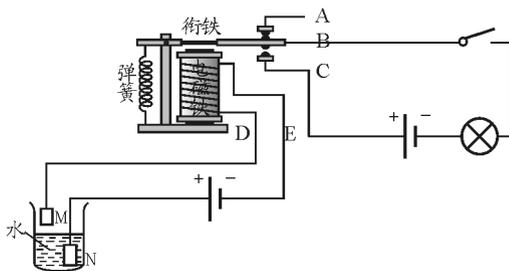


图11 水位预警器原理图

在现实中,自来水的导电能力有限,有时水位达到铁片M所处的位置,但电磁继电器并不能正常工作,而且电通过水传导,安全得不到保障,如图12所示.因此需要对该装置进行改进.

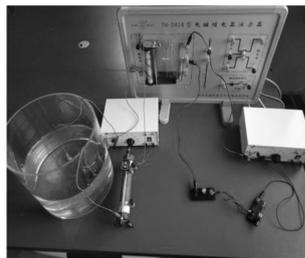


图12 电磁继电器水位预警器实物图

4.2 干簧管继电器对水位预警器的改造

干簧管继电器与电磁继电器有相似之处,都属于磁控开关,即用磁场控制电路闭合.因此在水位预警器中可以用干簧管替代电磁继电器.将干簧管固

定在预定水位,把电源、小灯泡、开关与干簧管两端串联,一带有磁性的浮体置于水中的限位器内,这样便构成了简易的水位预警器,如图13所示。

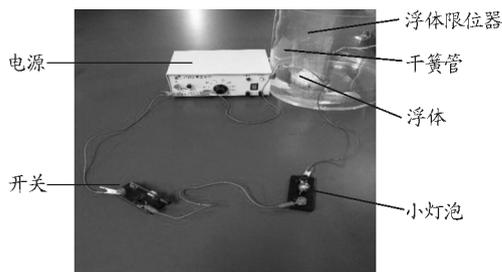


图13 干簧管水位预警器的实物图

当水面上升,浮体随着水面而上升,浮体随着水面升置预定水位时,浮体的磁场将干簧管簧片磁化,干簧管的两簧片相接触,被控电路从断路变成通路,小灯泡开始工作,从而达到报警的目的,如图14所示。

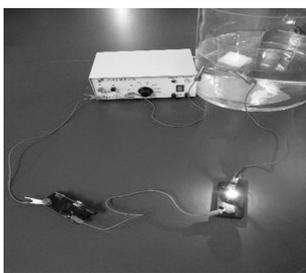


图14 干簧管水位预警器效果展示实物图

在制作该型水位预警器时要注意:

(1) 选择磁性恰当的浮体,磁性过弱不足以磁化干簧管簧片,磁性过强预警灵敏度将会变小。

(2) 干簧管放置时最好与水面平行,这样可以提高预警的精准度,若与水面垂直,预警水位范围将会变大。

(3) 使用浮体限位器,将浮体控制在一定范围内运动,这样可以避免浮体受水流等因素影响。

(4) 与干簧管连接的导线材质必须是铜或其他不易被磁化的材质,这样可避免磁场将导线磁化,从而影响干簧管工作。

5 结语

综上所述,将干簧管引入初中电磁继电器实验教学中,有以下优势:

(1) 干簧管体积小、质量轻、成本低,在具体实验中方便学生以小组为单位,对其观察、实验。

(2) 反应快、可靠性高,所需电流小,学生在安全操作的同时,也能较为容易地完成实验。

(3) 结构简单,易于保存与学生观察,由于干簧管的簧片被玻璃管密封在充满惰性气体的环境中,簧片不会轻易地被腐蚀,利于保存。

参考文献

- 1 李丽云. 干簧继电器研究现状与进展. 中国水运, 2007, 07(3):62
- 2 郭硕鸿. 电动力学. 北京:高等教育出版社, 2008. 13
- 3 赵凯华, 陈熙谋. 电磁学(第三版). 北京:高等教育出版社, 2011. 417
- 4 John Beigel, R ahall. 传感器面面观干簧管与霍尔效应传感器. 今日电子, 2000(12):16 ~ 17

Improvement and Application on Electromagnetic Relay Experiment in Junior Middle School

Wang Chengrui Zhang Yibing

(School of Physics and Electrical Information, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: The electromagnetic relay is an electronic control installation that is a device uses an input loop to control an output circuit. The junior high school physics experiment usually uses the electromagnet to drive the armature to achieve the purpose of controlling the circuit. This device has many disadvantages such as poor stability, slow response, and easy failure of the armature. Improve the electromagnetic relay by utilizing the characteristics of the reed switch, explain the advantages and disadvantages of the two with experiments and applied in the water level warning device.

Key words: electromagnetic relay; reed switch; water level early warning device