

全国中小学教材审定委员会2004年  
初审通过

普通高中课程标准实验教科书

# 物理

(选修3-2)

广东教育出版社



普通高中课程标准实验教科书


# 物理

(选修3-2)

W U L I

广东基础教育课程资源研究开发中心物理教材编写组 编著

主 编: 保宗悌  
副 主 编: 布正明 王笑君 姚跃涌  
本册主编: 姚跃涌  
本册编者: 王笑君 布正明 许鹤龄 陈金球  
张增慧 周兆富 保宗悌 姚跃涌  
袁怀敏 谢小龙  
(以姓氏笔画为序)  
绘 图: 李德安 胡建雄

 广东教育出版社

· 广 州 ·

# 前言

欢迎遨游电磁天地！

环顾我们周围的世界，想想我们的日常生活，看看我们这个电气化时代和信息时代，我们可以深深地感受到，我们身边的一切都是物理知识的“宝库”，从而更加领悟到科学理论对人类文明进步所起的巨大作用，并且如此大地改变了我们的生活。

在本书中，我们将踏着前辈物理学家们的足迹，体验发现之路的艰辛和获得成功的喜悦，并揭示出一个又一个与电磁相关的奥秘。

法拉第电磁感应定律的发现，使人们找到了“磁”生“电”的方法。这个划时代的发现使巨大电能的开发和应用从“可能”变成“现实”，工厂的机器轰鸣了，千家万户的电灯亮起来了，高速机车使“天堑”变“通途”，人类的文明跨进了电气化的时代。

走进商店，琳琅满目的各种电器让我们眼花缭乱。我们知道，要让它们发挥各种功能，离不开电动机、变压器，以及电阻、电感、电容等各种电学元件；火力电站、水电站、核电站……各种电源设施产生的巨大电能要进入工厂、学校、千家万户，离不开输电线和变压器。

当我们走进商场、酒店，自动门自动开启；坐在电视机前，用遥控器自由挑选节目、控制图像和声音；电冰箱、空调、电饭煲……各种传感器让它们越来越“聪明”；手机在移动中通话，听其言还可观其形。传感器让人类的感觉器官得到一次又一次的延伸，人类也一次又一次地实现了自身超越。

为了增加探索的乐趣，本书设计了引人入胜的栏目。通过“观察与思考”，我们可以从丰富多彩的课堂演示实验和虚拟现实实验中，学会观察，得到启发，逐步透过现象认识本质；在“实验与探究”中，我们可以亲自动手，探索奥秘，体验科学探究的过程与方法；“讨论与交流”让我们畅所欲言；“实践与拓展”给我们留下再思索、再实践和创新的空间；“我们的网站”、我们“资料活页”，可以让我们开阔视野，发展兴趣，获取“天高任鸟飞，海阔凭鱼跃”之收效；“练习”、“本章小结”、“习题”可以让我们回顾、评价、巩固、强化，更好地遨游在知识的海洋中。

让我们迈开探究的脚步，在绚丽的电磁科学花园里不懈地耕作、采撷。

# 目 录

<b>第一章 电磁感应</b> .....	1
第一节 电磁感应现象 .....	2
第二节 产生感应电流的条件 .....	5
第三节 感应电流的方向 .....	8
感应电流的方向 .....	8
楞次定律 .....	10
右手定则 .....	11
第四节 法拉第电磁感应定律 .....	14
影响感应电动势大小的因素 .....	14
法拉第电磁感应定律 .....	16
感应电动势的另一种表述 .....	16
第五节 电磁感应规律的应用 .....	19
法拉第电机 .....	19
电磁感应中的能量转化 .....	21
第六节 自感现象及其应用 .....	25
自感现象 .....	25
自感系数 .....	26
日光灯 .....	26
第七节 涡流现象及其应用 .....	29
涡流现象 .....	29
电磁灶与涡流加热 .....	29
涡流制动与涡流探测 .....	30
<b>第二章 交变电流</b> .....	37
第一节 认识交变电流 .....	38
观察交变电流的图象 .....	38
交变电流的产生 .....	39
第二节 交变电流的描述 .....	42
用函数表达式描述交变电流 .....	42
用图象描述交变电流 .....	43

第三节 表征交变电流的物理量 .....	45
交变电流的周期和频率 .....	45
交变电流的峰值和有效值 .....	45
第四节 电感器对交变电流的作用 .....	48
认识电感器 .....	48
电感器对交变电流的作用 .....	48
低频扼流圈和高频扼流圈 .....	49
第五节 电容器对交变电流的作用 .....	51
电容器仅让交变电流通过 .....	51
电容器对交变电流的作用 .....	52
隔直电容器和旁路电容器 .....	53
第六节 变压器 .....	55
认识变压器 .....	55
探究变压器的电压与匝数的关系 .....	56
理想变压器原副线圈中的电流 .....	57
第七节 远距离输电 .....	60
从发电站到用户的输电线路 .....	60
为什么要用高压输电 .....	61
直流输电 .....	63
<b>第三章 传感器</b> .....	<b>69</b>
第一节 认识传感器 .....	70
什么是传感器 .....	70
传感器的分类 .....	72
第二节 传感器的原理 .....	75
温度传感器的原理 .....	75
光电传感器的原理 .....	76
第三节 传感器的应用 .....	79
生活中的传感器 .....	79
农业生产中的传感器 .....	80
工业生产中的传感器 .....	80
飞向太空的传感器 .....	81
第四节 用传感器制作自控装置 .....	83
* 第五节 用传感器测磁感应强度 .....	87

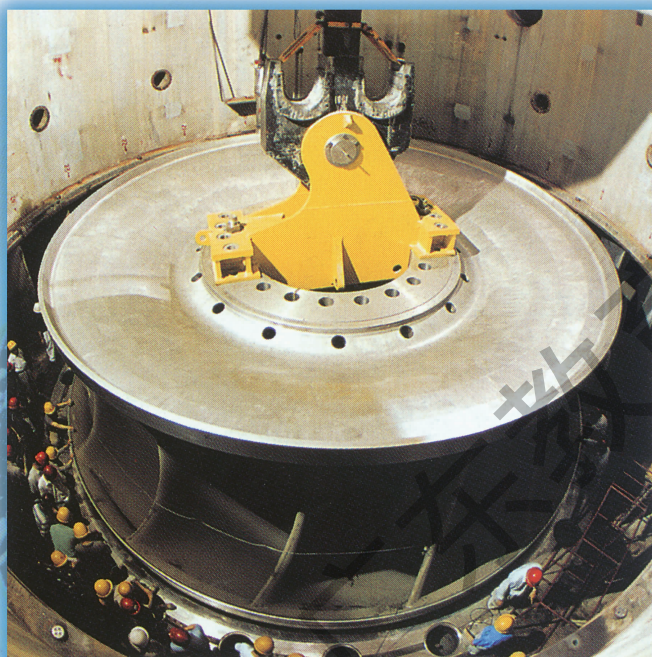
# 第一章

## 电磁感应

19 世纪初，电磁学的研究成果，尤其是电磁感应定律的发现，不仅奠定了电磁学理论的基石，而且使一种新的、效率更高的、更方便的能源利用和转化成为可能，人类社会的电气时代由此拉开帷幕——

发电机将燃料、水流等能源转化为电能，实现了电能高效率、大规模的生产和传输；电动机将电能转化成机械能，为机器生产和新的动力能源架起了桥梁……

从此，人类文明被深深地烙上了电磁的印记。



## 第一节 电磁感应现象

1820年，丹麦物理学家奥斯特发现了电流的磁效应，揭示出通电导线周围有磁场，表明了电能生磁。奥斯特的惊人发现震动了当时整个科学界，从此揭开了研究电磁联系的序幕。

从1820年到1831年，当时许多著名科学家如法国的安培、菲涅耳、阿拉果和英国的沃拉斯顿、瑞士的科拉顿等，纷纷投身于探索磁与电的关系之中。

瑞士科学家科拉顿用导线绕成一个线圈，再用一个灵敏的电流计来检查线圈中是否有电流存在，如果线圈中有电流，跟线圈连在一起的灵敏电流计的指针就会偏转。他想，当一块磁铁被插入线圈时，可能会在线圈中产生电流。由于灵敏电流计的指针是很容易摆动的，为了避免磁铁对灵敏电流计的影响，他把灵敏电流计放到另一个房间里，然后用导线将灵敏电流计跟隔壁房间里的线圈连接，如图1-1-1所示。当时，实验室周围没有人，没有一点声响，科拉顿似乎听到自己心脏的跳动。他稳定一下自己的情绪，将一块磁铁插入线圈，然后放下磁铁，让它留在线圈里，迅速奔向另一个房间。当他跑到灵敏电流计面前的时候，灵敏电流计的指针仍然停在零点位置，他没有看到他所期望的指针偏转的现象。

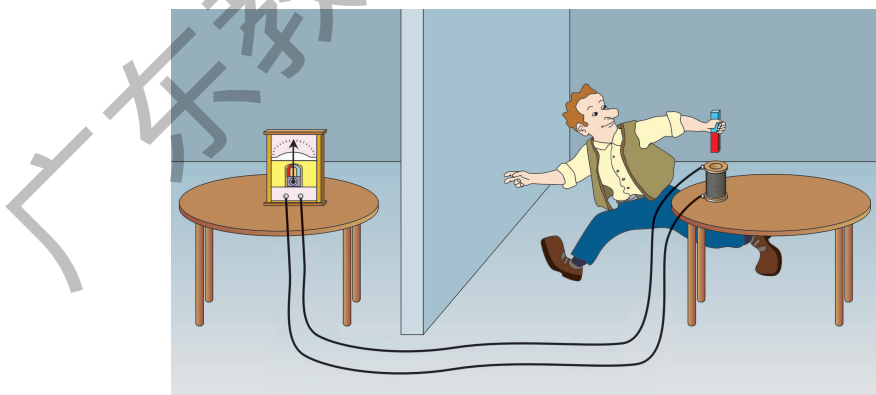


图 1-1-1 科拉顿错失了发现磁生电的良机

在同一时期，安培用通电线圈进行了探求“磁”能否生“电”的实验，但他只关注了线圈通电达到稳定状态时的情形，而没有留意线圈通、断电瞬间的状态，错失了发现“磁”生“电”的良机。

电磁联系启迪人们思考：自然界万事万物都是相互联系、相互作用的，既然电流能在其周围产生磁效应，那么磁体能在附近导线中感应出电流吗？也就是说，磁真的能生电吗？

## 实验与探究

按照下面提供的几组实验器材，分别设计实验方案，分组进行实验。然后互相交流，争取得出一个共同的实验结论。

- (1) 长导线、灵敏电流计。
- (2) 直导体、蹄形磁铁、灵敏电流计、导线。
- (3) 条形磁铁、大螺线管、灵敏电流计、导线。
- (4) 学生电源、滑动变阻器、开关、大小螺线管、灵敏电流计、导线。

上述实验中，第一种情况：将长导线接在灵敏电流计上，当长导线以东西方向为旋转轴沿南北方向转动时，如图 1-1-2 所示，灵敏电流计的指针有较大偏转，当长导线以南北方向为旋转轴沿东西方向转动时，灵敏电流计的指针偏转很小；第二种情况：直导体在磁场中做切割磁感线运动，接在直导体上的灵敏电流计的指针发生偏转，直导体静止在磁场中或做平行磁感线的运动，灵敏电流计的指针无偏转；第三种情况：将条形磁铁插入连接灵敏电流计的大螺线管，插入过程中灵敏电流计的指针发生偏转，条形磁铁静止在大螺线管中，灵敏电流计的指针无偏转；第四种情况：用通电小螺线管替代条形磁铁插入连接灵敏电流计的大螺线管，插入过程中灵敏电流计的指针发生偏转，通电小螺线管静止在大螺线管中，灵敏电流计的指针无偏转。这些现象表明，在一定的条件下，磁能生电。

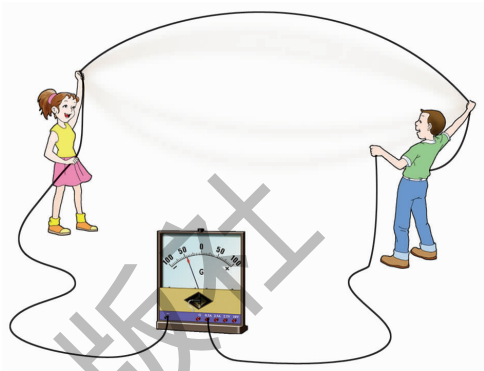


图 1-1-2 用长导线与灵敏电流计做实验

奥斯特发现极大地震惊了法拉第 (M. Faraday, 1791—1867)。1822 年，法拉第在日记中写下了“由电产生磁，由磁产生电”的大胆设想，并由此开始了长达十年的艰苦探索。

1831 年 8 月，法拉第做了一个新装置。他在一个闭合铁环的一边用铜丝绕成线圈，接上电流计；在铁环的另一边也绕了一组线圈，接到由 100 个伏打电堆连成的电池组上，如图 1-1-3 所示。他在接通这个含着电池组的回路时，恍惚觉得另一个不含有电源的回路中的电流计指针晃动了一下，他定神细看，指针仍然指在零刻度上。于是，他动手拆开与电池组相连的线圈，这时，另一个回路中的电流计又动了。当法拉第不断重复接通、断开与电池组相连的那根导线时，另一个没有电源的线圈回路中的电流计指针便相应地左右摆动。

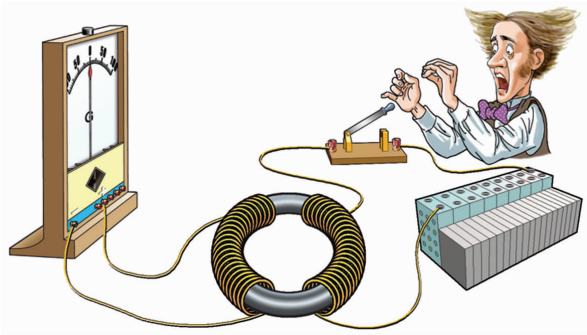


图 1-1-3 法拉第实验示意图

法拉第继续自己的实验研究。他把原来实验装置中绕线的铁环



换成木环,甚至什么环也不要,重复先前的实验操作,得到同样的实验结果.他把与电池组相连的线圈回路去掉,用一根圆柱形磁棒代替,把整个磁棒迅速地插进或抽出,电流计的指针都动了.

法拉第设计了几十种能够发生电磁感应的装置,在这一次次反反复复的实验研究中,他渐渐地悟出了“动”与“静”的区别,指出:只有运动变化的磁才能产生电!

法拉第把可以产生电磁感应的情况概括成五类:①变化着的电流;②变化着的磁场;③运动的恒定电流;④运动的磁铁;⑤在磁场中运动的导体.更概括地说,如果所研究的电路中磁通量发生变化,在这个电路中就会发生电磁感应.

法拉第终于取得了成功.1831年11月24日,法拉第向英国皇家学会报告了整个实验情况,并把这种现象正式命名为“电磁感应”.这种由磁生电的现象,叫做**电磁感应现象**.由电磁感应现象产生的电流,叫做**感应电流**.

法拉第的实践活动和认识活动,不仅铸成了电磁学研究实验基石,也带来了人类对自然界认识观的变化.动态的、暂态的客观现实进入人们的头脑,丰富和完善着人们的世界观.

电磁感应现象的发现具有划时代的意义,它打开了通向电气化的大门.

### 专业术语

电磁感应

electromagnetic induction

感应电流

induction current

 [我们的网站 \(physics.scnu.edu.cn/gzwl\)](http://physics.scnu.edu.cn/gzwl)

法拉第的生平



1. 奥斯特发现的电流磁效应,震动了整个科学界,它证实了电与磁是有联系的,同时也引发了许多科学家的思考,纷纷提出了“由磁生电”的猜想.但大多数人都与“磁生电”现象失之交臂,如法国物理学家安培曾将恒定电流或磁铁放在导线圈附近,试图“感应”出电流,种种尝试均无所获.直至1831年,法拉第经过了艰苦的探索,终于领悟到:在变化、运动的过程中才能产生“磁生电”的效应.

(1) 许多科学家由“电生磁”的现象,提出了“磁生电”的猜想,这种思考体现的物理思想方法是 ( ).

A. 守恒思想    B. 对称性    C. 比值法    D. 控制变量法

(2) 法拉第发现“磁生电”的现象所经历的时间是 ( ).

A. 一个月    B. 一年    C. 五年    D. 十年

(3) 请列举出几种磁能生电的情况.

2. 安培将恒定电流或磁铁放在导线圈附近,为什么不能“感应”出电流?请你尝试解释.

3. 法拉第经过了艰苦的探索终于领悟到:在变化、运动的过程中才能产生的“磁生电”的效应.他的成功对你有什么启示?

## 第二节 产生感应电流的条件

法拉第发现了电磁感应现象，揭示了磁确实能生电，同时也表明了磁生电要在一定条件下进行。下面我们就来研究产生感应电流的条件。

### 实验与探究

**实验 1:** 利用蹄形磁铁的磁场。

如图 1-2-1 (a) 所示，将导体  $ab$  和电流表连接组成闭合电路。

(1) 当导体  $ab$  在磁场中做切割磁感线运动时，观察电流表的指针是否偏转。

(2) 当导体  $ab$  在磁场中做与磁感线平行的运动时，观察电流表的指针是否偏转。

(3) 借助图 1-2-1 (b)，分析当导体  $ab$  在磁场中做切割磁感线运动时，穿过由导体  $ab$  和电流表组成的闭合电路的磁通量变化情况。

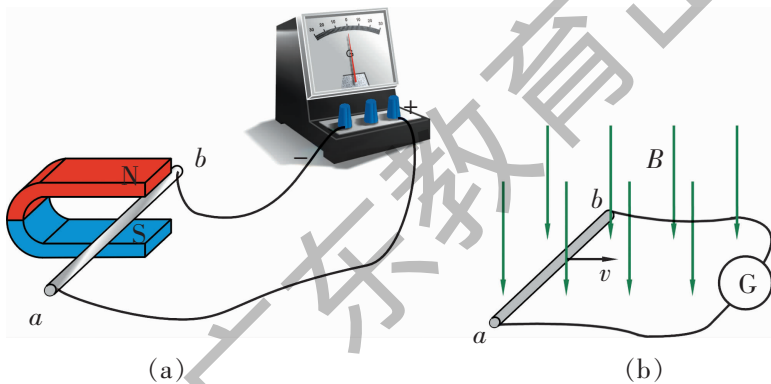


图 1-2-1 利用蹄形磁铁的探究实验

我的结论：\_\_\_\_\_。

**实验 2:** 利用条形磁铁的磁场。

如图 1-2-2 所示，将螺线管用导线与电流表连接组成闭合电路。分别把条形磁铁插入螺线管，然后静止在螺线管中，最后从螺线管中拔出来，观察以上三个过程中电流表的指针是否偏转。分析螺线管中磁通量的变化情况。

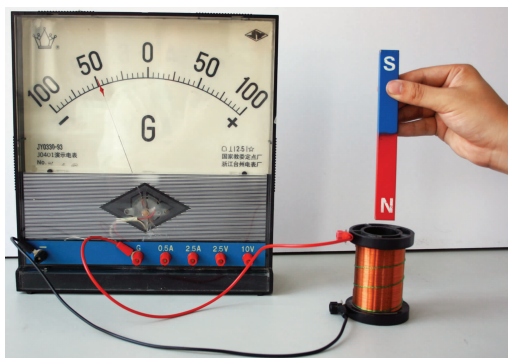


图 1-2-2 利用条形磁铁的探究实验

我的结论：\_\_\_\_\_。



图 1-2-3 利用通电螺线管的探究实验

**实验 3:** 利用通电螺线管的磁场.

如图 1-2-3 所示, 用导线把一个大螺线管  $B$  与电流表连接成闭合电路, 被套在大螺线管  $B$  中的小螺线管  $A$  通过滑动变阻器、开关与电源连接. 怎样才能使大螺线管  $B$  中有电流产生? 按表 1-2-1 的要求进行实验, 注意观察实验现象, 并将结果填入表中.

表 1-2-1

操 作	电流表指针如何偏转	大螺线管 $B$ 中的磁通量如何变化	是否有感应电流
开关接通瞬间			
开关接通, 滑片 $P$ 不动			
开关接通, 滑片 $P$ 移动			
开关断开瞬间			

我的结论: \_\_\_\_\_

上述三个实验的形式不同. 在实验 1 中, 导体静止在磁场中或做平行于磁感线运动时, 电流表的指针不偏转; 导体在磁场中做切割磁感线运动时, 电流表的指针发生偏转, 表明产生了电流. 在实验 2 中, 磁体静止在螺线管中, 电流指针不偏转; 磁体插入或拔出螺线管的过程中, 电流表指针都发生偏转, 表明产生了电流. 在实验 3 中, 连接小螺线管  $A$  的开关接通后电路电流稳定时, 电流表指针不偏转, 连接小螺线管  $A$  的开关接通瞬间、断开瞬间或开关接通而滑动变阻器的滑片  $P$  移动时, 电流表指针都发生偏转, 表明产生了电流.


**讨论与交流**

上述三个实验都产生了感应电流, 它们之间有何共同点?

在实验 2 中, 螺线管和电流表组成了闭合电路. 当条形磁铁在螺线管中不动时, 穿过螺线管的磁通量不变, 没有电流产生; 当条形磁铁插入或取出时, 穿过螺线管的磁通量发生变化, 产生了电流. 因此, 产生的电流应来自于磁通量的变化. 在实验 3 中, 通电小螺线管  $A$  产生的磁场与条形磁铁相似, 产生电流的情况与实验 2 的分析一样. 实验 1 表面上看起来与实验 2、实验 3 不一样, 但是导体  $ab$  在磁场中做切割磁感线运动时, 由导体  $ab$  和电流表组成的闭合电路的磁通量发生改变, 因而产生了电流.

实验表明: 不论何种原因, 只要使穿过闭合电路的磁通量发生变化, 闭合电路中就有感应电流产生. 这就是产生感应电流

的条件. 在闭合电路中有磁通量但不变化, 即使磁场很强, 磁通量很大, 也不会产生感应电流. 如果电路不闭合, 即使磁通量发生变化, 也不会产生电流. 当然, 引起磁通量变化的原因是各不相同的, 可能是闭合电路或闭合电路一部分的磁感应强度发生变化, 或者是闭合电路在磁场中的面积发生变化, 也可能是闭合电路与磁场的夹角发生变化.

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

磁通量的变化.

 练习

1. 如图 1-2-4 所示, 磁场中有一个闭合的弹簧线圈. 先把线圈撑开 [如图 (a)], 然后放手, 让线圈收缩 [如图 (b)], 线圈收缩时, 其中是否有感应电流产生? 为什么?

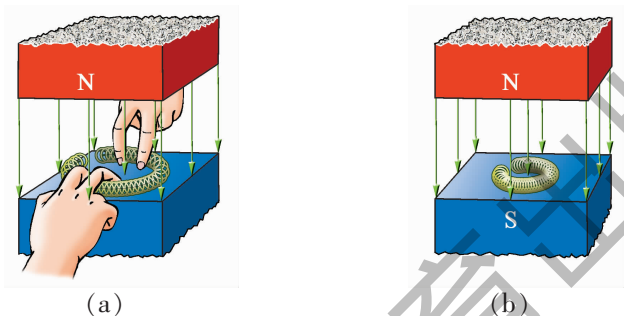


图 1-2-4

2. 如图 1-2-5 所示, 在下列情况中, 正方形线框在匀强磁场里运动, 能否产生感应电流? 为什么?

- (1) 将线框由正方形拉成圆形.
- (2) 将线框匀加速垂直于纸面向外拉.
- (3) 将线框向左拉出磁场.
- (4) 绕线框任一边旋转.

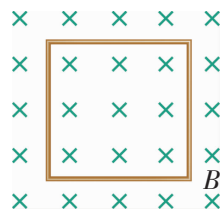


图 1-2-5

3. 如图 1-2-6 所示, 线圈  $abcd$  在通电长直导线的磁场中, 分别做如下的运动, 线圈中能否产生感应电流? 为什么?

- (1) 向右平动.
- (2) 向下平动.
- (3) 以下边为轴转动.
- (4) 从纸面向纸外做平动.

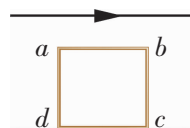


图 1-2-6

4. 某同学做研究产生感应电流的条件的实验, 将电流表、线圈  $A$  和  $B$ 、蓄电池、开关用导线接成如图 1-2-7 所示的实验电路, 当他接通、断开开关时, 电流表的指针都没有偏转, 请你帮他查出原因并改正.

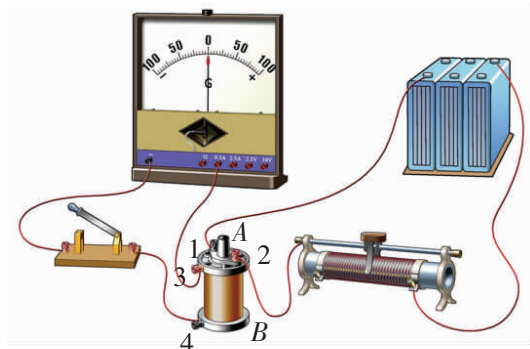


图 1-2-7

## 第三节 感应电流的方向

我们知道，只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就有感应电流产生，并且在实验中，我们也发现感应电流的方向在不同情况下可以发生改变。那么，感应电流的方向是否存在什么规律呢？

### 感应电流的方向

在上一节“实验与探究”的实验2中，将条形磁铁插入螺线管或从螺线管中拔出，我们发现感应电流的方向与螺线管中磁场的方向以及磁体的运动方向存在着联系。那么，它们究竟存在怎样的联系？感应电流的方向究竟取决于什么？下面我们就通过实验进行探究。

#### 实验与探究

产生感应电流的根本原因是穿过闭合电路中的磁通量发生变化。那么，我们猜想：感应电流的方向可能与磁通量的变化有关，或者与闭合电路中引起感应电流的磁场方向及磁通量的变化有关，也可能与螺线管线圈的绕向有关。

下面我们通过实验来检验猜想是否正确，搞清楚电流表指针的偏转方向与通入的电流方向的关系。

1. 用如图1-3-1所示的实验，可以探究电流表指针偏转方向与通入的电流方向的关系，把观察到的现象及结果填入表1-3-1内。

表 1-3-1

电流流入电流表的情况	电流表指针偏转方向
电流从电流表“+”接线柱流入	
电流从电流表“-”接线柱流入	

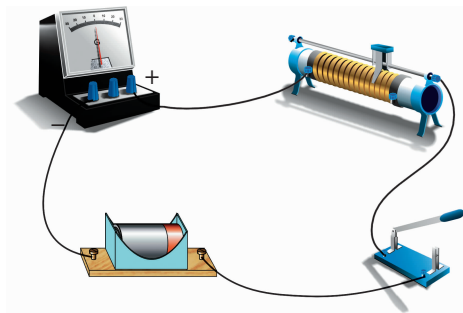


图 1-3-1 探究感应电流方向的实验装置

2. 由于影响感应电流方向的因素不是单一的，故采用控制变量法进行，实验电路图如图1-2-2所示。

(1) N极向下，将磁铁插入螺线管，观察电流方向。

(2) N极向下，将磁铁拔出螺线管，观察电流方向。

(3) S极向下，将磁铁插入螺线管，观察电流方向。

(4) S极向下，将磁铁拔出螺线管，观察电流方向。

完成上述实验步骤，观察实验现象并将结果填入表 1-3-2 中。

表 1-3-2

条形磁铁运动情况	N极向下 插入线圈		N极向下 从线圈拔出		S极向下 插入线圈		S极向下 从线圈拔出	
图 示								
产生感应电流的磁场方向	向下		向下		向上		向上	
穿过线圈的磁通量变化情况	增加		减少		增加		减少	
电流表指针偏转方向	右偏		左偏		左偏		右偏	
感应电流在线圈中的方向	$b \rightarrow a$		$a \rightarrow b$		$a \rightarrow b$		$b \rightarrow a$	
感应电流的磁场方向	向上		向下		向下		向上	
产生感应电流的磁场与感应电流的磁场方向关系	相反		相同		相反		相同	

我的结论：\_\_\_\_\_

**评估与交流**

1. 把猜想与相应的实验结果进行对照，看看有无差异。
2. 比较各自的结论，看谁的结论更准确、更简洁、更全面。

上面的实验中，在磁场方向和磁通量增减情况相同的条件下，如果换用绕向不同的螺线管，电流表指针的偏转方向相反，说明感应电流的方向还与螺线管线圈的绕向有关。运用安培定则，可以判断出感应电流的磁场方向不变，这说明感应电流的磁场方向只与引起感应电流的磁通量的变化有关。磁通量增加时，感应电流磁场方向与原磁场方向相反；磁通量减少时，感应电流磁场方向与原磁场方向相同。

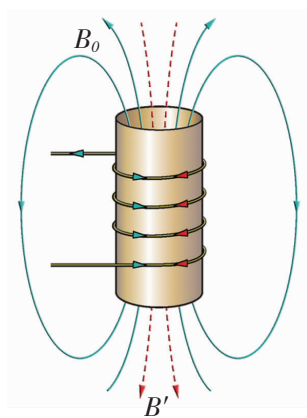


图 1-3-2

## 专业术语

楞次定律

Lenz law

## 楞次定律

实验表明：当引起感应电流的磁场  $B_0$  穿过螺线管的磁通量增加时，感应电流的磁场  $B'$  方向与引起感应电流的磁场  $B_0$  方向相反；当引起感应电流的磁场  $B_0$  穿过螺线管的磁通量减少时，感应电流的磁场  $B'$  方向与引起感应电流的磁场  $B_0$  方向相同。因此，感应电流的方向可以这样确定：**感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。** 这就是楞次定律。

这里的“阻碍”体现为：当引起感应电流的磁通量增加时，感应电流的磁场方向与引起感应电流的磁场方向相反，即感应电流的磁通量阻碍了引起感应电流的磁通量的增加；当引起感应电流的磁通量减少时，感应电流的磁场方向与引起感应电流的磁场方向相同，即感应电流的磁通量阻碍了引起感应电流的磁通量的减少；当回路中的磁通量不变时，则没有“变化”需要阻碍，故此时没有感应电流的磁场，也就是说没有感应电流。

于是，根据感应电流的磁场方向，利用安培定则就可以确定感应电流的方向。

## 讨论与交流

如果磁通量的改变不是由于磁感应强度的改变而引起的，而是由于面积或磁场与线圈面积的夹角改变引起的，那么感应电流方向又如何呢？

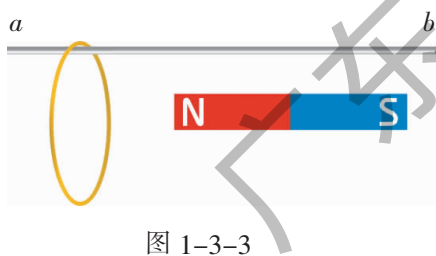


图 1-3-3

**例 1：**如图 1-3-3 所示，一铝制导体圆环竖直固定在水平光滑杆  $ab$  上，当把条形磁铁的 N 极向左插向圆环时，圆环中产生的感应电流方向如何？如果把条形磁铁从圆环中向右抽出时，圆环中产生的感应电流方向又如何呢？

**解：**当条形磁铁的 N 极向左插向圆环时，穿过圆环的磁通量逐渐增加，圆环产生感应电流。感应电流的磁场要阻碍引起感应电流的磁通量的增加，故感应电流的磁场方向向右，用安培定则可判定感应电流的方向为：从右向左看为逆时针方向。

若条形磁铁从圆环中向右抽出时，穿过圆环的磁通量逐渐减少，圆环产生感应电流。感应电流的磁场要阻碍引起感应电流的磁通量的减少，感应电流的磁场方向向左，用安培定则可判定感应电流的方向为：从右向左看为顺时针方向。

在例 1 中，如果圆环不固定，当把条形磁铁的 N 极向左插向圆环时，圆环将怎样运动呢？如果把条形磁铁从圆环中向右抽出时，圆环又将怎样运动？请自己分析一下。

**例 2:** 如图 1-3-4 所示, 有两条导轨  $PQ$ 、 $MN$  平行水平放置, 连接电阻  $R$ , 磁场方向竖直向下. 把一根导体棒  $ab$  置于水平导轨上, 紧贴导轨面向右运动. 试判断电阻上的电流方向.

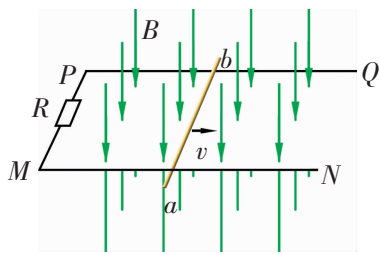


图 1-3-4

**解:** 导体棒、水平导轨和电阻  $R$  组成闭合电路, 导体棒  $ab$  向右运动时, 闭合电路围成的面积逐渐增大, 穿过闭合电路的磁通量逐渐增加, 闭合电路中产生感应电流. 由楞次定律可知, 感应电流的磁场方向与引起感应电流的磁场方向相反, 即感应电流的磁场方向应竖直向上, 用安培定则可判定闭合电路中的电流方向是从上而下看为逆时针方向, 即电阻  $R$  上的电流方向是从  $P$  流向  $M$ .

### 右手定则

在例 2 中, 导体棒  $ab$  向右做切割磁感线的运动, 使穿过导体棒、水平导轨和电阻  $R$  组成的闭合电路的磁通量发生变化. 磁通量的变化是由导体做切割磁感线运动引起的, 感应电流的方向与磁感线方向、导体运动方向三者之间有一个便于记忆的关系, 这就是右手定则: 伸开右手, 让拇指跟其余四个手指垂直, 并且都跟手掌在同一个平面内, 让磁感线垂直从手心进入, 拇指指向导体运动的方向, 其余四指所指的方向就是感应电流的方向. 如图 1-3-5 所示.

右手定则可以看作是楞次定律在导体运动情况下的特殊运用.

#### 专业术语

右手定则  
right-hand rule

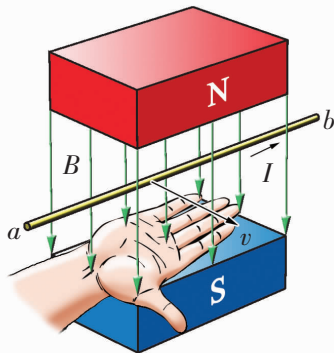


图 1-3-5 右手定则

### 讨论与交流

1. 用右手定则判断例 2 中通过电阻  $R$  的电流方向, 并把它与用楞次定律判断的结果进行比较.

2. 如图 1-3-6 所示, 长方形区域内为匀强磁场, 在矩形线圈  $abcd$  从左到右穿过的整个过程中:

(1) 线圈从磁场外进入磁场, 线圈中是否有感应电流? 方向如何?

(2) 线圈进入磁场且只在磁场中运动, 线圈是否有感应电流? 为什么?

(3) 线圈从磁场中逐渐拉出磁场的过程中, 线圈中是否有感应电流? 方向如何?

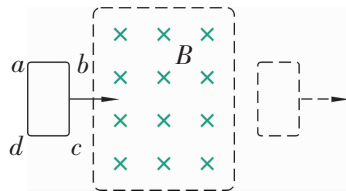


图 1-3-6

### 实践与拓展

1. 自己设计两个实验, 进一步验证楞次定律和右手定则.
2. 楞次定律是否反映了能量的关系呢?



## 资料活页

## 感应电流引起的机械效果

在电磁感应现象中，电路中产生的感应电流又会受到安培力的作用，从而引起各种机械效果，这是能量的转化和守恒在电磁现象中的一种具体表现。这类问题的分析，通常可采用以下两种方法：第一是从感应电流所受的安培力出发进行分析，先判定感应电流的方向，再确定磁场对感应电流的作用力方向，进而分析其机械效果。第二是从楞次定律的另一种表述出发进行分析。表述是：感应电流的效果，总是要反抗产生感应电流的原因。产生感应电流的原因，可以是磁通量的变化，也可以是引起磁通量变化的相对运动或回路的形变。而感应电流的效果，可以是感应电流所产生的磁场，也可以是因感应电流受安培力作用而引起的机械行为。

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl/> 我们的网站

1. 如何理解楞次定律的另一种表述。
2. 楞次定律的应用。

## 练习

1. 如图 1-3-7 所示， $OO'$  是矩形导线框  $abcd$  的对称轴，其左方有匀强磁场。以下哪些情况下，线框  $abcd$  中有感应电流产生？方向如何？

- (1) 将线框  $abcd$  向纸面外平移。
- (2) 将线框  $abcd$  向右平移。
- (3) 将线框  $abcd$  以  $ad$  为轴向外转动  $60^\circ$ 。
- (4) 将线框  $abcd$  以  $bc$  为轴向外转动  $60^\circ$ 。

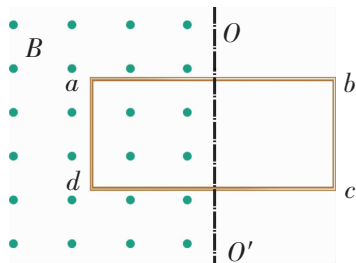


图 1-3-7

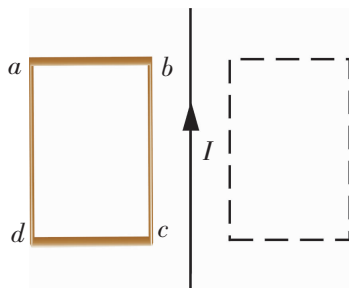


图 1-3-8

2. 一矩形线框  $abcd$  与长直通电导线处于同一平面内， $ad$  边与导线平行，如图 1-3-8 所示，当线框在此平面内向右运动到导线的右边的过程中，请分析线框内感应电流方向的变化情况。

3. 如图 1-3-9 所示，水平面上有两根平行导轨，上面放着两根金属棒  $a$ 、 $b$ 。当条形磁铁如图向下移动时（不到达导轨平面）， $a$ 、 $b$  将如何移动？

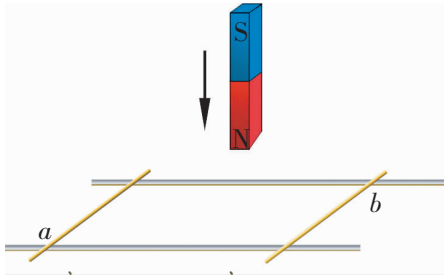


图 1-3-9



图 1-3-10

4. 如图 1-3-10 所示，两个线圈  $A$ 、 $B$  套在一起，线圈  $A$  中通有电流，方向如图所示。当线圈  $A$  中的电流突然增强时，线圈  $B$  中的感应电流方向如何？

5. 如图 1-3-11 所示的装置，原线圈  $M$  与电源相连接，副线圈  $N$  与电流表  $G$  相连接。如果副线圈中产生的感应电流  $i$  从  $a$  到  $b$  流过电流表，则这时正在进行的实验过程是什么？

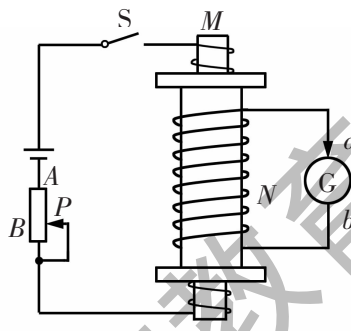


图 1-3-11

6. 如图 1-3-12 所示，一水平放置的圆形通电线圈 1 固定，另一个较小的圆形线圈 2 从线圈 1 的正上方下落，在下落的过程中两线圈平面始终保持平行且共轴，则线圈 2 从线圈 1 的正上方下落至线圈 1 的正下方的过程中，从上向下看，线圈 2 是否有感应电流？若有感应电流，方向如何？

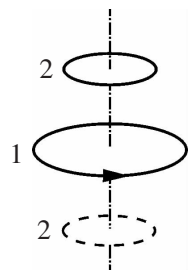


图 1-3-12

## 第四节 法拉第电磁感应定律

### 专业术语

感应电动势

induced electromotive force

如果要使一闭合电路中出现电流，电路中必须有电源，电流是由电源的电动势产生的。在电磁感应现象中，既然闭合电路中有感应电流，这个电路中就一定有电动势。电路断开时，虽然没有感应电流，电动势依然存在。在电磁感应现象中产生的电动势叫做**感应电动势**。产生感应电动势的那部分导体就相当于电源。而感应电流的强弱由感应电动势的大小和闭合电路的电阻决定，可以由闭合电路欧姆定律算出。那么，感应电动势的大小跟什么因素有关呢？

### 影响感应电动势大小的因素

#### 实验与探究

##### 提出问题

通过上一节的学习我们知道：要得到感应电流，就必须使穿过闭合电路的磁通量发生变化，而感应电流的产生则说明感应电动势存在。感应电动势是否与磁通量的变化有关系呢？

##### 猜想与假设

首先我们会推测，感应电动势  $E$  的大小可能与磁通量  $\Phi$  的变化量  $\Delta\Phi$  有关；其次，感应电动势的大小可能也与磁通量变化所用的时间  $\Delta t$  有关。

##### 制定计划与设计实验

由上面的推测可知，要探究的物理量  $E$  可能与两个物理量  $\Delta\Phi$ 、 $\Delta t$  有关。我们运用科学实验的控制变量法，先固定其中一个物理量，探究另一个物理量变化时，感应电动势  $E$  的大小是如何变化的。请参考图 1-4-1 的实验器材以及表 1-4-1 和表

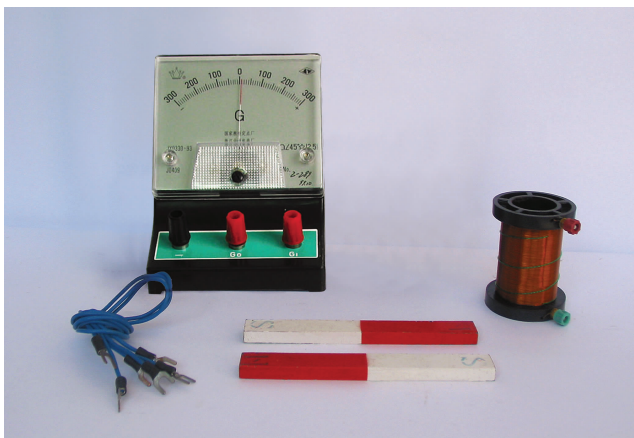


图 1-4-1 实验器材

1-4-2, 制定实验计划.

**实验与数据收集**

1. 按照制定的实验计划进行实验, 把观察到的结果填入表 1-4-1 中.

表 1-4-1

所用条形磁铁的数目	磁铁插入或拔出的方式	螺线管中磁通量的变化量 $\Delta\Phi$	电流表指针的偏转情况	感应电动势 $E$ 的大小
1 根	快速			
2 根	快速			

我的结论: \_\_\_\_\_

2. 按照制定的实验计划进行实验, 把观察到的结果填入表 1-4-2 中.

表 1-4-2

所用条形磁铁的数目	磁铁插入或拔出的方式	螺线管中的磁通量变化所用的时间 $\Delta t$	电流表指针的偏转情况	感应电动势 $E$ 的大小
2 根	快速			
2 根	慢速			

我的结论: \_\_\_\_\_

在实验 1 中, 在保证磁通量变化所用时间相同的情况下, 分别将一根和两根条形磁铁快速插入或拔出螺线管, 比较灵敏电流计指针的偏转角度, 可以知道: 在磁通量变化所用时间相同时, 感应电动势  $E$  的大小与磁通量的变化量  $\Delta\Phi$  有关,  $\Delta\Phi$  越大,  $E$  越大.

在实验 2 中, 保证磁通量变化相同, 将两根条形磁铁快速或慢速插入螺线管, 比较灵敏电流计指针的偏转角度, 可以知道: 在磁通量变化量相同时, 感应电动势  $E$  的大小与磁通量变化所用的时间  $\Delta t$  有关,  $\Delta t$  越小,  $E$  越大.

实验表明: 感应电动势的大小跟磁通量变化的快慢有关. 我们用**磁通量变化率**来描述磁通量变化的快慢, 它是磁通量的变化量跟产生这个变化所用时间的比值. 例如, 通过甲、乙两个线圈的磁通量都是从零增加到某个定值, 但是甲线圈用了 0.2 s, 乙线圈用了 0.3 s, 穿过甲线圈的磁通量的变化率就比较大.

如果时刻  $t_1$  的磁通量是  $\Phi_1$ , 时刻  $t_2$  的磁通量变为  $\Phi_2$ , 在  $t_1$  到  $t_2$  这段时间里, 磁通量的变化量就是  $\Phi_2 - \Phi_1$ , 记为  $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ .

**专业术语**

磁通量变化率  
rate of change of  
magnetic flux

由于这个变化是在  $\Delta t=t_2-t_1$  这段时间内发生的, 所以, 磁通量的变化率可以表示为  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

### 法拉第电磁感应定律

#### 专业术语

电磁感应定律  
law of electromagnetic  
induction

更精确的实验表明: 电路中感应电动势的大小, 跟穿过这一电路的磁通量变化率成正比. 这就是法拉第电磁感应定律.

设感应电动势为  $E$ , 则有

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

其中  $k$  为比例常数. 在国际单位制中, 上式各量的单位都已确定:  $E$  的单位是伏特 (V),  $\Phi$  的单位是韦伯 (Wb),  $t$  的单位是秒 (s). 可以证明  $1\text{ V}=1\text{ Wb/s}$ , 所以上式中的  $k=1$ , 则上式可写成

$$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1.4.1)$$

如果闭合电路是一个  $n$  匝线圈, 且穿过每匝线圈的磁通量变化率都相同, 由于  $n$  匝线圈可以看作是由  $n$  个单匝线圈串联而成的, 所以, 整个线圈中的感应电动势是单匝线圈的  $n$  倍, 即

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

在实际应用中, 为了获得较大的感应电动势, 常常采用多匝线圈.

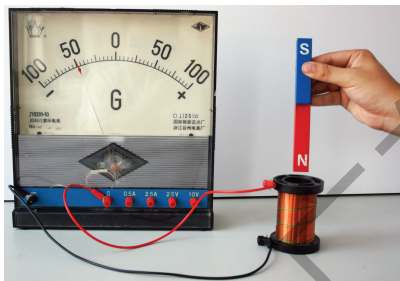


图 1-4-2

例: 如图 1-4-2 所示,  $L$  是由绝缘导线绕制的螺线管, 匝数为 100, 由于截面积不大, 可以认为穿过各匝线圈的磁通量是相同的. 设在 0.5 s 内把磁体的一极插入螺线管, 这段时间内穿过每匝线圈的磁通量由 0 增加到  $1.5\times 10^{-5}\text{ Wb}$ , 这时螺线管产生的感应电动势有多大?

解: 磁通量由 0 增加到  $1.5\times 10^{-5}\text{ Wb}$  共用 0.5 s, 所以  $\Delta\Phi=1.5\times 10^{-5}\text{ Wb}-0=1.5\times 10^{-5}\text{ Wb}$ .

$$\Delta t=0.5\text{ s}.$$

根据法拉第电磁感应定律, 感应电动势为

$$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=100\times\frac{1.5\times 10^{-5}}{0.5}\text{ V}=3\times 10^{-3}\text{ V}.$$

需要说明的是, 向线圈中插入磁体的过程中, 磁通量的增加不会是完全均匀的, 可能有时快些, 有时慢些, 因此我们这里算出的磁通量变化率实际上是平均变化率, 感应电动势也是平均值.

### 感应电动势的另一种表述

导体做切割磁感线运动时, 感应电动势跟哪些量有关呢?

 讨论与交流

尝试推导出导体做切割磁感线运动时感应电动势的表达式.

1. 如图 1-4-3 所示, 把矩形线框  $abcd$  放在磁感应强度为  $B$  的匀强磁场里, 线框平面跟磁感线垂直. 设线框可动部分  $bc$  的长度为  $L$ , 以速度  $v$  向右运动, 在  $\Delta t$  时间内由原来的位置  $bc$  移动到  $b'c'$ .

这时线框的面积变化量为  $\Delta S =$  \_\_\_\_\_.

穿过闭合电路的磁通量的变化量为  $\Delta \Phi =$  \_\_\_\_\_.

代入公式  $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ , 得到  $E =$  \_\_\_\_\_.

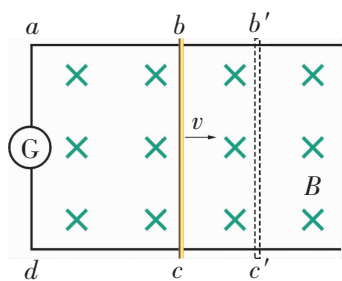


图 1-4-3  $bc$  边向右运动

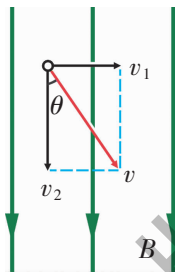


图 1-4-4

2. 如果导体的运动方向跟导体本身垂直, 但跟磁感线方向有一个夹角  $\theta$ , 如图 1-4-4 所示, 则得到的感应电动势的表达式怎样?

由上面可以得出, 直导线做切割磁感线运动时产生的感应电动势的大小, 跟磁感应强度  $B$ 、导体长度  $L$ 、运动速度  $v$  以及运动方向和磁感线方向的夹角  $\theta$  的正弦  $\sin\theta$  成正比, 即

$$E = BLv \sin\theta \quad (1.4.2)$$

当切割磁感线的导线的运动方向与磁感线方向垂直时, 上面的公式可化为

$$E = BLv$$

在国际单位制中, 上式中  $E$  的单位是伏特 (V),  $B$  的单位是特斯拉 (T),  $L$  的单位是米 (m),  $v$  的单位是米/秒 (m/s). 可以证明, 公式两边的单位是一致的, 即  $1 \text{ V} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m/s}$ .

 讨论与交流

1. 感应电动势和感应电流有何区别和联系?
2. 在公式  $E = BLv$  中,  $L$  是直导线的有效长度, 如果不是直导线, 又该怎样处理呢?
3. 公式  $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  和公式  $E = BLv$  有何区别?

http://我们的网站 (physics.scnu.edu.cn/gzwl)

1. 产生感应电动势的两种方式.
2. 一种 21 世纪的新型武器——电磁炮.

### 练习

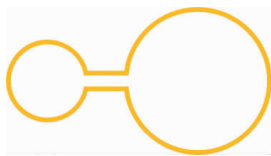


图 1-4-5

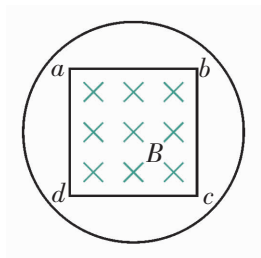


图 1-4-6

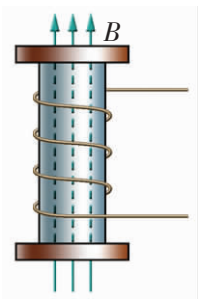


图 1-4-7

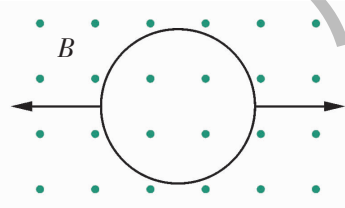


图 1-4-9

1. 下列关于电磁感应的说法中, 正确的是 ( ).
  - A. 穿过线圈的磁通量越大, 感应电动势越大
  - B. 穿过线圈的磁通量为零, 感应电动势一定为零
  - C. 穿过线圈的磁通量的变化越大, 感应电动势越大
  - D. 穿过线圈的磁通量的变化越快, 感应电动势越大
2. 如图 1-4-5 所示, 大金属环的半径是小金属环半径的 2 倍. 穿过大金属环的磁通量变化率为  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  时, 大金属环中的感应电动势为  $E$ . 穿过小金属环的磁通量变化率也为  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  时, 小金属环中的感应电动势为 \_\_\_\_\_.

3. 如图 1-4-6 所示, 半径为  $r$  的  $n$  匝线圈放在边长为  $L$  的正方形  $abcd$  之外, 匀强磁场充满正方形区域并垂直穿过该区域, 当磁场以  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  的变化率变化时, 线圈产生的感应电动势大小为 \_\_\_\_\_.

4. 如图 1-4-7 所示, 一个有 4 匝线圈的螺线管, 其截面积为  $0.1 \text{ cm}^2$ , 将其放在磁感应强度以每秒  $10 \text{ T}$  均匀增加的匀强磁场中, 求螺线管产生的感应电动势的大小.

5. 如图 1-4-8 所示, 在磁感应强度为  $1 \text{ T}$  的匀强磁场中, 一根长  $20 \text{ cm}$  的导线以  $2 \text{ m/s}$  的速度运动, 运动方向与磁感线成  $30^\circ$  角, 求导线中的感应电动势的大小.

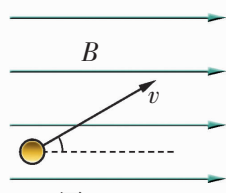


图 1-4-8

6. 匀强磁场垂直于纸面向外, 磁感应强度  $B=2 \times 10^{-2} \text{ T}$ . 一个直径为  $20 \text{ cm}$ 、电阻为  $0.1 \Omega$  的圆线圈放在磁场中, 线圈平面垂直磁场方向. 在线圈某一直径两端用力拉线圈, 如图 1-4-9 所示, 在  $0.5 \text{ s}$  内使线圈面积变为零. 问: 在这个过程中, 线圈内感应电流的方向如何? 平均感应电流有多大?

7. 如图 1-4-10 所示, 铁芯右边绕有一个线圈, 线圈两端与滑动变阻器、电池组连成回路. 左边的铁芯上套有一个半径为  $0.1 \text{ m}$ 、电阻为  $0.1 \Omega$  的金属环. 铁芯的横截面积为  $0.01 \text{ m}^2$ , 且假设磁场全部集中在铁芯中. 调节滑动变阻器的滑动头, 使铁芯中的磁感应强度每秒增加  $2 \times 10^{-3} \text{ T}$ . 求金属环中感应电流的大小和方向.

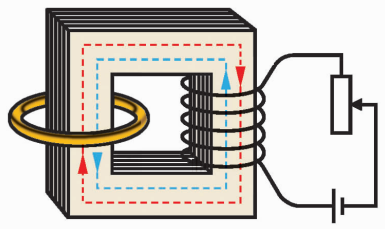


图 1-4-10

## 第五节 电磁感应规律的应用

电磁感应规律有着非常广泛的应用。在电工技术中，运用电磁感应原理制造的发电机、感应电动机和变压器等电器设备，为充分而方便地利用自然界的能源提供了条件；在电子技术中，广泛地采用电感元件来控制电压或电流的分配，发射、接收和传输电磁信号；在电磁测量中，除了许多重要电磁量的测量是直接应用电磁感应原理外，一些非电磁量也可以通过电磁感应转换成电学量来测量，从而发明了多种自动化仪表。用于科学研究的电子感应加速器也是利用电磁感应原理制成的。

### 法拉第电机

1831年，法拉第发现了电磁感应现象之后不久，他又利用电磁感应发明了世界上第一台发电机——法拉第圆盘发电机。这台发电机的构造跟现代的发电机不同，在磁场中转动的不是线圈，而是一个紫铜做的圆盘，圆心处固定一个摇柄，如图1-5-1所示，圆盘的边缘和圆心处各与一个黄铜电刷紧贴。用导线把电刷与电流表连接起来，将紫铜圆盘放置在蹄形磁铁的磁场中。当法拉第转动摇柄，使紫铜圆盘旋转起来时，电流表的指针偏向一边，这说明电路中产生了持续的电流。

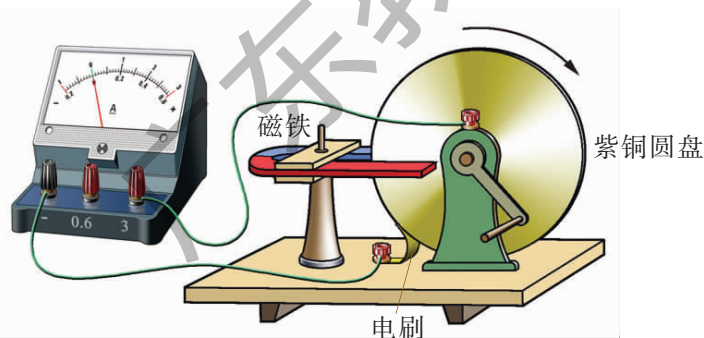


图 1-5-1 法拉第圆盘发电机

法拉第圆盘发电机是怎样产生电流的呢？

我们可以把圆盘看作是由无数根长度等于半径的紫铜辐条组成的，在转动圆盘时，每根辐条都做切割磁感线的运动。如图1-5-2所示，当辐条转到 $OA$ 位置时，辐条和外电路中的电流表恰好构成闭合电路，电路中便有电流产生了。随着圆盘的不断旋转，总有某根辐条到达 $OA$ 位置，因此外电路中便有了持续不断的电流。

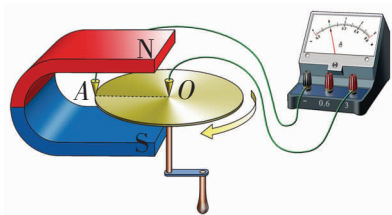


图 1-5-2 法拉第电机的发电原理

在法拉第电机中，产生感应电动势的那部分导体相当于电源，如果它与用电器连接就组成了闭合电路。在电源内部，感应



电流方向是从电源的负极流向正极；在外电路中，电流从电源的正极经用电器流向电源的负极。

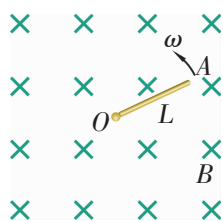


图 1-5-3

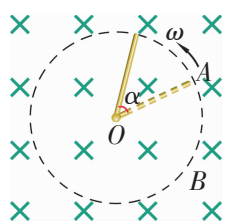


图 1-5-4

**例 1:** 如图 1-5-3 所示，铜棒  $OA$  长为  $L$ ，在垂直于匀强磁场的平面上绕点  $O$  以角速度  $\omega$  匀速转动，磁场的磁感应强度为  $B$ 。求铜棒中感应电动势的大小，并分析  $O$ 、 $A$  两点电势的高低。

**分析:** 本题可直接利用法拉第电磁感应定律  $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  求解。

如图 1-5-4 所示，在磁场中设想铜棒与以点  $O$  为圆心， $L$  为半径的一个圆环组成闭合回路。随着铜棒的转动，这个回路的面积将逐渐减小。根据  $\Phi = BS$  可知，穿过回路的磁通量将发生变化。

**解:** 设在  $\Delta t$  时间内，铜棒转过的角度为  $\alpha$ ，此时，磁通量的变化量

$$\Delta\Phi = B\Delta S = B \cdot \left( \frac{1}{2} L\alpha \cdot L \right) = \frac{1}{2} BL^2\omega\Delta t,$$

$$\therefore E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} BL^2\omega\Delta t}{\Delta t} = \frac{1}{2} BL^2\omega.$$

由楞次定律和安培定则，回路中电流方向由点  $A$  指向点  $O$ ，由于铜棒相当于电源，而在电源内部，电流方向是从电源的负极流向正极，故点  $O$  的电势高，点  $A$  的电势低。

### 讨论与交流

1. 在例 1 中，铜棒在磁场中做切割磁感线运动，能否根据  $E = BLv$  来分析和讨论问题？比较两种解法的不同之处，交流从中得到的收获。

2. 如图 1-5-5 所示，导体棒  $ef$  沿着导轨面向右匀速运动。哪一部分是等效电源？哪一部分是外电路？分析闭合电路中电流的方向。

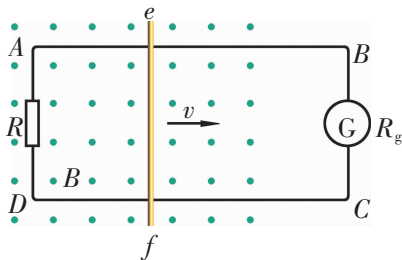


图 1-5-5

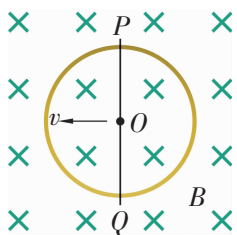


图 1-5-6

**例 2:** 把电阻为  $18\ \Omega$  的均匀导线弯成如图 1-5-6 所示的金属圆环，圆环直径  $D = 0.80\ \text{m}$ ，将圆环垂直于匀强磁场方向固定，磁场的磁感应强度为  $B = 0.50\ \text{T}$ ，磁场方向垂直于纸面向里。一根每米电阻为  $1.25\ \Omega$  的直导线  $PQ$ ，沿圆环平面向左以  $3.0\ \text{m/s}$  的速度匀速滑行，速度方向与  $PQ$  垂直，滑行中直导线与圆环紧密接触（忽略接触处的电阻），当它通过环上直径位置时，求：

(1) 直导线产生的感应电动势，并指明该段直导线中电流

的方向.

(2) 此时电路的路端电压.

分析: 导体棒  $PQ$  做切割磁感线运动, 等效于电源, 滑过直径位置时, 金属圆环左右两部分可等效于两电阻并联.

解: (1) 直导线切割磁感线的有效长度  $L=D=0.80\text{ m}$ .

直导线切割磁感线产生的感应电动势

$$E=BLv=0.50 \times 0.80 \times 3.0\text{ V}=1.20\text{ V}.$$

由右手定则可知,  $PQ$  中感应电流的方向由  $P$  指向  $Q$ .

(2) 直导线  $PQ$  切割磁感线产生的感应电动势, 相当于电源. 圆环被分成两部分, 且这两部分并联; 其等效电路图如图 1-5-7 所示.

设电路左边的电阻为  $R_1$ , 右边的电阻为  $R_2$ , 直导线切割磁感线的有效长度的电阻为  $r$ .

$$R_1=R_2=\frac{18}{2}\ \Omega=9\ \Omega.$$

$$r=DR_0=0.8 \times 1.25\ \Omega=1.0\ \Omega.$$

$$\text{外电阻 } R=\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1+R_2}=\frac{9 \times 9}{9+9}\ \Omega=4.5\ \Omega.$$

$$\text{路端电压 } U=\frac{R}{R+r}E=\frac{4.5}{4.5+1.0} \times 1.20\text{ V} \approx 0.98\text{ V}.$$

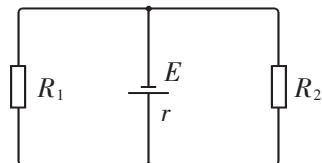


图 1-5-7

### 电磁感应中的能量转化

在电磁感应现象中, 产生感应电动势的那部分导体相当于电源, 如果电路闭合, 电路中会产生感应电流, 而导体又处于磁场中, 因此导体将受到安培力的作用. 如图 1-5-8 所示, 在拉力  $F$  的作用下, 导体  $ab$  向右运动, 会产生由  $b$  流向  $a$  的感应电流, 在磁场中, 通电导体  $ab$  要受到向左的安培力作用. 电磁感应现象中产生的电能是通过克服安培力做功转化而来的, 克服安培力做了多少功, 就有多少电能产生, 而这些电能又通过电流做功而转化为其他形式的能. 因此, 电磁感应现象符合能量守恒定律.

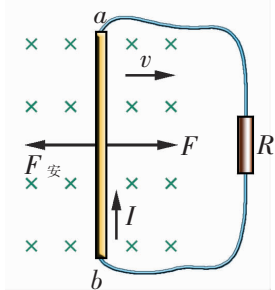


图 1-5-8

### 讨论与交流

如图 1-5-9 所示, 矩形闭合金属线框  $abcd$  电阻为  $R$ , 置于有界的如图示方向的匀强磁场  $B$  中. 设  $ad$ 、 $bc$  边的长度为  $L$ ,  $bc$  边在水平外力  $F$  的作用下, 将整个线框以速度  $v$  匀速拉出磁场, 这个过程中线框的感应电流为  $I$ ,  $ad$  边受到的安培力为  $F_m$ .

- (1) 如何计算线框的感应电动势?
- (2) 如何计算  $F$  的大小?
- (3) 在匀速向外拉金属线框的过程中, 求拉力做功的功率  $P$ .
- (4) 如何计算感应电流的电功率  $P'$ ?
- (5) 比较拉力  $F$  的功率  $P$  和感应电流的电功率  $P'$ , 并分析两者的关系所体现的能量联系.

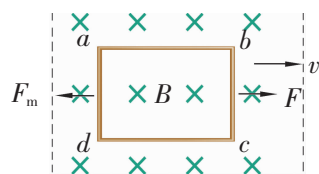


图 1-5-9

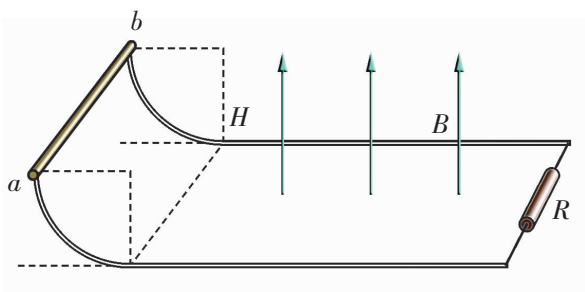


图 1-5-10

**例 3:** 如图 1-5-10 所示, 两条平行光滑导轨相距  $L$ , 左端一段被弯成半径为  $H$  的  $\frac{1}{4}$  圆弧, 圆弧导轨所在区域无磁场. 水平导轨区域存在着竖直向上的匀强磁场  $B$ , 右端连接阻值为  $R$  的定值电阻, 水平导轨足够长. 在圆弧导轨顶端放置一根质量为  $m$  的金属棒  $ab$ , 导轨和金属棒  $ab$  的电阻不计, 重力加速度为  $g$ . 现让金属棒由静止开始运动, 整个运动过程金属棒和导轨接触紧密. 求:

(1) 金属棒进入水平导轨时, 通过金属棒的感应电流的大小和方向.

(2) 整个过程电阻  $R$  产生的焦耳热.

**解:** (1) 设金属棒进入水平导轨时速度为  $v$ , 根据机械能守恒定律

$$mgH = \frac{1}{2}mv^2, \quad v = \sqrt{2gH}.$$

金属棒切割磁感线产生的感应电动势

$$E = BLv.$$

根据闭合电路欧姆定律

$$I = \frac{E}{R},$$

则金属棒的感应电流大小

$$I = \frac{BLv}{R} = \frac{BL}{R} \sqrt{2gH}.$$

根据右手定则, 金属棒的感应电流方向由  $b$  流向  $a$ .

(2) 根据左手定则, 金属棒在磁场中受到的安培力方向水平向左.

根据牛顿第二运动定律  $F=ma$ , 金属棒向右做加速度逐渐减小的减速运动, 直至静止.

根据能量守恒定律, 电阻  $R$  产生的焦耳热等于金属棒减少的动能, 所以电阻  $R$  产生的焦耳热  $Q=mgH$ .

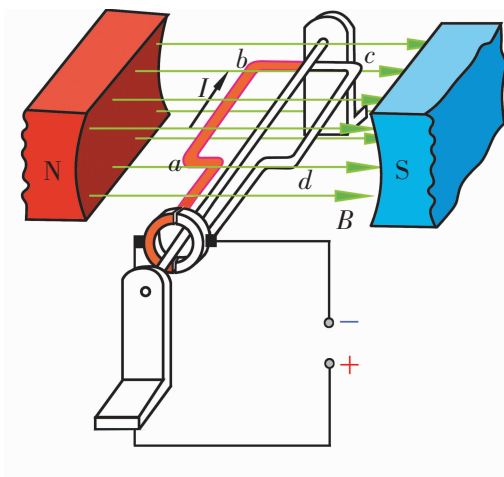


图 1-5-11 直流电动机模型

### 实践与拓展

图 1-5-11 是直流电动机的模型. 接通电源后, 电动机的线圈在磁场中转动, 线圈导线切割磁感线, 所以在线圈中必然要产生感应电动势. 由楞次定律可知, 这个感应电动势的方向跟令线圈转动的电流方向相反, 因此也跟外加电压的方向相反, 这个电动势被称为**反电动势**. 电动机的线圈转动得越快, 线圈导线切割磁感线越快, 反电动势就越大.

找一个玩具电动机, 将它与开关、电流表、电池串联. 闭合开关, 观察电动机启动时电流表示数

变化. 并用能量转化与守恒的观点分析产生这一现象的原因.

**资料活页**

**电子感应加速器**

利用感应电场加速电子的加速器叫做电子感应加速器. 它是现代科学研究中常要用到的电子加速设备, 其基本原理如图 1-5-12 (a) 所示. 在圆形电磁铁两极间有一环形真空室 [图 (b) 为俯视图], 在交变电流激励下, 两极间出现交变磁场 (某一瞬间的磁感线如图 1-5-13 所示的实线). 这个交变磁场又激发一感应电场 (其电场线为同心圆, 如图 1-5-13 所示的虚线). 从电子枪射入真空室的电子受到两个作用: 一是受感应电场沿切向的加速; 二是受磁场沿径向的洛伦兹力, 充当维持圆周运动的向心力.

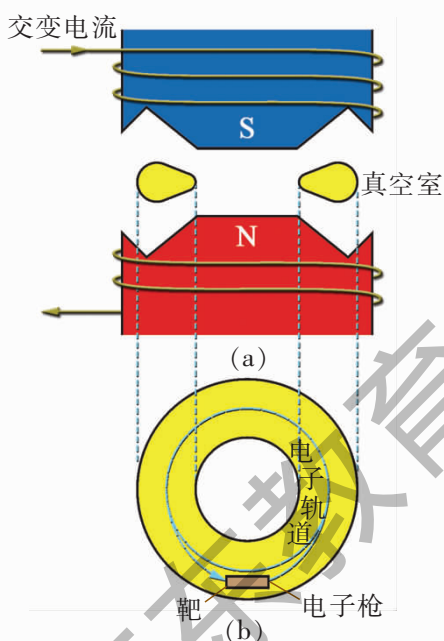


图 1-5-12 电子感应加速器原理

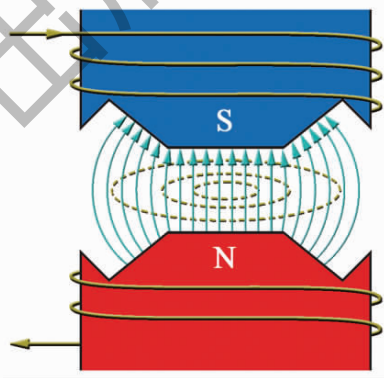


图 1-5-13 电子感应加速器中的磁感线和电场线

交变磁场方向随时间作周期性变化, 导致感应电场方向也随时间作周期性变化. 由于电子带负电, 因此一个周期中只有 1/4 周期能使电子做加速圆周运动. 由于电子在这个 1/4 周期的时间内已经转了几十万圈, 只要设法在这个 1/4 周期之末将电子束引离轨道进入靶室, 就应能使其能量达到足够的数值.

**练习**

1. 如图 1-5-14 所示, 把正方形线框  $abcd$  从磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中匀速拉出, 速度方向与  $ad$  边垂直向左, 速度的大小为  $v$ , 线圈的边长为  $l$ , 每边的电阻为  $R$ , 问线圈在运动过程中,  $ad$  两点间的电势差为多少?

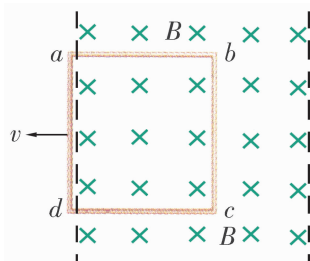


图 1-5-14

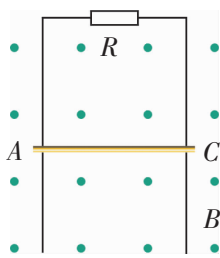


图 1-5-15

2. 如图 1-5-15 所示, 把导轨竖直放在匀强磁场中, 磁场的方向垂直于导轨平面向外. 有一定质量的导体  $AC$  可以贴着光滑竖直长导轨下滑. 导轨接上电阻  $R$ , 导轨和导体的电阻忽略不计. 导体  $AC$  从静止开始下落, 请分析导体的运动情况.

3. 有一个 1000 匝的线圈, 在 0.4 s 内穿过它的磁通量从 0.02 Wb 均匀增加到 0.09 Wb, 求线圈中的感应电动势. 如果线圈的电阻是  $10 \Omega$ , 把它跟一个电阻为  $990 \Omega$  的电热器连在一起组成闭合电路时, 10 min 内通过电热器产生的热量是多大?

4. 有一正方形框  $abcd$ , 各边长  $L$ , 其中  $ab$  是一段电阻为  $R$  的均匀电阻丝, 其余三边均为电阻可忽略的铜线. 磁场的磁感应强度为  $B$ , 方向垂直纸面向外. 现有一与  $ab$  段所用材料、粗细、长度都相同的电阻丝  $PQ$  置于导线框上, 如图 1-5-16 所示, 以恒定速度  $v$  从  $ad$  边滑向  $bc$  边, 当  $PQ$  滑过  $ab$  边的中点时, 通过  $aP$  段电阻丝的电流是多大? 方向如何?

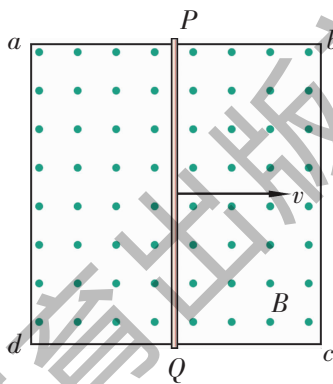


图 1-5-16

5. 如图 1-5-17 所示, 线圈内有理想边界的磁场, 当磁场均匀增加时, 有一带电粒子静止于平行板 (两板水平放置) 电容器中间, 则此粒子带什么电? 若线圈的匝数为  $n$ , 平行板电容器的板间距离为  $d$ , 粒子的质量为  $m$ , 带电量为  $q$ , 线圈的面积为  $S$ , 忽略带电粒子的重力, 则磁感应强度的变化率为多少?

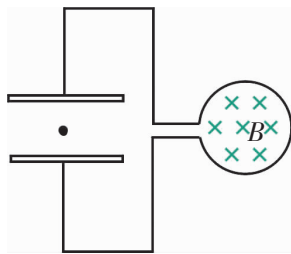


图 1-5-17

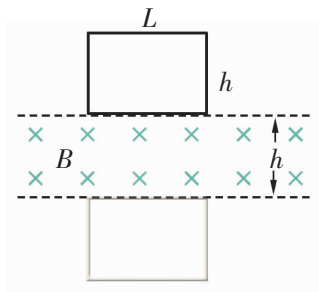


图 1-5-18

6. 如图 1-5-18 所示, 边长分别为  $L$ 、 $h$ , 电阻为  $R$ , 质量为  $m$  的矩形金属线框, 自上而下匀速穿过宽度为  $h$ 、磁感应强度为  $B$  的匀强磁场区域, 求线框中产生的热量.

## 第六节 自感现象及其应用

日光灯已经在我们的生活中随处可见. 那么, 为什么有些日光灯在闭合开关后灯管两头先亮, 过一会灯管才正常发光呢? 日光灯是怎样启动的?

### 自感现象

我们知道, 穿过闭合电路的磁通量发生变化, 将在闭合电路中产生感应电动势和感应电流. 那么, 如果因通过导体或线圈本身的电流改变而令磁通量产生变化时, 又将产生什么现象呢? 下面我们通过实验进行探究.

### 实验与探究

**实验 1:** 装置如图 1-6-1 所示.

灯泡  $L_1$  和  $L_2$  的规格相同. 实验时, 先合上开关  $S$ , 调节  $R_1$ , 使  $L_1$  和  $L_2$  亮度相同, 再调节  $R_2$ , 使  $L_1$  和  $L_2$  正常发光, 然后打开  $S$ . 请观察把开关  $S$  再次合上的瞬间, 两灯泡亮度的变化情况, 并尝试进行解释.

**实验 2:** 装置如图 1-6-2 所示.

实验时, 合上开关  $S$ , 调节  $R$  使灯泡  $L_1$ 、 $L_2$  正常发光. 请观察把开关  $S$  打开的瞬间, 灯泡亮度的变化情况, 并尝试进行解释.

在实验 1 中, 当把开关  $S$  再次合上的瞬间, 可以看到灯泡  $L_2$  立刻正常发光, 而跟线圈  $L$  串联的灯泡  $L_1$  却是逐渐亮起来的. 在实验 2 中, 当把开关  $S$  打开的瞬间, 可以看到灯泡  $L_2$  立刻熄灭, 灯泡  $L_1$  却是闪亮一下, 再逐渐熄灭.

上述两个实验电路中有一个共同特点, 那就是闭合开关或断开开关时, 通过线圈的电流都发生了变化. 由法拉第电磁感应定律可以知道, 穿过线圈的磁通量发生变化时, 线圈中就产生感应电动势, 这个电动势总是阻碍导体中原来电流的变化. 像这种由于线圈本身的电流发生变化而产生的电磁感应现象, 叫做**自感现象**. 在自感现象中产生的感应电动势, 叫做**自感电动势**. 自感电动势在闭合电路中会产生自感电流.

### 讨论与交流

在电磁感应中, 产生的感应电动势与磁通量的变化率成正比. 那么, 线圈中产生的自感电动势与什么因素有关呢?

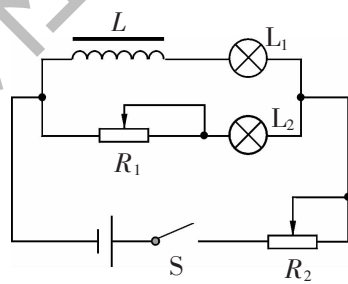


图 1-6-1

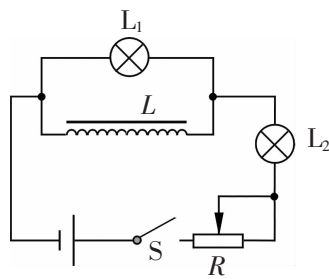


图 1-6-2

#### 专业术语

自感

self inductance

自感电动势

self-induced

electromotive force

## 自感系数

## 观察与思考

实验装置如图 1-6-2 所示. 按照表 1-6-1 所列的要求进行实验, 并将观察到的现象填入表中.

表 1-6-1

操 作	现 象
线圈未加铁芯时, 观察电路接通后再打开开关 S 的瞬间, 灯泡亮度的变化情况	
线圈加入铁芯时, 观察电路接通后再打开开关 S 的瞬间, 灯泡亮度的变化情况	

## 专业术语

自感系数  
coefficient of  
self-inductance

进一步的实验表明, 自感电动势的大小跟穿过线圈的磁通量变化的快慢有关, 还跟线圈本身的特性有关. 描述通电线圈自身特性的物理量叫做**自感系数**, 简称为自感或电感.

自感系数跟线圈的形状、长短、匝数等因素有关. 线圈越粗、越长、匝数越多, 它的自感系数就越大. 此外, 有铁芯的线圈的自感系数比没有铁芯的大得多.

自感系数的单位是亨利, 简称为亨, 符号是 H. 如果通电线圈的电流在 1 s 内改变 1 A 时产生的自感电动势是 1 V, 这个线圈的自感系数就是 1 H. 所以  $1 \text{ H} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}/\text{A}$ .

常用的较小单位有毫亨 (mH) 和微亨 ( $\mu\text{H}$ ).

$1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$ ,  $1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$ .

## 日光灯

日光灯是生活中最重要的照明光源之一. 日光灯主要由灯管、镇流器和启动器组成, 灯管的组成如图 1-6-3 所示.

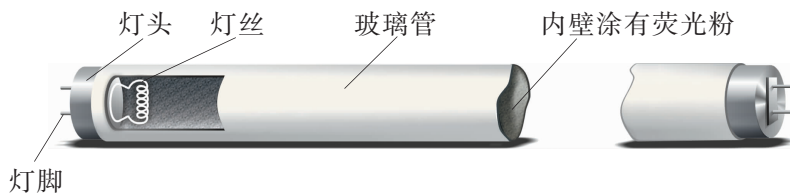


图 1-6-3 日光灯管的组成

灯管的两端各有一个灯丝, 管中充有稀薄的氩和微量水银蒸气, 管壁上涂着荧光粉. 灯管的工作原理和白炽灯不同, 两个灯丝之间的气体在导电时主要发出紫外线, 荧光粉受到紫外线的照射才发出可见光. 荧光粉的种类不同, 发光的颜色也不一样.

要激发两灯丝之间的气体导电, 所需的电压比 220 V 的电源电压高得多; 而灯管正常发光时, 允许通过的电流不大, 所需

的电压又要低于电源电压. 那么, 怎样点亮日光灯并保证其正常工作呢?

如图 1-6-4 所示, 闭合开关, 电源把电压加到启动器两极, 启动器内的氖气放电而发出辉光, 辉光产生热量使启动器的双金属片受热膨胀而接触, 两极接触后电路接通, 于是镇流器的线圈和灯管的灯丝中就有电流通过, 电流加热两个灯丝的同时, 启动器的氖气停止放电, 管内温度降低, U 形触片冷却收缩, 两极重新断开. 断开瞬间, 流过镇流器的电流突然切断, 产生很大的感应电动势, 此瞬时高压加在灯管两端, 灯管内的惰性气体和汞蒸气电离, 使灯管导电而发光. 由于交变电流不断通过镇流器的线圈, 线圈中产生自感电动势, 自感电动势阻碍线圈中电流的变化, 这时镇流器起到降压限流的作用, 满足了灯管所需的低电压, 于是日光灯正常发光.

镇流器是一个带铁芯的线圈, 其圈数很多且为闭合铁芯, 自感系数很大. 当启动日光灯时, 镇流器利用自感现象产生瞬时的高电压; 当日光灯正常发光时, 镇流器又利用自感现象, 对灯管起到降压限流作用.

随着技术的进步, 各种新型灯具不断出现, 镇流器也采用了新型的电子镇流器. 电子镇流器由二极管、三极管、小硅钢片等组成, 具有耗材少、耗能低等特点, 对提高照明系统能效和质量、保护青少年视力有明显优势, 符合低碳时代的发展趋势. 现今, 各种新型日光灯都采用了电子镇流器.

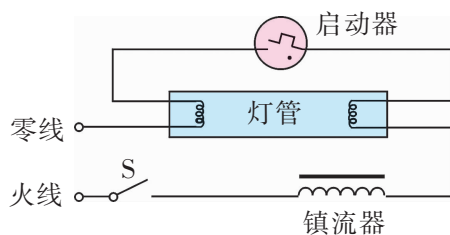


图 1-6-4 日光灯的电路图

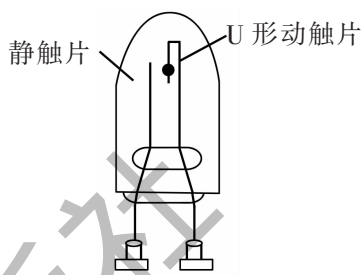


图 1-6-5 启动器内部结构图

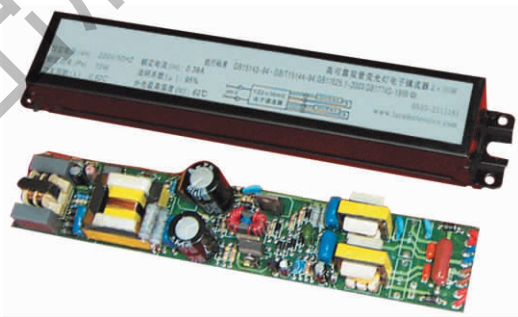


图 1-6-6 电子镇流器

## 实践与拓展

1. 为什么并联在启动器上的电容器击穿后日光灯不能被点亮? 说出这种情况下可以采取的应急措施.
2. 启动器是安装在插座上的. 如果启动器丢失, 如何用一小段带绝缘外皮的导线启动日光灯?

## 资料活页

### 日光灯的工作原理

当开关接通的时候, 电源电压立即通过镇流器和灯管灯丝加到启动器的两极. 220 V 的电压立即使启动器的惰性气体电离, 产生辉光放电. 辉光放电的热量使双金属片受热膨胀, 两极接触. 电流通过镇流器、启动器触极和两端灯丝构成通路. 灯丝很快被电流加热, 发射出大量电子. 这时, 由于启动器两





极闭合，两极间电压为零，辉光放电消失，管内温度降低；双金属片自动复位，两极断开。在两极断开的瞬间，电路电流突然切断，镇流器产生很大的自感电动势，与电源电压叠加后作用于管两端。灯丝受热时发射出来的大量电子在灯管两端高电压作用下，以极大的速度由低电势端向高电势端运动。这些电子在加速运动的过程中，碰撞管内氩气分子，使之迅速电离。氩气电离生热，热量使水银产生蒸气，随之水银蒸气也被电离，并发出强烈的紫外线。在紫外线的激发下，管壁内的荧光粉发出近乎白色的可见光。

日光灯发光后，由于交变电流不断通过镇流器的线圈，线圈中产生自感电动势，自感电动势阻碍线圈中的电流变化，这时镇流器起降压限流的作用，使启动器不再工作。镇流器是电路中的关键器件。

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl/> 我们的网站

新型灯具.



练习

1. 在如图 1-6-7 所示的日光灯工作电路中：

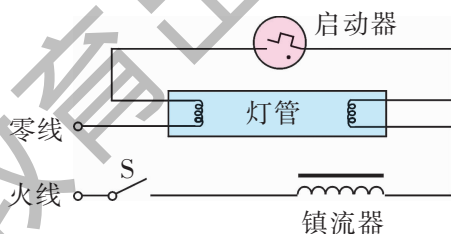


图 1-6-7

(1) 开关合上前，启动器的静触片是\_\_\_\_\_ (填“接通的”或“断开的”).

(2) 开关刚合上时，220 V 电压加在\_\_\_\_\_上，使\_\_\_\_\_发出辉光.

(3) 日光灯正常发光时，启动器的静触片和动触片\_\_\_\_\_ (填“接通”或“断开”).

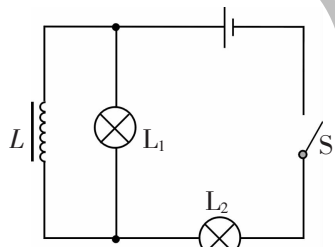


图 1-6-8

2. 在如图 1-6-8 所示的电路中， $L$  是自感系数足够大的线圈，它的电阻可忽略不计， $L_1$  和  $L_2$  是两个完全相同的小灯泡.

问：(1) 当开关  $S$  由断开变为闭合时， $L_1$ 、 $L_2$  两个灯泡的亮度将如何变化？

(2) 当开关  $S$  由闭合变为断开时， $L_1$ 、 $L_2$  两个灯泡的亮度又将如何变化？

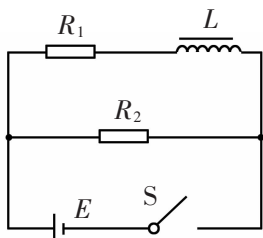


图 1-6-9

3. 如图 1-6-9 所示，电源的电动势  $E=15\text{ V}$ ，内阻忽略不计， $R_1=5\ \Omega$ ， $R_2=15\ \Omega$ ，电感线圈的电阻不计，求当开关  $S$  接通的瞬间、 $S$  接通达到稳定时及  $S$  切断的瞬间流过  $R_1$  的电流.

## 第七节 涡流现象及其应用

电磁灶是一种新型的灶具，随着人们生活水平的提高，电磁灶正逐渐走入家庭。它安全、可靠、效率很高。与普通燃气灶相比，电磁灶既没有烟也没有火，那么，它是怎样工作的呢？

### 涡流现象

如图 1-7-1 所示，在一根导体外面绕上线圈，并让线圈通入交变电流，那么线圈就产生交变磁场。由于线圈中的导体可看成是由许多闭合回路组成的，闭合回路的磁通量不断变化，于是在每个回路中都产生感应电动势并引起感应电流。这样，在整个导体中，就形成一圈圈环绕导体轴线流动的感应电流，就好像水中的旋涡一样。所以，这种在整块导体内部发生电磁感应而产生感应电流的现象称为涡流现象。导体的外周长越长，交变磁场的频率越高，涡流就越大。

涡流在生产、生活中有很多应用。

### 电磁灶与涡流加热

#### 电磁灶（又叫电磁炉）

电磁灶正是涡流现象在生活中的应用之一。图 1-7-2 是常见的电磁灶。图 1-7-3 是电磁灶的基本结构图。

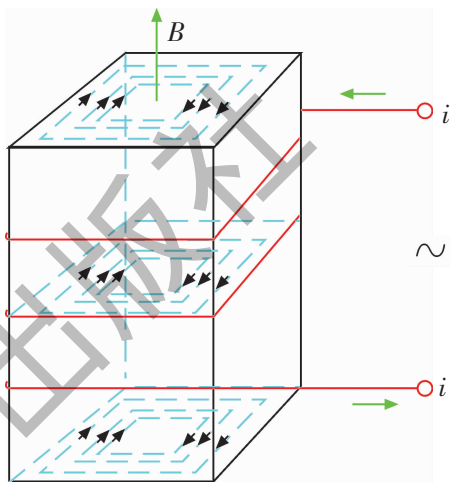


图 1-7-1 涡流现象的产生

#### 专业术语

涡流  
eddy current



图 1-7-2 电磁灶

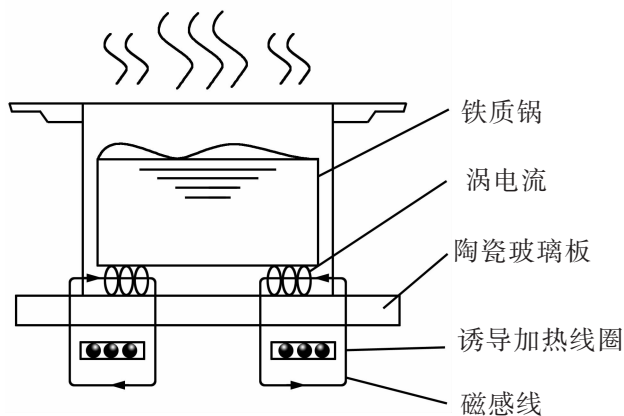


图 1-7-3 电磁灶的基本结构图

## 观察与思考

观察家用电磁灶，了解电磁灶的结构和原理。

电磁灶采用了磁场感应涡流的加热原理。它利用陶瓷玻璃板下方的线圈产生交变磁场，当含铁质锅被放置在板面时，锅底部处在交变磁场中而产生环状电流（即涡流），锅底部的小电阻、大电流使锅本身自行高速发热，达到加热锅内食物的目的。电磁灶的加热温度在  $50\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内，功率在  $300\sim 1200\text{ W}$  之间。电磁灶是通过锅底涡流发热，不存在热量在传递过程中的损耗，故热效率高达  $83\%$ （普通电炉的热效率为  $52\%$ ），而其耗电量只有电炉的  $63\%$ 。电磁灶让锅直接发热，没有明火和炊烟，更没有因加热产生的废气，可算是一种清洁、安全和高效节能的炊具。电磁灶热效率高、环保、节能，且集煎、炒、蒸、煮、炸、炖、煲、火锅、铁板等多功能于一身，可满足家庭烹调的多种需求，是“现代厨房的标志”之一。

### 感应加热

利用足够大的电力在导体中产生很大的涡流，导体中电流可以发热，使金属受热甚至熔化，人们根据这个道理，制造出了感应炉，用来冶炼金属。在感应炉中，有产生高频电流的大功率电源和产生交变磁场的线圈，线圈中间放置一个耐火材料制成的坩埚，用来放置待熔化的金属。涡流感应加热的应用很广泛，如用高频感应炉冶炼金属（图 1-7-4），用高频塑料热压机过塑，以及把涡流热疗系统用于治疗等。

感应加热具有以下优点：①非接触式加热，热源和受热物件可以不直接接触；②加热效率高，速度快，可以减小表面氧化现象；③容易控制温度，提高加工精度；④可实现局部加热；⑤可实现自动化控制；⑥可减少占地、热辐射、噪声和灰尘。

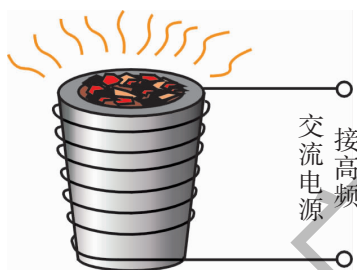


图 1-7-4 高频感应炉示意图

## 涡流制动与涡流探测

### 涡流制动

如图 1-7-5 所示，铝盘在蹄形磁铁的磁场中转动，会在铝盘中激起涡流，涡流与磁场相互作用产生一个动态阻尼力，从而提供制动力矩。这种制动方式常应用于电表的阻尼制动、高速机车制动的涡流闸等。

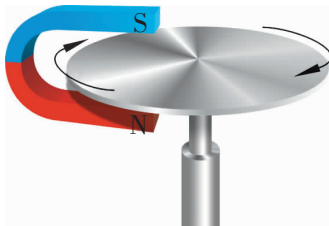


图 1-7-5 涡流制动

### 涡流探测

涡流金属探测器具有一个通过一定频率交变电流的探测线圈，该线圈产生的交变磁场在金属物中激起涡流，隐蔽金属物的等效电阻、电感也会反射到探测线圈中，改变通过探测线圈电流的大小和相位，从而探知金属物，如图 1-7-6 所示。涡流金属探测器可用于探测行李包中的枪支、埋于地表的地雷、金属覆盖膜的厚度等。

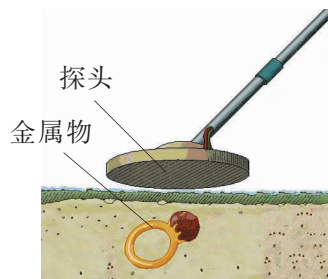


图 1-7-6 涡流金属探测器

当然，在生产和生活中，有时也要避免涡流效应，如电机、变压器的铁芯在工作时会产生涡流，增加能耗，并导致变压器发热。要减小涡流，可采用的方法是把整块铁芯改成用薄片叠压的铁芯，增大回路电阻，削弱涡流，减少发热损失。

### 实践与拓展

收集资料，调查家中的厨房及厨具，以“厨房的革命”为题写一份科学报告。

### 我们的网站 ([physics.scnu.edu.cn/gzwl](http://physics.scnu.edu.cn/gzwl))

1. 气体涡流制冷。
2. 磁悬浮列车与涡流。
3. 磁涡流热疗系统（魔术手）：ET-FTH。

### 练习

1. 涡流现象对我们有哪些不利和有利的方面？如何防止和利用？

2. 如图 1-7-7 所示，用丝线把闭合金属环悬挂于点  $O$ ，图中虚线的左边有匀强磁场，右边则没有磁场，金属环的摆动会很快停下来。试解释这一现象。若整个空间都有向外的匀强磁场，还会有这种现象吗？

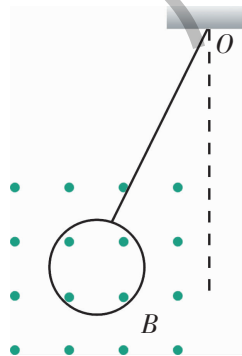


图 1-7-7

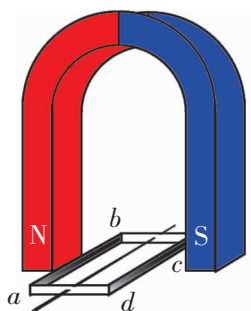
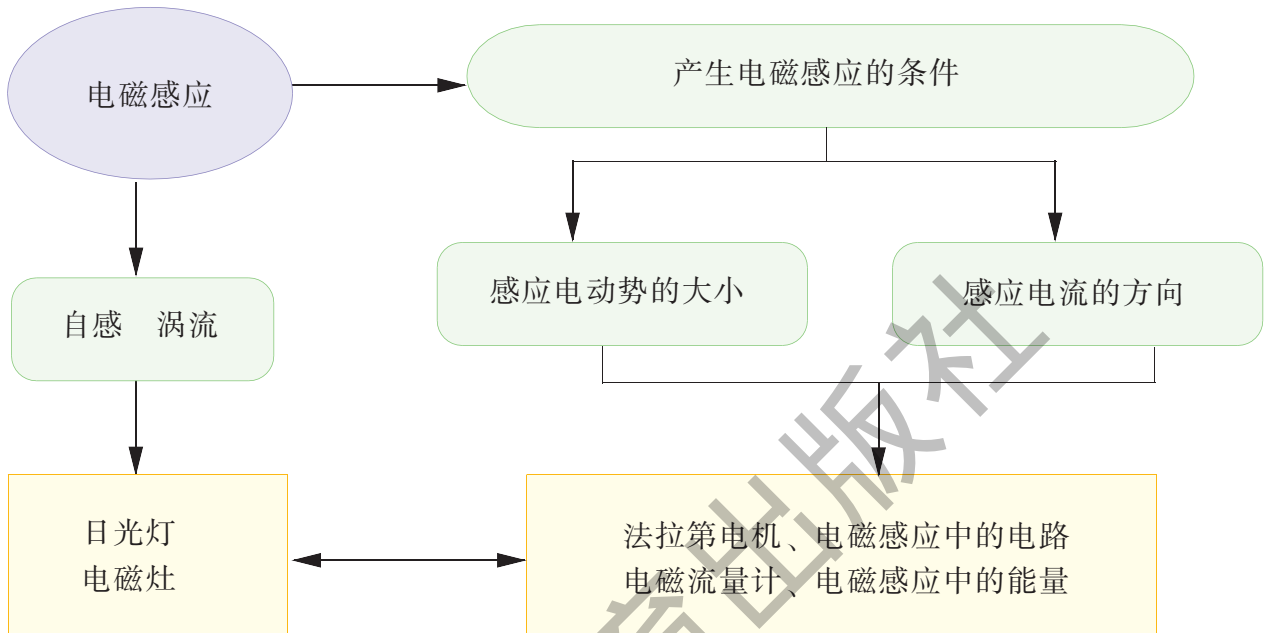


图 1-7-8

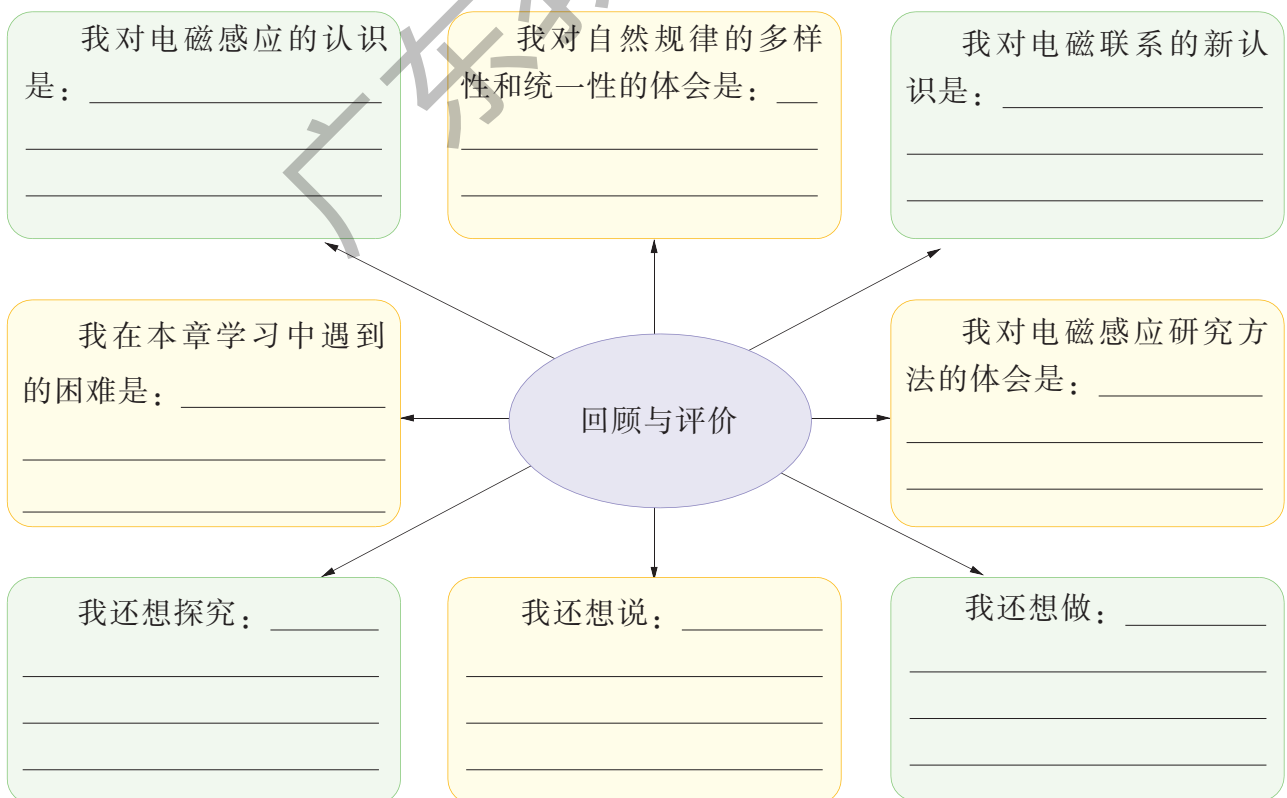
3. 如图 1-7-8 所示，用手转动铝框  $abcd$ ，使它在磁铁的两极之间旋转。试分析图示位置时  $ab$  和  $cd$  两条边中感应电流的方向和这两条边所受安培力的方向。松开手后，铝框的转速会有什么变化？（摩擦和空气阻力可以忽略）

## 本章小结

### 一、知识结构



### 二、回顾与评价



## 习 题 一

1. 在“探究感应电流的方向”的实验中，首先按图 1-1 (a) 接线，以查明电流表指针的偏转方向与电流方向之间的关系；当闭合开关 S 时，观察到电流表指针向左偏，不通电时电流表指针停在正中央。然后按图 1-12 (b) 所示将电流表与副线圈 B 连成一个闭合回路，将原线圈 A、电池、滑动变阻器和开关 S' 串联成另一个闭合电路。

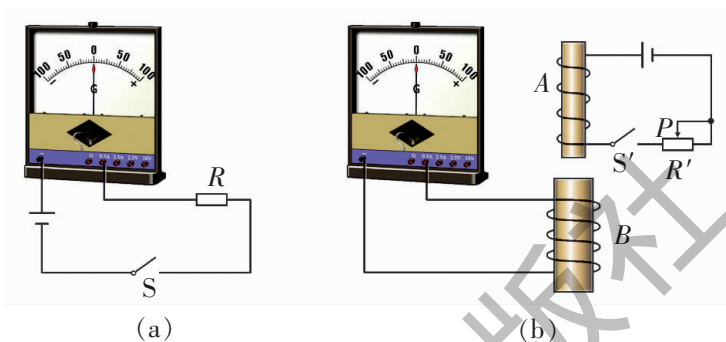


图 1-1

(1) 开关 S' 闭合后，将螺线管 A (原线圈) 插入螺线管 B (副线圈) 的过程中，电流表的指针将如何偏转？

(2) 螺线管 A 放在螺线管 B 中不动时，电流表的指针将如何偏转？

(3) 螺线管 A 放在螺线管 B 中不动，将滑动变阻器的滑片 P 向左滑动时，电流表的指针将如何偏转？

(4) 螺线管 A 放在螺线管 B 中不动，突然断开开关 S'，电流表的指针将如何偏转？

2. 图 1-2 是生产中常用的一种延时继电器的示意图。铁芯上有两个线圈 A 和 B。线圈 A 与电源连接，线圈 B 的两端和电阻连成一个闭合电路。在断开开关 S 时，弹簧 K 并不能立即将衔铁 D 拉起，即连接着工作电路的触头 C 要经过一段短时间后才能离开。根据所学的知识，说明这种继电器的工作原理。

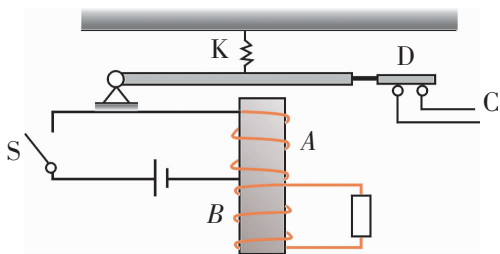


图 1-2

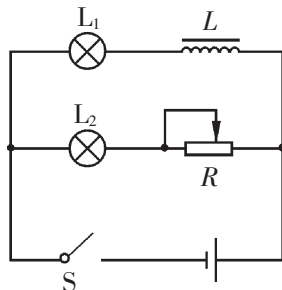


图 1-3

3. 图 1-3 中的灯  $L_1$ 、 $L_2$  分别标有“36 V 40 W”和“36 V 25 W”，闭合开关，调节 R，使灯  $L_1$ 、 $L_2$  都正常发光。断开开关后重做实验。开关闭合后看到的现象是什么？稳定后哪盏灯较亮？再断开开关，又将看到什么现象？

4. 如图 1-4 所示, 弹簧上端固定, 下端挂一根条形磁铁. 将磁铁托起到某一高度处放开, 磁铁能上下振动较长时间才停下来. 如果在磁铁下端放一个固定的闭合导体线圈, 使磁铁能上下振动穿过它, 磁铁就会很快停下来. 请解释这个现象, 并说明能量转化的情况.

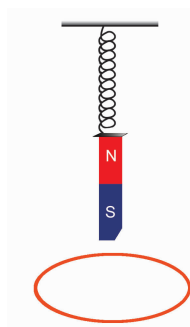


图 1-4

5. 如图 1-5 所示,  $abcd$  是矩形闭合金属框,  $PQ$  是金属导体, 可以沿着框边  $ab$ 、 $cd$  无摩擦地平移滑动, 整个框放在垂直于纸面向里的匀强磁场中. 设磁感应强度为  $B$ ,  $PQ$  长为  $L$ , 电阻为  $R$ ,  $ad$ 、 $bc$  的电阻都为  $2R$ ,  $ab$ 、 $cd$  的电阻不计. 当  $PQ$  以速度  $v$  向右匀速滑动时, 求金属棒产生的感应电动势  $E$ 、金属棒两端的电压  $U$ 、作用在金属棒上的外力  $F$  的大小和方向.

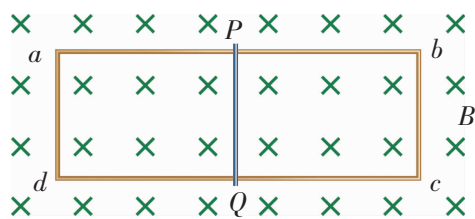


图 1-5

6. 如图 1-6 所示, 长为  $L_1$ 、宽为  $L_2$  的矩形线圈, 电阻为  $R$ , 处于磁感应强度为  $B$  的匀强磁场边缘, 磁场方向垂直于纸面向外, 线圈与磁感线垂直. 在将线圈以向右的速度  $v$  匀速拉出磁场的过程中, 求:

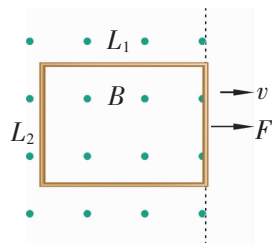


图 1-6

- (1) 拉力  $F$  的大小.
- (2) 拉力的功率  $P$ .
- (3) 拉力做的功  $W$ .
- (4) 线圈中产生的热量  $Q$ .
- (5) 通过线圈某一截面的电荷量  $q$ .

7. 横截面积  $S=0.2 \text{ m}^2$ ,  $n=100$  匝的圆形线圈  $A$ , 处在如图 1-7 所示的磁场内, 磁感应强度随时间变化的规律是  $B=(0.6-0.02t) \text{ T}$ , 开始时开关  $S$  未闭合.  $R_1=40 \Omega$ ,  $R_2=60 \Omega$ ,  $C=30 \mu\text{F}$ , 线圈内阻不计.

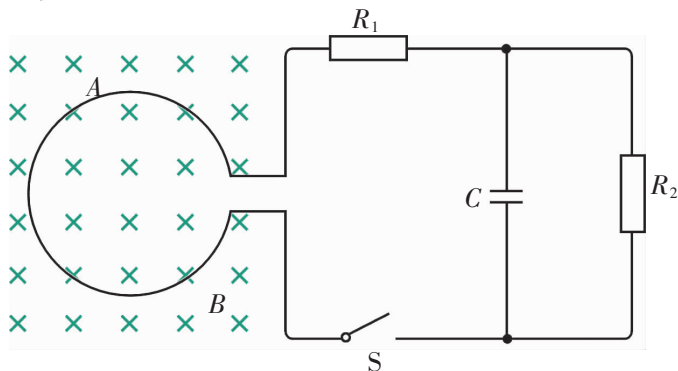


图 1-7

- (1) 闭合开关  $S$  后, 求通过  $R_2$  的电流大小和方向.
- (2) 闭合开关  $S$  一段时间后又断开, 问  $S$  断开后通过  $R_2$  的电量是多少?

8. 图 1-8 是一种测量通电螺线管中磁场的装置, 把一个很小的测量线圈  $A$  放在待测处, 线圈与测量电量的电表  $Q$  串联. 当用双刀双掷开关  $S$  使螺线管的电流反向时, 测量线圈中就产生感应电动势, 从而引起电荷的迁移, 由电表  $Q$  测出该电荷电量  $q$ , 就可以算出线圈所在处的磁感应强度  $B$ . 已知测量线圈共有  $n$  匝, 直径为  $d$ , 它和电表  $Q$  串联电路的总电阻为  $R$ , 求被测处的磁感应强度  $B$ .

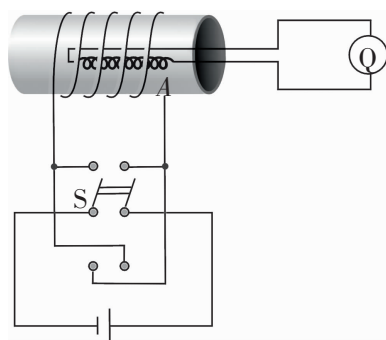


图 1-8

9. 如图 1-9 所示, 水平 U 形光滑框架的宽度为  $1\text{ m}$ , 电阻忽略不计, 导体  $ab$  的质量是  $0.2\text{ kg}$ , 电阻是  $0.1\ \Omega$ , 匀强磁场的磁感应强度  $B=0.1\text{ T}$ , 方向垂直框架向上. 现用  $1\text{ N}$  的外力  $F$  由静止拉动  $ab$  杆, 当  $ab$  的速度达到  $1\text{ m/s}$  时, 求此时  $ab$  杆产生的感应电动势的大小和加速度的大小.

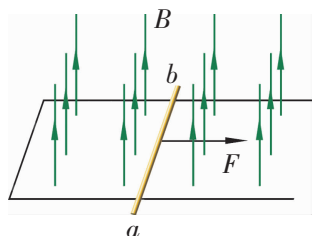


图 1-9

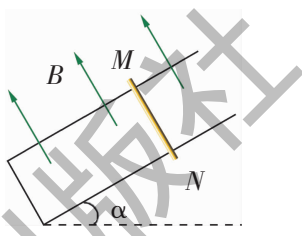


图 1-10

10. 如图 1-10 所示, 足够长的光滑 U 形导体框架的宽度  $L=0.40\text{ m}$ , 电阻忽略不计, 其所在平面与水平面所成的角  $\alpha=37^\circ$ , 磁感应强度  $B=1.0\text{ T}$  的匀强磁场方向垂直于框平面. 一根质量为  $m=0.20\text{ kg}$ 、有效电阻为  $R=1.0\ \Omega$  的导体棒  $MN$  垂直跨放在 U 形框架上, 导体棒从静止开始沿框架下滑到刚开始匀速运动时, 通过导体棒截面的电量共为  $Q=2.0\text{ C}$ . 求:

- (1) 导体棒在  $0.2\text{ s}$  内在框架所夹部分可能扫过的最大面积.
- (2) 导体棒从开始下滑到刚开始匀速运动这一过程中, 导体棒的有效电阻消耗的电功.

11. 如图 1-11 所示, 在磁感应强度  $B=2\text{ T}$  的匀强磁场中, 有一个半径  $r=0.5\text{ m}$  的金属圆环. 圆环所在的平面与磁感线垂直.  $OA$  是一个金属棒, 它沿着顺时针方向以  $12\text{ rad/s}$  的角速度绕圆心  $O$  匀速转动.  $A$  端始终与圆环相接触,  $OA$  棒的电阻  $R=1.0\ \Omega$ , 图中定值电阻  $R_1=5\ \Omega$ ,  $R_2=20\ \Omega$ , 电压表为理想电压表, 圆环和连接导线的电阻忽略不计. 求理想电压表的读数.

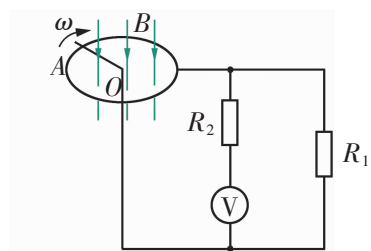


图 1-11

甲同学这样解答: 理想电压表的读数等于导体棒做切割磁感线运动产生的感应电动势, 即  $U_V = E = \frac{1}{2} Br^2 \omega = 3\text{ V}$ .

乙同学这样解答: 导体棒做切割磁感线运动产生的感应电动势为  $E = \frac{1}{2} Br^2 \omega = 3\text{ V}$ ;  $R_2$  和  $R_1$  并联的电阻  $R_{\text{并}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 4\ \Omega$ ; 根据闭合电路欧姆定律, 电路的总电流为  $I = \frac{E}{R + R_{\text{并}}} = 0.6\text{ A}$ , 所以, 理想电压表的读数为  $U_V = IR_{\text{并}} = 2.4\text{ V}$ .

这两个同学的解法正确吗? 如果有错, 错在哪里? 请作出正确的解答.



12. 如图 1-12 所示, 坐标系  $xOy$  在  $y$  轴的左侧和右侧分别有垂直于纸面向外、向里的匀强磁场, 磁感应强度均为  $B$ , 一个围成四分之一圆形的导体环  $Oab$ , 其圆心在 origin  $O$ , 半径为  $R$ , 开始时在第一象限, 从  $t=0$  起绕点  $O$  以角速度  $\omega$  逆时针匀速转动. 试画出环内感应电动势  $E$  随时间  $t$  变化的函数图象 (以顺时针电动势为正).

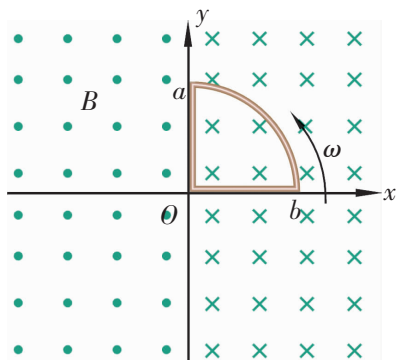


图 1-12

13. 如图 1-13 所示,  $PQRS$  为一边长为  $L$ 、电阻为  $R$  的正方形导线框, 它以恒定速度  $v$  向右运动, 右边是以  $MN$  为边界的匀强磁场  $B$ , 磁场方向垂直于线框平面, 边界  $MN$  与导线框的边成  $45^\circ$  角.

- (1) 求导线框运动过程中最大的感应电流.
- (2) 作出导线框运动过程中的  $E-t$  图象 (电动势以逆时针方向为正).

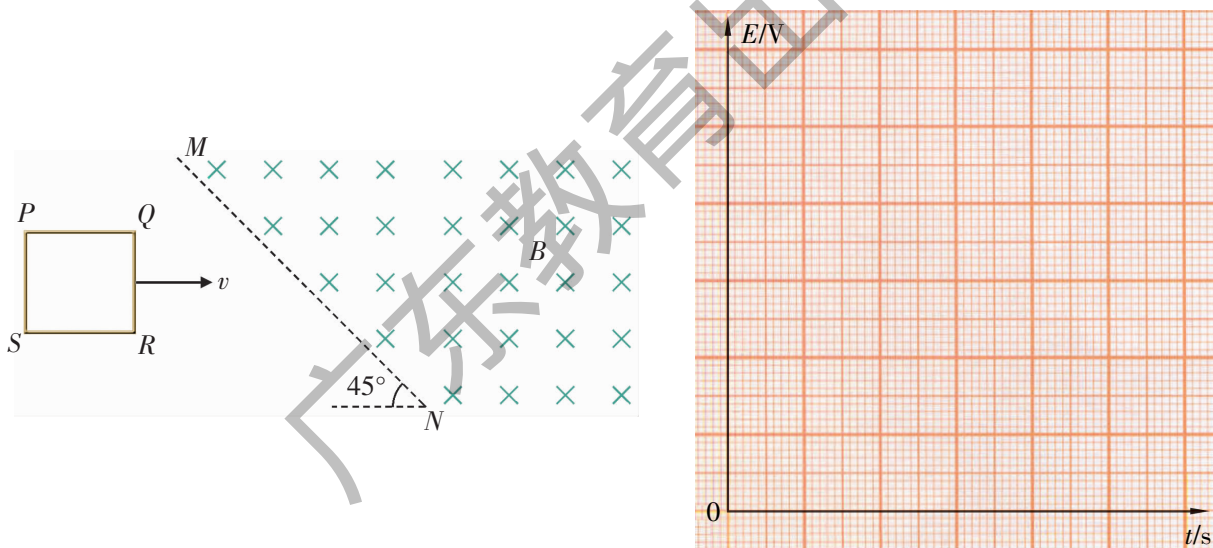


图 1-13

14. 如图 1-14 所示, 边长为  $L$  的闭合正方形线框的电阻为  $R$ , 以速度  $v$  匀速穿过宽度为  $d$  的有界匀强磁场, 磁场方向与线圈平面垂直, 磁感应强度为  $B$ .

- (1) 若  $L < d$ , 求线圈穿过磁场的过程中产生的焦耳热.
- (2) 若  $L > d$ , 求线圈穿过磁场的过程中外力做的功.

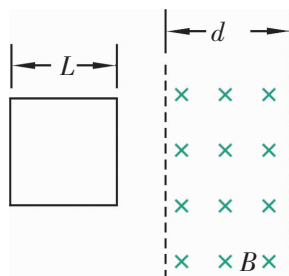


图 1-14

# 第二章

## 交变电流

1880年，美国发明家特斯拉（Nikola Tesla, 1856—1943）发明了世界上第一台交变电流发电机，并于1888年把交变电流引向实际应用，建成了世界上第一个交变电流电力传送系统。从此，交变电流冲破世俗偏见，以它独特的优势跨越千山万水，将远隔千里的电能输送到城市乡村、工厂学校，输送到千家万户。交变电流的普及利用，昭示着人类正式进入崭新的电气时代。

与恒定电流比较，交变电流具有哪些特性和规律？人们是怎样利用它的？让我们带着这些问题一起去探究这一章的内容吧！



## 第一节 认识交变电流

### 专业术语

直流

direct current

交变电流

alternating current

在法拉第发现电磁感应之前，人们使用伏打电池供电，其电流的方向是不变的。电磁感应现象被发现后，人们开始探索电能应用多样化的方法和途径。

强弱和方向都不随时间改变的电流叫做**恒定电流**，简称**直流**。强弱和方向都随时间作周期性变化的电流叫做**交变电流**，简称**交流**。我们日常生活和生产中所使用的大多是交变电流。

### 观察交变电流的图象

电流或电压随时间变化的图象叫做**波形图**。我们通常利用示波器来观察波形图。示波器是一种常用的电子仪器，它能够直观地显示电信号随时间变化的情况。下面我们用它来观察交变电流的图象。

### 观察与思考

如图 2-1-1 所示，用学生电源把照明电路中 220 V 的交变电压变成 6 V 或 3 V 的低压交变电压，给小灯泡供电。把小灯泡的两端接入示波器的输入端，观察示波器显示的波形图，并思考问题：示波器显示出来的波形图是什么形状？有什么规律？

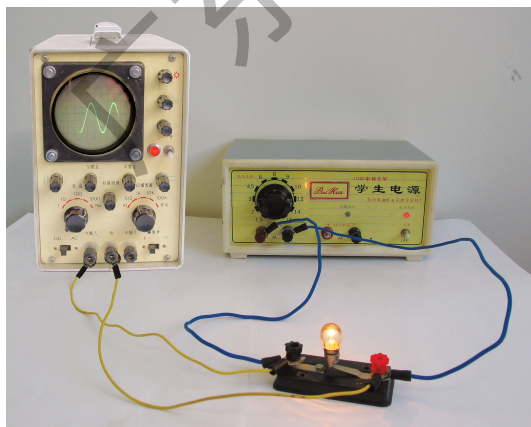


图 2-1-1 用示波器观察交变电流的图象

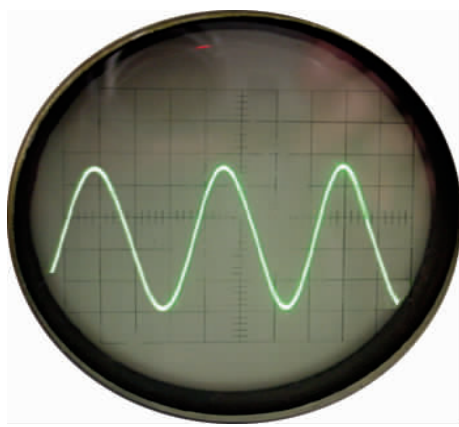


图 2-1-2 交变电流的波形图

如图 2-1-2 所示，示波器显示的图象是正弦（余弦）曲线，它反映了灯泡两端的电压（或通过灯泡的电流）随时间的变化规律。我们日常生活和生产中所使用的交变电流是按正弦规律变化的交变电流。

## 交变电流的产生

### 观察与思考

**实验 1:** 如图 2-1-3 所示, 把电流表接入模型发电机的输出端, 摇动发电机的手柄, 使线圈在磁极之间转动, 观察电流表的指针摆动情况. 改变摇动发电机手柄的速度, 电流表指针的摆动情况有什么变化? 这些变化说明了什么问题?

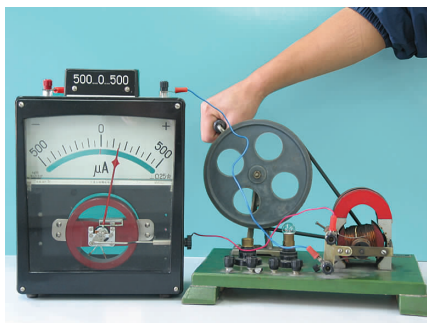


图 2-1-3



图 2-1-4

**实验 2:** 如图 2-1-4 所示, 把小灯泡接到模型发电机的输出端, 摇动发电机的手柄, 使线圈在磁极之间转动, 观察小灯泡的发光情况. 改变摇动发电机手柄的速度, 小灯泡的发光情况有什么变化? 这些变化说明了什么问题?

在实验 1 中, 发电机手柄摇得越快, 电流表指针由中间向两边摆动越快且幅度越大. 这说明摇得越快, 电流越大且方向变化越快. 在实验 2 中, 小灯泡闪烁发光, 发电机手柄摇得越快, 小灯泡越亮, 且闪烁越快. 这说明摇得越快, 电流越大且方向变化越快.

从以上实验可以看到, 摇动发电机的手柄, 发电机产生电流, 其大小和方向在不断地变化, 这就是交变电流.

交变电流是由**交流发电机**产生的. 图 2-1-5 是交流发电机的原理图. 交流发电机的最基本结构是线圈和磁极, 线圈可绕中心轴转动. 线圈两端连接在彼此绝缘的两个滑环上, 固定的电刷 A、B 压在滑环 K、L 上, 由电刷把电流引出.

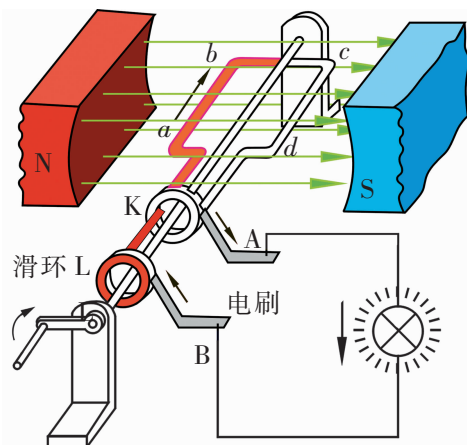


图 2-1-5 交流发电机原理图

#### 专业术语

交流发电机  
alternator

现在我们用图 2-1-6 来说明交变电流的产生过程. 我们取线圈在匀强磁场中匀速转动一周的过程中的几个特殊位置进行分析.

在图 2-1-6 中, 设线圈沿逆时针方向转动,  $OO'$  是转动轴. 当线圈转到图 (a) 的位置时, 线圈平面跟磁感线垂直. 这时  $ab$  边和  $cd$  边的速度方向跟磁感线平行, 不切割磁感线, 所以线圈中不产生感应电动势, 当然没有感应电流. 我们把线圈所处的这个位置叫做中性面.

当线圈从中性面转过  $90^\circ$ , 处于图 (b) 的位置时,  $ab$  边和  $cd$  边垂直切割磁感线, 按右手定则可知感应电流沿  $abcd$  流动.

当线圈再转过  $90^\circ$ , 处于图 (c) 的位置时, 显然这也是中性面, 线圈中没有感应电流.

当线圈再转过  $90^\circ$ , 处于图 (d) 的位置时,  $ab$  边和  $cd$  边又垂直切割磁感线, 产生感应电流. 因  $ab$ 、 $cd$  两边的速度方向跟图 (b) 所示相反, 所以线圈中感应电流方向也相反, 沿  $dcba$  流动.

当线圈再转过  $90^\circ$  又处于中性面时, 同样没有感应电流, 如图 (e) 所示. 在以后的转动过程中, 将重复上述过程.

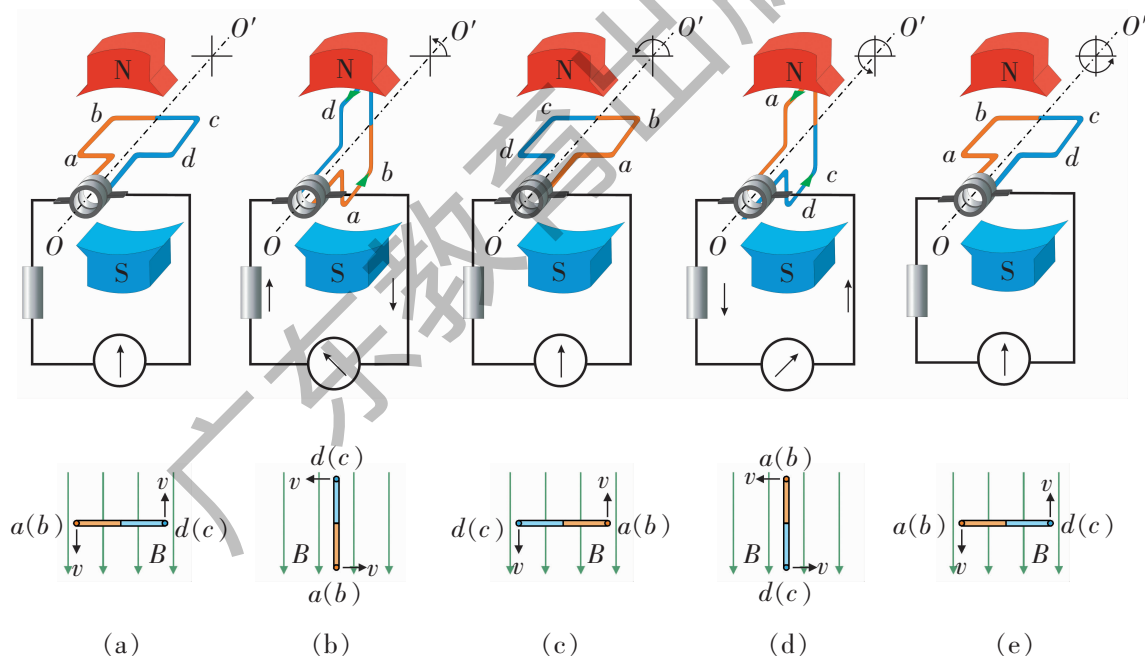


图 2-1-6

线圈在不同位置, 磁通量的变化率不同, 产生的感应电动势大小也不同. 线圈在不断转动, 电路中电流的大小和方向也就不断改变. 交变电流就是这样产生的.

线圈平面每经过一次中性面, 线圈中感应电流的方向就改变一次.

### 讨论与交流

有人说, 在线圈平面转到中性面的瞬间, 穿过线圈的磁通

量最大，因而线圈中感应电动势最大；在线圈平面跟中性面垂直的瞬间，穿过线圈的磁通量为零，因而线圈中感应电动势为零。这种说法对吗？为什么？

### 实践与拓展

1. 根据所学的知识，尝试设计并制作一台可以产生交变电流的简易手摇发电机。
2. 把学生电源输出的交流电压输入电压传感器，经数据采集器处理后，在计算机的显示屏上可以观察到交变电压随时间变化的图象。

### 资料活页

#### 交流发电机

发电厂里的交流发电机构造比如图 2-1-5 所示的模型要复杂得多，但其基本组成部分也是产生感应电动势的线圈（通常叫做电枢）和产生磁场的磁极。电枢转动、磁极不动的发电机，叫做旋转电枢式发电机。磁极转动而电枢不动，线圈依然切割磁感线，电枢同样会产生感应电动势，这种发电机叫做旋转磁极式发电机。不论哪种发电机，转动的部分都叫做转子，不动的部分都叫做定子。由于结构原因，旋转电枢式发电机提供的电压不能太高，一般不超过 500 V，而旋转磁极式发电机能提供几千到几万伏的电压，输出功率可达几十万千瓦。所以，如今大多数发电机都是旋转磁极式发电机。

### http 我们的网站 ([physics.scnu.edu.cn/gzwl](http://physics.scnu.edu.cn/gzwl))

1. 示波器的使用方法。
2. 潮汐发电、地热发电、风力发电。

### 练习

1. 如图 2-1-7 所示，线圈静止，磁体按图示方向旋转，用箭头标出图 (a)、(b)、(c)、(d) 几种情况时线圈的电流方向，如果没有电流则不用标箭头。

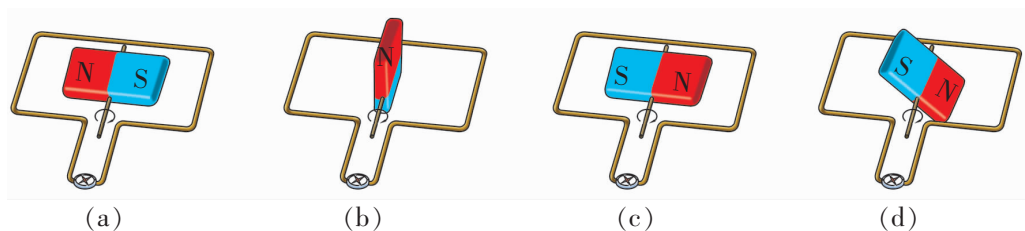


图 2-1-7

2. 收集资料，了解交变电流在我们生产和生活中的应用。
3. 使用一个强磁体可以判断灯泡中的电流是交流还是直流。请说明判断方法和依据。

## 第二节 交变电流的描述

当一个线圈在匀强磁场中匀速转动，使穿过线圈的磁通量随着时间作周期性变化时，线圈中就会产生周期性变化的感应电动势。那么，在线圈转动的过程中，感应电动势的变化究竟遵循什么规律呢？让我们试着作出定量的描述。

### 用函数表达式描述交变电流

现在我们来研究交变电流的变化规律。

#### 讨论与交流

如图 2-2-1 是交流发电机线圈截面示意图，标有  $a$  的小圆圈表示线圈  $ab$  边的横截面，标有  $d$  的小圆圈表示线圈  $cd$  边的横截面。设  $ab$  边的长度为  $l$ ， $ad$  边的长度为  $l'$ ，外磁场的磁感应强度为  $B$ ，线圈平面从中性面开始转动，角速度是  $\omega$ ，经时间  $t$ 。则：

线圈转过的角度是\_\_\_\_\_。

$ab$  边的线速度  $v$  的方向跟磁感线方向间的夹角等于\_\_\_\_\_。

$ab$  边中的感应电动势  $e_{ab} =$ \_\_\_\_\_。

整个线圈的感应电动势  $e =$ \_\_\_\_\_。

当令  $E_m = 2Blv$ ，我们就得到  $e =$ \_\_\_\_\_。

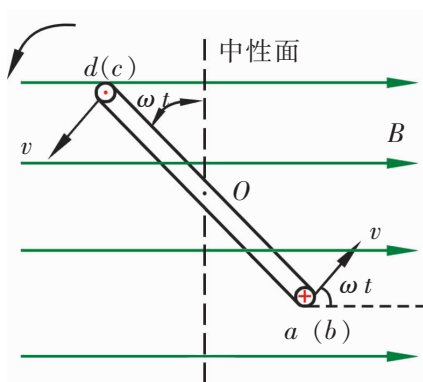


图 2-2-1

从上面的推导中，我们可以得到，交流发电机的线圈在磁场中转动，感应电动势  $e$  的变化规律为

$$e = E_m \sin \omega t \quad (2.2.1)$$

式中的  $e$  随着时间而变化，不同时刻有不同的数值，叫做电动势的**瞬时值**， $E_m$  表示电动势达到的最大值，叫做电动势的**峰值**。上式表明，电动势按正弦规律变化。

#### 专业术语

瞬时值

instantaneous value

峰值

peak value

如果把线圈和电阻连成闭合电路，电路中就有感应电流，电路中的电流也按正弦规律变化。按正弦规律变化的交变电流叫做**正弦式交变电流**，简称正弦式电流。

实验证明，在只含有电阻的电路中，欧姆定律也适用于交流电路。如果用  $R$  表示闭合电路的总电阻，用  $I_m$  表示电路中电流的峰值，用  $i$  表示电路中感应电流的瞬时值，则有

$$i = \frac{e}{R} = \frac{E_m}{R} \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin \omega t \tag{2.2.2}$$

外电路中一段导线上的电压同样是按正弦规律变化的。设这段导线的电阻为  $R'$ ，电压瞬时值  $u = iR' = I_m R' \sin \omega t$ ，其中  $I_m R'$  是电压的峰值，用  $U_m$  表示，所以

$$u = U_m \sin \omega t \tag{2.2.3}$$

### 用图象描述交变电流

由上面表达式可得出正弦式电流的电动势  $e$ 、电流  $i$  和电压  $u$  随时间变化的图象，如图 2-2-2 所示。

从图 2-2-2 可以看出，图中的感应电动势、电流和外电路的电压都是随时间做周期性变化的，线圈转动一周的过程中，出现两次最大值（一次正值，一次负值）。

由上一节的学习我们知道，若线圈在匀强磁场中匀速转动，产生的电流就是正弦式电流，图象如图 2-2-2 所示。正弦式电流是一种最简单、最基本的交变电流。家庭电路中的交变电流就是正弦式电流。

在电子电路中应用的交变电流，不局限于正弦式电流，它们随时间变化的规律是各式各样的。图 2-2-3 表示几种常见的交变电流的波形。

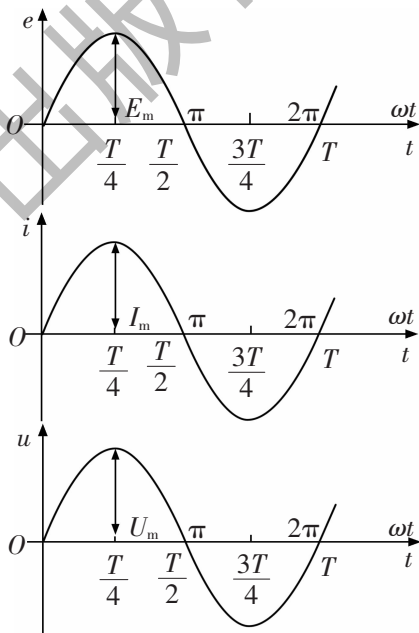
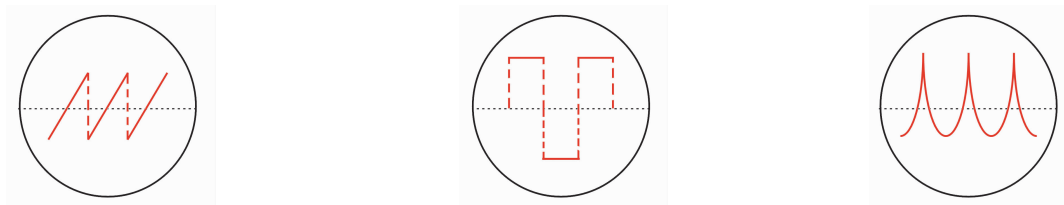


图 2-2-2 正弦式电流的图象



(a) 示波器中的锯齿波扫描电压      (b) 电子计算机中的矩形脉冲      (c) 激光通信中的尖脉冲

图 2-2-3 几种交变电流的波形



 讨论与交流

1. 如图 2-2-4 所示是电动势随时间变化图象, 图中  $Oa$ 、 $ab$ 、 $bc$ 、 $cd$  分别对应图 2-1-6 中的哪一个过程?

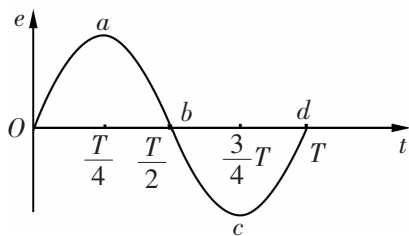


图 2-2-4

2. 在图 2-1-6 所示的交流发电机中, 如果线圈不是从中性面开始转动, 而是与中性面有一夹角  $\varphi$ , 感应电动势瞬时值的表达式将是怎样? 图象又是怎样?

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

漫话电能.

 练习

1. 一台发电机产生的正弦式电流的电动势峰值是  $156\text{ V}$ , 线圈从中性面开始匀速转动, 其角速度是  $120\pi\text{ rad/s}$ , 写出电动势的瞬时值表达式. 在  $1\text{ s}$  内电流方向改变多少次?

2. 一台发电机产生的正弦式电流的电动势  $e = 100 \sin 314 t$  (V), 那么, 这台发电机线圈匀速转动的角速度是多少? 线圈每秒转多少圈? 在  $1\text{ s}$  内电流方向改变多少次?

3. 在图 2-2-1 所示的交流发电机线圈中, 如果  $ab$  边长为  $l$ ,  $bc$  边长为  $d$ , 线圈转动的角速度为  $\omega$ , 线圈匝数为  $n$ , 磁感应强度为  $B$ , 求交变电动势的峰值  $E_m$ .

4. 如图 2-2-5 所示, 线圈  $abcd$  的面积是  $0.05\text{ m}^2$ , 共  $100$  匝, 线圈总电阻为  $1\ \Omega$ , 外接电阻  $R = 9\ \Omega$ , 匀强磁场的磁感应强度  $B = \frac{1}{\pi}\text{ T}$ . 当线圈以  $300\text{ r/min}$  的转速匀速旋转时, 求:

(1) 若从线圈处于中性面开始计时, 写出线圈中感应电动势的瞬时值表达式.

(2) 线圈转过  $\frac{1}{30}\text{ s}$  时电动势的瞬时值是多少?

(3) 画出电动势随时间变化的图象.

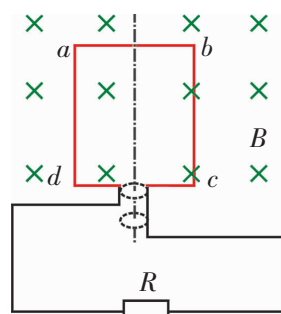


图 2-2-5

## 第三节 表征交变电流的物理量

交变电流的电流或电压，其大小和方向都随时间作周期性变化。而恒定电流不随时间变化，要描述恒定电流，只需指出电流或电压的数值就可以。因此，与恒定电流的描述相比，需要用更多的物理量来描述交变电流。

### 交变电流的周期和频率

交变电流与其他周期性运动一样，是用周期和频率来表示变化快慢的。从图 2-1-6 可知，线圈转动一周，电动势、电流均按正弦规律完成一个周期的变化。交变电流完成一次周期性变化的时间称为交变电流的**周期**，通常用  $T$  表示，单位是 s。

交变电流的**频率**是指交变电流在 1 s 内完成周期性变化的次数，通常用  $f$  表示，单位是赫兹，简称赫，符号是 Hz。

周期和频率都是描述交变电流变化快慢的物理量，它们之间的关系如下：

$$T = \frac{1}{f} \text{ 或 } f = \frac{1}{T}.$$

我国工农业生产、科研、生活所用的交变电流的周期是 0.02 s，频率是 50 Hz。



### 讨论与交流

1. 周期为 0.02 s 的交变电流，电流方向每秒改变多少次？
2. 交变电流的周期和频率与交流发电机转子转动的角速度  $\omega$  有什么关系？

### 交变电流的峰值和有效值

交变电流的峰值是指在一个周期内所能达到的最大数值。交变电流的电动势、电流和电压的峰值分别用  $E_m$ 、 $I_m$  和  $U_m$  表示。

交变电流的**有效值**是根据电流的热效应来规定的。让交变电流和恒定电流分别通过相同阻值的电阻，如果它们在相同时间内产生的热量相等，这一恒定电流的数值就是相应交变电流的有效值。交变电流的电动势、电流和电压的有效值分别用  $E$ 、 $I$  和  $U$  表示。我们平时所说的交变电流的大小、各种使用交变电流的电气设备所标注的额定电压和额定电流的数值，以及一般交流电流表和交流电压表测出的数值，指的都是有效值。

#### 专业术语

频率

frequency

周期

period

#### 专业术语

有效值

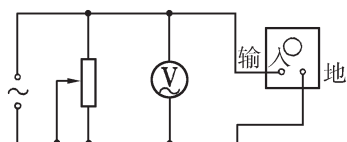
effective value

交变电流的有效值与峰值间有什么关系呢？下面我们通过实验进行探究.

### 实验与探究



(a)



(b)

图 2-3-1

**参考仪器：**学生电源，交流电压表（或多用电表交流电压挡），示波器，滑动变阻器.

如图 2-3-1 (b) 所示，滑动变阻器接到交流电源上，用交流电压表测量变阻器两端的交变电压有效值，用示波器显示交变电压的波形，测量其峰值.

改变滑动变阻器的阻值，重复上述实验，并把实验数据填入表 2-3-1 中.

表 2-3-1

实验次数	1	2	3	4	5	...
有效值 $U/V$						
峰值 $U_m/V$						
有效值与峰值之比 值 $\frac{U}{U_m}$						

我的结论：\_\_\_\_\_.

从上述实验可得，正弦式电流的电压有效值与峰值之比  $\frac{U}{U_m}$  均在 0.7 左右.

更精确的实验和计算表明，正弦式电流的电动势、电流和电压的有效值和峰值间存在着如下关系：

$$\begin{aligned} E &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m \\ I &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \\ U &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m \end{aligned} \quad (2.3.1)$$

### 讨论与交流

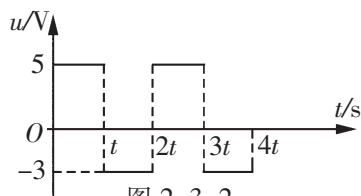


图 2-3-2

将阻值为  $2\ \Omega$  的电阻接在电压随时间按图 2-3-2 所示规律变化的交变电流上，该交变电流的周期是多少？一个周期内电阻两端电压的有效值是多少？

### 实践与拓展

1. 收集两件家用电器的铭牌和说明书，了解其各个物理量的含义.

2. 大中型汽轮发电机有两种类型，它们的差别是转子每转一周，电枢中感应电流按正弦规律周期性变化的次数不同：一种是变化一次，另一种是变化两次。这两种发电机产生的正弦式电流的频率一样，则它们的转子的转速比应是多少？



资料活页

交变电流的相位和相位差

我们知道，交变电流的大小和方向是随时间变化的。如果从线圈通过中性面时开始计时，电流瞬时值可表达为  $i = I_m \sin \omega t$ 。在三角函数中， $\omega t$  相当于角度，它反映了交变电流任何时刻所处的状态，是在增大还是在减小，是正还是负等。我们把  $\omega t$  叫做交变电流的相位，或者叫做相。如果开始计时时，线圈与中性面已有一夹角  $\varphi$ ，显然， $t$  等于零时， $i$  并不等于零，电流瞬时值可表达为

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi).$$

这时的相位为  $\omega t + \varphi$ ， $\varphi$  叫做初相位或者初相。

两个交变电流的相位之差叫做相差，用  $\Delta\varphi$  表示。如果交变电流的频率相同，相差就等于初相之差，即

$$\Delta\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2.$$

这时相差是恒定的，不随时间而改变。

两个频率相同的交变电流，如果它们的相位相同，即相差为零，我们就说这两个交变电流是同相的，即这两个交变电流的变化步调一致，同时达到零和正、负最大值。

两个频率相同的交变电流，如果相差为  $180^\circ$ ，即  $\Delta\varphi = \pi$ ，我们就说这两个交变电流是反相的，即这两个交变电流的变化步调恰好相反，一个到达正的最大值，另一个恰好到达负的最大值；一个减小到零，另一个恰好增大到零。

交变电流的峰值（或有效值）、频率（或周期）、初相是表示正弦式电流的三个重要物理量。只要知道这三个量，就可以得出交变电流的瞬时表达式，知道其变化规律。



练习

- 如图 2-3-3 所示是某正弦式电流的电流图象，根据图象求出它的周期、频率和电流的峰值、有效值。
- 我国家庭用电及工业用电的电压分别为 220 V 和 380 V，它们的峰值分别是多少？
- 某一正弦式电流通过一个阻值为  $100 \Omega$  的电阻，其热效应与 1 A 恒定电流通过该电阻所产生的热效应相同。这个正弦式电流的电压、电流的有效值和峰值分别是多少？
- 如图 2-3-4 所示是某交流电压的瞬时值随时间变化的图象。该交流电压的周期是多少？

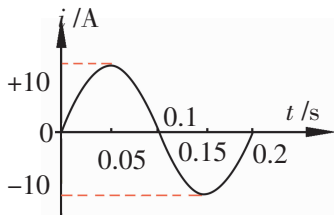


图 2-3-3

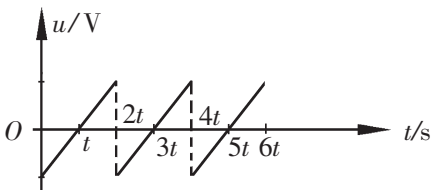


图 2-3-4

## 第四节 电感器对交变电流的作用

如果电路中只有电阻，例如电炉、电熨斗、白炽灯等，实验和理论分析都表明，无论在直流电路还是在交流电路，电流 $I$ 、电压 $U$ 和电阻 $R$ 的关系都遵从欧姆定律。但是，如果电路中存在电感或电容，情况就会复杂一些。

### 认识电感器

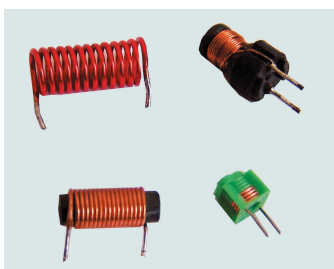


图 2-4-1 各种电感器

电感器由绝缘导线（如漆包线、纱包线等）一圈紧靠一圈地绕制而成，所以又被称为电感线圈。它能把外部电路的电能储存在电感器内部的磁场中。在电路中，有些电感器的线圈中间还插有铁芯。电感器用字母“ $L$ ”及电路符号“ $\text{---} \overline{\text{---}} \text{---}$ ”表示。

在电工技术中，变压器、电磁铁等的线圈一般是用铜线绕制的。铜的电阻率很小，在很多情况下，线圈的电阻比较小，可以忽略不计，因而认为线圈只有电感。

#### 专业术语

电感  
inductance

### 讨论与交流

你见过哪些电感器？请与同学交流一下。

### 电感器对交变电流的作用

电感器对交变电流有什么作用呢？

### 实验与探究

**参考仪器：**两个规格完全相同的小灯泡，可拆变压器，滑动变阻器，双刀双掷开关，学生电源。

实验装置的连接如图 2-4-2 所示。

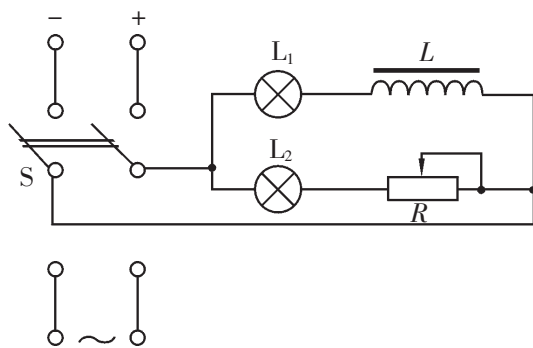


图 2-4-2

**实验 1:** 从可拆变压器中取出线圈接入电路, 由于线圈的电感很小, 可看作纯电阻电路. 把开关 S 先接到直流电源, 调节滑动变阻器使两个灯泡的亮度相同. 然后再将开关 S 接到交流电源, 比较两个灯泡的亮度.

观察到的现象是: \_\_\_\_\_

**实验 2:** 将线圈套入可拆变压器的 U 臂端, 把开关 S 接到直流电源, 调节滑动变阻器使两个灯泡的亮度相同. 然后再将开关 S 接到交流电源, 比较两个灯泡的亮度.

观察到的现象是: \_\_\_\_\_

**实验 3:** 将可拆变压器的条形铁轭放上后, 把开关 S 接通直流电源, 调节滑动变阻器使两个灯泡的亮度相同. 然后再将开关 S 接通交流电源, 比较两个灯泡的亮度.

观察到的现象是: \_\_\_\_\_

在实验 1 中, 两个灯泡的亮度基本相同, 说明由于没有铁芯, 线圈自感系数很小, 当线圈可看作是纯电阻时, 它对交变电流的影响与等值的纯电阻所产生的影响是完全一样的. 在实验 2 中, 灯泡  $L_1$  明显比灯泡  $L_2$  暗, 说明电感线圈有通直流、阻交流的作用. 在实验 3 中, 灯泡  $L_2$  亮度不变, 而灯泡  $L_1$  微亮或不亮, 说明电感线圈的自感系数越大, 感抗越大, 对交变电流的阻碍作用越明显.

从上面的实验我们可以看到, **电感器对恒定电流是导通的, 对交变电流有阻碍作用.** 这种阻碍作用产生的原因是: 交变电流通过线圈时, 电流时刻在变化, 由于线圈的自感作用, 必然产生感应电动势, 阻碍电流的变化, 这样就形成了对交变电流的阻碍作用. 这种阻碍作用的大小与电感器的自感系数有关, 自感系数越大, 阻碍作用就越大.

实验还证明, 交变电流的频率越高, 电感器对交变电流的阻碍作用就越大.

### 讨论与交流

为什么电感器的自感系数越大, 对交变电流的阻碍作用就越大?

### 低频扼流圈和高频扼流圈

在电工和电子技术中使用的扼流圈, 就是利用电感器阻碍交变电流的作用制成的. 扼流圈通常有两种: 一种叫做**低频扼流圈**, 线圈绕在闭合铁芯上, 匝数为几千甚至超过一万, 自感系

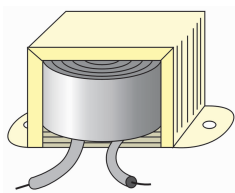


图 2-4-3 低频扼流圈

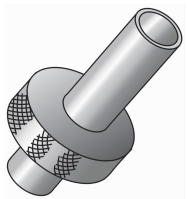


图 2-4-4 高频扼流圈

数较大，通常达几十亨，如图 2-4-3 所示。这种线圈对低频交变电流有很大的阻碍作用，而由于线圈的电阻较小，对直流的阻碍作用较小。这种线圈可用来“通直流、阻交流”。另一种叫做**高频扼流圈**，线圈有的绕在圆柱形的铁氧体芯上，有的是空心的，匝数为几百，自感系数较小，通常为几毫亨，如图 2-4-4 所示。这种线圈对高频交变电流的阻碍作用较大，对低频交变电流的阻碍作用较小，对直流的阻碍作用更小，因此可用来“通直流、通低频、阻高频”。

日光灯的镇流器就是一个电感器，日光灯启动后，灯管两端所需的电压低于 220 V，灯管和镇流器串联起来接到电源上，利用镇流器对交变电流的阻碍作用，就能保证灯管不致因电压过高而损坏。

### 资料活页

#### 电感器的感抗

电感器对交变电流有阻碍作用，其阻碍作用的大小用感抗表示（相当于电阻的阻值），符号是  $X_L$ ，单位是  $\Omega$ 。实验和理论分析都表明，感抗与线圈的自感系数  $L$ 、交变电流的频率  $f$  有如下的关系： $X_L = 2\pi fL$ 。

从上面的关系式中可以看到，线圈的自感系数  $L$  越大，自感作用就越大，因而感抗越大；交变电流的频率越高，电流的变化率越大，自感作用也越大，因而感抗越大。所以，电感器在电路中有“通直流、阻交流，通低频、阻高频”的作用。

#### 练习

1. 电感线圈为什么对交变电流有阻碍作用？
2. 为什么电感线圈有“通直流、阻交流”的作用？
3. 图 2-4-5 是电风扇调速器的结构示意图，在一个“日”字形的软铁芯上，绕了数百匝线圈，每隔数十匝连一抽头接到 2~5 端钮上。由图可知，端钮 0 是断路的，端钮 1 不经线圈直接通电，风扇的转速最高；端钮 5 连的线圈匝数最多，转速最低。试简述其工作原理，并分析这样调速相对于用串联电阻方式调速有什么优势。
4. 想想什么样的电感线圈会有比较大的自感系数。

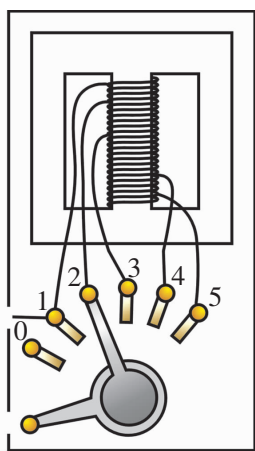


图 2-4-5

## 第五节 电容器对交变电流的作用

电容器与电感器都是在电工及电子技术中有着广泛应用的基本元件. 在选修 3-1 模块中, 我们已认识了电容器. 在这里, 我们通过实验来探讨电容器在电路中的作用.

### 电容器仅让交变电流通过

交变电流是如何“通过”电容器的呢?

#### 实验与探究

**参考仪器:** 两个规格完全相同的小灯泡, 电容器, 双刀双掷开关, 学生电源.

实验装置的连接如图 2-5-1 所示.

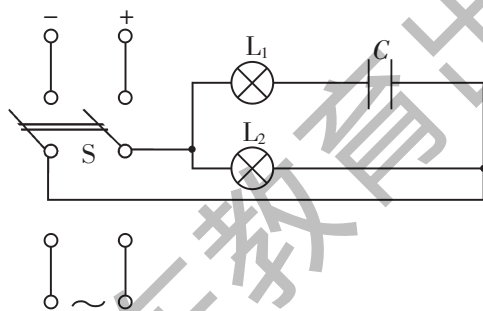


图 2-5-1

**实验 1:** 把开关 S 接到直流电源上, 观察两个灯泡的发光情况, 这种现象说明了什么?

我的结论: \_\_\_\_\_

**实验 2:** 把开关 S 接到交流电源上, 观察两个灯泡的发光情况, 这种现象说明了什么?

我的结论: \_\_\_\_\_

从上面的实验我们可以看到, 如果把开关 S 接到直流电源上, 灯泡  $L_2$  亮, 灯泡  $L_1$  不亮, 说明恒定电流不能通过电容器. 如果把开关 S 接到交流电源上, 两个灯泡均能发光, 说明交变电流能够“通过”电容器. 可见, 电容器具有“隔直流、通交流”的特性.

恒定电流不能通过电容器, 是因为电容器的两个极板被绝缘介质隔开了. 交变电流能够通过电容器, 实际上也不是自由电



荷通过两极板间的绝缘介质，只是由于两极板间的电压在变化，当电压升高时，电荷向电容器的极板上聚集，电路上形成充电电流；当电压降低时，电荷离开极板，电路上形成放电电流。如图 2-5-2 所示，电压不断变化，电容器交替进行充电和放电，电路中就有了电流，好像交变电流“通过”了电容器。

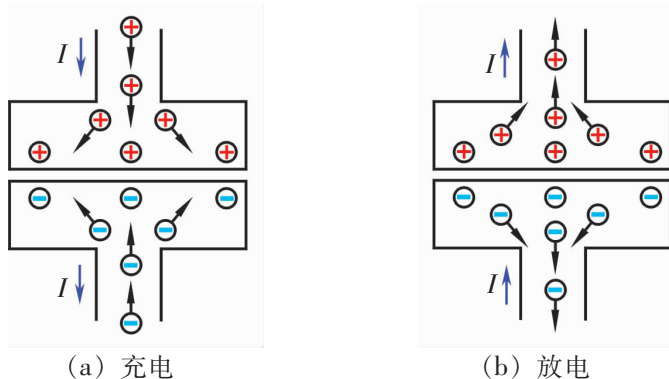


图 2-5-2 电容器的充放电表现为交变电流“通过”电容器

### 讨论与交流

使用 220 V 交流电源的电器设备和电子仪器，金属外壳和电源之间都有良好的绝缘。但是，有时候用手触摸其外壳时，仍会感到手有点麻，即常说的“漏电”，用试电笔测试时氖管也会发光，这是为什么？

### 电容器对交变电流的作用

电容器对交变电流有什么作用呢？

### 实验与探究

**参考仪器：**三个规格完全相同的小灯泡，三个电容器  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  ( $C_1 > C_2 = C_3$ )，学生电源，开关，导线。

实验装置的连接如图 2-5-3 所示。

**实验 1：**先将开关  $S_1$  和  $S_2$  断开，接上交流电源，观察灯泡  $L_2$  和  $L_3$  的发光情况。再闭合开关  $S_2$ ，将电容器  $C_3$  短接，观察灯泡  $L_3$  的发光变化情况。这种现象说明了什么？

我的结论：\_\_\_\_\_

**实验 2：**闭合开关  $S_1$  和  $S_2$ ，接上交流电源，观察三个灯泡的发光情况，这种现象说明了什么？

我的结论：\_\_\_\_\_

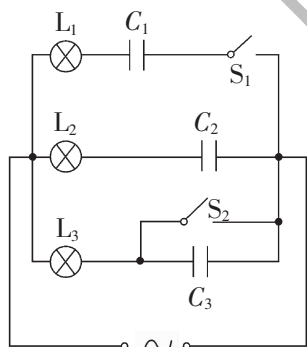


图 2-5-3

在实验 1 中，先将开关  $S_1$  和  $S_2$  断开，接上交流电源后，灯泡  $L_2$  与灯泡  $L_3$  一样亮；再闭合开关  $S_2$  后，灯泡  $L_3$  明显要比灯

泡  $L_2$  亮. 由于电容器  $C_3$  被短路, 电容器  $C_2$  没有被短路, 说明电容器对交变电流有阻碍作用.

在实验 2 中, 闭合开关  $S_1$  和  $S_2$ , 接上交流电源后, 灯泡  $L_3$  最亮, 灯泡  $L_1$  次之, 灯泡  $L_2$  最暗. 灯泡  $L_3$  是由于电容器  $C_3$  被短路而最亮的, 说明电容器对交变电流有阻碍作用; 灯泡  $L_1$  要比灯泡  $L_2$  亮则是因为  $C_1 > C_2$ , 说明电容越大, 对交变电流的阻碍作用反而越小.

从上面的实验我们可以看到, 电容器有“隔直流、通交流”的特性. 但是, 电容器对交变电流也有一定的阻碍作用, 这种阻碍作用产生的原因是: 当电源的电压推动自由电荷向某一方向做定向运动的时候, 电容器两极板上积累的电荷却反抗它们向这个方向做定向运动, 这就产生了电容对交变电流的阻碍作用. 这种阻碍作用的大小与电容器的电容量有关, 电容越大, 阻碍作用就越小.

实验还证明, 交变电流的频率越高, 电容器对交变电流的阻碍作用就越小.

### 讨论与交流

为什么电容越大, 电容器对交变电流的阻碍作用就越小?

#### 隔直电容器和 高频旁路电容器

在电子技术中, 从某一装置输出的电流常常既有交流成分, 又有直流成分. 如果只需要把交流成分输送到下一级装置, 只要在两级电路之间串联一个电容器, 就可以使交流成分通过, 而阻止直流成分通过, 如图 2-5-4 所示. 用作这种用途的电容器叫做隔直电容器.

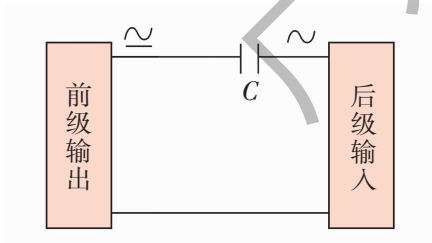


图 2-5-4

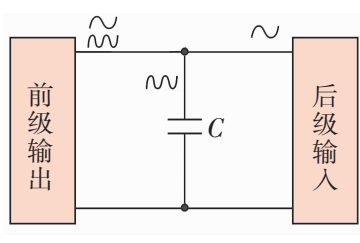


图 2-5-5

在电子技术中, 从某一装置输出的交变电流常常既有高频成分, 又有低频成分. 如果在下一级电路的输入端并联一个电容器, 高频成分就通过电容器, 而使低频成分输入到下一级装置, 如图 2-5-5 所示. 用作这种用途的电容器叫做高频旁路电容器.

### 讨论与交流

1. 在图 2-5-4 中, 电容器应并联还是串联接入电路? 为什么?
2. 请说明高频旁路电容器的工作原理.

## 资料活页

## 电容器的容抗

电容器对交变电流有阻碍作用，其阻碍作用的大小用容抗表示（相当于电阻的阻值），符号是  $X_C$ ，单位是  $\Omega$ 。实验和理论分析都表明，容抗与电容器的电容及交变电流的频率有如下关系： $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ 。从关系式可以看到，电容器的电容  $C$  越大，容抗越小；交变电流的频率越高，容抗越小。所以，电容器在电路中有“隔直流、通交流，阻低频、通高频”的特性。

## 练习

1. 交变电流为什么能通过电容器？
2. 为什么电容器有“隔直流、通交流”的作用？
3. 音箱中有高音扬声器和低音扬声器。为了让特定扬声器得到较为纯粹的高频或低频信号，常常借助由电容器与电感器组成的分频器电路，如图 2-5-6 所示。图 2-5-7 (a)、(b) 分别是低音扬声器和高音扬声器的电路图，如何分辨它们？并解释原因。



图 2-5-6

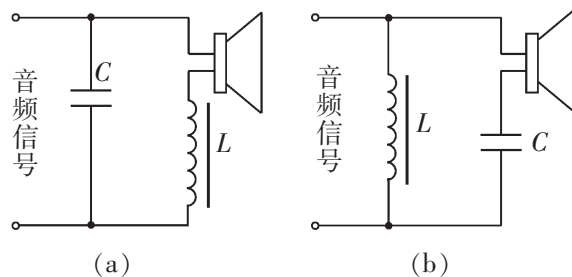


图 2-5-7

4. 如图 2-5-8 所示，该电路只让直流成分通过而不让交流成分往下传，请运用电容器或电感器设计一个合理的电路。



图 2-5-8

## 第六节 变压器

在实际应用中,经常需要改变交变电流的电压.一般中型和大型发电机输出的电压等级有 6.3 kV、10.5 kV、15.75 kV 等,而目前我国远距离交流输电电压有 110 kV、220 kV、330 kV 及 500 kV 等等级;工厂里的电动机工作电压为 380 V,一般照明电压为 220 V,机床照明电压为 36 V;同一家用电器里各部分的工作电压往往也不一样.为适应各种不同需要,就要改变交流电压.

变压器就是改变交流电压的设备.

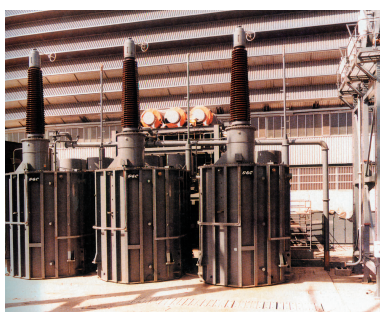


图 2-6-1 变压器



图 2-6-2 实验用可拆变压器

### 专业术语

变压器

transformer

### 认识变压器

如图 2-6-2 所示,变压器由闭合铁芯和绕在铁芯上的线圈组成,其中闭合铁芯由表面涂有绝缘漆的硅钢片叠合而成,线圈用绝缘导线绕成.图 2-6-3 是变压器原理图,与电源连接的线圈叫做**原线圈**(也称为初级线圈),与负载连接的线圈叫做**副线圈**(也称为次级线圈).在电路中,变压器的符号如图 2-6-4 所示.

### 专业术语

原线圈

original coil

副线圈

secondary coil

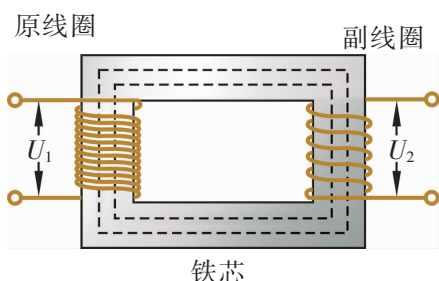


图 2-6-3 变压器原理图

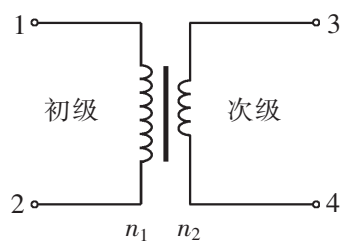


图 2-6-4 变压器的符号

在原线圈上加交流电压,原线圈中的交变电流在铁芯中产生交变的磁通量,这个交变的磁通量不仅穿过原线圈,也穿过副线圈,所以在副线圈中产生感应电动势.如果在副线圈两端接入负载,负载中就会有交变电流.

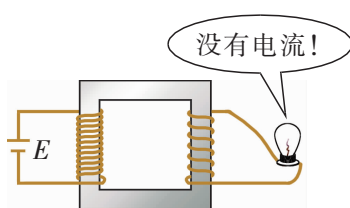


图 2-6-5

### 讨论与交流

1. 请列举几种常见变压器，并与同学们交流一下。
2. 如图 2-6-5 所示，这一现象说明了什么？

### 探究变压器的电压与匝数的关系

变压器能改变电压的大小，那么，变压器原、副线圈的电压  $U_1$ 、 $U_2$  的比值与什么因素有关呢？

### 观察与思考

如图 2-6-6 所示，在原线圈两端接入 4 V 的交变电流，在副线圈接入小灯泡。

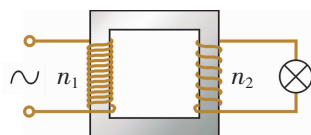


图 2-6-6

**实验 1:** 改变副线圈的匝数，观察小灯泡亮度的变化。为什么会有这种现象？

我的结论：\_\_\_\_\_

**实验 2:** 保持副线圈匝数不变，逐渐增加原线圈的匝数，观察小灯泡亮度的变化。为什么会有这种现象？

我的结论：\_\_\_\_\_

在实验 1 中，当副线圈的匝数变大时，小灯泡变亮，当副线圈的匝数变小时，小灯泡变暗。因为原线圈上加有交流电压时，原线圈中就有交变电流，它在铁芯中产生交变的磁通量，这个交变磁通量既通过原线圈，也通过副线圈，在原、副线圈中会发生相互感应的现象，称为互感现象。由于互感，原、副线圈的磁通量变化率相同，根据  $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  可知，原、副线圈的电压与匝数成正比。当  $U_1$ 、 $n_1$  不变而  $n_2$  增大时， $U_2$  增大， $I_2$  增大，小灯泡变亮。

同理，在实验 2 中，当原线圈的匝数变大时，小灯泡变暗。 $U_1$ 、 $n_2$  不变而  $n_1$  增大时， $U_2$  减小， $I_2$  减小，小灯泡变暗。

由上面的实验我们不难发觉，变压器原、副线圈的电压  $U_1$ 、 $U_2$  与原、副线圈的匝数  $n_1$ 、 $n_2$  之间存在着一定的关系。下面我们对这一关系作进一步的定量探究。

### 实验与探究

**参考仪器:** 可拆变压器，学生电源，交流电压表。

在变压器原线圈上接入 4~8 V 的交变电流，在副线圈接上交流电压表，如图 2-6-7 所示。按实验要求进行实验，观察电压表的示数。

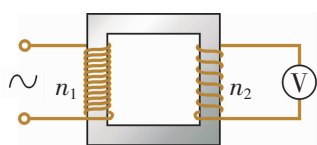


图 2-6-7

将实验结果填入表 2-6-1.

表 2-6-1

次数	$n_1$ /匝	$n_2$ /匝	$\frac{n_1}{n_2}$	$U_1$ /V	$U_2$ /V	$\frac{U_1}{U_2}$
1						
2						
3						

我的结论: \_\_\_\_\_

实验表明: 对于忽略原、副线圈的电阻和各种电磁能量损失的**理想变压器**, 原、副线圈两端的电压之比等于这两个线圈的匝数之比. 用公式表示为

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3.6.1)$$

从上式可以看到, 当  $n_2 > n_1$  时,  $U_2 > U_1$ , 变压器使电压升高, 这种变压器叫做**升压变压器**; 当  $n_2 < n_1$  时,  $U_2 < U_1$ , 变压器使电压降低, 这种变压器叫做**降压变压器**.

### 讨论与交流

1. 变压器的输入电压为  $U_1$ , 副线圈中产生的感应电动势为  $E_2$ ,  $E_2$  就是副线圈两端的电压  $U_2$  吗? 为什么?
2. 请用法拉第电磁感应定律推导出理想变压器的电压与匝数的关系.

### 理想变压器原副线圈中的电流

变压器工作时, 输入的功率主要由副线圈输出, 小部分在变压器内部损耗. 变压器的线圈有电阻, 电流通过时要生热, 损耗一部分能量, 这种损耗叫做**铜损**. 铁芯在交变磁场中反复磁化, 也要损耗一部分能量使铁芯发热, 这种损耗叫做**铁损**. 变压器的能量损耗很小, 效率很高, 特别是大型变压器, 效率可达 97%~99.5%. 所以在实际计算中常常把损耗的能量忽略不计, 认为变压器是理想变压器, 输出功率和输入功率相等.

$$P_1 = P_2$$

即  $I_1 U_1 = I_2 U_2$

又因为  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ , 所以, 理想变压器工作时, 原线圈和副线圈中的电流跟它们的匝数成反比.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.6.2)$$

例：如图 2-6-8 所示，灯泡  $L_1$  接在变压器初级电路中，灯泡  $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$  接在变压器次级电路中。变压器为理想变压器，交变电源电压为  $U$ ， $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$  都是额定电压为  $U_0$  的同种型号灯泡，讨论以下问题：

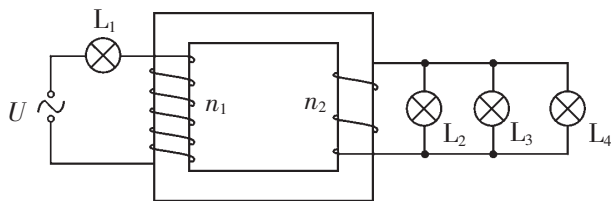


图 2-6-8

(1) 四个灯泡是否可能都正常发光？

(2) 当四个灯泡都正常发光时，电源电压  $U$  与灯泡额定电压  $U_0$  有什么关系？

解：(1) 设每个灯泡的额定电流为  $I_0$ ，次级电路中三个灯泡并联，则  $I_2 = 3I_0$ 。

$$\text{次级电功率 } P_2 = U_2 I_2 = 3 U_0 I_0.$$

$$\text{对理想变压器 } P_1 = P_2 = 3 U_0 I_0.$$

从初级电路看，由于灯泡  $L_1$  是串联在电路中的，要使灯泡  $L_1$  能正常发光，必须保证通过灯泡  $L_1$  的电流也为  $I_0$ ，也就是说要有  $I_1 = I_0$ 。

$$\text{由此可知应有 } U_1 = 3 U_0.$$

又因为  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$ ，当  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{3}{1}$  时，四个灯泡可正常发光。

(2) 由变压器变化比  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ，可得  $U_1 = 3 U_2 = 3 U_0$ 。

灯泡  $L_1$  与变压器初级线圈串联，当灯泡  $L_1$  正常发光时，两端电压亦为  $U_0$ 。

因此，电源电压  $U = 4 U_0$ 。



### 资料活页

#### 常用变压器的种类及特点

一般常用变压器的分类可归纳如下：

1. 按相数划分：

(1) 单相变压器：用于单相负荷和三相变压器组。

(2) 三相变压器：用于三相系统的升、降电压。

2. 按冷却方式划分：

(1) 干式变压器：依靠空气对流进行冷却，一般用于局部照明、电子线路等小容量变压器。

(2) 油浸式变压器：依靠油作为冷却介质，如油浸自冷、油浸风冷、油浸水冷、强迫油循环等。

3. 按用途划分：

(1) 电力变压器：用于输配电系统的升、降电压。

(2) 仪用变压器：如电压互感器、电流互感器，用于测量仪表和继电保护装置。

(3) 试验变压器：能产生高压，对电气设备进行高压试验。

(4) 特种变压器：如电炉变压器、整流变压器、调整变压器等。

#### 4. 按绕组形式划分：

(1) 双绕组变压器：用于连接电力系统中的两个电压等级。

(2) 三绕组变压器：一般用于电力系统区域变电站中，连接三个电压等级。

(3) 自耦变压器：用于连接不同电压的电力系统，也可作为普通的升压或降压变压器用。

#### 5. 按铁芯形式划分：

(1) 芯式变压器：用于高压的电力变压器。

(2) 壳式变压器：用于大电流的特殊变压器，如电炉变压器、电焊变压器；或用于电子仪器及电视、收音机等电源变压器。

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

1. 几种常用变压器。
2. 变压器铁芯所用的材料。

### 练习

1. 变压器线圈中的电流越大，所用的导线就越粗。我们在日常见到的往用户送电的变压器就是降压变压器，它的原线圈和副线圈，哪个应该用较粗的导线？其根据是什么？

2. 某理想变压器副线圈有 400 匝，把原线圈接到 220 V 的交流电路中，测得副线圈的电压是 55 V，求原线圈的匝数。

3. 设一理想变压器原线圈匝数为  $n$ ，绕有  $N$  个副线圈，匝数分别是  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $\dots$ 、 $n_n$ ；变压器输入电压为  $U$ ，副线圈输出电压分别为  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $\dots$ 、 $U_n$ ；变压器输入电流为  $I$ ，副线圈输出电流分别为  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $\dots$ 、 $I_n$ 。请导出理想变压器工作时：

- (1) 原线圈和副线圈中的电压跟它们的匝数的关系式。
- (2) 原线圈和副线圈中的电流跟它们的匝数的关系式。

4. 如图 2-6-9 所示， $P$  是电压互感器， $Q$  是电流互感器，如果两个互感器的变压比和变流比都是 50，电压表的示数为 220 V，电流表的示数为 3 A，则输电线路中的电压是多少？输电线路中的电流是多少？

5. 一合理想变压器如图 2-6-10 所示。原线圈  $n_1=1100$  匝；其一副线圈  $n_2=500$  匝，两端接阻值  $R=250\ \Omega$  的用电器；另一副线圈  $n_3=150$  匝，两端接有额定值为“30 V 15 W”的灯泡 L。原线圈接入正弦式电压后，灯泡 L 恰能正常发光。求用电器  $R$  的电功率和原线圈中的电流。

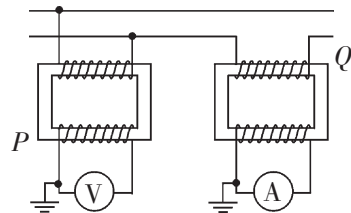


图 2-6-9

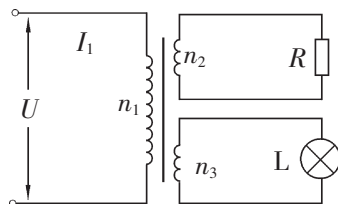


图 2-6-10



## 第七节 远距离输电

为了合理利用天然资源，火力发电厂通常建在煤炭产地，水力发电站则建在水力资源丰富的地方。虽然电能可以被输送到几百千米甚至几千千米之外的用户，但输送过程存在能量损失。为了既能安全、保质输送电能，又能减少电能损耗，降低输电系统成本，降低电价，就需要综合多方面的因素进行考虑。

### 从发电站到用户的输电线路

如图 2-7-1 所示，大型发电机发出十几千伏的电压，在发电站区域通过变压器升高到几十万伏，然后进行远距离输电。当电能被输送到用电区域后，再根据不同的用电需求，用变压器将电压降低。这就是远距离输电的过程。下面我们通过实验来模拟这一过程。

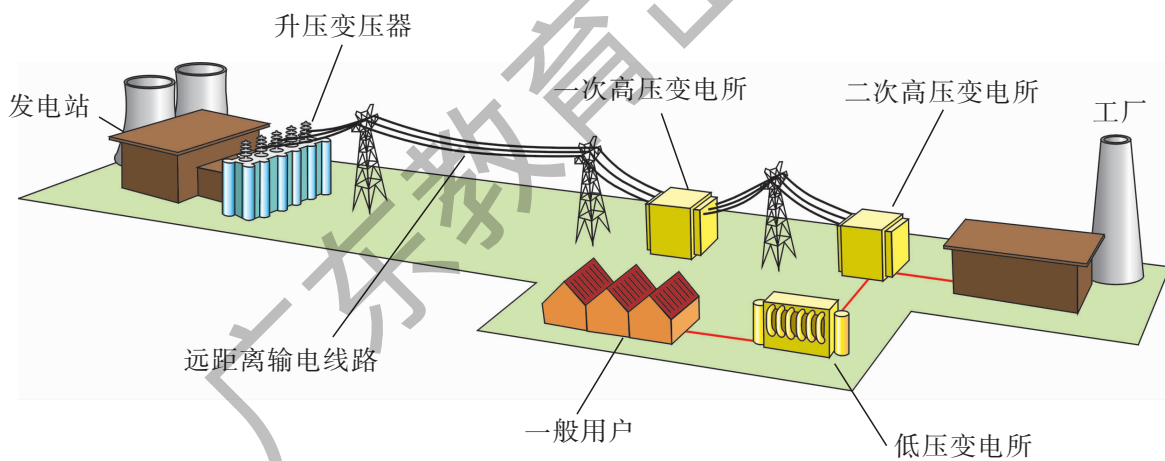


图 2-7-1 远距离输电的基本过程示意图

### 实验与探究

**参考仪器：**小灯泡 1 个，交流电压表（或多用电表交流电压挡）两个，变压器两个，导线若干，两端带鳄鱼夹的导线， $3\sim 8\ \Omega$  绕线电阻以及学生电源。

**实验 1：**如图 2-7-2 所示，将 A、B、C、D 接头分别与  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ 、 $D_1$  相接，接通电源，观察小灯泡的亮度和交流电压表的示数。然后用两端带鳄鱼夹的导线夹在电阻两端，观察小灯泡的亮度和交流电压表的示数有何变化。这个现象说明了什么？

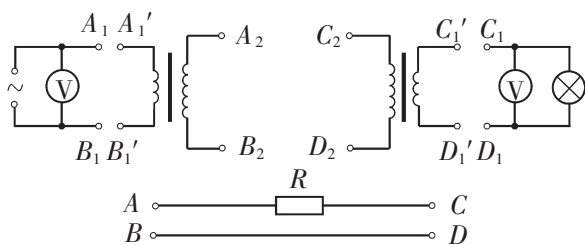


图 2-7-2

**实验 2:**  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  分别与  $A_2$ 、 $B_2$ 、 $C_2$ 、 $D_2$  相接,  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ 、 $D_1$  分别与  $A_1'$ 、 $B_1'$ 、 $C_1'$ 、 $D_1'$  连接, 接通电源, 观察小灯泡的亮度和交流电压表的示数. 然后用两端带鳄鱼夹的导线夹在电阻两端, 观察小灯泡的亮度和交流电压表的示数有何变化. 这个现象又说明了什么?

实验后, 与同学交流一下, 导致远距离输电电能损失的主要因素有哪些? 有其他减少电能损失的方法吗?

在实验 1 中, 将  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  与  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ 、 $D_1$  分别相接后, 灯泡发光较暗, 右边电压表的示数比左边的要小很多, 说明由于导线上连接有电阻, 输送回路有“线损”, 因此输出端的电压、电功率要比输入端少很多. 用导线将电阻  $R$  两端短路后, 灯泡发光很亮, 右边电压表的示数与左边的相同, 说明由于导线上没有连接电阻, 输送回路没有“线损”, 此时输出端的电压、电功率与输入端相等.

在实验 2 中, 将  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  与  $A_2$ 、 $B_2$ 、 $C_2$ 、 $D_2$  分别相接, 而将  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ 、 $D_1$  与  $A_1'$ 、 $B_1'$ 、 $C_1'$ 、 $D_1'$  分别相接后, 灯泡发光明明显比实验 1 时亮, 右边电压表的示数也比实验 1 时高, 说明在输电导线的电阻不变的前提下, 提高输电的电压, 减少输电电流, 可以达到减少输电过程中的功率损耗、更有效地输送电能的目的. 用导线将电阻短路后, 灯泡发光更亮, 右边电压表的示数更高, 说明在提高输电电压的同时, 减小输电线路的电阻, 能更有效地减少输电过程中的功率损耗, 更有效地输送电能.

### 为什么要用高压输电

电能从发电站经过输电导线送达用户, 要经过一定的距离, 由于导线有电阻, 电流通过时, 必然会因发热而损失一定的电能. 因此, 远距离输电时, 都要采取减少电能损失的措施.

那么, 用什么方法可以减少电能的损失呢?

根据导线的发热功率  $P = I^2 R$  可知, 输电过程中, 减少电能损失的方法有两种:

一种方法是减小导线的电阻. 由电阻定律  $R = \rho \frac{l}{S}$  可知, 在

输电线长度  $l$  一定的情况下, 为了减小电阻, 应当选用电阻率小、横截面积大的导线. 目前一般用电阻率较小的铜或铝作导线材料. 但是, 要增大导线的横截面积, 就要多耗费金属材料, 会使输电线太重, 给架线带来很大困难. 实际上, 有时即使把横截面积增大到十分惊人甚至实际做不到的程度, 也不能把功率损失降低到要求的范围以内.

另一种方法是减小输电导线中的电流, 在输电导线电阻不变的条件下, 输电电流如果减小到原来的百分之一, 输电的功率损失就减小到原来的万分之一. 由  $P=UI$  可知, 在保证输送功率不变的前提下, 只有提高输电的电压, 才能减小输电电流. 这就是通常采用高压进行远距离输电的道理. 如图 2-7-3 所示是高压输电线路.



图 2-7-3 高压输电线路

**例:** 把功率为 220 kW 的电能用铝导线 (铝的电阻率  $\rho=2.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ) 输送到 10 km 外的地方, 要使功率损失不超过输送功率的 10%.

(1) 如果采用 220 V 的电压输电, 导线的横截面积至少要多大? 采用这样的导线切合实际吗?

(2) 若采用 110 kV 的电压输电, 导线的横截面积是多大?

(3) 对于同种输电导线, 若分别采用 110 kV 和 220 V 输电, 损失的功率之比是多少?

**解:** (1) 如果采用 220 V 的电压输电, 则通过导线的电流

$$I = \frac{P}{U} = \frac{220 \times 10^3}{220} \text{ A} = 10^3 \text{ A}.$$

由于功率损失  $P=10\%P_0=22 \text{ kW}=22 \times 10^3 \text{ W}$ , 且  $P=I^2R$ , 因此导线的电阻

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{22 \times 10^3}{10^6} \Omega = 0.022 \Omega.$$

根据  $R = \rho \frac{l}{S}$  可得, 导线的横截面积

$$S = \frac{\rho l}{R} = \frac{2.7 \times 10^{-8} \times 2 \times 10 \times 10^3}{0.022} \text{ m}^2 \approx 2.46 \times 10^{-2} \text{ m}^2.$$

所以, 导线横截面的半径

$$r \approx 8.85 \text{ cm}.$$

由上述计算可知, 采用这样粗的导线是不切实际的.

(2) 若采用 110 kV 的电压输电, 则通过导线的电流

$$I' = \frac{P}{U} = \frac{220 \times 10^3}{110 \times 10^3} \text{ A} = 2 \text{ A}.$$

同理, 可计算出导线横截面的半径

$$r' \approx 0.02 \text{ cm}.$$

(3) 对于同种输电导线, 若分别采用 110 kV 和 220 V 输电, 损失的功率之比为

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{U_2^2}{U_1^2} = \left( \frac{220}{110 \times 10^3} \right)^2 = \frac{1}{250000}.$$

### 直流输电

由于导线也有电感、电容, 当交流输电功率很大时, 电感和电容引起的电能损失是很大的, 所以现在有些大功率输电线路已经开始采用高压直流输电.

现代的直流输电, 只有输电这个环节使用高压直流, 发电、用电及升、降电压仍然是交变电流. 发电机发出的交变电流经变压器升压后, 由换流设备将交变电流变为直流, 高压的直流经远距离传输后, 再由换流设备将直流换为交变电流. 然后, 配电所的变压器再将高压交变电流降压成适合用户的电压电流, 送达用户. 如图 2-7-4 所示.

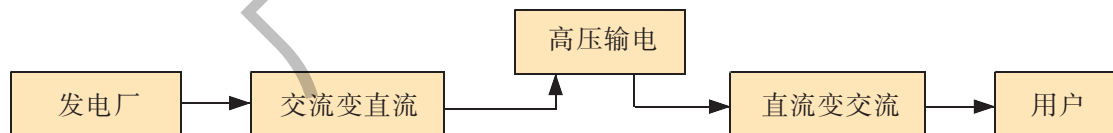


图 2-7-4 现代直流输电示意图

### 实践与拓展

1. 查阅资料, 了解直流输电的原理, 比较交流输电和直流输电的特点.
2. 参观当地的小型发电厂, 了解发电过程. 调查发电机的容量、居民用电和工业用电的情况, 撰写调查报告.



### 远距离输电问题的综合分析及远距离输电网络

在远距离输电的过程中,提高输电电压、减小输电电流,可以减少输电电能的损失.所以,现代远距离的大功率输电都采用很高的电压.

人们通常将 220 kV 及以下的输电电压叫做高压输电,330 kV~765 kV 的输电电压叫做超高压输电,1000 kV 及以上的输电电压叫做特高压输电.目前,世界上高压输电电压已达 765 kV,1150 kV 的特高压输电已有工业性试验,我国于 1975 年首次应用 330 kV 电压输电,1981 年首次建成 500 kV 输电线路,现已逐步形成以 500 kV 输电为骨干的超高压电力系统.

提高输电电压有很多好处,那么,是不是可以无限制地提高输电电压呢?如何综合各方面的因素来进行远距离输电呢?

在实际应用中,输电电压越高,对于输电线路方面,导线的绝缘要求越高,安全问题要求也越高,线路修建的费用也会越高;对于变压器方面,变压器上的电压越高,变压器在绝缘、结构方面的制作要求也相应提高.因此,实际输送电能时,要综合考虑各种因素,如输送功率的大小、距离的远近、技术和经济要求等,依照不同情况选择合适的输电电压.

如果输送功率比较大,输电距离比较远,就要采用较高的电压输电.如果输送功率不太大,距离也不太远,就不必用太高的电压输电,电压高了反而增加建设及运作等方面的费用,而且输电线因机械强度的限制也不能太细.一般来说,高压输电架空线的电压、输电容量和输送距离的关系如表 2-7-1 所示.

表 2-7-1

输送电压 / kV	输送容量 / 10 kW	输送距离 / km
110	10~50	50~150
220	100~500	100~300
300	200~800	200~600
500	1000~1500	150~850
765	2000~2500	500 以上

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

1. 直流电机和磁悬浮列车.
2. 感应电动机.
3. 直流输电.

 练习

1. 采用 110 kV 的高压输送 4800 kW 的电功率，输电导线中的电流是多少？如果采用 110 V 的电压输电呢？

2. 发电机输出电压为 220 V，输出功率为 110 kW，输电线的总电阻为  $0.2 \Omega$ ，若不用变压器直接输电，输电线上损失电压为多少？损失功率为多少？现用 5.5 kV 向外输电，输电线上损失电压为多少？损失功率为多少？

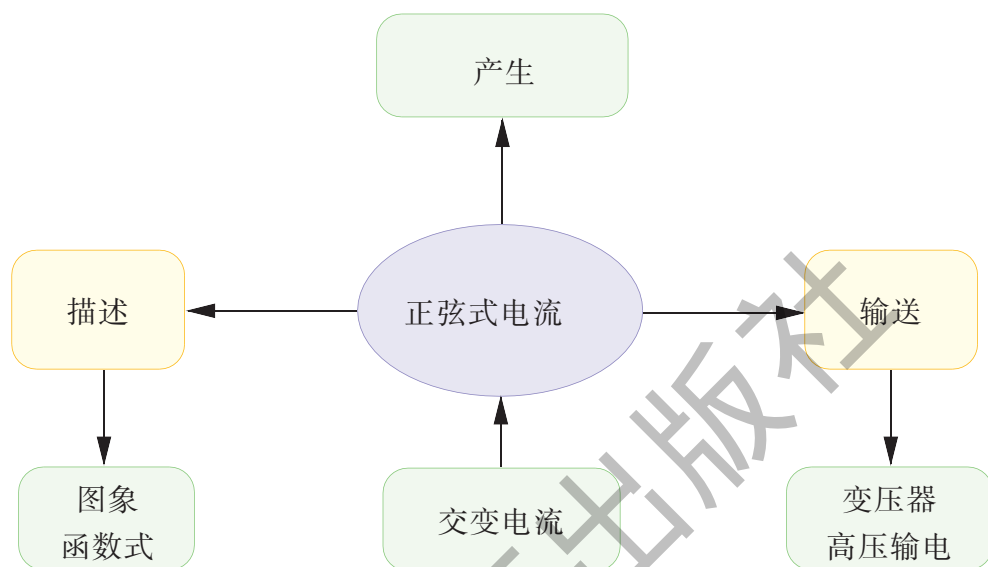
3. 长江三峡水利枢纽是当今世界上最大的水利工程，它的装机总功率为  $2 \times 10^7$  kW. 若用总电阻为  $10 \Omega$  的输电线将功率为  $5 \times 10^6$  kW 的电能从三峡输送到用电区域，输电电压为  $5 \times 10^2$  kV，输电导线上损失的功率为多少？

4. 从远距离输电的原理出发，尝试写出一篇关于物理学对科技、经济、社会发展意义的小论文.

广东教育出版社

## 本章小结

### 一、知识结构



### 二、回顾与评价

我认为交变电流是：  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

我认为与交变电流有关的是：\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

我最感兴趣的交变电流在实际中的应用是：\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

我还能说：\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

我还能做：\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

我还想知道：\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

我还想继续探究：\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

我在实践活动中遇到的困难是：\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## 习 题 二

1. 照明电路中，为了安全，一般在电能表后面的电路上接入一个漏电保护器，如图 2-1 所示，当漏电保护器的  $ef$  两端没有电压时，脱扣开关  $K$  能始终保持接通；当  $ef$  两端有电压时，脱扣开关  $K$  立即断开。下列说法正确的是 ( )。

- A. 当相线和零线间电压太高时，脱扣开关会自动断开，即有过压保护作用
- B. 当用户电流超过一定值时，脱扣开关会自动断开，即有过流保护作用
- C. 站在地面上的人触及  $b$  线时（单线触电），脱扣开关会自动断开，即有触电保护作用
- D. 当站在绝缘物上的带电工作的人两手分别触到  $b$  线和  $d$  线时（双线触电），脱扣开关会自动断开，即有触电保护作用

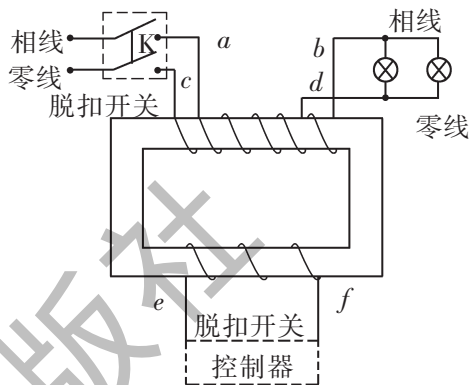


图 2-1

2. 一正弦式电流的电压瞬时值表达式为  $u = 311 \sin 100\pi t$  (V)，则此交流电压的峰值为 \_\_\_\_\_ V，有效值为 \_\_\_\_\_ V，周期为 \_\_\_\_\_ s，频率为 \_\_\_\_\_ Hz。

3. 一交变电流的电压随时间变化的图象如图 2-2 所示，由图可知电压的峰值为 \_\_\_\_\_ V，有效值为 \_\_\_\_\_ V，周期为 \_\_\_\_\_ s，频率为 \_\_\_\_\_ Hz，电压的瞬时值表达式为  $u =$  \_\_\_\_\_。

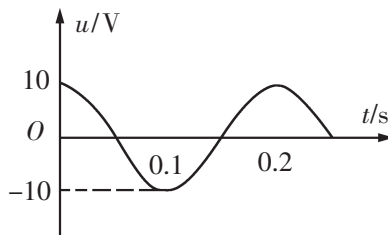


图 2-2

4. 一台微波炉说明书所列的部分技术参数如表 2-1，请回答：

- (1) 这台微波炉使用的是哪一种电源？
- (2) 这台微波炉输入电流的有效值是多大？输入电流的峰值是多大？

表 2-1

型号	WD800 (MG-5579MT)
输入电源	220 V, 50 Hz
输出功率	800 W
微波频率	2450 MHz
输入功率	1250 W

5. 图 2-3 是高频焊接技术的原理示意图。线圈中通有高频交变电流时，放在圈中待焊接的金属工件中就产生感应电流。由于焊缝处的接触电阻很大，放出的热量很多，致使温度升得很高，将金属熔化，完成焊接。自行车车架的焊接通常就是采用这种焊接

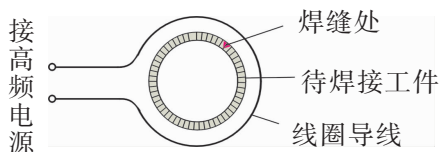


图 2-3



方法. 尝试定性说明: 交变电流的频率越高, 焊接处放出的热量就越大.

6. 家庭电路中通常有两根导线, 一根导线能使测电笔发光, 另一根则不能. 有人说, 能使测电笔发光的那根导线连接着电源的正极, 另一根连接着负极. 这样的说法对吗? 为什么? 根据所学的知识想一想, 这两根导线各叫做什么线? 为什么一根导线能使测电笔发光, 另一根则不能?

7. 有一个教学用的可拆变压器, 它的原副线圈外部还可以绕线. 现在要测定原、副线圈的匝数, 除有一根足够长的绝缘导线外, 还需要什么器材? 简要说明实验原理.

8. 如图 2-4 所示, 如果电路中交变电流的频率增大, 三盏电灯的亮度将如何改变? 为什么?

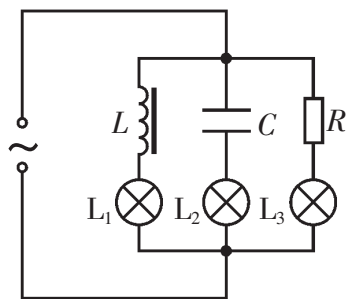


图 2-4

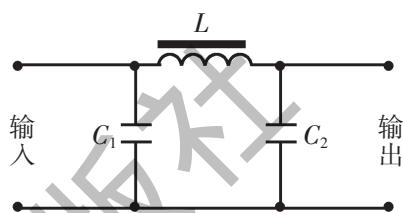


图 2-5

9. 如图 2-5 所示是常用电器中电源部分的滤波装置, 当输入端输入含有直流成分、交流高频成分和交流低频成分的电流后, 能在输出端得到稳定的直流电流. 试分析其工作原理及各电容和电感的作用.

10. 调查你生活的地区比较大的停电事故是什么原因造成的. 这些现象对你有什么启示?

11. 设计一个探究变压器电压与线圈匝数的关系的实验.

12. 有一台交流发电机, 不接入负载时, 输出端的电压是 26 V, 接上灯泡后, 输出端的电压是 24 V, 电流是 2.2 A, 灯泡工作时的电阻是多少? 发电机的内阻是多少? 发电机的电动势是多少?

13. 一小型水电站输出的电功率是 20 kW, 输电电压是 400 V, 输电导线的总电阻是  $0.5 \Omega$ , 输电导线上的功率损失是多少? 用户得到的电功率是多少? 如果改用 250 V 的电压输电, 输电导线上的功率损失和用户得到的电功率又各是多少?

14. 水力发电具有防洪、防旱、减少污染等多项功能, 现已成为我国的重要能源之一. 某河水流量为  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ , 水流下落高度为 5 m, 现在利用该河流兴建水电站来发电, 设所用发电机的总效率为 50%, 求:

(1) 发电机的输出功率.

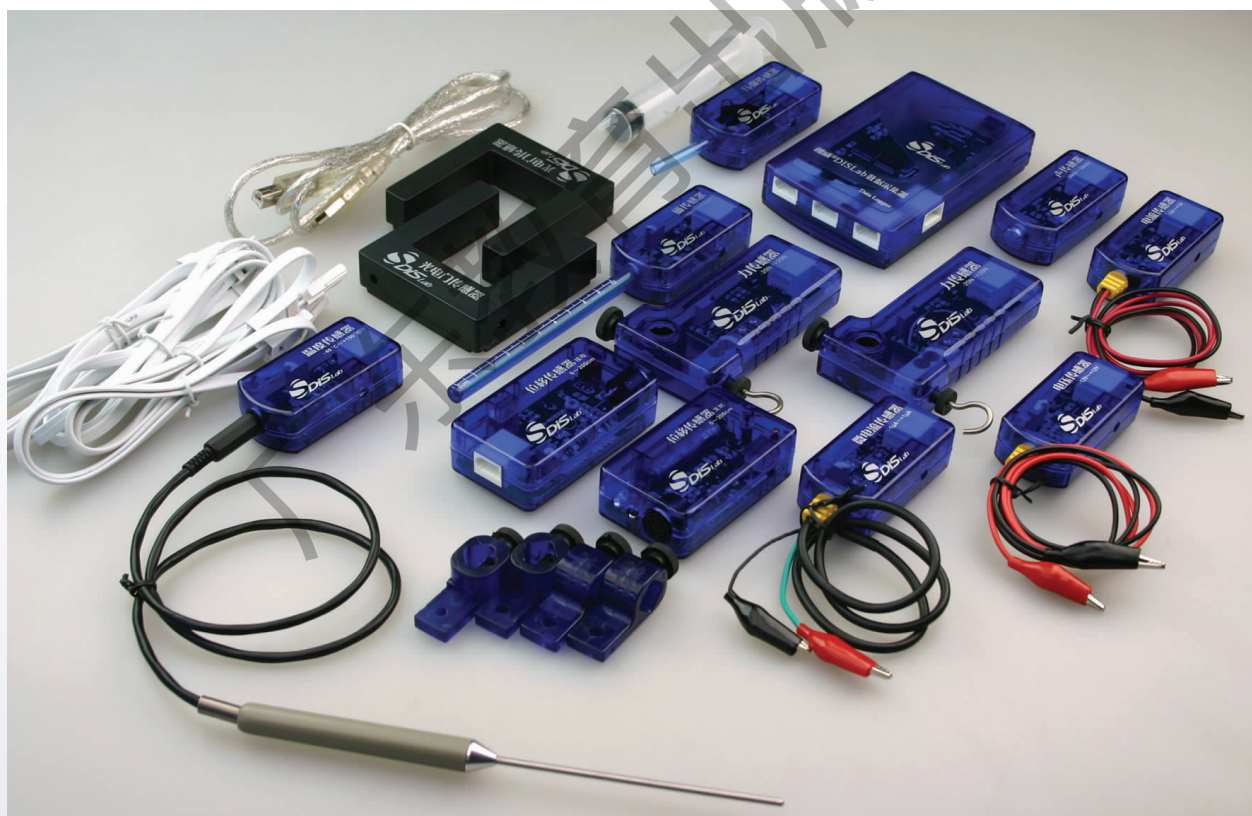
(2) 设发电机输出电压为 350 V, 在输送途中允许的电阻为  $4 \Omega$ , 许可损耗的功率为 5%, 问在用户需用电压 220 V 时, 所用升压变压器和降压器匝数之比. ( $g=9.8 \text{ m/s}^2$ )

# 第三章

## 传感器

在自然界中，各种动物身上都隐藏着很多感觉器官。例如，人类能看到周围五彩缤纷的世界，能听见自然界美妙的声音，能感知环境的冷暖，能嗅出物体的气味和尝出各种不同的味道等，就是由于在人类身上存在着视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等这些感觉器官。而这些感觉器官是通过人体身上存在的感知神经——所谓的“传感器”而获得的。

传感器技术所要解决的问题是如何准确、可靠地获取系统中的信息，并结合通信技术和计算机技术完成对信息的传输和处理，最终实现对系统控制的目的。因此，传感器技术、通信技术和计算机技术是现代信息技术的三大基础学科，它们分别构成了信息技术系统的“感觉器官”、“中枢神经”和“大脑”。在这一章里，我们要学习一些有关传感器的知识。



## 第一节 认识传感器



图 3-1-1 自动门

当你走近自动门时，为什么门会自动打开？电饭煲为什么能自动加热和保温而不会把饭烧焦？为什么电梯的两门靠拢接触到人体时，门又会自动打开而不会夹伤人？为什么在几十千米甚至几万千米高空的人造地球卫星上，能拍摄出清晰的地面照片？为什么机器人能代替人完成各种复杂的劳动？……这一切，都要归功于现代传感器技术的发展和运用。

### 什么是传感器

**传感器**是测量和探索自然界各种参数的检测元件，有人曾称其为“探头”（probe），英文中还有“sensor”（敏感元件）与“transducer”（传感器）之称。国际标准化组织（ISO）工业标准“JIS-Z130”将传感器定义为“对应于被测量，能给出易于处理的输出信号的变换器”。国家标准 GB7665-87 对传感器下的定义是：能感受规定的被测量，并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。实际上，能够完成两种量（光、热、电、力学量和机械量等）之间的变换或转换关系，都符合于传感器的定义范畴。图 3-1-2 是各式各样的传感器。



图 3-1-2 各式各样的传感器

传感器是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将检测感受到的信息按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和

控制等要求。传感器一般由敏感元件、转换元件和转换电路三部分组成，其方框图如图 3-1-3 所示。

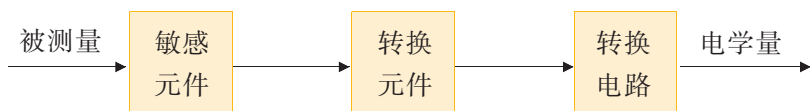


图 3-1-3 传感器组成方框图

**敏感元件：**相当于人的感觉器官，直接感受被测量并将其转换成与被测量成一定关系的易于测量的物理量，如温度、位移等。

**转换元件：**也称为传感元件，通常不直接感受被测量，而是将敏感元件输出的物理量转换成电学量输出。

**转换电路：**将转换元件输出的电学量转换成易于测量的电学量，如电压、电流、频率等。

### 观察与思考

如图 3-1-4 所示，将电容式话筒与电阻串联，用电压表测量电阻两端的电压。闭合开关后，对着话筒说话。

- (1) 说话时，观察电压表的示数是否变化。
- (2) 当说话的音量变化时，观察电压表的示数如何变化。
- (3) 分析电容式话筒是怎样把声音信号转换成电信号的。

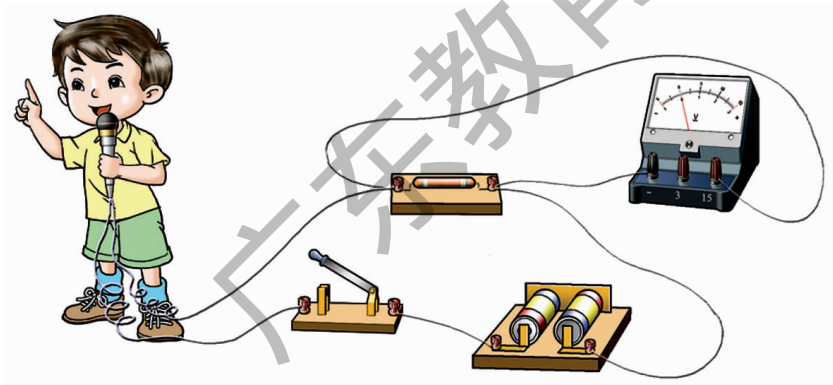


图 3-1-4

在上面的实验中，我们对着话筒说话时，电压表的指针发生偏转，而且指针偏转的角度随音量的变化而变化。电容式话筒是由振动膜片和固定电极组成的。振动膜片和固定电极组成电容，当声波信号使振动膜片振动时，振动膜片和固定电极的距离发生周期性的变化，电容器的电容发生周期性的变化，通过电阻的电流也发生周期性的变化。这样，话筒就把声音信号转换成电信号了。

实验中，我们说话的声音（声波）是被测量，电压表测得的电压是电学量，说话的声波传到振动膜片上，振动膜片是敏感元件，振动膜片和固定电极组成的话筒是转换元件，电源、电

#### 专业术语

电学量

electric quantity

非电学量

non-electric quantity

阻组成的是转换电路，由这样三部分组成的就是传感器，如图 3-1-5 所示。

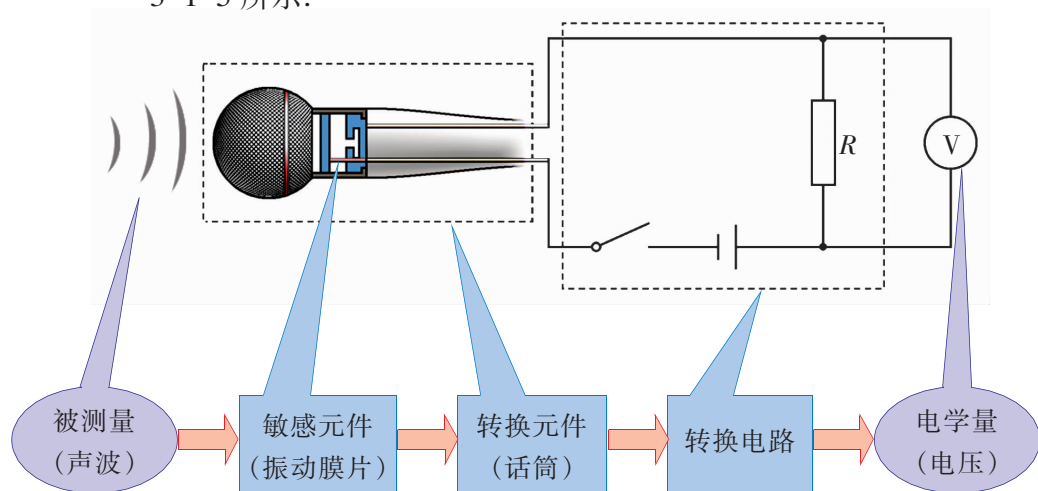


图 3-1-5

在传感器中，敏感元件常被称为预变换器。在完成非电学量到电学量转换过程中，有些非电学量不能一次直接转换成电学量，要先变换成一种易于变换成电学量的非电学量，如位移等，然后通过适当的方法转换成电学量。因此，人们将能够完成预变换的器件称为敏感元件，如弹性元件等。而转换元件是能将感受到的被测非电学量转换成电学量的器件，如压电晶体、热电偶等。当然，转换元件是传感器的核心部分，它是利用各种物理、化学、生物效应等原理制成的。

### 讨论与交流

1. 在日常生活中，哪些用具可通过手动或其他方法实现将非电学量（压力、温度）转换成电学量（电压、电阻）？
2. 录音机的录音磁头和放音磁头，分别是将哪种信号与电信号相互转换的？尝试简要地说明其中的物理原理。

### 传感器的分类

传感器的种类繁多，涉及多个学科领域，例如，一辆小汽车上就用了近十种传感器，如图 3-1-6 所示。传感器的分类方法很多，目前一般按被测量、工作原理、能量传递方式等进行分类。

按被测量进行划分，可分为加速度传感器、速度传感器、位移传感器、压力传感器、温度传感器、负荷传感器、扭矩传感器等。这种分类方法对于生产单位与用户来说一目了然。但这种分类方法的弊病是造成传感器的名目繁多，又把原理不同、用途相同的传感器归为一类，不利于掌握传感器的原理与性能的分析方法。

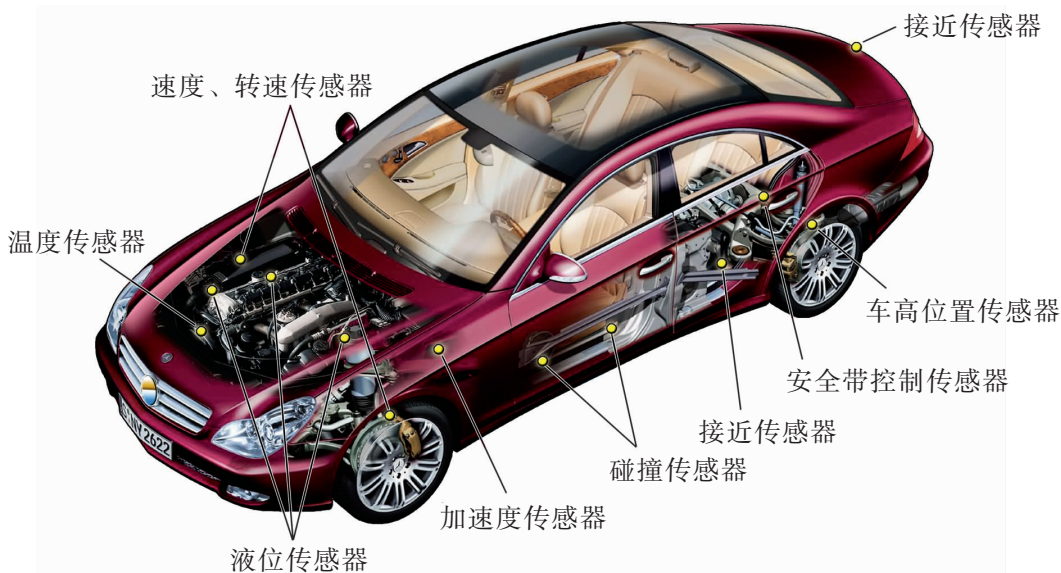


图 3-1-6 汽车上的传感器

按传感器的工作原理进行划分,可分为电阻应变式传感器、压电式传感器、电容式传感器、涡流式传感器、动圈式传感器、磁电式传感器、差动变压器式传感器等.这种分类方法的优点是避免传感器的名目繁多,划分类别少,有利于专业工作者对传感器的工作原理与设计归纳分析、研究,使设计与应用更具合理性.但缺点是令对传感器不够了解的用户感到使用不方便.

按能量传递方式进行划分,可分为有源传感器和无源传感器两大类.有源传感器是一种能量更换器,如压电式传感器、热电式传感器、电磁式传感器等.无源传感器不能进行能量变换,被测的非电学量仅对传感器中的能量起着控制或调节作用,所以必须具有辅助能源(电源),如电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器等.

### 讨论与交流

1. 列举几种常见的传感器,并与同学们交流一下.
2. 本节开始时提到的电饭煲、自动门、摄像机分别应用了哪种传感器?

### 资料活页

#### 传感器的发展趋势

##### 1. 采用新技术、新材料

传感器的基本工作原理是建立在人们不断探索与发展各种新的物理现象、化学效应和生物效应以及具有特殊物理、化学特性的功能材料的基础上的,因而,发现新的现象、研制具有新颖特性与功能的材料是制造现代传感器的重要基础,其意义也极为深远.如高温超导磁传感器、人造陶瓷传感器材料等.

## 2. 微型化、集成化

微型化和集成化是新型传感器重要的发展方向之一。微加工技术的不断提高，为微型传感器的研制开发提供了良好的条件。可将敏感元件、测量电路、放大器及温度补偿元件等集成在一个芯片上。它不仅具有体积小、重量轻、可靠性高、响应速度快、稳定等特点，而且便于批量生产、成本低。

采用集成传感器可简化电路设计，减小产品体积，便于安装调试，提高可靠性并降低成本，因此被广泛应用于汽车、家用电器、医疗卫生以及航空航天技术中。

## 3. 数字化、智能化和多功能化

在今后的传感器技术发展中，数字化、智能化和多功能化是传感器在信息社会中重要的发展特征。在航天工业的火箭、卫星运行及太空探测工作过程中，传感器的数字化、多功能化与智能化已是人所共知的基本要求。

http 我们的网站 ([physics.scnu.edu.cn/gzwl](http://physics.scnu.edu.cn/gzwl))

传感器.



练习

1. 什么是传感器？它由哪几部分组成？
2. 传感器有哪几种分类方法？在实际应用中，传感器是如何命名的？
3. 动圈式话筒由膜片、永久磁体、线圈组成，其构造示意图如图 3-1-7 所示。请你根据电磁感应的原理，说明动圈式话筒是怎样把声音信号转换成电信号的。

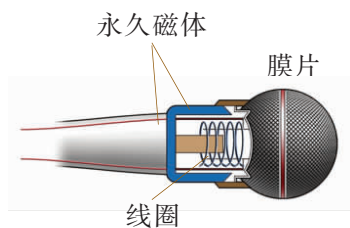


图 3-1-7

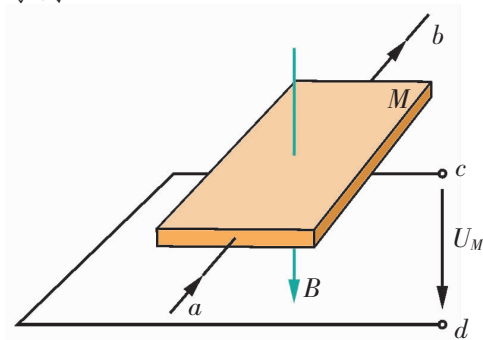


图 3-1-8

4. 霍尔元件是一种能将磁感应强度这一磁学量转换成电压这一电学量的传感器。其基本结构如图 3-1-8 所示。 $M$  为半导体薄片（砷化镓）， $B$  为外加与薄片垂直的磁场， $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  为霍尔电极，若在  $ab$  方向通以恒定电流  $I$ ，请简要分析霍尔电势的形成及方向。

## 第二节 传感器的原理

现代社会的发展使传感器与人类密不可分，传感器已经融入了我们的生活。传感器具有人类感觉器官上所具有的、甚至人类感觉器官所不具备的检测功能，能帮助我们我们从外界获取监控各种静态和动态的量，有助于我们认识自然界和科学技术中的各种现象及其相关的变化规律。下面我们用实验来探究传感器的工作原理。

### 温度传感器的原理

温度是最重要的环境参数之一。在生活、生产和科研领域中，温度测量占有重要的地位。**温度传感器**是一种将温度变化转换为电学量变化的装置。它通过测量传感器元件的电学量随温度变化来实现温度的测量。**热敏电阻**是利用半导体材料的阻值随温度的变化而变化的特性实现温度测量的。下面来研究热敏电阻的温度特性。

**专业术语**

- 温度传感器  
temperature sensor
- 热敏电阻  
thermister

### 实验与探究

**实验仪器：**热敏电阻（正温度系数或负温度系数）、烧杯、水、酒精灯、欧姆计、开关、温度计。

实验装置如图 3-2-1 所示。

用酒精灯加热，测出水中各个温度下欧姆计的读数，将实验数据填入表 3-2-1 中。

表 3-2-1

次数	1	2	3	4	5
温度 $t/^\circ\text{C}$	10	30	50	70	90
电阻 $R/\Omega$					

1. 根据表 3-2-1 的实验数据，在图 3-2-2 中作出  $R-t$  图象。

2. 试分析热敏电阻的阻值随温度的变化规律。

我的结论：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

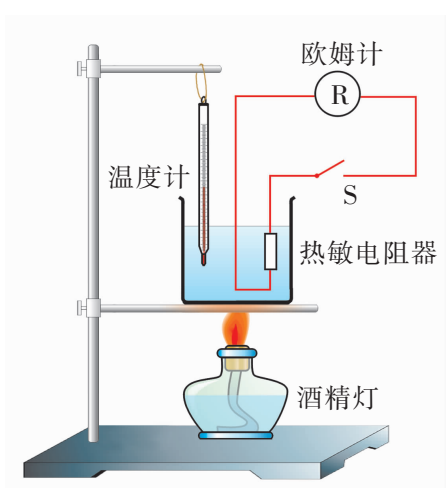


图 3-2-1

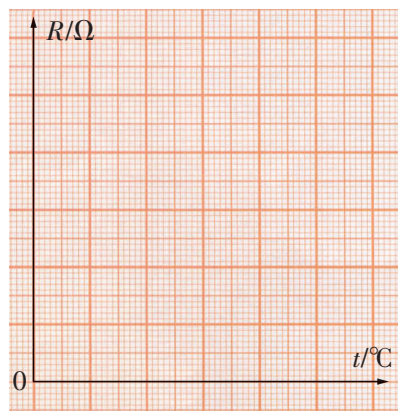


图 3-2-2



在实验中,分别取正温度系数和负温度系数热敏电阻,将热敏电阻放入热水中,用万用电表测量热敏电阻的阻值,用温度计测量水的温度(即热敏电阻的温度),并根据测量数据画出电阻随温度的变化图线,总结热敏电阻随温度变化的规律.正温度系数热敏电阻,温度升高,电阻增大;负温度系数热敏电阻,温度升高,电阻减小.热敏电阻的电阻大小与温度的高低有关.温度变化,电阻有明显变化.热敏电阻是将温度的高低这一热学量转换为电阻这一电学量.

与其他温度传感器相比,热敏电阻的温度系数大、灵敏度高、响应迅速、测量线路简单,并且体积小、寿命长、价格便宜,耐湿、耐酸、耐碱、耐热冲击、耐振动,可靠性较高.热敏电阻主要用于点温度、小温差温度的测量,远距离、多点测量与控制,以及温度补偿和电路的自动调整等.

### 讨论与交流

如图 3-2-3 所示是一个温度传感器的原理示意图, $R_1$  是热敏电阻器.试说明该传感器是如何从电压表的示数变化测量温度的.

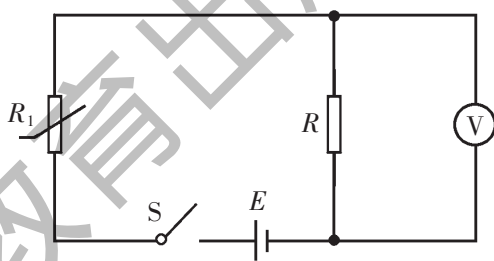


图 3-2-3

在日常生活中,各种家用电器的自动化、智能化工作都离不开温度传感器的应用,如电饭煲、空调机、电热水器、微波炉等,都是通过温度传感器进行检测而实现温度自动控制的.

### 光电传感器的原理

#### 专业术语

光电传感器

light sensor

光敏电阻

light resistor

目前,把光电传感器应用于照明系统的电路有路灯光电自动开关电路和红外楼道照明开关电路.光敏电阻是光电传感器的敏感元件,一般由半导体材料制成.当半导体材料受到光照射或者温度升高时,导电性能明显增强,所以光敏电阻的阻值随光照的增强而减小.光敏电阻在被光照射时电阻发生变化,这样光敏电阻可以把光照强弱转换为电阻大小这一电学量.下面来研究光敏电阻的导电特性.

### 实验与探究

**实验 1:** 如图 3-2-4 所示,用多用电表电阻挡来研究光敏电

阻的阻值变化.

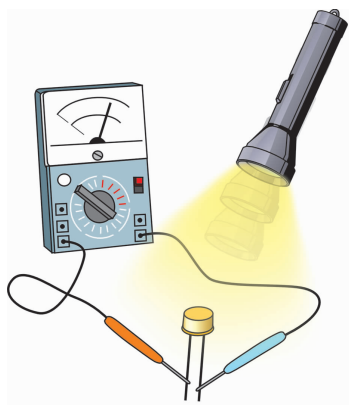


图 3-2-4 用多用电表测电阻的变化

(1) 有光照射和无光照射时, 光敏电阻  $R_{OS}$  的阻值有何不同?

(2) 改变光的照射强度, 光敏电阻  $R_{OS}$  的阻值有何变化?

**实验 2:** 如图 3-2-5 所示, 用多用电表电流挡来研究光敏电阻在电路中的作用. 用不同强度的光照射光敏电阻  $R_{OS}$ , 观察电流表的示数变化. 思考下列问题:

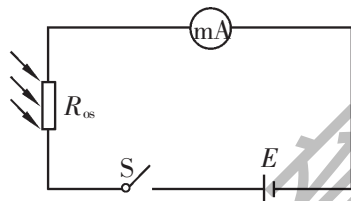


图 3-2-5 用多用电表测电流的变化

(1) 利用光敏电阻的这种特性, 能制成哪些控制装置?

(2) 在日常生活中, 哪些电路 (或电器) 能应用到光电传感器?

在实验中, 无光照射时, 光敏电阻  $R_{OS}$  电阻较大, 电流表读数较小; 有光照射时, 光敏电阻  $R_{OS}$  电阻较小, 电流表读数较大; 改变光敏电阻的阻值时,  $R_{OS}$  电阻随光照的增强而减小. 光敏电阻的应用广泛, 在照相机自动测光、光电控制、室内光线控制、报警器、工业控制、光控开关、光控灯、电子玩具、光控音乐 IC、电子验钞机等各个领域.

从实验可以看到, 光电传感器是一种将光学量变化转换为电学量变化的传感器, 就是物体在光线的作用下, 其导电性能发生变化, 如光敏电阻、光电池和光敏晶体管等.

### 实践与拓展

1. 根据所学的知识, 调查、了解生活中的一些用电器是如何实现自动控制的.

2. 试分析电热煮水器是如何实现水开后自动切断电源的.

## 资料活页

## 气体报警器

气体报警器可根据使用气体的种类, 安放在易检测气体泄漏的地方, 这样就可以随时监测气体是否泄漏, 一旦气体泄漏达到危险浓度, 便自动发出报警信号.

如图 3-2-6 所示是一种最简单的家用气体报警器的电路图. 气体传感器采用直热式气敏器件 TGS109. 当室内可燃性气体增加时, 由于气敏器件接触到可燃气体而使其阻值降低, 使流经测试电路的电流增加, 可直接驱动蜂鸣器 (HA) 报警.

设计报警器时, 重点是如何确定开始报警的气体浓度. 一般情况下, 对于丙烷、丁烷或甲烷等气体, 都选定在爆炸下限的 1/10.

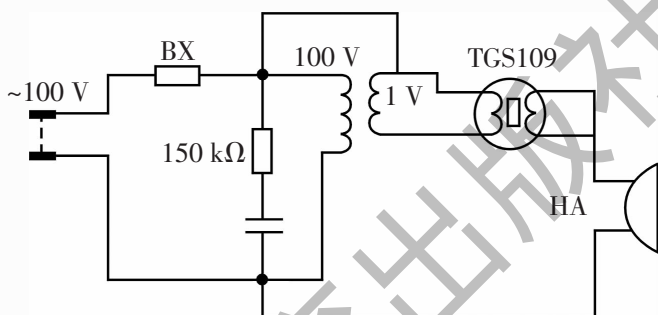


图 3-2-6 家用气体报警器的电路图

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

电子秤.



练习

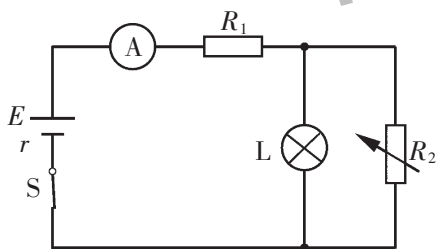


图 3-2-7

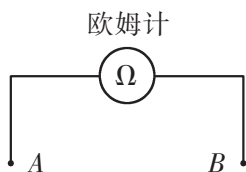


图 3-2-8

1. 温度传感器主要由哪几部分组成? 各部分分别起什么作用?

2. 如何实现将光敏器件应用于自动控制电路, 特别是应用于照明灯自动控制电路?

3. 如图 3-2-7 所示,  $R_1$  为定值电阻,  $R_2$  为负温度系数电阻的热敏电阻,  $L$  为小灯泡. 当温度降低时,  $R_1$  两端的电压 \_\_\_\_\_, 电流表的示数 \_\_\_\_\_, 小灯泡的亮度变 \_\_\_\_\_.

4. 有三个失去标记的元件, 分别是定值电阻、热敏电阻和光敏电阻. 为识别它们, 可将这三个元件分别接入如图 3-2-8 所示电路中的  $A$ 、 $B$  两点后, 用黑纸包住元件或者把元件置入热水中, 观察欧姆计的示数变化, 就可将它们区分开来. 请写出简单的步骤.

## 第三节 传感器的应用

在科学高度发达的今天，人们对周围环境的了解已不满足于“感知”的水平，而是设法利用掌握的知识、技术，特别是现代物理技术去了解、分析、掌握、甚至控制周围的环境世界及其有关信息，并运用这些信息、技术去服务于人类。然而，要了解、掌握这些信息，首先就需有能够感知信息的器件——传感器。传感器的应用领域极其广泛，大到宇宙飞船、人造地球卫星、工业自动控制，小到普通家用电器、电动玩具等，都有它的身影。

### 生活中的传感器

随着家用电器的普及，传感器也进入了千家万户。电饭煲、电冰箱、微波炉、空调机、消毒碗柜等与温度控制相关的家用电器，几乎都要用到温度传感器；自动门、家电遥控器、生命探测器、非接触红外测温仪以及防盗、防火报警器等，均使用了红外线传感器；此外还有照相机中的光敏传感器、家用便携式电子秤的压力传感器等。传感器的应用改变了我们的生活，为我们节省了时间，提高了物质水平和文化水平，使我们的生活逐步走向自动化。



图 3-3-1 酒精浓度检测



图 3-3-2 各式各样生活中的传感器

### 讨论与交流

日常生活中的传感器是一个大家族，也是我们的好朋友。假如没有这些传感器，将会给我们的生活带来诸多不便。请观察和思考一下，在生活中有哪些传感器？

### 农业生产中的传感器



图 3-3-3 农田中的自动喷灌系统

在农业生产中，传感器广泛应用于耕种、栽培、收割、运输、排灌等过程的自动控制，既解放了人力，又实现了最优化管理。

无人管理的自动灌溉系统，利用湿度传感器判断农田的水分蒸发情况，自动决定供水或停水。自动化温室种植是人们最为熟悉的现代化农业生产形式，它使我们在寒冷的冬天仍然能够享用到新鲜的蔬菜，温室的自动控温就是在传感器的帮助下实现的。

现代粮库采用温度传感器和湿度传感器，可对上百个点进行温度和湿度监测。由于有了十分先进可靠的测试技术，有效地减少了霉变现象。微机测试系统根据检测的温度及湿度数据，对通风装置进行自动控制。

### 讨论与交流

1. 有自动控制功能的蔬菜大棚是怎样控制光照强度、温度、空气湿度、空气中  $\text{CO}_2$  浓度、土壤湿度等影响蔬菜生长的条件的呢？
2. 列举农业生产中应用传感器的例子，并与同学们交流一下。

### 工业生产中的传感器

在工业生产中，由于传感器的大量使用，从而实现了生产的自动化或半自动化，大大地减轻了工人的劳动强度，提高了产品的质量，降低了产品的成本。



图 3-3-4 工厂自动化生产线监控系统

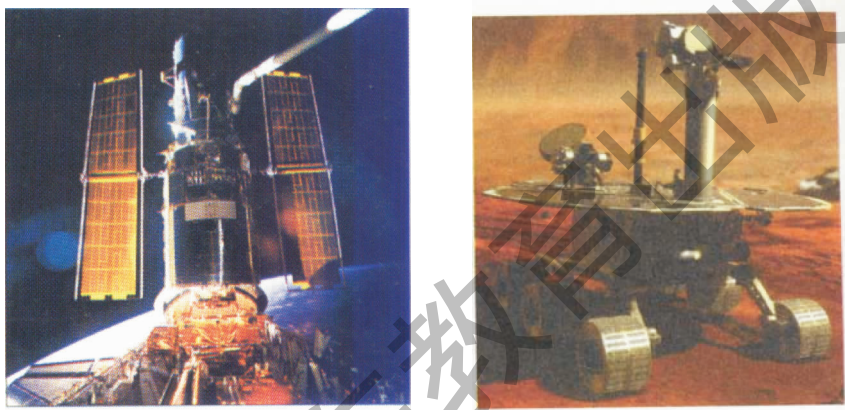
在工厂里，自动化的生产流程随处可见。用机器人、自动化小车、自动机床、各种自动生产线或者系统，代替人完成加工、装配、包装、运输、存储等工作。各种传感器使生产的自动运行保持在最佳状态，以确保产品质量，提高效率和产量，节约原材料。传感器还广泛应用于生产的安全设施，用它监控关键部位，随时发现安全隐患。如将一种埋入式光纤传感器安置在大桥或水坝中，随时可以监测大桥或水坝的裂痕等安全隐患。

在自动控制系统中，检测是实现自动控制的首要环节。没有对被控对象进行精确检测，就不可能实现精确控制。如数控机床中的位移测量装置，就是利用高精度位移传感器（如光栅传感器）进行位移测量，从而实现对零部件的精密加工。

### 飞向太空的传感器

在航空、航天技术领域，传感器应用得较早，也应用得较多。例如，要使飞机保持一定飞行高度，驾驶员可以发出定高命令。当飞机高度变化时，大气数据计算机自动发出与给定高度的差值信号，并通过自动驾驶仪操纵升降舵，使飞机恢复给定高度。

在运载火箭、载人飞船中，都应用了大量的传感器供遥测和遥控系统使用。这些传感器对控制航天器的姿态、接收和发送信息、收集太空数据等都有重要作用。在载人飞船中还使用一类测量航天员各种生理状况的生理传感器，如测量血压、心电图、体温等。



(a) 哈勃太空望远镜上装备了多种传感器 (b) “勇气”号火星探测器

图 3-3-5

### 讨论与交流

1. 请在网上查阅资料，了解传感器在航空航天方面的用途。
2. 在军用航空中各国都强调空中优势与防御，请查找资料了解一下飞机上有哪些传感器。

### 资料活页

#### 传感器在机械杠杆秤电子化改造中的应用

把原来的杠杆式汽车秤改造为机电结合式电子汽车秤，在相当长的一段时间内将具有现实意义。因为就全国范围来看，存在下列不可能短期改变的现状：

- (1) 原已拥有大量的正常使用中的机械衡器，必然要继续保养维修使用下去，从经济能力考虑，不可能废弃不用。
- (2) 机械秤一次投资少。例如一台 500 kg 的机械磅秤，售价是几百元人民币。

币，而一台电子衡器的价格为四五千元人民币。

(3) 对于发展中国家，电子衡器的制作技术、维修技术、使用技术还未普及。而与此相比，对于机械衡器，一般工厂或地方计量部门都已有一支技术成熟的维修队伍，有成熟的检定规程，有众多的定型产品可供选择。

所以，应用称重传感器来改造原来的机械秤为机电结合式电子汽车秤(图 3-3-6)是可行的。该电子汽车秤具有方便、便宜等优点。

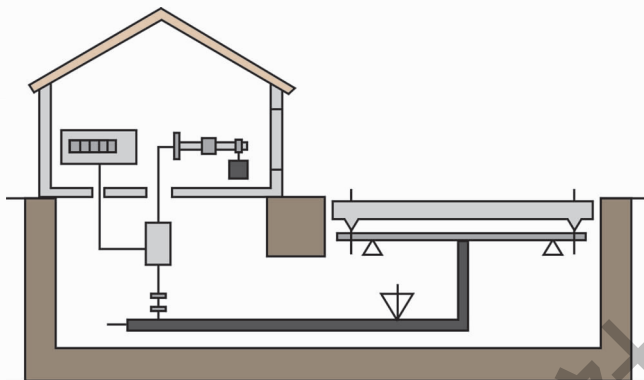


图 3-3-6 机电结合式电子汽车秤

### 练习

1. 调查在学校及居住的社区里，有哪些地方使用了传感器。它们各属于哪种类型的传感器？

2. 如图 3-3-7 所示是电熨斗的结构图，它装有双金属片温度传感器，其作用是控制电路的通断，常温下图中上下触点是\_\_\_\_\_ (选填“接触”或“分离”)。当温度升高时，双金属片\_\_\_\_\_ (选填“上层”或“下层”)膨胀比另一层大。若需要设定更高的温度，则应该调节升降螺丝向\_\_\_\_\_ (选填“上”或“下”)。

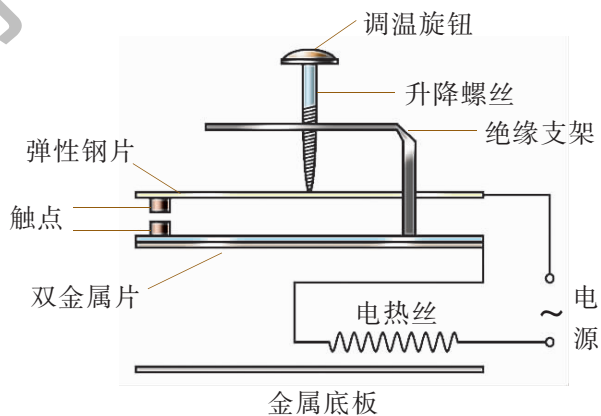


图 3-3-7

3. 电饭煲应用了温度传感器，其主要的感温元件是感温铁氧体。感温铁氧体的特性是：常温下具有铁磁性，能被磁体吸引，当温度升到居里温度点时，失去了铁磁性，不能被磁体吸引。一般电饭煲用的感温铁氧体的居里温度点设计在  $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。请分析如果用电饭煲来烧水，能否在水沸腾后自动断电，为什么？为什么电饭煲在把饭煮熟后又不会把饭烧焦呢？

## 第四节 用传感器制作自控装置

为了进一步了解与传感器技术相关的物理知识，体验从原理到应用的过程，享受发现、创造与成功的乐趣，下面我们一起来动手用传感器制作一个自动控制装置。

**课题：应用光敏电阻制作光控自动照明灯电路**

### 【实验器材】

二极管  $V_D$ 、晶闸管  $V_S$ 、光敏电阻  $R_G$ 、电阻  $R$  ( $7.5\text{ M}\Omega$ )、灯泡  $L$ 。

### 【实验原理】

由晶闸管  $V_S$  与电灯  $L$  构成主回路，控制回路由  $R$  与  $R_G$  组成的分压器及二极管  $V_D$  构成，如图 3-4-1 所示。

1. 当白天自然光线较强时，光敏电阻呈低电阻，与  $R$  分压后使晶闸管  $V_S$  门电极处于低电平， $V_S$  关断。

2. 当夜幕降临时，照在  $R_G$  上的自然光线减弱， $R_G$  呈高阻，使  $V_S$  的门电极处于高电平， $V_S$  获正向触发电压而导通，灯  $L$  亮。

3. 改变  $R$  的阻值，即改变其与  $R_G$  的分压比，可调整电路的起控点。

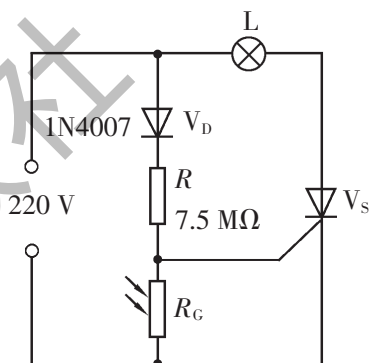


图 3-4-1

### 【探究过程】

1. 先对所有的器材进行测试，确定是否完好。
2. 根据图 3-4-1 进行布线、焊接，并检查焊接是否正确。
3. 逐渐减小光敏电阻的光照强度，观察灯泡  $L$  的发光情况。

### 【进行实验】

1. 设计制作要在老师的指导下，组成小组合作进行。
2. 学习一些线路布线和焊接等方面的知识和技能。
3. 安装前，要先对所有的器材进行测试，确定是否完好，然后再进行安装。
4. 安装完毕经检查无误后，可以进行测试。

### 【成果展示】

制作完成后，填写实验报告。实验报告包括设计目的、制作工艺、制作过程、效果演示、存在问题、改进措施等。向同学、老师报告制作成果。

### 【总结评价】

做好总结评价工作，客观评价自己在设计制作活动中的表现，认识自己在实验制作过程中得到的启发和进步，同时还应认识到实验过程中有哪些地方存在欠缺和不足。对同学的评价要公正、客观，要看到他人的长处和进步。



表 3-4-1 活动评价表

课题名称				
姓名		学号		完成日期
制作过程				
演示效果				
外观设计				
在活动中的表现				
自我评价				
小组评语				
老师评语				

### 资料活页

#### 晶体管与逻辑电路简单

##### 1. 晶体管.

普通二极管：普通二极管具有单向导电性。用多用电表测量时，正向电阻远大于反向电阻。

发光二极管：发光二极管除了具有单向导电性外，导电时还能发光。发光二极管能发出多种颜色的光，多用于广告宣传。由于其能量消耗较低，发光二极管可能成为未来广告宣传的主流产器。发光二极管是用氮化镓或磷化镓半导体材料制成的，直接将电能转化为光能。该发光二极管的正向导通电压大于 1.8 V。

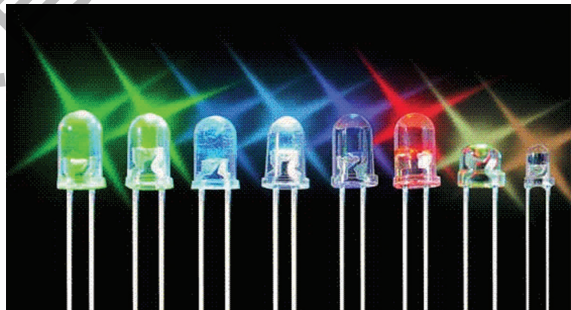


图 3-4-2 发光二极管

三极管：晶体三极管能够把弱信号放大。晶体三极管的三极分别是集电极、放大极、基极。

三极管的放大作用主要表现为基极的电流对集电极起了控制作用。

##### 2. 逻辑电路.

与门电路：只要一个输入电路为“0”，则输出一定是“0”，反之只有当所有输入都为“1”，输出端才为“1”。

或门电路：有一个输入端为“1”，则输出一定是“1”，反之，只有当所有输入都为“0”时，输出才是“0”。

非门电路：当输入为“0”时，输出总是“1”；当输入为“1”时，输出为“0”。

斯密特触发器：具有特殊功能的非门电路。

**实践与拓展**

1. 实验制作：应用声敏传感器（压电蜂鸣片）制作自动音乐彩灯控制器。

实验原理图如图 3-4-3 所示。

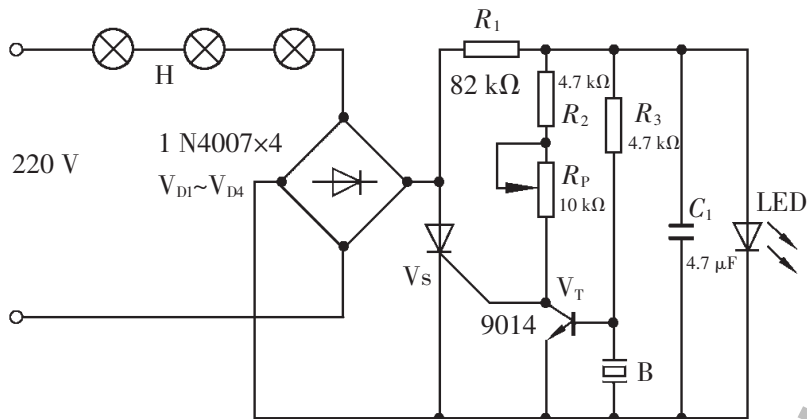


图 3-4-3 音乐彩灯控制器

工作过程：220 V 交流经灯串 H 和二极管  $V_{D1} \sim V_{D4}$  桥式整流后变为约 300 V 脉动直流电压。该电压分成二路：一路在晶闸管  $V_S$  的两端作为  $V_S$  工作时所需的正向电压（阳极）；另一路经  $R_1$  降压限流后点亮发光二极管 LED。该电路中 LED 有两个作用：一是作为电源指示灯；二是利用其正向压降获 1.6 V 的直流电压，经  $C_1$  滤波后作为三极管  $V_T$  的工作电压。

$R_P$  为声控灵敏度调节器，当环境无音乐时，调节  $R_P$  使  $V_T$  处于临界饱和状态，这时  $V_S$  的门极被  $V_T$  短接无法获触发电压，因而  $V_S$  处于关断状态，H 灯串不亮。当有人打开音响播放音乐时，压电陶瓷片 B 会将环境声音信号转换为电压信号并加在  $V_T$  发射结上，当信号较强时，使  $V_T$  进入导通状态， $V_T$  集电极电位升高， $V_S$  导通，彩灯串 H 点亮，且彩灯串点亮与否随音乐信号强弱决定。

2. 设计制作简单的导电式压力传感器。

（提示：选取两块铜板，焊接导线作引线，中间夹住导电海绵即可，如图 3-4-4 所示）

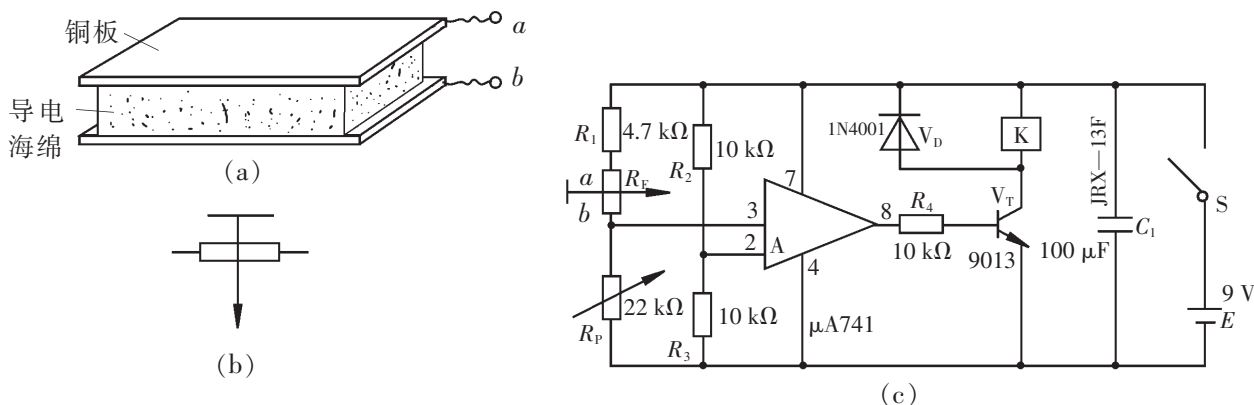


图 3-4-4 导电海绵式压力传感器

 练习

实验制作：用传感器制作热电偶测温仪。

实验目的：①了解热敏电阻的测温原理；②了解热电偶的测温方法。

实验原理：图 3-4-5 是运用热电偶测量温度的实验装置。将加热器接入工作电压进行加热，使周围的环境温度升高。热敏电阻在温度升高时阻值发生变化，通过温度变换器使输出电压随之改变。热敏电阻的环境温度由热电偶测出。

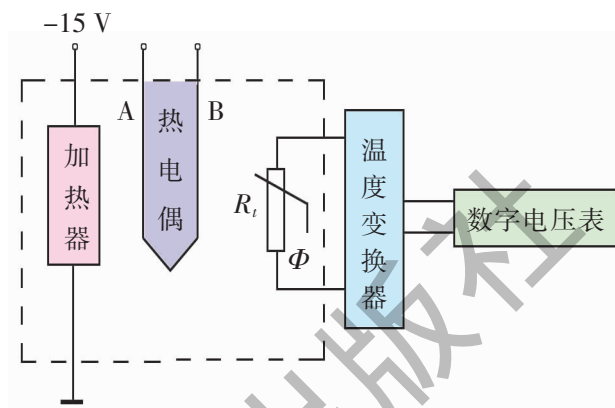


图 3-4-5

设备：直流稳压电源（+15 V 或 -15 V）、加热器、热敏电阻、铜—康铜热电偶、温度变换器、多用电表、温度计、示波器。

方法和步骤：

- (1) 用温度计测出实验室的室内温度  $t_0$ 。
- (2) 温度变换器接入热敏电阻，温度变换器输出口接电压/频率表输入口，加热器接入 -15 V 稳压电源。
- (3) 用数字多用电表测出不同温度下热电势的大小，同时在电压/频率表上读出相应的电压。
- (4) 利用公式  $E_{AB}(t, 0) = E_{AB}(t, t_0) + E_{AB}(t_0, 0)$ ，查热电偶分度表换算热电势。
- (5) 热电势换算成温度后，作  $t-U$  曲线，求出灵敏度  $S = \frac{\Delta U}{\Delta t}$ 。

## \*第五节 用传感器测磁感应强度

随着信息技术的发展，我们可以用磁传感器把磁感应强度变成电信号，通过计算机对磁场进行研究。

### 【实验目的】

观察通电螺线管内部磁感应强度的大小。

### 【实验原理】

通电螺线管产生磁场，磁场的方向符合右手定则。

### 【实验器材】

磁传感器、数据采集器、微机、螺线管、稳压电源、直尺、导线等。

### 【实验装置】

如图 3-5-1 所示。

### 【实验过程及数据分析】

1. 将磁传感器连接数据采集器。
2. 螺线管接入 6 V 稳压电源，水平放置在桌面上。调节磁传感器的高度，使探针正好在螺线管的轴线上滑动。
3. 打开“计算表格”，调节磁传感器测量端的前沿与螺线管一端相距 1 cm。
4. 增加“变量  $s$ ”表示磁传感器移动的相对距离，点击“手动”记录当前的磁感强度值，输入  $s$  值为“0”。
5. 将磁传感器向螺线管方向每次移动 0.5 cm，并记录各次对应的数据。
6. 打开“坐标绘图”窗口，选择  $x$  轴为“ $s$ ”、 $y$  轴为“ $B_1$ ”，得到通电螺线管内部的磁感应强度与相对距离的关系图线，如图 3-5-2 所示。

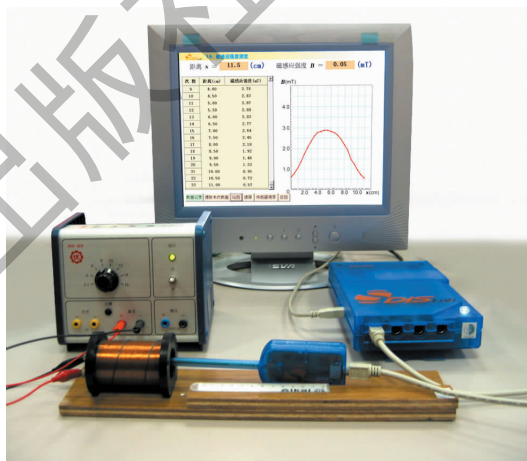


图 3-5-1

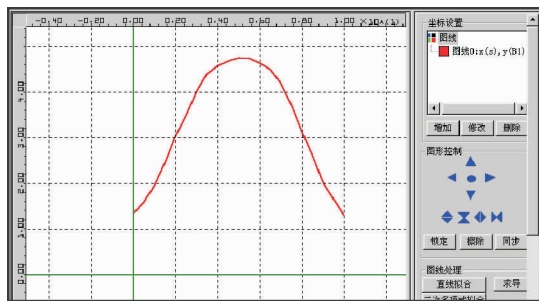


图 3-5-2 螺线管内部磁感应强度图线

\* 本节供有条件的学校选用。

7. 点击“锁定”按钮，锁定当前图线，电源电压调整为 3 V，重复步骤 3~6，得到另一条图线，比较两条图线的异同，如图 3-5-3 所示。

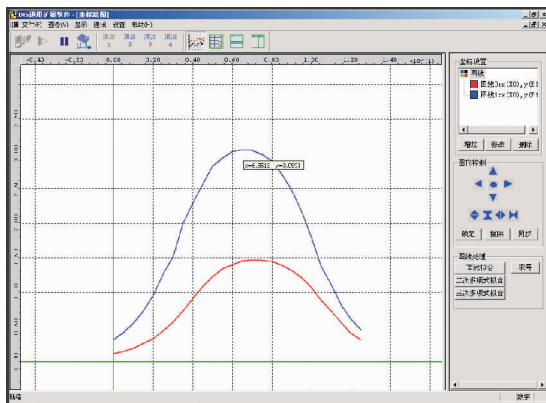


图 3-5-3 电压不同时螺线管内部的磁感应强度比较

8. 将位移传感器接入数据采集器的第一输入口，用位移传感器测出的距离代替上述实验中人工读取数据，磁传感器接入第二输入口，在“坐标绘图”中设置显示“位移—磁感应强度”图象。

9. 拉动磁传感器在螺线管中运动，坐标系中将显示出螺线管不同位置的磁感应强度曲线。改变供电电压（改变线圈中的电流），重复上述实验，可得出几组不同的实验曲线，如图 3-5-4 所示。

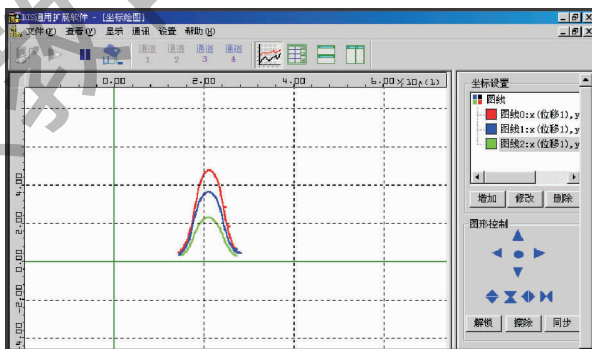


图 3-5-4 用位移和磁传感器组合使用测磁感应强度

### 【实验结论】

### 【交流与合作】

在做设计实验的过程中，会碰到哪些问题？如何解决？与同学们交流一下。

在设计实验前，首先要知道实验的目的，此实验要解决什么问题，解决“我为什么要做实验”。要了解所要做实验的原理，知道根据什么道理做实验，实验原理要解决的就是做实验的根据是什么。要设计实验，此时可能碰到的问题就是对于同一目的的实验可能有多种实验方法，可以做多种实验设计，然后对各种实验方案进行比较，通过优缺点的比较，找出最佳的实验方案。具体做实验，在实验过程中可能出现与设想不同的结果，这要在尊重实验的基础上进行思考和研究，看问题出现在哪里。许多新的发现就是在寻找问题时找到的。实验结果进行分析得出结论是实验的最终目的，有些实验并不是验证某一规律，而是为了实用，这就要根据具体情况进行交流和讨论。

### 实践与拓展

用磁传感器研究地球磁场。

实验目的：研究地球磁场的分布。

实验原理：地球是一个巨大的磁体，外磁场的方向由南指向北，地磁场的磁感应强度很微弱，在地球表面约  $5 \times 10^{-5} \text{ T}$ 。

实验器材：磁传感器、数据采集器、微机等。

实验过程及数据分析：

(1) 将磁传感器接入数据采集器，实验环境要远离高磁干扰区。

(2) 将磁传感器放置在水平桌面上，为消除背景值的影响，应对传感器进行软件调零。

(3) 在桌面上转动传感器，让传感器的测量端指向不同方向，观察并记录示数的变化，见表 3-5-1。

表 3-5-1

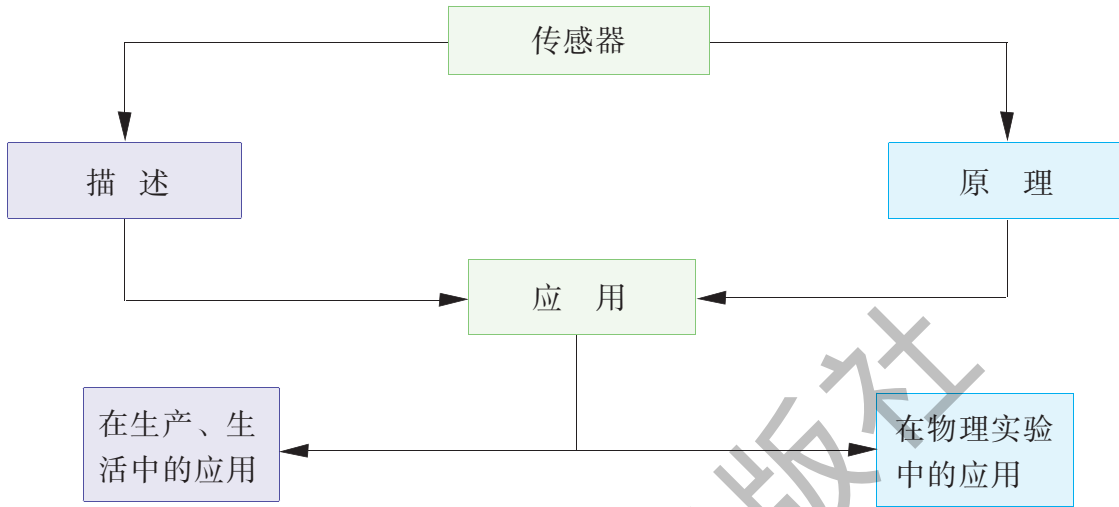
测量方向	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
测量值	0.03	0.02	0.00	-0.01	-0.04	-0.02	0.00	0.01

(4) 分析上表：当传感器的测量端指向北的时候，测量值最大，测量端指向南的时候，测量值最小。这说明地理北极附近为 S 极，地理南极附近为 N 极。

(5) 用同样的方法，让传感器的测量端在南北方向的垂直平面内转动，观察示数的变化，可以推断出地磁场的方向既不是水平的也不是垂直的，而是指向南偏斜下方。

# 本章小结

## 一、知识结构



## 二、回顾与评价

回顾与评价

我认为传感器是： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我认为与传感器有关的是： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我最感兴趣的传感器在实际中的应用是： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我还想说： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我还想做： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我还想知道： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我还想继续探究： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

我在实践活动中遇到的困难是： \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 习 题 三

1. 压敏电阻的阻值随所受压力的增大而减小. 某同学利用压敏电阻设计了判断小车运动状态的装置, 其工作原理如图 3-1 (a) 所示. 将压敏电阻和一块挡板固定在绝缘小车上, 中间放置一个绝缘重球, 小车向右做直线运动过程中, 电流表的示数如图 3-1 (b) 所示. 下列判断中, 正确的是 ( ).

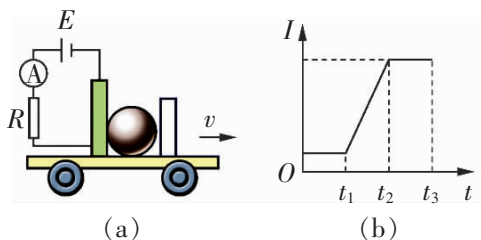


图 3-1

- A. 从  $t_1$  到  $t_2$  时间内, 小车做匀速直线运动
- B. 从  $t_1$  到  $t_2$  时间内, 小车做匀加速直线运动
- C. 从  $t_2$  到  $t_3$  时间内, 小车做匀速直线运动
- D. 从  $t_2$  到  $t_3$  时间内, 小车做匀加速直线运动

2. 如图 3-2 所示为光敏电阻自动计数器的示意图, 其中 A 是发光仪器, B 是传送带上物品,  $R_1$  为光敏电阻,  $R_2$  为定值电阻, 此光电计数器的基本工作原理是 ( ).

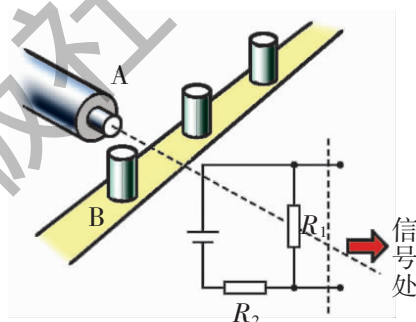
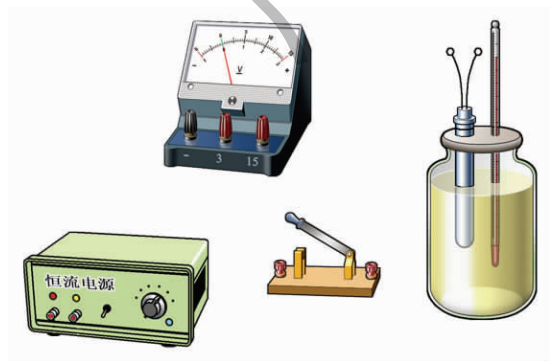


图 3-2

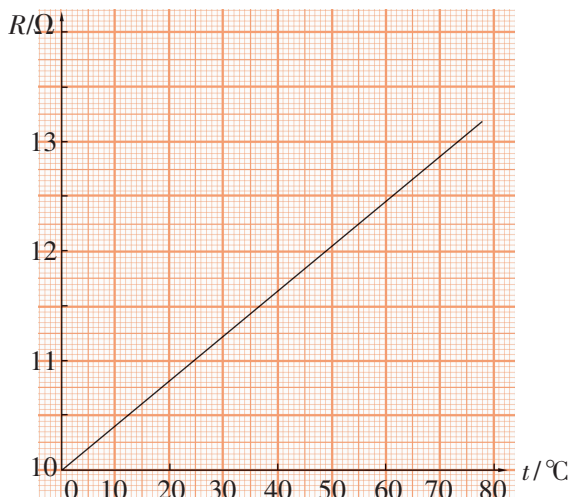
- A. 当有光照射  $R_1$  时, 信号处理系统获得高电压
- B. 当有光照射  $R_1$  时, 信号处理系统获得低电压
- C. 信号处理系统每获得一次低电压就记数一次
- D. 信号处理系统每获得一次高电压就记数一次

3. 某实验小组探究一种热敏电阻的温度特性. 现有器材: 直流恒流电源 (在正常工作状态下输出的电流恒定). 电压表、待测热敏电阻、保温容器、温度计、开关和导线等.

(1) 若用上述器材测量热敏电阻的阻值随温度变化的特性, 请在图 3-3 (a) 的实物图上连线.



(a)



(b)

图 3-3

(2) 实验的主要步骤:

① 正确连接电路, 在保温容器中注入适量冷水, 接通电源, 调节并记录电源输出的电流值.



②在保温容器中添加少量热水，待温度稳定后，闭合开关，\_\_\_\_\_，  
\_\_\_\_\_，断开开关。

③重复步骤②若干次，测得多组数据。

(3) 实验小组算得该热敏电阻在不同温度下的阻值，并据此绘得图 3-3 (b) 的  $R-t$  关系图线，请根据图线写出该热敏电阻的  $R-t$  关系式： $R=$ \_\_\_\_\_ ( $\Omega$ )。 (保留 3 位有效数字)

4. 图 3-4 是某种型号电子秤的结构原理示意图。

(1) 这台电子秤的传感器是由哪些器件组成的？属于哪类传感器？

(2) 在右边方框内画出这台电子秤的电路图。

(3) 简述这台电子秤的工作原理。

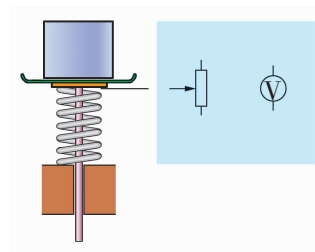


图 3-4

5. 取一个报废的日光灯启动器，去掉外壳，敲碎氖泡的玻璃，可以看到一个 U 形的双金属片。双金属片的旁边有一根直立的金属丝，两者构成一对触点。常温下，两触点是分离的。当火焰靠近双金属片时，可以看到双金属片的形状发生变化，与金属丝接触；熄灭火焰，双金属片逐渐恢复原状，两触点分离。将此启动器作为温控开关，设计一电路，控制灯泡自动亮和灭。

6. 化学实验常用到恒温箱。如图 3-5 (a) 所示为简单恒温箱温控电路。它由热敏电阻  $R$  和继电器组成。图 (b) 为热敏电阻的  $R-t$  图象。设继电器线圈中电流大于或等于 20 mA 时，继电器衔铁吸合。若继电器线圈电阻为  $150 \Omega$ ，为继电器线圈供电的电源  $E=6 \text{ V}$  (内阻可以不计) 时，要使恒温箱内温度保持  $120^\circ\text{C}$ ，可变电阻  $R_1$  的值应调节为多少？

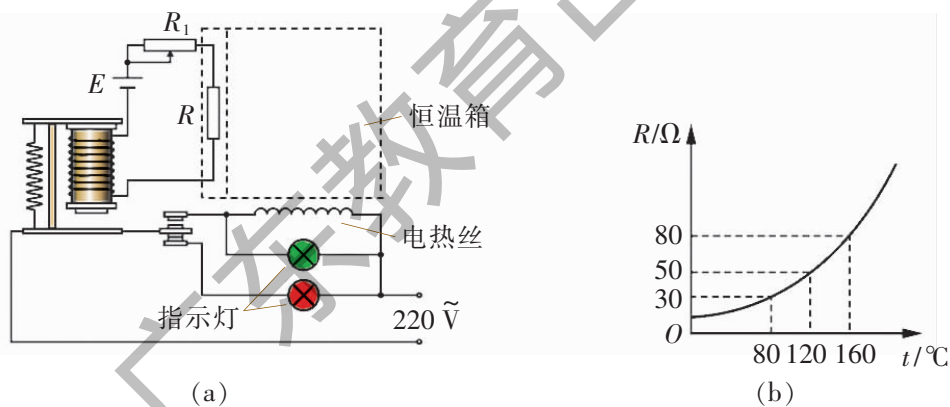


图 3-5

7. 把蜂鸣器、光敏电阻、干簧管继电器开关、电源按如图 3-6 (a) 所示的电路连接，制成光电报警器装置。当报警器有光照射时，蜂鸣器发声；当没有光照或者光照很弱时，蜂鸣器不发声。光敏电阻受光照后，阻值会变小。干簧管继电器开关由干簧管和绕在干簧

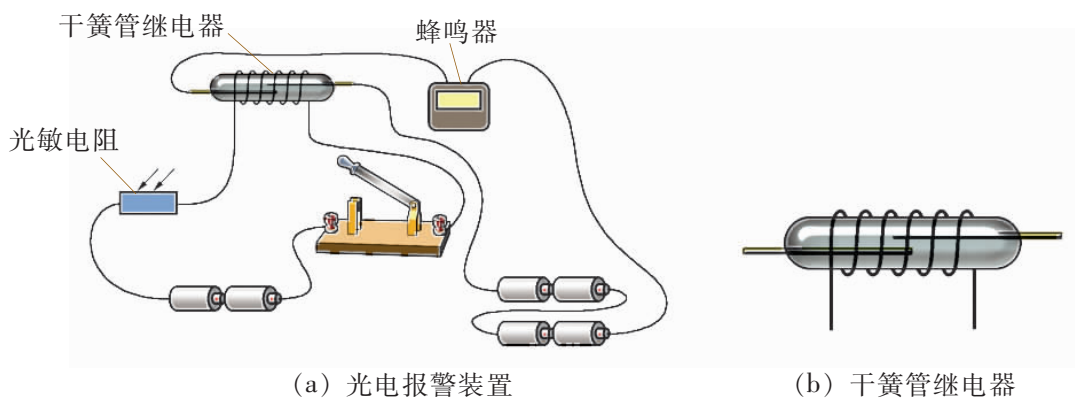


图 3-6

管外的线圈组成，如图 3-6 (b) 所示。当线圈中有一定的电流时，线圈产生的磁场使密封在干簧管内的两个铁质簧片磁化，两个簧片在磁力作用下，由原来的分离状态变成闭合状态；当线圈中没有电流或者电流很微弱时，磁场消失，簧片在弹力的作用下回复到分离状态。试说明光电报警器的工作原理。

8. 用塑料薄膜做成的育秧棚，往往会因棚内湿度过高而影响秧苗的正常生长，因此需要一个能指示棚内湿度的简单仪器，以便及时排湿，保证育好秧苗。

图 3-7 是育秧棚湿度传感器的原理图，由湿敏电阻  $R_H$ 、滑动变阻器  $R_P$  和定值电阻  $R_1$ 、 $R_2$  组成测湿电桥。当相对湿度正常时， $R_H$  阻值很大；当育秧棚内的相对湿度增大到较高时， $R_H$  的阻值减小。

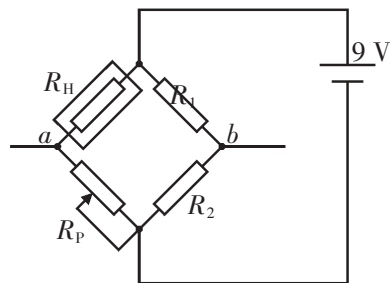


图 3-7

- (1) 当育秧棚的湿度正常时， $a$ 、 $b$  两点哪一点的电势高？
- (2) 如何调高棚内的湿度？

9. 如图 3-8 所示是反射式光纤位移传感器的工作原理图。由恒定光强的光源发出的光进入入射光纤，并从入射光纤的出射端射向被测物体，使被测物体反射的光部分被接收光纤接收。由图 3-9 可知，光纤探头的光照与发射光锥和接收光锥的重合面积  $B'$  有关。试讨论光纤探头光照随物体距离的变化情况。

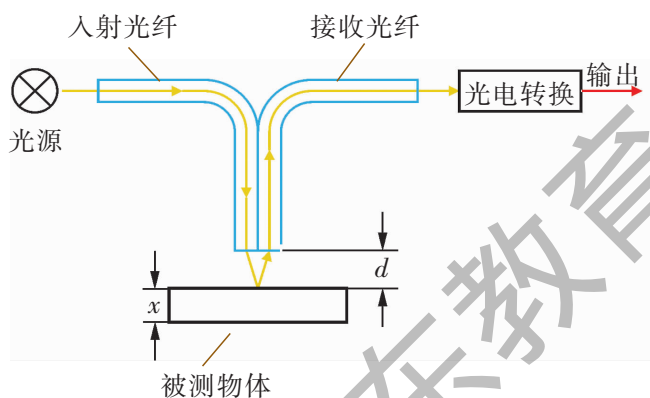


图 3-8

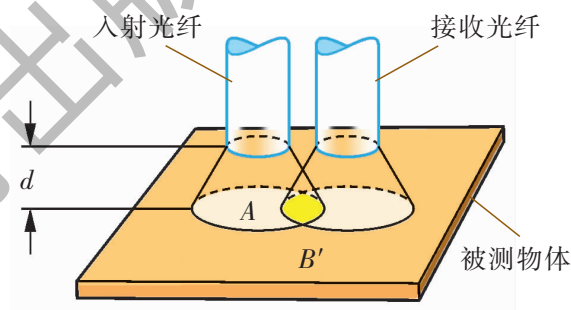


图 3-9 光纤位移传感器光反射原理图

10. 某研究性学习小组为了测量物体的质量，找到一个力电转换器。该传感器的输出电压正比于受压面的压力（比例系数为  $k$ ），如图 3-10 所示，测量时先调节输入端的电压，使转换器空载时的输出电压为 0，然后在其受压面上放一物体，即可测得与物体的质量成正比的输出电压  $U$ 。

现有下列器材：力电转换器、质量为  $m$  的砝码、电压表、滑动变阻器、电池各一个，开关及导线若干，待测物体（可置于力电转换器的受压面上）。请完成对该物体质量的测量。

(1) 设计一个电路，要求力电转换器的输出电压可调，并且使电压的调节尽可能大，请画出完整的测量电路图。

(2) 简要说明测量步骤，求出比例系数  $k$ ，并测出待测物体的质量  $m$ 。

(3) 请设想实验中可能会出现的一个问题。

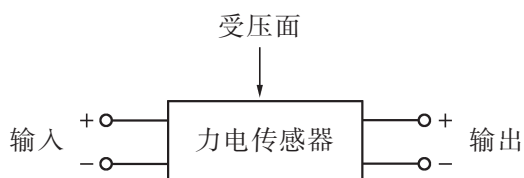


图 3-10

广东教育出版社



绿色印刷产品

批准文号: 粤发改价格 [2015] 362号 举报电话: 12358

ISBN 978-7-5406-5892-2



9 787540 658922

定价: 7.39元