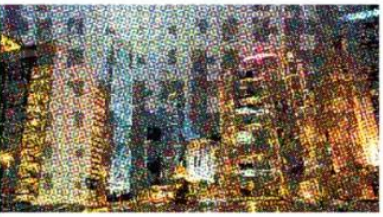
目 录



第 1 章 研究交变电流 6

1.1 怎样描述交变电流 7

1.2 探究电阻、电感和电容的作用 13

1.3 怎样计算交变电流的电功率 19

第 2 章 电磁感应与发电机 26

2.1 电磁感应——划时代的发现 27

2.2 探究感应电流的方向 34

2.3 探究感应电动势的大小 39

2.4 电磁感应与交流发电机 46

2.5 电磁感应的案例分析 53

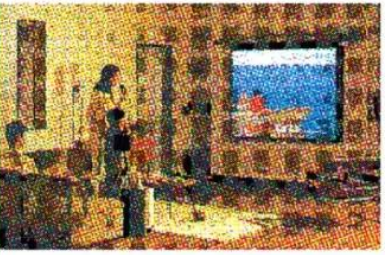
第 3 章 电磁感应与现代生活 60

3.1 自感现象与日光灯 61

3.2 涡流现象与电磁灶 67

3.3 电磁感应与现代生活 72





第 4 章 电能的输送与变压器 76

4.1 高压输电原理 77

4.2 变压器为什么能改变电压 83

4.3 三相交流电及其电路连接 91

4.4 电能的开发与利用 94

第 5 章 传感器与现代社会 100

5.1 传感器的原理 101

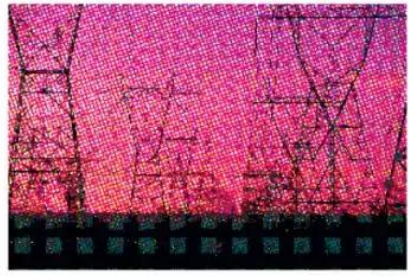
5.2 研究热敏电阻的温度特性曲线 105

5.3 信息时代离不开传感器 108

总结与评价 课题研究成果报告会 116

研究课题示例 116

评价表 117



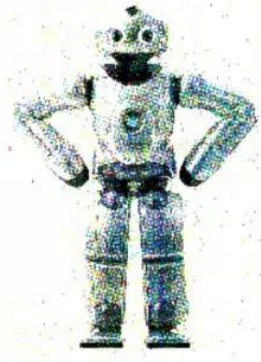




图 1-1　流光溢彩的现代都市之夜

第 1 章
研究交变电流

现代都市之夜，华灯齐放，流光溢彩。街道上，车水马龙，路灯、车灯、霓虹灯、交通信号灯，汇成一条条光的彩虹。住宅区里，万家灯火，电视机播放着精彩的节目，空调机营造着温度适宜的环境，电冰箱制出沁人心脾的饮料，洗衣机在工作，而你在休息……这一切，几乎都离不开交变电流，即使某些设备使用直流，往往也是由交变电流转换的。

那么，什么是交变电流呢？交变电流与直流电相比，具有什么特点呢？

本章将从交流用电器的铭牌开始，以研究交变电流的方法为线索，认识交变电流的特点，学习描述交变电流的方法，探究电阻、电感和电容等元器件在交流电路中的作用，以及交变电流功率的计算，并进一步认识交变电流与社会的关系。

1.1 怎样描述交变电流

我们在《物理 3-1》中，研究的是恒定电流，其特点是电路中的电流和电压的大小和方向不随时间变化。电冰箱和空调机等家用电器使用的都是交变电流。图 1-2 是电冰箱和空调机铭牌的一部分，你能说出上面标示的“额定电压 220V~”、“额定频率 50Hz”等字样和符号的意义吗？交变电流与直流相比有什么特点呢？我们怎样描述呢？

方向不随时间而改变的电流叫做直流，方向和大小不随时间而改变的电流叫做恒定电流。通常所说的直流常常是指恒定电流。

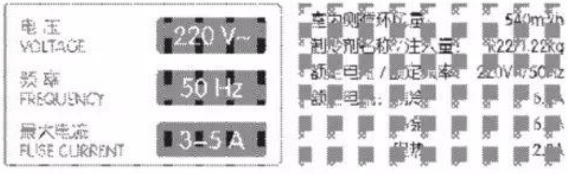


图 1-2　某种型号电冰箱和空调机铭牌的一部分

用示波器观察交变电流

实验探究　用示波器观察交变电流

利用图 1-3 所示的装置，把直流和交变电流先后输入示波器，从示波器屏幕上观察直流和交变电流的图像。

图 1-4 是直流电压与时间关系的图像，图 1-5 是交变电流电压与时间关系的图像。请根据图像分析，直流和交变电流的电压

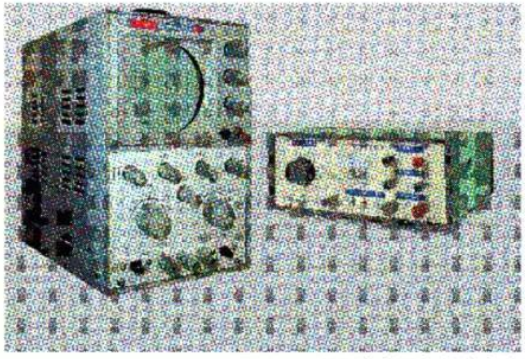


图 1-3　用示波器观察交变电流

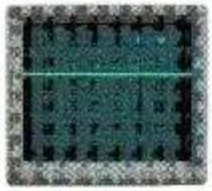


图 1-4 示波器显示的直流电压图像

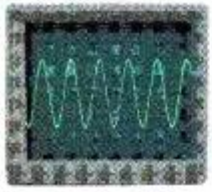


图 1-5 示波器显示的交变电流电压图像

大小和方向与时间的关系各有什么特点？

请思考：图 1-5 中的交变电流电压的图像跟数学中什么函数的图像相似？

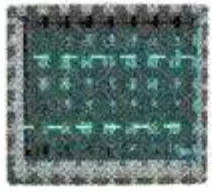
在交变电流的电路中，交变电流的电流和电压，大小和方向都在随时间做周期性的变化。物理学中把大小和方向都随时间做周期性变化的电流，叫做**交变电流**(alternating current)，简称交流。

实验和理论分析表明，图 1-5 所示的交变电流的电流和电压是按正弦函数规律变化的，这种电流叫做**正弦交变电流**(sine current)。生活、生产和科学研究中实际使用的交变电流一般都是正弦交变电流。通常所说的交流，就是指正弦交变电流。

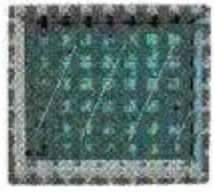
电器产品的铭牌和技术资料中，常用字母"AC"或符号"~"表示交流；而用字母"DC"或符号"-"表示直流。

多学一点 其他几种波形的交变电流

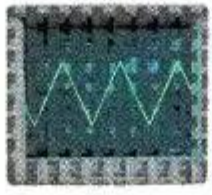
正弦交变电流是一种最简单、最基本的交变电流。实际应用中的交变电流，不限于正弦交变电流。图 1-6 所示的几种波形图



计算机、回旋加速器中矩形脉冲电压的波形



示波器中的锯齿波波形



三角波，它经过整形可以转换成矩形波、尖脉冲等



正弦交变电流经过电感等元件可能发生畸变，会产生图示波形

图 1-6 其他几种交变电流的波形

周南物理段石峰

像，它们随时间的变化并不遵循正弦函数的变化规律，它们表示的也是交变电流。

理论计算表明，任何一个非正弦交变电流都可以分解成许多不同频率的正弦交变电流，它们具有共同的物理特征。

请大致描述一下图 1-6 中各种交变电流的大小和方向是如何变化的。

用哪些物理量描述交流电

直流的大小和方向不随时间变化，只要指出电路中电流或电压的数值，就可以定量描述了。交变电流的大小和方向随时间做周期性变化，那么要用哪些物理量才能定量地描述呢？

周期和频率

图 1-5 表明，交变电流的大小和方向在周期性地变化着。为了描述这种变化情况，需要引入周期和频率的概念。交变电流完成一次周期性变化所需的时间，叫做交变电流的**周期**，通常用 T 表示，单位是秒(s)。交变电流在 1s 内完成周期性变化的次数，叫做交变电流的**频率**，通常用 f 表示，单位是赫兹(Hz)。

请思考：交变电流的周期与频率有什么关系？

你能指出图 1-7 中交变电流的周期和频率吗？

我国工业和照明用的交变电流的周期为 0.02s，频率是 50Hz。

请思考：频率为 50Hz 的交变电流的方向每秒改变多少次？

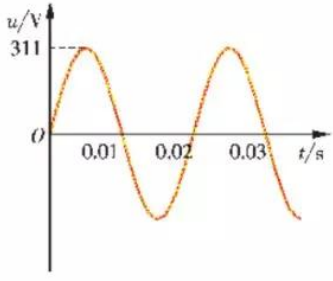


图 1-7　交变电流的周期和频率

最大值和有效值

由于交变电流的电动势、电压和电流都在随时间变化，要精确描述交变电流，就必须给出它们在任意时刻的数值。交变电流的电动势、电压和电流在某一时刻的数值，叫做交变电流的瞬时值，通常分别用小写字母 e、u、i 表示。交变电流的最大值是它在一个周期内所能达到的最大数值，分别用 E_m、U_m、I_m 表示。

请指出在图 1-5 中，图像的哪些点代表交流电压的最大值。

图 1-7 所示交流电压的最大值是多少？

交流的瞬时值和最大值在电路设计和分析中有重要的意义，分析电路的工作状态、耐压性能都要用到。

但在实际中又常用有效值表示交变电流的大小。交变电流的电动势、电压和电流的有效值常用大写字母 E、U、I 表示。

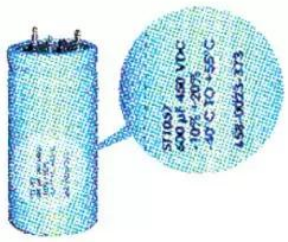


图 1-8　电容器上标注的耐压值

交变电流的有效值是怎样规定的呢？

物理学中规定，让阻值相等的两个电阻器分别通以直流和交流，如果在相同的时间内产生的热量相等，就把这一直流的数值叫做这一交流的有效值。

理论分析和计算表明，正弦交变电流的有效值等于其最大值的$\frac{1}{\sqrt{2}}$倍，即：

$$E=\frac{1}{\sqrt{2}}E_m\approx 0.707E_m$$

$$U=\frac{1}{\sqrt{2}}U_m\approx 0.707U_m$$

$$I=\frac{1}{\sqrt{2}}I_m\approx 0.707I_m$$

通常说到交变电流的电流或电压，都是指有效值，例如家庭电路的电压220V，便是指有效值。各种使用交流的电器的铭牌所标的额定电压和额定电流，都是指有效值；交流电流表和交流电压表也是按有效值来制作刻度盘的，它们的读数也都是有效值。

请思考：耐压值为450V(DC)的电容器(图1-8)能否接入450V电压的交流电路？

图1-7所示交流电压的有效值多少？

最大值和有效值、周期和频率都是描述交变电流的物理量。在交流电器的铭牌上，一般必须注明所用交流的有效值和频率等参数。

信息河流

日光灯的灯光为什么会闪烁

日光灯发光柔和、照亮，而且节能。但是日光灯的灯光有闪烁现象，这是为什么呢？

日光灯的发光原理是受激发光。加在日光灯两端的电压使灯管内气体发出紫外线，照射到灯管内壁上，激发那里的荧光粉发光。日光灯所用的电源是50Hz的交流，每秒钟有100个瞬间电压为零；在这些瞬间，管内气体不发紫外线，荧光粉不发光。因此，日光灯的灯光每秒钟要闪烁100次。

对人眼来说，每秒钟100次是一个很高的频率，因此我们通常不会觉察到这种闪烁。但是时间长了，对视力是有影响的。在需要有稳定照明的生产或科研场所，使用日光灯也是不利的。人们已经在电路等方面采取了措施，以减小日光灯的闪烁。

同样使用交流电的白炽灯，没有闪烁现象，这又是为什么呢？

白炽灯是利用电流的热效应，使灯丝达到高温状态而发光的。灯丝的温度不会随着电压的剧烈波动而波动，因此灯光不会闪烁。但白炽灯效率很低，绝大多数电能都转化成热能损耗掉了。

怎样用数学方法描述交流电

正弦交变电流可以用数学上的图像和函数表达式两种方法来描述。

家庭照明电路的电压最大值是 311V，频率是 50Hz。

请你在图 1-9 的坐标纸上描画出两个周期的家庭照明用电的 u-t 图像，并写出其函数表达式。

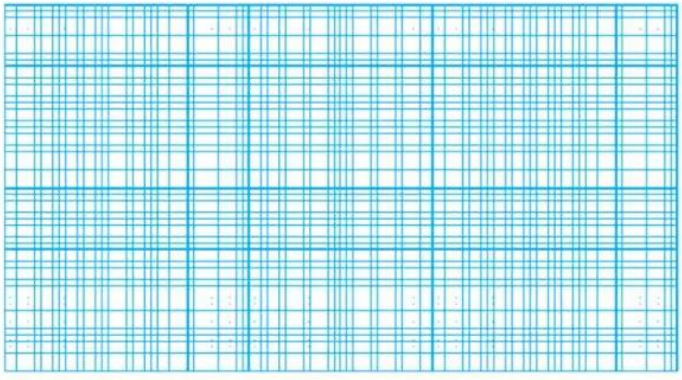


图 1-9　请画出家庭照明用电的 u-t 图像

下式是正弦交变电流电压 u 的函数表达式：

$$u = U_m \sin \omega t$$

式中的 ω 是正弦函数每秒变化的弧度数，称为角频率，单位是弧度/秒(rad/s)。

请思考：正弦交变电流的角频率跟周期、频率之间有什么关系？请写出用频率和周期表达的正弦交变电流函数式。

如果在 220V 交流电路中接有一只 60W 的白炽灯，请写出通过此白炽灯的交流电流的表达式，并在图 1-10 中画出它的图像。

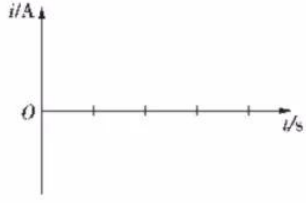


图 1-10　正弦交变电流的 i-t 图像

多学一点　正弦交变电流有效值的推导

如图 1-11，两最大值和频率都相同的正弦交变电流，它们的有效值是否相同呢？

可以看出，在一个周期内，两图像中 OA 段跟 $C'D'$ 段、AB 段跟 $O'A'$ 段、BC 段跟 $A'B'$ 段、CD 段跟 $B'C'$ 段曲线变化情况均相同，所以，两交流电流的变化情况总体是相同的，不可的只是有一

“等效”是处理变化量的重要方法。

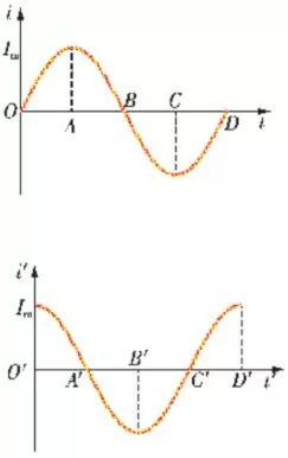


图 1–11　交流电流有效值的推导

个时间差。如果让它们通过相同的电阻 R，则它们在一个周期内具有相同的热效应，即具有相同的有效值 I。

将两交变电流分别通过两只阻值相同的电阻 R，它们的瞬时功率之和为：

$$P = (I_m \sin\omega t)^2 R + (I_m \cos\omega t)^2 R = I_m^2 R$$

因为 I_m 与 R 是不变的，所以两交流电流的瞬时功率和是不变的，它们在一个周期内产生的热量是：

$$Q = PT = I_m^2 RT$$

一个周期内，每个交流电流产生的热量是

$$Q_1 = Q_2 = I^2 RT$$

$$Q_1 + Q_2 = Q$$

$$2I^2 RT = I_m^2 RT$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

家庭作业与活动

1. 关于普通照明用的交流，下列说法中，不正确的是
   A. 可以用直流电表来测量交流的最大值
   B. 可以用直流电表来显示交流的瞬时值随时间变化的规律，并可做相应的观察和记录
   C. 可以用示波器来显示交流随时间变化的图像
   D. 交流只能做理论计算，无法实际测量或显示
2. 下面关于交变电流的说法中，正确的是
   A. 交流电器设备上所标的电压和电流值是所用交流的峰值
   B. 用交流电流表和电压表测定的读数值是交流的瞬时值
   C. 给定的交流电数值，在没有特别说明的情况下都是指有效值
   D. 跟交流电流有相同热效应的直流电流的有关数值是交流电流的有效值
3. 请列举出日常生产和生活中能感受到交变电流大小和方向在变化的实例。
4. 我国照明用交流的电压是 220V，动力供电线路的电压是380V，它们的有效值、最大值各是多少？
5. 有一交变电流的瞬时值 $i = 5\sin 100\pi t$(A)，则它的最大值为_____A，有效值为_____A，周期为_____s，频率为_____Hz。
6. 图 1–12 是一个按正弦规律变化的交变电流的图像，请根据图像求出它的周期、频率和最大值。

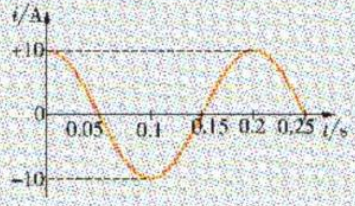


图 1–12

7. 请你在网上收集有关各种波形交变电流应用实例的资料，并与同学开展交流。

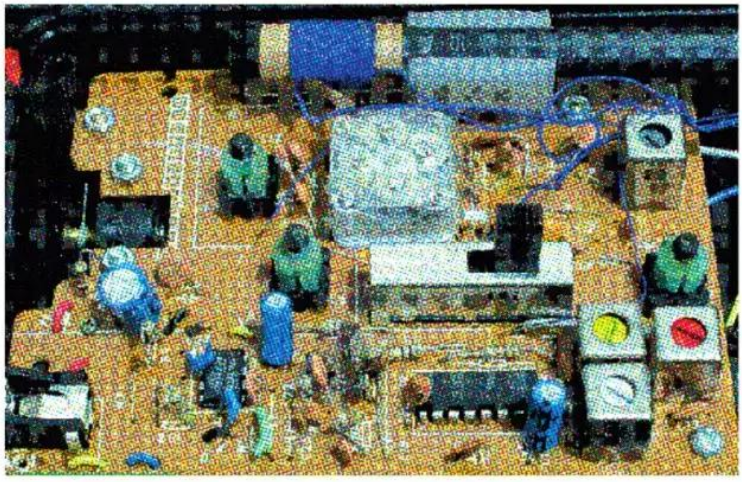


图 1–13　收音机电路板上的电阻器、电感器和电容器

1.2 探究电阻、电感和电容的作用

在图 1–13 所示的半导体收音机电路板上，不仅有我们熟悉的电阻器，还有电容器、线圈等元件。在交流电路中，这些元件对交变电流的作用怎样呢？

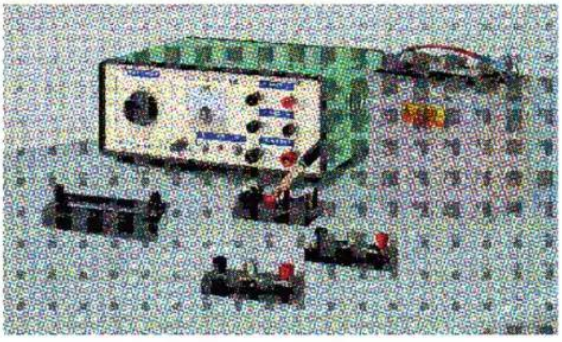
电阻器对交变电流的作用

我们知道，电阻器能让直流通过，但对直流有阻碍作用。那么，电阻器对交变电流的作用又如何呢？

实验探究 1　电阻器对交变电流的作用

图 1–14 是探究电阻器对交变电流作用的实验器材和电路图。实验中交流电压和直流电压相等。

按电路图连接电路，进行实验，观察并思考：



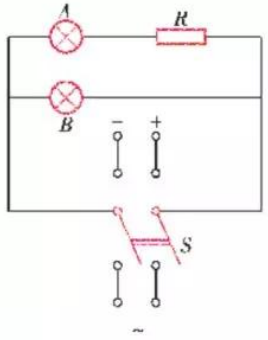


图 1-14　探究电阻器对交变电流的阻碍作用

当电路与交流电源连接时，两只规格完全相同的灯泡亮度是否相同？这说明什么问题？

对电路分别加上交流和直流，看看这两种情况下灯泡 A 的亮度有没有变化。这又说明什么问题？

实验和理论分析都证明，电阻器对交变电流的作用跟对直流的作用相同。

电感器对交变电流的作用

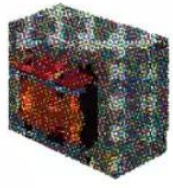
如图 1-13 所示的磁棒上的线圈、日光灯电路中的镇流器等，在物理学中，叫做电感器，简称电感。图 1-15 是在电工和电子技术中几种常见的电感器。



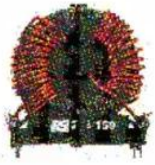
普通的电感器



低频扼流圈



变压器





高频扼流圈



电机

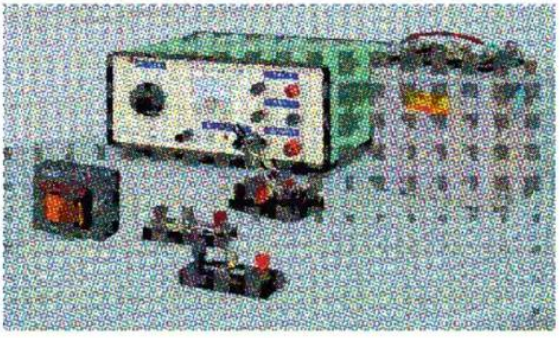
图 1-15　电感器

图 1–15 中的电感器在交流电路中有什么作用呢？

实验探究 2　电感器对交变电流的作用

1. 探究电感器对交变电流的阻碍作用

图 1–16 是实验所用的器材和电路图。实验中保持交流电压和直流电压相等。



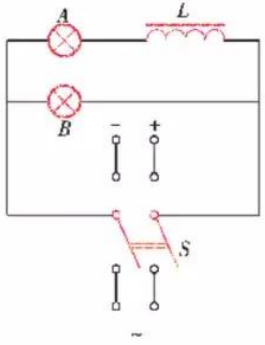


图 1–16　探究电感器对交变电流的阻碍作用

按电路图连接电路，进行实验，观察并思考：

当电路与交流电源连接时，灯泡 A 是否发光？它跟灯泡 B 的亮度是否相同？这说明什么问题？

对电路分别加上交流和直流，看看这两种情况下灯泡 A 的亮度有没有变化。这又说明什么问题？

2. 探究不同电感器对交变电流的阻碍作用

用各种电感量不同的电感器进行实验。

观察灯泡 A 的亮度变化。

电感量是表征电感器性能的物理量。电感量的大小用自感系数来表示，它的单位是亨利(H)。在第 3 章中我们对此要进行较详细的讨论。

3. 探究电感器对不同频率交变电流的阻碍作用

用低频信号发生器向电感器输入正弦交变电流，用双踪示波器显示电感器两端的电压波形和通过电感器的电流波形。

观察并思考：在输入电压最大值不变的情况下，提高交变电流的频率，其电流最大值会有什么变化？

实验和理论分析都证明，电感器能让交变电流通过，但对交变电流有阻碍作用。电感器的电感量越大，其阻碍作用越大；通过的交变电流频率越高，阻碍作用也越大。

双踪示波器是示波器的一种，它有两个 Y 输入。使用时可同时输入两个待测信号，屏幕上也同时显示两个信号的图像信息，供测量和对比研究。

电容器对交变电流的作用

直流不能通过电容器。但理论和实验证明，电容器可以让交变电流通过，不过它对交变电流有阻碍作用。

请你设计实验，进一步探究电容器在交流电路中的作用。在实验中观察并思考：

1. 怎样用实验证明电容器对交变电流有阻碍作用？

2. 不同电容量的电容器，对交变电流的阻碍作用是否也不同？

3. 改变交变电流的频率，电容器对交变电流的阻碍作用有何变化？

将你在实验中得到的结论记录下来，并与同学交流。

多学一点

1. 电感器的感抗和电容器的容抗

感抗

电感器对交变电流所起的阻碍作用的大小，用**感抗**(inductive reactence)来表示。

感抗的符号是 X_L，单位是欧姆，与电阻的单位相同。感抗的计算公式是：

$$X_L = 2\pi fL$$

式中 f 是交变电流的频率，L 是电感器的自感系数，自感系数的国际单位制单位是亨利(H)。自感系数的大小与线圈的横截面积、线圈的长度、线圈的匝数、线圈中有无铁芯等因素有关。

在只有电感器的电路中，欧姆定律的表达式为：

$$I = \frac{U}{X_L}$$

容抗

电容器对交变电流所起阻碍作用的大小，用**容抗**(capacitive reactence)来表示。

容抗的符号是 X_C，单位也是欧姆。容抗的计算公式是：

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

式中 C 为电容器的电容量，它的国际单位制单位是法(F)。

在只有电容器的电路中，欧姆定律的表达式为：

$$I=\frac{U}{X_C}$$

电阻器的电阻、电感器的感抗和电容器的容抗，统称为**阻抗**(impedance)。

请计算：要使一个电容器对频率为 50Hz 的交变电流能产生约 670Ω 的阻抗，其电容量要多大。

2. 电阻器、电感器和电容器对电流和电压变化步调的影响

电阻器、电感器和电容器在交流电路中对电流和电压变化步调的影响各不相同，我们可以用双踪示波器观察。

图 1-17 是交变电流通过电阻器时，电阻两端的电压波形和通过它的电流波形的图像。

图 1-18 是电感器两端的电压波形和通过它的电流波形的图像。

图 1-19 是电容器两端的电压波形和通过它的电流波形的图像。

在电工和电子技术中设计电路时，通常会用到交变电流通过电感器、电容器时电压和电流变化不同步这一特性。

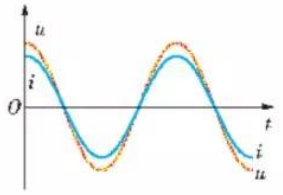


图 1-17　电阻器的电压与电流变化步调一致

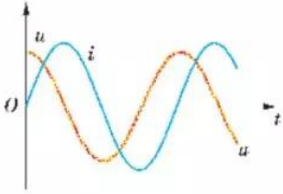


图 1-18　电感器的电压与电流变化步调不一致

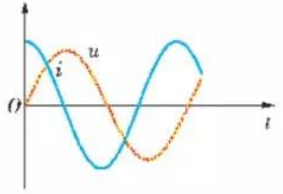


图 1-19　电容器的电压与电流变化步调不一致

3. 交流电的相位

交变电流在通过电感器或者电容器时，电压跟电流的变化步调不再一致。这里的"变化步调"，在物理学中用**相位**(phase)来描述。在电感电路中，电压的相位超前电流$\frac{\pi}{2}$。在电容电路中，电压的相位落后电流$\frac{\pi}{2}$。在电阻电路中，电压的变化与电流同步。

从上述的探究中可以发现，交流电路比直流电路要复杂得多。在交流电路中，对电流有阻碍作用的，除了电阻器以外，还有电感器和电容器。电感器和电容器不仅仅影响电压和电流的数量关系，还影响它们之间的变化步调关系。实际的交流电路中，常常是既有电阻器，又有电感器和电容器(如图 1-13)，这些元件间既有串联，又有并联，因此交流电路的计算相当复杂。有兴趣的同学可以从电工学书籍中找到计算交流电路的方法。

家庭作业与活动

1. 你是否有这样的生活经验：当家用电器的金属外壳，尽管跟电源之间连线良好，但用手触摸它仍会感到“麻手”，甚至用测电笔测试时氖管也会发光！请解释其中的物理道理。
2. 日光灯正常工作时，日光灯管两端的额定电压要低于220V，这多亏了那个跟灯管串联的镇流器。你知道其中的物理道理吗？
3. 只给你一只交流电流表，你能画出一只耐压在311V以上的电容器的电路吗？请写出测量方法和原理。
4. 用多用电表不仅能测量直流电压、直流电流以及导体的电阻，还可以测量交流电压，有的多用电表还具有测电容器的电容量和电感线圈的电感量的功能。图1-20是某型号多用电表的面板图，板内文字是说明书摘录。

请在老师指导下，用多用电表测量演示电路的电压，测量一些电容器和电感器的电容量和电感量（自感系数）。

多用电表说明书摘录

1. 测量电容器的电容量。

（1）将多用电表旋转开关旋至交流10V挡，多用电表、待测电容器、10V交流（频率50Hz）电源接成串联电路。

（2）指针稳定后，从电容刻度线读出电容量值。

2. 测电感线圈的电感量。

（1）将多用电表旋转开关旋至交流10V挡，多用电表、待测电感器、10V交流（频率50Hz）电源接成串联电路。

（2）指针稳定后，从电感刻度线读出电感值。



图1-20 多用电表

周南物理段石峰

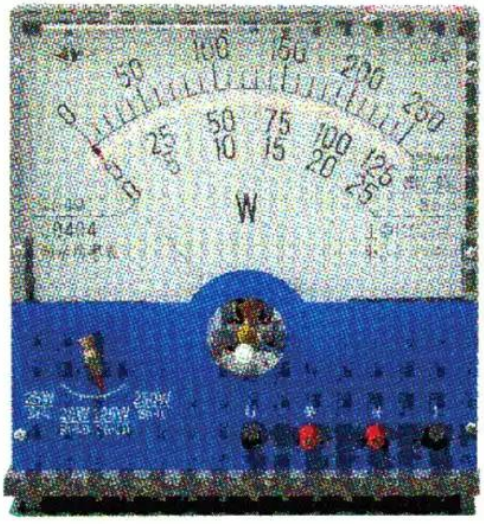


图 1-21　功率表——测量交流电器实际功率的仪表，又叫瓦特表。它在电路图中的符号为 Ⓦ

1.3 怎样计算交变电流的电功率

在购买家用电器时，我们非常注意其铭牌上标注的电功率。在电器性能相同的情况下，功率小的电器可以少消耗一些电能。

从日光灯的电功率谈起

我们在初中已学过用伏安法测量电器的电功率。图 1-21 所示的是一种专门用于测量电功率的功率表。本节用这两种方法来测量日光灯的电功率，并将两种测量结果作一比较，看看有什么发现。

实验探究　测量日光灯的功率

1. 用伏安法测量日光灯的电功率

按图 1-22 所示电路图，将 220V、40W 的日光灯、交流电压

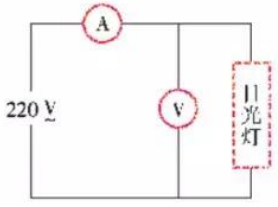


图 1-22　伏安法测量日光灯电功率的电路图

表、交流电流表等接入电路。接通电路，待日光灯正常工作时，将电压表和电流表的示数（图 1–23）记录下来。

请用你在初中学到的伏安法，计算日光灯工作时的电功率。

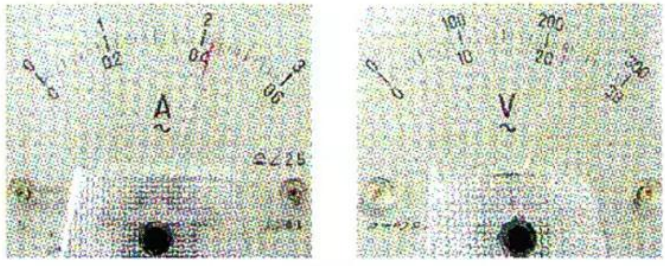


图 1–23　交流电流表（量程 0—0.6A）和电压表（量程 0—300V）示数

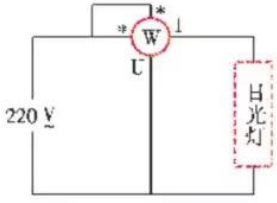


图 1–24　用功率表测量日光灯的电功率电路图



图 1–25　功率表示数（挡位开关在 125W）

2. 用功率表测量日光灯的电功率

用功率表测量电功率，测量结果可从刻度盘上直接读出，不必经过计算。

图 1–24 是用功率表测量日光灯电功率的电路图。按图连接好电路，接通电源，日光灯正常工作后，读出指针示数（图 1–25）。此即为日光灯的电功率。

用功率表测得的日光灯电功率是多少？

比较这两种测量结果，我们发现，对同一日光灯，测到的电功率竟然相差很大。这是为什么呢？接在交流电路中的其他电器，也会出现这样的情况吗？

理论和实验表明，只有在白炽灯、电炉等电阻电路中，电路实际消耗的功率才等于电压和电流强度的乘积，即 $P = UI$；而在日光灯、电动机等含有电感器和电容器的电路中，实际消耗的功率都要小于电压和电流强度的乘积，即 $P < UI$。

那么，怎样计算交流电路的电功率呢？

怎样计算交流电路的电功率

理论和实验都证明，交流电路电功率的计算公式是：

$$P = UI\cos\varphi$$

在上式中，电路电压和电流的乘积 UI 叫做**视在功率**（apparent power），用大写字母 S 表示，其国际单位制单位是伏安（VA）或千伏安（kVA）。视在功率并不表示电路对外做功的能力。前面用伏安法测量电功率的实验中，电压表示数和电流表示数的

乘积就是视在功率。

P 是电流对外做功的功率，叫做**有功功率**(active power)，其国际单位制单位是瓦特(W)或千瓦(kW)。有功功率是电路实际消耗的功率。前面用功率表测量日光灯电功率的实验中，功率表测得的就是日光灯的有功功率。

有功功率跟视在功率的比值叫做**功率因数** (power factor)，用一个余弦函数值 $\cos\varphi$ 表示。

$$\cos\varphi = \frac{\text{有功功率}}{\text{视在功率}} = \frac{P}{S}$$

功率因数的符号为 λ，即 $\lambda = \cos\varphi$。

功率因数越大的电路，有用功率在电源输出功率中占的比例就越大。功率因数的大小取决于电路的性质。只有在电阻电路中，功率因数才等于 1；其他有电容器和电感器的电路，由于电压和电流不能同步变化，功率因数都小于 1。

日光灯镇流器的功率因数约 0.5，三相电动机的功率因数约在 0.8~0.92。

请根据上面测量日光灯电功率实验中的数据，计算日光灯电路的功率因数。

多学一点　功率因数的物理意义

从能量的角度来看，电容器的作用是把电能和电场能进行相互转换：在交变电压作用下，电容器反复充电和放电。充电时，电能转化为电场能；放电时，电场能转化为电能。而电感器的作用则是把电能和磁场能进行相互转换。在电容器或电感器中转换的这部分电能不能对外做功，因此电路对外做的有用功小于电源可以提供的电能。

可以证明，交流电路的功率因数等于电压 U 与电流 I 的相位之差 φ 的余弦函数 $\cos\varphi$：

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

因此，$P = S\cos\varphi$ 或 $P = UI\cos\varphi$

请思考：电压和电流的相位之差 φ 一定是 $\frac{\pi}{2}$ 吗？为什么？

案例分析

案例　下表中是日光灯的一些技术参数，试求该日光灯正常工作时的功率因数。

型号	额定电压/V	灯管正常工作电压/V	灯管正常工作电流/A
RR-40	220	108	0.41

分析 表中额定电压是交流电源向日光灯电路供给的电压；灯管正常工作电压是加在灯管两端的电压；灯管正常工作电流是通过灯管的电流，因为灯管和镇流器是串联的，所以工作电流也是电路的电流。

解答 有功功率 $P = U_{灯管} I_{灯管} = 108 \times 0.41 =$ （W）

视在功率 $S = UI = 220 \times 0.41 =$ （VA）

功率因数 $\cos\varphi = \dfrac{P}{S} = \dfrac{108 \times 0.41}{220 \times 0.41} \approx 0.49$

你前面的实验结果是不是与此相符？

日光灯的发光效率较高，但日光灯电路的电能有效利用率却比较低，凡有电感器的交流电路都有这样的问题。

在实际生产中，提高用电器的功率因数有着很重要的意义。

提高功率因数，可以充分发挥电力设备（如发电机、变压器等）的潜力。功率因数高，表示有功功率占额定视在功率的比例大，发电机输出的电能被充分利用。例如，发电机的容量（最大功率）若为 15 000 kVA，当电力系统的功率因数由 0.6 提高到 0.8 时，就可以使发电机实际发电能力提高 3000 kW。

功率因数是交流电路的重要技术数据之一。功率因数的高低，对于提高电气设备的利用率和分析研究电能消耗具有十分重要的意义。我国规定，在工厂用电中，功率因数不得低于 0.85。

家庭作业与活动

1. 一台接在 220V 电路中的单相交流电动机消耗功率 0.5 kW，$\cos\varphi = 0.8$，试计算所需电流。
2. 一台单相电动机的铭牌上标着 $U = 220$V，$I = 3$A，$\cos\varphi = 0.8$。试求这台电动机的视在功率和有功功率。
3. 某发电机的额定视在功率为 22 kVA，它能供多少盏功率因数 0.5、有功功率 40W 的日光灯正常发光？如果把日光灯的功率因数提高到 0.8，则能供多少盏？
4. 一台功率因数 $\cos\varphi = 0.5$ 的用电器，接入 50Hz 220V 的交流电路，通过它的电流是 220 mA，问用电器消耗的电功率是多少。
5. 在现代工农业生产用电和居民生活用电中，是怎样提高功率因数的呢？请上网或到图书馆查阅资料，写一份调查报告。

1.x

第 1 章家庭作业与活动

1. 我们知道，直流是导体内部自由电子沿某一方向运动而形成的。那么，自由电子做什么样的运动才会形成按正弦规律变化的交流呢？
2. 图 1–26 画出了示波器上显示的 6 种电流随时间变化的图像，其中属于交变电流的是　　，属于正弦交变电流的是_____。
3. 一般日光灯当加于它两端的电压增大到 200V 时就能发光，发光后如电压降到约 114V 时就会熄灭。设一盏日光灯接在电压为 220V 的照明电路中，试计算日光灯每次发光的延续时间。
(arcsin 0.64 = 40°, arcsin 0.37 = 21.6°)

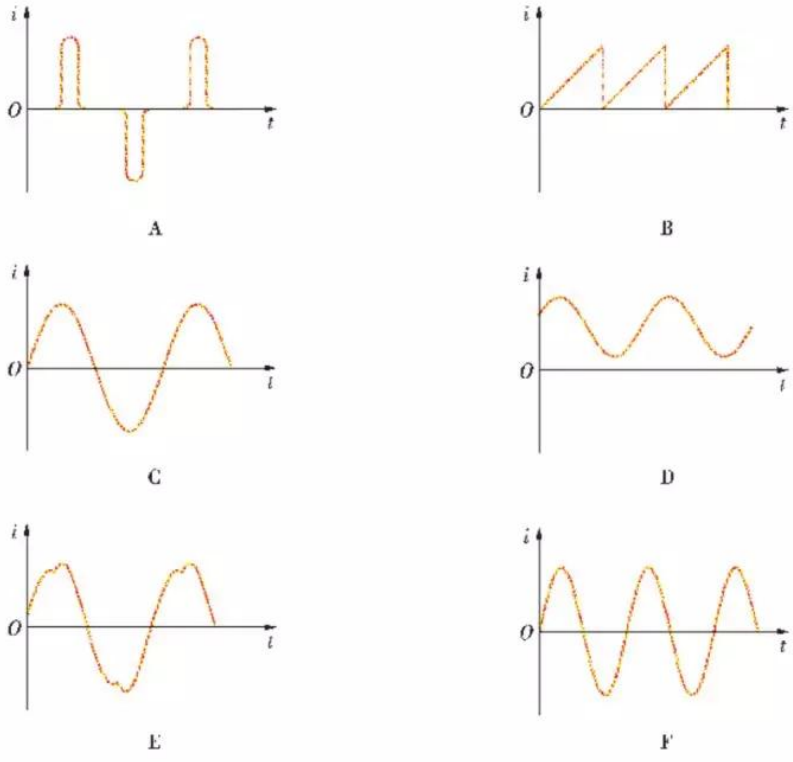


图 1–26

4. 图 1–27 为某正弦交变电流的图像，求其最大值、周期和频率，并写出该电流的瞬时表达式。
5. 测电笔检测交流电路时，氖管两端的交流电压 $u = 50 \sin 314t$ (V)。已知氖管两端电压必须达到 $25\sqrt{2}$ V 时才能发光，则此测电笔氖管在一个周期内发光的总时间为多长？通电 1min 内，氖管发光的次数是多少？
6. 下面关于交流电路中自由电子运动的说法正确的是
A. 按正弦曲线向前做波浪式运动
B. 正半周期从导线的这一端自由运动到那一端，负半周期又从那一端运动到这一端

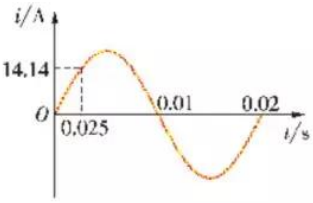


图 1-27

C. 在热运动的基础上做振幅较小的简谐振动

D. 无规则运动

7. 在一个直长螺线管的两个接线端 a、b 上接一个 $i = 5\sin 50\pi t$ (A)的交变电流，一个电子沿螺线管的中心轴飞入螺线管内(如图 1-28 所示)，那么该电子的运动情况将会是

A. 在螺线管内做简谐运动

B. 电子沿螺线管中心轴做匀速直线运动

C. 电子沿螺线管中心轴先是加速前进，然后减速前进，接着又加速前进，再减速前进，如此反复地变速前进

D. 电子偏离中心轴

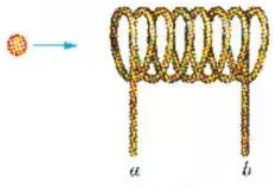


图 1-28

8. 教室中和家庭中的电风扇，都可以调节快慢(图 1-29)。要调节快慢，就要改变电动机的电流。风扇一般是用交流，要改变电流的大小，可以用电感器。请在老师的指导下，拆解一只吊扇的调速器，研究它是利用什么作用调节吊扇快慢的。

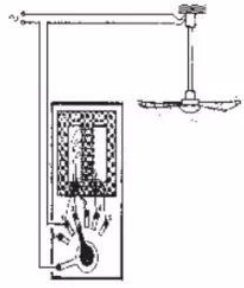


图 1-29

9. 图 1-30 是电容器和电阻器的并联电路，电容量 $C = 100\ \mu F$，电阻 $R = 20\Omega$。请计算干路中的电流频率分别为 100Hz 和 10 000Hz 时电容器和电阻器中的电流比。

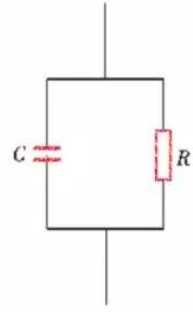


图 1-30

课题研究

打点计时器的原理

在实验室管理员和老师的帮助下，从以下几个方面研究电磁式打点计时器的工作原理。

1. 阅读打点计时器的说明书，并观察打点计时器的铭牌，了解其主要技术参数。

2. 将打点计时器接入电路，观察其工作过程。尝试画出打点计时器的电路原理图，解释为什么打点计时器要使用交流电源，并推导出打点计时器的打点周期。

3. 在老师的帮助下，通过实验研究影响打点计时器打点周期稳定性的因素。

4. 总结打点计时器工作时都用到了哪些物理知识。

尽可能用你所学的物理知识分析你所了解的问题，并将你的研究过程写成研究报告。

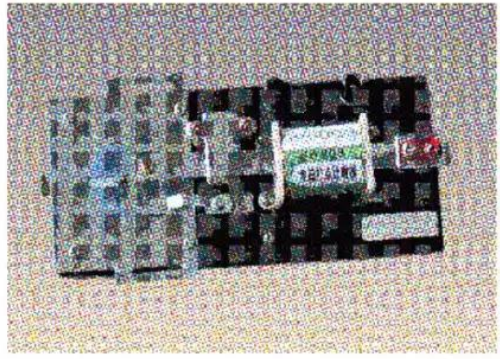


图 1-31 电磁式打点计时器

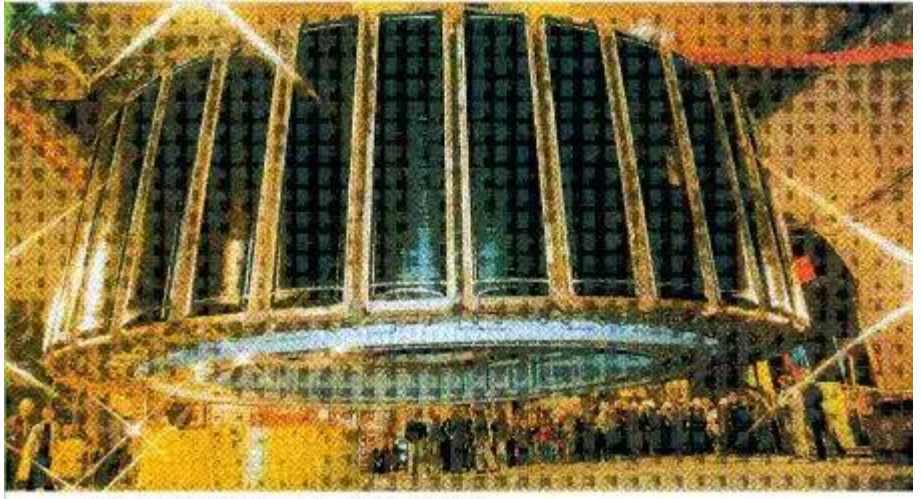


图 2-1　正在吊装的是世界上最大的三峡水电站水轮发电机组

第2章
电磁感应与发电机

当今社会，人们的生产、生活和科学研究一刻也不能离开电。电能，已是人类所用能量的最主要形式。

2003 年 6 月 12 日，伴随着奔腾下泄的江水，三峡水电站向全世界喊出了它的第一声——三峡下厂首批发电机组试运行性能良好。三峡水电站是目前世界上最大的水电站，总装机容量为 1.82×10^7 kW，全面建成投产后，年均发电量将可照亮"半个中国"。

那么，开启电能宝库的金钥匙是怎样找到的呢？发电机是由哪些部分组成的？它为什么能产生出交变电流？人们是怎么想到制造发电机的？

本章以发电机为背景，首先通过对电磁感应发现过程的再认识，进一步体验科学思想、方法的重要性和科学家崇高的科学精神；接着探究电磁感应的条件，理解影响感应电动势大小和方向的因素；再通过对交流发电机构造的了解，认识发电机工作过程中能量的转化，以及电能对现代社会的作用。

2.1 电磁感应——划时代的发现

法拉第发现电磁感应的艰难历程



法拉第 (M. Faraday, 1791—1867), 19世纪伟大的物理学家、化学家、发明家, 电磁理论的奠基人。他不仅发现了电磁感应现象, 还首先提出了场的概念和用力线描述场的方法。麦克斯韦曾说: "我们把法拉第首先看作是科学家中最有成效、最崇高的典型……他高尚简单而无戏剧性紧张情节的生活, 将同他那使他名字不朽的发现一起永远铭刻在人们的记忆中。"

1820年, 奥斯特(H. C. Oersted)发现了电流的磁效应, 由此激起了科学家研究电磁现象的热情, "电磁热"席卷欧洲大地。

新课题的提出

人们想, 既然电能转化为磁, 那么磁也应该能转化为电。奥斯特、亨利(J. Henry)、科拉顿(T. D. Colladen)等当时著名的科学家, 都对"将磁转化为电"进行了研究。时任英国皇家研究所实验室主任的法拉第自1821年起, 也投入了这一研究。他联系磁铁可以使铁块感应出磁, 静电可以使导体感应出电, 电能产生磁等现象, 进行反复思考后, 在1822年的日记中写下了他的新研究课题: "把磁转变为电"。

思维定势路漫长

法拉第开始进行"把磁转变为电"的实验研究时, 想法比较简单, 他的基本思路是:

既然恒定的电流能产生磁场, 那么放在磁体旁边的导体也应能感应出电流; 既然电荷可以感应出电荷, 那么电流也应能感应出电流。

法拉第在很长的一段时间内, 基本上做了如下两种类型的实验: 一是在强磁体旁边放置导线或线圈, 希望在导线或线圈中出现稳定的电流; 二是将两根导线并列放置, 将其中的一根导线通以电流, 希望在另一根导线中感应出电流。这两类实验都没有成功。他又在一个铁环上绕了两个线圈(图2-2), 将其中一个线圈接在电池上, 另一个线圈接电流计, 结果也没有感应出电流。是不是原线圈的电流太弱了? 他不断增加电池, 差点将原线圈都烧了, 但还是感应不出电流。

探索之路如此漫长, 时间已过去十年。在法拉第的实验日记中, 不知记下了多少次失败, 但也不知多少次地表达了他坚定的信念。

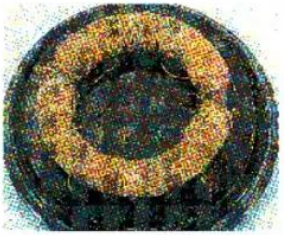


图2-2 法拉第做实验用的线圈

偶然发现犹迷茫

1831 年 8 月 29 日，法拉第又一次用图 2-2 中的线圈做实验。图 2-3 是实验装置示意图，*A* 线圈两端接开关 2 和电池组 1，*B* 线圈两端用导线连接，在导线下放一只小磁针 3。法拉第发现，每当开关闭合或断开时，小磁针都突然跳动一下；将 *A* 线圈维持接通状态，小磁针则不动。

著名哲学家凯特林说过一句很精辟的话："摆脱陈旧规则和解决这一问题本身一样费劲。"

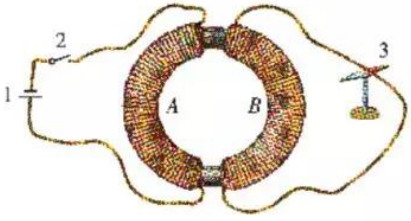


图 2-3　法拉第实验示意图之一



图 2-4　法拉第实验示意图之二

对于这次实验的评价，法拉第在给他朋友菲利浦斯的信中是这样写的："我正再度忙于研究电磁学。我想，我捞到了一些好东西，可是没有把握；或许我花费了那么多劳动，捞到的不是一条鱼，而是一团水草。"

从普通的磁中获得电的希望，时时激励着我从实验上去探求电流的感应效应。

——摘自法拉第的日记

法拉第得到的何止是一条鱼！这不仅是 19 世纪最伟大的发现，也是整个科学史上最伟大的发现之一。

我不能不认为……关于磁电的这个发现是迄今为止所获得的最伟大的实验成果。这是法拉第成就的勃朗峰。

——丁铎尔

深入探究得真谛

法拉第又做了一些实验，发现只要电流发生改变，就会感应出电流。

法拉第想：在上述实验中，铁芯是必要的吗？电能产生磁，能不能不用铁芯产生电流呢？他在以后的几天中进行了这方面的试验，其中有一个实验是这样的：在一个木筒上绕两个用纱线包起来的导线线圈，将电流计与一个线圈相接，另一个线圈与电池相接。他发现，开关接通或断开的瞬间，电流计的指针会偏转。

法拉第进一步想：*A* 线圈是必要的吗？直接用磁铁的磁能否产生电流呢？

1831 年 9 月 24 日，他将两根条形磁铁成 V 形放置，在张开的两端（分别为 N、S 极）之间，放上一根绕有线圈的圆铁棒，线圈与电流计连接，如图 2-4 所示。他发现当圆铁棒脱离或接触磁极的瞬间，电流计的指针会偏转。

1831 年 10 月 17 日，他又在一个纸做的空心圆筒上，用 220 英尺铜线绕了 8 个线圈，再将这 8 个线圈或单独与电流计连接，

据说，法拉第在英国皇家学会上演示他的圆盘发电机时，一位贵妇人问："先生，你发明这种玩意儿，又有什么用呢？"法拉第沉思片刻，答道："夫人，新生的婴儿又有什么用呢！"

当时的财政大臣格拉斯通也曾不客气地问："法拉第先生，它到底有什么用呢？"法拉第风趣地回答说："啊！阁下，也许等不了多久，你就可以收它的税了。"

或并联(串联)起来后与电流计连接,然后将一根条形磁铁以不同速度插进空心圆筒内,观察各种情况下电流计指针的偏转情况。

1831年10月28日,法拉第将一个铜圆盘放在永久磁铁的两极之间(图2-5),再从铜盘的轴心和边上引出两根导线,转动圆盘,导线中就有了电流。这就是世界上第一台"发电机"。

十年磨一剑,法拉第终于找到了将磁转化为电的途径。

法拉第把这种由磁得到电的现象叫做**电磁感应现象**(electromagnetic induction)。在电磁感应现象中产生的电流叫做**感应电流**(induction current)。

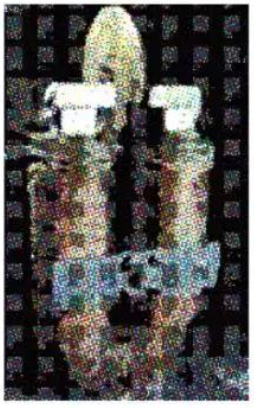


图2-5 法拉第的圆盘发电机

请思考:

1. 从法拉第发现电磁感应的艰难历程,你对于法拉第的这一伟大发现的研究思路、方法和精神,得到了什么体会和感想?

2. 你能总结一下,在法拉第发现电磁感应现象的实验中,产生感应电流的条件吗?

探究感应电流产生的条件

通过法拉第发现电磁感应的过程,你能说出产生感应电流的条件吗?

实验探究 产生感应电流的条件

请完成以下两个实验。实验中,要注意观察感应电流是在什么条件下产生的。

实验1 用图2-6所示的装置进行实验。这里有两个线圈,

不做实验任何预测都没有意义。理论再好,没有实验,预测就没有任何实际意义。

——丁肇中

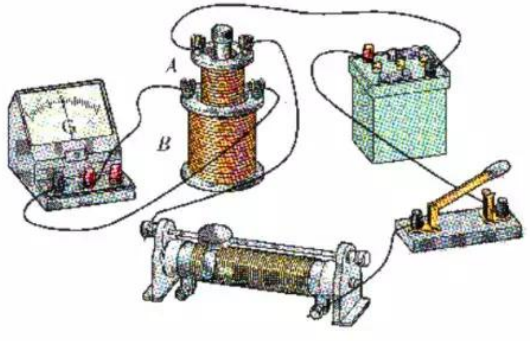


图2-6 改变原线圈中的电流,在副线圈中产生感应电流

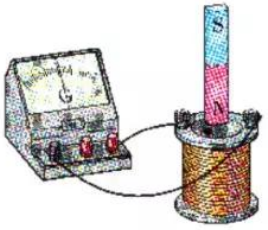


图 2-7　条形磁铁和线圈有相对运动，就会产生感应电流

原线圈 A 通电后就是一个电磁铁，怎样做才能使副线圈 B 中产生电流？

请记录：

在实验中，你在哪个过程和怎样的情况下，观察到副线圈中有感应电流产生？感应电流是持续的吗？

请讨论：本实验与法拉第的哪一类实验相似？法拉第当初对该实验现象是怎样认识的？你是如何分析此实验现象的？

实验 2　用图 2-7 所示的装置进行实验。当条形磁铁插入或拔出线圈时，都有感应电流产生。也就是说，感应电流是产生在条形磁铁和线圈的相对运动过程中。

进一步分析知道，在条形磁铁插入线圈的过程中，线圈中的磁通量在增加（图 2-8a）；而在拔出过程中，线圈中磁通量在减少（图 2-8b）。这说明，当闭合电路中的磁通量发生变化时，会产生电磁感应现象。磁铁和线圈的相对运动只是使磁通量发生变化的一种途径。

请思考并讨论：

1. 实验 1 中没有磁铁，那么产生电磁感应时，是否有磁通量变化？

2. 请从磁通量变化的角度，总结出闭合电路中产生感应电流的条件。

3. 在图 2-9 所示的实验中，导体切割磁感线时也会产生感应电流。你能用产生感应电流的条件解释这个现象吗？

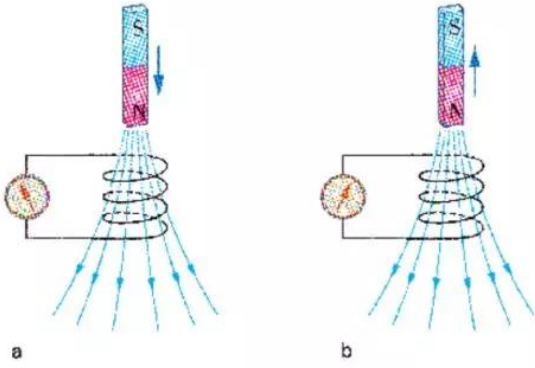


图 2-8　磁铁插入和拔出线圈时，线圈中的磁通量发生变化

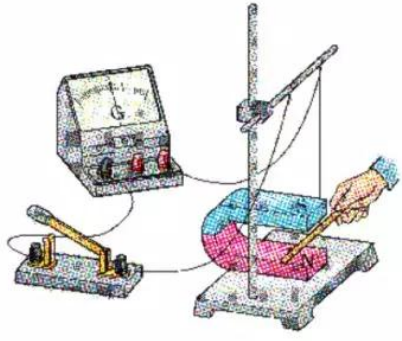


图 2-9　导体切割磁感线产生感应电流

案例分析

案例　如图 2-10 所示，设有一匀强磁场，其方向如图所示。要使线圈 *abcd* 中产生感应电流，应采取什么措施？

分析　使电路中产生感应电流的条件之一是电路必须闭合，本案例的线圈符合此条件。

使电路中产生感应电流的另一条件是穿过闭合电路的磁通量发生变化。那么怎样才能满足这个条件呢？

请根据以上分析，提出你的解决办法。

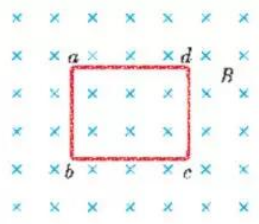


图 2-10　匀强磁场中的线圈

不朽的功勋

电磁感应现象的发现是 19 世纪最伟大的发现，也是整个科学史上最伟大的发现之一。一批有才智的发明家，根据电磁感应原理创造出发电机、电动机、变压器等一批批造福人类的新机器，编织了一张张从农村到城市的输电网络，改变了人类的生活，促进了社会发展，引发了世界性的技术革命浪潮。

电磁感应使人类找到了机械能与电能之间转换的方法，为人类打开了通向电气化的大门。现在，电能是人类利用的主要能源。化学能、热能、太阳能、核能的利用，大多也是通过转化为电能后实现的，核技术、电子技术、信息技术等离开电能就变得几乎不可能。

英国在 1840 年由电气技术导致的劳动生产率是 1770 年蒸汽技术导致的劳动生产率的 27 倍，是手工的 108 倍。在这 70 年中，劳动生产率平均每年提高 11.28%。

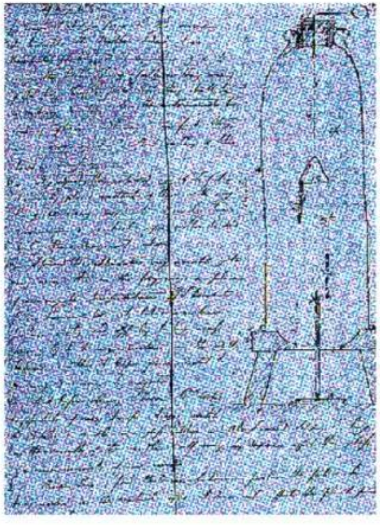


图 2-11　法拉第关于电磁感应研究的手稿



安培(A. M. Ampère, 1775—1836)，法国物理学家。对电磁学中的基本原理有重要发现，如安培定律、安培定则和分子电流等。



亨利(J. Henry, 1797—1878)，美国物理学家。从事电磁学方面的研究工作，发明电磁继电器和感应线圈，设计了第一台电动机，发现了自感现象和变压器工作的基本定律。

与法拉第同时代的其他科学家的探索

真理从安培眼皮下溜走

安培曾于1822年做了许多实验，其中的一个实验装置如图2–12所示。将一个铜质多匝线圈A固定在绝缘架上，另一单匝线圈B用细线悬挂起来，两者在同一平面内，然后在线圈A中通以强电流，另用一个强磁性磁铁接近线圈B。安培认为，线圈B中应该感应出电流。

在实验过程中，当线圈A通电的瞬间，线圈B动了一下。由于安培缺乏思想准备，这一瞬间现象所包含着的真理，就从他的眼皮下溜走了。

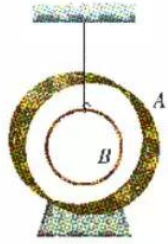


图2–12　安培的实验

科拉顿跑失良机

1832年，瑞士物理学家德拉里夫(A. A. de la Rive)的助手科拉顿将一个螺线管与电流计相连。为了避免强磁性磁铁的影响，他把电流计用长导线连着，放在另外一个房间。科拉顿没有助手，当他把磁铁投入螺线管中后，立即跑到另一个房间去观察。十分可惜，他未能观察到电流计指针的偏转。后来有位科学家感叹道："可怜的科拉顿，在跑来跑去中丢失了良机。"

追悔莫及的亨利

亨利当时是奥尔巴尼学院的教授，由于教学任务繁重，也没有专门的实验室，他主要利用假期在学院的大厅里进行自学实验工作。

1829年8月的暑假，亨利在考察绕有不同长度导线之磁铁所产生磁力的大小时，意外地发现，当通电导线中电流被突然切断时，会产生强烈的电火花。当时亨利无法解释，这一重要发现被搁置下来了。

1830年8月的暑假，亨利继续上次的实验，当电磁铁导线中突然通入强电流时，他发现电流计的指针向一个方向偏转；当电磁铁导线中电流突然消失时，电流计的指针反向偏转；电磁铁导线中电流保持稳定时，电流计的指针不偏转。亨利对这一现象感到很奇怪，但暑假结束了，只得停止实验。

到了1832年6月，亨利在杂志上看到了法拉第在1831年所做的电磁感应实验的简讯，立即痛苦地意识到法拉第的发现与自己两年前的发现相类似，他马上用自己的仪器进一步完善了过去的实验，并把自己前后做的实验做了一个总结，写成一篇论文。即使这样，在电磁感应现象的发现上，亨利只能屈居第二了。

家庭作业与活动

1. 请你查找电磁感应在生活和生产中应用的实例，写一份调查报告。
2. 如图 2-13 所示，在匀强磁场中有一个闭合的弹簧线圈。你能采取哪些措施使该线圈中产生感应电流？为什么？
3. 如图 2-14 所示，矩形线圈 $abcd$ 位于通电长直导线附近，线圈平面跟导线位于同一平面，且线圈的两条对边跟导线平行。请你设计出尽可能多的方法，使矩形线圈中有感应电流产生。
4. 如图 2-15 所示，导线 ab 和 cd 互相平行，在下列情况中，使导线 cd 中有感应电流产生的是

A. 将电键 S 闭合或断开

B. 电键 S 闭合后，将滑动变阻器的滑动触头向右移动

C. 电键 S 闭合后，将滑动变阻器的滑动触头向左移动

D. 电键 S 始终闭合，滑动变阻器的滑动触头也不移动



图 2-13

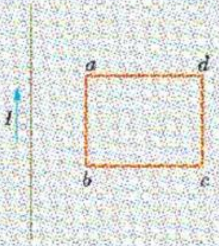


图 2-14

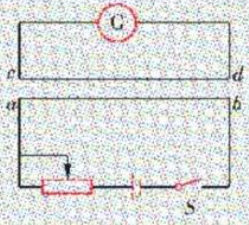


图 2-15

2.2 探究感应电流的方向

在探究电磁感应条件的实验过程中，你一定看到电流表的指针有时向右偏转，有时向左偏转。这说明，在不同情况下，感应电流的方向是不同的。

那么，感应电流的方向与什么因素有关呢？

探究感应电流的方向

实验探究　感应电流的方向

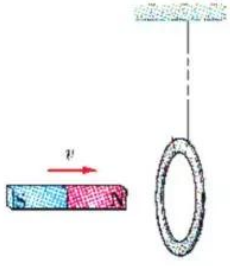


图 2-16　探究感应电流方向的实验

实验装置如图 2-16 所示，用细线悬挂一个很轻的铝环，铝环可以自由摆动。

请观察：

当条形磁铁的一极（如图示的 N 极）向铝环靠近时，会出现什么现象？

当条形磁铁从铝环离开时，又会发生什么现象？

将你的观察结果记录下来。

分析论证

科学不能停留在单纯的对实验的观察和对实验现象的表象认识上，必须对观察到的现象和收集到的信息进行细致的分析，研究各种现象之间的本质关系，才能找到事物之间的必然联系和事物的变化规律。

上述实验表明：当条形磁铁的 N 极靠近铝环时，铝环被推开，即铝环跟磁铁之间存在斥力作用。显然，这个斥力跟铝环中产生的感应电流有关。

请讨论：

磁铁靠近铝环时，铝环中感应电流产生的磁场方向与磁铁的磁场方向相同还是相反？

铝环中感应电流的方向如何？

当条形磁铁的 N 极离开铝环时，铝环被吸引，这说明铝环受到了磁铁的吸引力作用。

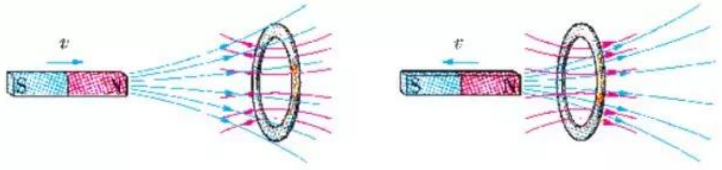
请讨论：

当磁铁离开铝环时，铝环中感应电流磁场的方向与磁铁的磁场方向相同还是相反？

铝环中感应电流的方向如何？

由上面的分析可知：感应电流产生的磁场方向与条形磁铁的磁场方向有时相同，有时又相反。那么，穿过铝环的磁通量是怎样变化的呢？

图 2-17a 是条形磁铁靠近铝环时的情况，图 2-17b 是条形磁铁离开铝环时的情况。带箭头的红色细线表示感应电流的磁感线。



a 磁铁靠近铝环　　b 线圈离开铝环

图 2-17　磁铁的磁场与铝环中感应电流的磁场

请讨论：

当磁铁靠近铝环时，穿过铝环的原磁通量是增大还是减小？感应电流产生的磁场对磁通量的变化是加强还是减弱？

当磁铁离开铝环时，穿过铝环的原磁通量是增大还是减小？感应电流产生的磁场对磁通量的变化是加强还是减弱？

实验证明，当闭合电路中原磁场的磁通量增大时，感应电流产生的磁场跟原磁场方向相反，阻碍原磁场磁通量的增加；当闭合电路中原磁场的磁通量减小时，它与原磁场方向相同，阻碍原磁场磁通量的减小。

楞次定律

俄国物理学家楞次对各种产生感应电流的实验结果进行了研究，在 1834 年得出如下结论：

感应电流具有这样的方向：**感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化**。这个结论被叫做**楞次定律**(Lenz law)。

请讨论：

如何理解楞次定律中的“阻碍”两字？有人认为阻碍就是感应



楞次（Э. Х. Ленц，1804—1865），俄国物理学家。生于爱沙尼亚，1836 年起任圣彼得堡大学教授。除发现楞次定律外，还与焦耳各自独立地发现电流通过导体时的热效应定律——焦耳-楞次定律。

电流产生的磁场跟引起感应电流的磁场方向相反；也有人认为阻碍就是不变化；还有人认为，阻碍就是阻止。请说说你的看法。

请思考：如何利用楞次定律判断感应电流的方向。

案例分析

案例 当闭合电路的一部分导体切割磁感线时，怎样确定感应电流的方向呢？

分析 在图 2-18 所示的电路中，导体棒 AB、导线和电流表组成闭合电路。导体棒 AB 位于磁场中，因此磁场的部分磁感线穿过闭合电路。

设导体棒 AB 向右运动，电路中的磁通量将减小，根据楞次定律，导体棒 AB 上的感应电流方向应是从 A 指向 B。

如果导体棒 AB 向右运动，请你用楞次定律判断感应电流的方向。

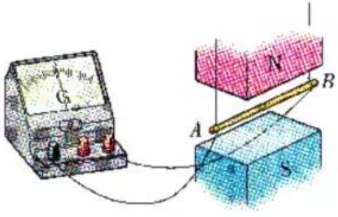


图 2-18 导体切割磁感线产生感应电流

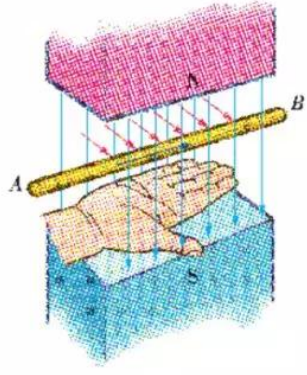


图 2-19 右手定则示意图

用楞次定律也可以判断导体切割磁感线所产生的感应电流方向。但英国电气工程学家弗莱明(J. A. Fleming)提出了另一种判断方法：

如图 2-19 所示，伸开右手，让拇指跟其余四指垂直，并且都跟手掌在一个平面内，让磁感线垂直从手心进入，拇指指向导体运动的方向，其余四指指的就是感应电流的方向。此方法叫做右手定则。

请你用右手定则判断图 2-18 中的感应电流方向，与用楞次定律判断的相同吗？如果导体棒 AB 向上或向下运动，有感应电流产生吗？如果做斜向运动呢？

如图 2-20 所示，一个矩形闭合线圈在匀强磁场中逆时针绕

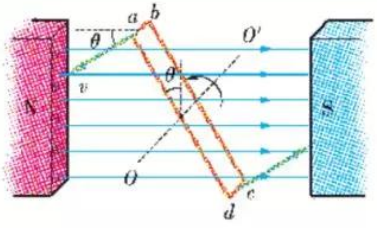


图 2-20　在均强磁场中转动的闭合线圈

轴 OO' 转动。

请讨论：

当线圈转动到图中所示位置时，线圈中感应电流的方向如何？

当线圈从图示位置转过 180° 时，感应电流的方向如何？

在线圈转动的过程中，安培力是做正功，还是做负功？线圈在持续转动过程中，有哪些形式的能量转化？

电磁感应中的能量转化

在探究楞次定律的实验中，我们已认识到：感应电流产生的磁场总要阻碍磁铁相对于铝环的运动。产生电磁感应的过程，是外力克服磁场力做功的过程。通过外力克服磁场力做功，磁铁运动的机械能转化为铝环的电能。

请用能量转化与守恒定律解释：为什么当磁铁靠近铝环时，它们总是相互排斥？为什么当磁铁离开铝环时，它们总是相互吸引？

课堂作业与活动

1. 如图 2-21 所示，长直螺线管 b 置于金属环 a 的轴线上，螺线管各匝导线间有一定的距离。当给螺线管 b 中通以图示方向的电流，并使电流迅速增大时

A. 金属环 a 有缩小的趋势

B. 金属环 a 有扩大的趋势

C. 螺线管 b 有缩短的趋势

D. 螺线管 b 有伸长的趋势



图 2-21

2. 如图 2-22 所示，P 为固定闭合电路的一段导



图 2-22

体的横截面。若使一对异性磁极相对 P 运动，并让 P 始终处于磁场中，则下列说法中正确的是

A. 磁极竖直向上运动时，P 中不产生感应电流

B. 磁极竖直向下运动时，P 中产生指向纸外的感应电流

C. 磁极向左运动时，P 中产生指向纸里的感应电流

D. 磁极向右运动时，P 中产生指向纸里的感应电流

3. 在一根长铁钉上用漆包线绕上两个线圈 A 和 B，将线圈 B 的两端接在一起，并把 CD 段漆包线放在自南向北方向上方，如图 2-23 所示。试判断用干电池给线圈 A 通电的瞬间，指南针偏转的方向。做一下这个实验，看看你的判断与实验结果是否一致。

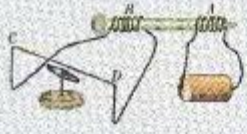


图 2-23

4. 请你按图 2-24 所示装置进行实验（A 和 B 都是很轻的铝环，环 A 是闭合的，环 B 是断开的，AB 之间的连接杆是绝缘的）。当磁铁的任一极迅速接近 A 环时，你会看到什么现象？把磁铁从 A 环中迅速拔出，又会看到什么现象？如果将磁铁迅速接近或离开 B 环，又会看到什么现象？请用所学的知识解释这些现象。



图 2-24

5. 如图 2-25 所示，有两个长度和粗细都相同的空心管子 A 和 B，竖直放置，A 管是导体，B 管是绝缘体。取两个同样的磁体，它们都能从任意一个管子的上端开口经过管内下落。若将这两个磁体分别在 A、B 管的上端开口处（同一高度）同时从静止释放，它们是否同时从管的底端开口掉出？为什么？请你做一下这个实验，看看你的判断是否正确。



图 2-25

6. 磁浮是当今高新技术的热点之一。当一块磁体靠近超导体时，超导体中会产生强大的电流，对磁体有排斥作用。这种斥力可以使磁体悬浮在空中，超导磁浮列车就是采用了这个原理。关于这种磁浮，下列说法中正确的是

A. 超导体中电流产生的磁场方向与磁体的磁场方向相同

B. 超导体中电流产生的磁场方向与磁体的磁场方向相反

C. 超导体使磁体处于失重状态

D. 超导体对磁体的斥力与磁体的重力相平衡

7. 图 2-26 所示的实验装置也可以用来探讨感应电流的方向。请与同学讨论设计实验方案，进行实验，并分析归纳实验中所收集到的信息。

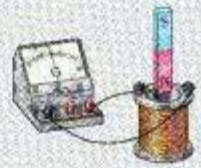


图 2-26

建议：实验时，必须先判明灵敏电流表指针偏转方向跟电流方向的关系；还要弄清楚螺线管线圈的绕向。

周南物理段石峰

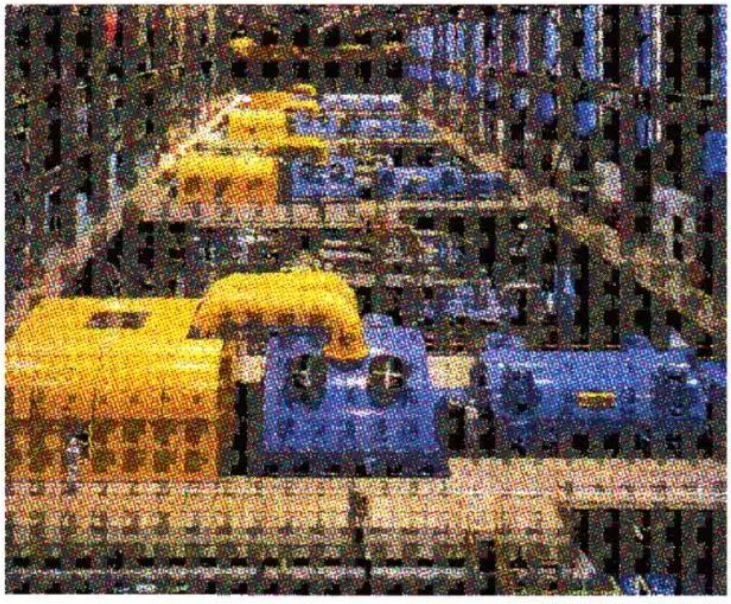


图 2-27 发电机组

2.3 探究感应电动势的大小

在电磁感应现象中，既然有感应电流产生，那么电路中一定有电动势。在电磁感应现象中产生的电动势叫做**感应电动势**(induction electromotive force)。感应电动势的大小与哪些因素有关呢?

探究感应电动势的大小

只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，电路中就会产生感应电动势。那么，感应电动势的大小与磁通量的变化存在怎样的关系呢?

实验探究 **感应电动势大小与磁通量变化的关系**

可从图 2-28 和图 2-29 所示的实验装置中任选一组进行实

验，通过灵敏电流表指针摆动的幅度定性地判断感应电动势的大小，也可用 DIS 实验室装置（图 2-30）进行实验。你还可以选择其他的实验装置，或对图 2-28、图 2-29 的装置进行一番改造，以改进实验效果。

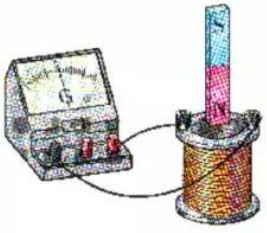


图 2-28　探究感应电动势大小的实验装置之一

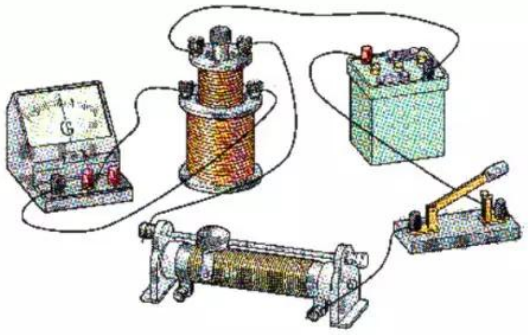


图 2-29　探究感应电动势大小的实验装置之二

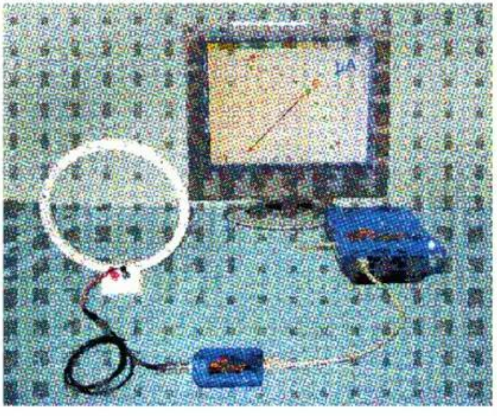


图 2-30　用 DIS 实验室装置探究感应电动势大小

实验中要求你观察：感应电动势大小跟磁通量变化大小的关系；感应电动势大小跟磁通量变化快慢的关系；磁场方向对感应电动势的大小是否有影响。

请记录实验现象。

请与同学交流讨论：通过上述实验，你认为感应电动势大小与磁通量的变化存在怎样的关系？

法拉第电磁感应定律

实验结果说明，感应电动势大小跟闭合电路中磁通量变化的

快慢有关。

请思考："磁通量变化大小"与"磁通量变化快慢"有什么区别？

精确的实验和理论分析证明：闭合电路中感应电动势 E 的大小，跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。这就是法拉第电磁感应定律。

数学是其他一切科学的理想和模型。

——笛卡儿

法拉第电磁感应定律的数学表达式是：

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

式中 k 是比例系数，它的值与式中各物理量所取的单位有关。

1845年，德国物理学家诺伊曼(F. E. Neumann)在法拉第工作的基础上，从理论上导出了感应电动势的定量表达式。5年后，法拉第又通过实验证明了这个表达式的正确性。

请讨论：式中各符号所表示的物理量意义是什么？在国际单位制中，式中各物理量取什么单位？

请证明：在国际单位制中，$k = 1$。

在国际单位制中，法拉第电磁感应定律的表达式为：

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \tag{1}$$

在实际的电磁感应电路中，常常采用多匝线圈，这是为什么呢？设闭合电路是一个 n 匝线圈，而且穿过每匝线圈的磁通量变化率都相同，则每个线圈产生的电动势大小相同。而 n 匝线圈产生的感应电动势，相当于 n 个具有相同电动势的电源串联起来的感应电动势，所以整个线圈中感应电动势的大小就是单匝线圈感应电动势的 n 倍，即

$$E = n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \tag{2}$$

可见，采用多匝线圈可以得到较大的感应电动势。

我们知道，感应电流是有方向的。感应电动势也是有方向的。

请讨论：如何判断感应电动势的方向？它跟感应电流的方向有何关系？指出前面几个电磁感应电路中感应电动势的方向。

如果感应电动势是由于导体切割磁感线产生的，那么如何计算其大小呢？

分析论证 计算导体切割磁感线产生的感应电动势

如图 2-31 所示，在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，有相距为 l 的两平行金属导轨 dc 和 ef，d、e 两端用电有一电流表的导线相连，两导轨所在平面跟磁感线垂直。一根金属棒搁在导轨上，棒与导轨垂直。设金属棒在 Δt 时间内由原来位置 ab 匀速运动到位

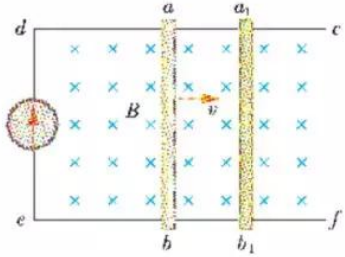


图 2-31 金属棒在导轨上移动，方向跟磁场方向垂直

置 a_1b_1，运动速度为 v，求金属棒与导轨接触的两点间的感应电动势。

这里，一端相连的金属导轨与金属棒构成了所研究的闭合电路，磁感线方向与电路所在平面垂直，穿过此电路的磁通量 Φ 等于磁感应强度 B 和电路所围面积 S 的乘积：

$$\Phi = BS$$

请讨论：当金属棒从 ab 位置运动到 a_1b_1 位置时，磁通量 Φ 变化了多少？磁通量的变化率多大？

请证明：金属棒切割磁感线所产生的感应电动势的大小是：

$$E = BLv \tag{3}$$

(3)式说明，当导体沿着跟磁感线垂直的方向切割磁感线时，产生的感应电动势等于磁感应强度、导体切割磁感线部分的长度、导体运动速度这三者的乘积。

请讨论：在国际单位制中，(3)式中各物理量的单位是什么？

如果导体运动方向与磁感线方向不垂直，那么怎样计算感应电动势呢？在图 2-32 中，圆点表示金属棒的横截面，棒的运动方向跟其自身方向垂直，但跟磁感线方向的夹角为 θ。

请证明：这时导体切割磁感线产生的感应电动势为：

$$E = BLv\sin\theta \tag{4}$$

请根据(4)式讨论：导体在磁场中运动时，感应电动势的大小与运动方向有什么关系？你的结论跟你的实验观察相同吗？

1851年，法拉第在《论磁力线》一文中对电磁感应描述道："无论导线是垂直地还是倾斜地跨过磁力线，也无论是沿某一方向或沿另一方向，该导线都把所跨过的力线所示的力汇总起来。"

(1)式中的感应电动势，是由于电路的磁通量变化而产生的，所以又叫做感生电动势；(3)式中的感应电动势，是由于导体在磁场中运动而产生的，所以又叫做动生电动势。在一般情况下，对这两者不加区别，统一叫做感应电动势。

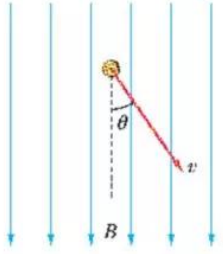


图 2-32　导体运动方向与磁感线方向不垂直

案例分析

案例　在图 2-31 中，设电流表相当于一个电阻值为 1Ω 的电阻 R，磁场的磁感应强度 B 为 0.1T，导轨间的距离 L 为 1 m，金属棒与导轨接触的两点间电阻为 1 Ω，导轨电阻不计。金属棒在垂直于棒和磁场的恒力 F 的作用下，以 10 m/s 的速度从 ab 移动到 a_1b_1，移动距离是 0.5m，求：

(1) 金属棒与导轨接触的两点间的电动势。

(2) 施加在金属棒上的恒力 F 的大小。

(3) 在金属棒运动过程中，能量的转化情况。

分析　从电磁感应的角度看，在金属棒、导轨和电阻 R 所组成的闭合电路中有电流，是由于金属棒切割了磁感线。从电路的角度看，要在闭合电路中有电流，必须要有电源，金属棒就是该电路的电源。金属棒中产生的感应电动势就是电路的电动势，金属棒与导轨接触的两点是电源的两极。在电源内部，电流从电源负

极流向正极，棒中感应电流的方向就是电源内部电流的方向，棒与导轨 dc 接触的点是电源的正极，与 ef 接触的点是负极。电阻 R 是外电路负载，金属棒在导轨间的电阻是电源内电阻。

解答

根据上述分析，对于问题(1)、(2)，你能得出下列结果吗？

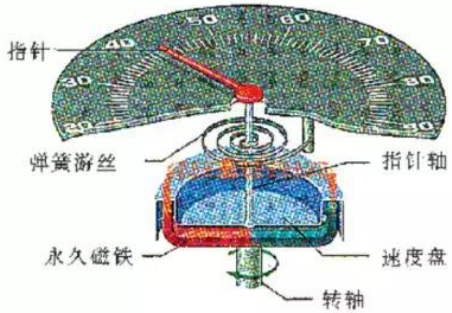
$$E = 1\text{V} \qquad F = 0.05\text{N}$$

问题(3)。金属棒在力 F 作用下运动，切割磁感线，产生感应电动势和感应电流。力对金属棒做的功产生了电能，感应电流在电阻 R 和金属棒上又转化为热能。

信息浏览

电磁感应原理与汽车速度计

在《物理 1》1.3 节的“信息浏览”中，我们简单介绍了汽车速度计的工作原理。现在根据电磁感应原理，作一较详细的介绍。速度计的内部结构如图 2-33a 所示，其中永久磁铁与汽车驱动轴相连，汽车行驶时，永久磁铁将被驱动轴带着同步转动。图 2-33b 是速度计的刻度盘。



a



b

图 2-33 汽车速度计的结构示意图

永久磁铁的磁感线方向已在图 2-33a 中画出，其中一部分磁感线将通过用导体制成的速度盘。磁感线在速度盘上的分布显然是不均匀的，越接近磁极的地方磁感线越密。当驱动轴带动永久磁铁转动时，通过速度盘各部分的磁感线将发生变化：在磁铁转动的前方，磁感线将变密，因此磁感应强度将增加；而在后方，磁感应强度将减小。由法拉第电磁感应定律，穿过导体的磁通量发生变化时，在导体内部会产生感应电流。又根据楞次定律，在磁铁转动的前方，感应电流产生的磁感线与磁铁产生的磁感线方向相反，它们之间互相排斥；而在后方，感应电流的磁感线与磁铁产生的磁感线方向相同，它们之间相互吸引。由于这种排斥和吸引作用，速度盘被磁铁“推”着“拉”着，发生了转动。通过指针轴，刻度盘上的指针也随之一起转动。

指针当然是不能一直转下去的，因此在指针轴上连有弹簧游丝，游丝的另一端固定在速度计外壳上。当指针转到一定角度时，游丝被扭转，产生反向的力矩，当这个力矩跟永久磁铁使速度盘发生转动的力矩相等时，速度盘就停留在这个位置。这时，指针便指示出相应的车速。

汽车行驶速度增大时，永久磁铁的转动速度也同步增大，速度盘中感应出的电流及相应的使速度盘发生转动的力矩将按比例增大，使指针转过更大的角度。因此，车速不同，指针指出的车速值也相应不同。当汽车停止行驶时，磁铁停转，弹簧游丝使指针复位，指针便指在“0”处。

本章作业与活动

1. 感应电动势的计算公式有 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 和 $E=BLv$ 两个，这两个公式是完全相同的吗？在分析实际问题时，应该如何区分，使用这两个公式？

2. 如图 2-34 所示，O 点正下方有一个具有理想边界的磁场，铜环在 A 点从静止状态释放，向右摆到最高点 C。不考虑空气阻力，下列说法中正确的是

A. A、C 两点在同一水平线上

B. A 点高于 C 点

C. A 点低于 C 点

D. 铜环将做等幅摆动

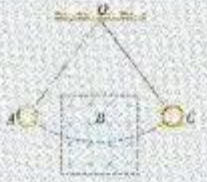


图 2-34

3. 图 2-35 是法拉第制作的世界上第一台发电机的模型原理图。把一个铜盘放在磁场里，使磁场线平直穿过铜盘，转动铜盘，就可以获得持续的电流。试解释其原理。



图 2-35

4. 如图 2-36 所示，在虚线圆周内有一均匀的磁场，其磁感应强度 B 正以 0.1T/s 的变化率减小。在圆周内放一金属圆环，使圆环平面垂直磁场。已知此圆环半径为 0.1m。

(1) 圆环中产生的感应电动势为多大？

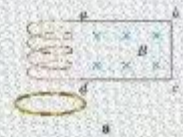
(2) 设圆环的电阻为 1Ω，则圆环中的电流为多大？

(3) 仍设圆环的电阻为 1Ω，但在环上某处将圆环断开，并在断开形成的两端点间接入一个 4Ω 的电阻，这两端点的电压为多大？

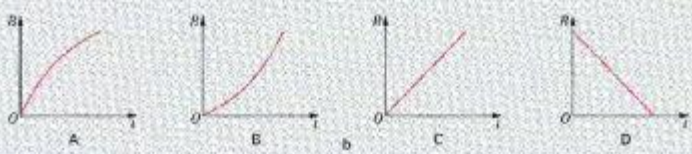


图 2-36

5. 如图 2-37a 所示，竖直放置的螺线管与导线 $abcd$ 构成闭合电路，电路所围区域内有方向垂直纸面向里的匀强磁场，螺线管下方水平桌面上有一个导体圆环。电路所围区域内磁场的磁感应强度按图 2-37b 中哪种图像所表



a



b

图 2-37

周南物理段石峰

示的方式随时间变化时，导体圆环将受到向上的磁场作用力？

6 已知某一区域的地下埋有一根与地表面平行的直线电缆。当电缆中通有变化的电流时，在其周围就有变化的磁场。我们在地面上用一个闭合试探线圈可探测电缆的确切位置、走向和深度。

如图 2-38 所示，让线圈平面平行于地面，进行测量，这时在地面上 a、c 两处测得试探线圈中的电动势为零，在 b、d 两处线圈中的电动势不为零。当线圈平面与地面成 45°夹角，且线圈平面的法线和 bd 在同一平面上时，在 b、d 两处测得试探线圈中的电动势为零。已知 a、b、c、d 恰好位于边长为 1m 的正方形的四个顶点上，问：

(1) 地下电缆应该处在哪两点连线的正下方？

(2) 地下电缆离地表面的深度为多少？



图 2-38

器配合使用？

热轧生产线上的传感器

图 5-23 是在轧钢厂的热轧生产线上控制热轧钢板厚度的传感器示意图。在钢板上下两侧各设电容器的一块极板，两极板均与控制电路相连。

钢板厚度发生变化时，电容器的电容就会变化，让控制电路及时发出调节指令。

此外，生产中的自动控制系统和安全报警系统都离不开传感器。

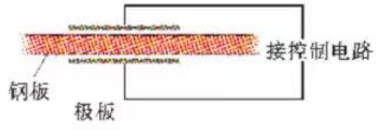


图 5-23 控制热轧钢板厚度的传感器示意图

智能传感器

智能传感器源于航天器的开发。对于航天飞机来说，它在太空中的位置、速度、加速度、飞行姿态，以及航天员居住空间的温度、湿度、空气成分、微量气体等，都需要有各种传感器去获取信息，并用电子计算机进行处理。于是人们将传感器与计算机构成一个整体，这就是智能传感器。机器人身上就大量使用了各种智能传感器。

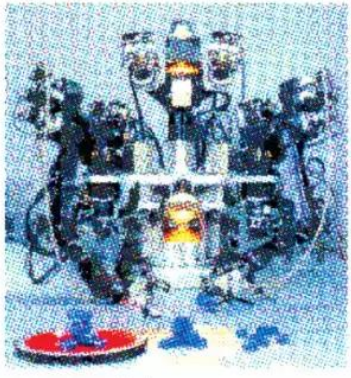


图 5-24 机器人

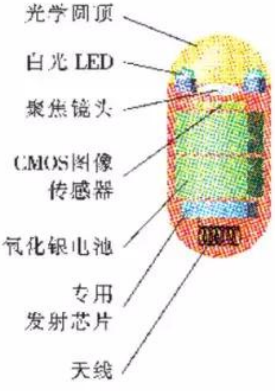


图 5-25 无线肠胃检查药丸



图 5-26　重仅 10g，具有摄像功能的“微船”MAV

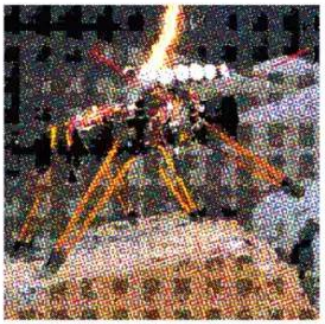


图 5-27　“蚂蚁”探测器可用于搜索炸弹

微型传感器

微型传感器是由亚微米至亚毫米范围内的电子元件和机械元件制成的，将传感、处理、执行诸功能融为一体的微机电系统。微型传感器尺寸小，集成化程度高，功能强大。它使人类获取信息并进行相应控制的工作可深入到微米量级的空间中进行。利用微型传感器制成的无线肠胃检查药丸可以检查胃肠道，并将病理信息发射到人体外的仪器上，供医生准确地诊断疾病。

如今，智能传感器和微型传感器已广泛用于生活、生产、军事、科研等各个领域。例如，可进入人体清除脑血栓的微型机器人，会让《西游记》中的孙悟空自叹弗如；能深入敌营进行侦察破坏的机器苍蝇、机器蚂蚁，会让《封神演义》中的十行孙望尘莫及。

传感器的使用，特别是智能传感器和微型传感器的开发、利用，使人类收集信息的能力得到极大的扩展和延伸，获取信息的手段更方便、更快捷，涉及领域更广阔、更深入。

世界各国都非常重视传感器在信息技术中的作用，将传感器技术列为重点发展的尖端技术，我国从事传感器研究的单位就有几千个。

信息浏览

各种微型探测器

人体消化道智能诊查系统

它包括一粒微型探测胶囊和便携式体外接收存储装置、体外超声探测定位装置、体外数据处理系统。患者服用一粒微型探测胶囊，该胶囊从上到下经过整个消化道时，就会将各段消化道的压力、温度、pH 值等参数记录下来并传输给体外接收与处理系统。这种检查不会给患者造成创伤。

“蚂蚁”探测器

每只“蚂蚁”探测器的大小与大拇指相当，质量仅 29g，通常带有 4 个光传感器、4 个红外接收器，以及防撞传感器、防倾斜传感器和探测“食物”存在的传感器。它可用于搜索炸弹。

“苍蝇”导弹

它的体型如同苍蝇般大小，能不停地飞行几个小时，速度高达 20km/h。它能垂直升降，急速调头，悬停空中，“隐身”潜伏，收发微波信息。当将超微型窃听、窃看装置站在“苍蝇”导弹背上后，就可进行侦察。

信息社会离不开传感器

随着信息技术的发展，生活、生产、科研中大量信号的检测、控制和处理已成为可能。数字式传感器能将非电学信号直接转换

为数字信号，在自动检测和自动控制中得到了日益广泛的应用。智能式传感器集信息检测、信息处理、信息记忆、逻辑思维和判断功能于一身。把计算机、各种用途的传感器和输入输出接口等制作在同一块芯片上，即成为大规模集成电路智能传感器，其功能得到大大提高。现代信息社会离开传感器，就像人类没有了“五官”，将寸步难行。

信息浏览

传感器在家用电器上的应用

		彩电	冰箱	吸风机	录像机	电饭锅	煤气用具	室内空调	洗衣机	报警器
温度传感器	压力式		●				●	●		
	双金属							●		
	热电偶						●			
	热敏电阻		●					●		●
	PTC	●		●	●			●		●
	CTR					●				
	感温铁淦氧					●				
	热膨胀元件			●						
	温度保险丝	●			●	●		●		
光传感器		●			●					●
压力传感器									●	
湿度传感器			●		●					
气体传感器							●			●
烟雾传感器										●
接触传感器		●			●				●	●

遥测与遥感

什么是遥感遥测？遥感遥测就是利用遥感飞机、航天实验室、地球卫星等飞行器上配置的多光谱摄影机、多光谱扫描仪、红外扫描仪、面阵列固体扫描仪等传感器，对远距离目标物进行探测。这是一种不直接接触目标物而能收集信息，并对其进行识别、分析、判断和给出结果的自动化程度很高的监测手段。遥感遥测的范围可以很广、很大、很深、很全面。利用遥感遥测技术，人们可以通过计算机和互联网进行连续的实时监测，并将测得结果远距离

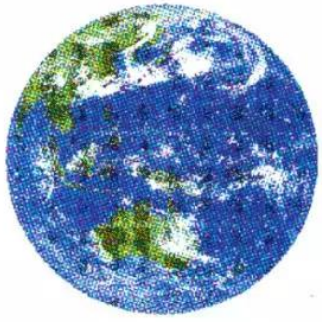


图 5-28 我们的家园——地球的遥感图像

传输。

遥感遥测的基本原理是通过遥感传感器对观测目标产生的电磁波、热辐射进行远距离收集、转换，用计算机处理、识别，得出结论。

遥感遥测技术应用广泛，它在地球资源勘测、环境监控、气象预报、军事侦察等方面的突出功能是其他测控方法无法取代的。

资源卫星是通过遥感遥测技术来勘测和研究地球的自然资源的卫星，它能“看透”地层，发现人们肉眼看不见的地下宝藏、历史古迹、地层结构，能普查农作物、森林、海洋等资源，预报各种自然灾害。

2002年5月15日，我国发射了一颗名为“风云一号D星”的海洋水色卫星，用于海洋环境监测。利用这颗卫星，可以对空气污染、水污染、海洋环境进行全面的监测，对全面的环境保护起到了很重要的作用。

军事侦察卫星利用可见光遥感器，在白天能跟踪地面上行走的人，在夜晚可精确地测到崇山峻岭中的篝火，一切军事调动都逃不过它的“眼睛”。这些准确的情报对指挥官的正确指挥起到了重要的作用。

遥感遥测技术还能把收集到的关于目标的电磁波信息用图像形式表达出来，如气象云图、遥感地图等。

家庭作业与活动

1. 你在生活中还见到过哪些用传感器控制电路的例子？它们的工作原理是什么？请将你的观察结果与同学们交流。
2. 请从网上或参考资料上查找传感器技术的最新进展，写一篇调研报告。

5.x

第 5 章家庭作业与活动

1. 某同学想把弹簧振子的振动位移的变化情况直观地表现出来。他做了一个实验，实验装置如图 5-29 所示。在陶瓷压电片下挂一个弹簧振子，陶瓷压电片的两极引线与示波器 Y 输入端相连。让弹簧振子振动起来，选择适当的 X 扫描频率，他会观察到什么现象？分析形成这种现象的原因。

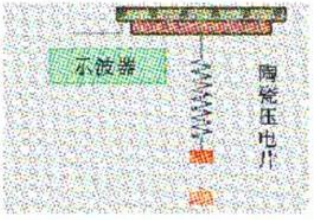


图 5-29

2. 图 5-30 是一种测定压力的电容式传感器。当待测压力 F 作用于可动膜片电极上时，可使膜片产生形变，引起电容的变化。如果将这个电容式传感器、灵敏电流计和电源串接成闭合电路，那么

A. 当 F 向上压膜片电极时，电容将变小

B. 当 F 向上压膜片电极时，电容将变大

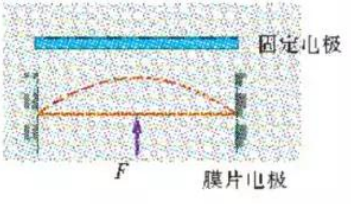


图 5-30

C. 若电流计有示数，则压力 F 发生变化

D. 若电流计有示数，则压力 F 不发生变化

3. 图 5-31 是应变式传感加速度计的原理图。支架 AB 固定在待测系统上。滑块穿在 AB 之间的水平光滑杆上，并用轻弹簧连接在 A 端。其下端还有一滑动触头，可在滑动变阻器上自由滑动。随着待测系统沿水平方向做变速运动，滑块相对支架将发生位移，并通过电路转化成电信号，从电压表输出。已知电压表量程为 8V，滑块质量为 0.1kg，弹簧劲度系数 $k = 20\text{N/m}$，电源电动势 $E = 10\text{V}$，内阻不计，滑动变阻器总阻值 $R = 40\Omega$，有效总长度 $L = 8\text{cm}$。当待测系统静止时，滑动触头 P 位于变阻器 R 的中点，取 $A \to B$ 方向为加速度正方向。

（1）确定该加速度计测量加速度的范围。

（2）为保证电压表能正常工作，电路中 R_0 至少为多大？

（3）根据 R_0 的最小值，写出待测系统沿 $A \to B$ 做变速运动时电压表的读数 U_V 与加速度 a 的关系式。

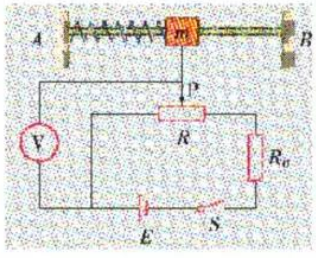


图 5-31

课题研究

探究家庭抽油烟机上的煤气泄漏探测装置

选用（或自制）合适的一氧化碳气敏传感器，设计电路，选择最佳安装位置，安装并测试。

探究宾馆的自动门是如何开闭的

分析自动门使用传感器的原理，分析其优点以及有待改进的地方。

总结与评价　课题研究成果报告会

亲爱的同学：

祝贺你即将完成物理 3-2 的学习。在那些激动人心的探索活动中，你和你的同学经历了困难的考验，也享受了成功的喜悦。在学完本书后，你一定想让同学们分享自己的研究成果，那么，就让我们开一个“课题研究成果报告会”吧！

你可以把你平时做过的最满意的课题拿来，再做进一步的研究，取得更有意义的成果，到这个报告会上去展示；你也可以从下面的研究课题示例中，选择你感兴趣的课题，自己或与同学合作进行研究。当然，你还可以自选其他课题进行研究。

在这个报告会上，也许没有宏篇大论，也许没有什么重大发明。但这里展示的成果，铭刻着你们的勤奋，凝聚着你们的心血……这里，最可贵的是真实！

简单就是美丽，巧妙就是智慧！

这个“课题研究成果报告会”，将让你的智慧放出灿烂的火花，让你的才智得到充分的展示！

研究课题示例

电磁式打点计时器的原理和应用

我们已多次使用过电磁式打点计时器。电磁式打点计时器为什么能打出相等时间间隔的点？它的打点频率能改变吗？观察电磁式打点计时器，再查阅一些资料，分析打点计时器的原理，根据打点计时器的性能，设计一个用到打点计时器的实验。

电磁感应与我们的生活

从图书、网络等查找资料，调查电磁感应在生活中有哪些应用。可以一个生活用具为例，进行分析，写出调查报告。

研究感应式电动机原理

感应式电动机又叫鼠笼式电动机。到电机制造厂或电机维修部门去，观察这种电动机的构造，并访问技术人员，查阅资料，在老师的帮助下做有关的实验，了解感应式电动机的工作原理。

调查当地的用电情况

调查当地居民用电和工业用电的状况，写出一份调查报告。

传感器在现代生活中的应用

市场上有许多具有自动控制功能的家用电器，请调查一下：它们为什么有自动控制功能呢？它们是否有传感器？其传感原理是什么？再查阅资料，写出一份关于传感器在现代生活中应用的报告。

利用传感器制作一个测量或控制装置

到电子市场做一些调查，选择一种敏感元件（例如热敏电阻、光电二极管等），再从电子器件手册或传感器手册上查阅有关传感器的性能和有关的电路图，设计并制作一个简单实用的测量或控制装置。为完成这个设计制作，你可能还要学习一些电子线路方面的知识。

评价表

课题名称：

姓名：　　完成日期：

合作者：

1. 课题设计思路：

2. 课题研究过程：

3. 收集的主要资料或证据：

4. 分析论证：

5. 研究成果和结论：

6. 自我评价：

我在课题研究中的表现：　　我对小组研究的贡献是：　　我擅长的是：

我在研究中遇到的困难是：　　我在这些方面应该做得更好：

自我评价等级(在评价的等级上画圈)：

A级(优秀)　B级(良好)　C级(合格)　D级(低于标准)

7. 小组评语：

建议从成果的科学性、创造性、实践性，以及从参与课题研究的热情和态度、克服困难的勇气、团队合作精神等方面进行评价。

8. 老师评语：

建议从成果的科学性、创造性、实践性，以及从参与课题研究的热情和态度、克服困难的勇气、团队合作精神等方面进行评价。