





学习目的与要求

电工技术中不仅要讨论电路问题，还将讨论磁路问题。因为很多电工设备与磁路都有关系，如电力系统中广泛应用的变压器、电动机、发电机、电磁铁及电工测量仪表等。

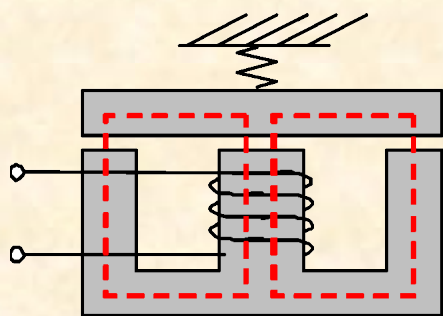
为了更好的学习变压器、电机、电器的工作特性及应用，首先在理解有关磁路的问题。磁路问题与磁场有关，与磁介质有关，而且磁场往往还与电流相关联，因此本章要先从磁路、磁场及其基本物理量进行研究。

通过本章学习，要求了解变压器的基本结构组成，熟悉变压器的用途，理解和掌握变压器变换电压、变换电流及变换阻抗的作用；了解常用的特殊变压器。

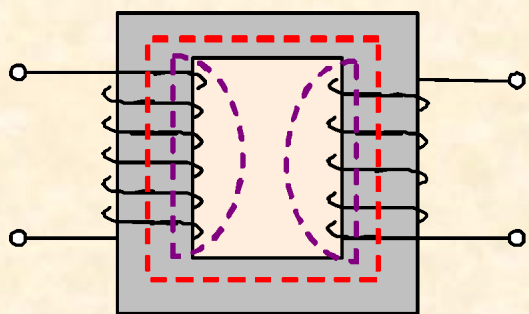


4.1 铁芯线圈、磁路

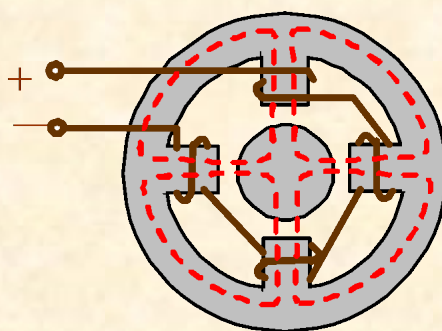
工程应用实际中，大量的电气设备都含有线圈和铁心。当绕在铁芯上的线圈通电后，铁芯就会被磁化而形成铁芯磁路，磁路又会影响线圈的电路。因此，电工技术不仅有电路问题，同时也有磁路问题。



(a) 电磁铁的磁路



(b) 变压器的磁路



(c) 直流电机的磁路

常用电气设备铁芯示意图中红色虚线表示磁路中的工作主磁通的路径；紫色虚线表示通过空气闭合的极少部分漏磁通。



1. 磁路的基本物理量

线圈通电后使铁芯磁化，形成铁芯磁路。

(1) 磁通

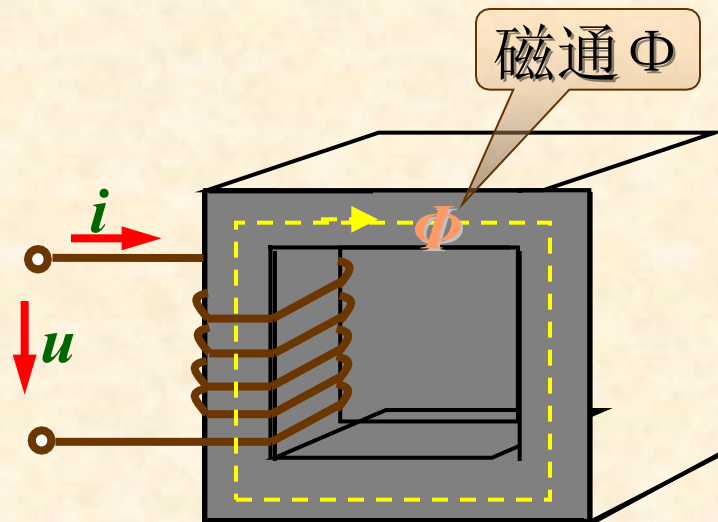
通过磁路横截面的磁力线总量称为磁通，用“ Φ ”来表示。单位是韦伯[Wb]。

均匀磁场中，磁通 Φ 等于磁感应强度 \mathbf{B} 与垂直于磁场方向的面积 S 的乘积，即：

$$\Phi = BS$$

磁通是标量。其大小反映了与磁场相垂直的某个截面上的磁场强弱情况。磁通的国际单位制中还有较小的单位称为麦克斯韦[Mx]，韦伯和麦克斯韦之间的换算关系为：

$$1\text{Wb}=10^8\text{Mx}$$





(2)磁感应强度

磁感应强度是表征磁场中某点强弱和方向的物理量。用大写字母“**B**”表示。**B**是矢量，**B**的方向就是置于磁场中该点小磁针N极的指向。匀强磁场中，**B**的大小可用载流导体在磁场中所受到的电磁力来定义。即：

$$B = \frac{F}{Il}$$

上式中，电磁力**F**的单位是牛顿[N]、电流的单位是安培[A]、导体的有效长度(与磁场方向相垂直方向的长度投影)单位是米[m]时，磁感应强度**B**的单位是特斯拉[T]。

由 $\Phi=BS$ 可知，匀强磁场中某截面**S**上**B**值越大，穿过该截面上的磁力线总量越多。因此，磁感应强度也常称为磁通密度。磁感应强度的国际单位制中还有较小的单位高斯[Gs]，特斯拉和高斯之间的换算关系为：

$$1T=10^4Gs$$



(3) 磁导率 μ

磁导率是反映自然界物质导磁能力的物理量，用希腊字母“ μ ”表示。物质的种类很多，且导磁能力也各不相同，为了有效地区别它们各自的导磁能力，我们引入一个参照标准——真空的磁导率 μ_0 ：

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

自然界中各种物质的磁导率均与真空的磁导率相比，可得到不同的比值，我们把这个比值称为相对磁导率，用“ μ_r ”表示，即：

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

显然，相对磁导率无量纲，其值越大，表明该类物质的导磁性能越好；反之，导磁性能越差。



根据相对磁导率 μ_r 值的不同，自然界的物质大致可分为两大类：

(1)非磁性物质

如空气、塑料、铜、铝、橡胶等。这些物质的导磁能力很差，磁导率均与真空的磁导率非常接近，它们的相对磁导率均约等于1。非磁性物质的磁导率可认为是常量。

(2)铁磁性物质

如铁、镍、钴、钢及其合金等。这些物质的导磁能力非常强，其磁导率一般为真空的几百、几千乃至几万、几十万倍。如铸铁，其相对磁导率 $\mu_r \approx 200 \sim 400$ ；铸钢的相对磁导率 $\mu_r \approx 500 \sim 2200$ ；硅钢的 $\mu_r \approx 7000 \sim 10000$ ；坡莫合金的 $\mu_r \approx 20000 \sim 200000$ 。显然，铁磁物质的磁导率不是常量，而是一个范围，即随外部条件变化。铁磁性物质的相对磁导率大大大于1。



(4) 磁场强度

磁场强度也是表征磁场中某点强弱和方向的物理量，用大写字母“H”表示。H也是矢量，H的方向也是置于磁场中该点小磁针N极的指向。



磁场强度和磁感应强度有何区别和联系？

磁感应强度是描述磁路介质的磁场某点强弱和方向的物理量，与介质的导磁率有关；磁场强度是描述电流的磁场强弱

和方向的物理量，与介质的导磁率无关。它们之间的联系为：

$$H = \frac{B}{\mu} [\text{A/m}]$$

磁场强度H的单位有安每米和安每厘米，二者之间的换算关系为：

$$1\text{A/m} = 10^{-2}\text{A/cm}$$



2. 磁路欧姆定律

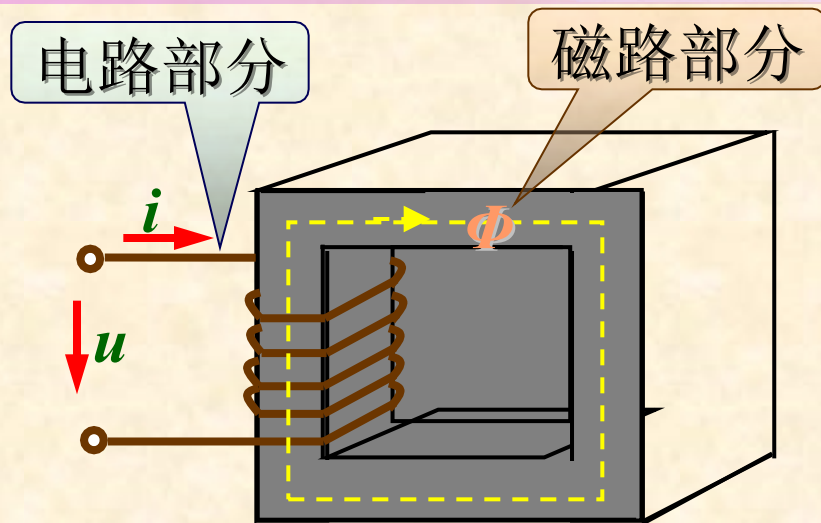
交流铁芯线圈磁路通常由硅钢片叠压制成，导磁率很高。当套在铁芯上的线圈通电后，铁芯迅速被磁化，成为一个人为集中的强磁场。

电流通过N匝线圈所形成的磁动势用 $F_m=NI$ 表示，磁路对磁通所呈现的阻碍作用用磁阻 R_m 表示，磁动势、磁通和磁阻三者之间的关系可表述为：

磁路欧姆定律

$$\Phi = \frac{F}{R_m} = \frac{IN}{R_m}, \text{ 其中磁阻 } R_m = \frac{l}{\mu S}$$

磁路欧姆定律中的磁阻 R_m 与磁导率 μ 有关，因此对铁芯磁路来讲是一个变量，定量计算很复杂，因此没有电路欧姆定律应用得那么广泛，通常只用来定性分析磁路的情况。

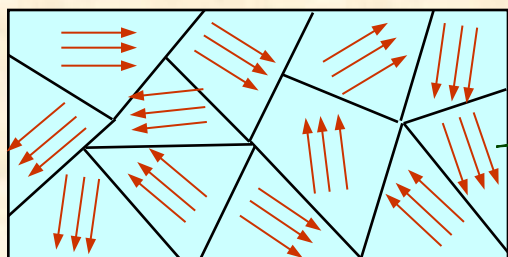


交流铁芯线圈示意图



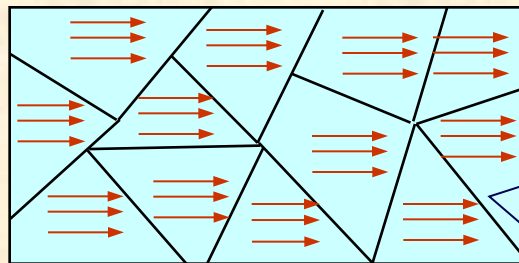
3. 铁磁物质的磁性能

(1) 高导磁性



通常情况下，铁磁材料内部的磁畴排列杂乱无章，其磁性相互抵消，因此对外不显示磁性。

铁磁材料之所以具有高导磁性。是因为在其内部具有一种特殊的物质结构——**磁畴**。这些磁畴相当于一个个小磁铁。



磁畴在外界磁场的作用下，均发生**归顺性转向**，使得铁磁材料内部形成一个很强的**附加磁场**。

有外磁场作用时

铁磁材料内部往往有相邻的几百个分子电流圈流向一致，这些分子电流产生的磁场叠加起来，就形成了一个天然的小磁性区域——**磁畴**。不同铁磁物质内部磁畴的数量不同。

显然，**磁畴**是由分子电流产生的。

磁畴是怎么形成的？



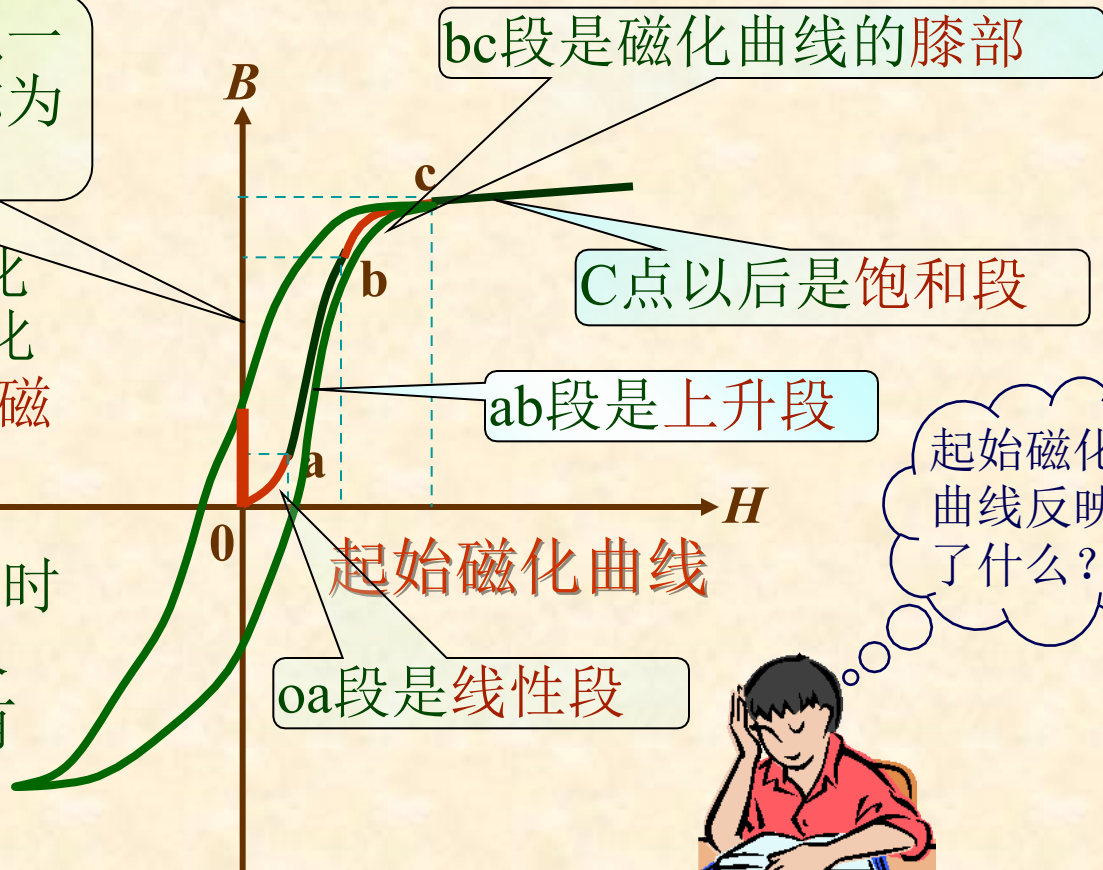


铁磁材料的磁饱和性、磁滞性和剩磁性

铁磁材料反复磁化一周所构成的曲线称为磁滞回线。

磁滞回线中 B 的变化总是落后于 H 的变化说明铁磁材料具有磁滞性。

磁滞回线中 H 为零时 B 并不为零的现象说明铁磁材料具有剩磁性。



起始磁化曲线反映了什么?



起始磁化曲线的ab段反映了铁磁材料的高导磁性；c点以后说明铁磁材料具有磁饱和性。



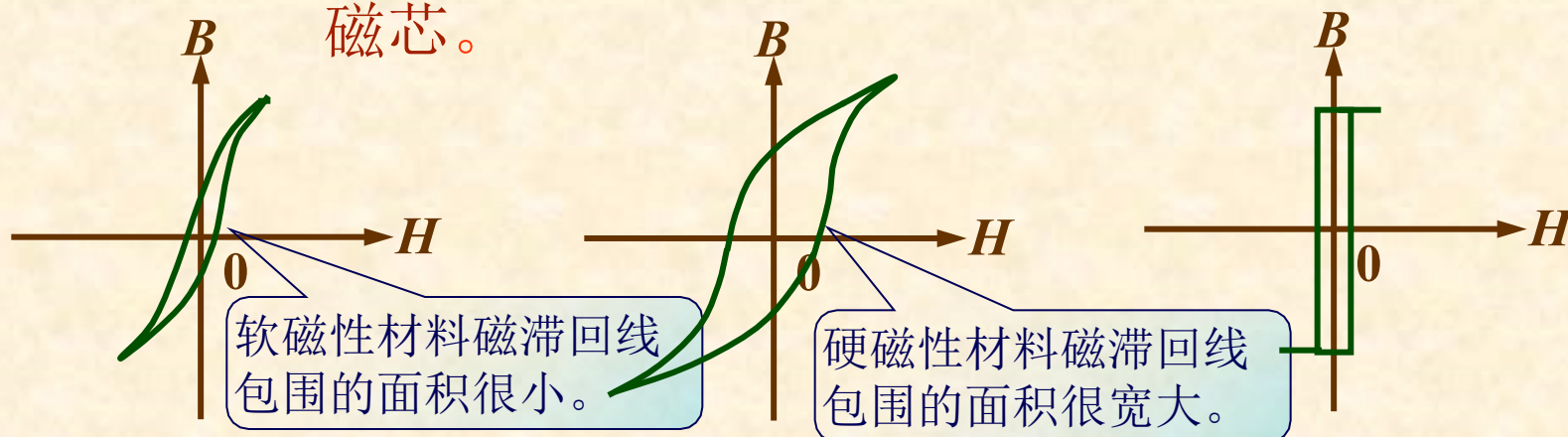
4、铁磁材料的分类和用途

铁磁材料根据工程上用途的不同可以分为三大类：

软磁材料 软磁材料具有磁导率很高、易磁化、易去磁的显著特点，适用于制作各种电机、电器的铁心。

硬磁材料 硬磁材料的磁导率不太高、但一经磁化能保留很大剩磁且不易去磁，适用于制作各种永久磁体。

矩磁材料 矩磁材料磁导率极高、磁化过程中只有正、负两个饱和点，适用于制作各类存储器中记忆元件的磁芯。





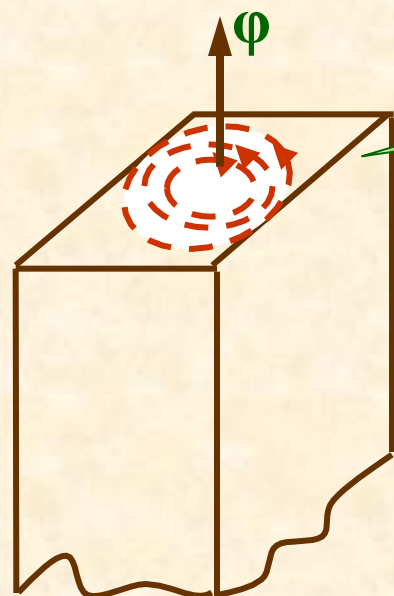
5. 铁芯损耗

(1) 磁滞损耗

铁磁材料反复磁化时，内部磁畴的极性取向随着外磁场的交变来回翻转，在翻转的过程中，由于磁畴间相互摩擦而引起的能量损耗称为**磁滞损耗**。磁滞损耗使铁芯发热。

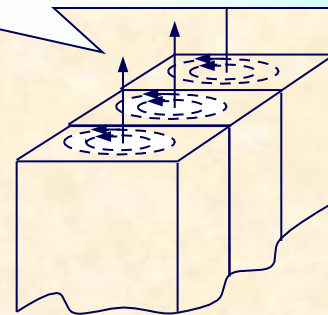
(2) 涡流损耗

在交变磁场作用下，整块铁芯中产生的旋涡状**感应电流**称为**涡流**。



涡流对电气设备有何影响？

为减小涡流损耗，常用硅钢片叠压制成电机电器的铁芯。



根据电流的热效应原理，涡流通过铁芯时将使铁芯发热，显然涡流增加设备绝缘设计的难度，涡流严重时会造成设备的烧损。



6. 主磁通原理

对交流铁芯线圈而言，设工作主磁通为：

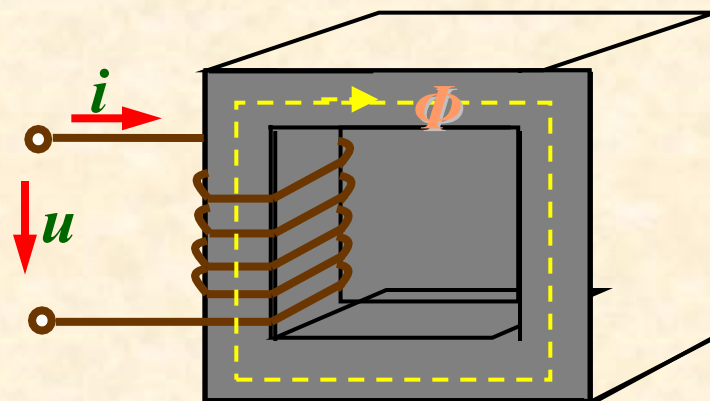
$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

交变磁通穿过线圈时，在线圈中感应电压，其值为：

$$\begin{aligned} u_L &= N \frac{d\Phi_m \sin \omega t}{dt} = \Phi_m N \omega \cos \omega t \\ &= \underline{2\pi f N \Phi_m} \sin(\omega t + 90^\circ) \\ &= \underline{U_m} \sin(\omega t + 90^\circ) \end{aligned}$$

可得： $U \approx 4.44 f N \Phi_m$ 主磁通原理

主磁通原理告诉我们，只要外加电压有效值及电源频率不变，铁芯中工作主磁通最大值 Φ_m 也将维持不变。





例 某含有气隙的铁芯线圈，线圈两端加有效值为 U 的交流电压，当气隙增大时，铁芯中的主磁通是增大还是减小？线圈中的电流如何变化？

分析 气隙增大时，铁芯磁路中的磁阻增加，但由于电源电压有效值为 U 和频率 f 并无改变，根据主磁通原理可知，铁芯磁路中的工作主磁通 Φ 并不发生改变。根据磁路欧姆定律：

$$\Phi = \frac{IN}{R_m}$$

磁通不变，则上式中的比值也应不变。因此，当磁阻 R_m 增大时，线圈中通过的电流必定增大。



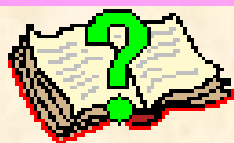
一个交流电磁铁，因出现机械故障，造成通电后衔铁不能吸合，结果把线圈烧坏，试分析其原因。



电磁铁线圈中的额定电流是根据吸合后的电流限值设定的。当通电后不能吸合时，由于铁芯和衔铁之间存有一定的气隙，造成铁芯磁路中的磁阻大大增加。由磁通原理可知，此时铁芯磁路中的工作主磁通 Φ 并不发生改变。若要满足磁路欧姆定律：

$$\Phi = \frac{IN}{R_m}$$

就必须增大线圈中的电流，而且气隙虽小，但磁阻远大于铁芯中的磁阻，此时线圈电流将是额定电流的许多倍，从而造成线圈烧毁。



检验学习结果

磁通 Φ 、导磁率 μ 、磁感应强度 B 和磁场强度 H 分别表征了磁路的哪些特征？

您能很快说出磁场几个物理量的单位吗？
能否说出 B 和 H 的区别和联系？

你能说出根据导磁性能的不同自然界中物质的分类吗？

根据工程上用途的不同？铁磁性材料可分为几类？能否说出它们的特点和用途？



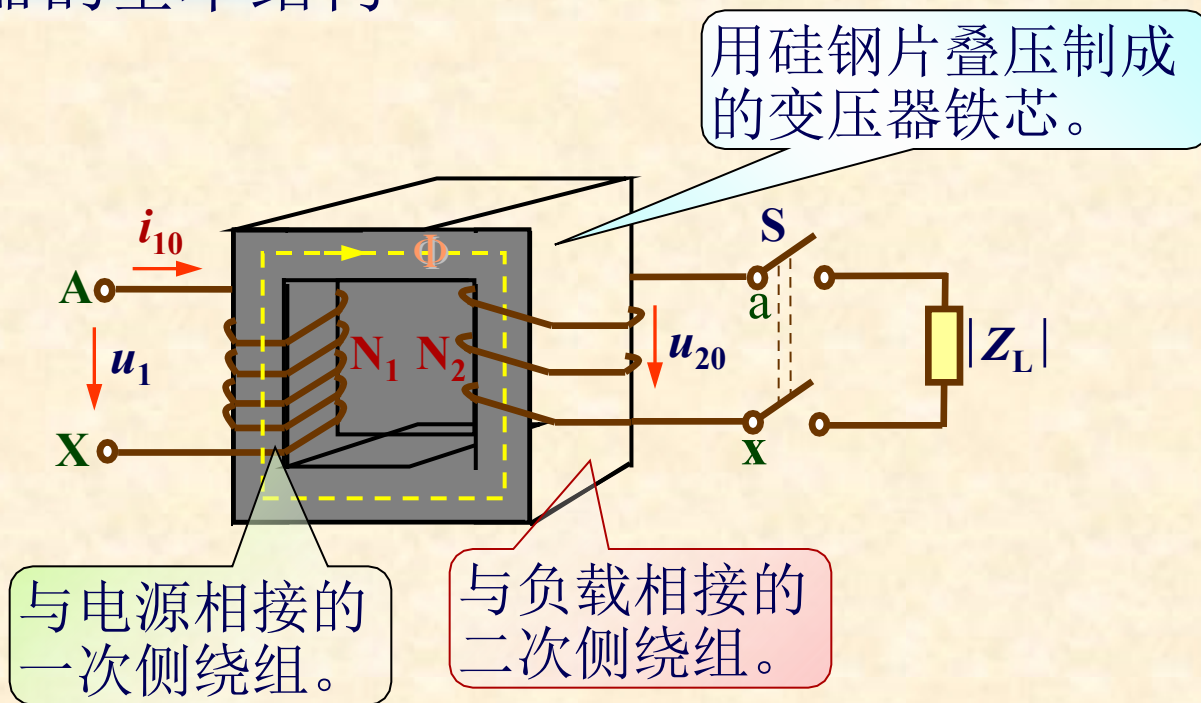
铁磁物质具有哪些磁性能？铁芯中存在哪些损耗？铜和铝能被磁化吗？

你会做吗？



4.2 变压器的基本结构和工作原理

1. 变压器的基本结构

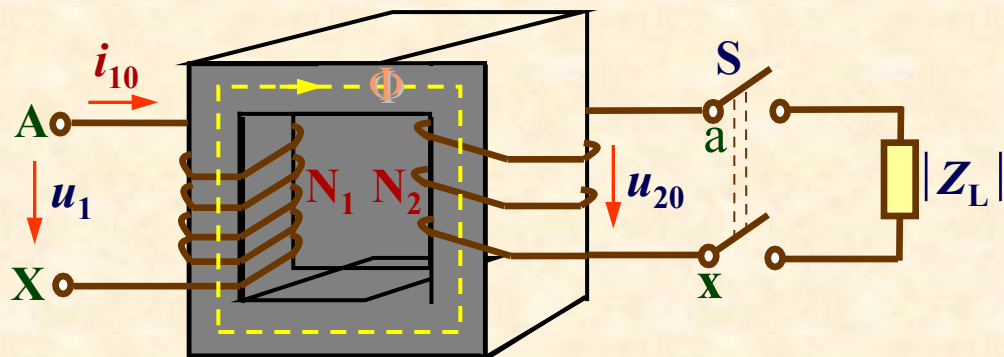


变压器的主体结构是由铁芯和绕组两大部分构成的。变压器的绕组与绕组之间、绕组与铁芯之间均相互绝缘。



2. 变压器的工作原理

(1) 变压器的空载运行与变换电压原理



交变的磁通穿过 N_1 和 N_2 时，分别在两个线圈中感应电压：

$$U_{L1} = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

$$U_{M2} = 4.44 f N_2 \Phi_m$$

有： $U_1 \approx U_{L1} = 4.44 f N_1 \Phi_m$

$$U_{20} = U_{M2} = 4.44 f N_2 \Phi_m$$

变压比，
简称变比

计算它们的比值：

$$\frac{U_1}{U_{20}} \approx \frac{4.44 f N_1 \Phi_m}{4.44 f N_2 \Phi_m} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

显然，改变线圈绕组的匝数即可实现电压的变换。且 $k > 1$ 时为为降压变压器； $k < 1$ 时为升压变压器。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/295340042243012001>