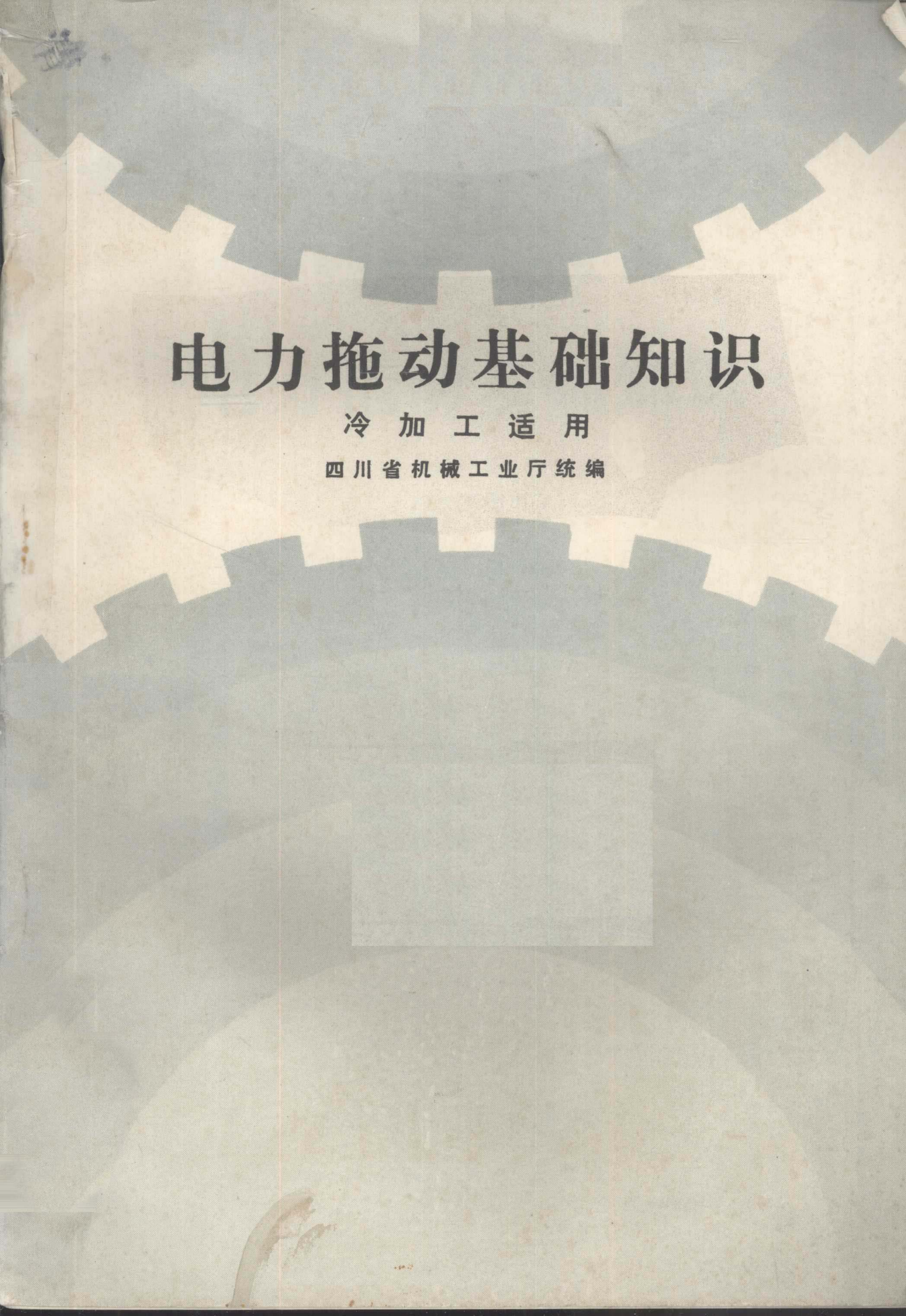




电力拖动基础知识

冷加工适用

四川省机械工业厅统编

中级技术工人培训教材

电力拖动基础知识

(冷加工适用)

四川省机械工业厅统编

四川科学技术出版社

一九八六年·成都

责任编辑：解励诚

封面设计：李文金

版面设计：解励诚

中级技术工人培训教材

电 力 拖 动 基 础 知 识(冷加工适用)

四川科学技术出版社出版 (成都盐道街三号)
四川省新华书店发行 内江新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张 5 25 字数 134千
1986年4月第1版 1986年4月第1次印刷
印数：1—22,000

书号：15298·225

定价：1.00 元

前 言

为了贯彻中共中央关于教育体制改革的决定，加速对工人，特别是青壮年技术工人的培训，不断提高工人队伍素质，尽快改变目前机械工人队伍中，高、中级工人比例偏低的情况，以适应机械工业“上质量、上品种、上水平和提高经济效益”的需要。根据机械工业部对中级技术工人培训的要求，我们组织重庆、成都、自贡三市机械局，编写了《机械制图》、《电力拖动基础知识》、《机械基础》、《机械加工工艺基础》这一套冷加工中级技术工人培训基础课教材，供全面开展中级技术工人培训使用。

编写这套教材，是以机械工业部颁发的《工人技术等级标准》和《工人中级技术理论教学计划、教学大纲》中对冷加工中级技术工人要求为依据，并注意了在职工人时间少，文化理论水平偏低，实践经验较丰富的特点，坚持了“少而精”和理论联系实际的原则。内容既力求简明扼要，又要保持理论的科学性、系统性；既注意了紧密联系生产实际，学以致用，又要在理论上有一定的深度；并力求在文字上通俗易懂，便于自学。教材中使用了已经公布推行的公差与配合、形位公差、机械制图等有关新的国家标准（GB）。教材各章附有一定数量的复习和练习题，供学员复习时选用。本教材主要适用于冷加工各工种。此外，电工、铸焊等专业工种也可根据本专业教学大纲的要求，选用其中的部分内容。

这套教材的编写，得到重庆、成都、自贡三市机械局和有关企业、学校和四川科学技术出版社的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于时间仓促，编写经验不足，教材中难免有缺点和错误，我们恳切希望读者和教师提出宝贵意见，以便修订再版。

四川省机械工业厅工人
技术培训教材编写小组

一九八五年十一月

编者说明

本书是四川省机械工业厅统编的机械工人技术培训教材，由重庆市机械工业局负责组织编写。

全书共分五章。第一章电磁和电磁感应（8学时），第二章交流电路（12学时），第三章交流异步电动机（6学时），第四章三相异步电动机的控制电路与控制、保护电器（22学时）和第五章几种常见机床电气线路分析（6学时）。为了使学员掌握三相异步电动机的基本控制环节，根据教学大纲要求，还编写了几种基本控制线路的实验（6学时）。全书共计授课60学时。

本书由郭明台同志主编，参加编写工作的还有程振强同志，并由王永华、张智明等同志审稿。

本书供冷加工专业中级技术工人培训时使用，其它专业的工种，亦可按本工种的教学大纲适当参考选用。

目 录

第一章 电磁和电磁感应	1
第一节 电流的磁效应.....	1
第二节 磁场对电流的作用.....	2
第三节 电磁感应.....	2
第四节 自感和互感.....	4
复习题.....	7
第二章 交流电路	9
第一节 正弦交流电的基本概念.....	9
第二节 单相交流电路.....	12
第三节 交流电路的功率与功率因数.....	17
第四节 三相交流电路.....	18
第五节 三相负载的联接法.....	20
第六节 整流与滤波电路.....	24
复习题.....	29
第三章 交流异步电动机	31
第一节 三相交流异步电动机.....	31
第二节 单相异步电动机.....	38
复习题.....	40
第四章 三相异步电动机的控制电路与控制、保护电器	41
第一节 概述.....	41
第二节 三相鼠笼式异步电动机的启动电路.....	41
第三节 三相鼠笼式异步电动机的正、反转控制.....	53
第四节 生产机械的限位控制线路.....	56
第五节 三相鼠笼式异步电动机的制动电路.....	58
第六节 几种常见电器、电机的故障.....	62
第五章 几种常见机床电气线路分析	63
第一节 概述.....	63
第二节 普通车床电气线路.....	63
第三节 Z35型摇臂钻床电气线路.....	67
第四节 M7120型平面磨床电气线路.....	69
第五节 X62W型万能铣床电气线路.....	71
实验.....	76
复习题.....	77

第一章 电磁和电磁感应

电流能产生磁场（动电生磁），而变化的磁场又能产生感应电动势（动磁生电），这表明电流和磁场有着不可分割的关系。近代科学证明：产生磁场的根本原因是电流。磁场总是伴随着电流存在，而电流永远被磁场包围。

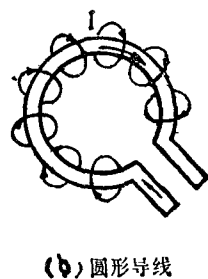
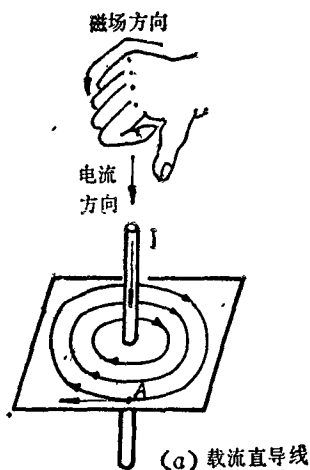
磁场同电场相似，也是一种特殊的物质，它同样具有力和能量的属性。磁场可用磁力线形象地表示，其方向即为磁力线上任一点的切线方向，其强弱可用磁力线的密疏程度表示。

第一节 电流的磁效应

电流周围有磁场存在，这种现象称为电流的磁效应。载流导体周围的磁场方向与产生该磁场的电流方向有关，其关系可用右手螺旋定则确定。现讨论下面两种情况：

一、载流直导体周围的磁场

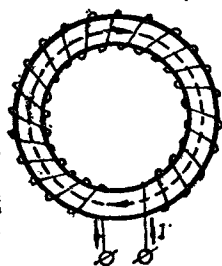
用右手螺旋定则判断载流直导体周围的磁场，方法如下：用右手握住导体，使伸直的拇指所指的方向与导体中电流方向一致，则弯曲四指的指向就是该导体周围磁场的方向〔见图1—1(a)〕。



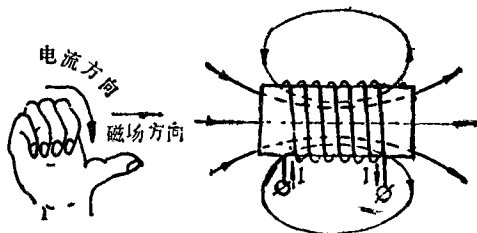
(b) 圆形导线

二、载流线圈产生的磁场

判断载流线圈周围的磁场方向用右手螺旋定则：即用右手握住线圈，使弯曲四指所指的方向与线圈中电流方向一致，则拇指的指向就是线圈内部磁场的方向〔见图1—1(a)、(b)、(c)、(d)〕。



(c) 环形螺管线圈



(d) 筒形螺管线圈

图 1—1 各种形状的载流导体的磁场

第二节 磁场对电流的作用

磁场对电流有力的作用，且作用力的方向与导体中电流的方向有关。磁场、电流和作用力三者之间的关系可用左手定则确定〔见图1—2〕。

左手定则：即伸平左手，使拇指与其余四指垂直，让磁力线垂直穿过手心（手心对着N极），四指指向即导体中电流的方向，而拇指即指向载流导体所受电磁力的方向。

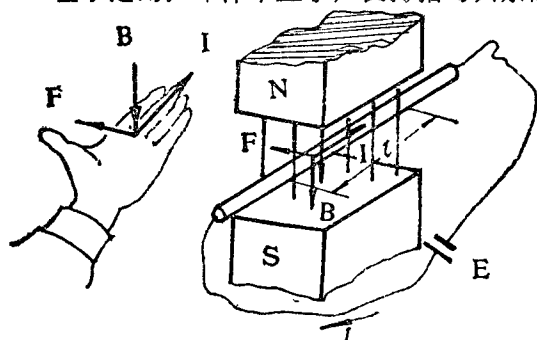


图1—2 磁场对通电导线的作用力

B ——磁感应强度（韦/米²）；

I ——导体中的电流（安）；

L ——导体的有效长度（米）。

若导体与磁场方向夹角为 α ，则

$$F = BIL \sin \alpha$$

(1—2)

直流电动机就是根据上述原理制成的。因此，左手定则也称为电动机定则。

由实验可知：载流导体在磁场中所受电磁力的大小，与磁感应强度 B 、导体中电流 I 及导体的有效长度 L 均成正比，即

$$F = BIL \quad (1-1)$$

式中： F ——载流导体所受电磁力（牛顿）；

第三节 电磁感应

变化的磁场能在导体中引起感应电动势。若导体是闭合回路的一部分，则导体将产生感应电流，这种现象称为电磁感应。

由电磁感应产生的电动势称感应电动势；由感应电动势作用产生的电流称感应电流。

电磁感应是一切电机、电器工作的理论基础。

一、直导体中的感应电动势

通过实验可得：处于均匀磁场中有效长度为 L 的直导体，以速度 V 垂直切割磁力线时产生的感应电动势，其大小为：

$$e = BLV \quad (1-3)$$

若导体与磁力线的夹角为 α ，则

$$e = BLV \sin \alpha \quad (1-4)$$

式中： e ——导体中的感应电动势（伏）；

V ——导体运动速度（米/秒）；

B 、 L 意义同前。

感应电动势的方向，用右手定则确定：即伸平右手，使拇指和其余四指相垂直；让磁力线垂直穿过手心（手心对着 N 极），拇指指向导体运动方向，则其余四指的指向就是导体中感应电动势的方向（见图1—3）。

直流发电机就是根据这一原理制成的，因此，右手定则也称为发电机定则。

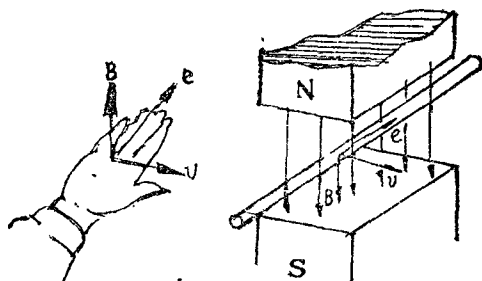


图1—3 直导体中的感应电动势

二、闭合线圈电路中的感应电动势

图1—4所示为永久磁铁和闭合线圈作相对运动的情况，分析如下：

当永久磁铁插入线圈或从线圈中拔出时，接在线圈回路中的检流计指针就会向不同方向偏转〔见图1—4(a、b)〕：磁铁运动速度越快，检流计指针的偏转角度越大；当永久磁铁在线圈中不动时，则检流计指针不动。

上述现象表明，当与线圈交链的磁通发生变化时，线圈回路中便有感应电动势和感应电流产生，且感应电动势和感应电流的大小和方向与磁通的变化情况有关，即

$$e = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \quad (1-5)$$

式中： $\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ ——磁通变化率（韦/秒）；

N ——线圈匝数；

e ——线圈中的感应电动势（伏）。

上式即为法拉第电磁感应定律。式中负号表示感应电动势产生的磁通方向永远和磁通变化的方向相反，当二者正方向符合右手螺旋定则时，负号才有意义。

进一步观察图1—4(a)、(b)所示的实验可以发现，线圈中感应电动势的方向与穿过线圈的磁通变化趋势有关，这种关系可用楞次定律确定。楞次定律指出：感应电流的方向，总是使它产生的磁场与引起感应电流的磁场变化的方向相反，即阻碍原磁场的变化。

楞次定律提供了一个判断感应电动势和感应电流方向的法则，其具体运用步骤是：

1) 首先判断原磁通的方向及其变化趋势（即增加还是减少）；

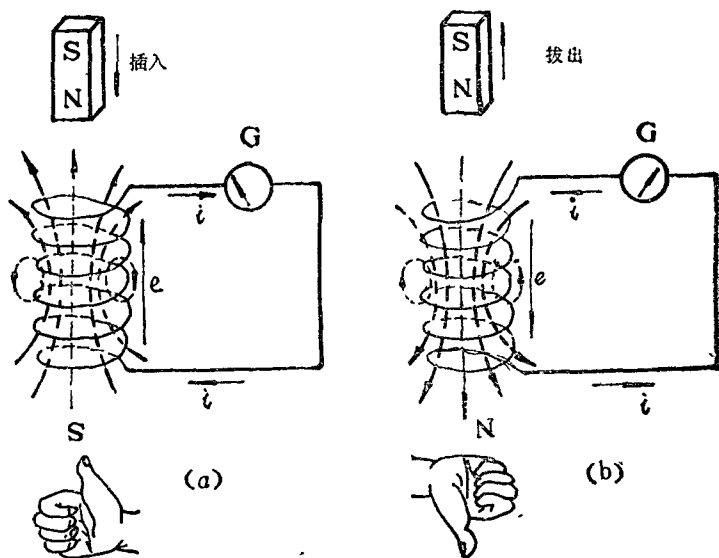


图1—4 磁铁插入和拔出线圈时感生电流的方向

- 2) 根据原磁通的方向和变化趋势, 确定感应电流产生的磁通方向;
- 3) 根据感应电流的磁通方向, 应用右手螺旋定则, 判定感应电动势和感应电流的方向。

综上所述, 可得如下结论:

① 导体中产生感应电动势和感应电流的条件是, 导体作切割磁力线运动或线圈中的磁通量发生变化。若导体或线圈是闭合回路的一部分, 则导体或线圈中就有感应电流产生。

② 感应电流产生的磁场总是反对原磁场的变化。感应电动势和感应电流的方向, 可根据楞次定律结合右手螺旋定则确定 (见图1—5)。

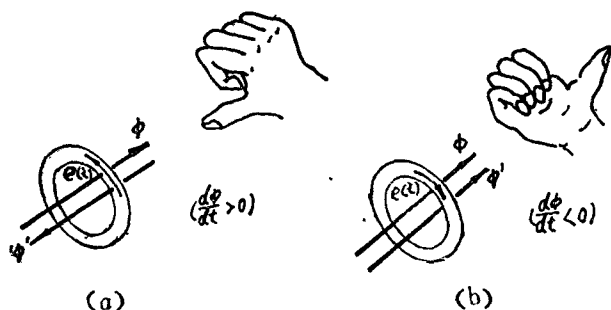
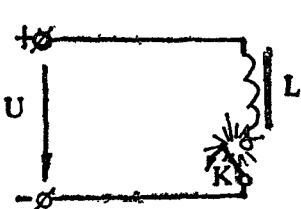


图1—5 应用楞次定律来确定感应电动势的方向

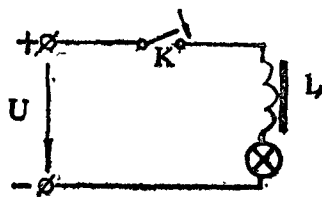
第四节 自感和互感

一、自感

观察图1—6所示的实验可知: 在线圈接通或断开电源的瞬间, 线圈中均有感应电动势和感应电流产生。这种由于通过线圈本身的电流发生变化在线圈中引起感应电动势的现象称为自感现象, 简称自感。由自感产生的感应电动势称为自感电动势, 用 e_L 表示。



(a) 线圈电路断开时所发生的现象



(b) 白炽灯与铁心线圈串联的电路

图1—6

由于自感电动势是通过线圈本身的电流变化引起的, 因此, 自感电动势与通过线圈的电流变化率成正比。即

$$e = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (1-6)$$

式中: L ——自感系数 (或称电感), 单位为亨利, 简称为亨 (H)。它与线圈的匝数、几何形状及介质的磁导率有关;

$\frac{\Delta i}{\Delta t}$ ——线圈中电流的变化率;

“—”号——表示自感电动势的方向总是反抗线圈中电流的变化。

由上分析可知: 由于自感现象的存在, 使通过线圈的电流不能发生突变。线圈具有稳流作用。

二、互 感

由于电路中电流的变化而在相邻的电路中产生感应电动势的现象称为互感现象，简称互感。由互感现象产生的感应电动势称互感电动势。

互感是制造各种变压器、互感器的基本原理。

互感电动势的方向不仅与磁通变化的方向有关，而且还与线圈的绕向有关。因此，判断互感电动势的方向比较复杂，尤其是对已有的电气设备，从外观上看不出线圈的绕向，判断互感电动势的方向就更加困难了。为此，在制造变压器或互感器时，用“.”或“*”表示各线圈的极性（或称同名端^{〔注〕}），见图1—7。

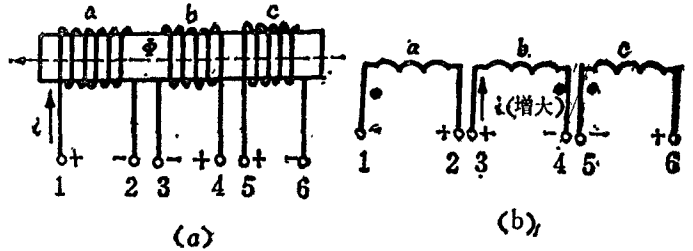


图 1—7

三、变 压 器

变压器是利用互感原理制成的。其主要作用是改变交流电压，同时也可以改变电流，变换阻抗和改变相位。

变压器的种类繁多，按相数不同可分为单相和三相变压器两大类；按用途不同可分为电力变压器和特种变压器等。尽管变压器种类不同，但其基本结构均包括铁芯和线圈两大部分。

铁芯是变压器的磁路部分，用相互绝缘的硅钢片迭装而成。

绕组是变压器的电路部分，用绝缘铜线或铝线绕制而成。变压器的绕组分为原绕组和副绕组（见图1—8）：与电源相连的绕组称原绕组（也称原边或初级绕组）；与负载相连的绕组称副绕组（也称副边或次级绕组）。变压器原、副绕组的匝数不同，匝数多者称为高压绕组，匝数少者称为低压绕组。

变压器的工作原理简述如下：

设变压器原绕组匝数为 N_1 ，副绕组匝数为 N_2 ，当变压器原绕组接入交流电源后，由于电磁感应可分别在原、副绕组中产生感应电动势 e_1 和 e_2 。经分析计算其有效值为：

$$E_1 = 4.44fN_1\phi_m \quad (1-7)$$

$$E_2 = 4.44fN_2\phi_m \quad (1-8)$$

$$\text{故 } \frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44fN_1\phi_m}{4.44fN_2\phi_m} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1-9)$$

由此可知，变压器原、副绕组感应电动势之比等于其匝数之比。

由于变压器绕组的压降很小，可略去不计，因此可得：

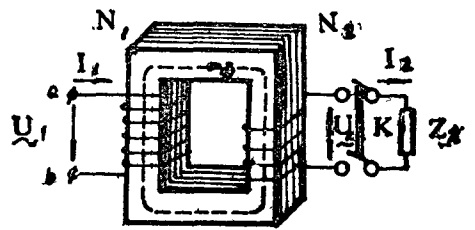


图 1—8 最简单的单相变压器

注：同名端即绕向一致而感应电动势的极性始终保持一致的端点（也称同极性端）。

$$\begin{aligned}
 E_1 &\approx U_1 \\
 E_2 &\approx U_2 \\
 \text{故 } \frac{E_1}{E_2} &= \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = n
 \end{aligned}
 \tag{1-10}$$

式中, n 称为变压器的变压比, 简称变比。

在正常工作时, 当变压器的负载增加, 副边电流增加, 其去磁作用增强, 为保持主磁通基本不变, 则原边电流必然增加, 以补偿副边电流的去磁作用, 这样, 变压器的原边电流将随副边电流的变化而变化。

综上所述, 变压器的工作原理可归纳如下: 在正常工作时, 变压器以磁通为媒介, 通过电磁感应的形式传递功率, 靠原、副边匝数不同改变电压。其原边电流的大小随副边电流的大小而变化。

变压器按原、副绕组匝数不同也可分为升压变压器和降压变压器两种。

当 $N_1 > N_2$ 时, 则 $U_1 > U_2$, $n > 1$, 此种变压器称为降压变压器;

当 $N_1 < N_2$ 时, 则 $U_1 < U_2$, $n < 1$, 此种变压器称为升压变压器。

改变变压器原、副边的匝数就能达到升压或降压的目的。

自耦变压器和电焊变压器是特殊用途变压器, 下面分别简要介绍:

1. 自耦变压器 由高压绕组的一部分兼作低压绕组, 这种变压器称为自耦变压器。图1—9所示为单相自耦变压器的原理图。

由图可知: 自耦变压器的高低压绕组在电的方面是连通的。其工作原理与普通双线圈变压器相同, 但其输出功率由两部分组成, 一部分是由电磁感应作用传递; 另一部分则由原绕组直接传递给副绕组。

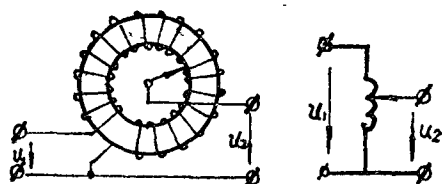


图1—9 自耦调压器

自耦变压器的优点是: 结构简单, 节省导线材料, 比普通变压器效率高。其缺点是: 原副绕组直接有电的联系, 故原、副绕组绝缘等级相同, 这样不但不经济, 而且不安全。因此, 自耦变压器的变压比一般不超过1.5~2。

必须指出: 自耦变压器不允许作为安全变压器使用。因为线路万一接错, 将会发生触电事故(见图1—10)。当人触及副边任一端线时均有危险。因此, 电气安全操作规程规定: 安全变压器一定要采用原、副绕组相互分离的双线圈变压器。

三相自耦变压器的三个绕组通常接成星形, 主要用于三相异步电动机的降压启动设备。

2. 电焊变压器 电焊变压器是交流弧焊机的主要组成部分, 图1—11所示为电焊变压器原理图。

电焊变压器的结构特点是原、副绕组不是同心地套在一起, 而是分别装在两个铁芯柱上, 有的在副边电路中还另外串联一个铁芯电抗器(见图1—11)。这样可以获得较大的漏

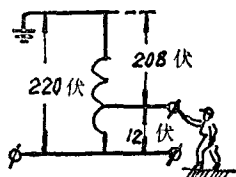


图1—10 自耦变压器的错误接法

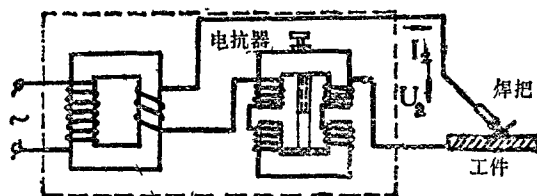


图1—11 电焊变压器原理示意图

抗，并且调节电抗器的空气隙还可调节漏抗的大小，改变输出电压与工作电流。

为了保证焊接电弧的稳定和焊接过程的正常进行，电焊变压器必须满足下列基本要求：

1) 空载时应有一定的起弧电压，约为60~80伏，以保证点火时形成电弧。若空载电压过低，则不足引起电弧，过高又不安全。

2) 有载时，副边电压应迅速下降，在额定焊接电流时，约为30~40伏左右，以保证焊条与焊件接触时，短路电流不致过大，一般不超过额定焊接电流的1.5倍左右。这就要求输出电压与输出电流间应具有陡降的外特性。

3) 电焊变压器应具有良好的调节特性，以适应不同焊件和不同规格的焊条。

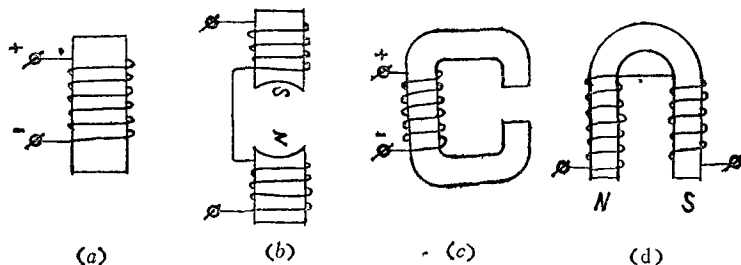
复 习 题

1—1. 什么是电流的磁效应？

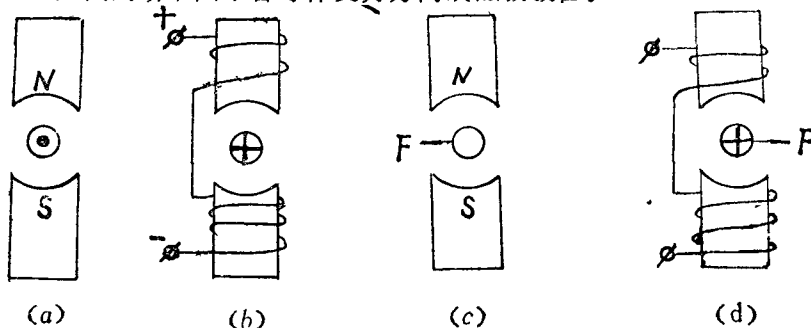
1—2. 产生感应电动势和感应电流的条件是什么？如何判断感应电动势的方向？

1—3. 试述楞次定律的应用步骤。

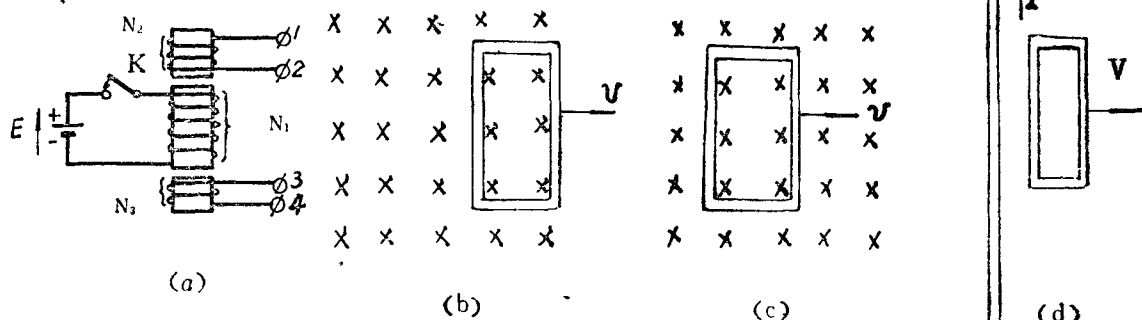
1—4. 何谓自感和互感？各应用在何处？



1—5. 试判断下图中各导体受力方向或磁极极性。



1—6. 试判断下图中各感应电动势的方向或导体运动方向。



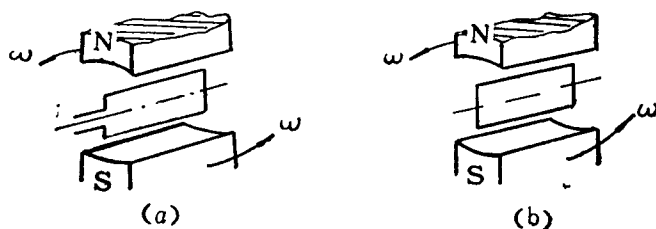
1—7. 试述右手螺旋定则、左手定则、右手定则和楞次定律的应用范围。

1—8. 试判断下图中各磁极极性或电流方向？

1—9. 试述变压器的工作原理？若将某变压器接入同级额定电压的直流电源，会产生什么后果？为什么？

1—10. 如何识别变压器的高压或低压绕组？

1—11. 如下图11(a)所示，一对磁极正按逆时针方向旋转，试标出开口线圈感应电动势的方向，并标出线圈两头的“+”、“-”极性；如果该线圈是闭合的〔见图11(b)〕，问该线圈能否转动？转向如何？为什么？



题 1—11图

第二章 交流电路

大小和方向均随时间变化的电流、电压和电动势，分别称为交流电流、交流电压和交流电动势，统称为交流电。

交流电又分为正弦交流电和非正弦交流电两大类。正弦交流电是指大小和方向随时间按正弦规律变化的交流电。本章主要讨论正弦交流电，简称交流电。

交流电的主要优点是：

- 1) 根据需要可用变压器改变电压，较好地解决了发电、输电和配电之间的矛盾。
- 2) 与直流电机相比，交流电机有结构简单、价格低廉、工作可靠、维修方便等优点。因此，我国各大发电厂发电机发出的电几乎都是交流电。

第一节 正弦交流电的基本概念

一、正弦交流电的产生

正弦交流电通常由交流发电机产生。由交流发电机原理可知，当发电机的磁极对数不同时，虽然线圈在空间所转过的机械角度相等，但其电动势所经历的变化角度（称为电角度）却各不相同。机械角度和电角度关系如下：

$$\alpha_{\text{电}} = p\alpha_{\text{机}} \quad (2-1)$$

式中： $\alpha_{\text{电}}$ ——电角度（度）； $\alpha_{\text{机}}$ ——机械角度（度）； p ——电机的磁极对数。

电角度与时间的比值称为电角速度，用“ ω ”表示，即

$$\omega = \frac{\alpha_{\text{电}}}{t} \quad \text{或} \quad \alpha_{\text{电}} = \omega t \quad (2-2)$$

由发电机原理可得： $e = E_m \sin \omega t$ 这表明，交流发电机产生的感应电动势是随时间按正弦规律变化的正弦交流电。

二、正弦交流电的三要素

由于正弦交流电是随时间按正弦规律变化的，所以每一时刻的值均不相同。我们把交流电任一瞬间的数值称为交流电的瞬时值。规定用小写字母 i 、 u 、 e 分别表示交流电流、电压和电动势的瞬时值。

正弦交流电的三要素是指最大值、周期（或频率）和初相位。

1. 最大值 在一个周期内交流电最大的瞬时值称为交流电的最大值。规定用大写字母并在右下角加注“m”表示。如 I_m 、 U_m 、 E_m 分别表示电流、电压和电动势的最大值。

2. 周期（或频率、角频率） 交流电循环变化一周所需的时间称为周期。用字母“T”表示，单位为秒。每秒钟内交流电循环变化的次数称为频率。用字母“f”表示，单位为赫兹（Hz），简称赫。较大的单位有千赫（KHz）、兆赫（MHz）。

$$1 \text{ KHz} = 10^3 \text{ Hz}; \quad 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

由上可知：周期和频率互为倒数。即

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{或} \quad f = \frac{1}{T} \quad (2-3)$$

我国工业用电频率为50赫，故50赫又称为“工频”。

每秒钟内交流电循环变化的电角度称为角频率。用字母“ ω ”表示，单位为弧度/秒。在一个周期中，交流电循环变化的电角度为 2π 弧度，故

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (2-4)$$

例2—1 已知某交流电压瞬时值表达式为 $u = U_m \sin \omega t = 310 \sin 314t$ 伏，求该交流电压的最大值、周期和频率。

解：由上式可得：

$$U_m = 310 \text{ (伏)}, \quad \omega = 314 \text{ (弧度/秒)}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \times 3.14}{314} = 0.02 \text{ (秒)}, \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02} = 50 \text{ (赫)}$$

3. 初相位（或初相角）

图2—1(a)所示为某发电机的转子上绕有两个匝数相等而位置不同的线圈 a_1b_1 和 a_2b_2 。当转子按图示的方向转动后，由于这两个线圈处于同一磁场内，且以相同的速度切割磁力线，

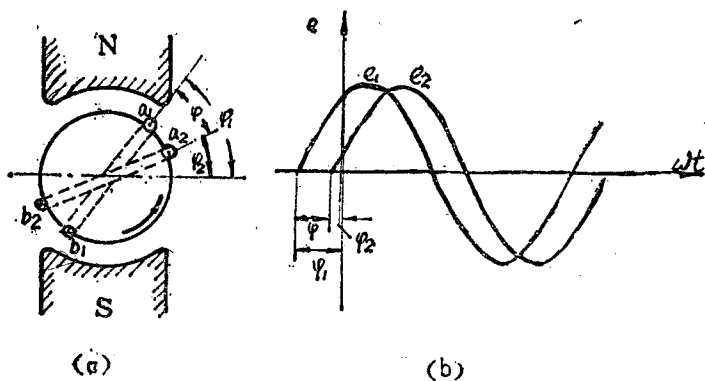


图2—1 固定在转子表面上的两个位置不同的线圈及其所产生的电动势的波形

$$e_1 = E_m \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (2-5)$$

$$e_2 = E_m \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (2-6)$$

上述解析式中的电角 $(\omega t + \varphi)$ 称为该交流电的相位角或相位〔见图2—1(b)〕。而当 $t=0$ 时的相位 φ 称初相位（简称初相）或称初相角。故 e_1 的初相为 φ_1 ； e_2 的初相为 φ_2 。

综上所述，当线圈开始转动瞬间（即 $t=0$ 时），线圈平面与中性面之间的夹角称为初相位（或初相角）。

两个同频率的正弦交流电相位之差称为相位差，用字母“ φ ”表示。如图所示， e_1 和 e_2 的相位差为

$$\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (2-7)$$

可见，两个同频率交流电的相位差就等于它们的初相之差。

由式(2-7)还可得出：

当 $\varphi_1 - \varphi_2 > 0$ 时，表示 e_1 的变化领先于 e_2 的变化，这种情况称为 e_1 超前于 e_2 ，或 e_2 滞后于 e_1 ；

当 $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ 时，即 $\varphi_1 = \varphi_2$ ，表示 e_1 和 e_2 同时达到正的最大值或零值或负的最大值，这种情况称为 e_1 和 e_2 同相位；

当 $\varphi_1 - \varphi_2 = 180^\circ$ 时，表示 e_1 达到正的最大值时， e_2 达到负的最大值，二者互差 180° ，这种情况称为 e_1 和 e_2 反相位。

三、正弦交流电的有效值

由于正弦交流电的瞬时值随时间变化，不便计量，因此，在实际工作中常用有效值表示。

交流电的有效值根据热效应确定。我们把热效应与交流电等效的直流值称为交流电的有效值。规定用大写字母表示，如 I 、 U 、 E 分别表示电流、电压和电动势的有效值。在正常工作中，我们用仪表测得的数值或电机、电器铭牌上标出的数值均为有效值。

经数学分析，可得出有效值和最大值之间的关系如下：

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707E_m \quad \text{或} \quad E_m = \sqrt{2}E$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707U_m \quad \text{或} \quad U_m = \sqrt{2}U$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m \quad \text{或} \quad I_m = \sqrt{2}I$$

例2—2 已知 $u = 311\sin\left(628t + \frac{\pi}{4}\right)$ 伏，求 U_m 、 T 、 f 、 U 及 φ_1 。

解： $U_m = 311$ 伏； $U = 0.707U_m = 220$ 伏

$$\because \omega = \frac{2\pi}{T} = 628 \text{ (弧度/秒)}$$

$$\therefore T = \frac{2\pi}{628} = 0.01 \text{ (秒)}; \quad f = \frac{1}{T} = 100 \text{ (赫)}; \quad \varphi_1 = \frac{\pi}{4} \text{ (弧度)}$$

四、正弦交流电的三种表示方法

正弦交流电一般有三种表示法，即解析法、图形法（也称曲线法）和旋转矢量法。

1. 解析法 用数学解析式表示正弦交流电与时间变化关系。如：

$$\left. \begin{aligned} e &= E_m \sin(\omega t + \varphi_1) \\ u &= U_m \sin(\omega t + \varphi_2) \\ i &= I_m \sin(\omega t + \varphi_3) \end{aligned} \right\} \quad (2-8)$$