

电机修理技术

潘宝昌 编

山东科学技术出版社



责任编辑 原式溶

中等职业教育读物
电机修理技术

潘宝昌 编

*

山东科学技术出版社出版
山东省新华书店发行
山东新华印刷厂德州厂印刷

*

787×1092毫米32开本 10.625印张 202千字

1984年6月第1版 1984年6月第1次印刷

印数：1—34,000

书号 15195·153 定价 1.30 元

出版说明

为了适应我省中等职业教育发展的需要，我社受山东省教育厅委托，编辑出版了《中等职业教育读物》。

这套读物的分册将逐步增加，陆续出版。第一批出版11种，有《黑白电视机修理技术》、《半导体收音机修理技术》、《盒式录音机修理技术》、《摩托车维修技术》、《钟表修理技术》、《电机修理技术》、《制描图技术》、《服装裁剪技术》、《菜肴烹调技术》、《面点制作技术》及《家具制作技术》等。希望各地在试用中能够给我们提出宝贵意见，以便再版时修改。

这套读物在编写过程中，力求做到理论联系实际，文字通俗易懂，除简明讲述基础知识外，着重介绍了修理、制作技术，以达到实用、速成的目的。这套读物主要作为中等职业学校或短训班的选用教材，并可供有关行业的修理工人及广大业余爱好者阅读。

一九八三年十二月

前 言

电机维修是工农业生产中经常遇到的实际问题。为了普及电机维修知识，提高检修质量，以适应广大青年电工的需要，编写了《电机修理技术》一书。

本书主要讲述了电机的基本工作原理与构造，电机维护及运行故障的检查与处理，电机机械故障的修理，电机绕组的拆换、改接、重绕、重嵌以及电机修复后的试验等内容。

本书取材于现场经验，力求理论结合实际，深入浅出，通俗易懂。对电机的基本理论、故障原因、修理技术以及在修理过程中经常用到的计算方法，都作了较详细的分析和介绍。可供具有初中以上文化程度的青年电工学习、阅读，也可作为技工学校、职业教育、徒工培训等方面的教材。

编 者

一九八三年九月

目 录

第一章	电的基本知识	1
第一节	磁场.....	1
第二节	电磁感应.....	5
第三节	磁场对通电导体的作用.....	8
第四节	正弦交流电.....	9
第五节	三相交流电.....	15
第六节	旋转磁场.....	21
第二章	电机的基本工作原理与构造	31
第一节	电机的基本类型.....	31
第二节	直流电机的工作原理与构造.....	33
第三节	交流发电机的工作原理与构造.....	41
第四节	异步电动机的工作原理与构造.....	46
第三章	电机绕组及其接线图	55
第一节	绕组展开图及安排原理.....	55
第二节	绕组结构基本概念.....	58
第三节	单层绕组.....	59
第四节	双层绕组.....	66
第五节	转子绕组.....	73
第六节	直流电枢绕组.....	76
第七节	概念图及槽矢量星形图.....	82
第八节	绕组的连接.....	85
第四章	电机维护及运行故障的检查与处理	94

第一节	电机维护工作的基本内容	94
第二节	电机的一般性维护与故障	95
第三节	交流电机运行故障的检查与处理	118
第四节	直流电机运行故障的检查与处理	122
第五章	电机机械故障的修理	129
第一节	电机修理前的整体检查	129
第二节	电机的正确拆装	132
第三节	转轴的修理	138
第四节	轴承盖及轴承的修理	140
第五节	机座的修理	150
第六节	电机铁心的修理	152
第七节	集流装置与刷握的修理	153
第八节	转子(电枢)的平衡	165
第六章	电机绕组的损坏及修理	169
第一节	交流定子绕组的损坏及修理	169
第二节	交流转子绕组的损坏及修理	188
第三节	大型电机成型绕组的修理	194
第四节	同步发电机励磁绕组的修理	198
第五节	直流电枢绕组的损坏及修理	200
第六节	直流励磁绕组的损坏及修理	211
第七章	交流定子绕组的拆换及重嵌工艺	215
第一节	记录铭牌和原有数据	215
第二节	拆除旧绕组	217
第三节	制作绕线模	219
第四节	绕制线圈	223
第五节	安放槽绝缘	225
第六节	嵌线	226
第七节	接线与焊接	232

第八节	绕组试验.....	238
第九节	浸漆与烘焙.....	239
第八章	直流绕组的拆换及重嵌工艺.....	246
第一节	直流电枢绕组的重绕及嵌线.....	246
第二节	并励磁绕组的重绕.....	255
第三节	串励磁绕组的重绕.....	258
第四节	换向极绕组的重绕.....	260
第五节	单相串激电钻定子绕组的重绕.....	262
第六节	单相串激电钻电枢绕组的重绕.....	267
第九章	绕组改接及重绕的简易计算.....	279
第一节	改变导线规范的计算.....	279
第二节	单相异步电动机空壳重绕的计算.....	283
第三节	三相异步电动机空壳重绕的计算.....	287
第四节	改变电机电压的计算.....	296
第五节	改变电机极数的计算.....	302
第六节	三相异步电动机改为单相使用的接线方法.....	305
第十章	电机修复后的试验.....	311
第一节	试验前的检查.....	311
第二节	绕组冷态直流电阻的测定.....	311
第三节	绝缘试验.....	313
第四节	空载试验.....	317
第五节	温升试验.....	317
第六节	超速试验和短时电流过载试验.....	319
第七节	换向故障的检查.....	320
第八节	确定变压系数.....	320
附表	323

第一章 电的基本知识

第一节 磁 场

如果在—根永久磁铁周围的空间中，放—根能自由转动的磁针，磁针将指向磁铁。若将磁铁拿开，磁针就转回到它原来的位置，即转向地磁子午线。由此可知，在磁针上作用着某种固定的力，这个力叫做磁力。

磁铁、运动的带电体或载有电流导线的周围空间有磁力作用，这种空间称为磁场。

磁铁各部分吸引钢铁和某些金属的本领是不同的。实验证明，在磁铁的两端磁性最强，这两端叫做磁极。其中，指北的一端叫北极，用 N 表示；指南的一端叫南极，用 S 表示。两磁极之间，同极性相斥，异极性相吸。这种极间的相互作用，是通过磁铁周围空间的磁场实现的。

磁场的形状和强弱，常用磁力线来表示。在磁铁外部，磁力线的方向总是从 N 极出发回到 S 极。而在磁铁内部，磁力线由 S 极回到 N 极。因此，磁力线无头无尾，不能中断，构成—个闭合的环路，如图1—1所示。

磁力线象有弹性的橡皮筋—样，具有缩短自己长度的倾向，这就是异极性相吸的原因，如图1—2所示。

磁力线互不相交，并具有互相向侧面排斥的倾向，这就是同极性相斥的原因，如图1—3所示。

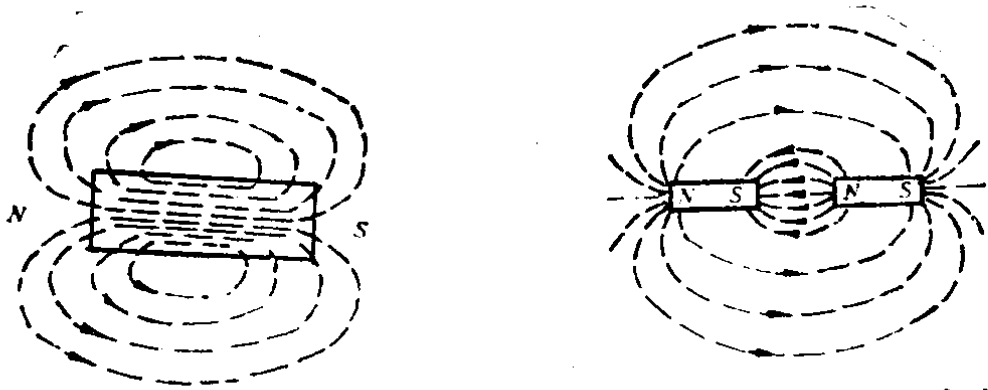


图 1—1 磁力线的闭合路径 图 1—2 异性性相吸的磁力线分布

磁力线的疏密程度，通常表明了磁场的强弱。在磁场强的地方，磁力线比较密；在磁场弱的地方，磁力线比较疏；在磁场均匀的地方，磁力线疏密均匀并互相平行。以上说明磁力线的根数与磁场的强弱成正比。

磁力线易于通过钢铁和其他铁磁物质。

为了进行磁场中各物理量的定性分析，首先引用磁通这个物理概念。磁通就是通过某一面积内的磁力线数。磁力线既然是一根一根的线条，所以磁通可以用多少根“线”来作单位。例如，象图 1—4 那样，若有一万根磁力线通过该垂

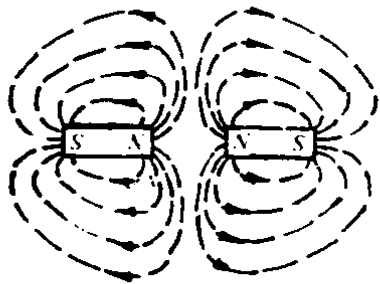


图 1—3 同极性相斥的磁力线分布

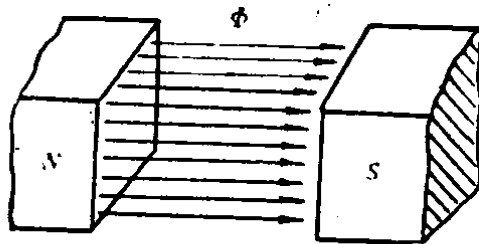


图 1—4 均匀磁场的磁力线

直面，我们就可以说这个磁极的磁通为一万线或者称为一万马克士威（简称马）。马是个基本单位，1 马就代表通常所

说的一根磁力线。此外，磁通还用韦伯（简称韦）作单位。二者的关系如下：

$$1 \text{ 韦} = 10^8 \text{ 马}$$

因为磁通是通过某一面积的磁力线总和，不能说明在这一面积上磁力线分布的疏密情况，所以有必要引出单位面积的磁力线数这个概念，叫做磁通密度。

磁通一般用字母 Φ 代表，磁通密度一般用字母 B 代表。如果用 S 表示磁通所通过的垂直面积，那么磁通密度可写成：

$$B = \frac{\Phi}{S} (\text{韦/米}^2) \quad (1-1)$$

式中： B 为磁通密度，单位是韦/米²； Φ 为磁通，单位是韦； S 为磁通所通过的垂直面积，单位是米²。

如果磁通用马作单位，面积用平方厘米作单位，那么磁通密度的单位就是马/厘米²。马/厘米²一般用高斯来代表。因为 $1 \text{ 韦} = 10^8 \text{ 马}$ ， $1 \text{ 米}^2 = 10^4 \text{ 厘米}^2$ ，所以

$$1 \text{ 韦/米}^2 = \frac{10^8}{10^4} \text{ 马/厘米}^2 = 10^4 \text{ 高斯}$$

当面积 S 与磁通 Φ 不相垂直时（图1—5），（1—1）式可表示为

$$B = \frac{\Phi}{S \cdot \cos \alpha} (\text{韦/米}^2) \quad (1-2)$$

式中， α 为面积 S 与垂直有效面积的夹角。

如果将一根直长导体通入直流电，并把磁针放在通电导体的附近。可以看出，当导体电流方向改变时，磁针转动的方向也随着改变，这表明通电导体周围有磁场存在。

磁场的方向与电流的方向有着一定的关系，这个关系用右手螺旋定则来确定，如图 1—6 所示。当螺旋前进的方向

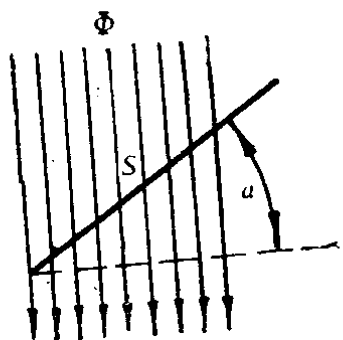


图 1—5 当面积 S 与磁通 Φ 不相垂直时的示意图

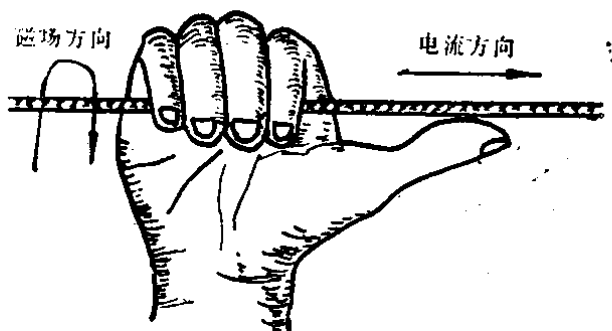


图 1—6 右手螺旋定则示意图 (一)

与导体电流的方向一致时，螺旋旋转的方向就表示磁力线的方向。为了帮助记忆，可以用右手握持导体，伸直拇指，使拇指指向电流的方向，其余四指所围绕的方向就是磁场的实际方向。

在实际工作中，常常把导线一圈一圈地绕成圆筒形线圈，这种线圈叫螺线管。当电流通过螺线管时，也会产生磁场，其磁力线的分布情况如图 1—7 所示。它和条形永久磁铁的磁场分布很相似。

螺线管磁力线的方向，同样可用右手螺旋定则来确定。此时，用右手的四指握持线圈（图 1—8），四指指着电流方向，大拇指所指的便是磁力线方向。

从物理意义上可以理解，螺线管内通过的电流越大，线圈匝数越多，所产生的磁场便越强。也就是说，磁场的强弱（即磁通密度 B 的大小）决定于通过的电流 I 和线圈的匝数 N 。或者说磁通密度与 IN 的乘积成正比。电流和线圈匝数的乘积 IN ，称为磁动势（简称磁势），它的作用是产生磁力

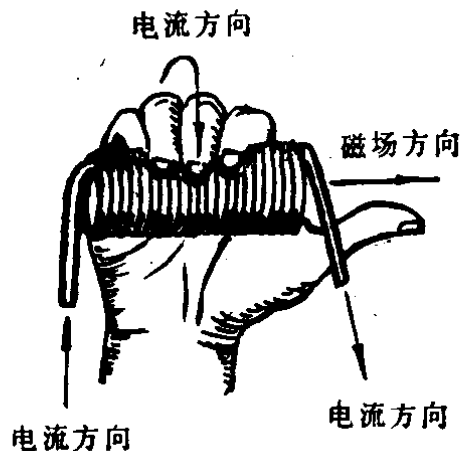
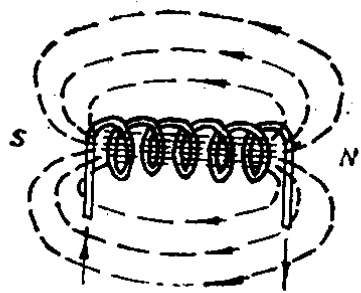


图 1—7 通电线圈的磁场 图 1—8 右手螺旋定则示意图 (二)

线，建立磁场。磁动势的单位为安培匝数（简称安匝）。

第二节 电磁感应

将一根导线放在均匀磁场中，导线的两端接上一检流计，构成闭合回路，如图 1—9 所示。当导线以一定速度垂直于磁力线运动时，检流计的指针发生偏转。这个现象说明，只要导线和磁场发生了相对运动（或者说导线切割了磁力线），在导线中就会产生感应电势和电流。这种现象叫做电磁感应。

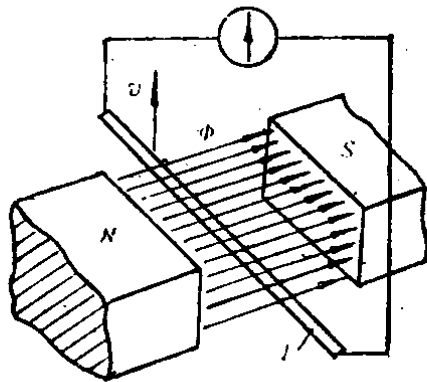


图 1—9 电磁感应现象示意图

由上述试验可知，导线中感应电势的大小，决定于磁场的磁通密度 B 、导线在磁场中的运动速度 v 以及导线的有效长度 l （即位于磁场范围内的导线长度）。当磁通密度、导线的运动方向和导线的有效长度三者彼此互相垂直时，其感

应电势的大小可由下式表示：

$$e = Blv \text{ (伏)} \quad (1-3)$$

式中： B 的单位用韦/米²； l 的单位用米； v 的单位用米/秒；感应电势 e 的单位用伏。若 B 的单位为高斯， l 的单位为厘米， v 的单位为厘米/秒，而 e 的单位仍为伏，(1—3)式可改写为

$$e = Blv \times 10^{-8} \text{ (伏)} \quad (1-4)$$

当导线的运动方向与磁力线方向间的夹角为 α 时，垂直于磁场的速度分量为 $v \cdot \sin \alpha$ ，(1—4)式可表示为

$$e = Blv \sin \alpha \times 10^{-8} \text{ (伏)} \quad (1-5)$$

在常见的电机及电测仪表中，导线的运动方向都与磁场方向垂直，这时其感应电势最大。当导线的运动方向与磁场方向平行时，感应电势为零，因为这时导线并不切割磁力线。

导线上感应电势的方向，可用发电机右手定则来确定，如图1—10所示。右手的掌心迎着磁力线，拇指指向导线运动速度 v 的方向，则伸直的四指所指的方向，即感应电势 e 的方向。

电磁感应现象不仅表现在导体运动切割磁力线产生感应电势，还表现在处于变化磁场中的导体上存在感应电势。穿过一单匝线圈的磁通变化时(图1—11)，线圈

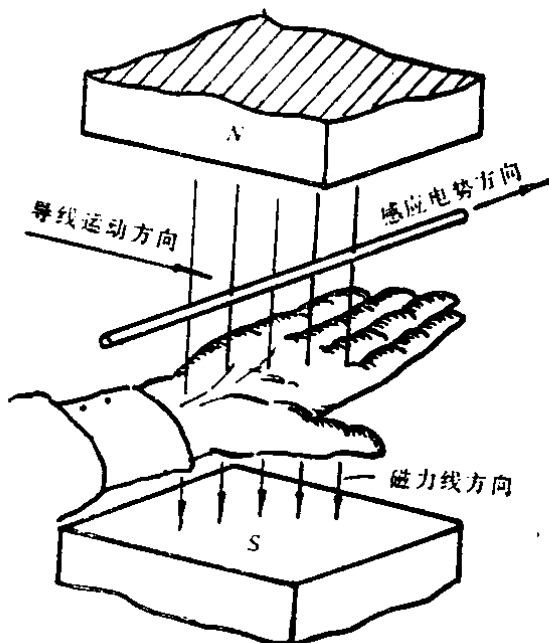


图1—10 发电机右手定则

上产生感应电势的大小，与线圈内磁通变化的速度（就是单位时间内磁通变化的数值，又叫磁通的变化率）成正比。

例如，在一个单匝线圈中，原有的磁通为 Φ_1 ，变化后的磁通为 Φ_2 ，则磁通的变化量为 $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ 。如果磁通变化 $\Delta\Phi$ 所需的时间用 Δt 来表示，那么磁通的变化率就是 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。因此，单匝线圈中产生的感应电势可用下式表示：

$$e = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (\text{伏}) \quad (1-6)$$

式中： $\Delta\Phi$ 的单位为韦； Δt 的单位为秒； e 的单位为伏。式中的负号，表示感应电势所产生的感应电流反抗磁通的变化。

(1-6) 式所表示的关系，叫做电磁感应定律。

(1-6) 式说明，当通过单匝线圈的磁通变化率为 1 韦/秒（也就是 10^8 马/秒）时，线圈中产生 1 伏的感应电势。因此， N 匝线圈中所产生的感应电势可按下式计算：

$$e = - N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \times 10^{-8} \quad (\text{伏}) \quad (1-7)$$

式中： e 为感应电势，单位是伏； N 为线圈匝数； $\Delta\Phi$ 为线圈中磁通的变化量，单位是马， Δt 为磁通变化 $\Delta\Phi$ 所需的时间，单位是秒。

根据 (1-7) 式，可以从已确定的磁通方向（也就是电流方向）及其变化量的正、负，来判断感应电势 e 的实际

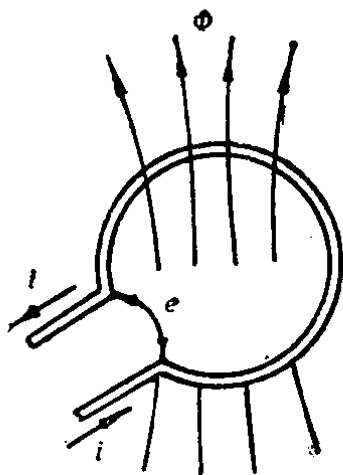


图 1—11 单匝线圈的感应电势

方向。例如，当磁通不断增加时， $\Delta \Phi$ 是个增量，取正值。代入(1—7)式，得出感应电势 e 等于负值，说明此时感应电势的实际方向是反抗原磁通增加的。

当磁通减少时， $\Delta \Phi$ 是个减量，取负值。代入(1—7)式，得出感应电势 e 等于正值，说明此时感应电势的实际方向是阻止原磁通减少的。

第三节 磁场对通电导体的作用

在通电导体周围存在着磁场，若把通电导体放到其他磁场里，通电导体会被推动。根据磁力线具有互相排斥和缩短自己长度的特性，可以解释通电导体在磁场中为什么会受力以及受力的方向。图1—12(a)为一对磁极间的磁场；(b)为通电导体产生的磁场；(c)为通电导体放入磁场后的合成磁场。从图1—12(c)中明显看出，在导体的上方，两

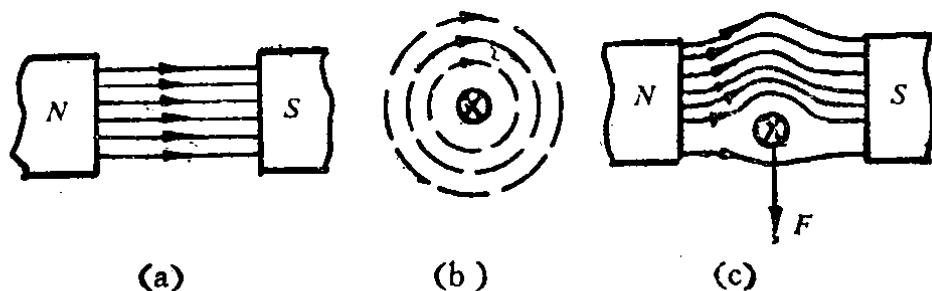


图1—12 磁场对通电导体的作用

个磁场磁力线方向相同，结果使磁通密度增加，磁力线较密；在导体的下方，两个磁场磁力线方向相反，合成磁场减弱，磁力线较疏。由于磁力线具有缩短自己长度的特性，从而产生了把通电导体向下推动的作用力。

实验证明，当导体与磁力线的方向垂直时，磁场对通电

导体的作用力，与通电导体中的电流、磁通密度及在磁场中的导体长度成正比。即

$$F = \frac{1}{9.81} BlI (\text{公斤}) \quad (1-8)$$

式中：\$F\$为导体所受的力，单位是公斤；\$B\$为磁通密度，单位是韦/米²；\$l\$为导体的有效长度（即位于磁场中的长度），单位是米；\$I\$为通过导体的电流，单位是安。

导体受力的方向，可以用电动机左手定则来判断。将左手的掌心迎着磁力线，四指指向导体电流的方向，则拇指所指的方向，就是导体受力的方向（图1-13）。

如果通电导体与磁场的方向不是互相垂直，而是成一\$\alpha\$角，则导体所受的作用力为

$$F = \frac{1}{9.81} BlI \cdot \sin \alpha (\text{公斤}) \quad (1-9)$$

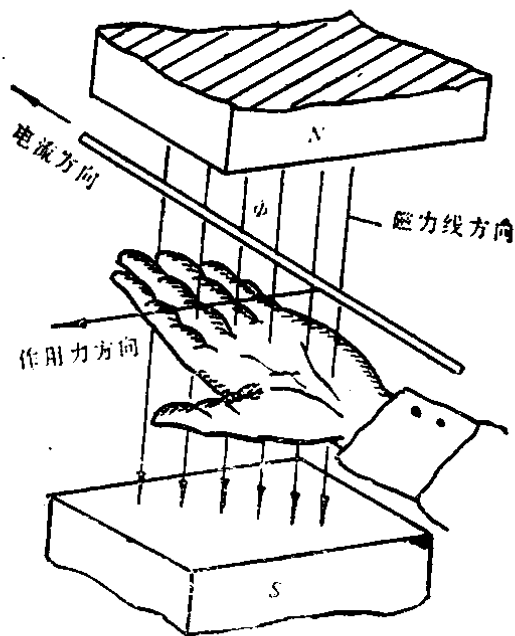


图1-13 电动机左手定则

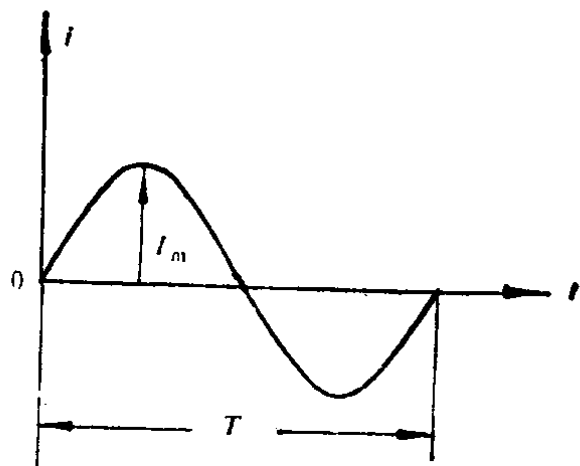
第四节 正弦交流电

现代工业、农业、交通运输业、通讯事业等所需要的电气设备，大都采用交流电。即使在需要直流电的场合，往往也是将交流电通过整流设备变换为直流电，如各种电子仪器中的直流电源、直流电动机的电源、交流发电机的可控硅

励磁等。

交流电之所以得到这样广泛的应用，主要是因为它在生产、输送和使用方面比直流电优越得多。首先，在交流电路中，可以应用变压器将电压升高或降低。输电时，将电压升高，扩大电能的输送距离而且损耗小；用电时，再将电压降低，既能保证安全，又能降低对设备绝缘水平的要求，减少用电设备的造价。其次，交流发电机和交流电动机的结构和制作工艺比直流电机简单得多，造价比较便宜。所以，交流电在工业上占着很重要的地位。工业上用的交流电是按正弦规律变化的正弦交流电。

交流电，就是指大小和方向随着时间作周期性变化的电流。一般所用的交流电，都是按正弦规律变化的



(图1—14)，其交变的电势或电压，也都是按正弦规律变化的。

图 1—14 正弦电流的变化曲线

交变电流或电压完成一个循环的正负变化所需要的时间，叫做周期，用符号 T 表示；在每秒钟内所变化的周期次数，叫做频率，用符号 f 表示。根据以上定义，可以知道频率与周期之间存在着互为倒数的关系，即

$$f = \frac{1}{T} \text{ (赫) 或 } T = \frac{1}{f} \text{ (秒)} \quad (1-10)$$

周期的单位是秒，频率的单位是赫兹（简称赫）。1赫兹就是每秒的变化为一周期。我国工业上采用的频率是50赫兹，