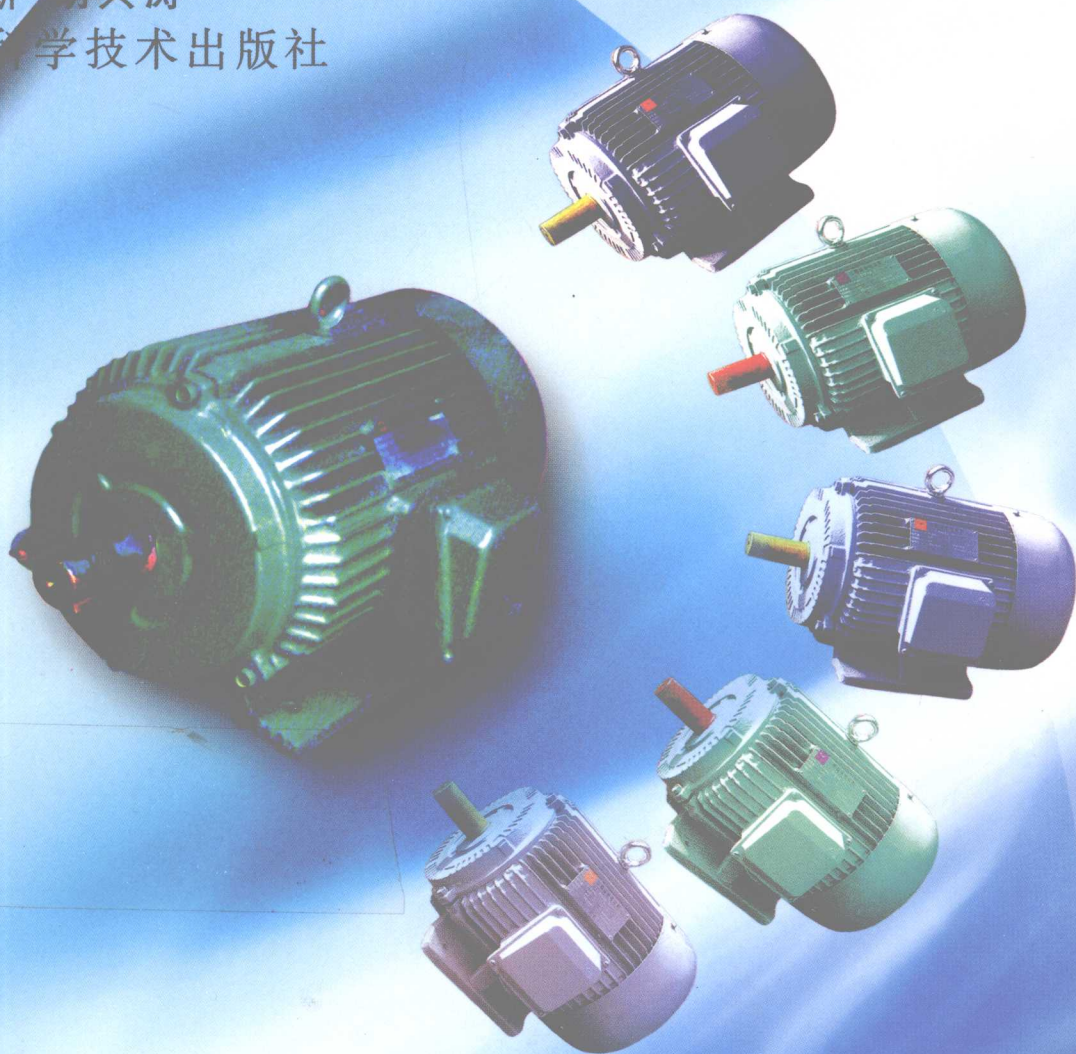


XINBIAN DIANDONGJI
WEIXIU SUCHENG

新编

电动机维修速成

陈佳新 胡兴涛
福建科学技术出版社



新编电动机维修速成

陈佳新 胡兴涛

福建科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新编电动机维修速成/陈佳新, 胡兴涛编. —福州:
福建科学技术出版社, 2005. 4

ISBN 7-5335-2540-X

I. 新… II. ①陈…②胡… III. 电动机—维修
IV. TM320.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 006525 号

书 名	新编电动机维修速成
作 者	陈佳新 胡兴涛
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福州晚报社印刷厂
开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张	15
字 数	370 千字
版 次	2005 年 4 月第 1 版
印 次	2005 年 4 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 7-5335-2540-X/TM·32
定 价	23.50 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

电动机将电能转换成机械能，拖动各种各样的机械及家用电器，以实现形形色色的功能。因此，电动机在各行各业及家庭生活中的诸多方面，发挥着重要的作用。电动机社会保有量极大，电动机维修的市场一向看好，所以，电动机维修培训班遍地开花，想学电动机维修技术的人越来越多。他们渴望通过自学或培训班学习，能在尽可能短的时间内掌握电动机维修技术。为了满足社会上这一群体的需求，我们编写了《新编电动机维修速成》一书。

本书在介绍了电动机维修基本知识的基础上，介绍了三相异步电动机、单相异步电动机、单相串励电动机、控制电动机、特殊电动机的维修技术。书中着重介绍了上述各种电动机的结构、原理、拆装、常见故障及排除方法、绕组重绕及维修后的检验等方面的知识。书中还收录了电动机维修常用的技术数据、接线图、绕组图等资料，以供读者维修实践中参考。全书通俗易懂，内容简明实用，突出电动机维修基本技能，因此本书实用性、可读性强，可作电动机维修培训班教材，也可作电动机维修初学者读物。

本书由陈佳新、胡兴涛编写。参加本书编写及插图绘制的还有吴晓婕、陈夏颖、王琳、陈敏、陈基、林彬等。

由于编写时间仓促，水平有限，书中难免存在错误及不妥之处，恳请广大读者及同行批评指正，以便进行修订。

作 者

目 录

第一章 电动机维修基础知识	(1)
第一节 电工基础知识	(1)
一、电学基本概念	(1)
二、电学基本定律	(4)
三、单相正弦交流电	(5)
四、三相正弦交流电	(6)
五、电磁的基本概念	(7)
第二节 电动机基础知识	(10)
一、电动机的分类	(10)
二、电动机产品的型号	(10)
三、常用电动机术语	(14)
四、电动机的维护	(15)
第三节 电动机维修常用工具及仪表	(17)
一、常用工具	(17)
二、常用仪表	(20)
三、电动机维修专用工具	(28)
第四节 常用的电工材料	(30)
一、导电材料	(30)
二、绝缘材料	(34)
三、导磁材料	(41)
第二章 三相异步电动机	(42)
第一节 概 述	(42)
一、异步电动机的分类	(42)
二、三相异步电动机的铭牌数据及主要系列	(42)
第二节 三相异步电动机的基本结构	(44)
一、定子	(44)
二、转子	(45)
三、其他附件	(47)
第三节 三相异步电动机的工作原理	(47)
一、旋转磁场	(47)
二、三相异步电动机的转动原理	(50)
第四节 三相异步电动机的定子绕组	(53)
一、定子绕组概述	(53)
二、三相单层绕组	(56)

三、三相双层叠绕组	(60)
第五节 三相异步电动机常见故障与排除	(64)
第六节 三相异步电动机的拆装及局部修理	(66)
一、三相异步电动机的拆装	(66)
二、端盖的检修	(69)
三、轴承的检查和更换	(71)
四、定子绕组的修理	(78)
五、笼型转子的检查和修理	(88)
六、转轴常见故障的修理	(91)
第七节 三相异步电动机定子绕组的重绕	(93)
一、记录数据	(93)
二、旧绕组的拆除	(93)
三、线圈的绕制	(95)
四、绝缘材料的裁制	(97)
五、嵌线	(100)
六、接线	(105)
七、绑扎与整形	(107)
八、浸漆与烘干	(108)
第八节 三相异步电动机的检验	(110)
一、一般性检查	(110)
二、绝缘电阻的检测	(110)
三、直流电阻的检测	(111)
四、耐电压试验	(112)
五、空载试验	(113)
六、匝间绝缘耐电压试验	(114)
第三章 单相异步电动机	(116)
第一节 概 述	(116)
一、单相异步电动机的分类	(116)
二、单相异步电动机的主要系列	(116)
第二节 单相异步电动机的基本结构	(118)
一、定子	(118)
二、转子	(118)
三、附件	(118)
第三节 单相异步电动机的工作原理	(121)
一、单相绕组的脉振磁场	(121)
二、单相异步电动机的工作原理	(121)
第四节 单相异步电动机的定子绕组	(124)
一、单相绕组概述	(124)
二、单相绕组的分布和连接	(124)
第五节 单相异步电动机的常见故障与排除	(129)

第六节 单相异步电动机的拆装及局部修理	(131)
一、起动装置的检修	(131)
二、电容的检修	(132)
三、罩极绕组的修理	(132)
第七节 单相异步电动机定子绕组的重绕与检验	(132)
一、数据的记录	(133)
二、绕组的重绕	(134)
三、绕组的接线	(135)
四、单相异步电动机的检验	(137)
第四章 单相串励电动机	(137)
第一节 概 述	(137)
一、单相串励电动机的用途	(137)
二、单相串励电动机的铭牌数据和主要系列	(139)
第二节 单相串励电动机的基本结构	(139)
一、定子	(141)
二、转子	(142)
第三节 单相串励电动机的电枢绕组	(142)
一、电枢绕组的基本概念	(143)
二、单叠绕组	(143)
三、单相串励电动机实用的单叠绕组	(145)
第四节 单相串励电动机的工作原理	(146)
第五节 单相串励电动机的常见故障及维修	(148)
第六节 单相串励电动机的拆装及局部修理	(148)
一、单相串励电动机的拆装	(150)
二、定子励磁绕组的检查和修理	(151)
三、转子电枢绕组的检查和修理	(155)
四、换向器与电刷的检查和修理	(157)
第七节 单相串励电动机绕组的重绕与检验	(157)
一、定子励磁绕组的重绕	(158)
二、转子电枢绕组的重绕	(168)
三、单相串励电动机的检验	(170)
第五章 控制电动机	(170)
第一节 步进电动机	(170)
一、步进电动机的分类与用途	(170)
二、步进电动机结构	(174)
三、步进电动机常见故障及维修	(177)
第二节 伺服电动机	(178)
一、交流伺服电动机	(179)
二、直流伺服电动机	(181)
第三节 自整角机	

一、自整角机结构及工作原理	(181)
二、自整角机常见故障及维修	(185)
第六章 特殊电动机	(186)
第一节 电磁调速异步电动机	(186)
一、电磁调速异步电动机结构及工作原理	(186)
二、电磁调速异步电动机工作原理	(187)
三、电磁调速异步电动机常见故障及维修	(188)
第二节 锥形转子异步电动机	(189)
一、锥形转子异步电动机结构及工作原理	(190)
二、锥形转子异步电动机的常见故障及维修	(191)
第三节 家用洗衣机电动机	(193)
一、波轮式洗衣机电动机	(193)
二、滚筒式洗衣机电动机	(196)
三、洗衣机电动机常见故障及维修	(197)
第四节 电冰箱、空调器压缩机电动机	(198)
一、压缩机电动机分类及结构	(198)
二、压缩机电动机定子绕组结构	(199)
三、压缩机电动机常见故障及维修	(203)
第五节 吸尘器电动机	(203)
一、吸尘器电动机结构	(203)
二、吸尘器电动机拆装	(205)
三、吸尘器电动机常见故障及维修	(208)
附 录	(210)
一、绕组常用电磁线	(210)
二、Y 系列三相异步电动机铁心和绕组数据	(213)
三、JZ、JY、JX 新系列单相电阻起动异步电动机铁心和绕组数据	(219)
四、AO2 系列三相微型异步电动机铁心和绕组数据	(224)
五、BO2、CO2、DO2 系列单相异步电动机铁心和绕组数据	(224)
六、电动工具用单相串励电动机铁心和绕组数据	(226)

第一章 电动机维修基础知识

第一节 电工基础知识

一、电学基本概念

1. 电流

电流是由电荷的定向移动形成的。电流的强弱用电流强度来表示。电流强度简称电流，表示单位时间内通过导体某一截面的电荷量，常用 I 表示。我们规定：正电荷定向移动的方向作为电流的正方向。如果电流的大小和方向不随时间发生变化，这种电流叫做恒定直流电流；如果电流的大小和方向都随时间有规律地变化，这种电流叫做交流电流。

电流不但有方向，而且有大小（强弱）。表征电流大小的单位是安培（A）。在实际应用中，还采用比安培更小的电流单位，即毫安（mA）和微安（ μA ），它们之间的换算关系是：

$$1\text{A}=1000\text{mA}, 1\text{mA}=1000\mu\text{A}$$

测量电路中电流大小要用电流表或万用表中的电流挡。刻度盘上标有字母 A 的电流表，通常称作安培表；标有 mA 的电流表，通常称作毫安表。测量直流电流时应注意正、负极性。

2. 电路

电路实际上就是电流通过的路径。电路通常由电源、负载及导线、控制元件三大部分组成。电路中要有电流，通常必须具备两个条件：一是电路必须是闭合的，二是在闭合电路中必须要有电源存在，二者缺一不可。

3. 电源

电源在电路中用以产生电能。电源的功能是把其他形式的能量（化学能、机械能等）转变为电能。电源按其性质不同，可分为直流电源和交流电源。干电池和铅蓄电池是将化学能转化成电能的直流电源，直流电源有正、负极性之分；能够提供交流电的发电机是交流电源。

电源内有一种外力（非静电力），它能促使电荷移动而做功。衡量该外力做功能力的物理量称为电源电动势。电源电动势常用 E 表示，单位为伏特（V），另外还常用千伏（kV）、毫伏（mV）和微伏（ μV ）等单位，它们之间的换算关系是：

$$1\text{kV}=1000\text{V}, 1\text{V}=1000\text{mV}, 1\text{mV}=1000\mu\text{V}$$

4. 电压

电流能在导线中流动，是由于电路中有高电位和低电位之差，通常将这种电位差称为电压。电压是形成电流的必要条件之一。电路中元件两端的电压常用 U 表示，其单位也为伏特（V）。

电压的大小可用电压表测量。电压表有伏特表、毫伏表、微伏表及万用表中的电压挡等。测量电压时，要选择适当的量程，测量直流电压还应注意正、负极性。

5. 电阻

电流通过导体时，导体本身会对电流产生阻力，这种阻碍电流流动的能力称作电阻，通常用 R 表示。电阻的大小与导体的长度成正比，与导体的截面积成反比，还和导体本身的材料有关。电阻可用下式计算：

$$R=\rho \frac{l}{A}(\Omega)$$

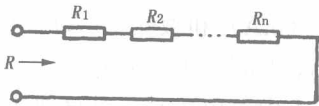
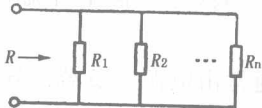
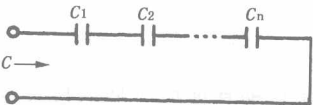
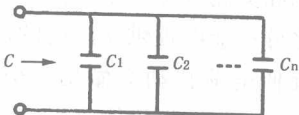
式中, l 为导体的长度 (m); A 为导体的截面积 (mm^2); ρ 为导体的电阻率, 它与导体的材料有关, 单位为 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

电阻的单位是欧姆 (Ω), 简称欧。此外, 还常用千欧 ($\text{k}\Omega$) 和兆欧 ($\text{M}\Omega$) 等单位, 它们之间的关系是:

$$1\text{k}\Omega=1000\Omega, 1\text{M}\Omega=10^3\text{k}\Omega=10^6\Omega$$

电阻器 (简称电阻) 的主要作用有降低电压、分配电流、限制电流和分配电压, 另外, 它与电容器和电感线圈还能组成具有某种功能的电路。电阻器可串联或并联使用。电阻器串联时等效电阻值 R 为各串联电阻器电阻值之和, 电阻器并联时等效电阻值减小, 如表 1-1 所示。

表 1-1 电阻器和电容器串、并联等效计算

计算内容	电阻器、电容器连接	等效电阻、电容计算公式
串联电阻器总电阻的计算		$R=R_1+R_2+\cdots+R_i+\cdots+R_n$
并联电阻器总电阻的计算		$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots+\frac{1}{R_i}+\cdots+\frac{1}{R_n}$
串联电容器总电容的计算		$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\cdots+\frac{1}{C_i}+\cdots+\frac{1}{C_n}$
并联电容器总电容的计算		$C=C_1+C_2+\cdots+C_i+\cdots+C_n$

6. 电功率

电流通过用电器时将电能转换成其他形式的能量, 即电流做了功。单位时间内电流所做的功叫电功率, 一般用 P 表示, 单位为瓦特 (W), 简称瓦。实际应用中, 还常用千瓦 (kW) 和毫瓦 (mW) 等单位, 它们之间的关系是:

$$1\text{kW}=1000\text{W}, 1\text{W}=1000\text{mW}$$

电功率是衡量电能转换速度的物理量。如果在一个电阻值为 R 的电阻器两端加上电压 U , 而流过 R 的电流为 I , 那么该电阻器上消耗的电功率 P 的计算公式为:

$$P=UI=I^2R=\frac{U^2}{R}$$

式中, 电压 U 的单位为伏 (V), 电流 I 的单位为安 (A), 电阻 R 的单位为欧 (Ω), 电功率 P 的单位为瓦 (W)。

7. 电能

在某一时间 t 内电流所做的功称作电能，电能常用 W 表示，单位为焦耳 (J)，简称焦。在实际应用中，常用千瓦小时 (kW·h) 作为电能的计量单位，它是指电功率为 1 千瓦的电源 (或负载) 在 1 小时内电流所做的功。千瓦小时俗称度。电能的计算公式为：

$$W = Pt$$

式中，电能 W 单位为焦 (J)，电功率 P 单位为瓦 (W)，时间 t 单位为秒 (s)。

8. 电容

两块彼此互相绝缘的平行导体组成电容器 (简称电容)，其中一块导体带正电荷，另一块导体带负电荷。储存电荷量的多少与加在两导体之间的电压大小成正比。

电容器的电容量简称容量，常用 C 表示。电容量的大小反映了电容器储存电荷的能力。电容量的基本单位是法拉 (F)，简称法。在实际中还用微法 (μF)、纳法 (nF) 和皮法 (pF)，它们之间的关系为：

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{nF} = 10^{12} \text{pF}$$

通过电容器的串联和并联可改变等效电容器的电容量和额定工作电压，见表 1-1。电容器串联使用时，电容量小的电容器比电容量大的电容器所分配的电压要高。串联使用中要注意每个电容器上的电压不要超过其额定工作电压。电容器并联使用时，等效电容器的耐压值等于并联电容器中最低额定工作电压。

电容器在电路中可起到隔直流通交流的作用。但它对交流电流也呈现一定的阻碍作用，这种阻碍作用称作容抗，常用 X_C 表示，单位为欧姆 (Ω)。容抗 X_C 与交流电的频率 f 及电容量 C 的关系为：

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

电容器可与电感线圈构成振荡电路。利用电容器可进行充、放电，可实现滤波、耦合及定时和延时等功能。

(1) 电容器充电。电容器在外加电源作用下，电荷向电容器移动，电容器两极板上开始逐渐积累数量相等的异性电荷，电容器两端电压 u_c (u 表示电压瞬时值) 逐渐升高，该过程称作电容器充电。充电时，充电电流 i_c (i 表示电流瞬时值) 由起初的最大值逐渐减小到零。电容器的端电压及充电电流按指数规律变化，如图 1-1 所示。

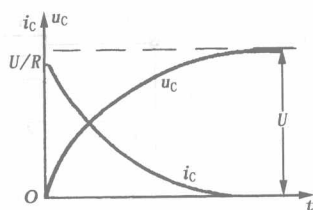


图 1-1 电容器充电电压、电流曲线

(2) 电容器放电。电容器向外释放电荷的过程叫放电。电容器通过电阻器进行放电，将出现与充电电流方向相反的放电电流 i'_c 。放电电流由刚开始放电时的最大值逐渐减小到零，电容器两端的电压 u_c 也随之降低到零。在放电过程中，电容器端电压和放电电流也是按指数规律变化的，如图 1-2 所示。

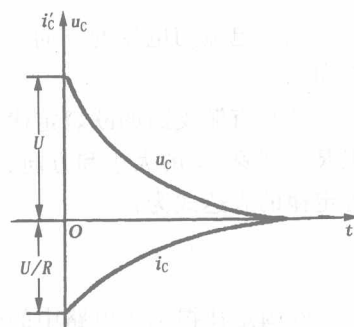


图 1-2 电容器放电电压、电流曲线

(3) 时间常数 τ 。在充电、放电过程中，电容器端电压和电路中充、放电电流的变化快慢与电容器的电容量和充、放电回路中电阻的大小有关。电阻 R 与电容 C 的乘积叫 RC 电路的时间常数，用 τ 表

示, 即

$$\tau = RC$$

τ 越大充、放电所需的时间越长, τ 越小充、放电所需的时间越短。

9. 电感

线圈通过的电流发生变化时将引起线圈周围磁场的变化, 而磁场的变化又在线圈中产生感应电动势, 这种现象称作自感现象。两只互相靠近的线圈, 其中一个线圈中的电流发生变化, 而在另一个线圈中产生感应电动势, 这种现象称作互感现象。

自感和互感合称电感, 其大小常用 L 表示, 单位为亨利 (H), 在实际中还采用毫亨 (mH) 和微亨 (μH), 它们之间的关系为:

$$1 \text{ 亨 (H)} = 10^3 \text{ 毫亨 (mH)} = 10^6 \text{ 微亨 (}\mu\text{H)}$$

电感线圈简称线圈, 它是用绝缘导线绕在支架或铁心上制成的。电感线圈具有通直阻交流的作用, 它可和其他元件一起组成振荡电路、调谐电路、高频和低频滤波电路等。电感线圈对交流电所呈现的阻碍作用称作感抗, 常用 X_L 表示, 单位为欧姆 (Ω)。感抗 X_L 与线圈中电流的频率 f 及线圈电感量 L 的关系为:

$$X_L = 2\pi fL$$

二、电学基本定律

1. 欧姆定律

(1) 无源支路的欧姆定律。在一段不含电源, 只有电阻器的电路中, 如图 1-3a 所示, 流过电阻器的电流 I 与加在电阻器两端的电压 U 成正比, 与电阻 R 成反比, 这就是欧姆定律, 其表达式为:

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = IR$$

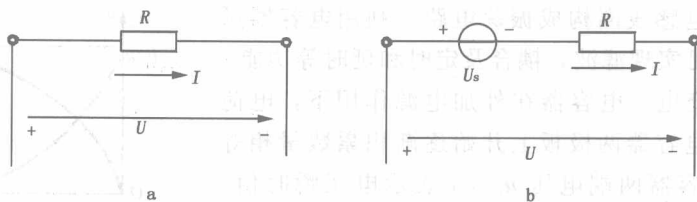


图 1-3 欧姆定律的计算图

图中电流与电压的方向一致, 这种电流与电压方向一致性的规定称为欧姆定律的关联方向。

(2) 有源支路的欧姆定律。在一段含有电源 U_s 的电路中, 其电流 I 的大小和方向与电阻 R 、电源 U_s 的大小和方向、支路两端的电压 U 有关, 以图 1-3b 中的参考方向为例, 其欧姆定律的表达式为:

$$I = \frac{U - U_s}{R}$$

欧姆定律揭示了电路中的电压、电流和电阻 3 个基本量之间的关系。在实际应用中, 只要知道其中两个量, 就可以通过欧姆定律计算出第三个量。

2. 基尔霍夫定律

(1) 节点电流定律 (基尔霍夫第一定律)。几条支路所汇集的点称作节点。对于电路中

的任一节点，任一瞬间流入的电流之和必等于流出的电流之和，或者说流入任一节点的电流的代数和等于 0（假定流入的电流看作正值，流出的看作负值）。以图 1-4 为例，对 A 点，根据其参考方向有：

$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

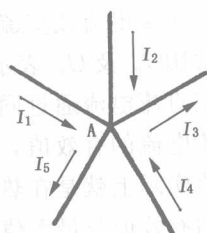


图 1-4 基尔霍夫第一定律计算图

(2) 回路电压定律（基尔霍夫第二定律）。电路中的任一闭合路径称作回路。任一瞬间，电路中任一回路的各元件上的电压降的代数和恒等于零。应用回路电压定律计算时，应先假定各支路电流的参考方向和回路的绕行方向。各元件上的电压降方向与回路的绕行方向一致时取正值，反之取负值。以图 1-5 为例：

对于回路 I： $I_1 R_1 + I_4 R_4 + I_5 R_5 - U_1 + U_5 = 0$

对于回路 II： $-I_5 R_5 - I_2 R_2 - U_2 - U_3 - U_5 = 0$

如果用基尔霍夫定律求解电路中的电流时，计算的结果得到了一个负值的电流，表明该支路上的实际电流的方向与解题时所假定的电流方向相反。

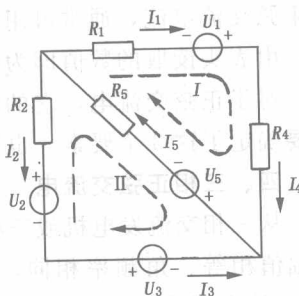


图 1-5 基尔霍夫第二定律计算图

三、单相正弦交流电

电流或电压的大小和方向随时间按正弦规律周期变化的交流电称作正弦交流电。正弦交流电有许多优点，因此广泛应用于生产及生活中。

单相正弦交流电流的波形如图 1-6 所示，它可写成如下的表达式：

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) = I_m \sin(2\pi f t + \varphi)$$

式中， i 为瞬时电流或电流的瞬时值； I_m 为电流的幅值或峰值，即最大值； ω 为电流的角频率； f 为电流的频率； φ 为电流的初相角。

1. 频率

交流量每秒钟完成的循环次数称作频率，常用 f 表示，单位为赫兹（Hz），简称赫。它的实质含义是 1/秒或周/秒。我国交流供电的标准频率为 50Hz，称工频交流电。

2. 周期

周期性变化的交流量，变化一周所需要的时间称为周期，常用 T 表示，单位为秒（s）。周期与频率的关系是互为倒数，即 $T = \frac{1}{f}$ 。

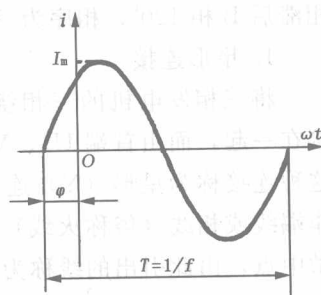


图 1-6 正弦交流电流波形图

3. 角频率

正弦交流电在单位时间内所变化的电角度（以弧度计算），称为角频率，常用 ω 表示，单位为弧度/秒（rad/s）。角频率与频率和周期的关系为： $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ 。

4. 相位和初相位

在电流表达式 $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ 中，电角度 $(\omega t + \varphi)$ 表示正弦交流电变化过程的一个物理量，称为相位角，简称相位或相角。当 $t = 0$ （即起始时）时的相位 φ 称作初相位或初相。

5. 振幅值与有效值

交流电流或交流电压，在一个周期内出现的电流或电压的最大值叫振幅值（简称振幅），通常用 I_m 及 U_m 表示。当交流电流通过电阻时，在一个周期内所产生的热量，如果与一个恒定直流电流通过同一电阻时所产生的热量相等，那么就把该恒定直流电流值的大小称为该交流电流的有效值，通常用 I 表示，电压有效值则用 U 表示。因此，交流电流或电压的有效值实际上就是在热效应上同它们相当的直流电流或电压值。对于正弦交流电，其电流及电压的有效值与最大值的数量关系为：

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

平常所说的单相电源电压为 220V，就是指该电压的有效值 U 为 220V。正弦交流电压和正弦交流电流，通常可用交流电压表、交流电流表或万用表的交流电压挡、交流电流挡测量，由表头读取的数值即为该正弦交流电压或正弦交流电流的有效值。

对于正弦交流电，它的最大值（振幅）、角频率和初相位，通常称为正弦量的三要素。只要确定了这 3 个要素，也就唯一确定了一个正弦交流电。

四、三相正弦交流电

从三相交流发电机或三相变压器的 3 个输出端引出来的 3 个电压（或电流），如果它们的幅值相等、角频率相同，只是相位互差 120° 电角度，则称为三相对称交流电压（或电流），该电源就叫作三相对称电源，其三相对称电流的波形如图 1-7 所示，表达式为：

$$i_A = I_m \sin \omega t, i_B = I_m \sin (\omega t - 120^\circ), i_C = I_m \sin (\omega t + 120^\circ)$$

一般用字母 A、B、C 表示三相达到最大值（或 0）的先后顺序，称之为相序。上述 B 相滞后 A 相 120° ，C 相滞后 B 相 120° ，相序为 A—B—C。

1. 星形连接

将三相发电机的三相绕组的末端 U_2 、 V_2 、 W_2 连接在一起，而由首端 U_1 、 V_1 、 W_1 引出的线作传输线，这种连接称为星形（Y）连接。从首端引出的 3 根线称作端线或相线（俗称火线）A、B、C，末端连接的点叫做中点，由此引出的线称为中线 N，见图 1-8。

2. 三角形连接

将三相发电机的三相绕组按相序首末端连接，这种连接方式称为三角形（ Δ ）连接，见图 1-9。对于负载而言，如果每相负载的电阻相等，电抗也相等，而且性质相同（同为电感

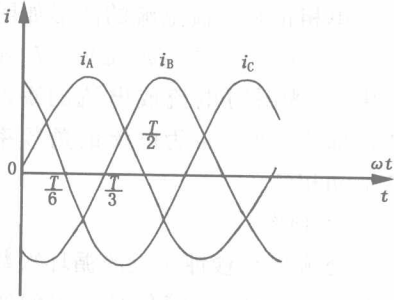


图 1-7 三相对称正弦交流电流波形图

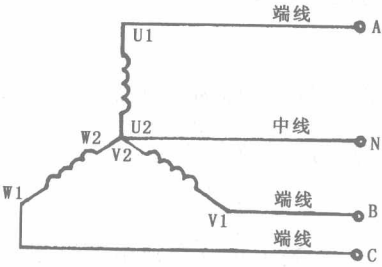


图 1-8 星形连接

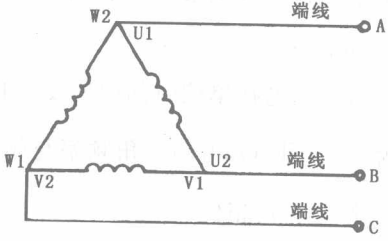


图 1-9 三角形连接

性或电容性负载), 则这种负载便称作三相对称负载, 如三相异步电动机等。同样, 三相负载也可作星形连接或三角形连接。

3. 相电压和相电流

在三相对称电路中, 每相绕组或每相负载上的电压, 称作相电压, 对于星形连接的即为端线与中线之间的电压。流过每相绕组或每相负载上的电流, 称作相电流。

4. 线电压和线电流

三相对称电路中, 任意两条端线之间的电压, 称作线电压。端线中流过的电流称作线电流。对于星形连接, 三相对称电路中的线电流与相应的相电流相等, 而线电压的有效值是相电压有效值的 $\sqrt{3}$ 倍, 即 $U_{\text{线}} = \sqrt{3}U_{\text{相}}$; 对于三角形连接, 三相对称电路中的线电压与相电压相等, 而线电流的有效值是相电流有效值的 $\sqrt{3}$ 倍, 即 $I_{\text{线}} = \sqrt{3}I_{\text{相}}$ 。

五、电磁的基本概念

1. 磁铁与磁场

磁铁是具有磁性的铁磁物质。在外磁场的作用下, 原来不具有磁性的物质变为有磁性的过程称为磁化。铁磁材料具有很强的被磁化特性。磁铁上磁性最强的地方叫做磁极, 磁极分北极 (N) 和南极 (S)。任何一块磁铁, 南、北磁极总是成对出现, 而且其强弱总是相等。

磁极与磁极之间存在的作用力通常称为磁力。磁铁及通电导线的周围空间有磁力的作用, 这种作用空间称为磁场。磁场的形状和强弱、磁场的分布情况, 常用假想的磁力线来描述。磁力线是闭合曲线, 磁铁外部磁力线的方向总是从 N 极出发回到 S 极, 磁铁内部磁力线则由 S 极回到 N 极, 见图 1-10。

磁极与磁极之间的磁力, 表现为异极性相吸、同极性相斥, 用磁力线表示时如图 1-11 所示。

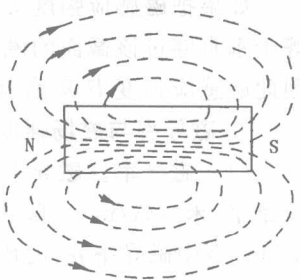


图 1-10 磁力线的闭合路径

2. 电流与磁场

通电导线 (导体) 周围存在磁场, 通常将载流导体周围存在磁场的现象称为电流的磁效应。实验证明, 载流导体中的电流方向改变时, 其磁场方向也会改变, 但磁场方向总是与电流方向相互垂直。载流导体中的电流方向与其周围磁场的方向关系, 符合右手螺旋定则, 见图 1-12。通过载流导体中的电流越大, 在其周围所产生的磁场便越强。

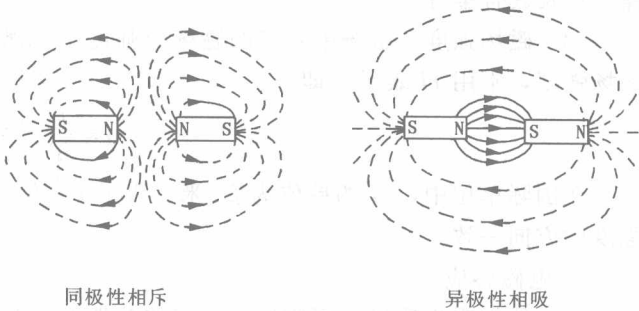


图 1-11 磁极之间的磁力

为了定性分析磁场中的各物理量, 引入一个用来描述磁场中各点磁场强弱和方向的物理量, 此称为磁感应强度, 常用 B 表示, 单位为特斯拉 (T), 简称特。另外也常用高斯 (Gs) 作为磁感应强度的单位, 其关系为:

$$1\text{T} = 10^4\text{Gs}$$

在均匀磁场中, 磁感应强度 B 与垂直于磁场方向的面积 A 的乘积, 称为通过该面积的

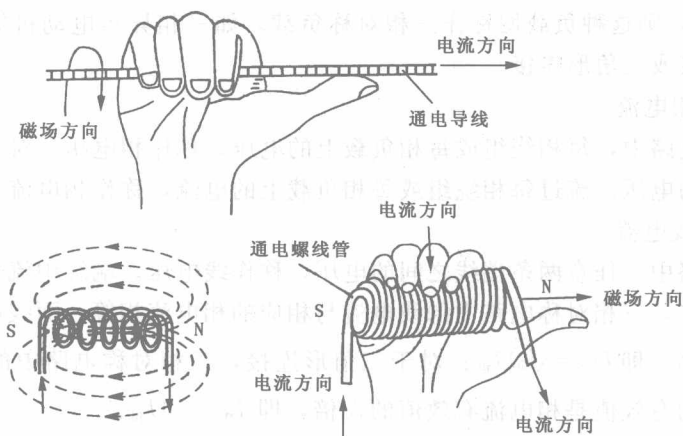


图 1-12 右手螺旋定则

磁通，常用 Φ 表示，单位为韦伯 (Wb)，即

$$\Phi = BA$$

如果把磁感应强度 B 和磁通 Φ 同上述的磁力线联系起来，则可认为磁通 Φ 在数值上就等于垂直穿过该截面的磁力线数，而磁感应强度 B 就等于垂直穿过单位面积上的磁力线数，因此磁感应强度 B 又称为磁通密度。

3. 磁导率与磁场强度

(1) 磁导率。磁导率（导磁系数）是用来表征物质导磁性能的物理量，常用 μ 表示，单位是亨/米 (H/m)。真空的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ，且为常数。通常把某种物质的磁导率 μ 与真空中磁导率 μ_0 的比值叫做该物质的相对磁导率，用 μ_r 表示 ($\mu_r = \mu/\mu_0$)， μ_r 只是一个比值，无单位。根据物质的磁导率不同，可以将物质分为 3 类： $\mu_r < 1$ 的物质叫反磁物质，如铜、银等； $\mu_r > 1$ 的物质叫顺磁物质，如空气、锡等； $\mu_r \gg 1$ 的物质叫铁磁物质，如铁、镍、钴及其合金等。

(2) 磁场强度。磁场中某点的磁感应强度 B 与媒介质的磁导率 μ 的比值，叫做该点的磁场强度，常用 H 表示，即

$$H = \frac{B}{\mu}$$

在国际单位中， H 的单位为安/米 (A/m)。在均匀磁场中，磁场强度的方向与磁感应强度的方向一致。

4. 电磁感应

电流能够产生磁场，而磁场在一定的条件下也能够在导体中产生感应电动势和电流，这就是电磁感应。当穿过线圈中的磁通发生变化时，线圈中将产生感应电动势，线圈两端的感应电动势 e 的大小与线圈的匝数 (N)、磁通随时间的变化率 ($\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$) 成正比，即

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

感应电动势方向可根据右手螺旋定则判断。如果线圈是闭合的，那么，线圈中就会出现感应电流。此感应电流流过线圈时产生的磁通 Φ' ，力图阻碍原磁通 Φ 的变化。当原磁通 Φ 增加 ($\Delta\Phi > 0$) 时，该磁通 Φ' 就要阻碍其增加，使得 Φ' 与 Φ 反向；当原磁通 Φ 减小

($\Delta\Phi < 0$)时, 该磁通 Φ' 就要阻碍其减小, 使得 Φ' 与 Φ 同向, 见图 1-13。

导体在磁场中运动而切割磁力线时, 导体中就会产生感应电动势。感应电动势 e 的大小等于磁感应强度 B 、导体的运动速度 v 和导体的有效长度 l 三者的乘积。当三者互相垂直时, 则

$$e = Bvl$$

感应电动势的方向可用右手定则来确定, 如图 1-14 所示, 让磁力线指向掌心, 四指并拢与大拇指垂直, 大拇指指向导体的运动方向, 则四指所指的方向即为导体中的感应电动势的方向。

5. 电磁力

实验表明, 载流导体在磁场中受到力的作用。由于这种力是磁场和电流相互作用产生的, 所以称为电磁力。若磁场与导体互相垂直, 则作用在导体上的电磁力 F 为

$$F = Bil$$

电磁力的方向可由左手定则确定, 如图 1-15 所示, 把左手掌伸开, 让磁力线指向掌心, 四指并拢与大拇指垂直, 四指指着导体中的电流方向, 则大拇指所指的方向就是电磁力的方向。

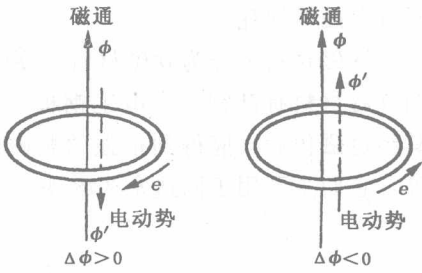


图 1-13 感应电动势与磁通的关系

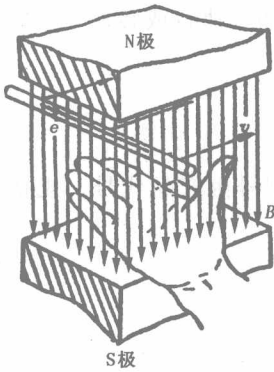


图 1-14 右手定则

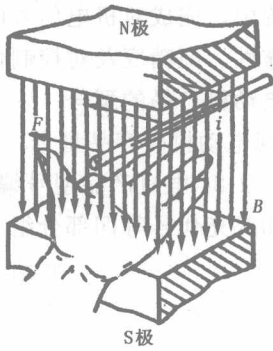


图 1-15 左手定则

6. 铁磁材料的性质

铁磁材料具有很强的被磁化特性, 它们在外磁场的作用下, 能产生远大于外磁场的附加磁场。具有铁心的线圈, 其磁场远比无铁心线圈的磁场强, 所以电机、电器等设备的线圈大都采用铁心, 这样就可用较小的电流产生较强的磁场, 使线圈的体积、重量都大为减小。

铁磁材料主要具有如下的磁性能:

- (1) 高导磁性。铁磁材料的磁导率在一般情况下远比非铁磁材料大。
- (2) 剩磁性。铁磁材料磁化后, 若励磁电流降低到 0, 铁磁材料中仍能保留一定的剩磁。
- (3) 磁饱和性。铁磁材料内的磁场强度增加到一定后, 这时磁场增强变得极为缓慢, 达到饱和。
- (4) 磁滞性。铁磁材料在交变磁化过程中, 磁感应强度的变化滞后于磁场强度的变化,