

电机维修技术自学速成

陈佳新 编著

福建科学技术出版社

前 言

电机在国民经济的各个领域和家庭生活的许多方面,都发挥着重要的作用。随着我国现代化建设的发展和人民生活水平的提高,电机的使用量与日俱增。与此同时,电机维修技术的初学者也越来越多,他们渴望在尽可能短的时间内,掌握电机维修技术。为此,作者编写了这本书。

本书在介绍电机维修基础知识的基础上,着重介绍了常用的变压器及特种变压器、三相异步电动机、单相异步电动机和单相串励电动机的维修技术。书中详尽叙述了常用电机的结构、原理、性能、拆装、常见故障的检修、绕组重绕,以及维修后的检验等方面知识。书中还收录了电机维修常用的技术数据和接线图资料,以供读者修理电机时参考。全书内容力求做到简明实用,讲解尽可能通俗易懂,以便于读者自学和掌握。本书既可作为电机维修初学者的读物,也可作为电机维修技术培训班的教材。

在本书编写过程中,得到了许多同志的支持和帮助。潘萍、陈鸿煜、杨淑芳、沈毅、潘辉、郑丽参与了绘图工作。同时,作者参考了大量的资料。在此,向所有支持者及资料的原作者表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,作者水平有限,书中难免存在错误或不妥之处,恳请广大读者和行家批评指正。

作者

目 录

第一章 电机维修基础知识

第一节 电工基础知识	(1)
一、常用电学基本概念	(1)
二、电学基本定律	(5)
三、单相正弦交流电	(7)
四、三相正弦交流电	(8)
五、电磁基本概念	(10)
第二节 电机基础知识	(13)
一、电机的分类	(13)
二、电机产品型号的编制	(14)
三、常用电机术语	(18)
四、电机的维护	(20)
第三节 电机维修常用仪表及工具	(22)
一、常用电工工具	(22)
二、常用仪表	(27)
三、电动机维修专用工具	(35)
第四节 常用电工材料	(38)
一、导电材料	(38)
二、绝缘材料	(43)
三、导磁材料	(51)

第二章 变压器及其检修

第一节 概述	(53)
一、变压器的用途和分类	(53)
二、变压器的铭牌数据	(53)
第二节 变压器基本结构	(55)
一、铁心	(55)

二、绕组	(57)
第三节 变压器工作原理	(58)
一、单相变压器的工作原理	(58)
二、三相变压器的工作原理	(60)
第四节 小型干式低压变压器的常见故障与排除	(63)
一、小型干式低压变压器的故障检查方法	(63)
二、小型干式低压变压器的常见故障排除方法	(64)
第五节 小型干式低压变压器的拆装及局部修理	(65)
一、小型干式低压变压器的拆装	(65)
二、小型干式低压变压器的局部修理	(68)
第六节 小型干式低压变压器的重绕与试验	(69)
一、铁心和绕组的拆卸	(69)
二、绕组骨架和木样心的制作	(69)
三、绝缘材料的准备	(69)
四、绕组的绕制	(71)
五、铁心的装配	(72)
六、浸漆与烘干	(72)
七、绕组重绕后的检验	(73)
第七节 特种变压器	(73)
一、自耦变压器	(74)
二、电焊变压器	(75)

第三章 三相异步电动机及其检修

第一节 概述	(85)
一、异步电动机的用途和分类	(85)
二、三相异步电动机的铭牌数据及主要系列	(86)
第二节 三相异步电动机的基本结构	(88)
一、定子	(89)
二、转子	(90)
三、其他附件	(92)
第三节 三相异步电动机的工作原理	(92)
一、旋转磁场	(92)
二、三相异步电动机的转动原理	(96)
第四节 三相异步电动机的定子绕组	(99)
一、定子绕组概述	(99)
二、三相单层绕组	(102)

三、三相双层叠绕组	(108)
第五节 三相异步电动机的常见故障与排除	(111)
第六节 三相异步电动机的拆装及局部修理	(114)
一、三相异步电动机的拆装	(114)
二、轴承的检修和更换	(116)
三、定子绕组的修理	(123)
四、笼型转子的检查和修理	(134)
五、转轴常见故障的修理	(136)
第七节 三相异步电动机定子绕组的重绕	(138)
一、数据记录	(138)
二、旧绕组的拆除	(139)
三、线圈的绕制	(140)
四、绝缘材料的裁制	(143)
五、嵌线	(145)
六、接线	(150)
七、绑扎与整形	(152)
八、浸漆与烘干	(152)
第八节 三相异步电动机的检验	(155)
一、一般性检查	(155)
二、绝缘电阻的检测	(156)
三、直流电阻的检测	(156)
四、耐压试验	(157)
五、空载试验	(159)
六、匝间绝缘耐压试验	(159)

第四章 单相异步电动机及其检修

第一节 概述	(161)
一、单相异步电动机的用途和分类	(161)
二、单相异步电动机的主要系列	(161)
第二节 单相异步电动机的基本结构	(163)
一、定子	(163)
二、转子	(164)
三、附件	(164)
第三节 单相异步电动机的工作原理	(166)
一、单相绕组的脉振磁场	(166)
二、常见单相异步电动机的工作原理	(167)

第四节 单相异步电动机的定子绕组	(170)
一、单相绕组概述	(170)
二、单相绕组的分布和连接	(171)
第五节 单相异步电动机的常见故障与排除	(177)
第六节 单相异步电动机的拆装及局部修理	(179)
一、起动装置的检修	(180)
二、电容器的检修	(180)
三、罩极绕组的修理	(181)
第七节 单相异步电动机定子绕组的重绕与检验	(181)
一、数据的记录	(181)
二、绕组的重绕	(181)
三、绕组的接线	(184)
四、单相异步电动机的检验	(186)

第五章 单相串励电动机及其检修

第一节 概述	(188)
一、单相串励电动机的用途	(188)
二、单相串励电动机的铭牌数据和主要系列	(188)
第二节 单相串励电动机的基本结构	(190)
一、定子	(190)
二、转子	(192)
第三节 单相串励电动机电枢绕组	(194)
一、电枢绕组的基本概念	(194)
二、单叠绕组	(194)
三、单相串励电动机实用的单叠绕组	(196)
第四节 单相串励电动机工作原理	(197)
第五节 单相串励电动机的常见故障与排除	(199)
第六节 单相串励电动机的拆装及局部修理	(201)
一、单相串励电动机的拆装	(201)
二、定子励磁绕组的检查和修理	(203)
三、转子电枢绕组的检查和修理	(205)
四、换向器与电刷的检查和修理	(209)
第七节 单相串励电动机的重绕与检验	(211)
一、定子励磁绕组的重绕	(211)
二、转子电枢绕组的重绕	(213)
三、单相串励电动机的检验	(223)

附 录

附录 1	绕组常用电磁线型号	(226)
附录 2	漆包线的最小绝缘厚度	(227)
附录 3	漆包线导体直径偏差	(228)
附录 4	漆包线规格及常用数据	(228)
附录 5	绕组常用纤维包 (漆包) 绝缘圆铜线数据	(231)
附录 6	Y 系列 (IP23) 三相异步电动机铁心和绕组的技术数据	(233)
附录 7	Y 系列 (IP44) 三相异步电动机铁心和绕组的技术数据	(236)
附录 8	Y 系列 (IP44) 三相异步电动机绕组木模图	(241)
附录 9	JZ 新系列单相电阻起动异步电动机铁心和绕组的技术数据	(241)
附录 10	JY 新系列单相电容起动异步电动机铁心和绕组的技术数据	(244)
附录 11	JX 新系列单相电容运转异步电动机铁心和绕组的技术数据	(246)
附录 12	电动工具用交直流两用串励电动机的技术数据	(249)
附录 13	电动工具用交直流两用串励电动机转子绕组图	(250)

第一章 电机维修基础知识

修理电机时，需要通过仪表来测量线路的电流、电压、电阻等电量，以了解电机的性能、运行情况，以及发生故障时各种电量参数的变化，从而为分析判断电机的故障提供必要的依据。熟悉常用电工仪表的构造、原理、性能、使用方法及维护知识，对于一个电机修理工来说是必不可少。另外，要修理电机，还需要熟悉一些专用的检查工具、操作工具以及有关的电工材料，这样才能顺利完成故障检查及维修工作。

第一节 电工基础知识

一、常用电学基本概念

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，通用符号是 I 。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做有规律的变化，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，用字母 A 表示。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：

$$1 \text{ 安培 (A)} = 1000 \text{ 毫安 (mA)}$$

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 1000 \text{ 微安 (\mu A)}$$

测量电路中的电流大小要使用电流表。在刻度盘上标有字母“ A ”的电流表，通常称作安培表；标有字母“ mA ”的电流表，通常称作毫安表。

2. 电路

电路实际上就是指电流通过的路径。电路通常由三大部分组成，即电源、负载及导线和控制元件组成。

电路中要产生电流，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

电源是电路中产生电能和设备。电源的功能是把其他形式的能量（化学能、机械能等等）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为电源电动势。电源电动势常用符号 E 来表示，其单位为伏特（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：

$$\begin{aligned}1 \text{ 千伏 (kV)} &= 1000 \text{ 伏 (V)} \\1 \text{ 伏 (V)} &= 1000 \text{ 毫伏 (mV)} \\1 \text{ 毫伏 (mV)} &= 1000 \text{ 微伏 } (\mu V)\end{aligned}$$

4. 电压

水在河流里能流动，是因为河流上游的水位高于下游的水位，即上下游之间有一定的水位差，也称作水压。与此相似，电流之所以能够在导线中流动，也正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用符号 U 表示。电压的单位也为伏特（V）。

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

5. 电阻

导体具有导电的能力，但当电流通过导体时导体本身又对电流产生阻力，这种阻碍电流流动的能力称作电阻，通常用符号 R 来表示。电阻的大小与导体的长度成正比，与导体的截面积成反比，而且还和导体本身的材料有关，因此电阻可以用下式来计算：

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

式中 l ——导体的长度（m）；

A ——导体的截面积（ m^2 ）；

ρ ——导体的电阻率，与导体的材料有关，单位为 $\Omega \cdot mm^2/m$ 。

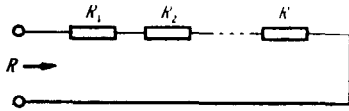
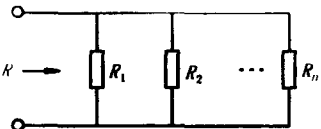
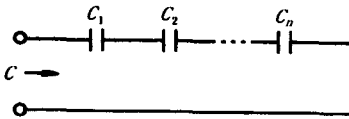
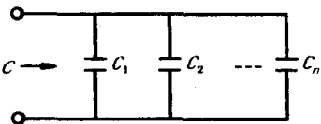
电阻的单位是欧姆，简称欧，用符号 Ω 表示。此外，还常用千欧（k Ω ）和兆欧（M Ω ）。它们之间的关系是：

$$\begin{aligned}1 k\Omega &= 1000 \Omega \\1 M\Omega &= 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega\end{aligned}$$

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。另外与电容器和电感线圈还能组成具有某种功能的电路。

电阻可串联或并联使用。电阻串联时，其等效电阻值为各串联电阻值之和；电阻并联时，等效电阻值减小，总等效电阻值与各并联电阻的关系见表 1-1 所示。

表 1-1 电阻和电容串并联等效计算

计算内容	阻容联接图	等效阻容计算公式
串联电阻总电阻的计算		$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_i + \cdots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$ $G = \frac{1}{\frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} + \cdots + \frac{1}{G_i} + \cdots + \frac{1}{G_n}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{G_i}}$
并联电阻总电阻的计算		$G = G_1 + G_2 + \cdots + G_i + \cdots + G_n = \sum_{i=1}^n G_i$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_i} + \cdots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$
串联电容总电容的计算		$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_i} + \cdots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$
并联电容总电容的计算		$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_i + \cdots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i$

注：表中 G 为电导， $G = \frac{1}{R}$ 。

6. 电功率

电流通过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，一般用符号 P 表示，单位为瓦特，简称瓦，单位符号用 W 表示。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 的电阻两端加上电压 U ，而流过 R 的电流为 I ，那么该电阻上消耗的电功率 P 的计算公式为：

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

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

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：

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

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

7. 电能

在某一段时间内电流所做的功称作电能。电能用符号 W 表示，单位为焦耳，单位符号为 J。电能的计算公式为：

$$W=Pt$$

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

在实际应用中，常用千瓦小时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 作为电能的计量单位。 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 的电能俗称 1 度电，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。

8. 电容

两块彼此互相绝缘的导体组成的整体，称为电容器，它具有储存电荷的能力。一块导体带正电荷，另一块导体一定带负电荷。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电容，用字母 C 来表示。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，简称法，用字母 F 表示。在实际应用中，通常还采用微法 (μF) 和皮法 (pF)。它们之间的关系为：

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

电容器在电路中可起到隔直流通交流的作用；电容器与电感线圈可以构成振荡电路；还可以利用电容器实现滤波、耦合及定时和延时等功能。

使用电容器时应注意：

- ① 根据需要进行选择电容器的种类，并注意电容器的额定工作电压、标称容量和误差范围。
- ② 通过电容器的串联和并联可以改变等效电容器的电容量和额定工作电压。串并联时的等效电容计算见表 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，等效电容的耐压值等于并联电容器中最低额定工作电压。
- ③ 电容器虽然能通交流电，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，用符号 X_C 表示，单位为欧姆 (Ω)。容抗与交流电的频率及电容量的关系为：

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

9. 电感线圈

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。当线圈本身通过的电流

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，通用符号为 L ，它的单位为亨利，用字母 H 表示。实际应用中还采用毫亨 (mH) 和微亨 (μH)。它们之间的关系为：

$$1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$$

电感线圈具有通直流阻交流的作用，它可以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。

使用电感线圈时，不要随便改变线圈的形状、线圈间的距离、线圈与其他元件间的相互位置，以免影响电感量或互相影响。

电感线圈对交流电所呈现的阻碍作用称作感抗，用符号 X_L 表示，单位为欧姆 (Ω)。感抗与线圈中电流的频率及线圈电感量的关系为：

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

二、电学基本定律

1. 欧姆定律

(1) 无源支路的欧姆定律

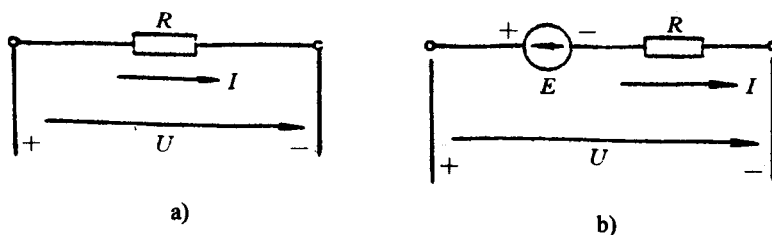


图 1-1 欧姆定律的计算图

在一段不含电动势只有电阻的电路中 (图 1-1a)，流过电阻 R 的电流 I 与加在电阻两端的电压 U 成正比，与电阻成反比，这就是欧姆定律，其数学表达式为：

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

或 $U = IR$

式中 I ——支路电流 (A)；

U ——电阻两端的电压 (V);

R ——支路电阻 (Ω)

在图 1-1a 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

在一段含有电动势的支路中, 其支路电流的大小和方向与支路电阻、电动势的大小和方向、支路两端的电压有关。以图 1-1b 中的参考方向为例, 其欧姆定律的数学表达式为:

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

欧姆定律揭示了电路中的电压、电流和电阻三个基本量之间的关系。在实际应用中, 只要任意知道其中两个量, 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。对于电路中任一个节点, 任一瞬间流入该节点的电流之和必等于流出该节点的电流之和。或者说, 流入任一节点的电流的代数和等于 0 (假定流入的电流为正值, 流出的看作流入一个负值电流)。其数学表达式为:

$$\sum I = 0$$

以图 1-2 为例, 对 A 点, 根据其参考方向有:

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

(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阻抗上的电压降的代数和恒等于回路中的各电动势的代数和。其数学表达式为:

$$\sum IR = \sum E$$

应用回路电压定律计算时, 首先应假定各支路电流的参考方向和回路的绕行方向。电动势的正方向以及阻抗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 1-3 为例, 根据回路电压定律列出的方程如下:

对于回路 I: $I_1 R_1 + I_4 R_4 + I_5 R_5 = E_1 + E_5$

对于回路 II: $-I_5 R_5 - I_2 R_2 = -E_5 + E_3 - E_2$

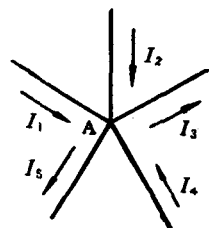


图 1-2 基尔霍夫第一定律计算图

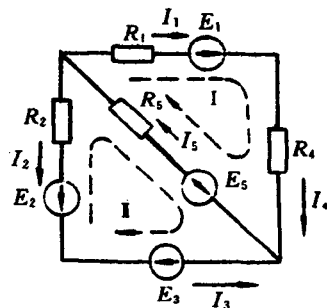


图 1-3 基尔霍夫第二定律计算图

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，这表示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。

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作周期性变化的交流电称作正弦交流电。由于正弦交流电具有许多优点，因此广泛应用于生产以及日常生活中。

单相正弦交流电流的波形如图 1-4 所示，它可以写成如下
的表达式：

$$\begin{aligned} i &= I_m \sin(\omega t + \varphi) \\ &= I_m \sin(2\pi f t + \varphi) \end{aligned}$$

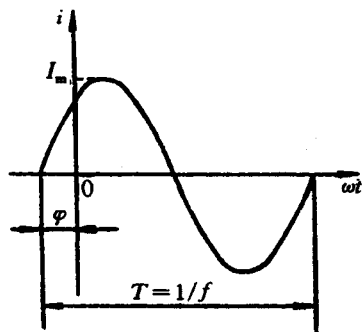


图 1-4 正弦交流电流波形图

式中 i ——瞬时电流或电流的瞬时值，安 (A)；

I_m ——电流的幅值或峰值，即最大值，安 (A)；

ω ——电流的角频率，弧度/秒 (rad/s)；

f ——电流的频率，赫兹 (Hz)；

φ ——电流的初相角，弧度 (rad)

1. 频率

交流量每秒钟完成的循环次数，称作频率。通用符号为 f ，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，通用符号是 T ，单位为秒 (s)。周期与频率的关系是互为倒数，即：

$$T = \frac{1}{f}$$

3. 角频率

正弦交流电在单位时间内所变化的电角度 (以弧度来计算)，称为角频率，通用符号为 ω ，单位是弧度/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 $(\omega t + \varphi)$ 是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 来表示。

当交流电流 i 通过一个电阻时, 在一个周期内所产生的热量, 如果与一个恒定直流电流 I 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, 通常用大写字母 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:

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

平常我们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、交流电流挡进行测量。由仪表表盘所读取的数值, 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, 通常称之为正弦量的三要素。只要确定了这三个要素, 也就唯一确定了一个正弦交流量。

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 1-5 所示。其数学表达式为:

$$\begin{aligned} i_A &= I_m \sin \omega t \\ i_B &= I_m \sin (\omega t - 120^\circ) \\ i_C &= I_m \sin (\omega t - 240^\circ) \end{aligned}$$

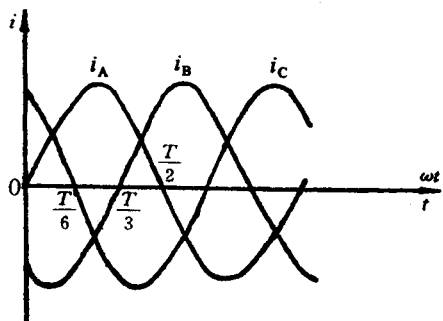


图 1-5 三相对称正弦交流电流波形图

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

1. 星形联结

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，这种连接称为星形联结。从首端引出的三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（图 1-6）。

2. 三角形联结

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联结（图 1-7）。

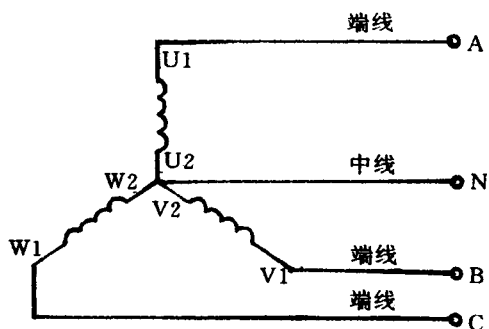


图 1-6 星形联结

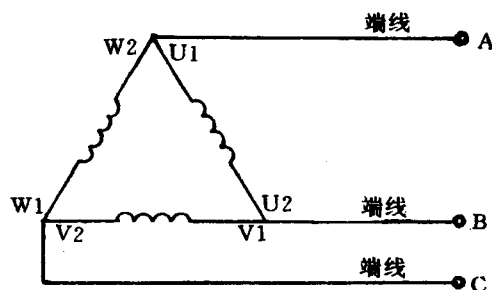


图 1-7 三角形联结

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（同为电感性或同为电容性负载），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，三相负载可作星形联结或三角形联结。

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，即端线与中线之间的电压，称作相电压。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。

对于星形联结，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 $U_{\text{线}} = \sqrt{3} U_{\text{相}}$ 。

对于三角形联结，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,使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着一种作用力,通常称之为磁力。磁铁以及载流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,在磁铁的外部,磁力线的方向总是从N极出发回到S极;在磁铁内部,磁力线则由S极回到N极(图1-8)。

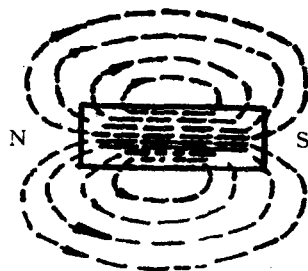


图 1-8 磁力线的闭合路径

磁极与磁极之间的磁力,表现在异极性相吸、同极性相斥,用磁力线表示时如图1-9所示。

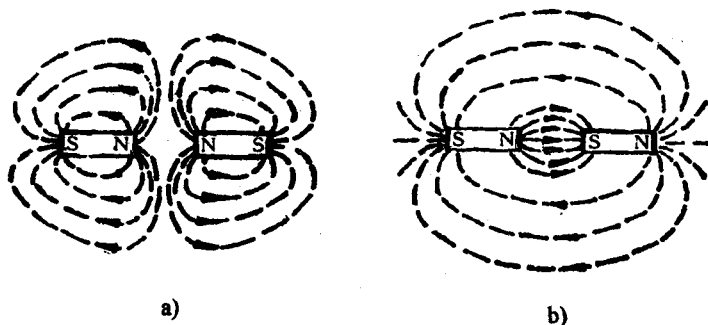


图 1-9 磁极之间的磁力

a) 同极性相斥 b) 异性性相吸

2. 电流与磁场

在通有电流的导线(或导体)周围,存在着磁场。通常,将载流导体周围存在磁场的现象,称之为电流的磁效应。

实验证明,当载流导体中的电流方向改变时,其磁场方向也会发生改变,但是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(图1-10)。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。

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的磁场强弱和方向的物理量,此物理量称为磁感应强度,用符号 B 表示,其单位为特斯拉(T),简称特。另外也常