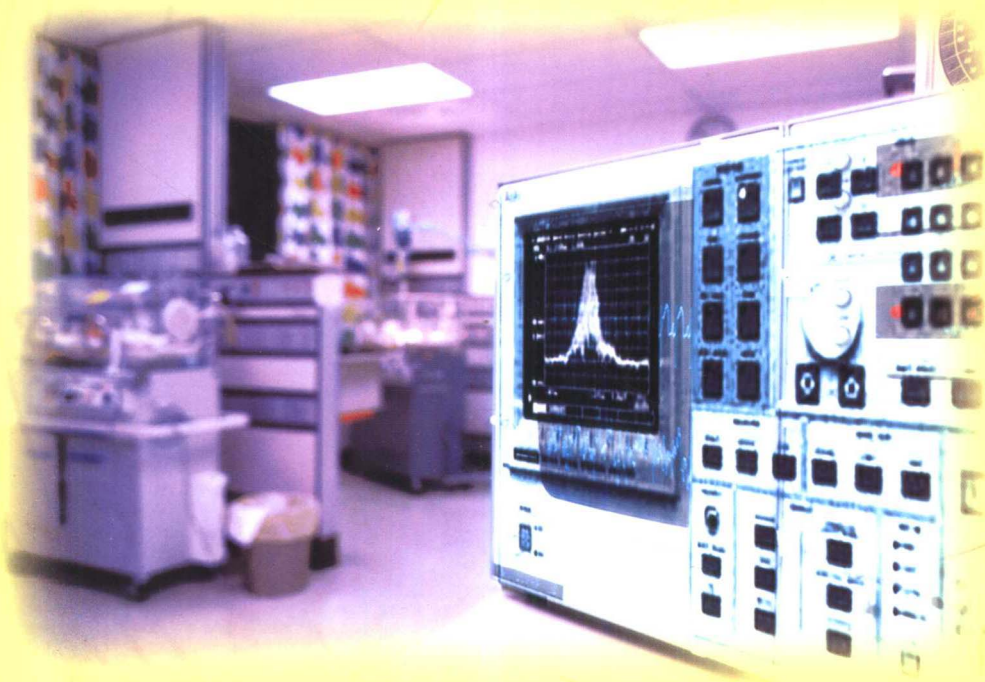


石油产品化验仪器 使用与维护

王 祥 周顺行 张 波 主编



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石油产品化验仪器使用与维护

王 祥 周顺行 张 波 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书主要介绍石油产品常用的化验仪器设备的基本结构、电路原理及使用与维护。全书共分十章,包括电路基础、电热器具、制冷设备、电位分析仪器、电导率测定仪、分析仪器、通用仪器、天平、常用仪表及工具、化验室电工等。

本书既可作为院校油料应用专业的培训教材,也可作为油料化验技术人员以及从事石油产品研究人员的自学和复训用书。

图书在版编目(CIP)数据

石油产品化验仪器使用与维护/王祥,周顺行,张波主编.
—北京:中国石化出版社,2006
ISBN 7-80229-020-1

I.石… II.①王… ②周… ③张… III.①石油
产品-油质化验-分析仪器-使用②石油产品-油质化
验-分析仪器-维修 IV.TH83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 032469 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 17 印张 429 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷

定价:42.00 元

前 言

随着科学技术的发展，新的石油产品日趋增多，我国石油产品的检测手段及试验方法逐渐向国际标准靠拢，与之相关的石油产品化验仪器设备也在不断更新，石油产品化验仪器设备的基本结构、电路原理有了很大的改进。为了更好地使用、维护石油产品化验仪器设备，保证油料化验工作的顺利进行，根据目前石油产品常用化验仪器设备的类型，并结合油料化验工作的实际和教学经验编写了本书。

本书综合石油产品常用化验仪器设备的特点，系统地介绍了电热器具、制冷设备、电导率测定仪、自动电位滴定计的典型电路原理；介绍了常用分析仪器、测量仪表和天平技术；对一些专用仪器的结构特点、电路原理及使用维护做了较为详尽的阐述；最后介绍了常用仪器检修工具仪表和化验室电工技术。在内容选择和写法上是立足当前、兼顾发展，注意了内容的新颖性；既照顾初学者的需要，又考虑到基层在职油料化验技术人员的需要。本书既可作院校油料应用专业的培训教材，也可作为石油库油料化验技术人员以及从事石油产品研究人员的自学和复训用书。

该书由王祥、周顺行、张波主编；刘芳、刘广龙、彭著良参加了本书的编写工作；全书由王祥统稿；周仁德对该书进行了审定工作；朱焕勤对该书的编写提出了许多指导意见。

由于编者水平所限，书中错误和不足之处在所难免，敬请广大读者和专家批评斧正。

目 录

第一章 电工电子电路基础	(1)
第一节 电工基础知识.....	(1)
第二节 电子电路基础.....	(10)
第三节 变压器.....	(21)
第四节 交流电动机.....	(22)
第五节 电子控制器.....	(27)
第二章 电热仪器设备	(33)
第一节 电热器具基础.....	(33)
第二节 普通电炉.....	(41)
第三节 高温电炉.....	(44)
第四节 电烘箱.....	(46)
第五节 手动调温式与加热仪器.....	(50)
第六节 运动粘度测定器.....	(52)
第七节 铜片银片腐蚀测定器.....	(59)
第八节 闪点测定仪.....	(62)
第三章 制冷设备	(66)
第一节 制冷方法.....	(66)
第二节 机械压缩式制冷设备.....	(67)
第三节 半导体制冷仪.....	(77)
第四章 电位分析仪器	(83)
第一节 概述.....	(83)
第二节 酸度计.....	(87)
第三节 ZD-2 型自动电位滴定计.....	(93)
第五章 轻质石油产品电导率测定仪	(111)
第一节 DDY-4 型轻质石油产品电导率测定仪.....	(111)
第二节 DDY-S 型数字式电导率测定仪.....	(120)
第三节 ME5368-G 型油料电导仪.....	(127)
第六章 常用分析化验仪器	(131)
第一节 阿贝折光仪.....	(131)
第二节 比色及分光光度仪器.....	(134)
第三节 发射光谱分析仪.....	(146)
第四节 可燃气体检测器.....	(155)
第五节 其他现代分析仪器.....	(158)

第七章 化验室通用仪器设备	(164)
第一节 通用玻璃仪器	(164)
第二节 瓷制器皿	(167)
第三节 金属器具	(168)
第四节 加热灯具	(169)
第五节 测温仪器	(171)
第六节 测压仪器	(181)
第七节 秒表	(185)
第八节 纯水器	(187)
第九节 空气压缩机与真空泵	(190)
第十节 流量计	(192)
第八章 分析天平	(195)
第一节 天平的分类	(195)
第二节 天平的称量原理	(197)
第三节 天平的结构	(198)
第四节 天平的计量性能	(206)
第五节 砝码	(211)
第六节 天平的称量方法	(213)
第七节 天平的安装	(215)
第八节 天平的使用要求与维护	(219)
第九节 天平的常见故障及调修	(220)
第九章 化验仪器设备检修工具	(222)
第一节 常用检修工具	(222)
第二节 电流表和电压表	(223)
第三节 万用表	(229)
第四节 兆欧表	(236)
第十章 化验室电工技术	(240)
第一节 供电	(240)
第二节 照明	(250)
第三节 常用控制电器和控制电路	(254)
第四节 电气防爆安全技术	(262)
参考文献	(266)

第一章 电工电子电路基础

第一节 电工基础知识

一、直流电路

(一) 电路的基本知识

由电源、负载与控制设备经导线连接而形成的闭合回路，称为电路，如图 1-1 所示。

电源是提供电能的装置，如电池、发电机等。其作用是将各种形式的能量(如化学能、机械能和热能等)转换为电能。

负载是消耗能量的设备，如电灯、电炉、电动机等。它们分别将电能转换为光能、热能和机械能等各种不同形式的能量。

导线和开关是电源和负载之间连接和控制必不可少的元件，只有合上开关才能形成一个闭合回路。如图 1-1 中，当合上开关，电源和灯泡形成一个回路，电流由电源流过灯泡，使灯泡发亮。

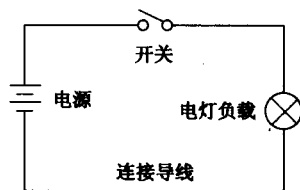


图 1-1 简单电路

实际电路结构远比这个电路复杂得多，但其基本组成部分是相同的。

(二) 电路中的基本物理量

1. 电流

电荷(带电粒子)在电路中有规则地定向运动，就形成了电流。电荷的数量就是电量，用 q 表示，单位是库仑，简称库，用符号 C 表示。电流的大小用电流强度表示，它在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电量，用符号 I (脉动电流和交变电流的瞬时电流强度用符号 i) 表示，即：

$$I = \frac{q}{t}$$

如果每秒钟有 1 库的电量通过导体的某一截面，这时的电流强度为 1 安培(简称安)，用符号 A 表示，即：

$$1\text{A} = \frac{\text{C}}{\text{s}}$$

$$1\text{A}(\text{安}) = 10^3\text{mA}(\text{毫安}) = 10^6\mu\text{A}(\text{微安})$$

我们习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向。电流的方向是客观存在的。电流强度和方向恒定不变的称为直流电，电流强度和方向随时间变化的称为交流电。在分析和计算电路时，可任意选定某一方向作为电流的正方向，或称参考方向。所选电流正方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与正方向一致时，则电流为正值；反之，电流为负值。因此，在正方向选定之后，电流值才有正负之分。

2. 电压与电位

在电路中，当合上开关将负载与电源接通时，回路中便有电流通过。这是由于电源力驱

使电子按一定方向在电路里循环移动，即电源力对它们作了功，给它们提供能量的结果。将一个单位的正电荷从电路中的某一点移到另一点，电源力所做的功叫做这两点之间的电压。故电压总是存在于电路中的两点之间，是衡量电场力对单位正电荷做功大小的物理量。

电压的基本单位是伏特，简称伏，用符号 V 表示。

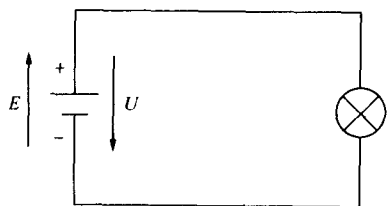
$$1\text{kV}(\text{千伏}) = 10^3\text{V}(\text{伏}) = 10^6\text{mV}(\text{毫伏}) = 10^9\mu\text{V}(\text{微伏})$$

在电路中两点间的电压也就是这两点间的电位差。即 $U_{ab} = V_a - V_b$

电路中某点与参考点(零电位点)之间的电压就是该点的电位。但电位与电压是有区别的。电位与水位相似，是一个相对的概念，它与参考点(即零电位点)的选择有关；电压则是电路中两点之间的电位差，与参考点无关。应该注意，在同一个电路中只能选择一个零电位点，才能保证其他各点的电位是惟一确定值，并且互相之间可以进行比较，否则就没有意义。电路中某点的电位比零电位高，则称为高电位或正电位；而比零电位低，则称为低电位或负电位。电位的正负概念，对电子线路的分析很有用处。

3. 电动势

在一个闭合电路中，电源力对电荷做功的能力，称为电源电动势。电源将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功，叫作电源的电动势，用符号 E 表示，单位是伏特(V)。



电源电压与电源电动势在概念上是不同的。电源电压是指两个电极间存在的电位差；而电动势则是电源内部所具有的把正电荷从负极(低电位)移动到正极(高电位)以建立电位差的本领。

电压的正方向是指从正极到负极的方向，即电位降低的方向；电动势的正方向是指从负极到正极的方向，即电位升高的方向，如图 1-2 所示。

(三) 电阻和欧姆定律

1. 电阻

金属导体中的自由电子作有规则的定向移动时，所受到的阻力叫做电阻，用符号 R 表示。电阻小的物体导电能力强，电阻大的物体导电能力弱。物体电阻的大小，由下式决定：

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

即与导体的性质(ρ)、长度(L)、截面大小(S)和温度四个因素有关。同一导体， L 越长， S 越小，温度愈高，阻值愈大。

电阻的单位名称用“欧姆”(Ω)表示，简称“欧”，也有用较大单位 $\text{k}\Omega$ (千欧)或 $\text{M}\Omega$ (兆欧)表示。 $1\text{M}\Omega(\text{兆欧}) = 10^3\text{k}\Omega(\text{千欧}) = 10^6\Omega(\text{欧})$ 。

在分析仪器中用的“电阻器”就是一种电阻元件。

2. 欧姆定律

由图 1-1 所示，灯泡接通电源有电流通过而发亮。灯泡的电阻愈小，两端的电压愈高，灯泡就愈亮，即电流愈大。可见，在一段电路中，流过该段电路的电流与该段电路电压成正比，与电阻成反比，这个规律叫欧姆定律，即：

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

(四) 电功与电功率

闭合电路中电压推动电荷移动，产生电流，电流流经灯泡、电动机、电炉等用电设备，

会使灯泡发亮、电动机旋转、电炉产热等等。这些都是电流做功的表现。电流做功的能力叫电能。电流所做的功叫电功，用符号 W 表示。电功 W 的大小与电压 U 的高低和电荷量 Q 移动多少有关，即：

$$W = UQ$$

由于电量 $Q = It$ ，因此：

$$W = IUt$$

若在一段电路上的电压为 1 V，通过的电流强度是 1 A，在 1 s 内电流在这段电路所做的功，就是 1 焦耳(J)。

$$1\text{J} = 1\text{A} \times 1\text{V} \times 1\text{s}$$

在单位时间内(1 s)电流所做的功叫做电功率，即：

$$P = \frac{W}{t} = IU$$

单位是瓦特，简称瓦(W)。

$$1\text{kW}(\text{千瓦}) = 10^3\text{W}(\text{瓦})$$

(五) 电流的热效应

实验证明，电流通过任何导体的时候，导体都要发热，这种现象叫做电流的热效应。电流通过电阻散发出热量，它由电能转化而来，消耗的电能可由下式计算，即：

$$W = IUt$$

由于电阻上消耗的电功全部转化为热量，而 1 J 的功相当于 0.24 cal 的热量，所以在电阻上散发的热量 Q 为：

$$Q = 0.24W = 0.24IUt = 0.24I^2Rt$$

上式即为焦耳 - 楞次定律。它表明电流流过电阻时产生的热量与电流的平方、电阻和时间成正比。

同世界上一切事物无不具有两重性一样，电热现象也具有两重性。一方面我们可以利用电热现象制成各种电热器，如电炉、电烙铁、电烘箱等；另一方面由于电流通过导体产生不需要的热量而消耗一部分电能，甚至过热而损坏电气设备。如电动机将电能转化为机械能的同时，还有一部分电能消耗在绕组电阻上发出热量而使电动机温度升高等，而且电流愈大，发出的热量愈多，若没有及时散发出去，电气设备就会因过热而烧毁。对于电气设备在一定的散热条件下只允许通过一定的电流，这个电流就叫做额定电流。

(六) 电阻的串、并联

在电路中，电阻的连接方式是多种多样的，其中最简单和最常用的是串联与并联。

1. 电阻的串联

如图 1-3 所示，由两个以上电阻按顺序联接的电路叫串联电路，它的特点是：根据电流连续性原理，流过各电阻的电流 I 相等，还根据欧姆定律可得各电阻的端电压为：

$$U_1 = IR_1 \quad U_2 = IR_2 \quad U_3 = IR_3$$

因为

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

亦即

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

所以

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

也就是说，电路的总电阻等于各串联电阻之和。

由上式得出 $U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$ ，也就是说，在串联电路中，各电阻上的电压与相应

的电阻成正比。所以，负载串联只有在电源电压大于单个负载的额定电压时才采用。

电源也可以串联，即当负载的额定电压比单个电源电压还高时，可将几个电源串联起来使用。例如收音机需 3V 电压，可将两个 1.5V 电池串联后使用。

在串联电路中，如果任何一段电路断开，整个电路都将受到影响而停止工作。因此，目前多负载电路大多采用并联方式。

2. 电阻的并联

如图 1-4 所示，两个以上电阻的一端接在一起，另一端又接在一起的电路叫并联电路。 R_1 、 R_2 的两端电压是相同的，彼此互不影响，如果 R_1 支路断开， R_2 支路不会像负载串联时那样停止工作。根据欧姆定律，各个负载上的电流为：

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

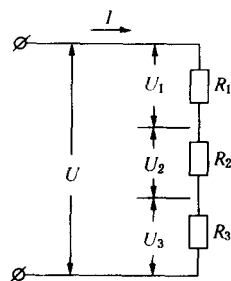


图 1-3 电阻的串联

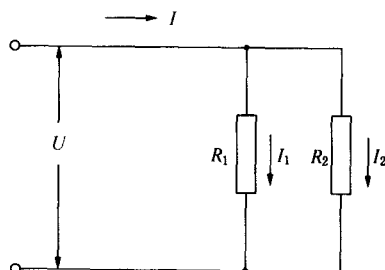


图 1-4 电阻的并联

根据克希荷夫节点电流定律： $I = I_1 + I_2$

所以

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

则

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

这就是说，电阻并联时，总电阻的倒数等于各个电阻的倒数之和，即：

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

电源也可以并联，即将几个电源并联后对一个需要大电流的负载供电。

二、电磁现象

(一) 电流的磁场

电流产生磁场，磁场的变化或运动又产生电流，这是电和磁紧密联系的两个方面。许多电气设备是根据电和磁之间的作用原理而工作的。实验表明，在载流导体和永久磁铁周围均有磁场存在。磁场有两种表现：一是对处在磁场内的另一载体或铁磁物质有力的作用，并能在对磁场作相对运动的导体中产生感应电动势；二是磁场内具有能量。

产生磁场的根本原因是电流，即使是永久磁铁的磁场也是由分子电流所产生的。分子电流就是由原子内的电子绕原子核旋转和电子自转所形成的。由此可见，电流和磁场有着不可

分割的联系，即磁场总是伴随电流而存在，而电流永远被磁场所包围。通过直流电导体周围的磁场方向与产生该磁场电流方向有关，可用右手定则来确定：右手握住导体，使拇指指向电流方向，则四指为磁场方向，如图 1-5 所示。

如果在一个线圈上通以直流电，其磁场方向和电流方向的关系可用右手螺旋定则来判定：右手握住线圈，让四个手指所指的方向与电流方向一致，大拇指所指的那端则为 N 极，如图 1-6 所示。



图 1-5 直导线右手定则

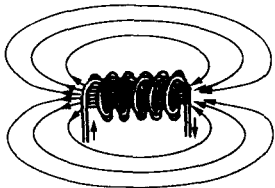


图 1-6 通电线圈的磁场

(二) 磁通和磁通密度

1. 磁通

垂直通过某一横截面积 S 的磁力线数称为磁通，用符号 Φ 表示，单位名称是韦伯(Wb，简称韦)。

2. 磁通密度

垂直穿过单位面积上的磁力线数称为磁通密度或磁感应强度，用字母 B 表示，单位是特斯[斯拉](T)。即：

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

(三) 磁场对通电导体的作用

实验证明，通电导体在磁场中会产生运动，这种使导体运动的力称为电磁力。而力的方向与导体内的电流以及磁场的方向有关，可用左手定则来确定：伸开左手，掌心指向 N 极与磁力线垂直，四指指电流方向，则大拇指所指方向为导体运动方向，如图 1-7 所示。

通电导体在磁场中受到电磁力的大小，与磁场的磁通密度 B 、导体中的电流 I 及磁场中导体的有效长度 L 成正比，即：

$$F = BLI$$

式中 F ——电磁力，N；
 B ——磁通密度，T；
 L ——导线有效长度，m；
 I ——导体中的电流，A。

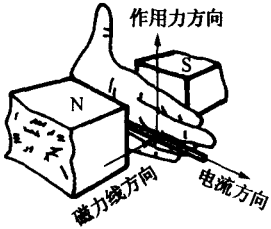


图 1-7 左手定则

(四) 电磁感应

1. 电磁感应现象

实验证明，当导体在磁场中作切割磁力线运动时，在导体两端则会产生感应电动势，在导体的闭合回路中就有电流产生，这种现象叫做电磁感应。

感应电动势的大小等于磁通密度、导体的有效长度、相对运动的速度和导体作相对运动时切割磁力线角度的正弦值的乘积。即：

$$E = BLv \sin \alpha$$

由式可知，当导体与磁力线垂直运动时，感应电动势最大；当导体与磁力线平行运动时，感应电动势为零。

感应电动势的方向可用右手定则来确定：伸开右手，让磁力线垂直穿过手心，大拇指表示导体运动方向，则四指即感应电动势方向，如图 1-8 所示。

同理，当线圈中的磁通发生变化时，线圈中也会产生感应电动势。感应电动势的大小与线圈的匝数、磁通的变化速度成正比，即：

$$E = - W \frac{\Phi}{t}$$

感应电动势的方向由楞次定律确定。在闭合回路中，由于与回路交链的磁通的增加或减少而产生的感应电动势，在回路中将产生一电流，此电流所形成的磁场力图阻止原磁通的增加或减少，这就是楞次定律，如图 1-9 所示。

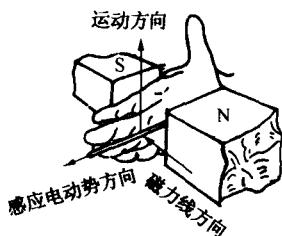


图 1-8 右手定则

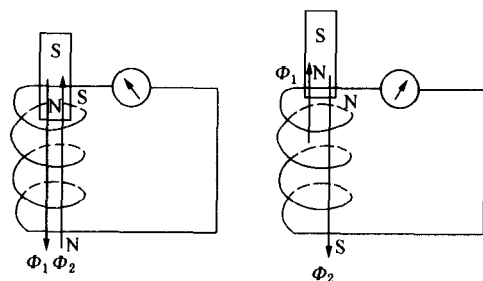


图 1-9 楞次定律示意图

根据楞次定律，当磁铁插入线圈时，回路中感应电流所产生的附加磁通 Φ_2 阻止线圈中原磁通 Φ_1 的增加；当磁铁抽出时，则线圈中感应电流所产生的磁通 Φ_2 阻止线圈中原磁通 Φ_1 的减少。

2. 自感和互感

线圈中通过的电流发生变化，在其周围就有该电流产生的磁通随之变化，使得线圈中产生了感应电动势。这种由于线圈本身电流的变化，所产生的感应电动势现象，称为自感现象。产生的感应电动势，叫做自感电动势，用符号 e_L 表示。它有阻碍线圈中电流变化的作用。

在交流电路中，由于电流的大小和方向在不断变化，故在线圈中时时刻刻都有自感电动势产生；在直流电路中，只有在接通或切断电路时，线圈中才有自感电动势产生。

当两个线圈互相靠近，则其中一个线圈中电流所产生的磁通有一部分与另一个线圈相交链，则该线圈因磁通变化而产生感应电动势的现象叫互感现象，产生的感应电动势称为互感电动势。

互感现象在电工技术中应用很广泛，如变压器就是利用互感原理工作的。

三、正弦交流电路

所谓正弦交流电路，是指含有正弦电源，而且在电路各部分的电压和电流均按正弦规律变化的电路。

(一) 正弦交流电的产生

正弦交流电通常是由交流发电机产生的，如图 1-10 所示。

由电磁感应分析已知：

$$E = BLv \sin \alpha$$

设线圈按一定转速逆时针旋转。当线圈 ab、cd 两边转到位置(1)的瞬间，运动方向与磁力线方向平行， $\alpha = 0$ ， $E = 0$ ，无感应电流，灯不亮。当线圈离开位置(1)时， α 逐渐增加， E 也增加，灯泡逐渐变亮。当线圈转到位置(2)时， $\alpha = 90^\circ$ ， E 最高，灯最亮，电流方向由发电机右手定则确定。当线圈转到位置(3)时，线圈 ab 和 cd 又与磁力线方向平行，感应电流为零，灯不亮。当线圈转到位置(4)时，感应电流最大，灯最亮。此时，用右手定则确定感应电流方向时，发现位置(4)与位置(2)感应电流方向相反。

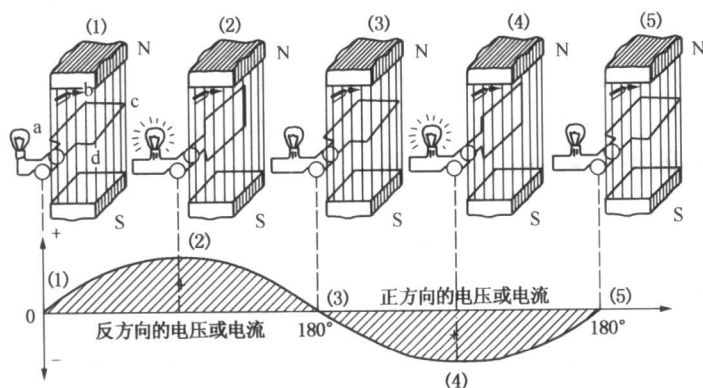


图 1-10 简单交流发电机和正弦波交流电

当线圈转到位置(5)时，感应电流又为零。如果线圈继续转下去，上面的过程就周而复始地出现。

(二) 正弦交流电的特征量

1. 表示交流电变化快慢的物理量

① 周期 T ：交流电变化 1 周所需的时间(s)，称为周期。

② 频率 f ：是指每秒内交流电变化的周期数，称为频率，周期是频率的倒数，即

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

f 的单位名称是赫兹(Hz)，简称赫。

③ 角频率(也称角速度) ω ：交流电每秒所经历的电角度，因为一周期内经历 2π 弧度(即 360°)，所以：

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

2. 表示交流电大小的物理量

① 最大值：交流电的电动势、电压、电流均是瞬时变化的，某瞬间的值称为瞬时值。瞬时值中的最大值，称幅值，或称峰值。

② 有效值：有效值是由电流的热效应来规定的。不论是直流还是变化的交流，当它们通过同一电阻，在相等的时间内产生的热效应相等，则此直流值称为该交流的有效值。

实践证明，正弦交流电的有效值与最大值的关系是：

$$\dot{I} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m$$

3. 表示交流电起始状态

① 初相位：一个正弦交流电在取定时间等于零的相位角，称为初相角或初相位。

② 相位差：两个同频率的交流电在同一时刻相位之差，称为相位差。

频率相同的两个(或数个)正弦交流电，在随时间变化时，初相角大的先达到正的幅值，初相角小的后达到正的幅值。初相角相同的同时达到正的幅值，先达到幅值的叫超前(或超前)；后达到的叫滞后；同时达到的叫同相。

综上所述，最大值、频率和初相位是确定正弦交流电变化的三个重要参数，也叫正弦交流电的三要素。知道三要素后，正弦交流电的变化情况也就完全确定下来了。

(三) 电阻、电感和电容器元件交流电路

由白炽灯、电炉、电烘箱作负载为电阻元件交流电路，电路中电流和电压的相位相同，大小可以用欧姆定律确定。所以，主要讨论电感和电容元件交流电路。

1. 电感元件交流电路

如图 1-11 所示，在线性电感元件两端加上正弦交流电，由楞次定律可知，通电线圈将产生自感电动势，而通过线圈中的电流总是滞后于线圈两端电压 90° 角。这种阻碍交流电流的作用称为感抗，用符号“ X_L ”表示，单位为欧姆。即： $X_L = 2\pi fL$ 。

感抗 X_L 与电感 L 、频率 f 成正比。因此，线圈对高频阻碍作用很大，对直流可视为短路，即： $X_L = 0$ 。

纯电感元件与电阻不同，它不消耗电能，仅是一个储能元件。当电流增加时，电能变为磁场能储存在磁场中，当电流减小时，磁场能又变成电能交还给电源。故在正弦电路中，一周内的平均功率为零。

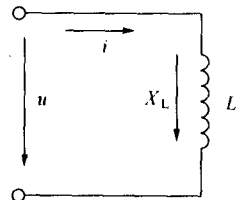


图 1-11 纯电感电路

2. 电容元件交流电路

图 1-12 所示是一个线性电容元件与正弦交流电源联接的电路，由于电源不断变化，电容器两极板上的电量也要随着变化，从而在电路中引起电流的变化，变化的电流总比电容两端电压超前 90° 角，电容器对交流电的阻碍作用，称为容抗，用符号“ X_C ”表示，单位为欧姆。容抗 X_C 与电容 C 、频率 f 成反比，即：

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

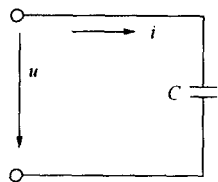


图 1-12 纯电容电路

纯电容元件也是一个储能元件，当电压增加时，将电能变为电场能储存在电容器的电场中，当电压减小时，电场又将能量还给电源，在正弦交流电路中，一周内平均功率为零。

3. 电阻、电容和电感串联的交流电路

在电阻、电容和电感串联的交流电路中， R 、 L 、 C 对电流的阻碍作用称为阻抗，用符号“ Z ”表示，单位为欧[姆](Ω)。即：

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

在交流电路中, U 和 I 都是矢量, 则阻抗 Z 并不是 R 、 X_L 和 X_C 的简单相加, 根据前述, 总电压应等于电压的矢量和, 即 $U = U_R + U_L + U_C$, 其有效值 $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$, 阻抗可用下式求得。

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

(四) 三相交流电路

1. 三相交流电的产生

三相交流电是由三相交流发电机产生的。

当一个线圈的电枢在磁场中旋转时, 便可产生单相交流电。如果在电枢上有三个相隔 120° 电角的相同绕组, 电枢在磁场中旋转时, 就可以产生三个频率相同、最大值相等、相位差为 120° 电角的三相正弦交流电。这三个绕组, 可接成星形和三角形。接成星形时, 可用三根或四根导线向外输电, 叫三相三线制或三相四线制。

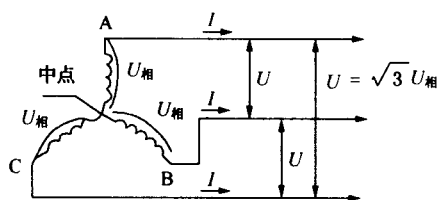


图 1-13 电源 Y 形接线

2. 发电机绕组的星形或三角形接法

三相交流发电机(或三相变压器)各相绕组分首端和末端。首端用 A、B、C 表示; 末端用 X、Y、Z 表示。把三相绕组的三个末端接在一起, 三个首端分别输出, 如图 1-13 所示, 这种接法称为星形接线。用符号“Y”表示。三个末端的连接点叫中性点, 从中性点引出的线, 叫中性线或零线。三个首端的引出线叫相线或叫火线。

通过每相绕组的电流叫相电流, 用符号“ I_P ”表示; 通过相线(火线)的电流叫线电流, 用符号“ I_L ”表示。

每相绕组首端与末端之间的电压叫相电压, 用符号“ U_P ”表示(也可用 U_A , U_B , U_C 表示)。两相线之间的电压叫线电压, 用符号“ U_L ”表示(也可用 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 表示)。

三相对称绕组作星形连接时, 线电压的有效值等于相电压有效值的 $\sqrt{3}$ 倍。即:

$$U_L = \sqrt{3} U_P$$

$$I = \sqrt{3} I_{\text{相}}$$

如图 1-14 所示, 三相对称绕组作三角形连接时, 线电压等于相电压, 即: $U_L = U_P$ 三相对称绕组作三角形连接时, 线电流的有效值等于相电流有效值的 $\sqrt{3}$ 倍。即:

$$I_L = \sqrt{3} I_P$$

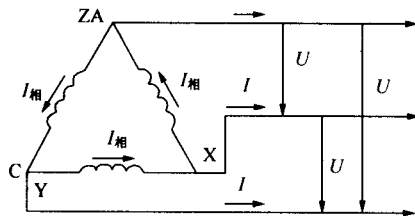


图 1-14 电源 Δ 形接线

3. 负载的星形和三角形接法

三相负载的连接方法, 主要是根据电源的线电压与负载额定电压的关系来确定的。

目前, 我国低压配电多数采用三相四线制输电, 线电压为 380V, 相电压为 220V。

当单相负载的额定电压为 220V 时, 如电灯、电炉等, 就可将单相负载的一端接到任一根相线上, 另一端接在中线上, 就形成了不对称负载的星形接法, 如图 1-15(c) 所示。

当三相负载铭牌上标明额定电压为 380/220V、Y/Δ 接线时, 说明电源线电压为 380V 时, 负载必须作 Y 形连接(如图 1-15(a) 所示); 电源线电压为 220V 时, 负载应作 Δ 形连

接,即三相负载每相承受的电压为 220V。

当三相负载铭牌上标明额定电压为 380 V、 Δ 形接线时,说明电源线电压为 380V,负载作 Δ 形接线,如图 1-15(b)所示,即三相负载每相承受的电压为 380V。

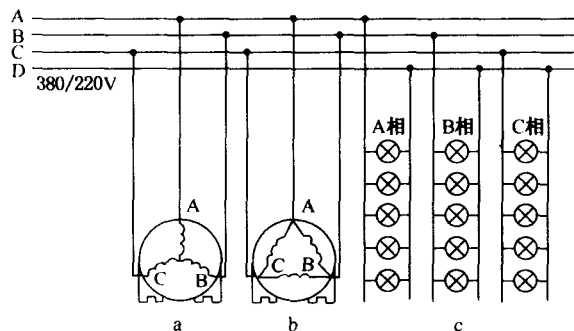


图 1-15 三相负载接线

如果三相负载是对称的,则各相电流平衡,中线电流为零。所以,中线也叫零线,此时,中线可以省略。如三相电动机绕组作 Y 形接线时,中点可不接中线。

在具有单相负载的三相电路中,负载不可能完全对称,三相电流也就不可能完全平衡,因此,中线电流不能为零。但其中线电流要比相线电流小。中线是每相电流的公用导线,不论各相负载对称与否,均能保持相电压不变。但当各

相负载不对称时,中线一旦断开,各相电压将随负载大小而变化:负载大(阻抗小)的相,相电压较正常值高。这种情况会影响负载的正常工作,甚至烧坏负载。因此,在三相四线制输电线路中,中线不能断开,也不准装设熔断器和开关。

第二节 电子电路基础

一、整流电路

交流电虽然在工农业生产和科研中广泛应用,然而在某些场合,例如电镀、电子仪器、蓄电池充电等还必须用直流电。现在,大多采用整流的方法来获得直流电,整流就是把交流电转变为直流电的过程。随着半导体技术的发展,晶体二极管整流电路得到广泛的应用。

(一) 晶体二极管

在电子技术中,除了常用的电阻、电容和电感三种基本元件外,还有晶体二极管、三极管等重要元件。

晶体二极管由一个 PN 结,在 PN 结两端各引出一个电极,加上外壳而形成。P 端为正极, N 端为负极,当正极接电源正极,负极接电源负极时,为正向接法;反之为反向接法。二极管两个电极间,正、反向电阻值相差很大,即正向电阻小,电流容易通过;反向电阻很大,电流很难通过。这就是晶体二极管最重要的特性——单向导电特性。

晶体二极管的主要参数有:

① 最大整流电流:是指长时间工作时允许流过二极管的最大正向平均电流。

② 最高反向工作电压:是指二极管不击穿所能承受的反向电压。在使用晶体二极管时,必须注意极性不能接错,否则电路工作不正常,甚至会烧坏管子及其他元件。目前,有的二极管在外壳上标有记号,但有的没有任何标志,这时可用万用表判断出正负极,并可确定性能的好坏。其方法为:将万用表放在 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡,黑表笔(表内电源的正端)接二极管的一个电极,红表笔(表内电源的负端)接二极管的另一个电极,此时电表指示的电阻值如较小(通常约为 $100 \sim 1000\Omega$),而将红、黑表笔对调后,电表指示的电阻值很大,常大于几

百千欧，则说明二极管是好的，单向导电性也较好。否则二极管就不好或坏了。电阻值较小时，黑表笔头接的一端为二极管的正极，另一端为负极。

(二) 单相整流电路

将交流电转变为直流电的设备叫做整流器。整流器一般由整流变压器、整流电路、滤波器和稳压环节四部分组成，如图 1-16 所示。

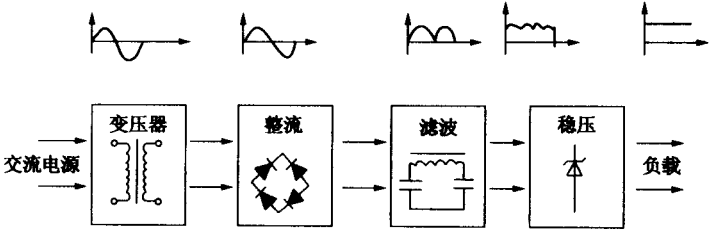


图 1-16 整流器的组成

1. 单相半波整流电路

如图 1-17 所示，当变压器次级电压为一正弦电压，在正半周时，次级绕组上端为正，下端为负，二极管导通，负载 R_L 有电流流过；在负半周时，变压器次级绕组下端为正，上端为负，二极管截止，负载 R_L 上没有电流流过。二极管这样交替导通和截止，就在负载上得到一系列单相脉动电流。这种在一个周期中只有半个波通过整流元件的整流电路，叫做半波整流电路。

2. 单相全波整流电路

全波整流电路实际上是由两个半波整流电路组合而成的，如图 1-18 所示。

当次级电压为正半周时， D_1 导通， D_2 截止，负载 R_L 上有电流流过。当电压为负半周时， D_2 导通， D_1 截止，负载 R_L 上仍有电流流过，而流过负载 R_L 的电流方向是一致的，两个半波完全被利用，所以叫做全波整流。

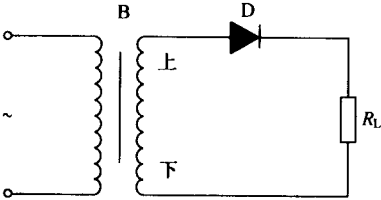


图 1-17 单相半波整流电路

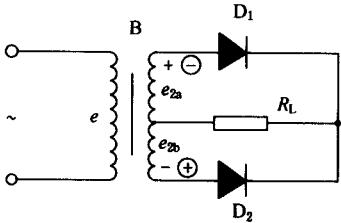


图 1-18 单相全波整流电路

3. 单相桥式整流电路

如图 1-19 所示。整流电路由四个二极管接成电桥的形式构成。

当电源为正半周时， D_1 、 D_3 导通， D_2 、 D_4 截止，电流经过 D_1 、 R_L 和 D_3 成回路。当电源为负半周时， D_2 、 D_4 导通， D_1 、 D_3 截止，电流经过 D_2 、 R_L 和 D_4 成回路。可见正负两半周都有电流流过负载 R_L 。桥式整流比半波整流的直流脉动小，而与全波整流相同，变压器不需中心抽头，圈数可以减半。这种电路得到广泛的应用。

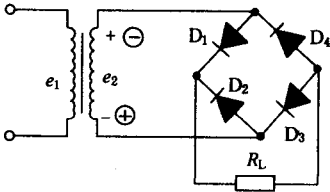


图 1-19 单相桥式整流电路