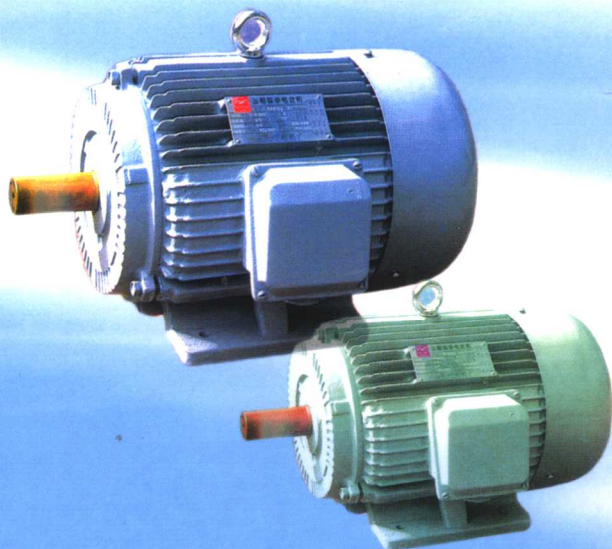
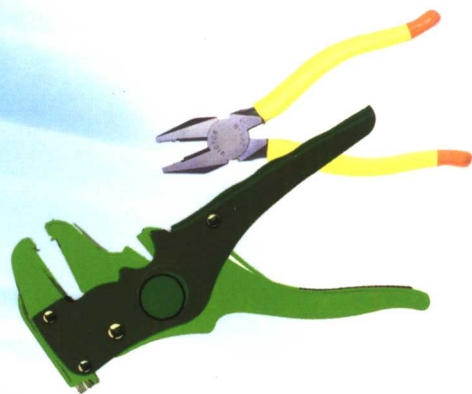


新编 电工速成

万英

福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE



图书在版编目 (CIP) 数据

新编电工速成/万英编. —福州: 福建科学技术出版社, 2006. 12

ISBN 7-5335-2867-0

I. 新… II. 万… III. 电工—基本知识 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 093043 号

书 名	新编电工速成
作 者	万 英
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
网 址	www.fjstp.com
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福建二新华印刷有限公司
开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张	13.25
字 数	332 千字
版 次	2006 年 12 月第 1 版
印 次	2006 年 12 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 7-5335-2867-0
定 价	20.80 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

随着我国现代化建设的飞速发展，电力工程、电力设备技术日新月异，从事低压电气与电力工程设备安装、维修和保养的技术队伍也日渐庞大。尤其是近年来，新产品、新工艺、新技术以及新概念不断涌现，原有电工的知识体系急需更新，针对这种情况，我们编写了此书。

本书以初、中级专业电工为读者对象，编写中考虑到读者人群的知识结构，同时对照当前电力设施、电气设备的现代技术应用程度，从实用、速成角度出发，注重内容上的系统性、完整性、先进性、实用性，把大量的电工知识和专业技能介绍给广大读者。

本书共9章，分别介绍了电工基础知识、常用电工工具和测量仪表、变压器、交流电动机、低压电器、电力拖动与自动控制、室内配电线路、动力配电线路、安全用电等。附录部分列出了常用电工图形符号、文字符号。本书文字简明扼要，图解清晰，内容精练易懂，便于自学。读者经过学习、理解、掌握后，就能应用于实际操作。

参加本书编写的还有杨大力、周志强、吴鸿榕等，同时还得到林琳、黄宏晶、许作真、吴大平、郭涛等的大力帮助。在编写过程中，参考了大量资料，引用了其中的一些内容，在此向有关人员表示衷心感谢，并请原作者与出版社联系。由于作者水平有限，编写过程中错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 电工基础知识..... (1)

第一节 电路基本知识..... (1)

- 一、欧姆定律 (1)
- 二、电阻的串联、并联和串并联 (1)
- 三、电功率和电能 (2)
- 四、电容器的串并联及其充放电 (3)
- 五、电流磁场 (6)
- 六、电磁感应、自感和互感 (7)
- 七、纯电阻交流电路 (9)
- 八、纯电感交流电路 (9)
- 九、纯电容交流电路 (10)

第二节 正弦交流电路 (10)

- 一、正弦交流电 (10)
- 二、单相和三相交流电 (11)
- 三、三相负载的连接 (12)

第三节 功率因数的提高 (14)

- 一、提高功率因数的意义 (14)
- 二、提高功率因数的方法 (15)

第四节 电子电路基础 (15)

- 一、半导体元器件 (15)
- 二、基本电子电路 (21)
- 三、电子电路制作常识 (28)

第二章 常用电工工具和测量仪表 ... (31)

第一节 常用电工工具及使用 (31)

- 一、验电器 (31)
- 二、螺丝刀 (32)
- 三、电工钳 (32)
- 四、电工刀 (33)
- 五、活扳手 (33)
- 六、电烙铁 (33)
- 七、钳工工具 (34)
- 八、手电钻和冲击电钻 (35)

第二节 常用电工测量仪表及使用 (36)

- 一、电工测量仪表分类 (36)
- 二、指示仪表的型号及标志符号 (37)
- 三、电流表、电压表 (39)
- 四、钳形表 (39)
- 五、电度表 (40)
- 六、模拟式万用表 (42)
- 七、数字式万用表 (44)
- 八、兆欧表 (45)

第三章 变压器 (47)

第一节 变压器的用途和分类 (47)

- 一、变压器的用途 (47)
- 二、变压器的分类 (47)

第二节 变压器的工作原理 (48)

- 一、电压变换原理 (48)
- 二、电流变换原理 (48)
- 三、阻抗变换原理 (48)

第三节 电力变压器 (49)

- 一、电力变压器的构造 (49)
- 二、电力变压器的型号 (50)
- 三、电力变压器的主要参数 (50)
- 四、电力变压器的连接方式 (51)
- 五、电力变压器常见故障及检修 (52)

第四节 自耦变压器、互感器、交流 弧焊变压器 (54)

- 一、自耦变压器 (54)
- 二、电压互感器 (54)
- 三、电流互感器 (55)
- 四、交流弧焊变压器 (56)

第四章 交流电动机 (57)

第一节 三相异步电动机 (57)

- 一、三相异步电动机的构造 (57)

二、三相异步电动机的工作原理	(59)	一、电动机的保护装置	(107)
三、三相异步电动机的铭牌	(59)	二、全压起动的控制电路	(108)
第二节 单相异步电动机	(61)	三、减压起动的控制电路	(109)
一、单相异步电动机的结构	(61)	四、电动机顺序起动控制电路	(114)
二、单相异步电动机的工作原理	(62)	五、绕线式电动机起动控制电路	(114)
三、单相异步电动机的类型	(63)	六、正反转控制电路	(116)
第三节 异步电动机的维护及故障		七、行程控制电路	(118)
排除	(65)	八、电动机制动控制电路	(120)
一、电动机的维护	(65)	第三节 常用机床的电气控制与检修	
二、电动机常见故障及排除	(66)		(124)
三、电动机常见维修方法	(72)	一、CA6140 型车床电气控制与检修	(124)
第五章 低压电器	(75)		(124)
第一节 低压电器的分类	(75)	二、Z37 型摇臂钻床电气控制与检修	(126)
第二节 熔断器	(78)		(126)
一、结构和参数	(78)	第四节 机床电气电路的安装与故障	
二、常用熔断器	(79)	分析	(130)
三、熔断器选择	(83)	一、机床电气电路的安装步骤	(130)
第三节 低压开关	(83)	二、机床电气设备的日常维护和保养	(131)
一、刀开关类	(83)		(131)
二、低压断路器	(85)	三、机床电气电路故障分析	(132)
三、主令电器	(88)	第七章 室内配电线路	(134)
第四节 接触器	(93)	第一节 室内照明光源	(134)
一、交流接触器	(93)	一、白炽灯	(134)
二、直流接触器	(96)	二、日光灯及节能灯	(135)
三、接触器选择	(97)	三、卤钨灯	(139)
四、接触器的安装、使用及常见故障排除		四、高压汞灯	(139)
.....	(97)	第二节 导线的选择和连接	(140)
第五节 继电器	(98)	一、导线的选择	(140)
一、热继电器	(99)	二、线路电流的计算	(143)
二、时间继电器	(101)	三、导线的连接和绝缘的恢复	(143)
三、中间继电器	(103)	第三节 室内布线	(149)
第六章 电力拖动与自动控制	(105)	一、室内布线的基本要求和规则	(149)
第一节 电动机的选择	(105)	二、塑料护套线配线	(150)
一、电动机容量的选择	(105)	三、线管配线	(153)
二、电动机种类的选择	(106)	四、绝缘子配线与槽板配线	(157)
三、电动机结构型式的选择	(106)	第四节 插座及开关的选择与安装	(159)
第二节 电动机的基本控制电路	(107)		(159)
.....	(107)	一、电源插座的选择、布置与安装	(159)
.....	(107)		(159)

二、闭路电视分配器及插座的安装	(162)
三、电话机出线插座的安装	(163)
四、开关的选择与安装	(164)
第五节 室内配电箱	(168)
一、室内配电箱概况	(168)
二、配电用小型断路器	(168)
三、漏电保护器	(168)
四、室内配电箱的配置	(170)
第八章 动力配电线路	(171)
第一节 变配电系统	(171)
一、电力系统	(171)
二、变电所和配电所	(172)
三、低压配电屏	(173)
第二节 厂房照明	(175)
一、厂房照明的基本要求	(175)
二、厂房照明方案的选择	(175)
三、厂房照明的供电和控制方式 ...	(176)
第三节 厂房动力	(177)
一、厂房动力配线的技术要求	(177)
二、厂房动力配电线路	(177)

第九章 安全用电	(180)
第一节 触电的方式与伤害	(180)
一、电流对人体的伤害	(180)
二、触电方式	(180)
第二节 接地与接零	(181)
一、工作接地	(181)
二、保护接地	(182)
三、保护接零	(182)
四、重复接地	(183)
五、工作零线与保护零线	(184)
六、电气设备接地和不需要接地的范围	(184)
七、特殊设备接地	(185)
第三节 接地装置与防雷装置	(185)
一、接地体的安装	(185)
二、接地线的安装	(187)
三、接地电阻的测试	(189)
四、防雷装置与防雷保护	(190)
附录 常用电工图形及文字符号	(197)
主要参考资料	(203)

第一章 电工基础知识

第一节 电路基本知识

一、欧姆定律

欧姆定律是电工学中用来表达电路中电压、电流和电阻这 3 个基本物理量之间关系的一条定律。在闭合回路中，电源电压是产生电流的条件，而电流的大小不但与电源电压有关，而且还与电阻的大小有关。

1. 部分电路的欧姆定律

实践证明，一段电路上的电流 I 与这段电路两端的电压 U 成正比，与这段电路的电阻 R 成反比，这一规律叫做部分电路欧姆定律，用公式表示为：

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

应用上式不仅可以计算电流，也可以计算电压及电阻，即 $U = IR$ ， $R = \frac{U}{I}$ 。只要知道其中的两个量，带入公式即可求出第三个量。

2. 全电路欧姆定律

在一个闭合电路中，如图 1-1 所示，闭合回路中的电流与电源的电动势成正比，与电路中的内阻和外阻之和成反比，这一规律称为全电路欧姆定律，用公式表示为：

$$I = \frac{E}{R + r}$$

上式也可写成

$$E = I(R + r)$$

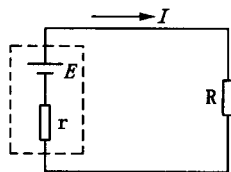


图 1-1 闭合回路

二、电阻的串联、并联和串并联

1. 电阻的串联电路

在电路中，把若干个电阻一个接一个成串地连接起来，使电流只具有一条通路，称为电阻的串联电路，如图 1-2 所示。

(1) 电阻串联电路特点

①电路中的电流处处相等，即 $I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_N$ 。

②等效电阻 $R_{\#}$ 等于各个电阻之和，即 $R_{\#} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$ 。

③电路两端的总电压等于各个电阻上电压降之和，即 $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_N$ 。

当电源电压不变时，在电路中串入电阻可使电流减小，如电动机串入电阻可降低电动机的起动电流。另外，串联电阻可以起到分压作用，人们可以很方便地在分压电阻上获得所需要的电压。利用分压的原理可以用来扩大电压表的量程。

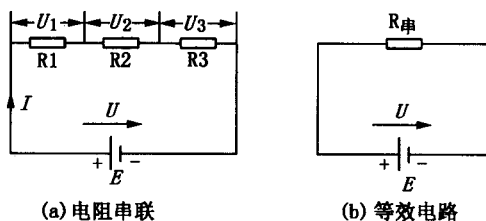


图 1-2 电阻串联及其等效电路

(2) 电阻串联电路在应用中应注意

①当串联电路中某处电路因故障而断开时, 电流下降为零, 而开路处两端的电压等于电源的电压。

②当串联电路中某个电阻发生短路时, 电路的电流增大, 短路电阻元件两端电压为零, 未短路的电阻元件所消耗的功率增大, 有可能被烧毁。

2. 电阻的并联电路

将几个电阻的两端分别连在一起, 以使各个电阻均承受同一个电压, 这种连接方式叫电阻的并联, 如图 1-3 所示。

(1) 电阻的并联电路特点

①各个电阻两端的电压都等于外加电源的电压, 即 $U=U_1=U_2=U_3=\cdots=U_N$ 。

②并联电路的总电流等于各分路电阻中的电流之和, 即 $I=I_1+I_2+I_3+\cdots+I_N$ 。

③电阻并联后, 可用一个等效电阻 $R_{\#}$ 来代替, 即 $\frac{1}{R_{\#}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\cdots+\frac{1}{R_N}$ 。

负载并联运行时, 它们处于同一电压之下, 任何负载的工作情况不受其他负载的影响, 所以电灯通常都接成并联。我们还可以利用电阻并联分流的原理来扩大电流表的量程。

(2) 电阻并联电路在应用中应注意

①当某并联支路开路时, 该支路电流为零, 其他支路不受影响。

②当某个并联支路发生短路时, 该支路和整个电路的等效电阻下降为零, 从而使电源的输出电流剧增, 并联电路的端电压也下降为零。为避免造成事故, 实用中每个并联支路都应加装适当的保险丝。

3. 电阻的串并联电路

许多实际的电路并不一定是电阻单纯串联或并联的电路, 而是兼有串联和并联支路的比较复杂的串并联电路。计算这种电路的等效电阻, 可采取电阻逐步合并的方法, 具体步骤如下:

①分析电路特征, 把串并联电路分解成若干单纯串联和若干单纯并联的支路。

②分别计算出这些单纯串联、并联支路的等效电阻。

③综合①、②步骤求出总的等效电阻。

④求出总电流, 再推算出分电压、分电流。

三、电功率和电能

1. 电功率

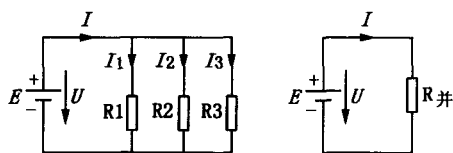
单位时间内电流所做的功称为电功率, 用符号 P 表示, 单位为瓦特 (W)。直流电路中, 电功率 P 与电压 U 或电动势 E 、电流 I 之间的关系为:

$$P=UI \text{ (负载消耗功率)}, P=EI \text{ (电源输出功率)}$$

小的用电器功率用瓦表示, 大的用电器和电力设备通常用千瓦 (kW) 或兆瓦 (MW) 表示, 而电子设备的功率很小, 一般用毫瓦 (mW) 或微瓦 (μW) 表示。它们的换算关系为:

$$1 \text{ 千瓦}=10^3 \text{ 瓦}, 1 \text{ 兆瓦}=10^6 \text{ 瓦}, 1 \text{ 毫瓦}=10^{-3} \text{ 瓦}, 1 \text{ 微瓦}=10^{-6} \text{ 瓦}$$

计算电功率也可用下面两式:



(a) 电阻并联

(b) 等效电路

图 1-3 电阻并联及其等效电路

$$P=I^2R \text{ 或 } P=\frac{U^2}{R}$$

2. 电能

电流通过负载中的电阻，在一段时间内所消耗的电功率称为电能，用符号 W 表示，单位为焦耳 (J)，简称焦。在实际应用中或在电力工程上，常用千焦 (KJ) 或千瓦时 (kWh) 作为电能的单位。它们之间的关系为：

$$1 \text{ 千瓦时} = 1000 \times 60 \times 60 = 3600000 \text{ 焦} = 3600 \text{ 千焦}$$

电能的大小可用电表来计量，也可用下列式子计算：

$$W = Pt = UIt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$$

式中， W 为电能 (千瓦时或度)， P 为电功率 (千瓦)， t 为时间 (小时)。上式表明，1 千瓦的负载在 1 小时内所消耗的电能 1 度。

由上式可知，电功率与电能的区别在于：电能是指一段时间内电流所做的功，而电功率是指单位时间内电流所做的功。

3. 用电设备的效率

由于能量在转换和传递过程中，不可避免地产生各种损耗，因而用电设备的输出功率总是小于输入功率。为了衡量能量在转换和传递过程中损耗的程度，通常把用电设备输出功率与输入功率之比定义为用电设备的效率。效率常用百分数表示，即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

式中， η 为效率， P_1 为输入功率， P_2 为输出功率。

4. 电流的热效应

当电流通过导体时，由于电阻的存在，就要消耗一定的电能，被消耗的电能转换为热能，使导体的温度升高，这种现象称为电流的热效应。

实验表明：电流通过导体产生热量的大小与电流的平方、导体的电阻及通电的时间成正比，即

$$Q = I^2Rt = UIt = \frac{U^2}{R}t$$

式中， Q 为热量 (焦)， I 为电流 (安)， R 为电阻 (欧)， t 为通电时间 (秒)， U 为电压 (伏)。

电流的热效应有利也有害。有利的一面是可以利用热效应制成各种电热电器，如电炉、电烙铁、电熨斗、白炽灯、电烤箱等。不利的一面是热效应会造成电气设备，如变压器和电动机等在运行中温度升高，如果温度太高，会加速绝缘材料的老化变质，从而引起漏电或短路，直至烧毁电气设备。因此，导线中通过的电流是有一定限度的，导线中通过电流的限度称为导线的安全载流量。

为了确保电气设备在正常温度下运行和使用寿命，必须对电气设备的几个主要工作参数的最大允许值做具体规定，即规定了额定值。电气设备的额定值主要有额定功率、额定电压、额定电流等。不同的电气设备由于所使用的绝缘材料不同、导线截面不同、散热条件不同，因此规定的额定值也就不同。所以在使用电气设备前，一定要认真看清设备铭牌上的额定值，如无铭牌或铭牌上数值模糊不清，可查产品目录或直接向厂家询问。

四、电容器的串并联及其充放电

1. 电容器

在任何两个彼此靠近的导体中间隔以绝缘物，就构成一个电容器。构成电容器的两个导体叫做极板，中间的绝缘物叫做介质。电容器是重要的电路元件，是用来储存电荷的。

电容器有两个主要参数，一是电容量，二是额定工作电压。电容器所带的电量 Q 与它的两极间的电压 U 的比值，叫做该电容器的电容量，简称电容，用 C 表示，即

$$C = \frac{Q}{U}$$

电容的单位是法拉(F)，在实用中常用较小的单位微法(μF)、纳法(nF)、皮法(pF)，它们之间的关系为：

1 法拉 = 10^6 微法，1 微法 = 10^3 纳法，1 纳法 = 10^3 皮法

使用电容器时，应注意在两极板间所加的电压不能超过其额定工作电压，否则电容器内的介质将被击穿而损坏。

2. 电容器的种类

电容器的种类很多，如按形式分有固定电容器、可变电容器、半可变电容器（微调电容器）等。如按材料分有体积小的陶瓷电容器，用有机材料绝缘的涤纶电容器和用无机材料绝缘的云母电容器、用铁壳封装的油浸纸介电容器、用铝壳封装的电容器，以及用钽、铌稀有金属作电极板的电解电容器等。图 1-4 是几种常见的电容器外形及电路符号。

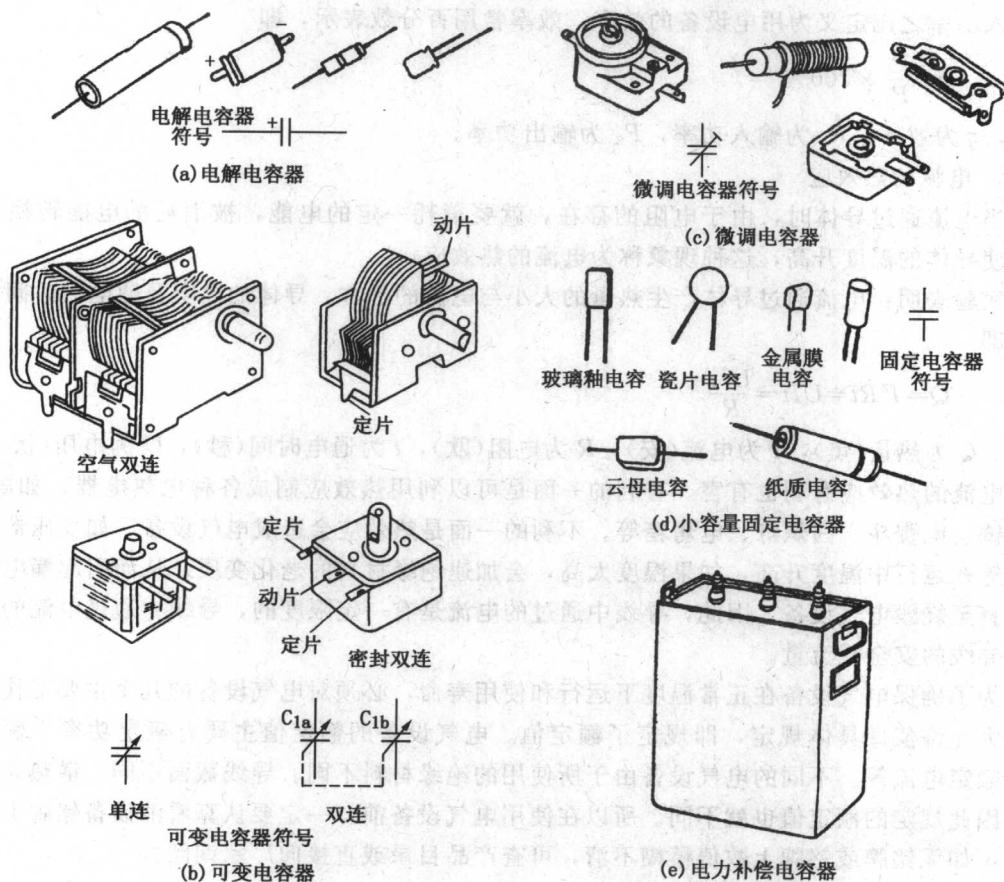


图 1-4 几种常见的电容器外形及符号

电解电容器的电容量较大，但只能承受直流电压，使用时必须注意正负极性。电解电容器主要用作整流电路中滤波及放大器级间耦合等；可变电容器用在电容量需要经常改变的场合，如收音机中调谐选择电台；微调电容器用在电容量需作微小调整的场合；各式小容量固定电容器用于晶体管收音机、电视机等电子产品中。油浸电容器体积较大，耐压较高，电容起动式单相电动机中采用的就是油浸电容器。电力补偿电容器用作电网中的功率因数补偿。

3. 电容器的串联与并联

在电气工程中，当使用一个电容器不能满足电路要求时，可以把几个电容器串联或并联起来使用，以满足电路要求。

当电容器串联后，如图 1-5 所示，具有以下特点：等效电容 $C_{\#}$ 的倒数等于各个电容器电容的倒数之和，总电压等于各个电容器两端电压之和，即

$$\frac{1}{C_{\#}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_N}, \quad U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_N$$

当电容器并联后，如图 1-6 所示，具有以下特点：等效电容 $C_{\#}$ 等于各个电容器的电容量之和，各个电容器两端的电压相同，并等于外加电压，即

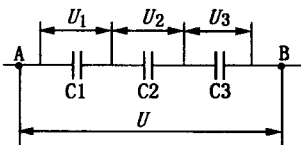


图 1-5 电容器串联

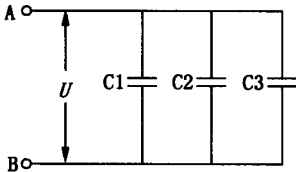


图 1-6 电容器并联

$$C_{\#} = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_N, \quad U = U_1 = U_2 = U_3 = \cdots = U_N$$

电容器的串联与并联使用应注意以下几点：

- (1) 串联电容器的个数越多，其等效电容越小。并联电容器的个数越多，其等效电容越大。
- (2) 在电容器串联中，电容量越小的电容器所承受的电压越高，因此必须慎重考虑各个电容器的耐压情况，否则容易击穿。
- (3) 单个电容器的电容量不足时，可用几个电容器并联使用。单个电容器的耐压不足时，可用几个电容器串联使用。
- (4) 额定工作电压不同的几个电容器并联使用时，外加电压不能大于电容器的额定工作电压的最小值。

4. 电容器的充放电

电容器是一种储存电荷的“容器”，在电路中的作用主要是充电和放电。下面简单分析一下电容器是如何进行充放电的。

如图 1-7 所示，开关 K 与 A 接通时，电容器与直流电源接通，电容器被充电。在电路刚刚接通瞬间，充电电流最大。随着充电的进行，电容器极板上不断积累电荷。这种电荷的积累直到极板之间的电压与电源电压相等时为止。此时充电电流为零，电容器充电过程结束，电容器储存了一定的电荷和电场能量。当开关 K 与 B 点接通时，充好电的电容器与电阻接成闭合回路，电容器就

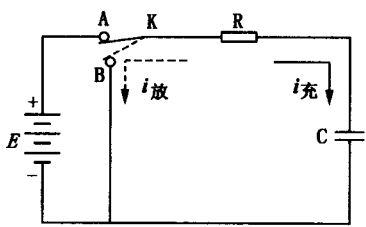


图 1-7 电容器充放电

开始放电。在电路刚刚接通瞬间，放电电流最大。随着电容器极板上的电荷不断减少，电压逐渐降低，放电电流也逐渐减小，直至极板上的电荷释放完毕，电压和电流均为零，此时电容器放电过程结束。

实践证明，电容器充放电的快慢与电容 C 和电阻 R 的乘积 RC 有关。乘积 RC 称为时间常数，用 τ 表示，当 R 取欧为单位， C 取法为单位时， τ 的单位为秒。时间常数决定了电容器充放电的速度及电压和电流的上升和下降速度。所以电容器不论是充电还是放电，其两端的电压是不能突变的。当电容器充电完毕后，电路中电流为零，所以直流电流不能通过电容器，这叫电容器的隔直流作用。在交流电路中，由于电容器不断地充放电，电极引线上始终有充放电电流通过，所以交流电可通过电容器。

五、电流磁场

1. 磁铁的性质

磁铁能够吸引铁制物质的性质叫做磁性。任何一个磁铁都有两个磁极，一个磁极指向北方，称为北极或 N 极，另一个磁极指向南方，称为南极或 S 极。

磁铁周围有磁场，磁场虽然看不见，摸不着，但通过实验可以观察到它的存在。磁场可用磁力线形象地表示出来，条形磁铁的磁场如图 1-8 所示。

磁力线有以下特性：磁铁外部的磁力线是从北极到南极，磁铁内部的磁力线是从南极到北极；磁力线是闭合曲线，无头无尾，不中断、不交叉；磁力线具有缩短自己长度的倾向，因此有张力；同方向的磁力线相斥，异方向的相吸；磁力线易于通过钢、铁和其他铁磁物质。

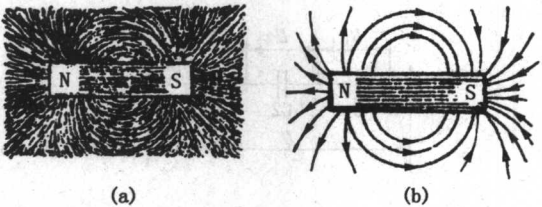


图 1-8 条形磁铁的磁场

2. 电流磁场

除了磁铁，电流也可以产生磁场。当电流流过导体时，在导体的周围就会产生磁场，即电能生磁，这称为电流的磁效应。磁场的强弱取决于电流的大小，磁场的方向取决于电流的方向。

通电直导体产生的磁场方向可用右手螺旋定则来判定，该定则用来表达电流方向与磁力线方向之间关系。如图 1-9 所示，用右手四指握住导线，让伸直的大拇指指向电流的方向，那么弯曲的四指所指的方向就是磁场磁力线的环绕方向。

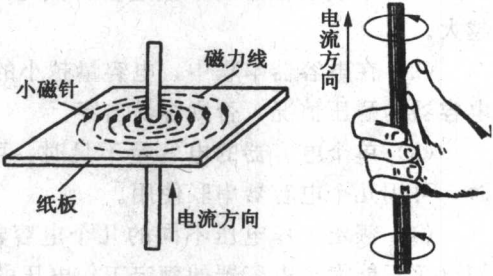


图 1-9 右手螺旋定则示意图

由螺线管电流或环形电流所产生的磁场方向也可用右手螺旋定则来判定。如图 1-10 所示，让右手弯曲的四指和环形电流绕向一致，那么伸直的大拇指所指的方向就是磁场磁力线的方向。线圈的圈数越多，通过的电流越大，线圈的磁场也就越强。在线圈中部的磁场最强，接近线圈两端的磁场逐渐减弱。

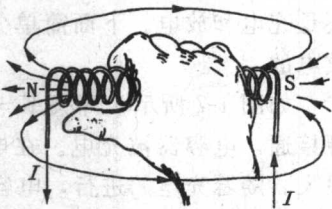


图 1-10 线圈的磁场

3. 磁场对电流的作用

电流会产生磁场，磁场对电流也有作用。通电载流导线或

线圈在磁场中将受到安培力或安培力矩的作用。电动机和测量电流、电压用的磁电式仪表就是应用这一原理工作的。

通电导线在磁场中受力的方向，可以用左手定则来确定，该定则是用来表达磁场方向、电流方向和磁场对电流作用力方向三者之间关系。如图 1-11 所示，伸开左手手掌，让四指与大拇指垂直，使磁力线垂直穿过掌心，四指顺着电流的方向，则大拇指所指的方向就是磁场对载流导线作用力的方向。

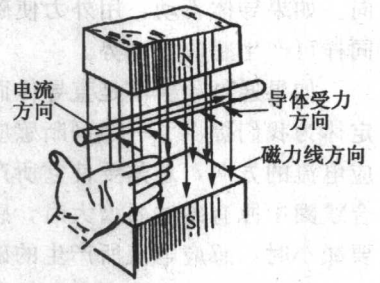


图 1-11 左手定则

实验表明，磁场越强、导体中电流越大、在磁场中的导体越长，则导体受到的作用力也就越大。当电流与磁场的方向垂直时，作用力最大，平行时作用力为零。一般情况下，磁场对电流的作用力可用下式计算：

$$F = BIL \sin \alpha$$

式中， F 为作用力（牛）， I 为导体电流（安）， B 为磁感应强度（特，T）， L 为导体长度（米）， α 为导体与磁场方向间的夹角（见图 1-12）。

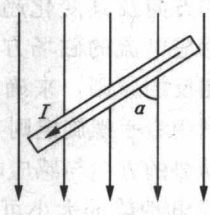


图 1-12 电流方向与磁场方向不垂直的情形

4. 磁感应强度与铁磁物质

磁感应强度（ B ）是用来描述磁场中各点磁场强弱和方向的物理量，它的方向就是该点磁场的方向，它的大小可用磁力线的疏密来表示，磁力线密的地方磁感应强度大。若磁场中各电磁感应强度的大小相等，方向一致，则这种磁场叫均匀磁场，均匀磁场的磁力线是一组疏密均匀、方向一致的平行线。实验表明，磁感应强度的大小不仅与产生磁场的电流大小、方向有关，而且还与磁场中的磁介质的性质有关。如果在一空心的螺线管中插入一根铁磁性材料，管内的磁感应强度就比原来空心的螺线管内的磁感应强度增大几百倍，甚至几千倍。

导磁能力很强的物质叫铁磁物质，如铁、钴、镍等；导磁能力很弱的物质叫非铁磁物质，如铝、铜、木材、空气等。铁磁物质的导磁能力是非铁磁物质的几十倍到几百万倍，由此可见要想使通电螺线管产生的磁场增强，除增大电流外，更重要的是在螺线管中插入铁磁物质制成的铁心，即通常所说的磁棒。

六、电磁感应、自感和互感

1. 电磁感应

电流可以产生磁场，那么能不能利用磁场来获得电流呢？通过实验可以观察到，当闭合电路的部分导体在磁场里作切割磁力线运动或穿过闭合电路内的磁力线发生变化时，回路中就有电动势产生，这种现象称为电磁感应现象。由电磁感应现象所产生的电动势称为感应电动势，由感应电动势产生的电流称为感应电流。

直导体与磁力线间作相对切割运动时，所产生的感应电动势的方向可用发电机右手定则来判定，该定则用来表达磁场的方向、导体运动的方向、感应电动势的方向三者之间关系。如图 1-13 所示，伸开右手，让拇指跟其他四指垂直，并且都跟手掌在一个平面内，让磁力线垂直穿过掌心，拇指指向导体运动的方向，四指的指向就是感应电动势的方向。

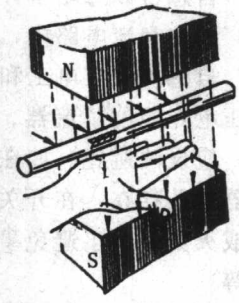


图 1-13 右手定则示意图

向。如果导体不动，用外力使磁极运动，也等于使导体作切割磁力线的运动，那么在导体中同样可产生感应电动势。

如果通电导体不是直导体而是线圈，那么如何判定它所产生的感应电动势方向呢？楞次定律为我们提供了一个判断感应电动势方向的法则。楞次定律指出：在闭合线圈中产生的感应电流的方向，总是要使它所产生的磁场阻碍穿过线圈的原来磁通的变化。也就是说，在闭合线圈中原有磁通要增大时，感应电流就产生一个磁场阻止它增大；当闭合线圈中原有磁通要减小时，感应电流所产生的磁场也将阻止它的减小。

利用楞次定律判别感应电动势或感应电流方向的具体步骤如下：如图 1-14 所示，先判定原磁通的方向及其变化趋势（增大还是减小），再根据感应电流的磁场方向与原磁通的变化方向永远相反的原则，来确定感应电流的磁场方向。或利用右手螺旋定则判定感应电流的方向，感应电动势的方向与感应电流的方向相同。

感应电动势的大小可用法拉第电磁感应定律来计算。法拉第电磁感应定律为：闭合导线线圈中感应电动势的大小与穿过回路的磁通量的变化率成正比，即

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

式中， E 为感应电动势， N 为线圈的匝数， $\Delta \Phi$ 为线圈中磁通的变化量， Δt 为磁通变化 $\Delta \Phi$ 所需的时间，“-”（负号）反映了感应电动势的方向。

如果在磁场中运动的导体是直导线，那上式可写成

$$E = BLV \sin \alpha$$

式中， α 角度是导体运动方向与磁力线（磁场）方向的夹角。

2. 自感和互感

（1）自感现象。由于线圈本身电流的变化而引起线圈内产生电磁感应的现象，叫做自感现象。由自感现象而产生的感应电动势叫做自感电动势。

任何一个回路，甚至一段导线，电流通过时都会产生自感现象，但是电流变化不明显时，自感可以忽略不计。在直流电路中，只有在接通或切断电路的短暂时间会产生自感现象，而在交流电路中，电流大小、方向时刻都在变化，自感现象时刻都存在。

自感现象在电工和电子技术中有广泛的应用，如日光灯的镇流器、高压电光源的镇流器、谐振电路、滤波电路等。自感现象也会带来坏处，应设法避免。如在供电系统中切断大电流电路时，由于电路中自感器件的存在，在开关处会出现强烈的电弧，可能危及人身安全，并造成火灾。为了避免事故，必须使用带有灭弧结构的负荷开关或油开关等。

电动机或变压器铁心中的涡流现象也与自感有关。当成块金属放在变化的磁场中，金属内将产生感应电流。这种电流在金属内自成闭合回路，犹如水的旋涡，故称涡流，如图 1-15 所示。由于成块金属

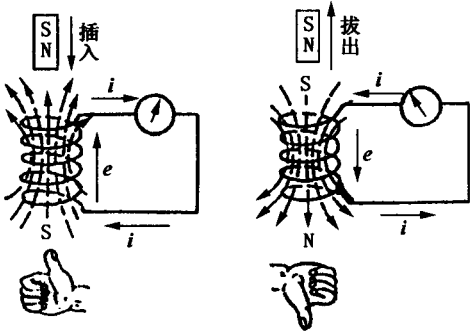


图 1-14 磁铁在线圈中运动时感应电动势的方向

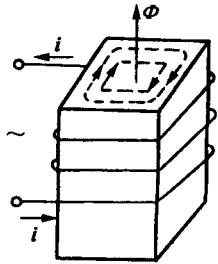


图 1-15 涡流

的电阻很小，所以不大的感应电动势便能产生很大的涡流，使成块金属大量发热，这不仅白白浪费了电能，降低了效率，而且由于铁心发热温升，使线圈导线绝缘材料性能下降，甚至绝缘破坏，导致设备损坏。为了减少涡流损耗，电动机或变压器的铁心常采用电阻率较大的、涂有绝缘漆的薄硅钢片叠压制成，从而限制涡流的增大。

涡流也有可利用的一面，如高频感应炉就是利用涡流来熔化金属，或对金属进行热处理；电气测量仪表利用涡流对指针的摆动起到阻尼作用，等等。

(2) 互感现象。两个相邻线圈，当其中一个线圈电流发生变化时，它所产生的变化磁场将使邻近的另一个线圈产生感应电动势，这就是互感现象。由互感现象引起的电动势就叫作互感电动势。

互感现象在电工和电子技术中应用很广，如变压器就是应用互感原理制成的重要设备，收音机中的天线线圈也是利用互感现象。互感现象在某些情况下也会带来不利的影响，如在电子线路中元件之间存在互感可能造成相互影响，使电子装置工作状态变化甚至无法正常工作。为此，必须设法减小互感，如调整元件的位置和方向，或采用其他屏蔽措施。

七、纯电阻交流电路

当交流电路中只有电阻元件，而电感和电容两个参数的影响可以忽略不计时，这样的电路称为纯电阻交流电路，如图 1-16 所示。例如白炽灯、电炉等交流电路，就是纯电阻电路。

在纯电阻交流电路中，电压与电流同相位，电压与电流之间的关系，不论用瞬时值、最大值还是有效值表示，均符合欧姆定律，但一般电路计算都用有效值，即 $I = \frac{U}{R}$ 。

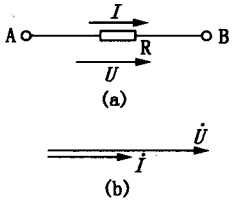


图 1-16 纯电阻交流电路

纯电阻电路中，电阻元件的功率分为瞬时功率、平均功率或有功功率。由于交流电路中的电压、电流都随时间变化，所以功率也是变化的，每一瞬间电压与电流的乘积称为瞬时功率。

由于瞬时功率的计算和测量都很不方便，所以通常都是用瞬时功率在一个周期内的平均值来表示，称为平均功率或有功功率，即 $P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ 。

八、纯电感交流电路

如果线圈的电阻和其电感相比较小到可以忽略不计的话，就可以把这种线圈视为纯电感线圈。将纯电感线圈接至交流电源所组成的电路，叫做纯电感交流电路，如图 1-17 所示。

在纯电感交流电路中，电感两端的电压比流过电感的电流超前 90° ，电压与电流之间的有效值关系满足欧姆定律，即

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

式中， X_L 称为感抗，单位是欧。由 $X_L = \omega L = 2\pi fL$ 可见，感抗同频率有关。频率 f 越大， $\omega = 2\pi f$ 越大，故 X_L 也越大，即电感线圈对高频电流阻力很大；而对直流电，相当于频率 $f=0$ ， $\omega=0$ ，则 $X_L=0$ ，即电感线圈对直流电没有阻力。

纯电感线圈在交流电路中不消耗电源能量，而只是与电源进行能量交换。所以，在一个

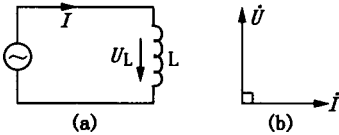


图 1-17 纯电感交流电路

周期内其平均功率或有功功率 $P=0$ 。

为了表达纯电感线圈与电源之间能量交换的规模,把瞬时功率的最大值叫做电路的无功功率,用 Q 表示,单位是乏 (var),即

$$Q=UI=I^2 X_L=\frac{U^2}{X_L}$$

九、纯电容交流电路

纯电容交流电路如图 1-18 所示。电容器接在交流电路中,由于电压大小和方向在不断变化,电容器不断地充电和放电,使电路中产生交变电流。

在纯电容交流电路中,电容器两端的电压落后电流 90° ,电压与电流之间的有效值关系满足欧姆定律,即

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

式中, X_C 称为容抗,单位是欧。由 $X_C=\frac{1}{\omega C}=\frac{1}{2\pi fC}$ 可见,容抗同频率有关。频率 f 越大, $\omega=2\pi f$ 越大,故 X_C 越小,电流 I 越大,即电容器对高频电流的阻力很小;频率越低,即 ω 越小,容抗 X_C 越大,电流 I 越小,说明电容器对低频电流的阻力较大。对直流电,即 $\omega=0$,容抗 X_C 为无穷大,电流 $I=0$,说明直流电不能通过电容器。

在纯电容交流电路中,电容器将所储存的能量送回电源,所以电容器不消耗电源的能量,只进行能量交换,因此纯电容电路的平均功率或有功功率 $P=0$ 。

为了表明电源和电容器之间能量交换的规模,把瞬时功率的最大值叫做电路的无功功率,也用 Q 表示,单位也是乏 (var),即

$$Q=UI=I^2 X_C=\frac{U^2}{X_C}$$

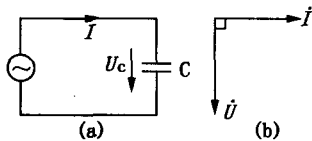


图 1-18 纯电容交流电路

第二节 正弦交流电路

一、正弦交流电

1. 交流电和正弦交流电

直流电电压和电流的大小和方向是不随时间变化的。但生产实际中经常应用到随时间而变化的电压或电流,这种大小和方向随时间作周期性变化的电压和电流,称为交流电压和交流电流,统称交流电。

正弦交流电是交流电的一种形式,是指电路中电流、电压及电动势的大小和方向都随着时间按正弦函数规律周期性变化的交流电。

交流电之所以能得到广泛应用,主要是由于:从发电设备来说,交流发电机比直流发电机结构简单、制造成本低、工作可靠;从电能的输送和分配来说,交流电可直接利用变压器变换电压,远距离输电时通过升压可减少线路损耗,获得最佳经济效益,使用时又可以通过降压满足要求;从应用来说,交流电动机比直流电动机结构简单、造价低、坚固耐用、维护简便。

2. 正弦交流电的三要素

我们一般把最大值、初相角、角频率称为正弦交流电的三要素,下面分别给予介绍。

(1) 瞬时值和最大值。由于正弦交流电的电动势、电压和电流每时每刻都在变化,所以

它们每一时刻的值都是不同的。我们把某一时刻的数值称为瞬时值，电动势、电压和电流的瞬时值分别用 e 、 u 和 i 来表示。瞬时值中最大的值叫做最大值或幅值，电动势、电压和电流的最大值分别用 E_m 、 U_m 、 I_m 来表示。正弦交流电的三角函数表达式如下：

$$e = E_m \sin \alpha, u = U_m \sin \alpha, i = I_m \sin \alpha$$

式中， α 称为电角度， $\alpha = \omega t + \varphi$ 。

(2) 相位、初相角和相位差。在正弦交流电的表达式中 $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ ，其中 $\omega t + \varphi$ 是一个角度，它是时间的函数，一般称之为相位。计时开始 ($t=0$) 时的相位 φ 叫初相角，如图 1-19 所示。两个频率相等的正弦交流电的相位之差叫相位差。相位差实际上说明了两个交流电之间在时间上超前或滞后的关系。

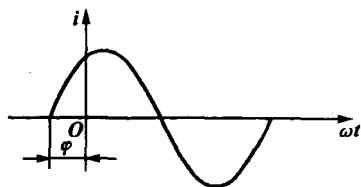


图 1-19 正弦量的相位

(3) 周期、频率和角频率。交流电完成一次周期性变化所需的时间叫做交流电的周期，如图 1-20 所示。周期用 T 表示，单位是秒。1 秒钟内交流电重复变化的周期数叫做频率，用 f 表示，单位是赫兹 (Hz)，简称赫。周期与频率互为倒数，即

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

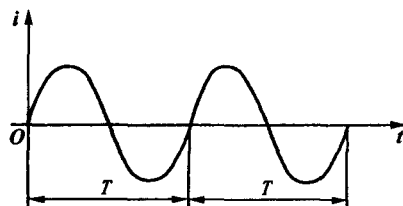


图 1-20 交流电的周期

我国市电的周期是 0.02 秒，频率是 50 赫。角频率是交流电 1 秒钟内所转过的角度，用 ω 表示，单位是弧度/秒 (rad/s)，交流电变化一个周期，就相当于变化了 2π 个弧度 (360°)。

周期、频率和角频率之间的关系为：

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

3. 正弦交流电的有效值

因为正弦交流电的瞬时值是随时间变化的，不能客观反映交流电的大小和做功本领，为了衡量交流电的实际做功能力，定义了交流电的有效值。如果在两个同样的电阻上，分别通以交流电流 i 和直流电流 I ，在相同的时间里，它们产生的热量相等，则我们称直流电流 I 为交流电流 i 的有效值。交流电的电动势有效值、电流的有效值、电压的有效值分别用 E 、 I 、 U 来表示，它们和最大值的关系为：

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 E_m, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 U_m, I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 I_m$$

一般电气设备上标明的额定电压、额定电流以及电工仪表上所标注的测量值都是有效值，若无特殊说明，平时所说的交流电的电流、电压、电动势大小都是指有效值。

二、单相和三相交流电

单相和三相交流电都属于正弦交流电，都具有正弦交流电的各种特征。目前工农业生产所用的动力电源，几乎全部采用三相交流电源，日常生活中所用的单相交流电，也是采用三相交流电源中的某相与中性线构成，现在单独的单相交流电源已经很少采用了。

三相交流电有很多优点：制造三相交流发电机、变压器比单相的节省材料，而且构造简单、性能优良；在同样条件下输送同样大的功率时，三相输电线比单相输电线节省有色金属