

新编

维修电工速成



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

新编维修电工速成

刘行川 万英 尤仪 李勇生 陈星照

福建科学技术出版社

FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

新编维修电工速成/刘行川等编. —福州: 福建科学技术出版社, 2008. 4

ISBN 978-7-5335-3134-8

I. 新… II. 刘… III. 电工—维修 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 188662 号

书 名	新编维修电工速成
作 者	刘行川 万英 尤仪 李勇生 陈星照
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	17
字 数	418 千字
版 次	2008 年 4 月第 1 版
印 次	2008 年 4 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 978-7-5335-3134-8
定 价	26.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

随着我国逐步成为世界制造中心，社会对各级各类人才的需求愈来愈迫切，具有熟练操作技能的各级技术工人更为短缺，于是各种类型的技术工人培训班应运而生。为了给各级各类职业培训提供科学规范的依据，国家有关部门陆续颁布了一系列具体工种的职业标准，组成比较完善的国家职业标准体系，2002年2月颁布的《维修电工国家职业标准》就是其中的一种。

本书就是根据《维修电工国家职业标准》对维修电工（国家职业资格四级、五级）的工作内容、技能要求和相关知识的规定编写的。其中，操作技能方面的内容，包括设计、安装与调试、故障检修、仪器仪表使用与维修等，多取材于劳动和社会保障部编写的《职业技能鉴定国家题库·维修电工操作技能考试手册》；而电工、电子基础范围则与中等技工学校的要求相适应。所以，本书可作为维修电工的培训教材和自学读本，亦可供相关专业的中等专业学校、中等技工学校广大师生参考。

由于时间仓促，书中或有疏漏舛误，敬请读者批评指正，以便再版时修订。

作 者

目 录

第一章 电工基本知识.....	(1)
第一节 电路基本知识.....	(1)
一、电阻、电容、电感	(1)
二、欧姆定律	(6)
三、基尔霍夫定律	(7)
四、戴维南定理	(8)
五、电功率和电功	(9)
第二节 电磁感应	(10)
一、电流磁场	(10)
二、电磁感应	(12)
第三节 正弦交流电	(14)
一、正弦交流电的概念	(14)
二、各种基本电路	(15)
三、提高功率因数的方法	(22)
四、三相交流电	(23)
第二章 电子技术基础	(26)
第一节 半导体器件	(26)
一、半导体材料与PN结	(26)
二、半导体二极管	(26)
三、半导体三极管	(28)
四、晶闸管	(30)
五、单结晶体管	(32)
六、逻辑门电路	(33)
第二节 基本电子电路	(35)
一、整流滤波电路	(35)
二、稳压电路	(37)
三、放大电路	(38)
第三章 常用电工工具、量具及仪表、仪器	(45)
第一节 电工工具、量具及其使用	(45)
一、电工工具	(45)
二、量具	(51)
第二节 电工仪表、仪器及其使用	(54)
一、常用电工指示仪表分类及标度盘标志符号	(54)
二、电流表、电压表	(55)
三、功率表	(56)

四、万用表	(57)
五、钳形表	(60)
六、兆欧表	(61)
七、接地电阻测量仪	(62)
八、电桥	(63)
第四章 变压器	(67)
第一节 变压器分类、工作原理和主要参数	(67)
一、变压器分类	(67)
二、变压器工作原理	(67)
三、变压器主要技术参数	(68)
第二节 电力变压器	(69)
一、电力变压器分类和结构	(69)
二、电力变压器运行技术指标和连接组	(72)
三、电力变压器的检查与维护	(75)
第三节 交流弧焊变压器、互感器、小型电源变压器	(76)
一、交流弧焊变压器	(76)
二、互感器	(78)
三、小型电源变压器	(80)
第四节 变压器常见故障及处理方法	(82)
一、电力变压器常见故障	(82)
二、电力变压器检修	(84)
三、电力变压器试验	(89)
四、交流弧焊机和小电源变压器常见故障及维修	(91)
第五章 电动机	(94)
第一节 三相电动机	(94)
一、三相异步电动机基本结构	(94)
二、三相异步电动机分类及主要技术参数	(97)
三、三相多速异步电动机	(99)
四、三相同步电动机	(103)
第二节 单相异步电动机	(105)
一、单相异步电动机基本结构	(105)
二、单相异步电动机工作原理	(106)
三、常用单相异步电动机	(106)
第三节 直流电动机	(108)
一、直流电动机结构	(108)
二、直流电动机工作原理	(110)
三、直流电动机分类及接线	(111)
四、直流电动机机械特性	(112)
第四节 控制电机	(113)
伺服电动机	(113)

二、测速发电机	(115)
第五节 电动机常见故障维修	(116)
一、三相异步电动机拆装及常见故障维修	(116)
二、单相异步电动机常见故障维修	(129)
三、直流电动机拆装及常见故障维修	(130)
四、控制电机常见故障维修	(133)
第六章 低压电器	(135)
第一节 低压电器分类及型号	(135)
一、低压电器分类	(135)
二、低压电器型号	(135)
第二节 熔断器	(136)
一、熔断器结构及主要技术参数	(136)
二、常用熔断器	(137)
三、熔断器选择	(140)
第三节 低压开关	(140)
一、刀开关类	(141)
二、低压断路器	(143)
三、主令电器	(147)
第四节 接触器	(150)
一、交流接触器	(150)
二、直流接触器	(152)
三、接触器选用与安装、维修	(153)
第五节 继电器	(154)
一、热继电器	(155)
二、中间继电器	(156)
三、电流继电器和电压继电器	(157)
四、时间继电器	(158)
五、速度继电器	(161)
六、压力继电器	(162)
第六节 电磁铁及电磁离合器	(162)
一、电磁铁	(162)
二、电磁离合器	(164)
第七节 常用低压电器维修	(165)
一、触头故障及维修	(165)
二、电磁系统故障及维修	(166)
第七章 电力拖动与自动控制	(168)
第一节 电动机选择及保护	(168)
一、电动机选择	(168)
二、电动机保护	(168)
第二节 三相异步电动机起动	(169)

一、全压起动控制电路	(169)
二、减压起动控制电路	(171)
第三节 三相异步电动机正反转控制	(175)
一、倒顺开关正、反转控制电路	(175)
二、接触器联锁的正、反转控制电路	(176)
三、按钮联锁的正、反转控制电路	(176)
四、按钮、接触器双重联锁的正、反转控制电路	(176)
第四节 三相异步电动机制动控制	(177)
一、机械制动	(177)
二、电气制动	(178)
第五节 三相异步电动机顺序、多地和位置控制	(182)
一、顺序控制	(182)
二、多地控制	(183)
三、位置控制	(183)
第六节 三相绕线式转子异步电动机控制	(185)
一、三相绕线式转子异步电动机起动	(185)
二、绕线式转子异步电动机正、反转及调速控制	(188)
第七节 三相笼型异步电动机调速	(189)
一、变极调速	(189)
二、电磁调速	(191)
第八节 直流电动机控制	(192)
一、直流电动机起动、正反转、调速、制动控制	(192)
二、串励直流电动机控制	(195)
三、并励直流电动机控制	(197)
第九节 常用机械电气控制与维修	(202)
一、CA6140 车床电气控制与维修	(202)
二、Z35 钻床电气控制与维修	(205)
三、X62W 万能铣床电气控制与维修	(208)
四、T68 卧式镗床电气控制与维修	(212)
五、M1432 外圆磨床电气控制与维修	(215)
第八章 照明与动力配电	(217)
第一节 电光源与照明装置	(217)
一、常用电光源	(217)
二、照明基本电路	(220)
三、照明灯具安装要求	(221)
四、照明装置维修	(223)
第二节 照明与动力配电线路	(225)
一、配电方式	(225)
二、室内配线要求	(225)
三、线管配线	(226)

四、绝缘子配线	(229)
五、电缆沟、桥架配线	(230)
六、导线连接和绝缘恢复	(233)
七、低压电缆终端、中间接头制作与安装	(236)
第九章 电子电路制作	(238)
第一节 电子电路制作基础	(238)
一、印刷电路板制作	(238)
二、焊接工艺	(239)
三、印刷电路板元器件安装	(240)
四、印刷电路板焊接	(241)
第二节 实用电子电路	(242)
一、晶闸管调光开关	(242)
二、熄火报警器	(242)
三、自动感应开关	(243)
四、节电定时灯开关	(244)
五、断线探测仪	(245)
第十章 安全用电	(246)
第一节 触电伤害及电气火灾防范	(246)
一、电流对人体的伤害	(246)
二、触电方式	(246)
三、触电急救及电气火灾的防范与扑救	(247)
第二节 接地与防雷	(248)
一、接地方式	(248)
二、接地体安装与维修	(250)
三、防雷装置	(252)
四、防雷保护	(253)
第三节 维修安全措施	(255)
一、工作票制度	(255)
二、停电维修安全措施	(256)
三、不停电维修安全措施	(256)
第四节 维修安全用具	(257)
一、安全用具分类	(257)
二、安全用具使用	(257)
主要参考资料	(261)

第一章 电工基本知识

第一节 电路基本知识

一、电阻、电容、电感

1. 电阻

(1) 电阻器。电阻器简称电阻。常用电阻的实物外形和电路中的符号如表 1-1 所示。电阻值固定不变的电阻称为固定电阻。热敏电阻的阻值随温度变化比较明显。可调电阻的阻值可以调节。固定电阻有线绕电阻、珐琅电阻、炭膜电阻、金属膜电阻等，电子电路中常用的固定电阻有炭膜电阻和金属膜电阻，其阻值大小有的直接印在电阻表面上，单位有 Ω （欧姆，简称欧）、 $k\Omega$ （千欧）、 $M\Omega$ （兆欧），现多用色环表示，故称之为色环电阻。电阻色环标称阻值表示方法见图 1-1。从电阻外形尺寸大小可以看出其额定功率，它们的对应关系见表 1-2。图 1-2 所示是电阻器额定功率的图形符号，额定功率大于 1W 时用阿拉伯数字标注。

表 1-1 常用电阻器的外形和符号

名 称	外 形	电路中的符号
电阻（炭膜或金属膜）		
色环电阻		
热敏电阻		
可调电阻	 微调电阻	
	 电位器	

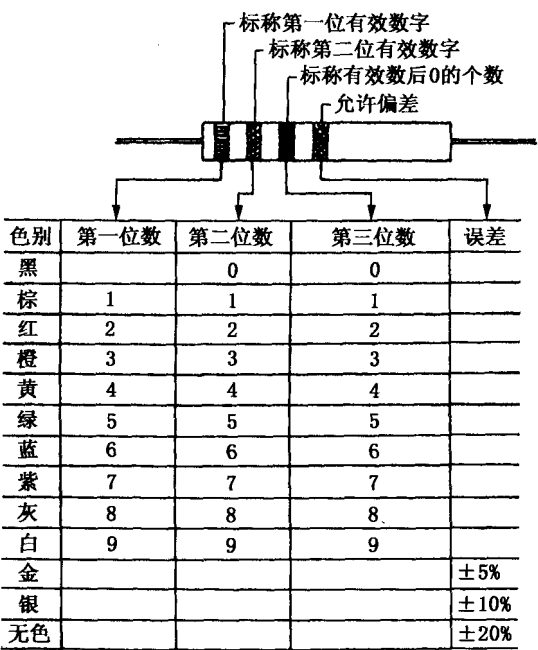


图 1-1 电阻色环标称阻值表示方法

表 1-2 炭膜、金属膜电阻外形尺寸与额定功率的关系

额定功率 (W)	RT 炭膜电阻		RJ 金属膜电阻		额定功率 (W)	RT 炭膜电阻		RJ 金属膜电阻	
	长度(mm)	直径(mm)	长度(mm)	直径(mm)		长度(mm)	直径(mm)	长度(mm)	直径(mm)
1/8	11	3.9	6~8	2~2.5	1	30.5	7.2	13.0	6.6
1/4	18.5	5.5	7~8.3	2.5~2.9	2	48.5	9.5	18.5	8.5
1/2	28.5	5.5	10.8	4.2					

(2) 电阻串联电路。图 1-3a 所示为电阻串联电路，图 1-3b 为相应的等效电路，串联电路的等效电阻为 $R_{\text{串}}$ 。

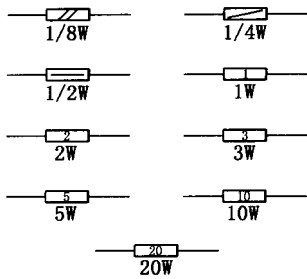


图 1-2 电阻器额定功率的图形符号

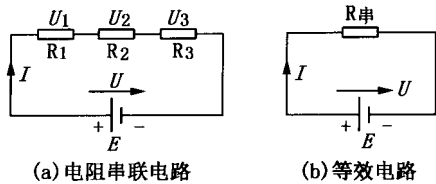


图 1-3 电阻串联及其等效电路

电阻串联电路有如下特点：

①等效电阻等于所有各电阻之和，即 $R_{\text{串}} = R_1 + R_2 + R_3$ 。等效电阻大于电路中任何一个电阻。

②分压作用。串联电路各电阻所分得的电压与阻值成正比，阻值越大所分得的电压也越大，反之则越小。各个电阻分压之和为总电压，即 $U = U_1 + U_2 + U_3$ 。

③开路特点。当串联电路中某处电路因故障而断开时，电流下降为零，而开路处两端电压等于电源电压。

④短路特点。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功率增大，有可能被烧毁。

(3) 电阻并联电路。图 1-4a 所示为电阻并联电路，图 1-4b 为相应的等效电路。并联电路的等效电阻为 $R_{\text{并}}$ 。

并联电阻电路有如下特点：

①等效电阻的倒数(又称电导)等于各并联支路电阻倒数的总和，即 $1/R_{\text{并}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$ 。等效电阻的阻值小于各支路中最小电阻的阻值。

②分流作用。并联电阻各支路所分得的电流与阻值成反比，阻值越大所分得电流值越小，反之则越大。各支路电流总和等于总电流，即 $I = I_1 + I_2 + I_3$ 。

③开路特点。当并联电路的某支路开路时，该支路电流为零，其他支路不受影响。

④短路特点。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保险丝(熔断器)。

(4) 电阻串并联电路。实际的电路并不一定是单纯的串联或并联电路，而是兼有串联支路和并联支路的串并联电路。计算这种电路的等效电阻要从实际出发，具体问题具体分析。总的步骤可归纳如下：

①分析电路特征，把串并联电路分解成若干单纯串联支路和若干单纯并联支路。

②分别计算出这些单纯串、并联支路的等效电阻。

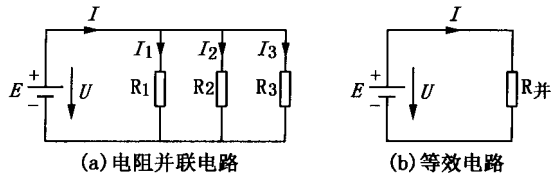


图 1-4 电阻并联及其等效电路

③综合①、②步骤求出总的等效电阻，再求出总电流、总功率，推算出分电压、分电流。

2. 电容

(1) 电容器。用作储存电荷的器件叫做电容器，简称电容。任何两个彼此靠近的导体都构成一个电容器。使电容器带电叫做充电。充了电的电容器，一个极带正电，另一个极带等量负电，两极之间产生一定的电压差。所带电荷量愈大，电压差也愈大，但电量与电压的比值保持恒定值，这个值就称为电容器的电容量，也简称电容，用 C 表示，其计算式为：

$$C = q/U$$

式中， C 单位为 F(法拉，简称法)， q 单位为 C(库仑，简称库)， U 单位为 V(伏特，简称伏)。

电容器的电容与电容器结构，即两极的形状、大小、极板间距等有关，还与两极板间所充的绝缘介质的介电常数有关。介质的介电常数愈大，同样电容量的电容器的结构尺寸就愈小，适用于电子设备。

实用中常用 μF (微法)、 pF (微微法) 或 nF (纳法) 来表示电容量。它们间的换算关系为：

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F}, 1\mu\text{F} = 10^3 \text{nF} = 10^6 \text{pF}, 1\text{F} = 10^9 \text{nF} = 10^{12} \text{pF}$$

电容器存储的电场能 W_C 表示为：

$$W_C = CU^2/2$$

式中， W_C 单位为 J(焦耳，简称焦)， C 单位为 F， U 单位为 V。

常用电容器的实物外形和电路中的符号如表 1-3 所示。电力工业上用的电容器称电力电容器，其体积较大，耐压较高，外形及结构如图 1-5 所示。

表 1-3 常用电容器的外形和符号

名 称	外 形	符 号	名 称	外 形	符 号
瓷介电容器			电解电容器		
涤纶电容器			瓷介微调电容器		
金属膜电容器			空气介质单联可 变电容器		
云母电容器					

电容量不可改变的电容器称为固定电容器，它的体积较小。按不同的电介质，固定电容器可分成瓷介电容器、涤纶电容器、金属膜电容器、云母电容器等。电解电容器的电容量大，耐压低，两根引脚有正、负极之分。外壳上标“+”的为正极，在电路上应接高电位，外壳上标“-”的为负极，在电路上应接低电位。可变电容器可分为空气介质可变电容器和固体介质可变电容器，它由动片、定片和绝缘介质组成，改变动、定片的相对角度即可改变电容量。微调电容器又称半可变电容器，其电容量调节范围为 $5 \sim 45 \text{pF}$ 。微调电容器的种类很多，常见的是瓷介微调电容器。电容器外壳上印有电容量，其单位有 μF 、 nF 、 pF 。电解

电容器外壳上还印有耐压值，表示电容器长期安全工作的最高电压。实际电压超过耐压值时，电容器内部介质将会损坏，即所谓“击穿”。

还有一种常用的电容器电容量标示方法，即色标法。色标法就是用不同颜色的带或点在电容器表面上标出其主要参数。色标法表示的容量单位为 pF。

色环有 4 环和 5 环，有些产品还有距 4 环或 5 环较远的第五环或第六环，它们代表电容器特性和工作电压。电容量标称值、允许偏差及工作电压的色标和电阻色标表示意义基本相同。例如，5 色环为红、红黑、黑、金，则电容量为 220pF，偏差为 $\pm 5\%$ ，如图 1-6a 所示；4 色环为黄、紫、橙、银，则电容量为 0.047 μ F，偏差为 $\pm 10\%$ ，如图 1-6b 所示。

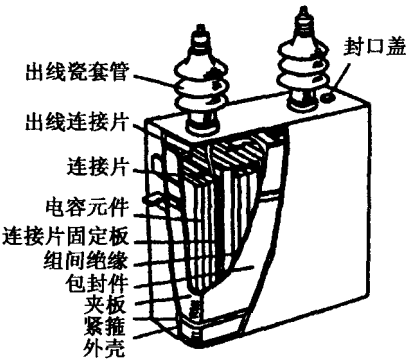


图 1-5 电力电容器

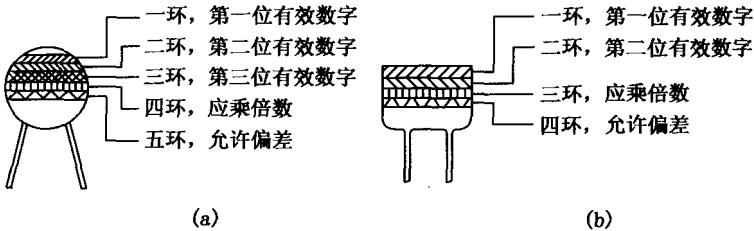


图 1-6 电容器的色标法

可用万用表适当电阻挡，检测电容器容量的大小，如图 1-7 所示。通常电容量为 470 μ F 以上的电解电容器选择 R $\times 10\Omega$ 挡；47 $\sim$ 470 μ F 的选择 R $\times 100\Omega$ 挡，1 $\sim$ 47 μ F 的选择 R $\times 1k\Omega$ 挡，4700pF $\sim$ 1 μ F 的选择 R $\times 10k\Omega$ 挡。对于电容量大于或等于 4700pF 的电解电容器，当表笔一搭上电容器两端的引脚时，表针立即向电阻为零的方向摆动（对 1 μ F 以下的电容器表针仅微动一下），然后表针向电阻无穷大的方向退回。表针摆动说明电容器具有容量，摆动的幅度越大表明容量越大。表针摆动稳定后指示的电阻值就是电容器的绝缘电阻。固定电容器的绝缘电阻应在数百 M Ω 以上，电解电容器的绝缘电阻也应在数百 k Ω 以上。

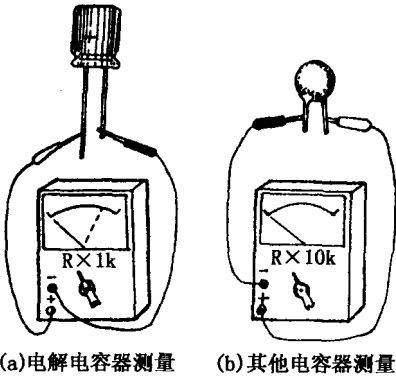


图 1-7 电容器测量

(2) 电容器串联电路。如图 1-8 所示，电容器 C_1 、 C_2 、 C_3 串联后等效电容量 $C_{串}$ 为：

$$1/C_{串} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3$$

即串联总电容量的倒数等于各个电容器电容量的倒数和。当串联后的电容器接上电源后，其两端（图 1-8 中 A、B）的极板分别带正、负电荷，中间串联的电容器各极板也都分别带上正、负电荷，电荷等量但异号。充电后各个电容器都有一定的电压，如图 1-8 中，分别为 U_1 、 U_2 、 U_3 ，各电容器电压总和与总电压相等，即：

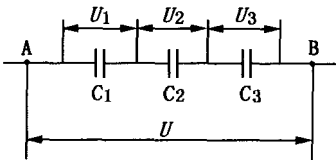


图 1-8 电容器串联

$$U=U_1+U_2+U_3$$

实用中应当注意，加在各个电容器上的电压 U_1 、 U_2 、 U_3 不得超过每个电容器最高的耐压，否则电容器会被击穿。

(3) 电容器并联电路。如图 1-9 所示，把电容器 C_1 、 C_2 、 C_3 并联，其等效电容量 $C_{并}$ 为：

$$C_{并}=C_1+C_2+C_3$$

即并联总电容量等于各个电容器电容量的和。电容器并联后，每个电容器正、负极板所带电荷量分别为：

$$Q_1=C_1U, Q_2=C_2U, Q_3=C_3U$$

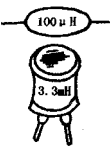
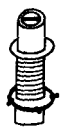
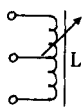
即并联后各个电容器所带电荷与电容量成正比，电容量大的所带电荷量多。但是，从图 1-9 可以看出，所有并联电容器正、负极板的电压都相等，即等于所并联的电压 U 。

应当指出，实用中的电容器由于少量电流的泄漏和电介质的极化损耗，都会导致电场储能的损失，这在实用电路中相当于在电容器上串联一个介质损耗电阻 R_{js} 和并联一个电容泄漏电阻 R_{xl} 。 R_{js} 和 R_{xl} 等效值的大小与电容器中电介质有关，同时还与电路工作的频率有关。

3. 电感

(1) 电感器（电感线圈）。电感器简称电感，也是一种储能元件。电容器储存的是电场能量，而电感器储存的是磁场能量。当线圈电流变化时，磁场能量跟着变化，根据楞次定律，将产生自感电动势来阻止电流的变化，这就是电感器的自感特性。常用电感器的实物外形及电路中的符号见表 1-4。

表 1-4 常用电感的外形及电路符号

名 称	外 形	符 号	名 称	外 形	符 号
固定电 感元件			带可调 磁心和 线圈有 抽头的 电 感		
空 心 电 感			铜 心 线 圈		

电感在电路中的作用主要有：一是阻流，电感线圈对于交流电有一定的阻碍作用，阻碍作用的大小用感抗表示。感抗与线圈电感量大小及交流电的频率成正比，即电感量愈大，频率愈高，感抗愈大。电子电路中常利用电感线圈的阻流作用进行分频或滤波。二是调谐与选频，电感线圈与电容器并联可组成 LC 调谐回路。若回路的固有振荡频率与外加交流信号的频率相等，则回路的感抗与容抗相等，于是电磁能量就在电感器、电容器间来回振荡，这就是 LC 回路的谐振现象。谐振时由于回路的感抗与容抗等值、反相，因此回路总电抗最小，电流最大，所以 LC 谐振电路具有选频作用，能把某一频率的交流信号选出来。

(2) 电感器主要参数及其表示方法。电感器主要参数有电感量（简称电感）、品质因数、标称电流等。

①电感量。电感线圈的圈数愈多、直径愈大，通过的电流愈大，储存的磁场能量也愈大，电流消失时产生的自感电动势也愈大。采用硅钢片或铁氧体作磁心，可用较少的圈数得到较大的电感量。电感量大小用 L 表示，其单位为 H（亨利，简称亨），比 H 小的单位有 mH（毫亨）和 μH （微亨），它们间的换算关系为：

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

②工作电流。固定电感器最大工作电流常用字母标注，见表 1-5。

表 1-5 小型固定电感器最大工作电流

字 母	A	B	C	D	E
最大工作电流 (mA)	50	150	300	700	1600

③品质因数。电感线圈的品质因数 Q 是指电感线圈（含磁心）在规定频率的交流电压下工作时，其电磁能量与损耗能量的比值。

④电感量大小，可以直接用文字标注在电感器的表面，也可用颜色环带（或色点）来表示，后者称为色码电感器，见图 1-10。色码电感器与色环电阻器标示的含义相同。高频电路的滤波和阻流及谐振回路用的小型固定电感器基本计量单位为 μH 。

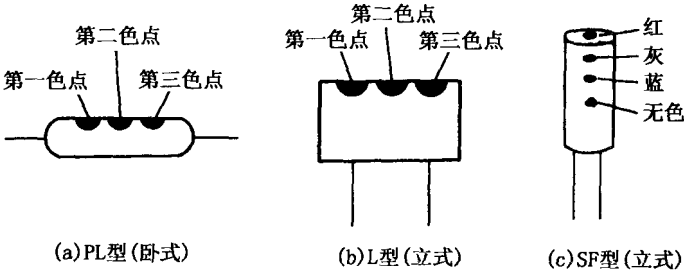


图 1-10 几种色码电感器外形

测量电感器的参数需要用专门仪器（如电感电容电桥、 Q 表等），在不具备专用仪器的情况下，可用万用表测试，大概判断电感器的的好坏。可用万用表 $R \times 1\Omega$ 挡，在断电的状态下测试电感器两端直流电阻，一般高频电感器阻值为零点几 Ω 到几 Ω ，低频电感器阻值为几百 Ω 至几千 Ω ，中频电感器阻值为几 Ω 到几十 Ω 。有的电感线圈圈数少或线径粗，直流电阻很小，即使用 $R \times 1\Omega$ 挡进行测试，阻值也可能为零，这属于正常现象；如果阻值很大或无穷大，表明电感器已经开路。

(3) 电感器串、并联电路。电感器串、并联电路与电阻器串、并联电路形式基本相同，即串联后的总电感量等于各电感器的电感量之和，并联后的总电感量的倒数等于各电感器的电感量倒数之和，即

电感器串联，总电感量 $L=L_1+L_2+\cdots+L_n$

电感器并联，总电感量 $1/L=1/L_1+1/L_2+\cdots+1/L_n$

二、欧姆定律

在图 1-11 所示直流（用 DC 表示）电路中， I 为电流，单位为 A（安培，简称安）； E 为直流电源电动势， U 为端电压， E 、 U 的单位为 V； R 为负载电阻， r 为电源内阻， R 、 r 的单位为 Ω 。

实验证明，电路的电流强度 I 与电源电动势 E 成正比，与内、外电路电阻之和 $(R+r)$ 成反比。这个关系叫做全电路欧姆定律，用公式表示为：

$$I = \frac{E}{R+r} \text{ 或 } U = IR = E - Ir$$

由上式可知, 当电路断开(开路)时, $I=0$, $U=E$, 表示电源开路时的端电压等于电源电动势; 当电路短接(短路)时, $U=0$, $I=E/r$ 称为短路电流。一般电源内阻 r 都很小, 所以短路电流都很大, 可能产生事故。

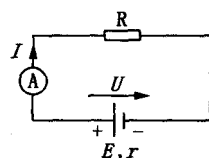


图 1-11 直流电路

若不计电源内阻, 也不计导线的电阻, 即 $r=0$, 则 $U=E$, 上式可简化为:

$$I = U/R \text{ 或 } U = IR$$

此称为部分电路欧姆定律。

应用欧姆定律计算电路电流时, 要把所有电压、电阻、电流用基本单位 (V、 Ω 、A) 来表示。

三、基尔霍夫定律

许多实际电路要比以上讨论的串联、并联和串并联电路复杂许多。为了确定电路每一支路的电流或某两点间的电压, 需要应用基尔霍夫定律。

1. 基尔霍夫第一定律 (电流定律)

如图 1-12 所示, A 是复杂电路中某个节点, I_1 、 I_2 是流向节点的两个支路电流, I_3 、 I_4 是从节点流出的两个支路电流。基尔霍夫第一定律可表述为: 电路中流入任意一个节点的电流总和等于流出这个节点电流的总和。若把流出节点的电流取正数, 流入节点电流取负数, 基尔霍夫第一定律可用式子 $\sum I = 0$ 表示。

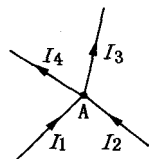


图 1-12 基尔霍夫第一定律说明

2. 基尔霍夫第二定律 (电压定律)

图 1-13 所示为一复杂电路。基尔霍夫第二定律可表述为: 任何一个闭合回路中, 所有电压的代数和为零。基尔霍夫第二定律可用方程式 $\sum U = 0$ 或 $\sum E = \sum U$ 表示。

$\sum E = \sum U$ 表示闭合回路里各电源电动势的总和等于外电路各电压 IR 的代数和 $\sum IR$ 。现在以图 1-13 电路为例, 说明基尔霍夫电压方程式的具体应用。

在回路 AE_1CE_2A 中, E_1 和 E_2 电动势的方向是从负极指向正极。注意, E_1 和 E_2 端电压的指向与 E_1 和 E_2 电动势的指向相反。假定各个支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的方向如图中所示。 $\sum E$ 和 $\sum IR$ 的正、负是这样规定的: 顺着绕行方向的 E 取正, 反之取负; 顺着绕行方向的电压 IR 取正, 反之取负。按 $\sum E = \sum U$, 则有方程式:

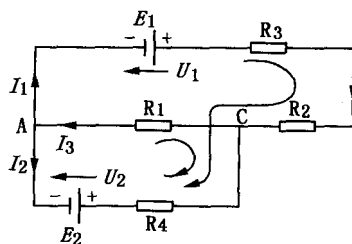


图 1-13 基尔霍夫第二定律说明

$$E_1 - E_2 = I_1 R_3 + I_1 R_2 - I_2 R_4$$

如果按 $\sum U = 0$, 并规定顺着绕行方向的电压为正, 反之为负, 上述回路的方程式变为:

$$I_1 R_3 + I_1 R_2 - U_1 - I_2 R_4 + U_2 = 0 \text{ 或 } I_1 R_3 + I_1 R_2 - I_2 R_4 - E_1 + E_2 = 0$$

上述说明, 按 $\sum E = \sum U$ 写出的方程式与按 $\sum U = 0$ 写出的方程式是一样的。

3. 基尔霍夫方程式应用举例

以图 1-13 所示电路为例, 计算各支路电流。其一般步骤如下:

(1) 先把假设的支路电流标在电路图上。

(2) 列出电流方程式（也称节点方程式），若电路有 N 个节点，则只有 $(N-1)$ 个电流方程式是独立的。

(3) 再列电压方程式（也称回路方程式），回路的方向可任意选择。按 $\sum U=0$ 或 $\sum E=\sum U$ 式列都可以，但要注意 $\sum E$ 、 $\sum IR$ 和 $\sum U$ 求和中正、负号的约定。

(4) 求解节点方程式和回路方程式所组成的方程组，其方程式个数与所求支路电流的个数要一致，才有惟一解。多了无解，少了有无穷多解。如果所求得的支路电流是正值，说明最初假定的电流方向与实际一致；若所求得的支路电流是负值，说明实际电流方向与假定电流方向相反。

按照以上步骤，列出图 1-13 的电路方程式：

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

在 AE_1CA 回路中： $I_1R_3 + I_1R_2 + I_3R_1 - E_1 = 0$

在 ACE_2A 回路中： $-I_3R_1 - I_2R_4 + E_2 = 0$

联立以上 3 式，并代入各数值计算出 I_1 、 I_2 和 I_3 。必须指出，在本例中电源的内阻忽略不计，若计及电源的内阻，则必须在两个回路方程式中计入内阻的电压降。

需要说明的是，基尔霍夫定律不仅适用于直流电路，对交流频率不高的电路（如电工电路）也是适用的。

四、戴维南定理

戴维南定理又称等效电源定理，它把一个有源二端线性网络（图 1-14a），简化为一个具有电动势 E 的理想电源和阻值为 R_0 的内阻串联的等效电源（图 1-14b）。等效电源的电动势 E 就是有源二端网络的开路电压 U ，即把负载断开后 a 、 b 两端之间的电压。等效电源的内阻 R_0 等于有源二端线性网络中所有电源均除去后所得到的无源网络 a 、 b 两端之间的等效电阻。经过这样处理后，计算通过负载电阻 R_L 上的电流变得很简便： $I = \frac{E}{R_0 + R_L}$ 。

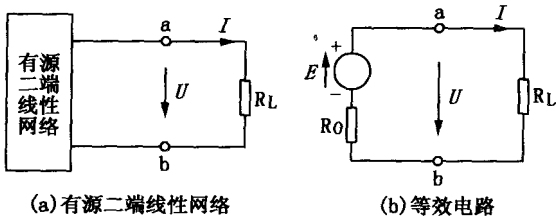


图 1-14 等效电源电路

以下用两个例子来说明戴维南定理的应用。

例 1 如图 1-15a 所示， $E_1=140V$ ， $E_2=90V$ ， $R_1=20\Omega$ ， $R_2=5\Omega$ ， $R_3=6\Omega$ ，求通过 R_3 的电流 I_3 。

解：把 R_3 看成负载电阻，与 E_1 和 E_2 等效成图 1-15b 所示电路。等效电动势 E 和等效内阻 R_0 的计算参照图 1-16。

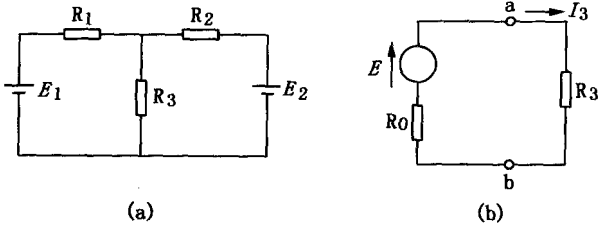


图 1-15 等效电源电路