

职业教育院校课程改革规划新教材

制冷和空调设备运行与维修专业教学、培训与考级用书

曾波 主编

ZHILENG SHEBEI WEIXIUGONG

制冷设备维修工

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



职业教育院校课程改革规划新教材
制冷和空调设备运行与维修专业教学、培训与考级用书

制冷设备维修工 (中级)

主 编 曾 波
参 编 李 萍
主 审 曹轲欣 杨东红



机械工业出版社

本书依照“制冷设备维修工(中级)”国家职业资格标准的要求编写,系统地介绍了制冷设备维修工(中级)考证所包含的电工电子技术、制冷技术、电冰箱的基本原理与维修、空调器的结构与维修和空气调节与中央空调基础等知识和技能。全书共分9个模块,内容包括电工基础、电子技术基础、热工与制冷技术基础、常用仪器仪表的使用与维修、电冰箱的结构与维修、空调器的工作原理与结构、空调器的维修、空气调节与中央空调基础,以及维修服务与经营管理知识。各模块针对考证思路,将电冰箱与空调的原理及维修融合在一起,强调基本技能和综合技能的渐进培养。为便于考证训练,本书编写了考证复习题、3套模拟试卷,并提供了参考答案。

本书适合作为职业技术学院和成人教育院校制冷和空调设备运行与维修专业学生考证用书,也可作为职业技能鉴定培训、农民工培训等机构培训教材,还可供从事家电维修、空调制冷工程技术人员参考作用。

图书在版编目(CIP)数据

制冷设备维修工:中级/曾波主编. —北京:机械工业出版社, 2011.6

职业教育院校课程改革规划新教材. 制冷和空调设备运行与维修专业教学、培训与考级用书

ISBN 978-7-111-34062-1

I. ①制… II. ①曾… III. ①制冷装置—维修—高等教育—教材 IV. ①TB657

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第061395号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:汪光灿 责任编辑:汪光灿 张利萍

版式设计:霍永明 责任校对:刘怡丹

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2011年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·24.25印张·3插页·608千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34062-1

定价:43.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

本书是根据教育部关于职业教育教学改革的指导思想,为了更好地适应职业技术学院的教学需求,在总结了近几年各院校制冷和空调设备运行与维修专业教学改革经验的基础上编写的,是“项目式”、“模块化”教学改革的成果之一。

在编写过程中,我们力求坚持以下原则:

1. 以能力为本,突出技能训练教学的可行性和实用性。根据维修的需要,确定学生应具备的知识结构和能力结构,并分析教学实际情况,强调实际动手能力的培养过程。
2. 吸收教学改革的经验,采用理论知识和技能训练相结合的模块化模式、使得理论知识浅显易懂,且能满足技能训练需要。
3. 注重新知识、新技术、新设备和新材料的充实,体现教材的先进性。
4. 覆盖“制冷设备维修工(中级)”国家职业资格标准的知识要求,满足考证的需要。
5. 强调职业培训的特点,并保证一定的考证目标性,使被培训人员的技能水平通过“项目式”模块训练实现由无到有、由有到专,达到制冷设备维修工中级以上水平。

本书由曾波主编,曹轲欣、杨东红主审。参与编写的还有广东省轻工业技师学院的李萍,她编写了模块二、模块四和模块五。整个编写过程得到了很多人的帮助,在此表示衷心的感谢!

本书难免存在不足之处,恳请专家和广大读者不吝赐教。

编 者

目 录

前言

模块一 电工基础..... 1

【学习目的】 1

【基础知识单元】 1

第一节 电路..... 1

第二节 简单直流电路..... 7

第三节 电容及电容的性质 10

第四节 正弦交流电路 12

第五节 三相电路 14

第六节 三相负载与交流电路的
功率测量 15

【技能训练单元】 17

技能训练一 照明电路的安装与
调试 17

技能训练二 三相异步电动机的
安装与调试 18

技能训练三 用瓦特表(功率表)测量
三相电动机和单相电动机
的功率 22

【思考与练习】 23

模块二 电子技术基础 24

【学习目的】 24

【基础知识单元】 24

第一节 半导体二极管与晶体管 24

第二节 整流与滤波电路 31

第三节 直流稳压电路 35

第四节 正弦振荡电路 36

第五节 门电路的基本知识 38

第六节 RS 触发器 42

【技能训练单元】 44

技能训练一 电阻、电容的识别与
检测 44

技能训练二 常用半导体器件的识别
与检测 45

技能训练三 单相桥式整流滤波电路的
安装与调试 49

技能训练四 串联型稳压电源的安装与
调试 53

【思考与练习】 59

模块三 热工与制冷技术基础 60

【学习目的】 60

【基础知识单元】 60

第一节 制冷技术的基本知识 60

第二节 传热学基础知识 67

第三节 常见制冷方法 70

第四节 压焓图及其应用 74

第五节 制冷剂、载冷剂和冷冻
机油 75

【技能训练单元】 90

技能训练一 湿度的测量 90

技能训练二 压力的测量 91

技能训练三 制冷剂的分装 92

【思考与练习】 93

模块四 常用仪器仪表的使用与维修 ... 94



【学习目的】	94	【基础知识单元】	189
【基础知识单元】	94	第一节 空调器概述	189
第一节 万用表	94	第二节 空调器制冷系统的结构	195
第二节 兆欧表	100	第三节 窗式空调器	205
第三节 钳形电流表	103	第四节 分体式空调器	209
第四节 示波器、毫伏表与信号 发生器	105	第五节 空调器的基本电路	220
第五节 其他制冷仪表	109	第六节 柜式空调器	233
【思考与练习】	113	第七节 空调器的选购与维护	236
模块五 电冰箱的结构与维修	114	【技能训练单元】	244
【学习目的】	114	技能训练一 窗式空调器的安装	244
【基础知识单元】	114	技能训练二 窗式空调器的拆装	245
第一节 电冰箱的结构与性能 指标	114	技能训练三 分体式空调器的安装	246
第二节 电冰箱的检修	122	技能训练四 分体壁挂式空调器的 移位、拆装	250
第三节 电冰箱压缩机的修理	129	技能训练五 空调器制冷系统的检漏、 抽真空和充注制冷剂 操作	251
第四节 电子温控电冰箱	149	技能训练六 窗式空调器的电气控制 电路的安装	254
第五节 电冰箱的开背修理	166	【思考与练习】	256
第六节 维修效果检验	171	模块七 空调器的维修	257
【技能训练单元】	172	【学习目的】	257
技能训练一 电冰箱制冷系统的检漏、 抽真空、充注制冷剂及加注冷 冻机油技术	172	【基础知识单元】	257
技能训练二 电冰箱压缩机更换 技术	175	第一节 空调器故障的检测与 分析	257
技能训练三 全封闭式压缩机的 检测与观察	177	第二节 空调器制冷系统的常见 故障分析	259
技能训练四 直冷式电冰箱常见故障的 分析与排除	179	第三节 空调器电气控制系统的 常见故障分析	265
技能训练五 电冰箱电气控制系统的安装与 调试	181	第四节 窗式空调器的修理	272
技能训练六 间冷式电冰箱的故障 判断与排除	184	第五节 分体式空调器的修理	274
技能训练七 电冰箱的性能测试	185	第六节 柜式空调器的修理	281
技能训练八 电冰箱(冰柜)毛细管长度的 测定	186	第七节 变频式空调器常见故障的 分析和排除	288
【思考与练习】	187	第八节 空调器使用与维修过程中的 安全注意事项	293
模块六 空调器的工作原理与结构	189	【技能训练单元】	295
【学习目的】	189	技能训练一 窗式空调器的故障判断与 排除	295

技能训练二 分体式空调器的故障判断与排除	297	【学习目的】.....	317
技能训练三 制冷系统的清洗与吹污	298	【基础知识单元】.....	317
技能训练四 分体式空调器的性能检测	299	第一节 维修人员的基本修养	317
技能训练五 变频分体壁挂式空调器常见故障的检修	301	第二节 维修服务基本知识	318
【思考与练习】.....	302	第三节 经营管理基础知识	320
模块八 空气调节与中央空调的		附录	323
基础知识	303	附录 A 制冷设备维修工(中级)复习题及	
【学习目的】.....	303	参考答案.....	323
第一节 空气调节的任务和作用	303	附录 B 制冷设备维修工(中级)知识模拟	
第二节 湿空气的物理性质	305	试卷 01	342
第三节 湿空气的焓湿图	306	附录 C 制冷设备维修工(中级)知识模拟	
第四节 空调房间的热湿负荷		试卷 02	347
估算	308	附录 D 制冷设备维修工(中级)知识模拟	
第五节 中央空调系统基础	310	试卷 03	353
第六节 中央空调系统的水系统	314	附录 E 制冷设备维修工(中级)技能综合	
模块九 维修服务与经营管理知识	317	辅导	358
		附录 F 常用制冷剂的热力特性表	374
		附录 G 常用制冷剂的压焓图	
		参考文献	380

【学习目的】

1. 掌握简单直流电路的基本参数、应用和安装调试。
2. 学会利用基尔霍夫定律、戴维南定律、叠加原理分析电路的方法。
3. 掌握简单三相电路的基本参数、应用和安装调试。
4. 学会瓦特表的使用。

【基础知识单元】**第一节 电 路****一、电路与电路组成**

在日常生活中, 将一个电灯泡通过开关、导线和蓄电池连接起来, 就组成了一个简单照明电路, 如图 1-1a 所示。当合上开关时, 电路中就有电流通过, 电灯泡就亮起来。在工厂的动力用电中, 电动机通过开关、导线和电源连接, 当开关合上时, 电路中有电流通过, 电动机就转起来。这种把各种电气设备和元器件按照一定的连接方式构成的电流通路称为电路。换句话讲, 电流所流经的路径称为电路。它是一些电工、电子元器件按一定方式构成的组合。电路一般都含有电源、负载、导线及开关。

1. 电源

电源是电路中产生电能的设备。发电机、蓄电池、光电池等都是电源。发电机将机械能转换成电能, 蓄电池将化学能转换成电能, 光电池将光能转换成电能。

2. 负载

负载是将电能转换成其他形式能量的装置。电灯泡、电炉、电动机等都是负载。电灯泡将电能转变成光能和热能, 电炉将电能转变成热能, 电动机将电能转变成机械能。

3. 导线和开关

导线用来连接电源和负载。开关用来控制电路接通和断开。

电路中根据需要还装配有其他辅助设备, 如测量仪表用来测量电路中的物理量, 熔丝用来执行保护任务等。

制冷设备基本上都是以电作为动力来工作的, 这里的用电设备统称电器。描述电器的工作原理、工作特性最便利的方法是使用电路图。画电路图时, 要按照统一规定的符号来表示不同的元器件, 再用线段将它们连接起来, 并用适当的字母标注。图 1-1b 所示是简单照明电路图, 图中字母 E 代表直流电源, R 代表电阻(在此照明电路里即为导线电阻), H 代表电灯泡, S 代表开关, 连接它们的线段表示导线。

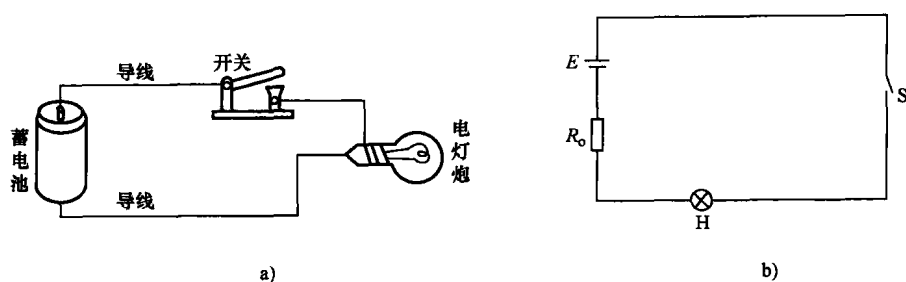


图 1-1 简单照明电路

a) 实物图 b) 电路图

在该电路图中, 开关处于打开状态时, 电路中没有电流通过, 称为“开路”或“断路”; 开关处于闭合状态时, 电路中有电流通过, 称为“闭路”或“通路”。必须注意, 电路处于通路状态时, 各种电气设备的电压、电流、功率等数值不能超过其额定值。处于通路状态且负载电阻等于零称为电路“短路”, 在实际使用中, 电路短路状态非常危险, 是不允许出现的。

二、电路的基本参数

1. 电流

电荷的定向流动称为电流。在金属导体中, 电流是由电子在外电场作用下有规则地运动形成的。

图 1-1 所示的电路通路时存在着朝一个固定方向流动的电流, 这个电流的大小与组成电路的电源及负载电阻有关。描述电路中电流大小的物理量称为电流强度, 简称电流。它表示单位时间内通过导线某一横截面的电荷量。

形成电流的运动电荷可以是正电荷也可以是负电荷, 规定正电荷移动的方向为电流方向。在电路中, 规定电流的正方向为由电源的正极到电源的负极。电流的单位是安培, 用字母 A 表示。电流的单位还有毫安(mA)、微安(μ A)等, 换算关系如下:

$$1\text{mA} = 0.001\text{A} \quad 1\mu\text{A} = 0.001\text{mA}$$

2. 电压与参考电位

带电体周围有电场, 电场对处在其中的电荷有力的作用。电场力把单位电荷从电场中 a 点移动到 b 点所做的功称为 a、b 两点之间的电压。在闭合电路中, 电压是产生电流的原因。同电流一样, 电压也存在方向, 规定电压的正方向是由高电位指向低电位, 即电位降低的方向, 即 a、b 两点间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

式中, U_{ab} 是 a、b 两点之间的电压; V_a 和 V_b 分别代表电路中两点的电位。

电压的单位是伏特, 用字母 V 表示。电压的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等。

电压只能表明两点的电位差, 不能给出该点的绝对电位。为此, 须在电路中选一点作为参考点, 并把参考点的电位定义为零电位。于是, 电路中其他各点的电位都与参考点的电位进行比较, 比它高的电位为正电位, 反之为负电位。零电位参考点在电路中通常为接地点,

标“接地”符号。所谓“接地”，并非一定要真正与大地相连。参考点可以人为地选择，参考点选得不同，同一电路中各点的电位值也随之不同。但是，两点间的电压不随之变化。

3. 电阻与电阻定律

导体中自由电子作定向移动时会与导体中的带电粒子发生碰撞，从而受到阻碍，反映这种阻碍作用大小的物理量就叫做导体的电阻。电阻的大小用导体两端的电压与通过导体电流的比值来表示。

电阻的单位是欧姆，用字母 Ω 表示。电阻的单位还有千欧(k Ω)、兆欧(M Ω)等，换算关系如下：

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

导体的电阻是反映自身电学性能的参量。

电阻定律指出，在一定温度下，某一均匀截面导体的电阻值与它的长度 l 成正比，与它的截面积 S 成反比，即

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

式中， ρ 表示导体的电阻率，银、铜、铁的电阻率分别为 $1.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 、 $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 、 $9.8 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 。相同尺寸下电阻率大的材料导电能力差，例如铜的导电能力比铁强。

电阻除了与导体本身有关外，还和外界温度有关。对于一般的金属导体来说，温度升高使得导体中的带电粒子热运动加剧，碰撞更加厉害，因而电阻也要增大。

电阻制造方式不同，其阻值也有差别：用金属丝绕制的电阻，允许通过较大的电流；用导电膜(碳膜、金属膜)涂制的电阻，允许通过的电流较小。电阻的阻值有固定和可变两种，阻值可变的电阻常称为电位器。

另外，还有敏感电阻，包括热敏电阻、压敏电阻、光敏电阻、力敏电阻等不同类型，广泛应用于检测技术和自动控制领域中。

电阻的主要技术指标有额定功率、电阻值和允许误差。通常额定功率和电阻值会直接标在电阻的表面上。但是，对于一些体积较小的电阻，表示电阻值的方法是在电阻表面涂印不同的色环，称为色标法，色环电阻与色环的意义如图 1-2 所示。

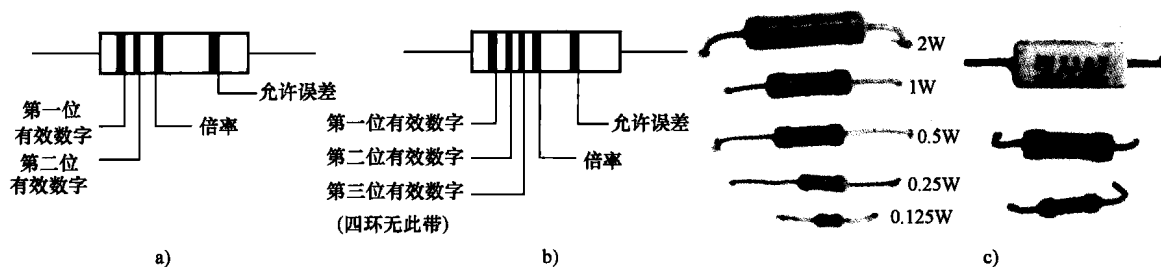


图 1-2 色环电阻与色环的意义

a) 四环色标 b) 五环色标 c) 电阻外形

色环电阻一般有四环色标电阻和五环色标电阻。

电阻值大于 5% 的普通精度电阻器用四条色环表示，左边靠端部为第一色环，顺序向右为第二、第三和第四色环。各色环所代表的意义为：第一、二色环相应地代表阻值的第一、二位有效数字，第三色环表示倍率，第四色环代表阻值的允许误差。允许误差小于 1% 的精

密电阻器用五条色环表示,左起三个色环表示有效数字,第四个色环表示倍率,第五个色环表示允许误差。例如,若色环电阻的第一环为黄色,后面分别为紫色、黄色、金色,则此电阻值为 $470\text{k}\Omega$,允许误差为 $\pm 5\%$ 。若电阻靠第四环后面又涂了一色环,且此环为绿色,则此电阻值为 47.4Ω ,误差为 $\pm 0.5\%$ 。各种色环所代表的数字和允许误差见表 1-1。

表 1-1 各种色环所代表的数字和允许误差

颜色	a	b	c	d	颜色	a	b	c	d
	第一位数	第二位数	倍率	允许误差		第一位数	第二位数	倍率	允许误差
黑	—	0	10^0	—	紫	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
棕	1	1	10^1	$\pm 1\%$	灰	8	8	10^8	—
红	2	2	10^2	$\pm 2\%$	白	9	9	10^9	$\pm (5\% \sim 20\%)$
橙	3	3	10^3	—	金	—	—	10^{-1}	$\pm 5\%$
黄	4	4	10^4	—	银	—	—	10^{-2}	$\pm 10\%$
绿	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$	无色	—	—	—	$\pm 20\%$
蓝	6	6	10^6	$\pm 0.2\%$					

注意: 为了提高识别速度,在记忆的时候背记方法为:棕 1、红 2、橙 3、黄 4、绿 5、蓝 6、紫 7、灰 8、白 9、黑 0。另外,为了避免混淆,第五色环的宽度是一般色环宽度的 1.5~2 倍。

三、电源及电动势

1. 电源

电源是向电路提供电能的装置。积累在电源正极的正电荷通过导线和负载流向电源负极,再在电源内部由负极到达正极。电源分直流电源和交流电源,直流电源的正、负电极的极性是永远不变的,而交流电源的电极极性则随时间而变化。

电源又可以分为电压源和电流源。

(1) 电压源 用一个恒定电动势 E 与内阻串联表示的电源称为电压源。电压源的符号如图 1-3a 或图 1-3b 所示。大多数电源,如干电池、蓄电池、发电机等,都可以这样表示。

当电压源向负载 R 输出电压时,如图 1-3c 所示,电压源的端电压 U 总是小于电源的恒定电动势 E 。端电压 U 与输出电流 I 之间有如下关系

$$U = E - Ir$$

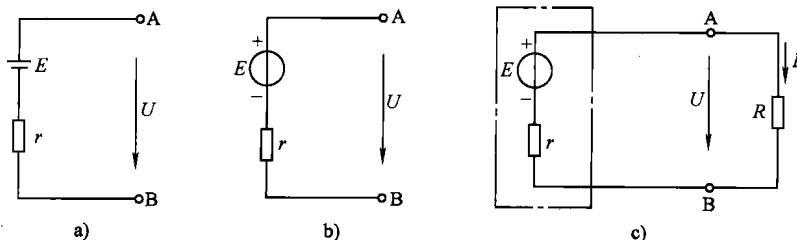


图 1-3 电压源的符号及输出

式中, E 、 r 均为常数。所以, 随着 I 的增加, 内阻上的电压降增大, 输出电压降低, 因此要求电压源的内阻越小越好。

如果电压源内阻 $r=0$, 那么, 不管负载变动时输出电流 I 如何变化, 电压源始终输出电压恒等于电源的电动势 E , 把内阻 $r=0$ 的电压源称为理想电压源, 其符号如图 1-4 所示。在应用中, 稳压电源、蓄电池的内阻远小于负载电阻 R , 因此稳压电源、蓄电池等都可看做是理想电压源。理想电压源的输出电压不随负载 R 变化, 也不受输出电流的影响。

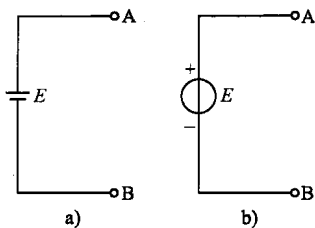


图 1-4 理想电压源符号

实际上理想电压源是不存在的, 因为电压源总是存在着内阻。当 n 个电压源串联时, 可以合并为一个等效电压源, 如图 1-5 所示。等效电压源的 E 等于各个电压源的电动势代数和, 即

$$E = \sum_{k=1}^n E_k \quad (1-1)$$

在式(1-1)中, 方向与 E 相同的电动势取正号, 反之取负号。等效电压源的内阻等于各串联电压源内阻之和, 即

$$r = r_1 + r_2 + \cdots + r_n$$

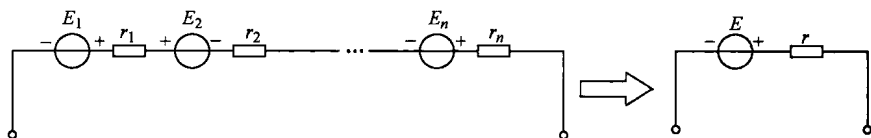


图 1-5 串联电压源的等效电压源

(2) 电流源 用一个恒定电流 I_s 与内阻 r 并联表示的电源称为电流源。实际中的稳流电源、光电池、串励直流发电机等可看做是电流源。电流源的符号如图 1-6 所示。

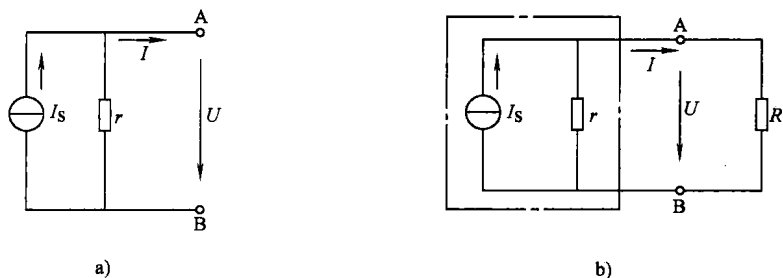


图 1-6 电流源的符号及输出

当电流源向负载 R 输出电流时, 如图 1-6b 所示, 它所输出的电流 I 总是小于电流源恒定电流 I_s 。电流源的端电压 U 与输出电流 I 的关系为

$$I = I_s - \frac{U}{r} \quad (1-2)$$

由式(1-2)可知, 电流源内阻 r 越大, 则负载变化而引起的电流变化就越小。也就是说, 电流源输出越稳定, I 越接近 I_s 值。

如果电流源内阻 r 为无穷大, 则不论由负载变化引起的端电压如何变化, 它所输出的电

流恒定不变,而且等于电流源的恒定电流 I_s ,即 $I = I_s$ 。所以,内阻 $r \rightarrow \infty$ 的电流源称为理想电流源,其符号如图 1-7 所示。

当 n 个电流源并联时,可以合并为一个等效电流源。如图 1-8 所示,等效电流源的电流 I_s 等于各个电流源的电流的代数和,即

$$I_s = \sum_{k=1}^n I_{sk} \quad (1-3)$$

式(1-3)中,凡方向与 I_s 相同的取正号,反之取负号。等效内阻 r 的倒数等于各并联电流源内阻的倒数之和,即

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \cdots + \frac{1}{r_n}$$

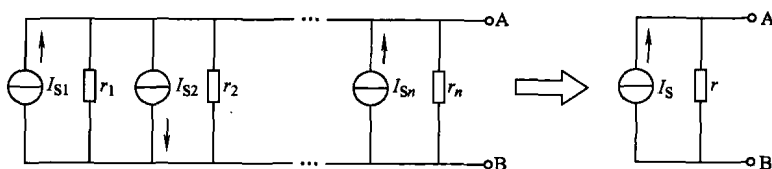


图 1-8 并联电流源的等效电流源

例 1-1 电路如图 1-9a 所示,求出其等效电流源。

解: 根据式(1-3),得

$$I_s = I_{s1} - I_{s2} = 15\text{A} - 10\text{A} = 5\text{A}$$

等效电流源的内阻为

$$r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = \left(\frac{3 \times 6}{3 + 6} \right) \Omega = 2\Omega$$

等效电流源如图 1-9b 所示。

(3) 电压源与电流源的等效 若一个电压源与一个电流源的外特性相同,则对外电路来说,这两个电源是等效的。也就是说,在一定条件下,这两种电源之间能够实现等效变换。

为了保证电源的外特性完全相同(即输出的电流、电压一样),那么把电压源等效变换为电流源时,有

$$\begin{cases} I_s = \frac{E}{r} \\ r' = r \end{cases}$$

由此可见,电压源与电流源的等效变换条件是:电压源与电流源内阻相等,而且电流源的恒定电流 I_s 等于电压源的短路电流 $\frac{E}{r}$,如图 1-10 所示。

两种电源等效变换时,应注意以下几点:

1) 等效变换仅仅是对外电路而言,对于电源

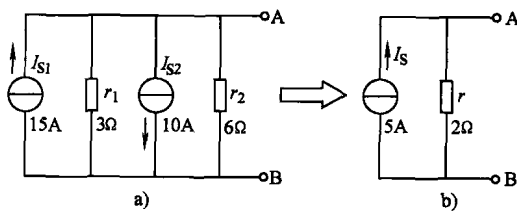


图 1-9 例 1-1 图

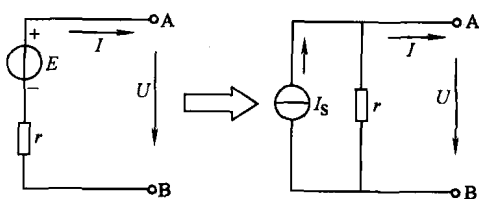


图 1-10 电压源与电流源的等效变换

内部并不等效。

2) 在变换过程中, 电压源的电动势 E 方向和电流源的电流 I_s 方向必须保持一致, 即电压源的正极与电流源输出电流的一端相对应。

3) 理想电压源与理想电流源之间不能进行等效变换。

2. 电动势

在闭合电路中, 电源正极上的电荷不断流向电源的负极, 为了维持电极上电荷的数量, 需要电源能够再将正电荷从负极转移到正极。电动势就是描述电源这种能力大小的物理量, 用字母 E 表示。电动势是电源的自身属性, 与电路中的元器件参数无关, 在数值上等于开路时电源两极之间的电压, 其方向在电源内部为电源负极指向电源正极, 其单位和电压单位一样都是 V 。

第二节 简单直流电路

一、欧姆定律

在不含电源的线性电路(如电阻电路)中, 通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 与电阻值成反比, 这就是部分电路欧姆定律, 可表示为

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

式中 U ——电压, 单位为 V ;

R ——电阻, 单位为 Ω ;

I ——电流, 单位为 A 。

在闭合电阻电路中, 电流与电源的电动势成正比, 与电路的总电阻(包括负载电阻 R 和电源内阻 R_0)成反比, 这就是全电路欧姆定律, 可表示为

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

$$E = IR + IR_0 = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$$

如果电路中用电设备为线性电阻, 那么它就满足欧姆定律, 各种数值的电阻或电位器都可看成线性电阻; 反之, 非线性电阻不满足欧姆定律, 如半导体二极管就可以看成是一个非线性电阻。

二、电功率与焦耳定律

搬运工将重物举到高处, 这是人力做功, 消耗的是体能; 使用电动葫芦同样将重物举到高处, 这是电流做功, 消耗的是电能; 电流流过电阻时被转化为热能或光能, 也是电流在做功。电流所做的功叫做电功, 用字母 W 表示, 可表示为

$$W = UIt$$

式中 I ——电流, 单位为 A ;

U ——电压, 单位为 V ;

t ——时间, 单位为 s ;

W ——电功, 单位为 J。

电能有个常用的单位是千瓦时, 符号 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 1 千瓦时的电能也就是我们平常所说的一度电。

电功率是单位时间内电流所做的功, 它表示电流做功的快慢程度, 用字母 P 表示,

$$P = IU = I^2 R$$

式中 P ——电功率, 单位是 W。

焦耳定律指出: 当电流通过电阻所消耗的电能全部被转化为热能时, 所产生的热量 Q 与电流 I 的平方、电阻 R 和通电的时间 t 成正比, 即

$$Q = I^2 R t$$

式中 Q ——热量, 单位为 J。

三、电阻的串联与并联

1. 电阻的串联

把两个或者两个以上的电阻首尾逐个连接起来(见图 1-11a)称为电阻的串联。在串联电路中, 电流处处相等; 电路的总电阻 R 等于各个串联电阻之和; 电路的总电压等于各个电阻上的电压降之和, 即

$$\begin{aligned} I &= I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n \\ R &= R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \\ U &= U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n \end{aligned}$$

电阻的串联应用很广泛。在实际工作中, 常常采用几个电阻串联构成分压器, 使用同一电源供电, 分压器串联的几个电阻具有几种不同的分压; 在电工测量中, 用串联电阻来扩大电压表的量程, 以便测量较高的电压等。

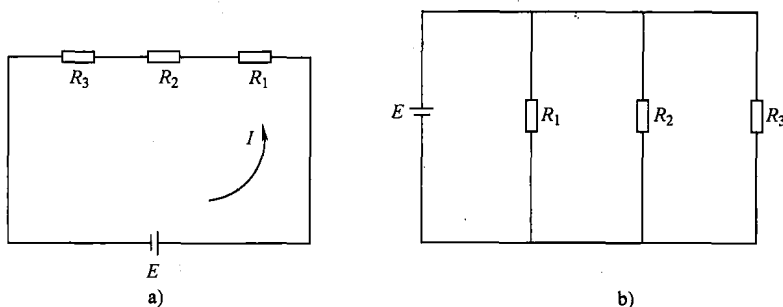


图 1-11 电阻串联、并联电路

a) 电阻串联 b) 电阻并联

2. 电阻的并联

把几个电阻并列地连接在两点之间, 使每个电阻两端都承受同一电压的连接方式(见图 1-11b)称为电阻的并联。并联电阻两端的电压都相等; 并联起来的总电阻 R 的倒数等于各个并联电阻的倒数之和; 并联电阻电路的总电流, 等于流过各个电阻的电流 I_1 、 I_2 、 $\cdots$ 、 I_n 之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \cdots = U_n$$

电阻的并联应用也很广泛。额定电压相同的负载几乎全部采用并联,这样,任何负载正常工作时都不影响其他负载,人们根据需要可以独立接通或者断开某个负载;为了得到较小的电阻,也可以采用并联方式;电工测量中,经常在电流表两端并联分流电阻(分流器),以扩大电流表的量程。

一个电路中既有电阻的互相串联,又有电阻的互相并联,这样的电路称为混联电路。要分析计算混联电路,可先应用电阻串、并联的规律进行简化,求出它们各自的等效电阻,再计算电路的总电阻。这样,应用电路基本定律,就可以计算出各电阻上的电压、电流及功率等参数。

四、基尔霍夫定律

支路的连接点称为节点,支路构成的闭合路径称为回路。

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律指出:在任何时刻,对于电路的任何节点,所有支路电流(加入正负号后)的代数和为零,即

$$\sum I = 0 \quad (1-4)$$

式(1-4)称为节点电流方程。由于电流有方向性,所以需假设参考方向之后才能确定电流的正、负号。比如假设流入节点的电流为正,流出节点的电流为负。在计算电流过程中,如果对某个支路的电流假定好正方向了,但是计算结果为负,那么说明实际电流方向和假定的方向相反。

2. 基尔霍夫电压定律

在电路中,从任何起点开始沿着某个闭合回路绕行一圈后又回到该起点,那么这个过程所有元件电压降的代数和等于电动势的代数和,即

$$\sum U = \sum E \quad (1-5)$$

式(1-5)称为回路电压方程。应用基尔霍夫定律列方程求解电路时,若电路有 n 个节点, b 条支路,则应写出 $(n-1)$ 个独立节点电流方程,写出 $(b-n+1)$ 个独立回路电压方程,独立的方程数量为 b 个,多了或者少了都是错误的。

五、叠加原理

对于由很多线性元件和很多电源组成的电路来说,任何一条支路中的电流或者电压都等于各个电源单独作用在此支路上产生的电流或者电压的代数和,这就是叠加原理。

利用叠加原理求解电路的过程中,必须把多电源电路化简为若干个单电源电路,统一假设参考方向后分别求解。得到的值在相加时要考虑正、负号。

简化的原则:化简为若干个单电源电路时,除了被保留的电源,其他电源除源,即电压源用短路代替,电流源用断路代替。

六、戴维南定律

戴维南定律又称为等效电压定律。当计算复杂电路中某条支路的电流或者电压时,不需

要列出所有的独立节点电流方程、回路电压方程来求出电路所有未知数。可以把这个支路抽出来,把其他部分看做一个有源二端网络,再把这个有源二端网络简化为一个等效电压源。这个等效电压源对该支路输出的电流和电压与等效前相同。

戴维南定律指出,一个有源二端网络被简化为一个等效电压源时,该电压源的电动势等于该有源二端网络的开路电压,内阻为除去电源后的等效电阻,除源方法与叠加原理相同。

第三节 电容及电容的性质

一、电容与电容的串、并联

1. 电容器

电容器是电路中的又一基本元件,简称电容,用字母 C 表示。电容的种类很多,有纸质电容、陶瓷电容、聚苯乙烯电容、电解电容等,它们都是由两个金属电极和极间绝缘介质组成的。电容的两个重要参数是容量和额定工作电压,它们一般都标在电容的外表面。电解电容还有正、负电极之分,接在电路中时,正极接高电位,负极接低电位,不可接反。电解电容的容量较大。

电容接入直流电路后,经过一定时间,两电极会储存等量异种电荷,产生电压。电容储存的电荷越多,两电极之间的电压越大。电容器的容量就是所带电量与电压差之比,即

$$C = \frac{Q}{(U_a - U_b)}$$

电容的单位是法拉,用字母 F 表示,由于法拉这个单位太大,一般用微法(μF)、皮法(pF)来表示。其换算关系如下:

$$1F = 10^6 \mu F \quad 1\mu F = 10^6 pF$$

2. 电容的串、并联

若把几个电容并联起来,如图 1-12 所示,则并联后的总电容 C 等于各个电容之和,即

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_n$$

使用中要把几个电容并联时,要求这些电容的额定电压尽可能相同。

若把几个电容串联起来,如图 1-13 所示,串联后总电容 C 的倒数等于各个电容的倒数之和,即

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

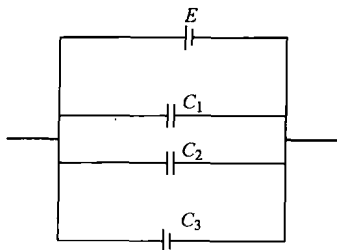


图 1-12 电容并联电路

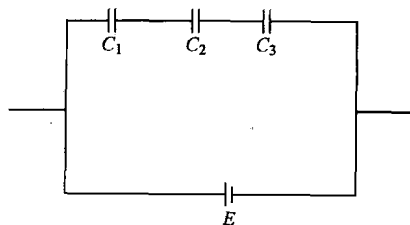


图 1-13 电容串联电路