



零起点学电子维修技术丛书

零起点^学

电子技术及 电子元器件

◎ 王忠诚 孙唯真 编著 ◎



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

内 容 简 介

本书是作者根据 21 世纪职业技术教育的特点及培养目标而编写的,是《零起点学电子维修技术丛书》之一。全书从电路的基本概念及基本定律入手,引导读者与电路结缘,再通过电路基础知识的链接,轻松过渡到模拟电子技术、脉冲技术与数字技术及常用的电子元器件等内容。

全书从实用角度出发,充分考虑初学者的知识现状及学习特点,自始至终突出零起点,能让读者轻松地掌握书中内容。为了配合教学,本书备有配套的教案及习题答案,读者可到华信教育网(<http://hxedu.com.cn>)上下载。

本书特别适合中职、高职学校电子类专业学生使用,也适合计算机硬件专业的学生使用,还可作为电子技术爱好者自学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

零起点学电子技术及电子元器件/王忠诚,孙唯真编著. —北京:电子工业出版社,2009.8

(零起点学电子维修技术丛书)

ISBN 978-7-121-09264-0

I. 零… II. ①王… ②孙… III. ①电子技术-基本知识 ②电子元件-基本知识 IV. TN710 TN6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 119153 号

责任编辑:张 榕 特约编辑:李云霞

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18 字数:460 千字

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:29.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

丛书序言

20 世纪 80 年代中期,电子电器专业落户职业学校,至此已有二十几年的发展历程,先后为社会培育出了大批合格的技术干部和技术工人,他们默默耕耘在电子电器装调车间、电子电器销售领域、电子电器售后服务部等岗位,用自己的一言一行践行着对电子工作的虔诚与热爱。电子电器专业的出现,不但拓宽了人们的就业渠道,方便了人们的日常生活,而且推动了电子电器的快速发展,为全面构建和谐社会做出了不可估量的贡献。但时隔二十几年后,电子产品已发生了翻天覆地的变化,电子电器也被赋予了新的内涵,这无疑要求职业学校电子电器专业的主干课程必须及时做出调整,必须不断与时俱进,否则必为市场所淘汰。

鉴于这一形势,在全国职业学校的电子电器专业中掀起了一股主干课程改革的新浪潮,通过一番大浪淘沙之后,基本确立了以《电子技术及元器件》为专业基础课,以《新型电视机技术》、《发烧音响技术》、《制冷设备技术》为专业课的主干课程体系。

主干课程体系虽然确立下来了,但教材问题又成了制约主干课程建设的一大瓶颈。这是因为随着高校数量的不断增加及招生人数的不断扩大,成绩稍好、学习积极性稍高的学生都步入了高校,而基础差,学习兴趣低的学生则流入了职业技术学校。加上政府对农村投入的不断增长,使得大量的农村劳动力也涌入了职业技术学校,这为职业技术学校的教学带来了前所未有的难度。近几年,职业技术教育又不断向“短平快”方向发展,力求以较短的时间培育出具有有一技之长的劳动力,这无疑又为职业技术教育提出了新的挑战。面对这种情况,若仍选用传统教材来充当职业技术学校的教科书,未免会使职业技术教育雪上加霜。在此前提下,改革教材,推出一套适合新时期职业技术学校的教材势在必行。为此,笔者与有关职业技术学校的教师对当前职业技术教育的现状进行了深入调研,推出一套《零起点学电子维修技术丛书》,该丛书共 5 本,包括:《零起点学电子技术及电子元器件》、《零起点学彩色电视机维修技术》、《零起点学音响与影碟机维修技术》、《零起点学电冰箱与空调器维修技术》、《零起点学显示器维修技术》。

此套丛书具有以下五大优势:

1. 突出零起点。充分考虑职业技术学校生源的知识现状和初学者快速入门的要求,从最基本的电路知识和电子元器件谈起,读者无需担心有没有电子知识基础,只要具有初中以上的文化程度就能学好此书。全书篇幅小,经济实用,还能节省学习时间。
2. 突出知识的够用性和实用性。编写此书时,自始至终以“不求高深理论,只求一技在身”为宗旨。理论讲解不追求深,只追求够用,对于那些在实践中用不到或很少用到的知识,基本不谈;对于那些复杂的数学分析和大规模集成块的内部电路分析,也基本不谈。而将重点放在知识的实用性方面,如零部件或元器件的作用、电路的信号流程、故障的检修方法或思路等。这与职业技术学校培养一技之长劳动力的目标十分契合。
3. 突出趣味性。例如,在《零起点学电子技术及电子元器件》一书中,介绍了许多趣味电路和实用电路,读者可根据介绍,自己动手制作电路,这样能提高学习的趣味性。
4. 突出知识的时代性和新颖性。书中内容与时代发展保持高度的同步,充分体现了与时俱进的特点。例如,近几年兴起的变频空调、新型数码彩电等,均在本丛书中占有较重的位置。
5. 突出即学即用性,与市场接轨非常好。书中内容紧跟市场,学完之后,可立即用于实践。

编著者

前 言

本书是作者根据 21 世纪职业技术教育的特点及培养目标而编写的, 全书共含四方面内容, 第 1 章为电路基础部分; 第 2 至第 6 章为电子技术部分; 第 7 章为电子元器件部分; 第 8 章为电路制作部分。

电路基础部分主要分析直流电阻电路、电容电路、电磁感应现象、正弦与周期性非正弦交流电路, 同时还对电磁铁、变压器及电动机做了简单介绍。这一部分主要要求读者理解四大定律, 即欧姆定律、基尔霍夫定律、楞次定律及法拉第电磁感应定律。这四大定律是分析交直流电路及电磁感应现象的法宝, 是学习电子电路的基础。

电子技术部分主要讲解放大器、正弦波振荡器、串联型稳压源、无线电波的传送与接收、脉冲与数字电路等方面的知识。这一部分以放大器的工作原理及分析为重点内容, 要求读者能熟练识别各类放大器, 理解各类放大器的特点及基本工作原理。在此基础上, 再逐步掌握正弦波振荡器、串联型稳压源、调幅收音机、基本脉冲与数字电路等方面的知识。

电子元器件部分主要介绍电阻器、电容器、电感器、变压器、压电元件、半导体元件、继电器等元器件的结构、特点及用途。学习这部分内容时, 应以元器件的识别及检测为重点。由于这部分内容比较简单, 读者可适当加快学习进度。

电路制作部分属于实战篇, 读者可根据自己的实际情况选择相应的电路进行制作。通过制作电路可以提高学习兴趣, 加深对电子电路的理解, 实现理论与实践的零距离对接, 真正做到学以致用。

作者在编写全书时, 充分考虑职业技术学校学生的知识现状, 不片面追求知识的深度和广度, 而将知识的实用性和够用性摆在第一位, 有如下一些特点:

1. 采用四合一的写作思路, 将电路基础、电子技术、电子元器件及电子制作知识紧密结合在一起, 以较小的篇幅容纳了较多的内容, 不但经济、实用, 更重要的是节省了学习时间。
2. 充分考虑初学者快速入门的要求, 将知识的实用性和够用性放在首位。这与职业技术学校培养一技之长劳动力的目标十分吻合。
3. 全书起点很低, 书中没有复杂的数学运算, 还略去了一些不常用的定律及分析, 从而进一步降低了学习难度。
4. 书中安排了大量的实验、装配及制作, 使理论学习与实践操作紧密结合起来, 能有效提高学习效率。

另外, 本书还附有配套教案和习题答案, 各位教师可到华信教育网(<http://hxedu.com.cn>)上下载。

参加本书编写的还有蒋茂方、伍秀珍、罗纲要、肖向红、邢修平、杨建红、陈兴祥、钟燕梅。笔者在编著全书的过程中, 得到了陈安如、张明珠、张友华、周维忠、左计元、张显斌等同志的大力支持和协助, 在此谨表感谢。

编著者

目 录

第 1 章 电路基础	1
1.1 电路	1
1.1.1 电路概述	1
1.1.2 欧姆定律	4
1.1.3 电功和电功率	5
1.2 直流电阻电路	6
1.2.1 电阻串联电路	6
1.2.2 电阻并联电路	7
1.2.3 电阻混联电路	8
1.2.4 基尔霍夫定律	9
1.2.5 电路中各点电位的计算	10
1.3 电容电路	11
1.3.1 电场与静电屏蔽	12
1.3.2 电容电路	12
1.4 磁场及电磁感应	16
1.4.1 磁场	16
1.4.2 电磁感应	17
1.4.3 自感和互感现象	19
1.4.4 涡流效应	20
1.5 正弦与周期性非正弦交流电路	20
1.5.1 正弦交流电	20
1.5.2 三相正弦交流电	28
1.5.3 周期性非正弦交流电	30
1.6 电磁铁、变压器和电动机	31
1.6.1 电磁铁	31
1.6.2 变压器	33
1.6.3 电动机	34
本章实验	36
本章习题	38
第 2 章 放大器	42
2.1 二极管和三极管	42
2.1.1 半导体介绍	42
2.1.2 二极管	45

2.1.3	三极管	46
2.1.4	三极管的特性曲线	49
2.2	基本共射放大器	51
2.2.1	基本共射放大器的组成	51
2.2.2	基本共射放大器的分析	53
2.2.3	基极分压式共射放大器	56
2.2.4	放大器的幅频特性	59
2.3	共集放大器与共基放大器	60
2.3.1	共集放大器	60
2.3.2	共基放大器	61
2.3.3	多级放大器	62
2.4	负反馈放大器	64
2.4.1	反馈的基本概念及分类	64
2.4.2	负反馈放大器的分析	66
2.4.3	负反馈对放大器性能的影响	69
2.5	直流放大器	72
2.5.1	直流放大器的两大特殊问题	72
2.5.2	差动放大器	74
2.5.3	集成运算放大器	78
2.6	功率放大器	81
2.6.1	甲类功率放大器	82
2.6.2	乙类推挽功率放大器	83
2.6.3	互补对称推挽功率放大器(OTL电路)	84
2.6.4	OCL互补对称功率放大器	86
2.6.5	功率放大器对元件的要求	87
本章实验		88
本章习题		89
第3章 正弦波振荡器		92
3.1	正弦波振荡器的基本工作原理	92
3.1.1	自激振荡现象	92
3.1.2	自激振荡的产生	92
3.2	LC正弦波振荡器	93
3.2.1	选频放大器介绍	94
3.2.2	变压器反馈式振荡器	94
3.2.3	电感三点式振荡器	96
3.2.4	电容三点式振荡器	97
3.3	石英晶体振荡器	98
3.3.1	石英晶体的特性	98
3.3.2	石英晶体振荡器的工作原理	100
本章实验		100

本章习题·····	100
第4章 串联型稳压源 ·····	102
4.1 串联型稳压源的结构 ·····	102
4.1.1 串联型稳压源的结构框图 ·····	102
4.1.2 直流稳压源的质量指标 ·····	103
4.2 整流电路与滤波电路 ·····	103
4.2.1 整流电路 ·····	103
4.2.2 滤波电路 ·····	106
4.2.3 倍压整流滤波电路 ·····	108
4.3 稳压电路 ·····	110
4.3.1 稳压管稳压电路 ·····	110
4.3.2 串联稳压电路 ·····	110
4.3.3 三端稳压电路 ·····	113
本章实验·····	113
本章习题·····	114
第5章 无线电波的发送与接收 ·····	115
5.1 无线电波 ·····	115
5.1.1 无线电波的产生 ·····	115
5.1.2 无线电波的波段划分 ·····	116
5.1.3 无线电波的传播 ·····	117
5.2 无线电波的发射与接收 ·····	118
5.2.1 如何使声音传得更远 ·····	118
5.2.2 调制与解调 ·····	118
5.3 调幅收音机 ·····	121
5.3.1 调幅收音机的结构 ·····	122
5.3.2 磁性天线输入回路 ·····	122
5.3.3 变频电路 ·····	123
5.3.4 中放电路及检波电路 ·····	125
5.3.5 低频放大器及功率放大器 ·····	129
5.3.6 调幅收音机整机电路分析 ·····	130
5.3.7 调幅收音机的组装、调试及维修 ·····	133
本章习题·····	145
第6章 脉冲电路与数字电路 ·····	146
6.1 脉冲电路的基本知识 ·····	146
6.1.1 脉冲电路与数字电路概述 ·····	146
6.1.2 二极管和三极管的开关特性 ·····	147
6.1.3 反相器 ·····	149
6.2 基本的脉冲变换电路 ·····	150

6.2.1 微分电路和积分电路	150
6.2.2 限幅电路	151
6.3 脉冲信号发生器	153
6.3.1 间歇振荡器	153
6.3.2 锯齿波发生器	154
6.4 基本门电路	155
6.4.1 概述	156
6.4.2 分立元器件门电路	156
6.4.3 集成式门电路	160
6.5 触发器与计数器	160
6.5.1 触发器	160
6.5.2 计数器	165
6.6 A/D 变换与 D/A 变换器	165
6.6.1 A/D 变换器	166
6.6.2 D/A 变换器	169
本章实验	171
本章习题	173
第7章 电子元器件	174
7.1 电阻器	174
7.1.1 电阻的分类	174
7.1.2 电阻的主要参数	175
7.1.3 固定电阻与可变电阻	176
7.1.4 几种特殊的电阻	182
7.2 电容器	187
7.2.1 电容的概述	187
7.2.2 电容的命名及标识	189
7.2.3 固定电容	193
7.2.4 可变电容	199
7.2.5 电容的检测	199
7.3 电感器	201
7.3.1 电感的分类及符号	201
7.3.2 电感的特性及主要参数	202
7.3.3 互感滤波器	203
7.3.4 电感的识别及检测	204
7.4 变压器	205
7.4.1 变压器的基本结构及分类	205
7.4.2 变压器的符号及参数	207
7.4.3 几种常用的变压器介绍	208
7.4.4 变压器的检测	211
7.5 压电元器件	212

7.5.1	压电元器件的分类	212
7.5.2	石英晶体谐振器	212
7.5.3	陶瓷元器件	214
7.5.4	压电元器件的检测	216
7.6	半导体元器件	216
7.6.1	半导体元器件的命名	216
7.6.2	二极管	219
7.6.3	三极管	225
7.6.4	场效应管	231
7.6.5	晶闸管	238
7.6.6	光电耦合器	245
7.6.7	集成电路	245
7.7	继电器	247
7.7.1	继电器的分类及命名	247
7.7.2	电磁继电器	248
	本章实验	250
	本章习题	251
第8章	实用电路及趣味电路制作	253
8.1	电子制作工艺	253
8.1.1	原理图与电路板图	253
8.1.2	电路板的制作	254
8.1.3	元器件的安装	257
8.1.4	电路的调试	257
8.2	放大器与稳压电源的制作	257
8.2.1	低频放大器的制作	257
8.2.2	音频功率放大器的制作	258
8.2.3	稳压电源的制作	258
8.3	实用电路制作	260
8.3.1	调光电路的制作	260
8.3.2	调温电路的制作	261
8.3.3	调速电路的制作	263
8.3.4	多用调压电路的制作	263
8.3.5	光控开关的制作	264
8.3.6	声控开关的制作	266
8.3.7	红外探测开关的制作	269
8.3.8	触摸开关的制作	270
8.4	趣味电路制作	273
8.4.1	多路抢答器的制作	274
8.4.2	防盗报警电路的制作	275

第1章

电路基础

学 要 点

本章主要介绍电学中的一些基本概念、基本定律，系统分析直流电阻电路、电容电路及电磁感应现象，同时还对交流电、电磁铁、变压器及电动机等知识做了必要性的讲解。这些内容是本书涉及的最基础的电学知识。为了使读者对抽象的概念、定律有更加感性的认识，本章列举了一些与日常生活息息相关的实例，力求做到使概念、定律、计算融为一体。学习本章时，应注意把基本概念、基本定律与实际应用联系起来。

1.1 电路

电路又称为电网络，它是电学的研究对象。根据电路的功能不同，可将电路分为两大类。第一类是用于能量转换、传输和分配的电路，它是电工学的主要研究对象，本章所分析的电路就属于这类电路；第二类是用于信号处理的电路，它是电子学的主要研究对象，本书第2章至第6章所分析的电路属于这类电路。

1.1.1 电路概述

1. 电路的组成

电路与人们的生产生活息息相关，它一般由电源、负载、导线和控制部分组成。图1-1(a)所示的电路是一个微型直流电风扇电路，干电池是电路中的电源，为整个电路提供电能。直流电动机是电路中的负载，它能把电能转化为机械能。导线把干电池、直流电动机、开关连接起来，为电流提供通路。开关是电路中的控制部分，控制直流电动机的转动和停转。

知识窗 电路有三种基本状态：

- (1) 电路连通，有电流流过，称为通路状态。
- (2) 电路断开，无电流流过，称为开路状态。

(3) 电路中的电源、负载或负载内部的元器件的端脚，直接连通，称为短路状态。大多数情况下，短路状态会损坏电源或负载，造成电路故障，所以一般电路应避免出现这种状态。

2. 电路图

实际电路可以用统一规定的图形符号表示,称为电路图。例如图 1-1(a)所示的实际电路可以用图 1-1(b)所示的电路图来表示。电路中,部分常用的电路符号如图 1-2 所示。

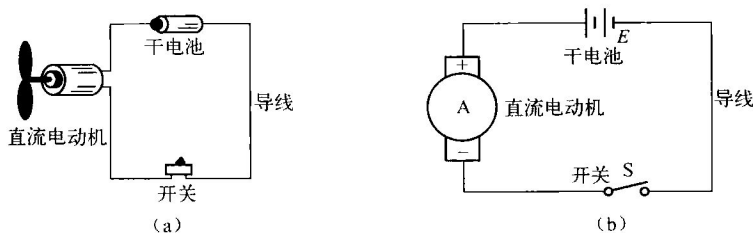


图 1-1 微型直流电风扇电路及电路图

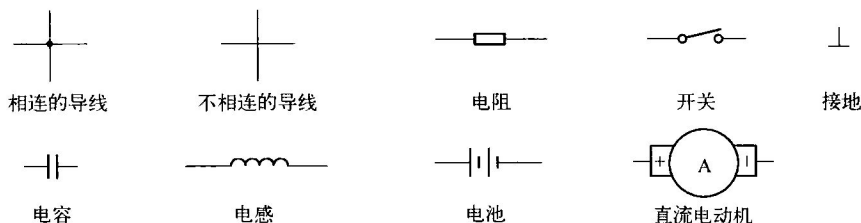


图 1-2 常用电路符号

3. 电路中的基本物理量

1) 电流

电荷的定向移动形成电流,并且规定正电荷移动方向为电流方向。如图 1-3 所示,金属导体中的电流,是由带负电荷的自由电子定向移动形成的,电流方向与自由电子移动方向相反。

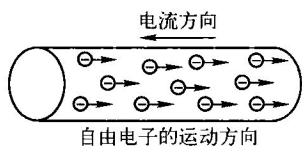


图 1-3 金属导体中的电流

电流不仅有方向,而且还有大小。电流的大小用电流强度表示。电流强度等于单位时间内通过导体横截面的电量。如果在时间 t 内通过导体横截面的电量为 q ,则通过导体的电流强度为:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-1)$$

式中,电流强度用 I 表示,单位为安培(A),电量的单位为库伦(C),时间的单位为秒(s)。

常用的电流强度的单位和它们之间的换算关系如下:

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

电流根据其大小、方向随时间变化情况的不同,可以分为以下几种:

- (1) 方向不随时间变化的电流称为直流电流。
- (2) 大小、方向都不随时间变化的电流称为稳恒电流。
- (3) 大小随时间变化,方向不随时间变化的电流称为脉动直流电流。
- (4) 大小、方向都随时间变化的电流称为交流电流。

2) 电阻

电流流过导体时会受到阻碍作用,这种阻碍作用用电阻来表示。电阻的单位为欧姆(Ω),常用的单位如下:

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega \quad 1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

一般来说,导体都有一定的电阻。相同形状不同材料的导体,电阻不相等;相同材料不同形状的导体,电阻也不相等。实验证明,在温度不变时,横截面积均匀的导体的电阻与导体的长度成正比,与导体的横截面积成反比,并与导体材料的电阻率有关,它们之间的关系为:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-2)$$

式中, R 表示电阻,单位为(Ω); l 表示长度,单位为(m); S 表示横截面积,单位为(m^2); ρ 表示电阻率,单位为欧米($\Omega \cdot \text{m}$)。

电阻率是衡量材料导电能力的物理量。电阻率越大的材料,其导电能力越弱;电阻率越小的材料,其导电能力越强。

不同材料具有不同的电阻率,相同材料在不同温度下,电阻率也不一样。一般情况下,绝大部分金属材料的电阻率随温度升高而增大,如钨、铝、铜等;半导体材料的电阻率随温度升高而降低,如碳、硅、锗等。表 1-1 列举了部分常见材料在 20°C 时的电阻率。

表 1-1 部分常见材料在 20°C 时的电阻率

材料名称	电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)	备 注
银	1.6×10^{-8}	导电能力很强,称为导体
铜	1.7×10^{-8}	
铝	2.8×10^{-8}	
铁	9.8×10^{-8}	
锡	1.14×10^{-7}	
碳	3.5×10^{-5}	导电能力介于导体和绝缘体之间,称为半导体
锗	0.60	
硅	2300	
塑料	$10^{15} \sim 10^{16}$	导电能力极弱,称为绝缘体
陶瓷	$10^{12} \sim 10^{13}$	
云母	$10^{11} \sim 10^{15}$	

例 1-1 一根横截面积为 2.5mm^2 , 长度为 300m 的铜导线,电阻为多少欧姆?

解:根据式(1-2)可得:

$$R = \rho \frac{l}{S} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{300}{2.5 \times 10^{-6}} = 2.04(\Omega)$$

3) 电压和电位

电压和电位是两个紧密关联的物理量。电路中不同的点有不同的电位,任意两点之间的电压等于这两点电位的差。如图 1-4 所示, U_{ab} 表示 a、b 两点之间的电压, U_a 、 U_b 分别表示 a、b 两点的电位,则 a、b 两点之间的电压为:

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-3)$$

知识窗: 在分析计算电路中各点的电位时,一般先选择电路中某一点作为参考点,并规定参考点电位为 0V ,然后其他各点的电位在数值上就等于该点和参考点之间的电压。

如图 1-4 所示,选择 b 点为参考点,所以 b 点电位为 0V ,由式(1-3)变形可得 a 点电位为:

$$U_a = U_{ab} + U_b = U_{ab} + 0 = U_{ab}$$

式中,电压和电位的单位都是伏特(V)。比伏特更大的单位有千伏(kV)。

常用的电压和电位的单位及它们之间的换算关系如下:

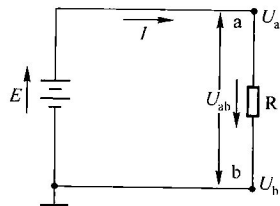


图 1-4 电压与电位的关系

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}, \quad 1\text{V} = 10^3\text{mV}, \quad 1\text{mV} = 10^3\mu\text{V}$$

顺便指出：和电流一样，电压也是有方向的，电压的方向规定为从高电位指向低电位，即电位降低的方向，因此电压又称为电压降。电流在电源外部从高电位流向低电位，在电源内部从低电位流向高电位。因此，可以用电流的方向来判定电路中各点电位的高低。在图1-4中，电流在电源外部从a点流向b点，所以a点电位高于b点电位。

电路中，任意两点之间的电位差有两个。如图1-4所示，a、b两点之间有电位差($U_a - U_b$)和电位差($U_b - U_a$)，由电压降和电位的关系可知：

$$U_{ab} = U_a - U_b$$

$$U_{ba} = U_b - U_a$$

因为a点电位高于b点电位，所以电压降 U_{ab} 为正值，记为 $+U_{ab}$ ，电压降 U_{ba} 为负值，记为 $-U_{ab}$ 。

4) 电源与电动势

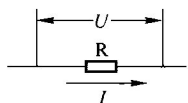
电源是一种把非电能转化为电能的设备，为整个电路提供电能。电源有正极和负极两个端子，电位高的一端为正极，电位低的一端为负极。

知识窗：电动势是衡量电源把非电能转化为电能的本领的物理量。它的单位和电压的单位一样，也是伏特(V)。如一节五号干电池的电动势是1.5V。和电压一样，电动势也有方向，它的方向规定为从电源的负极经内部指向正极。

1.1.2 欧姆定律

1. 部分欧姆定律

当电路中有电流流过电阻时，电阻两端就会产生电压，如图1-5所示。实验证明，流过



电阻的电流与电阻两端产生的电压成正比，与电阻的阻值成反比，这个规律称为部分欧姆定律，它的表达式为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-4)$$

图1-5 部分欧姆定律

式中，电流的单位为安培(A)，电压的单位为伏特(V)，电阻的单位为欧姆(Ω)。

2. 全电路欧姆定律

部分欧姆定律只揭示了电路中电阻两端的电压，与流过它的电流之间的关系，没有涉及电源电动势。那么在包含有电源的全电路中，电源电动势、电阻两端的电压、流过电阻的电流三者之间的关系又是怎样的呢？

在全电路中，电源不仅为整个电路提供了电动势，而且也会对流过它自身的电流产生阻碍作用，即电源内部也有电阻，称为内阻。如图1-6所示， E 为电源电动势， r_0 为内阻， R 为电源外接电路的电阻，称为外电路电阻，虚线框内的电路是电源的等效电路。

实验证明，全电路中电流与电源电动势成正比，与外电路电阻、内阻之和成反比。这个规律称为全电路欧姆定律，它的表达式为：

$$I = \frac{E}{(R + r_0)} \quad (1-5)$$

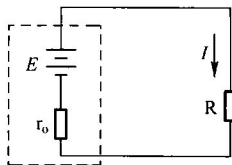


图1-6 全电路欧姆定律

式中，电流的单位为安培(A)，电压的单位为伏特(V)，外电路电阻、内阻的单位都为欧姆(Ω)。

3. 路端电压及电源外特性

在图1-6所示的全电路中,电流在电源内阻和外电路电阻上都要产生电压,内阻上产生的电压为:

$$U_0 = Ir_0 \quad (1-6)$$

外电路电阻上产生的电压为:

$$U = IR \quad (1-7)$$

外电路电阻上产生的电压 U 被称为路端电压。

把式(1-5)变形可得:

$$E = IR + Ir_0 = U + U_0 \quad (1-8)$$

所以路端电压为:

$$U = E - U_0 = E - Ir_0 \quad (1-9)$$

式(1-9)反映了路端电压与电源输出电流之间的关系,也称为电源的外特性:随着电源输出电流增大,加在外电路电阻两端的路端电压会降低。

1.1.3 电功和电功率

1. 电功

电流流过负载时要做功,称为电功,它等于负载在工作时消耗的电能。对于电阻性负载来说,加在负载两端的电压越高,流过负载的电流强度越大,通电时间越长,电流所做的电功就越多,负载消耗的电能也越多。电功与电压、电流强度、通电时间之间的关系为:

$$W = UIt \quad (1-10)$$

式中,电功用 W 表示,单位为焦耳(J),电压的单位为伏特(V),电流的单位为安培(A),时间的单位为秒(s)。

在实际生产生活中,常用的电功、电能的单位是“度”。

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦时} = 1\text{kW} \times 1\text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

2. 电功率

电流流过不同的负载做同样的电功,所花的时间并不一样。电功率就是衡量在单位时间里,电流所做电功多少的物理量。如果在 t 时间内,电流所做电功为 W ,那么电功率为:

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-11)$$

把式(1-10)代入式(1-11)可得:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-12)$$

式中, P 表示电功率,单位为瓦特(W),电功的单位为焦耳(J),时间的单位为秒(s),电压的单位为伏特(V),电流的单位为安培(A)。

例1-2 一台家用300W的电热取暖器,连续正常工作4个小时,消耗电能是多少焦耳?折合多少度电?

解: 电热取暖器消耗的电能等于电流所做的电功,而电功由式(1-11)变形可得:

$$W = Pt = 300 \times 4 \times 3600 = 4320000 \text{ (J)}$$

因 $1 \text{ 度} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$, 所以 4320000J 合: $\frac{4320000}{3.6 \times 10^6} = 1.2 \text{ (度)}$

3. 电阻消耗的能量

电流流过电阻时所做的电功,都转化成了热量,这种现象称为电流的热效应。实验证明,电流流过电阻时产生的热量与电流的平方、电阻阻值和通电时间成正比,这个规律称为焦耳定律,它的表达式为:

$$Q = I^2 R t \quad (1-13)$$

式中,电流的单位为安培(A),电阻的单位为欧姆(Ω),时间的单位为秒(s),热量用 Q 表示,单位为焦耳(J)。

顺便指出: 正是因为电流的热效应,造成了用电器在工作一段时间后,电路的温度会升高。如果温度升得过高,电路就可能会被烧坏,所以工作时发热量大的用电器应保持良好的通风散热,比如电脑为了通风散热,在主机箱内安装了多个电风扇,并在箱体尾部开了通风口。

4. 全电路中负载获得最大功率的条件

在图1-6所示的全电路中,负载从电源那里获得功率,负载获得功率的多少与哪些因素有关呢?由式(1-9)可知,通电后负载两端的电压为:

$$U = E - I r_0$$

将上式两边同乘以 I 可得:

$$IU = IE - I^2 r_0$$

式中,共中央 IE 为电源提供的总功率; IU 为负载从电源处获得的功率; $I^2 r_0$ 为电源内阻消耗的功率。也就是说,电源输出的功率并非全部提供给负载,有部分被电源内阻消耗了。如果负载是纯电阻,则负载获得的功率为:

$$P = IU = I^2 R = \left(\frac{E}{R + r_0} \right)^2 R = \frac{RE^2}{(R + r_0)^2} = \frac{RE^2}{(R - r_0)^2 + 4Rr_0}$$

从上式可以看出,只有当 $R = r_0$ 时,功率 P 为最大值,即负载获得的功率最大,且最大值为:

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4R} \text{ 或 } \frac{E^2}{4r_0} \quad (1-14)$$

顺便指出: 当负载获得最大功率时,称为电路的负载与电源匹配。电路匹配的问题广泛地存在于实际应用中。比如功放机与音箱连接时,为了让音箱从功放机那里获得最大功率,要求音箱的阻抗与功放机的输出阻抗相等。在这里,功放机可以看做是电源,音箱可以看做是负载。功放机的输出阻抗相当于电源的内阻,音箱的阻抗相当于负载的电阻。

1.2 直流电阻电路

直流电阻电路按复杂程度不同,可以分为简单直流电阻电路和复杂直流电阻电路。简单直流电阻电路又可以分为电阻串联电路和电阻并联电路。

1.2.1 电阻串联电路

电阻依次串接,中间无分支的电路,称为电阻串联电路。如图1-7所示为三个电阻串联的电路。

电阻串联电路有如下一些特点:

(1) 电路的总电流等于流过各电阻的电流, 即

$$I = I_1 = I_2 = I_3 \quad (1-15)$$

(2) 电路的总电压等于各电阻两端电压之和, 即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1-16)$$

(3) 电路的总等效电阻等于各电阻之和, 即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-17)$$

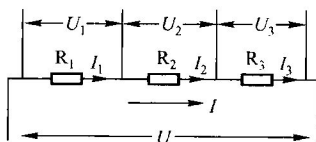


图 1-7 三个电阻串联的电路

(4) 电路中各电阻两端的电压与电阻的阻值成正比, 即

阻值大的电阻, 其两端的电压也大, 阻值小的电阻, 其两端的电压也小, 这种关系称为分压关系, 由于:

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}$$

所以:

$$\begin{aligned} U_1 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} U \\ U_2 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U \\ U_3 &= \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U \end{aligned} \quad (1-18)$$

式(1-18)可以当做电阻串联时的分压公式使用。

(5) 电路中各电阻消耗的功率与电阻的阻值成正比, 即

$$P_1 = U_1 I_1 = I_1^2 R_1 = I^2 R_1$$

同理:

$$P_2 = I^2 R_2, P_3 = I^2 R_3 \quad (1-19)$$

这表明阻值大的电阻消耗的功率多, 阻值小的电阻消耗的功率少。

(6) 电路中消耗的总功率等于各电阻消耗的功率之和, 即

$$P = IU = I^2 R = I^2 (R_1 + R_2 + R_3) = P_1 + P_2 + P_3 \quad (1-20)$$

1.2.2 电阻并联电路

电阻并排连接在两根导线之间的电路, 称为电阻并联电路。如图 1-8 所示为两个电阻并联的电路。

电阻并联电路有如下特点:

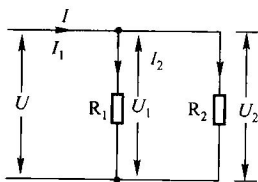


图 1-8 两个电阻并联的电路

(1) 电路的总电流等于流过各电阻的分电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-21)$$

(2) 电路的总电压等于各电阻两端的电压, 即

$$U = U_1 = U_2 \quad (1-22)$$

(3) 电路总电阻的倒数等于各电阻倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-23)$$

(4) 电路中流过各电阻的电流与电阻的阻值成反比, 即阻值大的电阻流过的电流小, 阻值小的电阻流过的电流大, 这种关系称为分流关系。由于:

$$U = I_1 R_1 = I_2 R_2 = IR$$

所以:

$$I_1 = \frac{R}{R_1} I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad I_2 = \frac{R}{R_2} I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-24)$$

式(1-24)可以当做两个电阻并联时的分流公式使用。

(5) 电路中各个电阻消耗的功率与阻值成反比, 即

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, P_2 = \frac{U^2}{R_2}$$

上式表明阻值大的电阻消耗的功率少, 阻值小的电阻消耗的功率多。

(6) 电路中消耗的总功率等于各电阻消耗功率之和, 即

$$P = IU = \frac{U^2}{R} = U^2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = P_1 + P_2$$

1.2.3 电阻混联电路

既有电阻串联, 又有电阻并联的电路, 称为电阻混联电路。

1. 混联电路分类

电阻混联电路可分为两大类:

(1) 能用电阻串、并联的方法简化为无分支回路的电路, 称为简单直流电阻电路。如图 1-9 所示的混联电路最终能简化为无分支的电路, 所以是简单直流电路。

(2) 不能用电阻串、并联的方法简化为无分支回路的, 称为复杂直流电阻电路。如图 1-10 所示的混联电路最终只能简化为有分支的电路, 所以是复杂直流电阻电路。

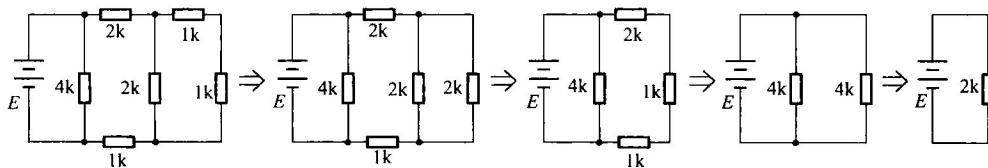


图 1-9 简单直流电路

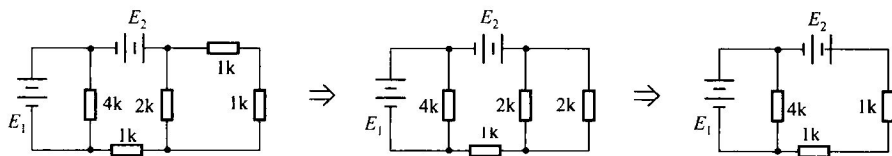


图 1-10 复杂直流电路

2. 电阻混联电路的简化

简单直流电阻混联电路一般不容易直接看出电阻之间的串、并联关系, 不便进行电路分析。为此应该对电路进行等效变换, 最终简化成无分支回路的电路形式。

常用的一种简化电路的方法是先利用电流的分、合关系, 把电路转化为容易判断的串、并联形式, 然后再等效变化为最简的无分支回路形式。例如, 图 1-11(a) 所示的混联电路最终可以简化为图 1-11(b) 所示的并联电路。

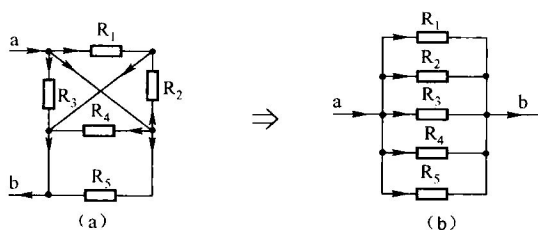


图 1-11 混联电路的简化