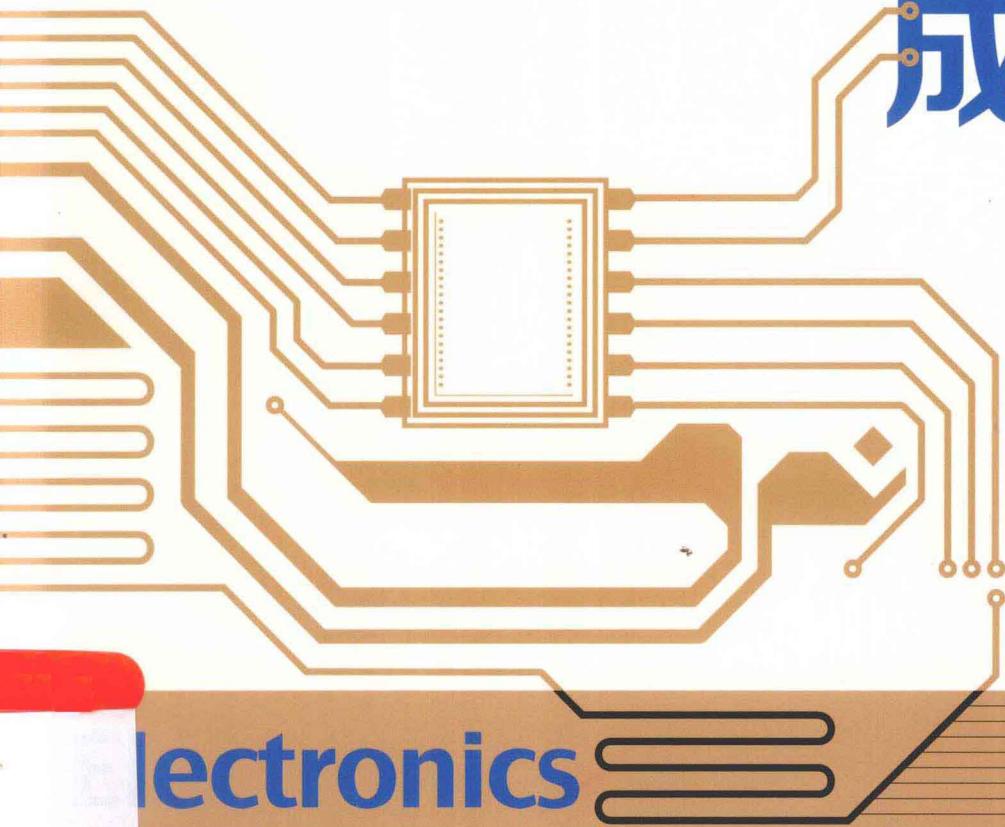


电子工程师

自学速成

蔡杏山 主编

提高篇



Electronics

Engineer

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

电子工程师 自学速成



蔡杏山 主编

—— 提高篇

> Electronics

+
Engineer

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

电子工程师自学速成. 提高篇 / 蔡杏山主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2014. 1
ISBN 978-7-115-33195-3

I. ①电… II. ①蔡… III. ①电子技术 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第221392号

内 容 提 要

“电子工程师自学速成”丛书分为“入门篇”、“提高篇”和“设计篇”共3本。本书为“提高篇”，包括模拟电路和数字电路两大部分，模拟电路部分的内容有电路分析基础、放大电路、放大器、谐振电路、滤波电路、振荡器、调制电路、解调电路、变频电路、反馈控制电路、电源电路和晶闸管电路，数字电路部分的内容有数字电路基础、门电路、数制、编码、逻辑代数、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲电路、D/A转换器、A/D转换器和半导体存储器。

本书具有基础起点低、内容由浅入深、语言通俗易懂、结构安排符合学习认知规律的特点。本书适合作为电子工程师用于提高的自学图书，也适合用作职业学校和社会培训机构的电子电路教材。

-
- ◆ 主 编 蔡杏山
责任编辑 张 鹏
责任印制 彭志环 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17.75
字数: 475千字 2014年1月第1版
印数: 1-4000册 2014年1月北京第1次印刷
-

定价: 45.00元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号



前言

“电子技术无处不在”，小到身边的随身听，大到“神舟飞船”，无一不闪现着电子技术的身影。电子技术应用于社会的众多领域，根据应用领域的不同，电子技术可分为家庭消费电子技术（如电视机）、通信电子技术（如移动电话）、工业电子技术（如变频器）、机械电子技术（如智能机器人控制系统）、医疗电子技术（如B超机）、汽车电子技术（如汽车电气控制系统）、消费数码电子技术（如数码相机）和军事科技电子技术（如导弹制导系统）等。

电子工程师是指从事各类电子产品和信息系统研究、教学、产品设计、科技开发、生产和管理等工作的高级工程技术人才。电子工程师一般分为硬件电子工程师和软件电子工程师，其中硬件电子工程师主要负责运用各种电子工具进行电子产品的装配、测试和维修等工作，其工作是技术与手动操作的结合；软件电子工程师主要负责分析、设计电路图，制作印制电路板（PCB），以及对嵌入式系统（如单片机）进行编程等工作。

为了让读者能够轻松快速地进入电子工程师行列，我们推出了“电子工程师自学速成”丛书，该丛书分为“入门篇”、“提高篇”和“设计篇”共3本，各书内容说明如下。

《电子工程师自学速成——入门篇》的内容包括电子技术入门基础、电子元器件（电阻器、电容器、电感器、变压器、二极管、三极管、光电器件、电声器件、晶闸管、场效应管、IGBT、继电器、干簧管、显示器件、贴片元器件、集成电路和传感器）、基础电子电路、收音机与电子产品的检修、电子测量基础、指针万用表、数字万用表、信号发生器、毫伏表、示波器、频率计和扫频仪等。

《电子工程师自学速成——提高篇》的内容包括模拟电路和数字电路两大部分，其中模拟电路部分的内容有电路分析基础、放大电路、放大器、谐振电路、滤波电路、振荡器、调制电路、解调电路、变频电路、反馈控制电路、电源电路和晶闸管电路，数字电路部分的内容有数字电路基础、门电路、数制、编码、逻辑代数、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲电路、D/A转换器、A/D转换器和半导体存储器。

《电子工程师自学速成——设计篇》的内容包括单片机技术和Protel电路绘图设计两大部分，其中单片机技术部分的内容有单片机入门、单片机硬件原理、单片机的开发过程、单片机编程、中断技术、定时器/计数器、串行通信技术和接口技术，Protel电路绘图设计部分的内容有Protel软件入门、设计电路原理图、制作新元件、手工设计PCB、自动设计PCB和制作新元件封装。

“电子工程师自学速成”丛书主要有以下特点。

- ◆ **基础起点低。**读者只需具有初中文化程度即可阅读本套丛书。
- ◆ **语言通俗易懂。**书中少用专业化的术语，遇到较难理解的内容用形象的比喻说明，尽量避免复杂的理论分析和烦琐的公式推导，使得图书阅读起来十分顺畅。

◆ **内容解说详细。**考虑到自学时一般无人指导，因此在本套丛书编写过程中对书中的知识和技能进行了详细解说，让读者能轻松理解所学内容。

◆ **采用图文并茂的表现方式。**书中大量采用读者喜欢的直观形象的图表方式表现内容，使阅读变得非常轻松，不易产生阅读疲劳。

◆ **内容安排符合认知规律。**图书按照循序渐进、由浅入深的原则来确定各章节内容的先后顺序，读者只需从前往后阅读图书，便会水到渠成。

◆ **突出显示知识要点。**为了帮助读者掌握书中的知识要点，书中用阴影和文字加粗的方法突出显示知识要点，指示学习重点。

◆ **网络免费辅导。**读者在阅读时遇到难理解的问题可登录易天教学网：www.eTV100.com，观看有关辅导材料或向老师提问进行学习，读者也可以在该网站了解本套丛书的新书信息。

本套丛书在编写过程中得到了许多老师的支持，其中，蔡玉山、詹春华、黄勇、何慧、黄晓玲、蔡春霞、邓艳姣、刘凌云、刘海峰、刘元能、邵永亮、万四香、何宗昌、朱球辉、何彬、李清荣、蔡理刚、何丽、蔡华山、梁云、蔡理峰、唐颖、王娟、蔡任英和邵永明等参与了书中资料的收集和部分章节的编写工作，在此一致表示感谢。由于我们水平有限，书中的错误和疏漏在所难免，望广大读者和同仁予以批评指正。

编者

目录

第 1 章

电路分析基础

- 1.1 电路分析的基本方法与规律 1
 - 1.1.1 欧姆定律 1
 - 1.1.2 电功、电功率和焦耳定律 3
 - 1.1.3 电阻的串联、并联与混联 4
- 1.2 复杂电路的分析方法与规律 5
 - 1.2.1 基本概念 5
 - 1.2.2 基尔霍夫定律 6
 - 1.2.3 叠加定理 8
 - 1.2.4 戴维南定理 9
 - 1.2.5 最大功率传输定理与阻抗变换 10

第 2 章

放大电路

- 2.1 基本放大电路 12
 - 2.1.1 固定偏置放大电路 12
 - 2.1.2 分压式偏置放大电路 13
 - 2.1.3 交流放大电路 15
 - 2.1.4 放大电路的 3 种基本接法 16
 - 2.1.5 朗读助记器的原理与检修 (一) 19
- 2.2 负反馈放大电路 21
 - 2.2.1 反馈知识介绍 21
 - 2.2.2 反馈类型的判别 22
 - 2.2.3 常见负反馈放大电路 25
 - 2.2.4 负反馈对放大电路的影响 27
 - 2.2.5 朗读助记器的原理与检修 (二) 27

- 2.3 功率放大电路 29
 - 2.3.1 功率放大电路的 3 种状态 29
 - 2.3.2 变压器耦合功率放大电路 30
 - 2.3.3 OTL 功率放大电路 31
 - 2.3.4 OCL 功率放大电路 32
 - 2.3.5 朗读助记器的原理与检修 (三) 33
- 2.4 多级放大电路 34
 - 2.4.1 阻容耦合放大电路 34
 - 2.4.2 直接耦合放大电路 35
 - 2.4.3 变压器耦合放大电路 35
- 2.5 场效应管放大电路 36
 - 2.5.1 结型场效应管及其放大电路 36
 - 2.5.2 增强型绝缘栅场效应管及其放大电路 38
 - 2.5.3 耗尽型绝缘栅场效应管及其放大电路 40

第 3 章

放大器

- 3.1 直流放大器 42
 - 3.1.1 直流放大器的级间静态工作点影响问题 42
 - 3.1.2 零点漂移问题 43
- 3.2 差动放大器 44
 - 3.2.1 基本差动放大器 44
 - 3.2.2 实用的差动放大器 46
 - 3.2.3 差动放大器的几种连接形式 47
- 3.3 集成运算放大器 49
 - 3.3.1 集成运算放大器的基础知识 49

3.3.2	集成运算放大器的线性应用 电路	50
3.3.3	集成运算放大器的非线性应用 电路	53
3.3.4	集成运算放大器的保护电路	55
3.4	小功率集成立体声功放器的原理 与检修	56
3.4.1	电路原理	56
3.4.2	电路检修	57

第4章

谐振电路与滤波电路

4.1	谐振电路	58
4.1.1	串联谐振电路	58
4.1.2	并联谐振电路	59
4.2	滤波电路	60
4.2.1	无源滤波器	60
4.2.2	有源滤波器	63

第5章

振荡器

5.1	振荡器基础知识	65
5.1.1	振荡器组成	65
5.1.2	振荡器的工作条件	65
5.2	RC 振荡器	66
5.2.1	RC 移相式振荡器	66
5.2.2	RC 桥式振荡器	67
5.3	可调音频信号发生器的原理与 检修	68
5.3.1	电路原理	68
5.3.2	电路检修	69
5.4	LC 振荡器	70
5.4.1	变压器反馈式振荡器	70
5.4.2	电感三点式振荡器	70
5.4.3	电容三点式振荡器	71
5.4.4	改进型电容三点式振荡器	72
5.5	石英晶体及晶体振荡器	74
5.5.1	石英晶体	74
5.5.2	晶体振荡器	74

第6章

调制电路与解调电路

6.1	无线电信号的发送与接收	76
6.1.1	无线电信号的发送	76
6.1.2	无线电信号的接收	77
6.2	幅度调制与检波电路	78
6.2.1	幅度调制电路	78
6.2.2	检波电路	79
6.3	频率调制与鉴频电路	80
6.3.1	频率调制电路	80
6.3.2	鉴频电路	82

第7章

变频电路与反馈控制电路

7.1	变频电路	88
7.1.1	倍频电路	88
7.1.2	混频电路	89
7.2	反馈控制电路	90
7.2.1	自动增益控制 (AGC) 电路	90
7.2.2	自动频率控制 (AFC) 电路	92
7.2.3	锁相环 (PLL) 控制电路	93

第8章

电源电路

8.1	整流电路	95
8.1.1	半波整流电路	95
8.1.2	全波整流电路	97
8.1.3	桥式整流电路	98
8.1.4	倍压整流电路	100
8.2	滤波电路	101
8.2.1	电容滤波电路	101
8.2.2	电感滤波电路	103
8.2.3	复合滤波电路	103
8.2.4	电子滤波电路	104
8.3	稳压电路	105
8.3.1	简单的稳压电路	105
8.3.2	串联型稳压电路	106

8.3.3	集成稳压电路	107
8.4	0~12V 可调电源的原理与检修	110
8.4.1	电路原理	110
8.4.2	电路检修	111
8.5	开关电源	112
8.5.1	开关电源基本工作原理	112
8.5.2	3 种类型的开关电源工作原理分析	112
8.5.3	开关电源电路分析	114

第 9 章

晶闸管电路

9.1	单向晶闸管与晶闸管开关	118
9.1.1	单向晶闸管	118
9.1.2	晶闸管开关	119
9.2	晶闸管可控整流电路	120
9.2.1	可控半波整流电路	120
9.2.2	可控桥式整流电路	121
9.3	单结晶体管与单向晶闸管交流调压电路	122
9.3.1	单结晶体管	122
9.3.2	单结晶体管振荡电路	124
9.3.3	单向晶闸管交流调压电路	125
9.4	双向晶闸管与双向晶闸管交流调压电路	126
9.4.1	双向触发二极管	126
9.4.2	双向晶闸管	127
9.4.3	双向晶闸管交流调压电路	128

第 10 章

数字电路基础与门电路

10.1	数字电路基础	129
10.1.1	模拟信号与数字信号	129
10.1.2	正逻辑与负逻辑	130
10.1.3	三极管的 3 种工作状态	130
10.2	基本门电路	131
10.2.1	与门	131
10.2.2	或门	133
10.2.3	非门	134

10.3	门电路实验板的电路原理与实验	135
10.3.1	电路原理	135
10.3.2	基本门实验	136
10.4	复合门电路	137
10.4.1	与非门	137
10.4.2	或非门	138
10.4.3	与或非门	139
10.4.4	异或门	140
10.4.5	同或门	142
10.5	集成门电路	143
10.5.1	TTL 集成门电路	143
10.5.2	CMOS 集成门电路	149

第 11 章

数制、编码与逻辑代数

11.1	数制	155
11.1.1	十进制数	155
11.1.2	二进制数	155
11.1.3	十六进制数	157
11.1.4	数制转换	157
11.2	编码	158
11.2.1	8421BCD 码、2421BCD 码和 5421BCD 码	158
11.2.2	余 3 码	159
11.2.3	格雷码	159
11.2.4	奇偶校验码	160
11.3	逻辑代数	161
11.3.1	逻辑代数的常量和变量	161
11.3.2	逻辑代数的基本运算规律	161
11.3.3	逻辑表达式的化简	163
11.3.4	逻辑表达式、逻辑电路和真值表相互转换	164
11.3.5	逻辑代数在逻辑电路中的应用	166

第 12 章

组合逻辑电路

12.1	组合逻辑电路分析与设计	167
12.1.1	组合逻辑电路的分析	167

12.1.2	组合逻辑电路的设计	168
12.2	编码器	169
12.2.1	普通编码器	169
12.2.2	优先编码器	170
12.3	译码器	173
12.3.1	二进制译码器	173
12.3.2	二十进制译码器	176
12.3.3	数码显示器与显示译码器	178
12.4	数码管译码控制器的电路原理与实验	183
12.4.1	电路原理	184
12.4.2	实验操作	185
12.5	加法器	185
12.5.1	半加器	185
12.5.2	全加器	186
12.5.3	多位加法器	187
12.6	数值比较器	188
12.6.1	等值比较器	188
12.6.2	数值比较器	189
12.7	数据选择器	191
12.7.1	结构与原理	191
12.7.2	常用数据选择器芯片	192
12.8	奇偶校验原理及奇偶校验器	193
12.8.1	奇偶校验原理	193
12.8.2	奇偶校验器	194

第 13 章

时序逻辑电路

13.1	触发器	195
13.1.1	基本 RS 触发器	195
13.1.2	同步 RS 触发器	197
13.1.3	D 触发器	198
13.1.4	JK 触发器	200
13.1.5	T 触发器	202
13.1.6	主从触发器和边沿触发器	203
13.2	寄存器与移位寄存器	205
13.2.1	寄存器	205
13.2.2	移位寄存器	206
13.3	计数器	211
13.3.1	二进制计数器	211

13.3.2	十进制计数器	214
13.3.3	任意进制计数器	215
13.3.4	常用计数器芯片	216
13.4	电子密码控制器的电路原理与实验	220
13.4.1	电路原理	220
13.4.2	实验操作	224

第 14 章

脉冲电路

14.1	脉冲电路基础	225
14.1.1	脉冲的基础知识	225
14.1.2	RC 电路	226
14.2	脉冲产生电路	229
14.2.1	多谐振荡器	229
14.2.2	锯齿波发生器	231
14.3	脉冲整形电路	232
14.3.1	单稳态触发器	232
14.3.2	施密特触发器	235
14.3.3	限幅电路	238
14.4	555 定时器	241
14.4.1	结构与原理	241
14.4.2	应用	242
14.5	电子催眠器的电路原理与实验	246
14.5.1	电子催眠原理	246
14.5.2	电路原理	247
14.5.3	实验操作及分析	248

第 15 章

D/A 转换器和 A/D 转换器

15.1	概述	249
15.2	D/A 转换器相关知识	249
15.2.1	D/A 转换原理	249
15.2.2	D/A 转换器	250
15.2.3	D/A 转换器芯片 DAC0832	253
15.3	A/D 转换器相关知识	254
15.3.1	A/D 转换原理	254
15.3.2	A/D 转换器	256
15.3.3	A/D 转换器芯片 ADC0809	258

第 16 章

半导体存储器

16.1	顺序存储器	261	16.2.1	随机存储器的结构与原理	264
16.1.1	动态移存单元	261	16.2.2	存储单元	265
16.1.2	动态移存器	262	16.2.3	存储器容量的扩展	268
16.1.3	常见顺序存储器	262	16.3	只读存储器	270
16.2	随机存储器	263	16.3.1	固定只读存储器 (ROM)	270
			16.3.2	可编程只读存储器 (PROM)	272
			16.3.3	可改写只读存储器 (EPROM)	273
			16.3.4	电可改写只读存储器 (EEPROM)	274

第 1 章 电路分析基础

1.1 电路分析的基本方法与规律

学好电子电路的关键是学会分析电路，而分析电路前先要掌握一些与电路分析有关的基本定律和方法。

1.1.1 欧姆定律

欧姆定律是电子技术中的一个最基本的定律，它反映了电路中电阻、电流和电压之间的关系。欧姆定律分为部分电路欧姆定律和全电路欧姆定律。

1. 部分电路欧姆定律

部分电路欧姆定律的内容是：在电路中，流过导体的电流 I 的大小与导体两端的电压 U 成正比，与导体的电阻 R 成反比，即

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

也可以表示为 $U = IR$ 或 $R = \frac{U}{I}$ 。

为了让大家更好地理解欧姆定律，下面以图 1-1 为例来说明。

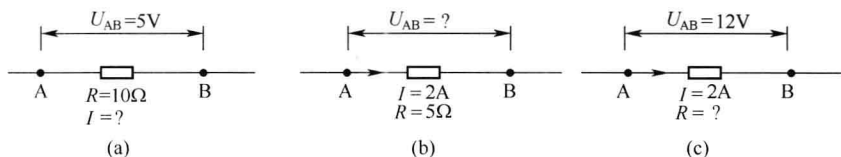


图 1-1 欧姆定律的几种形式

如图 1-1 (a) 所示，已知电阻 $R = 10\Omega$ ，电阻两端电压 $U_{AB} = 5V$ ，那么流过电阻的电流 $I = \frac{U_{AB}}{R} = \frac{5}{10} A = 0.5A$ 。

又如如图 1-1 (b) 所示，已知电阻 $R = 5\Omega$ ，流过电阻的电流 $I = 2A$ ，那么电阻两端的电压 $U_{AB} = I \cdot R = (2 \times 5) V = 10V$ 。

在图 1-1 (c) 所示电路中，流过电阻的电流 $I = 2A$ ，电阻两端的电压 $U_{AB} = 12V$ ，那么电阻的大小 $R = \frac{U}{I} = \frac{12}{2} \Omega = 6\Omega$ 。

下面再来说明欧姆定律在实际电路中的应用，如图 1-2 所示。

在图 1-2 所示电路中，电源的电动势 $E=12V$ ，A、D 之间的电压 U_{AD} 与电动势 E 相等，3 个电阻器 R_1 、 R_2 、 R_3 串接起来，可以相当于一个电阻器 R ， $R=R_1+R_2+R_3=(2+7+3)\Omega=12\Omega$ 。知道了电阻的大小和电阻器两端的电压，就可以求出流过电阻器的电流 I

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_{AD}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12}{12} A = 1A$$

求出了流过 R_1 、 R_2 、 R_3 的电流 I ，并且它们的电阻大小已知，就可以求 R_1 、 R_2 、 R_3 两端的电压 U_{R1} (U_{R1} 实际就是 A、B 两点之间的电压 U_{AB})、 U_{R2} (实际就是 U_{BC}) 和 U_{R3} (实际就是 U_{CD})，即

$$U_{R1} = U_{AB} = I \cdot R_1 = (1 \times 2)V = 2V$$

$$U_{R2} = U_{BC} = I \cdot R_2 = (1 \times 7)V = 7V$$

$$U_{R3} = U_{CD} = I \cdot R_3 = (1 \times 3)V = 3V$$

从上面可以看出 $U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = U_{AD} = 12V$

在图 1-2 所示电路中如何求 B 点电压呢？首先要明白，求某点电压指的就是求该点与地之间的电压，所以 B 点电压 U_B 实际就是电压 U_{BD} 。求 U_B 有以下两种方法。

方法一： $U_B = U_{BD} = U_{BC} + U_{CD} = U_{R2} + U_{R3} = (7+3)V = 10V$

方法二： $U_B = U_{BD} = U_{AD} - U_{AB} = U_{AD} - U_{R1} = (12-2)V = 10V$

2. 全电路欧姆定律

全电路是指含有电源和负载的闭合回路。全电路欧姆定律又称闭合电路欧姆定律，其内容是：闭合电路中的电流与电源的电动势成正比，与电路的内、外电阻之和成反比，即

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

全电路欧姆定律应用如图 1-3 所示。

图 1-3 中点画线框内为电源， R_0 表示电源的内阻， E 表示电源的电动势。当开关 S 闭合后，电路中有电流 I 流过，根据全电路欧

姆定律可求得 $I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{12}{10 + 2} A = 1A$ 。电源输出电压（也即电阻 R 两端的电压） $U = IR = 1 \times 10V =$

$10V$ ，内阻 R_0 两端的电压 $U_0 = IR_0 = 1 \times 2V = 2V$ 。如果将开关 S 断开，电路中的电流 $I = 0A$ ，那么内阻 R_0 上消耗的电压 $U_0 = 0V$ ，电源输出电压 U 与电源电动势相等，即 $U = E = 12V$ 。

由全电路欧姆定律不难看出以下几点。

① 在电源未接负载时，不管电源内阻多大，内阻消耗的电压始终为 $0V$ ，电源两端电压与电动势相等。

② 当电源与负载构成闭合回路后，由于有电流流过内阻，内阻会消耗电压，从而使电源输出电压降低。内阻越大，内阻消耗的电压越大，电源输出电压越低。

③ 在电源内阻不变的情况下，外阻越小，电路中的电流越大，内阻消耗的电压也越大，电源输出电压会降低。

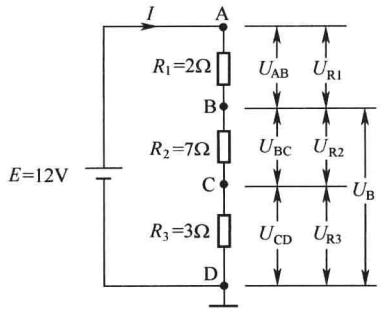


图 1-2 部分电路欧姆定律应用说明图

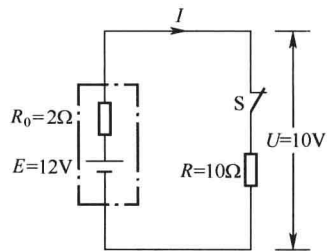


图 1-3 全电路欧姆定律应用说明图

由于正常电源的内阻很小,内阻消耗的电压很低,故一般情况下可认为电源的输出电压与电源电动势相等。

利用全电路欧姆定律可以解释很多现象。比如旧电池两端电压与正常电压相同,但将旧电池与电路连接后除了输出电流很小外,电池的输出电压也会急剧下降,这是旧电池内阻变大的缘故;又如将电源正、负极直接短路时,电源会发热甚至烧坏,这是因为短路时流过电源内阻的电流很大,内阻消耗的电压与电源电动势相等,大量的电能电源内阻上消耗并转换成热能,故电源会发热。

1.1.2 电功、电功率和焦耳定律

1. 电功

电流流过灯泡,灯泡会发光;电流流过电炉丝,电炉丝会发热;电流流过电动机,电动机会运转。由此可以看出,电流流过一些用电设备时是会做功的,电流做的功称为电功。用电设备做功的大小不但与加到用电设备两端的电压及流过的电流有关,还与通电时间长短有关。电功可用下面的公式计算

$$W = UIt$$

式中, W 表示电功,单位是焦(J); U 表示电压,单位是伏(V); I 表示电流,单位是安(A); t 表示时间,单位是秒(s)。

电功的单位是焦(J),在电学中还常用到另一个单位千瓦时(kW·h),也称度。1kW·h=1度。千瓦时与焦的换算关系是:

$$1\text{kW}\cdot\text{h}=1\times 10^3\text{W}\times(60\times 60)\text{s}=3.6\times 10^6\text{W}\cdot\text{s}=3.6\times 10^6\text{J}$$

1kW·h可以这样理解:一个电功率为100W的灯泡连续使用10h,消耗的电功为1kW·h(即消耗1度电)。

2. 电功率

电流需要通过一些用电设备才能做功。为了衡量这些设备做功能力的大小,引入一个电功率的概念。电流单位时间做的功称为电功率。电功率常用 P 表示,单位是瓦(W),此外还有千瓦(kW)和毫瓦(mW)等,它们之间的换算关系是

$$1\text{kW}=10^3\text{W}=10^6\text{mW}$$

电功率的计算公式是

$$P=UI$$

根据欧姆定律可知 $U=I\cdot R$, $I=U/R$,所以电功率还可以用公式 $P=I^2\cdot R$ 和 $P=U^2/R$ 来求。

下面以图1-4所示电路为例来说明电功率的计算方法。

在图1-4所示电路中,白炽灯两端的电压为220V(它与电源的电动势相等),流过白炽灯的电流为0.5A,求白炽灯的功率、电阻和白炽灯在10s所做的功。

$$\text{白炽灯的功率} \quad P=UI=220\text{V}\cdot 0.5\text{A}=110\text{V}\cdot\text{A}=110\text{W}$$

$$\text{白炽灯的电阻} \quad R=U/I=220\text{V}/0.5\text{A}=440\text{V}/\text{A}=440\Omega$$

$$\text{白炽灯在10s所做的功} \quad W=UIt=220\text{V}\cdot 0.5\text{A}\cdot 10\text{s}=1100\text{J}$$

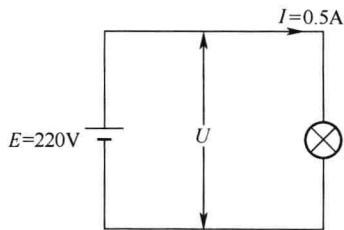


图1-4 电功率的计算说明图

3. 焦耳定律

电流流过导体时导体会发热,这种现象称为电流的热效应。电热锅、电饭煲和电热水器等都是

利用电流的热效应来工作的。

英国物理学家焦耳通过实验发现：电流流过导体，导体发出的热量与导体流过的电流、导体的电阻和通电的时间有关。这个关系用公式表示就是

$$Q=I^2Rt$$

式中， Q 表示热量，单位是焦 (J)； R 表示电阻，单位是欧 (Ω)； t 表示时间，单位是秒 (s)。

焦耳定律说明：电流流过导体产生的热量，与电流的平方及导体的电阻成正比，与通电时间也成正比。由于这个定律除了由焦耳发现外，俄国科学家楞次也通过实验独立发现，故该定律又称焦耳-楞次定律。

举例：某台电动机额定电压是 220V，线圈的电阻为 0.4Ω ，当电动机接 220V 的电压时，流过的电流是 3A，求电动机的功率和线圈每秒发出的热量。

电动机的功率是 $P=U \cdot I=220\text{V} \times 3\text{A}=660\text{W}$

电动机线圈每秒发出的热量 $Q=I^2Rt=(3\text{A})^2 \times 0.4\Omega \times 1\text{s}=3.6\text{J}$

1.1.3 电阻的串联、并联与混联

电阻的连接有串联、并联和混联 3 种方式。

1. 电阻的串联

两个或两个以上的电阻头尾相连串接在电路中，称为电阻的串联，如图 1-5 所示。

电阻串联电路的特点有以下几点。

- ① 流过各串联电阻的电流相等，都为 I 。
- ② 电阻串联后的总电阻 R 增大，总电阻等于各串联电阻之和，即

$$R=R_1+R_2$$

- ③ 总电压 U 等于各串联电阻上电压之和，即

$$U=U_{R_1}+U_{R_2}$$

- ④ 串联电阻越大，两端电压越高，因为 $R_1 < R_2$ ，所以 $U_{R_1} < U_{R_2}$ 。

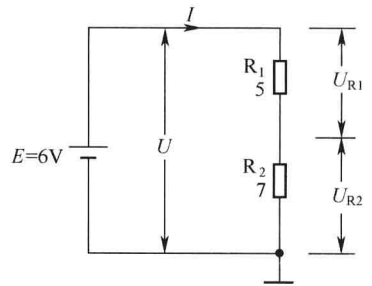


图 1-5 电阻的串联

在图 1-5 所示电路中，两个串联电阻上的总电压 U 等于电源电动势，即 $U=E=6\text{V}$ ；电阻串联后

总电阻 $R=R_1+R_2=12\Omega$ ；流过各电阻的电流 $I=\frac{U}{R_1+R_2}=\frac{6}{12}\text{A}=0.5\text{A}$ ；电阻 R_1 上的电压 $U_{R_1}=I \cdot R_1=(0.5 \times$

$5)\text{V}=2.5\text{V}$ ，电阻 R_2 上的电压 $U_{R_2}=I \cdot R_2=(0.5 \times 7)\text{V}=3.5\text{V}$ 。

2. 电阻的并联

两个或两个以上的电阻头尾相并接在电路中，称为电阻的并联，如图 1-6 所示。

电阻并联电路的特点有以下几点。

- ① 并联的电阻两端的电压相等，即

$$U_{R_1}=U_{R_2}$$

- ② 总电流等于流过各个并联电阻的电流之和，即

$$I=I_1+I_2$$

- ③ 电阻并联总电阻减小，总电阻的倒数等于各并联电阻的倒

数之和，即

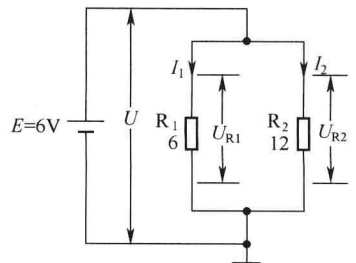


图 1-6 电阻的并联

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

该式可变形为

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

④ 在并联电路中, 电阻越小, 流过的电流越大, 因为 $R_1 < R_2$, 所以流过 R_1 的电流 I_1 大于流过 R_2 的电流 I_2 。

在图 1-6 所示电路中, 并联的电阻 R_1 、 R_2 两端的电压相等, $U_{R_1} = U_{R_2} = U = 6\text{V}$; 流过 R_1 的电流 $I_1 = \frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{6}{6} \text{A} = 1\text{A}$, 流过 R_2 的电流 $I_2 = \frac{U_{R_2}}{R_2} = \frac{6}{12} \text{A} = 0.5\text{A}$, 总电流 $I = I_1 + I_2 = (1 + 0.5) \text{A} = 1.5\text{A}$; R_1 、 R_2 并联总电阻为

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} \Omega = 4\Omega$$

3. 电阻的混联

一个电路中的电阻既有串联又有并联时, 称为电阻的混联, 如图 1-7 所示。

对于电阻混联电路, 总电阻可以这样求: 先求并联电阻的总电阻, 然后再求串联电阻与并联电阻的总电阻之和。在图 1-7 所示电路中, 并联电阻 R_3 、 R_4 的总电阻为

$$R_0 = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} \Omega = 4\Omega$$

电路的总电阻为

$$R = R_1 + R_2 + R_0 = (5 + 7 + 4) \Omega = 16\Omega$$

读者如果有兴趣, 可求图 1-7 所示电路中总电流 I , R_1 两端电压 U_{R_1} , R_2 两端电压 U_{R_2} , R_3 两端电压 U_{R_3} 和流过 R_3 、 R_4 的电流 I_3 、 I_4 的大小。

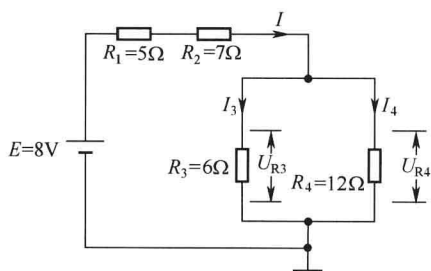


图 1-7 电阻的混联

1.2 复杂电路的分析方法与规律

1.2.1 基本概念

在分析简单电路时, 一般应用欧姆定律和电阻的串、并联规律, 但用它们来分析复杂电路就比较困难。这里的简单电路通常是指只有一个电源的电路, 而复杂电路通常是指有两个或两个以上电源的电路。对于复杂电路, 常用基尔霍夫定律、叠加定理和戴维南定理进行分析。在了解这些定律和定理之前先来说明几个基本概念。

1. 支路

支路是指由一个或几个元器件首尾相接构成的一段无分支的电路。在同一支路内, 流过所有元器件的电流相等。图 1-8 所示电路有 3 条支路, 即 BAFE 支路、BE 支路和 BCDE 支路。其中 BAFE 支路和 BCDE 支路中都含有电源, 这种含有电源的支路称为有源支路。BE 支路没有电源, 称为无源支路。

2. 节点

3条或3条以上支路的连接点称为节点。图1-8所示电路中的B点和E点都是节点。

3. 回路

电路中任意一个闭合的路径称为回路。图1-8所示电路中的ABEFA、BCDEB、ABCDEFA都是回路。

4. 网孔

内部不含支路的回路称为网孔。图1-8所示电路中的ABEFA、BCDEB回路是网孔，ABCDEFA就不是网孔，因为它含有支路BE。

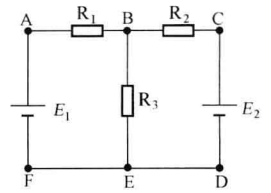


图 1-8 一种复杂电路

1.2.2 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律又可分为基尔霍夫第一定律（又称基尔霍夫电流定律）和基尔霍夫第二定律（又称基尔霍夫电压定律）。

1. 基尔霍夫第一定律（电流定律）

基尔霍夫第一定律指出，在电路中，流入任意一个节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。下面以图1-9所示的电路为例来说明该定律。

在图1-9所示电路中，流入A点的电流有3个，即 I_1 、 I_2 、 I_3 ；从A点流出的电流有两个，即 I_4 、 I_5 。由基尔霍夫第一定律可得

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

又可表示为

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

这里的“ Σ ”表示求和，可读作“西格马”。

如果规定流入节点的电流为正，流出节点的电流为负，那么基尔霍夫第一定律也可以这样叙述：在电路中任意一个节点上，电流的代数和等于0A，即

$$I_1 + I_2 + I_3 + (-I_4) + (-I_5) = 0A$$

也可以表示成

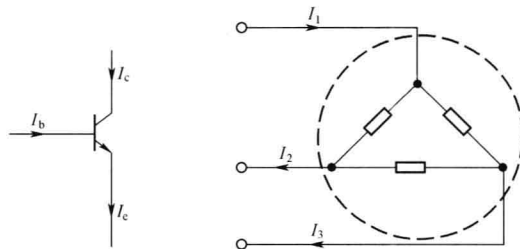
$$\sum I = 0A$$

基尔霍夫第一定律不但适合于电路中的节点，对一个封闭面也是适用的。如图1-10所示，图1-10(a)所示示意图中流入三极管的电流 I_b 、 I_c 与流出的电流 I_c 有以下关系

$$I_b + I_c = I_c$$

在图1-10(b)所示电路中，流入三角形负载的电流 I_1 与流出的电流 I_2 、 I_3 有以下关系

$$I_1 = I_2 + I_3$$



(a) 三极管流入、流出电流 (b) 三角形负载流入、流出电流

图 1-10 封闭面电流示意图

2. 基尔霍夫第二定律 (电压定律)

基尔霍夫第二定律指出, 电路中任一回路内各段电压的代数和等于 $0V$, 即

$$\sum U=0V$$

在应用基尔霍夫第二定律分析电路时, 需要先规定回路的绕行方向。当流过回路中某元件的电流方向与绕行方向一致时, 该元件两端的电压取正, 反之取负; 电源的电动势方向 (电源的电动势方向始终是由负极指向正极) 与绕行方向一致时, 电源的电动势取负, 反之取正。下面以图 1-11 所示的电路为例来说明这个定律。

先来分析图 1-11 所示电路中的 BCDFB 回路的电压关系。首先在这个回路中画一个绕行方向, 流过 R_2 的电流 I_2 和流过 R_3 的电流 I_3 与绕行方向一致, 故 $I_2 \cdot R_2$ (即 U_2) 和 $I_3 \cdot R_3$ (即 U_3) 都取正; 电源 E_2 的电动势方向与绕行方向一致, 电源 E_2 的电动势取负。根据基尔霍夫第二定律可得出

$$I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 + (-E_2) = 0V$$

再来分析图 1-11 所示电路中的 ABFHA 回路的电压关系。先在 ABFHA 回路中画一个绕行方向, 流过 R_1 的电流 I_1 方向与绕行方向相同, $I_1 \cdot R_1$ 取正; 流过 R_2 的电流 I_2 方向与绕行方向相反, $I_2 \cdot R_2$ 取负; 电源 E_2 的电动势方向 (负极指向正极) 与绕行方向相反, E_2 的电动势取正; 电源 E_1 的电动势方向与绕行方向相同, E_1 的电动势取负。根据基尔霍夫第二定律可得出

$$I_1 \cdot R_1 + (-I_2 \cdot R_2) + E_2 + (-E_1) = 0V$$

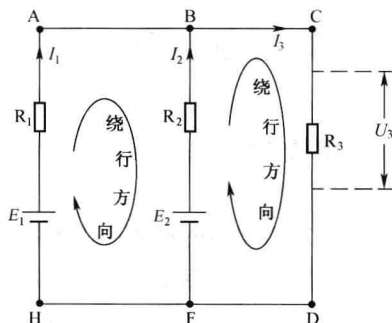


图 1-11 基尔霍夫第二定律说明图

3. 基尔霍夫定律的应用——支路电流法

对于复杂电路的计算常常要用到基尔霍夫第一、第二定律, 并且这两个定律经常同时使用, 下面介绍应用这两个定律计算复杂电路的一种方法——支路电流法。

支路电流法使用时的一般步骤如下。

- ① 在电路上标出各支路电流的方向, 并画出各回路的绕行方向。
- ② 根据基尔霍夫第一、第二定律列出方程组。
- ③ 解方程组求出未知量。

下面再举例说明支路电流法的应用。

图 1-12 所示为汽车照明电路, 其中 E_1 为汽车发电机的电动势, $E_1=14V$; R_1 为发电机的内阻, $R_1=0.5\Omega$; E_2 为蓄电池的电动势, $E_2=12V$; R_2 为蓄电池的内阻, $R_2=0.2\Omega$, 照明灯电阻 $R=4\Omega$ 。求各支路电流 I_1 、 I_2 、 I 和加在照明灯上的电压 U_R 。

解题过程如下。

第 1 步: 在电路中标出各支路电流 I_1 、 I_2 、 I 的方向, 并画出各回路的绕行方向。

第 2 步: 根据基尔霍夫第一、第二定律列出方程组。

节点 B 的电流关系为

$$I_1 + I_2 - I = 0A$$

回路 ABEFA 的电压关系为

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + E_2 - E_1 = 0V$$

回路 BCDEB 的电压关系为

$$I_2 R_2 + IR - E_2 = 0V$$

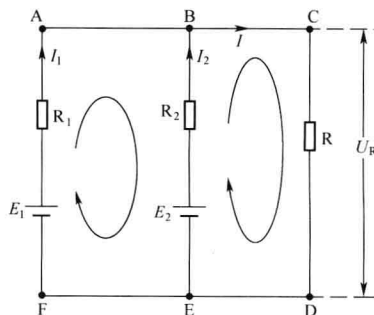


图 1-12 汽车照明电路