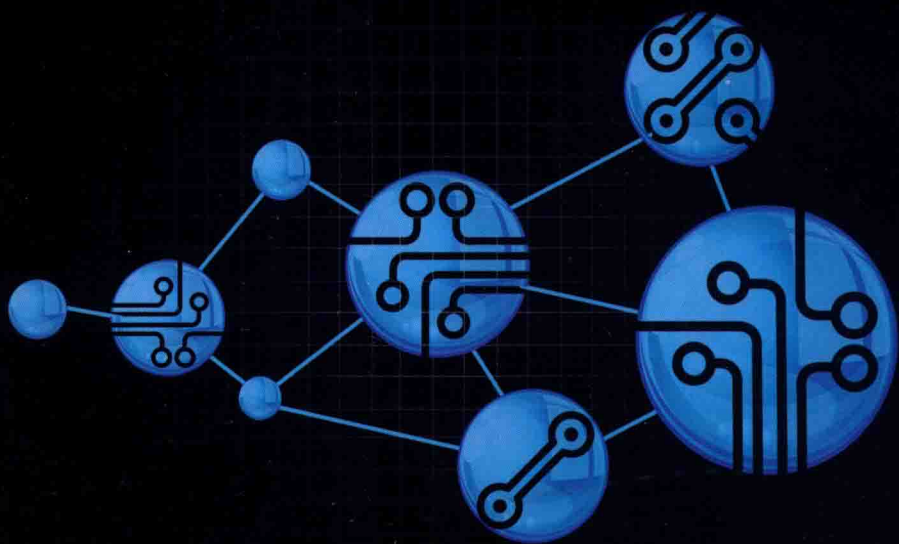


名师指引·看得懂·学得会
出版图书超过100本的知名作者蔡杏山新作



模拟电路 和 数字电路

蔡杏山 主编

自 学 手 册

低起点
初中文化即可学习本书

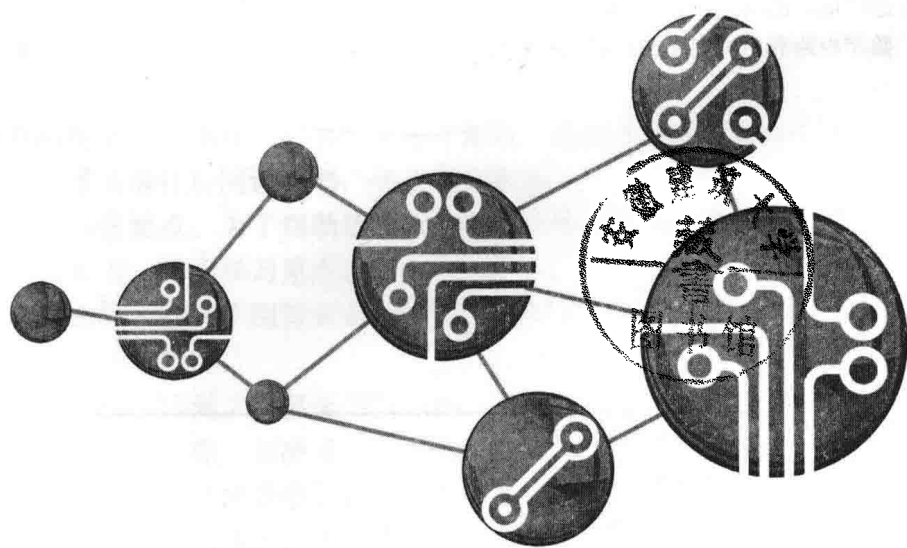
内容全
模拟电路、数字电路、电力电路全覆盖

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

模拟电路 和 数字电路 自学手册

蔡杏山 主编



人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路和数字电路自学手册 / 蔡杏山主编. -- 北京: 人民邮电出版社, 2018.9
ISBN 978-7-115-48641-7

I. ①模… II. ①蔡… III. ①模拟电路—手册②数字电路—手册 IV. ①TN710-62②TN79-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第171813号

内 容 提 要

本书是一本介绍模拟电路、数字电路和电力电子电路的图书,主要内容有电路分析基础、放大电路、集成运算放大器、谐振电路与滤波电路、正弦波振荡器、调制与解调电路、频率变换电路与反馈控制电路、电源电路、数字电路基础与门电路、数制编码与逻辑代数、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲电路、A/D(模/数)和D/A(数/模)转换电路、半导体存储器、整流电路(AC-DC变换电路)、斩波电路(DC-DC变换电路)、逆变电路(DC-AC变换电路)、PWM控制技术、交流调压电路、交-交变频电路(AC-AC变换电路)。

本书具有起点低、由浅入深、语言通俗易懂的特点,并且内容结构安排符合学习认知规律。本书适合作为模拟电路、数字电路和电力电子电路的自学图书,也适合作职业学校电类专业的电子电路教材。

◆ 主 编 蔡杏山

责任编辑 黄汉兵

责任印制 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>

三河市潮河印业有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 20.25

2018年9月第1版

字数: 505千字

2018年9月河北第1次印刷

定价: 69.00元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147号

电子技术无处不在，小到收音机，大到“神舟飞船”，无一不蕴含着电子技术的身影。电子技术应用到社会的众多领域，根据电子技术的应用领域不同，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）、军事科技电子技术（如导弹制导系统）等。

为了让更多人能掌握电子技术，我们编写了本书。

本书主要有以下特点：

◆**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比喻说明，尽量避免复杂的理论分析和烦琐的公式推导，图书阅读起来感觉会十分顺畅。

◆**内容解说详细。**考虑到读者自学时一般无人指导，因此在编写过程中对书中的知识技能进行详细解说，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。

◆**内容安排符合认识规律。**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，可登录易天电学网，阅读有关辅导材料或向老师提问进行学习。

本书在编写过程中得到了很多老师的支持，其中蔡玉山、詹春华、何慧、蔡理杰、黄晓玲、蔡春霞、邓艳姣、黄勇、刘凌云、邵永亮、蔡理忠、何彬、刘海峰、蔡理峰、李清荣、万四香、蔡任英、邵永明、蔡理刚、何丽、梁云、吴泽民、蔡华山和王娟等参与了部分章节的编写工作，在此一并表示感谢。由于我们水平有限，书中的错误和疏漏之处在所难免，望广大读者和同仁予以批评指正。

编 者

第 1 章 电路分析基础	1
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	6
1.2.1 基本概念	6
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	11
第 2 章 放大电路	13
2.1 基本放大电路	13
2.1.1 固定偏置放大电路	13
2.1.2 分压式偏置放大电路	15
2.1.3 交流放大电路	16
2.1.4 放大电路的三种基本接法	17
2.1.5 朗读助记器的原理与检修(一)	20
2.2 负反馈放大电路	23
2.2.1 反馈知识介绍	23
2.2.2 反馈类型的判别	23
2.2.3 负反馈放大电路	27
2.2.4 负反馈对放大电路的影响	28
2.2.5 朗读助记器的原理与检修(二)	29
2.3 功率放大电路	30
2.3.1 功率放大电路的三种状态	31
2.3.2 变压器耦合功率放大电路	32

2.3.3	OTL 功率放大电路	33
2.3.4	OCL 功率放大电路	34
2.3.5	朗读助记器的原理与检修 (三)	35
2.4	多级放大电路	36
2.4.1	阻容耦合放大电路	37
2.4.2	直接耦合放大电路	37
2.4.3	变压器耦合放大电路	37
2.5	场效应管放大电路	38
2.5.1	结型场效应管及其放大电路	38
2.5.2	增强型绝缘栅场效应管及其放大电路	40
2.5.3	耗尽型绝缘栅场效应管及其放大电路	42
第 3 章	集成运算放大器	44
3.1	直流放大器	44
3.1.1	直流放大器的级间静态工作点影响问题	44
3.1.2	零点漂移问题	45
3.2	差动放大器	46
3.2.1	基本差动放大器	46
3.2.2	实用的差动放大器	48
3.2.3	差动放大器的几种连接形式	49
3.3	集成运算放大器	51
3.3.1	集成运算放大器的基础知识	51
3.3.2	集成运算放大器的线性应用电路	52
3.3.3	集成运算放大器的非线性应用电路	55
3.3.4	集成运算放大器的保护电路	58
3.4	小功率集成立体声功放器的原理与检修	59
3.4.1	电路原理	59
3.4.2	电路检修	60
第 4 章	谐振电路与滤波电路	61
4.1	谐振电路	61
4.1.1	串联谐振电路	61
4.1.2	并联谐振电路	62
4.2	滤波电路	63
4.2.1	无源滤波器	63
4.2.2	有源滤波器	66
第 5 章	正弦波振荡器	69

5.1	振荡器基础知识	69
5.1.1	振荡器组成及原理	69
5.1.2	振荡器的工作条件	70
5.2	RC 振荡器	70
5.2.1	RC 移相式振荡器	70
5.2.2	RC 桥式振荡器	72
5.3	可调音频信号发生器的安装与检修	73
5.3.1	电路原理	73
5.3.2	电路检修	74
5.4	LC 振荡器	74
5.4.1	变压器反馈式振荡器	74
5.4.2	电感三点式振荡器	75
5.4.3	电容三点式振荡器	76
5.4.4	改进型电容三点式振荡器	77
5.5	晶体振荡器	78
5.5.1	石英晶体	78
5.5.2	晶体振荡器	79
第 6 章 调制与解调电路		81
6.1	无线电信号的发送与接收	81
6.1.1	无线电信号的发送	81
6.1.2	无线电信号的接收	83
6.2	调幅调制与检波电路	83
6.2.1	调幅调制电路	83
6.2.2	检波电路	84
6.3	调频调制与鉴频电路	85
6.3.1	调频调制电路	85
6.3.2	鉴频电路	87
第 7 章 频率变换电路与反馈控制电路		93
7.1	频率变换电路	93
7.1.1	倍频电路	93
7.1.2	混频电路	94
7.2	反馈控制电路	96
7.2.1	自动增益控制 (AGC) 电路	96
7.2.2	自动频率控制 (AFC) 电路	97
7.2.3	锁相环 (PLL) 控制电路	98

第 8 章 电源电路	100
8.1 整流电路.....	100
8.1.1 半波整流电路.....	101
8.1.2 全波整流电路.....	102
8.1.3 桥式整流电路.....	104
8.1.4 倍压整流电路.....	105
8.2 滤波电路.....	107
8.2.1 电容滤波电路.....	107
8.2.2 电感滤波电路.....	108
8.2.3 复合滤波电路.....	109
8.2.4 电子滤波电路.....	110
8.3 稳压电路.....	111
8.3.1 简单的稳压电路.....	111
8.3.2 串联型稳压电路.....	112
8.3.3 集成稳压电路.....	113
8.4 0~12V 可调电源的原理与检修.....	116
8.4.1 电路原理.....	116
8.4.2 电路的检修.....	117
8.5 开关电源.....	118
8.5.1 开关电源基本工作原理.....	118
8.5.2 三种类型的开关电源工作原理分析.....	118
8.5.3 自激式开关电源电路分析.....	120
8.5.4 他激式开关电源电路分析.....	123
第 9 章 数字电路基础与门电路	124
9.1 数字电路基础.....	124
9.1.1 模拟信号与数字信号.....	124
9.1.2 正逻辑与负逻辑.....	125
9.1.3 三极管的 3 种工作状态.....	125
9.2 基本门电路.....	126
9.2.1 与门.....	126
9.2.2 或门.....	128
9.2.3 非门.....	129
9.3 门电路实验板的电路原理与实验.....	130
9.3.1 电路原理.....	130
9.3.2 基本门实验.....	131
9.4 复合门电路.....	132

9.4.1	与非门	132
9.4.2	或非门	133
9.4.3	与或非门	134
9.4.4	异或门	135
9.4.5	同或门	137
9.5	集成门电路	138
9.5.1	TTL 集成门电路	138
9.5.2	CMOS 集成门电路	144
第 10 章	数制、编码与逻辑代数	150
10.1	数制	150
10.1.1	十进制数	150
10.1.2	二进制数	151
10.1.3	十六进制数	152
10.1.4	数制转换	152
10.2	编码	153
10.2.1	8421BCD 码、2421BCD 码和 5421BCD 码	154
10.2.2	余 3 码	155
10.2.3	格雷码	155
10.2.4	奇偶校验码	155
10.3	逻辑代数	156
10.3.1	逻辑代数的常量和变量	156
10.3.2	逻辑代数的基本运算规律	156
10.3.3	逻辑表达式的化简	158
10.3.4	逻辑表达式、逻辑电路和真值表相互转换	160
10.3.5	逻辑代数在逻辑电路中的应用	162
第 11 章	组合逻辑电路	163
11.1	组合逻辑电路分析与设计	163
11.1.1	组合逻辑电路的分析	163
11.1.2	组合逻辑电路的设计	164
11.2	编码器	165
11.2.1	普通编码器	166
11.2.2	优先编码器	166
11.3	译码器	169
11.3.1	二进制译码器	169
11.3.2	二-十进制译码器	171
11.3.3	数码显示器与显示译码器	174

11.4	数码管译码控制器的电路原理与实验	179
11.4.1	电路原理	180
11.4.2	实验操作	181
11.5	加法器	181
11.5.1	半加法器	181
11.5.2	全加法器	182
11.5.3	多位加法器	183
11.6	数值比较器	184
11.6.1	等值比较器	184
11.6.2	数值比较器	185
11.7	数据选择器	187
11.7.1	结构与原理	187
11.7.2	常用数据选择器芯片	188
11.8	奇偶校验器	189
11.8.1	奇偶校验原理	189
11.8.2	奇偶校验器	190
第 12 章 时序逻辑电路		192
12.1	触发器	192
12.1.1	基本 RS 触发器	192
12.1.2	同步 RS 触发器	194
12.1.3	D 触发器	195
12.1.4	JK 触发器	197
12.1.5	T 触发器	199
12.1.6	主从触发器和边沿触发器	200
12.2	寄存器与移位寄存器	202
12.2.1	寄存器	202
12.2.2	移位寄存器	204
12.3	计数器	208
12.3.1	二进制计数器	208
12.3.2	十进制计数器	212
12.3.3	任意进制计数器	213
12.3.4	常用计数器芯片	214
12.4	电子密码控制器的电路原理与实验	217
12.4.1	电路原理	217
12.4.2	实验操作及分析	221
第 13 章 脉冲电路		222

13.1	脉冲电路基础	222
13.1.1	脉冲的基础知识	222
13.1.2	RC 电路	223
13.2	脉冲产生电路	226
13.2.1	多谐振荡器	226
13.2.2	锯齿波发生器	228
13.3	脉冲整形电路	229
13.3.1	单稳态触发器	229
13.3.2	施密特触发器	233
13.3.3	限幅电路	236
13.4	555 定时器	238
13.4.1	结构与原理	239
13.4.2	应用	240
13.5	电子催眠器的电路原理与实验	243
13.5.1	电子催眠原理	243
13.5.2	电路原理	244
13.5.3	实验操作及分析	245
第 14 章 A/D(模/数)和 D/A(数/模)转换电路		246
14.1	概述	246
14.2	D/A (数/模) 转换电路	247
14.2.1	D/A 转换原理	247
14.2.2	D/A 转换器	247
14.2.3	D/A 转换芯片 DAC0832	250
14.3	A/D (模/数) 转换电路	252
14.3.1	A/D 转换原理	252
14.3.2	A/D 转换器	254
14.3.3	A/D 转换芯片 ADC0809	256
第 15 章 半导体存储器		259
15.1	顺序存储器 (SAM)	259
15.1.1	动态移存单元	259
15.1.2	动态移存器	260
15.1.3	顺序存储器	260
15.2	随机存储器 (RAM)	262
15.2.1	随机存储器的结构与原理	262
15.2.2	存储单元	264

15.2.3	存储器容量的扩展	267
15.3	只读存储器 (ROM)	268
15.3.1	固定只读存储器 (ROM)	269
15.3.2	可编程只读存储器 (PROM)	270
15.3.3	可改写只读存储器 (EPROM)	271
15.3.4	电可改写只读存储器 (EEPROM)	272
第 16 章	电力电子电路	273
16.1	整流电路 (AC-DC 变换电路)	273
16.1.1	不可控整流电路	273
16.1.2	可控整流电路	275
16.2	斩波电路 (DC-DC 变换电路)	278
16.2.1	基本斩波电路	279
16.2.2	复合斩波电路	283
16.3	逆变电路 (DC-AC 变换电路)	286
16.3.1	逆变原理	286
16.3.2	电压型逆变电路	286
16.3.3	电流型逆变电路	290
16.3.4	复合型逆变电路	292
16.4	PWM 控制技术	295
16.4.1	PWM 控制的基本原理	295
16.4.2	SPWM 波的产生	296
16.4.3	PWM 控制方式	299
16.4.4	PWM 整流电路	302
16.5	交流调压电路	304
16.5.1	单向晶闸管交流调压电路	304
16.5.2	双向晶闸管交流调压电路	305
16.5.3	脉冲控制交流调压电路	305
16.5.4	三相交流调压电路	307
16.6	交-交变频电路 (AC-AC 变换电路)	308
16.6.1	单相交-交变频电路	308
16.6.2	三相交-交变频电路	311

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 $R = \frac{U}{I}$ 。式中， R 的单位是欧姆 (Ω)， U 的单位是伏特 (V)， I 的单位是安培 (A)。

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。

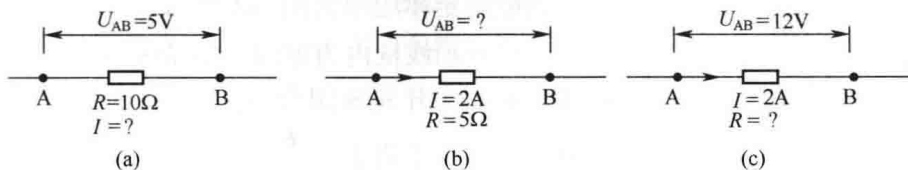


图 1-1 欧姆定律的几种形式

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, 三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 串接起来, 可以相当于一个电阻 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两端的电压, 就可以求出流过电阻的电流 I

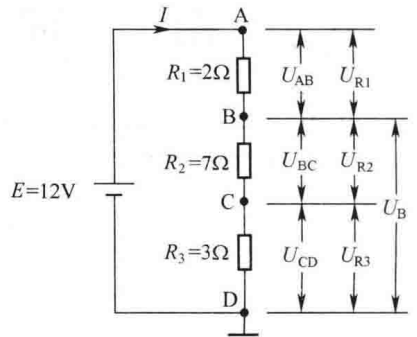


图 1-2 部分电路欧姆定律应用说明图

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

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

$$\begin{aligned} U_{R1} &= U_{AB} = I \cdot R_1 = (1 \times 2)V = 2V \\ U_{R2} &= U_{BC} = I \cdot R_2 = (1 \times 7)V = 7V \\ U_{R3} &= U_{CD} = I \cdot R_3 = (1 \times 3)V = 3V \end{aligned}$$

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

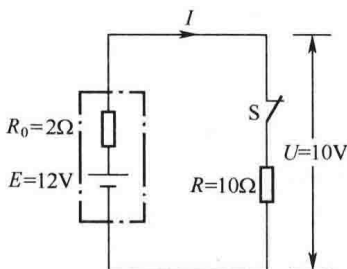


图 1-3 全电路欧姆定律应用说明图

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

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 $U=E=12V$ 。

根据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电路后, 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, 如果外阻越小, 电路中的电流越大, 内阻消耗的电压也越大, 电源输出电压也会降低。

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, 这是因为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, 大量的电能在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); t 表示时间, 单位是秒 (s)。

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

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

$1kW \cdot h$ 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 $1kW \cdot h$ (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), 它们之间的换算关系是

$$1kW=10^3W=10^6mW$$

电功率的计算公式是

$$P=UI$$

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

下面以图 1-4 所示电路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。

白炽灯的功率 $P=UI=220V \times 0.5A=110W$

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

白炽灯在 10s 做的功 $W=UIt=220V \times 0.5A \times 10s=1100J$

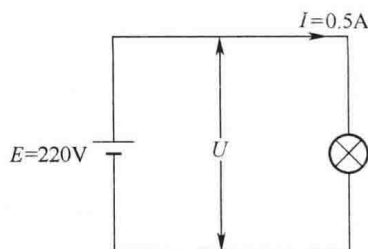


图 1-4 电功率的计算说明图

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，单位是焦耳 (J)； 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 $P=U \times I=220V \times 3A=660W$

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

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。

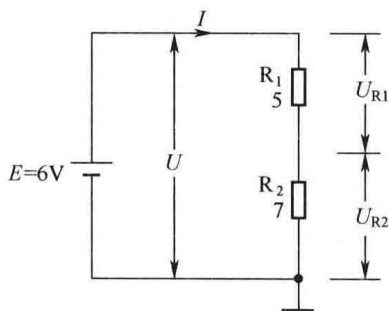


图 1-5 电阻的串联

- 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

$$U=U_{R1}+U_{R2}$$

- ④ 串联电阻越大，两端电压越高，因为 $R_1 < R_2$ ，所以

$$U_{R1} < U_{R2}。$$

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 $U=E=6V$ ；电阻串联后总电阻 $R=R_1+R_2=12\Omega$ ；流过各电阻的电流 $I=\frac{U}{R_1+R_2}=\frac{6}{12}A=0.5A$ ；电阻 R_1 上的电压

$U_{R1} = I \times R_1 = (0.5 \times 5)V = 2.5V$, 电阻 R_2 上的电压 $U_{R2} = I \times R_2 = (0.5 \times 7)V = 3.5V$ 。

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

$$U_{R1} = U_{R2}$$

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

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

该式可变形为

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

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, $U_{R1} = U_{R2} = U = 6V$; 流过 R_1 的电流 $I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{6}{6} A = 1A$, 流过 R_2 的电流 $I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{6}{12} A = 0.5A$, 总电流 $I = I_1 + I_2 = (1 + 0.5)A = 1.5A$;

R_1 、 R_2 并联总电阻 R 为

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

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 R_0 为

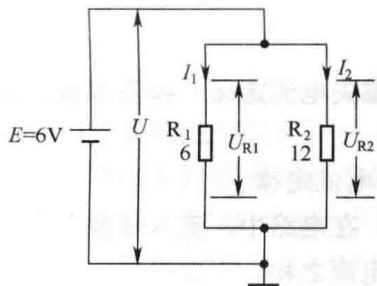


图 1-6 电阻的并联

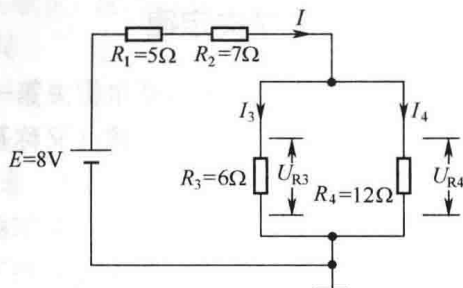


图 1-7 电阻的混联

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

电路的总电阻 R 为

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