



电子电工

经典畅销

图书专辑

图解电工技术 速学速用

【 基础知识完美展现

实用技能轻松掌握 】

■ 王兰君
王文婷
于洪晓
编 著

重塑精品，
再造经典！

尽显大师风范



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

电子电工

经典畅销

图书专辑

图解电工技术 速学速用

王兰君
王文婷
于洪晓
编 著

再造经典!

尽显大师风范

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

图解电工技术速学速用 / 王兰君, 王文婷, 于洪晓
编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.6
(电子电工经典畅销图书专辑)
ISBN 978-7-115-22822-2

I. ①图… II. ①王… ②王… ③于… III. ①电工技
术—图解 IV. ①TM-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第067841号

内 容 提 要

《图解电工技术速学速用》一书, 以图解的方式, 通俗易懂地介绍了电工基础知识与操作技能。本书形式新颖, 别具一格, 内容包括: 电工技术基础知识、电子技术基础知识、电工识图入门、电工常用工具及测量工具、电工基本操作技能、电工照明安装与电度表安装、低压电器及应用、电动机及应用、电力变压器、电工实践电路、数控机床与可编程控制器、变频器与软启动器、安全用电等。

本书适合广大城乡电工人员, 特别是初级、中级电工人员, 职业技术学院相关专业师生以及下岗职工再就业人员阅读, 也可供电工电子爱好者、家庭生活中电工操作人员等阅读参考。

电子电工经典畅销图书专辑

图解电工技术速学速用

-
- ◆ 编 著 王兰君 王文婷 于洪晓
责任编辑 姚予疆
执行编辑 王朝辉
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 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: 16
字数: 376千字
印数: 1—4 000册
- 2010年6月第1版
2010年6月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-22822-2

定价: 30.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

丛书前言

现代社会,科学技术高速发展,电子技术、电工技术得到了越来越广泛的应用,社会对电子技术、电工技术人才的需求也日益迫切。电子技术和电工技术同属于电类技术,而且是知识性、实践性和专业性都很强的实用技术,学习起来有一定的难度,初学者普遍感到入门难。如何轻轻松松上手,如何学以致用,成为广大初学者最为关注的问题。

人民邮电出版社一直致力于为广大电类技术初学者提供实用的入门读物,出版了大量高品质的图书,其中《无线电爱好者丛书》包括数十个品种,累计发行上千万册;《电工实用线路 300 例》重印了数十次,累计发行 43 万册。这些图书以准确的定位、实用的内容和通俗易懂的表述方式受到了广大读者的青睐,成为同类书中的经典畅销书,影响了一代又一代的电类技术爱好者。

近年来,电类技术基础读物出版量暴增,大量图书充斥市场,使得读者选购起来感到很困惑。为了满足广大初学者“读一本好书、学一门技术”的需求,人民邮电出版社下大力气,组织了一批知名作者,精心策划并出版了这套《电子电工经典畅销图书专辑》。

本专辑图书的策划思想是“重塑精品,再造经典”。我们精选了久经市场考验,深受读者欢迎的作品,根据最新技术的发展,对其进行内容整合、优化完善,既保留这些经典作品的精华,又与时俱进,融入最新的技术,提高图书的科学性和实用性。同时创新图书的表现形式,力争降低读者的阅读难度,轻松引领初学者迈入电类技术的殿堂。希望这批读者“看得懂、学得会”的“精品”读物,再次成为受读者欢迎的经典流传之作。

本专辑图书涉及了电子技术和电工技术基础领域的方方面面,所讲授的内容都是初学者必须掌握的基础知识和基本技能。这些图书具有以下共同的特点。

◆ 起点低, 适合初学者选用

本专辑图书在内容的编排上遵循初学者的认知规律,由浅入深、循序渐进地讲解知识点,入门级读者也能轻松看懂。

◆ 内容实用, 可操作性强

本专辑图书注重内容的实用性,强调动手实践能力的培养,读者在阅读后即可学以致用,解决生活中、工作中遇到的实际问题。

◆ 图文并茂, 通俗易懂

本专辑图书大量采用“图解”的表述风格,以降低初学者的阅读难度,使其真正能够“一看就懂、一学就会”。

希望本专辑图书的出版能对广大初学者学习电类技术和走向就业岗位有所帮助。

前言

随着经济建设的蓬勃发展，社会电气化程度日益提高。在各行各业，有越来越多的人加入到电气技术人员的行列；还有一些下岗人员，希望通过自学掌握电工技能，实现再就业。为了满足初级电工人员和想寻求一技之长的社会人员的学习要求，编者根据多年的工作经验，精心编写了这本《图解电工技术速学速用》。

本书面向初级、中级电工人员，以循序渐进的教学原则培养电工人员的操作能力。书中内容以电工常用的操作技能为主线，穿插必要的图示和文字，直观明了地介绍了电工基本知识和基本技能。通过图文并茂的形式表达电工在工作中的常规操作方法，多以现场映示教学的方法，讲解电工操作基本技能，形式新颖，方法独特，使读者“一看即懂，一学就会”。

本书语言浅显易懂，内容突出基础知识与基本操作技能，强调实用性，注重实践，轻松直观入门。力求使读者阅读后，能很快应用到实际工作当中，从而达到花最少的时间，学最实用的技术的目的。

参加本书编写的还有黄鑫、李燕、凌黎、凌万泉、李渝陵、朱雷雷、凌玉泉、高惠瑾、凌珍泉、贾贵超、刘守真、刘彦爱、谭亚林等。

由于作者水平有限，书中难免存在错误和疏漏，敬请广大读者批评指正，不胜感谢。

编者

目录

第

1

电工技术基础知识

章

- 1.3 电的基本知识..... 1
- 1.2 直流电路..... 4
- 1.3 电与磁..... 9
- 1.4 交流电路..... 12

第

2

电子技术基础知识

章

- 2.1 电阻器及其命名方法..... 17
- 2.2 电容器及其命名方法..... 17
- 2.3 无极性电容器及其好坏的判别方法..... 18
- 2.4 电解电容器及其好坏的判别方法..... 18
- 2.5 半导体..... 19
- 2.6 PN 结及其单向导电特性..... 20
- 2.7 二极管的结构及其命名方法..... 21
- 2.8 二极管的检测及其好坏的判别方法..... 22
- 2.9 三极管的结构及其命名方法..... 23
- 2.10 三极管的放大作用..... 23
- 2.11 整流电路..... 24

第

3

电工识图入门

章

- 3.1 最简单的电路图..... 26
- 3.2 电路原理图及其绘制原则..... 26
- 3.3 控制元器件板面位置图及其绘制原则..... 28
- 3.4 控制元器件接线图及其绘制原则..... 28
- 3.5 电路图中常用图形符号和文字符号..... 29

第

4

电工常用工具

章

- 4.1 验电笔..... 33
- 4.2 高压验电器..... 34
- 4.3 螺丝刀..... 35
- 4.4 钢丝钳..... 36
- 4.5 尖嘴钳..... 37
- 4.6 电工刀..... 38
- 4.7 活络扳手..... 38
- 4.8 镊子..... 39
- 4.9 拉具..... 39
- 4.10 喷灯..... 41
- 4.11 断线钳..... 42
- 4.12 剥线钳..... 42
- 4.13 压线钳..... 43
- 4.14 手用钢锯..... 44
- 4.15 千分尺..... 44
- 4.16 锉刀..... 45
- 4.17 手锤..... 45
- 4.18 梯子..... 46
- 4.19 电工工具套..... 47
- 4.20 电烙铁..... 48
- 4.21 转速表..... 49
- 4.22 手摇绕线机..... 51
- 4.23 手电钻..... 52
- 4.24 冲击电钻..... 53
- 4.25 电锤..... 53
- 4.26 万用表..... 53
- 4.27 钳形电流表..... 56
- 4.28 兆欧表..... 58
- 4.29 示波器..... 60

第

5

电工基本操作技能

章

- 5.1 导线绝缘层的剥削..... 64

5.2	导线的连接	67
5.3	导线连接处绝缘层的恢复	73
5.4	软导线打结	74
5.5	导线在绝缘子上的固定	75

第

6

电工照明安装与电度表安装

章

6.1	白炽灯	78
6.2	节能灯	78
6.3	自镇流荧光高压汞灯	79
6.4	日光灯	80
6.5	启辉器	80
6.6	日光灯镇流器	81
6.7	日光灯电容器	81
6.8	照明开关	82
6.9	常用插头、插座	82
6.10	照明开关控制一盏灯的接线方法	83
6.11	双联开关的安装方法	84
6.12	白炽灯敷设线路	85
6.13	白炽灯拉线开关的安装	85
6.14	照明吊线盒的安装	87
6.15	照明螺口灯头的安装	89
6.16	照明座口灯头的安装	90
6.17	照明水银灯的安装	92
6.18	插头、插座安装及接法	93
6.19	白炽灯故障检修	95
6.20	日光灯的安装	98
6.21	日光灯的故障检修	101
6.22	电度表的原理	104
6.23	电度表安装时的注意事项	105
6.24	电度表安装和使用时的注意事项	106
6.25	单相电度表选择	106
6.26	单相电度表的种类、规格	107
6.27	三相电度表	107
6.28	三相电度表安装注意事项	107
6.29	三相电度表使用中的注意事项	109
6.30	电度表故障检修	109

第

7

低压电器及应用

章

7.1	瓷插式熔断器	111
7.2	螺旋式熔断器	112
7.3	RM10 系列无填料封闭管式熔断器	113
7.4	RT0 系列有填料封闭管式熔断器	114
7.5	胶盖刀开关	116
7.6	铁壳开关	118
7.7	组合开关	119
7.8	低压断路器	121
7.9	交流接触器	125
7.10	热继电器	130
7.11	时间继电器	132
7.12	中间继电器	135
7.13	过电流继电器	136
7.14	预置数数显计数继电器	137
7.15	控制按钮	138
7.16	行程开关	140
7.17	星-三角启动器	142
7.18	自耦减压启动器	144
7.19	磁力启动器	146

第

8

电动机及应用

章

8.1	电动机分类及结构形式	149
8.2	电动机的铭牌	149
8.3	电动机的星形实际操作接法	152
8.4	电动机的三角形实际操作接法	153
8.5	JO ₂ 系列三相异步电动机的使用	155
8.6	Y 系列三相异步电动机的使用	156
8.7	电动机的安装与校正	157
8.8	电动机的定期检查与保养	158
8.9	电动机运行中的监视	158
8.10	启动电动机时应注意的问题	159
8.11	电动机的保护接地及接零方法	160
8.12	电动机故障的检查	161

8.13 电动机工作不正常的原因	165
8.14 三相异步电动机常见故障检修	166

第

9

电力变压器

章

9.1 变压器的工作原理	172
9.2 变压器的结构	173
9.3 变压器的铭牌	175
9.4 几种常用变压器	176
9.5 电力系统	178

第

10

电工实践电路

章

10.1 手动正转控制电路	180
10.2 采用转换开关的控制电路	180
10.3 用倒顺开关的正反转控制 电路	180
10.4 具有自锁的正转控制电路	181
10.5 具有过载保护的 正转控制 电路	182
10.6 按钮联锁的正反转控制电路	182
10.7 接触器联锁的正反转控制电路	183
10.8 按钮、接触器复合联锁的 正反转控制电路	183
10.9 用按钮点动控制电动机启停 电路	184
10.10 点动与连续运行控制电路	184
10.11 避免误操作的两地控制电路	185
10.12 三地(多地点)控制电路	186
10.13 两台电动机按顺序启动而 逆序停止的控制电路	186
10.14 电动机间歇运行电路	187
10.15 电动机短时间停电后来电的 自动快速再启动电路	187
10.16 自动往返控制电路	188
10.17 手动控制Y- Δ 减压启动电路	188
10.18 时间继电器控制Y- Δ 减压 启动电路	189
10.19 接触器控制的手动Y- Δ 减压	

启动电路	190
------------	-----

10.20 延长转换时间的接触器Y- Δ 减压启动电路	190
10.21 手动控制自耦变压器减压 启动电路	191
10.22 时间继电器控制自耦变压器 减压启动电路	192
10.23 两接触器控制自耦变压器 减压启动电路	192
10.24 电动机定子串电阻减压启动 手动控制电路	193
10.25 电动机定子串电阻减压启动 自动控制电路	194
10.26 绕线转子单向运行转子串频敏 变阻器启动电路	194
10.27 电磁抱闸制动控制电路	195
10.28 单向运转反接制动控制电路	196
10.29 单向运转半波整流能耗 制动电路	196
10.30 单向运转全波整流能耗 制动电路	197
10.31 用八挡按钮操作的行车 控制电路	198
10.32 电磁调速控制器电路	198

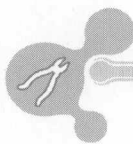
第

11

数控机床与可编程控制器

章

11.1 数控机床	201
11.1.1 数控机床基本知识	201
11.1.2 数控机床的控制原理	201
11.1.3 数控机床的特点	201
11.1.4 数控机床的组成	201
11.1.5 数控机床的常见故障及检修方法	203
11.2 可编程控制器	204
11.2.1 可编程控制器的特点	204
11.2.2 可编程控制器的组成	205
11.2.3 可编程控制器的控制系统组成 及其等效电路	206
11.2.4 可编程控制器的编程原则	207
11.2.5 可编程控制器的编程方法	208
11.2.6 可编程控制器的常用指令	209
11.2.7 用可编程控制器对电动机进行	



正反转控制	210
11.2.8 可编程控制器的常见故障	211

第

12

变频器与软启动器

12.1 变频器的安装和使用	212
12.1.1 变频器的安装	212
12.1.2 变频器的使用	213
12.2 变频器的电气控制电路	213
12.2.1 主回路端子的接线	214
12.2.2 控制电路端子的接线	215
12.3 变频器的实际应用电路	217
12.3.1 有正反转功能变频器控制电动机正反转调速电路	217
12.3.2 无正反转功能变频器控制电动机正反转调速电路	217
12.3.3 电动机变频器的步进运行及点动运行电路	218
12.3.4 用单相电源变频控制三相电动机电路	219
12.4 变频器检修实例	220
12.4.1 艾默生 TD3000 系列变频器的常见故障及检修方法	220
12.4.2 康沃 CVF—G2 系列变频器的常见故障及检修方法	222
12.5 软启动器的特点	223
12.6 软启动器的电气控制电路	224
12.6.1 软启动器的主回路连接图	224
12.6.2 软启动器的总电路连接图	224
12.7 软启动器的实际应用电路	225

12.7.1 西普 STR 软启动器一台控制两台电动机电路	225
12.7.2 西普 STR 软启动器一台启动两台电动机电路	226
12.8 软启动器检修实例	227
12.8.1 ABB PST/PSTB 软启动器的常见故障及检修方法	227
12.8.2 奥托软启动器 QB ₃ 、QB ₄ 的常见故障及检修方法	228

第

13

安全用电基本知识

章

13.1 电流对人体的危害	230
13.2 预防触电的安全措施	230
13.3 生活中安全用电注意事项	231
13.4 漏电保护器的选用	231
13.5 接地和接零	232
13.6 接地或接零的方法	235
13.7 接地或接零的维护	235
13.8 电气设备接地或接零的范围	235
13.9 触电的几种情况	236
13.10 触电后的急救措施	237
13.11 触电急救方法	239
13.12 人工呼吸法	240
13.13 胸外心脏按摩法	242
13.14 防雷电措施	243
13.15 电气消防安全常识	244
13.16 电工常用安全警示标志	246

第1章 电工技术基础知识

1.1

电的基本知识

1. 电流

金属中含有大量的自由电子，当把金属导体和一个电池接成闭合回路时，导体中的自由电子（负电荷）就会受到电池负极的排斥和正极的吸引，驱使它们朝着电池正极运动。自由电子的这种有规则的运动，形成了金属导体中的电流。习惯上人们都把正电荷移动的方向定为电流的方向，它与自由电子移动的方向相反，如图 1-1 所示。

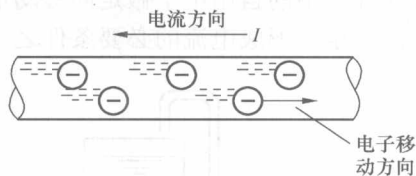


图 1-1 电流的方向

在实际工作中，我们常常需要知道电路中电流的大小。电流的大小可以用每单位时间内通过导体任一横截面的电荷量来计算，称为电流强度，简称电流。

电流强度的单位是安培，它是这样规定的：1 秒钟内通过导体横截面上的电荷量 Q 为 1 库仑（注：1 库仑相当于 6.242×10^{18} 个电子所带的电荷量），则电流强度就是 1 安培，即

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

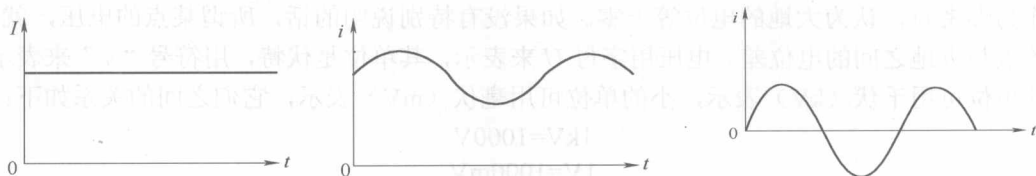
安培用符号“A”表示。在实际工作中，还常常用到较小的单位，它们的关系是：

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = \frac{1}{1000} \text{ 安培 (A)}$$

$$1 \text{ 微安 (}\mu\text{A)} = \frac{1}{1000} \text{ 毫安 (mA)}$$

$$= \frac{1}{1000000} \text{ 安培 (A)}$$

大小和方向都不随时间变化的电流，称为直流电流，如图 1-2 (a) 所示；方向始终不变，



(a) 直流电流

(b) 脉动电流

(c) 交流电流

图 1-2 电流的波形



而大小随时间变化的电流,叫做脉动电流,如图 1-2 (b) 所示;大小和方向均随时间作周期性变化的电流,称为交流电流,如图 1-2 (c) 所示。

例题 1 在一小时内通过导体横截面的电荷量为 900 库仑,求电流强度。

解: 电流强度可按下式求出

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{900}{1 \times 3600} = 0.25 \text{ (A)}$$

式中, I 为电流强度,单位为安培 (A); Q 为电荷量,单位为库仑 (C); t 为时间,单位为秒 (s)。

2. 电压

在照明电路中,如果接通开关,电灯灯丝中就有了电流;关灯后,灯丝中则没有了电流。而导体中形成持续电流的条件是什么呢?大家知道,河水总是从高处向低处流。因此,要形成水流,就必须使水流两端具有一定的水位差,也叫水压。与此相似,在电路里,使金属导体中的自由电子做定向移动形成电流的原因是导体的两端具有的电压,如图 1-3 所示。电压是形成电流的必要条件之一。

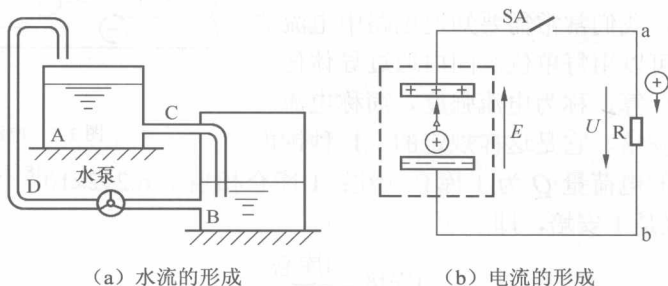


图 1-3 水流和电流的形成

一般情况下,物体所带正电荷越多,其电位越高。如果把两个电位不同的带电体用导线连接起来,电位高的带电体中的正电荷便向电位低的那个带电体流去,于是导体中便产生了电流。就如同水会从高处向较低处流一样。在电路中,任意两点之间的电位差,称为该两点间的电压。

电压也分直流电压和交流电压,电池上的电压为直流电压,它是通过化学反应维持电能量的。交流电压是随时间周期变化的电压。发电厂的电压一般为交流电压。

在实际应用中提到的电压,一般是指两点之间的电位差,通过是以认定的某一点作为参考点。所谓某点的电压,就是指该点与参考点之间的电位差。在电力工程中,规定以大地作为参考点,认为大地的电位等于零。如果没有特别说明的话,所谓某点的电压,就是指该点与大地之间的电位差。电压用字母 U 来表示,其单位是伏特,用符号“V”来表示,大的单位可用千伏 (kV) 表示,小的单位可用毫伏 (mV) 表示,它们之间的关系如下:

$$1\text{kV}=1000\text{V}$$

$$1\text{V}=1000\text{mV}$$

我国规定标准电压有许多等级,经常接触的有:安全电压 12V、36V,民用市电单相电压 220V,低压三相电压 380V,城乡高压配电电压 10kV 和 35kV,输电电压 110kV 和

220kV, 还有长距离超高压输电电压 330kV 和 500kV。

3. 电阻

自由电子在导体中沿一定方向流动时, 不可避免地会遇到阻力, 这种阻力是自由电子与导体中的原子发生碰撞而产生的。导体中存在的这种阻碍电流通过的阻力叫电阻, 电阻值用符号“ R ”表示。

电阻的基本单位是欧姆, 用希腊字母“ Ω ”来表示。如果在电路两端所加的电压是 1 伏特, 流过这段电路的电流恰好是 1 安培, 那么这段电阻就定为 1 欧姆。在实际工作中, 如果电阻比较大, 常常采用较大的单位, 它们之间的关系如下:

$$1 \text{ 千欧 (k}\Omega\text{)} = 10^3 \text{ 欧姆 (}\Omega\text{)}$$

$$1 \text{ 兆欧 (M}\Omega\text{)} = 10^6 \text{ 欧姆 (}\Omega\text{)}$$

导体电阻的大小与制成导体的材料、几何尺寸和温度有关。一般导线的电阻可由以下公式求得:

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

式中: l 为导线长度, 单位为 m; S 为导线的横截面面积, 单位为 mm^2 ; ρ 为电阻系数, 也叫电阻率, 单位为 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

电阻系数 ρ 是电工计算中的一个重要物理常数, 不同材料物体的电阻系数各不相同。电阻系数直接反映着各种材料导电性能的好坏。某种材料的电阻系数越大, 表示其导电能力越差; 电阻系数越小, 表示其导电性能越好。常用金属的电阻系数如表 1-1 所示。

▼ 表 1-1 常用金属的电阻系数 (20°C)

材 料	电阻系数 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	材 料	电阻系数 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
银	0.0165	铜	0.0175
钨	0.0551	铁	0.0978
铅	0.222	铸铁	0.5
黄铜 (铜锌合金)	0.065	铝	0.0283
康铜	0.44		

例题 2 一根铜导线, 直径为 1mm, 长度为 10m, 试计算该导线在 20°C 时的电阻。

解: 先求导线的横截面积

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times 1^2}{4} = 0.785 \text{ (mm}^2\text{)}$$

查表 1-1 得铜的电阻系数 $\rho = 0.0175 \text{ (}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}\text{)}$, 则

$$\text{导线电阻 } R = \rho \frac{l}{S} = 0.0175 \times \frac{10}{0.785} \approx 0.223 \text{ (}\Omega\text{)}$$

4. 电容和电容器

当两个导体之间用绝缘的物质隔开时, 就形成了电容器。组成电容器的两个导体叫做极板, 中间的绝缘物叫做电容器的介质。广义地说, 被介质分开的任意形状的金属导体的

组合，都可以看作是一个电容器。例如，被空气分割的两根架空导线，地下电缆的两根芯线，任一根架空线与大地之间，都相当于一个电容器。

顾名思义，电容器是一种储存电荷的容器。如果使电容器的一个极板上带正电荷，另一个极板上带等量的负电荷，那以异性电荷就要互相吸引而保持在电容器的极板上，我们就说，电容器储存了电荷。如图 1-4 所示，把电容器和直流电源接通，在电场力的作用下，电源负极的自由电子将向与它相连的 B 极板上移动，使 B 极板带有负电荷；而另一极板 A 上的自由电子将向与它相连的电源正极移动，使 A 极板带有等量的正电荷。这种电荷的移动直到极板间的电压与电源电压相等时为止。这样，在极板间的介质中建立了电场，电容器储存了一定的电荷和电场能量。我们把电容器储存电荷的过程叫做电容器的充电。

将充好电的电容器 C 通过电阻 R 接成闭合回路，如图 1-5 所示，由于电容器储存着电场能量，两极板间有电压 U_C ，可以等效为一个直流电源。在电压 U_C 的作用下，B 极板上的电子就会跑向 A 极板与正电荷中和，极板上的电荷逐渐减少， U_C 逐渐降低，直到 $U_C=0$ 时，电荷释放完毕。这一过程称为电容器的放电。

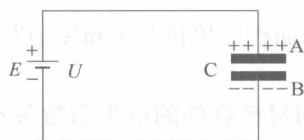


图 1-4 电容器充电

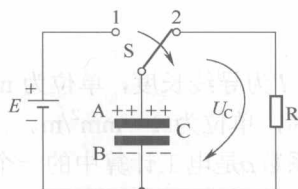


图 1-5 电容器放电

电容器既然是一种储存电荷的容器，就有一个“容量”大小的问题。电容器储存电荷量的多少，与加在电容器两端的电压成正比。由于各种电容器结构不同，所用的介质也不一样，因此在同样的电压下，不同的电容器所储存的电荷量也不一定相等。为了比较和衡量电容器本身储存电荷的能力，可用每伏特电压下电容器所储存电荷量的多少作为电容器的电容量，电容量用字母 C 表示，即

$$C = \frac{Q}{U}$$

式中， C 为电容器的电容量， Q 为极板上的电荷量， U 为电容器两端的电压。

若电压 U 的单位为伏特，电荷量 Q 的单位为库仑，则电容量的单位为法拉，用“F”表示。

在实际应用中，法拉这个单位太大，很少使用，通常采用小得多的单位，它们之间的关系是：

$$1 \text{ 微法 } (\mu\text{F}) = 10^{-6} \text{ 法拉 (F)}$$

$$1 \text{ 皮法 (pF)} = 10^{-12} \text{ 法拉 (F)}$$

1.2

直流电路

1. 欧姆定律

在一段电路两端加上电压，就能产生电流，电流流过电路，又不可避免地会遇到电阻。

那么,电压、电流和电阻这三个基本物理量之间到底存在着什么关系呢?德国物理学家欧姆经过大量实验,于1827年确定了电路中电流、电压和电阻三者之间的关系,总结出一条最基本的电路定律——欧姆定律。欧姆定律指出:在一段电路中,流过该段电路的电流与电路两端的电压成正比,与该段电路的电阻成反比。欧姆定律可用下式表示:

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

式中, R 为电阻 (Ω); I 为电流 (A); U 为电压 (V)。

上式可以写成以下形式:

$$U = IR$$

这个式子的物理意义是:电流 I 流过电阻 R 时,会在电阻 R 上产生电压降。电流 I 越大,电阻 R 的阻值越大,电阻上降落的电压越多。

欧姆定律也可用下式表示:

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

这个式子的物理意义是:在任何一段电路两端加上一定的电压 U ,可以测量出流过这段电路的电流 I ,这时,我们可以把这段电路等效为一个阻值为 R 电阻。这个重要概念,在电路分析与计算中经常用到。

例题 3 有一手电筒的小灯泡在通电点燃时的灯丝电阻为 10Ω ,两节干电池串联后的电压为 $3V$,求通过小灯泡的电流。

解:根据欧姆定律得

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3}{10} = 0.3 \text{ (A)}$$

2. 电阻的串联

如果电路中有两个或更多个电阻一个接一个地顺序相连,并且在这些电阻中通过同一电流,则这种连接方式就称为电阻的串联。图 1-6 是两个电阻串联的电路。

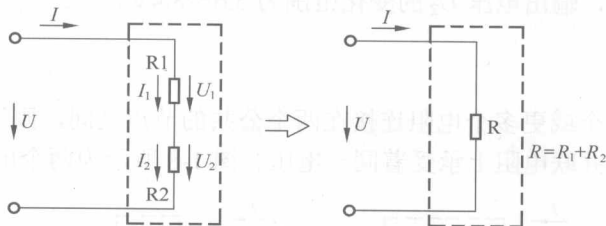


图 1-6 两个电阻的串联

由于电流只有一条通路,所以电路的总电阻 R ,必然等于各串联电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2$$

R 称为电阻串联电路的等效电阻。

电流 I 流过电阻 R_1 和 R_2 时都要产生电压降,分别用 U_1 和 U_2 表示,即

$$U_1 = IR_1$$

$$U_2 = IR_2$$

电路的外加电压 U ，等于各串联电阻上的电压降之和，即

$$U = U_1 + U_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) = IR$$

显然，电阻串联电路可以看作是一个分压电路，两个串联电阻上的电压分别为

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

上列式子常称为分压公式，它确定了电阻串联电路外加电压 U 在各个电阻上的分配原则。显然，每个电阻上的电压大小，决定于该电阻在总电阻中所占的比例，这个比值称为分压比。

例题 4 图 1-7 中， 270Ω 的电位器（可变电阻）两边分别与 350Ω 及 550Ω 的电阻串联，组成一个分压电路，该串联电路的输入电压 $U_1 = 12V$ ，试计算输出电压 U_2 的变化范围。

解：当电位器的滑动触点滑至最上端时

$$\begin{aligned} U_2 &= U_1 \times \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \\ &= 12 \times \frac{270 + 550}{350 + 270 + 550} \\ &\approx 8.4 \text{ (V)} \end{aligned}$$

当电位器的滑动触点滑至最下端时

$$\begin{aligned} U_2 &= U_1 \times \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \\ &= 12 \times \frac{550}{350 + 270 + 550} \\ &\approx 5.6 \text{ (V)} \end{aligned}$$

由计算结果可知，输出电压 U_2 的变化范围为 $5.6 \sim 8.4V$ 。

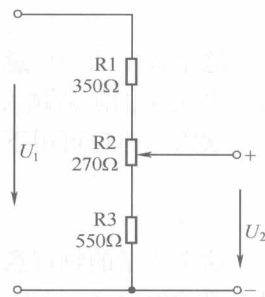


图 1-7 例题 4 的插图

3. 电阻的并联

如果电路中有两个或更多个电阻连接在两个公共的节点之间，则这样的连接方式就称为电阻的并联。各个并联电阻上承受着同一电压。图 1-8 所示为两个电阻并联的电路。

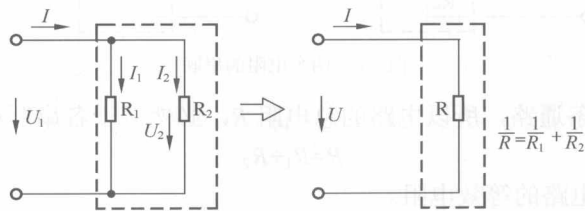


图 1-8 两个电阻的并联

根据欧姆定律，可以分别计算出每个电阻上的电流

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

电路未分支部分的电流, 等于各并联支路中电流的总和, 即

$$I = I_1 + I_2$$

两个并联电阻也可以用一个等效电阻 R 来代替。等效电阻 R 的阻值可由下式推出

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

由此得出

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

上式表明, 多个电阻并联以后的等效电阻 R 的倒数, 等于各个支路电阻的倒数之和。由此式可以方便地计算出电阻并联电路的等效电阻。

在实际工作中, 经常需要计算两个电阻并联的等效电阻, 这时可利用下列简捷公式求得

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

例题 5 如图 1-9 所示, 在 220V 的电源上并联着两盏电灯, 它们在点亮时的电阻分别为 $R_1 = 484\Omega$, $R_2 = 1210\Omega$, 计算这两盏灯从电源取用的总电流。

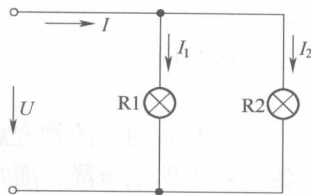


图 1-9 例题 5 的插图

解: 利用欧姆定律可以计算出每盏灯取用的电流

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{220}{484} \approx 0.455 \text{ (A)}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{220}{1210} \approx 0.182 \text{ (A)}$$

总电流为 $I = I_1 + I_2 = 0.455 + 0.182 = 0.637 \text{ (A)}$

也可以先求出两灯并联的等效电阻

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{484 \times 1210}{484 + 1210} \approx 345.7 \text{ (}\Omega\text{)}$$

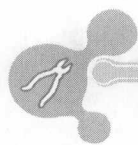
$$\text{再计算总电流 } I = \frac{U}{R} = \frac{220}{345.7} \approx 0.636 \text{ (A)}$$

4. 全电路欧姆定律

图 1-10 是一个由电源、负载和连接导线组成的闭合电路。实际上, 任何电源自身都是具有一定电阻的, 电源自身的电阻叫电源内阻, 用符号 R_0 表示。为了分析方便, 可以把电源等效为恒定电动势 E 和内阻 R_0 的串联支路, 如图 1-11 所示。在这个闭合电路中, 电流的大小可以由下式算出

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

上式表明, 在只有一个电源的无分支闭合电路中, 电流与电动势成正比, 与全电路的



电阻成反比，这个规律称为全电路欧姆定律。

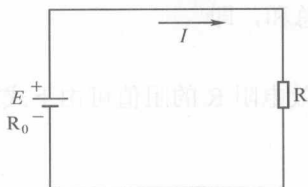


图 1-10 闭合电路

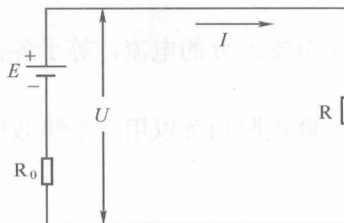


图 1-11 电源的内阻

根据全电路欧姆定律，可以得出

$$E = I(R + R_0) = IR + IR_0$$

式中， $U = IR$ 是外电路的电压降，在数值上等于电源的端电压， IR_0 是电源内阻上的电压降，即

$$E = U + IR_0$$

可以写成

$$U = E - IR_0$$

上式具有明显的物理意义，它说明：在电源有内阻时，电源的端电压等于电动势减去电源内阻上的电压降。通常，电动势 E 和电源内阻可以看成恒定不变，当负载电流 I 变化时，电源端电压 U 也将发生变化。电源的端电压 U 与负载电流 I 之间的关系 $U = f(I)$ 称为电源的外特性，用函数图像表示，如图 1-12 所示。显然，电流越大，则电源端电压下降得越多。如果电源内阻 R_0 很小，即 $R_0 \ll R$ ，则 $U \approx E$ ，此时负载变动时，电源的端电压变动不大。电源内阻的大小决定着电源带负载的能力。

例题 6 如图 1-13 所示，开关 S 闭合后，电压表的读数为 219V ，已知电源内阻为 0.1Ω ，负载电阻为 21.9Ω ，求开关 S 断开后电压表的读数。

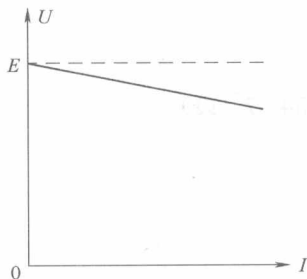


图 1-12 电源的外特性曲线

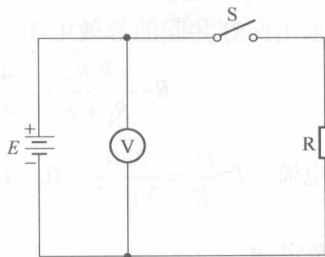


图 1-13 例题 6 的插图

解：根据欧姆定律，电路中的电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{219}{21.9} = 10 \text{ (A)}$$

电源内部电压降为

$$IR_0 = 10 \times 0.1 = 1 \text{ (V)}$$

电源的开路电压在数值上等于电动势

$$E = U + IR_0 = 219 + 1 = 220 \text{ (V)}$$