

电工成才步步高

学电工技术

步步高

XUEDIAN GONG JISHU BUBUGAO

蔡杏山◎主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



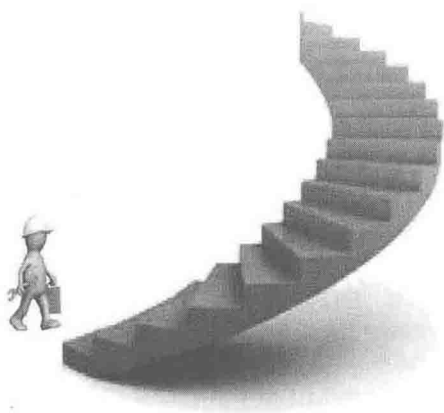


电工成才步步高

学电工技术

➤➤➤ 步步高

蔡杏山 主编



机械工业出版社

本书是一本电工技术入门与提高的图书，主要内容有电工基础知识与安全用电、电工基本操作技能、电工电子仪表的使用、低压电器、变压器、电动机、三相异步电动机常用控制电路分析与安装、室内配电与照明线路的安装、快速学会变频器的使用、快速学会 PLC、电子元器件和电子电路等。

本书基础起点低、内容由浅入深、语言通俗易懂，读者只要具有初中文化程度，就能通过阅读本书快速掌握电工技术。本书适合电工初级入门人员以及掌握了一定电工技术，想要提高自身技能的人员阅读，也适合作为培训机构和职业院校的初、中级电工技术教材。

图书在版编目（CIP）数据

学电工技术步步高/蔡杏山主编，—北京：机械工业出版社，2015.2
（电工成才步步高）
ISBN 978-7-111-49198-9

I. ①学… II. ①蔡… III. ①电工技术 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 010485 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：徐明煜 责任编辑：徐明煜 张沪光

版式设计：常天培 责任校对：陈 越

封面设计：马精明 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2015 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21 印张·512 千字

0 001—4 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-49198-9

定价：49.90 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

服务咨询热线：010-88361066 机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294 机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203 教育服务网：www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

“家有万贯，不如一技在身”，技术会伴随一生，并且能源源不断创造财富。很多人已认识到技术的重要性，也非常想学好一门技术，但苦于重返学校或培训机构学习的成本太高。

电工、电子技术在现代社会中应用极为广泛，小到家庭的照明，大到神舟飞船的控制及通信系统，只要涉及用电的地方，就有电工、电子技术存在。电工技术属于强电技术，电子技术属于弱电技术，在以前，电工技术与电子技术的应用区分比较明显，而今越来越多的领域将电工与电子技术融合在一起，实现弱电对强电的控制，正因为如此，社会上对同时掌握电工与电子技术的复合型人才的需求越来越大。

为了让读者能轻松、快速和掌握较全面的电工电子技术，我们推出了这套“电工成才步步高”丛书。

“电工成才步步高”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。

◆ **采用图文并茂的方式表现内容。**书中大多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。

◆ **内容安排符合人的认识规律。**在图书内容顺序安排上，按照循序渐进、由浅入深的原则进行，读者只需从前往后阅读图书，便会水到渠成。

◆ **突出显示书中知识要点。**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 (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。

本书由蔡杏山担任主编。在编写过程中得到了许多教师的支持，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、蔡理峰、朱球辉、何彬、王娟、何丽、梁云、唐颖、蔡理刚、蔡任英和邵永明等参与了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。

目 录

前言

第1章 电工基础知识与安全用电..... 1

- 1.1 电路基础 1
 - 1.1.1 电路与电路图 1
 - 1.1.2 电流与电阻 1
 - 1.1.3 电位、电压和电动势 3
 - 1.1.4 电路的三种状态 4
 - 1.1.5 接地与屏蔽 5
- 1.2 欧姆定律 6
 - 1.2.1 部分电路欧姆定律 6
 - 1.2.2 全电路欧姆定律 7
- 1.3 电功、电功率和焦耳定律 8
 - 1.3.1 电功 8
 - 1.3.2 电功率 8
 - 1.3.3 焦耳定律 9
- 1.4 电阻的连接方式 9
 - 1.4.1 电阻的串联 9
 - 1.4.2 电阻的并联 10
 - 1.4.3 电阻的混联 10
- 1.5 直流电与交流电 11
 - 1.5.1 直流电 11
 - 1.5.2 单相交流电 12
 - 1.5.3 三相交流电 16
- 1.6 电磁现象及规律 18
 - 1.6.1 磁铁与磁性材料 18
 - 1.6.2 通电导体产生的磁场 19
 - 1.6.3 通电导体在磁场中的
受力情况 20
 - 1.6.4 电磁感应 21

- 1.6.5 自感与互感 23
- 1.7 安全用电与急救 25
 - 1.7.1 电流对人体的伤害 25
 - 1.7.2 人体触电的几种方式 26
 - 1.7.3 接地与接零 28
 - 1.7.4 触电的急救方法 31

第2章 电工基本操作技能 33

- 2.1 常用电工工具及使用 33
 - 2.1.1 螺丝刀 33
 - 2.1.2 钢丝钳 34
 - 2.1.3 尖嘴钳 35
 - 2.1.4 斜口钳 35
 - 2.1.5 剥线钳 36
 - 2.1.6 电工刀 36
 - 2.1.7 活扳手 37
- 2.2 常用测试工具及使用 37
 - 2.2.1 氖管式测电笔 37
 - 2.2.2 数显式测电笔 39
 - 2.2.3 校验灯 40
- 2.3 电烙铁与焊接技能 42
 - 2.3.1 电烙铁 42
 - 2.3.2 焊料与助焊剂 44
 - 2.3.3 印制电路板 44
 - 2.3.4 元器件的焊接与拆卸 46
- 2.4 导线的选择 48
 - 2.4.1 绝缘导线的种类 48
 - 2.4.2 绝缘导线的型号 50
 - 2.4.3 绝缘导线的选择 50
- 2.5 导线的剥削、连接和绝缘



恢复	53	3.6.2 使用	95
2.5.1 导线绝缘层的剥削	53	3.7 交流电流表	96
2.5.2 导线与导线的连接	54	3.7.1 外形	96
2.5.3 导线与接线柱之间的 连接	59	3.7.2 使用	97
2.5.4 导线绝缘层的恢复	59		
第3章 电工电子仪表的使用	61	第4章 低压电器	98
3.1 指针万用表的使用	61	4.1 开关	98
3.1.1 面板介绍	61	4.1.1 照明开关	98
3.1.2 使用前的准备工作	63	4.1.2 按钮	98
3.1.3 测量直流电压	64	4.1.3 刀开关(开启式负荷 开关)	100
3.1.4 测量交流电压	65	4.1.4 封闭式负荷开关	101
3.1.5 测量直流电流	66	4.1.5 组合开关	102
3.1.6 测量电阻	67	4.1.6 倒顺开关	103
3.1.7 万用表使用注意事项	69	4.1.7 万能转换开关	103
3.2 数字万用表	70	4.1.8 行程开关	104
3.2.1 面板介绍	70	4.1.9 接近开关	105
3.2.2 测量直流电压	71	4.1.10 开关的检测	106
3.2.3 测量交流电压	71	4.2 熔断器	107
3.2.4 测量直流电流	72	4.2.1 熔断器的类型	108
3.2.5 测量电阻	73	4.2.2 熔断器的检测	110
3.3 电能表	73	4.3 断路器	111
3.3.1 电能表的结构与原理	73	4.3.1 外形与符号	111
3.3.2 电能表的接线方式	74	4.3.2 结构与工作原理	111
3.3.3 电子式电能表	78	4.3.3 型号含义与种类	112
3.3.4 电能表型号与铭牌含义	80	4.3.4 面板标注参数的识读	113
3.4 钳形表	82	4.3.5 断路器的检测	114
3.4.1 钳形表的结构与测量 原理	82	4.4 漏电保护器	115
3.4.2 指针式钳形表的使用	83	4.4.1 外形与符号	115
3.4.3 数字式钳形表的使用	85	4.4.2 结构与工作原理	116
3.5 绝缘电阻表	88	4.4.3 在不同供电系统中的 接线	116
3.5.1 手摇式绝缘电阻表的工作 原理与使用	88	4.4.4 面板介绍及漏电模拟 测试	117
3.5.2 数字式绝缘电阻表的 使用	93	4.4.5 检测	119
3.6 交流电压表	95	4.5 接触器	121
3.6.1 外形	95	4.5.1 交流接触器	121
		4.5.2 直流接触器	125
		4.5.3 接触器的检测	125



4.5.4 接触器的选用	127	5.4 自耦变压器	155
4.6 热继电器	127	5.4.1 外形	155
4.6.1 结构与工作原理	128	5.4.2 工作原理	155
4.6.2 外形与接线端	129	5.5 交流弧焊变压器	156
4.6.3 铭牌参数的识读	130	5.5.1 外形	156
4.6.4 型号与参数	131	5.5.2 结构与工作原理	156
4.6.5 选用	132	5.5.3 使用注意事项	157
4.6.6 检测	132		
4.7 电磁继电器	134	第6章 电动机	158
4.7.1 电磁继电器的基本结构 与原理	134	6.1 三相异步电动机	158
4.7.2 电流继电器	134	6.1.1 工作原理	158
4.7.3 电压继电器	135	6.1.2 外形与结构	160
4.7.4 中间继电器	136	6.1.3 三相线组的接线方式	163
4.8 时间继电器	139	6.1.4 铭牌的识别	164
4.8.1 外形与符号	139	6.1.5 判别三相绕组的首尾端	165
4.8.2 种类及特点	140	6.1.6 判断电动机的磁极对数 和转速	167
4.8.3 空气阻尼式时间继电器	140	6.1.7 测量绕组的绝缘电阻	167
4.8.4 电子式时间继电器	141	6.2 单相异步电动机	169
4.8.5 选用	142	6.2.1 结构	169
4.8.6 检测	142	6.2.2 单相异步电动机的接线图 与工作原理	169
4.9 速度继电器与压力继电器	143	6.2.3 单相异步电动机的三个 接线端的极性判别	170
4.9.1 速度继电器	143	6.2.4 罩极式单相异步电动机 的结构与原理	171
4.9.2 压力继电器	144	6.2.5 转向控制电路	172
		6.2.6 调速控制电路	172
第5章 变压器	146	6.3 直流电动机	175
5.1 变压器的基础知识	146	6.3.1 工作原理	175
5.1.1 结构与工作原理	146	6.3.2 外形与结构	176
5.1.2 电压、电流变换 功能说明	147	6.4 同步电动机	177
5.1.3 极性判别	147	6.4.1 外形	177
5.2 三相变压器	149	6.4.2 结构与工作原理	177
5.2.1 电能的传送	149	6.4.3 同步电动机的起动	178
5.2.2 三相变压器	149	6.5 步进电动机	180
5.2.3 接线方式	150	6.5.1 外形	180
5.3 电力变压器	152	6.5.2 结构与工作原理	180
5.3.1 外形与结构	152	6.5.3 驱动电路	183
5.3.2 型号说明	153		
5.3.3 连接方式	154		



6.6 无刷直流电动机	184	的安裝	209
6.6.1 外形	184	8.1 照明光源	209
6.6.2 结构与工作原理	184	8.1.1 白炽灯	209
6.6.3 驱动电路	186	8.1.2 荧光灯	210
6.7 开关磁阻电动机	188	8.1.3 卤钨灯	213
6.7.1 外形	188	8.1.4 高压汞灯	214
6.7.2 结构与工作原理	189	8.2 室内配电布线	216
6.7.3 开关磁阻电动机与步进 电动机的区别	190	8.2.1 配电方案的设计	216
6.7.4 驱动电路	190	8.2.2 布线	217
6.8 直线电动机	191	8.2.3 插座和开关的安装	223
6.8.1 外形	191	8.2.4 配电箱的安装	225
6.8.2 结构与工作原理	191		
第7章 三相异步电动机常用控制 电路分析与安装	194	第9章 快速学会变频器的使用	228
7.1 常用控制电路工作原理分析 ..	194	9.1 变频器的基本组成与 调速原理	228
7.1.1 简单的正转控制电路	194	9.1.1 异步电动机的调速方式 ..	228
7.1.2 自锁正转控制电路	195	9.1.2 变频器的基本组成	228
7.1.3 接触器联锁正反转 控制电路	196	9.2 变频器的结构与接线	230
7.1.4 限位控制电路	197	9.2.1 外形、结构与拆卸	230
7.1.5 自动往返控制电路	199	9.2.2 端子功能与接线	232
7.1.6 顺序控制电路	200	9.3 操作面板的使用	236
7.1.7 多地控制电路	201	9.3.1 操作面板	236
7.1.8 星形-三角形减压 起动电路	202	9.3.2 操作面板的使用方法	237
7.2 控制电路的安装	204	9.4 变频器的使用	240
7.2.1 画出待安装电路的电路 原理图	204	9.4.1 使用变频器面板控制 电动机正、反转	241
7.2.2 列出器材清单并选配 器材	205	9.4.2 使用变频器外接开关和 电位器控制电动机正、 反转和调速	242
7.2.3 在配电板上安装元件 和导线	205	9.4.3 变频器带保护电路控制 电动机正、反转和调速 ..	242
7.2.4 检查电路	207		
7.2.5 通电试车	208	第10章 快速学会 PLC	245
7.2.6 注意事项	208	10.1 初识 PLC	245
		10.1.1 什么是 PLC	245
		10.1.2 PLC 控制与继电器控制 的比较	246
		10.2 PLC 的组成与工作原理	247
		10.2.1 PLC 的组成	247
第8章 室内配电与照明线路			



10.2.2 PLC 的工作方式	251	11.4.2 普通二极管	285
10.2.3 PLC 用户程序的 执行过程	251	11.4.3 发光二极管	289
10.3 PLC 编程软件的使用	252	11.4.4 光敏二极管	290
10.3.1 软件的安装和启动	252	11.4.5 稳压二极管	291
10.3.2 程序的编写	254	11.5 晶体管	292
10.3.3 程序的转换与传送	255	11.5.1 外形与图形符号	292
10.4 PLC 应用系统的开发流程 及举例	258	11.5.2 结构	293
10.4.1 PLC 应用系统的一般 开发流程	258	11.5.3 电流、电压规律	294
10.4.2 PLC 控制电动机正、反 转的开发举例	258	11.5.4 放大原理	296
		11.5.5 三种状态说明	297
		11.5.6 检测	301
第 11 章 电子元器件	261	11.6 其他常用元器件	303
11.1 电阻器	261	11.6.1 光耦合器	304
11.1.1 固定电阻器	261	11.6.2 晶闸管	304
11.1.2 电位器	266	11.6.3 场效应晶体管	306
11.1.3 敏感电阻器	268	11.6.4 IGBT	307
11.2 电感器	271	11.6.5 集成电路	309
11.2.1 外形与图形符号	271		
11.2.2 主要参数与标注方法	271	第 12 章 电子电路	311
11.2.3 性质	273	12.1 放大电路	311
11.2.4 检测	275	12.1.1 固定偏置放大电路	311
11.3 电容器	275	12.1.2 电压负反馈放大电路	312
11.3.1 结构、外形与图形 符号	275	12.1.3 分压式偏置放大电路	313
11.3.2 主要参数	275	12.1.4 交流放大电路	314
11.3.3 性质	276	12.2 谐振电路	315
11.3.4 种类	279	12.2.1 串联谐振电路	316
11.3.5 电容器的串联与并联	281	12.2.2 并联谐振电路	317
11.3.6 容量与偏差的标注 方法	282	12.3 振荡器	318
11.3.7 常见故障及检测	283	12.3.1 振荡器组成与原理	318
11.4 二极管	284	12.3.2 变压器反馈式振荡器	319
11.4.1 半导体	284	12.4 电源电路	320
		12.4.1 电源电路的组成	320
		12.4.2 整流电路	320
		12.4.3 滤波电路	323
		12.4.4 稳压电路	326

1.1 电路基础

1.1.1 电路与电路图

图 1-1a 所示是一个简单的实物电路,该电路由电源(电池)、开关、导线和灯泡(电灯)组成。电源的作用是提供电能;开关、导线的作用是控制和传递电能,称为中间环节;灯泡是消耗电能的用电器,它可将电能转变为光能,称为负载。因此,电路是由电源、中间环节和负载组成的。

图 1-1a 所示为实物电路图,使用实物图来绘制电路很不方便,为此人们就采用一些简单的图形符号代替实物的方法来画电路,这样画出的图形就称为电路图。图 1-1b 所示的图形就是图 1-1a 所示实物电路的电路图,不难看出,用电路图来表示实际的电路非常简便。

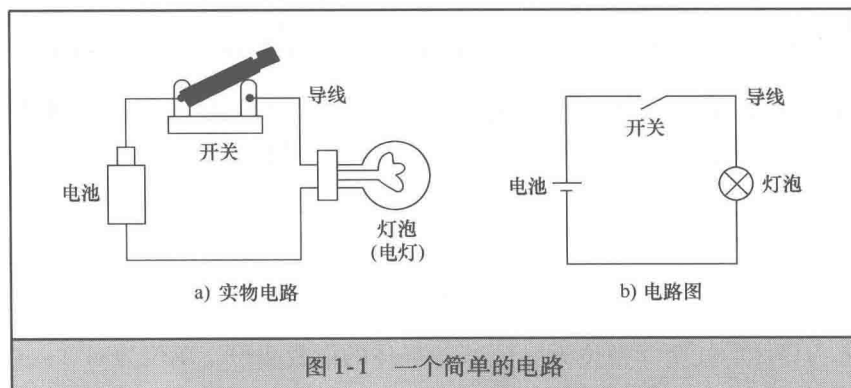


图 1-1 一个简单的电路

1.1.2 电流与电阻

1. 电流

在图 1-2 所示电路中,将开关闭合,灯泡会发光,为什么会这样呢? 原来当开关闭合



时,带负电荷的电子源源不断地从电源负极经导线、灯泡、开关流向电源正极。这些电子在流经灯泡内的钨丝时,钨丝会发热,温度急剧上升而发光。

大量的电荷朝一个方向移动(也称定向移动)就形成了电流,这就像公路上有大量的汽车朝一个方向移动就形成“车流”一样。实际上,我们把电子运动的反方向作为电流方向,即把正电荷在电路中的移动方向规定为电流的方向。图 1-2 所示电路的电流方向是,电源正极→开关→灯泡→电源的负极。

电流用字母“ I ”表示,单位为安培(简称安),用“ A ”表示,比安培小的单位有毫安(mA)、微安(μA),它们之间的关系为

$$1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

2. 电阻

在图 1-3a 所示电路中,给电路增加一个元件——电阻器,发现灯光会变暗,该电路的电路图如图 1-3b 所示。为什么在电路中增加了电阻器后灯泡会变暗呢?原来电阻器对电流有一定的阻碍作用,从而使流过灯泡的电流减小,灯泡变暗。

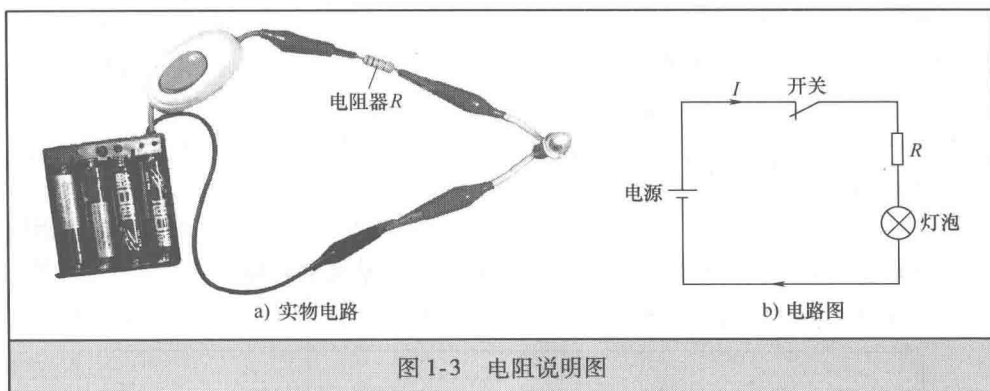


图 1-3 电阻说明图

导体对电流的阻碍称为该导体的电阻,电阻用字母“ R ”表示,电阻的单位为欧姆(简称欧),用“ Ω ”表示,比欧姆大的单位有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$),它们之间关系为

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

导体的电阻计算公式为

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

在上式中, L 为导体的长度(单位为m); S 为导体的横截面积(单位为 m^2); ρ 为导体的电阻率(单位为 $\Omega \cdot m$)。不同的导体, ρ 值一般不同。表 1-1 列出了一些常见导体的电阻率(20℃时)。

在长度 L 和横截面积 S 相同的情况下,电阻率越大的导体其电阻越大,例如 L 、 S 相同的铁导线和铜导线,铁导线的电阻约是铜导线的5.9倍,由于铁导线的电阻率较铜导线大很多,为了减小电能在导线上的损耗,让负载得到较大电流,供电线路通常采用铜导线。



表 1-1 一些常见导体的电阻率（20℃时）

导 体	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$	导 体	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$
银	1.62×10^{-8}	锡	11.4×10^{-8}
铜	1.69×10^{-8}	铁	10.0×10^{-8}
铝	2.83×10^{-8}	铅	21.9×10^{-8}
金	2.4×10^{-8}	汞	95.8×10^{-8}
钨	5.51×10^{-8}	碳	3500×10^{-8}

导体的电阻除了与材料有关外，还受温度影响。一般情况下，导体温度越高电阻越大，例如常温下灯泡（白炽灯）内部钨丝的电阻很小，通电后钨丝的温度上升到千度以上，其电阻急剧增大；导体温度下降电阻减小，某些导电材料在温度下降到某一值时（如 -109°C ），电阻会突然变为 0，这种现象称为超导现象，具有这种性质的材料称为超导材料。

1.1.3 电位、电压和电动势

电位、电压和电动势对初学者较难理解，下面通过图 1-4 所示的水流示意图来说明这些术语。首先来分析图 1-4 中的水流过程。

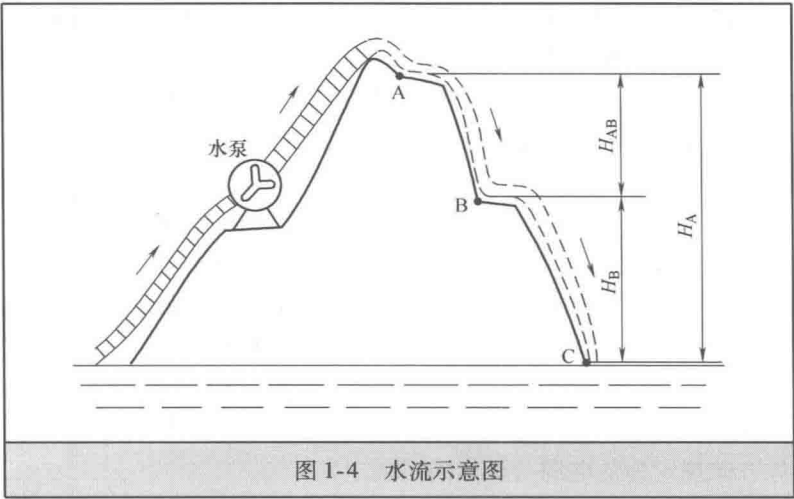


图 1-4 水流示意图

水泵将河中的水抽到山顶的 A 处，水到达 A 处后再流到 B 处，水到 B 处后流往 C 处（河中），同时水泵又将河中的水抽到 A 处，这样使得水不断循环流动。水为什么能从 A 处流到 B 处，又从 B 处流到 C 处呢？这是因为 A 处水位较 B 处水位高，B 处水位较 C 处水位高。

要测量 A 处和 B 处水位的高度，必须先要找一个基准点（零点），就像测量人身高要选择脚底为基准点一样，这里以河的水面为基准（C 处）。AC 之间的垂直高度为 A 处水位的高度，用 H_A 表示，BC 之间的垂直高度为 B 处水位的高度，用 H_B 表示，由于 A 处和 B 处水位高度不一样，它们存在着水位差，该水位差用 H_{AB} 表示，它等于 A 处水位高度 H_A 与 B 处水位高度 H_B 之差，即 $H_{AB} = H_A - H_B$ 。为了让 A 处源源不断有水往 B、C 处流，需要水泵将



低水位的河水抽到高处的 A 点, 这样做水泵是需要消耗能量的 (如耗油)。

1. 电位

电路中的电位、电压和电动势与上述水流情况很相似。如图 1-5 所示, 电源的正极输出电流, 流到 A 点, 再经 R_1 流到 B 点, 然后通过 R_2 流到 C 点, 最后流到电源的负极。

与图 1-4 所示水流示意图相似, 图 1-5 所示电路中的 A、B 点也有高低之分, 只不过不是水位, 而称为电位, A 点电位较 B 点电位高。为了计算电位的高低, 也需要找一个基准点作为零点, 为了表明某点为零基准点, 通常在该点处画一个“⊥”符号, 该符号称为接地符号, 接地符号处的电位规定为 0V, 电位单位不是米, 而是伏特 (简称伏), 用 V 表示。在图 1-5 所示电路中, 以 C 点为 0V (该点标有接地符号), A 点的电位为 3V, 表示为 $U_A = 3V$, B 点电位为 1V, 表示为 $U_B = 1V$ 。

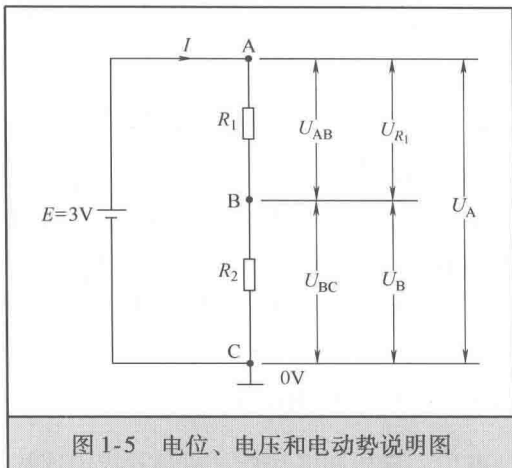


图 1-5 电位、电压和电动势说明图

2. 电压

图 1-5 电路中的 A 点和 B 点的电位是不同的, 有一定的差距, 这种电位之间的差距称为电位差, 又称电压。A 点和 B 点之间的电位差用 U_{AB} 表示, 它等于 A 点电位 U_A 与 B 点电位 U_B 的差, 即 $U_{AB} = U_A - U_B = 3V - 1V = 2V$ 。因为 A 点和 B 点电位差实际上就是电阻器 R_1 两端的电位差 (即电压), R_1 两端的电压用 U_{R1} 表示, 所以 $U_{AB} = U_{R1}$ 。

3. 电动势

为了让电路中始终有电流流过, 电源需要在内部将流到负极的电流源源不断地“抽”到正极, 使电源正极具有较高的电位, 这样正极才会输出电流。当然, 电源内部将负极的电流“抽”到正极需要消耗能量 (如干电池会消耗掉化学能)。电源消耗能量在两极建立的电位差称为电动势, 电动势的单位也为伏特, 图 1-5 所示电路中电源的电动势为 3V。

由于电源内部的电流方向是由负极流向正极, 故电源的电动势方向规定为从电源负极指向正极。

1.1.4 电路的三种状态

电路有三种状态: 通路、开路和短路, 这三种状态的电路如图 1-6 所示。

1. 通路

图 1-6a 所示电路处于通路状态。电路处于通路状态的特点是, 电路畅通, 有正常的电流流过负载, 负载正常工作。

2. 开路

图 1-6b 所示电路处于开路状态。电路处于开

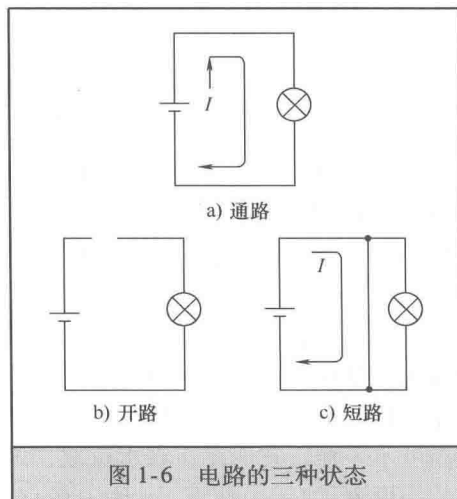


图 1-6 电路的三种状态



路状态的特点是，电路断开，无电流流过负载，负载不工作。

3. 短路

图 1-6c 中的电路处于短路状态。电路处于短路状态的特点是，电路中有很大电流流过，但电流不流过负载，负载不工作。由于电流很大，很容易烧坏电源和导线。

1.1.5 接地与屏蔽

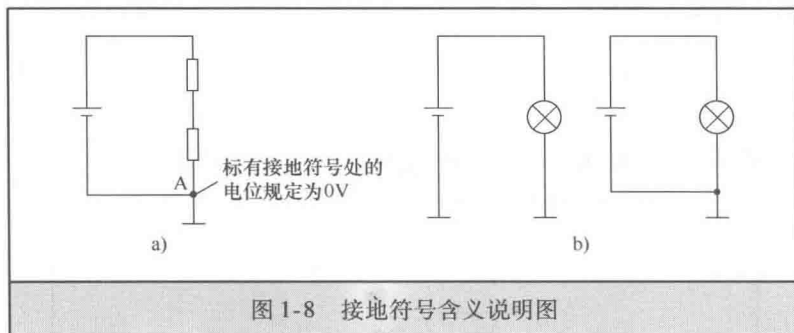
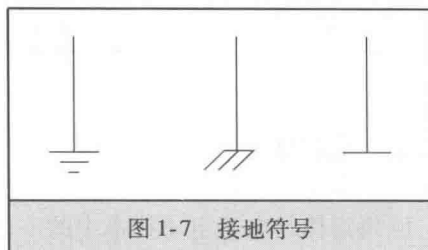
1. 接地

接地在电工电子技术中应用广泛，接地常用图 1-7 所示的符号表示。接地主要有以下的含义：

1) 在电路图中，接地符号处的电位规定为 0V。在图 1-8a 所示电路中，A 点标有接地符号，规定 A 点的电位为 0V。

2) 在电路图中，标有接地符号处的地方都是直接连通的。图 1-8b 所示的两个电路图虽然从形式上看不一样，但实际的电路连接是一样的，故两个电路中的灯泡都会亮。

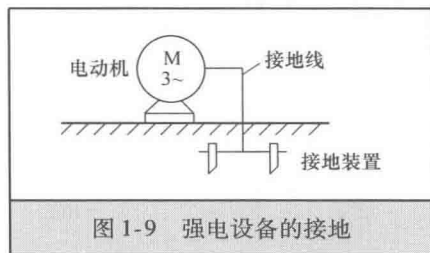
3) 在强电设备中，常常将设备的外壳与大地连接，当设备绝缘性能变差而使外壳带电时，可迅速通过接地线泄放到大地，从而避免人体触电，如图 1-9 所示。



2. 屏蔽

在电气设备中，为了防止某些元器件和电路工作时受到干扰，或者为了防止某些元器件和电路在工作时产生干扰信号影响其他电路正常工作，通常对这些元器件和电路采取隔离措施，这种隔离称为屏蔽。屏蔽常用图 1-10 所示的符号表示。

屏蔽的具体做法是用金属材料（称为屏蔽罩）将元器件或电路封闭起来，再将屏蔽罩接地（通常为电源的负极）。图 1-11 所示为带有屏蔽罩的元器件和导线，外界干扰信号难以穿过金属屏蔽罩干扰内部元器件和电路。



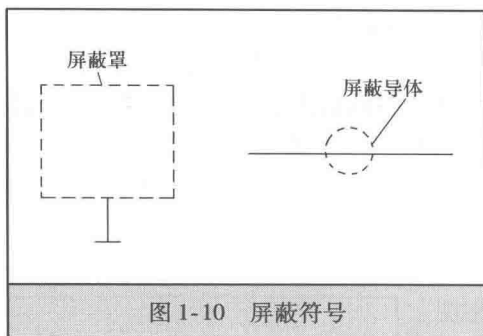


图 1-10 屏蔽符号

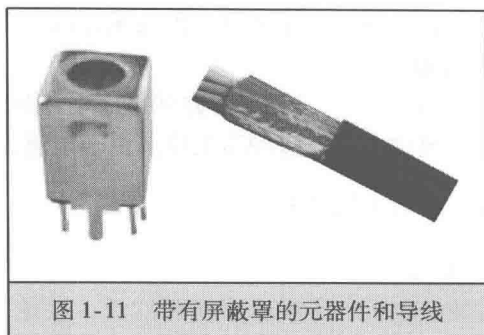


图 1-11 带有屏蔽罩的元器件和导线

1.2 欧姆定律

欧姆定律是电工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。

1.2.1 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 $R = U/I$ 。

为了让大家更好地理解欧姆定律，下面以图 1-12 为例来说明。

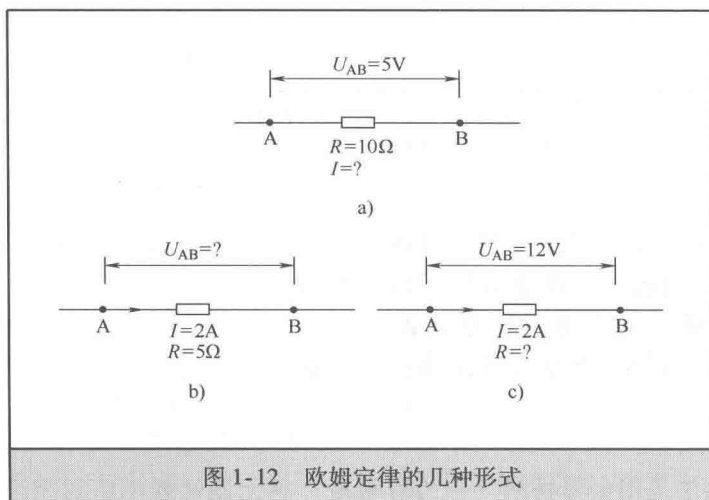


图 1-12 欧姆定律的几种形式

如图 1-12a 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 $I = U_{AB}/R = 5/10A = 0.5A$ 。

又如图 1-12b 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 $U_{AB} = IR = 2 \times 5V = 10V$ 。



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

下面再来说明欧姆定律在实际电路中的应用, 如图 1-13 所示。

在图 1-13 所示电路中, 电源的电动势 $E=12\text{V}$, A、D 之间的电压 U_{AD} 与电动势 E 相等, 三个电阻器 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

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

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_{R_1} (U_{R_1} 实际就是 A、B 两点之间的电压 U_{AB})、 U_{R_2} (实际就是 U_{BC}) 和 U_{R_3} (实际就是 U_{CD}), 即

$$U_{R_1} = U_{AB} = IR_1 = (1 \times 2)\text{V} = 2\text{V}$$

$$U_{R_2} = U_{BC} = IR_2 = (1 \times 7)\text{V} = 7\text{V}$$

$$U_{R_3} = U_{CD} = IR_3 = (1 \times 3)\text{V} = 3\text{V}$$

从上面可以看出 $U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = U_{AD} = 12\text{V}$ 。

在图 1-13 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: $U_B = U_{BD} = U_{BC} + U_{CD} = U_{R_2} + U_{R_3} = (7 + 3)\text{V} = 10\text{V}$

方法二: $U_B = U_{BD} = U_{AD} - U_{AB} = U_{AD} - U_{R_1} = (12 - 2)\text{V} = 10\text{V}$

1.2.2 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 1-14 所示。

图 1-14 中点划线框内为电源, 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 $I = E/(R + R_0) = 12/(10 + 2)\text{A} = 1\text{A}$ 。电源输出电压 (也即电阻 R 两端的电压) $U = IR = 1 \times 10\text{V} = 10\text{V}$, 内阻 R_0 两端的电压 $U_0 = IR_0 = 1 \times 2\text{V} = 2\text{V}$ 。如果将开关 S 断开, 电路中的电流 $I = 0\text{A}$, 那么内阻 R_0 上消耗的电压 $U_0 = 0\text{V}$, 电源输出电压 U 与电源电动势相等, 即 $U =$

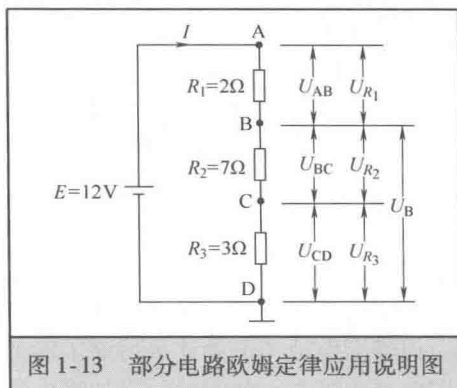


图 1-13 部分电路欧姆定律应用说明图

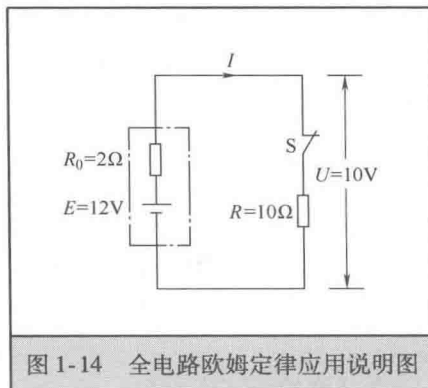


图 1-14 全电路欧姆定律应用说明图



$E = 12\text{V}$ 。

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。比如用仪表测得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，大量的电能内阻上消耗并转换成热能，故电源会发热。

1.3 电功、电功率和焦耳定律

1.3.1 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 为电功，单位是焦（J）； U 为电压，单位是伏（V）； I 为电流，单位是安（A）； t 为时间，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（ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ），俗称度。 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 1$ 度。千瓦时与焦耳的换算关系为

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

$1\text{kW} \cdot \text{h}$ 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 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ （即消耗 1 度电）。

1.3.2 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为

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

电功率的计算公式为