

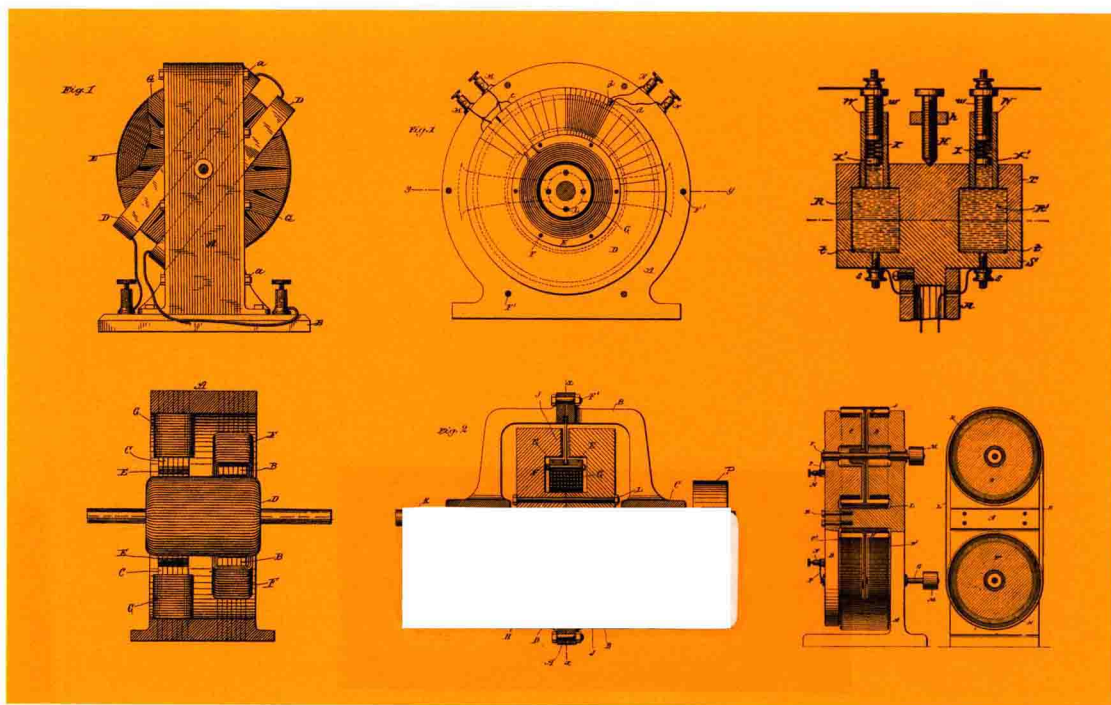
电子工程师必读

元器件与技术

Practical Electronics Components and Techniques

系统介绍电子学中的硬件、元件、工具和技术

避开复杂理论和公式，直达问题本质，让所有对电子学感兴趣的读者都可独立制作各种电子器件



[美] John M. Hughes 著

李薇濛 译



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

图灵电子与电气工程丛书

图灵 (TURING) 品牌图书

本书 (96) 为... 作者: John M. Hughes
李薇濛 译

版 权 声 明

电子工程师必读:元器件与技术

Practical Electronics Components and Techniques

[美] John M. Hughes 著

李薇濛 译

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

电子工程师必读：元器件与技术 / (美) 休斯
(Hughes, J. M.) 著；李薇濛译. — 北京：人民邮电
出版社，2016. 6

(图灵电子与电气工程丛书)
ISBN 978-7-115-42154-8

I. ①电… II. ①休… ②李… III. ①电子元件②电
子器件 IV. ①TN6

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第083004号

内 容 提 要

本书是一本电子学方面的实际操作指南，这些知识大多需要经过多年的工作实践才能从中总结出来。本书的每章将就特定的主题进行讨论，以便读者理清脉络，迅速找到问题的答案。比如，如何阅读电子元件的数据表，如何决定微控制器的接口管脚上能连接多少个元件，如何装配各种型号的连接器，如何把信号接口电路上的噪声和干扰降到最低，如何决定模拟-数字转换器的分辨率，不同型号的串口和网络接口是怎样工作的，以及怎样使用开源工具进行电路图绘制和 PCB 布局，等等。

本书适合电子技术爱好者及相关行业技术人员阅读参考。

-
- ◆ 著 [美] John M. Hughes
译 李薇濛
责任编辑 朱 巍
执行编辑 贺子娟
责任印制 彭志环
- ◆ 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>
三河市海波印务有限公司印刷
- ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：22.5
字数：679千字 2016年6月第1版
印数：1-3 000册 2016年6月河北第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字：01-2015-7992号
-

定价：99.00元

读者服务热线：(010)51095186转600 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京东工商广字第 8052 号

目 录

第 1 章 运动的电子	1	3.6 套筒扳手和六角扳手	23
1.1 原子和电子	1	3.7 夹子	24
1.2 电荷和电流	2	3.8 虎头钳	25
1.3 基本电路中的电流	3	3.9 旋转工具	26
1.4 欧姆定律	5	3.10 磨床	27
1.5 功率	6	3.11 电钻	27
1.6 电阻	6	3.12 钻头	28
1.7 示例: 制造分压器	7	3.13 丝锥和板牙	29
1.8 总结	8	3.14 小手锯	29
第 2 章 紧固件和黏合剂	9	3.15 小型电锯	29
2.1 螺钉和螺栓	9	3.16 专业金属加工工具	30
2.1.1 螺钉和螺栓的尺寸	10	3.17 镊子	31
2.1.2 螺丝刀的类型	11	3.18 焊接工具	31
2.1.3 螺钉螺栓头型	12	3.19 放大镜和显微镜	32
2.1.4 选择螺钉和螺栓	13	3.20 工作区	33
2.1.5 垫圈	14	3.21 总结	34
2.1.6 自攻丝螺钉	15	第 4 章 工具使用方法	35
2.2 铆钉	16	4.1 紧固件的使用	35
2.3 黏合剂和黏合	16	4.1.1 螺丝刀的类型和尺寸	35
2.3.1 胶、环氧树脂和溶剂	17	4.1.2 自攻丝螺钉	37
2.3.2 木材和纸材的黏合	17	4.1.3 六角凹头紧固件和六角扳手	37
2.3.3 塑料的黏合	18	4.1.4 六角头紧固件和套筒扳手	39
2.3.4 金属的黏合	18	4.1.5 可调扳手	40
2.3.5 特殊用途的黏合剂	19	4.1.6 扳手	41
2.4 总结	19	4.1.7 铆钉	42
第 3 章 工具	20	4.1.8 处理顽固的紧固件	44
3.1 螺丝刀	20	4.2 焊接和拆焊	45
3.2 钳子	21	4.2.1 焊料的种类	45
3.3 剪线钳	21	4.2.2 焊接技术	46
3.4 剥线钳	22	4.2.3 导线和通孔元件的拆焊	50
3.5 压接工具	22	4.2.4 表面组装焊接	51

4.2.5 表面组装拆焊	53	6.2.2 摇杆开关	87
4.3 切割	53	6.2.3 滑动开关	88
4.3.1 棒料和条料	53	6.2.4 旋转开关	88
4.3.2 片料	55	6.2.5 按钮开关	89
4.4 钻孔	56	6.2.6 快动开关	89
4.4.1 挑选钻头尺寸	56	6.3 滑动开关和旋转开关电路	89
4.4.2 钻进速度	58	6.4 开关选择标准	90
4.4.3 薄片料钻孔	58	6.5 开关使用警告	91
4.4.4 润滑剂	59	6.6 总结	91
4.4.5 冲压孔和导孔	60	第7章 连接器和接线	92
4.4.6 使用阶梯钻头	60	7.1 导线和电缆	92
4.4.7 钻孔时的常见问题	60	7.1.1 导线尺寸	93
4.4.8 丝锥和板牙	61	7.1.2 绝缘	94
4.5 改造切割	65	7.1.3 双绞线	95
4.5.1 珠宝手锯	65	7.1.4 屏蔽	96
4.5.2 旋转工具	65	7.1.5 多芯电缆	97
4.6 总结	67	7.1.6 剥除导线绝缘层	98
第5章 电源	68	7.2 连接器	99
5.1 电池	68	7.2.1 连接器终端	99
5.1.1 电池的封装	68	7.2.2 连接器类型	101
5.1.2 原电池	69	7.3 装配连接器	106
5.1.3 蓄电池	71	7.3.1 焊接终端	106
5.1.4 小型纽扣电池	72	7.3.2 挤压终端	106
5.1.5 电池储存注意事项	73	7.3.3 连接器后壳	107
5.1.6 电池的使用	74	7.3.4 IDC连接器	108
5.1.7 电池电路	75	7.3.5 以太网连接器	108
5.1.8 电池的选择	76	7.4 总结	109
5.2 供电技术	77	第8章 无源元件	110
5.2.1 壁插式直流电源	78	8.1 容差	110
5.2.2 工作台直流电源	79	8.2 电压、功率和温度	111
5.2.3 模块化和内嵌式直流电源	79	8.3 封装	111
5.3 光电电源	80	8.4 电阻	112
5.4 保险丝和断路器	81	8.4.1 物理形态	112
5.4.1 保险丝	82	8.4.2 固定电阻器	113
5.4.2 断路器	83	8.4.3 可变电阻	116
5.5 总结	83	8.4.4 专用电阻器	119
第6章 开关	85	8.4.5 电阻标识	121
6.1 单开关, 多电路	85	8.5 电容	122
6.2 开关的类型	86	8.5.1 电容值	122
6.2.1 拨动开关	87	8.5.2 电容的类型	122
		8.5.3 可变电容器	124

8.5.4 表面组装电容器	124	9.8.2 表面组装集成电路封装 类型	145
8.6 扼流圈、线圈和变压器	125	9.8.3 大电流大电压调节电路	146
8.6.1 扼流圈	125	9.9 总结	147
8.6.2 线圈	125	第 10 章 继电器	148
8.6.3 可变电感	125	10.1 继电器背景介绍	148
8.6.4 变压器	126	10.1.1 电枢继电器	148
8.6.5 封装	126	10.1.2 簧片继电器	149
8.7 总结	126	10.1.3 接触器	149
第 9 章 有源元件	127	10.2 继电器封装	150
9.1 如何阅读数据表	127	10.2.1 PCB继电器	150
9.1.1 数据表结构	128	10.2.2 连接片式继电器	150
9.1.2 数据表综述	128	10.2.3 插头式继电器	151
9.1.3 收集数据表	130	10.3 选择继电器	151
9.2 静电放电	130	10.4 继电器可靠性问题	152
9.3 封装概述	131	10.4.1 触头电弧放电	152
9.3.1 通孔元件	131	10.4.2 线圈过热	153
9.3.2 表面组装部件	132	10.4.3 继电器触头弹跳	153
9.3.3 使用不同的封装类型	132	10.5 继电器的应用	153
9.4 二极管和整流器	132	10.5.1 用低压逻辑电路控制 继电器	154
9.4.1 小信号二极管	133	10.5.2 信号交换	155
9.4.2 整流器	134	10.5.3 功率切换	155
9.4.3 发光二极管	135	10.5.4 继电器逻辑电路	155
9.4.4 齐纳二极管	136	10.6 总结	157
9.4.5 特殊二极管	136	第 11 章 逻辑电路	158
9.4.6 二极管/整流器轴向引脚 封装	136	11.1 逻辑电路基础	158
9.4.7 二极管/整流器表面组装 封装	137	11.2 逻辑集成电路的起源	160
9.4.8 LED封装类型	138	11.3 逻辑元件族	161
9.5 晶体管	138	11.4 逻辑模块: 4000和7400集成电路	161
9.5.1 小信号晶体管	139	11.4.1 缩小TTL和CMOS之间的 差距	162
9.5.2 功率晶体管	139	11.4.2 4000系列CMOS逻辑器件	162
9.5.3 场效应晶体管	140	11.4.3 7400系列TTL逻辑器件	163
9.5.4 传统的晶体管封装类型	140	11.4.4 CMOS和TTL的应用	164
9.5.5 表面组装晶体管封装类型	141	11.5 可编程逻辑器件	164
9.6 SCR和TRIAC元件	142	11.6 微处理器和微控制器	166
9.6.1 硅控整流器	142	11.6.1 微控制器编程	166
9.6.2 交流三极管	142	11.6.2 微控制器的类型	167
9.7 散热片	142		
9.8 集成电路	143		
9.8.1 传统集成电路封装类型	144		

11.6.3	选择微控制器	168	14.2.1	SPI	193
11.7	使用逻辑元件工作	168	14.2.2	I2C	196
11.7.1	探查和测量	168	14.2.3	关于SPI和I2C外围设备的 简单调查	198
11.7.2	提示和注意事项	169	14.3	RS-232	200
11.7.3	静电放电控制	169	14.3.1	RS-232信号	202
11.8	总结	170	14.3.2	DTE和DCE	203
第 12 章	离散控制接口	171	14.3.3	信号交换	204
12.1	离散接口	171	14.3.4	RS-232元件	205
12.1.1	离散接口应用	172	14.4	RS-485	205
12.1.2	制造离散接口	173	14.4.1	RS-485信号	205
12.2	离散输入	174	14.4.2	总线驱动器和接收器	206
12.2.1	使用上拉电阻或下拉 电阻	175	14.4.3	RS-485多点配置	206
12.2.2	使用有源输入缓冲器	175	14.4.4	RS-485元件	207
12.2.3	使用继电器输入	176	14.5	RS-232和RS-485	207
12.2.4	光隔离器	176	14.6	USB	208
12.3	离散输出	178	14.6.1	USB术语	208
12.3.1	电流吸收器和电流源	178	14.6.2	USB连接	209
12.3.2	缓冲离散输出	178	14.6.3	USB类别	210
12.3.3	简单单晶体管缓冲器	179	14.6.4	USB数据传输速率	210
12.4	逻辑电平转换	180	14.6.5	USB集线器	211
12.4.1	BSS138场效应管	180	14.6.6	设备配置	211
12.4.2	TXB0108	180	14.6.7	USB端点和管道	212
12.4.3	NTB0101	181	14.6.8	设备控制	212
12.5	元件	181	14.6.9	USB接口元件	213
12.6	总结	182	14.6.10	USB的实现	213
第 13 章	模拟接口	183	14.7	以太网网络通信	214
13.1	与模拟世界连接	183	14.7.1	以太网基础	214
13.1.1	从模拟到数字, 再从数字 到模拟	183	14.7.2	以太网集成电路、模块和 USB转换器	217
13.1.2	模数转换器	187	14.8	无线通信	218
13.1.3	数模转换器	187	14.8.1	带宽和调制	218
13.2	模拟信号的产生	188	14.8.2	ISM无线电频带	219
13.3	总结	189	14.8.3	2.45 GHz短程通信	220
第 14 章	数据通信接口	190	14.8.4	802.11	220
14.1	数字通信基本概念	191	14.8.5	蓝牙®	221
14.1.1	串行和并行	191	14.8.6	低功耗蓝牙	223
14.1.2	同步和异步	192	14.8.7	ZigBee	224
14.2	SPI和I2C	193	14.9	其他数据通信方法	225
			14.10	总结	225
			第 15 章	印制电路板	227
			15.1	PCB的历史	227

15.2	PCB基础知识	228	16.3.3	挤压铝材外壳	241
15.2.1	焊盘、过孔和走线	228	16.3.4	金属片外壳	242
15.2.2	表面组装元件	228	16.4	制造或回收外壳	243
15.2.3	制造	229	16.4.1	搭建塑料和木制外壳	243
15.3	PCB布局	229	16.4.2	非常规式外壳	244
15.3.1	尺寸确定	230	16.4.3	重新利用已有的外壳	245
15.3.2	部件安排	230	16.5	为电子器件设计封装	246
15.3.3	放置元件	231	16.5.1	设备尺寸和重量	246
15.3.4	在焊接面上设置走线	232	16.5.2	环境因素	247
15.3.5	在元件面上设置走线	232	16.5.3	热量因素	248
15.3.6	制作丝印层	233	16.6	来源	248
15.3.7	生成光绘文件	234	16.7	总结	249
15.4	制造PCB	234	第 17 章	测试设备	250
15.5	PCB指南	235	17.1	基本测试设备	250
15.5.1	布局网格	235	17.1.1	数字万用表	250
15.5.2	网格间距	235	17.1.2	使用数字万用表	251
15.5.3	定位基准	235	17.1.3	示波器	252
15.5.4	信号走线宽度	235	17.1.4	示波器的工作原理	253
15.5.5	供电走线宽度	236	17.1.5	使用示波器	255
15.5.6	走线间隔	236	17.2	先进测试设备	256
15.5.7	过孔尺寸	236	17.2.1	脉冲和信号发生器	256
15.5.8	过孔间隔	236	17.2.2	逻辑分析器	257
15.5.9	焊盘尺寸	236	17.3	购买二手和剩余的仪器	258
15.5.10	尖锐边角	237	17.4	总结	259
15.5.11	丝印层	237	附录 A	电子学基础和交流电路	261
15.6	总结	237	附录 B	电路图	300
第 16 章	封装	238	附录 C	参考书目	312
16.1	封装的重要性	238	附录 D	资源	315
16.2	封装的类型	238	附录 E	元件列表	321
16.2.1	塑料	238	词汇表	329	
16.2.2	金属	239			
16.3	库存器件外壳	239			
16.3.1	塑料外壳	239			
16.3.2	铸造铝外壳	241			

第 1 章 运动的电子

电气理论和电子学领域是极为广阔的，一开始甚至可能令人生畏。实际上，你不需要为了使电路正常运行而去了解所有的理论细节。但是，理解电是什么以及它整体上是怎样工作的，有助于你迈向成功。这就是我们以下要讲的内容。

本章有两个主要目的。首先，我想摒弃过去用于描述导体中电子流动的陈旧类比——“水在管中流动”。这个类比并不准确，还可能引起错误的设想。我认为，有一种更好的方法来形象地描述这一过程，但是我们需要对原子是什么，以及它的组成部分如何产生电荷以至最终产生电流有基本的了解。这听起来可能更像物理世界的内容（事实正是如此，还有化学世界），但是，一旦你懂得了这些概念，荧光灯、霓虹灯、闪电、电焊机、等离子切割炬、加热元件，以及你希望在项目中使用的电子元件等就都容易理解了。过去的“水在管中流动”模型类比确实不太恰当，而且除了解释为水在管中流动之外，它也不容易解释成别的什么东西。

其次，基于这个以原子为基础模型，我想介绍一些基本概念，这些概念将会在你从事自己的项目时用到。学完本章后，你应该已对**电压、电流和功率**等术语的含义有了很好的了解，并已掌握它们的计算方法。如果你需要更多基础性的细节，请查询附录 A，其中包含串联和并联电路概述以及交流电路的基本概念。当然，这方面有很多优秀的教材，如果你想深入探究电子学原理，我鼓励你去查阅它们。

如果你已经熟知电子学的基本概念，尽可以跳过这一章。如果你在过程中的某一环节需要更多细节，不要忘记查询附录 A 和附录 C 的建议参考内容。

1.1 原子和电子

电这个词在日常使用中指的是可以在计算机里、在壁式电源插座中、在街边电线杆上架着的电线里或者在电池两极找到的东西。但是，这个东西到底是什么呢？

电是**电子运动**的物理表现。电子是微小的亚原子物质，带负电荷。我们知道，所有的物质都是由原子组成的，每个原子中心都有一个原子核，带净的正电荷。每个原子内部又有一个或多个带负电荷的电子以量子化形式围绕着带正电的原子核高速运动。

听到电子“绕”原子核运动，似乎没有什么不寻常，但这种说法并不是完全准确的，至少对于传统的“绕”的含义来说并不准确。电子绕原子核运动的方式不像行星围绕恒星的运动，也不像卫星围绕地球的运行方式，但是这样类比已经很接近我们的目的了。

事实上，原子的结构更像在原子核周围包裹着一层层的“云”，电子位于“云”中的某处。一种考虑方法是把这些“云”想成概率云，电子有很高的概率位于特定的某一层。由于量子物理学的怪异原理，我们在任何给定的时间内都不能在不造成破坏的情况下直接确定电子的位置，但是我们可以通过间接测量来推断它的位置。这真是有点让人心烦，我们就不再深入讨论这个问题了。如果你想了解更多细节，我推荐你看一本现代化学或物理教科书。或者如果你要想看些轻量级的介绍，那你可以查看一下已故理论物理学家乔治·伽莫夫的“汤普金斯先生”系列丛书。

大多数原子核由两种基本粒子组成：**质子和中子**。氢原子是例外，它的原子核中只有一个带正电的质子。原子核中可能有多个质子，具体取决于它是哪一种原子（铁、硅、氧原子等）。每个质子都带一个正电荷（称为**单位电荷**）。大多数原子也含有多个中子，中子和质子的质量相近，却不带电荷（你可以认为

它们是原子核的压载物)。图 1-1 是一个氢原子和一个铜原子的示意图。

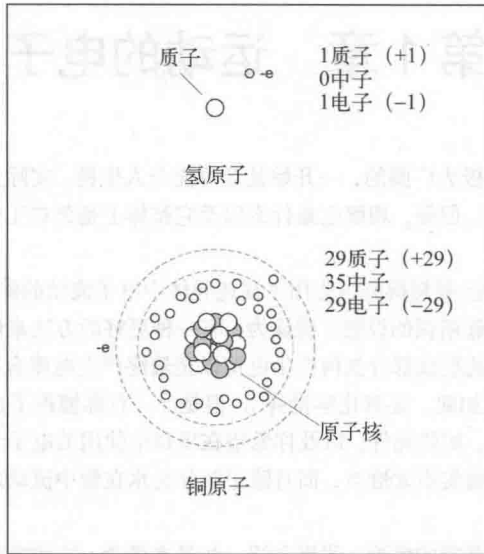


图 1-1 氢原子和铜原子

原子核中的质子带+1 单位电荷，与电子的-1 单位电荷相抵消，所以整个原子呈电中性，即原子处于稳定状态。如果原子丢失一个电子，它将带净的正电荷；而如果原子得到一个电子，它将带净的负电荷。

原子中的电子以轨道壳层（即前文所述“云”）的方式排布，最外层称为价电子层。传统理论认为每个壳层都有唯一的能量等级，每层都能约束特定数量的电子。最外层一般决定原子的化学和导电特性，依据是原子得失电子的难易程度。有些元素的价电子层是“不完整”的，例如金属。“不完整”的意思是该层的电子数小于最大可能电子数，该元素化学性质活泼，能与其他原子交换电子。当然，实际情况比这要复杂得多，但是更确切的定义超出了本书的范围。

例如，我们注意到图 1-1 中的铜原子有 29 个电子，其中一个在 28 个电子组成的主组之外（这 28 个电子应当排布在原子核周围的各个壳层内，此处为了清晰表示而没有画出）。这个单独的最外层电子就是铜的价电子。由于铜原子的价电子层不完整，这个电子结合得并不紧密，因此铜原子要把它传递出去并不费多大力气。换句话说，铜是相对良好的导体。另一方面，硫这样的元素最外层电子数完整，不容易释放电子。硫是导电性最差的元素之一，因此它是良好的绝缘体。银是导电性最好的元素，这也解释了它为何在电子学中应用广泛。铜的导电性次之，再往后是金。然而，还有一些其他元素传递电子的性质比较模棱两可，但是在特定的情况下会导电。它们叫作半导体，是现代电子工业的关键物质。

以上模型对于我们的目的已然足够，我们就不深究原子结构的更多秘密了。我们感兴趣的是当原子在传递电子时发生了什么，以及为什么它们会这样开始。

1.2 电荷和电流

电学包括两个基本现象：电荷和电流。电荷是物质的基本特性，是物质与电中性时相比，所带电子数多余（带负电荷）或电子数不足（带正电荷）而显现出的特性。带负电荷或正电荷的原子有时称作离子。

电荷的基本特性之一是同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。这就是电子和质子能够被约束在一个原子核的原因，尽管在大多数情况下，由于原子粒子的其他基本特性，电子和质子并不能直接结合在一起（特殊情况包括某种特定的放射性衰变和超新星爆发）。最重要的是，我们要记住，负电荷会排斥电子，而

正电荷会吸引电子。

电荷的内部和它自身都是很有趣的，但从电子学的角度来看，并不是特别有用。对于我们来说，只有当电荷运动时，有趣的事情才真正开始。电子在回路中的运动称为**电流**。在寒冷干燥的天气里，当你行走在地毯上时，身上积累了静电荷，在你碰到门把手时发生了电荷的传递，这也是电流现象。实际上，电流从高电势（你）流向低电势（门把手），很像瀑布的水一泻千里，也像石头滚落山坡。这样，索然无趣的静电荷突然就变得非常有意思了（或者至少应当引起你的注意）。当电荷静止时，它被称作**电势**，我们可以在电势和机械势能之间做个类比，你会在下文看到。

当组成导体和电路元件的原子之间互相传递电子时，电流就产生了。电子向带正电的物质移动，所以如果你用导线将一个小灯泡与电池连接起来（有时称作闪光灯），电子从电池的负极流出，穿过灯泡，回到电池正极。它们使灯丝白热发光。

图 1-2 是导线中铜原子的一幅简化图表，它显示了将电流形象化的一种方式。当一个电子进入导线的一端，它就使得第一个原子带负电荷，于是这个原子带有多余的电子。假设有一个连续的电子源，新的电子不能由原路返回，所以它向下一个电中性原子移动。该原子现在带负电，有一个多余电子。为了再次变回电中性（原子的首选稳定状态），这个原子又将一个多余电子传递给下一个（电中性）原子，以此类推，直到一个电子在导线的另一端出现。只要导线连接着一个受压的电子源和让电子返回电子源的路径，电流就会一直流动。这种压力叫作**电压**，在 1.3 节会有详细介绍。

图 1-3 显示了对电流的另一种理解方式。此处我们有一根装满了弹球（电子）的导管（导体）。

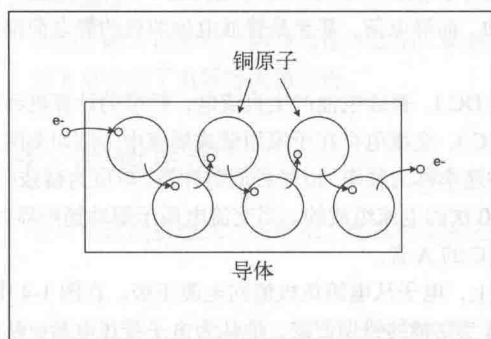


图 1-2 电子在导线中运动

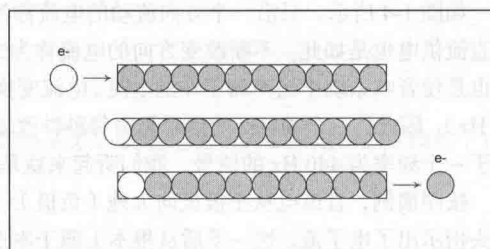


图 1-3 电子模型——导管中的弹球

当把一个弹球推入导管的一端，就会有一个弹球从另一端掉落。管中的弹球数量保持不变。需要注意的是，进入导体一端的电子和从另一端出来的电子并不一定是同一批，如图 1-2 和图 1-3 所示。事实上，如果导体足够长，从一端引入的电子可能就不是从导体另一端离开的电子了，但是电子一定会出现，你仍然能测量导体中电子的运动。

1.3 基本电路中的电流

闭合电路中，电子能够在闭合环路中从高电势向低电势运动，因此形成了电流。换言之，电流的形成需要一个对电子有推力的电子源和电子的返回点。

电流（一种物理现象）有四种基本特征量：电压、电流、电阻和功率。我们将使用图 1-4 中的简单电路作为接下来讨论的基准。注意，电路是以图片和电路图形式同时绘出的。若想了解更多的电路图符号，请参考附录 B。

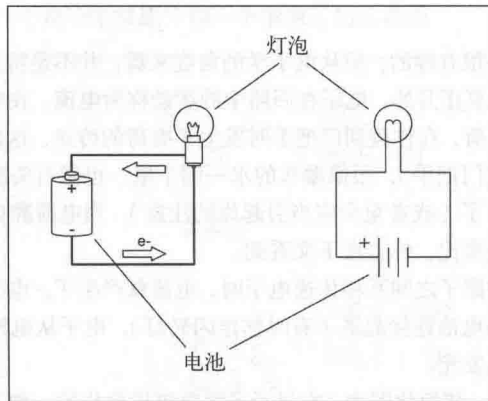


图 1-4 简单直流电路

关于**电流**这一术语，有以下几点需要说明。这个词在电子学中有不止一个含义，一开始可能会令人困惑。在一种意义上，电流是指穿过某种导体的电子流，它指的是电子所带电荷的运动。在另一种意义上，电流指的是穿过导体的电子数，它说明了在某个时间点经过电路某点的电子数量。换句话说，对电流的测量就是对运动的电子数量的测定。

对电流的一种理解方式就是记住电流必须在运动状态下测量。所以当你看见**电流**这个词时，它通常指的是运动状态。更明确地说，**电流**通常指的是电荷的移动。而静电荷，甚至是普通电池两极的静电荷都没有电流，也没有可测量的电流。

如图 1-4 所示，只沿一个方向流动的电流称为**直流 (DC)**。普通电池产生直流电，标准的计算机系统的直流供电也是如此。不断改变方向的电流称为**交流 (AC)**。交流电存在于家用壁式插座中（例如美国），它也是使音响系统中扬声器工作的电流。电流变换方向的速率称为**频率**，以每秒周数计量，单位为赫兹（缩写 Hz）。因此，一个 60 Hz 的信号是由每秒钟改变方向 60 次的电流组成的。当交流电用于驱动扬声器时，对于一个频率为 440 Hz 的信号，我们听起来就是高于中 C 的 A 音。

按照惯例，直流电从正极流向大地（负极），而事实上，电子从电源负极流向电源正极。在图 1-4 中，箭头指示出了电子流。这一矛盾从根本上源于本杰明·富兰克林的错误假定，他认为电子带正电荷，从电源正极流向电源负极。他的猜想是错误的，但是当物理学家弄清楚真实情况的时候，我们已经形成了根深蒂固的惯例，因而就有了传统电流和电子电流。虽然你应该知道了这一矛盾的存在，但从此处开始，我们还是要使用传统电流，因为大多数电子工业都沿用这一惯例。

伏特 (V) 是测量电势差、电势和电动势的单位。当使用**电压**这个术语时，通常指的是电路两点之间的电势差。换言之，我们说静电荷带有一定的伏特（电势），但在电路两点之间有一定的电压（电势差）。

电压可以被形象地理解为压力或驱动力（尽管它实际上并不是一种机械力）。这就是由电池或发电机产生的电动势（EMF），电动势可以驱动电流在电路中流动。尽管电源看起来不像发电机，它（例如插进壁式插座给手机充电的电源）也不过是某个电厂的发电机输出整流器而已。

电压也可以理解为电场中两点间的电势差。它类似于分别位于梯子顶端和高塔顶端的炮弹之间的势能之差。两枚炮弹都位于地球的重力场之中，都具有势能，而使它们达到各自的位置也需要做功。当炮弹释放时，塔顶的炮弹落到地面时比梯子顶端的炮弹落到地面时能量更大，因为它的高度更高，具有的势能也更大。

对电压的这两种描述实际上是一枚硬币正反两面的关系。为了在两点间建立电势差，必须做功。做功产生的能量消耗完之后，电势就会降低。当炮弹坠到地面上时，为了抬升它而克服重力所消耗的能量都转化为在地面上砸出一个深坑所需要的动能。

这里我们记忆的重点是高电压比低电压有更多的可用电能（压力）。这就是为什么你用一截导线短接一块普通的 9 V 电池，却只能看见微弱的火花，而 1000 万伏（或更高）的闪电却能在一瞬间照亮云层到地面之间遥远的距离。闪电的电压更高，因此与地面的电势差也更高，它能够克服途中空气的绝缘效应。

尽管电压可以被理解为电的压力，但电流是对某一时间点通过电路的电子总量的测量。记住，电流有两个含义：电子的运动（电子流）和电子的流量。在电子学中，电流这个词通常指的是在一瞬间流过导体中某一特定点的电子数量。此时电流的含义是物理学上的数量，用安培（A）这一单位测量。

既然已经了解了电压和电流，那我们就可以检测一下在某些特定电压下，电荷在运动（有电流）时发生的事情。无论传统导体的性能多么优良，它也不可能在对电流不造成任何阻碍的情况下使电子通过（超导体可以，但此处不讨论这个问题）。电阻是对电路中的电流受到阻碍大小的衡量，单位是欧姆（ Ω ），以德国物理学家格奥尔格·西蒙·欧姆的名字命名。之后的 1.6 节对于电阻的物理特性有更详细的阐述。现在来看看电阻是如何对电流产生影响的。

你可能会把电阻想象成类似机械摩擦的东西（但是这个类比并不完美）。当电流流过电阻，一部分电势差就转化为热量，在电阻两端会产生压降。所产生的热量与流过电阻的电流和压降的大小成函数关系。我们将在 1.5 节详细讨论这个问题。

你也可以认为电阻是对原子的价电子层电子所表现出的“黏性”的量度。易于释放或接收电子的原子具有较低的电阻，而紧抓住电子不放的原子则会有较高的电阻（当然，一般情况下，不释放电子的物质是良好的绝缘体）。

例如，碳可以导电，但导电性不如铜。碳被广泛应用于制造电路中的电阻元件。

第 8 章介绍了电阻等无源元件。

1.4 欧姆定律

你可能已经猜想到，在电压、电流和电阻之间存在基本关系，这就是著名的欧姆定律。定律如下：

$$E = IR$$

E 为电压（伏特）， I 为电流（安培）， R 为电阻（欧姆）。

这个简单的公式是电子学的基础，事实上它是你制作电子器件所需的唯一公式。在图 1-4 中，电路中只有两个元件：电池和灯泡。灯泡组成了电路的负载，它对电流有阻碍作用。白炽灯的电阻随温度而改变，但是此例中我们假设灯点亮时，它的电阻为 $2\ \Omega$ 。

电池电压为 1.5 V，此例中我们假设它在额定输出电压下能在一小时内提供的最大电流为 2000 mA（毫安）。这就是电池的额定容量，对于典型的 AA 碱性电池，额定容量通常约为 2000 mAh（毫安时）。毫是千分之一，因此 2000 mA 相当于 2 A 电流。

利用欧姆定律，我们可以解得灯泡从电池获得的电流 I 大小为：

$$I = E / R$$

即：

$$I = 1.5 / 2 = 0.75\ \text{A}$$

此处 I 的值也可以写作 750 mA。如果想知道电池能供电多长时间，你可以用容量除以电路中的电流：

$$2000 / 0.75 \approx 2.67\ \text{小时}$$

1.5 功率

在图 1-4 所示的简单电路中，电子在灯丝中流动，把灯丝加热到使其明亮的温度（1600°C~2800°C）。灯丝变热是因为它有电阻，这样电流通过它就不如通过导线容易。

功率是在单位时间内做功的速率，以瓦特（W）计量。一瓦特定义为每秒消耗或产生 1 焦耳（J）的能量。在电路中，一瓦特也可定义为 1 A 电流在 1 V 电势差下流过电阻。当电荷通过阻抗元件，从高电压向低电压（电势差）移动时，电势中的能量转化为其他形式的能量，例如热能或机械能。

我们可以通过将电压乘以电流来计算直流电路中的功率（ P ）：

$$P = EI$$

在手电筒电路的简单例子中，用于驱动电流流过灯丝的功率以热量的形式表现出来，在灯丝达到足够高的温度以后又以光的形式表现出来。如果想知道灯泡消耗了多少功率，只需用通过灯泡的电流乘以电压：

$$P = 1.5 \times 0.75 = 1.125 \text{ W}$$

将得到的功率值与标称功率为 100 W 的普通白炽灯泡进行比较。老式的 100 W 灯泡在 110 V 交流电（美国标准家用电压）下的电流为：

$$I = PE = 100 / 110 = 0.9 \text{ A}$$

真奇怪！大灯泡的电流只比连接电池的小灯泡的电流多一点！这是怎么回事呢？

差别就在于施加给灯泡的电压和灯泡的内部电阻。计算出了 100 W 灯泡通过的电流，你就很容易算出它的内阻应该是多少。你还能看出为何不关灯（或使用老式灯泡）会很浪费。电流积少成多，每瓦功率也都要费钱。

1.6 电阻

现在我们来更仔细地观察一下电阻现象，因为它是电子学最为基础的一部分。正式来说，1 Ω 等于在 1 V 的电势差下，通过电流为 1 A 的导体两点间的电阻。这种关系当然是由欧姆定律定义的。

电阻是电路中的关键因素，因此它是欧姆定律方程中的三个变量之一。前面我们讲过，除了奇异的超导体，每个电路都有一定大小的电阻。就连连接电池和用电装置的导线都有一些内阻。

开关有内阻，连接器甚至印制电路板（PCB）上的铜走线都有内阻。图 1-5 显示了一个简单的直流电路和等价电阻，就说明了这一点。

你可能在图 1-5 中注意到，电池也有一定的内阻。附录 A 讨论了串并联电路的电阻及阻值计算方法，但是此处的重点是告诉我们，在电路世界里一切都是有所阻碍的。就电子的存在而言，电阻无处不在。

通常，设备的内阻可以忽略，因为内阻比较小，对设备的整体操作影响也较小。但是，如果设备在较低的电流下运行较长时间而不更换电池的话，内阻就需要加以考虑了。对电流的阻碍意味着推动电子经过电阻元件时消耗了能量，并以热量的形式散发出去。除非你有意使用电阻加热（电热元件就是这样工作的），否则能量就被浪费了。

在电子学中，称为电阻器的无源元件可能是最常用到的零件。电阻器有各种标称阻值和功率，从极小的表面组装电阻片到用于消散动力制动过程中所产生多余能量的巨大的内燃电动机车载设备。图 1-6 展示了一个常见的 1/4 W 碳合电阻器。关于电阻和其他无源元件的更多信息，请查询第 8 章。

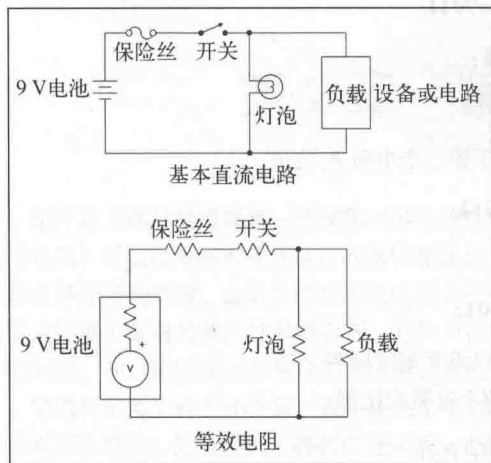


图 1-5 电路电阻举例

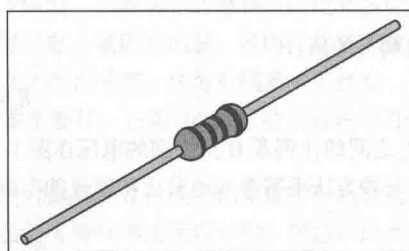


图 1-6 常见电阻

电阻可以用来限流、减压，并在电路中的特定位置提供特定的电压。电阻在网络分析（是电网，并非数据网络）、等效电路理论和功率分配建模等分析应用中起到很大的作用。

1.7 示例：制造分压器

如果你只有某个型号电源、几个电阻和一条欧姆定律，那你能做的也不少。例如，假设你想用一个 9 V 电压的电池向电路输出 5 V 的直流电压。假设电路需要的电流不大（可能只有几毫安），而且你也不太关心 5 V 电压是否稳定，那么一个简单的分压器（见图 1-7）就可以满足你的要求。

我们希望在 A 点加上 9 V 电压时，B 点的电压为 5 V。所选择的两个电阻阻值能够使流过它们的电流为 100 mA。在 B 点接入的电路中的电流没有计入，我假设它的电流很小，对 B 点的电压电平影响也不大。

我们注意到图 1-7 所示的分压器中的两个电阻阻值不同，一个为 $40\ \Omega$ ，另一个为 $50\ \Omega$ 。如果 R_1 和 R_2 阻值相等，B 点的电压将是 4.5 V，而不是我们想要的 5 V。

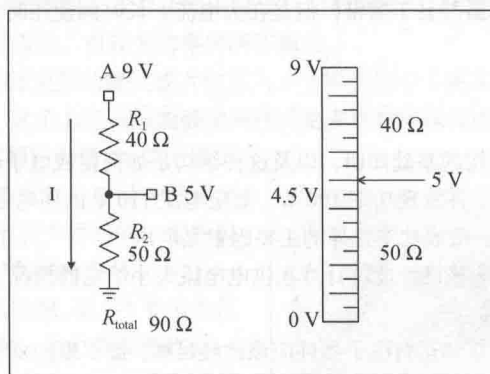


图 1-7 简单的分压器

那么，我是怎样得到这两个阻值的呢？首先计算出分压器电路的总电阻。由于我们已经知道了输入电压和流过电阻的电流，就可以这样计算：

$$R = E / I = 9 / 0.1 = 90 \Omega$$

因为分压器有两个电阻，它们的阻值之和必定等于总阻值：

$$R_1 + R_2 = 90 \Omega$$

利用电流和分压器的目标输出电压（B点），我们就得到了第二个电阻 R_2 的值：

$$R_2 = 5 / 0.1 = 50 \Omega$$

R_1 就是剩下的值：

$$R_1 = 90 - R_2 = 40 \Omega$$

R_1 和 R_2 之间的比例及 B 点得到的电压在图 1-7 中的右侧以垂直刻度标明。

另一种方法不需要知道分压器流过的电流，只需要两个电阻的比例：

$$V_{\text{输出}} = V_{\text{输入}} \times (R_2 / (R_1 + R_2))$$

那么，这块 9 V 电池能用多久呢？一块标准的普通 9 V 碱性电池标称容量约为 550 mAh。我们可以使用前文计算简单灯泡电路的方法。用电池的标称容量除以分压器的电流，可以得到：

$$550 / 100 = 5.5$$

因此，在该电路中，电池能够连续使用约 5.5 小时。

作为练习，请计算这个简单电路能耗费多少功率。由于电阻的额定值包括阻值和功率损耗两个方面，很容易看出这两个电阻的功率都应该是 1 W 左右。该电路的功率大大超过了一个小型的 1/8 W 元件。

而且，我在前文提到，我假设 B 点接入的任何元件或电路都不会通过太大的电流。你可以将两个电阻的阻值扩大一个数量级（ $\times 10$ ），从而将总电流减小到 10 mA，但仍然有足够的裕度能在 5 V 上下提供一个很小的电流。这样就能将电池寿命延长到 55 小时或更长，并显著减少电阻器的额定功率要求。当你使用分压器为电路中的有源元件提供参考电压时，电流消耗通常很小（可能在微安范围内），因为起决定作用的是电压。在这种情况下， R_1 和 R_2 的阻值可以非常大，以进一步减小分压器上的电流。

这个小练习清楚地说明了一些事情。第一，你不会真的想用分压器来充当电源。稳压器的效果更好，不会无意义地耗散太多热量。我们将在第 5 章讲解电源，第 9 章讲解稳压器等有源元件。第二，在有多元变量的情况下，寻找解决方案的空间很大，有的解决方案比别的要好。不要抓住第一个结果不放，因为可能有更好的方法。第三，电池虽然易于携带，但是在大电流、长时间使用时寿命较短。

1.8 总结

本章中我们学习了原子结构的基础知识，以及这种结构是如何促成电子运动的。我们还学习了电压、电流、功率和电阻的基础知识，并发现功率 100 W、额定电压 110 V 的用电器的电流只比功率 1.25 W、电压 1.5 V 的用电器的电流略大。造成功率差异的主要因素是电压。

理解了这些知识以后，你应该已经能够计算在供电电流大小给定的情况下，电子设备耗费的功率是多少，一块电池能使用多久。

以上的基本理论对于你制作和运行电子器件应该已经足够，接下来的章节会介绍其他必要的概念。如果你真的想深入到理论中以求进一步的了解，我建议你在附录 C 中找一本出色的参考作品。附录 B 列出了电子学中常用的各种符号图，并简要介绍了如何使用电路图绘制工具来绘制干净整洁的电路图。

第2章 紧固件和黏合剂

制作新东西总是需要将一些物体与其他物体连接在一起。而对一个物体稍作修饰，以使其适应其他的应用目的，可能需要将未曾连接过的物体相连接。这就涉及保证黏合紧固的问题。紧固件和紧固技术是使物体可靠连接的关键，也是为电路或机电设备制造坚固底盘和外壳的关键。作为后续章节的前奏，本章讲解了应用更为普遍的紧固件和黏合剂，它们可以连接两个或多个物体。在第16章，我们将讲解外壳和封装的问题，并讨论紧固件和黏合剂是怎样使用的。

紧固件的类型和大小各异。有些是大家熟知的，例如螺钉和螺栓，其他类型的紧固件，例如铆钉，虽然没有那么普遍，但也得到了各种广泛应用。也有些紧固件是为了特殊用途而设计的。但是不论类型和大小，所有的紧固件都要完成它们名称的使命：将一件物品固着到另一件物品上。

虽然你可能一下就想到螺母、螺栓和螺钉，但紧固件并不总是由金属制成的。一些可重复使用的用按扣连接的塑料紧固件可用于硬纸板制材料的连接，也是制作一次性玩具和童装的良好材料（也有其他应用）。螺钉和螺栓也常用于各种非金属材料，例如尼龙、聚四氟乙烯、木头和陶瓷。

我们需要注意，紧固件这个词不排除黏合剂之类的材料（即胶水、硅橡胶和其他化合物）。本章也简要介绍了各种可用的黏合剂。黏合剂是连接物体的一种方便的方式，如果方法得当，物体的连接就会紧密牢固，如同用螺钉或铆钉连接的一样。紧固的概念甚至还可以延伸到铜焊、焊接和钎焊，但本章不涉及这些话题。钎焊在第4章和本书的其他部分中做了介绍。铜焊（一种类似于高温焊接、使用氧-乙炔焊炬的技术）和焊接是自成一体的技术形式，有大量优秀的参考书目和指导手册。而且，很多社区学院和职业学校也提供这两种技术的培训课程。

2.1 螺钉和螺栓

关于螺纹紧固件有各种各样的描述标准，但是关于螺钉和螺栓之间的区别却没有被普遍接受的定义。一些资料以它们的使用方法作为定义两者之间区别的基础：螺栓被安装在一件物体上，用螺母固定；而螺钉被旋入一个有着预成型螺线的零件，或者在旋入时自行切割螺线（自攻丝螺钉）。螺纹紧固件的命名也与尺寸有关，小零件通常叫作螺钉，而较大的零件叫作螺栓。

总之，螺栓和螺钉都使用螺旋形的螺线或者被压入一个棒状物中（通常是金属，但是尼龙、塑料和木头也常用到）来产生轴向力，这个力反过来能够使两件或更多件物体保持固定。

图2-1展示了各种可用的螺钉和螺栓。你只需记住，一个零件在这种情况下是螺钉，在另一种情况下又可能是螺栓。本书将基于前文所述的一般的尺寸和用法分类标准来使用螺钉和螺栓这两个术语。

可用的螺钉类型多得令人吃惊，图2-1举出的仅是一个小小的例子。幸运的是，你不需要熟悉每一种类型才能做出明智的选择，你也不需要拥有一个装满紧固件的仓库才能做有用的工作。



图2-1 各种螺钉和螺栓