

从零开始

学电工电路

全面提升从业技能
看得懂 学得会 用得上

刘建清 ◎ 主编

陶柏良 范军龙 ◎ 编著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

从零开始

学电工电路

刘建清 ◎ 主编
陶柏良 范军龙 ◎ 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

从零开始学电工电路 / 刘建清主编 ; 陶柏良, 范军龙编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2019.4
ISBN 978-7-115-50773-0

I. ①从… II. ①刘… ②陶… ③范… III. ①电工—基本知识②电路—基本知识 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第023415号

内 容 提 要

这是一本专门为电工电路初学者“量身定做”的“傻瓜型”教材,本书采用新颖的讲解形式,深入浅出地介绍了电工电路相关知识,主要包括:电路基本知识、电路基本定律和定理、电路的等效和分析方法、磁路基本知识、交流电路、互感和变压器、电路仿真软件,最后讲解了电工基本技能等方面的内容。

全书语言通俗,重点突出,图文结合,简单明了,具有较强的针对性和实用性,适合电子初学者、无线电爱好者阅读,也可作为中等职业学校、中等技术学校相关专业培训教材使用。

-
- ◆ 主 编 刘建清
编 著 陶柏良 范军龙
责任编辑 黄汉兵
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>
三河市中晟雅豪印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.5 2019年4月第1版
字数: 321千字 2019年4月河北第1次印刷
-

定价: 49.00 元

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

反盗版热线: (010)81055315

我们所处的时代是一个知识爆发的时代，新产品、新技术层出不穷，电子技术发展更是日新月异。当你对妙趣横生的电子世界发生兴趣时，首先想找一套适合自己学习的电子方面的图书阅读，“从零开始学电子”丛书正是为了满足零起点入门的电子爱好者而写的。全套丛书共有如下6册。

从零开始学电工电路

从零开始学电动机、变频器和 PLC

从零开始学电子元器件识别与检测

从零开始学模拟电路

从零开始学数字电路

从零开始学 51 单片机 C 语言

和其他电子技术类图书相比，本丛书具有以下特点。

内容全面，体系完备。本丛书给出了电子爱好者学习电子技术的全方位解决方案，既有初学者必须掌握的电工电路、模拟电路和数字电路等基础理论，又有电子元器件检测、电动机等操作性较强的内容，还有变频器、PLC、51 单片机、C 语言等软硬件结合方面的综合知识。内容翔实，覆盖面广。掌握好本系列内容，读者不但能轻松读懂有关电子科普类杂志，再稍加实践，必定成为本行业的行家里手。

通俗易懂，重点突出。传统的图书在介绍电路基础和模拟电子等内容时，大都借助高等数学这一工具进行分析，电子爱好者自学电子技术时，必须先学高等数学，再学电路基础，门槛很高，大多数电子爱好者被拒之门外，失去了学习的热情和兴趣。为此，本丛书在编写时，完全考虑到了初学者的需要，既不讲难懂的理论，也不涉及高等数学方面的公式，尽可能地把复杂的理论通俗化，将烦琐的公式简易化，再辅以简明的分析和典型的实例。这构成了本丛书的一大亮点。

实例典型，实践性强。本丛书最大程度地强调了实践性，书中给出的例子大都经过了验证，可以实现，并且具有代表性。本丛书中的单片机实例均提供有源程序，并给出实验方法，以方便读者学习和使用。

内容新颖，风格活泼。丛书所介绍的都是电子爱好者关心的并且在业界获得普遍认同的内容。丛书的每一本都各有侧重，又互相补充，论述时疏密结合，重点突出，不拘一格。对于重点、难点和容易混淆的知识，书中还用专用标识进行了标注和提示。

把握新知，结合实际。电子技术发展日新月异，为适应时代的发展，丛书还对电子技术的新知识做了详细的介绍；丛书中的应用实例都是作者开发经验的提炼和总结，相信会给读者带来很大的帮助。在讲述电路基础、模拟和数字电子技术时，还专门安排了软件仿真实验，实验过程非常接近实际操作的效果。仿真软件不但提供了各种丰富的分立元件和集成电路等元器件，还提供了各种丰富的调试测量工具：各种电压表、电流表、示波器、指示器、

分析仪等。仿真软件是一个全开放性的仿真实验平台，给我们提供了一个完备的综合性实验室，可以任意组合实验环境，搭建实验。电子爱好者通过实验，将使学习变得生动有趣，加深对电路理论知识的认识，一步一步走向电子制作和电路设计的殿堂。

总之，对于需要学习电子技术的电子爱好者而言，选择“从零开始学电子”丛书不失为一个良好选择。该丛书一定能给你耳目一新的感觉。当你认真阅读完本丛书后会发现，无论是你所读的书，还是读完书的你，都有所不同。

在内容安排上，本书首先介绍了电子技术常用的名称、概念，比如什么是电流、电压、电动势，什么是磁场、磁力线、磁通等，然后对直流电路的基本定律、定理和交流电路、三相交流电路进行了简要分析，并介绍了两种常用的仿真软件在电路分析中的应用，最后，结合实践，对电工人员常用工具、电路及操作进行了总结。

本书具有较强的针对性和实用性，内容新颖、资料翔实、通俗易懂，同时，考虑到初学者使用方便，书中所讲解的基本概念和电路均进行了认真的分类和总结。

参加本书编写工作的还有宗军宁、刘水潺、宗艳丽等同志。由于作者水平有限，疏漏之处难免，诚恳希望各位读者批评指正。

作者

2018年8月

第 1 章 电子电工电路基本知识	1
1.1 电路及其基本物理量	1
1.1.1 电路和电路图	1
1.1.2 电路基本物理量	3
1.1.3 电路的三种状态	10
1.2 电阻及电阻定律	11
1.2.1 电阻的定义	11
1.2.2 电阻定律	11
1.2.3 可变电阻	12
1.2.4 电阻的串联与并联	13
1.3 导体、绝缘体、半导体和超导体	13
1.3.1 导体和绝缘体	13
1.3.2 半导体	13
1.3.3 超导体	14
1.4 电荷和电场	14
1.4.1 电荷间的相互作用	14
1.4.2 电场强度和电场线	16
1.4.3 电场中的导体	17
1.4.4 电势和电势差	19
1.4.5 静电的防止和应用	21
1.4.6 带电粒子在匀强电场中的运动	22
1.5 电容器	23
1.5.1 电容器的定义	23
1.5.2 电容器的分类	24
1.5.3 平行板电容器的电容	24
1.5.4 电容器的特性	25
1.5.5 电容器的容抗	27
1.5.6 电容器的连接	28

第 2 章 电路基本定律	32
---------------------	----

2.1 欧姆定律和焦耳定律	32
2.1.1 部分电路欧姆定律	32
2.1.2 焦耳定律	33
2.1.3 闭合电路欧姆定律	34
2.2 基尔霍夫电流和电压定律	37
2.2.1 支路、结点、回路和网孔	37
2.2.2 基尔霍夫电流定律 (KCL)	37
2.2.3 基尔霍夫电压定律 (KVL)	38
2.3 电路中的计算技巧	40
2.3.1 欧姆定律的应用技巧	40
2.3.2 电功率的几个计算公式	40
2.3.3 设定电路的参考电位	42

第 3 章 电路的等效变换

3.1 电阻电路的等效变换方法	44
3.1.1 根据等势点画等效电路图	44
3.1.2 对称电路的等效电阻求法	45
3.1.3 外加电源法求等效电阻	47
3.1.4 电阻 Δ 形联结和 Y 形联结等效变换	48
3.1.5 无穷网络电阻的求法	49
3.2 电压源和电流源的等效变换	50
3.2.1 电压源	50
3.2.2 电流源	51
3.2.3 电压源与电流源的等效变换	52

第 4 章 电路基本分析方法和

重要定理

4.1 电路基本分析方法	54
4.1.1 支路电流法	54
4.1.2 结点电压法	56

4.2	电路分析重要定理	58
4.2.1	叠加原理	58
4.2.2	戴维南定理	60
4.2.3	诺顿定理	62
4.2.4	非线性电阻电路简介	62

第5章 电磁基础知识

5.1	磁场和磁感线	64
5.1.1	简单磁现象	64
5.1.2	磁体周围的磁场和磁感线	65
5.1.3	电流的磁场和磁感线	66
5.1.4	地磁场	69
5.1.5	磁场的应用	69
5.2	安培力和磁感应强度	70
5.2.1	安培力的大小和磁感应强度	70
5.2.2	安培力的方向和左手定则	72
5.2.3	安培力的应用	73
5.2.4	磁场中的运动电荷	74
5.3	电磁感应	76
5.3.1	磁通量和电磁感应现象	76
5.3.2	法拉第电磁感应定律	79
5.3.3	楞次定律和右手定则——感应电流的方向	80
5.3.4	电磁感应现象中能量的转化	83
5.3.5	自感	84
5.3.6	涡流	88
5.4	磁性材料的性能	89
5.4.1	磁导率	89
5.4.2	磁场强度	89
5.4.3	磁性材料的磁性能	89
5.4.4	磁性材料的分类	91
5.4.5	磁性材料的居里点	91
5.4.6	磁性材料在电饭锅中的应用	91

第6章 交流电路

6.1	正弦交流电路基本知识	93
-----	------------	----

6.1.1	正弦交流电的产生及变化规律	93
6.1.2	正弦交流电的三要素	98
6.1.3	正弦交流电的表示法	103
6.2	电阻、电感和电容交流电路	105
6.2.1	纯电阻电路	105
6.2.2	纯电感电路	106
6.2.3	纯电容电路	109
6.2.4	RLC 串联交流电路	113
6.3	功率因数的提高	115
6.3.1	功率因数降低的原因	115
6.3.2	提高功率因数的措施	116
6.4	RC 和 LC 电路	116
6.4.1	RC 串联和并联电路	116
6.4.2	滤波器	117
6.4.3	LC 自由振荡电路	119
6.4.4	LC 谐振电路	121
6.4.5	陷波器	124
6.4.6	RC 移相电路	126

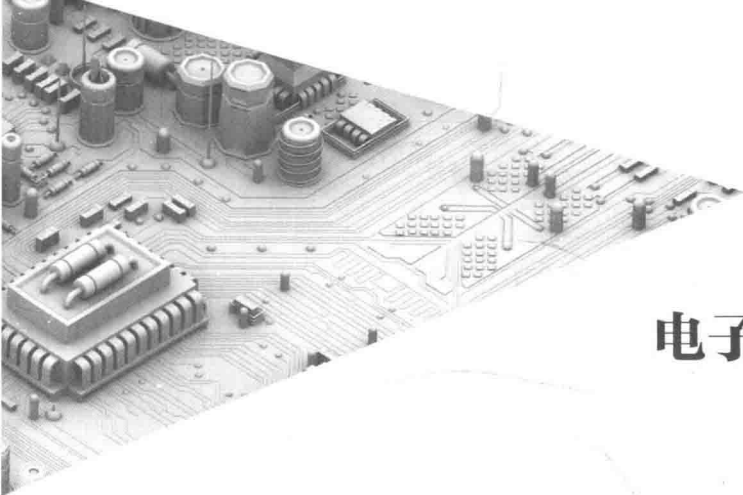
第7章 三相交流电路

7.1	三相交流电源	129
7.1.1	三相交流电的产生	129
7.1.2	三相电源的连接方式	130
7.2	三相电路负载的连接	131
7.2.1	负载星形连接的三相电路	131
7.2.2	负载三角形连接的三相电路	133
7.3	三相电路的功率	133
7.3.1	有功功率	133
7.3.2	无功功率和视在功率	134

第8章 互感和变压器

8.1	互感	136
8.1.1	互感现象	136
8.1.2	互感系数	136
8.1.3	互感电动势	137
8.1.4	互感线圈的同名端	137
8.1.5	互感线圈的连接	138

8.2 变压器	140	10.2 电工常用工具的使用	174
8.2.1 变压器的结构	140	10.2.1 试电笔	174
8.2.2 变压器的原理	141	10.2.2 钢丝钳	175
8.2.3 变压器的功率和效率	145	10.2.3 螺丝刀	176
8.2.4 特殊变压器	146	10.2.4 活扳手	176
8.2.5 变压器的同名端特性说明	148	10.2.5 电工刀	177
8.2.6 变压器的屏蔽	148	10.2.6 电烙铁	177
8.2.7 电力三相变压器简介	149	10.2.7 指针万用表	178
10.2.8 数字万用表	182	10.2.9 钳形电流表	186
10.2.10 兆欧表	186	10.3 家用用电线路的连接与识图	189
第9章 电子电工仿真软件的使用	152	10.3.1 家用用电线路的组成	189
9.1 Edison 仿真软件的使用	152	10.3.2 家用用电线路的基本连接	194
9.1.1 Edison 简介	152	10.3.3 家用用电线路识图	196
9.1.2 Edison 的基本操作	153	10.4 工厂供配电系统介绍	198
9.1.3 电路图编辑器	155	10.4.1 工厂供配电系统的组成	198
9.1.4 用 Edison 仿真软件做电路基础实验	155	10.4.2 电力系统的接地	199
9.2 Multisim 仿真软件的使用	159	10.4.3 高低压开关柜、配电箱/配电柜介绍	200
第10章 电工基本技能实训	162	10.4.4 应急备用电源	205
10.1 供电与安全用电	162	主要参考资料	208
10.1.1 电力系统组成	162		
10.1.2 电能的输送	163		
10.1.3 安全用电	164		
10.1.4 建筑防雷	173		



第 1 章

电子电工电路基本知识

本章主要介绍电子电工电路基本知识点，主要包括电路及电路图，电阻及电阻定律、串并联电路，导体、绝缘体、半导体和超导体，电荷、电场和电容器等。

| 1.1 电路及其基本物理量 |

1.1.1 电路和电路图

1. 电路

电路就是电的流通过径，通常由电源、负载、连接导线和控制器组成。其中，电源是将非电能转换为电能的设备，如电池、发电机等；负载是将电能转换为非电能的设备，如电灯、电炉、电动机等；连接导线用以传输及分配电能，控制器用来控制电路通断、保护电源，如开关、保险丝、继电器等。图 1-1 是一个简单的电路，也就是我们日常生活中经常用到的手电简单电路。

2. 电路图

在实际工作中，为便于分析，通常将电路中的实际元件用图形符号表示在电路中，称为电路原理图，也叫电路图，图 1-2 所示的是图 1-1 的电路图。

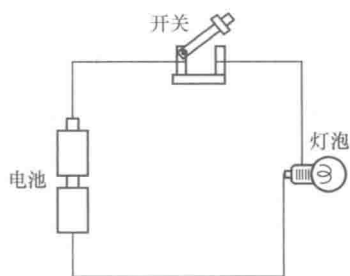


图 1-1 简单电路

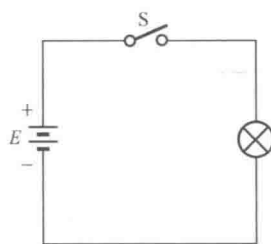


图 1-2 简单电路的电路图

图 1-3 所示的是电路图中几种常用元件符号。

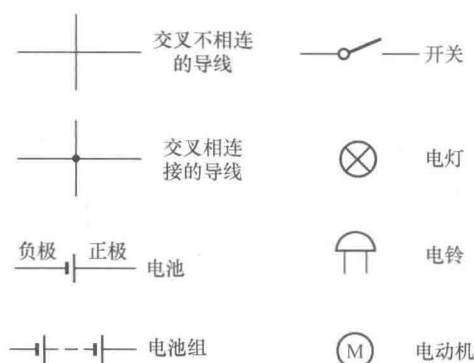


图1-3 电路元件符号

3. 串联电路和并联电路

按图 1-4 所示的那样，把两只小灯泡顺次连接在电路里，一只灯泡亮时另一只也亮。像这样把元件逐个顺次连接起来，就组成了串联电路。

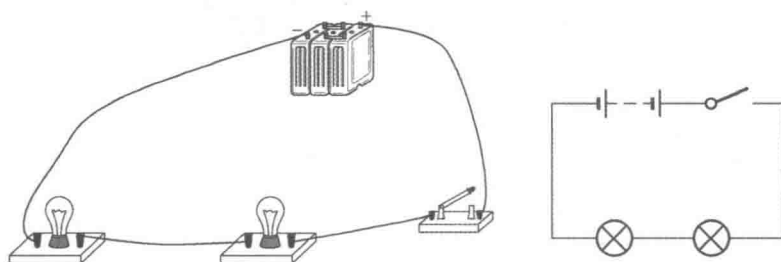


图1-4 串联电路

如果要求两只灯泡可以各自开和关，互不影响，可以按图 1-5 所示的那样，把两只灯泡并列地接在电路中，并各自安装一个开关。像这样把元件并列地连接起来，就组成了并联电路。

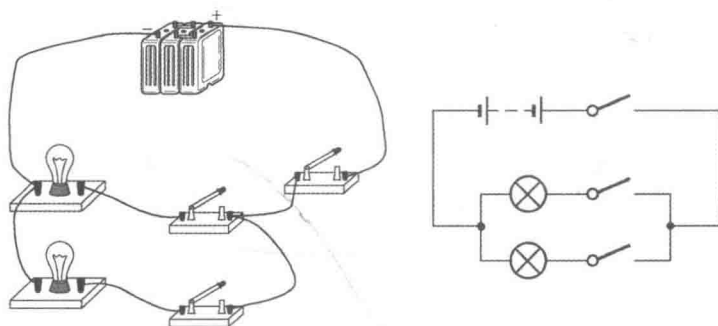


图1-5 并联电路

串联电路和并联电路是最基本的电路，它们的实际应用非常普遍。市场上出售的一种装饰用小彩灯，经常被用来装饰店堂、居室，烘托欢乐的气氛，其中的几十只彩色小灯泡就是串联的。在我们的家庭中，像电灯、电风扇、电冰箱、电视机等用电器，都是并联在电路中的，如图 1-6 所示。

有了串联电路和并联电路的知识，就可以根据实际需要来连接电路了，如果要使几个电器总是同时工作（只要有一个开路，其他的就停止工作），可以把它们串联在电路中，如果要

求几个用电器可以分别控制, 就应该把它们并联在电路中, 并且分别装上开关。

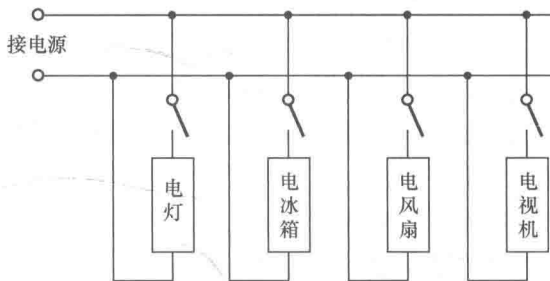


图1-6 家用电器的并联连接

1.1.2 电路基本物理量

1. 电流

(1) 电流的定义

水管中的水流有大有小, 在相同的时间内, 从水管中流出的水越多, 水流就越大。导体中的电流也有大小, 但是电流看不见、摸不着, 怎样才能知道它的大小呢?

人们发现, 电流通过导体时会产生各种效应。我们可以根据产生的效应的大小来判断电流的大小。电流通过灯泡时, 灯丝变热而发光, 这是电流的热效应。电流还可以产生磁效应, 我们将在以后相关章节中学习, 下面我们做以下实验, 来判断电流的大小。

实验时, 把一只小灯泡用导线跟一节干电池连通, 再把这只小灯泡跟两节干电池连通, 注意观察这两种情况下灯泡的发光亮度。

从实验可以看出, 用一节干电池时, 小灯泡发光较暗, 用两节干电池时, 小灯泡发光较亮。对同一小灯泡, 越亮就表示通过它的电流产生的效应越大, 也就是电流越大。电流是由电荷的移动形成的, 在一定时间内, 通过导体某一横截面的电荷越多, 即电量越多, 电流就越大。

电流的大小用电流强度(简称电流)表示, 电流强度等于1秒内通过导体横截面的电量, 国际上通常用字母 I 表示电流, 如果用 q 表示通过导体横截面的电量, t 表示通电时间, 那么:

$$I = \frac{q}{t}$$

如果上式中 q 的单位用库, 时间 t 的单位用秒, 电流 I 的单位就是安培, 简称安, 符号是 A。如果在1秒钟内通过导体横截面的电量是1库, 导体中的电流就是1安。

$$1 \text{ 安} = 1 \text{ 库} / 1 \text{ 秒}$$

如果10秒内通过导体横截面的电量是20库, 那么导体中的电流:

$$I = q/t = 20 \text{ 库} / 10 \text{ 秒} = 2 \text{ 安}$$

常用的电流单位还有毫安(mA)和微安(μA), 电流单位的换算关系如下:

$$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$$

$$1 \text{ mA} = 1000 \mu\text{A}$$

(2) 电流的方向

电流不但有大小，而且还有方向，习惯规定正电荷运动的方向或负电荷（自由电子）运动的反方向为电流的实际方向。电路中电流数值的正与负与参考方向密切相关。

参考方向是计算复杂电路时任意假定的电流或电压的方向，并不一定是它们的实际方向，所以，参考方向仅仅是计算电流或电压值和确定其实际方向的依据。

引入参考方向这个概念的目的在于，可以用代数量说明电流的大小和方向，代数值的绝对值表示电流的大小，正值和负值可以判定它们的实际方向。

引入参考方向解决了电路中电流值的计算及实际方向的确定问题，那么参考方向怎样设置，代数量怎样表示电流的大小和方向呢？

参考方向是任意假定的电流的方向，如图 1-7 (a)、(b) 所示，电流的方向不是 a 到 b，就是 b 到 a，可以任意选定一个方向。

若电流的计算值为正，表示实际方向与参考方向相同，见图 1-7 (a)。

若电流（或电压）的计算值为负，表示实际方向与参考方向相反，见图 1-7 (b)。

注意事项：电流的实际方向是客观存在的，与参考方向的设置无关。参考方向假定的电流的方向，是计算的唯一依据，一经选定，在电路计算中就要以此为标准，不能随意变动。在不注明参考方向时，电流的正负值均无意义。对同一电流，若参考方向选择不同，计算结果数值相同，正负相反。

(3) 电流的分类

电流可分为直流电流和交流电流两大类。

直流电流是大小和方向不随时间变化的恒定电流，如图 1-8 所示。

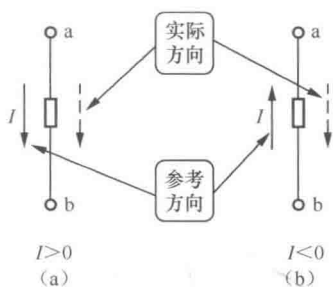


图1-7 电流的方向

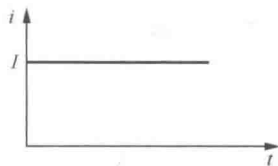


图1-8 直流电流

交流电流是大小和方向均随时间变化的电流，常见的交流电流主要有正弦交流电流（如图 1-9 所示）和锯齿波电流（如图 1-10 所示）等，交流电流一般用小写字母 i 表示。

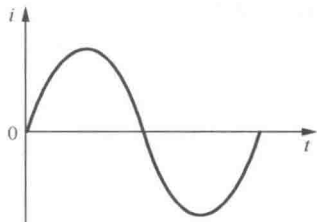


图1-9 正弦交流电流

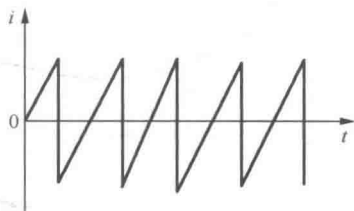


图1-10 锯齿波电流

为便于理解和记忆，现将电流小结如下（如表 1-1 所示）。

表 1-1

电流小结

电 流			
定义	符号、数学表达式	单位名称（符号）及换算关系	实际方向
电荷有规则的运动形成电流。其大小等于穿过某导体横截面的电荷量与所需时间之比，这个比值称为电流强度，简称电流	大小和方向均不随时间改变的电流称为恒定电流或直流电流，简称直流（DC），用符号 I 表示。 $I = \frac{q}{t}$	千安（kA）、安培（A）、毫安（mA）、微安（μA）、纳安（nA） $1\text{kA}=10^3\text{A}$ $1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$ $1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$ $1\text{nA}=10^{-9}\text{A}$ $1\text{A}=1\text{库仑（C）/1秒（s）}$	习惯规定正电荷定向运动的方向或负电荷（自由电子）定向运动的反方向
	大小方向随时间变化的电流称为变动电流，用符号 i 表示。 在 1 个周期内平均值为零的变动电流称为交变电流，简称交流（AC），也用符号 i 表示		

2. 电压

(1) 电压的定义

为了衡量电场力做功的大小，引入了电压这个物理量。从电场力做功概念出发，电压就是将单位正电荷从电路中一点移至电路中另一点时，电场力做功的大小，如图 1-11 所示。

电压类似于我们生活中常说的水压，其定义为：a、b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于把单位正电荷从 a 点移到 b 点时，电场力所做的功，用公式表示为：

$$U_{ab} = \frac{W}{q}$$

电压的单位是伏特，简称伏，符号是 V，一节干电池的电压 $U=1.5\text{V}$ ，家庭电路的电压 $U=220\text{V}$ 。比伏大的单位有千伏（kV），比伏小的单位有毫伏（mV）、微伏（μV）等。它们的换算关系如下：

$$\begin{aligned} 1\text{kV} &= 1000\text{V} \\ 1\text{V} &= 1000\text{mV} \\ 1\text{mV} &= 1000\mu\text{V} \end{aligned}$$

(2) 电压的方向

电压不但有大小，而且还有方向，电压的实际方向规定由实际高电位指向实际低电位。在不知道电压实际方向时，可以先假定一个参考方向。

参考方向是任意假定的电压的方向。如图 1-12（a）、（b）所示，电压的方向不是 a 到 b，就是 b 到 a，你可以任意选定一个方向。

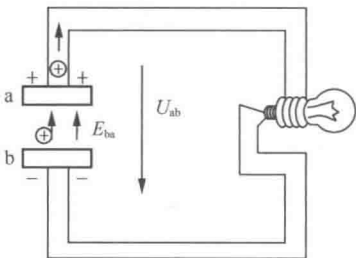


图1-11 电压定义示意图

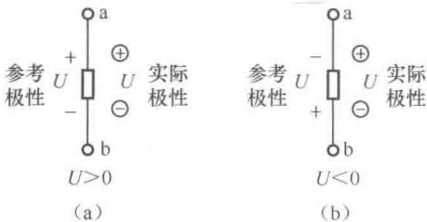


图1-12 电压方向

若电压的计算值为正，表示实际方向与参考方向相同，见图 1-12 (a)。

若电压的计算值为负，表示实际方向与参考方向相反，见图 1-12 (b)。

在电路图中，一般用“+”“-”号标出电压的参考方向。“+”号为高电位，“-”号为低电位，由高电位指向低电位的方向是电压的参考方向。文字叙述时，多用字母加双下标表示参考方向。例如，在图 1-12 所示的电路中，电压的参考方向由 a 到 b，可用 U_{ab} 表示。

(3) 电压的分类

电压可分为直流电压和变动电压两大类。

直流电压是指大小和方向均不随时间变化的电压，也称为恒定电压，一般用大写符号 U 表示，如图 1-13 所示。

大小和方向均随时间变化的电压，称为变动电压，图 1-14 所示的方波电压即为变动电压。周期性变化且平均值为零的变动电压称为交流电压，常见正弦交流电压如图 1-15 所示。

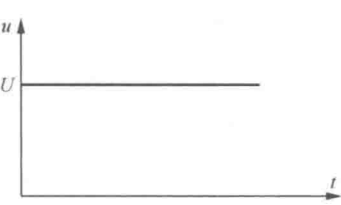


图1-13 直流电压

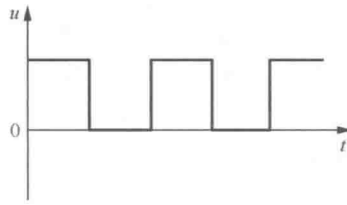


图1-14 方波电压

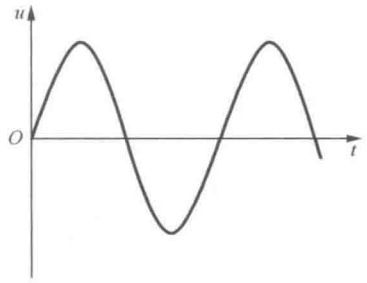


图1-15 正弦交流电压

为便于理解和记忆，现将电压小结如下，如表 1-2 所示。

表 1-2 电压小结

电压			
定义	符号数学定义	单位名称及换算关系	实际方向
电路中 a、b 两点间的电压等于单位正电荷在电场力作用下，由 a 点移到 b 点电能的变化量与电荷量之比。电压是衡量电场力做功能力的物理量	大小和方向均不随时间的变化的电压称为恒定电压或直流电压，用符号 U 表示 $U_{ab} = \frac{w}{q}$	千伏 (kV)、伏特 (V)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) $1kV=10^3V$ $1mV=10^{-3}V$ $1\mu V=10^{-6}V$ $1V=1 \text{ 焦耳 (J) } / 1 \text{ 库伦 (C)}$	从高电位指向低电位，即电位下降的方向
	大小和方向均随时间变化的电压称为变动电压，用符号 u 表示。 周期性变化且平均值为零的电压称为交流电压，也用符号 u 表示		

3. 电位

在电路分析中，经常用到“电位”这个物理量，那么“电位”是什么呢？在电路中任选一参考点，计算或测量其他各点对参考点的电压降，所得的结果就是节点的电位。

对于“电位”，需要说明以下几点。

(1) 电位是相对物理量，如果不确定参考点，讨论电位的高低无意义。

- (2) 在同一电路中, 参考点不同时, 各点电位值不同。
- (3) 在同一电路中, 参考点确定后, 电路中各点电位有唯一确定数值(电位单值性原理)。
- (4) 常选大地或设备机壳作为参考点。
- (5) 电位的单位与电压单位相同。

为便于理解和记忆, 现将电位小结如下, 如表 1-3 所示。

表 1-3 电位小结

电位		
定义符号	电位与电压关系	正负值意义
在电路中任选一点“0”为参考点, 则由某点 a 到参考点“0”之间的电压 U_{a0} 称为 a 点的电位, 记为 U_a 。 参考电位点可任意选择, 若选 0 点为参考点, 则 $U_0=0V$, 即参考点的电位等于 0	两点之间的电压等于两点电位之差 $U_{ab}=U_a-U_b$ 电位的单位同电压	正值: 表示该点电位高于参考点, 正值越大, 电位越高。 负值: 表示该点电位低于参考点, 负值越大, 电位越低

4. 电动势

电源是把其他形式的能量转化成电势能的一种装置, 它能克服静电力做功, 迫使正电荷从低电势处经电源内部移向高电势处, 电源的作用就好像水泵的作用, 水泵可以使水由水位低处经水泵移动到水位高处。

每一电源都有正、负两极(电势高的为正极), 通常把电源内部正、负两极之间的电路称为内电路。正电荷由正极流出, 经过外电路流入负极, 然后, 正电荷再靠非静电力从负极经内电路流到正极, 内、外电路构成闭合电路。在电源作用下, 电荷在闭合电路中往复循环流动, 形成恒稳电流。

实验证明, 在结构一定的电源内部, 当恒稳电流通过时, 其他形式的能量转变为电能的量正比于所迁移的电量; 不同的电源, 当一定量的电荷从电源内部通过时, 其他形式的能转变为电能的多少是不同的。这表明, 在不同的电源内部, 非静电力移送单位电量所做的功是不同的。为了表明电源非静电力做功本领的大小, 以便比较各种不同的电源, 我们引入电源电动势这个概念。

电源电动势是电源中非静电力做功能力大小的标志, 它在数值上等于电源内部非静电力移送单位正电荷从负极到正极所做的功。电源电动势的大小只取决于电源本身的结构和所处状态, 而与外电路无关。从电动势定义知, 它的单位与电压单位相同, 也是焦耳/库仑(伏特)。电动势是电源特有的物理量, 其值始终是正的。为便于应用, 常给电动势规定一个方向: 从电源的负极指向正极。

为便于理解和记忆, 现将电动势小结如下, 如表 1-4 所示。

表 1-4 电动势小结

电动势			
定义	符号数学定义	单位名称及换算关系	实际方向
电动势是衡量电源力做功能力的物理量, 它在数值上等于电源中的局外力将单位正电荷从电源负极 b 点移到电源正极 a 点所做的功与电荷量之比	根据定义, 电源正极 a 与负极 b 之间的电动势为: 直流电动势用 E_{ab} 表示, 交流电动势用 e_{ab} 表示	同电压	电源内部由低电位指向高电位, 即电位升高的方向, 与电源端电压的方向相反

重点提示：电动势是表示非静电力把单位正电荷从负极经电源内部移到正极所做的功，一般而言，电源的电动势越大，将其他能量转化为电能的能力越强。而电压（电势差）则表示静电力把单位正电荷从电场中的某一点移到另一点所做的功，它们是完全不同的两个概念。电动势与电压二者最明显的联系是单位相同，此外，对于一般的电源，在没有接入电路中时，其内电路的电压在数值上与电动势相同。

5. 电功

水流可以做功，例如水流可以推动水轮机做功，电流也可以做功吗？当然可以，例如，电风扇通电后，风扇电机转动起来，说明在电流通过电动机做功的过程中，电能转化为机械能。电流不仅通过电动机时做功，通过电灯、电炉等电器时都要做功，电流通过电炉时发热，电能转化为热能；电流通过电灯时，灯丝灼热发光，电能转化为光能。

电流做功的过程，实际就是电能转化为其他形式能量的过程。电流做了多少功，就有多少电能转化为其他形式的能量。

电流做功的多少跟什么因素有关系呢？研究表明：电流所做的功跟电压、电流和通电时间成正比。电流所做的功叫作电功，如果电压 U 的单位用伏特，电流 I 的单位用安培，时间 t 的单位用秒，电功 W 的单位用焦耳，那么计算电功的公式是：

$$W = UI t \quad (\text{适用条件：} I、U \text{ 不随时间变化})$$

这就是说，电流在某段电路上所做的功，等于这段电路两端的电压、电路中的电流和通过时间的乘积。

通过手电筒灯泡的电流，每秒做的功大约是 1J；通过普通电灯的电流，每秒做的功一般是几十焦；通过洗衣机中电动机的电流，每秒钟做的功是 200J 左右。

重点提示：焦耳这个单位很小，用起来不方便，生活中常用“度”作电功的单位。“度”在技术中叫作“千瓦时”，符号是“kW·h”。是指用电设备功率为 1 千瓦，运转 1 小时所耗用的电能，即为 1 千瓦小时或 1 度电的用电量。比如，一只 25 瓦的灯泡用 1 个小时，其耗电为 0.025 度，使用 40 小时才耗电 1 千瓦小时或 1 度。同样，对发电设备来说，其发电量也用千瓦小时来表示，即发电设备功率为 1 千瓦，运转 1 小时所发出的电能称为 1 千瓦小时或 1 度电的发电量。度和焦耳的换算关系如下：

$$1 \text{ 度} = 3.6 \times 10^6 \text{ 焦}, \text{ 即 } 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

6. 电能表

电功通常用电能表，俗称电度表来测定，图 1-16 所示是普通电能表的实物图。把电能表接在电路中，电能表的计数上前后两次读数之差，就是这段时间内用的度数，例如，家中电能表在月初的读数是 180.4 度，月底的读数是 202.6 度，这个月家用电就是 22.2 度。

普通电能表的表盘上，会标出电能表的一些参数，主要包括以下几个。

(1) 电压参数：表示适用电源的电压。我国低压工作电路的单



图1-16 普通电能表

相电压是 220V，三相电压是 380V。标定 220V 的电表适用于单相普通照明电路。标定 380V 的电表适用于使用三相电源的工农业生产电路。

(2) 电流参数：一般电流表的电流参数有两个。如 30 (100) A，一个是反映测量精度和启动电流指标的标定工作电流 I_b (30A)，另一个是表示在满足测量标准要求情况下允许通过的最大电流 I_{max} (100A)。如果电路中的电流超过允许通过的最大电流 I_{max} ，电表会计数不准，甚至会损坏。

(3) 电源频率：表示适用电源的频率。电源的频率表示交流电流的方向在 1s 内改变的次数。我国交流电的频率规定为 50Hz。

(4) 耗电计量参数：不同的电表，表达方式不同。转盘式感应系电表表的计量参数是 xxx r/kW·h，其含义是用电器每消耗 1kW·h 的电能，电表的铝转盘要转过 xxx 转。2000r/kW·h 就是使用 1kW·h (1度) 电能会转 2000 圈。

图 1-17 所示是电表与外电路的连接示意图。

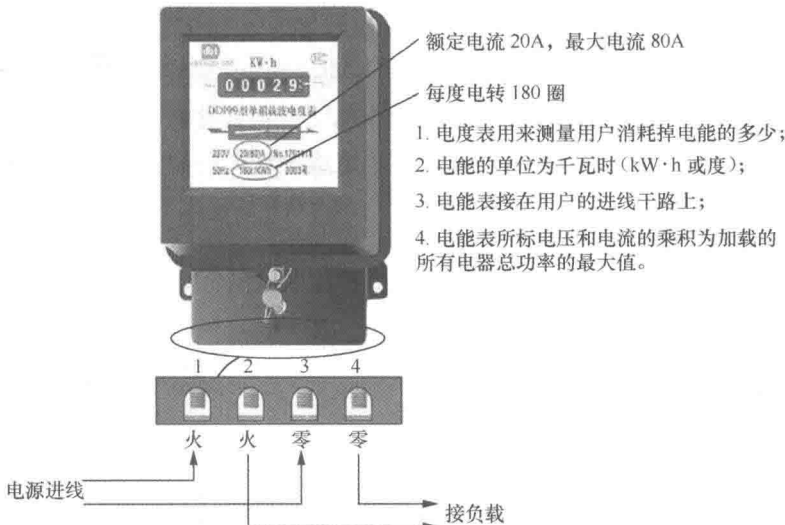


图 1-17 电表与外电路的连接示意图

另外，应用较多的还有电子式电表，如图 1-18 所示。

电子式电表的计量参数标注的是 xxx imp/kW·h，表示用电器每消耗 1kW·h 的电能，电表脉冲计数产生 xxx 个脉冲。3200imp/kW·h 就是使用 1kW·h 电能会产生 3200 个脉冲。

目前，国内电力主要由火电、水电、核电等发电厂提供，其中火电约占 73%，水电约占 17%，核电仅占 4%。

7. 电功率

(1) 电功率的定义

在相同的时间内，电流通过不同用电器所做的功一般并不相同。例如，在相同的时间内，电流通过电力机车的电动机所做的



图 1-18 电子式电表