

电工电子 技术

主 编 宋弘 傅成华
副主编 肖辉 江华 罗毅

DIANGONG
DIANZI
JISHU



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

电工电子技术

主 编 宋 弘 傅成华
副主编 肖 辉 江 华 罗 毅
编 委 唐 玲 李 莺 曾晓辉 蒋泽甫

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

电工电子技术 / 宋弘, 傅成华主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2008.8

ISBN 978-7-81104-853-7

I. 电… II. ①宋…②傅… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 118180 号

电 工 电 子 技 术

主编 宋弘 傅成华

责任编辑	高 平
特邀编辑	张 阅 孙康江
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川煤田地质制图印刷厂
成品尺寸	205 mm×285 mm
印 张	24.25
字 数	767 千字
版 次	2008 年 8 月第 1 版
印 次	2008 年 8 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-81104-853-7
定 价	42.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

四川理工学院“电工电子技术”课程始建于 20 世纪 60 年代，具有悠久的历史 and 深厚的底蕴。历代课程负责人为“电工电子技术”课程的建设呕心沥血，作出了重要贡献，该课程于 1994 年被评为四川省重点课程。

本课程是高等院校理工科本科学生非电类专业的一门重要的技术基础课程。目前，电工技术和电子技术应用极为广泛，发展非常迅速，并且日益渗透到其他学科领域，推动和促进了其他学科的发展，在我国社会主义现代化建设中占有重要的地位。本课程的作用与任务是：使学生通过本课程的学习，获得电工技术和电子技术方面的基本理论和基本技能，了解电工技术和电子技术的应用及发展概况，为学习后续课程以及从事与本专业有关的科学技术工作打下必要的基础。作为技术基础课程，本课程具有基础性、应用性和先进性。

基础性是指电工学研究的是电工电子的基本理论和基本技能。因此电工学应为非电类专业学生学习后续专业课程打下基础；为他们将来涉及电的知识打下基础；也为他们自学、深造、拓宽和创新打下基础。

应用性是指非电类专业学生学习电工学重在应用。他们应具有将电工技术和电子技术应用于本专业进而发展本专业的能力。因此电工学课程内容要理论联系实际；要重视实验技能的训练；要从实际国情出发，培养学生分析和解决实际问题的能力。现我们除了开设相应的实验外，还专门组织了电工技能培训。

先进性是指电工学要反映现代电工技术和电子技术的发展水平。因此电工学课程内容和体系要随着电工技术和电子技术的发展、工科专业的教学需要而不断更新和改革。

编 者

2008 年 7 月

目 录

第一部分 电工技术

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.2 电压和电流的参考方向	3
1.3 欧姆定律	4
1.4 电路的基本状态与电气设备的额定值	5
1.5 基尔霍夫定律	7
1.6 电路中电位的计算	9
*1.7 非线性电阻电路	10
练习题	12
第 2 章 电路的基本分析方法	15
2.1 电阻的串并联及其等效变换	15
2.2 电源的模型及其等效变换	17
2.3 支路电流法	19
*2.4 网孔电流法	21
2.5 叠加定理	23
2.6 戴维南定理与诺顿定理	25
2.7 结点电压法	29
*2.8 含受控源电路的分析	31
练习题	33
第 3 章 正弦交流电路	36
3.1 正弦交流电的基本概念	36
3.2 正弦交流电的相量表示法	39
3.3 单一参数的交流电路	41
3.4 电阻、电感与电容元件串联的交流电路	47
3.5 阻抗的串联与并联	50
3.6 功率因数的提高	55
3.7 电路的谐振	57
3.8 交流电路的频率特性	61
练习题	64
第 4 章 电路的暂态分析	68
4.1 电路的暂态过程及换路定理	68
4.2 RC 电路的响应	71

4.3	RL 电路的响应	74
4.4	一阶线性电路瞬态分析的三要素法	78
	练习题	80
第 5 章	三相交流电路	83
5.1	三相电压	83
5.2	负载星形连接的三相电路	86
5.3	负载三角形连接的三相电路	91
5.4	三相负载的功率	92
	练习题	93
第 6 章	磁路与变压器	96
6.1	磁路的基本物理量和基本性质	96
6.2	磁路的概念及磁路的安培环路定律	100
6.3	交流励磁下的铁芯线圈	103
6.4	电磁铁	107
6.5	变压器	109
	练习题	118
第 7 章	电动机	121
7.1	三相异步电动机的基本结构	121
7.2	三相异步电动机的工作原理	124
7.3	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	127
7.4	三相异步电动机的运行特性	131
7.5	三相异步电动机的铭牌数据	133
7.6	三相异步电动机的启动、调速和制动	135
7.7	单相异步电动机	141
*7.8	同步电动机	145
*7.9	直流电动机	146
*7.10	控制电机	148
	练习题	151
第 8 章	电气自动控制	152
8.1	常用低压控制电器	152
8.2	三相异步电动机的直接启动控制线路	160
8.3	三相异步电动机的正反转控制线路	162
8.4	三相异步电动机的顺序联锁控制线路	163
8.5	行程控制	164
8.6	时间控制	165
8.7	可编程序控制器及其应用	167
	练习题	176
第 9 章	供配电及安全用电	178
9.1	电力系统概述	178
9.2	触电的有关知识	179
9.3	工作接地与保护接地	181

9.4 静电的产生及防护	183
9.5 电气火灾及防护	184
9.6 安全用电知识	184
练习题	185
第 10 章 电工测量技术	186
10.1 电工测量仪表的分类	186
10.2 电工仪表的类型	189
10.3 电流的测量	194
10.4 电压的测量	195
10.5 万用表	196
10.6 功率的测量	199
10.7 非电量的电测技术	201
10.8 智能仪器	205
练习题	208

第二部分 电子技术

第 11 章 常用半导体器件	210
11.1 半导体的基本知识与 PN 结	210
11.2 半导体二极管	213
11.3 特殊二极管	215
11.4 晶体三极管	217
11.5 场效应晶体管	221
练习题	226
第 12 章 基本放大电路	228
12.1 放大电路的概念和主要技术指标	228
12.2 共发射极放大电路的组成	230
12.3 放大电路的分析方法	231
12.4 放大电路静态工作点的稳定	241
12.5 射极跟随器	243
12.6 多级放大电路	245
12.7 差分放大电路	249
12.8 功率放大电路	256
12.9 场效应晶体管放大电路	259
练习题	261
第 13 章 集成运算放大电路	265
13.1 集成运算放大器的概述	265
13.2 基本运算电路	268
13.3 电压比较器	272
13.4 有源滤波电路	274
13.5 RC 正弦波振荡电路	277
13.6 集成运算放大器的使用	279

练习题	281
第 14 章 放大电路中的负反馈	286
14.1 反馈的基本概念及判别方法	286
14.2 负反馈放大电路的四种基本组态	289
14.3 负反馈对放大电路性能的影响	293
练习题	297
第 15 章 直流稳压电源	300
15.1 整流电路	300
15.2 滤波电路	305
15.3 直流稳压电路	309
练习题	313
第 16 章 门电路与组合逻辑电路	316
16.1 概述	316
16.2 基本逻辑门电路	317
16.3 TTL 逻辑门电路	320
16.4 MOS 逻辑门电路	323
16.5 逻辑函数的表示与化简	325
16.6 组合逻辑电路的概念及分析方法	328
16.7 常用的组合逻辑电路	330
练习题	339
第 17 章 触发器与时序逻辑电路	343
17.1 触发器的电路结构与特点	343
17.2 触发器逻辑功能分类及其与电路结构的关系	344
17.3 时序逻辑电路的分析方法	351
17.4 常用的时序逻辑电路	353
17.5 由 555 定时器组成的单稳态触发器和无稳态触发器	361
练习题	364
第 18 章 模拟量与数字量的转换	368
18.1 数模转换和模数转换简介	368
18.2 数模 (D/A) 转换器	370
18.3 模数 (A/D) 转换器	372
练习题	375
附录 1 常用半导体二极管参数	376
附录 2 常用稳压管参数	377
参考文献	378

第 1 部分

电工技术

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

电路是电工技术和电子技术的基础。电路的应用十分广泛，电路理论知识是以后学习和研究其他相关学科的基础。

本章首先讨论电路的基本概念和基本定律，如电路模型、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、欧姆定律、电路的基本状态、电气设备的额定值与电路中电位的概念及计算等。这些内容都是分析与计算电路的基础。

本章扼要地介绍了受控源的概念及其等效变换、非线性电阻电路的概念。

1.1 电路与电路模型

随着社会的不断进步和科学技术的飞速发展，电作为一种优越的能量形式和信息载体已成为当今经济建设和社会生活中不可缺少的重要部分。实际电路是将各种所需要的电器元件或设备，按照一定的方式连接起来而构成的集合，也称电网络。这些电器元件或设备在日常生活中随处可见，如发电机、变压器、电动机、各种电源、晶体管以及电阻器和电容器等。但这些电路元件或器件的电磁性质比较复杂。例如，一个白炽灯除具有消耗电能的性质外，当其两端通有电流时还会产生磁场，这时它表现出电感性质。但其电感微小，几乎可以忽略不计，固一般认为白炽灯是一种电阻元件。

在电路中，将把外部能源（机械能，化学能，热能等）转化为电能，且能向外电路提供电动势的装置称为独立电源（一般称为电源），这里的独立是相对于第二章 2.8 节受控电源而言的。独立电源是实际电源的理想化模型，有电压源和电流源两种。

电压源的图形符号如图 1.1（a）所示。电压源两端的电压 $U(t)$ ，有

$$U(t) = u_s(t)$$

式中， $u_s(t)$ 为给定时间函数；电压源电压 $U(t)$ 仅由其本身决定，与通过它的电流无关；而流过电压源的电流大小由外电路决定。当 $u_s(t)$ 为恒定值时，称这种电压源为直流电压源。

电流源的图形符号如图 1.1（b）所示，电流源发出的电流 $i(t)$ 为

$$I(t) = i_s(t)$$

式中， $i_s(t)$ 为给定时间函数；电流源发出电流 $i(t)$ 仅由其自身决定，与其端电压及外电路无关；而电流源两端的电压由外电路决定。当 $i_s(t)$ 为恒定值时，称这种电流源为直流电流源。



图 1.1 电源的图形符号

电路的基本元件还有电阻、电感、电容等。在图 1.2 (a) 中，根据欧姆定律（后面会介绍）得出

$$u = Ri$$

电阻元件的参数 $R = \frac{u}{i}$ 称为电阻，它具有对电流起阻碍作用的物理性质。

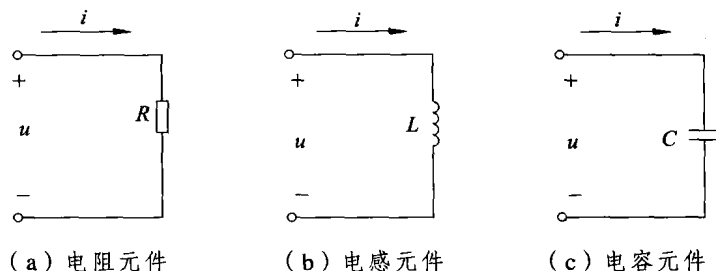


图 1.2 电路的基本元件

图 1.2 (b) 是一个电感元件（线圈）示意图。当线圈上通过电流 i 时将产生磁通 Φ ，它通过每匝线圈。若有 N 匝线圈，则电感元件的参数 $L = \frac{N\Phi}{i}$ 称为电感或自感。

由上式可知，线圈的匝数 N 越多，其电感越大；线圈中单位电流产生的磁通越大，电感也越大。电感的单位是亨[利] (H)，或毫亨 (mH)；磁通的单位是韦[伯] (Wb)。当电感元件中磁通 Φ 或者电流 i 发生变化时，则在电感元件中产生的感应电动势为

$$e_L = -N \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

当线圈中通过恒定电流时，其上的电压 u 为零，故此时电感元件可视为短路。

图 1.2 (c) 是电容元件，在其两端施加电压 u 时，电容元件的两级就会聚集电量为 q 的电荷，则电容元件的参数 $C = \frac{q}{u}$ 称为电容，它的单位是法[拉] (F)。法拉的单位很大，工程上多采用微法 (μF) 或皮法 (pF)，其中 $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$ ， $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$ 。

当电容元件上的电量 q 或者电压 u 发生变化时，则在电路中引起电流变化

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

当电容元件两端加恒定电压时，其电流 i 为零，故此时电容元件可视为开路。

为了便于对实际电路进行分析和数学描述，通常将实际元件理想化（或称模型化）。即在一定的条件下突出其主要的电磁性质，而忽略其次要性质，把它近似看成理想电路元件。通常将由理想元器件所构成的电路称为实际电路的电路模型，它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。电路模型的建立可以简化对电路的分析和计算，给分析实际电路带来很大方便，以后讨论的电路不做特别说明均为电路模型。

如常用的手电筒，其实际工作电路有干电池、电珠、开关和筒体，其电路模型如图 1.3 所示。用理想直流电压源 U_s 和反映干电池内部损耗的电压源内电阻 R_s 的串联组合来等效表示原实际电路中作为电源的干电池；作为消耗能量的负载的电珠用负载 R 来等效；而筒体是连接干电池与电珠的中间环节（还包括开关），其电阻可忽略不计，可认为其是一无电阻的理想导体。

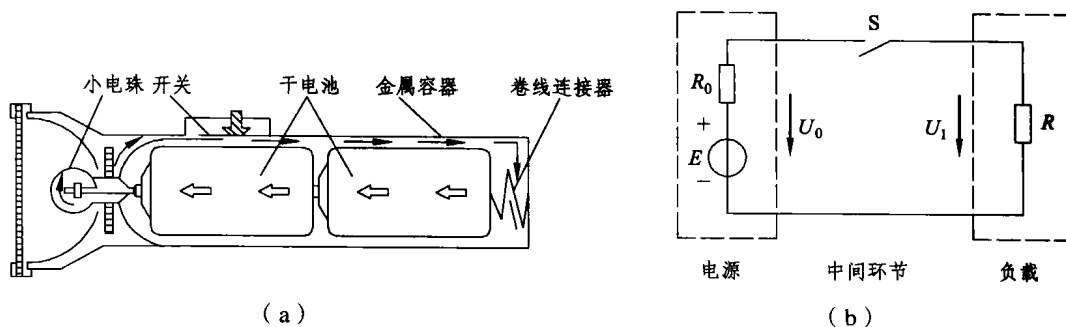


图 1.3 手电筒电路模型

电路基础课程的主要内容是分析电路中的电磁现象和过程，研究电路定律、定理和分析方法，讨论各种计算方法。这些知识是认识和分析实际电路的理论基础，更是分析和设计电路的重要工具。

1.2 电压和电流的参考方向

在电路分析中，当涉及某个元件或部分电路的电流或电压时，有必要指定电流或电压的参考方向。这是因为电流或电压的实际方向可能是未知的，也可能是随时间变动的，而确定变量的参考方向可以使实际问题的求解简单化。

关于电压和电流的方向，有实际方向和参考方向之分，要加以区别。

电路中带电粒子在电场力作用下的有规则移动形成了电流。电流既可以是负电荷，也可以是正电荷或两者兼有的定向运动。我们习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向（实际方向）。

电荷[量]对时间的变化率称为电流，即

$$i = \frac{dq}{dt}$$

式中，电荷的单位为库[仑] (C)；时间 t 的单位为秒 (s)；电流的单位为安[培] (A)。

在进行电路的分析与计算时，为了列写与电流（电压）有关的表达式，常可任意假设电路中某一元件上的电流（电压）方向，该假设方向称为参考方向。所选的电流（电压）的参考方向并不一定与电流（电压）的实际方向相一致。当电流（电压）的实际方向与其参考方向相一致时，则为正值；当电流（电压）的实际方向与其参考方向相反时，则为负值。因此，在参考方向选定之后，电流（电压）值才有正负之分。一般电路图中用实线箭头代表电流 i （电压 u ）的参考方向，虚线箭头代表电流 i （电压 u ）的实际方向。电流（电压）的参考方向有三种表示方法：

- (1) 用箭头表示方向，如图 1.4 所示。
- (2) 用下标表示，如 i_{ab} ， u_{ab} 。
- (3) 电压的参考方向还可以用“+”、“-”符号表示，如图 1.5 所示。



图 1.4 电流（电压）参考方向的箭头表示

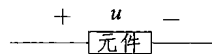


图 1.5 电压参考方向的符号表示

电流和电压的参考方向在电路分析中起着十分重要的作用。在对任何具体电路进行实际分析之前，都应该先指定有关电流和电压的参考方向，否则将无法进行有效分析。原则上，电流和电压的参考方向可以独立地任意指定，参考方向选取的不同，只影响其值的正负，而不会影响问题的实际结论。在习惯上，同一段电路的电压和电流的方向通常选取相互一致的参考方向，即电流的参考方向从电压的正参考

极性端流入，从负参考极性端流出，如图 1.6 (a) 所示，称电压和电流为关联参考方向；若两者参考方向选取不一致，则称为非关联参考方向，如图 1.6 (b) 所示。

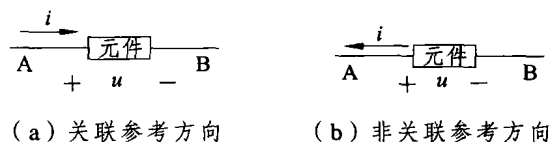


图 1.6 电压电流的关联和非关联参考方向

电流（电压）不单独标明参考方向时，默认为取关联参考方向。若电流和电压取非关联参考方向时，使用定律时前面要用负号。

【例 1.1】应用欧姆定律将图 1.7 的几个电路列出式子，求出电阻。

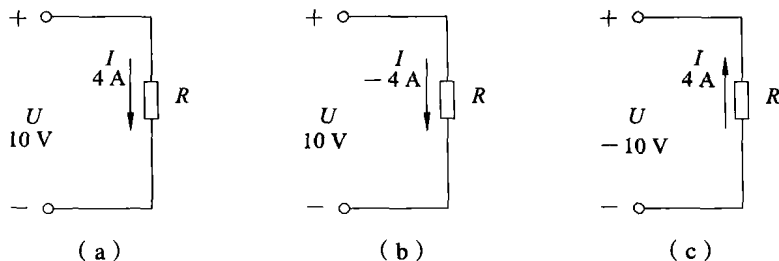


图 1.7

解：由欧姆定律可知，流过电阻 R 的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比。应用欧姆定律列式子，要根据电路图所选电压和电流的参考方向。

当所选电流和电压的参考方向一致时，有

$$U = RI$$

当所选电流和电压的参考方向不一致时，有

$$U = -RI$$

因此，图 1.7 (a): $R = \frac{U}{I} = \frac{10}{4} = 2.5 \Omega$

图 1.7 (b): $R = -\frac{U}{I} = -\frac{10}{-4} = 2.5 \Omega$

图 1.7 (c): $R = -\frac{U}{I} = -\frac{-10}{4} = 2.5 \Omega$

思考与练习

1.2.1 为什么要引入电压，电流的参考方向？参考方向与实际方向有何区别和联系？

1.2.2 在图 1.8 中， $u_1 = -9 \text{ V}$ ， $u_2 = 5 \text{ V}$ ，试问 U_{ab} 等于多少伏？

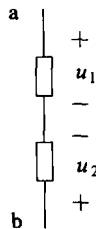


图 1.8

1.3 欧姆定律

手电筒电路模型如图 1.3 所示，若将开关闭合，则干电池与电珠通过理想导线就构成了电流的回路即电路。若选取电珠（电阻元件）两端的电流方向和电压方向为关联参考方向。则电珠两端的电压 U 与

通过它两端的电流 I 有如下关系

$$U = RI$$

上式被称为欧姆定律，式中的 R 为电阻，单位是欧[姆] (Ω)。上式还可以写成下列形式

$$i = Gu$$

$$U = E - Ri$$

其中 $G = \frac{1}{R}$ 称为电导，其单位为西[门子] (S)，电阻 R 和电导 G 是反映电阻元件性能的两个参数，二者互为倒数。如果说电阻反映了一个电阻元件对电流的阻力，那么电导则反映了一个电阻元件导电能力的强弱。

值得注意的是式中所表示的关系，即使对 U 、 I 随时间变化的场合，在任何瞬间也都成立。因此，对于仅由电阻器构成的电路，只需考虑 U 、 I 对时间为定值的情况就可以了。此时的 U 、 I 分别称为直流电压和直流电流。

思考与练习

1.3.1 有些同学把电流源两端的电压认作零值，其理由是电流源内部不含电阻。根据欧姆定律：这种看法对吗？若不对，错在哪里？

1.3.2 图 1.9 所示的是用变阻器 R 调节直流电机励磁电流 I_f 的电路。设电机励磁电阻为 315Ω ，其额定电压为 220 V ，如果要求励磁电流在 $0.7 \sim 0.15 \text{ A}$ 的范围内变动，试在下列三个变阻器中选用一个合适的： $1000 \Omega, 0.5 \text{ A}$ ； $200 \Omega, 1 \text{ A}$ ； $350 \Omega, 1 \text{ A}$ 。

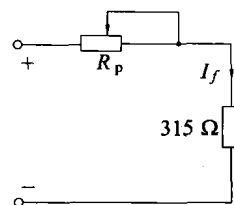


图 1.9

1.4 电路的基本状态与电气设备的额定值

电路有三种基本状态，即正常负载工作状态、开路状态和短路状态。现以图 1.10 所示的简单直流电路为例，分别讨论当电路处于这三种状态时的电流、电压和功率，此外还将讨论电气设备的额定值问题。

1.4.1 正常负载工作状态

将图 1.10 中的开关合上，这时负载电阻就与电源接通，此时电路处于正常负载工作状态。

1. 电压与电流

由欧姆定律可得电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1.4.1)$$

负载电阻 R 两端的电压为

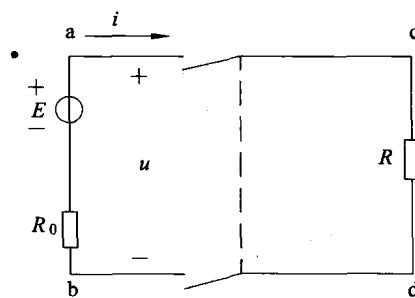


图 1.10 简单直流电路

$$U = RI \quad (1.4.2)$$

由式 (1.4.1) 和式 (1.4.2) 可得

$$U = E - R_0 I \quad (1.4.3)$$

由式 (1.4.3) 可得, 电源端电压小于电动势, 两者之差为电流通过电源内阻 R_0 所产生的电压降 $R_0 I$ 。可见, 电流越大, 则电源端电压下降得越多。表示电源端电压 U 与输出电流 I 之间关系的曲线, 称为电源的外特性曲线, 如图 1.11 所示, 其斜率与电源内阻有关。电源内阻一般很小, 当 $R_0 \ll R$ 时, 则

$$U \approx E \quad (1.4.4)$$

式 (1.4.4) 表明, 当电流 (负载) 变化时, 若电源的端电压变化不大, 则说明此电源带负载能力强。

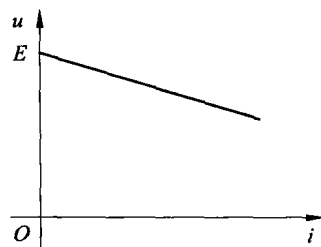


图 1.11 电源的外特性曲线

2. 功率与功率平衡

式 (1.4.3) 各项乘以电流 I , 则得功率平衡式

$$UI = EI - R_0 I^2$$

$$P = P_E - \Delta P$$

式中, $P_E = EI$ 是电源产生的功率; $\Delta P = R_0 I^2$ 是电源内阻上损耗的功率; $P = UI$ 是电源输出的功率。功率的单位是瓦[特] (W) 或千瓦 (kW)。

3. 电源与负载的判别

分析电路时, 还要根据电压和电流的实际方向确定某一元件是电源还是负载: 若元件两端的电压和流过它的电流的实际方向相反, 则该元件是电源, 发出功率; 若元件两端的电压和流过它的电流的实际方向相同, 则该元件是负载, 取用功率。

1.4.2 开 路

在图 1.10 所示的电路中, 开关是断开的, 此时电路则处于开路 (空载) 状态, 如图 1.12 所示。开路时外电路的电阻对电源来说等于无穷大, 因此电路中电流为零。这时电源的端电压 U_0 (称为开路电压或空载电压) 等于电源电动势, 电源不输出能量。

如上所述, 电源开路时的特征可用下列各式表示

$$i = 0$$

$$U = E$$

$$P = 0$$

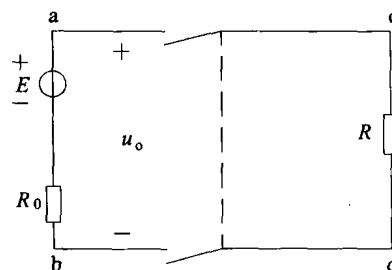


图 1.12 开路状态

1.4.3 短 路

在图 1.10 所示的电路中, 当电源的两端由于某种原因而连在一起时将被短路, 如图 1.13 所示。电源短路时, 外电路的电阻可视为零, 电流不再通过负载, 而直接从电源的一端流向另一端。因为在电流的

回路中仅有很小的电源内阻 R_0 ，所以这时的电流很大，此电流称为短路电流 i_s 。短路电流可能使电源遭受损伤甚至毁坏。短路时电源所产生的电能全被内阻所消耗。

电源短路时由于外电路的电阻为零，所以电源的端电压也为零。这时电源的电动势全部加在内阻上。如上所述，电源短路时的特征可用下列各式表示

$$\begin{aligned} U &= 0 \\ I &= I_s = \frac{E}{R_0} \\ P_E &= \Delta P = R_0 I^2, P = 0 \end{aligned}$$

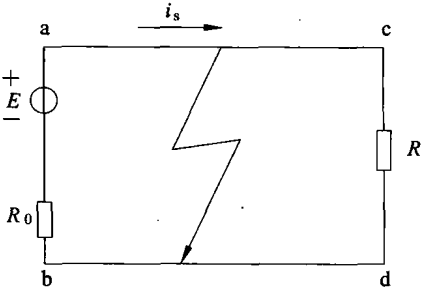


图 1.13 短路状态

短路也可发生在负载端或线路的任何地方，短路通常是一种严重事故，应该尽量预防。

【例 1.2】若电源的开路电压 $U_0 = 15 \text{ V}$ ，其短路电流 $I_s = 45 \text{ A}$ ，试问该电源的电动势和内阻各为多少？

解：电源的电动势

$$E = U_0 = 15 \text{ V}$$

电源的内阻

$$R_0 = \frac{E}{I_s} = \frac{U_0}{I_s} = \frac{15}{45} = 0.33 \Omega$$

这里是由电源的开路电压和短路电流计算它的电动势和内阻。

1.4.4 额定值与实际值

各种电气设备的电压、电流及功率等都有一个额定值。例如一台电视机上标的 $220 \text{ V}/60 \text{ W}$ ，这就是它的额定电压和额定功率。额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。电气设备或元件的额定值常标在铭牌上或写在其他说明中。额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。

思考与练习

1.4.1 额定功率相同的两个电阻，阻值大的额定电流大还是小？额定电压大还是小？

1.4.2 什么是电气设备的额定值？白炽灯泡上标的 $60 \text{ W}/220 \text{ V}$ 或 $25 \text{ W}/220 \text{ V}$ 分别代表什么意思？这两个灯泡若接在 380 V 或 110 V 电压下使用，将发生什么现象？

1.4.3 有一直流电源，其额定功率 $P_N = 200 \text{ W}$ ，额定电压 $U_N = 50 \text{ V}$ ，内电阻 $R_s = 0.5 \Omega$ ，负载电阻 R 可调节。其电路如图 1.14 所示，试求额定工作状态下的电流及负载电阻；开路状态下的电源端电压；电源短路状态下的短路电流。

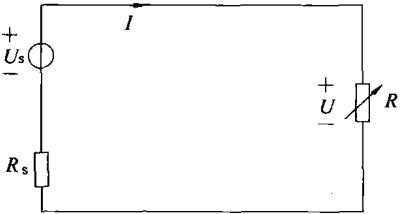


图 1.14

1.5 基尔霍夫定律

分析与计算电路的基本定律，除了欧姆定律外，还有基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。基尔霍夫电流定律应用于结点，而基尔霍夫电压定律应用于回路。为了说明基尔霍夫定律，先介绍支路、结

点和回路的概念。电路中的每一分支称为支路，一条支路流过一个电流，称为支路电流。在图 1.15 中共有三条支路。电路中三条或者三条以上的支路相连接的点称为结点。在图 1.15 中共有两个结点 a 和 b。回路是由一条或者多条支路所组成的闭合回路。图 1.15 中共有三个回路 adbca, abca 和 abda。

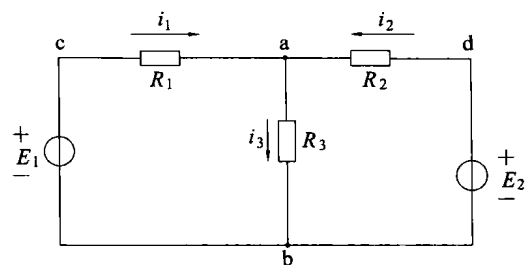


图 1.15 电路举例

1.5.1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律确定了连接在同一结点上的各支路电流间的关系。基尔霍夫电流定律 (KCL) 指出：“在集总电路中，任何时刻、对任一结点，所有流出结点的支路电流的代数和恒等于零。”此处，电流的“代数和”是根据电流是流出结点还是流进结点判断的。若流入结点的电流前面取“+”号，则流出结点的电流前面取“-”号；电流是流出结点还是流入结点，均根据电流的参考方向判断。所以对任一结点有

$$\sum i = 0$$

上式的取和是对连接于该节点的所有支路电流进行的。

例如图 1.16 所示的电路，各支路电流参考方向已经设定，对结点 2 应用 KCL，可得

$$i_2 + i_4 - i_5 = 0$$

上式可以改为

$$i_5 = i_2 + i_4$$

上式表明，流出结点 2 的支路电流之和等于流入该节点的支路电流之和。所以，KCL 也可以理解为：任何时刻，流出任一结点的支路电流之和恒等于流入该节点的支路电流之和。即有

$$\sum i_{\text{入}} = \sum i_{\text{出}}$$

KCL 通常应用于结点，但对于包围几个结点的闭合面（也称广义结点）也是适用的。如图 1.16 电路中的虚线圈所示，在这个闭合面 S 中有 3 个结点，即结点 1、2、3，对这 3 个结点分别列写 KCL 方程

$$i_1 - i_4 + i_6 = 0$$

$$i_2 + i_4 - i_5 = 0$$

$$i_3 + i_5 - i_6 = 0$$

将以上三式相加，得

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

对闭合面 S 应用 KCL 的结论为， i_1 、 i_2 和 i_3 流入该闭合面的电流为零。

由此说明，穿过一个闭合面的各支路电流的代数和总是等于零，也可以说流出某闭合面的支路电流之和恒等于流入该闭合面的支路电流之和。KCL 反映了电流的连续性，是电荷守恒的体现。

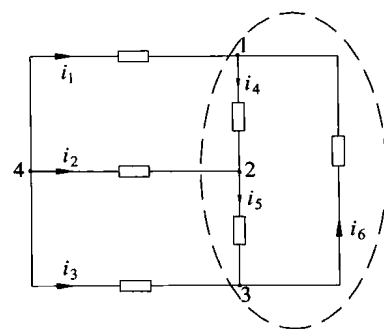


图 1.16 KCL 应用示意图

1.5.2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律是用来确定回路中各段电压间关系的。基尔霍夫电压定律 (KVL) 指出：“在集总电路中，任何时刻、沿任一回路，所有支路电压的代数和恒等于零。”

所以，沿任一回路有

$$\sum u = 0$$

上式在取和时，需要任意指定一个回路的绕行方向。凡是支路电压的参考方向与回路的绕行方向一致者，该电压前面取“+”号；支路电压参考方向与回路绕行方向相反者，前面取“-”号。

在图 1.17 所示的电路中，对支路 1、2、3 构成的回路列写 KVL 方程，需要先指定支路电压的参考方向和回路的绕行方向。支路电压分别用 u_1 、 u_2 和 u_3 表示，它们的参考方向如图 1.17 所示，回路的绕行方向用虚线箭头表示。

根据 KVL，此回路有

$$-u_1 + u_2 + u_3 = 0$$

由上式可得

$$u_1 + u_2 = u_3$$

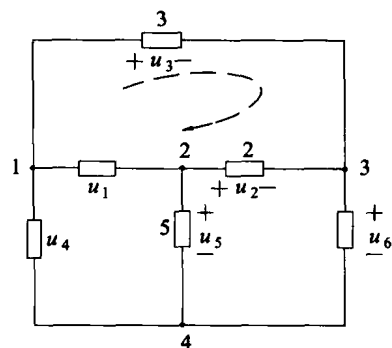


图 1.17 KVL 应用示意图

上式表明，结点 1、3 间的电压 u_3 不是单值，不论沿支路 3 还是沿支路 1、2 构成的路径，此两结点间的电压值是相等的。KVL 通常应用于回路，但对任何一段不闭合的电路也适用。电路中两点间的电压等于由起点到终点沿某一路径电压的代数和，电压方向与路径方向（由起点到终点的方向）一致时为正，相反时为负。故可以得到这样的结论：电路中任意两点之间的电压是确定的，等于由起点到终点沿任一路径各电压的代数和，与选取的计算路径无关。

KCL 在支路电流之间施加线性约束关系；KVL 则对支路电压施加线性约束关系。这两个定律仅与元件的相互连接有关，而与元件的性质无关。不论是线性元件还是非线性元件，不论是 KCL 时变元件还是时不变元件，KCL 和 KVL 总是成立的。

思考与练习

1.5.1 求图 1.18 中电流 I_5 的数值，已知 $I_1 = 5\text{ A}$ ， $I_2 = -3\text{ A}$ ， $I_3 = 6\text{ A}$ ， $I_4 = -4\text{ A}$ 。

1.5.2 在图 1.19 所示的电路中，有多少个结点？多少条回路？请列出所有结点的 KCL 方程和网孔的 KVL 方程。

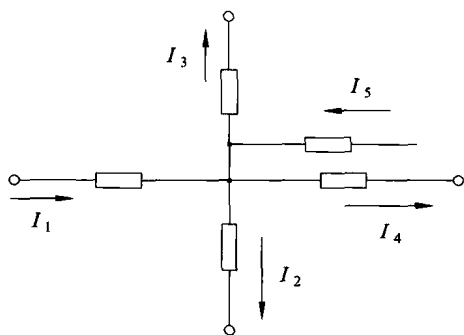


图 1.18

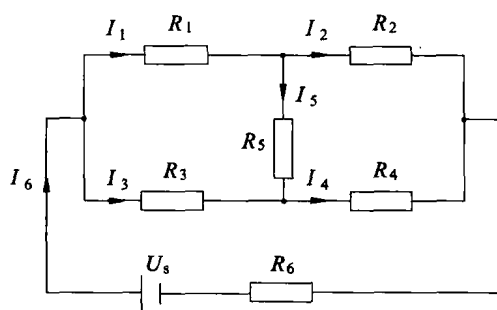


图 1.19

1.6 电路中电位的计算

前面已经讨论过电路中电压的概念，这节我们将了解与电压有关的物理量——电位。