

高等学校 **电气工程及其自动化专业** 应用型本科系列规划教材

电工学

DIANGONGXUE

主 编 赵 悦

副主编 莫 莉 王 辉 赵 洁 任振兴



重庆大学出版社

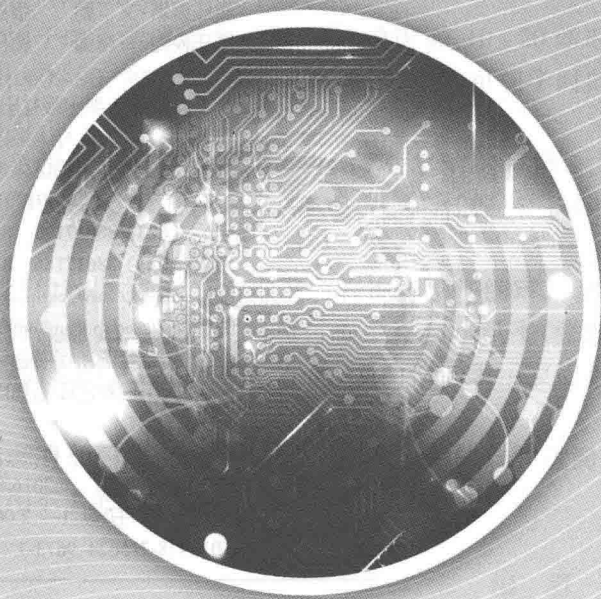
<http://www.cqup.com.cn>

高等学校 **电气工程及其自动化专业** 应用型本科系列规划教材

电工学

主 编 赵 悦

副主编 莫 莉 王 辉 赵 洁 任振兴



重庆大学出版社

内容提要

本书是根据教育部电工课程教学指导委员会最新制定的“电工技术(电工学 I)”和“电子技术(电工学 II)”两门课的基本要求,为高等学校非电专业理工科学生编写的课程教材。全书共 11 章,内容包括直流电路,正弦交流电路,三相电源及其负载和功率,变压器,电动机,电气自动控制,二极管和晶体管,基本放大电路,集成运算放大电路,组合逻辑电路和时序逻辑电路。本书主要特点是内容精练,起点高,知识新,系统性和实用性强。

本书适用于高等学校非电类专业的教学,也适用于高等职业教育、高等专科及成人教育的非电类专业的教学。

图书在版编目(CIP)数据

电工学/赵悦主编.—重庆:重庆大学出版社,2016.2

ISBN 978-7-5624-9673-1

I. ①电… II. ①赵… III. ①电工学—高等学校—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 022104 号

电 工 学

主 编 赵 悦

副主编 莫 莉 王 辉

赵 洁 任振兴

策划编辑:杨粮菊

责任编辑:文 鹏 版式设计:何 梅

责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆川渝彩色印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:444 千

2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—2 000

ISBN 978-7-5624-9673-1 定价:38.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

电工学是高等学校非电专业的一门技术基础课。随着电工技术、电子技术的迅猛发展,为适应面向 21 世纪人才培养的需要,参照原国家教育委员会 1995 年颁布的“电工技术(电工学 I)”和“电子技术(电工学 II)”两门课的基本要求,结合多年对课程改革的探索与研究编写了这本电工学教材。它适用于高等学校非电类专业的教学,也适用于高等职业教育、高等专科及成人教育的非电类专业的教学。

本书共 11 章,包括直流电路,正弦交流电路,三相电源及其负载和功率,变压器,电动机,电气自动控制,二极管和晶体管,基本放大电路,集成运算放大电路,组合逻辑电路,时序逻辑电路。为了适应不同院校教学的需要,在内容安排上,除必学的内容之外,还增加了一些选学的内容(标以 * 号)供进一步学习时参考。为了教学方便,书中各章、节附有思考题、习题等。为了节省篇幅和学时,对某些理论问题,本书未给出严格的证明,而着重于它们的应用。另外,本书所用下标,除少数国际上通用外,一律采用汉语拼音字母。

本书适用于电工学课程 50~70 学时的讲课,10~20 学时的实验,总计 60~90 学时。书中标有 * 号的章节,可视学时的多少加以选用。

本书由赵悦任主编并编写第 6、7、8 章,赵洁编写第 1、2 章,王辉编写第 3、4、5 章,莫莉编写第 10、11 章,任振兴编写第 9 章。

本书由李俭教授主审,并对本书内容进行了仔细审阅,提出了宝贵的修改意见。本书在编写过程中得到喻洪平、张跃华、樊学良等同志的关心和支持。在此,谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中必然存在不少的缺点和疏漏,殷切希望使用本书的师生和其他读者给予批评指正。

编者
2015 年 10 月

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路的作用与组成	1
1.2 电路模型	2
1.3 电路的基本物理量	3
1.4 电路中的参考方向	4
1.5 电路的状态	6
1.6 理想电路元件	7
1.7 基尔霍夫定律	14
1.8 支路电流法	17
1.9 叠加定理	18
1.10 等效电源定理	20
练习题	24
第 2 章 正弦交流电路	28
2.1 正弦交流电的基本概念	28
2.2 正弦交流电的相量表示法	31
2.3 正弦交流电路的相量模型	34
2.4 电阻、电感与电容元件串联交流电路	40
2.5 阻抗的串联与并联	43
2.6 正弦交流电路的功率	46
2.7 电路的功率因数	49
*2.8 电路中的谐振	51
练习题	54
第 3 章 三相电源及其负载和功率	58
3.1 三相电源	58
3.2 三相负载	61
3.3 三相电路的功率	66
练习题	69
第 4 章 变压器	70
4.1 磁路及其分析方法	70
4.2 电磁铁	76
4.3 变压器的基本结构	79

4.4	变压器的工作原理	81
4.5	三相电力变压器	88
	练习题	88
第 5 章 电动机		90
5.1	概述	90
5.2	三相异步电动机的构造	91
5.3	三相异步电动机的工作原理	95
5.4	三相异步电动机的铭牌数据	98
5.5	三相异步电动机的选择	100
5.6	三相异步电动机的转矩与机械特性	101
5.7	三相异步电动机的启动	104
5.8	三相异步电动机的调速	106
	练习题	113
第 6 章 电气自动控制		115
6.1	开关电器	115
6.2	电机启停自动控制	116
6.3	正反转控制	122
6.4	顺序联锁控制	124
6.5	行程控制	125
6.6	时间控制	126
6.7	可编程控制器	128
	练习题	135
第 7 章 二极管和晶体管		138
7.1	半导体的导电特性	138
7.2	二极管	140
7.3	稳压二极管	142
7.4	晶体管	144
7.5	光电器件	150
7.6	直流稳压电源	151
	练习题	157
第 8 章 基本放大电路		161
8.1	共发射极放大电路的组成	161
8.2	共发射极放大电路的分析	162
8.3	静态工作点的稳定	168
8.4	射极输出器	170

* 8.5 差分放大电路	173
8.6 互补对称功率放大电路	176
* 8.7 场效晶体管及其放大电路	178
练习题	181
第 9 章 集成运算放大电路	184
9.1 集成运算放大电路概述	184
9.2 反馈及其判断	187
9.3 理想运算放大器	189
9.4 基本运算电路	190
9.5 集成运算放大器的其他应用	193
练习题	196
第 10 章 组合逻辑电路	199
10.1 集成基本门电路	199
10.2 集成复合门电路	202
10.3 逻辑代数	205
10.4 组合逻辑电路的分析与设计	212
10.5 常用组合逻辑功能器件	216
练习题	227
第 11 章 时序逻辑电路	232
11.1 双稳态触发器	232
11.2 寄存器	241
11.3 计数器	243
11.4 555 定时器及其应用	248
练习题	250
参考答案	258
参考文献	283

第 1 章

直流电路

电路是电工技术和电子技术的基础。本章从工程技术的观点出发,以直流电路为分析对象,着重讨论电路的基本概念、基本定律以及几种常用的电路分析方法,为今后分析电子电路打下基础。

1.1 电路的作用与组成

电路是电流的通路,是由某些电工设备或元件按一定方式组合起来的。

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,最典型的例子是电力系统,其电路示意图如图 1.1.1 所示。它的作用是实现电能的传输和转换,其中包括电源、负载和中间环节三个组成部分。



图 1.1.1 电力系统电路示意图

发电机是电源,是产生电能的设备。它可以把热能、水能或核能转换为电能。电池也是常用的电源。

电灯、电动机、电炉等都是负载,是取用电能的设备,它们分别把电能转换为光能、机械能、热能等。

变压器和输电线是中间环节,是连接电源和负载的部分,它起传输和分配电能的作用。

电路的另一种作用是传递和处理信号,常见的例子如扩音器,其电路示意图如图 1.1.2 所示。该电路先由话筒



图 1.1.2 扩音器电路示意图

把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压和电流,即电信号;而后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于由话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间还要用放大器来放大。信号的这种转换和放大,称为信号处理。

在图 1.1.2 中,话筒是输出信号的设备,称为信号源,相当于电源,但与上述的发电机、电池这种电源不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律取决于所加的信息。扬声器是接收和转换信号的设备,也就是负载。

信号传递和处理的例子是很多的,如收音机和电视机,它们的接收天线(信号源)把载有音乐、语言、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号,而后通过电路把信号传递和处理(调谐、变频、检波、放大等),送到扬声器和显像管(负载)还原为原始信息。

无论电能的传输和转换,或者信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。对电路进行分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路激励与响应之间的关系。

1.2 电路模型

实际电路都是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件所组成,诸如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等,它们的电磁性质较为复杂。最简单的如一个白炽灯,它除具有消耗电能的性质(电阻性)外,当通有电流时还会产生磁场,即还具有电感性。但电感微小,可忽略不计,于是可认为白炽灯是一电阻元件。

为了便于对实际电路进行分析和用数学描述,可将实际元件理想化(或称模型化),即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看作理想电路元件。由一些理想电路元件所组成的电路,就是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。在理想电路元件(“理想”两字常略去不写)中主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。这些元件分别由相应的参数来表征。例如常用的手电筒,其实际电路元件有干电池、电珠、开关和筒体,电路模型如图 1.2.1 所示。电珠是电阻元件,其参数为电阻 R ;干电池是电源元件,其参数为电动势 E 和内电阻(简称内阻) R_0 ;筒体是连接干电池与电珠的中间环节(还包括开关),其电阻忽略不计,认为是一无电阻的理想导体。

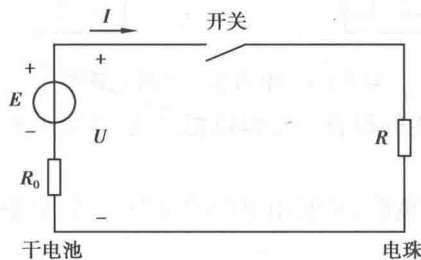


图 1.2.1 手电筒的电路模型

本书后面所分析的都是指电路模型,简称电路。在电路图中,各种电路元件用规定的图形符号表示。

1.3 电路的基本物理量

1.3.1 电流

单位时间内通过电路某一横截面的电荷量称为电流(current)。由于国家标准规定不随时间变化的物理量用大写字母表示,随时间变化的物理量用小写字母表示。因此,在直流电路中电流用 I 表示,它与电荷量 Q 、时间 t 的关系为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.3.1)$$

式中, Q 的单位为库[仑](C); t 的单位为秒(s); I 的单位为安[培](A)。随时间变化的电流用 i 表示,它等于电荷[量] q 对时间 t 的变化率,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.3.2)$$

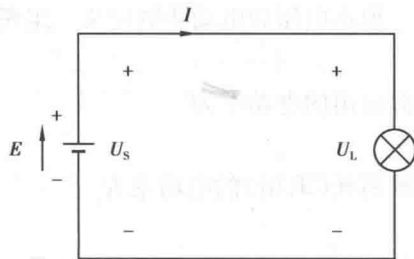


图 1.3.1 电路的基本物理量

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向,如图 1.3.1 所示,在内电路中由电源负极流向正极,在外电路中由电源的正极流向负极。

1.3.2 电位

电场力将单位正电荷从电路的某一点移至参考点时所消耗的电能,也就是在移动中转换成非电形态能量的电能,称为该点的电位(electric potential),而参考点的电位则为零。在直流电路中,电位用字母 V 表示,单位为伏[特](V)。

在物理学中一般选择地球表面(大地)为参考点。在电工技术和电子技术中,原则上参考点可以任意选择,但为统一起见,当电路中的某处接地时,可选大地为参考点。当电路中各处都未接地时,可任选某点为参考点,例如,可以把它们当中元件汇集的公共端或公共线选作参考点,也称为“地”,在电路图中用“ \perp ”表示。

1.3.3 电压

电场力将单位正电荷从电路的某一点移至另一点时所消耗的电能,即转换成非电形态能量的电能,称为这两点间的电压(voltage)。由电位的定义可知,电压就是电位差。某点的电位就是该点与参考点之间的电压。在直流电路中,电压用字母 U 表示,单位也是伏[特](V)。在图 1.3.1 所示电路中, U_s 是电源两端的电压, U_L 是负载两端的电压。

电压的实际方向规定为由高电位指向低电位的方向,即电位降的方向,故电压有时又称电压降。在电路图中,用“+”和“-”表示电压的极性。“+”端为高电位端,“-”端为低电位端。电压的实际方向即由“+”端指向“-”端。

1.3.4 电动势

电源中的局外力(即非电场力)将单位正电荷从电源的负极移至电源的正极所转换而来

的电能称为电源的电动势 (electromotive force)。在直流电路中, 电动势用字母 E 表示, 单位也是伏[特](V)。

电动势的实际方向规定由电源负极指向电源正极的方向, 即电位升的方向。它与电源电压的实际方向是相反的, 如图 1.3.1 中箭头所示。

1.3.5 电功率

单位时间内所转换的电能称为电功率, 简称功率 (power)。在直流电路中, 电功率用字母 P 表示, 单位为瓦[特](W)。

根据电压和电动势的定义。电源产生的电功率为

$$P_E = EI \quad (1.3.3)$$

电源输出的电功率为

$$P_S = U_S I \quad (1.3.4)$$

负载消耗(取用)的电功率为

$$P_L = U_L I \quad (1.3.5)$$

负载的大小通常用负载取用功率的大小来说明。

此外, 在图 1.3.1 所示电路中, 电流通过电源内电阻 R_S 和连接导线电阻 R_W 时还会产生功率损耗 $R_S I^2$ 和 $R_W I^2$ 。

1.3.6 电能

在时间 t 内转换的电功率称为电能 (electrical energy)。在直流电路中, 电能用 W 表示, 它与功率和时间的关系为

$$W = Pt \quad (1.3.6)$$

电能的单位是焦[耳](J)。工程上, 电能的计量单位为千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$), 1 千瓦时即 1 度电, 它与焦的换算关系为 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

本书中各物理量的单位都是采用国际单位制 (SI), 如前述的 A、V、W 等。但是在实际应用时, 有时会感到这些基本单位太大或太小, 使用不便。在这种情况下, 可以改用如 mV (毫伏)、mA (毫安)、kV (千伏) 等辅助单位。

1.4 电路中的参考方向

在进行电路的分析和计算时, 需要知道电压和电流的方向。在简单直流电路中, 可以根据电源的极性判别出电压和电流的实际方向, 但在复杂的直流电路中, 电压和电流的实际方向往往是无法预知的, 而且可能是待求的; 而在交流电路中, 电压和电流的实际方向是随时间不断变化的。因此, 在这些情况下, 只能给它们假定一个方向作为电路分析和计算时的参考。这些假定的方向称为参考方向 (reference direction)。如果根据假定的参考方向解得的电压或电流为正值, 说明假定的参考方向与它们的实际方向一致; 如果解得的电压或电流为负值, 说明所假定的参考方向与实际方向相反。因而在选定的参考方向下, 电压和电流都是代数量。既有数值又有与之相应的参考方向才有明确的物理意义, 只有数值而无参考方向的电压或电流是

没有意义的。电路图中所画的电压和电流的方向都是参考方向。

图 1.4.1 所示为连接电路 a 、 b 两点间的二端元件,流经它的电流 i 的参考方向可以用箭头表示;也可以用字符 i 的双下标表示,如对图 1.4.1 来说,可以用 i_{ab} 表示电流的参考方向由 a 指向 b 。

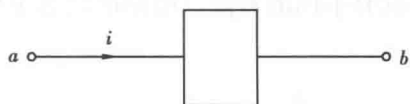


图 1.4.1 电流的参考方向

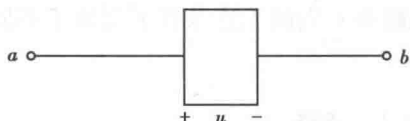


图 1.4.2 电压的参考方向

如图 1.4.2 所示,选定电压的参考方向时,可以用“+”表示参考极性的高电位端、用“-”表示参考极性的低电位端;也可用字符 u 的双下标表示,如对图 1.4.2 来说,可以用 u_{ab} 表示 a 点为参考极性的高电位端、 b 点为参考极性的低电位端。

注意,在不标注参考方向的情况下,电流与电压的正负是毫无意义的。所以在求解电路时必须首先选定电流和电压的参考方向,一旦选定,不再改变。

在电路分析中,电流与电压的参考方向是任意选定的,两者之间独立无关。但是为了方便起见,对于同一元件或同一段电路,习惯上采用“关联”参考方向。即电流的参考方向与电压参考“+”极到“-”极的方向选为一致,如图 1.4.3 所示。关联参考方向又称为一致参考方向。

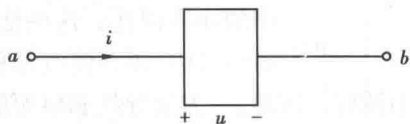


图 1.4.3 关联参考方向

当电流、电压采用关联参考方向时,电路图上只需标电流参考方向和电压参考极性中的任意一种即可。

电路分析中的许多公式都是在规定的参考方向下得到的,例如大家熟悉的欧姆定律和功率计算公式,在 U 与 I 的参考方向一致时

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.4.1)$$

$$P = UI \quad (1.4.2)$$

当 U 与 I 的参考方向不一致时,式(1.4.1)和式(1.4.2)则应改为

$$I = -\frac{U}{R} \quad (1.4.3)$$

$$P = -UI \quad (1.4.4)$$

电路元件的电功率 P 可根据式(1.4.2)或式(1.4.4)求得,当 $P > 0$ 时,元件吸收功率;当 $P < 0$ 时,元件产生功率。

1.5 电路的状态

电路在不同的工作条件下会处于不同的状态,并具有不同的特点。电路的状态主要有以下三种。

1.5.1 通路

当电源与负载接通,例如图 1.5.1 中的开关 S 闭合时,电路中有了电流及能量的输送和转换。电路的这一状态称为通路(closed circuit)。

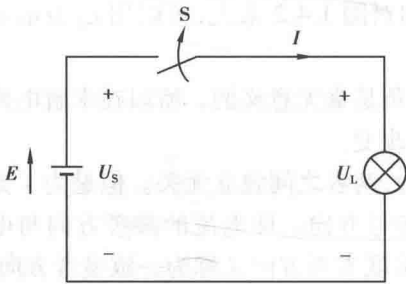


图 1.5.1 通路

通路时,电源产生的电功率应该等于电路各部分消耗的电功率之和,电源输出的电功率应等于外电路中各部分消耗的电功率之和,即功率应该是平衡的。

通路时,电源向负载输出电功率,电源这时的状态称为有载(load)或称电源处于负载状态。

电源内电阻和连接导线上消耗的电功率纯属无用的功率损耗。这些能量被转换成热能散发到周围的空气中,还会使电源和导线的温度超过周围环境的温度。显然,这些功率损耗越小越好。因此,一方面导线和电源的内电阻都选择或设计得非常小,在进行电路计算时,如未加说明,一般可以忽略不计;另一方面,横截面积一定的导线在一定的工作条件下只能通过一定的电流,电流过大,导线温度就会过高,这是不允许的,选用导线时务必注意。

各种电气设备在工作时,其电压、电流和功率都有一定的限额,这些限额是用来表示它们的正常工作条件和工作能力的,称为电气设备的额定值(rated value)。额定值通常在铭牌上标出,也可从产品目录中找到,使用时必须遵守这些规定。如果实际值超过额定值,将会引起电气设备的损坏或降低使用寿命;如果低于额定值,某些电气设备也会损坏或降低使用寿命,或者不能发挥正常的功能。通常当实际值都等于额定值时,电气设备的工作状态称为额定状态(rated state)。

1.5.2 开路

当某一部分电路与电源断开,该部分电路中没有电流,亦无能量的输送和转换,这部分电路所处的状态称为开路(open circuit)。例如在图 1.5.2 中,当开关 S_1 单独断开时,照明灯 EL_1 所在的支路开路;当开关 S_2 单独断开时,照明灯 EL_2 所在的支路开路。开路的一般特点如图 1.5.3 所示,开路处的电流等于零,开路处的电压应视电路情况而定。

如果开关 S_1 和 S_2 全部断开,电源既不产生也不输出电功率,电源这时所处的状态称为空载(no-load)。

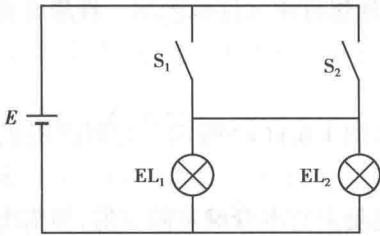


图 1.5.2 开路

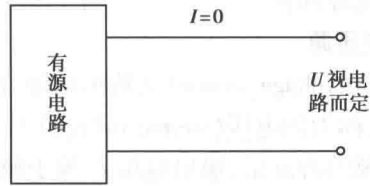


图 1.5.3 开路的特点

1.5.3 短路

当某一部分电路的两端用电阻可以忽略不计的导线或开关连接起来时,使得该部分电路中的电流全部被导线或开关所旁路,这一部分电路所处的状态称为短路(short circuit)或短接。例如在图 1.5.4 中,当开关 S_1 单独闭合时,照明灯 EL_1 被短路;当开关 S_2 单独闭合时,照明灯 EL_2 被短路。短路的一般特点如图 1.5.5 所示,短路处的电压等于零,短路处的电流视电路而定。

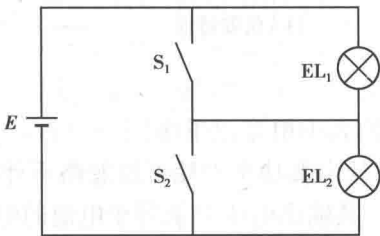


图 1.5.4 短路

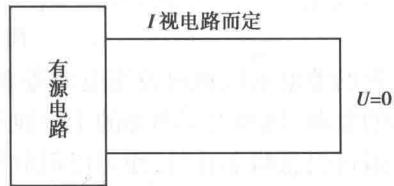


图 1.5.5 短路的特点

如果图 1.5.4 中的开关 S_1 和 S_2 全部闭合,即所有负载全部被短路。电源所产生的电功率将全部消耗在电源的内电阻和连接导线的电阻上,这时电源所处的状态称为电源短路。电源短路时,电流比正常工作电流大得多,时间稍长,便会使供电系统中的设备烧毁和引起火灾。因此,图 1.5.4 所示电路的接线方式是不妥的,因为它容易造成电源短路。工作中应尽量避免发生这种事故,而且还必须在电路中接入熔断器等短路保护装置,以便在电源短路时能迅速将电源与电路的短路部分断开。

1.6 理想电路元件

实际电路元件的物理性质,从能量转换的角度来看,有电能的产生、电能的消耗以及电场能量和磁场能量的储存。理想电路元件就是用来表征上述这些单一物理性质的元件,它主要有以下两类。

1.6.1 理想有源元件

理想有源元件是从实际电源元件中抽象出来的。当实际电源本身的功率损耗可以忽略不

计,而只起产生电能的作用,这种电源便可以用一个理想有源元件来表示。理想有源元件分电压源和电流源两种。

(1) 电压源

电压源(voltage source)又称恒压源,图形符号如图 1.6.1(a)所示。它可以提供一个固定的电压 U_s ,称为源电压(source voltage)。

电压源的特点是:输出电压 U 等于源电压 U_s ,这是由它本身确定的定值,与输出电流和外电路的情况无关。而输出电流 I 不是定值,与输出电压和外电路的情况有关。例如空载时,输出电流 $I=0$;短路时, $I \rightarrow \infty$;输出端接有电阻 R 时, $I = \frac{U}{R}$,而电压 U 却始终不变。因此,电压源的输出电压与输出电流之间的关系(称为伏安特性)如图 1.6.1(b)所示。由此可知,凡是与电压源并联的元件(包括下面将叙述的电流源在内)两端的电压都等于电压源的源电压。

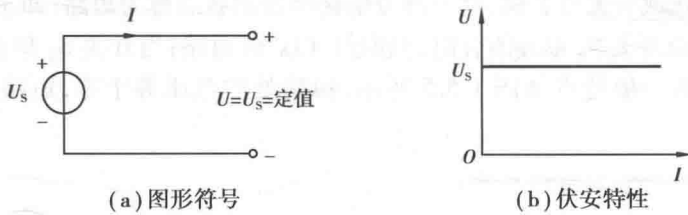


图 1.6.1 电压源

电压源的源电压 U_s 也可改用电动势 E 表示,它们的大小相等,方向相反。

实际的电源,例如大家熟悉的干电池和蓄电池,在其内部功率损耗可以忽略不计时,即电池的内电阻可以忽略不计时,便可以用电压源来代替。其输出电压 U 就等于电池的电动势 E 。

(2) 电流源

电流源(current source)又称恒流源,图形符号如图 1.6.2(a)所示。它可以提供一个固定的电流 I_s ,称为源电流(source current)。

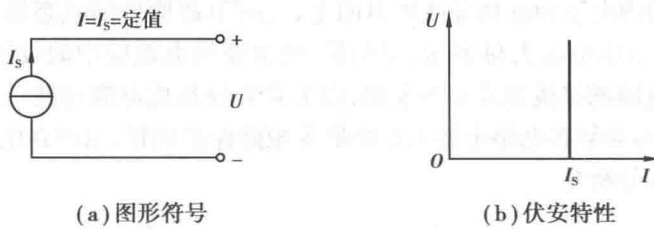


图 1.6.2 电流源

电流源的特点是:输出电流 I 等于源电流 I_s ,这是由它本身确定的定值,与输出电压和外电路的情况无关。而输出电压 U 不是定值,与输出电流和外电路的情况有关。例如短路时,输出电压 $U=0$;空载时, $U \rightarrow \infty$;输出端接有电阻 R 时, $U = RI$,而电流 I 却始终不变。因此,电流源的伏安特性如图 1.6.2(b)所示。由此可知,凡是与电流源串联的元件(包括上面已叙述的电压源在内),其电流都等于电流源的源电流。

实际的电源,例如光电池在一定的光线照射下能产生一定的电流,称为电激流(excitation current)。在其内部的功率损耗可以忽略不计时,便可以用电流源来代替,其输出电流就等于电池的电流。

实际电源元件,例如蓄电池,它既可以用作电源,将化学能转换成电能供给负载,而充电时,它又可以作为负载,输入电能并转换成化学能。

1.6.2 理想无源元件

理想无源元件包括电阻元件、电容元件和电感元件三种。表征上述三种元件电压与电流关系的物理量为电阻、电容和电感,它们又称为元件的参数(parameter)。一提起这三个名词,人们往往会立即联想到实际电路元件:电阻器、电容器和电感器。它们都是人们为得到一定数值的电阻、电容或电感而特意制成的元件。严格地说,这些实际电路元件都不是理想的,但在大多数情况下,可将它们近似看成理想电路元件。正是这个缘故,人们习惯上也以这三种参数的名字来称呼它们。这样,电阻、电容和电感这三个名词既代表了三种理想电路元件,又是表征它们量值大小的参数。

电阻(resistance)是表征电路中消耗电能的理想元件;电容(capacitance)是表征电路中储存电场能的理想元件;电感(inductance)是表征电路中储存磁场能的理想元件。电阻又称耗能元件,电容和电感又称储能元件。

(1) 电阻

欧姆定律是用来说明电阻中电压与电流关系的基本定律。电流流过电阻时要消耗电能,所以电阻是一种耗能元件。当电路的某一部分只存在电能的消耗而没有电场能和磁场能储存的话,这一部分电路便可用图 1.6.3 所示的电阻元件来代替它。图中电压和电流都用小写字母表示,以示它们可以是任意波形的电压和电流。电压 u 与电流 i 的比值 R 为

$$R = \frac{u}{i} \quad (1.6.1)$$

称为电阻,单位是欧[姆](Ω)。在图 1.6.3 所示的关联参考方向下,若 R 为一大于零的常数,这种电阻称为线性电阻(linear resistance)。若 R 虽然大于零,但不是常数,这种电阻称为非线性电阻(non-linear resistance)。本章主要讨论由线性电阻和理想有源元件组成的线性电路(linear circuit)。

在直流电路中,电阻的电压与电流选取关联参考方向时,其电功率为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1.6.2)$$

实际的电阻元件即电阻器,严格地说都不是理想电阻元件。首先,只有在直流和低频电流下工作时才可以看成是纯电阻元件;其次,当温度或频率增加时,电阻值会增大。电阻器在直流电流通过时的电阻称为直流电阻(DC resistance)或欧姆电阻(ohmic resistance),交流电流通过时的电阻称为交流电阻(AC resistance)或有效电阻(effective resistance)。一般交流电阻大于直流电阻,不过由于材料和工艺的改进,在通常情况下这些影响可以忽略不计。

电阻器上一般都标有电阻的数值,称为标称值。此外还标有电阻的误差和额定功率(或额定电流)。电阻器的标称值往往与它的实际值不完全相符。实际值与标称值相差的数值与标称值之比的百分数称为电阻的误差。选用电阻器时,不仅应使电阻值符合要求,而且还必须使它在实际工作时消耗的功率或通过的电流不超过额定功率或额定电流。单个电阻器不能满足要求时,可将几个电阻元件串联或并联起来使用。

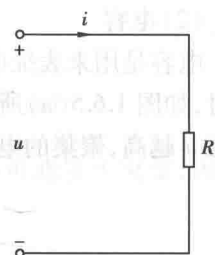


图 1.6.3 电阻

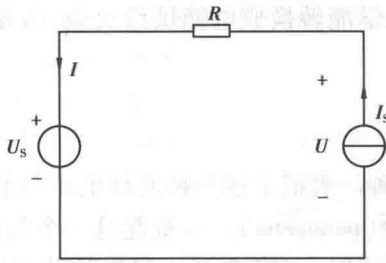


图 1.6.4 例 1.6.1 的电路

【例 1.6.1】 在图 1.6.4 所示的直流电路中,已知电压源的源电压 $U_s = 3 \text{ V}$, 电流源的源电流 $I_s = 3 \text{ A}$, 电阻 $R = 1 \Omega$ 。求:(1) 电压源的电流和电流源的电压;(2) 讨论电路的功率平衡关系。

【解】

① 电压源的电流和电流源的电压。

由于电压源与电流源串联,故 $I = I_s = 3 \text{ A}$, 根据电流的方向可知

$$U = U_s + RI_s = (3 + 1 \times 3) \text{ V} = 6 \text{ V}$$

② 电路中的功率平衡关系。

由电压和电流的方向可知,电压源处于负载状态,它取用的电功率为

$$P_L = U_s I = (3 \times 3) \text{ W} = 9 \text{ W}$$

电流源处于电源状态,它输出的电功率为

$$P_o = UI_s = (6 \times 3) \text{ W} = 18 \text{ W}$$

电阻 R 消耗的电功率为

$$P_R = UI_s^2 = (1 \times 3^2) \text{ W} = 9 \text{ W}$$

可见 $P_o = P_L + P_R$, 电路中的功率是平衡的。

(2) 电容

电容是用来表征电路中电场能储存这一物理性质的理想元件。例如当电路中有电容器存在时,如图 1.6.5(a) 所示,它的两个被绝缘体隔开的金属极板上会聚集起等量而异号的电荷。电压 u 越高,聚集的电荷 q 越多,产生的电场越强,储存的电场能就越多。 q 与 u 的比值

$$C = \frac{q}{u} \tag{1.6.3}$$

称为电容。式中, q 的单位为库[仑](C); u 的单位为伏[特](V); C 的单位为法[拉](F)。

若 C 为常数,这种电容称为线性电容;若 C 不是常数,这种电容称为非线性电容。本书只讨论线性电容。

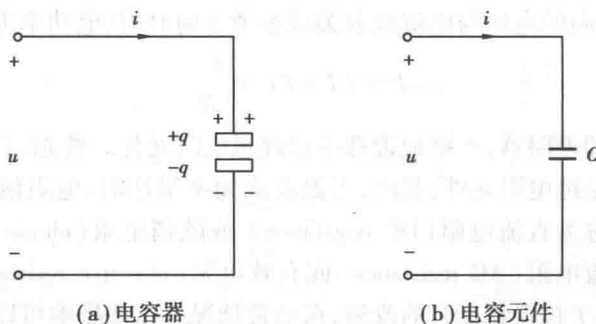


图 1.6.5 电容

当电路的某一部分只具有储存电场能的性质时,这一部分电路便可用图 1.6.5(b) 所示的电容元件来代替。

当电容两端的电压 u 随时间变化时,电容两端的电荷 q 也将随之变化,电路中便出现了电