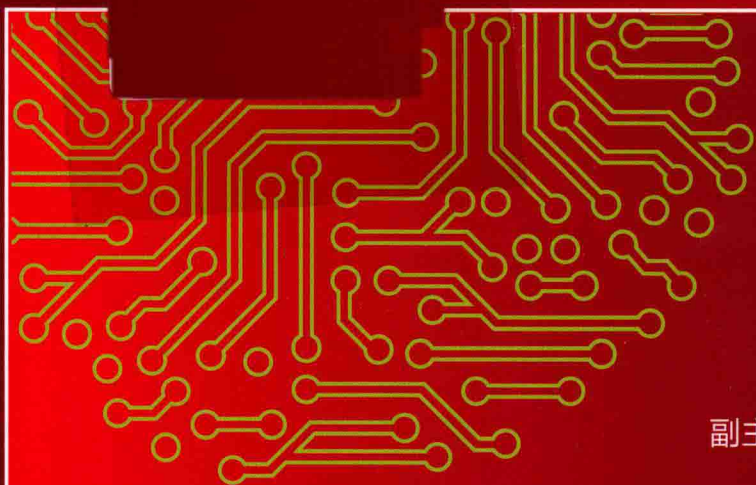




主编：吴安岚

副主编：王巧兰 张文生

电路分析基础

Fundamentals of
Electric Circuit
Analysis

清华大学出版社



电路分析基础

Fundamentals of Electric Circuit Analysis

主编：吴安岚

副主编：王巧兰 张文生



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是为电气类及电子类专业学生编写的应用型本科教材,电气类专业参考 64 学时,电子类专业参考 48 学时(均运行 16 周)。全书共 7 章,包括电路基础知识与基尔霍夫定律、电路分析方法及电路定理、正弦稳态电路分析、三相电路分析、含互感电路分析与理想变压器、周期性非正弦电流电路与三相电路中的高次谐波、线性动态电路中的暂态响应等。理论推导过程从简,概念阐述清晰,计算思路交待详细,例题与习题丰富。编排讲究逐步引深的递进关系,紧密联系电子及电力工程实际,重点内容黑字醒目排版。易于理解掌握和自学阅读,适应实施“翻转课堂”。配套文件有课后练习及习题答案、PPT 课件、教学计划参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/吴安岚主编. —北京:清华大学出版社,2018

ISBN 978-7-302-49986-2

I. ①电… II. ①吴… III. ①电路分析—高等学校—教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 069122 号

责任编辑:王一玲 柴文强

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市铭诚印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:18.25

字 数:445 千字

版 次:2018 年 8 月第 1 版

印 次:2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价:59.00 元

产品编号:072355-01

前言

FOREWORD

为使学生能提前接触工程应用实际,尽早参加各类“创新创业”训练,不少院校的电气、电子类专业将“电路分析”课程提前到第二甚至第一学期讲授,后续所有专业课程均得以提前,使学生在学校有更多时间参与实习、实训、设计和竞赛。“电路分析”课程与“高等数学”课程同步开设,已是许多应用型本科院校“电气、电子类”专业的教学现实,原先的“电路”教材已不适应这种变化。

本教材编写思路:精选内容,突出重点,适应较少理论授课计划;加大理论联系实际力度,将应用案例渗透进章节之中;与电子技术、电力技术密切关联,充分体现了为后续专业课程奠定基础的功能;重视例题的引导作用,给予学生足够的模仿样本,降低学生掌握计算方法的难度,丰富练习与习题;适应“翻转课堂”等新型授课方法的实施,易于自学阅读,便于学生自测自检。

本教材编写原则:从简定理推导过程,述明概念来龙去脉,强化计算训练,增加例题、习题难度档次,逐步引深递进,醒目印刷记忆要点以利复习。配套文件有课后练习及习题答案、PPT 课件、教学计划参考。后续还计划开发网络在线课程。

本教材由厦门大学嘉庚学院教师编写,是福建省教育科学“十三五”规划 2016 年度课题“电路基础课程应用型教材的研究与建设(立项批准号 FJJKCG16-327)”的成果。主干内容由吴安岚执笔编写,王巧兰补充,张文生修改。PPT 课件由王巧兰、吴安岚制作。参加本教材编写的还有周朝霞、陈晓凌、邱义、郑伟。全书由吴安岚、张文生统稿,厦门大学林育兹教授审稿。

编写过程中受到厦门大学林育兹教授指导,在此表示感谢。

本教材经校内两轮试用,效果良好。

由于编者水平有限,教材中的错误在所难免,恳请指正。

编者

2018 年 7 月

第 1 章 电路基础知识与基尔霍夫定律	1
1.1 电路实例与组成	1
1.1.1 电路实例	1
1.1.2 电路的组成	2
1.1.3 理想电路元件与电路模型	2
1.2 电路物理量及其参考方向	3
1.2.1 电流、电压、电位、电动势及其参考方向	3
1.2.2 功率及其正负值的意义	6
1.2.3 电能及其单位	8
1.3 基尔霍夫定律	10
1.3.1 电路结构术语	10
1.3.2 基尔霍夫电流定律	10
1.3.3 基尔霍夫电压定律	11
1.3.4 基尔霍夫定律应用实例	13
1.4 电阻元件的伏安关系及电阻的串并联	17
1.4.1 电阻元件的伏安关系	17
1.4.2 电阻的串联及分压公式	19
1.4.3 电阻的并联及分流公式	20
1.4.4 电阻的混联及等效电阻计算	21
1.4.5 电阻 Y- Δ 连接及其等效变换	24
1.4.6 电气设备的额定值	25
1.5 实际电源的等效变换	28
1.5.1 理想电流源	28
1.5.2 实际电源的电流源模型	28
1.5.3 理想电压源	29
1.5.4 实际电源的电压源模型	29
1.5.5 电流源模型与电压源模型之间的等效变换	30
1.5.6 电源的三种工作状态	33
习题	35

【课后练习】答案	40
第2章 电路分析方法及电路定理	42
2.1 支路电流法与回路电流法	42
2.1.1 支路电流法	42
2.1.2 网孔电流法	43
2.1.3 灵活设置回路的回路电流法	46
2.2 结点电压法	48
2.2.1 结点电压方程	48
2.2.2 弥尔曼定理	51
2.3 叠加定理及其应用	54
2.3.1 线性电路的特点	54
2.3.2 叠加定理	54
2.3.3 叠加定理在工程中的应用	57
2.4 戴维南定理及其应用	60
2.4.1 戴维南定理	60
2.4.2 求线性有源二端网络等效电阻的一般方法	64
2.4.3 最大功率传输定理	65
2.5 受控源及含受控源电路分析	67
2.5.1 四种受控源的原型器件简介	68
2.5.2 含受控源电路分析	69
习题	75
【课后练习】答案	80
第3章 正弦稳态电路分析	84
3.1 正弦量的参数	84
3.1.1 正弦量三要素	84
3.1.2 正弦量的相位差	87
3.2 正弦量的计算方法	89
3.2.1 复数的主要表达形式	89
3.2.2 用复数表示正弦量——相量	90
3.2.3 复数相量的运算规则	91
3.2.4 基尔霍夫定律的相量形式	91
3.2.5 复数计算示例	94
3.2.6 复数计算中的常用算子	94
3.3 单一元件正弦交流电路的特性	95
3.3.1 电阻元件的特性	95
3.3.2 电感元件的特性	96
3.3.3 电容元件的特性	101

3.4	RLC 串联正弦交流电路分析	107
3.4.1	RLC 串联电路的伏安关系	107
3.4.2	串联电路的电压三角形与阻抗三角形	108
3.4.3	多个阻抗串联的分压电路	112
3.5	RLC 并联正弦交流电路分析	114
3.5.1	RLC 并联电路的伏安关系	114
3.5.2	并联电路的电流三角形与导纳三角形	116
3.5.3	多个阻抗并联的分流电路	118
3.6	复杂正弦交流电路的分析	119
3.6.1	阻抗串并联电路及其相量图	120
3.6.2	复杂正弦电路分析方法	122
3.6.3	阻抗与导纳的等效变换	124
3.7	正弦电流电路中的谐振	128
3.7.1	RLC 串联谐振	128
3.7.2	RLC 并联谐振	131
3.7.3	电感线圈与电容并联发生谐振	133
3.8	正弦电流电路的功率	136
3.8.1	瞬时功率	136
3.8.2	有功功率	136
3.8.3	视在功率	137
3.8.4	功率三角形及无功功率	137
3.8.5	功率因数	138
3.8.6	复功率	142
3.8.7	最大功率传输	147
3.9	功率因数的提高	148
3.9.1	提高功率因数的意义	148
3.9.2	提高功率因数的方法	149
	习题	152
	【课后练习】答案	159

第 4 章 三相电路分析

164

4.1	三相电路基本概念	164
4.1.1	三相同步发电机简介	164
4.1.2	三相电源及负载连接的类别	165
4.1.3	对称星形接线的特点	166
4.1.4	对称三角形接线的特点	168
4.1.5	对称三相电路的功率	169
4.2	三相对称电路分析	173
4.2.1	对称星形接线已知电源电压求负载电压	174

4.2.2	对称星形接线已知负载电压求电源电压	176
4.2.3	有线路阻抗时的对称三角形接线	176
4.2.4	无线路阻抗时的对称三角形接线	178
4.2.5	多组对称负载的三相电路分析	179
4.3	三相不对称电路分析	183
4.3.1	三相四线制 Y_0-Y_0 系统中线的作用	183
4.3.2	不对称负载三角形连接时的工作状态	187
4.3.3	对称负载发生故障演变成不对称负载	187
4.4	三相电路功率测量	189
4.4.1	“一表法”测量三相对称电路有功功率	189
4.4.2	“三表法”测量三相四线制电路有功功率	189
4.4.3	“两表法”测量三相三线制电路有功功率	190
4.4.4	“三表 90° 跨相法”测量三相电路无功功率	192
	习题	194
	【课后练习】答案	197
第5章	含互感电路分析与理想变压器	200
5.1	互感耦合线圈的伏安关系及同名端	200
5.1.1	互感耦合线圈的伏安关系	200
5.1.2	互感耦合线圈的同名端及同名端测试	201
5.2	含互感线圈电路的计算	206
5.2.1	互感耦合线圈的串联	206
5.2.2	互感耦合线圈的并联与三端连接	207
5.2.3	含互感电路的基本计算方法——网孔法	210
5.3	理想变压器	212
5.3.1	理想变压器的伏安关系式	212
5.3.2	理想变压器功率平衡方程	213
5.3.3	理想变压器的阻抗变换特性	213
	习题	216
	【课后练习】答案	219
第6章	周期性非正弦电流电路与三相电路中的高次谐波	221
6.1	认识周期性非正弦信号	221
6.1.1	周期性非正弦信号分解为傅里叶级数	221
6.1.2	周期性非正弦电流、电压的有效值	224
6.1.3	周期性非正弦交流电路的平均功率	225
6.2	周期性非正弦电流电路的计算	227
6.3	对称三相电路中的高次谐波	230
6.3.1	三相电源为周期性非正弦信号时三组不同性质的谐波组	230

6.3.2 不同性质的谐波对称组对星形连接电源的影响·····	230
6.3.3 不同性质的谐波对称组对星形连接负载的影响·····	231
6.3.4 不同性质的谐波对称组对三角形连接电源的影响·····	232
习题·····	233
【课后练习】答案·····	235
第7章 一阶线性动态电路中的暂态响应 ·····	237
7.1 产生暂态的条件及换路定律·····	238
7.2 RC一阶电路的零输入响应与零状态响应·····	240
7.2.1 电容电路的零输入响应——RC放电过程·····	240
7.2.2 时间常数的意义与计算·····	242
7.2.3 电容电路的零状态响应——RC充电过程·····	244
7.2.4 RC充放电应用于闪光灯电路·····	247
7.3 RL一阶电路的零输入响应与零状态响应·····	250
7.3.1 RL电路的零输入响应——电感续流过程·····	250
7.3.2 RL电路的零状态响应——电感电流建立过程·····	253
7.3.3 RL电路在正弦电压源激励下的零状态响应·····	255
7.4 一阶电路的全响应·····	259
7.4.1 三要素法·····	259
7.4.2 正弦电源激励下一阶电路的全响应·····	262
习题·····	264
【课后练习】答案·····	267
附录A 《电路分析基础》教学计划参考 ·····	270
附录B 习题参考答案 ·····	272
参考文献 ·····	282

电路基础知识与 基尔霍夫定律



由金属导线、电气以及电子设备或元器件组成的导电回路,称为电路。电路由电路图来体现,电路图表示元器件、设备或成套装置的全部基本组成和连接关系,并不反映其实际位置。

电气工程、电子工程中有相关联的形形色色的电路,许多元件组成的电路称为网络,许多网络连接在一起称为电路系统。

1.1 电路实例与组成

1.1.1 电路实例

电路分为两大类。

一类为生产、传输、分配和使用电能的电路。如图 1-1 所示的由发电机、升压变电站、高压输电线、降压变电站、低压输电线和用电设备等构成的电力线路。发电机输出的三相交流电一般为数千到数万伏,经变压器升压至 110kV 以上才适合远距离输电,用电设备为安全着想必须使用较低电压,所以输电到负荷中心,须将电压降低至数百伏。工作电压为 220V

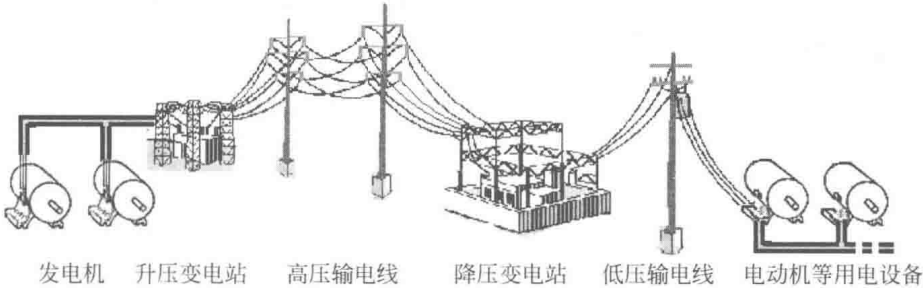


图 1-1 电路实例一：电力线路

或 380V 及以上,一般称为强电,特点是电压高(相对而言)、功率大、电流大和频率低,主要应用于电气工程中。

另一类电路的作用是变换、控制和处理电信号。如图 1-2 所示的扩音机电路,麦克风将声音信号变成微弱音频信号,通过三级放大,放大后的音频信号,最后由喇叭还原成声音。这类电路工作电压在 220V 以下,一般称为弱电,特点是电压低、功率小和电流小,有些工作频率较高,主要应用于电视工程、通信工程、影像工程、安防工程、计算机系统中。

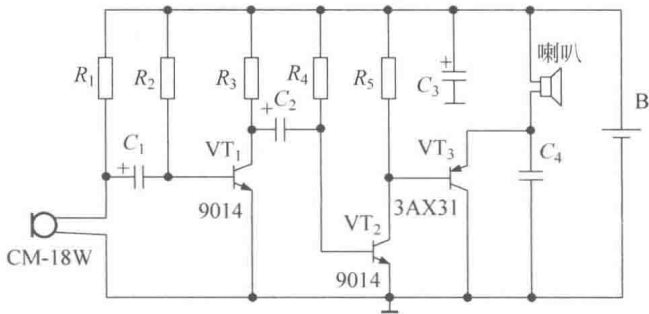


图 1-2 电路实例二: 扩音机电路

强电系统往往需要由弱电系统来控制、保护及测量。

电路按其特性还可分为稳态电路和暂态电路、线性电路和非线性电路、模拟电路和数字电路、集总参数电路和分布参数电路等。

1.1.2 电路的组成

电路包括电源、负载和中间环节。图 1-1 中,发电厂的发电机用来提供电能,它将其其他形式的能量转换成电能,中间环节是电源与负载之间的变换、传输、控制装置,负载是消耗电能的设备,它将电能转换成光能、热能、机械能或化学能。

1.1.3 理想电路元件与电路模型

实际电路中的各种元器件,其电能的消耗和电场能、磁场能的存储交织在一起,使电路的分析和计算变得复杂。一定条件下,可以忽略这些元器件的次要性质,仅讨论它们单一的主要电磁性能,并用一个确切的数学表达式来描述其主要电磁性能,使电路计算更简单。这种用一个确切的数学表达式来描述其主要电磁性能的元素称为理想电路元件。

常见的 5 种理想电路元件如图 1-3 所示。

(1) 电阻元件的主要电磁性能是消耗电能,它两端的电压和电流关系服从欧姆定律。其参数用符号 R 表示。

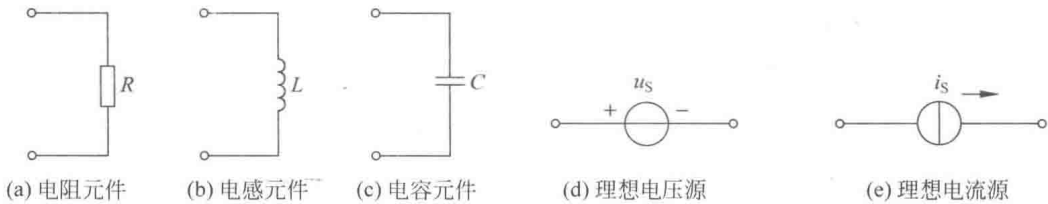


图 1-3 常见的 5 种理想电路元件

(2) 电感元件的磁通与通过电流成正比,它通过存储磁通来储存磁场能。电感元件对频率较高的交流信号有更大的阻碍作用,但直流信号通过电感元件无阻碍,等效于短路。其参数用符号 L 表示。

(3) 电容元件两极板分布的电荷与电压成正比,它通过存储电荷来储存电场能。电容元件对频率较低的交流信号有更大的阻碍作用,但直流信号不能通过电容元件,等效于开路。其参数用符号 C 表示。

(4) 理想电压源输出确定的已知电压,其电流的大小由外电路决定。其参数用符号 u_s 或 U_s 表示。

(5) 理想电流源输出确定的已知电流,其电压的大小由外电路决定。其参数用符号 i_s 或 I_s 表示。

若用理想电路元件替代实际元器件,并用理想导线连接起来,就得到了实际电路的电路模型。电路计算的对象是电路模型,不是实际电路。

电路模型简称为电路,组成电路的理想电流源、理想电压源是有源元件,可以独立向电路提供功率;电阻、电感、电容元件是无源元件,用来模拟实际用电设备或中间环节里的部件。

理想电流源提供的电流(i_s 或 I_s)、理想电压源提供的电压(u_s 或 U_s)称为电路的激励,在激励作用下,负载及中间环节中的电流、电压称为响应。

理想电路元件体现了实际元器件的主要电磁性能,对电路模型的计算结果,能够反映实际电路的物理特征。为理论联系实际,本教材例举的电路中,也有涉及实际元件的地方。

1.2 电路物理量及其参考方向

电路的电气特性是由电流、电压、电位、电动势及功率来描述的,对已知电路的电流、电压、功率进行计算,是工程技术人员的必备技能。

1.2.1 电流、电压、电位、电动势及其参考方向

1. 电流及其参考方向

电荷的定向移动形成电流,电流是一种物理现象,用符号 i 表示,常用单位为安培(A),电流的大小也称为电流强度。本教材物理量的常用单位一律采用国际单位制(SI)。

稳恒直流电流的大小和方向不随时间变化,其大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷,即

$$i = \frac{q}{t} \quad (1-1)$$

式中: i ——电流(安培,A);

q ——电荷(库仑,C);

t ——时间(秒,s)。

稳恒直流电流的波形如图 1-4(a)所示。

若电流的大小或方向随时间变化,称为可变电流,定义为

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{或} \quad i = \frac{dq}{dt} \tag{1-2}$$

式中: Δt ——微小的时间增量;
 Δq ——与 Δt 这段时间对应的电荷增量。

图 1-4(b)是脉动直流,而图 1-4(c)(d)是交流电流的波形。交流电流是指大小和方向都随时间周期性变化的电流,并且一个周期内的平均值为零。

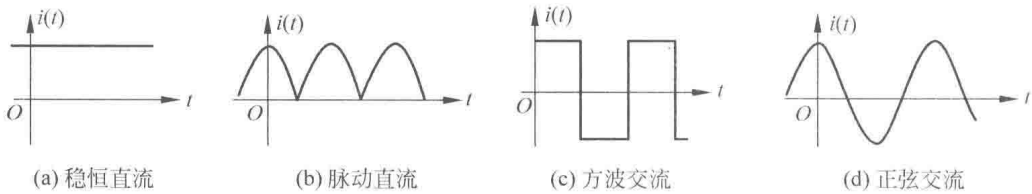


图 1-4 直流电流与交流电流

电学理论中将正电荷移动的方向规定为电流的实际方向。但在分析计算复杂电路时,事先难以判定某路径中电流的实际方向,此时可任意假定某一方向作为电流的参考方向,用箭头或双下标表示。电流 i_{ab} 的含义是假定电流从 a 点流向 b 点,如图 1-5 所示。规定了电流的参考方向以后,电流有正有负,成为代数量。若某电流 $i > 0$ 为正值,说明实际方向与参考方向一致;若 $i < 0$ 为负值,则说明电流实际方向与参考方向相反。电路图中未事先给定电流的参考方向,电流的正、负没有意义。

测量直流电流时,电流表串联进电路,如图 1-6 所示。表的正极指向负极的方向是选定的电流参考方向,若显示值为正,表明实际流向也是这个方向,否则反之。

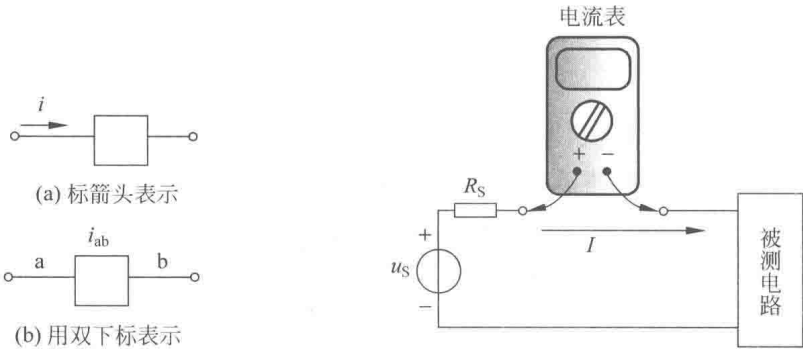


图 1-5 电流的参考方向

图 1-6 电流表串联进电路测量电流

电流表的内电阻很小。如无特别指出,测量电流时一般可认为电流表的内阻为零。

2. 电压、电位、电动势及其参考方向

1) 电压与电位

图 1-7(a)中,用力推动小车向前运动要对小车做功,同理在图 1-7(b)中,电场力 f 推动正电荷 $\oplus$ 从 a 点移动到 b 点,也要对正电荷做功,同时将电能转换为其他形式的能。

电荷在电场中从 a 点移动到 b 点时,电场力所做的功 W 与它移动的电荷 q 的比值称为 a、b 两点间的电压,用符号 u_{ab} 表示,常用单位为伏特(V)。

$$u_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

式中： u_{ab} ——a 点指向 b 点的电压(伏特,V)；

W ——电场力所做的功(焦耳,J)；

q ——被移动的电荷(库仑,C)。

若电压随时间变化,则定义为

$$u_{ab} = \frac{\Delta W}{\Delta q} \quad \text{或} \quad u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

式中： Δq ——微小的电荷增量(C)；

ΔW ——电场力移动 Δq 所做功的增量(J)。

电路中可任选一点为零电位点(即参考电位),如图 1-7(b)中的“0”点,参考点用符号“⊖”表示。电路中 a 点的电位 u_a 就是该点与参考点“0”之间的电压 u_{a0} 。电系统中一般选设备外壳或接地点作为参考点。高于参考点的电位是正电位,低于参考点的电位是负电位。电路中某点的电位是个相对量,电位参考点“0”可以任意选取,参考点发生变化,电路中各点的电位也要随之改变。

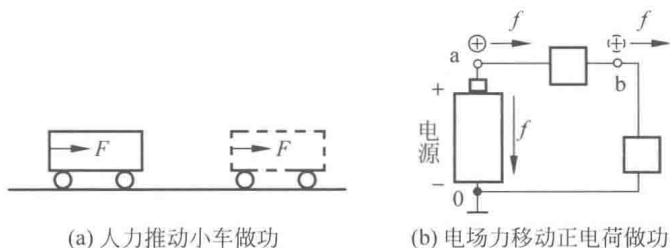


图 1-7 电场中电场力 f 移动正电荷做功

电路中两点间的电压是这两点间的电位之差,即

$$u_{ab} = u_a - u_b \quad (1-5)$$

同一电路中,电位参考点发生变化,两点间的电压不变,即电位差不变。

本教材中电压用双下标表示,如 u_{ab} ; 电位用单下标表示,如 u_a ,这样表述省略了下标“0”。

导体中的正电荷在电位差的作用下向低电位点移动,类似于水管中的水在水压差的作用下向低水压处流动。水压是水在水管中流动的动因,可类比电压是电荷在导体中移动的动因。

电压可分为直流电压、交流电压,波形类似于图 1-4。

必须指出,电压是指电路中某两点之间或某元件两端之间的电位差。电压的实际极性是高电位点为正,低电位点为负;电压的实际方向是电位降低或电压降落的方向,即由高电位点指向低电位点。在分析复杂电路时,可任意假定电压的参考极性(设某一点极性为正、另一点极性为负)或用双下标和箭头表示电压的参考方向,如图 1-8 所示。假定了电压的参考方向以后,电压才有正有负,才成为了代数量。若某电压 $u > 0$ 为正值,则该电压实际方向与参考方向一致;若 $u < 0$ 为负值,则说明该电压实际方向与参考方向相反。

电路图中未事先假定电压的参考极性,电压的正负没有意义。

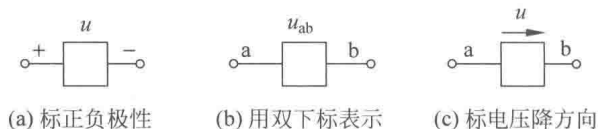


图 1-8 电压的参考方向

测量直流电压时,电压表并联到电路两点间,如图 1-9 所示。电压表的正极是假定的电压正极,若显示值为正,表明实际极性也是这点电位更高,另一点电位更低,否则反之。

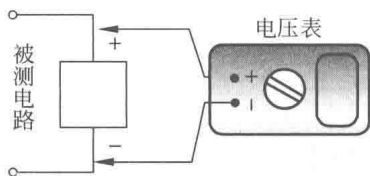


图 1-9 电压表并联到电路两点间测量电压

电压表的内电阻很大。如无特别指明,一般测量均可认为电压表的内电阻无穷大,而忽略其中的电流。

2) 电动势

观察图 1-7(b),在电源的外电路正电荷顺电场力方向移动,从高电位点 a 向低电位点 b 及 0 点移动,移至电源负极。为了形成连续的电流,正电荷必须在电源内部从低电位点回到高电位点。而电场力 f 的方向是从电源的正极指向负极,这就要求在电源中有一个电源力作用在正电荷上,使之逆着电场力 f 的方向移动回到 a 点,并把其他形式的能量转换成电能。例如在发电机中,当导体在磁场中旋转而切割磁感线时,导体内便出现这种电源力。在电池中,化学力充当了这种电源力。电源中的电源力克服电场力做功,使正电荷再次回到高电位点 a 。这如同循环水系统,水在水泵之外的管道总是从高水压处流向低水压处,为了形成连续的水流,在水泵内部必须有一个提升力将水逆着重力的方向提升到高处的水泵出水口,水在提升的过程中消耗了水泵的机械能使水的势能提高。

电源力将正电荷从电源的负极移动至正极时所做的功 W_s 与移动电荷量 q 的比值称为该电源的电动势。电动势用符号 e 表示,常用单位也为伏特(V),即

$$e = \frac{W_s}{q} \quad \text{或} \quad e = \frac{\Delta W_s}{\Delta q} \quad (1-6)$$

电动势 e 的实际方向是从电源的负极指向正极,即电源力的指向,与电源电压的实际方向刚好相反。电动势 e 也可假定参考方向。

1.2.2 功率及其正负值的意义

图 1-10 中,左侧是电压源 u_s ,右侧是负载电阻 R ,两者的电压相等,流过同一个电流。电阻 R 的电流参考方向从电压的参考正极流向参考负极,这种电压、电流指向一致的参考方向称为关联参考方向。而流过电压源 u_s 的电流参考方向是从电压的参考负极流向参考正极,这种电压、电流指向不一致的参考方向称为非关联参考方向。

为方便起见,负载的电流、电压参考方向一般选为关联参考方向。电源的电流、电压参考方向一般选为非关联参考方向。当然也可任意假设。如无特别指明,电流、电压参考方向仅标一个的,默认为选取关联参考方向。

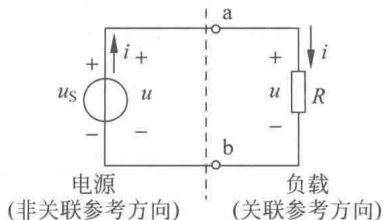


图 1-10 关联参考方向的概念

一段电路或某电路元件在单位时间内发出或吸收的

电能称为电功率,简称功率。用符号 p 表示,常用单位为瓦特(W)。

计算功率必须判别功率的性质,是发出功率还是吸收功率,判别方法如表 1-1 所列。假设所有元件均在吸收功率,则

电流、电压间选取关联参考方向时,吸收功率的计算公式为

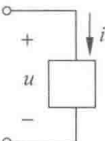
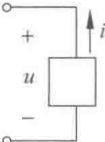
$$p = ui \tag{1-7}$$

电流、电压间选取非关联参考方向时,吸收功率的计算公式为

$$p = -ui \tag{1-8}$$

若上两式计算出的功率为负值,表明该元件实际在发出功率,为电源;否则实际在吸收功率,为负载。

表 1-1 元件吸收功率与发出功率的判别

假定的参考方向	图 形	功率的计算公式	计算结果	功率的性质
电流、电压为 关联参考方向		$p = ui$	$p > 0$	该元件实际吸收功率
			$p < 0$	该元件实际发出功率
电流、电压为 非关联参考方向		$p = -ui$	$p > 0$	该元件实际吸收功率
			$p < 0$	该元件实际发出功率

同一个独立电路中,电源发出的功率等于其他元件吸收消耗的功率之和,或者说元件吸收功率与电源发出功率之代数和应等于零,这是自然界普遍遵守的功率守恒原理。

第 1、第 2 章中,若激励均是直流电源,电路各处的响应也是直流量,电流、电压、功率均用大写字母表示。这里的直流,均指稳恒直流。

【例 1-1】 分析图 1-11 电路中哪个电源发出功率,哪个电源吸收功率,并验证电路功率守恒。

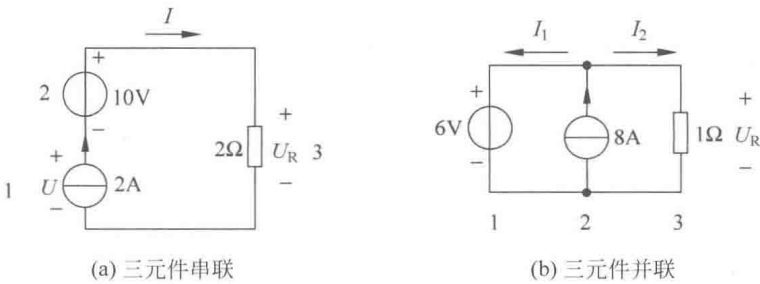


图 1-11 例 1-1 电路图

解 图 1-11(a)中三个元件串联,流过同一个电流,均为 2A。

$$I = 2\text{A}, \quad U_{\text{R}} = 2I = 4\text{V}$$

电流源两端的电压为

$$U = -10 + U_{\text{R}} = -10 + 4 = -6\text{V}$$

分别设 2A 电流源、10V 电压源、2Ω 电阻的元件编号为 1、2、3,则 1 号元件,非关联参考

方向:

$$P_1 = -UI = -(-6) \times 2 = 12\text{W} \quad (\text{吸收功率})$$

2 号元件,非关联参考方向:

$$P_2 = -10I = -10 \times 2 = -20\text{W} \quad (\text{发出功率})$$

3 号元件,关联参考方向:

$$P_3 = U_R I = 4 \times 2 = 8\text{W} \quad (\text{吸收功率})$$

验证电路的功率守恒:

$$\sum P = P_1 + P_2 + P_3 = 12 + (-20) + 8 = 0$$

图 1-11(b)中 3 个元件并联,电压相等均为 6V,则

$$U_R = 6\text{V}, \quad I_2 = \frac{U_R}{1} = \frac{6}{1} = 6\text{A}$$

流过电压源的电流为

$$I_1 = 8 - I_2 = 8 - 6 = 2\text{A}$$

分别设 6V 电压源、8A 电流源、 1Ω 电阻的元件编号为 1、2、3,则 1 号元件,关联参考方向:

$$P_1 = U_R I_1 = 6 \times 2 = 12\text{W} \quad (\text{吸收功率})$$

2 号元件,非关联参考方向:

$$P_2 = -8U_R = -8 \times 6 = -48\text{W} \quad (\text{发出功率})$$

3 号元件,关联参考方向:

$$P_3 = U_R I_2 = 6 \times 6 = 36\text{W} \quad (\text{吸收功率})$$

验证电路的功率守恒:

$$\sum P = P_1 + P_2 + P_3 = 12 - 48 + 36 = 0$$

从上例可知:电阻任何时候都在吸收功率,而对于电源,却不一定总是发出功率,也有处于负载地位吸收功率的电源,如正在被充电的手机电池。电流、电压实际方向相同的元件,必吸收功率;电流、电压实际方向相反的元件,必发出功率。

1.2.3 电能及其单位

电路元件在一段时间内吸收或发出的能量称为电能,用符号 W (斜体印刷) 表示,常见单位为焦耳(J)。注意这里物理量“ W ”不要与功率的单位“ W ”(正体印刷)混淆。电能的计算公式为

$$W = pt = uit \quad (1-9)$$

焦耳(J)这个单位在计量电能时显得过小,在电力生产及供应中,运用公式 $W = pt$ 时,时间单位若选小时(h),功率单位选千瓦(kW),则电能的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$,即俗称的“1 度电”。

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J} = 1 \text{度电}$$

工程中有时会觉得 SI 主单位太大或太小,要用到它们的十进制倍数单位和分数单位,这

注意:当电流、电压、电阻、功率均用常用单位 A、V、 Ω 、W 时,计算式中可不必带单位,但计算结果必须带单位。