



应用型高等学校“十三五”规划教材

DIANLU FENXI JIANMING JIAOCHENG

电路分析简明教程

刘文胜 陈雪娇 主编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

电路分析简明教程

主 编 刘文胜 陈雪娇



华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

根据高校的教学大纲要求和教学现状,本书分为 10 章,主要内容包括三个部分。第一部分为电阻电路的分析,我国包括:集总参数电路中电压、电流的约束关系,运用独立电流、电压变量的分析方法,叠加方法、分解方法以及单口网络。第二部分为动态电路的相量分析法,包括:正弦稳态电路的分析,正弦稳态的功率和能量计算,频率响应与网络函数,耦合电感和理想变压器。第三部分为动态电路的时域分析,包括:电容元件和电感元件的性质,一阶电路的分析。

本书适用于高校工科各电类专业和涉及用电知识的相关专业,也可作为有关高校理科院系电路课程的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析简明教程/刘文胜,陈雪娇主编. —武汉:华中科技大学出版社,2018.8
ISBN 978-7-5680-4439-4

I. ①电… II. ①刘… ②陈… III. ①电路分析-教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 183303 号

电路分析简明教程

Dianlu Fenxi Jianming Jiaocheng

刘文胜 陈雪娇 主编

策划编辑:范莹

责任编辑:刘辉阳

封面设计:原色设计

责任校对:张会军

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉华工鑫宏印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16

字 数:403 千字

版 次:2018 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:39.80 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

“电路分析”是高等院校理工科学生必修的专业基础课程之一,也是电类专业学生知识结构的重要组成部分。该课程在人才培养中起着十分重要的作用。同样地,在机械、化工等需要较多电学知识的非电类专业学生的知识体系中,电学理论和电路分析的知识也十分重要。

“电路分析”课程的教材为早年的《电工与电子技术》等书籍,讲授的是以集总参数电路为研究对象的基本理论和分析方法,所编写的是研究电路及其规律的一门基础学科,具有很强的实践性。在时代进步的今天,编写本书是为了纳入新知识、新技术,力争达到理论与实践相结合,通过学习使学生掌握电类技术人员必须具备的电路基础理论、基本分析方法,并掌握各种常用电工仪器、仪表的使用及简单的电工测量方法,为后续专业课的学习和步入社会后的工程实践打下一定的基础。同时使学习者通过本课程的学习能够提高自身的思维能力、逻辑推理能力、理论联系实际的技术应用能力。

本书根据我国高等院校的课程设置和教学现状,结合作者多年的教学实践经验,对该课程的原有教学内容进行了调整。全书分为10章。第一部分为电阻电路的分析,其内容包括:集总参数电路中电压、电流的约束关系,运用独立电流、电压变量的分析方法,叠加方法、分解方法以及单口网络。第二部分为动态电路的相量分析法,其内容包括:正弦稳态电路的分析,正弦稳态的功率和能量计算,频率响应与网络函数,耦合电感和理想变压器。第三部分为动态电路的时域分析,其内容包括:电容元件和电感元件的性质,一阶电路的分析。为便于读者自学,各章节后都附有小结和习题。

本课程的先修课程是“高等数学”,后续课程为“电子技术基础”“电力电子技术”“信号与系统”“高频电子线路”等。

参与本书编写的有华南理工大学广州学院的刘文胜老师(第4、5、6、7章)和陈雪娇老师(第8、9、10章),第1、2、3章的内容由两位老师共同协商编写。全书由刘文胜统稿,王羽负责本教材课题组的创建和科研项目的管理工作。

在本书的编写过程中,何志伟教授、冯金垣教授对课程建设提出了宝贵意见,曹英烈博士和尼喜副教授对教材内容的调整给出了精辟的评价与指导,同时院校同仁对教材编写给予了支援和帮助,在此深表谢意。同时,对书中所引用的参考文献和网络资源的作者,在此一并表示感谢。

本书的编写与出版得到了范莹编辑的鼎力相助和华中科技大学出版社的大力支持,特别予以致谢。

受作者学识水平所限,书中难免有疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2018年7月

目 录

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
1.1.1 电路的概念	1
1.1.2 电路模型	2
1.1.3 集总参数电路	3
1.2 电流、电压及其参考方向	3
1.2.1 电流及其参考方向	3
1.2.2 电压及其参考方向	4
1.2.3 电位的概念及其分析计算	5
1.3 电功率及电能的概念和计算	7
1.3.1 电功率	7
1.3.2 电能	8
1.4 电阻元件	8
1.4.1 电阻的定义及伏安特性	8
1.4.2 电阻元件的功率和能量	10
1.4.3 开路和短路	10
1.4.4 电阻元件的工程应用	10
1.5 电压源与电流源	12
1.5.1 实际电压源与理想电压源	12
1.5.2 实际电流源与理想电流源	13
1.6 基尔霍夫定律	14
1.6.1 基本概念	14
1.6.2 基尔霍夫电流定律	15
1.6.3 基尔霍夫电压定律	16
1.6.4 基尔霍夫定律在直流电路中的应用	17
本章小结	18
习题 1	19
第 2 章 电阻电路的等效变换	22
2.1 电阻电路与等效变换	22
2.1.1 基本概念	22
2.1.2 一端口网络的定义	23

2.1.3	一端口网络的等效变换	24
2.2	电阻的等效变换	24
2.2.1	电阻的串联	24
2.2.2	电阻的并联	26
2.2.3	电阻的混联	28
2.2.4	Y形连接和 Δ 形连接之间的等效变换	29
2.3	电压源和电流源的等效变换	31
2.3.1	理想电压源的串联与并联	31
2.3.2	理想电流源的并联与串联	32
2.3.3	实际电源的等效变换	33
2.4	受控电源及其等效变换	36
2.5	输入电阻	38
2.6	电桥平衡及其等电位法	39
2.6.1	电桥电路	39
2.6.2	电桥的平衡条件	40
2.6.3	具有等电位节点/零电流支路电路的等效变换	40
2.6.4	电桥的工程应用	42
	本章小结	43
	习题 2	44
第 3 章	电阻电路分析	47
3.1	概述	47
3.1.1	KCL 的独立方程数	47
3.1.2	KVL 的独立方程数	48
3.2	支路电流法	48
3.2.1	支路电流法的分析步骤	48
3.2.2	电路中含有电流源时的电路分析	50
3.3	网孔电流法和回路电流法	50
3.3.1	网孔电流法的分析步骤	51
3.3.2	含独立电流源电路的网孔电流法	53
3.3.3	含有受控电源的网孔电流法	54
3.3.4	回路电流法	55
3.4	节点电压法	56
3.4.1	节点电压法的分析步骤	56
3.4.2	含有理想电压源的节点电压法	58
3.4.3	含有受控电源的节点电压法	59
3.4.4	弥尔曼定理	60
3.5	叠加定理和齐次定理	61

3.5.1	叠加定理	61
3.5.2	齐次定理	64
3.6	替代定理	65
3.7	戴维南定理和诺顿定理	66
3.7.1	戴维南定理	67
3.7.2	戴维南定理的证明	67
3.7.3	戴维南定理的应用	68
3.7.4	诺顿定理	69
3.8	最大功率传输定理	72
	本章小结	75
	习题 3	77
第 4 章	正弦稳态电路分析	82
4.1	正弦交流电的概念	82
4.1.1	正弦交流电的基本概念	82
4.1.2	正弦量的三要素	82
4.1.3	正弦电流、电压的有效值和相位差	83
4.2	正弦交流电的相量表示	86
4.2.1	复数和常用的表示方法	86
4.2.2	正弦量的相量表示方法	87
4.3	单一元件伏安关系的相量表示	87
4.3.1	电阻元件伏安关系的相量形式	87
4.3.2	电感元件伏安关系的相量形式	88
4.3.3	电容元件伏安关系的相量形式	90
4.4	基尔霍夫定律相量表示和相量图	92
4.4.1	KCL 和 KVL 的相量形式	92
4.4.2	相量图的画法	93
4.5	复阻抗与复导纳的概念及等效变换	94
4.5.1	复阻抗与复导纳的概念	94
4.5.2	RLC 电路的阻抗计算	95
4.5.3	阻抗的串、并联计算	97
4.6	正弦稳态电路分析	98
4.7	正弦稳态电路的功率和功率因数	101
4.7.1	正弦稳态电路的功率	101
4.7.2	提高功率因数的方法	103
4.7.3	最大功率传输	105
	本章小结	106
	习题 4	108

第 5 章 三相交流电路	111
5.1 三相交流电路概述	111
5.1.1 三相交流电源	111
5.1.2 三相电源的连接	113
5.1.3 三相负载	115
5.1.4 三相电路	115
5.2 对称三相电路的分析	116
5.2.1 Y-Y 连接(三相三线制)	116
5.2.2 Y- Δ 连接	118
5.2.3 电源为 Δ 形连接时的对称三相电路	119
5.3 不对称三相电路的分析	122
5.4 三相交流电路的功率	125
5.4.1 三相瞬时功率	125
5.4.2 有功功率、无功功率、视在功率	126
本章小结	130
习题 5	130
第 6 章 耦合电感与理想变压器	133
6.1 耦合电感的伏安关系	133
6.1.1 耦合电感的概念	133
6.1.2 耦合电感的伏安关系	134
6.1.3 耦合电感的同名端	135
6.2 含有互感电路的计算	138
6.2.1 耦合电感的串、并联等效	138
6.2.2 耦合电感的 T 形等效	141
6.3 空芯变压器的分析	144
6.3.1 反映阻抗	144
6.3.2 含空芯变压器的电路分析	146
6.4 理想变压器	149
6.4.1 理想变压器的伏安关系	149
6.4.2 含理想变压器的电路分析	152
6.4.3 变压器的应用	153
本章小结	155
习题 6	156
第 7 章 电路的频率特性	159
7.1 RLC 串联谐振电路	159
7.1.1 谐振频率	159
7.1.2 串联谐振的特征	160

7.2	RLC 串联电路的频率响应	161
7.2.1	阻抗的频率特性	162
7.2.2	$U_L(\omega)$ 与 $U_C(\omega)$ 的频率特性	162
7.2.3	串联谐振电路的选择性与通频带	163
7.2.4	串联谐振的应用※	164
7.3	RLC 并联谐振电路	166
7.3.1	原理分析	166
7.3.2	并联谐振的状态特征及其描述	167
7.3.3	并联谐振电路的特性分析	167
7.3.4	并联谐振的应用※	168
7.4	网络函数与频率特性	169
7.4.1	网络函数	169
7.4.2	网络函数的频率特性	170
7.5	滤波器电路	171
7.5.1	一阶 RC 低通滤波器	171
7.5.2	一阶 RC 高通滤波器	172
7.5.3	RC 带通滤波器	173
7.5.4	RLC 带阻滤波器	175
	本章小结	176
	习题 7	177
第 8 章	非正弦周期电流电路	180
8.1	非正弦周期信号	180
8.2	非正弦周期信号的分解	181
8.3	非正弦周期信号的有效值和平均功率	184
8.3.1	非正弦周期电流的有效值	184
8.3.2	非正弦周期电流的平均值	184
8.3.3	非正弦周期电流电路的平均功率	185
8.4	非正弦周期电流电路的计算	186
	本章小结	187
	习题 8	188
第 9 章	电路的暂态分析	190
9.1	过渡过程的概念	190
9.1.1	过渡过程产生的原因	190
9.1.2	暂态分析的意义和方法	191
9.2	换路定则和初始值	191
9.2.1	换路定则	191
9.2.2	初始值计算	192

9.3	一阶电路的零输入响应	194
9.3.1	RC 电路的零输入响应	194
9.3.2	电路的时间常数	195
9.3.3	RL 电路的零输入响应	197
9.4	一阶电路的零状态响应	199
9.4.1	一阶电路的零状态响应	199
9.4.2	RL 电路的零状态响应	201
9.5	一阶电路的全响应及三要素法	203
9.5.1	一阶电路的全响应	203
9.5.2	一阶电路的三要素法	204
9.6	积分电路与微分电路	207
9.6.1	积分电路	207
9.6.2	微分电路	208
9.7	一阶电路的阶跃响应	209
9.7.1	单位阶跃信号	210
9.7.2	阶跃响应分析	210
9.8	一阶电路的冲激响应	212
9.8.1	单位冲激函数的定义及性质	212
9.8.2	冲激响应分析	213
9.9	二阶电路的动态过程	217
	本章小结	221
	习题 9	223
第 10 章	二端口网络	226
10.1	概述	226
10.2	二端口网络的阻抗参数和导纳参数	226
10.2.1	二端口网络的阻抗参数	226
10.2.2	二端口网络的导纳参数	229
10.3	二端口网络的传输参数和混合参数	230
10.3.1	二端口网络的传输参数	230
10.3.2	二端口网络的混合参数	232
10.4	二端口等效电路	233
10.5	二端口网络的连接	234
10.5.1	二端口网络的串联	234
10.5.2	二端口网络的并联	236
10.5.3	二端口网络的级联	237
	本章小结	239
	习题 10	239
	参考文献	243

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

知识要点

- 了解电路和电路模型的概念;
- 理解电流、电压和电功率的概念,理解和掌握电路基本元件的特性;
- 掌握电位和电功率的计算方法;会应用基尔霍夫定律分析电路。

随着科学技术的飞速发展,现代电工电子设备的种类日益繁多,规模和结构更是日新月异,但无论怎样设计和制造,其本质都是由各种基本电路组成的。所以,学习电路的基础知识,掌握分析电路的基本规律与方法,是学习电学理论的重要内容,也是进一步学习电机、电气和电子技术的基础。本章重点讲解有关电路的基本概念、基本元件特性和电路基本定律。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的概念

1. 电路及其组成

简单地讲,电路是电流通过的路径。实际电路通常由各种电路元器件(如电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器、仪表、晶体管等)组成。每一种电路元器件都具有各自不同的电磁特性和功能,按照需要把相关电路元器件按一定方式进行组合和连接,就构成了一个个电路。如果某个电路元器件的数目很多,而且电路结构较为复杂,则通常把这些电路称为电网络,简称网络。

手电筒电路、单个照明灯电路是实际应用中较为简单的电路,而电动机电路、雷达导航设备电路、计算机电路、电视机电路、4G 手机电路则是较为复杂的电路。但不管简单还是复杂,电路的基本组成都离不开三个基本环节:电源、负载和中间环节。

电源是向电路提供电能的装置。它可以将其他形式的能量,如化学能、热能、机械能、原子能等转换为电能。在电路中,电源是激励源,是激发和产生电流的因素。负载是消耗电能的装置,其作用是把电能转换为其他形式的能(如机械能、热能、光能等)。通常在生产与生活中经常用到的电灯、电动机、电炉、手机等用电设备,都是电路中的负载。中间环节在电路中起着传递电能、分配电能和控制整个电路的作用。最简单的中间环节即开关和导线。一个实用电路的中间环节通常还有一些保护和检测装置。复杂的中间环节可以是由许多电路元件组成的网络系统。

图 1-1 所示的手电筒照明电路中,电池作为电源,电灯泡作为负载,导线和开关作为中间

环节将电灯泡和电池连接起来。

2. 电路的种类及功能

实际工程应用中的电路,根据功能可分为两大类:一是完成能量的传输、分配和转换的电路,如图 1-1 所示,电池通过导线将电能传递给电灯泡,电灯泡将电能转化为光能和热能。这类电路的特点通常是大功率、大电流;二是实现对电信号的传递、变换、存储和处理的电路,图 1-2 所示的是一个扩音机的工作过程。传声器将声波信号转换为电信号,即转换为相应的电压和电流,经过放大器处理后,通过电路传递给扬声器,再由扬声器转换为声音信号。这类电路的特点是小功率、小电流。

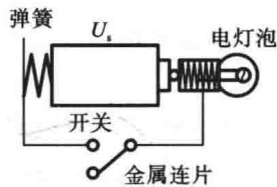


图 1-1 手电筒照明电路

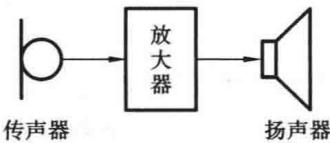


图 1-2 扩音机的工作过程

1.1.2 电路模型

电路分析,是指对由理想元器件组成的电路模型进行定性或定量的分析。实际电路的电磁转换过程是相当复杂的,难以进行有效的分析和计算。在电路理论中,为了方便实际电路的分析和计算,通常在实际工程允许的条件下对实际电路进行模型化处理,即忽略次要因素,抓住足以反映其功能的主要电磁特性,抽象出实际电路元器件的“电路模型”。

例如电阻器、电灯泡、电炉等,这些电气设备接收电能并将电能转换成光能或热能,由于光和热的散失性,光能和热能不可能再直接回到电路中。因此,把这种能量转换过程不可逆的电磁特性称为耗能。这些电气设备除了具有耗能的电磁特性外,还有一些其他的电磁特性,但在研究和分析问题时,即使忽略这些电磁特性,也不会影响整个电路的分析和计算。因此,可以用一个只具有耗能特性的“电阻元件”作为其电路模型。

将实际电路元器件理想化得到的只具有某种单一电磁特性的元件,称为理想电路元件,简称电路元件。每一种电路元件体现某种基本现象,即具有某种确定的电磁特性和精确的数学定义。常用的有表示将电能转换为热能的电阻元件、表示电场性质的电容元件、表示磁场性质的电感元件,以及电压源元件和电流源元件等,其电路图形符号如图 1-3 所示。

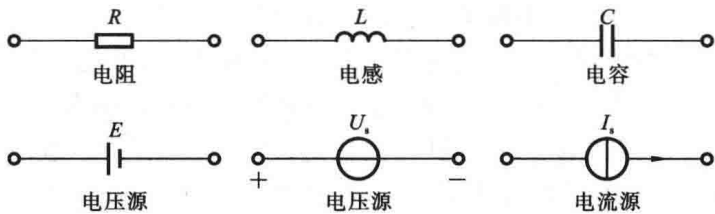


图 1-3 理想电路元件的图形符号

由理想电路元件相互连接组成的电路称为电路模型。电池对外提供电压的同时,内部也有电阻消耗能量,所以电池用其电压源和内阻 R_0 的串联表示。电灯泡除了具有消耗电能的

性质(电阻性)外,通电时还会产生磁场,具有电感性。但电感微弱,可以忽略不计,于是可将电灯泡作为电阻元件,用 R 表示。图 1-4 所示的是图 1-1 所示实际电路的电路模型。

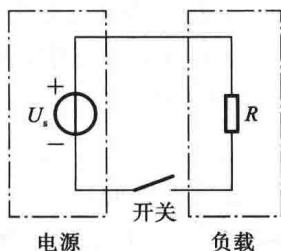


图 1-4 手电筒照明电路的电路模型

1.1.3 集总参数电路

电路的工作环境有直流、交流、低频和高频之分。当实际电路中元件的物理尺寸远小于其最高工作频率所对应的波长时,将其称为“集总参数电路”。在集总参数电路中,电路元件(简称元件)只反映一种基本的电磁现象,且可由数学方法予以定义。例如:电阻只涉及消耗电能的现象和属性;电容只涉及与电场有关的现象和属性;电感只涉及与磁场有关的现象和属性。电场、磁场被认为只集中在相应元件的内部,元件外部的场量为零。此外,还有电压源、电流源等多种元件,各种元件可用图形符号表示。在一定的条件下,有些器件的模型较简单,只涉及一种元件,而有些零件、器件的模型则由几种元件构成。图 1-4 所示电路中,电灯泡的电感是极其微弱,可忽略不计,所以用一个电阻元件 R 作为其理想化模型,电池的模型则由电压源元件 U_s 表示。

在集总参数电路模型中,不用考虑电路中电场与磁场之间的相互作用,以及电磁波的传播现象,而只认为电能的传送是瞬间完成的。若电路的物理尺寸大于最高工作频率所对应的波长或二者属于同一数量级,则不能将其作为集总参数电路模型来分析和处理,应将其作为分布参数等效电路来进行分析处理。例如,工作频率为 2 GHz 的移动通信设备(手机),其信号为分米波,此类设备的电路不能作为集总参数电路来处理。但是,在日常生活中,电力设备的工作频率为 50 Hz,相应的波长 λ 为 6000 km,这种电路元件的物理尺寸远小于该波长,故此类电路可按集总参数电路来处理。

集总参数电路又分为两大类,即电阻性电路和动态电路。前者只含电阻元件和电源元件,又可简称电阻电路。本书第 1 章的内容就是电阻电路的分析。

1.2 电流、电压及其参考方向

电路中的变量是电流和电压。无论是电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,都是这两个量变化的结果。因此,弄清楚电流与电压及其参考方向,对进一步掌握电阻电路的分析与计算是十分重要的。

1.2.1 电流及其参考方向

1. 电流的基本概念

电荷的定向移动形成电流。电流的大小用电流强度来衡量,电流强度简称电流,其定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量,用 $i(t)$ 表示,即

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

式中: i 表示随时间变化而变化的电流; dq 表示在 dt 时间内通过导体横截面的电量。

在国际单位制中, 电流的单位为安培, 简称安(A)。实际应用中, 大电流用千安(kA)表示, 小电流用毫安(mA)表示, 或者用微安(μ A)表示。它们的换算关系为

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} = 10^6 \text{ mA} = 10^9 \mu\text{A}$$

在外电场的作用下, 正电荷将沿着电场方向运动, 而负电荷将逆着电场方向运动(在金属导体内, 自由电子在电场力的作用下定向移动形成电流), 通常规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。

电流有交流和直流之分, 大小和方向都随时间变化而变化的电流称为交流电流。方向不随时间变化而变化的电流称为直流电流; 大小和方向都不随时间变化而变化的电流称为稳恒直流。直流电流习惯上用大写字母 I 表示。

2. 电流的参考方向

在简单电路中, 电流从电源正极流出, 经过负载, 然后回到电源的负极; 在分析复杂电路时, 一般很难判断电流的实际方向, 而列方程、进行定量计算时则需要对电流约定一个方向。对于交流电流, 电流的方向随时间改变而改变, 无法用一个固定的方向表示, 因此引入电流的“参考方向”。

参考方向可以任意设定, 如用一个箭头表示某电流的假定正方向, 就称其为该电流的参考方向。当电流的实际方向与参考方向一致时, 电流的数值就为正值(即 $i > 0$), 如图 1-5(a) 所示; 当电流的实际方向与参考方向相反时, 电流的数值就为负值(即 $i < 0$), 如图 1-5(b) 所示。需要注意的是, 未规定电流的参考方向时, 电流的正负没有任何意义, 如图 1-5(c) 所示。

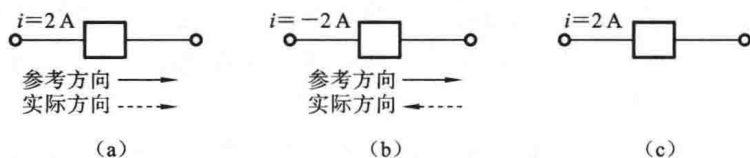


图 1-5 电流及其参考方向

1.2.2 电压及其参考方向

1. 电压的基本概念

如图 1-6 所示的闭合电路, 在电场力的作用下, 正电荷从电源正极 a 经过导线和负载流向负极 b , 从而形成电流, 电场力对电荷做了功。

电场力把单位正电荷从 a 点经外电路(电源以外的电路)移到 b 点所做的功, 其大小等于 a 、 b 两点之间的电压, 记作 U_{ab} 。因此, 电压是衡量电场力做功能力大小的物理量。

若电场力将正电荷 dq 从 a 点经外电路移到 b 点所做的功为 dW , 则 a 、 b 两点间的电压为

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

在国际单位制中, 电压的单位为伏特, 简称伏(V)。实际应用中, 高电压用千伏(kV)表示, 低电压用毫伏(mV)表示, 或者用微伏(μ V)表示。它们的换算关系为

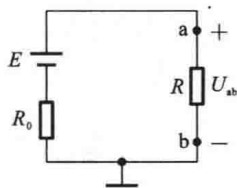


图 1-6 定义电压示意图

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV} = 10^9 \mu\text{V}$$

规定电压的实际方向为从高电位指向低电位,在电路图中可用箭头来表示。

2. 电压的参考方向

在比较复杂的电路中,往往事先并不知道电路中任意两点间的电压,为了分析和计算的方便,与电流的方向规定类似,在分析计算电路之前必须对电压标以极性(正、负号),或标以方向(箭头),这种标法表示假定的参考方向,如图 1-7 所示。如果采用双下标记,电压的参考方向意味着从前一个下标指向后一个下标,图 1-7 所示元件两端的电压记作 u_{ab} ;若电压的参考方向选择由 b 点指向 a 点,则应写成 u_{ba} ,即 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。



图 1-7 电压参考方向的表示方法

分析及求解电路时,先按选定的电压参考方向进行分析、计算,再由计算结果中电压值的正负来判断电压的实际方向与参考方向是否一致;若电压值为正,则实际方向与参考方向相同,若电压值为负,则实际方向与参考方向相反。

为了便于识别与计算,对同一元件或同一段电路,通常将其电流 i 和电压 u 的参考方向选为一致,这样的方向称为关联参考方向,如图 1-7(a) 所示;如果二者的参考方向相反,则称为非关联参考方向,如图 1-7(b) 所示。

1.2.3 电位的概念及其分析计算

为了方便分析问题,常在电路中指定一点作为参考点,假定该点的电位是零,用符号“ $\perp$ ”表示,如图 1-8 所示。在生产实践中,常把地球作为零电位点,凡是机壳接地的设备,机壳电位即为零电位。有些设备或装置,机壳并不接地,而是把许多元件的公共点作为零电位点,用符号“ $\perp$ ”表示。

电路中其他各点相对于参考点的电压即是各点的电位。因此,任意两点间的电压等于这两点间的电位之差,可以用电位的高低来衡量电路中某点电场能量的大小。

电路中各点电位的高低是相对的,参考点不同,各点电位的高低也会不同,但是电路中任意两点之间的电压与参考点的选择无关。电路中,凡是比参考点电位高的各点电位为正电位,比参考点电位低的各点电位为负电位。

【例 1-1】 求图 1-8 所示 a 点的电位值。

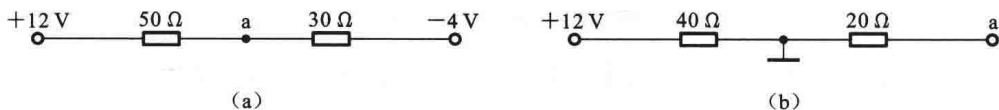


图 1-8 例 1-1 图

解 对于图 1-8(a) 所示电路,有

$$U_a = -4 \text{ V} + \frac{30}{50+30} \times (12+4) \text{ V} = 2 \text{ V}$$

对于图 1-8(b) 所示电路, 因 20Ω 电阻的电流为零, 故

$$U_a = 0 \text{ V}$$

【例 1-2】求图 1-9 所示电路中 a 点的电位值。若开关 S 闭合, a 点的电位值又为多少?

解 当开关 S 断开时, 三个电阻串联。电路两端的电压为

$$U = [10 - (-10)] \text{ V} = 20 \text{ V}$$

电流方向由 $+10 \text{ V}$ 端经三个电阻至 -10 V 端, 则 $10 \text{ k}\Omega$ 电阻两端的电压为

$$U_o = 20 \times \frac{10}{5+5+10} \text{ V} = 10 \text{ V}$$

根据电压与电位的关系, 可得

$$V_a = 10 - U_o = (10 - 10) \text{ V} = 0 \text{ V}$$

开关 S 闭合后, 有

$$V_a = \frac{5}{5+10} \times 10 \text{ V} = 3.33 \text{ V}$$

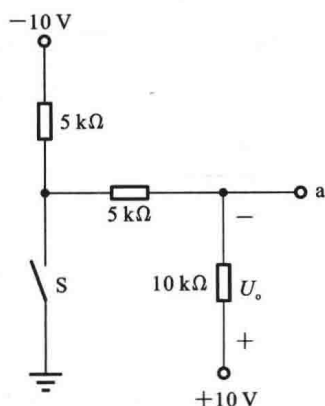
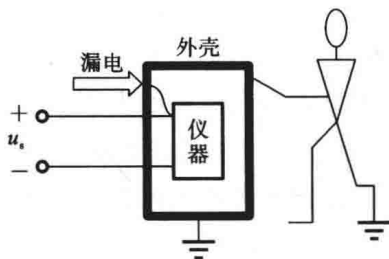


图 1-9 例 1-2 图

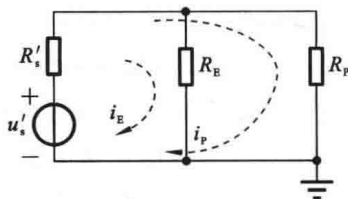
【扩展阅读】

防电击接地电路

电气设备的金属外壳或机架通过接地装置与大地直接连接, 其目的是防止设备的金属外壳带电而造成触电的危险。当人体触碰到外壳带电的电气设备时, 由于接地装置的接触电阻远小于人体电阻, 绝大部分电流经接地装置进入大地, 只有很小部分电流流过人体, 不会对人的生命造成危害。保护地可以直接接在电气接地网上, 其接地电阻一般小于 10Ω 。正常人的电阻一般为 $700 \sim 800 \Omega$ 。图 1-10(a) 和图 1-10(b) 所示的分别表示设备外壳接地的情况和对应的电路模型。



(a) 外壳接地示意图



(b) 外壳接地电路模型

图 1-10 防电击接地电路

其中, u_s 表示电源电压; u'_s 表示漏电电压; R'_s 表示漏电电源的内电阻, R_E 和 R_P 分别表示外壳接地电阻和人体电阻。由于 $R_E \ll R_P$, 所以大部分漏电电流经外壳接地线流入大地。显然, 外壳接地电阻越小, 流过人体的电流也就越小。所以, 人体接触外壳接地的电气设备就比较安全。

1.3 电功率及电能的概念和计算

1.3.1 电功率

当任意二端电路有电流通过时,该电路总会和外部电路发生能量交换。电路中伴随电压、电流的电磁场的能量,称为电能,用 W 表示。功率是衡量电能转换速率的一个物理量。功率是指某一段电路吸收或提供能量的速率。电路在单位时间内所转换的电能称为瞬间功率,用 $P(t)$ 表示,即

$$P(t) = \frac{dW}{dt} \quad (1-3)$$

式中: dW 为 dt 时间内电场力所做的功;功率的单位为瓦特(W);电能的单位为焦耳(J)。

在关联参考方向下,有 $u(t) = \frac{dW}{dq}$ 、 $i(t) = \frac{dq}{dt}$,故瞬时功率又可表示为

$$P(t) = \frac{dW}{dt} = u(t)i(t) \quad (1-4)$$

可见,元件吸收或发出的功率等于元件上的电压乘以元件上的电流。

如同电流、电压可以作为代数量处理一样,也可以为功率设定参考方向,当功率的实际方向与参考方向一致时,功率为正;相反时,功率为负。从式(1-4)的推导过程可知,一段电路在电压、电流选取关联参考方向的情况下,功率的参考方向指定为电流进入该电路的方向。对于图 1-7(a),则运用式(1-4)计算而得到的功率为正,说明功率的实际方向与参考方向一致,也就是,该电路吸收功率。

在电路分析中,常常仅标识电流、电压的参考方向。此时,如果电流、电压的参考方向一致,则电路所吸收的功率为该段电路的端电压与线电流的乘积。功率 P 为正值,该段电路吸收功率; P 为负值,则该段电路释放功率,即该段电路向外输出功率,或者说提供功率。

电路中的各个组成部分,在能量转化中所起到的作用不尽相同。电源的作用是把其他形式的能量转换成电能,即提供电功率;负载的作用是把电能转化成其他形式的能量,即消耗电功率;理想导线的作用是传输及分配电能。同时,完整的电路系统同样遵循能量守恒定律。

【例 1-3】 图 1-11 所示电路中,已知 $I = 4 \text{ A}$, $U_1 = 20 \text{ V}$, $U_2 = 12 \text{ V}$, $U_3 = -8 \text{ V}$,试问哪些元件是电源? 哪些元件是负载?

解 (1) 由图 1-11 可知,元件 1 的电压与电流的参考方向为非关联参考方向,故

$$P_1 = -U_1 I = -20 \times 4 \text{ W} = -80 \text{ W}$$

负号说明元件 1 发出功率 80 W,即元件 1 是电源。

(2) 元件 2 的电压与电流的参考方向为关联参考方向,故

$$P_2 = U_2 I = 12 \times 4 \text{ W} = 48 \text{ W}$$

元件 2 吸收功率 48 W,即元件 2 是负载。

(3) 元件 3 的电压与电流的参考方向为非关联参考方向,故

$$P_3 = -U_3 I = [-(-8) \times 4] \text{ W} = 32 \text{ W}$$

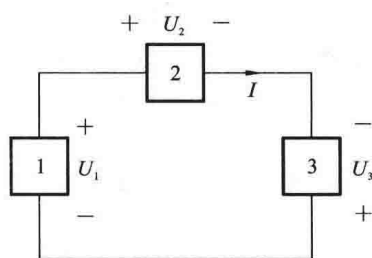


图 1-11 例 1-3 图