

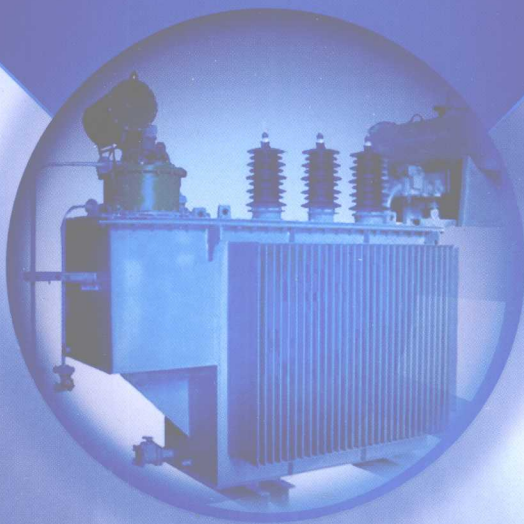


高职高专“十一·五”规划教材

DIANGONG DIANZI JISHU

电工电子技术

庄宜松 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

电工电子技术

范泽良	林山	庄宜松	主 编
		严金龙	副主编
		彭世俊	主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书根据教育部“高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求”编写,主要介绍了电工电子技术的基本知识、理论以及与之相关的基础技能。

全书共分14章,介绍了电路的基本概念与基本定律、直流电路的分析方法、正弦交流电路、三相正弦交流电路、变压器、工厂供电与安全用电、电子元器件基础、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、数字电子技术基础、逻辑门与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路和数/模与模/数转换电路等内容,并在最后附加了课程实训、电路仿真和常用电气图形符号,方便教学与应用。本书推荐学时数为92学时。

本书可作为高职高专机电类、计算机类专业或同等学力非电子技术类专业“电工电子技术”课程的教科书,也可供相应专业的工程技术人员参考。

本书可作为高职高专机电类、计算机类专业或同等学力非电子技术类专业“电工电子技术”课程的教科书,也可供相应专业的工程技术人员参考。

主编 庄宜松
副主编 董金明 林 林
审 阅 董金明 林 林

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/庄宜松主编. —北京:化学工业出版社,2009.5
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-05086-1

I. 电… II. 庄… III. ①电工技术-高等学校:技术学院-教材
②电子技术-高等学校:技术学院-教材 IV. TMTN

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第038375号

责任编辑:王听讲
责任校对:蒋 宇

文字编辑:王 洋
装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张18¼ 字数483千字 2009年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:30.00元

版权所有 违者必究

前言

本书作为高职高专机电、计算机等非电子技术类专业的技术基础课程教材。为适应高职高专教育的需要,针对高职高专学生的实际情况,组织了多个学校工作在高职高专教育第一线,有丰富教学经验的教师集体编写成本书。在内容安排上,兼顾到各专业特点,充分考虑知识的连贯性,编入了电路基础、电工基础、模拟电子技术和数字电子技术的相关内容,既突出了各部分的特点,又强调了各部分的关联。在知识结构的安排方面突出了“够用为度、重在实用”的原则,以定性分析为主,尽量少用定量分析,力求以简单明了的语言,将电工电子技术的基本原理阐述清楚。学生通过本课程的学习,将掌握电工电子技术的基本理论知识和相关基础技能。

根据职业技术教育的特点,本书在编写过程中放弃了以前的教材对“系统性、完整性、权威性”的强调,把重点放在“实用性”方面,强调理论和实际的结合,同时加强了课程之间的融合,打破原有的课程界限,将电路基础、电工基础、模拟电子技术和数字电子技术的相关内容有机地结合在一起,使学生在有限的学时内基本掌握电工电子技术的基本知识和基本技能。

本书共分14章,以电路基础知识、电工基础技能、模拟电子技术和数字电子技术为主线,加强了基础知识、基本技能的教学,在简化理论数学推导的同时,收编了许多在工程应用中常用的经验公式等内容。兼顾到知识的关联性,同时,考虑到使用本教材的各学校在实验实训设备配备等基础设施方面的情况差异,我们没有按照传统的思路编写实训教材,而是将实训内容分成两个部分放在附录里,其中附录A是课程实训,都是学生必须掌握的基础技能,且实训内容相对比较简单,不需要太多投入就可以完成,几乎所有学校都具备这样的实训条件。而模拟电子技术和数字电子技术方面的实训项目,由于需要大量的设备投入,许多不是以电子技术类专业为主的院校不具备实训条件,所以我们将这部分内容以电路仿真的形式进行介绍,各学校只需在各自的计算机机房内安装上现在流行的Multisim系列电路仿真软件,无需另行投入电子技术实训设备,即可完成模拟电子技术和数字电子技术的课程实训。有条件的院校也可将这部分内容改在实验室进行,同样可以达到较好的实训效果。

本书由庄宜松担任主编,负责本书的策划及全书的统稿工作,范泽良、林山、严金龙担任本书的副主编。庄宜松编写了本书的第6章、第11章和第12章;范泽良编写了第3章、第9章、第13章及附录C;林山编写了第2章和第14章;严金龙编写了第7章和第10章;吴正昌编写了第1章、第5章和附录A;骆丁菱编写了第8章;严峥晖编写了附录B“Multisim7.0电路仿真软件使用方法”及与之配套的10个仿真实训;程越编写了第4章。彭世俊老师在百忙中抽出时间审阅了本书全稿,并提出了许多宝贵的修改意见。

在各位参编老师所在的贵州电子信息职业技术学院、宁波大红鹰学院、四川理工学院等院校领导的大力支持下,经过化学工业出版社有关同志的辛勤劳动,本书终于能够顺利出版。全体编者在此向所有关心、支持本书的编写,为本书的出版做出了贡献的所有人士表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者
2009年2月

目 录

第1章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路组成及电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	1
1.2 电路中的基本物理量	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压、电位与电动势	3
1.3 欧姆定律	4
1.3.1 电阻	4
1.3.2 欧姆定律	5
1.3.3 电阻功率计算	7
1.4 基尔霍夫定律	8
1.4.1 基尔霍夫电流定律	8
1.4.2 基尔霍夫电压定律	9
1.5 电压源与电流源	10
1.5.1 电压源	10
1.5.2 电流源	11
1.5.3 电压源与电流源的等效变换	12
本章小结	12
习题1	13
第2章 直流电路分析	16
2.1 电阻的串联与并联	16
2.1.1 电阻的串联	16
2.1.2 电阻的并联	17
2.1.3 电阻的串并联	17
2.2 电阻的星形与三角形连接	18
2.2.1 电阻的星形、三角形连接	18
2.2.2 星形连接与三角形连接的等效 转换	18
2.3 支路分析法	19
2.4 节点分析法	21
2.4.1 节点电压法	21
2.4.2 米尔曼定理	22
2.5 网孔分析法	23
2.6 叠加定理	24
2.7 戴维宁定理和诺顿定理	25
2.7.1 戴维宁定理	25
2.7.2 诺顿定理	26
本章小结	27
习题2	28
第3章 正弦交流电路	30
3.1 正弦交流电的基本概念	30
3.1.1 周期与频率	30
3.1.2 初相与相位差	31
3.1.3 幅值与有效值	32
3.2 正弦量的相量表示	33
3.2.1 正弦量的相量表示法	33
3.2.2 基尔霍夫定律的相量表示	34
3.3 正弦交流电路中的三种基本元件	35
3.3.1 电阻元件	35
3.3.2 电感元件	36
3.3.3 电容元件	38
3.4 RLC 串联、并联交流电路	41
3.4.1 RLC 串联交流电路	41
3.4.2 RLC 并联交流电路	43
3.5 正弦交流电路的功率	45
3.5.1 正弦交流电路的功率类型	45
3.5.2 功率因数的意义及提高功率因数的 方法	47
3.6 谐振	49
3.6.1 串联谐振	50
3.6.2 并联谐振	52
本章小结	53
习题3	54

第4章 三相正弦交流电路	56
4.1 三相电源	56
4.1.1 三相对称正弦交流电压源	56
4.1.2 三相电源的星形连接	57
4.1.3 三相电源的三角形连接	58
4.2 三相负载	58
4.2.1 三相负载的星形连接	58
4.2.2 三相负载的三角形连接	59
4.3 三相电路的功率	60
4.3.1 有功功率	60
4.3.2 无功功率	60
4.3.3 视在功率	61
4.3.4 瞬时功率	61
本章小结	62
习题4	63
第5章 变压器	64
5.1 磁路的基本概念与定律	64
5.1.1 磁路的概念	64
5.1.2 磁场的基本物理量	64
5.1.3 磁路的基本定律	65
5.2 铁磁材料	66
5.2.1 铁磁材料的磁化	66
5.2.2 磁化曲线	67
5.2.3 铁磁材料的分类	68
5.3 变压器	68
5.3.1 变压器的基本工作原理	68
5.3.2 变压器绕组极性及其连接	72
5.3.3 变压器的额定值	73
5.3.4 特殊变压器	73
本章小结	74
习题5	75
第6章 工厂供电与安全用电	76
6.1 工厂供电	76
6.1.1 供电系统概述	76
6.1.2 工厂供电基础知识	78
6.2 安全用电	80
6.2.1 安全用电常识	80
6.2.2 安全用电措施	82
6.2.3 触电急救措施	82
本章小结	83
习题6	83
第7章 电子元器件基础	84
7.1 常用电子元件	84
7.1.1 电阻器	84
7.1.2 电容器	86
7.1.3 电感器和变压器	87
7.1.4 开关与接插件	89
7.2 半导体基础知识	90
7.2.1 半导体的导电特性及分类	90
7.2.2 PN结	91
7.3 晶体二极管	92
7.3.1 二极管的结构与特性	92
7.3.2 二极管的分类与用途	93
7.3.3 二极管的主要参数与检测方法	94
7.4 晶体三极管	95
7.4.1 三极管的结构与符号	95
7.4.2 三极管的分类	95
7.4.3 三极管的主要参数	96
7.4.4 三极管的工作状态	97
7.5 其他半导体器件	100
7.5.1 场效应晶体管	100
7.5.2 晶闸管	103
本章小结	105
习题7	105
第8章 基本放大电路	106
8.1 基本放大电路的组成与分析	106
8.1.1 基本单管放大电路的组成	106
8.1.2 基本放大电路的静态分析	107
8.1.3 基本放大电路的动态分析	109
8.2 静态工作点的稳定	111
8.2.1 静态工作点不稳定对放大电路性能的影响	112
8.2.2 温度变化对静态工作点的影响	112

8.2.3 稳定静态工作点的方法	113	8.5.3 负反馈对放大电路性能的影响	123
8.3 射极输出器	115	8.6 差动放大电路	124
8.3.1 电路组成	115	8.6.1 差动放大电路的基本概念	124
8.3.2 电路分析	115	8.6.2 典型差动放大电路	126
8.3.3 射极输出器的应用	116	8.7 功率放大电路	127
8.4 多级放大电路	117	8.7.1 功率放大电路的特点	128
8.4.1 多级放大电路耦合方式	117	8.7.2 对称互补型功率放大电路	128
8.4.2 多级放大电路分析	118	8.8 场效应管放大电路及分析	131
8.5 放大电路中的负反馈	119	本章小结	134
8.5.1 反馈的基本概念和类型	119	习题 8	136
8.5.2 负反馈的基本类型及判别方法	121		
第 9 章 集成运算放大器			
9.1 集成运算放大器简介	139	9.2.3 积分与微分运算电路	145
9.1.1 集成运算放大器的结构特点及 主要参数	139	9.3 集成运算放大器的非线性应用	147
9.1.2 理想运算放大器	140	9.3.1 电压比较器	148
9.2 集成运算放大器的线性应用	141	9.3.2 迟滞比较器	149
9.2.1 比例运算电路	142	本章小结	150
9.2.2 加减运算电路	143	习题 9	151
第 10 章 直流稳压电源			
10.1 整流电路	153	10.3 简单稳压电路	158
10.1.1 单相半波整流电路	153	10.4 串联型稳压电路	160
10.1.2 单相桥式全波整流电路	154	10.5 开关型稳压电路	161
10.2 滤波电路	155	10.6 集成稳压电路	162
10.2.1 电容滤波	155	本章小结	166
10.2.2 LC 滤波	156	习题 10	167
10.2.3 π 型滤波	157		
第 11 章 数字电子技术基础			
11.1 数字信号与数字电路	168	11.3.2 复合逻辑关系及运算	174
11.1.1 数字信号	168	11.3.3 逻辑代数常用公式、定理及 规则	176
11.1.2 数字电路	168	11.3.4 逻辑函数的表示方法	177
11.2 数制与编码	169	11.3.5 逻辑函数的化简	179
11.2.1 常用数制及转换方法	169	本章小结	180
11.2.2 编码	172	习题 11	181
11.3 逻辑代数基础	173		
11.3.1 基本逻辑关系及运算	173		
第 12 章 逻辑门与组合逻辑电路			
12.1 逻辑门电路	183	12.1.3 TTL 集成门电路	187
12.1.1 半导体器件的开关特性	183	12.1.4 CMOS 集成门电路	192
12.1.2 基本逻辑门电路	185	12.2 组合逻辑电路的分析与设计方法	194

12.2.1 组合逻辑电路的分析方法	195	12.3.3 数据选择器	203
12.2.2 组合逻辑电路的设计方法	196	12.3.4 设计一般组合逻辑电路的 方法	204
12.3 典型组合逻辑电路及其应用	197	本章小结	205
12.3.1 编码器	197	习题 12	206
12.3.2 译码器	199		
第 13 章 触发器与时序逻辑电路	208		
13.1 触发器	208	13.3.1 计数器	221
13.1.1 触发器概述	208	13.3.2 寄存器	225
13.1.2 触发器的逻辑功能描述	209	13.4 常用中规模集成时序逻辑电路	227
13.1.3 触发器的分类	211	13.4.1 集成计数器	227
13.1.4 触发器的逻辑功能转换	213	13.4.2 用集成计数器构成 N 进制 计数器的方法	230
13.2 时序逻辑电路分析	216	13.4.3 集成寄存器	233
13.2.1 时序逻辑电路概述	216	13.4.4 集成移位寄存器的应用	234
13.2.2 同步时序电路的分析方法	218	本章小结	236
13.2.3 异步时序电路的分析方法	220	习题 13	236
13.3 典型时序逻辑电路	221		
第 14 章 数/模与模/数转换电路	239		
14.1 D/A 转换电路	239	14.2.1 A/D 转换的基本原理	241
14.1.1 D/A 转换的基本原理	239	14.2.2 A/D 转换电路的技术指标	242
14.1.2 D/A 转换电路的技术指标	240	14.2.3 A/D 转换电路实例	242
14.1.3 D/A 转换电路实例	241	本章小结	243
14.2 A/D 转换电路	241	习题 14	243
附录	244		
附录 A 课程实训	244	仿真实训 3 差分放大电路仿真	265
实训 1 万用表的使用	244	仿真实训 4 比例运算电路仿真	267
实训 2 电压、电流、电阻的测定	247	仿真实训 5 加减运算电路仿真	268
实训 3 照明电路的安装	248	仿真实训 6 积分运算电路仿真	269
实训 4 三相负载的连接和功率的测定	250	仿真实训 7 组合逻辑电路仿真	270
实训 5 单相变压器特性的测定及整流 电路	252	仿真实训 8 触发器电路仿真	272
附录 B 电路仿真实训	254	仿真实训 9 计数器电路仿真	272
Multisim7.0 电路仿真软件使用方法 简介	254	仿真实训 10 555 集成定时器应用 仿真	273
仿真实训 1 单级共射放大电路仿真	264	附录 C 常用电气图形符号	274
仿真实训 2 两级放大电路仿真	264	附录 D 部分习题参考答案	276
参考文献	281		

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

【内容提要】

本章主要讨论组成电路的基本单元、建立电路的模型图。介绍电压、电流等基本的物理量，引入电压源和电流源的基本概念，应用欧姆定律和基尔霍夫定律对电路进行分析计算。

1.1 电路组成及电路模型

1.1.1 电路

电路即电流流过的路径，是由一些电器设备或电子元件按照一定的连接方式连成的整体，其作用是通过电流的流动，在电路上实现电能的传输、分配和转换，或是实现对信号的加工、处理和传递，例如变电站将电能进行分配后经电路传输到不同的用户；日光灯经电路将电能转化为光能；收音机可将空中的信号经电路加工处理还原成声音等。

1. 构成电路的基本单元

如图 1-1 所示为最简单的手电筒电路，构成该电路最基本的单元有电源、负载、导线、开关。

① 电源。提供电能的设备，如干电池、电瓶、发电机等，是电路中重要的设备之一。

② 负载。消耗电能的设备，如电炉、灯泡、电风扇、空调等，也是电路中重要的设备之一。

③ 导线和开关。在电路中分别起连接和控制的作用。

任何复杂的电路，都是由电源、负载及连接电源和负载、控制电源和负载的基本单元组成的。

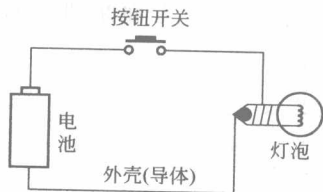


图 1-1 手电筒电路

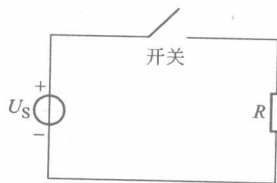


图 1-2 电路模型图

1.1.2 电路模型

实际电路不仅纷繁复杂，而且连接方式多种多样，如果将实际电路绘制出来，不仅耗时，且没有必要。为了便于分析电路，将实际电路的设备或元件进行理想化，突出其对电路作用的主要特征，如电炉、电灯泡视为纯耗能的电阻元件，而对其呈现出的电感和电容的性质不予研究。将电器设备或元件进行理想化后，就用特定的符号来表

示这些设备或元件, 根据实际电路的要求将这些符号按一定的方式连接起来, 构成了电路的模型图, 即电路原理图, 简称电路图。图 1-1 中, 将电器设备或元件理想化: 电源不考虑其内阻; 导线、开关不考虑其电阻; 灯泡视为耗能元件, 将这些元件分别用特定的符号来表示, 然后按一定的方式将它们连接起来, 得到电路模型图, 如图 1-2 所示, 即电筒电路的电路原理图, 其中, 导线、开关及负载构成了外电路, 电源构成内电路。

1.2 电路中的基本物理量

对电路进行分析和计算时, 必须要理解电路的四个基本的物理量: 电流、电压、电位及电动势。

1.2.1 电流

1. 定义

电流是电荷在电路中有规则运动而形成的, 定义为单位时间内经过导体横截面的电荷量, 其方向为正电荷移动的方向。设在 dt 的时间内有 dq 的电荷量流经导体横截面, 则导体内的电流大小为

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

电流的单位为

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

如果电流的大小和方向为恒定的, 则称为直流电, 直流电的大小:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

2. 电流的参考方向

在实际电路中, 很难凭直觉判断电流的实际流向, 这时可以设定某一方向为电流的正向, 这一人为设定的方向为电流的参考方向。其实际方向可以通过计算结果来判断: 如果计算结果为正值, 则实际方向与设定的方向相同, 否则相反。

图 1-3 中, 设定参考方向为从 a 到 b , 经计算, 当 $i > 0$ 时, 实际方向与参考方向相同, 即从 a 到 b , 如图 1-3(a) 所示; 当 $i < 0$ 时, 实际方向与参考方向相反, 即从 b 到 a , 如图 1-3(b) 所示。如果不特别说明, 以后在电路中标注的电流方向均为参考方向, 且用带箭头实线来标注。电流要从大小、方向及单位三个方面来进行描述, 缺一项则没有意义。

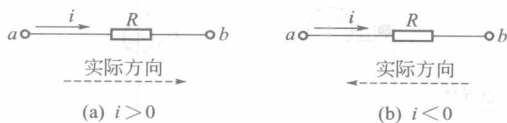


图 1-3 电流参考方向

在实际中, 将电流表串接在电路中来测量某支路的电流, 测量时要注意选择电流表的量程、极性 (直流表), 以减小误差、保护仪表。由于电流表必须串接入电路中, 往往显得不太方便, 在测量电阻上的电流时, 可以测其电压, 然后根据欧姆定律换算出流经电阻的电流。选择线路导线时, 要查阅电工手册, 注意选择导线的线径, 以防止线路因电流过大而烧坏。

1.2.2 电压、电位与电动势

1. 电压

1) 定义

在外电路, 电荷的移动是受电源外部的电场力作用的结果。

图 1-4 中电场力方向为从 A 到 B, 经电阻 R 移动正电荷所做的功 dW 与被移动的电荷量 dq 之比称为 A、B 之间的电压, 其大小用公式表示为

$$u_{AB} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

电压的方向为电场力做正功的方向, 即从 A 到 B, 其单位为

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

如果为恒定电压, 则式(1-3)可写为

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

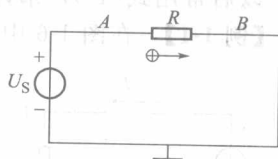


图 1-4 电场力做功

值得注意的是: 第一, 电压是针对电路中某两点来说的, 描述电路中的某一点或多于两点的电压是没有任何意义的; 第二, 与电流一样, 对电压的描述也要求指出大小、方向及单位, 缺一不可。

2) 电压的参考方向

分析电路时, 可以设定某一方向为电压的正向, 该方向即为电压的参考方向, 其实际方向则根据计算结果中判断 (与电流实际方向判断方法相同)。如图 1-5(a)、图 1-5(b) 所示, 选择电压的参考方向均为从 A 到 B, 当 $U_{AB} > 0$ 时, 电压的实际方向为从 A 到 B (图中虚线), 与参考方向相同, 见图 1-5(a); 当 $U_{AB} < 0$ 时, 电压的实际方向为从 B 到 A, 与参考方向相反, 见图 1-5(b)。虽然电压的参考方向可以任意设定, 但一般情况下总是选择与电流的参考方向相同。如不特别说明, 以后在电路中标注的电压方向均为参考方向, 且标注的方式有以下三种。

① 箭头标注, 如图 1-5 所示。

② 双下标注, 如 u_{AB} 、 u_{AC} 等, 其方向分别为从 A 指向 B 和从 A 指向 C。

③ 极性标注。用“+”、“-”符号标注, 图 1-5 中方向为“+”到“-”。

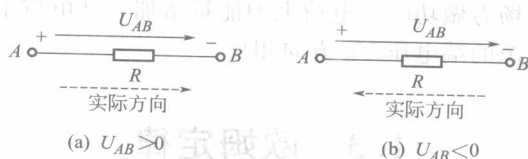


图 1-5 电压参考方向

电路中两点间的电压可用电压表测量, 测量时只需将表针并接于被测电路的两点之间即可, 注意选择合适的电压表量程和极性 (直流电压表)。

2. 电位

电路中电荷的移动过程, 是电路进行能量传输、分配和转化的过程。与处在重力场中的某物体在不同的位置有不同的位能一样, 在电场力的作用下, 正电荷在电路中不同的位置具有不同的电位能。电位是用来描述电路中某点电位能的一个物理量, 要确定电位能的大小, 必须在电路中选择参考点 (用符号“⊥”表示), 如图 1-4 中选择 B 点为参考点, 且该点的电位为零, 记做 $V_B = 0$, 则正电荷在 A 点的电位定义为: 电场力将正电荷从 A 移到 B (参考点) 所做的功 dW 与被移动的电荷量 dq 的比值, 即

$$V_A = \frac{dW}{dq} \quad (1-5)$$

其方向指向参考点, 单位与电压相同。

从式(1-5)可知, A 点的电位实际为 A 点到参考点 B 的电压, 即

$$U_{AB} = V_A - V_B = V_A - 0 = V_A \quad (1-6)$$

以后常用式(1-6)来计算电路中某点电位。

【例 1-1】在图 1-6 中, 分别以 B、C 为参考点, 求 V_A 、 V_B 、 V_C 及 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{AC} 。

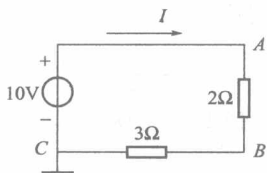


图 1-6 【例 1-1】电路图

解: 电路中的电流 $I = \frac{10}{2+3} = 2 \text{ (A)}$, 以 C 为参考点, 则

$$V_C = 0 \text{ V},$$

$$V_A = U_{AC} = I \times (2+3) = 2 \times 5 = 10 \text{ (V)}, V_B = U_{BC} = I \times 3 = 2 \times 3 = 6 \text{ (V)}.$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 4 \text{ V}, U_{BC} = V_B - V_C = 6 - 0 = 6 \text{ (V)}, U_{AC} = V_A - V_C = 10 \text{ V}.$$

以 B 为参考点, 则 $V_B = 0$, $V_A = U_{AB} = 2 \times 2 = 4 \text{ (V)}$, $V_C = U_{CB} = -2 \times 3 = -6 \text{ (V)}$ 。

$$U_{AB} = V_A - V_B = 4 \text{ V}, U_{BC} = V_B - V_C = 6 - 0 = 6 \text{ (V)}, U_{AC} = V_A - V_C = 10 \text{ V}.$$

由以上计算可知, 电路中某点电位与参考点有关, 而任意两点之间的电压与参考点无关。在实际中, 电力系统电路常将大地作为参考点, 而在电子设备中, 一般将金属外壳作为参考点。

3. 电动势

在外电路, 电源的电场力做功, 在移动电荷经过负载时将电能转为其他形式的能, 电荷上能量不断减少, 电压不断下降, 用电压降来描述电场力做功的情况。在电源的内部, 非电场力 (如干电池中的化学力、电瓶电池中的电解力等) 移动电荷做功, 将其他形式的能转为电能, 用电动势来描述非电场力做功的情况, 如图 1-4 所示。

定义: 电源的电动势为非电场力在电源内部将正电荷从 B 端移到 A 端所做的功 dW 与被移动的电荷量 dq 的比值, 即:

$$E = \frac{dW}{dq} \quad (1-7)$$

其单位与电压相同。非电场力做功时, 电荷上的能量增加, 其电位不断升高, 电动势的方向为电位升高的方向, 与电源的端电压 U_s 方向相反。

1.3 欧姆定律

1.3.1 电阻

电荷在电场力的作用下, 在导体中移动时遇到的阻力称为电阻, 材料的电阻仅与自身因素有关, 用公式表示为:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-8)$$

式中, ρ 是与材料有关的物理量, 称为电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; L 为材料的长度; S 为材料的横截面积。电阻的单位为

$$1 \text{ M}\Omega = 10^3 \text{ k}\Omega = 10^6 \Omega$$

电阻的符号如图 1-7 所示, 图 1-7(a) 为线性电阻, 图 1-7(b) 为非线性电阻。



图 1-7 电阻符号

在工程上有时用电导来描述材料导电的性能,材料导电性能越好,其电导越大。电导与电阻的关系为

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-9)$$

电导的单位为 S (西门子)。

1.3.2 欧姆定律

流过电阻的电流与加在电阻上的电压成正比,与该电阻的阻值成反比,这即是欧姆定律的内容。



图 1-8 电路的欧姆定律

当电流、电压参考方向选择相同(关联)时,如图 1-8(a) 所示,欧姆定律用公式表示为:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-10)$$

当电流、电压参考方向选择相反时(非关联),如图 1-8(b) 所示,欧姆定律用公式表示为:

$$I = -\frac{U}{R} \quad (1-11)$$

1. 线性电阻与非线性电阻

在式(1-10)中,如果电阻 $R = \frac{U}{I}$ 为一常数,则电阻的大小仅取决于材料的性质,而与其两端的电压和流过的电流无关,这种电阻称为线性电阻,符号如图 1-7(a) 所示。线性电阻的伏安特性为一条过原点的直线,如图 1-9(a) 所示。

如果电阻 $R = \frac{U}{I}$ 不是一个常数,则电阻的大小不仅取决于材料的性质,还与其所处的外界因素有关,例如温度、光照等,这种电阻称为非线性电阻,如电炉丝电阻与温度有关;光敏电阻与光照有关。非线性电阻的符号如图 1-7(b) 所示。非线性电阻的伏安特性为一条曲线,如图 1-9(b) 所示。

2. 线性电阻的主要参数

① 标称阻值。为了便于工业大批生产和使用者在一定范围内选项用,国家规定了一系列电阻的标称值,如 2Ω 、 2.2Ω 、 $10k\Omega$ 、 $5.8k\Omega$ 等。

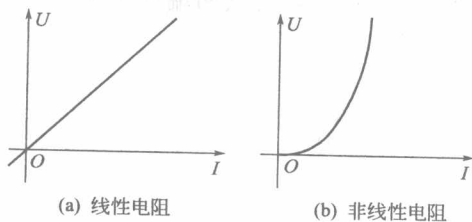


图 1-9 电阻的伏安特性

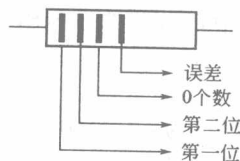


图 1-10 色环电阻标注法

② 额定功率。额定功率是为了保证电阻在使用时不被损坏而规定的,有 $1/8\text{W}$ 、 $1/4\text{W}$ 、 $1/2\text{W}$ 、 1W 、 5W 等。

③ 阻值误差。普通电阻允许的阻值误差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。

电阻器的标识分数值法和色码法,数值法直接从电阻器上读出,而色码法要通过图 1-10 所示标记和规则来读出,各颜色代表的意义如表 1-1 所示。

表 1-1 常用电阻器色环与数值的对应表

色码	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银
数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$

如有一色环电阻,1~4 环的颜色从左依次为红、橙、黄、金,则该电阻值为 $234\text{k}\Omega$,允许误差为 $\pm 5\%$ 。

3. 电阻的串联与并联

① 电阻串联。两个以上电阻依次相连,流过同一电流,这种连接方式称为串联,见图 1-11。

图 1-11 中,电路的总电阻为: $R = R_1 + R_2 + R_3$

$$\text{总电流: } I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} = GU$$

$$\text{每个电阻上的电压为: } U_1 = \frac{R_1}{R}U, U_2 = \frac{R_2}{R}U, U_3 = \frac{R_3}{R}U$$

则 $U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$

上式表明,串联电阻可以分压,且电阻上的电压与该电阻的阻值成正比。如果电路中有 n 个电阻串联,则分压公式为:

$$U_n = \frac{R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}U \quad (1-12)$$

串联分压常用于电压调节器、电压表扩展的电路中,见图 1-12、图 1-13。读者可自行分析图 1-12 中 S 分别置于 1、2 位时的输出电压值(设 $U=100\text{V}$);图 1-13 中如果表头的内阻为 $1\text{k}\Omega$,最大电流为 $100\mu\text{A}$,将表头扩展为 10V 时所需串联的电阻值。

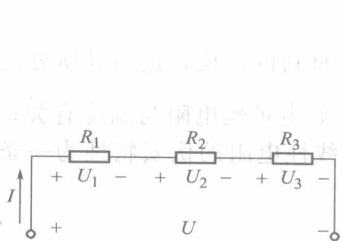


图 1-11 电阻的串联

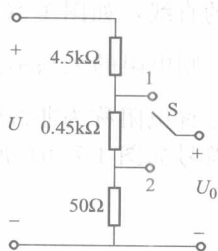


图 1-12 电阻分压器

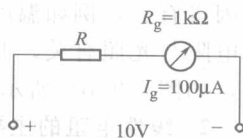


图 1-13 电压表的扩展

② 电阻并联。将两个以上电阻的两端分别连接在一起,使其两端处于同一电压下的连接方式叫电阻的并联,如图 1-14 所示。

图 1-14 中,电路的总电阻为:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ 或 } R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

用电导表示为: $G = G_1 + G_2$

$$\text{总电流: } I = \frac{U}{R} = GU$$

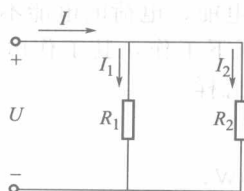


图 1-14 电阻并联

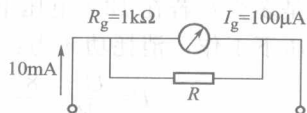


图 1-15 电流表的扩展

每个电阻上分得的电流为:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$\text{同理, } I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

或

$$I_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} I, I_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} I$$

则

$$I_1 : I_2 = R_2 : R_1 = G_1 : G_2$$

上式说明并联电阻可以分流, 分得的电流与电阻阻值成反比, 与电导成正比。

如果电路中有 n 个电阻并联, 则分流公式用电导表示为

$$I_n = \frac{G_n}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} I \quad (1-13)$$

由于并联时电阻的两端电压相等, 故在实际中, 绝大多数的负载都是以并联的形式连接的。工业上常用并联电阻的方法来扩展电流表, 图 1-15 是将内阻为 $1\text{k}\Omega$, 最大电流为 $10\mu\text{A}$ 的表头扩展为 10mA 量程电流表的电路, 读者可试求其并联的电阻值。

1.3.3 电阻功率计算

当电流流经电阻时, 在电阻上实现了能量的转换——将电能转换为光能、热能或其他形式的能, 电荷携带的电能不断减少。能量转换的快慢程度可用功率来描述: 在外电路中, 电场力移动电荷做功 W 与单位时间 t 的比值定义为电路的功率, 用公式表示为

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-14)$$

单位: $1\text{MW} = 10^3\text{kW} = 10^6\text{W}$

根据式(1-4)、式(1-2)及欧姆定律可推出电阻上的功率:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-15)$$

在串联电路中, 因流过电阻的电流相等, 所以电阻 (如 R_1 、 R_2) 上的功率分配与该电阻的阻值成正比:

$$P_1 : P_2 = R_1 : R_2$$

在并联电路中, 因加在电阻两端的电压相等, 所以电阻 (如 R_1 、 R_2) 上的功率分配与该电阻的阻值成反比:

$$P_1 : P_2 = R_2 : R_1$$

在能量的转换过程中, 电荷只是进行能量传输的媒体, 电荷本身并不能产生或消耗任何能量。通常所说的用电是指取用电荷所携带的能量。

电场力所做的功 W 即电荷携带的电能, 由式(1-14)可知, $W = Pt$, 工业上常用“度”来计量电能: $1\text{度} = 1\text{kW} \cdot \text{h}$, 例如 500W 的用电器用 30min , 耗电量为:

$$W = 0.5 \times \frac{30}{60} = 0.25 (\text{kW} \cdot \text{h})$$

在电源内部, 非电场力做功, 将其他形式的能转化为电能, 电荷的电能不断增加。

【例 1-2】一电阻标称值为 10Ω 、 10W , 在 8V 的电压下工作, 其工作电流为多少? 如工作 12h , 用电量是多少? 若在 12V 电压下工作, 情况又怎样?

解: 在 8V 电压下工作, 消耗功率为:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{8^2}{10} = 6.4 \text{ (W)} < 10\text{W},$$

可以正常工作, 此时电流为:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{8}{100} = 0.08 \text{ (A)}$$

工作 12h , 消耗电能为:

$$W = 6.4 \times 10^{-3} \times 12 = 0.0768 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$$

若工作在 12V 电压下, 电阻上的功率为:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{12^2}{10} = 14.4 \text{ (W)} > 10\text{W}, \text{ 电阻将损坏。}$$

通过【例 1-2】可知, 在使用电阻器时要根据其标称值, 先计算电阻能够承受的电流或电压, 以避免损坏电阻器。

对于一个任意的二端元件, 用下面方法算出其功率, 若功率大于零, 则该元件吸收功率, 在电路中作为负载元件; 若功率小于零, 则该元件为发出功率, 在电路中作为电源元件。

元件的电压与电流为关联方向: $P = UI$

元件的电压与电流为非关联方向: $P = -UI$

即 $P > 0$ 时元件吸收功率; $P < 0$ 时元件发出功率。

1.4 基尔霍夫定律

除欧姆定律外, 基尔霍夫定律也是分析电路的基本定律, 基尔霍夫定律不仅适用于求解复杂电路, 也适用于简单电路, 它包括电流定律和电压定律。讲解基尔霍夫定律之前, 先结合图 1-16 介绍四个与之相关的名词。

① 支路。一段没有分支, 流过同一电流, 且至少含一个以上元件的电路叫支路。图 1-16 中, 包含 $a1b$ 、 $a2b$ 、 $a3b$ 三条支路。

② 节点。三条或三条以上支路的连接点叫节点。图 1-16 中包含 a 节点和 b 节点。而 1、2 不是节点。

③ 回路。电路中任一闭合的路径都称为回路。图 1-16 中含有 $a1b2a$ 、 $a1b3a$ 、 $a2b3a$ 三个回路。

④ 网孔。不含有支路的回路称为网孔。图 1-16 中 $a1b2a$ 和 $a2b3a$ 是网孔, 而 $a1b3a$ 不是网孔, 因内部含一条 $a2b$ 支路。

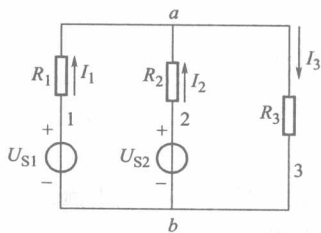


图 1-16 基尔霍夫定律

1.4.1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff current law, KCL) 也称为基尔霍夫第一定律或节点定律, 内容如下。

在任一时刻, 流入节点的电流之和等于从该节点流出的电流之和, 即节点处电流的代数和为零。在图 1-16 中, 设流入节点电流为正方向, 对于 a 节点, 则根据 KCL 有:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

写成一般表达式:

$$\sum I = 0 \quad (1-16)$$

或

$$\sum i = 0 \quad (1-17)$$

KCL 反映了电荷运动的连续性, 式(1-16) 和式(1-17) 中, 电流的方向均为参考方向。

【例 1-3】 求图 1-17 中电流 I 的值。

解: 根据 KCL 有

$$1 + (-2) = 4 + (-1) + I$$

解得

$$I = -4\text{A}$$

KCL 不仅可用于节点, 对任一闭合面来说, KCL 仍然成立。对图 1-18(a) 有:

$$I_b + I_c = I_e$$

图 1-18(b) 中, 有:

$$I = 0$$

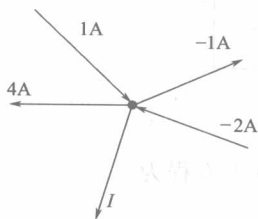


图 1-17 【例 1-3】图

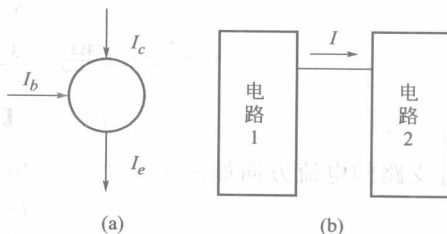


图 1-18 闭合面 KCL

1.4.2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff voltage law, KVL) 也称为基尔霍夫第二定律或回路定律, 其内容如下。

任一时刻, 沿电路中任一闭合回路绕行一周, 各元件上的电压代数和恒为零, 即:

$$\sum U = 0 \quad (1-18)$$

或

$$\sum u = 0 \quad (1-19)$$

运用式(1-18) 和式(1-19) 时, 首先要选定一个回路的绕行方向。凡电压方向与绕向相同时取“+”号, 否则取“-”号。

KVL 反映了电路的能量守恒定律, 即沿任何闭合回路绕行一周, 各元件上得到的能量与失去的能量相等。

在图 1-16 中, 沿不同回路, 根据 KVL 有如下关系:

沿 $a1b2a$ 回路: $-I_1 R_1 + I_2 R_2 - U_{S2} + U_{S1} = 0$

沿 $a1b3a$ 回路: $-I_1 R_1 - I_3 R_3 + U_{S1} = 0$

沿 $a2b3a$ 回路: $-I_2 R_2 - I_3 R_3 + U_{S2} = 0$

以上表达式中, 仅有两式为独立方程, 在列 KVL 方程时, 只要回路中含一条新支路, 则该回路方程为独立方程。一般的, 网孔的 KVL 方程均为独立方程。

式(1-18)、式(1-19) 不仅用于闭合回路, 对于开口回路, 两式仍然成立。在分析开口回路时, 认为它是一假想的闭合回路, 然后将开口处电压列入方程。图 1-19 中, 沿虚线绕行, 根据 KVL 有