

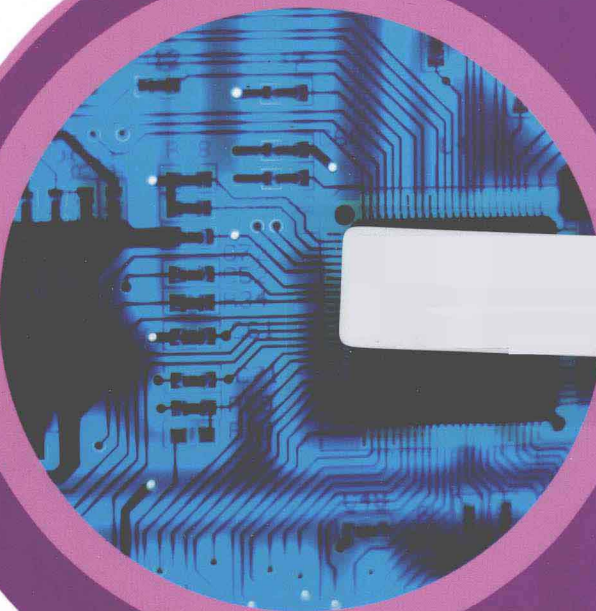
DIANLU YU MONI DIANZI JISHU



世纪高职高专规划教材
高等职业教育规划教材编委会专家审定

电路与模拟电子技术

主 编 郭根芳 卜新华
副主编 李 莉 田 芳 李建龙



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



世纪高职高专规划教材

高等职业教育规划教材编委会专家审定

电路与模拟电子技术

主 编 郭根芳 卜新华

副主编 李 莉 田 芳 李建龙



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书共分 11 章,包括电路和模拟电子技术两部分内容。电路部分主要介绍电路的基本概念、电路的分析方法、正弦交流电、正弦稳态分析、三相交流电路和一阶动态电路分析等内容。模拟电子技术部分主要介绍常用半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、信号产生电路和直流稳压电源等内容。在每一章主要内容的前面介绍本章要点、重点难点、教学要求和编写思路;后面有重要知识点、本章小结和思考题与习题。

本书以基本概念、基本理论、基本分析方法、单元电路分析、集成电路应用为主,精选内容、切合实际、深入浅出、物理概念清楚、定量推导适度、通俗易懂、重点突出。

本书可作为高职高专院校电子信息类、通信类、计算机类和电气类等相关专业的教学用书,也可供成人职业教育、职业技能培训和相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路与模拟电子技术 / 郭根芳, 卜新华主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-5635-3509-5

I. ①电… II. ①郭… ②卜… III. ①电路理论—高等职业教育—教材 ②模拟电路—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM13 ②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 104903 号

书 名: 电路与模拟电子技术

主 编: 郭根芳 卜新华

责任编辑: 王晓丹

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编: 100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 15

字 数: 373 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-3509-5

定 价: 30.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

本书根据高等职业教育教学的特点,以能力为本位,以应用为目的,参考与电路和模拟电子技术相关技术领域职业岗位(群)的任职要求和后续课程的要求,并结合目前电路与模拟电子技术元器件的发展现状来编写,在结构安排和内容选取上具有以下特点。

(1) 在内容取舍上以电路和模拟电子技术的基础知识和基本理论为主线,并注意使之与实用技术有机地结合起来,激发学生的学习兴趣和创新意识。

(2) 注重体现高职高专的特色,淡化理论,注重实践。在保持知识的科学性和系统性的前提下,删繁就简;重点讲清公式和结论的物理意义和应用,降低理论分析的难度;注重知识的实用性和内容的趣味性,以达到提高教学效果的目的。

(3) 在知识结构上以“基本概念—基本原理—基本分析方法—典型应用电路”为思路。注重引导学生掌握电路与模拟电子技术课程的学习方法,培养自主学习的能力,为以后更好地适应现代电子社会作好准备。

(4) 在内容安排上,本书兼顾知识的系统性与完整性,各章节又保持其相对的独立性,为开放教学和弹性教学留有选择和拓展的空间。

本书是21世纪高职高专电子信息类实用规划教材,可作为高职高专院校电子信息类、通信技术类、计算机类和电气类等相关专业的教学用书,也可供成人职业教育、职业技能培训和相关工程技术人员参考。

本书是编者在多年从事电路与模拟电子技术教学基础上编写而成的教材。在编写过程中,汲取了各高职院校教学改革、教材建设等方面的经验,充分考虑了高职高专学生的特点、知识结构、教学规律和培养目标等要求。

本书由郭根芳、卜新华担任主编,李莉、田芳和李建龙担任副主编,卜新华编写第8章,李莉编写第2、3、4、9章,田芳编写第6、7章,李建龙编写第11章,其余部分由郭根芳编写并负责全书统稿工作。本书在编写过程中得到了石家庄邮电职业技术学院电信工程系领导的大力支持和郑玉红、赵月恩老师的帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 电路基本概念	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压和电位	4
1.2.3 电功率和电能	6
1.3 电路理想负载元件	7
1.3.1 电阻元件	7
1.3.2 电容元件	10
1.3.3 电感元件	11
1.4 电压源和电流源	13
1.4.1 电压源	13
1.4.2 电流源	14
1.4.3 受控源	16
重要知识点	17
本章小结	17
思考题与习题	19
第 2 章 电路的分析方法	21
2.1 电路工作状态	21
2.1.1 开路	21
2.1.2 额定工作状态	22
2.1.3 短路	22
2.2 基尔霍夫定律	22
2.2.1 基尔霍夫电流定律	23
2.2.2 基尔霍夫电压定律	24
2.3 等效电路的概念和应用	26
2.3.1 电阻连接及等效变换	26
2.3.2 电源连接及等效变换	30
2.4 支路电流法	34

2.5 节点电位法	36
2.6 网孔电流法	38
2.7 叠加定理	40
2.8 戴维南定理	41
2.9 最大功率传输定理	43
重要知识点	44
本章小结	45
思考题与习题	46
第3章 正弦交流电	50
3.1 正弦交流电的基本概念	50
3.1.1 交流电概述	50
3.1.2 正弦交流电的基本特征和三要素	51
3.2 正弦量的相量表示法	54
3.2.1 复数的基本概念	54
3.2.2 正弦量的相量表示法	55
3.3 电路基本定律的相量形式	57
3.3.1 基尔霍夫电流定律的相量形式	57
3.3.2 基尔霍夫电压定律的相量形式	58
重要知识点	58
本章小结	59
思考题与习题	59
第4章 正弦稳态电路的分析	62
4.1 单一元件的正弦交流电路	62
4.1.1 纯电阻电路	62
4.1.2 纯电感电路	64
4.1.3 纯电容电路	66
4.2 阻抗的串联和并联	68
4.2.1 RLC 串联交流电路	68
4.2.2 阻抗的串联	71
4.2.3 阻抗的并联	72
4.3 谐振电路	73
4.3.1 串联谐振	73
4.3.2 并联谐振	75
4.4 正弦交流电路中的功率	77
重要知识点	79
本章小结	80
思考题与习题	81

第 5 章 三相交流电路	83
5.1 三相交流电源	83
5.1.1 三相电源的基本概念	83
5.1.2 三相电源的连接方式	84
5.2 三相负载	86
5.2.1 三相负载的连接方式	86
5.2.2 对称三相电路的功率	90
5.3 安全用电常识	92
5.3.1 触电的基本常识	92
5.3.2 预防触电的措施	95
5.3.3 触电急救常识	99
重要知识点	100
本章小结	101
思考题与习题	102
第 6 章 一阶动态电路分析	104
6.1 换路定律和初始值	104
6.1.1 动态元件和换路定律	105
6.1.2 电路初始值及计算	106
6.2 一阶电路的零输入响应	107
6.2.1 RC 电路的零输入响应	107
6.2.2 RL 电路的零输入响应	110
6.3 一阶电路的零状态响应	111
6.3.1 RC 电路的零状态响应	111
6.3.2 RL 电路的零状态响应	112
6.4 一阶电路的全响应与三要素法	113
6.4.1 一阶电路全响应的规律	113
6.4.2 一阶电路的三要素法	115
重要知识点	117
本章小结	118
思考题与习题	119
第 7 章 常用半导体器件	122
7.1 半导体基础知识	122
7.1.1 本征半导体	123
7.1.2 杂质半导体	123
7.1.3 PN 结	124
7.2 晶体二极管	125

7.2.1 晶体二极管的结构	125
7.2.2 晶体二极管的伏安特性	126
7.2.3 晶体二极管的主要参数	126
7.3 晶体三极管	127
7.3.1 晶体三极管的结构	127
7.3.2 晶体三极管的放大原理	128
7.3.3 晶体三极管的特性曲线	129
7.3.4 晶体三极管的主要参数	131
7.4 场效应管	131
7.4.1 结型场效应管	132
7.4.2 绝缘栅型场效应管	133
重要知识点	135
本章小结	135
思考题与习题	136
第 8 章 基本放大电路	139
8.1 概述	139
8.2 单管共射放大电路	141
8.2.1 单管共射放大电路的静态分析	141
8.2.2 单管共射放大电路的动态分析	144
8.2.3 静态工作点的稳定	150
8.3 射极输出器	150
8.4 多级放大电路	153
8.4.1 多级放大电路的组成	153
8.4.2 多级放大电路的耦合方式	153
8.4.3 多级放大电路的性能指标计算	154
8.5 负反馈放大电路	155
8.5.1 反馈的分类	156
8.5.2 负反馈放大电路的基本组态	158
8.5.3 负反馈对放大电路性能的影响	159
8.6 功率放大电路	161
8.6.1 功率放大器的特点与分类	161
8.6.2 互补对称式功率放大器	163
重要知识点	166
本章小结	167
思考题与习题	167
第 9 章 集成运算放大器	172
9.1 概述	172

9.2 集成运放的组成	173
9.2.1 恒流源电路	175
9.2.2 差分式放大电路	176
9.3 集成运算放大电路的主要参数	181
9.4 集成运算放大电路的应用	182
9.4.1 理想运放的特点	182
9.4.2 基本运算电路	183
重要知识点	191
本章小结	191
思考题与习题	192
第 10 章 信号产生电路	195
10.1 振荡器的工作原理	195
10.1.1 产生振荡的基本原理	196
10.1.2 振荡的起振条件和平衡条件	197
10.2 RC 正弦波振荡电路	198
10.2.1 RC 串并联网络的选频原理	198
10.2.2 振荡频率与起振条件	199
10.3 LC 正弦波振荡器	200
10.3.1 变压器反馈式振荡电路	201
10.3.2 三点式振荡器的基本工作原理	201
10.3.3 电感三点式振荡器	202
10.3.4 电容三点式振荡器	203
10.3.5 改进型电容三点式振荡器	204
10.3.6 振荡器的频率稳定和振幅稳定	205
10.4 石英晶体振荡器	207
10.4.1 石英晶体及其特性	207
10.4.2 并联型晶体振荡器	208
10.4.3 串联型晶体振荡器	208
重要知识点	210
本章小结	211
思考题与习题	211
第 11 章 直流稳压电源	214
11.1 直流稳压电源的组成	214
11.2 整流电路	215
11.2.1 单相半波整流电路	215
11.2.2 单相全波整流电路	217
11.2.3 单相桥式整流电路	218

- 11.3 滤波电路 221
 - 11.3.1 半波整流电容滤波电路..... 221
 - 11.3.2 桥式整流电容滤波电路..... 222
 - 11.3.3 桥式整流电感滤波电路..... 223
- 11.4 稳压电路 224
 - 11.4.1 稳压二极管稳压电路..... 224
 - 11.4.2 串联型稳压电路..... 226
 - 11.4.3 集成稳压电路..... 227
- 重要知识点..... 228
- 本章小结..... 228
- 思考题与习题..... 229

第 1 章 电路基本概念



【本章要点】

- 电路和电路模型。
- 电路中的基本物理量,即电压、电流、功率与电能。
- 电路中常见的负载元件,即电阻、电感与电容。
- 电源元件,即电压源与电流源。



【本章重点难点】

- 电压、电流的实际方向与参考方向的关系。
- 基本物理量的计算。

通过本章的学习,要了解电路和电路模型的概念;掌握电路中基本物理量的概念与计算;理解电路中电压、电流参考方向;熟悉电路元件中电压源、电流源、电阻、电容、电感的伏安关系。

本章从电路和电路模型入手,由浅入深地提出研究的电路模型、基本物理量和电路元件,这些是电路理论的入门内容,为电路分析、计算及后续课程提供必要的基础知识。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

在日常生活中,电到处可见,电灯、收音机、电视机、洗衣机、电冰箱等都是用电的电器设备。这些电器都是通过电路来实现它们的功能。

电路(electric circuit),简单地说就是电流流通的路径,是由各种电器元件按照一定方式连接而成的。实际的电路分成 3 部分:电源、负载(用电器)和中间环节。其中电源为整个电路提供能量;负载将电能转化成其他形式的能量;中间环节包括导线、开关和控制器件,负责电源和负载之间的连接和控制。由电池、电灯泡、导线和开关组成一个简单的电路如图 1-1 所示。

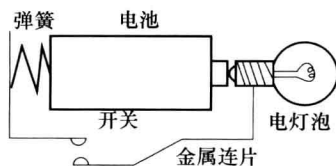


图 1-1 手电筒的实际电路

现实中电路种类多样,例如,有传输、分配电能的电力电路;转换、传输信息的通信电路;控制各种家用电器、交通信号和生产设备的控制电路等。

从电路的功能来看,电路可以分为两大类:一类是实现能量的转换和传输,如电力系统中的发电、传输电路等;另一类是实现信号的传递和处理,如通信、电视机电路等。

为了有效地分析研究电路,需要建立一个电路模型。

1.1.2 电路模型

实际电路由各种作用不同的电路元件组成,而电路元器件种类繁多,且电磁特性较为复杂。例如,实际线绕式电阻除了具有消耗电能的性质外(电阻性),还会有电感的性质,将一部分电能存储为磁场能。实际的电感线圈除存储磁场能外(电感性),还会发热表现出电阻的特性。实际的电容器除了存储电场能外(电容性),还会存在漏电流表现出电阻的特性。实际的电池除了提供较恒定的电压外还具有一定内阻。

为了便于对实际电路进行分析和计算,需要将电路元件理想化,即在一定条件下,忽略掉电路元件次要的电磁性质,用能代表其主要电磁特性的理想模型来描述。例如,线绕式电阻在直流电路中,电感特性很小,可以用一个电阻来描述,而在高频交流电路中,电感特性较大,线绕式电阻的电感特性就不能忽略;灯的主要电磁特性是电阻性,同时也有电感性,但电感微弱,可以忽略不计,于是可以用理想的电阻元件来代替灯的电磁特性。

电路中常见的理想元件有理想电压源元件、理想电阻元件、理想电容元件和理想电感元件。另外,电阻、电容和电感均为零的理想导线也可以看做是一种广义理想元件,用于元件的引出和连接。理想元件的图形符号如图 1-2 所示。

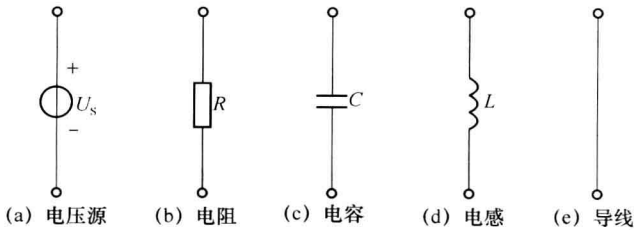


图 1-2 理想元件的图形符号

根据实际电路的工作条件和需要分析的电路参数,将实际电路中各个元件用其适当的模型(理想元件)图形符号表示,然后由理想导线按照电路结构连接起来构成的电路称为实际电路的电路模型,简称电路。

电路分析主要研究的是从电路抽象出的电路模型。由于电路模型中的理想元件是实际元器件的主要电磁特性的体现,并忽略其次要电磁特性,因此,通过电路模型分析出的结果是实际电路的近似。本课程主要对建立的电路模型进行讨论。

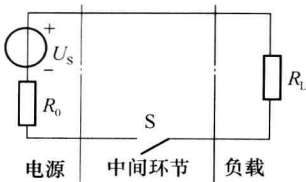


图 1-3 手电筒电路的电路模型

手电筒电路的电路模型如图 1-3 所示。在电路模型中,电池在对外提供电能的同时,内部也消耗一部分电能,所以用一个理想电压源 U_s 和一个内电阻 R_0 串联来表征;电灯泡用一个负载电阻 R_L 表示;开关用 S 表示;把

全部的元件用导线连接在一起。

1.2 电路的基本物理量

为了定量地描述电路的性能及作用,常引入一些物理量作为电路变量来描述,电路分析的任务就是求解这些变量。描述电路的变量最常用到的是电流、电压、功率和电能。

1.2.1 电流

电路中带电粒子在电源作用下有规则地移动形成电流。金属导体中的带电粒子是自由电子,半导体中的带电粒子是自由电子和空穴,电解液中的带电粒子是正、负离子,因此电流既可以是负电荷,也可以是正电荷或者两者兼有的定向运动的结果。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。

单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度,简称电流。用以衡量电流的大小,用符号 i 表示,即

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

在国际单位制(SI制)中,电流的单位是安培(国际符号为 A),常用单位还有毫安(mA)和微安(μA)。单位换算关系为

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

如果电流的大小和方向不随时间变化,则这种电流叫做恒定电流,简称直流(DC, Direct Current),一般用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交变电流,简称交流(AC, Alternating Current),一般用符号 i 表示。电流波形如图 1-4 所示。

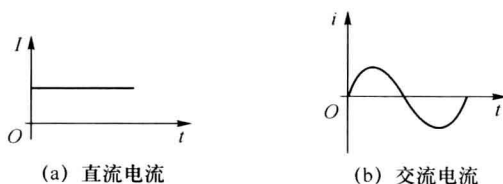


图 1-4 直流、交流电流波形

在分析电路时,通常不能确定实际的电流方向,但为了列写与电流有关的表达式,必须预先任意假定电流的方向,称为电流的参考方向。电流的参考方向可以用导线上的箭头来标注,如图 1-5 所示。

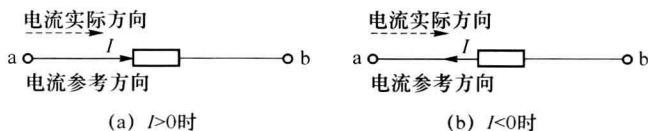


图 1-5 电流的参考方向与实际方向的关系

根据所假定的电流参考方向列写电路方程求解这个电流,如果为正值($I > 0$),则表示电流的实际方向和参考方向相同;如果为负值($I < 0$),则表示电流的实际方向和参考方向相反。

交流电流的实际方向是随时间变化的,因此,当电流的参考方向确定后,如果在某一时刻电流为正值,即表示在该时刻电流的实际方向和参考方向相同;如果电流为负值,则方向相反。

另外,电流的参考方向还可由双下标表示, I_{ab} 表示电流的参考方向由 a 到 b;如果参考方向选定为由 b 到 a,则写为 I_{ba} ,并且 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

注意:在没有给定参考方向的情况下,讨论电流的正负是没有意义的。

1.2.2 电压和电位

1. 电压

电压是描述电场力对电荷做功的物理量。电路中某两点 a、b 间的电压在数值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时所做的功。用 U_{ab} 或 u_{ab} 表示 ab 间电压,则

$$u = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-2)$$

在国际单位制中,电压的单位是伏特,简称伏(V)。工程上常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。单位换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

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

电压也有正负之分。如果正电荷由 a 点移动到 b 点电场力做正功,这时 a 点为“+”极, b 点为“-”极, $U_{ab} > 0$;反之,如果正电荷由 a 点移动到 b 点电场力做负功,这时 a 点为“-”极, b 点为“+”极, $U_{ab} < 0$ 。电压的实际方向是由“+”指向“-”。

在分析电路时同样需要为电压任意指定参考方向。一般是在元件的两端用“+”、“-”符号来表示,电压的参考方向由“+”指向“-”,如图 1-6(a)所示。电压的参考方向还可以用双下标表示, U_{ab} 表示从 a 指向 b 的电压, U_{ba} 表示从 b 指向 a 的电压,如图 1-6(b)所示,并有 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

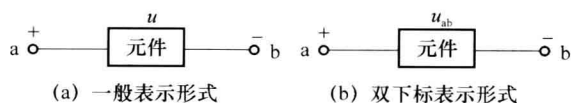


图 1-6 电压参考极性的表示

在选定电压的参考极性后,当电压的参考极性与实际极性一致时,则电压为正值;当电压的参考极性与实际极性相反时,则电压为负值,如图 1-7 所示。

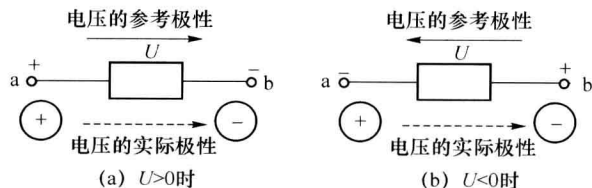


图 1-7 电压参考极性与实际极性的关系

参考方向是电路计算中的一个重要概念,对此着重指出如下几点。

(1) 电流、电压的实际方向是客观存在的,而参考方向是人为选定的。

(2) 当电流、电压的参考方向与实际方向一致时,电流、电压值取正号,反之取负号。

(3) 在分析计算时,都要先选定其参考方向,否则计算得出的电流、电压正负值是没有意义的。

电路中某一支路或元件的电压的参考方向(由“+”指向“-”)与电流的参考方向(箭头指向)一致,称为电压与电流的参考方向是关联的,此时电压与电流的参考方向叫做关联参考方向;否则,称为非关联参考方向,如图 1-8 所示。

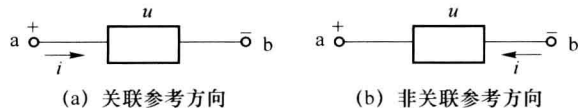


图 1-8 电压与电流的关联与非关联参考方向

2. 电位

电位也是电路分析中的一个重要概念,若在电路中任选一点作为参考点,则电路中某点的电位就是该点到参考点的电压,规定参考点的电位为零。电位常用符号 V 表示。

例如,选择 o 点为参考点,并令其电位为零。把 a 点、 b 点的电位分别记做 V_a 、 V_b ,如图 1-9 所示,显然存在

$$V_a = U_{ao} = V_a - V_o$$

$$V_b = U_{bo} = V_b - V_o$$

$$U_{ab} = U_{ao} + U_{ob} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b$$

注意: 电压等于电位差。

由于电位是某点到参考点的电压,因此电路中如果参考点选择不同,电路中各点电位将不同,但电路中任意两点间的电压不变,与参考点的选择无关。

在电路中,电位参考点可以任意选定,但在电力工程中,常取大地作为参考点,并令其为零。因此,凡外壳接地的电气设备,其机壳都是零电位。有些不接地的设备,常选许多元件汇聚点作为零电位,并用符号“ $\perp$ ”表示;接大地则用符号“ $\underline{\perp}$ ”表示。

在电子电路中,还常常把电源、信号输入和输出的公共端接在一起并与机壳相接,作为参考点,机壳往往被称为“地”或叫“参考地”,但它并不一定与大地相连接。

在测量时,常把电压表的黑表笔即“-”端与地相连,而红表笔即“+”端依次接触电路中各点,电压表的读数即为各点的电位(注意:表针应正偏)。

电子电路图的一般画法如图 1-10(a)所示。还有一种简化的画法,即电源不用图形符号表示而改为只标出其极性的文字符号,如图 1-10(b)所示。

【例 1-1】 电路如图 1-10(b)所示,已知 $+U_s = 3\text{ V}$, $V_b = 1\text{ V}$, 计算电阻 R_2 的电压 U_{ab} 。

解 电压等于电位差,由电路可知, $V_a = +U_s = 3\text{ V}$, $U_{ab} = V_a - V_b = 3\text{ V} - 1\text{ V} = 2\text{ V}$ 。

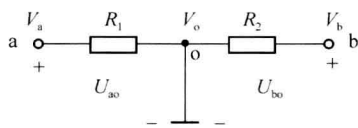


图 1-9 电位与电压的关系

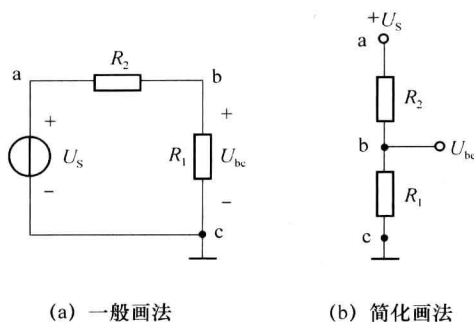


图 1-10 电子电路图

1.2.3 电功率和电能

1. 电功率

在电路分析中,电功率是标志电路电能转换快慢的一个物理量。通常把单位时间内元件吸收或发出的电能称为电功率,简称功率,用 p 表示,即

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

在国际单位制中,功率的单位是瓦特(W),常用单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)。单位换算关系为

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}, 1 \text{ W} = 10^3 \text{ mW}$$

由式(1-3)可得

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt} = \frac{dW(t)}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

在直流电路中,当电压与电流取关联参考方向时,功率的表达式为

$$P = UI \quad (1-5)$$

当电压与电流取非关联参考方向时,功率的表达式为

$$P = -UI \quad (1-6)$$

如果计算出元件的功率 $P > 0$,表示该元件实际吸收电能;当 $P < 0$ 时,表示该元件实际发出电能。

因此,计算元件功率的步骤如下。

- (1) 判断元件的电压与电流的参考方向是否关联。
- (2) 根据参考方向关联与否选择不同的功率计算公式。
- (3) 代入公式计算功率值。
- (4) 根据功率值的正负,判断元件吸收电能或发出电能。

【例 1-2】 电路如图 1-11 所示, $u = 12 \text{ V}$, $i = -3 \text{ A}$, 计算元件的功率。



图 1-11 例 1-2 元件的功率

解 由电路可知,此题的电流和电压为关联参考方向,有

$$p = ui = 12 \text{ V} \times (-3) \text{ A} = -36 \text{ W}$$

因为 $p < 0$, 所以元件不是吸收电能而发出电能, 相当于电源。

2. 电能

电能是表示电流做多少功的物理量, 在时间 t_1 到 t_2 期间, 元件(或电路)吸收的电能为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} ui \, dt \quad (1-7)$$

直流时为

$$W = UI(t_2 - t_1) = P(t_2 - t_1)$$

在国际单位制中, 电能的单位为焦[耳](J), 时间的单位为秒(s)。若 $W \geq 0$, 该元件为有源元件, 否则为无源元件。在实际生活中, 常采用千瓦时(kW·h)作电能的单位。1 千瓦时(俗称 1 度电)是功率为 1 千瓦的用电设备在 1 小时内所消耗的电能。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

如果通过实际元件的电流过大, 会由于温度升高使元件损坏; 如果电压过大会使绝缘击穿。电气设备或元件长期正常运行的电流容许值称为额定电流, 长期正常运行的电压容许值称为额定电压, 额定电压和额定电流的乘积称为额定功率。通常电器设备或元件的额定值标在产品的铭牌上。例如, 一普通灯泡标有 220 V/40 W, 表示它的额定电压为 220 V, 额定功率为 40 W。

【例 1-3】 汽车照明用 12 V 蓄电池为 60 W 车灯供电, 若蓄电池的额定值为 100 A·h 求蓄电池的放电电流及储存的能量。

解 放电电流为

$$I = P/U = 60 \text{ W}/12 \text{ V} = 5 \text{ A}$$

100 A·h 表明提供 5 A 可使用 20 h, 因此储存能量为

$$W = 12 \text{ V} \times 100 \text{ A} \cdot \text{h} = 1.2 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

1.3 电路理想负载元件

电工和电子电路中常见的理想负载元件有电阻元件、电容元件和电感元件。电阻元件把电能转化为热能是一种耗能元件。电容元件和电感元件分别把电能转化为电场能和磁场能保存起来, 属于储能元件。

本节主要研究各元件的端电压与端电流的关系, 这种关系称为元件的伏安关系(VAR, Voltage Ampere Relation), 也叫元件的约束条件。VAR 是元件本身固有的特性, 不随电路结构的变化而改变。

1.3.1 电阻元件

1. 电阻元件的概念

电阻元件(实际电阻器)由对电流阻碍作用较大的材质构成, 电流流过电阻元件时, 定向移动的带电粒子由于受到阻碍发生碰撞, 将电能转化为热能。因为电阻器在电路中要消耗