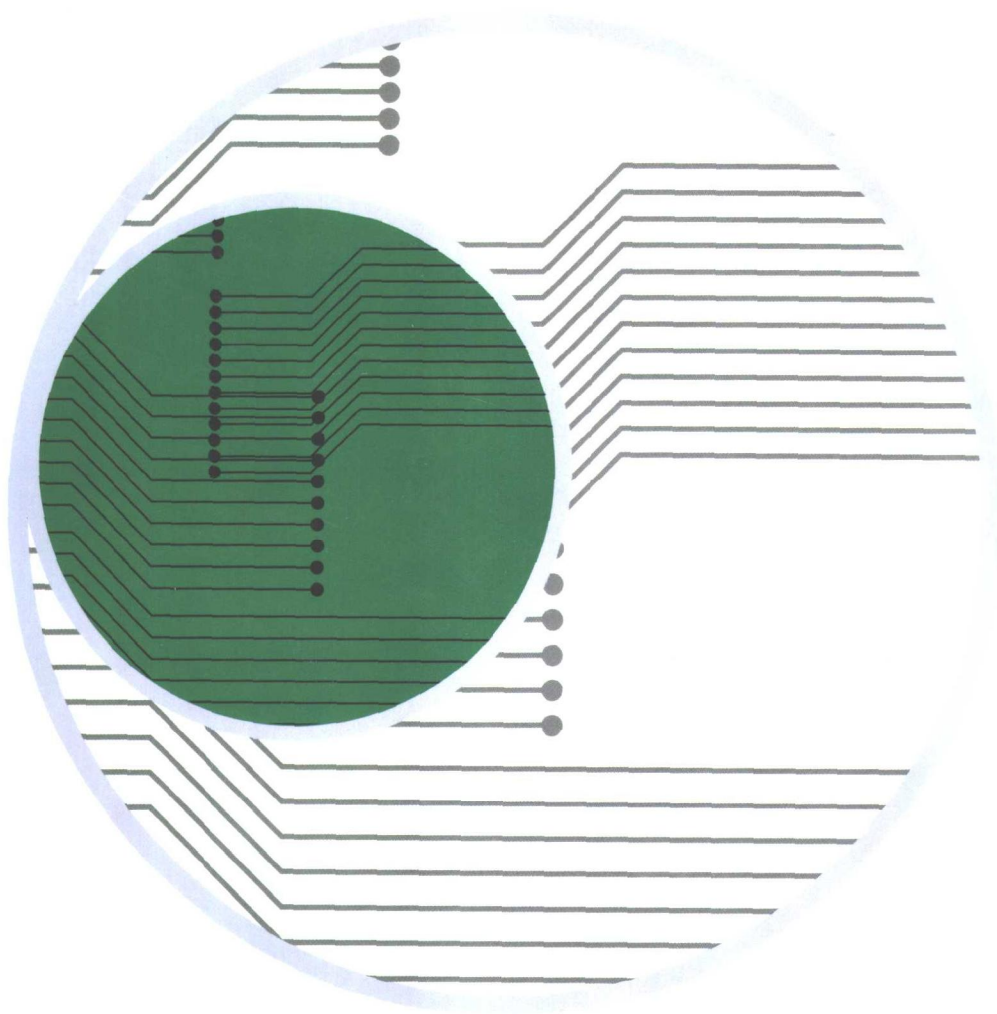


高等学校通用教材

电路与电子技术

主 编：张正明

副主编：卓郑安



北京航空航天大学出版社

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

电路与电子技术

主 编 张正明
副主编 卓郑安

北京航空航天大学出版社

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

内容简介

本书分为两部分。第1部分为电路理论,主要包括电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相交流电路和电路的暂态分析等基本内容。第2部分为模拟电子技术,主要包括半导体二极管、稳压管及直流稳压电路,半导体三极管、场效应管及各类放大电路,负反馈放大电路,集成运算放大电路和正弦波振荡电路等内容。最后1章为数字电子技术的基本内容。

本书可作为计算机以及各非电类专业本、专科学生学习电路与电子技术(少学时)课程的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术/张正明等编著. —北京:北京航空航天大学出版社, 2003.9

ISBN 7-81077-357-7

I. 电… II. 张… III. ①电路理论—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM13②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 073481 号

电路与电子技术

主编 张正明 副主编 卓郑安

责任编辑 孔祥燮

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

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

E-mail: bhpress@263.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

开本: 787×1 092 1/16 印张: 15.25 字数: 390.4 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷 印数: 4 000 册

ISBN 7-81077-357-7 定价: 22.00 元

前 言

随着教学改革的不深入,各专业为了适应教学改革的形势要求,对各专业课程进行了整合。为了适应计算机等专业对电路与电子技术课程少学时的要求,参照了国家教委对电路与电子技术课程的教学基本要求,专门编写了《电路与电子技术》(少学时)教材。本书适用于计算机专业本、专科学生及有关非电专业学生作教材使用。

本书的第1~5章为电路理论部分,主要包括电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相电路和电路的暂态分析等基本内容。本书的第6~9章为模拟电子技术部分,主要包括半导体二极管、稳压管及直流稳压电路,半导体三极管、场效应管及各类放大电路,负反馈放大电路,集成运算放大器及应用和正弦波振荡电路等内容。对计算机专业的学生,因为他们有后续的数字逻辑课程,所以,在本书中不再对数字电子技术的内容作详细的讨论。但考虑到本书可作为有关非电专业学生的选用教材,在本书的第10章编写了数字电子技术的基本内容。

本书由上海工程技术大学程武山教授担任主审,他对本书的编写原则和方法提出了许多的宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平以及成书的时间较紧,书中难免会有错误和不妥之处,诚望读者批评指正。

作者
2003.5

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

1.1 电路及模型	1
1.1.1 电路的作用及组成	1
1.1.2 实际电路及电路模型	1
1.2 电路的基本物理量及正方向	2
1.2.1 电 流	2
1.2.2 电 压	2
1.2.3 电动势	2
1.2.4 功 率	3
1.3 电路的工作状态	3
1.3.1 电路开路工作状态	3
1.3.2 电路短路工作状态	3
1.3.3 电路有载工作状态	4
1.3.4 电路元件额定值	4
1.4 欧姆定律	4
1.4.1 欧姆定律	4
1.4.2 含源支路欧姆定律	5
1.4.3 广义的欧姆定律	5
1.5 基尔霍夫定律	6
1.5.1 基尔霍夫定律综述	6
1.5.2 基尔霍夫电流定律 KCL	7
1.5.3 基尔霍夫电压定律 KVL	7
1.6 电位的概念及计算	8
1.6.1 电位的概念	8
1.6.2 电位的计算	9
1.6.3 电子电路中电路图的习惯画法	9
本章小结	9
习 题	10

第 2 章 电路的分析方法

2.1 电阻的等效变换	13
2.1.1 电阻的串联及分压	13
2.1.2 电阻的并联及分流	13

2.1.3 电阻混联及电压、电流的计算	14
2.1.4 电阻的星形/三角形连接及等效变换	15
2.2 电压源、电流源及其等效变换	16
2.2.1 电压源特性	16
2.2.2 电流源特性	17
2.2.3 电压源、电流源的等效变换	17
2.3 支路电流法	19
2.3.1 定 义	19
2.3.2 支路电流法分析步骤	19
2.4 网孔电流法	20
2.4.1 定 义	20
2.4.2 网孔电流法分析步骤	20
2.5 节点电压法	22
2.5.1 定 义	22
2.5.2 节点电压法分析步骤	22
2.5.3 弥尔曼定理	23
2.6 叠加定理	24
2.6.1 叠加定理	24
2.6.2 几点讨论	24
2.7 戴维宁定理	25
2.7.1 问题的提出	25
2.7.2 戴维宁定理	25
2.8 受控源和含受控源电路的分析	26
2.8.1 受控源	27
2.8.2 含受控源电路的分析	27
本章小结	27
习 题	28

第3章 正弦交流电路

3.1 正弦交流电量及数学模型	31
3.1.1 正弦交流电的数学模型及其参考方向	31
3.1.2 正弦量的三要素及物理意义	32
3.2 正弦量的相量表示	34
3.2.1 正弦量与旋转相量	34
3.2.2 正弦量的相量表示	35
3.2.3 正弦量的简单相量运算	36
3.3 电阻、电感及电容元件	37
3.3.1 电阻元件	37
3.3.2 电感元件	37

3.3.3 电容元件	38
3.4 R 、 L 、 C 元件的正弦交流电路	40
3.4.1 电阻元件的交流电路	40
3.4.2 电感元件的交流电路	41
3.4.3 电容元件的交流电路	42
3.5 正弦交流电路的相量图分析	45
3.5.1 RLC 串联电路的相量图分析	45
3.5.2 RLC 并联电路的相量图分析	47
3.5.3 RLC 混联电路的相量图分析	47
3.6 简单正弦交流电路的分析	48
3.6.1 复阻抗 Z 及复导纳 Y	48
3.6.2 复阻抗的串联及分压计算	49
3.6.3 复阻抗的并联及分流计算	50
3.6.4 复阻抗的混联及电路计算	50
3.7 复杂正弦交流电路的分析与计算	51
3.8 正弦交流电路的功率及功率因数的提高	52
3.8.1 正弦交流电路中的功率	52
3.8.2 功率因数的提高	55
3.9 电路中的谐振	56
3.9.1 串联谐振	56
3.9.2 并联谐振	58
3.10 周期性非正弦交流电路	59
3.10.1 周期性非正弦量的分解	60
3.10.2 线性电路对非正弦周期激励信号的分析方法	60
3.10.3 周期性非正弦量的有效值	60
本章小结	61
习 题	64

第4章 三相电路

4.1 对称三相电源电压	69
4.1.1 三相电源的特性	69
4.1.2 三相电源的连接	70
4.2 三相负载的星形连接	72
4.2.1 星形连接的电路	72
4.2.2 负载对称的三相星形电路	72
4.2.3 负载不对称的三相星形电路	75
4.3 三相负载的三角形连接	76
4.3.1 负载三角形连接的三相电路	76
4.3.2 负载三角形连接电路中的电压关系	77

4.3.3 负载三角形连接电路中的电流关系·····	77
4.4 三相电路的功率·····	79
4.4.1 一般三相电路功率·····	79
4.4.2 负载对称三相电路功率·····	79
本章小结·····	80
习 题·····	81

第5章 电路的暂态分析

5.1 换路定则及换路中电量初始值的确定·····	84
5.1.1 换 路·····	84
5.1.2 换路定则·····	84
5.1.3 换路后瞬间电量初始值的确定·····	85
5.2 一阶电路的零输入响应·····	86
5.2.1 RC电路的零输入响应·····	87
5.2.2 RL电路的零输入响应·····	89
5.3 一阶电路的零状态响应·····	90
5.3.1 RC电路的零状态响应·····	90
5.3.2 RL电路的零状态响应·····	91
5.3.3 一阶电路零状态响应的规律·····	91
5.4 一阶电路的全响应·····	92
5.4.1 全响应的经典分析法·····	92
5.4.2 一阶电路全响应的三要素分析法·····	92
5.5 阶跃函数与阶跃响应·····	95
5.5.1 阶跃函数·····	95
5.5.2 阶跃响应·····	96
5.6 二阶电路的零输入响应·····	97
5.6.1 二阶电路零输入响应电路及初态·····	97
5.6.2 电路微分方程的建立·····	97
5.6.3 电路微分方程解的分析讨论·····	97
本章小结·····	99
习 题·····	101

第6章 半导体二极管及其应用

6.1 半导体基础知识·····	104
6.1.1 本征半导体·····	104
6.1.2 杂质半导体·····	105
6.1.3 PN结及其单向导电性·····	105
6.2 半导体二极管·····	107
6.2.1 二极管的构成·····	107

6.2.2 伏安特性	107
6.2.3 主要参数	108
6.2.4 应 用	108
6.3 稳压二极管	109
6.3.1 稳压管的伏安特性	109
6.3.2 稳压管的主要参数	110
6.4 整流、滤波及稳压电路	110
6.4.1 单相半波整流电路	110
6.4.2 单相桥式整流电路	112
6.4.3 电容滤波电路	113
6.4.4 电感滤波电路	114
6.4.5 稳压电路	115
本章小结	116
习 题	117

第 7 章 半导体三极管及放大电路

7.1 晶体三极管	119
7.1.1 结构和类型	119
7.1.2 电流放大原理	119
7.1.3 晶体管共射特性曲线	120
7.1.4 主要参数	121
7.1.5 晶体管的微变等效电路	122
7.2 基本放大电路	122
7.2.1 基本共射放大电路	123
7.2.2 直流通路和交流通路	124
7.2.3 阻容耦合放大电路的静态分析	124
7.2.4 阻容耦合放大电路的动态分析	126
7.3 静态工作点稳定电路	129
7.3.1 电路组成和 Q 点稳定原理	130
7.3.2 静态分析	130
7.3.3 动态分析	130
7.4 共集电极放大电路	131
7.4.1 静态分析	132
7.4.2 动态分析	132
7.5 放大电路的频率响应及多级放大电路	133
7.5.1 单管共射放大电路的频率响应	133
7.5.2 多级放大电路及级间耦合方式	134
7.6 放大电路的负反馈	136
7.6.1 四种负反馈形式	137

7.6.2 交流负反馈中反馈极性与类型的判别方法	138
7.6.3 反馈对放大电路性能的影响	141
7.7 差动放大电路	143
7.7.1 直接耦合放大电路的零漂现象	143
7.7.2 差动放大电路的工作原理	144
7.7.3 差动放大电路输入、输出方式及分析计算	145
7.7.4 共模抑制比	147
7.8 功率放大电路	148
7.8.1 主要技术指标	148
7.8.2 功放管放大电路工作状态	148
7.8.3 互补功率放大电路	149
7.9 场效应管及其放大电路	150
7.9.1 结型场效应管	150
7.9.2 绝缘栅场效应管	152
7.9.3 微变等效电路	154
7.9.4 主要参数	154
7.9.5 放大电路	155
本章小结	157
习 题	159

第8章 集成运算放大电路

8.1 集成运放简介	165
8.1.1 集成运放的组成及图形符号	165
8.1.2 集成运放的电压传输特性	165
8.1.3 理想集成运放及其特点	166
8.2 集成运放应用于信号运算	167
8.2.1 比例运算电路	167
8.2.2 加减运算电路	169
8.2.3 积分运算电路	169
8.2.4 微分运算电路	170
8.3 集成运放应用于信号处理	173
8.3.1 有源滤波器	173
8.3.2 采样保持电路	174
8.3.3 电压比较器	175
本章小结	179
习 题	179

第9章 正弦波振荡电路

9.1 自激振荡	184
----------------	-----

9.1.1 自激振荡及条件	184
9.1.2 自激振荡的建立过程	184
9.1.3 正弦波振荡电路的基本组成	185
9.2 RC 振荡电路	185
9.2.1 电路图及原理分析	185
9.2.2 振荡的建立及稳幅	187
9.3 LC 振荡电路	187
9.3.1 变压器反馈式的 LC 振荡电路	188
9.3.2 LC 三点式振荡电路	189
本章小结	189
习 题	190

第 10 章 数字电路基础

10.1 数字脉冲信号	193
10.2 基本逻辑门电路	193
10.2.1 基本门电路及逻辑功能	194
10.2.2 复合门电路及逻辑功能	195
10.3 逻辑函数及数学表示	197
10.3.1 逻辑代数及运算法则	197
10.3.2 逻辑函数及数学表示方法	198
10.3.3 逻辑函数表示形式的相互关系	199
10.3.4 逻辑函数的代数式化简法	201
10.4 组合逻辑电路的分析	201
10.4.1 组合逻辑电路及特性	201
10.4.2 组合逻辑电路的分析	201
10.5 组合逻辑电路的设计	203
10.5.1 组合逻辑电路设计的任务	203
10.5.2 组合逻辑电路设计的主要步骤	203
10.6 常用组合逻辑电路	204
10.6.1 加法器	204
10.6.2 编码器	206
10.6.3 译码器	207
10.7 双稳态触发器	208
10.7.1 基本 R-S 触发器	208
10.7.2 可控 R-S 触发器	209
10.7.3 JK 触发器	210
10.7.4 D 触发器	211
10.7.5 T 触发器	212
10.8 寄存器	213

10.8.1 数码寄存器·····	213
10.8.2 移位寄存器·····	213
10.9 计数器·····	214
10.9.1 计数器的分类·····	214
10.9.2 二进制计数器·····	214
10.9.3 同步十进制计数器·····	216
10.9.4 一般同步计数器·····	217
本章小结·····	219
习 题·····	220
附录 A 半导体分立器件型号命名方法	
附录 B 常用半导体分立器件的参数	
附录 C 常用半导体集成电路的参数和符号	
参考文献	

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

本章主要讨论电路的基本物理量及正方向、电路的工作状态等基本概念,并讨论欧姆定律和基尔霍夫定律等基本定律,这些内容都是分析与计算电路的基础。

1.1 电路及模型

1.1.1 电路的作用及组成

电路是电流的通路。它可以实现电能的传输和转换,也可以进行信号的传递和处理,如图 1-1(a)所示的电力系统和如图 1-1(b)所示的扩音系统即为电路的示意图。

电路一般由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源是产生电能和电信号的装置,如图 1-1 所示的发电机和话筒。负载是取用电能的设备,如图 1-1 所示的电动机和扬声器。中间环节是连接电源和负载的电气部分,如图 1-1 所示的变压器、放大器及连接导线。

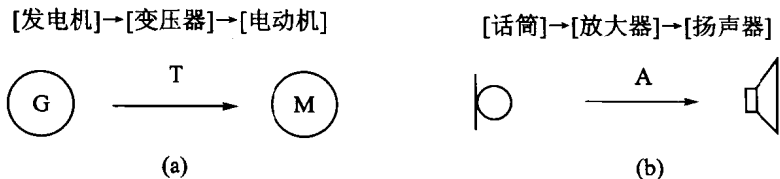


图 1-1 实际电路

1.1.2 实际电路及电路模型

实际电路由起不同作用的电源、负载和中间环节三个组成部分的实际元器件所组成,如图 1-1 所示的电路就为实际电路。

电路模型是由一些理想化的电路元件所组成,理想电路元件主要有电压源、电流源、电阻、电感和电容等元件。如图 1-2 所示的电路模型就是如图 1-1 所示的实际电路的简化电路模型。

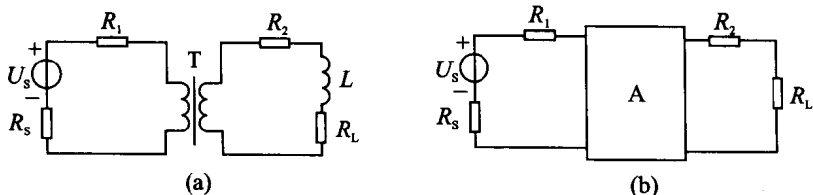


图 1-2 电路模型

本书所分析的电路都是指电路模型,各种理想电路元件都用国际或国家标准所规定的图形符号来表示。

1.2 电路的基本物理量及正方向

1.2.1 电 流

电流定义为单位时间内通过导体截面的电量,用符号 i 来表示。

$$i = dq/dt \quad (1-1)$$

若 $dq/dt = \text{常数}$,则称为恒定电流(直流),用符号 I 来表示。电流的常用单位为 A(安培)、kA(千安)、mA(毫安)、 μA (微安)等。

习惯上把正电荷的运动方向规定为电流的方向。但在分析较复杂的电路时,往往事先不可能知道电流的实际方向。为此,在电路的分析与计算时,必须首先对有关电流选定某一方向作为电流的正方向(即参考方向)。

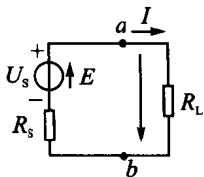


图 1-3 电量参考方向

电流的正方向(即参考方向)用箭头($\rightarrow$)或双下标 I_{ab} 来表示,如图 1-3 电路图中所示。根据该电流参考方向,才可以确定有关电量公式的公式符号。如图 1-3 所示电路中,可列写: $U = +I R_L$ 。也由该参考方向,才可以确定电流的数值符号,并进而确定电流的实际方向。在如图 1-3 电路中,若 $I = +3 \text{ A}$,则表示实际电流在 R_L 上实际方向为由上而下;若 $I = -3 \text{ A}$,则表示实际电流在 R_L 上实际方向为由下而上。

1.2.2 电 压

a 点到 b 点的电压定义为单位正电荷由 a 点移到 b 点时电场力所做的功。用符号 u 来表示。

$$u_{ab} = dw/dq \quad (1-2)$$

若 $dw/dq = \text{常数}$,则称为恒定电压(直流),用符号 U 来表示。电压的常用单位为 V(伏特)、kV(千伏)、mV(毫伏)、 μV (微伏)等。

电压的实际方向为电位的降落方向,电压的正方向(即参考方向)为电路分析与计算时的约定方向。同电流一样,在电路的分析与计算时,也必须首先对有关电压选定正方向(即参考方向),根据该参考方向,才可以确定有关电量的公式符号。也由该参考方向,才可以确定电压的数值符号,并进而确定电压的实际方向。在如图 1-3 电路中,若 $U = +3 \text{ V}$,则表示电压在 R_L 上的实际极性为上正下负;若 $U = -3 \text{ V}$,则表示实际极性为下正上负。电压的参考方向用箭头($\rightarrow$)或双下标 U_{ab} 或极性来表示,如图 1-3 所示。

1.2.3 电动势

电动势可定义为在电源内部由非电场力把单位正电荷由电源负极移到电源正极所做的功。用符号 e 来表示,在直流中用大写符号 E 来表示。电动势的方向,定为在电源内部由电源负极指向电源正极,即电位升的方向,如图 1-3 所示。电动势的常用单位为电压单位,如 V、kV 等。

1.2.4 功率

功率定义为单位时间内能量的变化率,用符号 p 来表示。

$$p = \mathrm{d}w/\mathrm{d}t \quad (1-3)$$

若 $\mathrm{d}w/\mathrm{d}t = \text{常数}$,则称为恒定功率(直流),用符号 P 来表示。功率的常用单位为 W(瓦特)、kW(千瓦)和 mW(毫瓦)等。在电功率 P 的分析与计算中,元件功率的计算公式为

$$P = \pm UI \quad (1-4)$$

当元件两端电压与电流的正方向为一致或称正方向关联时取正号;反之,两者的正方向为非关联时,则取负号。

按上述公式计算后,若计算结果 $P > 0$,则该元件在电路中消耗功率,元件的性质为负载;反之,若 $P < 0$,则产生功率,元件的性质为电源。

例 1-1 如图 1-4 所示电路中,已知: $U = 220 \text{ V}$, $I = -1 \text{ A}$ 。

试问哪个元件为负载? 哪个元件为电源?

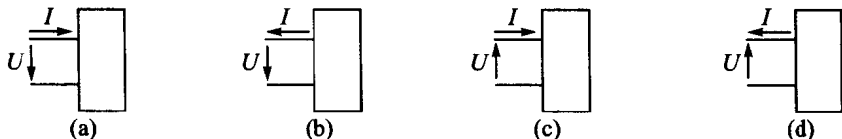


图 1-4 例 1-1 图

解

图 1-4(a): U 、 I 正方向关联, $P = +UI = -220 \text{ W}$, P 为产生功率,元件性质为电源。

图 1-4(b): U 、 I 正方向非关联, $P = -UI = 220 \text{ W}$, P 为消耗功率,元件性质为负载。

图 1-4(c): U 、 I 正方向非关联, $P = -UI = 220 \text{ W}$, P 为消耗功率,元件性质为负载。

图 1-4(d): U 、 I 正方向关联, $P = +UI = -220 \text{ W}$, P 为产生功率,元件性质为电源。

1.3 电路的工作状态

电路一般有开路、短路及有载三种工作状态。

1.3.1 电路开路工作状态

在如图 1-5 所示电路中,开关 S 在“1”位。负载电阻 $R_L = \infty$, 电流 $I = 0$, 电源端电压 $U_o = E$, 功率 $P = P_s = 0$, 电源不输出功率。

1.3.2 电路短路工作状态

在如图 1-5 所示电路中,开关 S 在“2”位。负载电阻 $R_L = 0$, 电流 $I_s = E/R_s$, 一般会很大,甚至烧毁电源,所以应尽量避免,一般需用保险丝即熔断器来保护电源。

负载上的功率 $P = 0$, 电源内阻上功率 $P_s = I_s^2 R_s$, 在内阻 R_s 上产生大量的热量。

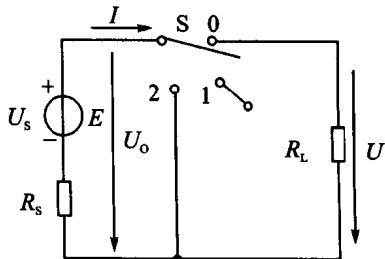


图 1-5 电路的工作状态

1.3.3 电路有载工作状态

在如图 1-5 所示电路中,开关 S 在“0”位。负载电阻 $0 < R_L < \infty$, 电路中的电流、电压可由式(1-5)中的负载侧及电源侧的方程联立求解:

$$\begin{cases} U = +IR_L \\ U_o = E - IR_s = U \end{cases} \quad (1-5)$$

从而解得电流 $I = E/(R_L + R_s)$ 。电路中的功率可分为负载 R_L 上的消耗功率 $P = +UI$, 电源上的输出功率 $P_s = EI - I_s^2 R_s$, 即为电源上的发出功率减去内阻 R_s 上的消耗功率。而在整个电路中电源的总发出功率等于电路中总消耗功率, 电路中功率平衡。

1.3.4 电路元件额定值

电路元件额定值为元件制造时所规定的元件长期正常工作中所允许的最大电压、电流及功率的值, 额定电压、电流及功率的符号记为 U_N 、 I_N 、 P_N 。在实际工作中, 若电路为满载, 即额定工作状态, 则电量实际值即为额定值; 若为轻载或空载, 则电量实际值小于额定值; 若为重载, 则电量实际值大于额定值。

注意: 电源的额定功率 P_N 是指电源上的额定输出功率 $P_s = EI_N - I_s^2 R_s$, 而不是指电源上的发出功率 EI_N 。

1.4 欧姆定律

1.4.1 欧姆定律

欧姆定律是反映电阻元件特性的定律即通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。

欧姆定律公式为

$$U = \pm IR \quad (1-6)$$

若电阻上的电压、电流的正方向关联(如图 1-6 所示), 则公式符号取正号; 若两者的正方向为非关联, 则取负号。除了欧姆定律的公式符号外, 电压、电流本身还有数值符号的正负之分。在欧姆定律的应用中要注意这两套符号。

式(1-6)所表示的电压、电流关系可以通过实验得出。通过实验测量, 可在电压与电流的直角坐标平面上, 绘出一根通过坐标原点的直线, 如图 1-7 所示。该直线即为线性电阻的伏安特性曲线。

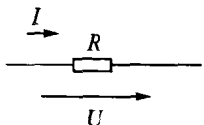


图 1-6 欧姆定律

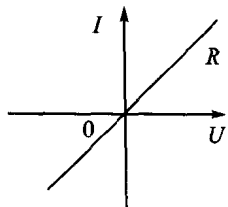


图 1-7 线性电阻伏安特性曲线

电阻的常用单位为 Ω (欧姆)、 $k\Omega$ (千欧)、 $M\Omega$ (兆欧) 等。其中: $1 k\Omega = 1\,000 \Omega$, $1 M\Omega = 1\,000 k\Omega$ 。

例 1-2 在如图 1-8 所示各电路中, 已知: $U=6\text{ V}$, $I=-2\text{ A}$, 用欧姆定律列式计算电阻 R 。

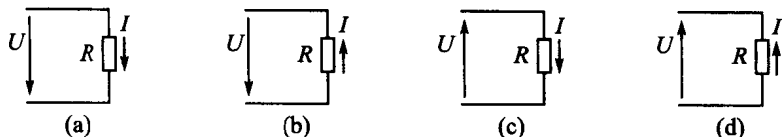


图 1-8 例 1-2 图

解

图 1-8(a) 中: $R = +U/I = 6/(-2) = -3 \Omega$ 。

图 1-8(b) 中: $R = -U/I = -6/(-2) = 3 \Omega$ 。

图 1-8(c) 中: $R = -U/I = -6/(-2) = 3 \Omega$ 。

图 1-8(d) 中: $R = +U/I = 6/(-2) = -3 \Omega$ 。

1.4.2 含源支路欧姆定律

如图 1-9 所示电路为含源支路。该支路上的电压、电流关系可称为含源支路的欧姆定律, 其一般关系可用式(1-7)表示。

$$U = \pm IR \pm E \quad (1-7)$$

式(1-7)中符号的取法为: 支路上沿着电压 U 的参考方向, 经过元件 R 及 E 时, 以电位降落为正号; 反之, 为负号。

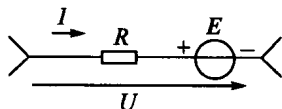


图 1-9 含源支路欧姆定律

下面可对如图 1-10 所示的各种电路, 用含源支路欧姆定律列写出支路上的电压方程。这里应注意欧姆定律的公式符号。

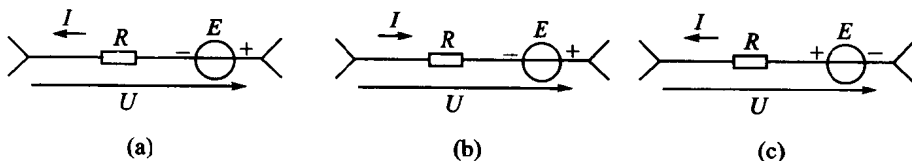


图 1-10 含源支路欧姆定律

图 1-10(a) 电路中方程为 $U = -IR - E$, 图 1-10(b) 电路方程为 $U = +IR - E$, 图 1-10(c) 电路中方程为 $U = -IR + E$ 。

1.4.3 广义的欧姆定律

欧姆定律可推广到表示电路上任意两点之间的电压、电流关系, 我们把它称为广义的欧姆定律。其一般关系可用式(1-8)表示。

$$U_{ab} = \sum (\pm IR \pm E) \mid a \rightarrow b \quad (1-8)$$