



国家技能型紧缺人才培养培训工程
高职高专软件技术专业规划教材

计算机电子技术

王慧玲 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国家技能型紧缺人才培养培训工程

高职高专软件技术专业规划教材

计 算 机 电 子 技 术

主编 王慧玲

参编 韩毓文 杨丽婕 谢兴宝



机械工业出版社

本书是为了满足高职高专计算机专业电子电路教学需要而编写的。对计算机专业的电路基础、模拟电子技术、数字电子技术进行课程的科学整合,形成《计算机电子技术》课程。本教材注重职业岗位能力的需求,其内容重点在于培养学生从事本专业工作所需要的基本技术素质和实际操作能力。

本书分为3篇共12章,第1篇 电路基础,包括电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法、交流电路、电路的过渡过程等4章内容;第2篇 模拟电子技术基础,包括电子电路中常用元器件、晶体管放大电路、集成运算放大器及其应用等3章内容;第3篇 数字电子技术基础,包括数字电路基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、可编程器件、A/D与D/A转换器等5章内容。书中配有精心设计的例题,每章后有小结、测试与练习题,书后配有参考答案,以方便学生学习和教师组卷。

本书具有结构、体例新颖,内容整体构架合理,语言表达顺畅,逻辑性强,突出实用等特征。

本书配有电子教案供教师使用,可发电子邮件至 wangyx@mail.machin-einfo.gor.cn 邮箱索取。

图书在版编目(CIP)数据

计算机电子技术/王慧玲主编. —北京:机械工业出版社,2006.1

高职高专软件技术专业规划教材

ISBN 7-111-18333-9

I. 计… II. 王… III. ①电子计算机-电子电路
-高等学校:技术学校-教材②电子技术-高等学校:
技术学校-教材 IV. ①TP331②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第001146号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:王玉鑫 版式设计:霍永明 责任校对:姚培新

责任印制:杨 曦

北京市朝阳区展望印刷厂印刷

2006年2月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·15.75印张·382千字

0 001—4 000册

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是为了满足高职高专计算机专业电子电路教学需要而编写的。对计算机专业的电路基础、模拟电子技术、数字电子技术进行课程的科学整合,形成《计算机电子技术》课程。《计算机电子技术》是计算机专业的一门技术基础课,本课程的教学应使学生初步掌握电路基础和电子技术基础的基本概念、基本原理和典型电路的应用。教材内容的选择力图突出先进性、实用性;概念的讲述力求简明清楚;抓住基本电路的原理和应用作为课程教学的重点,培养学生应用所学知识、独立分析和解决问题的能力。同时,本教材注重职业岗位能力的需求,内容重点在于培养学生从事本专业工作所需要的基本技术素质。

本书分为3篇共12章,第1篇 电路基础,包括电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法、交流电路、电路的过渡过程等4章内容;第2篇 模拟电子技术基础,包括电子电路中常用元器件、晶体管放大电路、集成运算放大器及其应用等3章内容;第3篇 数字电子技术基础,包括数字电路基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、可编程器件、A/D与D/A转换器等5章内容。书中配有精心设计的例题,每章后面有小结、测试与练习题,书后配有参考答案,以方便学生学习和教师组卷。

本书的参考教学方案有两套。对于技能型紧缺人才培养的两年制教学过程,本课程的教学安排为80学时;对于普通的三年制教学过程,本课程的教学安排为120学时,可分两个学期,具体学时安排见下表。实验教学内容安排可根据各校教学需求自行安排。

两年制和三年制课时分配建议

序号	课程内容	两年制学时数	三年制学时数
1	第1篇 电路基础	24	36
2	第1章 电路的基本概念和基本定律	4	6
3	第2章 电路的基本分析方法	8	10
4	第3章 交流电路	8	14
5	第4章 电路的过渡过程	4	6

(续)

序号	课程内容	两年制学时数	三年制学时数
6	第 2 篇 模拟电子技术基础	24	36
7	第 5 章 电子电路中常用元器件	8	12
8	第 6 章 晶体管放大电路	8	12
9	第 7 章 集成运算放大器及其应用	8	12
10	第 3 篇 数字电子技术基础	32	48
11	第 8 章 数字电路基础	8	8
12	第 9 章 组合逻辑电路	8	12
13	第 10 章 时序逻辑电路	8	14
14	第 11 章 可编程器件	4	8
15	第 12 章 A/D 与 D/A 转换器	4	6
16	合 计	80	120

本书由王慧玲主编，韩毓文、杨丽婕、谢兴宝参编。书中第 1~4 章由王慧玲编写；第 5~7 章由韩毓文编写；第 8~10 章由杨丽婕编写；第 11、12 章由谢兴宝编写。全书由王慧玲统稿，王连起、谢兴宝审读了部分内容。

本书的成稿是在编者的共同努力下顺利完成的，同时该书的编写得到了编写者的领导、同事和相关教学部门的支持与帮助，这里一并表示感谢！

编 者

本书常用符号表

模拟电子技术部分

$\dot{A}$	基本放大电路的增益或开环增益	r_{be}	晶体管的输入电阻
A_u	放大电路空载电压增益	R_i	放大电路交流输入电阻
A_{uL}	放大电路负载电压增益	R_o	放大电路交流输出电阻
$\dot{A}_f$	放大器闭环增益	R_f	反馈电阻
A_{od}	闭环差模电压增益	S	开关
A_{oc}	闭环共模电压增益	T	变压器
BW	通频带	U, u	电压
C_e	发射极旁路电容	U_F	二极管导通正向电压
C_f	反馈电容	U_R	二极管反向偏置电压
E	直流电源	U_S, u_S	信号源电压
$\dot{F}$	反馈电路的反馈系数	U_i, u_i	输入电压
f_L	多级放大器下限频率	U_{th}	阈值电压, 门槛电压, 开启电压
f_H	多级放大器上限频率	U_{REF}	参考电压
f_M	最高工作频率	$U_{(BR)CEO}$	基极开路、集电极—基极击穿电压
I_i, i_i	输入电流	U_Z	稳压管稳压值
I_o, i_o	输出电流	U_{BE}	晶体管基—射极输出电压
I_L	负载电流	U_{CE}	晶体管集—射极输出电压
I_C	晶体管集电极输出电流	V_{CC}	放大电路正电源电压
I_B	晶体管基极输出电流	V_{EE}	放大电路负电源电压
I_E	晶体管发射极输出电流	V_{BB}	接晶体管基极电源电压
I_F	最大整流电流	VD	半导体二极管
I_R	二极管反向饱和电流	VS	稳压二极管
I_{ZM}	稳压管最大稳定电流	$\dot{X}_i$	放大器输入信号
K_{CMR}	共模抑制比	$\dot{X}_f$	放大器反馈信号
PN	PN 结	$\dot{X}_i$	放大器净输入信号
R_b, R_e, R_c	接于晶体管基极、发射极、集电极的电阻	$\dot{X}_o$	放大器的输出信号
R_S	信号源电阻	η	效率
R_L	负载电阻	β	晶体管共射接法电流放大系数
R_{id}	集成运放输入电阻	Q	静态工作点
R_{od}	集成运放输出电阻	OCL 电路	双电源互补对称放大电路
RP	电位器	OTL 电路	单电源互补对称放大电路

数字电子技术部分

A, B, C	输入逻辑变量	CP	触发器时钟脉冲输入端
D_i, D_o	输入、输出数字信号	CR	清零端

CS	片选信号输入端	pin	引脚
D	D 触发器输入端,数据输入端	T	T 触发器输入端
D _S	移位寄存串行输入	R _D	触发器的直接置 0 端
D _{SR}	右移串行输入	S _D	触发器的直接置 1 端
D _{SL}	左移串行输入	R, S	RS 触发器输入端
G	逻辑门	V _{IA} 、V _{IB}	输入信号
GND	地端	V _F	输出信号
AGND	模拟地端	V _{BI}	基极电位
DGND	数字地端	$\times V^-$	比 $\times V$ 略小于、约等于
J, K	JK 触发器输入端	$\times V^+$	比 $\times V$ 略大于、约等于
EN	使能端	W	译码器的输出线
F	逻辑函数、组合逻辑电路输出端	$\overline{WE}$	写允许
m	最小项	Y	乘积项
LSB	数字量最低位或其所代表的模拟量	&	逻辑与
MSB	数字量最高位	!	逻辑取反
$\overline{OE}$	输出允许	#	逻辑或
Q ⁿ	触发器输出状态	\$	逻辑异或
Q ⁿ⁺¹	触发器输出次态		

目 录

前言

本书常用符号表

第1篇 电路基础

第1章 电路的基本概念和基本定律 2

1.1 电路和电路模型 2

1.1.1 电路 2

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 4

1.2.3 电位 4

* 1.2.4 电动势 5

1.2.5 电功率与电能 5

1.3 电路元件 6

1.3.1 无源元件 6

1.3.2 有源元件 8

1.4 电路的三种状态 8

1.4.1 开路状态 8

1.4.2 短路状态 9

1.4.3 有载工作状态 9

1.5 基尔霍夫定律 10

1.5.1 基尔霍夫电流定律 10

1.5.2 基尔霍夫电压定律 11

1.5.3 电位分析举例 12

本章小结 13

测试与练习 1 14

第2章 电路的基本分析方法 19

2.1 等效电路分析 19

2.1.1 等效电阻电路 19

2.1.2 两种实际电源模型的等效变换 22

2.2 电路方程法 24

2.2.1 支路电流法 24

2.2.2 弥尔曼定理 26

2.3 电路的基本定理 28

2.3.1 叠加定理 28

2.3.2 戴维南定理与诺顿定理 30

2.3.3 最大功率传输定理 32

* 2.4 含受控源电路的分析 34

本章小结 35

测试与练习 2 36

第3章 交流电路 41

3.1 正弦交流电的表示方法 41

3.1.1 正弦交流电的瞬时值表示 41

3.1.2 正弦交流电的相量表示 43

3.2 单一参数正弦交流电路 45

3.2.1 纯电阻电路 45

3.2.2 纯电感电路 46

3.2.3 纯电容电路 48

3.3 一般正弦交流电路分析 50

3.3.1 RLC 串联的交流电路 50

3.3.2 用相量法分析正弦交流电路 52

3.4 功率因数的提高 53

3.5 谐振电路 54

3.5.1 串联谐振电路 54

3.5.2 并联谐振电路 56

3.6 非正弦周期电流电路 58

3.6.1 非正弦周期量的谐波分析 58

3.6.2 非正弦周期波的有效值和功率 59

3.6.3 非正弦周期电压作用下的线性

电路 60

3.7 三相正弦电路 61

3.7.1 三相电源及其联结 61

3.7.2 三相负载的联结 63

3.7.3 三相电路的功率 65

本章小结 66

测试与练习 3 67

第4章 电路的过渡过程 73

4.1 电路换路的概念及定律 73

4.1.1 电路换路概念 73

4.1.2 电路换路定律 73

4.2 一阶电路的响应 74

4.2.1 一阶电路全响应的规律 74

4.2.2 关于时间常数 τ 77

4.3 一阶电路的求解和应用	77
4.3.1 一阶电路的求解	77
* 4.3.2 一阶电路的应用	79
本章小结	81
测试与练习 4	82

第2篇 模拟电子技术基础

第5章 电子电路中常用元器件	88
5.1 半导体基本知识	88
5.1.1 物质的分类	88
5.1.2 半导体的奇妙特性	88
5.1.3 半导体器件及其应用	88
5.2 半导体二极管	89
5.2.1 二极管的基本结构	89
5.2.2 二极管的伏安特性	89
5.2.3 二极管的主要参数与选用原则	90
5.2.4 二极管的检测	91
5.2.5 二极管的应用电路	92
5.2.6 特殊二极管	93
5.3 晶体管	95
5.3.1 晶体管的基本结构	95
5.3.2 晶体管的电流放大作用	96
5.3.3 晶体管的伏安特性曲线	97
5.3.4 电路化简	98
5.3.5 晶体管的实际应用	99
5.3.6 晶体管的主要参数	99
5.3.7 晶体管管脚与管型判别	100
5.4 场效应晶体管	100
5.4.1 绝缘栅型场效应晶体管的基本结构 和种类	101
5.4.2 场效应晶体管与普通晶体管的 区别	101
5.5 半导体应用案例——直流稳压电源	102
5.5.1 单相桥式整流电路	102
5.5.2 电容滤波电路	103
5.5.3 稳压电路	104
本章小结	106
测试与练习 5	107

第6章 晶体管放大电路

6.1 共射极基本放大电路	109
6.1.1 共射极基本放大电路的组成	109
6.1.2 共射极基本放大电路原理分析	110
6.1.3 共射极基本放大电路的	

设计举例	113
------------	-----

6.1.4 共射极基本放大电路设计中应 注意的问题	115
6.2 静态工作点稳定电路	116
6.2.1 静态工作点稳定电路的组成	116
6.2.2 静态工作点稳定电路的基本 工作原理	116
6.2.3 静态工作点稳定电路的 基本计算	117
6.3 射极输出器	118
6.4 多级放大电路	119
6.4.1 多级放大电路级间耦合方式	119
6.4.2 多级放大电路的动态分析	121
6.5 功率放大电路	122
6.5.1 功率放大电路的分类	123
6.5.2 双电源互补对称放大电路 (OCL 电路)	123
6.5.3 单电源互补对称放大电路 (OTL 电路)	125
本章小结	125
测试与练习 6	126

第7章 集成运算放大器及其应用

7.1 差动放大电路	129
7.1.1 集成运算放大电路的构成	129
7.1.2 差动放大电路	129
7.2 负反馈	132
7.2.1 反馈的基本概念	132
7.2.2 反馈的基本类型	133
7.2.3 判断反馈类型的方法	134
7.2.4 负反馈对放大电路性能的影响	137
7.3 集成运算放大电路的应用	138
7.3.1 集成运算放大电路	138
7.3.2 集成运算放大电路的线性应用	138
7.3.3 集成运算放大电路的非线性 应用	142
本章小结	143
测试与练习 7	144

第3篇 数字电子技术基础

第8章 数字电路基础

8.1 数字电路概述	148
8.1.1 数字电路的特点、分类	148
8.1.2 数制与码制	149

8.2 逻辑代数基础	153	测试与练习 10	199
8.2.1 逻辑函数	153	第 11 章 可编程器件	203
8.2.2 基本逻辑运算	153	11.1 可编程逻辑器件	203
8.2.3 复合逻辑运算	155	11.1.1 可编程逻辑器件简介	203
8.2.4 逻辑函数的表示法	156	11.1.2 PLD 的表示法	203
8.2.5 逻辑代数的基本公式和定律	158	11.1.3 PLD 的基本原理	204
8.2.6 逻辑函数的化简	159	11.1.4 输出电路结构	205
8.3 逻辑门电路	160	11.1.5 GAL 器件实例	207
8.3.1 分立器件的基本逻辑门电路	161	11.1.6 设计与编程	207
8.3.2 TTL 集成门电路	162	11.2 存储器	208
本章小结	165	11.2.1 存储器简介	208
测试与练习 8	165	11.2.2 存储器的基本原理	209
第 9 章 组合逻辑电路	170	11.2.3 存储器实际器件	212
9.1 组合逻辑电路的分析与设计	170	11.2.4 存储器的扩展	215
9.1.1 组合逻辑电路的分析	170	本章小结	216
9.1.2 组合逻辑电路的设计	171	测试与练习 11	216
9.2 常用组合逻辑电路	173	第 12 章 A/D 与 D/A 转换器	218
9.2.1 编码器	173	12.1 A/D 转换器	218
9.2.2 译码器	176	12.1.1 概述	218
本章小结	181	12.1.2 A/D 转换器基本原理	218
测试与练习 9	182	12.1.3 ADC 实际器件	220
第 10 章 时序逻辑电路	185	12.1.4 应用电路	221
10.1 触发器	185	12.2 D/A 转换器	222
10.1.1 RS 触发器	185	12.2.1 D/A 转换器的基本原理	222
10.1.2 JK 触发器	188	12.2.2 DAC 实际器件	224
10.1.3 其他类型触发器	190	12.2.3 应用电路	225
10.2 时序逻辑电路	191	本章小结	226
10.2.1 时序逻辑电路的组成与特点	191	测试与练习 12	226
10.2.2 常用时序逻辑电路	192	参考答案	228
本章小结	199	参考文献	239

第1篇 电路基础

第1章 电路的基本概念和基本定律

第2章 电路的基本分析方法

第3章 交流电路

第4章 电路的过渡过程

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

本章介绍了电路与电路模型的概念，电路的基本物理量和电路的工作状态，电路的基本定律。电压、电流的参考方向是分析电路的前提；理想元件的电压、电流关系（VCR）以及基尔霍夫定律是分析电路的两个重要依据。因此，本章介绍的内容是电路学习的重要基础。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是电流流通的路径，它是为某种需要由某些电器设备或元件按照一定方式连接而成的。现实中电路种类繁多，但一般来说，电路的作用一是实现能量的转换和传输；二是实现信号的传递和处理。例如，传递和处理信号的通信电路；传输与分配电能的电力供电电路以及各类电器设备的控制电路等。

电路一般由三个部分组成：一是向电路提供电能或信号的电器元件，称为电源或信号源；二是用电设备，称为负载；三是中间环节，如导线、开关、控制器等。电路在电源或信号源作用下，才会产生电压、电流，因此在某种场合又把电源或信号源称为激励，由激励所产生的电压和电流称为响应。图 1-1 所示为手电筒实际电路图。它是由电源（干电池）、负载（小电珠）和中间环节（开关和导线）组成的最简单电路。

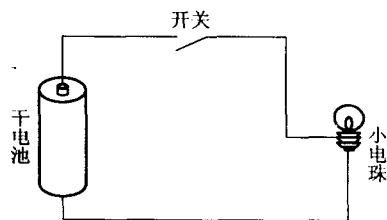


图 1-1 手电筒实际电路图

图 1-1 所示为手电筒实际电路图。它是由电源（干电池）、负载（小电珠）和中间环节（开关和导线）组成的最简单电路。

1.1.2 电路模型

任何一个实际电路的元件在电压、电流的作用下，总是同时发生多种电磁效应。因此，实际电路元件的电磁性质较为复杂。为了便于对电路进行分析和计算，我们常把实际元件加以理想化，在一定条件下忽略其次要电磁性质，用足以表征其主要电磁性质的理想化的电路元件来表示。例如，用电阻元件（ R ）来反映电路或元件消耗电能的电磁性质；用电感元件（ L ）来反映电路或元件储存磁能的电磁性质；用电容元件（ C ）来反映电路或元件储存电场能量的电磁性质；用电源元件（ U_S 或 I_S ）来反映电能量（电功率）发生器的电磁性质，其电路符号如图 1-2 所示。

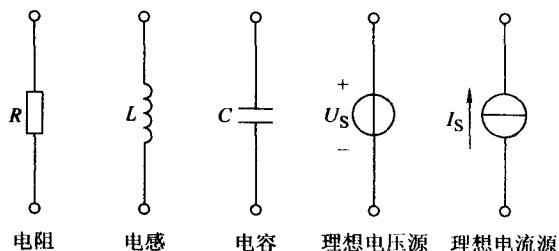


图 1-2 理想电路元件的电路模型

由理想电路元件及其组合来近似替代实际电路元件，从而构成了与实际电路相对应的电路模型。

理想电路元件的图形符号是有国家标准的，根据国家标准绘制的电路模型图称为电路图，如图 1-3 所示，它是对手电筒实际电路进行抽象后的电路模型图。 U_S 是电压源，这里将干电池的内阻忽略不计； S 表示开关； R 是电阻元件，表示小电珠。各个理想元件之间的导线连接用连线来表示。有了电路图就可方便地进行电路研究了。今后书中未加特别说明时，我们所说的电路均指这样抽象的电路模型，所说的元件均指理想电路元件。

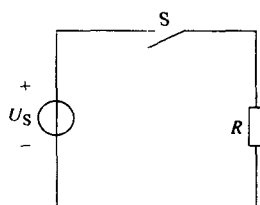


图 1-3 手电筒电路模型

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

带电粒子的定向移动形成电流。电流的强弱用电流 (i) 来表示，其数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量，即有

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

式中， dq 为 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

在直流电路中，单位时间通过导体横截面的电荷是恒定不变的，即有

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

国际单位制 (SI) 中，电荷量的单位为库仑 (C)；时间单位为秒 (s)；电流单位为安培，简称安 (A)。常用的还有千安 (kA)，毫安 (mA)，微安 (μA) 等单位。

电流的实际方向规定为正电荷移动的方向。在分析电路时，有时对复杂电路中某一段电路电流的实际方向很难判定，甚至电流的实际方向还在不断改变，因此在电路中很难标明电流的实际方向。为了解决这一问题，引入了参考方向这个概念。

电流的参考方向是任意选定的方向，当选定的电流参考方向与实际方向一致时，电流为正值 ($i > 0$)；当选定的电流参考方向与实际方向不一致时，电流为负值 ($i < 0$)，如图 1-4 所示。这样，在选定的参考方向下，根据电流的正负值，就可以确定电流的实际方向。

在电路中，元件的电流参考方向可用箭头表示，如图 1-5 所示，在文字叙述时也可用电流符号加双下标表示，如 i_{ab} ，它表示电流由 a 流向 b ，并有 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

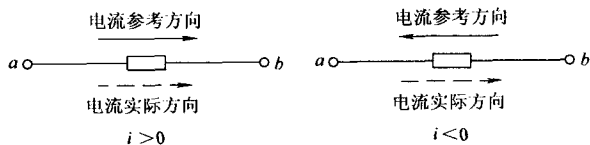


图 1-4 电流参考方向与实际方向的关系

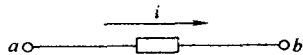


图 1-5 电流参考方向的表示

1.2.2 电压

在匀强电场中, 正电荷 Q 在电场力 F 的作用下, 由 a 点移到 b 点, 电场力所做的功为 W , 则 a 点到 b 点的电压为

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

同理, 单位正电荷由电路的 a 点移到 b 点所获得或失去的能量, 称为 a 、 b 两点间的电压, 即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-4)$$

式中, dq 为由 a 点移到 b 点的电荷量, dw 为电荷移动过程中所获得或失去的能量, u 为两点间的电压。规定: 若正电荷从 a 点移到 b 点, 其电势能减少, 电场力做正功, 电压实际方向从 a 到 b 。

国际单位制 (SI) 中, 功的单位为焦耳 (J); 电荷量的单位为库仑 (C); 电压单位为伏特 (V)。也用千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)。

电压参考方向和电流参考方向一样, 也是任意选定的。在分析电路时, 选定某一方向作为电压方向, 当选定的电压参考方向与实际方向一致时, 则电压为正值 ($u > 0$); 当选定的电压参考方向与实际方向不一致时, 则电压为负值 ($u < 0$), 如图 1-6 所示。

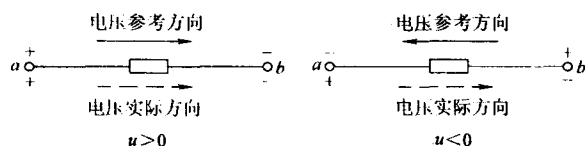


图 1-6 电压参考方向与实际方向的关系

电压的参考方向可以用 “+”、“-” 极性表示, 还可以用双下标表示, 如图 1-7 所示, 并有 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

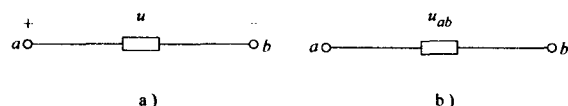


图 1-7 电压参考方向的表示

电路中某一支路或某一元件上的电压与电流的参考方向的选定, 可以选择一致的参考方向, 称为关联参考方向, 如图 1-8a 所示; 也可选择不一致的参考方向, 称为非关联参考方向, 如图 1-8b 所示。

1.2.3 电位

在电器设备的调试和检修中, 经常要测量某个点的电位, 看其是否符合要求。

在电路中任选一点为参考点, 则某一点 a 到参考点的电压就叫做 a 点的电位, 用 V_a 表示。根据定义有

$$V_a = U_{a0} \quad (1-5)$$

电位的单位也是伏特 (V)。

如图 1-9 所示, 以电路中的 0 点为参考点, 则有 $V_a = U_{a0}$,

$$V_b = U_{b0}。$$

$$U_{ab} = U_{a0} + U_{0b} = U_{a0} - U_{b0} = V_a - V_b \quad (1-6)$$

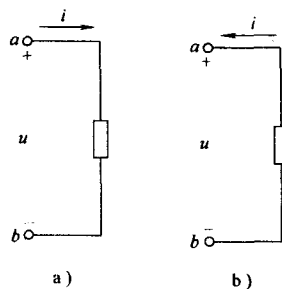


图 1-8 关联参考方向与非关联参考方向

式(1-6)说明, 电路中 a 点到 b 点的电压等于 a 点电位与 b 点电位之差。当 a 点电位高于 b 点电位时, $U_{ab} > 0$; 反之, 当 a 点电位低于 b 点电位时, $U_{ab} < 0$ 。一般规定电压的实际方向由高电位点指向低电位点。

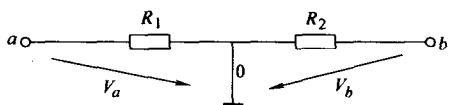


图 1-9 电位表示图

参考点是可以任意选定的, 一经选定, 电路中的各点电位也就确定了。参考点选择不同, 电路中各点电位将随参考点的变化而变化, 但任意两点的电压是不变的。

* 1.2.4 电动势

正电荷在电场力作用下不断从电源正极经过电路流向电源负极, 如果没有一种外作用力, 电源正极的正电荷的减少会使电位逐渐降低, 而负极则因正电荷的增多使电位逐渐升高, 由此导致两极之间的电位差减小, 最后为零, 电荷不再移动。为了维持电流, 需要借助电源力(如电池的化学力)使移动到电源负极的正电荷经电源内部再移动到电源正极。电动势在数值上等于电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功。电动势的方向是由电源的低电位端指向高电位端。电动势的单位也是伏特。

1.2.5 电功率与电能

电功率定义为单位时间内元件吸收或发出的电能, 用 p 表示。设 dt 时间内元件转换的电能为 dw , 则

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-7)$$

国际单位制(SI)中, 功率的单位为瓦特, 简称瓦(W)。此外常用的单位还有千瓦(kW), 毫瓦(mW)等。

对式(1-7)进一步推导得

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-8)$$

在直流电路中, 功率

$$P = UI \quad (1-9)$$

在电路中, 电源产生的功率与负载、导线及电源内阻上消耗的功率总是平衡的, 遵循能量守恒和转换定律。分析电路时, 不但需要计算功率的大小, 有时还需要判断功率的性质, 即该元件是产生能量还是消耗能量。根据电压和电流的实际方向可以确定电路元件的性质。例如, 当 u 和 i 的实际方向相同, 即电流从元件“+”极流入“-”极流出, 则该元件消耗或吸收能量; 当 u 和 i 的实际方向相反, 即电流从元件“-”极流入“+”极流出, 则该元件产生或发出能量。

在电压和电流为关联参考方向时, 用公式 $p = ui$ 或 $P = UI$ 计算; 在电压和电流为非关联参考方向时, 用公式 $p = -ui$ 或 $P = -UI$ 计算。算出的功率 $p > 0$ 时, 表示元件吸收功率; 当计算出的功率 $p < 0$ 时, 表示元件发出功率。

例 1-1 图 1-10 为某电路中的一部分, 其中 $R_S = 0.625\Omega$, 测得该电路的端电压 $U = 220V$, 电路电流 $I = 4A$, 而电路方程为 $U = U_S - IR_S$ 。试求: (1) 理想电压源的电压。(2) 此

段电路是吸收能量还是发出能量。(3) 讨论功率平衡问题。

解：(1) 由 $U_S = U + IR_S$ 得，

$$U_S = U + IR_S = 220\text{V} + 4 \times 0.625\text{V} = 222.5\text{V}$$

(2) 由于 $U_S > U$ ，所以电路电流 I 从理想电压源正极流出，其功率

$$P_S = -U_S I = -222.5 \times 4\text{W} = -890\text{W}$$

$$P_{RS} = I^2 R_S = 4^2 \times 0.625\text{W} = 10\text{W}$$

所以该部分电路发出功率 880W。

若例 1-1 的整个电路如图 1-11 所示。则元件 A 将吸收功率 $P_A = UI = 220 \times 4\text{W} = 880\text{W}$ 。

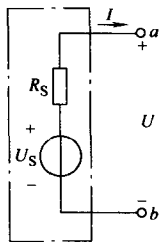


图 1-10 例 1-1 电路图

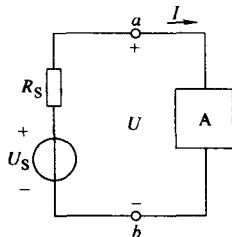


图 1-11 电路的功率平衡

对于一个完整电路，根据能量守恒原理，部分元件发出的功率一定等于其他部分元件吸收的功率。或者说，整个电路的功率代数和为零，即功率平衡，有

$$\sum P = 0 \quad (1-10)$$

在已知功率的前提下，在 $t_0 \sim t_1$ 的时间内，元件或电路的电能为

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt \quad (1-11)$$

电源为直流时， P 为常量，则

$$W = P(t_1 - t_0) \quad (1-12)$$

国际单位制 (SI) 中电能 W 的单位为焦耳 (J)，实际中还常采用千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) (俗称度) 的电能单位，即

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 10^3 \times 3600\text{J} = 3.6 \times 10^6\text{J}$$

1.3 电路元件

电路分析中最基本的电路元件是电阻、电感、电容和电源元件。我们将其分为无源和有源元件进行讨论。

1.3.1 无源元件

(1) 电阻元件 物体对电流的阻碍作用称为电阻。在电路理论中，电阻元件是耗能元件的理想化电路模型，通常电阻元件简称为电阻 R ，其值大小用欧姆 (Ω) 表示，工程上还常用千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$) 做单位。欧姆定律 $u = Ri$ 表明了电阻上的电压，电流关系 (VCR)。根据电阻上的电压，电流是否是线性关系，即 R 是否等于常数，将电阻分为线性

电阻和非线性电阻。线性电阻和非线性电阻的伏安特性曲线如图 1-12 所示。今后若未加说明，本书中所述电阻均指线性电阻。

电阻的倒数称为电导，它是表示材料导电能力的一个参数，用符号 G 表示。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-13)$$

在国际单位制 (SI) 中，电导的单位是西门子，简称西 (S)。

(2) 电感元件 对于线圈，若忽略导线的损耗和线圈匝间电容，仅考虑它在电路中的电磁效应，则该线圈可抽象成理想化电感元件。通常电感元件简称电感，电感元件的参数也称电感，它们均用符号 L 来代表。电感的涵义这样描述：当线圈的导线中有电流 i 流过时，产生磁通 ϕ ，如线圈的匝数为 N ，则穿过线圈各匝的磁通的总和为 $\psi = N\phi$ ， ψ 称为线圈的磁链，当磁链 ψ 的方向与产生它的电流 i 的方向满足右手螺旋关系时，线圈的电感为

$$L = \frac{N\phi}{i} = \frac{\psi}{i} \quad (1-14)$$

在国际单位制 (SI) 中，电感的单位为亨利 (H)，工程上常用的单位还有毫亨 (mH)、微亨 (μH)。

应当指出，若式 (1-15) 中的 L 为常数时，则说明 ψ 与 i 是线性关系，满足这样的条件的电感元件称为线性电感，例如空心线圈的电感就是线性电感。反之，若 ψ 与 i 是非线性关系，则 L 不是常数，其大小与电流有关，这样的电感元件称为非线性电感，如铁心线圈的电感就是非线性电感。

对于线性电感，当线圈中电流 i 、电压 u 的方向为关联方向时，根据电磁感应定律，有

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-15)$$

电感电压取决于电感电流的变化率，电感电流变化越快，电感电压越高；电感电流变化越慢，电感电压越低。对于直流电路，由于 i 为常数， $\frac{di}{dt} = 0$ ，所以 $u = 0$ ，即电感元件在直流电路中相当于短路。

(3) 电容元件 根据电容器在电路中的基本性能是储存电场能量的特征而抽象出电容元件这一理想化电路模型。电容元件简称为电容，电容元件的容量也称为电容，它们均用电容 C 来代表。在国际单位制 (SI) 中，电容的单位为法拉 (F)，法拉这一单位太大，工程上常用的单位有微法 (μF)、皮法 (pF)。它们间的关系是 $1\text{pF} = 10^{-6}\mu\text{F} = 10^{-12}\text{F}$ 。

由物理学可知电容定义为 $C = \frac{q}{u}$ ，电流为 $i = \frac{dq}{dt}$ ，当电容上的电流，电压为关联参考方向时，可得

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-16)$$

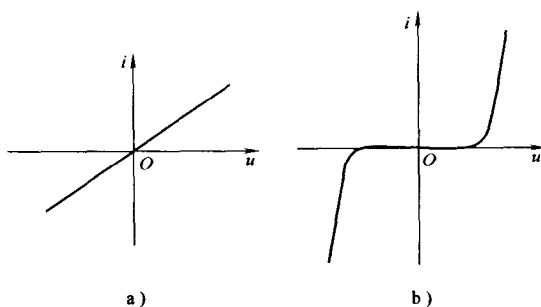


图 1-12 电阻元件伏安特性曲线

a) 线性电阻 b) 非线性电阻