

高等学校教材

# 电路与模拟电子技术

殷瑞祥 主编

高等教育出版社

高等学校教材

# 电路与模拟电子技术

殷瑞祥 主编

高等教育出版社

## 内容提要

电路与模拟电子技术是计算机类专业的一门理论性、实践性都比较强的技术基础课程,全书包括二个部分:电路理论基础和模拟电子技术基础,书中着重基本概念、基本原理和基本电路的分析与应用。例题和习题除围绕上述重点外,还注意思考性、启发性,使读者能增强分析问题和解决问题的能力。

为提高读者应用计算机辅助手段分析设计电子电路,专门安排了一章介绍 Electronics Workbench 进行电路分析和设计,同时为了配合理论教学,书中还安排一章实验内容,提供了12项电路与模拟电子技术实验。

本书兼顾了深度和广度,适合于计算机类专业及相关专业学科本、专科学生,也可作为各种成人教育的教材。本书对于相关工程技术人员也是一本实用的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电路与模拟电子技术/殷瑞祥主编. —北京:高等教育出版社,2004. 1

ISBN 7-04-013005-X

I. 电... II. 殷... III. ①电路理论-高等学校-教材②模拟电路-电子技术-高等学校-教材  
IV. ①TM13②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 100873 号

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-82028899		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京机工印刷厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	2004年1月第1版
印 张	25	印 次	2004年1月第1次印刷
字 数	470 000	定 价	28.60元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

# 前 言

本书是针对计算机类专业编写的电工电子基础教材,与电气电子类专业不同,对于计算机类专业学生既要比较熟练地掌握电工电子技术的方法和应用,又不要求作深入的研究;但也不同于一般非电类专业只要求了解电工电子技术的概念,它对分析与设计都有一定的要求,以便掌握计算机相关硬件知识和从事计算机接口电路的分析与设计,对于电机及其控制则一般不做要求。因此,计算机类专业在实施专业教学的过程中,既不能按照电类专业那样设置多门课程进行电工电子基础教学,又难以套用非电类专业采用电工学教材的模式开展教学。国内大多数高等学校计算机类专业培养计划的课程设置都是将电路基础和模拟电子技术合并设立一门课程,后续安排数字电路(部分学校对硬件要求不高的也可不设)和数字逻辑课程来完成电工电子基础教学,本书正是在这样的背景下为满足教学需要,在多年教学基础上整理编写的。

在内容组织上,考虑到后续课程的差异,我们单独设立一章介绍 A/D、D/A 转换,使模拟电子电路与数字电子电路能够衔接,对于不设立数字电路课程的专业,可在数字逻辑课程中简单介绍逻辑单元功能电路(逻辑门、触发器)。

随着电工电子技术的发展,各种计算机辅助分析、设计手段越来越完善,因此,我们除了介绍电子电路基本分析设计思路,还专门设一章介绍应用 EWB 进行电子电路分析与设计的方法。

本书 1~6 章为电路基础内容,主要介绍基本的电路理论和分析方法,着重在电路的分析方法阐述,7~11 章为模拟电子技术内容,从应用电路来组织内容,着重介绍应用电路的分析和设计,第 12 章介绍 EDA 技术,第 13 章安排了 12 个电路与模拟电子技术实验,由于各个学校实验室情况不同,因此,没有在实验中规定设备,以满足不同的需求。

在编写过程中,编者认真总结多年教学经验,学习参考了国内外同类和相关教材及著作。本教材以培养学生分析问题和解决问题能力,提高学生素质为目标,注重基本概念、基本原理、基本方法的论述,既能使学生掌握好基础,又能启发学生思考、开拓视野。文字叙述力求简明扼要,便于自学。

本书的编写大纲是在华南理工大学电工教研室全体教师集体讨论的基础上制订的,华南理工大学电工教研室的罗昭智老师、朱宁西老师、丘晓华老师、樊利民老师和张琳老师参与了教材的部分编写工作。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

殷瑞祥

2003年8月于广州

05	.....	念科前中效善	1.8.5
00	.....	效善科共味類中節國申	2.8.5
00	.....	類共味迎中節節節申, 類節申	3.8.5
11	.....	變效善節節節節申類	4.8.5
11	.....	類節節申效善	5.8.5
11	.....	類節節申大累	6.8.5
11	.....	類節節申	7.8.5
11	.....	類節節申	8.8.5
11	.....	類節節申	9.8.5
11	.....	類節節申	10.8.5
11	.....	類節節申	11.8.5
11	.....	類節節申	12.8.5
11	.....	類節節申	13.8.5
11	.....	類節節申	14.8.5
11	.....	類節節申	15.8.5
11	.....	類節節申	16.8.5
11	.....	類節節申	17.8.5
11	.....	類節節申	18.8.5
11	.....	類節節申	19.8.5
11	.....	類節節申	20.8.5
11	.....	類節節申	21.8.5
11	.....	類節節申	22.8.5
11	.....	類節節申	23.8.5
11	.....	類節節申	24.8.5
11	.....	類節節申	25.8.5
11	.....	類節節申	26.8.5
11	.....	類節節申	27.8.5
11	.....	類節節申	28.8.5
11	.....	類節節申	29.8.5
11	.....	類節節申	30.8.5
11	.....	類節節申	31.8.5
11	.....	類節節申	32.8.5
11	.....	類節節申	33.8.5
11	.....	類節節申	34.8.5
11	.....	類節節申	35.8.5
11	.....	類節節申	36.8.5
11	.....	類節節申	37.8.5
11	.....	類節節申	38.8.5
11	.....	類節節申	39.8.5
11	.....	類節節申	40.8.5
11	.....	類節節申	41.8.5
11	.....	類節節申	42.8.5
11	.....	類節節申	43.8.5
11	.....	類節節申	44.8.5
11	.....	類節節申	45.8.5
11	.....	類節節申	46.8.5
11	.....	類節節申	47.8.5
11	.....	類節節申	48.8.5
11	.....	類節節申	49.8.5
11	.....	類節節申	50.8.5
11	.....	類節節申	51.8.5
11	.....	類節節申	52.8.5
11	.....	類節節申	53.8.5
11	.....	類節節申	54.8.5
11	.....	類節節申	55.8.5
11	.....	類節節申	56.8.5
11	.....	類節節申	57.8.5
11	.....	類節節申	58.8.5
11	.....	類節節申	59.8.5
11	.....	類節節申	60.8.5
11	.....	類節節申	61.8.5
11	.....	類節節申	62.8.5
11	.....	類節節申	63.8.5
11	.....	類節節申	64.8.5
11	.....	類節節申	65.8.5
11	.....	類節節申	66.8.5
11	.....	類節節申	67.8.5
11	.....	類節節申	68.8.5
11	.....	類節節申	69.8.5
11	.....	類節節申	70.8.5
11	.....	類節節申	71.8.5
11	.....	類節節申	72.8.5
11	.....	類節節申	73.8.5
11	.....	類節節申	74.8.5
11	.....	類節節申	75.8.5
11	.....	類節節申	76.8.5
11	.....	類節節申	77.8.5
11	.....	類節節申	78.8.5
11	.....	類節節申	79.8.5
11	.....	類節節申	80.8.5
11	.....	類節節申	81.8.5
11	.....	類節節申	82.8.5
11	.....	類節節申	83.8.5
11	.....	類節節申	84.8.5
11	.....	類節節申	85.8.5
11	.....	類節節申	86.8.5
11	.....	類節節申	87.8.5
11	.....	類節節申	88.8.5
11	.....	類節節申	89.8.5
11	.....	類節節申	90.8.5
11	.....	類節節申	91.8.5
11	.....	類節節申	92.8.5
11	.....	類節節申	93.8.5
11	.....	類節節申	94.8.5
11	.....	類節節申	95.8.5
11	.....	類節節申	96.8.5
11	.....	類節節申	97.8.5
11	.....	類節節申	98.8.5
11	.....	類節節申	99.8.5
11	.....	類節節申	100.8.5

**第1章 电路的基本概念及电路元件** ..... 1

1.1 电路的组成及其作用 ..... 1

1.2 电路模型 ..... 2

1.3 电路的基本物理量 ..... 3

1.3.1 电流 ..... 3

1.3.2 电压、电位和电动势 ..... 4

1.3.3 功率和能量 ..... 5

1.4 电气设备的额定值 ..... 7

1.5 电路的工作状态 ..... 9

1.5.1 开路 ..... 9

1.5.2 短路 ..... 9

1.5.3 负载状态 ..... 10

1.6 无源电路元件 ..... 10

1.6.1 电阻元件 ..... 10

1.6.2 电容元件 ..... 11

1.6.3 电感元件 ..... 13

1.7 有源电路元件 ..... 15

1.7.1 理想电压源 ..... 15

1.7.2 理想电流源 ..... 15

1.7.3 实际电源的模型 ..... 16

1.8 电路中电位的概念 ..... 17

习题一 ..... 19

..... 8.8

**第2章 电路的基本定律和分析方法** ..... 21

2.1 基尔霍夫定律 ..... 21

2.1.1 基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's Current Law, KCL) ..... 22

2.1.2 基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff's Voltage Law, KVL) ..... 22

2.2 支路电流法 ..... 24

2.3 等效电路分析 ..... 26

2.3.1	等效电路的概念	26
2.3.2	电阻的串联和并联等效	27
2.3.3	电压源、电流源的串联和并联	31
2.3.4	实际电源模型的等效变换	34
2.3.5	等效电源定理	36
2.3.6	最大功率传输	41
2.4	叠加原理	43
2.5	结点电压法	46
2.6	含受控源电路的分析	49
2.6.1	受控源模型	49
2.6.2	含受控源电路的分析	50
	习题二	54
<b>第3章 正弦稳态电路</b> 61		
3.1	正弦量的基本概念	61
3.1.1	周期和频率	62
3.1.2	幅值和有效值	62
3.1.3	相位和相位差	64
3.2	正弦量的相量表示法及相量图	65
3.3	正弦稳态电路的相量模型	68
3.3.1	元件的相量模型	68
3.3.2	电路的相量模型	72
3.3.3	电路定律的相量形式	72
3.4	阻抗和导纳	73
3.5	阻抗的串联和并联	74
3.6	正弦稳态电路的分析	77
3.7	正弦稳态电路的功率及功率因数的提高	80
3.7.1	正弦稳态电路的功率	80
3.7.2	功率因数的提高	85
3.8	电路中的谐振	88
3.8.1	串联谐振	88
3.8.2	并联谐振	90
	习题三	93
<b>第4章 三相交流电路</b> 97		
4.1	三相交流电源	97

4.1.1	三相电动势的产生	97
4.1.2	三相电源	98
4.2	三相负载的星形联结	100
4.3	三相负载的三角形联结	105
4.4	三相负载的功率	108
4.5	安全用电	111
4.5.1	电流对人体的作用和伤害	111
4.5.2	触电方式和安全电压	112
4.5.3	接地和接零	112
	习题四	114
<b>第5章 非正弦周期交流电路</b> 118		
5.1	非正弦周期交流电路的分析方法	118
5.1.1	非正弦周期交流电路	118
5.1.2	非正弦周期电压、电流的谐波分解	119
5.1.3	非正弦周期交流电路的谐波分析方法	123
5.2	非正弦周期量的有效值和平均值	123
5.2.1	有效值	123
5.2.2	非正弦周期电流或电压的平均值	124
5.3	非正弦周期交流电路的计算	125
5.4	非正弦周期交流电路的功率	128
	习题五	130
<b>第6章 电路的暂态响应</b> 132		
6.1	换路定律与电压和电流初始值的确定	133
6.1.1	换路定律	133
6.1.2	初始值计算	133
6.2	RC 电路的暂态响应	137
6.2.1	RC 电路的零状态响应	138
6.2.2	RC 电路的零输入响应	140
6.2.3	RC 电路的全响应	142
6.3	RL 电路的暂态响应	144
6.3.1	RL 电路的零状态响应	144
6.3.2	RL 电路的零输入响应	146
6.3.3	RL 电路的全响应	147
6.4	一阶线性电路暂态过程的三要素分析法	149

MSS54/08



6.5	矩形脉冲作用于一阶电路	152
6.5.1	微分电路	154
6.5.2	积分电路	156
6.5.3	耦合电路	157
6.6	$RLC$ 串联电路的零输入响应	158
	习题六	163
<b>第7章 直流电源电路</b>		167
7.1	半导体二极管	168
7.1.1	PN 结及其单向导电性	168
7.1.2	半导体二极管的基本结构	171
7.1.3	半导体二极管的伏安特性及主要参数	172
7.2	整流电路	176
7.2.1	单相半波整流电路	176
7.2.2	单相桥式整流电路	177
7.2.3	三相桥式整流电路	179
7.3	电源滤波电路	181
7.3.1	电容滤波电路	181
7.3.2	电感滤波电路	184
7.3.3	电感电容( $LC$ )和电阻电容( $RC$ )滤波电路	185
7.3.4	$\pi$ 形滤波电路	186
7.4	稳压二极管	187
7.5	稳压电路	188
7.5.1	稳压管稳压电路	189
7.5.2	串联型稳压电路	192
7.5.3	集成稳压电路	193
7.5.4	开关型稳压电路	194
	习题七	197
<b>第8章 基本放大电路</b>		200
8.1	双极型晶体三极管	200
8.1.1	双极型晶体三极管基本结构	200
8.1.2	晶体管电流分配及放大原理	201
8.1.3	晶体管的特性曲线	203
8.1.4	晶体管主要参数	205
8.2	晶体管放大电路	207

8.2.1	晶体管放大电路的组成和工作原理	208
8.2.2	放大电路的基本分析方法	211
8.2.3	静态工作点稳定电路	223
8.2.4	射极输出器	230
8.3	多级放大电路	234
8.3.1	阻容耦合放大电路	234
8.3.2	直接耦合放大电路	240
8.4	放大电路中的负反馈	243
8.4.1	什么是放大电路中的负反馈	243
8.4.2	负反馈的类型及判别	244
8.4.3	负反馈对放大电路工作性能的影响	252
8.5	功率放大电路	256
8.5.1	功率放大电路的特点	256
8.5.2	互补对称功率放大电路	258
8.6	场效应晶体管	262
8.6.1	绝缘栅场效应管	263
8.6.2	结型场效应管(JEFT)	267
8.6.3	场效应管的主要参数	270
8.7	场效应管放大电路	272
8.7.1	场效应管放大电路静态工作点的设置及分析	272
8.7.2	场效应管放大电路的动态分析	274
8.7.3	场效应管放大与双极型晶体管放大的比较	279
	习题八	279
<b>第9章 集成运算放大器及其应用</b>		<b>286</b>
9.1	集成运算放大器简介	286
9.1.1	集成运算放大器的组成、特点以及图形符号	287
9.1.2	集成运算放大器的电压传输特性和等效电路模型	288
9.1.3	运算放大器的电路分析方法	289
9.1.4	常用的集成运算放大器及其主要参数	290
9.2	模拟信号的运算电路	292
9.2.1	比例运算电路	293
9.2.2	加法、减法运算电路	295
9.2.3	微分、积分运算电路	298
9.3	信号处理电路	302
9.3.1	比较器	302
9.3.2	取样保持电路	305

80	习题九 .....	306
<b>第10章</b>	<b>信号的产生 .....</b>	<b>312</b>
10.1	正弦波振荡电路 .....	313
10.1.1	正弦波振荡电路的基本原理 .....	313
10.1.2	LC 振荡电路 .....	315
10.1.3	RC 振荡电路 .....	320
10.2	矩形波(方波)发生器 .....	323
10.3	三角波和锯齿波发生器 .....	325
	习题十 .....	326
<b>第11章</b>	<b>模拟量和数字量的转换 .....</b>	<b>330</b>
11.1	数模(D/A)转换器 .....	330
11.1.1	T形电阻网络 D/A 转换器 .....	330
11.1.2	D/A 转换器的主要技术指标 .....	334
11.1.3	集成 D/A 转换器 CDA7520 .....	335
11.2	模数(A/D)转换器 .....	336
11.2.1	逐次逼近型 A/D 转换器 .....	336
11.2.2	双积分型 A/D 转换器 .....	339
11.2.3	A/D 转换器的主要技术指标 .....	340
11.2.4	集成 A/D 转换器 ADC0809 .....	341
	习题十一 .....	342
<b>第12章</b>	<b>应用 EWB 进行电子电路分析设计 .....</b>	<b>344</b>
12.1	Multisim 的操作界面 .....	344
12.2	利用 Multisim 进行电路仿真分析 .....	345
12.3	直流工作点分析(DC Operating Point Analysis) .....	347
12.4	交流分析(AC Analysis) .....	348
12.5	瞬态分析(Transient Analysis) .....	349
12.6	直流扫描分析(DC Sweep Analysis) .....	351
12.7	DC 和 AC 灵敏度分析(Sensitivity Analysis) .....	352
12.8	参数扫描分析(Parameter Sweep Analysis) .....	353
12.9	分析举例 .....	355
<b>第13章</b>	<b>实验 .....</b>	<b>363</b>

---

13.1	感性负载电路及功率因数的提高 .....	363
13.2	三相电路 .....	364
13.3	$RC$ 一阶电路暂态过程研究 .....	366
13.4	$RLC$ 电路的频率特性 .....	370
13.5	硅稳压管稳压电源 .....	373
13.6	低频单管电压放大器 .....	375
13.7	多级放大电路设计 .....	377
13.8	低频功率放大电路的测试 .....	378
13.9	场效应管放大电路设计 .....	381
13.10	集成运算放大器线性应用电路设计 .....	381
13.11	$RC$ 振荡器电路设计 .....	383
13.12	方波三角波信号产生电路设计 .....	384
<b>参考文献</b> .....		<b>387</b>

# 第1章

## 电路的基本概念及电路元件

类一 本章在物理学的基础上,主要介绍电路模型的概念、电路中的基本物理量及其参考方向和电路的工作状态,还将介绍无源电路元件、有源电路元件及其特性。这些内容都是今后分析和计算电路的基础。

### 1.1 电路的组成及其作用

在工作和日常生活中常常会遇到各式各样的电路,这些电路都是为完成某种预期的目的而设计、安装的。所谓电路就是按所要完成的功能,将一些电气设备或元器件按一定方式连接而成,以备电流流过的通路。若工作时电路中电流的大小和方向不随时间变化,则称为直流电路;若电路中的电流是随时间按正弦规律变化的交流电流时,则称为正弦交流电路。

图 1-1-1 是一个手电筒电路示意图,电池是整个电路的电源,它发出电能(将化学能转换成电能);电珠是负载,它消耗电能(将电能转换成光能和热能);电源和负载由导线和开关连接成一个闭合回路。

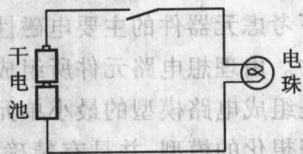


图 1-1-2 是一个扩音机的电路示意图,该电路实现了信号的传递和处理。首先话筒把声音转换成相应的电压和电流,即电信号,然后通过电路传递到扬声器,最后由扬声器将电信号还原成为声音。由于话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发声,因此中间还需要用放大器来放大。在此例中,话筒是输出信号的设备,称为信号源,相当于电源,但它与电池、发电机等电源不同,信号源输出的电信号(电压或电流)的变化规律取决于所加的信息(如此例中的声音)。

电路的种类很多,但无论电路的复杂程度如何,它都由三大部分组成:



1. 电源(或信号源):电源是将其他形式的能量

图 1-1-2 扩音机示意图

转换成电能的电气设备。例如把化学能转换成电能的电池、把机械能转换成电能的发电机、将声音转换成电信号的话筒等。

2. 负载:负载是将电能转换成其他形式能量的电气设备。如将电能转换成光能的白炽灯,将电能转换成声能的扬声器,将电能转换成机械能的电动机等。

3. 中间环节:中间环节是连接电源(或信号源)和负载的元件。例如导线、开关、熔断器等。

实际电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,但按其功能可以分为两大类:一类是进行电能的传输和转换(如电力系统,手电筒电路等);另一类是进行信号的传递和处理(如扩音机电路,收音机,电视机等)。

## 1.2 电路模型

实际电路都是由一些起不同作用的实际电路元件或器件组成的,如电池、灯泡、发电机、变压器、话筒、扬声器等,这些实际元器件的电磁性能较为复杂。例如白炽灯,它除了具有消耗电能的性质(电阻性)外,当电流通过时也会产生磁场,即它具有电感性。但由于它的电感很微小,可以忽略不计,所以可将白炽灯看作是一个纯电阻性的元件。

上述实际电路的示意图画出了组成电路的元器件的实物。为了便于对实际电路进行分析计算,可将实际电路元件理想化(或称为模型化),即在一定条件下考虑元器件的主要电磁性能,而忽略其次要因素,把它近似地看作理想电路元件。由理想电路元件所组成的电路,就是实际电路的电路模型。理想电路元件是组成电路模型的最小单元,是具有某种确定的电磁性质的假想元件,它是一种理想化的模型,并具有精确的数学定义。基本的理想电路元件有五种:电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源。

图1-2-1所示为手电筒电路的电路模型。在该图中,电阻元件 $R$ 是电珠的电路模型,电压源 $U_s$ 和电阻 $R_0$ (称为电源的内阻)串联作为干电池的模式,连接导线(包括开关)均用理想导线表示,其电阻忽略不计。

本书所讨论的电路均不是实际电路,而是它们的电路模型。今后本书所说电路一般均指由理想电路元件构成的电路模型,并将理想电路元件简称为电路元件。在电路图中,各电路元件用规定的图形符号表示。

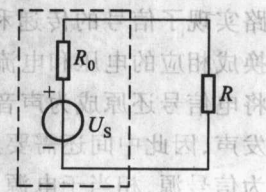


图1-2-1 手电筒电路的电路模型

## 1.3 电路的基本物理量

### 1.3.1 电流

电流是由电荷(带电粒子)有规则的定向运动而形成的,在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。

设在时间  $dt$  内通过导体横截面  $s$  的电荷量为  $dq$ ,则电流  $i$  为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-3-1)$$

如果电流不随时间变化,即  $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$ ,则这种电流称为直流电流。直流电流用大写字母  $I$  表示,则上式可以写为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-3-2)$$

式中  $q$  是时间  $t$  内流过导体横截面  $S$  的电荷量。

本书以后均用大写字母表示恒定不变的直流量,用小写字母表示随时间变化的交流量。

习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向(即实际方向)。电流的方向是客观存在的,当一个电路的元件参数和电路结构确定以后,流过各元件的电流大小和方向也就确定了。但在电路分析中,尤其是复杂电路的分析中,我们事先往往很难判断某支路中电流的实际方向,而且电流的方向还可能是随时间变化的(在交流电路中)。为了分析与计算方便,可任意选择一个方向作为电流的正方向,称为参考方向,且所选参考方向并不一定与实际方向相同。当电流的实际方向与其参考方向相同时,则电流为正值;反之,当电流的实际方向与参考方向相反时,则电流为负值。因此,只有在选定了参考方向以后,电流的值才有正负之分。

图 1-3-1 所示为一个电路的一部分,流过电阻  $R$  的电流为  $I$ ,其实际方向是由  $a$  到  $b$ (如虚线箭头所示)。在图 1-3-1a 中,我们指定参考方向为由  $a$  到  $b$ (如箭头所示),由于参考方向与实际方向相同,所以  $I > 0$ 。在图 1-3-1b 中,选择电流参考方向为由  $b$  到  $a$ (如箭头所示),由于此时参考方向与实际方向相反,所以  $I < 0$ 。

电流的参考方向可以任意指定,一般用箭头表示,也可以用双下标表示,例如  $I_{ab}$  表示参考方向是由  $a$  指向  $b$ 。

在国际单位制(SI)中,电流的单位是安培(A)。在计量小电流时,常以毫安

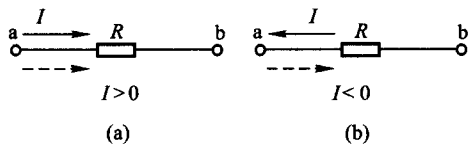


图 1-3-1 电流的参考方向

(mA)或微安( $\mu\text{A}$ )为单位,各单位间的关系为:

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

### 1.3.2 电压、电位和电动势

#### 1. 电压与电位

某点的电位(或称电势)是单位正电荷在该点所具有的电位能,它在数值上等于电场力将单位正电荷沿任意路径从该点移动到参考点所作的功。如 a 点的电位记作  $V_a$ 。

两点间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从起点移到终点所做的功,也就是两点之间的电位差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3-3)$$

式中  $V_a$  为 a 点的电位,  $V_b$  为 b 点的电位,  $U_{ab}$  为 a、b 间的电压。

电压的方向(极性)规定为从高电位点指向低电位点,即电位降的方向。和电流类似,在比较复杂的电路中,两点间电压的实际方向往往很难预测,所以我们事先选择一个参考方向(参考极性)。若参考方向与实际方向相同,则电压为正;若参考方向与实际方向相反,则电压为负。电压的参考方向可以用“箭头”或“双下标”表示。

电路中同一元件的电压和电流都存在设定参考方向的问题,为了分析的方便,常取一致的参考方向,称为关联参考方向。在同一元件上,电流的参考方向从电压参考极性的“+”极指向“-”极。这样,在一个元件上只要设定一个参考方向(电压或电流),另一个就自然确定了,今后如果未加特别声明,都将采用关联的参考方向。

电路中任意一点的电位,就是该点与参考点之间的电压,这就是电压与电位两者之间的联系,它们本质上都是功和能的概念。但电位与电压又是有区别的:电位特别强调参考点的选择,并规定参考点的电位为零,电路中某点的电位会因所选参考点不同而不同;而电压却与参考点的选择无关。

**例 1-3-1** 如图 1-3-2 所示,已知:  $U_{S1} = 3 \text{ V}$ ,  $U_{S2} = 6 \text{ V}$

在下列两种情况下求各点电位以及  $U_{ab}$  和  $U_{bc}$ :

(1) 取 a 为参考点;

(2) 取 b 为参考点。



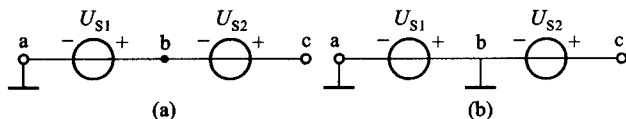


图 1-3-2

解:(1) 取 a 为参考点,如图 1-3-2a,可得:

$$V_a = 0, V_b = U_{S1} = 3 \text{ V}, V_c = U_{S1} + U_{S2} = (3 + 6) \text{ V} = 9 \text{ V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = (0 - 3) \text{ V} = -3 \text{ V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = (3 - 9) \text{ V} = -6 \text{ V}$$

(2) 取 b 为参考点,如图 1-3-2b,得:

$$V_a = -U_{S1} = -3 \text{ V}, V_b = 0, V_c = U_{S2} = 6 \text{ V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = (-3 - 0) \text{ V} = -3 \text{ V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = (0 - 6) \text{ V} = -6 \text{ V}$$

由此可见,电位与参考点的选取有关,参考点不同,各点电位不同;而电压与参考点的选取无关,参考点不同,两点之间的电压不变,但电压的参考方向不同,则符号不同。

原则上参考点可以任意选取,但在电工技术中,通常选大地为参考点,在电路中用符号“ $\perp$ ”表示;在电子技术中则选公共点或机壳作为参考点,电路中用符号“ $\perp$ ”表示。

## 2. 电动势

电动势表征电源中外力(非电场力)做功的能力,其值等于外力克服电场力把单位正电荷从负极移动到正极所作的功,其方向从负极指向正极,即电位升的方向。电动势用  $E$ (或  $e$ ) 表示,如图 1-3-3 所示,  $U_{ab} = E$ 。与电压、电流一样,也要事先规定电动势的参考方向。

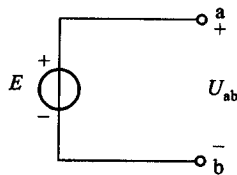


图 1-3-3 电动势

在国际单位制(SI)中,电压、电位和电动势的单位均为伏特(V)。

### 1.3.3 功率和能量

从  $t_0$  到  $t_1$  这段时间内,某元件吸收的电功可从电压的定义中求得:

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t_1)} u \cdot dq$$

因为  $i = \frac{dq}{dt}$ ,所以,在关联参考方向下

$$W = \int_0^1 ui \cdot dt \quad (1-3-4)$$