

教育部 高职高专 规划教材  
高职高专 计算机系列 规划教材



# 电路与 模拟电子技术 (第2版)

李源生 李艳新 孙英伟 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

教育部高职高专规划教材

高职高专计算机系列规划教材

# 电路与模拟电子技术(第2版)

李源生 李艳新 孙英伟 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书内容包括:电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相交流电路、电路的暂态分析、半导体器件、基本放大电路、负反馈放大器与集成运算放大器、直流稳压电源、晶闸管及其应用等。在技能训练及应用实践章节中,重点介绍了常用仪器仪表的使用,元器件的识别、检测及选用,基本定理的验证和学生感兴趣的实用电路设计、安装调试和电子线路的简易制作工艺等。另外还附有:常用元件的识别与检测及万用表的使用, YB4320/20/40/60 示波器面板控制键作用说明,电子电路设计自动化软件 EWB 的应用。

本书适用于高职高专计算机、信息、通信、电子等各专业,也可供成人教育、职业技术培训等选用及有关工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路与模拟电子技术/李源生,李艳新,孙英伟编著.—2版.—北京:电子工业出版社,2007.9

教育部高职高专规划教材·高职高专计算机系列规划教材

ISBN 978-7-121-03397-6

I. 电… II. ①李…②李…③孙… III. ①电路理论—高等学校;技术学校—教材②模拟电路—电子技术—高等学校;技术学校—教材 IV. ①TM13②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 131465 号

责任编辑:吕 迈(lumai@phei.com.cn)

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:403 千字

印 次:2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:22.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

《电路与模拟电子技术》课程是高职高专计算机、信息、通信、电子等专业必修的,实践性较强的一门专业技术基础课。学习本课程的任务是使学生掌握电路基础知识和模拟电子技术的基本理论及分析方法。为学习“数字电子技术”、“计算机组成原理与应用”、“接口技术”等后续课程打下必要的基础,并培养一定的实践操作技能。

根据高职高专的培养规格,以理论上为后续课打基础够用为度。注重技能训练和应用实践,书中选入了大量常见的、学生感兴趣的、并且是便于师生制作的实用电路,可供教学演示和学生动手实践,这也是本书突出高职高专教育特色的最大特点。

本书在编写内容及章节安排上,突出高职高专“够用和实用”的教改方向,去掉或避开了通常繁琐的理论推导过程。如在第3章单相正弦交流电路中突出了利用“三个三角形”的分析方法;在第5章电路的暂态分析中,去掉了复杂的数学推导过程,突出了“三要素”法。在模拟电子技术部分根据现代电子技术的发展,侧重了集成电路器件的应用,并增加了第10章晶闸管及其应用。在第11章技能训练及应用实践中安排了与教学进度及教学内容相对应的元器件识别与测试和实用电路的安装,检测和调试等。

全书共11章,内容包括:电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相交流电路、电路的暂态分析、半导体器件、基本放大电路、负反馈放大器与集成运算放大器、直流稳压电源、晶闸管及其应用、技能训练及应用实践。每章末有小结和习题便于自学。另外还附有:常用元件的识别与检测及万用表的使用,YB4320/20/40/60示波器面板控制键作用说明,电子电路设计自动化软件EWB的应用。总课时为80学时左右。

本书由辽宁省交通高等专科学校李源生教授编写第1~3章,并负责全书的组织、统编与审阅;孙英伟编写第11章的11.1~11.7节及附录A、B;吉林省辽源职业技术学院李艳新编写第4~10章、第11章的11.8~11.15节及附录C,并制作本书的电子课件。

本书大纲由中国计算机学会高职高专教育学组审定。高职高专计算机教材编审委员会成员俞光昫、刘乃琦、文庭秋、田绍槐、朱乃立、骆耀祖、乔维声、俞泳薇、佟伟光、庄燕滨、陈书谦、程刚、崔剑波、刘甫迎、刘湘涛、徐建民、彭其美、宋汉珍等老师给予了指导与帮助,在此对所有关心、支持本书编写和出版的老师表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中有不妥和错误之处恳请读者给予批评指正。

编 者  
2006年8月

# 目 录

<b>第 1 章 电路的基本概念和基本定律</b> .....	1
1.1 电路 .....	1
1.1.1 电路的作用 .....	1
1.1.2 电路的组成 .....	1
1.1.3 电路模型 .....	1
1.2 电流、电压、功率 .....	2
1.2.1 电流 .....	2
1.2.2 电压 .....	2
1.2.3 功率 .....	3
1.3 欧姆定律 .....	4
1.4 电路的三种状态 .....	6
1.4.1 开路状态 .....	6
1.4.2 有载状态 .....	6
1.4.3 短路状态 .....	7
1.5 基尔霍夫定律 .....	7
1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL) .....	8
1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL) .....	8
本章小结 .....	9
习题 .....	9
<b>第 2 章 电路的分析方法</b> .....	12
2.1 电阻的串、并联 .....	12
2.1.1 电阻的串联 .....	12
2.1.2 电阻的并联 .....	12
2.2 支路电流法 .....	15
2.3 叠加原理 .....	16
2.4 戴维南定理 .....	16
本章小结 .....	17
习题 .....	18
<b>第 3 章 单相正弦交流电路</b> .....	20
3.1 交流电的三要素 .....	20
3.1.1 幅值 .....	20
3.1.2 频率 .....	21
3.1.3 初相 .....	21
3.2 交流电的相量表示法 .....	21
3.2.1 复数的两种表示形式 .....	21

3.2.2	相量与复数 .....	22
3.2.3	相量的运算 .....	22
3.3	单一参数的交流电路 .....	23
3.3.1	电阻电路 .....	23
3.3.2	电感电路 .....	24
3.3.3	电容电路 .....	26
3.4	电阻、电感、电容串联的电路 .....	27
3.4.1	电压三角形 .....	27
3.4.2	阻抗三角形 .....	28
3.4.3	功率三角形 .....	28
3.5	功率因数的提高 .....	29
3.6	电路中的谐振 .....	30
3.6.1	串联谐振 .....	31
3.6.2	并联谐振 .....	32
	本章小结 .....	33
	习题 .....	33
<b>第4章</b>	<b>三相交流电路</b> .....	<b>35</b>
4.1	三相交流电源 .....	35
4.2	三相交流负载 .....	36
4.2.1	负载的Y形连接 .....	36
4.2.2	负载的 $\Delta$ 形连接 .....	37
4.2.3	三相功率 .....	37
4.3	安全用电 .....	39
4.3.1	触电事故 .....	39
4.3.2	安全用电措施 .....	40
	本章小结 .....	41
	习题 .....	41
<b>第5章</b>	<b>电路的暂态分析</b> .....	<b>42</b>
5.1	换路定则 .....	42
5.2	暂态分析的三要素法 .....	42
5.2.1	初始值 $f(0_+)$ .....	42
5.2.2	稳态值 $f(\infty)$ .....	43
5.2.3	时间常数 $\tau$ .....	44
5.2.4	求任一量 $f(t)$ .....	45
5.3	微分电路与积分电路 .....	46
5.3.1	微分电路 .....	46
5.3.2	积分电路 .....	47
	本章小结 .....	47
	习题 .....	48

<b>第 6 章 半导体器件</b>	49
6.1 半导体	49
6.1.1 半导体的三个特性	49
6.1.2 PN 结	50
6.2 半导体二极管	51
6.2.1 结构和分类	51
6.2.2 伏安特性和主要参数	52
6.2.3 二极管的应用	53
6.2.4 特殊二极管	55
6.3 三极管	56
6.3.1 三极管的结构和分类	56
6.3.2 电流分配和放大作用	57
6.3.3 伏安特性和主要参数	58
6.4 场效应管	60
6.4.1 绝缘栅型场效应管的结构和符号	61
6.4.2 场效应管的伏安特性和主要参数	61
6.4.3 结型场效应管	63
6.4.4 场效应管与三极管的比较	64
本章小结	64
习题	65
<b>第 7 章 基本放大电路</b>	67
7.1 共发射极放大电路	67
7.1.1 元件作用及工作原理	67
7.1.2 静态分析	69
7.1.3 动态分析	71
7.1.4 稳定工作点的电路	75
7.2 其他放大电路	80
7.2.1 共集电极放大电路	80
7.2.2 共基极放大电路	82
7.2.3 多级放大电路	83
7.2.4 场效应管放大电路	85
7.3 功率放大电路	89
7.3.1 互补对称功率放大电路	90
7.3.2 集成率放大器	95
本章小结	100
习题	101
<b>第 8 章 负反馈放大器与集成运算放大器</b>	105
8.1 负反馈放大器	105
8.1.1 反馈的基本概念	105
8.1.2 负反馈放大器的分析方法	106

8.1.3	负反馈的四种组态 .....	107
8.1.4	负反馈对放大器性能的影响 .....	108
8.2	差分放大器 .....	109
8.2.1	基本差分放大器 .....	109
8.2.2	带恒流源的差分放大器 .....	113
8.2.3	差分放大器的输入/输出方式 .....	115
8.3	集成运算放大电路 .....	117
8.3.1	集成运算放大器的理想化条件 .....	117
8.3.2	基本运算电路 .....	118
8.3.3	信号测量电路 .....	123
8.3.4	信号处理电路 .....	127
8.3.5	波形产生电路 .....	132
8.3.6	集成运放使用中的问题 .....	137
	本章小结 .....	140
	习题 .....	141
<b>第9章</b>	<b>直流稳压电源</b> .....	<b>146</b>
9.1	整流和滤波电路 .....	146
9.1.1	整流电路 .....	146
9.1.2	滤波电路 .....	148
9.2	稳压电路 .....	149
9.2.1	并联型稳压电路 .....	150
9.2.2	串联型稳压电路 .....	151
9.2.3	三端集成稳压器 .....	153
9.3	开关稳压电路 .....	158
9.3.1	开关稳压电路的工作原理 .....	159
9.3.2	开关电源电路分析 .....	160
	本章小结 .....	164
	习题 .....	164
<b>第10章</b>	<b>晶闸管及其应用</b> .....	<b>166</b>
10.1	晶闸管 .....	166
10.1.1	晶闸管结构及其特性 .....	166
10.1.2	晶闸管的主要参数 .....	168
10.2	晶闸管的应用 .....	169
10.2.1	晶闸管交直流开关 .....	169
10.2.2	触发电路 .....	170
	本章小结 .....	172
	习题 .....	172
<b>第11章</b>	<b>技能训练及应用实践</b> .....	<b>173</b>
11.1	电阻、电容的识别与检测及万用表的使用 .....	173
11.2	基尔霍夫定律和叠加定理的验证 .....	175



11.3	戴维南定理的验证	176
11.4	日光灯照明电路及功率因数的提高	178
11.5	常用电子仪器的使用	181
11.6	二极管的识别与检测及基本应用电路测试	183
11.7	三极管的识别和检测	186
11.8	分压式偏置共发射极放大电路的安装与测试	187
11.9	共源极场效应管放大电路的安装与测试	190
11.10	LM386 集成功放应用实践	191
11.11	TDA2030 集成功放应用实践	193
11.12	基本运算电路的应用与测试	195
11.13	集成运放波形产生电路的应用实践	196
11.14	整流、滤波电路的测试与应用实践	197
11.15	稳压电路的测试与应用实践	199
11.16	三端集成稳压器的应用实践	201
	本章小结	202
<b>附录 A</b>	<b>常用元件的识别与检测及万用表的使用</b>	<b>204</b>
A1	电阻器的简单识别与测试	204
A2	电容器的简单识别与测试	207
A3	电感器的简单识别与测试	209
A4	万用表的正确使用	210
A5	二极管的识别与检测	211
A6	三极管的识别与简单测试	213
<b>附录 B</b>	<b>YB4320/20A/40/60 示波器面板控制键作用说明</b>	<b>216</b>
<b>附录 C</b>	<b>电子电路设计自动化软件 EWB 的应用</b>	<b>219</b>
C1	EWB 的特点及功能	219
C2	基本操作	220
C3	虚拟仪器仪表的使用	227
C4	子电路的生成与使用	232
C5	帮助功能图标的使用	232
C6	电路的元器件库	232
C7	EWB5 的菜单命令	236
	<b>参考文献</b>	<b>240</b>

# 第 1 章 电路的基本概念和基本定律

电路是学习电子技术的基础。

本章主要介绍电路中的三个基本物理量,电路的三种状态,电路分析的三个基本定律及电路中电位的概念。

## 1.1 电路

电路是电流流通的路径。

### 1.1.1 电路的作用

电路的作用是进行电能的传输和转换,或者实现信号的传递和处理。如照明电路是将电能转换成光能,电饭锅电路是将电能转换成热能,电风扇、洗衣机电路是将电能转换成动能,电视机电路是将电能及电信号转换、处理为图像和声音。

### 1.1.2 电路的组成

电路是由某些电气设备和元器件按一定方式连接组成的。无论怎样简单或复杂的电路,都可分成电源、负载和中间环节三个部分,如图 1.1 所示。

电源是提供电能的设备,是电路工作的能源。电源的作用是将非电能转换成电能,如各种发电机和电池等。

负载是用电设备,是电路中的主要耗电器件。负载的作用是将电能转换成非电能,如民用供电电路中的照明灯、电饭锅、洗衣机、冰箱、空调、电视机,工厂中的电动机等。

中间环节是指电源与负载之间的部分。简单照明电路的中间环节只有连线和开关;而较复杂的电视机电路,其中间环节有信号的接收、传递和处理电路等。



图 1.1 电路组成框图

### 1.1.3 电路模型

为了便于对实际电路进行分析计算,忽略电路元器件的次要因素,将其理想化,并用规定的电气图形符号表示所组成的电路,称为电路模型。图 1.2 是手电筒的电路模型。

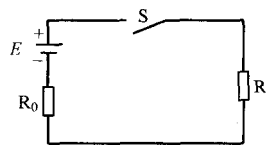


图 1.2 手电筒的电路模型

在图 1.2 中,手电筒的电源是电池,用电动势  $E$  和内阻  $R_0$  表示;负载是小电珠,用  $R$  表示;中间环节为筒体和开关,用连线和  $S$  来表示。忽略了筒体连线和开关的电阻、电珠的电感、电池的电容等次要因素。后续课中所介绍的都是指电路模型,简称电路。

## 1.2 电流、电压、功率

### 1.2.1 电流

电荷的定向运动形成电流。如果电流的方向不随时间变化,称为直流;如果电流的方向和大小都不随时间变化,称为恒定的直流。直流电流用大写字母  $I$  表示。如果电流的方向和大小都随时间变化,称为交流,用小写字母  $i$  表示。

电流的单位为安培,简称安,用字母 A 表示,常用的单位还有毫安(mA),微安( $\mu\text{A}$ )及千安(kA)。

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

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。当知道负电荷或电子运动的方向时,其电流的实际方向是负电荷或电子运动方向的反方向,如图 1.3 所示。

在电路的分析计算中,一般要考虑电流的流向,如果不能判断出某一元件上电流的实际方向时,可以先任意假设其电流的流向,这个假设的电流流向称为电流的参考方向。当分析计算的结果为正值时,说明电流的实际方向与参考方向一致;分析计算的结果为负值时,说明电流的实际方向与参考方向相反。根据计算结果的正负和参考方向就能确定出电流的实际方向,如图 1.4 所示。

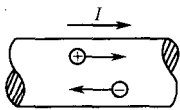


图 1.3 电流的实际方向

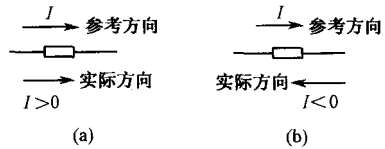


图 1.4 电流的方向

### 1.2.2 电压

#### 1. 电压

电场力将单位正电荷从电场中的  $a$  点移到  $b$  点所做的功,称其为  $a, b$  两点间的电压。直流电压用  $U_{ab}$  表示,交流电压用  $u_{ab}$  表示。电压的单位为伏特,简称伏,用字母 V 表示。

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

习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向,可用字母的双下标表示,也可用 +、- 号或箭头表示,如图 1.5 所示。

一个元件两端的电压实际方向和电压参考方向的关系与电流相似,如图 1.6 所示。

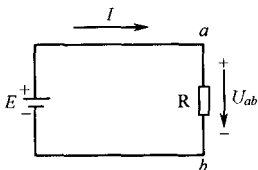


图 1.5 电压的实际方向及三种表示形式

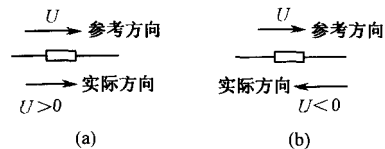


图 1.6 电压的方向

## 2. 电压与电位

电压的实际方向是电位降低的方向,电压等于电路中两点间的电位差。如电路中  $a$  点的电位为  $U_a$ ,  $b$  点的电位为  $U_b$ , 电压  $U_{ab} = U_a - U_b$ 。

电位是电路分析中的重要概念,在电子线路的分析中经常用到。所谓电位,就是电路中某点到参考点之间的电压,称为该点的电位。参考点是为了分析方便,在电路中任意选择的一点,用符号“ $\perp$ ”表示,参考点的电位值为零,称为零电位点,又称为“接地”点,但并非真的与大地相连。参考点选择的不同,各点的电位值就不同,电位是一个相对量。电位的单位与电压相同,也是伏。图 1.7 为参考点的表示方法。

图 1.7 中选取  $b$  点为参考点,  $U_b = 0$ ,  $U_{ab} = U_a - U_b = U_a$ 。

## 3. 电动势

电动势是电源力将单位正电荷从低电位点  $b$  移动到高电位点  $a$  所做的功。如收录机中常用的电池就是靠化学力将正电荷从电源的负极移动到正极,形成电动势。电动势用字母  $E$  表示,电动势的方向是从低电位(电源负极)指向高电位(电源正极)。因为电压的方向是从高电位指向低电位的,所以电动势两端电压的方向与电动势的方向相反,如图 1.8 所示。

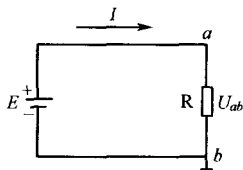


图 1.7 参考点的表示方法

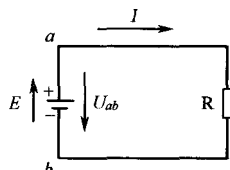


图 1.8 电动势

电动势两端的电压值等于电动势的值,在图 1.8 中,  $U_{ab} = E$ 。电动势的单位也是伏。电压、电位、电动势的单位相同,都是伏(V)。

### 1.2.3 功率

电场力在单位时间内所做的功,称为电功率,简称功率。功率的单位是瓦特,简称瓦,用字母  $W$  表示。

如果在一个元件上电流和电压的参考方向一致,称为关联参考方向,如图 1.9(a)所示。关联时,功率的计算公式为

$$P = UI \quad (1.1)$$

如果在一个元件上电流和电压的参考方向不一致,称为非关联参考方向,如图 1.9(b)所示。非关联时,功率的计算公式为

$$P = -UI \quad (1.2)$$

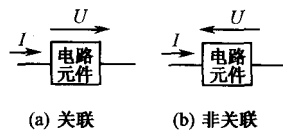


图 1.9 关联与非关联示意图

如果功率的计算结果为正值  $P > 0$ , 这个元件在电路中吸收功率(消耗功率),称为负载。如果功率的计算结果为负值  $P < 0$ , 这个元件在电路中是发出功率(产生功率),称为电源。

**【例 1.1】** 有一个收录机供电电路,如图 1.10 所示。用万用表测出收录机的供电电流为  $80\text{mA}$ ;供电电源为  $3\text{V}$ ;如果忽略电源的内阻,问收录机和电源的功率各是多少?根据计算结果说明是发出功率还是吸收功率?

**解:** 收录机的电流与电压的参考方向是关联参考方向,所以用公式

$$P = UI = 3\text{V} \times 80\text{mA} = 240\text{mW} = 0.24\text{W}$$

结果为正,说明收录机是吸收功率。

电池的电流参考方向与电动势两端的电压参考方向相反,是非关联参考方向,所以用公式

$$P = -UI = -3\text{V} \times 80\text{mA} = -0.24\text{W}$$

结果为负,说明电池是发出功率。

**【例 1.2】** 如果例 1.1 题中的电池已经降为 2V,现将收录机换为充电器,电路如图 1.11 所示。充电电流为  $-150\text{mA}$ ,问此时电池的功率为多少,是吸收功率还是发出功率? 充电器的功率为多少,是吸收功率还是发出功率?

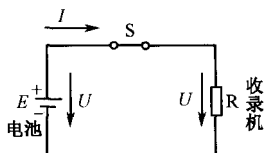


图 1.10

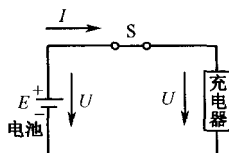


图 1.11

**解:** 电池的电流与电压的参考方向是非关联的,用公式

$$P = -UI = -2\text{V} \times (-150\text{mA}) = 300\text{mW} = 0.3\text{W}$$

结果为正,是吸收功率,这时电池是充电器的负载。

充电器的电流与电压的参考方向是关联的,用公式

$$P = UI = 2\text{V} \times (-150\text{mA}) = -0.3\text{W}$$

结果为负,是发出功率,说明充电器是这个电路中的电源。

由以上两例可知,电源发出的功率等于负载消耗的功率,在一个电路中功率的代数和为零,符合功率平衡关系。

另外,在工厂或家庭用电计量时,通常说电表走了多少个字,也就是说用了多少度电。规定:1 千瓦的用电设备使用 1 小时所消耗的电量为 1 度电。

$$1\text{kW} \times 1\text{h} = 1 \text{度电} \quad (1.3)$$

**【例 1.3】** 家有一个电饭锅,额定功率为 750W,每天使用 2h;一台 25inch 电视机,功率为 150W,每天使用 4h;一台电冰箱,输入功率为 120W,电冰箱的压缩机每天工作 8h。计算每月(30 天)耗电多少度。

**解:**

$$\begin{aligned} & (0.75\text{kW} \times 2\text{h} + 0.15\text{kW} \times 4\text{h} + 0.12\text{kW} \times 8\text{h}) \times 30 \text{天} = \\ & (1.5\text{kW} \cdot \text{h} + 0.6\text{kW} \cdot \text{h} + 0.96\text{kW} \cdot \text{h}) \times 30 = 91.8\text{kW} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

答:每月耗电 91.8 度。

### 1.3 欧姆定律

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比,与电阻成反比,这就是欧姆定律。欧姆定律是电路分析中最基本的定律,可用数学公式表示为

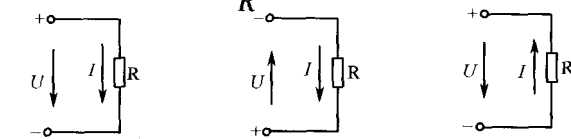
$$I = \frac{U}{R} \quad (1.4)$$

式中  $R$  为电阻,单位为欧姆,简称欧,用字母  $\Omega$  表示,常用的单位还有  $k\Omega$  和  $M\Omega$  (兆欧),  $1M\Omega = 10^6\Omega$ 。从式(1.4)可见,如果电阻一定时,加在电阻两端的电压愈高,流过电阻的电流愈大,电流与电压成正比;如果电压一定,电阻愈大,流过电阻的电流就愈小,电流与电阻成反比。在工程应用中,上述结论是非常重要的。

根据欧姆定律可以推导出功率与电阻的关系式为

$$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R} \quad (1.5)$$

在分析电路时,如果电流与电压的参考方向不一致,即为非关联参考方向时,如图 1.12 (b)、图 1.12(c) 所示,欧姆定律的表达式为

$$I = -\frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = -IR \quad (1.6)$$


(a) 关联参考方向      (b) 非关联参考方向      (c) 非关联参考方向

图 1.12 欧姆定律与非关联关系

**【例 1.4】** 已知图 1.12 中的电阻为  $6\Omega$ , 电流为  $2A$ , 求电阻两端的电压  $U$ 。

解: 图 1.12(a) 关联  $U = IR = 2A \times 6\Omega = 12V$

图 1.12(b) 非关联  $U = -IR = -2A \times 6\Omega = -12V$

图 1.12(c) 非关联  $U = -IR = -2A \times 6\Omega = -12V$

计算结果: 图 1.12(a) 电压是正值, 说明图 1.12(a) 中的电压实际方向与所标的参考方向一致; 图 1.12(b)、图 1.12(c) 电压为负值, 说明图 1.12(b)、图 1.12(c) 中的电压实际方向与所标的参考方向相反。

**【例 1.5】** 一个  $100W$  的灯泡, 额定电压为  $220V$ , 求灯泡的电流和电阻。

解:  $I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.45A$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.45} = 489\Omega$$

**【例 1.6】** 电路如图 1.13 所示,  $E_1 = 40V$ ;  $E_2 = 5V$ ;  $R_1 = R_2 = 10\Omega$ ;  $R_3 = 5\Omega$ ;  $I_1 = 2.875A$ ;  $I_2 = -0.625A$ ;  $I_3 = 2.25A$ 。取  $d$  点为参考点, 求各点的电位及电压  $U_{ab}$  和  $U_{bc}$ 。

解: 各点的电位以  $d$  点为参考点,  $U_d = 0V$

$$U_b = U_{bd} = I_3 R_3 = 2.25A \times 5\Omega = 11.25V$$

$$U_a = U_{ab} + U_{bd} = I_1 R_1 + U_{bd} = 2.875A \times 10\Omega + 11.25V = 40V$$

或

$$U_a = U_{ad} = E_1 = 40V$$

$$U_c = U_{cb} + U_{bd} = I_2 R_2 + U_{bd} = -0.625A \times 10\Omega + 11.25V = 5V$$

或

$$U_c = U_{cd} = E_2 = 5V$$

电压

$$U_{ab} = U_a - U_b = 40V - 11.25V = 28.75V$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = 11.25V - 5V = 6.25V$$

如果选取图 1.13 中  $b$  点为参考点, 如图 1.14 所示。再求各点的电位及电压  $U_{ab}$  和  $U_{bc}$ 。

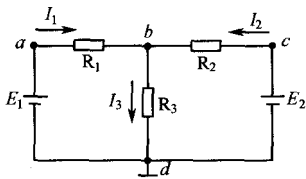


图 1.13 选择  $d$  点为参考点

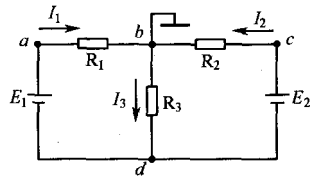


图 1.14 选择  $b$  点为参考点

则可得出:

电位

$$U_d = 0V$$

$$U_a = U_{ab} = I_1 R_1 = 2.875A \times 10\Omega = 28.75V$$

$$U_c = U_{cb} = I_2 R_2 = -0.625A \times 10\Omega = -6.25V$$

电压

$$U_{ab} = U_a - U_b = 28.75V - 0V = 28.75V$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = 0V - (-6.25V) = 6.25V$$

对比两次计算结果可见,选择不同的参考点,电路中各点的电位值就会随之改变,所以各点电位的高低是相对的,而任意两点之间的电位差,即电压值是不变的,是绝对的。

利用电位的概念可将图 1.13 所示的电路简化为图 1.15 所示的形式,不画电源,只标出电位值。这是电子电路惯用的画法。

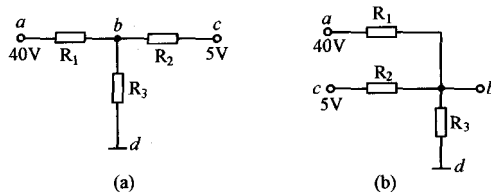


图 1.15 图 1.13 的简化电路

## 1.4 电路的三种状态

电路有开路、有载和短路三种状态。

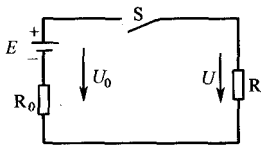


图 1.16 开路状态

### 1.4.1 开路状态

电源与负载断开,称为开路状态。如图 1.16 中开关断开时,为开路状态,又称空载状态。

开路状态,电路不能构成回路,电流为零,负载不工作,负载两端的电压等于零,即  $U = IR = 0$ ,而开路处的端电压  $U_0$  等于电源电动势  $E$ ,即  $U_0 = E$ 。所以当民用供电电路,在开关断开时,用试电笔试开关前的火线各点仍然带电。因此,电路开关一定要接在火线上或电源的正端,否则,开关断开时,负载仍然带电。

### 1.4.2 有载状态

电源与负载接通,构成回路,称为有载状态,如图 1.17 所示。

有载状态,负载有电流流过,负载流过的电流和负载两端的电压运用欧姆定律可得

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1.7)$$

$$U = IR = E - IR_0 \quad (1.8)$$

从电压表达式(1.8)可见,电源的内阻愈小,输出的电压就愈高,如果  $R_0 \ll R$  时,  $U \approx E$ 。

有载状态时的功率平衡关系为:

电源电动势输出的功率

$$P_E = EI$$

电源内阻损耗的功率

$$P_{R_0} = I^2 R_0$$

负载吸收的功率

$$P = I^2 R = P_E - P_{R_0}$$

功率平衡关系

$$P_E = P + P_{R_0} \quad (1.9)$$

由功率平衡关系可见,电源内阻愈小,电源内部损耗就愈小,负载所获得的功率就愈大。

各种用电设备都有限定的工作条件和能力,称为电器设备的额定值。通常标在电器设备的铭牌上或说明书中,使用时必须考虑这些参数。当电器设备使用时的实际值等于额定值时,称为额定状态;当实际电流或功率大于额定值时,称为过载。过载会降低设备的使用寿命、老化绝缘、甚至会损坏用电设备及电源,这是不允许的。当实际值小于额定值时,称为欠载,欠载时,电气设备不能正常发挥效能。

额定值对于使用或购买电器及元器件时,都是很重要的参数。比如,购买一个灯泡或一组音响设备,要考虑它的功率是多少瓦。维修电脑或电视机须更换一个电阻,购买时要提供电阻的阻值和功率。

### 1.4.3 短路状态

电源两端没有经过负载而直接连在一起时,称为短路状态,如图 1.18 所示。

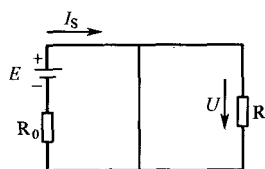


图 1.18 短路状态

短路是电路最严重、最危险、最禁止的状态。短路时电流经短路线与电源构成回路,导线的电阻很小;如果忽略不计,电源两端输出电压  $U=0$ ,短路电流  $I_s = E/R_0$  很大;如果没有短路保护,会使电源或导线严重过热而烧毁,甚至发生火灾。

产生短路的原因主要是接线不当,线路绝缘老化损坏等。为了防止短路事故的发生,应正确连线,不要过载工作,避免损坏绝缘层。更重要的是应在电路中接入过载和短路保护的熔断器和自动断路器,在严重过载或短路时,保护装置能迅速自动切断故障电路。

## 1.5 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律分为电流定律和电压定律。首先介绍一下在基尔霍夫定律中用到的三个术语。

支路:电路中流过同一电流的分支,称为支路。图 1.19 中  $E_1$ 、 $R_1$  上流过  $I_1$ ,  $E_2$ 、 $R_2$  上流过  $I_2$ ,  $R_3$  上流过  $I_3$ , 共有三条支路。

结点:三条或三条以上支路的连接点,称为结点。图 1.19 中共有  $a$  和  $b$  两个结点。

回路:电路中任一闭合的路径,称为回路。图 1.19 中由  $E_1$ 、 $R_1$ 、 $R_3$  闭合组成一个回路,  $E_2$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  闭合组成一个回路,  $E_1$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $E_2$  闭合组成一个回路。图 1.19 中共有三个回路。



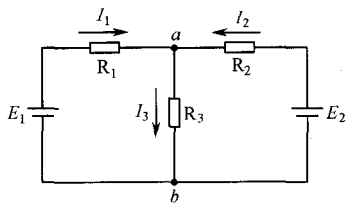


图 1.19 基尔霍夫定律举例

### 1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

电流定律的内容是:在任一瞬间流入任一结点的电流之和等于流出该结点的电流之和。

在图 1.19 中,对结点  $a$  可以写为

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1.10)$$

可将上式改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$\sum I = 0 \quad (1.11)$$

即

这说明在任一瞬间,一个结点上电流的代数和等于零。

运用 KCL 解题,首先应标出各支路电流的参考方向;列  $\sum I = 0$  表达式时,流入结点的电流取正号,流出结点的电流取负号。

KCL 不仅适用于任一结点,也可以推广应用于电路中任何一个假定的闭合面。例如三极管放大电路,如图 1.20 所示,对虚线所包围的闭合面可视为一个结点,而面外三条支路的电流关系可应用 KCL 得

$$I_B + I_C = I_E, \text{ 或 } I_B + I_C - I_E = 0$$

【例 1.7】 已知图 1.20 中的  $I_C = 1.5 \text{ mA}$ ,  $I_E = 1.54 \text{ mA}$ , 求  $I_B = ?$

解:根据 KCL 可得

$$I_B + I_C = I_E$$

$$I_B = I_E - I_C = 1.54 \text{ mA} - 1.5 \text{ mA} = 0.04 \text{ mA} = 40 \mu\text{A}$$

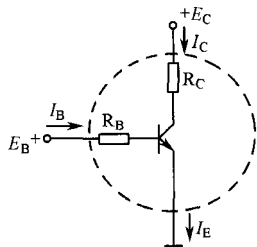


图 1.20 KCL 推广应用

### 1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL)

电压定律的内容是:在任一瞬间沿任一回路绕行一周,回路中各个元件上电压的代数和等于零,可用公式表示为

$$\sum U = 0 \quad (1.12)$$

运用 KVL 解题,首先应标出回路中各个支路的电流方向、各个元件的电压方向和回路的绕行方向(顺时针方向或逆时针方向均可),然后列  $\sum U = 0$  表达式。在列  $\sum U = 0$  表达式时,电压方向与绕行方向一致取正号,相反取负号。

【例 1.8】 列出图 1.21 所示电路中回路 I 和回路 II 的 KVL 表达式。

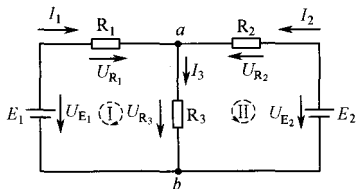


图 1.21 KVL 举例

解:标出各支路的电流方向、各元件的电压方向和回路的绕行方向,如图 1.20 中所示。列回路  $\sum U = 0$  表达式。