

电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

电路与模拟电子技术 基础

查丽斌 主编
王宛苹 刘建岚 张海鹏 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

电路与模拟电子技术基础

查丽斌 主编

王宛苹 刘建岚 张海鹏 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍电路与模拟电子技术基础课程的内容。本书共分10章, 主要内容包括: 直流电路、一阶动态电路的暂态分析、正弦稳态电路的分析、半导体二极管及其基本电路、晶体三极管及其基本放大电路、场效应管及其基本放大电路、集成运算放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器的应用、直流稳压电源等。本书配备大量例题和习题, 并提供配套多媒体电子课件和习题答案。

本书可作为高等学校计算机、通信、自动化、电子电气等各专业和部分非电专业的本科生教材, 也可作为自学考试和成人教育的自学教材, 还可供电子工程技术人员学习参考。

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基础 / 查丽斌主编. —北京: 电子工业出版社, 2008.2

(电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程)

ISBN 978-7-121-05352-8

I. 电… II. 查… 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. TM13 TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第195481号

责任编辑: 王羽佳

印 刷: 北京季峰印刷有限公司

装 订: 三河市万和装订厂

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: 20.25 字数: 518.4千字

印 次: 2008年2月第1次印刷

印 数: 4000册 定价: 29.00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 zls@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

为了适应电子信息科学技术迅猛发展的需要,以及新的课程体系和教学内容改革的需要,我们根据教学基本要求,总结了多年从事电路、电子学教学工作的丰富的教学经验,针对电路与电子学课程的基本要求和学习特点,为满足课程学时压缩的实际需要,将传统的“电路基础”、“模拟电子技术基础”两门课程合并,编写了本教材。

鉴于近几年来就业形势的严峻,各个学校都对专业基础课学时进行压缩,并且把教学时间安排提前到第二、三学期,使得学生在学习数学等基础课的同时学习专业基础课,内容衔接上的不连贯使得学生对本门课程的掌握普遍感觉困难,所以本书的编写思路是保证基础、注重应用、讲清概念、力求精练。本书以基础知识为重点,在编写过程中特别注重使得知识易懂、易学,做到语言简练,容易自学。

在电路基础部分,我们根据计算机各专业的需要,结合多年来电路课的教学经验,选出最基本的教学内容重点阐述,以保证学生掌握电路的基本原理及其基本分析方法,为模拟电子技术基础的学习打下扎实的基础。

在模拟电子基础部分,将难点分散,循序渐进。在第4~6章中,均各以一类半导体器件及其基本应用电路划分为一章,便于读者学习和掌握。在第5章中,强调对基本概念、基本原理、基本分析方法的理解和应用,减少复杂的数学推导。由于微电子学与制造工艺的进步,与双极性器件的性能相比,MOS器件具有明显的优势,所以在第6章加强了MOS管的内容。在第4~6章的学习中,读者应具备了足够的基础知识。第7、8章分别介绍了集成运算放大电路和放大电路中的反馈。这两章尽量简化定量分析,突出定性分析,力求简明扼要、系统性强。第9章是在前面几章学习的基础上,讲解集成运算放大器的应用,包括信号的运算与产生电路。第10章介绍直流电源。

该课程总学时约为80学时,其中课堂讲授约为66学时,电路基础部分约为20学时,模拟电子技术部分约为46学时。由于涉及的内容较多,有些内容可以在教师指点下让学生通过自学掌握,不必全在课堂上讲授,并建议配套使用现代教学手段,以提高教学质量和效率。

本书配备了大量的例题,每章后面附有习题,这些例题和习题与教材内容紧密配合,深度适当。书末附有部分习题的参考答案,以供读者参考。本书向使用本书作为教材的教师提供多媒体电子课件,请登录华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>或<http://www.huaxin.edu.cn>)。

本书共10章,其中第1~3章由王宛苹编写,第4~8章由查丽斌编写,第9~10章由刘建岚编写,张海鹏编写了第4章的部分内容。全书由查丽斌主编。

本书在编写的过程中,参考了一些已经出版的教材和文献,在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限及编写时间仓促,书中难免存在错误和不妥之处,诚恳地希望读者提出宝贵意见和建议,以便今后不断改进。

作 者

2007年9月

本书常用文字符号说明

一、基本原则

1. 电流与电压 (以基极电流和基极-发射极电压为例)

I_B 、 U_{BE}	大写字母、大写下标表示直流量
I_b 、 U_{be}	大写字母、小写下标表示交流有效值
\dot{I}_b 、 \dot{U}_{be}	大写字母上面加点、小写下标表示正弦相量
i_B 、 u_B	小写字母、大写下标表示总的瞬时值
i_{be} 、 u_{be}	小写字母、小写下标表示交流分量瞬时值

2. 电阻

R	大写字母表示电路中的电阻或等效电阻
r	小写字母表示器件内部的等效电阻

二、基本符号

1. 电压和电流

I 、 i	电流的通用符号
U 、 u	电压的通用符号
U_i 、 I_i	交流输入电压、输入电流的有效值
U_i' 、 I_i'	交流净输入电压、净输入电流的有效值
U_o 、 I_o	交流输出电压、输出电流的有效值
$U_o(AV)$ 、 $I_o(AV)$	输出电压、输出电流平均值
U_{om}	最大输出电压
U_f 、 I_f	反馈电压、反馈电流
U_Q 、 I_Q	静态电压、静态电流
U_{OH} 、 U_{OL}	电压比较器的输出高电平和输出低电平
u_{ic}	共模输入电压
u_{id}	差模输入电压
U_{REF} 、 I_R	参考电压、参考电流
U_T	温度的电压当量
U_+ 、 I_+	集成运放同相输入端的电压、电流
U_- 、 I_-	集成运放反相输入端的电压、电流
U_S	信号源电压
V_{CC}	双极型三极管集电极直流电源电压

V_{BB}	双极型三极管基极直流电源电压
V_{EE}	双极型三极管发射极直流电源电压
V_{DD}	场效应管漏极直流电源电压
V_{GG}	场效应管栅极直流电源电压
V_{SS}	场效应管源极直流电源电压

2. 电阻、电容、电感、阻抗

R_i 、 R_o	电路的输入电阻、输出电阻
R_{if} 、 R_{of}	有反馈时电路的输入电阻、输出电阻
R_L	负载电阻
R_S	信号源内阻
R_P	可调电阻
G	电导的通用符号
C	电容的通用符号
L	电感的通用符号
X	电抗的通用符号
X_L	感抗
X_C	容抗
Y	复导纳
M	互感系数
Z	阻抗的通用符号

3. 增益或放大倍数、反馈系数

A	增益或放大倍数的通用符号
A_{uc}	共模电压放大倍数
A_{ud}	差模电压放大倍数
A_i	电流放大倍数
A_u	电压放大倍数
A_{uf}	有反馈时的电压放大倍数
A_{us}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数
F	反馈系数的通用符号

4. 功率和效率

P	功率的通用符号
P_o	输出交变功率
P_V	电源提供的直流功率
P_T	晶体管耗散功率
P_{om}	输出交变功率最大值
Q	无功功率
S	视在功率
η	效率
η_{max}	最大效率

5. 频率和时间常数

f_{BW}	通频带
f_H	放大电路的上限 (-3dB) 频率
f_L	放大电路的下限 (-3dB) 频率
f_0	振荡频率、谐振频率
ω	角频率的通用符号
τ	时间常数

三、元器件参数和符号

1. 二极管

VD	二极管
I_F	最大整流电流
I_R	是指二极管未被击穿时的反向电流值
I_S	二极管反向饱和电流
$I_D(AV)$	整流二极管平均电流
U_R	二极管工作时允许外加的最大反向电压
U_{BR}	反向击穿电压
$U_{D(on)}$	二极管导通电压
r_d	二极管动态电阻

2. 稳压二极管

VD _Z	稳压管
U_Z	稳压管的稳定电压
I_Z	稳压管的稳定电流
r_z	稳压管工作在稳压状态的动态电阻

3. 双极性晶体管

VT	双极型三极管、场效应管
b	双极型三极管的基极
c	双极型三极管的集电极
e	双极型三极管的发射极
$C_{b'c}$	集电结等效电容
$C_{b'e}$	发射结等效电容
α	共基电流放大系数
β	共射电流放大系数
$\overline{\beta}$	共射直流电流放大系数
$U_{(BR)CBO}$	发射极开路时集电极-基极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)CEO}$	基极开路时集电极-发射极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路时发射极-基极之间的反向击穿电压
U_{CES}	晶体管饱和管压降
I_{CBO}	集电极-基极之间的反向饱和电流

I_{CEO}	集电极-发射极之间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
$r_{bb'}$	基区体电阻
$r_{b'e}$	发射结微变等效电阻
r_{be}	共射接法下基极-发射极之间的微变等效电阻
r_{ce}	共射接法下集电极-发射极之间的微变等效电阻
4. 场效应管	
D	场效应管的漏极
G	场效应管的栅极
S	场效应管的源极
g_m	跨导
U_P	场效应管的夹断电压
U_{th}	场效应管的开启电压
I_{DSS}	耗尽型场效应管 $U_{GS}=0$ 时的漏极电流
r_{ds}	场效应管漏极-源极之间的微变等效电阻
5. 集成运放	
A_{od}	集成运放的开环差模电压增益
S_R	集成运放转换速率
BWG	集成运放的单位增益带宽
U_{ICM}	集成运放最大共模输入电压
U_{IDM}	集成运放最大差模输入电压
U_{IO}	集成运放输入偏置电流
I_{IO}	集成运放输入失调电流
r_{id}	集成运放差模输入电阻
K_{CMR}	共模抑制比
四、其他符号	
K	热力学温度
Q	品质因数
T	周期、温度
φ	阻抗角
θ	相位角
S_r	稳压系数

目 录

第 1 章 直流电路	(1)
1.1 电路及电路模型	(1)
1.2 电路变量	(1)
1.2.1 电流和电流的参考方向	(1)
1.2.2 电压和电压的参考方向	(2)
1.2.3 电位	(3)
1.2.4 功率和能量	(4)
1.3 电阻元件	(5)
1.4 电压源与电流源	(7)
1.4.1 理想电压源	(7)
1.4.2 理想电流源	(7)
1.4.3 实际电源的两个电路模型	(8)
1.4.4 受控源	(9)
1.5 基尔霍夫定律	(11)
1.5.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	(11)
1.5.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	(12)
1.6 单口网络及等效	(13)
1.6.1 电阻的串并联及等效	(14)
1.6.2 理想电源的等效变换	(16)
1.6.3 实际电压源和实际电流源的等效	(18)
1.7 支路电流分析法	(20)
1.8 节点分析法	(22)
1.9 叠加定理	(24)
1.10 等效电源定理	(27)
1.10.1 戴维南定理	(27)
1.10.2 诺顿定理	(30)
习题 1	(33)
第 2 章 一阶动态电路的暂态分析	(39)
2.1 电容元件与电感元件	(39)
2.1.1 电容元件及其性质	(39)
2.1.2 电感元件及其性质	(41)
2.2 换路定则及其初始条件	(43)
2.2.1 换路定则	(43)

2.2.2 初始条件确定	(44)
2.3 一阶电路零输入响应	(45)
2.4 一阶电路零状态响应	(50)
2.5 一阶电路完全响应	(55)
2.6 三要素法求一阶电路响应	(57)
习题2	(61)
第3章 正弦稳态电路的分析	(65)
3.1 正弦交流电的基本概念	(65)
3.1.1 周期和频率	(66)
3.1.2 幅值和有效值	(66)
3.1.3 相位和相位差	(67)
3.2 正弦量的向量表示	(68)
3.3 基尔霍夫定律的向量表示	(71)
3.4 3种基本元件伏安关系的向量形式	(72)
3.4.1 电阻元件 R	(72)
3.4.2 电感元件 L	(72)
3.4.3 电容元件 C	(73)
3.5 简单正弦交流电路	(74)
3.5.1 RLC 串联交流电路	(74)
3.5.2 阻抗的串并联	(77)
3.6 正弦稳态电路分析	(79)
3.7 正弦稳态电路的功率	(81)
3.7.1 瞬时功率	(81)
3.7.2 有功功率及功率因数	(82)
3.7.3 无功功率和视在功率	(83)
3.8 正弦稳态电路中的谐振	(85)
3.8.1 串联谐振	(85)
3.8.2 并联谐振	(87)
3.9 三相电路	(89)
3.9.1 三相电源	(89)
3.9.2 负载星形连接的三相电路分析	(91)
3.9.3 负载三角形连接的三相电路分析	(93)
习题3	(95)
第4章 半导体二极管及其基本电路	(101)
4.1 半导体的基础知识	(101)
4.1.1 本征半导体	(101)
4.1.2 杂质半导体	(102)
4.1.3 PN 结的形成及特性	(103)
4.2 半导体二极管	(107)

4.2.1	二极管的基本结构	(107)
4.2.2	二极管的伏安特性	(108)
4.2.3	二极管的主要参数	(109)
4.3	二极管的等效电路及其应用	(110)
4.3.1	二极管的等效电路	(110)
4.3.2	晶体二极管电路的应用	(113)
4.4	半导体器件型号命名及方法 (根据国家标准 GB249-74)	(116)
习题 4	(117)
第 5 章	晶体三极管及其基本放大电路	(120)
5.1	晶体三极管	(120)
5.1.1	晶体管的结构及其类型	(120)
5.1.2	晶体管的电流分配与放大作用	(121)
5.1.3	晶体管的共射特性曲线	(123)
5.1.4	晶体管的主要参数	(125)
5.2	放大电路的组成和工作原理	(127)
5.2.1	放大电路概述	(127)
5.2.2	基本共射极放大电路	(127)
5.3	放大电路的分析	(130)
5.3.1	静态分析	(130)
5.3.2	动态分析	(132)
5.3.3	图解法分析放大电路的非线性失真和动态范围	(138)
5.4	晶体管放大电路的三种接法	(142)
5.4.1	静态工作点稳定的共射极放大电路	(142)
5.4.2	共集电极放大电路	(146)
5.4.3	共基极放大电路	(150)
5.4.4	三种基本放大电路的性能比较	(151)
5.5	放大电路的频率响应	(154)
5.5.1	频率响应概述	(154)
5.5.2	简单 RC 电路的频率特性	(155)
5.5.3	晶体管的高频等效模型	(158)
5.5.4	放大电路的频率响应分析	(160)
习题 5	(165)
第 6 章	场效应管及其基本放大电路	(172)
6.1	金属-氧化物-半导体 (MOS) 场效应管	(172)
6.1.1	增强型 MOS 管	(172)
6.1.2	耗尽型 MOS 管	(176)
6.2	结型场效应管 (JFET)	(177)
6.2.1	JFET 的结构和工作原理	(177)
6.2.2	JFET 的特性曲线	(179)

6.3	场效应管的主要参数及其各种 FET 的特性比较	(180)
6.3.1	场效应管的主要参数	(180)
6.3.2	各种场效应管的特性比较	(181)
6.4	场效应管放大电路	(182)
6.4.1	场效应管的直流偏置及静态分析	(182)
6.4.2	共源极放大电路的动态分析	(184)
6.4.3	共漏极放大电路的动态分析	(187)
	习题 6	(189)
第 7 章	集成运算放大电路	(193)
7.1	集成运算放大电路简介	(193)
7.2	集成运放中的电流源电路	(194)
7.2.1	镜像电流源电路	(194)
7.2.2	比例式电流源电路	(195)
7.2.3	微电流源电路	(196)
7.2.4	电流源作有源负载	(196)
7.3	差分式放大电路	(197)
7.3.1	直接耦合放大电路的零点漂移现象	(197)
7.3.2	基本差分式放大电路的结构	(197)
7.3.3	差分式放大电路的性能分析	(198)
7.4	功率放大电路	(206)
7.4.1	功率放大电路概述	(206)
7.4.2	双电源互补对称功率放大电路	(208)
7.4.3	其他类型的互补功率放大电路	(211)
7.5	集成运算放大器	(214)
7.5.1	通用型集成运算放大器	(214)
7.5.2	集成运放的主要参数	(216)
7.5.3	集成运算放大器使用注意事项	(218)
	习题 7	(219)
第 8 章	负反馈放大电路	(224)
8.1	反馈的基本概念与分类	(224)
8.1.1	反馈的基本概念	(224)
8.1.2	四种类型的反馈组态	(225)
8.2	负反馈放大电路的方框图及一般表达式	(230)
8.2.1	负反馈放大电路的一般表达式	(230)
8.2.2	四种组态负反馈放大电路的增益和反馈系数的表达式	(232)
8.3	负反馈对放大器性能的改善	(233)
8.3.1	提高放大倍数的稳定性	(233)
8.3.2	减小非线性失真	(234)
8.3.3	展宽通频带	(235)

8.3.4	负反馈对输入、输出电阻的影响	(235)
8.4	深度负反馈放大电路的分析计算	(237)
8.4.1	深度负反馈条件	(237)
8.4.2	虚短和虚断概念的运用	(237)
	习题 8	(241)
第 9 章	集成运算放大器的应用	(246)
9.1	理想集成运算放大器	(246)
9.1.1	理想集成运算放大器的主要参数	(246)
9.1.2	理想运放工作在线性区时的特点	(247)
9.1.3	理想运放工作在非线性区时的特点	(247)
9.2	基本运算电路	(248)
9.2.1	比例运算电路	(248)
9.2.2	加减运算电路	(251)
9.2.3	积分和微分运算电路	(254)
9.2.4	对数和反对数电路	(256)
9.2.5	乘法和除法运算电路	(258)
9.3	正弦波振荡电路	(259)
9.3.1	正弦波振荡电路的振荡条件	(259)
9.3.2	RC 文氏桥正弦波振荡电路	(260)
9.4	非正弦波产生电路	(264)
9.4.1	电压比较器	(264)
9.4.2	方波发生器	(268)
9.4.3	三角波发生器	(270)
9.4.4	锯齿波发生器	(272)
	习题 9	(273)
第 10 章	直流稳压电源	(283)
10.1	概述	(283)
10.2	串联反馈型稳压电路	(283)
10.2.1	桥式整流电容滤波电路	(283)
10.2.2	串联型稳压电路	(286)
10.2.3	三端集成稳压器	(289)
10.3	串联开关型稳压电路	(293)
10.3.1	换能电路的基本工作原理	(293)
10.3.2	串联开关型稳压电路	(295)
	习题 10	(296)
附录 A	部分习题答案	(301)
参考文献	(309)

第1章 直流电路

本章介绍电路模型的概念，电路的基本物理量——电压、电流及功率；结合直流电路介绍电阻元件、独立电源、受控电源及它们的伏安关系 VAR，重点讨论电路的基本定律、基本定理和基本分析方法。为后续的专业课程学习奠定基础。

1.1 电路及电路模型

现实生活中遇到的各种实际电路都是由一些电子元器件按一定方式相互连接而组成的。例如，常用的日光灯照明电路是由灯管、镇流器、启辉器、开关和交流电源相互连接而组成的。收音机是由一定数量的晶体管（或集成电路器件）、电容器、电感器、扬声器及直流电源等元器件组成的。不同电路可以实现不同的应用任务，其电路的具体形式多种多样，所使用的元器件也是多种多样的，往往一个实际元器件呈现多种物理性质。比如一个用导线绕成的线圈，当通有电流时不仅会产生磁通，形成磁场，而且还有能量的消耗。此外，线圈的匝与匝之间还存在分布电容，因此该元器件不仅具有电感性质，还有电阻性质及电容性质。由此可见，若以实际电路为研究对象，必然使所有实际元器件的电磁性能交织在一起，处理起来较为复杂。为了便于对电路进行分析计算，在一定条件下，对实际元器件加以近似、理想化，即用一个表征其主要物理特性的理想元件来代替它，这种理想化的元件称为理想电路元件，简称为电路元件。它是实际元器件的模型，任何实际电路元器件均可以用这些理想化元件模型或它们的组合来表征。如小灯泡，只用一个电阻元件 R_L 作为它的模型，而干电池则是由电压源和电阻元件串联构成。由于理想元件没有体积，特性集中在空间的一点上，故又称为集总参数元件，由集总参数元件组成的电路称集总电路，它是实际电路的模型。电路理论分析的是电路模型，而不是实际电路。

电路的一个作用是实现电能的传输与转换，如照明电路，它将电源提供的电能传输至照明灯，并转化为光能；另一个作用是传递和处理信号，如收音机、电视机，它们通过接收天线接收载有声音、图像信息的电磁波信号后，经过选频、放大和处理，最后由扬声器或显像管复原出原信号。

不论是电能的传输和转换，还是信号的传递和处理，都是通过电流、电压和电动势来实现的，所以在分析电路之前，首先讨论电路的几个物理量。

1.2 电路变量

1.2.1 电流和电流的参考方向

电流是由电荷有规则地定向运动而形成的。其大小用电流强度表示：把每单位时间内通

过导体横截面的电量定义为电流强度，用符号 $i(t)$ 表示，其数学表达式为

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

电流方向规定为正电荷运动的方向。如果电流大小及方向都不随时间变化，则称恒定电流，简称直流（简称为 DC），用大写的斜体字母 I 表示。如果 $i(t)$ 是时间 t 的函数，称为时变电流，简称为 i ，时变电流的大小和方向都随时间作周期性变化，则称为交流电流（简称为 AC）。

在国际单位制（SI）中，电荷的单位是库仑（C），时间的单位是秒（s），电流的单位是安培（A），则有 $1(\text{A}) = \frac{1(\text{C})}{1(\text{s})}$ ，常用的电流单位还有千安（kA）、毫安（mA）、微安（ μA ）。安培（A）是电流的基本单位，换算关系为： $1\text{kA} = 10^3\text{A}$ ， $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$ ， $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。

电流的方向常用箭头表示，也可用双下标表示，如图 1.2.1 所示。

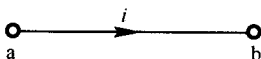


图 1.2.1 电流的表示

若用双下标表示，则 i_{ab} 表示电流的方向由 a 流向 b，显然有 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

在对电路进行分析时，如果电路较为复杂，一般预先无法知道电流的实际方向，因此先设定一个方向，称为参考方向，电流的参考方向任意选择，参见图 1.2.2。

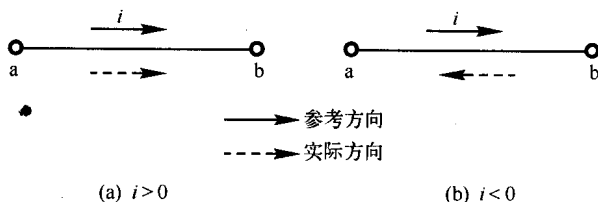


图 1.2.2 电流的实际方向和参考方向与数值的关系

图 1.2.2(a)中，电流的参考方向与实际方向一致， $i > 0$ ，电流为正值；图 1.2.2(b)中，电流的参考方向与实际方向相反， $i < 0$ ，电流为负值。所以只有在选定了参考方向后，电流才有正负之分。

1.2.2 电压和电压的参考方向

电路中 a、b 两点间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。其数学表达式为

$$u(t) = \frac{dw}{dq} \quad (1.2.2)$$

电压反映了单位正电荷由 a 点运动到 b 点所获取或失去的能量。例如，正电荷由 a 点运动到 b 点时失去能量，即 a 点能量高，b 点能量低，则 a 为正极，b 为负极。

规定电路中两点之间由高电位指向低电位即电位降方向为电压的实际方向。电压的方向

用+、-极性表示,也可用箭头来表示,还可以用双下标来表示,如图 1.2.3 所示。 u_{ab} 表示 a 为正, b 为负,而 u_{ba} 正好相反,并且有 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。同电流一样,对一个较复杂的电路,电压实际方向也是预先无法知道的,因此也要假设一个参考方向。当电压的实际方向与参考方向一致时,电压值为正,反之为负。

如果电压大小和极性都不随时间而变化,则称恒定电压或直流电压,用大写的斜体字母 U 表示。如果电压是时间 t 的函数,称为时变电压,用小写的斜体字母 u 表示。

在国际单位制(SI)中能量的单位是焦耳(J),电荷的单位是库仑(C),电压的单位是伏特(V),则有 $1(\text{V}) = \frac{1(\text{J})}{1(\text{C})}$,此外,电压的常用单位还有千伏(kV)和毫伏(mV),且有 $1\text{kV} = 10^3\text{V}$, $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$ 。

一般情况下,电路在工作时,其电路元件上既存在电流又存在电压,而电压和电流都有各自的参考方向,这样就有关联参考方向(简称关联方向)和非关联参考方向(简称非关联方向)两种。图 1.2.4(a)中,电流从电压的正端流入,即电流的参考方向与电压的参考极性一致,称关联参考方向,图 1.2.4(b)正好相反,称非关联参考方向。在对电路进行分析时应尽可能选用关联参考方向。

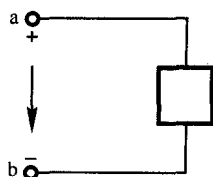


图 1.2.3 电压的方向

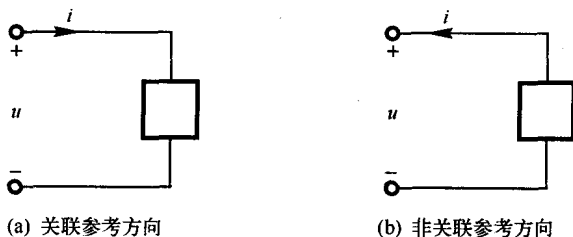


图 1.2.4 关联和非关联参考方向

引入关联参考方向后,只需在电路图中标出电流参考方向或电压参考极性中的任何一种就可以了。

1.2.3 电位

电压又称电位差。在电路分析特别是在电子电路中,常选取电路的某一点作为参考点,并将参考点电位规定为零,用符号“ \perp ”来表示,则其他点与参考点之间的电压就称为该点的电位。电位用 V 表示,如 a 点电位表示为 V_a 。 $U_{ab} = V_a - V_b$,即 a、b 间的电压为 a 点电位减去 b 点电位。

【例 1.2.1】 在图 1.2.5 所示的电路中,选 d 为参考点,已知 $V_a = 2\text{V}$, $V_b = 3\text{V}$, $V_c = 1\text{V}$,若选 a 为参考点,求 V_b 、 V_c 和 V_d 。

解:当选 d 为参考点时,有

$$V_a = U_{ad} = 2(\text{V}), \quad V_b = U_{bd} = 3(\text{V}), \quad V_c = U_{cd} = 1(\text{V})$$

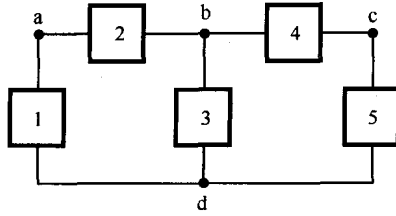


图 1.2.5 例 1.2.1 电路

当选 a 为参考点时, 有

$$V_b = U_{ba} = U_{bd} + U_{da} = U_{bd} - U_{ad} = 3 - 2 = 1(\text{V})$$

$$V_c = U_{ca} = U_{cd} + U_{da} = U_{cd} - U_{ad} = 1 - 2 = -1(\text{V})$$

$$V_d = U_{da} = -U_{ad} = -2(\text{V})$$

可见, 选择不同的参考点, 电位会发生变化。因为电位与参考点选择有关, 而任意两点间的电压不会改变, 它与参考点选择无关。

1.2.4 功率和能量

除了电压和电流外, 功率和能量的计算在电路分析中也是很重要的。

电功率 (简称功率) 可以用来反映电能转换的快慢, 定义为: 单位时间内吸收 (或产生) 的电能量, 即

$$p(t) = \frac{dw}{dt} \quad (1.2.3)$$

由于 $i(t) = \frac{dq}{dt}$, $u(t) = \frac{dw}{dq}$, 所以

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1.2.4)$$

在直流电路中

$$P = UI \quad (1.2.5)$$

我们把能量传输的方向定为功率方向, 当电压、电流为关联参考方向时, 计算功率时采用式 (1.2.4), 若为非关联参考方向时, 则 $p(t) = -u(t)i(t)$ 。计算结果中, 若 $p(t)$ 为正值, 表明该元件吸收电功率; 若 $p(t)$ 为负值, 表明该元件提供功率或产生功率。元件在电路中提供电功率, 起到电源作用的称为电源; 吸收电功率, 起到负载作用的称为负载。一般地说:

吸收功率 = -产生功率

在国际单位制 (SI) 中, 能量的单位是焦耳 (J), 时间的单位是秒 (s), 功率的单位是瓦特 (W), 则有 $1(\text{W}) = \frac{1(\text{J})}{1(\text{s})}$, 功率的常用单位还有毫瓦 (mW)、千瓦 (kW) 和兆瓦 (MW),

且有 $1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$, $1\text{kW} = 10^3\text{W}$, $1\text{MW} = 10^6\text{W}$ 。

根据式 (1.2.3) 可求得能量

$$w(t) = \int_{-\infty}^t P(\lambda)d\lambda \quad (1.2.6)$$