

高等学校教材

电路和电子技术

浙江大学电气技术和电工学教研室 编

高维宏 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是根据1986年10月高等工科学校电工学课程教学指导小组审定的《电路和电子技术课程教学基本要求》编写的。全书共分三篇,教材内容经过精选后,在保证满足课程教学基本要求的前提下,还适当增加了一些选讲和加深拓宽的内容。同时配备一定数量与教材密切结合的例题和习题。

第一篇、电路基础。主路内容有:电路元件和电路基本定律、电路的基本分析方法、电路的时域分析、正弦电路的稳态分析、频域分析。

第二篇、模拟电子技术。主要内容有:常用半导体器件、晶体管放大电路、集成运算放大器、集成运算放大器的应用、正弦波振荡电路、直流稳压电源。

第三篇、数字电子技术。主要内容有:门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、数-模和模-数转换、脉冲波形的产生和变换。

本教材参考学时范围为100~110学时。

高等学校教材

电路和电子技术

浙江大学电气技术和电工学教研室 编

高维宏 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

国防出版社印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 32.25 字数 740 000

1989年11月第1版 1989年11月第1次印刷

印数 0001—5 150

ISBN7-04-002469-1/TM·137

定价 6.95 元

序 言

本教材是根据1986年10月武汉会议上,由高等工科学校电工学课程教学指导小组审定的《电路和电子技术课程教学基本要求》编写的。教材内容在保证满足课程教学基本要求的前提下,还适当增加了一些选讲和加深拓宽的内容,这些内容在章节号前均标有*号,目的是使本教材能适应各高等工科学校和不同专业的实际教学需要。

本教材分三篇:第一篇电路基础,第二篇模拟电子技术,第三篇数字电子技术。

为了使教材能反映现代科学技术的发展和成就,电路基础篇采用现代电路理论的体系结构。提高了起点,加强了模型的概念,用从时域分析到频域分析,从暂态到稳态的体系结构,深入浅出,加深了对时域分析和频域分析之间的内在联系的认识。体现了加强基础理论的指导思想。

模拟电子技术篇在内容结构上作了较大的改革,削减了分立元件电子电路的部分内容,加强了集成运算放大器及其应用,并对反馈和振荡部分内容作了一些改革。体现了保证基础,推陈出新,管为路用,加强集成的指导思想。

数字电子技术篇采用组合逻辑电路、时序逻辑电路的体系结构,增加了A/D和D/A转换以及脉冲波形的产生和变换等内容,并结合实例介绍了数字电路在量测技术和时序控制中的应用。本篇以介绍逻辑电路的逻辑功能和分析方法为主,侧重介绍中、小规模数字集成电路的应用。

本教材中有丰富的例题和习题,这些例题和习题,除了紧密配合教材内容外,其中一些可起到举一反三或纵横拓宽的作用。

本教材贯彻“少而精”的教学原则,精选教材内容,力求概念叙述清楚,深入浅出,便于自学。

本教材由浙江大学电机系电气技术和电工学教研室高维宏同志主编。绪论和第6、7章由高维宏同志执笔,第1~5章由严克宽同志执笔,第8章由罗守信同志执笔,第9~11章由赵松清同志执笔,第12~15章由叶挺秀同志执笔。

本教材由华东化工学院王春田教授主审,华东化工学院张南副教授和上海建材学院余宗廉副教授参加主审工作。我们对参加主审工作的各位老师以严谨的科学态度,认真负责地审阅稿件,并提出了许多宝贵的修改意见,付出了辛勤的劳动,表示衷心感谢。

本教材初稿曾在我校机械系、工程热物理系和材料系86级使用过一遍,并征求了教师 and 学生的意见。在此基础上,于1987年进行了修改。修改稿于1988年5月在济南由高等工科学校电工学课程教学指导小组召开的审稿会上审查通过,审稿会议纪要中指出:“代表们认为该书稿符合《电路和电子技术课程教学基本要求》,结构和体系颇有特点,内容有所更新,联系实际较好。”与会各位老师对书稿也提出了不少宝贵意见,我们对此表示十分感谢,并已按审稿会的意见再次进行了修改。由于编者的水平有限,教材中还存在不少缺点和错误,恳请批评指正。

编 者

目 录

序言

绪论	1
----	---

第一篇 电路基础

第一章 电路元件和电路基本定律	4
-----------------	---

内容提要	4
------	---

1-1. 电路和电路模型	4
--------------	---

一、电路	4
------	---

二、电路模型	4
--------	---

三、电路的基本物理量和参考方向	5
-----------------	---

四、短路和开路	9
---------	---

五、单位制和词冠	9
----------	---

1-2. 无源元件	12
-----------	----

一、电阻元件	12
--------	----

二、电感元件	13
--------	----

三、电容元件	15
--------	----

1-3. 有源元件	16
-----------	----

一、独立电源	16
--------	----

二、受控源	21
-------	----

1-4. 克希荷夫定律	24
-------------	----

一、克希荷夫电流定律	25
------------	----

二、克希荷夫电压定律	26
------------	----

本章小结	29
------	----

习题	29
----	----

第二章 电路的基本分析方法	36
---------------	----

内容提要	36
------	----

2-1. 支路电流法	36
------------	----

2-2. 线性和叠加	38
------------	----

2-3. 节点电位法	42
------------	----

2-4. 等效电源定理	46
-------------	----

一、戴维南定理	48
---------	----

二、诺顿定理	50
--------	----

2-5. 非线性电阻电路的图解分析法	56
--------------------	----

一、非线性元件的伏安特性	56
--------------	----

二、简单非线性电阻电路的图解法	57
-----------------	----

本章小结	58
------	----

习题	59
----	----

第三章 电路的时域分析	66
-------------	----

内容提要	66
------	----

3-1. 动态电路及其微分方程式的建立	66
---------------------	----

3-2. 换路定律及初始值的计算	67
------------------	----

一、换路定律	68
--------	----

二、初始值的等效转化	68
------------	----

三、初始值的计算及 $t=0^+$ 时 C 和 L 的等效	
-----------------------------------	--

电路	69
----	----

3-3. RC 电路的零状态响应·阶跃响应	
-------------------------	--

	72
--	----

一、阶跃函数	72
--------	----

二、 RC 电路在阶跃激励时的零状态响应	73
------------------------	----

3-4. RC 电路的零输入响应	77
--------------------	----

一、 RC 电路的零输入响应	77
------------------	----

二、 RC 电路的时间常数	79
-----------------	----

3-5. RC 电路的全响应	80
------------------	----

一、 RC 电路在阶跃激励时的全响应	80
----------------------	----

二、“三要素法”	81
----------	----

3-6. RC 电路在矩形波激励时的响应	
------------------------	--

	86
--	----

一、 RC 微分电路	86
--------------	----

二、 RC 耦合电路	87
--------------	----

三、 RC 积分电路	88
--------------	----

3-7. RL 电路的全响应	90
------------------	----

一、 RL 电路在阶跃激励时的零状态响应	90
------------------------	----

二、 RL 电路的零输入响应	91
------------------	----

三、 RL 电路的全响应	92
----------------	----

*3-8. RLC 电路的零输入响应·振荡放	
--------------------------	--

电	94
---	----

本章小结	97
------	----

习题	98
----	----

第四章 正弦电路的稳态分析	105
内容提要.....	105
4-1. 正弦量的三要素.....	105
一、正弦量的周期和频率.....	106
二、正弦量的相位和相位差.....	106
三、正弦量的有效值.....	108
*4-2. 线性电路在正弦激励时的稳态响应.....	110
4-3. 正弦量的相量表示法.....	111
4-4. R 、 L 、 C 各元件上电压和电流关系的相量形式.....	115
一、电阻元件上电压和电流关系的相量形式.....	115
二、电感元件上电压和电流关系的相量形式.....	116
三、电容元件上电压和电流关系的相量形式.....	118
4-5. 克希荷夫定律的相量形式.....	120
4-6. 复阻抗和复导纳.....	121
一、电路的相量模型.....	121
二、 RLC 串联电路·复阻抗.....	122
三、 RLC 并联电路·复导纳.....	125
4-7. 正弦稳态电路分析.....	127
一、阻抗的串联和并联.....	128
*二、复杂正弦电路的计算.....	129
4-8. 正弦稳态电路中的功率.....	134
一、瞬时功率.....	134
二、平均功率和功率因数.....	136
三、无功功率.....	136
四、视在功率.....	138
4-9. 三相电路.....	141
一、三相四线制电源的相电压和线电压.....	141
二、对称三相电路的计算.....	143
三、不对称三相电路的概念.....	146
四、三相电路的功率及其测量.....	148
*4-10. 耦合线圈和理想变压器.....	151
一、耦合线圈.....	151
二、理想变压器.....	153
本章小结.....	155
习题.....	157
第五章 频域分析	162
内容提要.....	162
5-1. 周期信号的傅里叶级数.....	162

5-2. 周期信号的频谱.....	166
5-3. 周期信号的最大值、平均值和有效值.....	169
5-4. 周期电流电路的平均功率.....	171
5-5. 线性电路在周期信号激励时的稳态分析.....	172
5-6. 电路频率特性概述.....	174
5-7. RLC 电路中的谐振.....	175
一、 RLC 串联电路中的谐振.....	175
二、 RLC 并联电路中的谐振.....	179
5-8. 线性电路的滤波特性.....	181
一、一阶低通和高通电路.....	181
*二、二阶带通和带阻电路.....	186
本章小结.....	188
习题.....	189

第一篇 主要参考书目.....193

第二篇 模拟电子技术

第六章 常用半导体器件	194
内容提要.....	194
6-1. 半导体的导电方式.....	194
一、半导体中的载流子.....	194
二、P型和N型半导体.....	196
6-2. PN结及其单向导电性.....	197
一、PN结的形成.....	197
二、PN结的单向导电性.....	198
6-3. 晶体二极管.....	199
一、晶体二极管的结构.....	199
二、晶体二极管的伏安特性.....	200
三、晶体二极管的主要参数.....	201
6-4. 稳压二极管.....	201
6-5. 晶体三极管.....	203
一、晶体三极管的结构.....	203
二、晶体三极管的电流放大作用.....	204
三、晶体三极管的特性曲线.....	206
四、晶体三极管的主要参数.....	209
6-6. 场效应管.....	211
一、结型场效应管.....	212
二、绝缘栅场效应管.....	214

三、场效应管的主要参数	217
本章小结	218
习题	219
第七章 晶体管放大电路	223
内容提要	223
7-1. 放大电路的基本原理	223
一、共发射极单管放大电路的基本组成	223
二、静态工作点的设置	225
7-2. 放大电路的动态工作情况分析	228
一、三极管的小信号模型	228
二、放大电路的微变等效电路	230
三、放大电路的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻	231
7-3. 放大电路的级间耦合	237
一、放大电路的级间耦合方式	238
二、直接耦合放大电路的特点	238
7-4. 差动放大电路	243
一、差动放大电路的工作原理	244
二、具有恒流源的差动放大电路	249
三、差动放大电路的输入-输出方式	250
7-5. 射极输出器	251
一、射极输出器的工作原理和电压放大倍数	252
二、射极输出器的输入电阻和输出电阻	253
三、射极输出器的电压跟随范围	255
7-6. 互补对称功率放大电路	257
一、互补对称电路的工作原理	258
二、复合(准)互补对称电路	261
7-7. 放大电路的频率特性	264
*7-8. 场效应管放大电路	267
本章小结	270
习题	271
第八章 集成运算放大器	278
内容提要	278
8-1. 集成运算放大器的组成及其电压传输特性	278
一、集成运算放大器的组成	278
二、集成运算放大器的电压传输特性	280
8-2. 放大电路中的负反馈	281
一、负反馈的基本原理	281

二、运放电路的四种基本负反馈电路	283
三、负反馈对运放电路性能的影响	286
8-3. 理想运算放大器的电路模型和特性	290
8-4. 集成运算放大器的三种基本输入方式	291
一、反相输入方式	292
二、同相输入方式	293
三、差动输入方式	294
8-5. 集成运算放大器的主要技术指标	296
本章小结	298
习题	298
第九章 集成运算放大器的应用	301
内容提要	301
9-1. 概述	301
9-2. 模拟信号运算	301
一、比例运算	302
二、加法运算	302
三、减法运算	303
四、积分运算	304
五、微分运算	306
9-3. 测量放大电路	308
*9-4. 电压-电流转换器	312
9-5. 低频放大电路	313
9-6. 集成运算放大器的非线性应用	314
一、幅值比较器	314
*二、非正弦波信号发生器	317
9-7. 集成运算放大器在使用中应注意的问题	318
一、运放的分类和选用	318
二、失调的补偿	319
三、消振和防干扰	320
四、运放的保护措施	321
9-8. 集成运算放大器应用举例	323
一、线性欧姆表电路	323
二、PN结传感器温度计	323
三、定时器电路	324
*四、单电源三角波-方波发生器	324
五、温度监测控制器	325

一、数码寄存器	420
二、移位寄存器	421
13-6. 计数器	426
一、二进制计数器	426
二、十进制计数器	430
13-7. 数字电路应用举例(一)——数 字钟同步时序控制器	433
本章小结	437
习题	438
第十四章 数-模和模-数转换	442
内容提要	442
14-1. 数字量与模拟量相互转换的基 本概念	442
14-2. D/A转换器	443
一、D/A转换器的工作原理	443
二、集成D/A转换器举例	449
14-3. A/D转换器	451
一、A/D转换的一般步骤	451
二、A/D转换器的工作原理	452
三、集成A/D转换器举例	455
14-4. 数字电路应用举例(二)—— $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表	457
一、双积分型A/D转换器的工作原理	457
二、双积分型A/D转换器CC14433简介	459
三、由CC14433构成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表	461

本章小结	463
习题	463
第十五章 脉冲波形的产生和变换	465
内容提要	465
15-1. 单稳态触发器	465
15-2. 多谐振荡器	471
15-3. 施密特触发器	474
15-4. 数字电路应用举例(三)——数 字显示电容测量仪	476
本章小结	478
习题	479
第三篇 主要参考书目	481
附录一 电阻器、电位器及电容器 的类别	482
附录二 国产半导体器件型号命名法	485
附录三 常用半导体器件参数	486
附录四 半导体集成电路型号命名 方法	501
附录五 国产TTL集成电路系列简介	503
附录六 几种常用国产集成运算放 大器简介	506
附录七 常用集成运算放大器技术 指标	508

绪 论

一、电子技术的应用与发展概况

电子技术(electronics)是研究电子器件、电子电路及其应用的学科,发展十分迅速,其应用目前已广泛渗透到各个领域,成为现代先进科学技术的一个重要组成部分。

电子技术的应用与电子器件的更新和发展是紧密联系和相互促进的,新型电子器件的出现推动了电子技术的发展和应用,同时电子技术的广泛应用反过来对电子器件提出了新的要求,促进了新型电子器件的研制。

早在 1904 年,美国科学家弗列明(J. A. Fleming)发明了真空二极管,用来检测微弱的无线电信号。1906 年,德福雷斯特(L. De Forest)制成了具有放大作用的真空三极管。最初,这种应用真空管(又称为电子管)的放大电路主要用于无线电通信。所以这种电子技术称为**无线电电子技术**(radio electronics)。

1926~1930 年制成了氧化亚铜整流器,并发现了晶体检波器,进一步促使人们对于半导体的深入研究。1947 年提出了 PN 结理论,次年制成了第一只半导体三极管,这是电子技术发展的一个重要里程碑。由于半导体器件具有体积小、重量轻、寿命长、耗电省、耐振性好等优点,已在许多电子设备中,逐渐代替了电子管。如果把电子管称为第一代电子器件,那么半导体管(又称为**晶体管**(transistor))就是第二代电子器件。

新型电子器件的出现,大大促进了电子技术的应用,电子技术已从最初主要应用于通信领域,而进入到测量和控制的领域。由于它具有测量精确、动作灵敏、反应迅速等特点,因此电子测量和控制自动化技术中得到了日益广泛的应用。

电子技术的发展又推动了电子计算机的应用和发展。最早(40 年代)的电子计算机是用了上万个电子管组成的,它不仅体积大,份量重,功耗大,运算速度低,而且故障率高。

五十年代末制成了把许多晶体管与电阻等元件做在同一块硅晶片上的**集成电路**(Integrated Circuit,简称IC),这就从由各种单个器件和元件连接起来的**分立电路**(discrete circuit)跨进到集成电路的阶段。因此,集成电路通常被称为第三代电子器件。集成电路大大地缩小了设备的体积,减轻了重量,降低了功耗,提高了工作可靠性,并使电子设备趋向微型化。

六十年代,随着半导体材料和工艺的改进,从电路的集成进一步发展到系统的集成,这就是**大规模集成电路**(Large Scale Integrated Circuit,简称LSIC)。这种大规模集成电路被称为第四代电子器件。目前已进入第五代**超大规模集成电路**(Very Large Scale Integrated Circuit,简称VLSIC)发展时期。这种超大规模集成电路,每一**芯片**(chip)中包含的元、器件数,称为**集成度**(degree of integration),可超过 10^5 个。现代的**微型计算机**(microcomputer),采用

大规模和超大规模集成电路, 体积做得很小, 功能丰富, 运算速度每秒可达上亿次, 价格也正在不断降低。

大规模和超大规模集成电路的出现, 不仅使电子计算机趋于微型化, 而且促进了数字电子技术的发展。数字测量和数字控制在电子测量和自动化技术中得到了日益广泛的应用。

目前电子技术已深入到人们的日常生活和文化教育领域中, 例如广播、电视、收录机、电化教育等, 无一不是电子技术的应用。

可以预料, 随着科学技术和工业生产的发展, 电子技术将得到更广泛的应用与更迅速的发展。

二、本课程的地位、作用 and 任务以及主要内容

电路和电子技术是为高等工科学学校本科非电类专业开设的一门技术基础课程。它的作用和任务是: 使学生获得电路和电子技术的基本理论, 基本知识和基本分析方法, 受到基本技能的训练, 了解电子技术的应用和发展概况, 为学习后续课或从事与本专业有关的电子技术打下一定的基础。

本课程的内容包括**电路基础**, **模拟电子技术**和**数字电子技术**三部分。

电路基础是本课程的公共基础部分, 这部分内容主要为后面分析电子电路提供必要的理论基础, 同时也介绍一般电路的分析方法, 作为学习其它电工课程或后续课的基础。

电路基础部分包括:

- 第一章 电路元件和电路基本定律
- 第二章 电路的基本分析方法
- 第三章 电路的时域分析
- 第四章 正弦电路的稳态分析
- 第五章 频域分析

电子技术按照所处理的信号的不同, 可以分为**模拟电子技术**(analog electronics) 和**数字电子技术**(digital electronics)。所谓**模拟信号**是指随时间连续变化的电流或电压信号, 例如如图 0-1 所示正弦波信号是一种常见的模拟信号。所谓**数字信号**是指随时间不连续变化或具有突然跃变的脉冲式的电流或电压信号。例如如图 0-2 所示矩形波脉冲信号是一种常见的数字信号。

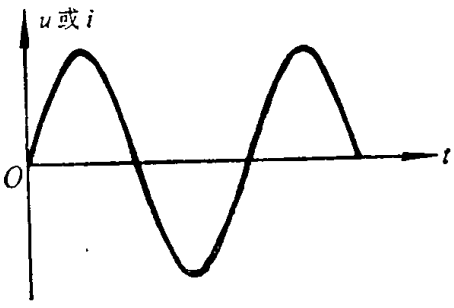


图 0-1 正弦波信号

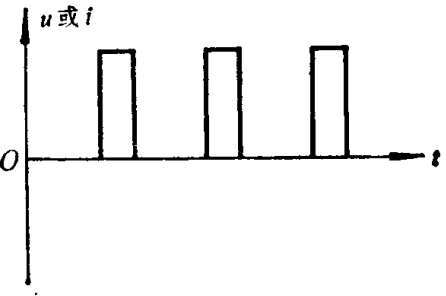


图 0-2 矩形波脉冲信号

在模拟电子技术部分中主要介绍处理模拟信号的电子电路及其分析方法,并结合实例介绍其应用。这部分内容包括:

第六章 常用半导体器件

第七章 晶体管放大电路

第八章 集成运算放大器

第九章 集成运算放大器的应用

第十章 正弦波振荡电路

第十一章 直流稳压电源

数字电子技术部分主要介绍处理数字信号的逻辑电路及其分析方法,并介绍了在数字测量和数字控制系统中常用的模-数和数-模转换,最后介绍脉冲波形的产生和变换。这部分内容包括:

第十二章 门电路和组合逻辑电路

第十三章 触发器和时序逻辑电路

第十四章 数-模和模-数转换

第十五章 脉冲波形的产生和变换

根据课程的性质和要求,本课程内容的处理原则是:

1. 重点掌握电路的基本定律和基本分析方法。
2. 要求了解电子器件和集成电路的外部特性和具体应用,对内部机理或电路一般不作深入分析。
3. 电子电路以定性分析为主,辅以必要的参数计算,使之具有一定的数量级概念。
4. 模拟电子技术部分,侧重于线性集成电路的应用。数字电子技术部分,侧重介绍中、小规模数字集成电路的应用。

电路和电子技术是一门实践性较强的技术基础课程,因此必须注意理论联系实际的教学方法,即不仅重视理论教学,而且要进行一定数量的实验教学,以得到实验技能的训练,培养学生实际技能和分析实验现象的能力。习题也是本课程的重要教学环节,通过习题,深化和扩展对课程内容的理解,培养分析问题和解决问题的能力。

本课程参考学时为 110 学时,其中实验 30 学时,讲课 80 学时。各部分讲课学时,分配如下,以供参考:

电路基础	30 学时
模拟电子技术	30 学时
数字电子技术	20 学时

第一篇 电路基础

第一章 电路元件和电路基本定律

内 容 提 要

本章从引入电路模型的概念开始,介绍常用的二端元件,包括电阻、电感、电容、独立电源、受控源等元件及其伏安关系和电源模型的等效互换方法等。最后着重介绍克希荷夫定律,这是电路理论中最为基本的定律。

1-1. 电路和电路模型

一、电 路

按一定方式连接起来的若干个器件(device)(如电源、电阻器、电感器、电容器、变压器、晶体管、运算放大器、振荡器、触发器等)的集合(collection),称为**电路(circuit)**,又称**网络(network)**。在研究一般性规律时,常使用“网络”一词,而在讨论有关具体问题时,则多用“电路”一词,这两个术语含义相似,在现代工程科学中常是互相通用的。

实际存在的电路,形式繁多,功能各异,但大致上可将电路区分为两大类:(1)用以传递、分配电能的**电力电路**,和(2)用以传递、处理或变换电信号的**电子电路**。所谓**电信号**通常是指反映信息(如语言、图象、数码等)特征的随时间变化的电流或电压,也可以是电荷或磁通。尽管上述各种类型电路中的电流、功率有数量级的差别,分析与计算的方法也不尽相同,然而它们都服从同样的电路定律。

二、电 路 模 型

为了便于对实际电路进行分析和数学描述,就必须对实际电路的物理特性进行科学的抽象和概括。对电路中各种实际器件的电磁特性在一定条件下进行科学抽象,其外部特性用规定的**电路元件(circuit element)**符号来表示,然后参照实际连接情况把这些电路元件进行组合,从而构成了与实际电路相对应的**电路模型(model)**。可见,电路模型是由一些能反映实际电路的基本物理规律经过抽象概括的理想化电路元件所组成的,是对实际电路的一种逼近。

在研究电路时,常用数学表达式来描述这些电路元件本身以及各种不同电路元件之间的电

压与电流的关系。若将上述数学表达式联立构成方程组,则进而可建立数学模型,一旦得到数学模型以后,即可把电路的研究化为数学问题,应用数学方法进行分析和解决工程问题。

电路元件来源于实际器件,是对实际器件的模拟。因为任何实际器件工作过程都伴随着电和磁的现象,如果将这些电磁现象交织在一起考虑,则不仅使问题复杂化,有时甚至会无法进一步研究。例如就由导线绕成的线圈而言,在直流条件下,可不考虑其电感和匝间电容而用一个“电阻元件”来表征;但是在交流情况下,则此实际器件要用“电阻元件”和“电感元件”相串联来表征。由上可知,同一实际器件,在不同的条件下,有不同的电路模型。

电路元件主要有电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件等。由于这些元件都只有二个端钮,在任何瞬间流入一个端钮的电流恒等于从另一个端钮流出的电流,因而通称为二端元件(two-terminal element)。反映电路二端元件上电压和电流之间关系的数学表达式,称为元件的伏安特性,也称伏安关系(Voltage-Current Relationship,简称为VCR)。在电路分析中,我们只关心外部端口上的电压和电流之间的关系,而不必顾及到它们内部的物理机理。

最简单的实际电路由电源、负载和导线三部分组成。其中提供电能或电信号的器件,称为电源(source)。从电源吸收功率或接受电信号的器件,称为负载(load)。图 1-1(a) 为简单实际电路的一例,其中电池作为电源,它将化学能转换成电能,可用一个电动势 E 和内阻 R_0 相串联的电路模型来表征;灯泡作为负载,它将电能转换成光能和热能,可用电阻 R 来表征。略去连接导线的电阻,其电路模型如图 1-1(b) 所示。如果已知电源和灯泡的 E 、 R_0 和 R ,即可运用数学方法求解出电路中的电流 I 和电压 U 。

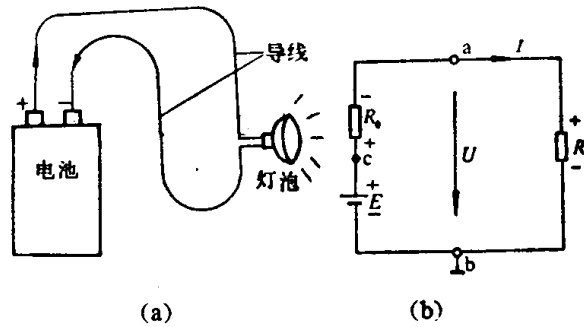


图 1-1 实际电路的电路模型

在开始分析电路之前,元件电压、电流的实际方向往往是未知的,因而必须假定一个参考方向(reference direction),也称正方向,以便建立电路方程。分析计算结果可正可负,正表示实际方向和假设的参考方向一致;而负则表示两者方向相反。可见参考方向的概念在电路分析中是十分重要的。为便于读者学习本课程,下面简单复习一下描述电路状态的基本物理量,并就其参考方向和实际方向问题进行讨论。这些物理量的严格定义已在物理学中阐明,不予赘述。

三、电路的基本物理量和参考方向

电流 在电场作用下,电荷的定向移动就形成电流(current)。电流是个代数量,它定义为在单位时间内通过导体横截面的电荷量 Q ,即

$$I = \frac{Q}{t} \tag{1-1}$$

式中 Q 的单位是库(C), t 的单位是秒(s), I 的单位是安(A)。大写字母 I 表示不随时间变化的电流,称为恒定电流。如果通过横截面的电荷随时间变化,则

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

称为**变化电流**,其瞬时值用小写字母 i 表示。

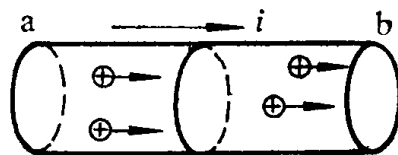


图 1-2 电流的方向

习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向。如图 1-2 所示的导体中,设正电荷从 a 端移向 b 端,则

电流的实际方向由 a 指向 b ,用箭头表示。有时亦用双下标来表示,如 i_{ab} 表示由 a 端流向 b 端的电流。当电流的实际方向不能确定时,可假定电流的参考方向。如图 1-2 中,电流的参考方向可假定为由 a 端流向 b 端,也可假定为由 b 端流向 a 端。如若计算结果显示电流为正值 ($i > 0$),则说明电流的实际方向与参考方向一致;反之,电流为负值 ($i < 0$),说明电流的实际方向与参考方向相反。

电压和电位 任何带电现象都是分离两种异号电荷所形成的。电荷的分离需要提供某种形式的能量,用以反抗异号电荷间的吸引力而作功。在分离过程中,所提供的能量转变为电位能。这表明在电路某点上的电荷是具有能量的,并且电荷一旦移动,就会发生能量的变化。电荷 dq 由电路的一点移到另一点时所失去或获得的能量为 dW ,能量对电荷的变化率

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

称为两点间的**电压(voltage)**。式中能量的单位为焦耳(J),电荷的单位为库(C),电压的单位为伏(V),电压的瞬时值用小写字母 u 表示。如果两点间电压不随时间变化,称为**恒定电压**,用大写字母 U 表示。

电压亦称**电位差** (electric potential difference)。 a, b 两点之间的电压 U_{ab} 在数值上也等于 a 点的电位 V_a 与 b 点的电位 V_b 之差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

电压的实际方向规定为由高电位指向低电位,是电压降的方向。电压的实际方向有时也称**实际极性(polarity)**。在图 1-3(a)的电路段中,如果 a 点电位比 b 点高, a 点极性为正,标以“+”号; b 点极性为负,标以“-”号,这时 $U_{ab} > 0$ 。反之,如果 a 点电位比 b 点电位低,电压 $U_{ab} < 0$ 。电压的方向可用正、负符号表示,也可以用如图 1-3(b)中所示箭头来表示。值得注意,电路中“+”“-”只有相对意义,即在某元件上标有“+”的点相对于标有“-”的点处的电位要高些。但是,此元件标有“+”处的电位并不一定比其它元件上标有“-”处的电位来得高些。例如图 1-1(b)中, R_0 元件的“-”端电位与 R 元件的“+”端电位相同。

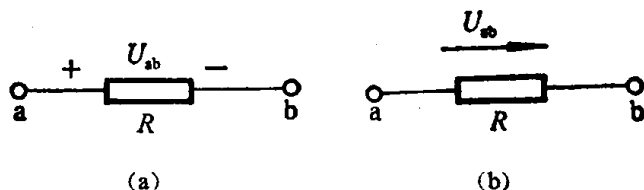


图 1-3 电压的方向

在分析电路时,特别在模拟电子电路中,经常要用到“**电位 (electric potential)**”这一物理

于量。电位的概念与重力场中的位能概念十分相似。电位的数值不是绝对的，它是相对于在电路中所选的零电位“参考点”而言的。所谓某点的电位是指该点到零电位参考点的电压降。例如，图 1-1(b)，我们选 b 点为零电位参考点，用符号“⊥”表示，则

$$V_a = U_{ab} \tag{1-5}$$

$$V_c = E \tag{1-6}$$

电位的单位也是伏(V)。电位与电压的区别在于电位是相对量，与零电位参考点选择有关，而电压是绝对量，是两点之间的电位差，与零电位参考点选择无关。

在电路中已知电位高低的情况下，外电路电流的实际方向是从高电位点流向低电位点，即电位降的方向或电压的方向。电流和电压的参考方向可以任意假定，并且电流和电压参考方向的假定是彼此独立的。但习惯上为了便于分析处理，总是把电压的参考方向和电流的参考方向取成一致，这样两者的参考方向便关联地确定。如图 1-4 所示电路，在电路中只需标出电流（或电压）的参考方向，则电压（或电流）的参考方向便可关联地确定。若电流参考方向为从 c 点流向 d 点，则二端元件上的参考极性是上正下负，电压的参考方向为向下。图中电表指针的转向也指明了电流和电压的**关联参考方向**(associated reference direction)。

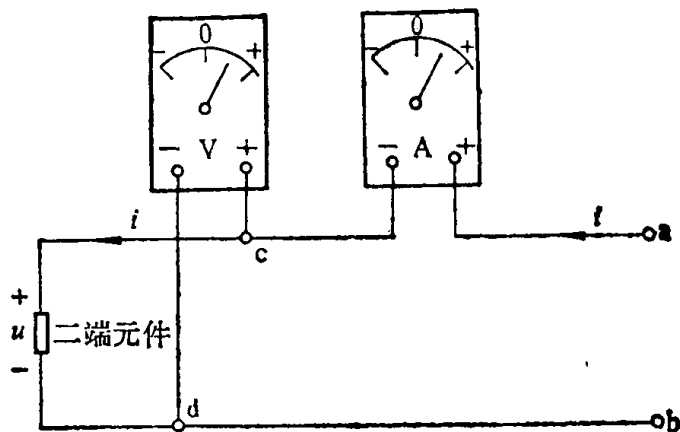


图 1-4 电压和电流的关联参考方向

电动势 要使电路中有电流连续不断地流动，则电路两端就需要维持一定的电位差。电源两端所呈现的电位差或电压，是由局外力引起的。例如电池内部的化学反应会产生局外力。又如导体在磁场中运动，导体内部也会产生局外力。局外力把单位正电荷从电路中 a 点移到 b 点所作的功，称为 a、b 两点间的**电动势**(electromotive force)，其瞬时值用小写字母 e 表示。当电动势不随时间变化时，用大写字母 E 表示。电动势的单位也是伏(V)。电动势的方向规定为驱动正电荷移动的方向，即规定为从“—”指向“+”，即电位升的方向，而与电压方向相反。

图 1-5 中假设电源电动势 E 的参考方向及其端电压 U 的参考方向如图所示。如果电源电动势 E 实际上建立的 a 端电位高于 b 端，如图 1-5(a)所示，由于 E 和 U 的参考方向相反，与各自规定的实际方向一致，所以 E 和 U 均为正，从而 $E = U$ 。如果 E 和 U 的参考方向假定如图 1-5(b)所示

示,这时 E 的参考方向与实际方向一致, E 为正;而 U 的参考方向与实际方向相反, U 为负。所以 $E = -U$ 。总而言之,实际方向是客观存在,而参考方向是人为假定的。这两种概念不能混淆。

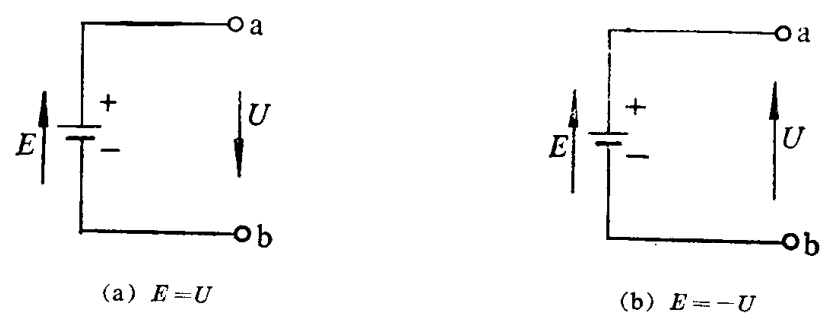


图 1-5 电动势和电压的关系

功和功率 设导体中某两点的电位差为 U , 在时间 t 内通过的电荷量为 Q , 则电场力所作的功 (work) 为

$$W = QU \quad (1-7)$$

或

$$W = UI t \quad (1-8)$$

其对应的功率 (power) 为

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-9)$$

功率单位为瓦特, 简称瓦 (W)。功的单位为焦耳, 简称焦 (J)。实用上, 电功率用千瓦小时作为单位。1 千瓦小时等于 1 千瓦功率在 1 小时内所作的功。1 千瓦小时俗称 1 度电。

如果电压和电流是随时间变化的, 则在 dt 时间内电场力所作的功为

$$dW = u i dt \quad (1-10)$$

在时间 t 内电场力所作的功为

$$W = \int_0^t u i dt \quad (1-11)$$

其对应的瞬时功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = u i \quad (1-12)$$

图 1-6 所示方框二端元件吸收的功率为

$$p = u i \quad (1-13)$$

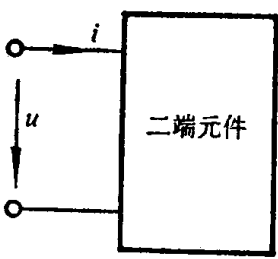


图 1-6 二端元件

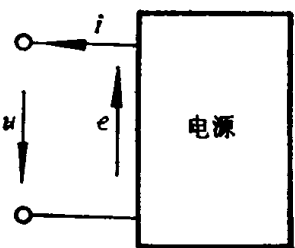


图 1-7 电源的功率

当元件两端电压 u 和电流 i 方向相同时, $p > 0$, 表示元件吸收功率; 当 u 和 i 方向相反时, $p < 0$, 则表示该元件向外提供功率。若二端元件是电源, 原则上也可用式 (1-13) 来计算, 但为了避免电源向外提供功率时出现负值, 因而习惯上常用电源的电动势取代电压来计算电源功率。如对

图 1-7, 电源的瞬时功率 p_s 可用下式计算:

$$p_s = ei \quad (1-14)$$

在电动势 e 方向与电流 i 方向相同时, $p_s > 0$, 表示电源向外提供功率; 当电动势 e 方向和电流 i 方向相反时, $p_s < 0$, 则表示电源吸收功率。

电气设备在工作时, 由于消耗电能而发热。超过设备容许的温度会影响它的使用寿命, 甚至烧毁。为了保证电气设备规定的使用寿命及能够安全工作, 制造厂在电气设备的铭牌或产品说明书上给出了它的电压、电流、功率和频率等限额, 这些限额通称为**额定值**(rated value)。

在额定电压下, 电源电流或负载电流等于其额定值的状态, 称为**满载**; 超过其额定值时, 称为**过载**。如果电源未接通负载, 电流为零, 这种状态称为**空载**。负载电流小于额定值称为**欠载**。

四、短路和开路

短路和**开路**是电路工作时的二种特殊状态。设某二端元件 R 跨接于电路中的 a 与 b 两点之间, 整个电路的其余部分用一个框图来表示, 见图 1-8(a)。这时电路处于通路状态。若在 a b 两点之间用一根电阻为零的导线连接起来以取代电阻 R , 则 ab 两点之间电压等于零, 即 $U_{ab} = 0$ 。这种状态称为**短路**(short circuit)。短路时通过连接导线的电流 I_{ab} 由电路的其余部分所决定。若短路发生在电源的端口, 则有极大的短路电流流过电源, 可能会使电源立即烧毁, 关于这种情况将在[例题 1-2]中作进一步阐明。另外, 有时根据工作需要将电路中某一部分短路起来, 例如电动机起动时, 为了保护串联在电路中的电流表不致因流过过大电流而损坏, 一般用闭合开关将电流表的两端短接, 使它在电动机起动时退出工作, 像这类人为有意识的短路, 有别于事故短路, 通常把这类短路称为**短接**。

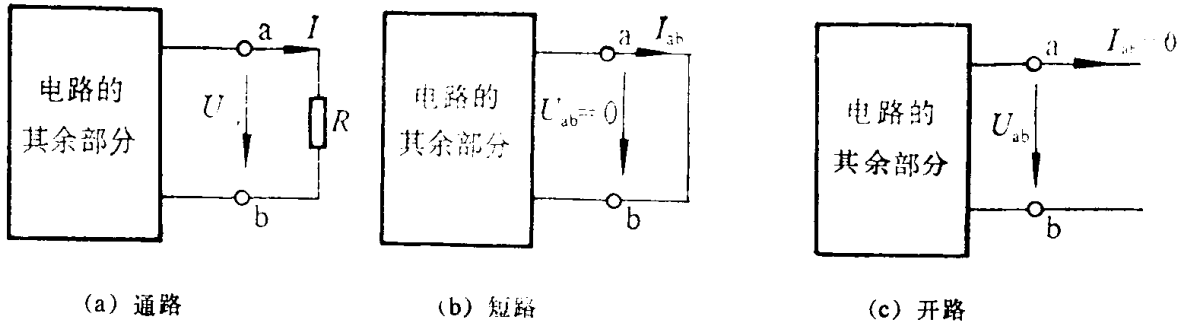


图 1-8 电路的三种状态

若 ab 两点之间不接任何元件, 则 $I_{ab} = 0$ 。这种状态称为**开路**(open circuit), 如图 1-8(c) 所示。开路时 ab 两点之间的电压由电路的其余部分来决定。

应该指出, 开路和短路实质上是通路状态中的二种特殊情况。如图 1-8(a) 所示的通路状态, 若 $R = 0$, 则是短路状态; 若 $R \rightarrow \infty$ 则是开路状态。

五、单位制和词冠

本书采用国际单位制, 表 1-1 列出了国际单位制中常用的电学量单位。在实用上感到国际