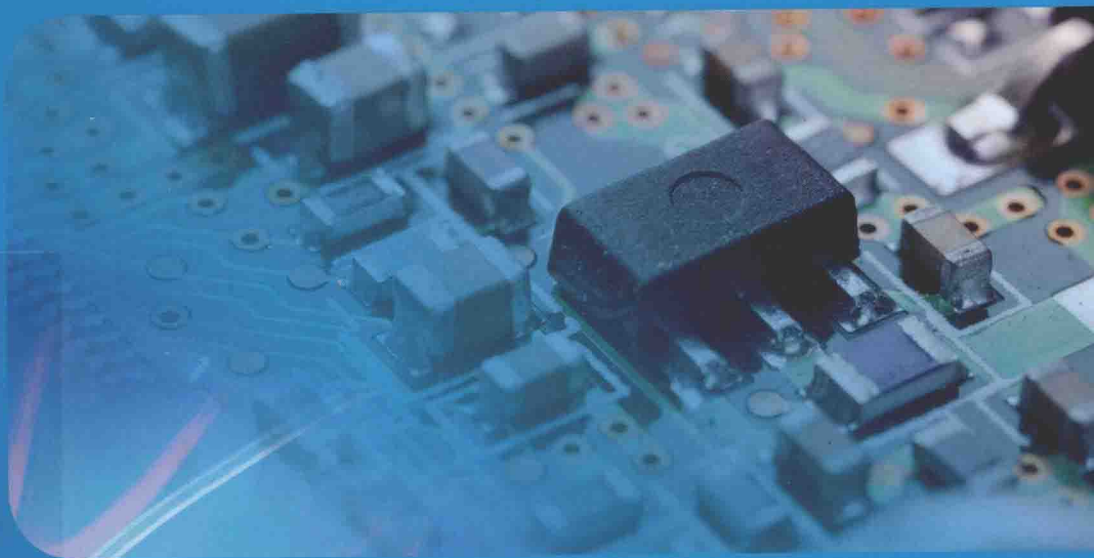




普通高等教育“十三五”规划教材
(电工电子课程群改革创新系列)

电路与模拟电子技术基础

主 编 刘献如 罗桂娥
副主编 张婵娟 毛先柏



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

电路与模拟电子技术基础

主 编 刘献如 罗桂娥

副主编 张婵娟 毛先柏

 中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书主要介绍电路与模拟电子技术基础课程的内容,全书共10章,主要内容
包括:电路的基本概念和基本定律、直流电路的一般分析方法、一阶动态电路的
暂态分析、交流正弦稳态电路的分析、常用半导体器件、基本放大电路、集成运
算放大器与负反馈放大电路、信号运算与转换电路、直流稳压电源。本书在每章
开头设有内容提要,知识点配有问题引导,每章结束后对本章知识点进行了回顾
与总结,并配有大量的例题与习题。

本书可作为高等学校计算机、通信、智能科学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,还可作为电工电子技术人
员学习的参考书。

本书配有免费电子教案,读者可以从中国水利水电出版社网站以及万水书苑下
载,网址为: <http://www.waterpub.com.cn/softdown/>或 <http://www.wsbookshow.com>。

图书在版编目(CIP)数据

电路与模拟电子技术基础 / 刘献如, 罗桂娥主编

. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016.9

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5170-4784-1

I. ①电… II. ①刘… ②罗… 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(2016)第238290号

策划编辑: 周益丹 责任编辑: 李 炎 加工编辑: 郭继琼 封面设计: 李 佳

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 电路与模拟电子技术基础 DIANLU YU MONI DIANZIJISHU JICHU
作 者	主 编 刘献如 罗桂娥 副主编 张婵娟 毛先柏
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规 格	170mm×227mm 16开本 28.5印张 531千字
版 次	2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	42.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

普通高等教育“十三五”规划教材

(电工电子课程群改革创新系列)

编审委员会名单

主 任：施荣华 罗桂娥

副主任：李 飞 宋学瑞

成 员：(按姓氏笔画排序)

刘子建 刘曼玲 吕向阳 寻小惠 吴显金

宋学瑞 张亚鸣 张晓丽 张静秋 李 飞

李力争 李中华 陈 宁 陈明义 陈革辉

罗 群 罗桂娥 罗瑞琼 姜 霞 胡燕瑜

彭卫韶 覃爱娜 谢平凡

秘 书：雷 皓

前 言

本书是针对计算机专业及相关专业编写的电工电子基础教材，与电气电子类专业不同，对于计算机专业的学生既要比较熟练地掌握电工电子技术的方法和应用，又不要求对电路理论作深入研究；但也不同于非电专业只要求掌握电工电子技术的概念，它对于分析和设计还是有一定的要求，以便于掌握计算机相关硬件知识，从事计算机接口电路的分析和设计，对于电机及其控制一般不做要求。因此，计算机专业在实施专业教学的过程中，既不能与电类专业一样按多门课程进行电工电子基础教学，又难以以非电专业的电工电子教学大纲开展教学。同时，新知识与新技术不断涌现，为了适应新的课程体系和课程课时压缩的实际需求，国内大部分高等学校将“电路”与“模拟电子技术”合并设立为一门课程，后续“数字电子技术”或是“数字逻辑基础”仍单独设课，以此完成电工电子基础的教学。正是在这样的背景下，我们根据学科特点和教学要求，总结多年从事电路与电子技术教学工作的丰富的教学经验，针对电路与电子技术课程的基本要求和特点，编写了本教材。

本书共分为 10 章，第 1~4 章为电路基础内容，主要介绍基本的电路理论和电路分析方法，先对电路的基本概念和基本定律进行了介绍，在此基础上介绍直流电路的一般分析方法。在本着电路分析够用的前提下，重点介绍了支路电流法和结点电压法、戴维宁定理和诺顿定理，然后对含动态元件的一阶暂稳态电路的分析进行了介绍，最后对交流正弦稳态电路及分析方法进行了介绍，并在此部分增加了电路的频响特性及三相电路的分析。第 5~10 章为模拟电子技术基础部分，先介绍了半导体器件，着重介绍了器件外部特性，接下来将基本放大电路放在第 6 章进行讲述，第 7 章介绍了集成电路以及负反馈放大电路，第 8~9 主要介绍了信号运算、处理及产生电路，基本上以集成运放为主，第 10 章介绍了直流稳压电源。

在编写过程中，编者认真总结了多年教学经验，参照学习了国内同类相关教材及著作。本书以培养学生分析问题和解决问题的能力、提高学生的素质为目的，注重基本概念、基本原理、基本方法论，在每章后面附了辅修内容，既能使学生

掌握基础，又能让感兴趣的学生深入学习。全书内容描述简练，通俗易懂，便于自学。

本书的编写大纲是在中南大学电工电子基础教学中心全体教师讨论的基础上制订的，其中第1、2章由毛先柏老师编写，第3、4章由张婵娟老师编写，第5~7由罗桂娥老师编写，第8~10章由刘献如老师编写。

由于编者水平有限，书中难免存在不足和错误，恳请广大读者批评指正。

编者

2016年8月

目 录

前言

第1章 电路的基本概念和定律	1
1.1 电路组成与电路模型	1
1.1.1 电路的作用和组成	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路分析的常用变量	3
1.2.1 电流及其参考方向	3
1.2.2 电压及其参考方向	4
1.2.3 关联参考方向	5
1.2.4 功率和能量	6
1.3 理想无源元件	7
1.3.1 电阻元件	7
1.3.2 电容元件	9
1.3.3 电感元件	11
1.4 理想有源元件	13
1.4.1 独立电源	13
1.4.2 受控电源	16
1.5 基尔霍夫定律	17
1.5.1 基尔霍夫电流定律	18
1.5.2 基尔霍夫电压定律	20
1.6 电路中电位的计算	22
本章小结	24
习题一	24
第2章 电路的基本分析方法	28
2.1 一端口电路的等效变换	28
2.1.1 等效一端口电路的概念	28
2.1.2 电阻的串并联	29
2.1.3 电源的等效变换	32
2.2 支路电流法	37

2.3 回路(网孔)电流法	38
2.4 结点电压法	42
2.5 叠加定理	46
2.6 等效电源定理	50
2.6.1 戴维宁定理	51
2.6.2 诺顿定理	54
2.6.3 最大功率传输定理	56
本章小结	58
习题二	59
第3章 一阶动态电路的暂态分析	63
3.1 动态电路方程	63
3.1.1 动态电路方程的列写	63
3.1.2 一阶微分方程的求解	65
3.2 换路定则及其初始条件	68
3.2.1 换路定则	69
3.2.2 初始条件确定	69
3.3 一阶电路零输入响应	71
3.3.1 一阶 RC 电路的零输入响应	71
3.3.2 一阶 RL 电路的零输入响应	74
3.4 一阶电路零状态响应	76
3.4.1 一阶 RC 电路的零状态响应	76
3.4.2 一阶 RL 电路的零状态响应	77
3.5 一阶电路全响应及三要素法	78
3.5.1 一阶 RC 电路的全响应	79
3.5.2 一阶 RL 电路的全响应	81
3.5.3 一阶动态电路分析的三要素法	82
3.6 辅修内容	87
本章小结	91
习题三	92
第4章 交流正弦稳态电路分析	96
4.1 正弦量及其相量表示法	96
4.1.1 周期和频率	97
4.1.2 幅值和有效值	97
4.1.3 相位和相位差	98

4.1.4 正弦量的相量表示与相量图	100
4.2 正弦量电路中的相量模型	101
4.2.1 电阻、电容及电感的相量模型	102
4.2.2 基尔霍夫定律相量模型	104
4.2.3 阻抗和导纳	105
4.3 正弦稳态电路分析	107
4.4 正弦稳态电路的功率	109
4.4.1 瞬时功率	109
4.4.2 有功功率及功率因数	109
4.4.3 无功功率和视在功率	110
4.4.4 功率因数的提高	113
4.5 交流电路中的频率特性	114
4.5.1 滤波特性	115
4.5.2 串联谐振	118
4.5.3 并联谐振	122
4.6 三相交流电路	123
4.6.1 三相电源和三相负载	124
4.6.2 对称三相电路的分析	128
4.6.3 三相负载的功率	131
4.7 辅修内容	133
4.7.1 非正弦周期交流稳态电路	133
4.7.2 不对称三相电路的分析	135
本章小结	137
习题四	139
第5章 常用半导体器件	145
5.1 半导体器件基础	145
5.1.1 半导体材料及其导电特性	145
5.1.2 P型与N型半导体	147
5.1.3 PN结的形成及其单向导电性	149
5.2 半导体二极管	151
5.2.1 二极管的结构与类型	151
5.2.2 二极管的伏安特性	152
5.2.3 二极管的主要参数	154
5.2.4 二极管的等效电路	155

5.2.5 稳压二极管	156
5.2.6 二极管应用举例	157
5.3 双极型晶体三极管	163
5.3.1 BJT 的基本结构与类型	163
5.3.2 BJT 的工作原理与电流分配关系	164
5.3.3 BJT 的共射特性曲线与分区	167
5.3.4 BJT 的主要参数及温度的影响	169
5.3.5 BJT 的简化小信号模型	172
5.3.6 晶体管分析举例	173
5.4 场效应管	177
5.4.1 场效应管的分类	178
5.4.2 增强型 NMOS 管的结构原理与伏安特性	178
5.4.3 耗尽型 NMOS 管的结构原理与伏安特性	181
5.4.4 场效应管的主要参数	183
5.4.5 场效应管的交流小信号模型	184
5.5 复合管	185
5.6 辅修内容	187
5.6.1 半导体器件型号命名及方法	187
5.6.2 光电器件	187
本章小结	190
习题五	192
第 6 章 基本放大电路	198
6.1 放大电路的基本概念及性能指标	198
6.1.1 放大电路的作用	198
6.1.2 放大电路的性能指标	199
6.2 双极型晶体三极管放大电路	203
6.2.1 单管放大电路基本结构与工作状态	203
6.2.2 单管共射放大电路分析	205
6.2.3 静态工作点稳定	213
6.2.4 共集电极放大电路和共基极放大电路	217
6.3 场效应管放大电路	221
6.3.1 场效应管放大电路的静态偏置	221
6.3.2 场效应管放大电路的动态分析	223
6.4 差动放大电路	225

6.4.1 差动放大电路结构与抑制零漂的原理	225
6.4.2 双入差动放大电路基本性能分析	229
6.5 功率放大电路	234
6.5.1 功率放大电路的特点与主要性能指标	235
6.5.2 功率放大电路的类型	236
6.5.3 乙类互补对称 OCL 功率放大电路	238
6.6 多级放大电路	243
6.6.1 多级放大电路的耦合方式	243
6.6.2 多级放大电路分析举例	246
6.7 辅修内容	249
6.7.1 晶体管电流源电路	249
6.7.2 集成功率放大电路	252
本章小结	253
习题六	255
第7章 集成运算放大器与负反馈放大电路	261
7.1 集成运算放大电路	261
7.1.1 集成运放简介	262
7.1.2 集成运放的主要性能指标	263
7.1.3 集成运放的模型及电压传输特性	264
7.2 理想运放工作区域及特点	266
7.2.1 理想运放工作在线性区的特点	266
7.2.2 理想运放工作在非线性区的特点	267
7.3 反馈的基本概念与分类	267
7.3.1 基本概念	268
7.3.2 反馈的类型及其判别	268
7.3.3 交流负反馈的四种反馈组态	276
7.4 负反馈放大电路的方框图及一般表达式	276
7.4.1 负反馈放大电路的方框图	277
7.4.2 负反馈放大电路的一般表达式	277
7.4.3 四种组态负反馈放大电路的方框图	278
7.5 负反馈对放大电路性能的影响	280
7.5.1 提高放大倍数的稳定性	280
7.5.2 减小非线性失真	280
7.5.3 增宽放大电路的通频带	282

7.5.4 改善输入电阻与输出电阻	283
7.5.5 放大电路中引入负反馈的一般原则	285
7.6 深度负反馈放大电路的分析	288
7.6.1 深度负反馈的实质	288
7.6.2 深度负反馈条件下闭环增益的估算	290
7.7 辅修内容	294
7.7.1 集成运放的使用与注意事项	294
7.7.2 负反馈放大电路的稳定性	297
本章小结	300
习题七	302
第8章 信号运算与处理电路	307
8.1 比例运算电路	307
8.1.1 反相比比例运算电路	307
8.1.2 同相比比例运算电路	308
8.2 求和运算电路	309
8.2.1 反相求和运算电路	309
8.2.2 同相求和运算电路	310
8.3 减法运算电路	311
8.4 积分运算电路与微分运算电路	314
8.4.1 积分运算电路	314
8.4.2 微分运算电路	316
8.5 模拟乘法器及其应用	318
8.5.1 模拟乘法器简介	319
8.5.2 模拟乘法器的应用	319
8.6 有源滤波电路	323
8.6.1 滤波电路的基础知识	324
8.6.2 有源低通滤波器	327
8.6.3 有源高通滤波器	330
8.6.4 带通滤波器	331
8.6.5 带阻滤波器	334
8.7 辅修内容	336
8.7.1 对数运算电路与指数运算电路	336
8.7.2 开关电容滤波器	341
本章小结	343

习题八	344
第9章 波形产生与信号转换	349
9.1 正弦波产生电路	349
9.1.1 正弦波振荡电路的起振与平衡条件	349
9.1.2 RC 正弦波振荡电路	352
9.1.3 LC 正弦波振荡电路	357
9.1.4 石英晶体正弦波振荡电路	365
9.2 电压比较器	370
9.2.1 单限比较器	370
9.2.2 滞回比较器	373
9.2.3 窗口比较器	379
9.3 非正弦波产生电路	380
9.4 信号转换电路	384
9.4.1 电压—电流转换电路	385
9.4.2 电压—频率转换电路	386
9.4.3 精密整流电路	388
9.5 辅修内容	391
9.5.1 三角波产生电路	391
9.5.2 集成锁相环	394
本章小结	397
习题九	398
第10章 直流稳压电源	405
10.1 直流稳压电源的基本组成	405
10.2 单相整流电路	406
10.2.1 单相半波整流电路	406
10.2.2 单相桥式全波整流电路	407
10.3 滤波电路	410
10.3.1 电容滤波电路的工作原理	410
10.3.2 电容滤波电路的输出特性及主要参数	411
10.3.3 其他滤波电路	413
10.4 稳压二极管稳压电路	415
10.4.1 稳压原理	415
10.4.2 电路参数选择	416
10.5 串联型稳压电路	418

10.6 集成三端稳压器及应用	422
10.6.1 固定式集成三端稳压器	422
10.6.2 可调式集成三端稳压器	427
10.7 辅修内容	431
10.7.1 倍压整流电路	431
10.7.2 稳压电路的性能指标	433
本章小结	434
习题十	435

第 1 章 电路的基本概念和定律



内容提要

本章主要介绍电路模型的概念、电路分析的基本变量、理想的电路元件以及电路的基本定律——基尔霍夫定律。

1.1 电路组成与电路模型

1.1.1 电路的作用和组成

日常生活中随处可见各种实际电路,例如手电筒电路、照明电路、电视机电路、手机电路以及计算机电路等。这些实际电路是由各种电气设备或元器件为了实现一定的功能,按照一定的方式互相连接而成的电流通路。根据不同的需要人们用各种不同的实际电路来实现各自的任务,使得实际电路的类型多种多样。

不同实际电路的作用是各不相同的,但就其基本功能而言,可把实际电路分为两大类:一类以实现能量的传输和转换为目的,各种常见的照明电路和动力电路都是这种电路,图 1-1 所示的就是一个简单电力系统的基本结构示意图;另一类以实现信号的传递与处理为目的,电子技术、通信系统中的电路就主要实现这个功能,扩音机是产生、传递与处理电信号的典型例子,其结构框图如图 1-2 所示。

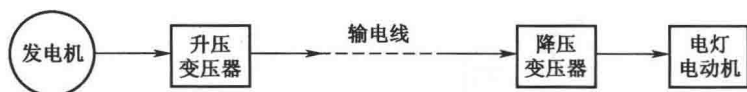


图 1-1 简单电力系统的基本结构示意图

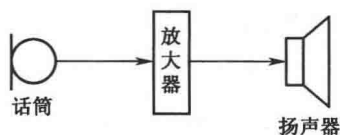


图 1-2 扩音机结构框图

实际电路都是由电源（或信号源）、负载和中间环节三部分组成的。电源是将其他形式的能量（非电能）转换为电能的供电设备；信号源将非电信号转换为电信号；负载将电能转换为其他形式的能量；连接电源与负载的部分统称为中间环节，如变压器、放大器、连接导线等。

1.1.2 电路模型

电路理论是一门关于电的公共基础性的工程学科，电路理论是建立在理想化模型基础上的。电路理论的对象并不是实际电路，而是它们的数学模型——电路模型。电路模型是实际电路在一定条件下的科学抽象和足够精确的数学描述，电路理论中所说的电路，是指由各种理想元件按一定方式连接组成的总体。理想电路元件是用数学关系式严格定义的假想元件，每一种理想元件都可以表示实际器件所具有的一种主要的电磁性能，理想电路元件的数学关系反映了实际电路器件的基本物理规律。

实际电路的模型化首先是实际器件的模型化。实际器件种类繁多，但其在电磁现象方面却有共同之处。任何一种实际器件，根据其不同的工作条件总可以用一个或几个理想元件的组合来近似表征。用理想元件及其组合表征实际电路的每一个器件，就可得到该实际电路的电路模型。图 1-3（a）为手电筒电路，该电路由干电池、小灯泡、开关和手电筒壳（相当于导线）组成。其电路模型如图 1-3（b）所示，图中的电阻元件 R 作为小灯泡的电路模型，反映了将电能转换为热能和光能这一物理现象；干电池用电压源 U_S 和电阻 R_S 的串联组合作为模型，分别反映了电池内储化学能转换为电能以及电池本身消耗能量的物理过程；手电筒壳用理想导线（其电阻设为零），即线段表示；开关用理想开关（设开关闭合时其电阻为零、断开时其电阻为无穷大）表示。

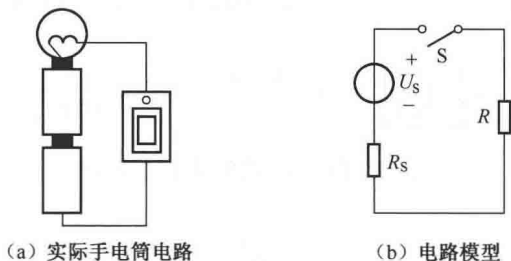


图 1-3 手电筒电路及其电路模型

需要注意，实际电路用电路模型来近似表示是有条件约束的，一种电路模型只有在一定条件下才是适用的，条件改变，对应的电路模型也要做相应地改变。

电路模型只反映了实际电路的主要性能,而忽略了它的次要性能,因而电路模型只是实际电路的近似,两者不能等同。大量的实践经验表明,只要电路模型选取适当,按电路模型分析计算的结果与相应实际电路的观测结果是基本一致的。当然,如果模型选取不当,则会造成较大的误差,有时甚至得出相互矛盾的结果。

理想元件是抽象的模型,没有体积和大小,其特性集中表现在空间的一个点上,称为集总参数元件。由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路,简称集总电路。在集总电路中,任何时刻该电路中任何地方的电流、电压都是与其空间位置无关的确定值。本书电路分析的对象就是集总电路。

1.2 电路分析的常用变量

电路理论中涉及的物理量主要有电流、电压、电荷、磁通、功率和能量等,通常把这些物理量统称为电路变量。在这些电路变量中,电流和电压是电路分析中最常用的两个变量,常将它们称为基本变量。

1.2.1 电流及其参考方向

单位时间内通过导体横截面的电荷量 q 定义为电流强度,简称电流,用 i 表示,即

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

上式中:电荷量的单位用库仑(C)、时间的单位用秒(s)时,电流的单位为安培(A)。实际应用中计量电流还常用千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA)等单位,它们之间的换算关系为 $1\text{A} = 1000\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$, $1\text{kA} = 1000\text{A}$ 。

电流的实际方向规定为正电荷定向运动的方向。如果电流的大小和方向不随时间变化,则这种电流称为恒定电流或直流电流(Direct Current, DC),用 I 表示;若电流的大小和方向随时间做周期性变化,则称为交流电流(Alternating Current, AC),用 i 表示,最常见的交流电流是正弦交流电流。

在电路分析中,电流的大小和方向是描述电流变量不可缺少的两方面,但是在复杂的直流电路和交流电路中,电流的实际方向往往是无法预知或随时间变化的,因此在分析电路时,必须预先设定一个方向作为参考方向,即电流的参考方向。

如图 1-4 所示,方框为连接电路 A、B 两点间的二端元件(泛指由多个电路元件组成的对外具有两个端子的一段电路,即二端电路),流经它的电流 I 的参考方向用实线箭头表示。电流的参考方向又叫电流的正方向,有了参考方向后,电