

Technique
实用技术

模拟电子技术 全程辅导及实例详解

王贞炎 肖看 编

MONIDIANZIJISHU



科学出版社

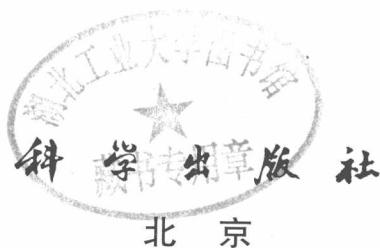
模拟电子技术 全程辅导及实例详解

王贞炎 肖 看 编

湖北工业大学图书馆



01321750



内 容 简 介

本书系统地介绍了模拟电子技术的基本原理和分析方法,通过大量实例阐述了模拟电子器件的工作原理、模拟电子线路的设计方法和模拟电路应用等方面的问题。

全书共分7章,内容涉及二极管、双极型晶体管、场效应管等分立元件的原理和应用电路,运算放大器原理和应用电路,有源滤波器、振荡器电路,以及电源稳压电路,并且加入了 Proteus 对各个要点实例的仿真。

本书适合各大中型院校电气、电子、信息技术类和计算机科学类专业的师生参考阅读,同时适合相关工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术全程辅导及实例详解/王贞炎,肖看编. —北京:科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-035232-3

I. 模… II. ①王…②肖… III. 模拟电路-电子技术-高等学校-教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 174113 号

责任编辑:王 炜 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:赵志远

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

佳艺恒彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

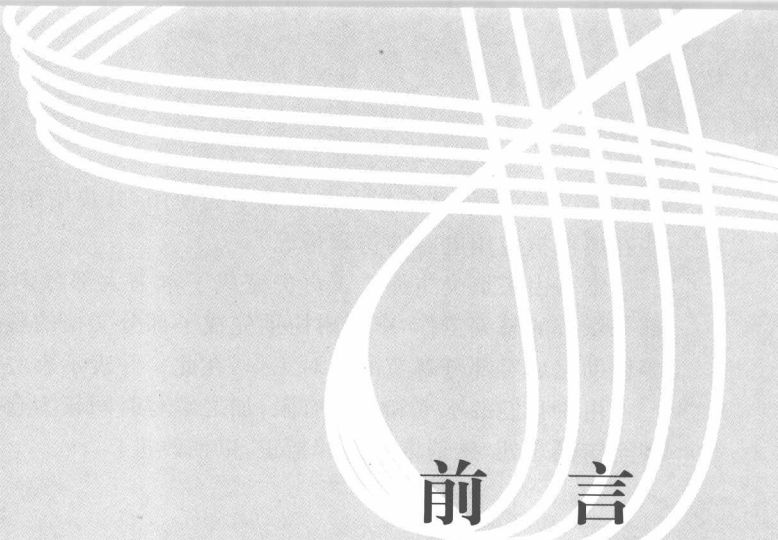
2012 年 10 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 10 月第一次印刷 印张: 20

印数: 1—3 000 字数: 374 000

定 价: 42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前言

从 19 世纪末、20 世纪初开始,电子技术发展最迅速、应用最广泛,成为近代科学技术发展的一个重要标志。进入 21 世纪,人们面临的是以微电子技术、电子计算机和因特网为标志的信息社会。近来常听见一些说法“当前已进入数字时代”,“模拟技术过时了”等等,事实上,数字技术作为一种更易实现和规模化的信息处理方式,其发展和广泛应用,不仅不会替代模拟技术,而且为模拟技术的发展开辟了更广阔的空间,数字技术所要记录和处理的数据来源均是真实宏观世界中的模拟量,数字技术的发展必将带动模拟技术的发展。模拟电子技术是电子技术的基础,是电子技术中不可或缺的部分,一个电子系统可以没有数字电路,但一定不会没有模拟电路。因此掌握好模拟电子技术,是掌握电子技术、电路系统设计的基础,它有着广泛的学术和应用价值。

本书的编写以美国经典教材 Electronics Technology Fundamentals 为基本架构,结合国内模拟电路的教学体系的实际需要,考虑到使学生获得必要的模拟电子技术基础理论、基本知识和基本技能,认真地贯彻了理论够用、应用加强、提高分析和解决实际问题的能力的原则。

本书系统地介绍了模拟电子技术的基本原理和分析方法,通过大量实例阐述了模拟电子器件的工作原理、模拟电子线路的设计方法和模拟电路应用等方面的问题。全书共分 7 章。前 3 章分解讲述了二极管、双极型晶体管、场效应管三种主要的分立器件,阐述了它们自身的工作原理、主要特性和参数,并介绍了它们的主要应用电路。第 4 章讲述运算放大器原理和应用电路,运算放大器是目前模拟电子技术中最为重要的器件,书中分节介绍了运算放大器自身的原理、运算放大器的主要特点和性能参数以及常见的应用电路。第 5 章讲述有源滤波器和振荡器,介绍采用运算放大器搭建的各种有源滤波器电路以及一些使用运算放大器或分立器件构成的振荡器电路。第 6 章讲述电源稳压电路,从简单的分立器件构成的稳压电路开始,介绍线性电路稳压电路的一般原理,而后介绍经典的集成稳压芯片,最后讲述当前被广泛应用的 DC-DC 稳压电路的原理和应用。第 7 章简要介绍了

Proteus 仿真软件在模拟电路仿真中的使用,并集中给出了本书前 6 章中涉及的一些经典模拟应用电路的仿真情况。

本书由王贞炎主编。王贞炎完成了本书大部分内容的编写工作,肖看参与了部分章节的整编工作,李蔚琳协助完成了部分文档的整理工作,欧迎春、刘祥、陶也等协助完成了部分章节的校对工作,在此一并表示衷心的感谢!

由于我们的水平和能力有限,加之编写时间较为仓促,书中难免存在一些疏漏甚至错误之处,恳请读者批评指正,以便改进!

编 者

目 录

第 1 章 pn 结与二极管

1. 1 半导体和掺杂	2
1. 1. 1 半 导 体	2
1. 1. 2 掺 杂	2
1. 2 pn 结和二极管	4
1. 2. 1 pn 结	4
1. 2. 2 二 极 管	5
1. 3 二极管的特性和参数	6
1. 3. 1 理想二极管的特性	6
1. 3. 2 实际应用中的二极管	7
1. 3. 3 实际电路分析	7
1. 3. 4 二极管的额定值	8
1. 3. 5 二极管的其他参数	10
1. 3. 6 二极管的特性	12
1. 4 稳压二极管	15
1. 4. 1 稳压管工作特性	16
1. 4. 2 稳压二极管的额定值	17
1. 5 发光二极管	20
1. 5. 1 发光二极管特性	20
1. 5. 2 限流电阻	21
1. 5. 3 彩色发光二极管	22
1. 5. 4 常用二极管	23
1. 6 二极管测试	23
1. 6. 1 测试 pn 结二极管	23
1. 6. 2 测试稳压二极管	24

1.6.3 测试发光二极管	25
1.7 整流电路和滤波	25
1.7.1 半波整流电路	26
1.7.2 全波整流器	31
1.7.3 全波桥式整流器	34
1.7.4 滤波整流器	37
1.8 限幅与箝位	43
1.8.1 限幅器	43
1.8.2 箝位器	48

第2章 双极型晶体管

2.1 双极型晶体管的结构和原理	66
2.1.1 双极型晶体管简介	66
2.1.2 晶体管的结构和工作原理	72
2.2 晶体管工作条件	76
2.2.1 直流负载线	76
2.2.2 Q点	78
2.3 偏置	79
2.3.1 基极偏置	79
2.3.2 分压偏置	81
2.3.3 其他晶体管偏置电路	86
2.4 放大电路	92
2.4.1 放大电路的增益	93
2.4.2 电压放大器模型	94
2.4.3 放大电路的输入阻抗	94
2.4.4 放大电路的输出阻抗	95
2.4.5 输出和输入电路综合效果	96
2.4.6 理想电压放大器	97
2.4.7 晶体三极管放大电路的接线方式	98
2.5 共发射极放大电路	101
2.5.1 输入/输出相移关系	101
2.5.2 交流共发射极电阻	102
2.5.3 小信号电流增益	103
2.5.4 交流等效电路	103
2.5.5 耦合电容和旁路电容	104

2.5.6	电压增益	106
2.5.7	放大电路的输入阻抗	107
2.5.8	放大电路的电流增益	108
2.5.9	功率增益	109
2.6	射极跟随器	110
2.6.1	直流特性	110
2.6.2	饱和及截止	110
2.6.3	小信号特性分析	111
2.6.4	输入阻抗	112
2.6.5	输出阻抗	113
2.6.6	功率增益	114
2.7	共基极放大电路	114
2.7.1	交流分析	115
2.7.2	小 结	116
2.8	乙类放大电路	116
2.8.1	乙类放大电路的工作概述	117
2.8.2	直流工作特性	118
2.8.3	交流工作特性	118
2.8.4	功率计算	119
2.8.5	偏置二极管(甲乙类放大电路)	120
2.8.6	偏置二极管直流特性	121
2.9	相关问题	122
2.9.1	放大电路稳定性	122
2.9.2	复合管放大电路	123
2.9.3	晶体管功率要求	124

第3章 场效应管

3.1	JFET 简介	132
3.2	JFET 工作原理与工作条件	133
3.2.1	工作原理	133
3.2.2	工作条件	138
3.3	共源放大电路	145
3.3.1	工作原理	145
3.3.2	互 导	146
3.3.3	放大电路的电压增益	148

3.3.4 JFET 稳定性	149
3.3.5 放大电路的输入阻抗	151
3.4 共漏和共栅放大电路	151
3.4.1 共漏放大电路(源极跟随器)	151
3.4.2 共栅放大电路	154
3.4.3 小 结	155
3.5 MOSFET 简介:D-MOSFET 工作原理和偏置	156
3.5.1 MOSFET 结构和工作	156
3.5.2 D-MOSFET	157
3.5.3 互 导	159
3.5.4 D-MOSFET 偏置电路	159
3.5.5 D-MOSFET 的输入阻抗	160
3.5.6 D-MOSFET 与 JFET 比较	160
3.6 E-MOSFET	161
3.6.1 E-MOSFET 偏置电路	163
3.7 互补 MOSFET:MOSFET 应用	164
3.8 FET 的其他作用	166
3.8.1 JFET 收音机频率(RF)放大器	166
3.8.2 共栅共源放大器	166
3.8.3 功率 MOSFET 驱动器	167

第 4 章 运算放大器

4.1 运算放大器概述	176
4.1.1 集成电路	177
4.1.2 运算放大器封装	178
4.2 工作原理概述	178
4.2.1 运算放大器的增益	179
4.2.2 输入/输出极性	179
4.2.3 电源电压	180
4.3 差分放大器和运算放大器的特性	183
4.3.1 基本差分放大器	183
4.3.2 工作方式	185
4.3.3 输出偏移电压	185
4.3.4 输入偏移电流	186
4.3.5 输入偏置电流	186

4.3.6	共模抑制比	186
4.3.7	电源抑制比	187
4.3.8	输出短路电流	187
4.3.9	压摆率	187
4.3.10	输入/输出电阻	188
4.3.11	运算放大器的其他特性	188
4.4	反相放大器	189
4.4.1	放大器的输入阻抗	190
4.4.2	放大器的输出阻抗	190
4.4.3	放大器 CMRR	191
4.4.4	反相放大器分析	191
4.5	同相放大器	192
4.5.1	放大器的输入和输出阻抗	194
4.5.2	同相放大器的分析	194
4.5.3	电压跟随器	195
4.6	运算放大器的频率响应	195
4.6.1	频率与增益	195
4.6.2	增益带宽积	197
4.7	运算放大器电路	198
4.7.1	比较器	198
4.7.2	比较器应用	201
4.7.3	积分器	202
4.7.4	微分器	203
4.7.5	加法放大器	205
4.7.6	加法放大器的应用	207
4.7.7	加法放大器的改型	208
4.7.8	减法放大器	208
4.7.9	检测放大器	209

第5章 有源滤波器和振荡器

5.1	调谐放大器的特性	220
5.1.1	衰减速率与带宽	221
5.1.2	几何中心频率	222
5.2	有源滤波器简介	223
5.2.1	一般术语	223

5.2.2 巴特沃思、切比雪夫、贝塞尔滤波器	224
5.3 低通和高通滤波器	225
5.3.1 单极点低通滤波器	225
5.3.2 双极点低通滤波器	227
5.3.3 高通滤波器	227
5.3.4 增益界限	228
5.4 带通和带阻滤波器	230
5.4.1 二阶带通滤波器	230
5.4.2 多反馈带通滤波器	232
5.4.3 电路频率分析	232
5.4.4 滤波器增益	235
5.4.5 带阻滤波器	235
5.4.6 多反馈带阻滤波器	236
5.5 有源滤波器的应用	237
5.5.1 音频选频网络	238
5.5.2 简单图解均衡器	239
5.5.3 噪声滤波器	239
5.6 振荡器简介	239
5.6.1 正反馈	240
5.6.2 振荡器的基本概念	241
5.6.3 巴克豪森判据	241
5.7 移相振荡器	244
5.7.1 实际应用	245
5.8 维恩桥振荡器	246
5.8.1 正反馈电路	246
5.8.2 负反馈电路	247
5.8.3 频率限制	247
5.9 分立 LC 振荡器:电容三点式振荡器	248
5.9.1 反馈网络	249
5.9.2 电路增益	249
5.9.3 工作频率	249
5.9.4 放大器耦合	250
5.9.5 小 结	250
5.10 其他 LC 振荡器	251
5.10.1 电感三点式振荡器	251

5.10.2	克拉普振荡器	252
5.10.3	阿姆斯特朗振荡器	252
5.10.4	小 结	253
5.11	晶体控制振荡器	253
5.11.1	晶 体	253
5.11.2	石英晶体	253
5.11.3	谐波模式	254
5.11.4	CCO 电路	255

第 6 章 分立和集成稳压器

6.1	稳压器概述	262
6.1.1	线性调整率	263
6.1.2	负载调整率	264
6.1.3	组合调整率	265
6.1.4	稳压器类型	265
6.2	串联稳压器	266
6.2.1	传输晶体管稳压器	266
6.2.2	复合传输晶体管稳压器	267
6.2.3	串联反馈稳压器	267
6.2.4	短路保护	268
6.2.4	小 结	269
6.3	并联稳压器	269
6.3.1	并联反馈稳压器	270
6.3.2	过压保护	270
6.3.3	小 结	271
6.4	线性集成稳压器	271
6.4.1	集成稳压器特性	272
6.4.2	可调稳压器	274
6.4.3	线性集成稳压器应用:完整双极性电源	275
6.4.4	小 结	275
6.5	开关稳压器	276
6.5.1	开关稳压器工作原理	277
6.5.2	控制电源开关传导	278
6.5.3	开关稳压器的结构	280
6.5.4	集成开关稳压器	281

6.5.5 开关稳压器:优点和缺点	282
-------------------------	-----

第7章 模拟电路的 Proteus 仿真

7.1 二极管应用电路仿真	288
7.1.1 半波整流电路	288
7.1.2 全波整流电路	289
7.1.3 二极管限幅电路	290
7.1.4 稳压二极管限幅电路	291
7.2 三极管应用电路仿真	292
7.2.1 BJT 开关电路	292
7.2.2 BJT 共发射极放大电路	293
7.2.3 甲乙类推挽放大电路	293
7.3 场效应管开关电路仿真	296
7.3.1 MOSFET 开关电路	296
7.3.2 MOSFET 开关的高速应用仿真	297
7.4 运算放大器应用电路仿真	298
7.4.1 同相放大器	298
7.4.2 反相放大器	300
7.4.3 运放的简单测试	300
7.5 滤波器和振荡器电路仿真	303
7.5.1 二阶低通滤波器	303
7.5.2 二阶高通滤波器	303
7.5.3 电容三点式振荡器	303
7.6 电源稳压器电路仿真	305
7.6.1 单管稳压器	305
7.6.2 集成稳压器	306

pn结与二极管

知识要点

- ☞ 对比n型和p型半导体。
- ☞ 描述pn结形成的过程。
- ☞ 说明pn结正向偏置和反向偏置的特点。
- ☞ 在电路中能判断二极管是正向偏置还是反向偏置。
- ☞ 列表对比理想二极管和实际二极管正向偏置的特点。
- ☞ 在一个简单的二极管电路中,能计算电压和电流值。
- ☞ 列出pn结二极管的主要参数,并解释器件应用的极限值。
- ☞ 描述在电路测量中,二极管体电阻及反向电流的影响。
- ☞ 从二极管参数性能表获取二极管任一参数和特性值。
- ☞ 讨论稳压二极管的工作原理和特性。
- ☞ 讨论发光二极管LED的基本工作原理。
- ☞ 给出器件额定值,计算通过发光二极管电路的正向电流值。
- ☞ 能判断一个pn结二极管、稳压二极管或发光二极管性能的好坏。
- ☞ 正向半波整流电路中,计算负载电压和电流的峰值和平均值。
- ☞ 在全波整流电路中,计算负载电压和电流的峰值、平均值。
- ☞ 在桥式整流电路中,计算负载电压和电流的峰值、平均值。
- ☞ 描述滤波对整流电路输出的影响。
- ☞ 描述和分析串联限幅和并联限幅电路的工作原理。
- ☞ 描述箝位电路的工作原理。
- ☞ 描述和分析半波整流电路的工作原理。
- ☞ 描述和分析全波倍压整流的工作原理。
- ☞ 描述和分析全波三倍压整流的工作原理。
- ☞ 描述和分析全波四倍压整流的工作原理。

1.1 半导体和掺杂

1.1.1 半导体

半导体是包含 4 个价电子的原子结构,因此,既不是良好的导体,也不是良好的绝缘体。三种常见的半导体元素是:硅(Si)、锗(Ge)和碳(C)。这些原子如图 1.1 所示。这三种元素中的硅和锗一般用来制作固态器件(碳一般用来制作电阻和电位器)。硅的应用比锗更普遍,因为它具有更好的耐热性。

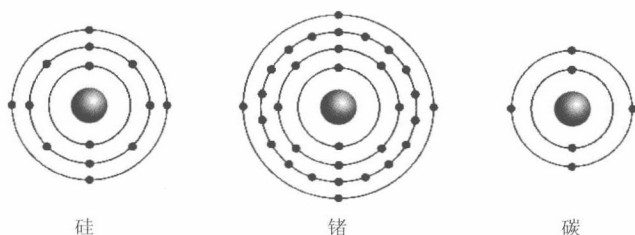


图 1.1 半导体原子

1.1.2 掺杂

由于硅原子的最外层的价电子数与绝缘体相同,具有稳定的电子结构,所以纯净硅导电能力较差。掺杂是指将杂质原子加入到纯净的半导体中,以提高它的导电能力。

表 1.1 常见的杂质元素

三价杂质	五价杂质
铝(Al)	磷(P)
镓(Ga)	砷(As)
硼(B)	锑(Sb)
铟(In)	铋(Bi)

掺杂工艺中通常使用两种类型的元素:三价元素和五价元素。三价元素最外层有三个价电子。五价元素最外层有五个价电子。在纯净的半导体中掺杂入三价元素,就形成了 p 型半导体。当在半导体中掺入五价元素时,就形成了 n 型半导体。

最常用的杂质元素如表 1.1 所示。当这些杂质元素掺入纯净的硅原子中,就形成了杂质半导体。

1. n 型半导体

当在纯净的硅中掺入五价的杂质,杂质半导体中的电子数多于形成共价键的电子数。如图 1.2 中所示,杂质半导体中包含 4 个硅(Si)原子和 1 个砷(As)原子。砷原子和它周围的 4 个硅原子组成共价键。砷原子中的第 5 个电子不受共价键束缚,所以只要获得较少的能量,就能成为自由电子。当在硅中掺入数百万的砷原子时,杂质半导体中就会有数百万的自由电子。这些自由电子很容易参与导电。

由于在 n 型半导体中自由电子的数目多于共价键中空穴的数目,所以自由电子被称为多数载流子,空穴被称为少数载流子。

2. p 型半导体

当在纯净的硅中掺入三价的杂质,杂质半导体被称为 p 型半导体。如图 1.3 所示,杂质半导体中包含了 4 个硅(Si)原子和 1 个铝(Al)原子。铝原子与它周围的硅原子形成共价键时,缺少 1 个价电子。结果,在共价键中就产生了 1 个空穴。当纯净的硅中掺入数百万个三价原子时,杂质半导体中就会有数百万个空穴。p 型半导体中,空穴为多数载流子,而自由电子为少数载流子。同 n 型半导体一样,质子数和电子数相等,所以半导体不带电。

图 1.4 中对 n 型半导体和 p 型半导体进行了比较。用施主原子和受主原子来描述五价和三价杂质元素,这两个术语的含义将在下一节详细介绍。

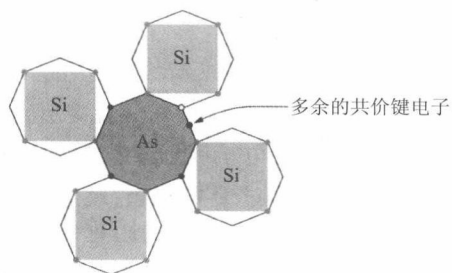


图 1.2 n 型半导体

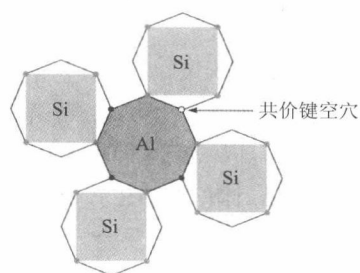


图 1.3 p 型半导体

半 导 体		
名称	n 型	p 型
共价键图		
杂质元素:	五价 (施主电子)	三价 (受主电子)
多数载流子:	自由电子	空穴
少数载流子:	空穴	自由电子
物质电荷:	中性	中性

图 1.4 半导体

思考题

1. 半导体有多少个价电子？
2. 在电子技术中应用最广泛的三种半导体是什么？
3. 什么是掺杂？
4. 什么是杂质元素？
5. 什么是三价和五价元素？
6. 尽管 n 型和 p 型半导体具有各自不同的特性，但为什么它们仍然是电中性？
7. n 型半导体和 p 型半导体在哪些方面类似？在哪些方面不同？

1.2 pn 结和二极管

1.2.1 pn 结

如图 1.5(a)所示，当 n 型半导体和 p 型半导体相结合形成 pn 结，其用途非常大。实心圆代表 n 型半导体中的多余电子；空心圆代表 p 型半导体中的共价键空穴。

当两种半导体相结合时，n 型半导体中的一些自由电子就通过交界面扩散（漂移）到 p 型半导体中，如图 1.5(b)所示。当自由电子通过交界面，它就会与 p 型半导体共价键中的空穴相复合。如图 1.6 所示，复合后的共价键结构是完整的。当电子扩散通过交界面，会使 n 型半导体带 1 个正电荷；p 型半导体带 1 个负电荷。

由于大量电子的扩散运动，在交界面附近就形成了一个耗尽层，如图 1.5(c)所示。耗尽层中的电荷如图所示，n 区为正电荷，p 区为负电荷。

pn 结中 n 区为正电荷，p 区为负电荷，则 pn 结中就会产生势差（电位差）。这种势差被称为结势垒，其电压范围为毫伏级。

因为 n 型半导体中的五价原子失去电子，所以称之为施主原子。另外，三价原子接受电子，称之为受主原子。

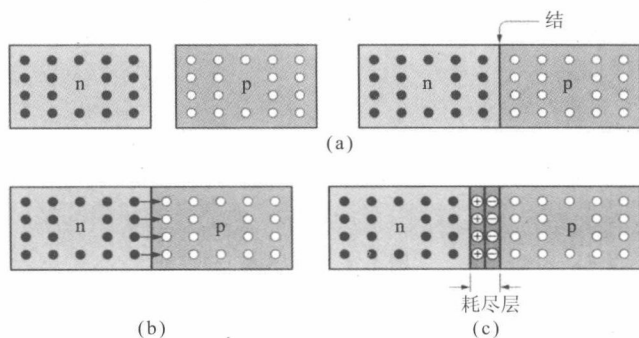


图 1.5 . pn 结