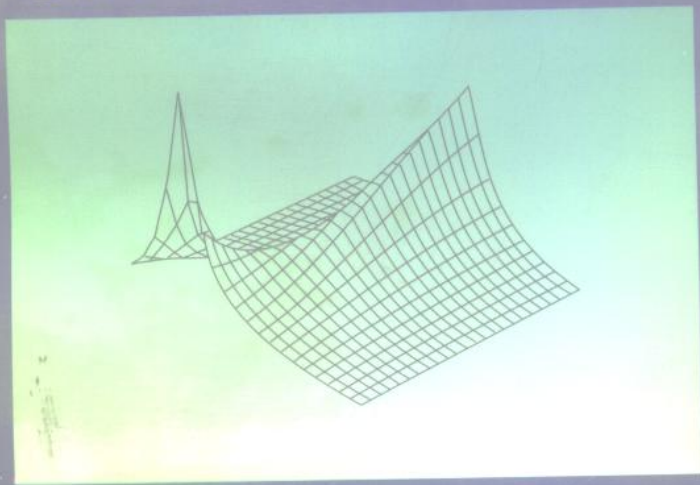


普通高等教育国家教委九五重点教材

模拟电路基础

秦世才 贾香鸾 编著

MO NI
DIAN LU
JI CHU



南开大学出版社

404405

普通高等教育国家教委九五重点教材

模拟电路基础

秦世才 贾香鸾 编著



南开大学出版社

模拟电路基础

秦世才 贾香鸾 编著

南开大学出版社出版
(天津八里台南开大学校内)

邮编 300071 电话 23508542

新华书店天津发行所发行
河北永清县第一胶印厂印刷

1998年1月第1版 1998年1月第1次印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 18.625

字数: 465千 印数: 1—1500

ISBN 7-310-01158-9

E·103 定价: 20.50元

内 容 简 介

模拟电路是电子与信息科学技术的基础知识。本书共分 12 章：基础知识、PN 结和二极管、双极结型晶体管、场效应晶体管、放大器的工作原理和分析方法、放大器的单元电路、放大器的频率特性、模拟集成电路中的单元电路、反馈、集成运算放大器的应用、整流与滤波、通用电路模拟程序 PSPICE 简介。前 11 章都附有一定数量的习题。

本书选材新颖，系统性强，重点突出，论述简明，尽量用器件物理去解释电路原理，通过理解来加强记忆。为了适应电子学向微电子学的发展，书中适当增加了模拟集成电路的基础知识，全面介绍了集成运算放大器的应用。书中的关键例题都用 PSPICE 软件进行了模拟，这既能加深读者对电路的理解，也能学到 PSPICE 的使用技巧。

本书可作为高等院校电子与信息类专业本科生的教材，也可作为研究生和工程技术人员的参考书。

前 言

模拟电路的范围很广,它包括线性放大电路,也包括诸如整流、检波、振荡、混频等非线性电路。所以,广义来讲,数字电路以外的所有电路都属于模拟电路。模拟电路是电子类专业的重要基础课之一,模拟电路的很多知识也是学习数字电路所必需的。

学习电路的目的是要认识电路,会看电路图,会设计电路,会用电路知识去解决实际问题。设计电路的第一步,是根据设计要求,利用所学的元器件和电路知识,确定电路的结构框图和电路图;再用最简单的等效电路模型去估算它的电参数,看其是否贴近设计目标;最后用元器件去搭电路板,进行实际测试和调整,使之满足设计要求。显然,电路和元器件知识是最重要的。毋庸置疑,计算机是非常有用的电路设计工具,而且也有很成熟的软件,如 SPICE,但是计算机只是一种工具,人的电路知识才是第一位的。计算机决不能使没有电路知识的人成为出色的电路设计工程师。

本书的第一章是基础知识,重点介绍电路中的元件和线性电路的一些基本定理。如果在学习本书之前,读者已在《电路分析》或其它课程中学过这些内容,那么可以跳过本章。

第二章是 PN 结和二极管,PN 结是半导体器件的基础,而且由它构成的二极管本身也是一种非常有用的非线性元件。第三章介绍双极型晶体管的工作原理,直流大信号模型和交流小信号模型, h 参数等效电路和 T 参数等效电路及参数互换关系。第四章讲结型和 MOS 型场效应晶体管。了解这些在电路中最常用的有源器件对学习电路是非常重要的。

第五章是放大器基础,集中介绍放大原理及放大器的分析方法。第六章讲双极型模拟电路的电路单元(其中变压器耦合功率放大器部分供读者选读)。第七章是放大器的频率特性。第八章介绍双极和 MOS 模拟集成电路的单元电路。这四章是认识电路、分析电路和设计电路的基础知识。

第九章讲负反馈,着重讲述负反馈的分类和基本概念,框图分析法只作简单介绍,但读者应掌握深度负反馈的近似计算方法。

第十章讲集成运算放大器的应用,它介绍了集成运放的一些主要应用方面。它们的工作原理是普遍的,也适于分立元件电路。所以像振荡器等在模拟电路中很重要的章节只作为本章的一节讲清原理,而详细内容将在《高频电路》课中去讲。

第十一章是整流和稳压,主要介绍二极管整流、串联稳压器、集成稳压电源的内部结构和原理。

最后一章简单介绍计算机电路分析程序 PSPICE。

本书是根据作者为本科生讲授《模拟电路基础》的讲稿整理而成的。教学实践表明,用 72 学时即可讲完全部内容,用 90 学时则可讲得更仔细些。

作者特别感谢国家教委信息与电子科学教学指导委员会主任、北京大学无线电电子学系王楚教授,也感谢天津大学自动化系赵玉山教授,他们对原稿认真进行了审阅,并提出了一些宝贵意见和建议。南开大学电子科学系研究生辛春雨通读了初稿,曾瑜和马侠绘制了部分电路图,在此一并表示感谢。

由于作者水平所限,肯定有不少错误与不妥之处,恳请批评指正。

作者

于南开大学 1997. 1

目 录

第一章 基础知识

§ 1.1 等效电路中的元件·····	(2)
1.1.1 理想电阻器、电容器和电感·····	(2)
1.1.2 线性受控源·····	(5)
§ 1.2 线性网络常用定理·····	(6)
1.2.1 克希霍夫定律·····	(7)
1.2.2 叠加原理·····	(7)
1.2.3 戴维宁定理·····	(9)
1.2.4 诺顿定理·····	(11)
1.2.5 米勒定理·····	(13)
1.2.6 米勒对偶定理·····	(17)
1.2.7 源吸收定理·····	(19)
主要参考文献·····	(20)
习题·····	(21)

第二章 PN 结和二极管

§ 2.1 半导体物理基础·····	(25)
2.1.1 本征半导体·····	(26)
2.1.2 P 型和 N 型半导体·····	(28)
§ 2.2 PN 结和二极管·····	(30)
2.2.1 平衡态 PN 结中的载流子分布·····	(30)
2.2.2 PN 结的伏—安特性·····	(32)
2.2.3 PN 结的击穿·····	(33)

§ 2.3	二极管模型	(34)
2.3.1	二极管的大信号模型	(35)
2.3.2	二极管的小信号模型	(38)
§ 2.4	二极管的应用	(39)
2.4.1	整流	(39)
2.4.2	检波	(39)
2.4.3	箝位电路	(41)
2.4.4	限幅电路	(42)
2.4.5	稳压电路	(43)
2.4.6	门电路	(44)
	主要参考文献	(45)
	习题	(46)

第三章 双极结型晶体管

§ 3.1	双极晶体管的符号和结构	(51)
§ 3.2	双极晶体管中载流子的运动规律	(53)
3.2.1	晶体管的工作区	(53)
3.2.2	电流关系	(53)
§ 3.3	双极晶体管的大信号模型	(57)
3.3.1	晶体管的特性曲线	(57)
3.3.2	大信号模型	(62)
§ 3.4	双极晶体管的低频小信号模型	(64)
3.4.1	h 参数等效电路	(64)
3.4.2	T 型等效电路	(68)
§ 3.5	T 和 h 等效电路参数的互换	(71)
3.5.1	T 参数和 h 参数的互换关系	(72)
3.5.2	归纳和讨论	(74)
§ 3.6	π 型等效电路	(76)

3.6.1 π 型等效电路	(76)
3.6.2 晶体管的高频特性	(77)
§ 3.7 双极晶体管的主要参数	(80)
主要参考文献	(81)
习题	(82)

第四章 场效应晶体管

§ 4.1 结型场效应晶体管	(85)
4.1.1 结型场效应晶体管的工作原理	(85)
4.1.2 结型场效应晶体管的模型	(91)
§ 4.2 MOS 场效应晶体管	(97)
4.2.1 MOS 管的工作原理	(97)
4.2.2 MOS 管的模型	(102)
§ 4.3 功率 MOS 管	(108)
§ 4.4 场效应晶体管与双极晶体管的比较	(109)
主要参考文献	(111)
习题	(111)

第五章 放大器的工作原理和分析方法

§ 5.1 放大器的基本概念和主要参数	(117)
§ 5.2 放大电路的组成和工作原理	(119)
§ 5.3 放大器的图解分析法	(122)
5.3.1 直流通路和交流通路	(123)
5.3.2 直流负载线	(124)
5.3.3 交流负载线	(127)
5.3.4 图解法的用途	(129)
§ 5.4 微变等效电路法	(132)
5.4.1 放大电路的特性	(133)

5.4.2 讨论	(135)
主要参考文献	(137)
习题	(137)

第六章 放大器的单元电路

§ 6.1 直流偏置电路	(143)
6.1.1 静态工作点的温度稳定性	(143)
6.1.2 静态工作点较稳定的偏置电路	(146)
§ 6.2 共射放大电路	(148)
6.2.1 静态工作点	(148)
6.2.2 交流特性分析	(148)
6.2.3 有射极电阻 R_E 的共射放大电路	(153)
§ 6.3 共集电路——射极跟随器	(155)
6.3.1 静态工作点	(155)
6.3.2 交流特性	(155)
6.3.3 进一步提高输入阻抗的途径	(158)
§ 6.4 共基放大电路	(163)
6.4.1 静态工作点	(163)
6.4.2 交流特性	(164)
§ 6.5 三种组态的比较	(166)
6.5.1 输入阻抗 R_i	(166)
6.5.2 输出阻抗 R_o	(168)
6.5.3 电压增益	(169)
6.5.4 电流增益	(170)
§ 6.6 有源负载放大器和 $CE-CB$ 结构	(171)
6.6.1 有源负载放大器	(171)
6.6.2 $CE-CB$ 结构	(174)
§ 6.7 功率输出级	(176)

6.7.1	功率输出级的特点与分类	(176)
6.7.2	甲类输出级	(178)
6.7.3	乙类输出级	(181)
6.7.4	甲乙类输出级	(186)
6.7.5	功率晶体管	(189)
§ 6.8	多级放大电路	(196)
§ 6.9	场效应管放大器	(199)
6.9.1	静态偏置	(199)
6.9.2	共源放大器	(202)
6.9.3	源极跟随器	(205)
	主要参考文献	(207)
	习题	(208)

第七章 放大器的频率特性

§ 7.1	概述	(214)
7.1.1	放大器的频率特性	(214)
7.1.2	信号的频谱	(215)
7.1.3	线性失真	(217)
§ 7.2	传输函数的 s 域分析	(218)
7.2.1	传输函数和零极图	(220)
7.2.2	波德图	(221)
§ 7.3	阻容耦合放大器的频率响应	(233)
7.3.1	共射放大器	(234)
7.3.2	共基放大器	(242)
7.3.3	射极跟随器	(244)
7.3.4	带宽增益积	(246)
§ 7.4	多级放大器的频率响应	(247)
7.4.1	下界频率	(247)

7.4.2 上界频率	(248)
§ 7.5 放大器的瞬态响应	(249)
7.5.1 低通电路	(251)
7.5.2 高通电路	(252)
7.5.3 放大器对脉冲信号的响应	(254)
附录 7A 拉普拉斯变换	(258)
主要参考文献	(261)
习题	(261)

第八章 模拟集成电路中的单元电路

§ 8.1 电流源和电流镜	(268)
8.1.1 双极型电流源	(269)
8.1.2 MOS 型电流源	(273)
§ 8.2 差动放大级	(274)
8.2.1 双极型差动放大级	(275)
8.2.2 CMOS 差动放大级	(287)
§ 8.3 MOS 有源负载放大级和输出级	(290)
8.3.1 体效应	(291)
8.3.2 MOS 有源负载	(295)
8.3.3 MOS 输出级	(296)
§ 8.4 集成运放 $\mu\text{A}741$ 简介	(297)
8.4.1 电路结构	(297)
8.4.2 交流特性	(303)
§ 8.5 CMOS 运放	(304)
主要参考文献	(307)
习题	(307)

第九章 负反馈

§ 9.1 反馈的基本概念	(314)
§ 9.2 理想反馈组态	(315)
9.2.1 电压串联负反馈	(317)
9.2.2 电压并联负反馈	(318)
9.2.3 电流并联负反馈	(319)
9.2.4 电流串联负反馈	(320)
§ 9.3 负反馈对电路性能的影响	(322)
9.3.1 对增益稳定性的改善	(322)
9.3.2 对输入电阻的影响	(323)
9.3.3 对输出电阻的影响	(325)
9.3.4 对非线性失真的影响	(329)
9.3.5 对信噪比的影响	(330)
9.3.6 对频带宽度的影响	(333)
§ 9.4 典型电路及反馈类型的判别	(334)
9.4.1 电压串联负反馈	(335)
9.4.2 电压并联负反馈	(336)
9.4.3 电流串联负反馈	(338)
9.4.4 电流并联负反馈	(340)
§ 9.5 负反馈放大器的计算方法	(341)
9.5.1 框图法	(342)
9.5.2 深度负反馈放大器的近似计算	(353)
§ 9.6 负反馈放大器的自激与补偿	(363)
9.6.1 自激振荡的条件	(364)
9.6.2 相位裕度与增益裕度	(368)
9.6.3 相位补偿	(372)
9.6.4 双极运放 741 的补偿	(377)

9.6.5 MOS 运放的补偿	(378)
主要参考文献	(380)
习题	(380)

第十章 集成运算放大器的应用

§ 10.1 运放的宏模型和误差	(388)
10.1.1 运放的主要参数	(388)
10.1.2 运放的宏模型	(393)
10.1.3 三种基本组态	(394)
§ 10.2 比例运算电路	(404)
10.2.1 反比例电路	(404)
10.2.2 同比例电路	(404)
10.2.3 求和电路	(405)
10.2.4 差动放大器	(407)
§ 10.3 积分和微分运算电路	(409)
10.3.1 积分电路	(409)
10.3.2 微分电路	(416)
10.3.3 PID 放大器	(418)
§ 10.4 对数和反对数电路	(421)
10.4.1 对数电路	(421)
10.4.2 反对数电路	(425)
§ 10.5 比较器	(428)
10.5.1 零越比较器	(429)
10.5.2 非零电平比较器	(431)
10.5.3 迟滞比较器	(431)
10.5.4 窗口比较器	(434)
10.5.5 三态比较器	(435)
§ 10.6 波形发生器	(435)

10.6.1 正弦波发生器的原理和组成	(436)
10.6.2 文氏桥振荡器	(437)
10.6.3 正交振荡器	(441)
10.6.4 方波发生器	(442)
10.6.5 三角波发生器	(445)
§ 10.7 精密检波器	(446)
10.7.1 精密检波器	(447)
10.7.2 绝对值电路	(449)
§ 10.8 变换电路	(449)
10.8.1 电压—电流变换	(449)
10.8.2 电流—电压变换	(451)
10.8.3 压控振荡器和电压—频率变换	(453)
10.8.4 电压—时间变换	(456)
§ 10.9 限幅电路	(459)
10.9.1 齐纳二极管限幅器	(459)
10.9.2 桥式限幅器	(460)
10.9.3 精密限幅器	(461)
10.9.4 精密死区电路	(463)
§ 10.10 RC 有源滤波器	(464)
10.10.1 概述	(464)
10.10.2 一阶滤波器	(472)
10.10.3 二阶滤波器	(475)
主要参考文献	(488)
习题	(489)

第十一章 整流与稳压

§ 11.1 单相整流和滤波	(505)
11.1.1 半波整流	(505)

11.1.2	全波整流	(509)
11.1.3	倍压整流	(515)
§ 11.2	串联型稳压电源	(517)
11.2.1	分立元件串联型稳压电源	(518)
11.2.2	使用集成运放的串联型稳压电源	(521)
§ 11.3	集成稳压电源	(523)
11.3.1	集成稳压器 WA724	(524)
11.3.2	集成稳压器 LM7800	(528)
§ 11.4	开关稳压电源	(532)
	主要参考文献	(537)
	习题	(538)

第十二章 通用电路模拟程序 PSPICE 简介

§ 12.1	PSPICE 简介	(543)
§ 12.2	标题语句	(547)
§ 12.3	结束语句	(547)
§ 12.4	元器件描述语句	(547)
12.4.1	电阻	(548)
12.4.2	电容	(548)
12.4.3	电感	(549)
12.4.4	变压器	(550)
12.4.5	独立电源	(550)
12.4.6	进行时域分析时的独立电源	(551)
12.4.7	线性受控源	(552)
12.4.8	半导体二极管	(554)
12.4.9	双极晶体管	(555)
12.4.10	MOS 场效应晶体管	(556)
12.4.11	结型场效应晶体管	(557)

§ 12.5 控制语句.....	(557)
12.5.1 直流分析	(558)
12.5.2 小信号传输函数语句.TF	(559)
12.5.3 灵敏度分析语句.SENS	(560)
12.5.4 交流分析语句.AC	(560)
12.5.5 瞬态分析	(562)
12.5.6 模型描述语句.MODEL	(563)
12.5.7 输出语句	(564)
12.5.8 函数定义语句.FUNC	(566)
12.5.9 模型库调用语句.LIB	(567)
12.5.10 变量参数设置与扫描语句	(568)
§ 12.6 子电路和子电路调用语句.....	(569)
主要参考文献.....	(574)
名词索引.....	(575)