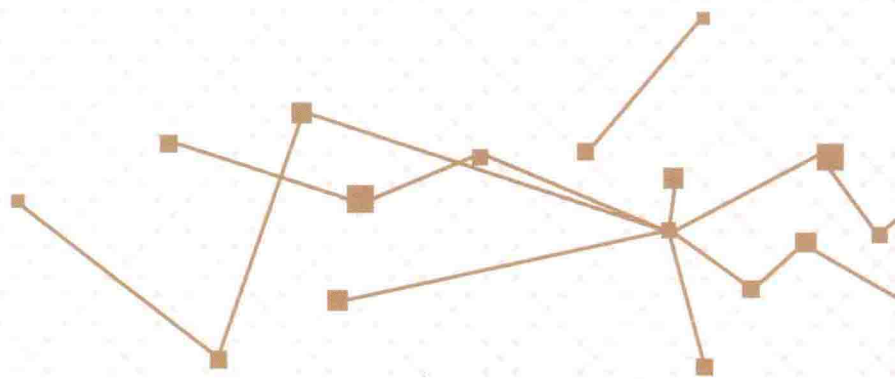




“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学技术大学 *精品* 教材



刘同怀 顾 理 / 编著

模拟电子电路

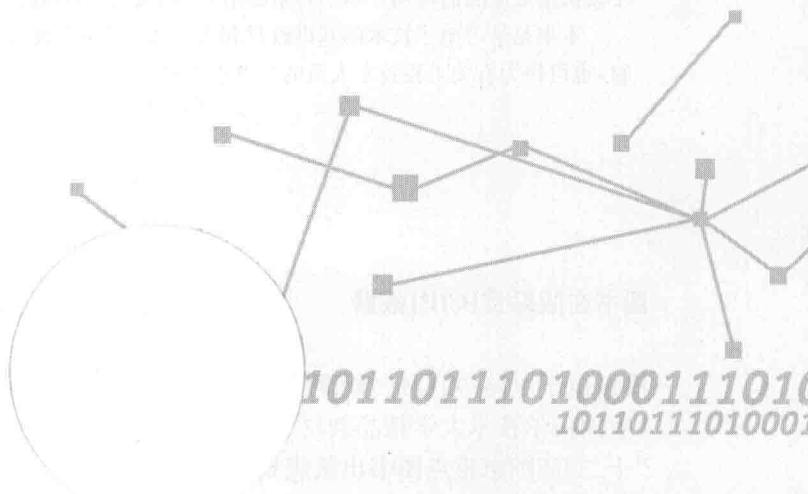
Analog Circuit

中国科学技术大学出版社



“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学技术大学精品教材



刘同怀 顾理 / 编著

Analog Circuit

模拟电子电路

中国科学技术大学出版社



内 容 简 介

本书系统地介绍了模拟电子电路的基本知识,内容包括线性电路基础、半导体器件、放大电路基础、集成运算放大器及其应用、负反馈放大电路、模拟乘法器及其应用、功率放大器、直流稳压电源等。书中着重基本概念、基本原理和基本分析方法的论述,力求增强读者对模拟电子电路的理解,提高他们分析问题和解决问题的能力。本书比较重视模拟集成电路部分的内容,并详细介绍了模拟集成电路的应用。本书各章都附有一定数量的习题,供读者参考、练习。

本书是学习电子技术的基础教材和入门书,可作为高等院校相关专业模拟电子电路课程教材,也可作为有关工程技术人员的参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子电路/刘同怀,顾理编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2015.2

(中国科学技术大学精品教材)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-312-03692-7

I. 模… II. ①刘… ②顾… III. 模拟电路—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 024036 号

中国科学技术大学出版社出版发行

安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

<http://press.ustc.edu.cn>

合肥市宏基印刷有限公司印刷

全国新华书店经销

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:23.5 插页:2 字数:578 千

2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷

定价:46.00 元

总 序

2008年,为庆祝中国科学技术大学建校五十周年,反映建校以来的办学理念和特色,集中展示教材建设的成果,学校决定组织编写出版代表中国科学技术大学教学水平的精品教材系列。在各方的共同努力下,共组织选题281种,经过多轮、严格的评审,最后确定50种入选精品教材系列。

五十周年校庆精品教材系列于2008年9月纪念建校五十周年之际陆续出版,共出书50种,在学生、教师、校友以及高校同行中引起了很好的反响,并整体进入国家新闻出版总署的“十一五”国家重点图书出版规划。为继续鼓励教师积极开展教学研究与教学建设,结合自己的教学与科研积累编写高水平的教材,学校决定,将精品教材出版作为常规工作,以《中国科学技术大学精品教材》系列的形式长期出版,并设立专项基金给予支持。国家新闻出版总署也将该精品教材系列继续列入“十二五”国家重点图书出版规划。

1958年学校成立之时,教员大部分来自中国科学院的各个研究所。作为各个研究所的科研人员,他们到学校后保持了教学的同时又作研究的传统。同时,根据“全院办校,所系结合”的原则,科学院各个研究所在科研第一线工作的杰出科学家也参与学校的教学,为本科生授课,将最新的科研成果融入到教学中。虽然现在外界环境和内在条件都发生了很大变化,但学校以教学为主、教学与科研相结合的方针没有变。正因为坚持了科学与技术相结合、理论与实践相结合、教学与科研相结合的方针,并形成了优良的传统,才培养出了一批又一批高质量的人才。

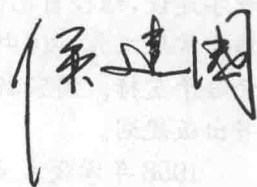
学校非常重视基础课和专业基础课教学的传统,也是她特别成功的原因之一。当今社会,科技发展突飞猛进、科技成果日新月异,没有扎实的基础知识,很难在科学技术研究中作出重大贡献。建校之初,华罗庚、吴有训、严济慈等老一辈科学家、教育家就身体力行,亲自为本科生讲授基础课。他们以渊博的学识、精湛的讲课艺术、高尚的师德,带出一批又一批杰出的年轻教员,培养了一届又一届优秀学生。入选精品教材系列的绝大部分是基础课或专业基础课的教材,其作者大多直接或间接受到过这些老一辈科学家、教育家的教诲和影响,因此在教材中也贯穿着这些先辈的教育教学理念与科学探索精神。

改革开放之初,学校最先选派青年骨干教师赴西方国家交流、学习,他们在带回先进科学技术的同时,也把西方先进的教育理念、教学方法、教学内容等带回到中国科学技术大学,并以极大的热情进行教学实践,使“科学与技术相结合、理论与实践相结合、

教学与科研相结合”的方针得到进一步深化,取得了非常好的效果,培养的学生得到全社会的认可。这些教学改革影响深远,直到今天仍然受到学生的欢迎,并辐射到其他高校。在入选的精品教材中,这种理念与尝试也都有充分的体现。

中国科学技术大学自建校以来就形成的又一传统是根据学生的特点,用创新的精神编写教材。进入我校学习的都是基础扎实、学业优秀、求知欲强、勇于探索和追求的学生,针对他们的具体情况编写教材,才能更加有利于培养他们的创新精神。教师们坚持教学与科研的结合,根据自己的科研体会,借鉴目前国外相关专业有关课程的经验,注意理论与实际应用的结合,基础知识与最新发展的结合,课堂教学与课外实践的结合,精心组织材料、认真编写教材,使学生在掌握扎实的理论基础的同时,了解最新的研究方法,掌握实际应用的技术。

入选的这些精品教材,既是教学一线教师长期教学积累的成果,也是学校教学传统的体现,反映了中国科学技术大学的教学理念、教学特色和教学改革成果。希望该精品教材系列的出版,能对我们继续探索科教紧密结合培养拔尖创新人才,进一步提高教育教学质量有所帮助,为高等教育事业作出我们的贡献。



中国科学技术大学校长
中国科学院院士
第三世界科学院院士

前 言

当前是电子信息时代,随着电子信息技术的迅速发展和应用领域的不断拓展,在进行科学研究和应用技术开发过程中,电子信息技术已是不可或缺的基本手段,专业科学技术人员的知识需求结构也将发生新的变化。为培养高素质人才的需要,高等院校许多非电类专业已相继开设了电子信息技术方面的相关课程,使学生在在本学科专业知识的同时,又能了解电子信息技术方面的知识。“模拟电子电路”就是这类课程中的一门。

本书是为高等院校非电类专业编写的模拟电子电路类课程的教材,还可以作为应用型本科院校电类专业的教材,也可以作为从事电子技术方面工作的工程技术人员的参考书使用。

本书是在中国科学技术大学出版社1999年版《模拟电子线路》的基础上修订和改编的,既保持了原书的体系和特点,又适当地引进了一些新器件、新技术和新方法,反映了现代电子技术的最新发展和成果。

全书共分11章,主要内容包括线性电路基础、半导体器件、放大电路基础、集成运算放大器及其应用、负反馈放大电路、模拟乘法器及其应用、功率放大器、直流稳压电源等。书中各章都附有一定数量的习题,供读者参考、练习。

为了适应集成电路快速发展和被广泛应用的新形势,本书在内容的选取和安排上,适当减少了分立元件电路方面的内容,加强了集成运算放大器及其应用的内容,增加了模拟乘法器及其应用、有源滤波器、开关电源等方面的内容。在文字叙述上,力求概念清楚、简明扼要、深入浅出、思路明晰、通俗易懂。

编者长期从事电子电路理论和电子技术的教学和研究工作,对本书倾注了多年的经验和体会。在编写过程中,编者学习参考了国内外许多同类教材和有关文献,充分吸取了它们的学术成果和成功经验。本书以培养学生分析问题、解决问题的能力为目标,着重基本概念、基本原理和基本分析方法的论述,使学生既能学好基础知识,又能开阔视野;既能理解基本原理,又能理论联系实际;既能学习现有技术,又能启发创新精神。

使用本书的读者不必先修电路分析基础方面的课程。对已修过电路分析基础方面课程的读者,可略去第1章线性电路基础的内容,直接从第2章开始。本书作为教材使用时,教学参考学时为40~60学时,具体讲授内容各专业可根据实际情况加以

目 次

总序	(i)
前言	(iii)
1 线性电路基础	(1)
1.1 电路与电路模型	(1)
1.2 电流、电压及其参考方向	(1)
1.2.1 电流	(1)
1.2.2 电压	(2)
1.3 基本电路元件	(3)
1.3.1 电阻	(3)
1.3.2 电容	(4)
1.3.3 电感	(5)
1.3.4 独立电压源和独立电流源	(6)
1.3.5 受控电源	(7)
1.4 基尔霍夫定律	(8)
1.4.1 基尔霍夫电流定律	(8)
1.4.2 基尔霍夫电压定律	(9)
1.5 简单电路	(10)
1.5.1 等效单口网络的概念	(10)
1.5.2 实际电源的模型	(11)
1.5.3 含受控电源的单口网络	(12)
1.6 线性电路的一般分析方法	(13)
1.6.1 支路电流法	(13)
1.6.2 网孔电流法	(14)
1.6.3 节点电位法	(16)
1.7 线性网络的几个定理	(18)
1.7.1 叠加定理	(19)
1.7.2 代文宁定理	(19)

2.2.4	二极管电路的图解分析	(75)
2.2.5	解析法分析二极管电路	(76)
2.2.6	二极管的几个主要参数	(77)
2.3	硅稳压管	(77)
2.3.1	稳压管的稳压作用	(78)
2.3.2	稳压管的主要参数	(78)
2.3.3	简单稳压管电路	(79)
2.4	几种特殊二极管	(79)
2.4.1	变容二极管	(79)
2.4.2	光敏二极管	(80)
2.4.3	发光二极管	(80)
2.4.4	隧道二极管	(80)
2.4.5	肖特基二极管	(80)
2.5	双极型晶体管	(81)
2.5.1	晶体管的结构	(81)
2.5.2	晶体管的载流子运动情况	(81)
2.5.3	晶体管电流分配关系	(82)
2.5.4	晶体管的交流电流放大系数	(83)
2.5.5	晶体管的共射极特性曲线	(84)
2.5.6	晶体管的主要参数	(86)
2.5.7	温度对晶体管特性的影响	(87)
2.6	场效应管	(87)
2.6.1	N沟道增强型 MOS 管	(87)
2.6.2	N沟道耗尽型 MOS 管	(90)
2.6.3	P沟道 MOS 管	(91)
2.6.4	结型场效应管	(92)
2.6.5	场效应管的主要参数	(93)
2.6.6	场效应管与双极型晶体管的比较	(94)
	习题	(94)
3	放大电路基础	(98)
3.1	单级晶体管共射放大电路	(98)
3.1.1	单级共射放大电路的组成	(98)
3.1.2	单级共射放大电路的直流分析	(99)
3.1.3	共射放大电路的图解法交流分析	(101)
3.2	放大电路交流分析的等效电路法	(104)
3.2.1	放大电路的交流通路	(104)
3.2.2	晶体管的小信号交流模型	(104)

4.7.1 输入直流参数	(159)
4.7.2 差模特性参数	(160)
4.7.3 共模特性参数	(160)
4.7.4 其他参数	(160)
4.8 集成运算放大器的电路模型	(161)
4.8.1 集成运放的开环电压传输特性	(161)
4.8.2 集成运放线性工作下的低频模型	(162)
4.8.3 集成运放理想化模型	(163)
习题	(163)
5 负反馈放大电路	(166)
5.1 负反馈放大电路的基本概念	(166)
5.1.1 负反馈放大电路的基本结构	(166)
5.1.2 负反馈放大电路的四种基本组态	(168)
5.1.3 反馈的判断	(173)
5.2 负反馈对放大电路性能的影响	(176)
5.2.1 提高放大倍数的稳定性	(176)
5.2.2 展宽通频带	(177)
5.2.3 减小非线性失真	(178)
5.2.4 改变输入电阻和输出电阻	(180)
5.3 负反馈放大电路放大倍数的分析	(184)
5.4 深度负反馈放大电路放大倍数的近似计算举例	(190)
5.5 负反馈放大电路的自激振荡	(195)
5.5.1 自激振荡产生的原因分析	(195)
5.5.2 自激振荡的条件	(196)
5.5.3 负反馈放大电路的稳定性判别	(197)
5.5.4 负反馈放大电路自激振荡的消除方法	(199)
习题	(201)
6 模拟运算电路	(206)
6.1 比例运算电路	(206)
6.1.1 反相比例运算电路	(206)
6.1.2 同相比例运算电路	(207)
6.2 加减运算电路	(208)
6.2.1 加法运算电路	(209)
6.2.2 减法运算电路	(210)
6.3 积分和微分电路	(212)
6.3.1 积分电路	(212)

6.3.2 微分电路	(214)
6.4 求解微分方程的电路	(215)
6.5 对数与反对数运算电路	(216)
6.5.1 对数运算电路	(216)
6.5.2 反对数运算电路	(217)
6.6 电容耦合放大电路	(218)
6.7 实际运放电路的运算误差分析	(219)
6.7.1 有限开环增益的影响	(220)
6.7.2 有限输入阻抗及有限开环增益的影响	(221)
6.7.3 非零输出阻抗及有限开环增益的影响	(223)
6.7.4 有限共模抑制比的影响	(224)
6.7.5 失调电压和失调电流的影响	(225)
习题	(226)
7 信号处理电路	(230)
7.1 RC有源滤波电路	(230)
7.1.1 低通滤波电路	(231)
7.1.2 高通滤波电路	(234)
7.1.3 带通滤波电路	(236)
7.1.4 带阻滤波电路	(238)
7.1.5 全通滤波电路	(240)
7.2 电压比较器	(240)
7.2.1 简单比较器	(240)
7.2.2 反相滞回比较器	(242)
7.2.3 迟滞比较器	(243)
7.2.4 窗口比较器	(244)
7.3 采样保持电路	(245)
7.4 集成运放使用中的几个实际问题	(246)
7.4.1 调零	(246)
7.4.2 相位补偿	(247)
7.4.3 集成运放的保护措施	(248)
7.4.4 提高集成运放的差模输入电阻	(249)
习题	(250)
8 信号发生电路	(252)
8.1 正弦波振荡器的基本原理	(252)
8.1.1 正弦波振荡电路的基本结构	(252)
8.1.2 自激振荡的平衡条件和起振条件	(253)

8.1.3 正弦振荡的建立和稳定过程	(253)
8.2 常用选频网络	(254)
8.2.1 LC 并联谐振回路	(254)
8.2.2 RC 选频网络	(260)
8.3 LC 振荡电路	(263)
8.3.1 三端式 LC 振荡器	(263)
8.3.2 变压器反馈式 LC 振荡电路	(267)
8.4 石英晶体振荡器	(269)
8.4.1 石英晶体的特性	(269)
8.4.2 石英晶体振荡电路	(271)
8.5 正弦波振荡器	(273)
8.5.1 文式电桥 RC 振荡器	(273)
8.5.2 移相式 RC 振荡器	(274)
8.5.3 双 T 型选频网络 RC 振荡器	(275)
8.6 非正弦波发生器	(276)
8.6.1 方波和三角波发生器	(276)
8.6.2 矩形波和锯齿波发生器	(279)
习题	(280)
9 模拟乘法器	(284)
9.1 模拟相乘的基本概念	(284)
9.2 对数-反对数模拟乘法器	(285)
9.3 晶体管可变跨导型乘法器	(287)
9.3.1 晶体管差动放大电路的传输特性	(287)
9.3.2 晶体管可变跨导型乘法电路	(288)
9.4 单片集成模拟乘法器	(291)
9.5 乘法器的参数	(295)
9.6 模拟乘法器在模拟运算中的应用	(296)
9.6.1 除法运算	(297)
9.6.2 平方和平方根运算	(297)
9.6.3 均方根运算	(298)
9.6.4 函数发生电路	(298)
9.7 模拟乘法器在通信电路中的应用	(300)
9.7.1 振幅调制	(300)
9.7.2 同步检波	(302)
9.7.3 鉴相器	(302)
9.7.4 变频器	(304)
9.7.5 倍频	(304)

9.8 模拟乘法器的其他应用	(305)
9.8.1 可控增益放大器	(305)
9.8.2 绝对值电路	(305)
9.8.3 压控方波三角波发生器	(305)
9.8.4 可调频带的低通滤波器	(306)
习题	(307)
10 功率放大电路	(308)
10.1 功率放大电路的特点	(308)
10.2 功率放大电路的类型	(309)
10.3 共射极组态的甲类功放	(310)
10.4 变压器耦合功率放大电路	(311)
10.5 变压器耦合乙类放大电路	(312)
10.6 无输出变压器的功率放大电路	(312)
10.7 无输出电容的功率放大电路	(313)
10.8 桥式推挽功率放大电路	(314)
10.9 互补功率放大电路	(314)
10.9.1 OCL 功放电路的功率计算	(315)
10.9.2 OCL 电路功放管的选择	(316)
10.9.3 OCL 功放的实际电路	(318)
10.10 复合管结构	(320)
习题	(322)
11 直流稳压电源	(326)
11.1 直流电源的组成结构	(326)
11.2 整流电路	(327)
11.2.1 单相半波整流电路	(327)
11.2.2 单相桥式全波整流电路	(328)
11.3 滤波电路	(330)
11.3.1 电容滤波电路	(330)
11.3.2 电感滤波电路	(333)
11.3.3 其他滤波电路	(334)
11.3.4 倍压整流电路	(335)
11.4 稳压管稳压电路	(336)
11.4.1 电路组成和工作原理	(336)
11.4.2 稳压性能指标	(338)
11.4.3 电路参数的选择	(339)
11.5 串联型稳压电路	(340)

11.5.1	电路组成及其工作原理	(340)
11.5.2	集成稳压器中的基准电压电路和保护电路	(343)
11.5.3	集成稳压器	(347)
11.5.4	三端稳压器的应用	(349)
11.6	开关型稳压电路	(350)
11.6.1	串联开关型稳压电路	(351)
11.6.2	并联开关型稳压电路	(354)
11.6.3	开关集成稳压器	(357)
	习题	(358)
	参考文献	(362)

1 线性电路基础

1.1 电路与电路模型

电路是由各种电路元件相互连接而构成的电流的通路。电路的功能一般有两个方面,一是电能的传输和分配;二是电信号的产生、处理和传送。

为了便于对实际电路进行研究,常用理想化的电路模型来描述实际电路。理想化的电路模型则由一些理想化的元件组合而成。所谓理想化元件本身也是一些简单的模型,它用来表达一些简单的实际元件或简单的物理现象的性质。例如,理想电阻元件表征实际元件中所发生的电能消耗现象。电阻器、电灯和电炉等都可以用理想化电阻元件来近似描述。虽然理想化元件只是近似描述实际元件或物理性质,但是理想化元件本身是由数学关系式精确地加以定义的。在一定的条件下,由理想化元件所组成的实际电路的模型反映了实际电路的主要性能。通过分析电路模型我们能够了解实际电路,并设计出更好的电路。

理想电路元件主要有电阻元件、电容元件、电感元件、电流源元件和电压源元件等。这些都是二端元件。此外,还有多端元件,如理想变压器、受控源等。

1.2 电流、电压及其参考方向

电流和电压是描述电路的两个基本物理量。

1.2.1 电流

电荷有规则地定向运动形成电流。我们把单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度,用以衡量电流的大小。电流强度简称电流,用符号 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt}$$

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向。但在分析电路时,电流的实际方向却难以在电路图中标示,例如,交变电流的方向随时间而变化,显然无法用一个箭头来标示其方向。即使电路中电流的方向恒定不变,当电路比较复杂时,也往往很难事先判断各个电流的实际