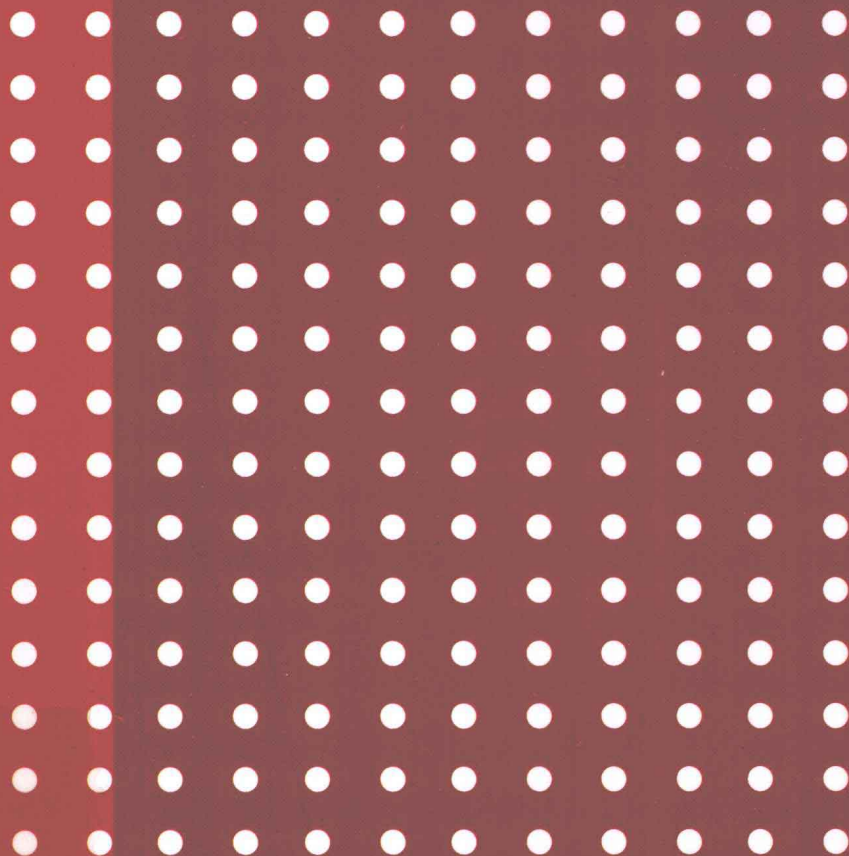


21世纪高等学校电子信息工程规划教材

可下载教学资料
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

模拟电子学导论

劳五一 劳佳 编著

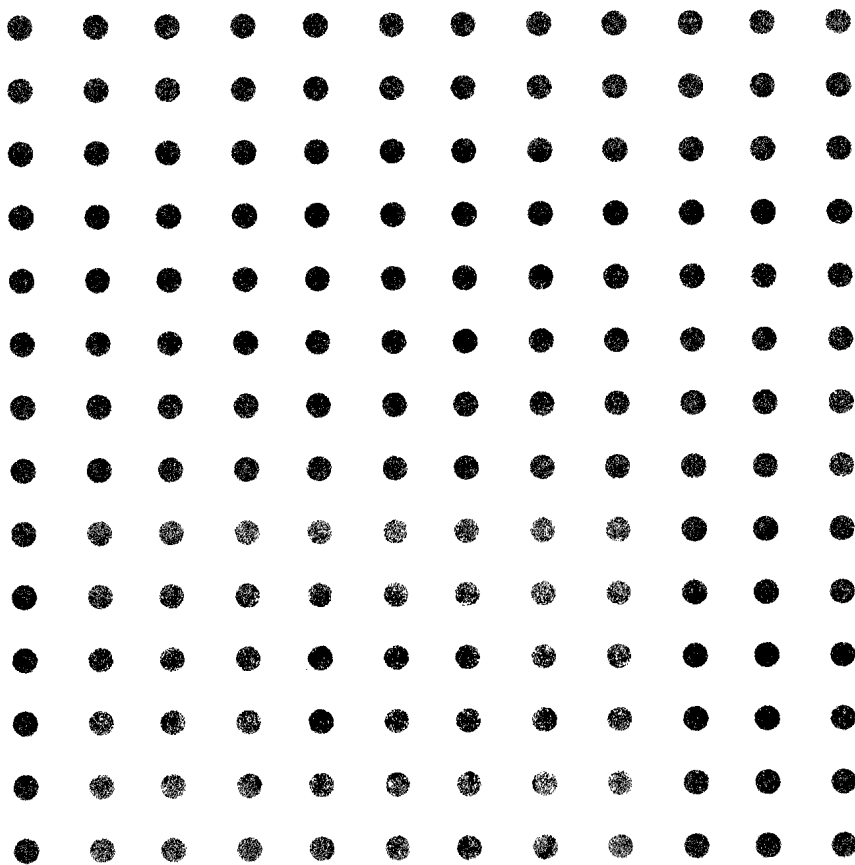


清华大学出版社

21 世纪高等学校电子信息工程规划教材

模拟电子学导论

劳五一 劳佳 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是高等院校电子类专业的基础教材,全书共13章,全面介绍模拟电子学的基本技术及基础理论。本书语言流畅,结构合理,内容丰富,注重实用,给出了大量有价值的实例,尤其是与 Multisim 软件相结合,导出了大量仿真图,宜教宜学。本书的附录还对线性电路的基本问题进行了归纳和总结。

本书可用作高等院校模拟电子技术基础课的教材,也可供工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子学导论 / 劳五一, 劳佳编著. —北京: 清华大学出版社, 2011.9

(21 世纪高等学校电子信息工程规划教材)

ISBN 978-7-302-24545-2

I. ①模… II. ①劳… ②劳… III. ①模拟电路—电子技术 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 009224 号

责任编辑:魏江江 徐跃进

责任校对:焦丽丽

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:31.5 字 数:769 千字

版 次:2011 年 9 月第 1 版 印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:49.00 元

产品编号:030293-01

前 言

模拟电子电路是电子、通信、计算机等专业的学科基础课程，国内外这方面教材的品种繁多。由于我们的学生在中学所学课程中几乎没有电子电路的内容，所以说，《模拟电子电路》是学生接触“电子技术”的启蒙课。作者在多年教学实践中发现，采用传统的从器件原理，到分立元件再到集成电路的教学思路，学生普遍感到入门难、学习枯燥、课程知识点零散庞杂，不易形成电子系统整体概念，这对于后续专业学习和工作实践均有一定的影响。

本书尝试采用从电子系统功能，到系统构建再到器件原理的“自顶向下”的层次结构撰写，体现从外部到内部，从整体到局部逐步深化的认识过程。从一开始就训练和培养掌握电路规律、分析方法以及宏观分析系统结构和设计框架的能力，而不致在起步时“见树木而不见森林”，被大量的器件内部结构和原理等知识所困扰。同时，针对模拟电子电路实践性强的特点，采用理论与仿真实验紧密结合的教学形式，从习题安排上分为分析型与设计型，旨在能够更好地培养学生认识、分析和设计电路的能力。无论学生后续是侧重混合电路系统设计，还是深入学习半导体和微电子学科，本书均可为以后的专业学习打下良好的模拟电路基础。

本书大体上分为四个部分，即第1~3章介绍模拟电路的基础知识和分析方法，第4~7章为基本电路要素，第8~11章为基本应用电路，第12、13章为集成电路和半导体器件，如图0.1所示。

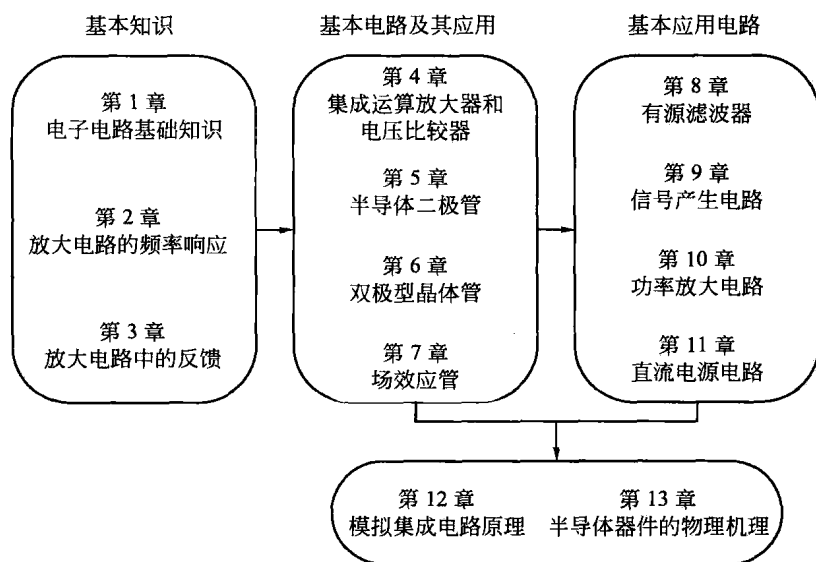


图 0.1 本书内容框图

第1章介绍电子电路基础知识。考虑到读者学习知识上的连续性,本书在电路理论(电路分析)的基础上,从电信号,电子系统出发,介绍放大器的主要指标、电源设置和简单应用,形成对模拟电子电路的宏观认识;第2、3章分别为放大电路的频率响应和放大电路中的反馈。在学习模拟电路之前,先掌握电路系统中的两个基本问题——频率响应和反馈,形成严密系统的分析方法,为后续学习各种功能电路打下基础。

第4~7章,均从器件的外部特性出发,分别介绍集成运算放大器与集成电压比较器、半导体二极管、双极型晶体管和场效应管的基本电路。前三章的知识会帮助读者深刻理解和掌握这四章的内容。第8~11章是各种应用型功能电路介绍,分别为有源滤波器、振荡器、功率放大电路和电源电路,它们是模拟电路实际应用时的常见模块。

最后,进一步深入器件内部,第12章介绍各种模拟集成电路内部电路原理,以便读者更好地理解和应用集成电路,掌握基本集成电路结构和分析方法;第13章半导体器件的物理机理,从微观角度对半导体器件的内部结构和原理加以介绍,为今后微电子专业的学习打下基础。

为使读者对本课程内容有更好地理解,每一章末均安排了两种类型的习题——分析题和设计题,并结合 Multisim 仿真软件,对所学内容进行分析和设计验证。

本教材为华东师范大学精品教材建设专项基金资助项目,感谢华东师范大学教务处、信息学院和通信工程系的领导和有关老师为本书出版提供的支持。

感谢清华大学出版社的大力支持和帮助。

谨将本书献给一如既往支持我们工作的贤妻良母——陈力力女士。

作 者

2011 年于上海

目 录

第 1 章 电子电路基础知识	1
1.1 电信号	1
1.2 电子系统	2
1.3 放大电路	3
1.4 放大电路的电源	7
1.5 差分放大电路	8
1.6 放大电路的传输特性	10
1.7 放大电路的性能指标	12
1.8 级联放大电路	13
1.9 计算机仿真	15
小结	21
习题 1	21
第 2 章 放大电路的频率响应	23
2.1 概述	23
2.1.1 为什么要研究放大电路的频率响应	23
2.1.2 频率失真	24
2.2 分析方法	25
2.2.1 高通电路和低通电路	25
2.2.2 三频段近似分析法	29
2.3 放大电路的频率响应	33
2.4 密勒效应	37
小结	40
习题 2	40
第 3 章 放大电路中的反馈	44
3.1 反馈的基本概念	44
3.2 反馈的分类	44
3.3 负反馈放大电路的四种组态	46
3.4 反馈放大电路的基本方程	48
3.5 负反馈对放大电路性能的影响	50
3.5.1 提高增益的稳定性	50

3.5.2	展宽频带	51
3.5.3	减小非线性失真	52
3.5.4	对输入电阻和输出电阻的影响	53
3.6	反馈网络的负载作用	56
3.6.1	反馈网络模型	56
3.6.2	电压串联负反馈	57
3.6.3	电流并联负反馈	59
3.6.4	电流串联负反馈	61
3.6.5	电压并联负反馈	62
3.7	负反馈放大电路的稳定性	64
3.7.1	负反馈放大电路产生自激振荡的条件和原因	64
3.7.2	反馈放大器的稳定判据	64
3.7.3	负反馈放大电路的稳定裕度	66
3.7.4	负反馈放大电路自激振荡的消除方法	67
	小结	71
	习题 3	72
第 4 章	集成运算放大器和电压比较器	75
4.1	集成运放的电压传输特性	75
4.2	运算电路	77
4.2.1	反相比例运算电路	77
4.2.2	同相比例运算电路	81
4.2.3	差分比例运算电路	82
4.2.4	加法运算电路	83
4.2.5	减法运算电路	84
4.2.6	积分运算电路	86
4.2.7	微分运算电路	88
4.3	应用电路	89
4.3.1	电压—电流转换电路	89
4.3.2	电流—电压转换电路	92
4.3.3	$A_v=\pm 1$ 可调放大器	94
4.3.4	仪用放大器	94
4.4	集成电压比较器	96
4.4.1	集成电压比较器的电压传输特性	96
4.4.2	电压比较器的基本应用	97
4.4.3	各种比较器电路简介	104
4.4.4	比较器的简单应用	107
4.5	模拟乘法器	108
4.5.1	模拟乘法器的电路符号及其等效电路	109
4.5.2	模拟乘法器的应用	109

小结	112
习题 4	113
第 5 章 半导体二极管	118
5.1 半导体二极管的外部特性	118
5.2 半导体二极管模型	120
5.3 应用电路分析与设计	122
5.3.1 整流电路	122
5.3.2 二极管逻辑电路	127
5.3.3 钳位电路	128
5.3.4 稳压电路	128
5.3.5 限幅电路	130
5.3.6 显示电路	133
5.3.7 光控电路	134
5.4 计算机仿真分析与设计	134
5.4.1 二极管的伏安特性	134
5.4.2 二极管的动态特性	134
5.4.3 对数和指数放大电路	136
5.4.4 基准电压源设计	137
5.4.5 限幅放大器	139
小结	140
习题 5	141
第 6 章 双极型晶体管	143
6.1 双极型晶体管的外部特性	143
6.2 基本放大电路的工作原理及其组成	146
6.3 工作点稳定的偏置电路	149
6.4 放大电路的三种基本组态	151
6.5 共发射极放大电路	152
6.5.1 直流分析	152
6.5.2 交流分析	154
6.6 共集电极放大电路和共基极放大电路	176
6.6.1 共集电极放大电路	176
6.6.2 共基极放大电路	181
6.7 电流源电路	191
6.7.1 简单的电流源电路	191
6.7.2 基本电流镜	191
6.7.3 基本三晶体管电流镜	192
6.7.4 Cascode 电流镜	193
6.7.5 Wilson 电流镜	194

6.7.6	Widlar 电流镜	194
6.7.7	多路电流镜	196
6.8	偏置电路	196
6.8.1	直流电源的供电模式	197
6.8.2	电流源偏置	201
6.9	有源负载放大电路	203
6.10	差分放大电路	207
6.10.1	晶体管差分放大电路的构成	207
6.10.2	晶体管差分放大电路的分析	210
6.10.3	小信号等效电路分析	216
6.10.4	差分放大电路仿真分析	225
6.10.5	差分放大电路的设计	228
6.11	互补输出电路	230
6.11.1	电路结构	231
6.11.2	电路改进	232
6.12	基本共射电路的非线性分析	235
	小结	238
	习题 6	239
第 7 章	场效应管	247
7.1	场效应管的外部特性	247
7.1.1	N 沟道 JFET 的外部特性	249
7.1.2	N 沟道增强型 MOSFET 的外部特性	250
7.2	FET 放大电路的工作原理及其组成	252
7.2.1	FET 的偏置电路	252
7.2.2	FET 放大电路的三种基本组态	253
7.3	共源放大电路	254
7.3.1	直流分析	254
7.3.2	交流分析	255
7.3.3	共源放大电路与共射放大电路传输特性分析	260
7.4	共漏极放大电路和共栅极放大电路	264
7.4.1	共漏极放大电路	264
7.4.2	共栅极放大电路	265
7.5	电流源电路	266
7.5.1	基本 MOS 电流镜	266
7.5.2	几种常见的 MOS 电流镜	267
7.6	FET 有源负载放大电路	269
7.6.1	以 PMOSFET 作负载的 NMOSFET 共源放大电路	269
7.6.2	以栅-漏极短接的 NMOSFET 作负载的 NMOSFET 共源放大电路	270

7.7 FET 差分放大电路	272
小结	273
习题 7	273
第 8 章 有源滤波器	278
8.1 基本概念	278
8.1.1 滤波器的特性	278
8.1.2 滤波器的分类	279
8.2 滤波电路分析	280
8.2.1 有源低通滤波器	280
8.2.2 有源高通滤波器	284
8.2.3 有源带通滤波器	286
8.2.4 有源带阻滤波器	288
8.2.5 一阶有源全通滤波器	289
8.3 滤波电路综合	292
8.3.1 巴特沃思滤波器	293
8.3.2 切比雪夫滤波器	296
8.3.3 贝塞尔滤波器	301
8.4 基于积分器的二阶有源滤波器——状态变量型滤波器	306
8.4.1 二阶传递函数的实现	306
8.4.2 状态变量滤波器实例	307
小结	308
习题 8	309
第 9 章 信号产生电路	312
9.1 正弦波振荡器	312
9.1.1 正弦波振荡器的组成和分类	312
9.1.2 产生正弦波振荡的条件	313
9.1.3 正弦波振荡电路的判断	314
9.1.4 RC 正弦波振荡电路	315
9.1.5 LC 正弦波振荡电路	319
9.1.6 正弦波振荡器的负电阻模型	330
9.1.7 石英晶体振荡器	335
9.2 非正弦波发生器	340
9.2.1 矩形波发生器	341
9.2.2 三角波发生器	345
9.2.3 锯齿波发生器	347
9.2.4 电压-频率转换电路	348
小结	351
习题 9	351

第 10 章 功率放大电路	356
10.1 功率放大电路的主要特点	356
10.2 功率放大电路提高效率的主要途径	357
10.3 互补对称功率放大电路	359
10.3.1 OTL 功率放大电路	359
10.3.2 OCL 功率放大电路	362
10.3.3 BTL 功率放大电路	364
10.3.4 互补对称功率放大电路的应用	365
10.4 丁类 (D 类) 功率放大电路	376
10.4.1 电路原理	376
10.4.2 电路实现	377
10.5 集成功率放大电路	378
10.5.1 低电压音频功率放大器 LM386	378
10.5.2 高保真音频功率放大器 TDA2030	379
小结	384
习题 10	385
第 11 章 直流电源电路	388
11.1 概述	388
11.1.1 小功率稳压电源的组成	388
11.1.2 整流滤波电路	389
11.2 线性稳压电源	391
11.2.1 基准电压源	392
11.2.2 串联型稳压电源	395
11.2.3 三端集成稳压器	398
11.3 开关型稳压电源	403
11.3.1 PWM 开关电源的工作原理	404
11.3.2 串联型开关稳压电路的仿真分析	407
11.4 稳流电源	409
11.4.1 负载不接地式直流稳流源	410
11.4.2 负载接地式直流稳流源	410
小结	411
习题 11	412
第 12 章 模拟集成电路原理	417
12.1 多级放大电路的级间耦合方式	417
12.1.1 阻容耦合	417
12.1.2 变压器耦合	418

12.1.3 光电耦合	418
12.1.4 直接耦合	418
12.2 集成运算放大器	421
12.2.1 集成运放电路的一般设计原理	421
12.2.2 双极型集成运算放大器	422
12.2.3 CMOS 集成运算放大器	425
12.3 集成电压比较器	427
12.4 集成宽带放大器	429
12.5 集成功率放大器	432
12.6 集成三端稳压器	435
12.7 模拟乘法器	438
12.8 开关电容电路	440
12.9 电流模式电路	444
12.9.1 跨导运算放大器	445
12.9.2 跨导运算放大器的应用	447
小结	451
习题 12	452
第 13 章 半导体器件的物理机理	458
13.1 半导体基础知识	458
13.1.1 本征半导体	458
13.1.2 杂质半导体	460
13.1.3 PN 结	461
13.2 半导体二极管	466
13.3 双极型晶体管	467
13.3.1 晶体管的工作原理	468
13.3.2 晶体管的特性曲线	471
13.3.3 晶体管的主要参数	472
13.3.4 温度对晶体管参数的影响	474
13.3.5 r_{be} 的近似表达式	475
13.4 场效应管	476
13.4.1 结型场效应管	476
13.4.2 绝缘栅型场效应管	480
小结	483
附录 A 线性电路的基本问题	485
参考文献	490

第 1 章 电子电路基础知识

随着通信技术、计算机技术和电子技术的迅速发展，各种电子产品进入千家万户，手机、计算机、数码照相机、家庭音响、电视机等电子设备已成为人们日常生活中的必需品。那么，它们的工作原理是怎样的呢？其内部电路又是如何设计的？要回答这些问题，就需要了解电子电路中诸多方面的知识，比如电子设备中每一个电子元器件是怎样工作的，它们又是如何组成具有特殊功能的电路，进而构成一个复杂巧妙的电子系统的，等等。学习电子电路是一件非常有趣的事。

为了后续内容的学习，首先需要介绍一些电子电路的基本概念和基本分析方法，并通过一些电子系统的典型实例，对将要学习的一些重要功能模块有一个初步的认识。

另外，作为研究电子电路的基础用书，本书在附录 A 对线性电路的几个基本问题进行了回顾，以便读者学习本书时参考。

1.1 电信号

你知道我们的声音是如何传送到扬声器的？声音首先通过微音器（话筒）变成音频信号，再经过扩音器的放大，最后通过扬声器还原成声音。这一过程可归纳为“声—电—声”的转换和传送的过程。类似的例子还可以列举很多，它们的共同点是，非电量（比如声信号）经过传感器（比如微音器）转换为电量，即电信号，然后再送入电子系统进行电信号的处理。由此可见，讨论需从“电信号”和“电子系统”两方面入手。

从广义上讲，信号包含光信号、声信号和电信号等。信号作为带有信息的某种物理量，可以随时间或随空间变化。在信号分析中，根据信号的取值在时间上是否连续（不考虑个别不连续点），可将信号分为时间连续信号和时间离散信号。其中，时间连续信号有两种：一种取值是连续的，一种取值是离散的。同理，时间离散信号也有两种：一种取值连续，一种取值离散。若信号的时间与取值都是连续的，则称此类信号为模拟信号；若信号的时间连续，但是信号的取值离散，则称此类信号为量化信号；若信号的时间离散，但信号的取值连续，则称此类信号为抽样信号或取样信号；若信号的时间与取值都是离散的，则称此类信号为数字信号。

电子系统可处理的信号为电信号，所以，自然界中各种非电量必须通过传感器转换为电信号，而电信号是指随时间而变化的电压或电流。能够处理模拟电信号的电子电路称为模拟电路，能够处理数字电信号的电子电路称为数字电路。模拟电路正是本书主要讨论的内容，包括模拟电路的基本概念、基本原理、基本分析方法、基本设计方法和基本应用等。至于其他类型信号的处理方法和电路，可参考数字电路等有关书籍。

1.2 电子系统

在人们的日常生活中，有许多熟悉的电子产品，它们就是一个电子系统，如电视机、收音机、家庭音响、手机和计算机等。还有一些电子系统是存在的但不是很明显，比如电冰箱中的电子控制系统。当然，还有很多不熟悉的庞大而复杂的电子系统。一般来说，为了完成特定的功能，将若干个子系统或功能模块，按照一定的要求，组成的规模较大的、完整的电子装置，称为电子系统。

电子系统有大有小，有简单的，也有复杂的，它们有的是模拟的，有的是数字的，也有的是模拟和数字混合的。电子系统常见的功能模块包括信号源、放大电路、滤波器、直流电源、波形变换电路、数字逻辑电路和转换电路等。

简单地说，信号源可以产生各种波形信号，比如正弦波、方波、三角波等，放大电路用于增大微弱信号的功率，滤波器用于信号的提取等；直流电源为其他功能模块提供必需的能量；波形变换电路可将一种波形变换为另一种波形；数字逻辑电路可以处理数字信号；转换电路可以实现信号从模拟到数字或从数字到模拟的转换；等等。

作为对电子系统的初步认识，下面列举几个简单的模拟电子系统的例子。

1. 扩音器

一个简单扩音器的基本功能，是能够将微弱的音频信号放大，最终以足够大的功率驱动扬声器发声。扩音器的原理框图如图 1.1 所示。语言信号通过微音器（话筒）转换成的电信号是很微弱的，需先经过具有一定放大倍数的放大电路，即音频电压放大电路，将微弱信号放大到具有一定电压值的信号，然后，再推动音频功率放大电路，使之输出足够大的功率，推动扬声器发声。

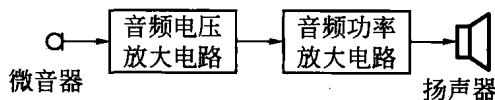


图 1.1 扩音器原理框图

2. 直流稳压电源

以低压线性直流稳压电源为例，其输入为 220V 的正弦波交流电压，而输出为所需的低压直流电压。为了实现此功能，需要如图 1.2 所示的四个功能模块。其中，变压器可将 220V 的交流电压降到一定值的低压交流电压，整流电路（即波形变换电路）将交流电压变为脉动直流电压，滤波电路可将脉动直流变为较平稳的直流，最终稳压器（即放大电路）的输出将是不随输入电压或负载变化的稳定直流。

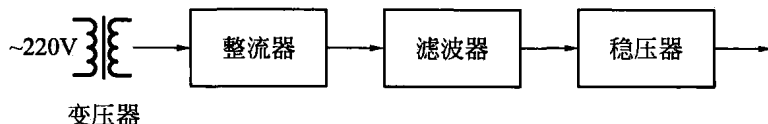


图 1.2 直流稳压电源

3. 超外差收音机

典型的超外差收音机的原理框图如图 1.3 所示，图中包括放大电路、滤波电路、信号源（如本机振荡器）和波形变换电路（如峰值检波器）等。

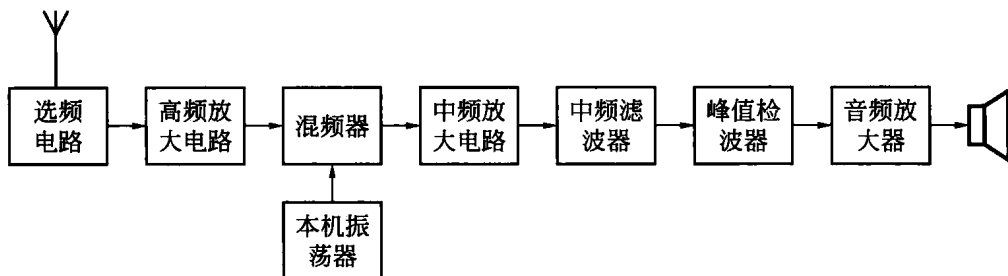


图 1.3 超外差收音机原理框图

以上仅对电子系统作了一个简单的了解。显然，描述一个完整的电子系统，还需要对每一个功能模块提出相应的技术指标，比如放大电路的放大倍数、输入电阻、带宽等。当然，每一个功能模块又应由包含电阻、电容、电感、晶体管、集成电路等元器件构成的电路所组成。我们需要掌握的技巧是，设计每一个模块应从它的外特性出发，比如设计一个实际的放大电路时，首先涉及的是它所要求的技术指标。而对于一个复杂的电子系统来说，如何选择一个合理的原理框图，将涉及到诸多方面的知识，比如控制系统、通信系统等，以及电路设计的优化，电磁兼容性，元器件的选择，工艺等问题，这里就不一一介绍了。

从对电子系统的分析可知，对模拟信号最基本的处理是放大，而放大电路不仅具有独立地完成信号放大的功能，而且也是构成各种功能模拟电路，如滤波器、振荡器、稳压器等的基本电路。

1.3 放大电路

利用传感器将非电量转换为电量所得到的模拟信号，通常是很微弱的，比如上述的麦克风可将声音转换为幅值为 1mV 左右的电信号，这个小信号再输入到电压放大倍数为数千倍的放大器进行放大，从而输出幅值为数伏量级的信号，将这个大电压信号作用于扬声器，才能发出响亮的声音。又比如数码照相机，其前端的光电传感器所产生的微弱信号需放大几千倍甚至更大，才能进行模数转换，从而作进一步的分析、处理和显示等。可见，放大电路是电子系统中非常重要的功能模块，它的作用就是对输入信号进行线性放大，即放大电路的输出信号是与输入信号波形形状完全相同的大幅度的信号。可用图 1.4 概括放大电路“放大”信号的过程。

(1) 放大电路输入端口的一端和输出端口的一端连接到一个公共“地”（又称电位参考点）上，这是通常的作法（隔离放大电路除外）。注意图 1.4 (a) 所示的接地符号为 $\perp$ 。这个公共地可作为信号电流和直流供电（在 1.4 节介绍）电流回路的共同端点。在电子电路中引入电位参考点，将在电子电路的绘制、分析、设计和制作等方面带来很多方便。

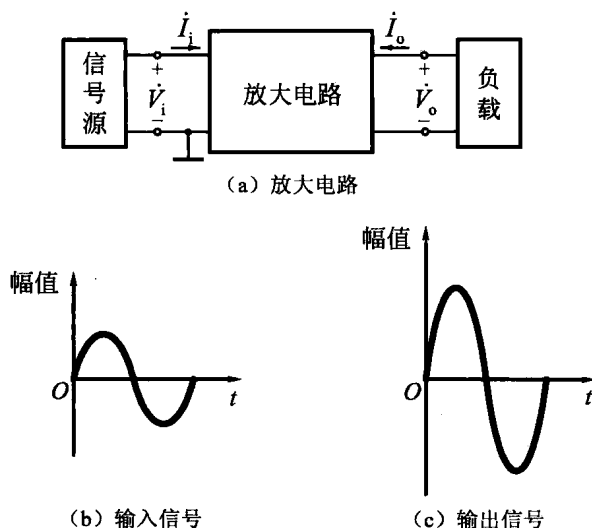


图 1.4 放大电路“放大”信号

(2) 信号源（比如上述例中的微音器）是独立源，可以等效为电压源或电流源，这是根据放大电路的输入电阻的大小来确定的。

若输入电阻较大，则信号源应采用电压源，以确保电路输入端得到较大的信号压降；若输入电阻较小，则信号源应采用电流源，以确保电路输入端得到较大的信号电流。

(3) 负载（比如上述例中的扬声器）可以是一个确定的电阻，也可以是一个等效电阻（比如后续电路的输入电阻）。

(4) 放大电路可视为一个二端口网络。根据二端口网络的四个模型（参见附录 A），可以得到放大电路的四个模型。这里只考虑放大电路的正向传输，而没有考虑它的负向传输，因此，忽略系数 z_{12} 、 g_{12} 、 h_{12} 和 y_{12} ，于是，得到放大电路四个模型的基本方程组：

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = z_{11} \dot{I}_1 \\ \dot{V}_2 = z_{21} \dot{I}_1 + z_{22} \dot{I}_2 \end{cases} \quad (1.1)$$

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = g_{11} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 = g_{21} \dot{V}_1 + g_{22} \dot{I}_2 \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = h_{11} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 = h_{21} \dot{I}_1 + h_{22} \dot{V}_2 \end{cases} \quad (1.3)$$

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = y_{11} \dot{V}_1 \\ \dot{I}_2 = y_{21} \dot{V}_1 + y_{22} \dot{V}_2 \end{cases} \quad (1.4)$$

由式 (1.1) ~ 式 (1.4) 的第一式，可以求得输入电阻

$$R_i = z_{11} = \frac{1}{g_{11}} = h_{11} = \frac{1}{y_{11}}$$

由式 (1.1) ~ 式 (1.4) 的第二式，令 $\dot{V}_1 = 0$ 或 $\dot{I}_1 = 0$ ，可以求得输出电阻

$$R_o = z_{22} = g_{22} = \frac{1}{h_{22}} = \frac{1}{y_{22}}$$

也就是说,放大电路四个模型中输入电阻的值是相同的,输出电阻的值也是相同的。将 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{V}_1$ 和 $\dot{V}_2$ 分别以 $\dot{I}_i$ 、 $-\dot{I}_o$ 、 $\dot{V}_i$ 和 $\dot{V}_o$ 来表示,得到放大电路的四个模型,如图 1.5 所示。

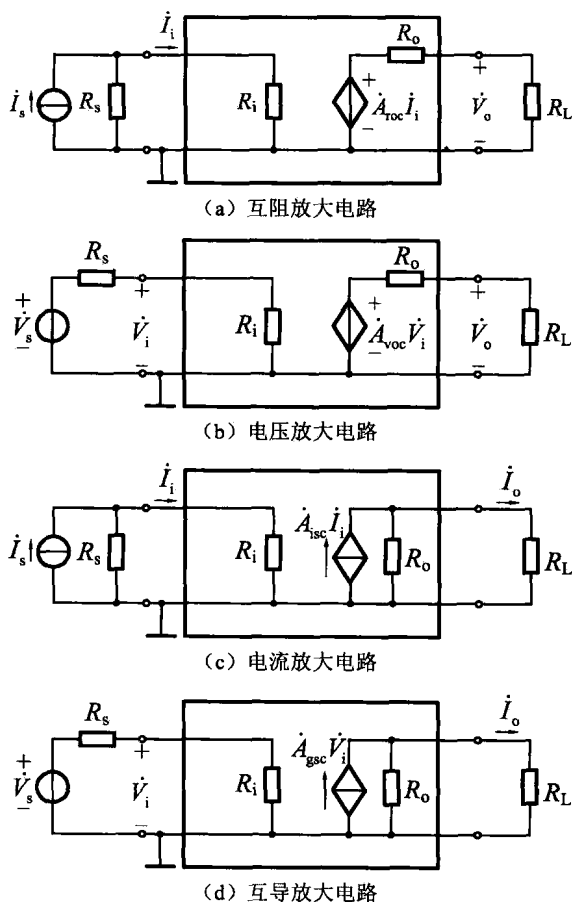


图 1.5 放大电路的四个模型

一个实际的放大电路原则上可以用上述四个模型中的任意一个作为它的电路模型。但是,根据信号源的特性和负载的要求,一般只有一个模型最为合适。

比如一个电流—电压转换器,其信号源为高内阻的电流源,而负载要求得到恒定的电压信号,此时放大电路应选用互阻放大电路模型为宜,如图 1.5 (a) 所示。在这种情况下,放大电路可视为电流控制型的电压源。参数(比例系数) $\dot{A}_{\text{toc}}$ 称为开路互阻放大倍数,即式 (1.1) 第二式中,在 $\dot{I}_2 = 0$ 时 z_{21} 的值,其单位为欧,它等于开路输出电压 $\dot{V}_{\text{oc}}$ 与输入电流 $\dot{I}_i$ 的比值,即

$$\dot{A}_{\text{toc}} = \frac{\dot{V}_{\text{oc}}}{\dot{I}_i} \quad (1.5)$$

对于一个理想的互阻放大电路,则要求输入电阻为零,输出电阻也为零。

又比如在上述图 1.1 扩音器的例子中,信号源为低内阻的电压源,而负载要求得到恒定的电压信号,此时放大电路应选用电压放大电路模型为宜,如图 1.5 (b) 所示。在这种情况