

全国普通高等院校
电子信息与通信类精品教材

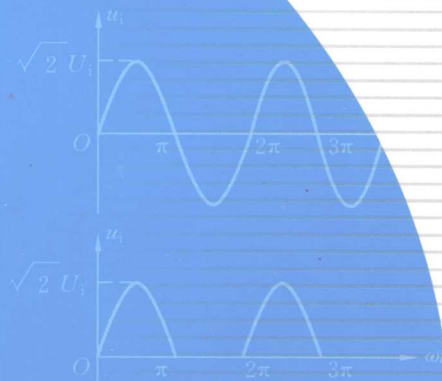
QUANGUO PUTONG GAODENG YUANXIAO DIANZI XINXI YU TONGXINLEI JINGPIN JIAOCAI



模拟电子技术基础

主 编 李 霞

副主编 杨 烜 邬春明



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国普通高等院校
电子信息与通信类精品教材

QUANGUO PUTONG GAODENG YUANXIAO DIANZI XINXI YU TONGXINLEI JINGPIN JIAOCAI



模拟电子技术基础

主 编 李 霞

副主编 杨 烜 邬春明



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

1340454

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/李 霞 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2009 年 1 月
ISBN 978-7-5609-4933-8

I. 模… II. 李… III. 模拟电路-电子技术-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 165101 号

模拟电子技术基础

李 霞 主编

策划编辑:徐晓琦

责任编辑:余 涛

责任校对:朱 霞

封面设计:潘 群

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:850mm×1065mm 1/16

印张:14.25

字数:281 000

版次:2009 年 1 月第 1 版

印次:2009 年 1 月第 1 次印刷

定价:26.80 元

ISBN 978-7-5609-4933-8/TN·131

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书结合作者多年的教学实践编写而成,在教材内容的安排上比较新颖,全书从概念入手,以集成运放的应用开始,再转入半导体器件的简略介绍,并以分立元件的放大电路为主线,由功率放大电路到负反馈放大电路,最后以集成运放的内部组成电路(以差分放大电路及电流源电路为主)及直流电源结束。每章均有适量例题和习题。

本书可作为普通高等学校电子信息类、通信类及其他相近专业的本科生教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

前 言

本书是作者结合多年的教学实践,为适应我国普通高等教育的新形势而编写的。本书的编写原则是以模拟电子技术的基本概念、基本原理为基础,适当压缩分立元件放大电路的内容,重点介绍放大电路的基本分析方法,加强以集成运算放大器为主的各种模拟集成电路的分析与应用。

在教材内容的安排上,借鉴国外教材的做法,从概念入手,首先引入电子系统、模拟电子系统、放大器及其性能指标等基本概念,使学生对这本书的主要学习内容有了初步认识;在此基础上,以集成运放的应用开始,一方面与先修课程“电路分析”中的相关内容衔接较为紧密,另一方面也避免了传统的教材编排以介绍半导体材料和器件开始较难理解,导致学习缺乏兴趣的问题;随后再转入半导体器件的简略介绍,并以分立元件的放大电路为主线,由功率放大电路到负反馈放大电路,最后以集成运放的内部组成电路(以差分放大电路及电流源电路为主)及直流电源结束。将集成运放的应用提前介绍,也使得在讲授负反馈放大电路时能将学生较难掌握的分立元件负反馈放大电路的内容进行压缩,而以集成运放电路的深度负反馈分析为主,做到前后呼应,从不同的侧面加深理解。在编写过程中,作者力求做到概念清楚,重点突出,易于入门,方便自学。

全书共分9章,总授课时间约为60学时。目录中注有“*”的章节可作为选学内容,可根据学时数及各校实际情况取舍。每一章都选编了适量例题和习题,方便学生自学,以巩固所学知识和检验应用能力。

本书由深圳大学、东北电力大学、海南大学和西安建筑科技大学的老师合作编写。其中,第1、5、6、7章由深圳大学的李霞、杨烜编写,第2、3章由海南大学的冯文龙、王旭编写,第4章由西安建筑科技大学的杨润玲编写,第8、9章由东北电力大学的邬春明编写。深圳大学的李霞教授负责全书的统稿。

本书可作为普通高等学校电子信息类、通信类及其他相近专业的本科生教材,也可作为相关工程技术人员的参考书。

本书获深圳大学精品课程建设经费资助,在编写过程中得到华中科技大学出版社的大力支持、帮助和指导,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2008年9月

目 录

第 1 章 导言	(1)
1.1 电子系统	(1)
1.1.1 电子系统的组成	(2)
1.1.2 电路设计和系统设计	(3)
1.1.3 电子电路的计算机辅助分析与设计软件简介	(4)
1.2 模拟电子系统	(5)
1.2.1 模拟信号	(6)
1.2.2 模拟电子系统	(7)
1.2.3 集成电路	(8)
1.3 放大器的基本概念	(9)
1.3.1 放大器分类及其主要性能指标	(10)
1.3.2 电压放大器模型	(12)
1.3.3 放大器频率响应	(14)
1.3.4 理想放大器	(15)
本章小结	(16)
习题	(16)
第 2 章 集成运算放大器及其基本应用	(18)
2.1 集成运算放大器	(18)
2.1.1 集成运放的电压传输特性	(19)
2.1.2 理想集成运放及不同工作区特点	(19)
2.2 理想运放在线性区常用电路	(21)
2.2.1 基本运算电路	(21)
2.2.2 有源滤波电路	(26)
* 2.3 理想运放在非线性区常用电路	(30)
2.3.1 单限比较器	(30)
2.3.2 滞回比较器	(31)
本章小结	(34)
习题	(34)
第 3 章 半导体二极管及其基本应用电路	(38)
3.1 半导体基础知识	(38)
3.1.1 本征半导体与杂质半导体	(38)

3.1.2 PN 结	(41)
3.2 半导体二极管及其基本应用电路	(44)
3.2.1 二极管的伏安特性	(44)
3.2.2 二极管的等效电路及其分析方法	(46)
3.2.3 基本应用电路	(48)
* 3.3 稳压二极管及其基本应用电路	(51)
3.3.1 稳压二极管	(51)
3.3.2 稳压管的基本应用电路	(52)
本章小结	(53)
习题	(54)
第 4 章 晶体三极管放大电路	(56)
4.1 晶体三极管	(56)
4.1.1 晶体管的结构和类型	(56)
4.1.2 晶体管的电流放大作用	(57)
4.1.3 晶体管放大电路的三种类型	(59)
4.1.4 晶体管的共射特性曲线	(60)
4.1.5 晶体管的主要参数	(62)
4.2 共射极放大电路分析	(64)
4.2.1 直流通路和交流通路	(64)
4.2.2 图解法	(65)
4.2.3 微变等效电路法	(69)
4.2.4 静态工作点稳定的共射放大电路	(71)
4.2.5 放大电路的频率响应	(74)
4.3 其他类型放大电路分析	(76)
4.3.1 共基放大电路分析	(76)
4.3.2 共集放大电路分析	(78)
4.4 多级放大电路分析	(80)
4.4.1 多级放大电路的耦合方式	(80)
4.4.2 多级放大电路分析	(81)
本章小结	(84)
习题	(84)
第 5 章 场效应管及其基本放大电路	(90)
5.1 场效应管基础	(90)
5.1.1 结型场效应管	(90)
5.1.2 绝缘栅型场效应管	(94)
5.1.3 场效应管的主要参数	(97)

5.1.4 场效应管与晶体管的比较	(99)
5.2 场效应管基本放大电路	(101)
5.2.1 直流偏置电路与静态分析	(101)
5.2.2 动态分析	(103)
本章小结	(105)
习题	(106)
第6章 功率放大电路	(108)
6.1 功率放大电路概述	(108)
6.1.1 功率放大电路的基本要求	(108)
6.1.2 功率放大电路的分类	(109)
6.2 甲类功率放大电路	(110)
6.2.1 共射放大电路用作功率放大电路的缺点	(110)
6.2.2 甲类功率放大电路组成及原理	(111)
6.3 乙类互补推挽功率放大电路	(113)
6.3.1 电路组成及工作原理	(113)
6.3.2 性能分析	(114)
6.3.3 交越失真及其克服	(116)
6.4 单电源互补推挽功率放大电路	(118)
6.4.1 单电源供电的互补推挽电路	(118)
6.4.2 准互补推挽功率放大	(118)
6.5 集成功率放大器	(119)
本章小结	(121)
习题	(121)
第7章 放大电路中的反馈	(125)
7.1 反馈的概念	(125)
7.1.1 反馈的定义	(125)
7.1.2 反馈的分类	(127)
7.1.3 负反馈的四种类型	(130)
7.2 负反馈对放大电路性能的影响	(133)
7.2.1 提高放大倍数的稳定性	(133)
7.2.2 负反馈对输入电阻的影响	(133)
7.2.3 负反馈对输出电阻的影响	(135)
7.2.4 负反馈对通频带的影响	(137)
7.2.5 负反馈对非线性失真的影响	(138)
7.3 深度负反馈放大电路的估算	(138)
7.4 负反馈放大电路的自激振荡	(142)

7.4.1 自激振荡的产生原因	(142)
7.4.2 负反馈放大电路的自激	(143)
7.4.3 常用的自激消除方法	(144)
本章小结	(145)
习题	(145)
第8章 集成运算放大电路	(149)
8.1 集成运算放大电路简介	(149)
8.1.1 集成运放的电路特点	(149)
8.1.2 集成运放的方框图	(149)
8.2 差分放大电路	(150)
8.2.1 直接耦合放大电路的零点漂移现象	(150)
8.2.2 基本差分放大电路	(151)
8.2.3 具有恒流源的差分放大电路	(155)
8.2.4 差分放大电路的四种接法	(156)
8.3 集成运放中的电流源	(161)
8.3.1 基本电流源电路	(161)
8.3.2 多路电流源	(163)
8.3.3 改进型电流源	(163)
8.3.4 以恒流源作为有源负载的差分放大电路	(165)
8.4 集成运放的主要技术指标和集成运放的种类	(165)
8.4.1 集成运放的主要技术指标	(165)
8.4.2 集成运放的种类	(167)
8.5 集成运放的使用注意事项	(169)
8.5.1 集成运放的选用	(169)
8.5.2 集成运放的静态调试	(170)
8.5.3 集成运放的保护电路	(171)
本章小结	(171)
习题	(172)
第9章 直流电源	(176)
9.1 直流稳压电源的组成及各部分的作用	(176)
9.2 整流电路	(177)
9.2.1 半波整流电路	(177)
9.2.2 桥式整流电路	(178)
9.3 滤波电路	(181)
9.3.1 电容滤波电路	(181)
9.3.2 其他滤波电路	(183)

9.4 稳压电路	(185)
9.4.1 稳压电路的功能	(185)
9.4.2 稳压电路主要性能指标	(186)
9.4.3 并联型稳压电路	(186)
9.4.4 串联型稳压电路	(189)
9.4.5 开关型稳压电路	(194)
本章小结	(196)
习题	(197)
习题答案	(199)
参考文献	(218)

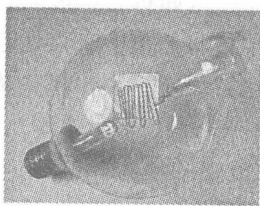
第1章 导 言

本章提要:本书以放大器的分析为主线,重点讲述基本放大器的电路组成、分析方法和性能指标,以及各种改进型放大电路和在实际中获得广泛应用的集成运算放大电路,其目的是让读者更好地理解模拟电路的基本概念和原理。因此,本章将首先对电子系统及其组成、电路设计和系统设计、电子电路的计算机辅助分析与设计软件、模拟电子系统和放大器的一些基本概念进行简单介绍。

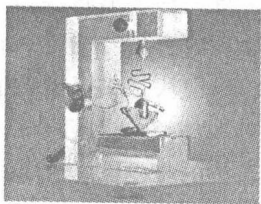
1.1 电子系统

由电子器件组成并完成一定功能的电路称为电子系统。组成电子系统的目的常常是为了对信号进行传输、处理或用来产生某些信号。电子系统在19世纪末、20世纪初开始发展起来,并在20世纪得到了迅速发展,是近代科学技术发展的一个重要标志。目前,电子系统已经广泛地应用于国防、科学、工业、医学、通信及文化生活等各个领域。

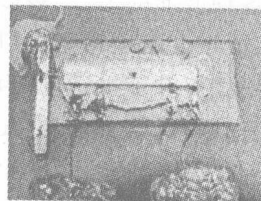
电子系统的发展与电子器件的发展密不可分。随着电子器件的不断更新,电子系统的发展史经历了从电子管到晶体三极管再到集成电路这三个主要阶段,如图1-1所示。



(a) 第一个真空三极管(1906年)



(b) 第一个晶体三极管(1947年)



(c) 第一个集成电路(1958年)

图 1-1 电子系统的发展

1904年,世界上第一只电子管(真空二极管)在英国物理学家弗莱明手中诞生,它标志着世界从此进入了电子时代。

1906年,美国发明家福雷斯特对二极管加以改进,研制出真空三极管,如图1-1(a)所示。它能够产生从低频到微波范围的振荡,可以放大各种微弱信号。这一重大发明有力地促进了无线电通信事业的迅速发展,使电子系统技术进入了实际应用阶段。

1947年12月,美国物理学家肖克莱和他的合作者在著名的贝尔实验室向人们展示了第一个半导体电子增幅器,即最初的晶体管,如图1-1(b)所示。晶体管的发明成为人类微电子革命的先驱。1948年至1952年,相继出现了点接触型晶体三极管和面结合型硅三极管。三极管以小巧、轻便、省电、寿命长等特点,很快得到广泛应用,并在许多领域中逐步取代了电子管,电子系统技术也转入以晶体管电路为主的历史阶段。

1958年,在美国德州仪器公司实验室里诞生了世界上第一块集成电路,如图1-1(c)所示。它把晶体管等电子元件集成在一块硅芯片上,并将它们连接成能够完成一定功能的电子线路,从而使电子产品向小型化发展。自此,集成电路已经跨越了小、中、大、超大、特大、巨大规模几个台阶,集成度平均每2年提高近3倍。当今世界上最小的硅晶体管直径仅20纳米,把它放进一片普通集成电路,形同一根头发放在足球场的中央。随着集成度的提高,器件尺寸不断减小,使电子产品向着高效能低消耗、高精度、高稳定、智能化的方向发展。

相对于集成电路而言,由晶体管和其他元器件(电阻、电容等)组装构成的电子线路称为分立元件电路。目前,集成电路还不能完全取代分立元件电路,但它们在构成原理上有许多相似之处。

1.1.1 电子系统的组成

电子系统由多个子系统或功能模块组成。在电子系统中涉及的功能模块主要包括放大器、滤波器、信号源、整形电路、数字逻辑电路、数字存储器、电源和转换器等。其中,放大器的作用是将微弱信号进行放大,包括电流放大、电压放大和功率放大等;滤波器是将人们不希望得到的信号或噪声与有用的信号区分开来;信号源的作用是产生各种波形的信号;整形电路是将一种波形转换为另一种波形,如将正弦波转换为方波;数字逻辑电路是专门用来处理数字信号的电路;数字存储器是将信息以数字信号的形式保存下来;电源为其他功能模块提供必要的直流电源;转换器的作用是将模拟信号转换为数字信号(A/D转换),或将数字信号转换为模拟信号(D/A转换)。

图1-2为普通调幅(AM)收音机的方框图。该系统包含数字和模拟两部分内容,

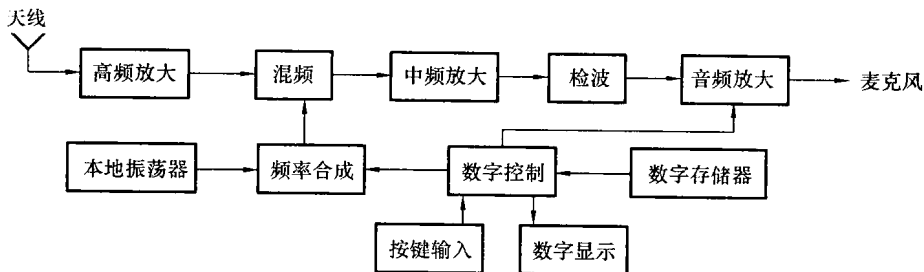


图 1-2 普通调幅收音机方框图

其中有三个放大器分别对三个不同频段(高频、中频、音频)的信号进行(选频)放大。本地振荡器产生特定频率与波形的载波信号,检波器将低频信号从高频已调波中检出。数字控制部分主要实现自动选频音量控制、载频显示等功能。

1.1.2 电路设计和系统设计

电路设计是电子系统设计的重要内容。对于一个电路设计工程师来讲,首先需要掌握基本电子线路的工作原理及分析方法;在此基础上灵活应用原型电路进行电路设计。要设计一个真正实用的电子系统,需要考虑的因素很多,电路设计只是系统设计的一部分。所以,电路设计工程师有必要对整个系统设计的流程有所了解。本节将概要地讲述如何对一个电子系统进行系统设计。

1. 系统设计

图 1-3 为电子系统设计的流程图。在开始设计之前,首先需要明确设计任务,比如设计一个汽车电子定位系统或一个多功能报警系统。

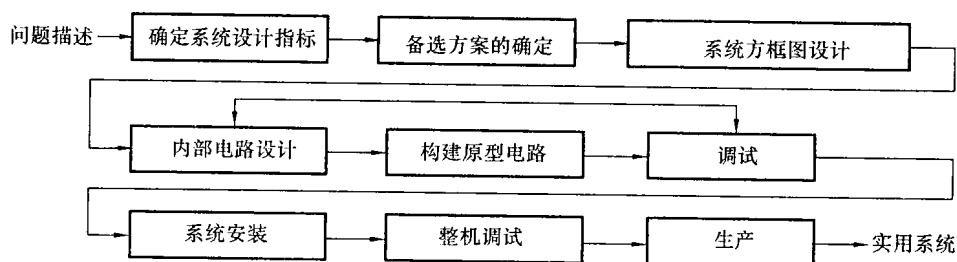


图 1-3 电子系统设计流程图

设计的第一步是进行系统需求分析,确定各项设计指标,包括几乎所有系统都不可能避免会遇到的对尺寸、重量、形状、功耗、供电电源类型和成本的要求,以及系统内部特定的设计参数。例如,在一个通信系统中,我们需要知道被传输信号的类型、系统所需带宽、允许的最小信噪比或最大误码率,以及发送方和接收方的数量和位置,等等。

在明确系统需求之后,系统设计人员就要为解决问题寻找所有可能的方案。在这个步骤中,设计者必须摒弃那些不切实际的解决方案,从而得到行之有效的解决方案。同一个问题,常常可以有多种备选方案。例如,要设计一个电子系统,使得飞机不容易被雷达探测到,就可以有以下几种方案:第一种方案是对飞机的外形进行设计,使飞机对于雷达信号不反射;第二种方案是采用可以吸收雷达信号的材料来制造飞机;第三种方案是设计一种电子控制系统,使得飞机能够贴着地面飞行以避开雷达探测;第四种方案是在飞机上安装干扰发射器,用以抵消雷达探测信号。

方案一旦选定,即可进行系统方框图设计。系统方框图中包括多种功能模块,如放大器、转换器、滤波器、数字逻辑电路、供电电源等。每个功能模块都有具体的技术要求,以满足整体的设计要求。

每个功能模块的设计都包括内部电路设计、样品电路制作及调试。测试过程中如果发现问题,就要返回到内部电路设计中重新修正,测试无误后将各功能电路组装成样品系统,调试通过并确定最终方案后可进入成品生产环节。

2. 电路设计

电路设计与系统设计的过程类似,如图 1-4 所示。

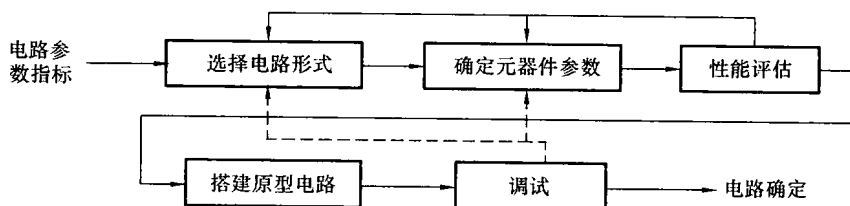


图 1-4 电路设计流程图

首先要确定电路结构。例如,要设计一个放大器,既可以采用由分立元件如三极管、场效应管等搭接的放大电路实现,也可以采用集成运放或可编程增益放大器。电路形式的确定要结合多方面因素综合考虑。一旦确定,下一步的工作就是要确定电路中每个元器件的参数取值。然后,对电路进行性能评估。评估主要采取以下三种方法:数学分析法、计算机仿真法以及实测法。

数学分析法适用于典型功能电路及其简单变形。对于这类电路,电路性能指标与器件参数之间的定量关系已知或可简单推导得出,所以可通过直接调整元器件参数使电路性能达到预期要求。

对于复杂的实际电路,理论分析有时会显得束手无策,这就需要借助计算机仿真或对实际电路进行测试来予以分析。随着计算机辅助设计技术的不断发展与日趋普及,计算机仿真的优势已获得了企业与工程技术人员的认可。但是,尽管电路设计的主流是以计算机辅助设计为主,设计者们仍然需要掌握传统的数学分析法,熟悉基本功能电路的基本工作原理及分析方法。

通过理论分析或计算机仿真确认所设计电路达到性能要求之后,就可以制作电路样板并进行测试。这也是一个反复迭代的过程。

1.1.3 电子电路的计算机辅助分析与设计软件简介

对初学者来说,实验能加深其对知识概念和原理的理解,帮助其体会电子元件在电路中的功能。但受各种条件的限制,并非所有的实验都能付诸实施,这在一定程度上制约了初学者对知识的理解和掌握。有没有不用搭建实际电路就能知道结果的方法呢?结论是有,这就是电路设计与仿真技术。

另一方面,对于从事电子产品设计和开发的工作人员来说,对所设计的电路进行实物模拟和调试过程中,也常常因为电子产品从设计到生产出样机的环节多、周期长、费用高等而不能及时地完成试验。为此,世界各国都在探索切实可行的电子设计

自动化(简称 EDA 技术),EDA 技术使得电子线路的设计人员能在计算机上完成电路的功能设计、逻辑设计、性能分析、时序测试直至印刷电路板的自动设计。

EDA 软件是在计算机辅助设计(CAD)技术的基础上发展起来的计算机设计软件系统。与早期的 CAD 软件相比,EDA 软件的自动化程度更高、功能更完善、运行速度更快,而且操作界面友善,有良好的数据开放性和互换性。常用的 EDA 软件设计工具和可编程逻辑器件有加拿大 Interactive Image Technologies 公司推出的虚拟电子工作台软件 Electronics Workbench (EWB,其中电路设计仿真工具称为 Multisim),以及 Microsim 公司的 PSPICE 软件等。另外,Lattice 公司的 ISP Synario System PAC-Designer、Xilinx 公司的 Xilinx 7.1 和 Altera 公司的 MAX+Plus II 软件都可以对可编程逻辑器件进行硬件设计;而 Modelsim、ISE Simulator 等软件可以在软件上对其仿真;PROTEL 公司推出的 Protel 99 具有印刷电路板设计、无网络布线、可编程逻辑器件设计等功能。

下面简单介绍在国内应用较广的两个软件。

(1) SPICE(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis):由美国加州大学推出的电路分析仿真软件,是 20 世纪 80 年代世界上应用最广的电路设计软件,1998 年被定为美国国家标准。在同类产品中,它是功能最为强大的模拟和数字电路混合仿真 EDA 软件,得到普遍使用。它可以进行各种各样的电路仿真、激励建立、温度与噪声分析、模拟控制、波形输出、数据输出,并在同一窗口内同时显示模拟和数字的仿真结果。无论对哪种器件、哪些电路进行仿真,都可以得到精确的仿真结果,并可以自行建立元器件及元器件库。

(2) Multisim:Interactive Image Technologies 公司在 20 世纪末推出的电路仿真软件。相对于其他 EDA 软件,它具有更加形象、直观的人机交互界面,特别是操作其仪器仪表库中的各仪器仪表与真实实验中的完全相同,而且对模数电路的混合仿真功能也毫不逊色,几乎能够 100%地仿真出真实电路的结果。Multisim 在仪器仪表库中不仅提供了万用表、信号发生器、瓦特表、双踪示波器(对于较新版本 Multisim 7 中还具有四踪示波器)、波特仪(相当实际中的扫频仪)、字信号发生器、逻辑分析仪、逻辑转换仪、失真度分析仪、频谱分析仪、网络分析仪和电压表及电流表等仪器仪表,还提供了常见的各种建模元器件,如电阻、电容、电感、三极管、二极管、继电器、可控硅、数码管等。模拟集成电路方面有各种运算放大器及其他常用集成电路,数字电路方面则有 74 系列集成电路、4000 系列集成电路等,除此之外还支持自制元器件。

1.2 模拟电子系统

电子系统中处理的信号可以分为模拟信号和数字信号。数字电子系统包括所有在计算机中处理的数字与逻辑运算,而模拟电子系统包含了除数字信号外的所有非

数字信号的处理。

1.2.1 模拟信号

模拟信号是指用连续变化的物理量表示的信号。模拟信号的幅度随时间连续变化,可以取一定范围内的任意值。常见的模拟信号包括温度、语音信号、电源电压等。数字信号是指在时间上和取值上都是离散的、不连续的信号,例如,十字路口的红绿灯显示、电梯的运行状态,等等。图 1-5 为模拟信号与数字信号的示意图。

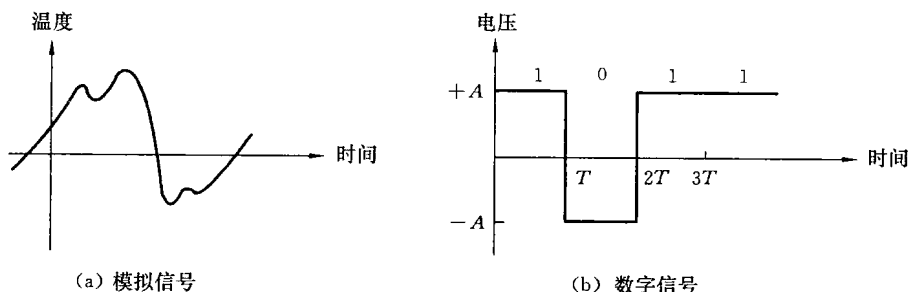


图 1-5 模拟信号与数字信号示意图

模拟信号与数字信号之间可以相互转换。模/数转换器(analog to digital converter, ADC)将模拟信号转换为数字信号;数/模转换器(digital to analog converter, DAC)将数字信号转换为模拟信号。

模拟信号可以通过采样和量化两个步骤转换为数字信号。首先,对模拟信号进行等间隔采样,得到一批采样点;接着,对每个采样点进行量化。如图 1-6 所示,用长度为 3 的二进制编码将幅度等分为 $8(=2^3)$ 个区域,各采样点对应幅度区域的编码

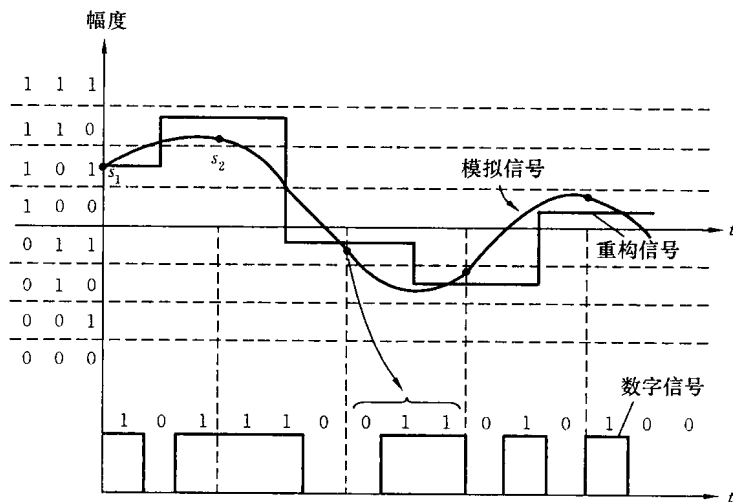


图 1-6 通过采样将模拟信号转换为数字信号

即表示该点对应的数字信号。例如,点 s_1 对应的数字信号为 101;采样点 s_2 对应的数字信号为 110,以此类推,就可以得到所有采样点对应的数字信号。

反过来,也可以将数字信号转换为模拟信号。假设用各幅度区域的中点位置来表示相应模拟信号的幅度,则由数字信号重构的模拟信号如图 1-6 所示。显然,重构信号可以将每个采样点的幅度都重新构建出来,不过重建后的模拟信号与原始的存在量化误差,该量化误差的大小取决于量化器(或二进制编码器)的阶数(或位数)。

1.2.2 模拟电子系统

根据处理信号的类型不同,电子线路可以分为模拟电子线路(简称模拟电路)和数字电子线路(简称数字电路)两大类型。模拟电路是对模拟信号进行传输或处理的电路,电路功能主要包括放大、滤波、信号比较、运算等。图 1-7 是一个模拟电子系统的示意图。系统通过各种传感器、接收器或信号发生器对信号进行采集、提取或产生某种特定的信号。这些原始信号常常包含了无用的干扰和噪声,同时信号的幅度往往较小,因此需要对信号进行预处理。当信号变得足够大时,可进一步对信号进行运算、比较、转换等加工。信号经过功率放大后驱动负载。



图 1-7 模拟电子系统示意图

在电子系统中通常会存在噪声干扰。与模拟电子系统相比,数字电子系统最明显的一个优势是它对于噪声不敏感。图 1-8 为模拟信号和数字信号在噪声加入前后的比较图。由图 1-8(a)和(c)可知,受噪声干扰的模拟信号无法再还原为原始的模拟

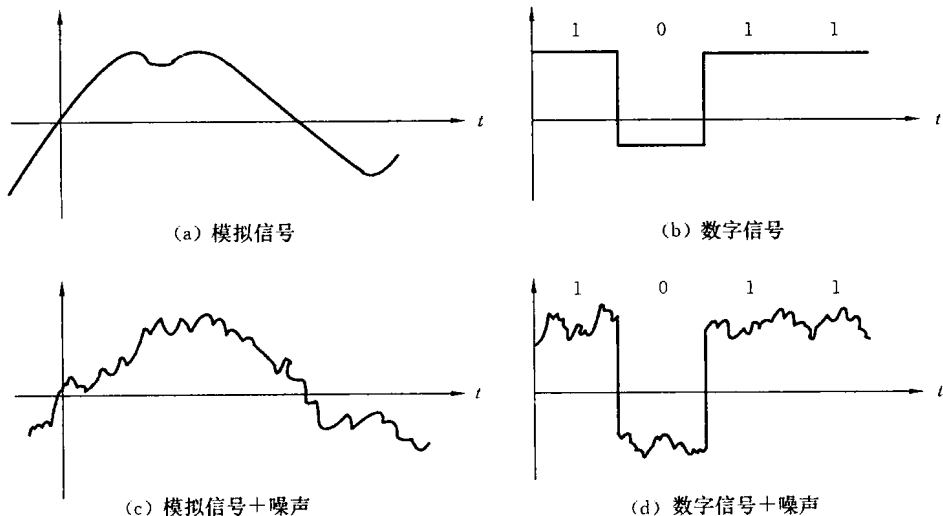


图 1-8 模拟信号与数字信号分别加入噪声的前后对比