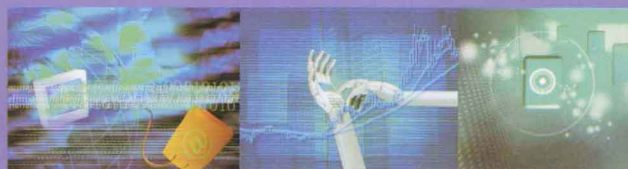


■ 杨 军 左 芬 马春林 潘 建 编著

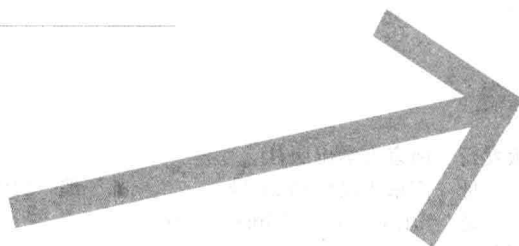
模拟电子技术



南京大学出版社

模拟电子技术

■ 杨 军 左 芬 马春林 潘 建 编著



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术 / 杨军等编著. — 南京: 南京大学出版社, 2013. 8

ISBN 978 - 7 - 305 - 12107 - 4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 198041 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

网 址 <http://www.NjupCo.com>

出 版 人 左 健

书 名 模拟电子技术

编 著 杨 军 左 芬 马春林 潘 建

责任编辑 耿士祥 沈 洁 编辑热线 025 - 83592146

照 排 南京南琳图文制作有限公司

印 刷 盐城市华光印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 24.75 字数 602 千

版 次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 305 - 12107 - 4

定 价 46.00 元

发行热线 025 - 83594756 83686452

电子邮箱 Press@NjupCo.com

Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

本书是依据教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会公布的电子信息科学与工程电气信息类平台课程教学基本要求(II)中“模拟电子技术基础课程教学基本要求”(2009),考虑我国高等学校的课程设置和学时压缩的教学现状,以培养应用型人才为目标,结合作者多年的教学实践,本着推进课程教学改革的思路而编写的。

模拟电子技术课程是一门重要的技术基础课程,也是一门工程应用性很强的课程,具有自身的体系和很强的实践性。课程中的许多重要概念,对后续课程的学习以至工程应用都具有深远的影响。因此,本书突出理论和实践紧密结合、实用为主、注重实践的教学思想,以“教学基本要求”为依据,以工程应用为目标,在内容的选取及编写上,力求突出基本概念、基本电路的原理和基本分析方法,引导学生抓住重点、突破难点、掌握分析方法,强调理论联系实际,注重培养学生的创新意识、工程应用和解决实际问题的能力,使学生既获得模拟电子技术方面的基本知识、基本理论和基本技能,熟悉常用电子器件的特性,又具备一定的创新实践能力和工程应用能力,为深入学习电子技术及其专业应用打好基础。

全书紧紧围绕信号的放大、运算、产生、处理与变换等内容进行编写,内容包括:绪论、半导体二极管及其基本电路、晶体三极管及其放大电路、场效应管放大电路、集成运算放大电路、负反馈放大电路、功率放大电路、模拟信号的运算和处理、信号发生电路和直流稳压电源。本书在编写过程中,力求简明扼要、通俗易懂。

书中每章均列出了教学目的和要求,让学生在在学习中明确重点,把握难点,加深理解。全书结合理论分析和实际应用,介绍了模拟电子电路的一些应用示例,通过例题阐述了分析问题和解决问题的思路和方法,有利于学生自学。每章都配有适量的自我检测和练习题,有利于学生举一反三,逐步提高分析问题和解决问题的能力。本书还安排了 Multisim10 电子仿真实验与设计的多个应用示例,使学生对 Multisim10 软件的基本应用和工程设计有一个基本的了解,有助于学生学习 EDA 技术以扩展自己的能力。

本书可作高等学校电子信息类、电气信息类、仪器仪表类专业和其他相关专业的“模拟电子技术”、“模拟电子线路”等课程的教材或参考书,也可供从事模拟电子电路应用和系统设计的有关工程技术人员参考。

本书在编写过程中,参考了国内外有关方面的书刊,编者在这里向被选用书刊的作者表示感谢。

限于编者的水平和时间,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 7 月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 电信号	1
1.1.1 信号	1
1.1.2 信号的频谱	2
1.1.3 模拟信号与数字信号	5
1.2 电子系统	6
1.2.1 电子系统的组成	6
1.2.2 电子系统中的模拟电路	6
1.2.3 电子系统的组成原则	7
1.3 模拟电子技术课程	7
1.3.1 模拟电子技术课程的任务	7
1.3.2 模拟电子技术课程的特点	8
1.3.3 模拟电子技术课程的学习方法	8
1.4 电子仿真实验与设计软件 Multisim10 简介	10
第2章 半导体二极管及其基本电路	12
2.1 半导体基本知识	12
2.1.1 本征半导体	13
2.1.2 杂质半导体	15
2.2 PN 结	16
2.2.1 PN 结的形成	16
2.2.2 PN 结的单向导电性	17
2.2.3 PN 结的伏安特性	19
2.2.4 PN 结的反向击穿	20
2.2.5 PN 结的电容效应	20
2.3 半导体二极管	22
2.3.1 二极管的常见结构	22
2.3.2 二极管的伏安特性	23

2.3.3 二极管的主要参数	24
2.4 二极管基本电路的分析方法	26
2.4.1 二极管电路的图解分析法	26
2.4.2 二极管电路的简化模型分析法	27
2.5 稳压二极管	35
2.5.1 稳压二极管的伏安特性	35
2.5.2 稳压二极管的主要参数	36
2.5.3 稳压二极管稳压电路	37
2.6 其他类型二极管	39
2.6.1 变容二极管	39
2.6.2 肖特基二极管	40
2.6.3 光电二极管	40
2.6.4 发光二极管	42
2.6.5 激光二极管	43
2.7 二极管的选择与简易检测	44
2.8 二极管特性的 Multisim10 仿真研究	45
本章小结	46
自我检测	47
练习题	50
第3章 晶体三极管及其放大电路	54
3.1 晶体三极管	55
3.1.1 晶体管的结构	55
3.1.2 晶体管的放大作用	56
3.1.3 晶体管的特性曲线	60
3.1.4 晶体管的主要参数	62
3.1.5 温度对晶体管参数特性的影响	66
3.1.6 晶体管的选择与简易检测	66
3.2 放大电路模型及其性能指标	68
3.2.1 放大电路模型	69
3.2.2 放大电路的性能指标	72
3.3 共射极基本放大电路	77
3.3.1 共射极基本放大电路的组成	77

3.3.2	共射极基本放大电路的工作原理	78
3.3.3	放大电路的组成原则	80
3.4	放大电路的分析方法	82
3.4.1	图解分析法	83
3.4.2	小信号模型分析法	88
3.5	放大电路静态工作点的稳定	96
3.5.1	温度对静态工作点的影响	96
3.5.2	分压式射极偏置电路	96
3.5.3	稳定静态工作点的措施	102
3.6	共集电极放大电路和共基极放大电路	104
3.6.1	共集电极放大电路	104
3.6.2	共基极放大电路	107
3.6.3	晶体管放大电路三种组态的性能比较	110
3.7	多级放大电路	110
3.7.1	多级放大电路的级间耦合	110
3.7.2	多级放大电路的动态分析	114
3.7.3	组合放大电路	116
3.8	放大电路的频率响应	121
3.8.1	简单 RC 电路的频率响应	123
3.8.2	晶体管的高频小信号模型	126
3.8.3	单级共射极放大电路的频率响应	131
3.8.4	单级共基极和共集电极放大电路的频率响应	138
3.8.5	多级放大电路的频率响应	140
3.9	单级放大电路的仿真研究	141
	本章小结	146
	自我检测	146
	练习题	150
第 4 章	场效应管放大电路	159
4.1	场效应管	159
4.1.1	金属-氧化物-半导体(MOS)场效应管	159
4.1.2	结型场效应管	166
4.1.3	场效应管的主要参数	169

4.1.4 各种场效应管的特性比较·····	171
4.1.5 场效应管使用注意事项·····	172
4.2 场效应管放大电路·····	172
4.2.1 场效应管共源放大电路·····	173
4.2.2 场效应管共漏放大电路·····	176
4.2.3 场效应管共栅放大电路·····	179
4.2.4 场效应管与晶体管放大电路的比较·····	180
4.2.5 场效应管放大电路的频率响应·····	182
4.3 场效应管放大电路的仿真研究·····	184
本章小结·····	188
自我检测·····	188
练习题·····	190
第5章 集成运算放大电路·····	194
5.1 集成运放的特点与基本组成·····	194
5.1.1 集成运放电路的结构特点·····	194
5.1.2 集成运放电路的基本组成·····	195
5.2 集成运放中的电流源电路·····	196
5.2.1 镜像电流源电路·····	196
5.2.2 微电流源电路·····	197
5.2.3 比例式电流源电路·····	197
5.2.4 多路电流源电路·····	198
5.2.5 电流源为负载的放大电路·····	198
5.3 差分式放大电路·····	200
5.3.1 基本差分放大电路·····	200
5.3.2 具有恒流源的差分放大电路·····	205
5.3.3 差分放大电路的四种接法·····	206
5.4 集成运算放大电路·····	208
5.4.1 集成运算放大器典型产品简介·····	208
5.4.2 集成运算放大器的表示符号·····	210
5.4.3 集成运算放大器的分类及主要技术指标·····	211
5.5 集成运算放大电路的模型·····	213
5.5.1 集成运算放大器的电压传输特性·····	213

5.5.2 理想集成运算放大器的模型	214
5.6 差分放大电路的仿真研究	215
本章小结	218
自我检测	218
练习题	219
第6章 负反馈放大电路	224
6.1 反馈的基本概念	224
6.1.1 反馈的概念	224
6.1.2 反馈的形式与判别	225
6.2 负反馈放大电路	228
6.2.1 负反馈放大电路的闭环增益表达式	228
6.2.2 电压串联负反馈放大电路	230
6.2.3 电压并联负反馈放大电路	231
6.2.4 电流串联负反馈放大电路	232
6.2.5 电流并联负反馈放大电路	233
6.3 负反馈对放大电路性能的影响	234
6.3.1 稳定电压增益	234
6.3.2 减小非线性失真	235
6.3.3 改变输入电阻和输出电阻	236
6.3.4 扩展通频带	238
6.3.5 抑制干扰和噪声	238
6.4 深度负反馈放大电路的分析方法	239
6.5 负反馈放大电路的稳定性	241
6.5.1 负反馈放大电路产生自激振荡的原因和条件	241
6.5.2 负反馈放大电路稳定性的判断	242
6.5.3 负反馈放大电路自激振荡的消除方法	243
6.6 负反馈放大电路的仿真研究	244
本章小结	246
自我检测	246
练习题	248
第7章 功率放大电路	254
7.1 功率放大电路的特殊问题	254

7.1.1 功率放大电路的特点与要求	254
7.1.2 甲类功率放大电路的效率分析	255
7.1.3 提高功率放大电路效率的主要途径	257
7.2 乙类互补对称功率放大电路(OCL 电路)	257
7.2.1 电路组成和工作原理	258
7.2.2 分析计算	258
7.2.3 功率管的选择原则	260
7.3 甲乙类互补对称功率放大电路	261
7.3.1 OCL 甲乙类互补对称功率放大电路	262
7.3.2 OTL 甲乙类互补对称功率放大电路	262
7.4 集成功率放大电路	263
7.4.1 集成功率放大电路的分析	263
7.4.2 集成功率放大电路的主要性能指标	263
7.4.3 集成音频功率放大电路 TDA2030A 及其应用	264
7.5 功率放大电路的仿真研究	265
本章小结	268
自我检测	268
练习题	269
第 8 章 模拟信号的运算和处理	274
8.1 基本运算电路	274
8.1.1 比例运算电路	274
8.1.2 加减运算电路	278
8.1.3 积分运算与微分运算电路	281
8.1.4 对数运算与反对数运算电路	282
8.2 模拟乘法器及其应用	283
8.2.1 模拟乘法器简介	283
8.2.2 变跨导型模拟乘法器的工作原理	284
8.2.3 模拟乘法器在运算电路中的应用	285
8.3 电压比较器	286
8.3.1 单限比较器	287
8.3.2 滞回比较器	287
8.3.3 集成电压比较器	290

8.4 信号转换电路	291
8.4.1 电压-电流转换电路	291
8.4.2 电流-电压转换电路	293
8.4.3 精密整流电路	293
8.5 有源滤波器	295
8.5.1 滤波电路的作用和分类	295
8.5.2 低通滤波器	297
8.5.3 高通滤波器	300
8.5.4 带通滤波器	301
8.5.5 带阻滤波器	302
8.6* 开关电容滤波器	304
8.7 积分运算电路的仿真研究	305
本章小结	307
自我检测	308
练习题	309
第9章 信号发生电路	317
9.1 正弦波振荡电路的振荡条件	317
9.2 RC 正弦波振荡电路	319
9.3 LC 正弦波振荡电路	323
9.3.1 LC 并联回路的频率特性	324
9.3.2 变压器反馈式 LC 正弦波振荡电路	326
9.3.3 电感三点式振荡电路	327
9.3.4 电容三点式振荡电路	328
9.3.5 石英晶体振荡电路	330
9.4 非正弦波发生电路	332
9.4.1 方波发生电路	333
9.4.2 三角波发生电路	334
9.4.3 锯齿波发生电路	336
9.4.4 集成函数信号发生器	337
9.5 RC 正弦波振荡电路的仿真研究	339
本章小结	341
自我检测	342

练习题	343
第 10 章 直流稳压电源	350
10.1 直流稳压电源的电路组成	350
10.2 单相整流电路	351
10.2.1 半波整流电路	351
10.2.2 桥式整流电路	353
10.2.3 倍压整流电路	354
10.3 电源滤波电路	355
10.3.1 电容滤波电路	356
10.3.2 电感滤波电路	358
10.3.3 复式滤波电路	358
10.4 串联型稳压电路	360
10.4.1 直流稳压电源的主要质量指标	360
10.4.2 串联型稳压电路的工作原理	361
10.4.3 三端集成稳压器	365
10.4.4 三端集成稳压器的应用	366
10.5* 开关稳压电路	367
10.5.1 开关型稳压电路的特点和分类	367
10.5.2 开关串联型稳压电路	368
10.5.3 开关并联型稳压电路	371
10.6 串联型稳压电路的仿真研究	372
本章小结	373
自我检测	374
练习题	376
参考文献	381

第1章 绪 论

本章学习目的和要求

1. 掌握电信号、信号的频谱、模拟信号和数字信号的基本知识；
2. 了解电子系统的组成、电子系统中模拟电路的基本功能和电子系统设计的基本原则；
3. 了解模拟电子技术的研究对象、课程的性质和作用，明确学习目的、把握学习方法；
4. 了解仿真软件 Multisim10 的作用。

电子技术是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。随着物理学、半导体技术的不断发展，电子技术在 20 世纪取得了惊人的进步。特别是近几十年来，微电子技术的发展带动了计算机、通信、自动控制等高新技术的迅猛发展，致使工业、农业、科技和国防等领域发生了令人瞩目的变革。同时，电子技术一直都在改变着并且还将持续改变着人们的日常生活。从收音机、高保真度音响、电视机到 DVD 播放机、随身听，再到功能不断更新换代的通信设备、智能手机、个人电脑等大量的电子产品，已经日渐成为人们生活中不可或缺的引领时尚的必需品。

本书作为模拟电子技术课程的教材，在介绍二极管、三极管、场效应管、集成电路等半导体器件原理和特性的基础上，重点讨论一些基本电子电路的分析与设计方法，包括应用 Multisim10 软件进行电子仿真实验和设计。在当今世界集成电路器件及其产品日渐更新、层出不穷的形势下，读者掌握基本电子器件、基本电子电路的工作原理和主要特性，以及电路之间的互联匹配等基本知识之后，通过查阅电子器件产品说明等有关技术资料，就有可能设计出满足技术要求、性能可靠、成本低廉甚至具有创新应用的电子电路，乃至构成某种功能完善的电子系统。

本章结合本书的特点以及后续章节的内容，首先介绍信号与电子系统的一些基本概念，然后介绍模拟电子技术课程的任务特点、学习方法以及电子仿真与设计软件，为后续各章的学习提供引导性的预备知识。

1.1 电 信 号

1.1.1 信 号

信号是反映消息的物理量，信号是信息的载体，例如工业控制中的温度、压力、流量，自然界的声信号，等等。人们所说的信息，是指存在于消息之中的新内容，例如人们从各种媒体上获得原来未知的消息，就是获得了信息。可见，信息需要借助于某些物理量（如声、光、电）的变化来表示和传递，广播和电视利用电磁波来传送声音和图像就是最好的例证。

由于非电的物理量可以通过各种传感器较容易地转换成电信号。这种随时间连续变化的电压 v 或电流 i 的电信号,称为模拟信号。处理模拟信号的各种电路,是本书所要讨论的主要内容。

能够将各种物理量转换为可由电子电路处理的信号的传感器,输出的信号都是电信号。比如话筒就是将声音信号转换为电信号的传感器。为方便起见,常把传感器看成信号源。根据有关电路理论的知识可知,电路中的信号源可以等效为理想电压源 v_s 和源内阻 R_s 串联的戴维宁等效电路,如图 1.1.1 所示;也可以等效为理想电流源 i_s 和源内阻 R_s 并联的诺顿等效电路,如图 1.1.2 所示。这两种信号源电路也可以等效转换,可以根据不同的应用场合,使用不同的信号源形式。

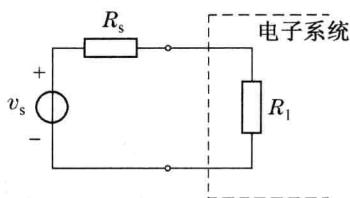


图 1.1.1 电压源等效电路

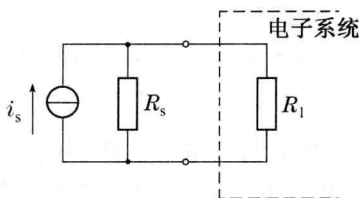


图 1.1.2 电流源等效电路

实际的电信号都是时间的函数,例如示波器显示某话筒输出的小提琴发出 A 调“啦”的声音波形如图 1.1.3 所示,而同样装置显示的钢琴发出 A 调“啦”的波形却如图 1.1.4,与小提琴声音波形截然不同,表明这两个信号的特征参数肯定不同。信号中的特征参数是设计放大电路和电子系统的重要依据。

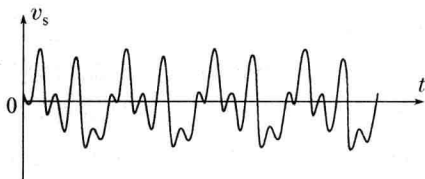


图 1.1.3 小提琴发声 A 调“啦”的波形

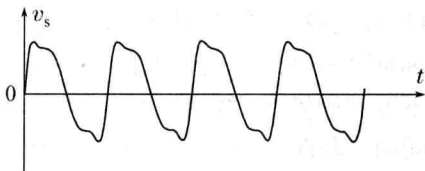


图 1.1.4 钢琴发声 A 调“啦”的波形

1.1.2 信号的频谱

小提琴和钢琴发出同一音符的声音,听起来虽然音调一样高,但是感觉是不同的声音。它们的波形不同,除了基音频率相同之外,泛音成分是不同的,所以这两个声音信号携带的信息是不同的,本质上是这两个声音的频谱是不同的。但是图 1.1.3 和图 1.1.4 只能看出波形不同,并不能明显看出具体不同的参数细节。

为了提取信号的特征参数,通常是将信号从时域变换到频域。信号在频域中表示的图形或曲线称为信号的频谱。通过傅里叶变换可以实现信号从时域到频域的变换。为了对信号的频谱有进一步的了解,下面首先以正弦波电压信号为例,说明信号的表达方式及其基本特性。图 1.1.5 描述了正弦波电压幅值与时间的函数关系,其数学表达式为

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta) \quad (1.1.1)$$

式中 V_m 是正弦波电压的振幅, ω 为角频率, θ 为初相角,当 $\omega = 0$ 时, $v(t)$ 则为直流电压信

号。在图 1.1.6 所示的正弦电压幅度与角频率的关系图中,只有幅值为 V_m 、角频率为 ω_0 的一个信号成分,当 V_m 、 ω 、 θ 均为已知常数时,信号中就不再含有任何未知信息,这是最简单的信号。所以,正弦波信号经常作为标准信号用来对模拟电子电路进行测试。

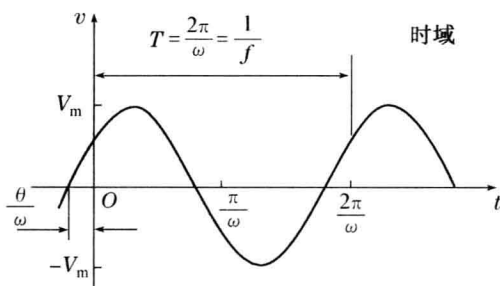


图 1.1.5 正弦信号时域表示

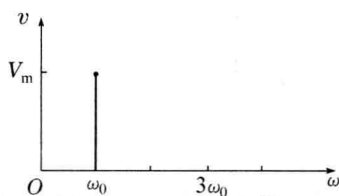


图 1.1.6 正弦电压幅度频谱

信号幅度与频率的关系称为**幅度频谱**,简称**幅度谱**;信号相位与频率的关系称为**相位频谱**,简称**相位谱**。它们统称为信号的**频谱**。

1. 周期信号的频谱

根据高等数学中的傅里叶级数可知,任意周期函数只要满足狄利克雷条件都可以展开成傅里叶级数。对于图 1.1.7 的周期性方波信号,它的时间函数表达式为

$$v(t) = \begin{cases} V_s, & nT \leq t < (n+1)T \\ 0, & (n+1)T \leq t < (n+2)T \end{cases} \quad (1.1.2)$$

式中 V_s 为方波幅值, T 为周期, n 为从 $-\infty$ 到 $+\infty$ 的整数。

图 1.1.7 和式(1.1.2)中的电压 v 是时间 t 的函数,所以称为方波信号的时域表达方式。

方波信号可展开为傅里叶级数表达式

$$v(t) = \frac{V_s}{2} + \frac{2V_s}{\pi} \left(\sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \right) \quad (1.1.3)$$

式中 $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$, $\frac{V_s}{2}$ 是方波信号的**直流分量**, $\frac{2V_s}{\pi} \sin \omega_0 t$ 为该方波信号的**基波分量**,它的周期 $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ 与方波本身的周期相同。式(1.1.3)中其余各项都是**高次谐波分量**,它们的角频率是基波角频率的整数倍。根据三角函数知识,由式(1.1.3)可以得到如下形式:

$$v(t) = \frac{V_s}{2} + \frac{2V_s}{\pi} \left[\cos\left(\omega_0 t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{1}{3} \cos\left(3\omega_0 t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{1}{5} \cos\left(5\omega_0 t - \frac{\pi}{2}\right) + \dots \right] \quad (1.1.4)$$

$$\text{即} \quad v(t) = \frac{V_s}{2} + \frac{2V_s}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} \cos\left(n\omega_0 t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.1.5)$$

从而可得到幅值与角频率的关系为如图 1.1.8 所示的幅度频谱,其中包括直流项($\omega =$

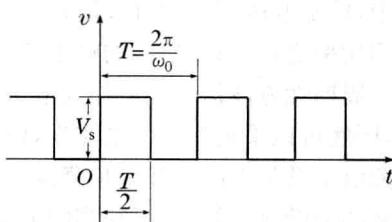


图 1.1.7 方波信号的时域表示

0)和每一谐波分量在相应角频率处的振幅。这种信号各频率分量的振幅随角频率变化的分布图,就是该信号的幅度谱。本例中方波信号的各频率分量的相位随角频率变化的分布图,就是如图 1.1.9 所示的相位谱。从图 1.1.9 可以看出,正弦波的幅度频谱只在基波频率上有相应的幅值,而没有其他的频率分量。

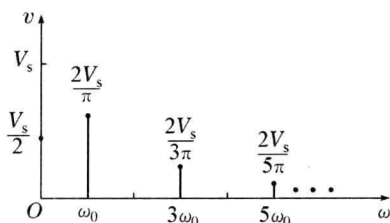


图 1.1.8 方波信号的幅度谱

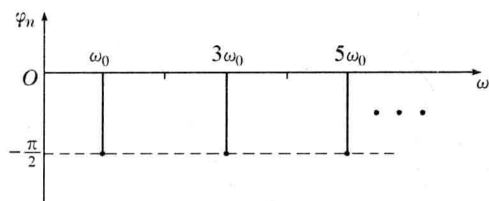


图 1.1.9 方波信号的相位谱

根据傅里叶级数的特性,许多周期信号的频谱都由直流分量、基波分量以及无穷多项高次谐波分量组成,频谱表现为一系列离散频率上的幅值,且随着谐波次数的递增, $v(\omega)$ 的幅值总趋势是逐渐减小的。如果只截取 $N\omega_0$ (N 为有限正整数值)以下的信号组合,则可以得到原周期信号的近似波形, N 愈大,波形的近似程度愈高,与原信号的误差就愈小。

周期电压信号作用到电阻 R 上的平均功率为

$$P = \frac{1}{R} \left(V_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} V_n^2 \right) = \frac{V^2}{R} \quad (1.1.6)$$

其中

$$V = \sqrt{V_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} V_n^2} \quad (1.1.7)$$

式中, V 是电压信号的有效值; $V_n/\sqrt{2}$ 是各次正弦谐波的有效值。总平均功率等于各次分量平均功率之和,所以信号的幅度谱反映了信号的功率分布,是信号最重要的特性之一。

周期性方波信号亦可作为电子系统的测试信号,例如,当测试宽频带放大器的频率响应时,固然可以采用扫频仪来实现,但当采用方波信号进行测试时,由被测系统输出方波电压的前沿上升是否陡峭和平顶降落的程度,来定性地评价放大器的频带宽度。这是因为方波信号的前沿变化较快,反映高频分量,而平顶部分变化较慢,反映低频分量。

2. 非周期信号的频谱

如果周期 T 趋于无穷大,则周期信号变化为非周期信号。因此,非周期信号的角频率 $\omega_0 = 2\pi/T$ 是无穷小量,信号的幅度谱将在角频率轴向上连续分布。运用傅里叶变换可将非周期信号表达为一个连续频率函数形式的频谱,它包含了所有可能的频率 ($0 \leq \omega < \infty$) 成分。实际世界的各种非周期信号,随角频率上升到一定程度,其幅度频谱函数总趋势是衰减的。当选择适当的截止角频率 ω_c ,把高于此频率的部分截断时,即舍去高于 ω_c 的频率分量,一般不致太多地影响信号的特性。通常把保留的部分称为信号的带宽。

在工程实际中,信号的频谱总是存在的,如音频信号的频谱在 20 Hz~20 kHz 范围内连续分布。对工程实际问题有重要影响的信号称为有用信号(或有效信号),一般有用信号的频谱范围是有限的。表 1.1.1 列出了一些典型信号(有用信号)的频率范围。

表 1.1.1 典型信号的频率范围

信 号	频率范围	信 号	频率范围
心电信号	0.05 Hz~200 Hz	调频无线电信号	88 MHz~108 MHz
音频信号	20 Hz~20 kHz	模拟电视 LHF 频段	48.5 MHz~92 MHz
模拟电视信号	0 Hz~4.5 MHz	超高频电视信号	470 MHz~806 MHz
中波调幅无线电信号	535 kHz~1 605 kHz	卫星电视信号	3.7 GHz~4.2 GHz

综上所述,信号的频域表达方式可以得到某些比时域表达方式更有意义的参数。信号的频谱特性是电子系统有关频率特性的主要设计依据。这是因为在放大模拟信号的理想放大电路中,需要将信号中所有的频率分量按相同比例进行线性放大,使放大后的输出信号尽可能与原输入信号的波形保持一致,不产生失真或失真很小。但是,由于实际放大器内部存在分布电容等参数以及耦合电路等因素,放大器输出信号可能存在一些失真。有关放大器对信号各频率分量的响应的讨论参见本书第3章。

1.1.3 模拟信号与数字信号

信号的形式是多种多样的,可以从不同角度进行分类。根据信号的确定性,可将信号划分为确定信号和随机信号;根据信号是否具有周期性,可将信号划分为周期信号和非周期信号;根据信号对时间的取值是否具有连续性,可将信号划分为连续时间信号和离散时间信号等。在电子技术中通常将信号划分为模拟信号和数字信号。

模拟信号在时间和数值上均具有连续性,即对应于任意时间 t , 均有确定的电压值 v 或电流值 i 与之对应,并且 v 或 i 的取值是连续的。例如从温度传感器输出的大气温度的变化信号就是一个模拟信号,正弦波信号也是一个典型的模拟信号。如图 1.1.3 和图 1.1.4 所示的小提琴和钢琴声音的信号也是一个典型模拟信号的波形。

与模拟信号不同,数字信号在时间和数值上均具有离散性, v 或 i 的变化在时间上不连续,总是发生在离散的瞬间,且它们的数值是一个最小量值的整倍数,并以此倍数作为数字信号的数值,如图 1.1.10 所示。当实际信号的数值在 N 和 $N+1$ (N 为正整数)之间时,则根据所设定的阈值,将它确定为 N 或 $N+1$,即认为 N 与 $N+1$ 之间的数值没有意义。

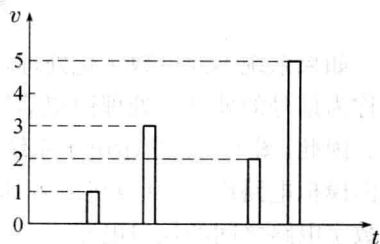


图 1.1.10 数字信号波形

应当指出,大多数物理量所转换成的电信号均为模拟信号。在信号处理时,可以通过电子电路实现模拟信号和数字信号的相互转换。例如,对模拟信号进行数字化处理时,需首先将其转换为计算机能够识别的数字信号,称为模-数转换^①;经处理后,计算机输出的数字信号常需转换为能够驱动负载的模拟信号,称为数-模转换^②。

本书所涉及的信号多为模拟信号。

① 模-数转换,简称 A/D(Analog to Digital)转换。

② 数-模转换,简称 D/A(Digital to Analog)转换。