



普通高等教育“十一五”规划教材

模拟电子 技术基础

刘润华 李震梅 主编

中国石油大学出版社

普通高等教育“十一五”规划教材

模拟电子技术基础

(第二版)

刘润华 李震梅 主 编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/刘润华,李震梅主编. —2版. —东营:石油大学出版社,2007.1
ISBN 978-7-5636-2166-8

I. 模… II. ①刘…②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(2007) 第 000791 号

书 名:模拟电子技术基础

作 者:刘润华 李震梅

责任编辑:宋秀勇(电话 0546—8392139)

封面设计:人和视觉

出 版 者:中国石油大学出版社(山东 东营,邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: yibian@hdpu.edu.cn

印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392139)

开 本: 180×235 · 1/16 印张: 26.875 字数: 560 千字

版 次: 2007 年 3 月第 2 版第 1 次印刷

定 价: 36.80 元



刘润华, 1958年生, 教授。1982年毕业于中国石油大学(华东)自动化系, 毕业后留校任教, 1988年2月研究生毕业于重庆大学电气工程系。毕业后一直在中国石油大学(华东)从事电工、电子类技术基础课程的教学和电力电子技术及其应用方面的科研工作。先后发表论文30多篇, 获得多项国家级和省部级教材奖和教学成果奖。现任教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会电子电气基础课程教学指导分委员会委员, 中国高等学校电工学研究会常务理事, 山东省高等学校电工学研究会理事长。2004年分别获全国优秀教师荣誉称号和山东省首届教学名师奖。

主要著作有:《电子技术》(2002年获全国优秀教材二等奖);《电工电子学》(普通高等教育“十五”国家级规划教材);《现代电子系统设计》(获山东省教学成果三等奖);《电子设计自动化》;《模拟电子技术》(第一版);《电子技术实验与课程设计》。

第二版前言

本书是在第一版的基础上,参照正在修订并即将由教育部颁布实施的“模拟电子技术基础”课程教学基本要求,结合作者多年的教学改革成果和教学经验编写而成的。反映了当前模拟电子技术发展的主流和趋势,适合作为高等学校电气、电子信息类各专业模拟电子技术基础课程的教材,也可作为工程技术人员的参考书。

面对学时越来越少,内容越来越多,技术越来越新,要求越来越高的矛盾,根据培养大学生创新能力的要求,在编写本书时我们遵循以下原则:保证基础,精选内容,不断更新,便于教学。在内容的编排与处理上考虑了以下几个方面:

1. 先器件后电路。考虑到分立电子器件有许多共性问题,再加上“模拟电子技术基础”和“数字电子技术基础”两门课程都以分立器件为基础,而且许多高校的培养计划都将这两门课程安排在同一学期开课,所以将分立器件放在第1章集中介绍。

2. 把场效应管放大电路归并到基本放大电路。晶体管放大电路的三种组态(共射、共集、共基)和场效应管放大电路的三种组态(共源、共漏、共栅)都是一一对应的,具有相同的特点,将它们归结为三类通用放大器,即反相放大器、电压跟随器、电流跟随器,有利于基本放大器的分析与综合,节省授课时间,便于读者理解。

3. 删减了分立元件电路,加强了集成电路。如晶体管差分放大电路和恒流源电路不再作为一类电路进行分析,而把它们作为集成运算放大器的单元电路,把基准电压源电路作为三端集成稳压器的单元电路,并且简化了这些电路的定量计算。

4. 增加了实用内容和最新内容,如信号测量电路、信号变换电路、在系统可编程模拟器件(ispPAC)、开关电容滤波器、无工频开关电源、电流模型运算放大器、绝缘栅功率晶体(IGBT)等,以适应工业应用和新技术发展的需要。

5. 增加了绪论、模拟电子技术综合应用举例和 Multisim 仿真三章内

容。以利于激发学生学习本课程的兴趣,建立模拟电子技术的系统综合概念,并学会利用 EDA 软件分析和设计模拟电子电路的方法。

6. 对于难点部分,增加了例题数量,便于读者理解和自学。

7. 在每一章的最后,增加了自测题,引导学生课后复习和总结并检查自己掌握的程度。

8. 为了便于教学,除了本书外,我们还编写了实验教材和电子教案(可免费提供,与出版社联系)。

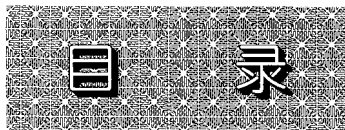
参加本书编写的有:中国石油大学(华东)的刘润华(第 0、1、2 章)、郝宁眉(第 3、9 章)、刘复玉(第 8 章)、任旭虎(第 4、10、11 章及部分习题参考答案)、山东理工大学的李震梅(第 5、6、7 章)。刘润华教授为本书主编,负责本书的策划、组织和定稿。

在本书的编写过程中,得到了成谢锋、董传岱、张冬梅、单亦先、于云华、刘立山、郭曙光等同志和其他许多老师的支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不足之处,恳请读者批评、指正,并提出修改意见。

编 者

2007 年 1 月



第 0 章 绪论	1
0.1 信号及其分类	1
0.2 电子技术概述	2
0.3 模拟电子技术基础课程的性质与任务	5
0.4 模拟电子技术基础课程的特点和学习方法	6
第 1 章 常用半导体器件	9
1.1 半导体基本知识	9
1.1.1 本征半导体	9
1.1.2 杂质半导体	11
思考题	12
1.2 PN 结的形成及特性	12
1.2.1 PN 结的形成	12
1.2.2 PN 结的单向导电性	14
1.2.3 PN 结的反向击穿特性	16
1.2.4 PN 结的电容效应	17
思考题	18
1.3 半导体二极管	18
1.3.1 二极管的结构	18
1.3.2 二极管的伏安特性	19
1.3.3 二极管的主要参数	20
1.3.4 二极管的模型	22
1.3.5 其他类型的二极管	23
思考题	28
1.4 半导体三极管	28
1.4.1 三极管的结构	28
1.4.2 三极管的电流分配与放大原理	29
1.4.3 三极管的特性曲线	34
1.4.4 三极管的主要参数	36
1.4.5 温度对晶体管特性及参数的影响	41
1.4.6 光电三极管	43

思考题	43
1.5 场效应管	44
1.5.1 绝缘栅型场效应管	44
1.5.2 结型场效应管	48
1.5.3 场效应管的主要参数	51
1.5.4 场效应管与晶体管的比较及特点	55
思考题	55
习 题	56
自测题	58
第2章 基本放大电路	60
2.1 放大电路的基本概念及其性能指标	60
2.1.1 放大电路的基本概念	60
2.1.2 放大电路的性能指标	61
思考题	65
2.2 共发射极放大电路的组成和工作原理	65
2.2.1 共发射极放大电路的组成	65
2.2.2 共发射极放大电路的工作原理	66
2.3 放大电路的图解分析法	68
2.3.1 放大电路的静态分析	68
2.3.2 放大电路的动态分析	70
思考题	74
2.4 放大电路的小信号模型分析法	74
2.4.1 三极管的小信号模型	74
2.4.2 放大电路的小信号模型法分析	78
思考题	84
2.5 共集电极和共基极放大电路	84
2.5.1 共集电极放大电路	85
2.5.2 共基极放大电路	87
思考题	89
2.6 场效应管放大电路	89
2.6.1 场效应管放大电路的静态偏置及静态分析	90
2.6.2 场效应管的小信号模型	91
2.6.3 场效应管放大电路的小信号模型法分析	92
2.6.4 三极管与场效应管放大电路的总结	96
思考题	97

2.7 多级放大电路	97
2.7.1 多级放大电路的耦合方式	98
2.7.2 多级放大电路的分析	100
思考题	104
2.8 放大电路的频率响应	104
2.8.1 无源 RC 电路的频率响应	104
2.8.2 三极管的混合 π 模型	108
2.8.3 共射极放大电路的频率响应	112
2.8.4 多级放大电路的频率响应	120
思考题	121
习 题	122
自测题	132
第3章 集成运算放大器	135
3.1 集成运算放大器的组成	135
3.2 集成运算放大器的单元电路	136
3.2.1 差动放大电路	136
3.2.2 电流源电路	142
思考题	146
3.3 集成运算放大器介绍	146
3.3.1 三极管通用型运算放大器 $\mu A741$	146
3.3.2 场效应管通用型运算放大器 ICL7614	149
3.4 集成运算放大器的主要参数	150
3.4.1 输入失调参数	150
3.4.2 差模特性参数	151
3.4.3 共模特性参数	152
3.4.4 动态参数	152
3.4.5 电源特性参数	152
3.5 集成运算放大器的电压传输特性和理想模型	153
3.5.1 集成运算放大器的电压传输特性	153
3.5.2 集成运算放大器的理想模型	153
思考题	155
*3.6 其他类型的集成运算放大器	155
习 题	161
自测题	164

第4章 负反馈放大电路	166
4.1 反馈的基本概念与增益的一般表达式	166
4.1.1 反馈的概念	166
4.1.2 反馈放大电路的分类与判别	167
4.1.3 反馈放大电路增益的一般表达式	170
思考题	171
4.2 负反馈放大电路的四种组态	171
4.2.1 电压串联负反馈	171
4.2.2 电流并联负反馈	173
4.2.3 电压并联负反馈	175
4.2.4 电流串联负反馈	176
思考题	178
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	178
4.3.1 提高放大电路放大倍数的稳定性	178
4.3.2 改善放大电路的非线性失真	179
4.3.3 扩展放大电路的通频带	180
4.3.4 改善放大电路的输入电阻和输出电阻	180
思考题	184
4.4 负反馈放大电路的近似计算	184
4.4.1 估算的依据	185
4.4.2 深度负反馈放大电路估算举例	185
4.5 负反馈放大电路的稳定条件和措施	192
4.5.1 产生自激振荡的原因及条件	192
4.5.2 稳定判据及稳定裕度	193
4.5.3 负反馈放大电路的稳定性分析	194
*4.5.4 频率补偿方法	195
思考题	198
习 题	198
自测题	203
第5章 信号的运算、测量与处理电路	205
5.1 基本运算电路	205
5.1.1 比例运算电路	205
5.1.2 加法运算电路	207
5.1.3 减法运算电路	209
5.1.4 积分运算电路	210

5.1.5 微分运算电路	212
思考题	213
5.2 对数、指数与乘法运算电路	213
5.2.1 对数运算电路	213
5.2.2 指数运算电路	214
*5.2.3 对数指数型模拟乘法器	215
*5.2.4 变跨导式模拟乘法器	216
5.2.5 模拟乘法器的应用	217
思考题	219
5.3 信号测量放大电路	219
5.3.1 测量放大器	219
5.3.2 隔离放大器	220
5.4 信号变换电路	221
5.4.1 电压/电流变换器	222
5.4.2 电流/电压变换器	223
5.5 有源滤波器	223
5.5.1 滤波器的功能和分类	223
5.5.2 低通滤波器	224
5.5.3 高通滤波器	226
5.5.4 带通有源滤波器	228
*5.5.5 开关电容滤波器	230
思考题	232
*5.6 实际集成运算放大器的误差分析	232
5.6.1 A_{od} 和 r_{id} 为有限值的情况	232
5.6.2 共模抑制比 K_{CMR} 为有限值的情况	233
5.6.3 U_{IO} 、 I_{IO} 和 I_{in} 不为 0 的情况	234
习 题	235
自测题	242
第 6 章 波形的产生与变换电路	243
6.1 正弦波振荡器的基本原理	243
6.1.1 自激振荡的条件	243
6.1.2 正弦波振荡器的起振过程	244
6.1.3 正弦波振荡电路的组成与分类	245
6.1.4 正弦波振荡电路的分析步骤	246
思考题	246

6.2	RC 正弦波振荡电路	246
6.2.1	RC 串并网络的选频特性	246
6.2.2	RC 桥式振荡电路的工作原理	248
6.2.3	其他 RC 振荡电路	250
	思考题	252
6.3	LC 振荡电路	252
6.3.1	LC 并联谐振回路的选频特性	253
6.3.2	变压器反馈式 LC 振荡电路	254
6.3.3	三点式 LC 振荡电路	256
	思考题	260
6.4	石英晶体振荡电路	260
6.4.1	石英晶体的特性	260
6.4.2	石英晶体振荡电路	261
6.5	电压比较器	263
6.5.1	单门限比较器	264
6.5.2	迟滞比较器	266
6.5.3	窗口比较器	267
*6.5.4	集成电压比较器	268
6.6	非正弦信号产生电路	270
6.6.1	方波发生器	270
6.6.2	三角波发生器	272
6.6.3	锯齿波发生器	274
6.6.4	压控振荡器	275
*6.7	集成函数发生器 ICL8038	277
6.7.1	ICL8038 的组成框图及基本工作原理	277
6.7.2	ICL8038 封装外形及管脚功能说明	278
6.7.3	应用举例	279
	习 题	281
	自测题	288
第 7 章	功率放大电路	289
7.1	功率放大电路的一般问题	289
7.1.1	对功率放大电路的要求	289
7.1.2	功率放大电路的分类	290
	思考题	291
7.2	互补对称功率放大电路	292

7.2.1 乙类互补对称功率放大电路	292
7.2.2 甲乙类互补对称功率放大电路	296
思考题	300
*7.3 集成功率放大电路	300
7.3.1 LM386 通用型集成功率放大电路	300
7.3.2 专用型集成功率放大电路	301
7.3.3 CD4100 音频放大电路	302
*7.4 丁(D)类功率放大电路	303
*7.5 功率器件	304
7.5.1 功率晶体管(GTR)	304
7.5.2 功率场效应管(P-MOSFET)	305
7.5.3 绝缘栅双极型晶体管(IGBT)	306
思考题	307
习 题	307
自测题	309
第8章 直流电源	311
8.1 概 述	311
思考题	312
8.2 单相整流滤波电路	312
8.2.1 单相桥式整流电路	312
8.2.2 滤波电路	314
思考题	318
8.3 串联型线性稳压电路	318
8.3.1 稳压电路的质量指标	318
8.3.2 串联型线性稳压电路的工作原理	319
*8.3.3 串联型线性集成稳压器的单元电路	320
8.3.4 三端固定式输出集成稳压器及其应用	324
8.3.5 三端可调式输出集成稳压器及其应用	326
思考题	328
8.4 开关型稳压电路	328
8.4.1 串联型开关稳压电路的工作原理	328
*8.4.2 集成开关型稳压电路实例	330
*8.4.3 无工频变压器开关电源	332
思考题	334
习 题	334

自测题	338
第9章 模拟电子电路的 Multisim 仿真举例	340
9.1 常用半导体器件特性的 Multisim 研究	340
9.2 单管放大电路的 Multisim 分析	343
9.3 差分放大电路和集成运放的 Multisim 分析	348
9.4 负反馈放大电路的 Multisim 分析	349
9.5 集成运放应用电路的 Multisim 分析	352
9.6 波形产生电路的 Multisim 分析	354
9.7 功率放大电路的 Multisim 分析	357
9.8 串联型直流稳压电路的 Multisim 分析	359
习 题	360
* 第10章 模拟电子技术综合应用举例	366
10.1 模拟电子技术综合应用基础	366
10.1.1 概述	366
10.1.2 模拟电路综合设计的基本要求	367
10.1.3 模拟电路的设计方法	367
10.2 模拟电子技术综合设计示例	368
10.2.1 集成电路音响放大器设计	368
10.2.2 音乐彩灯控制器设计	375
10.2.3 温度控制器	385
10.3 模拟电子技术综合设计题目	387
10.3.1 集成音响功率放大器设计	387
10.3.2 小功率限电器设计	388
10.3.3 测量放大器设计	389
* 第11章 在系统可编程模拟电路	391
11.1 ispPAC 的结构	391
11.1.1 ispPAC10 的结构	391
11.1.2 ispPAC20 的结构	393
11.2 PAC 块的结构与工作原理	394
11.2.1 PAC 块的内部结构	394
11.2.2 PAC 块的工作原理	395
11.3 PAC 的接口电路	396
11.3.1 输入接口电路	396
11.3.2 输出接口电路	398
11.4 PAC 的应用电路设计	398

11.4.1 整数增益放大器的设计	398
11.4.2 分数增益放大器的设计	399
11.4.3 加法电路的设计	401
11.4.4 滤波器的设计	403
11.4.5 传感器测量电路的设计	405
11.4.6 电压监控器的设计	405
11.5 PAC-Designer 软件开发实例	406
11.5.1 设计步骤	406
11.5.2 PAC-Designer 软件的几个重要功能	409
思考题	410
习 题	410
部分习题参考答案	411
主要参考文献	416

第0章 绪 论

0.1 信号及其分类

信号可以用来传输信息。信息可用语言、文字、图像等来表达,也可以用人们事先规定好的编码来表达。但在很多情况下,这些表达信息的语言、文字、图像、编码等不便于直接传输。因此,在近代科学技术中,常用电信号来传送各种信息,即利用一种变换设备把各种信息转换为随时间作相应变化的电压或电流进行传输。这种随信息作相应变化的电压或电流就是电信号。当电信号传输到目的地后,再利用一种与上述相反的变换设备,把电信号还原成原来的信息。

例如,在电视广播系统中,先利用摄像机把景物的光线、色彩转变成图像信号(电压或电流),并利用传声器把声音转变成伴音信号(电压或电流),这些就是电视要传输的带有信息的电信号。然后把这些信号送入电视发射机进行处理,产生一种反映信息变化的便于传输的高频电信号,再由天线将高频电信号转换为电磁波发射出去,在空间传播。电视观众用接收天线截获了电磁波的很小一部分能量送入电视接收机,接收机的作用与发射机相反,它能对接收到的电磁波进行处理,从而恢复出原来的图像和伴音信号,并分别送入显像管与扬声器,供观众欣赏。这个过程可用一个简明的方框图表示,如图 0.1.1 所示。其中,变换器指的是把表达信息的景物和声音转换为电信号的装置(如摄像管和传声器),或者反过来,是把电信号转换为景物和声音的装置(如显像管和扬声器等)。

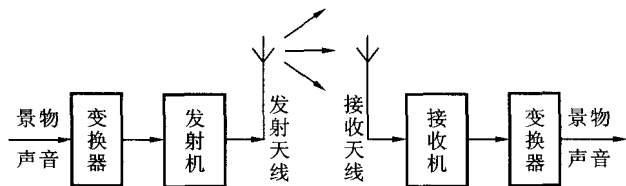


图 0.1.1 电视系统方框图

综上所述,在电子技术中谈到“信号”时,指的就是变化的电压或电流——电信号。根据电信号随时间的变化规律,可将电信号分为两大类:模拟信号和数字信号。

图 0.1.2 所示的电压波形有正弦波和三角波,均为复杂的数学函数。它们随时

间的变化规律是不同的,但它们都是**模拟信号**。模拟信号的幅值随时间呈连续变化,波形上任意一点的数值均有其物理意义。在前面介绍的电视系统中,模拟语音的音频信号,模拟图像的视频信号都是模拟信号,自然界中大部分物理参数都属于模拟量,如温度、压力、速度和重量等等。在电子技术中,为了测量和分析的需要,常常将这些物理量转换为模拟信号。

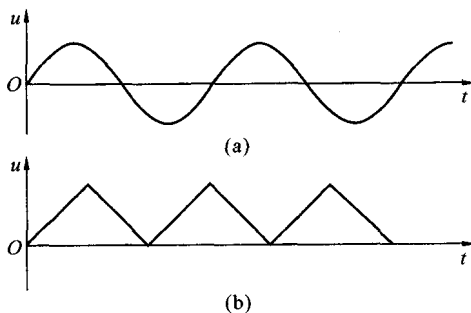


图 0.1.2 两种模拟信号波形

(a) 正弦波; (b) 三角波

与模拟信号相对应的是**数字信号**,它只在某些不连续的瞬时给出函数值,其函数值通常是某个最小单位的整数倍,小于这个最小单位的数值是没有意义的。像电灯的“亮”和“灭”,工厂产品数量的统计等都是数字信号。图 0.1.3 所示的方波信号就是典型的数字信号。

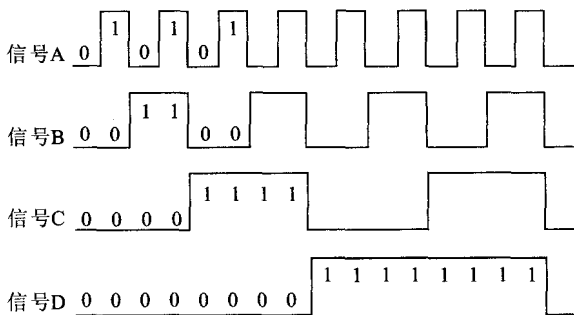


图 0.1.3 典型的数字信号波形

0.2 电子技术概述

所谓电子技术,简单地讲就是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。为了使读者对电子技术有一个概貌性的了解,下面对电子器件、电子电路及其应用作一简单介绍。