



普通高等教育“十二五”规划教材

模拟电子技术基础

MONI DIANZI JISHU JICHU

第三版

主编 刘润华 任旭虎

中国石油大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

模拟电子技术基础

(第三版)

刘润华 任旭虎 主编

常州大学图书馆
藏书章

中国石化大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础 / 刘润华, 任旭虎主编. —— 3 版
—— 东营: 中国石油大学出版社, 2012. 3
ISBN 978-7-5636-3687-7

I. ①模… II. ①刘… ②任… III. ①模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 033961 号

书 名: 模拟电子技术基础(第三版)

作 者: 刘润华 任旭虎

责任编辑: 宋秀勇 满云凤(电话 0532-86981533)

封面设计: 赵志勇

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 mm×235 mm 1/16 印张: 27.5 字数: 580 千字

版 次: 2012 年 3 月第 3 版第 1 次印刷

定 价: 37.80 元

本书封面覆有中国石油大学出版社标志的激光防伪膜。

本书封面贴有中国石油大学出版社标志的电码防伪标签, 无标签者不得销售。

第三版

前

言

模拟电子技术基础

本书是在第二版的基础上,参照新修订的“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. 每章的最后一节安排了利用 Multisim 分析电子电路的例子,而且每章的习题中也增加了这类的题目,便于读者掌握 EDA 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,我们还编写了与该书配套的电子教案(可免费提供,与出版社联系)。

参加本书编写的有:刘润华(第 1、2 章),任旭虎(第 0、5、9、10 章),郭亮(第 3、4 章),游永智(第 6、7 章),刘复玉(第 8 章),每章的 EDA 部分为郝宁眉编写。刘润华教授为本书主编,负责本书的策划、组织和定稿。

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

2012 年 1 月

CONTENTS

目

录

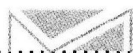
模拟电子技术基础

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
1.6	常用半导体器件特性的 Multisim 分析	56
	习 题	59
	自测题	62
第 2 章	基本放大电路	64
2.1	放大电路的基本概念及其性能指标	64
2.1.1	放大电路的基本概念	64
2.1.2	放大电路的性能指标	65
	思考题	69
2.2	共发射极放大电路的组成和工作原理	69
2.2.1	共发射极放大电路的组成	69
2.2.2	共发射极放大电路的工作原理	70
2.3	放大电路的图解分析法	72
2.3.1	放大电路的静态分析	72
2.3.2	放大电路的动态分析	74
	思考题	78
2.4	放大电路的小信号模型分析法	78
2.4.1	三极管的小信号模型	78
2.4.2	放大电路的小信号模型法分析	82
	思考题	87
2.5	共源极放大电路	87
2.5.1	共源极放大电路的静态偏置及静态分析	88
2.5.2	场效应管的小信号模型	89
2.5.3	共源极放大电路的小信号模型法分析	90
	思考题	92
2.6	共集电极和共漏极放大电路	92



2.6.1 共集电极放大电路	92
2.6.2 共漏极放大电路	95
2.7 共基极和共栅极放大电路	97
2.7.1 共基极放大电路	97
2.7.2 共栅极放大电路	98
2.8 三极管与场效应管放大电路总结	99
思考题	100
2.9 多级放大电路	101
2.9.1 多级放大电路的耦合方式	101
2.9.2 多级放大电路的分析	104
思考题	107
2.10 放大电路的频率响应	107
2.10.1 无源 RC 电路的频率响应	108
2.10.2 三极管的混合 π 模型及其参数	111
2.10.3 共射极放大电路的频率响应	115
2.10.4 多级放大电路的频率响应	124
思考题	125
2.11 单管放大电路的 Multisim 分析	125
习 题	129
自测题	141
第 3 章 集成运算放大器	143
3.1 集成运算放大器的组成	144
3.2 集成运算放大器的单元电路	144
3.2.1 差动放大电路	144
3.2.2 电流源电路	151
思考题	154
3.3 集成运算放大器介绍	154
3.3.1 三极管通用型运算放大器 $\mu A741$	154
3.3.2 场效应管通用型运算放大器 ICL7614	157
3.4 集成运算放大器的主要参数	158
3.4.1 输入失调参数	158
3.4.2 差模特性参数	159
3.4.3 共模特性参数	160
3.4.4 动态参数	160
3.4.5 电源特性参数	160



3.5 集成运算放大器的电压传输特性和理想模型	161
3.5.1 集成运算放大器的电压传输特性	161
3.5.2 集成运算放大器的理想模型	162
思考题	163
*3.6 其他类型的集成运算放大器	163
3.7 差分放大电路和集成运放的 Multisim 分析	170
习 题	171
自测题	174
第4章 负反馈放大电路	176
4.1 反馈的基本概念与增益的一般表达式	176
4.1.1 反馈的概念	176
4.1.2 反馈放大电路的分类与判别	177
4.1.3 反馈放大电路增益的一般表达式	180
思考题	181
4.2 负反馈放大电路的四种组态	181
4.2.1 电压串联负反馈	181
4.2.2 电流并联负反馈	183
4.2.3 电压并联负反馈	185
4.2.4 电流串联负反馈	186
4.2.5 四种负反馈电路总结	188
思考题	188
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	188
4.3.1 提高放大电路放大倍数的稳定性	189
4.3.2 改善放大电路的非线性失真	189
4.3.3 扩展放大电路的通频带	190
4.3.4 改善放大电路的输入电阻和输出电阻	191
4.3.5 放大电路引入负反馈的一般原则	194
思考题	196
4.4 负反馈放大电路的近似计算	196
4.4.1 近似计算的依据	196
4.4.2 深度负反馈放大电路近似计算举例	197
4.5 负反馈放大电路的稳定条件和措施	203
4.5.1 产生自激振荡的原因及条件	204
4.5.2 稳定判据及稳定裕度	205
4.5.3 负反馈放大电路的稳定性分析	206



*4.5.4 频率补偿方法	207
思考题	210
4.6 负反馈放大电路的 Multisim 分析	210
习 题	213
自测题	218
第 5 章 信号的运算、测量与处理电路	220
5.1 基本运算电路	220
5.1.1 比例运算电路	220
5.1.2 加法运算电路	224
5.1.3 减法运算电路	226
5.1.4 积分运算电路	228
5.1.5 微分运算电路	229
5.1.6 积分微分电路的应用	230
思考题	233
5.2 对数、指数与乘法运算电路	233
5.2.1 对数运算电路	233
5.2.2 指数运算电路	234
*5.2.3 对数指数型模拟乘法器	235
*5.2.4 变跨导式模拟乘法器	235
5.2.5 模拟乘法器的应用	236
思考题	239
5.3 信号测量放大电路	239
5.3.1 测量放大器	239
5.3.2 隔离放大器	240
5.3.3 电荷放大器	241
5.4 信号变换电路	243
5.4.1 电压/电流变换器	243
5.4.2 电流/电压变换器	244
5.5 特征值运算电路	244
5.5.1 绝对值运算电路	244
5.5.2 平均值运算电路	246
5.5.3 峰值运算电路	246
5.6 有源滤波器	247
5.6.1 滤波器的功能和分类	247
5.6.2 低通滤波器	248

5.6.3 高通滤波器	250
5.6.4 带通有源滤波器	252
* 5.6.5 开关电容滤波器	253
思考题	256
5.7 运算放大器应用电路的设计	256
5.7.1 运算放大器电路的设计技巧	256
5.7.2 测量电桥和放大器的设计	258
5.7.3 人体脉搏信号测量电路	259
* 5.8 实际集成运算放大器的误差分析	260
5.8.1 A_{ud} 和 r_{id} 为有限值的情况	260
5.8.2 共模抑制比 K_{CMR} 为有限值的情况	261
5.8.3 U_{IO} 、 I_{IO} 和 I_{IB} 不为 0 的情况	262
* 5.9 集成运算放大器的正确使用	263
5.10 集成运放应用电路的 Multisim 分析	266
习 题	267
自测题	276
第 6 章 波形的产生与变换电路	278
6.1 正弦波振荡器的基本原理	278
6.1.1 自激振荡的条件	278
6.1.2 正弦波振荡器的起振过程	279
6.1.3 正弦波振荡电路的组成与分类	280
6.1.4 正弦波振荡电路的分析步骤	281
思考题	281
6.2 RC 正弦波振荡电路	281
6.2.1 RC 串并联网路的选频特性	282
6.2.2 RC 桥式振荡电路的工作原理	283
6.2.3 移相式振荡电路	285
思考题	287
6.3 LC 振荡电路	287
6.3.1 LC 并联谐振回路的选频特性	287
6.3.2 变压器反馈式 LC 振荡电路	289
6.3.3 三点式 LC 振荡电路	290
思考题	294
6.4 石英晶体振荡电路	295
6.4.1 石英晶体的特性	295



6.4.2 石英晶体振荡电路	296
6.5 电压比较器	298
6.5.1 单门限比较器	298
6.5.2 迟滞比较器	302
6.5.3 窗口比较器	304
*6.5.4 集成电压比较器	305
6.6 非正弦信号产生电路	306
6.6.1 方波发生器	307
6.6.2 三角波发生器	309
6.6.3 锯齿波发生器	310
6.6.4 压控振荡器	312
6.7 波形产生电路的 Multisim 分析	314
习 题	317
自测题	325
第 7 章 功率放大电路	326
7.1 功率放大电路的一般问题	326
7.1.1 对功率放大电路的要求	326
7.1.2 功率放大电路的分类	327
思考题	329
7.2 互补对称功率放大电路	329
7.2.1 乙类互补对称功率放大电路	329
7.2.2 甲乙类互补对称功率放大电路	334
7.2.3 复合管及准互补乙类功率放大电路(OCL 电路)	338
思考题	340
*7.3 集成功率放大电路	340
7.3.1 LM386 通用型集成功率放大电路	340
7.3.2 专用型集成功率放大电路	341
7.3.3 CD4100 音频放大电路	342
*7.4 丁(D)类功率放大电路	342
*7.5 功率器件	343
7.5.1 功率晶体管(GTR)	344
7.5.2 功率场效应管(P-MOSFET)	344
7.5.3 绝缘栅双极型晶体管(IGBT)	345
思考题	346
7.6 功率放大电路的 Multisim 分析	347

习 题	348
自测题	350
第8章 直流电源	352
8.1 概述	352
思考题	353
8.2 单相整流滤波电路	353
8.2.1 单相桥式整流电路	353
8.2.2 滤波电路	355
思考题	359
8.3 串联型线性稳压电路	359
8.3.1 稳压电路的质量指标	359
8.3.2 串联型线性稳压电路的工作原理	360
*8.3.3 串联型线性集成稳压器的单元电路	361
8.3.4 三端固定式输出集成稳压器及其应用	365
8.3.5 三端可调式输出集成稳压器及其应用	367
思考题	369
8.4 开关型稳压电路	369
8.4.1 串联型开关稳压电路的工作原理	369
*8.4.2 集成开关型稳压电路实例	371
*8.4.3 无工频变压器开关电源	373
思考题	375
8.5 串联型直流稳压电路的 Multisim 分析	375
习 题	376
自测题	381
*第9章 模拟电子技术综合应用举例	382
9.1 模拟电子技术综合应用基础	382
9.1.1 概述	382
9.1.2 模拟电路综合设计的基本要求	383
9.1.3 模拟电路的设计方法	383
9.2 模拟电子技术综合设计示例	384
9.2.1 集成电路音响放大器设计	384
9.2.2 音乐彩灯控制器设计	391
9.2.3 温度控制器	401
*第10章 在系统可编程模拟电路	403
10.1 ispPAC 的结构	403



10.1.1	ispPAC10 的结构	403
10.1.2	ispPAC20 的结构	405
10.2	PAC 块的结构与工作原理	406
10.2.1	PAC 块的内部结构	406
10.2.2	PAC 块的工作原理	407
10.3	PAC 的接口电路	408
10.3.1	输入接口电路	408
10.3.2	输出接口电路	410
10.4	PAC 的应用电路设计	410
10.4.1	整数增益放大器的设计	410
10.4.2	分数增益放大器的设计	411
10.4.3	加法电路的设计	413
10.4.4	滤波器的设计	415
10.4.5	传感器测量电路的设计	417
10.4.6	电压监控器的设计	417
	思考题	418
	习 题	418
	部分习题参考答案	419
	主要参考文献	424

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)。

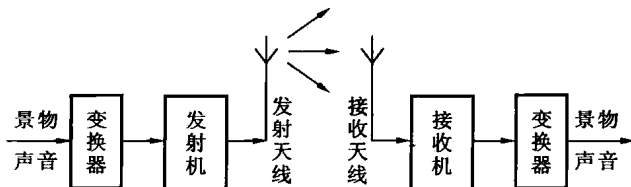


图 0.1.1 电视系统方框图

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

Figure 1.1 consists of two separate coordinate systems, each with a vertical axis labeled u and a horizontal axis labeled t . The origin of each system is marked with O .

Graph (a) shows a continuous sinusoidal wave starting at the origin O . It oscillates above and below the t -axis, completing approximately two full cycles within the shown time interval.

Graph (b) shows a periodic triangular waveform starting at the origin O . The voltage u increases linearly to a peak value and then decreases linearly back to zero. This pattern repeats periodically along the t -axis.

(a) 正弦波; (b) 三角波

[illegible]

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。



1. 电子器件

在真空、气体或固体中,能控制电子运动规律所制成的器件统称为电子器件。可分为真空电子器件和固体电子器件两大类。

最早的电子器件是电子管(Electron Tube),也称为真空管(Vacuum Tube)。电子管有密封的管壳,内部抽到高真空。例如,在热阴极电子管中,有一个阴极,它可由灯丝加热,使温度升高,发射出电子。这些电子受外加电场和磁场的控制,在真空中运动就形成了电子管中的电流。离子管(Ion Tube)是与电子管类似的一种电子器件,它们也要抽成高真空,然后再充以适当的气体,所以也称为充气管(Gas-filled Tube)。这类管子中的电流,除了电子外,正离子也起着作用,因此叫离子管。电子管和离子管都属于电真空器件,是电子器件的第一代。

第二代电子器件是晶体管(Transistor),它们是用半导体材料制成的,也称为半导体器件(Semiconductor Device)或者固体器件(Solidstate Device)。这类管子具有体积小、重量轻、寿命长、功耗小等优点,在许多电子设备中已经取代了电子管。然而,半导体器件也有它的弱点,例如过载能力较差,受温度变化的影响较大,外加电压不能太高等。

随着半导体技术的发展,出现了能把许多晶体管与电阻等元件制作在同一块硅晶片上的电路,这种电路被称为集成电路(Integrated Circuit,简称IC)。集成电路内部不仅包含器件,还有元件和连线,是“管”与“路”的结合,因此也称为集成组件(Module)。集成电路使电子电路进一步缩小了体积,减轻了重量,降低了功耗,减少了焊接点,提高了工作的可靠性。自从1959年世界上第一块集成电路在美国的德州仪器公司和西屋电气公司诞生以来,它的发展经历了小规模、中规模、大规模和超大规模(SSI、MSI、LSI和VLSI)等不同阶段。第一块集成电路上只有4只晶体管,而目前的集成电路已经可以在一片硅片上集成几千万只甚至上亿只晶体管。同时,集成电路的性能(高速度和低功耗等)也迅速提高。集成电路的出现,使电子技术产生了一个新的飞跃,进入了微电子(Microelectronics)技术时代。这就是通常所说的第三代、第四代电子器件。

2. 电子电路

电子器件与常用的电阻器、电感器、电容器、变压器、开关等元件适当地连接起来所组成的电路,就称为电子电路。它具有控制方便、工作灵敏、响应速度快等特点。电子电路与普通电路的区别在于电子电路包含有电子器件。

由各种单个的电子器件和元件构成的电路称为分立电路(Discrete Circuit)。分立电路通常是由许多元件和器件焊接在印刷电路板上组成的。复杂的电路有成千上万个焊点,这些焊点的接触不良,往往是电子设备发生故障的主要原因之一,影响了设备的正常运行。