

模拟电子技术基础

理工类教材

MONI DIANZIJI SHU JICHU

主编 高海生



江西科学技术出版社

模拟电子技术基础

MONI DIANZI JISHU JICHU

主 编 高海生

副主编 钟化兰

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/高海生主编. —南昌:江西科学技术出版社,2009.6
ISBN 978-7-5390-3206-1

I. 模… II. 高… 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(2009)第109459号

国际互联网(Internet)地址:

<http://www.jxkjcs.com>

选题序号:ZK2007034

图书代码:X09007-101

模拟电子技术基础

高海生主编

出版	江西科学技术出版社
发行	
社址	南昌市蓼洲街2号附1号
	邮编:330009 电话:(0791)6623491 6639342(传真)
印刷	江西教育印刷厂
经销	各地新华书店
开本	787mm×1092mm 1/16
字数	460千字
印张	18.75
印数	3000册
版次	2009年6月第1版 2009年6月第1次印刷
书号	ISBN 978-7-5390-3206-1
定价	32.00元

(赣科版图书凡属印装错误,可向承印厂调换)

内容简介

本书按照国家教育部高等学校电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会制订的模拟电子技术课程教学基本要求,在总结了作者多年的模拟电子技术课程教学经验的基础上编写而成。

全书共分十章,内容包括:绪论、半导体二极管及其基本电路、双极型晶体管及放大电路基础、场效应管及其放大电路、功率放大电路、集成运算放大电路、放大电路的频率响应、放大电路中的反馈、信号的运算与处理电路、波形发生与信号转换电路、直流稳压电源。

本书可作为高等学校电气工程、电子信息、计算机及自动化类专业的教材,也可供其他相关专业选用,同时可供有关工程技术人员参考。

前 言

“模拟电子技术基础”课程是电气、电子信息类及部分非电类专业的一门技术基础课。本教材按照国家教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会制订的模拟电子技术课程教学基本要求进行编写,教材中注意总结了我们多年来的教学实践经验。

在内容安排上,注意贯彻从实际出发,由浅入深,通过分析各种半导体器件及其构成的基本电路,阐明了电子技术中的基本概念、基本原理和基本分析方法。为了加深对课堂知识的理解,列举了若干电路实例,并配有一定数量的例题、复习思考题和习题。

本书的特色是“定位准确,确保基础,注重实用,精讲多练,易教易学”。

本书由高海生教授担任主编,负责全书的组织和定稿。钟化兰副教授任副主编,协助主编工作。其中,高海生教授编写绪论、第七章,钟化兰副教授编写第二章、第三章,裴亚男副教授编写第一章,徐敏道副教授编写第四章、第五章、第十章,傅军栋副教授编写第八章、第九章,曹晖讲师编写第六章。

本书的编写得到了华东交通大学电气与电子工程学院电工基础教学部老师的大力支持,在此表示感谢。

由于编写时间仓促,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

编 者
2009年5月

符号说明
几条原则

电流和电压

以基极电流为例

I_B	大写字母、大写下标,表示直流量	$\dot{I}_b$	代表上述电流的复数量
I_b	大写字母、小写下标,表示交流有效值	ΔI_B	表示直流变化量
i_B	小写字母、大写下标,表示包含直流的瞬时总值	Δi_B	表示瞬时值的变化量
i_b	小写字母、小写下标,表示交流瞬时值	$I_{B<AV>}$	表示平均值

电阻

R	大写字母表示电路的电阻或等效电阻	r	小写字母表示器件内部的等效电阻
-----	------------------	-----	-----------------

下标意义

i	输入量(例 U_i 为输入电压)	F	反馈量(例 U_F 为反馈电压)
O	输出量(例 U_o 为输出电压)	s	信号源量(例 U_s 为信号源电压)
L	负载(例 R_L 为负载电阻)		

基本符号

电流和电压

$I、i$	电流的通用符号	$I_-、U_-$	集成运放反相输入电流、电压
$U、u$	电压的通用符号	U_{ic}	共模输入电压
$I_f、U_f$	反馈电流、电压	$U_{id}、\dot{U}_d$	差模输入电压
$I_i、U_i$	交流输入电流、电压	U_s	信号源电压
$I_o、U_o$	交流输出电流、电压	V_{CC}	集电极回路电源对地电压
$I_Q、U_Q$	电流、电压静态值	V_{DD}	场效应管漏极电源对地电压

续表

I_R, U_R	参考电流、电压	I_+, U_+	集成运放同相输入电流、电压
功率			
P	功率通用符号	P_T	晶体管消耗的功率
p	瞬时功率	P_V	电源消耗功率
P_o	输出交变功率		
频率			
f	频率通用符号	f_H	放大电路的上限(下降 3dB)频率
ω	角频率通用符号	f_L	放大电路的下限(下降 3dB)频率
BW	通频带	f_o	振荡频率、中心频率
f_c	电路单位增益带宽		
电阻、电导、电容、电感			
R_i	电路的输入电阻	R_+	集成运放同相输入端外接电阻的等效阻值
R_{if}	有反馈时电路的输入电阻	R_-	集成运放反相输入端外接电阻的等效阻值
R_L	负载电阻	G	电导的通用符号
R_o	电路的输出电阻	C	电容的通用符号
R_{of}	有反馈时的输出电阻	L	电感的通用符号
R_s	信号源内阻		
增益或放大倍数			
A	增益或放大倍数的通用符号	$\dot{A}_{VL}$	低频电压放大倍数的复数量

续表

A_{VC}	共模电压放大倍数	A_{VM}	中频电压放大倍数
A_{VD}	差模电压放大倍数	A_{VS}	考虑信号源内阻时的放大倍数, 即 $A_{VS} = U_o/U_i$
A_{OD}	开环增益	A_{VV}	第一个下标表示输出量, 第二个下标表示输入量, 电压放大倍数符号, 其余类推
A_g	互导增益	A_{VF}	有反馈时的电压放大倍数符号, 其余类推
A_r	互阻增益	F	反馈系数的通用符号
G_P	功率增益	F_{VV}	第一个下标表示反馈量, 第二个下标表示输出量, 反馈网络的反馈系数, 即 $F_{VV} = U_f/U_o$
G_{PA}	放大器(额定)功率增益		
A_V	电压放大倍数的通用符号, 即 $A_V = U_o/U_i$	A_{VH}	高频电压放大倍数的复数量

器件参数符号

B 或 b	晶体管基极	f_T	晶体管的特征频率, 即共射接法下电流放大系数为 1 的频率
C 或 c	晶体管集电极	f_M	晶体管的最高振荡频率
E 或 e	晶体管发射极	g_m	微变跨导
f	共射接法下晶体管电流放大系数的上限频率	$h_{11e}, h_{12e}, h_{21e}, h_{22e}$ 晶体管的混合参数(共射接法) $h_{11e} = h_{ie}, h_{12e} = h_{re}, h_{21e} = h_{fe}, h_{22e} = h_{oe}$	
n	电子浓度	I_{IO}	集成运放输入失调电流
$n_{P<0>}$	在 P 区边界处的电子浓度	I_R	二极管的反向电流
n_{p0}	在 P 区达到平衡时的电子浓度	I_S	二极管的反向饱和电流
p	空穴浓度	N	电子型半导体

续表

$r_{bb'}$	基区体电阻	P	空穴型半导体
$r_{b'e}$	发射结的微变等效电阻	P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
r_{be}	共射接法下基射极之间的微变电阻	P_{DM}	漏极最大允许耗散功率
$r_{be<on>}$	基射极之间的导通电阻值	S	场效应管的源极
r_{ce}	共射接法下集射极之间的微变电阻	S_R	集成运放的转换速率
$r_{d<on>}$	二极管的导通电阻值	T	半导体三极管
r_{DS}	场效应管漏源间的等效电阻	$U_{ }$	二极管的击穿电压
A_{od}	集成运放的开环增益	$U_{ CBO}$	射极开路时 c-b 间的击穿电压
C_b	势垒电容	$U_{ CEO}$	基极开路时 c-e 间的击穿电压
C_d	扩散电容	$U_{ CER}$	b-e 间接入电阻时 c-e 间的击穿电压
C_j	结电容	$U_{ CES}$	b-e 间短路时 c-e 的击穿电压
C_{ob}	共基接法下的输出电容	$U_{ DS}$	漏源间的击穿电压
C_u	混合 π 等效模型中的集电结的等效电容	U_P	耗尽型场效应管的夹断电压
C_π	混合 π 等效模型中的发射结的等效电容	$U_{GS<th>}$	增强型场效应管的开启电压
C_{GS}	场效应管栅源间的等效电容	U_b	平衡时 PN 结的位垒
D	二极管、场效应管的漏极	U_{IO}	集成运放的输入失调电压
D_Z	稳压管	U_{on}	二极管、晶体管的导通电压

续表

G	场效应管的栅极	U_T	温度的电压当量
I_{CBO}	发射极开路时 c-b 间的反向电流	U_{OAV}	整流输出平均电压
$I_{CEO < \mu >}$	基极开路时 c-e 间的穿透电流	α	共基接法下集电极电流的变化量与发射极电流的变化量之比, 即 $\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E$
I_{CM}	集电极最大允许电流	$\frac{1}{\alpha}$	从发射极到达集电极的载流子形成的电流与发射极电流之比
I_D	二极管电流, 漏极电流	β	共射接法下集电极电流的变化量与基极电流的变化量之比, 即 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$
$I_{D < AV >}$	整流管整流电流平均值	$\frac{1}{\beta}$	共射接法下, 不考虑穿透电流时, I_C 与 I_B 的比值
I_{DO}	增强型场效应管 $U_{GS} = 2U_{GS(th)}$ 时的 I_D 值	I_F	二极管的正向电流
I_{DSS}	耗尽型场效应管 $U_{GS} = 0$ 时的 I_D 值	I_{IB}	集成运放输入偏置电流

其他符号

D	非线性失真系数	S_r	稳压电路中的稳压系数
K	绝对温度	T	周期, 温度
K_{CMR}	共模抑制比	η	效率
N_F	噪声系数	τ	时间常数
Q	静态工作点, LC 回路的品质因数	φ	相位角
S	整流电路中的脉动系数		

目 录

绪论	(1)
第一章 半导体二极管及其基本电路	(2)
1.1 半导体的基础知识	(2)
1.1.1 半导体	(2)
1.1.2 PN 结	(4)
1.2 半导体二极管	(8)
1.2.1 半导体二极管的结构	(8)
1.2.2 二极管的伏安特性	(8)
1.2.3 二极管的参数	(10)
1.3 二极管基本电路及其分析方法	(11)
1.3.1 二极管的等效电路	(11)
1.3.2 二极管电路模型分析法	(13)
1.4 特殊的二极管	(15)
1.4.1 稳压二极管	(15)
1.4.2 其他类型的二极管	(16)
本章小结	(19)
复习思考题	(20)
习题	(20)
第二章 双极型晶体管及放大电路基础	(24)
2.1 双极型晶体管	(24)
2.1.1 晶体管的结构和类型	(24)
2.1.2 晶体管的电流分配和放大作用	(26)
2.1.3 晶体管的伏安特性曲线	(28)
2.1.4 晶体管的主要参数	(31)
2.2 放大电路的基本概念	(34)
2.2.1 放大的概念	(34)
2.2.2 放大电路的主要技术指标	(36)
2.2.3 放大电路的工作原理	(38)
2.3 放大电路的分析方法	(39)
2.3.1 放大电路的静态分析	(41)

2.3.2 微变等效电路分析法	(47)
2.4 放大电路静态工作点的稳定	(51)
2.4.1 温度对工作点的影响	(52)
2.4.2 工作点稳定电路	(52)
2.5 晶体管单管放大电路的三种基本接法	(54)
2.5.1 共集电极基本放大电路	(54)
2.5.2 共基极基本放大电路	(56)
2.5.3 三种组态基本放大电路的比较	(57)
2.6 晶体管基本单管放大电路派生电路	(57)
2.6.1 复合管放大电路	(58)
2.6.2 其他复合管放大电路	(59)
2.7 多级放大电路	(60)
2.7.1 多级放大电路的耦合方式	(60)
2.7.2 多级放大电路的计算	(62)
本章小结	(64)
复习思考题	(64)
习题	(65)

第三章 场效应管及其放大电路

3.1 场效应管	(72)
3.1.1 绝缘栅型场效应管	(72)
3.1.2 结型场效应管	(76)
3.1.3 场效应管的参数及使用注意事项	(77)
3.1.4 场效应管和晶体管的比较	(78)
3.2 场效应管放大电路的分析方法	(79)
3.2.1 共源极基本放大电路	(79)
3.2.2 共漏极基本放大电路	(82)
3.2.3 场效应管与晶体管基本放大电路的比较	(83)
本章小结	(85)
复习思考题	(85)
习题	(85)

第四章 功率放大电路

4.1 概述	(89)
4.2 互补功率放大电路	(90)
4.2.1 互补对称功率放大电路及其工作原理	(90)
4.2.2 乙类双电源功率放大电路功率参数分析计算	(91)
4.3 其他类型的互补对称功率放大电路	(93)

4.3.1 实用的甲乙类双电源互补对称功率放大电路	(93)
4.4 功率放大电路的安全运行	(95)
4.4.1 功放管的二次击穿	(95)
4.4.2 功放管的散热问题	(95)
4.5 集成功率放大电路	(96)
4.5.1 集成功率放大电路的分析	(97)
4.5.2 集成功率放大电路的应用	(98)
本章小结	(99)
复习思考题	(100)
习题	(100)
第五章 集成运算放大电路	(103)
5.1 模拟集成电路简介	(103)
5.2 差分放大电路	(104)
5.2.1 基本差分放大电路	(104)
5.2.2 长尾式差分放大电路	(106)
5.2.3 恒流源差分放大电路	(108)
5.3 电流源电路	(110)
5.3.1 镜像电流源	(110)
5.3.2 威尔逊电流源	(111)
5.3.3 微电流源	(111)
5.3.4 多路电流源	(112)
5.3.5 电流源的应用	(112)
5.4 集成运放电路简介	(112)
5.4.1 通用型集成运放 F007(5C24、 μ A741)	(112)
5.5 集成运放的主要参数及低频等效电路	(114)
5.5.1 集成运放的主要参数	(114)
5.5.2 集成运放的传输特性和理想模型	(116)
5.6 集成运放使用	(118)
5.6.1 使用前要做的工作	(118)
5.6.2 保护措施	(119)
本章小结	(120)
复习思考题	(120)
习题	(121)
第六章 放大电路的频率响应	(123)
6.1 频率响应概述	(123)
6.1.1 幅频特性和相频特性	(123)

6.1.2	下限频率、上限频率和通频带	(123)
6.1.3	频率失真	(124)
6.1.4	波特图	(124)
6.2	晶体管的高频等效模型	(125)
6.2.1	晶体管的混合 π 模型	(125)
6.2.2	晶体管电流放大倍数 β 的频率响应	(128)
6.3	场效应管的高频等效模型	(129)
6.4	单管放大电路的频率响应	(130)
6.5	多级放大电路的频率响应	(137)
	本章小结	(139)
	复习思考题	(140)
	习题	(141)
第七章	放大电路中的反馈	(145)
7.1	反馈的基本概念与类型	(145)
7.1.1	反馈的基本概念	(145)
7.1.2	反馈的分类及判断	(146)
7.2	反馈放大电路的方框图表示及其一般表达式	(150)
7.2.1	反馈放大电路的方框图表示	(150)
7.2.2	反馈放大电路的一般表达式	(150)
7.3	四种反馈组态的分析	(152)
7.3.1	深负反馈条件下放大倍数的近似计算	(152)
7.3.2	四种反馈组态的分析	(153)
7.4	负反馈对放大电路性能的影响	(157)
7.4.1	负反馈提高了放大倍数的稳定性	(157)
7.4.2	负反馈对放大电路输入、输出电阻的影响	(157)
7.4.3	负反馈使放大电路的通频带展宽	(160)
7.4.4	负反馈减小非线性失真	(162)
7.4.5	放大电路中引入负反馈的一般原则	(162)
7.5	负反馈放大电路的稳定性分析	(163)
7.5.1	负反馈放大电路自激振荡产生的原因和条件	(163)
7.5.2	负反馈放大电路的稳定性	(164)
7.5.3	负反馈放大电路自激振荡的消除方法	(165)
	本章小结	(167)
	复习思考题	(168)
	习题	(168)

第八章 信号的运算与处理电路	(172)
8.1 基本运算电路	(172)
8.1.1 概述	(172)
8.1.2 比例运算电路	(172)
8.1.3 加减运算电路	(175)
8.1.4 积分运算电路和微分运算电路	(179)
8.1.5 对数运算电路和指数运算电路	(182)
8.1.6 利用对数和指数运算电路实现的乘法运算电路和除法运算电路	(185)
8.1.7 集成运放性能指标对运算误差的影响	(186)
8.2 模拟乘法器电路	(191)
8.2.1 概述	(191)
8.2.2 变跨导型模拟乘法器的工作原理	(192)
8.2.3 模拟乘法器在运算电路中的应用	(195)
8.3 有源滤波电路	(198)
8.3.1 滤波电路的基础知识	(198)
8.3.2 低通滤波电路	(202)
8.3.3 高通滤波电路	(207)
8.3.4 带通滤波电路	(209)
8.3.5 带阻滤波电路	(210)
8.3.6 全通滤波电路	(211)
本章小结	(212)
复习题	(212)
习题	(212)
第九章 波形发生与信号转换电路	(219)
9.1 正弦波发生电路	(219)
9.1.1 正弦波振荡产生的条件	(219)
9.1.2 RC 正弦波振荡电路	(221)
9.1.3 LC 正弦波振荡电路	(224)
9.1.4 石英晶体正弦波振荡电路	(231)
9.2 电压比较电路	(234)
9.2.1 概述	(234)
9.2.2 单限比较电路	(235)
9.2.3 滞回比较电路	(237)
9.2.4 窗口比较电路	(238)
9.2.5 集成电压比较电路	(239)
9.3 非正弦波发生电路	(240)
9.3.1 矩形波发生电路	(240)

9.3.2	三角波发生电路	(243)
9.3.3	锯齿波发生电路	(246)
9.3.4	波形变换电路	(247)
9.3.5	函数发生电路	(251)
9.4	利用集成运放实现信号转换电路	(252)
9.4.1	电压-电流转换电路	(253)
9.4.2	精密整流电路	(254)
9.4.3	电压-频率转换电路	(255)
	本章小结	(259)
	复习思考题	(259)
	习题	(261)
第十章	直流稳压电源	(266)
10.1	概述	(266)
10.2	整流电路	(266)
10.3	滤波电路	(268)
10.4	稳压电路	(270)
	本章小结	(273)
	复习思考题	(274)
	习题	(274)
	部分习题参考答案	(277)

绪 论

1. 什么是电子技术

电子技术是一门研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。前面学习过的普通电路常包含电阻、电容、电感等元件,而电子电路与普通电路的本质区别就在于它包含有半导体、集成电路等这一类电子器件,因此,学习电子技术首先要了解和掌握电子器件。而电子器件只有与电阻、电容、电感、开关等元件适当连接起来,组成电子电路,才具有特定的功能。因此,学习电子技术还要研究电子电路的工作原理及分析方法。最后,具有特定功能的电子电路都是为了某一应用目的而设计的,故电子技术的内容还应包括应用。

2. 模拟信号与数字信号

电子技术基础研究的主要内容之一是电子电路的工作原理及其分析方法。电子电路中的信号可以分为两大类:模拟信号和数字信号。

模拟信号是指时间连续、数值也连续的信号,如温度。

数字信号是指时间上和数值上均是离散的信号,如电子表的秒信号。数字信号只有两个离散值,常用数字“0”和“1”表示,这里的“0”和“1”并不代表数值的大小,只表示两种状态,常称这两种不同状态为“逻辑0”和“逻辑1”,也称为二值数字逻辑。

3. 模拟电路与数字电路

传递、产生和处理模拟信号的电子电路称为模拟电路,其主要研究各种模拟电子元器件及模拟信号的传递、产生、变换和控制。模拟电路包括放大电路、振荡电路、运算电路、有源滤波电路、整流稳压电路等。

模拟电路处理的是连续变化的信号,人们在日常生活、生产等活动中与模拟信号的关系非常密切,因此模拟电路应用广泛。模拟电路中的电子器件一般工作在放大状态,灵敏度较高,但也易受各种干扰信号的影响。

传递、生产和处理数字信号的电子电路称为数字电路。数字电路是研究各种逻辑器件和各种数字信号的传递、产生、变换、控制和存储等。

数字电路与模拟电路相比较有许多优点。数字电路是以二值数字逻辑为基础的,只有两种状态,因此较易用电路实现。由数字电路组成的数字系统工作可靠,精度高,抗干扰能力强。数字电路不仅能完成数值运算,而且能进行逻辑判断和运算,还可对数字信息进行长期保存。不过,数字电路不能完全取代模拟电路。