

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/华成英主编. —北京:高等教育出版社,2001.12
成教本专科用书
ISBN 7-04-010225-0

I. 模… II. 华… III. 模拟电路—高等教育:成人教育—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 049421 号

责任编辑 张培东 封面设计 张楠 责任绘图 陈钧元
版式设计 周顺银 责任校对 殷然 责任印制 宋克学

模拟电子技术基础
华成英 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 邮政编码 100009

电 话 010-64054588 传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 中国科学院印刷厂

开 本 850×1168 1/32

版 次 2001 年 12 月第 1 版

印 张 13.5

印 次 2001 年 12 月第 1 次印刷

字 数 340 000

定 价 14.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

“电子技术基础”是大学电类各专业必修的一门技术基础课，“模拟电子技术基础”是该课程的两部分之一。为了适应我国成人教育的需要，我们根据“全国成人高等教育工学电子技术基础课程教学基本要求”编写了本书。它适于作为成人高等教育工科电类各专业专科和本科的教科书，也可供成人高等教育和普通高等教育相关专业选用，以及供社会读者阅读。

本书充分考虑成人教育的特点，在保证教育质量与普通高校“大体一致”的前提下，强调以应用为目的，以“必需”、“够用”为度，突出教学内容的“职业性”和“针对性”。因而书中着重从物理概念入手，突出电子电路的定性分析，以阐明各种基本电路的应用背景、工作原理和功能特点；在重点问题上讲深讲透，并“以点带面”，力图做到“举一反三”；注重理论联系实际，强调电子技术的工程性和实践性；文字叙述由浅入深、简明扼要。为了便于自学，在每一章的开头均有“内容提要”，结尾均有“本章小结”，并在小结中给出了教学基本要求；各章均配备足够数量的例题、自测题和习题，还编写了模拟电路应用举例一章，以利于学生分析问题和解决问题能力、综合应用能力和创新意识的培养。书的最后是自测题和习题的参考答案，以方便读者自我检查。

本书讲述了模拟电子技术基础的基本概念、基本电路、基本分析方法。主要内容包括：半导体器件基础、放大电路基础、集成运算放大电路、负反馈放大电路、模拟信号的运算和处理、波形发生电路、直流稳压电源和模拟电路应用举例等八章。

本书由华成英主编。第四、五、六、七章由王宏宝编写，第一、三章由叶朝晖编写，第二、八章、第二至七章的自测题和习题由华

成英编写。

书稿承华中科技大学陈大钦教授审阅。他在百忙之中仔细审阅了全部书稿,提出了许多宝贵的意见和建议,对本书质量的提高大有裨益。在此谨致衷心的感谢。

由于编者的能力和水平有限,书中定有疏漏、欠妥和错误之处,恳请读者指正。

编者

2001年6月于清华大学

符号说明

一、几点原则

1. 电流和电压(以基极电流为例)

$I_{B(AV)}$	表示平均值
$I_B(I_{BQ})$	大写字母、大写下标,表示直流量(或静态电流)
i_B	小写字母、大写下标,表示包含直流量的瞬时总量
I_b	大写字母、小写下标,表示交流有效值
i_b	小写字母、小写下标,表示交流瞬时值
Δi_B	表示瞬时值的变化量

2. 电阻

R	电路中的电阻或等效电阻
r	器件内部的等效电阻

二、基本符号

1. 电流和电压

I, i	电流的通用符号
U, u	电压的通用符号
I_f, U_f	反馈电流、电压
$\dot{I}_i(i_i), \dot{U}_i(u_i)$	正弦交流输入电流、电压
$\dot{I}_o(i_o), \dot{U}_o(u_o)$	正弦交流输出电流、电压
I_Q, U_Q	电流、电压静态值
i_P, u_P	集成运放同相输入电流、电压
i_N, u_N	集成运放反相输入电流、电压

u_{ic}	共模输入电压
u_{id}	差模输入电压
$\dot{U}_s(u_s)$	交流信号源电压
U_{TH}	电压比较器的阈值电压
U_{OH} 、 U_{OL}	电压比较器的输出高电平和输出低电平
V_{BB} 、 V_{CC} 、 V_{EE}	晶体管基极回路电源、集电极回路电源和发射极回路电源
V_{GG} 、 V_{DD}	场效应管栅极回路电源和漏极回路电源

2. 电阻、电导、电容、电感

R	电阻通用符号
G	电导通用符号
C	电容通用符号
L	电感通用符号
R_B 、 R_C 、 R_E	晶体管基极、集电极、发射极外接电阻
R_G 、 R_D 、 R_S	场效应管栅极、漏极、源极外接电阻
R_i	放大电路的输入电阻
R_o	放大电路的输出电阻
R_{if} 、 R_{of}	负反馈放大电路的输入电阻和输出电阻
R_L	负载电阻
R_{N}	集成运放反相输入端外接的等效电阻
R_P	集成运放同相输入端外接的等效电阻
R_s	信号源内阻

3. 放大倍数、增益

A	放大倍数或增益的通用符号
A_c	共模电压放大倍数
A_d	差模电压放大倍数
\dot{A}_u	电压放大倍数的通用符号, $\dot{A}_u = \dot{U}_o / \dot{U}_i$

\dot{A}_{u_l} 、 \dot{A}_{u_m} 、 \dot{A}_{u_h}	低频、中频、高频电压放大倍数
\dot{A}_{u_p}	有源滤波电路的通带放大倍数
\dot{A}_{u_s}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数的通用符号, $\dot{A}_{u_s} = \dot{U}_o / \dot{U}_s$
\dot{A}_{u_u}	第一个下标为输出量, 第二个下标为输入量, 电压放大倍数符号, \dot{A}_{u_i} 、 \dot{A}_{i_i} 、 \dot{A}_{i_u} 依此类推
F	反馈系数通用符号
\dot{F}_{u_u}	第一个下标为反馈量, 第二个下标为输出量, 电压串联负反馈放大电路反馈系数符号, $\dot{F}_{u_u} = \dot{U}_i / \dot{U}_o$; \dot{F}_{u_i} 、 \dot{F}_{i_i} 、 \dot{F}_{i_u} 依此类推

4. 功率和效率

P	功率通用符号
p	瞬时功率
P_o	输出交流功率
P_{om}	最大输出交流功率
P_T	晶体管耗散功率
P_V	电源消耗的功率

5. 频率

f	频率通用符号
f_{BW}	通频带
f_C	使放大电路增益为 0 dB 时的信号频率
f_H	放大电路的上限截止频率
f_L	放大电路的下限截止频率
f_P	滤波电路的通带截止频率
f_0	电路的振荡频率、中心频率
ω	角频率通用符号

三、器件参数符号

1. 二极管

D	二极管
I_F	二极管的最大整流平均电流
I_R	二极管的反向电流
I_S	二极管的反向饱和电流
r_D	二极管导通时的动态电阻
U_{on}	二极管的开启电压
$U_{(BR)}$	二极管的击穿电压
2. 稳压二极管	
D_Z	稳压二极管
I_Z, I_{ZM}	稳定电流、最大稳定电流
r_Z	稳压管工作在稳压状态下的动态电阻
U_Z	稳定电压
3. 双极型管	
T	晶体管
B、C、E	基极、集电极、发射极
$\bar{\beta}, \beta$	晶体管共射直流电流放大系数和共射交流电流放大系数
C_μ	混合 π 等效电路中集电结的等效电容
C_π	混合 π 等效电路中发射结的等效电容
f_β	晶体管共射接法电流放大系数的上限截止频率
f_T	晶体管的特征频率, 即共射接法下使电流放大系数为 1 的频率
g_m	跨导
$h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$	晶体管 H 参数等效电路的四个参数
I_{CBO}, I_{CEO}	发射极开路时 B-C 间的反向电流、基极开路时 C-E 间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流

P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
$r_{bb'}$ 、 $r_{b'e}$ 、 r_{be}	基区体电阻、发射结微变等效电阻、B-E 间动态电阻
$U_{(BR)CEO}$	基极开路时 C-E 间的击穿电压
U_{CES}	晶体管饱和管压降
U_{on}	晶体管 B-E 间的开启电压

4. 单极型管

T	场效应管
D、G、S	漏极、栅极、源极
C_{ds} 、 C_{gs} 、 C_{gd}	D-S 间等效电容、G-S 间等效电容、G-D 间等效电容
g_m	跨导
I_{D0}	增强型 MOS 管 $U_{GS} = 2U_{GS(th)}$ 时的漏极电流
I_{DSS}	耗尽型场效应管 $U_{GS} = 0$ 时的漏极电流
P_{DM}	漏极最大允许耗散功率
r_{ds}	D-S 间的微变等效电阻, 近似计算时可认为其无穷大
$U_{GS(off)}$	耗尽型场效应管的夹断电压
$U_{GS(th)}$	增强型场效应管的开启电压

5. 集成运放

A_{od}	开环差模增益
r_{id}	差模输入电阻
f_h	-3 dB 带宽
I_{IB}	输入级偏置电流
I_{IO} 、 dI_{IO}/dT	输入失调电流及其温漂
U_{IO} 、 dU_{IO}/dT	输入失调电压及其温漂
K_{CMR}	共模抑制比
SR	转换速率

四、其它符号

K	热力学温度单位
Q	静态工作点
T	周期、温度
η	效率,等于输出功率与电源提供的功率之比
τ	时间常数
θ	二极管导通角
ϕ	相位角

出版说明

为了加强成人高等教育教学的宏观管理,指导并规划成人高等教育的教学工作,保证达到培养规格,教育部于今年4月颁布了全国成人高等教育公共课和经济学、法学、工学等学科门类主要课程的教学基本要求。教学基本要求是成人高等教育的指导性教学文件,是成人高等教育开展有关课程教学工作和进行教学质量检查的重要依据。为了更好地和更迅速地贯彻这个教学基本要求,我司又组织制订了全国成人高等教育主要课程教材建设规划。经过有关出版社论证申报和教育部组织的成人教育专家评审,确定了各门课程教材的主编人选及承担出版任务的出版社。

承担任务的出版社,遴选了学术水平高、有丰富成人教育经验的专家参加教材及教学辅助用书的编写和审定工作。新编教材尽可能符合成人学习特点,较好地贯彻了成人高等教育教学基本要求。推广使用这套教材,对于加强成人高等教育的教学工作,提高教学质量,促进成人高等教育的改革与发展具有十分重要的意义。

首批完成的有公共课和经济学、法学、工学三大学科门类共81门主要课程的教材。由于此项工作是一项基础性工作,具有一定的开创性,可能存在不完善之处。我司将在今后的教学质量检查评估中,及时总结经验,认真听取各方反馈意见,根据教学需要,适时组织教材的修订工作。

教育部高等教育司

一九九八年十二月一日

目 录

第一章 半导体器件基础	(1)
内容提要	(1)
1.1 半导体基础知识	(1)
1.1.1 本征半导体	(1)
1.1.2 杂质半导体	(3)
1.1.3 PN结	(5)
1.2 半导体二极管	(8)
1.2.1 二极管的结构和符号	(8)
1.2.2 二极管的伏安特性	(8)
1.2.3 二极管的主要参数	(12)
1.2.4 稳压二极管	(14)
1.3 晶体三极管(双极型晶体管)	(17)
1.3.1 晶体管的结构和符号	(17)
1.3.2 晶体管的电流放大原理	(18)
1.3.3 晶体管的共射特性曲线	(20)
1.3.4 晶体管的主要参数	(26)
1.4 场效应管(单极型晶体管)	(28)
1.4.1 结型场效应管	(28)
1.4.2 绝缘栅型场效应管	(32)
1.4.3 场效应管的主要参数	(38)
本章小结	(39)
自测题	(40)
习 题	(42)
第二章 放大电路基础	(46)
内容提要	(46)
2.1 基本共射放大电路的工作原理和放大电路的性能指标	(46)

2.1.1	放大的概念	(46)
2.1.2	基本共射放大电路的工作原理	(48)
2.1.3	放大电路的组成原则	(52)
2.1.4	放大电路的性能指标	(52)
2.2	放大电路的分析方法	(55)
2.2.1	放大电路的直流通路和交流通路	(55)
2.2.2	图解法	(58)
2.2.3	微变等效电路法	(66)
2.3	放大电路静态工作点的稳定	(74)
2.3.1	温度对 Q 点的影响	(75)
2.3.2	典型的静态工作点稳定电路	(76)
2.3.3	稳定静态工作点的方法	(81)
2.4	晶体管放大电路的三种接法	(82)
2.4.1	基本共集放大电路	(82)
2.4.2	基本共基放大电路	(87)
2.4.3	基本放大电路三种接法的性能比较	(91)
2.5	场效应管放大电路	(92)
2.5.1	场效应管放大电路静态工作点的设置	(92)
2.5.2	场效应管的微变等效电路	(95)
2.5.3	共源放大电路的动态分析	(96)
2.5.4	共漏放大电路的动态分析	(97)
2.6	多级放大电路	(100)
2.6.1	多级放大电路的耦合方式	(101)
2.6.2	多级放大电路的动态分析	(105)
2.6.3	多级放大电路的构成	(107)
2.7	放大电路的频率响应	(108)
2.7.1	晶体管的高频等效电路	(109)
2.7.2	单管共射放大电路的频率响应	(112)
2.7.3	多级放大电路的频率响应	(124)
	本章小结	(125)
	自测题	(128)
	习 题	(130)

第三章 集成运算放大电路	(136)
内容提要	(136)
3.1 集成运放的基本组成及功能	(136)
3.2 差分放大电路	(137)
3.2.1 直接耦合放大电路的零点漂移现象	(137)
3.2.2 基本差分放大电路	(138)
3.2.3 差分放大电路的四种输入输出方式	(144)
3.2.4 复合管差分放大电路	(150)
3.3 电流源	(153)
3.3.1 基本恒流源电路	(153)
3.3.2 镜像电流源	(153)
3.3.3 微电流源	(154)
3.3.4 比例电流源	(155)
3.3.5 有源负载	(156)
3.4 功率放大电路	(159)
3.4.1 有关功率放大电路的基本概念	(159)
3.4.2 OCL 电路	(160)
3.4.3 OTL 电路	(166)
3.5 集成运放原理电路分析	(168)
3.5.1 电路分析	(168)
3.5.2 集成运放的特点	(170)
3.5.3 集成运放的传输特性	(170)
3.6 集成运放的主要技术指标及使用注意事项	(171)
3.6.1 主要技术指标	(171)
3.6.2 集成运放的使用注意事项	(173)
3.7 集成运放的发展概况	(175)
3.7.1 集成运放的发展	(175)
3.7.2 专用型集成运放	(176)
本章小结	(177)
自测题	(178)
习 题	(180)
第四章 负反馈放大电路	(186)

内容提要	(186)
4.1 反馈的基本概念及反馈的判别方法	(186)
4.1.1 什么是反馈	(186)
4.1.2 放大电路中的反馈形式	(188)
4.1.3 负反馈放大电路的四种组态	(192)
4.2 负反馈放大电路的表示方法和近似估算法	(200)
4.2.1 负反馈放大电路的方框图表示法	(200)
4.2.2 负反馈放大电路的一般表达式	(200)
4.2.3 深度负反馈放大电路电压放大倍数的估算	(202)
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	(207)
4.3.1 提高放大倍数的稳定性	(207)
4.3.2 改变输入电阻和输出电阻	(208)
4.3.3 减小非线性失真及抑制内部噪声干扰	(210)
4.3.4 展宽频带	(211)
4.3.5 为改善性能而引入负反馈的一般原则	(211)
4.4 负反馈放大电路的自激振荡及消除方法	(212)
4.4.1 产生自激振荡的原因及条件	(212)
4.4.2 负反馈放大电路稳定性的判别	(214)
4.4.3 消除自激振荡的方法	(215)
本章小结	(217)
自测题	(219)
习 题	(221)
第五章 模拟信号的运算及处理	(226)
内容提要	(226)
5.1 集成运放的两个工作区域	(226)
5.1.1 理想运放	(226)
5.1.2 理想运放的线性工作区	(227)
5.1.3 理想运放的非线性工作区	(228)
5.2 基本运算电路	(229)
5.2.1 比例运算电路	(229)
5.2.2 加减运算电路	(233)
5.2.3 积分运算电路和微分运算电路	(238)

5.2.4	对数运算和指数运算电路	(243)
5.2.5	模拟乘法器及其基本应用	(244)
5.3	有源滤波器	(247)
5.3.1	滤波电路基础知识	(247)
5.3.2	低通滤波器(LPF)	(249)
5.3.3	高通滤波器(HPF)	(254)
5.3.4	带通滤波器(BPF)	(255)
5.3.5	带阻滤波器(BEF)	(257)
5.4	电压比较器	(260)
5.4.1	电压比较器概述	(260)
5.4.2	单限比较器	(262)
5.4.3	滞回比较器	(266)
5.4.4	窗口比较器	(271)
5.4.5	集成电压比较器	(272)
	本章小结	(276)
	自测题	(278)
	习题	(280)
第六章	波形发生电路	(286)
	内容提要	(286)
6.1	正弦波振荡电路	(286)
6.1.1	正弦波振荡的条件和电路组成	(286)
6.1.2	RC 正弦波振荡电路	(289)
6.1.3	LC 正弦波振荡电路	(293)
6.1.4	石英晶体正弦波振荡电路	(305)
6.2	非正弦波发生电路	(309)
6.2.1	矩形波发生电路	(309)
6.2.2	三角波发生电路	(314)
6.2.3	锯齿波发生电路	(317)
6.3	波形变换电路	(319)
6.3.1	三角波 - 锯齿波变换电路	(319)
6.3.2	三角波 - 正弦波变换电路	(321)
6.3.3	压控振荡电路	(323)

本章小结	(326)
自测题	(328)
习 题	(329)
第七章 直流稳压电源	(335)
内容提要	(335)
7.1 直流稳压电源的组成	(335)
7.2 单相整流电路	(336)
7.2.1 半波整流电路	(336)
7.2.2 全波整流电路	(338)
7.2.3 桥式整流电路	(340)
7.3 滤波电路	(343)
7.3.1 电容滤波电路	(344)
7.3.2 其它滤波电路	(346)
7.4 稳压管稳压电路	(349)
7.4.1 稳压原理	(349)
7.4.2 主要性能指标	(351)
7.4.3 限流电阻的选择	(352)
7.5 线性稳压电源	(354)
7.5.1 串联型稳压电源	(354)
7.5.2 集成线性稳压电源	(361)
7.6 开关型稳压电源	(367)
7.6.1 开关型稳压电源的特点和分类	(368)
7.6.2 串联开关型稳压电源	(369)
7.6.3 隔离式开关稳压电源	(372)
本章小结	(374)
自测题	(375)
习 题	(376)
第八章 模拟电路应用举例	(381)
内容提要	(381)
8.1 概述	(381)
8.1.1 集成运放工作状态的分析方法	(381)
8.1.2 集成运放工作在不同状态时电路的分析方法	(382)

8.1.3	集成运放应用电路的分析方法	(383)
8.2	晶体管电流放大系数测量电路	(384)
8.3	小型温度控制电路	(385)
8.3.1	各部分电路的作用	(385)
8.3.2	电路分析	(386)
8.4	一种简单的多种波形发生电路	(387)
8.4.1	单元电路分析	(388)
8.4.2	工作原理及波形分析	(389)
8.4.3	振荡周期及幅值的估算	(390)
8.5	电压/频率转换电路(压控振荡器)	(392)
8.5.1	单元电路分析	(392)
8.5.2	工作原理及波形分析	(394)
8.5.3	输入电压与输出电压频率的关系	(395)
8.6	跟踪电源	(396)
	本章小结	(397)
	自测题和习题参考答案	(398)
	参考文献	(411)