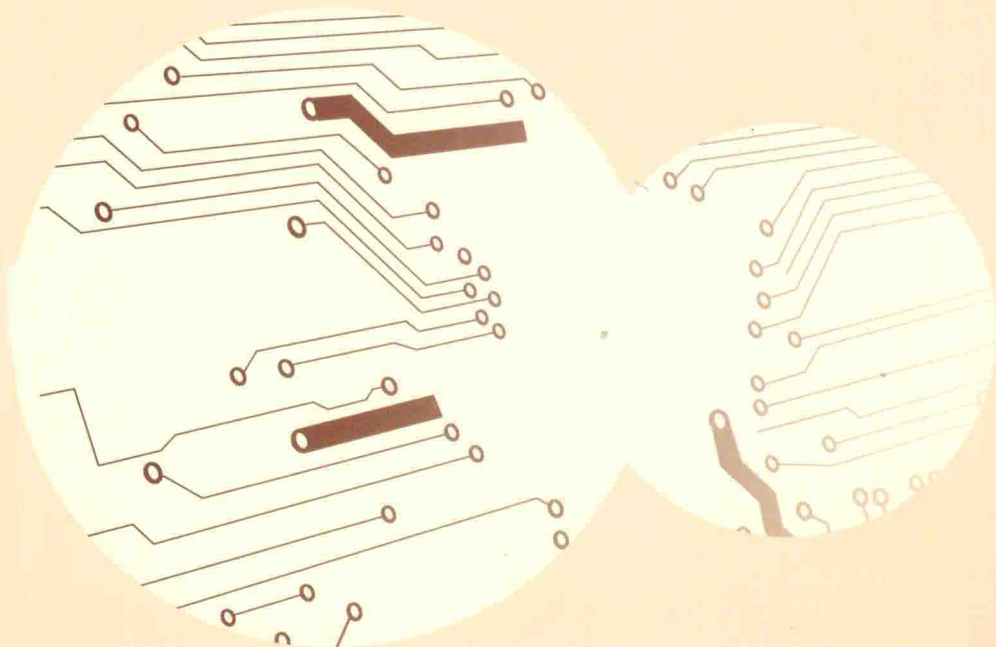


高等学校规划教材

Basic Analog Electronic Technology

模拟电子技术基础

杨 凌 主编



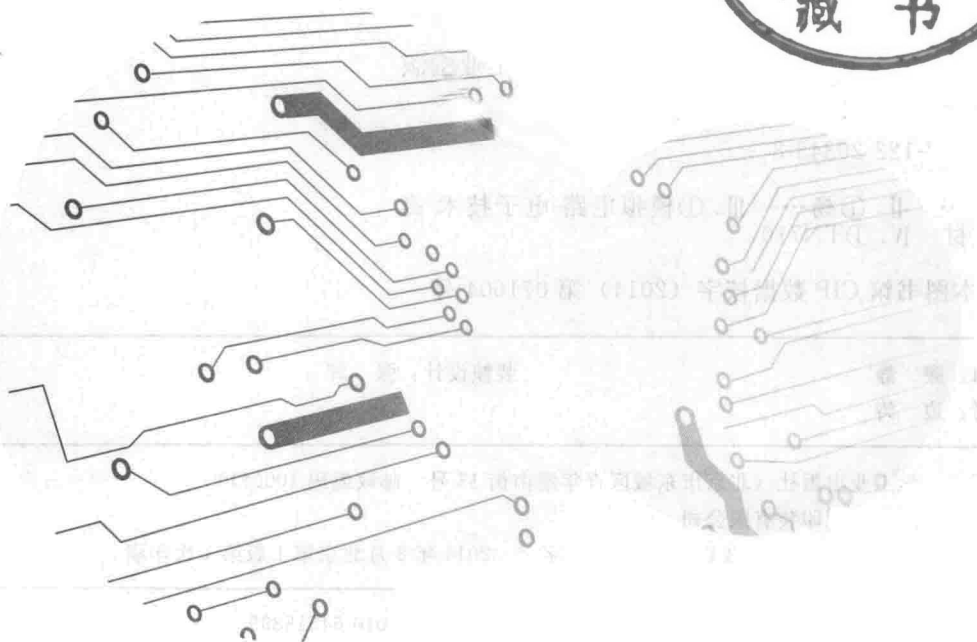
化学工业出版社

高等学校规划教材

Basic Analog Electronic Technology

模拟电子技术基础

杨 凌 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书较为系统全面地介绍了模拟电子技术的基本内容, 主要包括: 绪论、半导体二极管及其基本应用电路、晶体三极管及其基本放大电路、场效应管及其基本放大电路、放大电路的频率响应、低频功率放大器、集成运算放大器、负反馈及其稳定性、信号的运算和处理电路、信号的产生电路、直流稳压电源、在系统可编程模拟器件及其开发平台。

本书体系结构新颖, 内容系统完整, 知识过渡平滑, 文字简练流畅, 叙述深入浅出。书中每章以讨论的问题开始, 以小结结束, 各章章末均配备了丰富的习题(包括仿真习题), 附录提供了大部分习题的参考答案, 利于自学。

本书可作为高等学校电子信息类、电气类、自动化类专业本科生学习“模拟电子技术基础”、“模拟电子线路”、“低频电子线路”等课程的教材, 也可供从事电子技术工作的工程技术人员作参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/杨凌主编. —北京: 化学工业出版社, 2014.6
高等学校规划教材
ISBN 978-7-122-20345-8

I. ①模… II. ①杨… 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(2014)第 071604 号

责任编辑: 廉 静
责任校对: 边 涛

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 24 字数 623 千字 2014 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

前言

“模拟电子技术基础”课程是电子信息类、电气类、自动化类等专业的基础平台课程，其内容庞杂、概念性强、分析方法多、重点和难点集中，教与学都有困难。编写一本比较符合认知规律，体系较为合理、内容取舍较为恰当、适宜于教学的教材是作者多年来的追求。

本书是编者多年来教学经验的总结，编者在编写本书时制定了“精选内容，保证基础；体现先进，引导创新；联系实际，突出应用；优化体系，利于教学”的编写原则。力图使本书涵盖的内容更全面，体系更合理，思路更开阔，方法更简洁，启发性、创新性和工程性更突出。基于上述考虑，本书有如下特点：

- 在内容选取上，兼顾“经典与现代”

虽然电子技术的发展很快，知识容量急速膨胀，但其核心的基本理论和方法还是不变的，具有相对的经典性。本书在注重基础的同时，兼顾技术发展的先进性，如第 11 章简要介绍了模拟可编程器件及开发平台，使读者能领略现代模拟集成电路技术的发展态势，进一步拓宽读者的视野。

- 知识顺序合理，内容过渡平滑

在构建教材体系结构时，尊重电子技术的发展历史，教材的主线条是以半导体器件为基石，从分立走向集成，从经典跃向现代。章节安排上尽量避免内容的倒置，注意促进知识的正迁移，防止负迁移。

- 语言精练、叙述深入浅出，具有启发性。

充分利用图、表等形象化的语言，使问题的叙述更为精练。此外，在介绍与电路有关的基本概念、原理和方法时，注重突出电路结构的构思方法，以使读者能从中获得启发，有利于培养创新意识。

- 突出电路设计，强调工程应用

在处理课程内容“三要素”——“器件”、“电路”、“应用”三者的关系时，遵循“管为路用”、“分立为集成服务”、“电路因应用而生”的原则，使器件与电路的结合更为紧密，分立和集成的关系更为密切，工程应用性更为突出。

- 注意分散教学的重点和难点

将“放大电路的频率响应”单独设章，不仅分散了基本放大电路的分析难点，更为重要的是强调了频率失真和频率响应的概念，扩展了改善频率响应的思路和方法。

- 注重理论的系统性和完整性

完整阐述了电子技术领域中的“反馈”理论，不仅强调了“负反馈”技术（第 7 章），同时也突出了“正反馈”理论（第 9 章）。

- 引入电路仿真软件，简化复杂电路分析

附录 A 介绍了 Multisim 电路仿真软件，各章习题中均配有 Multisim 仿真题目，仿真习

题的选取或具有研究性质，或者在实际实验中难于实现，且尽量涵盖模拟电子线路的基本测试方法和仿真方法，使得复杂电路的分析方法更为简洁。

书中标记为“※”的内容可供使用本教材的师生灵活选用。

本书由杨凌主编，并编写第 0~10 章及附录 B，郭计云编写第 11 章，魏佳璇编写附录 A 并完成了所有仿真习题。

本书内容已制作成用于多媒体教学的 PowerPoint 课件，并将免费提供给使用本书作为教材的院校使用。

限于作者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评和指正。

编者

2013 年 12 月 16 日

目 录

本书常用符号说明	001
一、几点原则	001
二、基本符号	001
三、半导体器件的参数符号	003
四、其他符号	004
第 0 章 绪论	005
0.1 电子科学技术发展概述	005
0.1.1 电子管时代	005
0.1.2 晶体管时代	006
0.1.3 集成电路时代	006
0.1.4 SOC 时代	007
0.2 模拟电子电路与数字电子电路	008
0.3 模拟电子技术基础课程的特点和学习方法	008
0.3.1 模拟电子技术基础课程的特点	008
0.3.2 模拟电子技术基础课程的学习方法	009
第 1 章 半导体二极管及其基本应用电路	010
1.1 半导体物理基础知识	010
1.1.1 半导体的共价键结构	010
1.1.2 本征半导体	011
1.1.3 杂质半导体	012
1.1.4 半导体的导电机理	014
1.2 PN 结	015
1.2.1 PN 结的形成	015
1.2.2 PN 结的伏安特性	017
1.2.3 PN 结的击穿特性	018
1.2.4 PN 结的温度特性	019
1.2.5 PN 结的电容特性	019
1.3 半导体二极管	020
1.3.1 二极管的结构、符号	021
1.3.2 二极管的伏安特性	022
1.3.3 二极管的主要参数	022
1.3.4 几种特殊的二极管	024
1.3.5 二极管的模型	026
1.4 二极管的基本应用电路	028

1.4.1	整流电路	028
1.4.2	稳压电路	029
1.4.3	限幅电路	030
1.4.4	开关电路	031
	习题	032
第2章	晶体三极管及其基本放大电路	036
2.1	晶体三极管	036
2.1.1	三极管的分类、结构及符号	036
2.1.2	三极管的电流分配与放大作用	037
2.1.3	三极管的伏安特性曲线	040
2.1.4	三极管的主要参数	042
2.1.5	三极管的模型	044
2.2	放大电路概述	048
2.2.1	放大电路的基本概念	049
2.2.2	放大电路的主要性能指标	050
2.3	基本放大电路的工作原理	053
2.3.1	基本共发射极放大电路的组成	054
2.3.2	放大电路的直流通路和交流通路	055
2.3.3	基本共发射极放大电路的工作原理	055
※2.3.4	基本共发射极放大电路的功率分析	056
2.4	放大电路的图解分析方法	057
2.4.1	静态图解分析方法	057
2.4.2	动态图解分析方法	058
2.4.3	静态工作点与放大电路非线性失真的关系	059
2.5	放大电路的等效电路分析方法	061
2.5.1	静态分析方法	061
2.5.2	动态分析方法	061
2.6	放大电路静态工作点的稳定	063
2.6.1	温度对静态工作点的影响	063
2.6.2	分压式偏置Q点稳定电路	063
2.7	放大电路的三种基本组态	068
2.7.1	共集电极放大电路——射极输出器	068
2.7.2	共基极放大电路	070
2.7.3	三种基本放大电路的比较	072
2.8	多级放大电路	072
2.8.1	多级放大电路的级间耦合方式	073
2.8.2	多级放大电路的分析	075
2.8.3	常用组合放大电路	077
	习题	079
第3章	场效应管及其基本放大电路	088
3.1	场效应管	088
3.1.1	结型场效应管	088
3.1.2	金属-氧化物-半导体场效应管 (MOSFET)	091
3.1.3	场效应管的主要参数	095

3.1.4	各种类型场效应管的符号及特性比较	097
3.1.5	放大状态下场效应管的模型	097
3.1.6	场效应管与三极管的比较	099
3.2	场效应管放大电路	099
3.2.1	场效应管的直流偏置电路	099
3.2.2	三种基本的场效应管放大电路	101
3.2.3	场效应管放大电路与三极管放大电路的比较	104
	习题	106
第4章	放大电路的频率响应	114
4.1	频率响应概述	114
4.1.1	频率响应的基本概念	114
4.1.2	频率响应的分析	116
4.2	三极管放大电路的高频响应	122
4.2.1	三极管的频率参数	122
4.2.2	共发射极放大电路的高频响应	124
4.2.3	共集电极放大电路的高频响应	126
4.2.4	共基极放大电路的高频响应	127
4.3	三极管放大电路的低频响应	129
4.4	场效应管放大电路的频率响应	131
4.4.1	场效应管的高频小信号等效电路	131
4.4.2	场效应管放大电路的高频响应	131
4.5	多级放大电路的频率响应	133
4.5.1	多级放大电路的上限截止频率 f_H	133
4.5.2	多级放大电路的下限截止频率 f_L	134
4.6	宽带放大电路的实现思想	135
※4.7	放大电路的瞬态响应	136
4.7.1	上升时间 t_r	136
4.7.2	平顶降落 δ	137
	习题	139
第5章	低频功率放大器	143
5.1	功率放大器概述	143
5.1.1	功率放大器的特点和主要研究对象	143
5.1.2	功率放大器的分类	144
5.2	甲类功率放大器	144
5.3	乙类功率放大器	146
5.3.1	电路组成及工作原理	146
5.3.2	电路性能分析	148
5.3.3	功率三极管的选择	148
5.4	甲乙类功率放大器	150
5.4.1	甲乙类双电源功率放大器	150
5.4.2	甲乙类单电源功率放大器	152
5.5	桥式功率放大器	153
※5.6	集成功率放大器	153
5.6.1	BJT 集成功率放大器 LM386	153

5.6.2 BiMOS 集成功率放大器 SHM1150 II	154
5.7 功率器件	155
5.7.1 功率三极管	155
※5.7.2 功率 MOS 场效应管	158
※5.7.3 功率模块	158
习题	159
第 6 章 集成运算放大器	166
6.1 集成运放概述	166
6.2 电流源	167
6.2.1 三极管电流源	167
6.2.2 场效应管电流源	171
6.2.3 电流源电路用作有源负载	171
6.3 差分放大电路	172
6.3.1 差分放大电路的组成	172
6.3.2 差分放大电路的工作原理	173
6.3.3 有源负载差分放大电路	179
6.3.4 差分放大电路的传输特性	181
6.3.5 场效应管差分放大电路	183
6.3.6 差分放大电路失调及其温漂	183
6.4 集成运算放大器	187
6.4.1 双极型集成运放—— μ A741	187
6.4.2 单极型集成运放——C14573	190
6.4.3 集成运放的主要参数	191
习题	194
第 7 章 负反馈及其稳定性	204
7.1 反馈的基本概念及反馈放大电路的一般框图	204
7.1.1 反馈的基本概念	204
7.1.2 反馈放大电路的一般框图	205
7.2 反馈的分类及判别方法	205
7.3 负反馈放大电路的一般表达式及四种基本组态	211
7.3.1 负反馈放大电路的一般表达式	211
7.3.2 负反馈放大电路的四种组态	212
7.4 负反馈对放大电路性能的影响	213
7.4.1 提高增益的稳定性	213
7.4.2 减小非线性失真	214
7.4.3 抑制反馈环内的噪声	215
7.4.4 展宽通频带	216
7.4.5 改变输入电阻和输出电阻	216
7.5 深度负反馈放大电路的近似估算	220
7.6 负反馈放大电路的稳定性	223
7.6.1 负反馈放大电路稳定工作的条件	223
7.6.2 稳定裕量	224
7.6.3 负反馈放大电路的稳定性分析	225
7.6.4 相位补偿技术	226

习题	231
第8章 信号的运算和处理电路	242
8.1 集成运放应用电路的分析方法	242
8.1.1 集成运放的电压传输特性及理想运放的性能指标	242
8.1.2 集成运放应用电路的一般分析方法	243
8.2 基本运算电路	244
8.2.1 比例运算电路	244
8.2.2 加、减运算电路	246
8.2.3 积分和微分运算电路	249
8.2.4 对数和指数运算电路	251
8.2.5 乘法和除法运算电路	252
※8.2.6 模拟乘法器	253
8.3 实际运算放大器运算电路的误差分析	256
8.3.1 A_{od} 和 R_{id} 为有限值对反相比例运算电路运算误差的影响	257
8.3.2 A_{od} 和 K_{CMR} 为有限值对同相比例运算电路运算误差的影响	257
8.3.3 失调参数及其温漂对比例运算电路运算误差的影响	258
8.4 精密整流电路	259
8.4.1 精密半波整流电路	259
8.4.2 精密全波整流电路——绝对值电路	260
8.5 有源滤波电路	260
8.5.1 一阶有源滤波电路	261
8.5.2 二阶有源滤波电路	262
8.5.3 带通滤波电路	264
8.5.4 带阻滤波电路	266
8.5.5 全通滤波电路	267
※8.5.6 开关电容滤波电路	267
8.6 电压比较器	269
8.6.1 单限电压比较器	270
8.6.2 滞回电压比较器	271
8.6.3 窗口电压比较器	273
习题	274
第9章 信号的产生电路	287
9.1 正弦波振荡电路概述	287
9.1.1 产生正弦波振荡的条件	287
9.1.2 正弦波振荡电路的组成及分类	288
9.1.3 正弦波振荡电路的分析方法	289
9.2 RC 正弦波振荡电路	289
9.2.1 RC 文氏桥振荡电路	289
9.2.2 RC 移相式振荡电路	292
9.3 LC 正弦波振荡电路	293
9.3.1 LC 并联谐振回路的频率特性	293
9.3.2 选频放大电路	294
9.3.3 变压器反馈式 LC 振荡电路	295
9.3.4 电感三点式振荡电路	295

9.3.5 电容三点式振荡电路	296
9.4 石英晶体正弦波振荡电路	298
9.4.1 石英晶体的特点和等效电路	298
9.4.2 石英晶体正弦波振荡电路	300
9.5 非正弦波信号产生电路	300
9.5.1 方波产生电路	300
9.5.2 三角波产生电路 (Triangular-Wave Generator)	302
9.5.3 锯齿波产生电路	304
※9.6 ICL8038 函数发生器	306
9.6.1 电路结构	306
9.6.2 工作原理	306
9.6.3 引脚排列及性能特点	307
9.6.4 常用接法	308
习题	309
第10章 直流稳压电源	318
10.1 概述	318
10.2 滤波电路	318
10.2.1 电容滤波电路	319
10.2.2 其他形式的滤波电路	321
10.3 线性稳压电路	322
10.3.1 串联反馈式稳压电路	322
10.3.2 三端集成稳压电路	324
※10.4 开关稳压电路	328
10.4.1 开关稳压电路的基本工作原理	328
10.4.2 串联型开关稳压电路	329
10.4.3 并联型开关稳压电路	331
习题	332
※第11章 在系统可编程模拟器件及其开发平台	338
11.1 引言	338
11.2 主要 ispPAC 器件的特性及应用	338
11.2.1 ispPAC10	339
11.2.2 ispPAC20	340
11.2.3 ispPAC30	341
11.2.4 ispPAC80/81	342
11.3 PAC-Designer 软件及开发实例	342
11.3.1 PAC-Designer 的基本用法	342
11.3.2 设计实例	344
习题	348
附录A 电路仿真软件——Multisim 软件简介	349
A.1 Multisim 集成环境	349
A.2 元器件及虚拟仪器	350
A.3 Multisim 仿真功能简介	358
附录B 部分习题参考答案	362
参考文献	371

本书常用符号说明

一、几点原则

1. 电流和电压（以基极电流为例，其他电流、电压可类比）

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，表示交、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
$\dot{I}_b$	表示交流复数值
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
V 、 v	电压的通用符号
I_Q 、 V_Q	电流、电压静态值
V_{BB}	基极回路电源
V_{CC}	集电极回路电源
V_{EE}	发射极回路电源
V_{DD}	漏极回路电源
V_{SS}	源极回路电源
$\dot{V}_s$	交流信号源电压
$\dot{I}_i$ 、 $\dot{V}_i$	交流输入电流、电压
$\dot{I}_o$ 、 $\dot{V}_o$	交流输出电流、电压
$\dot{I}_f$ 、 $\dot{V}_f$	反馈电流、电压
V_A	厄尔利电压
v_{ic}	共模输入电压
v_{id}	差模输入电压
i_P 、 v_P	集成运放同相输入端的电流、电位
i_N 、 v_N	集成运放反相输入端的电流、电位
V_T	电压比较器的阈值电压
V_{OH} 、 V_{OL}	电压比较器的输出高电平、输出低电平

2. 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_D	电源消耗的功率

3. 频率

f	频率通用符号
BW	通频带
f_c	使放大电路增益为 0dB 时的信号频率
f_H 、 f_L	放大电路的上限截止频率、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、滤波电路的特征频率
ω	角频率通用符号

4. 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	三极管的基极电阻、集电极电阻、发射极电阻
R_G 、 R_D 、 R_S	场效应管的栅极电阻、漏极电阻、源极电阻
R_s	信号源内阻
R_L	负载电阻
R_i 、 R_{if}	放大电路的输入电阻、负反馈放大电路的输入电阻
R_o 、 R_{of}	放大电路的输出电阻、负反馈放大电路的输出电阻
R_N 、 R_P	集成运放反相输入端外接的等效电阻、同相输入端外接的等效电阻

5. 放大倍数、增益

$\dot{A}$	放大倍数或增益的通用符号
$\dot{A}_v$	电压增益
$\dot{A}_i$	电流增益
$\dot{A}_r$	互阻增益
$\dot{A}_g$	互导增益
$\dot{A}_{vs}$	源电压增益
$\dot{A}_{is}$	源电流增益
$\dot{A}_m$	中频增益的通用符号
$\dot{A}_{vH}$	高频电压增益
$\dot{A}_{vL}$	低频电压增益

$\dot{A}_{vm}$	中频电压增益
$\dot{A}_{vp}$	有源滤波电路的通带增益
$\dot{F}$	反馈系数的通用符号

三、半导体器件的参数符号

1. P 型、N 型半导体和 PN 结

C_B	势垒电容
C_D	扩散电容
C_j	结电容
V_T	温度电压当量

2. 二极管

VD	二极管
VD_Z	稳压二极管
I_D	二极管的电流
I_F	二极管的最大整流平均电流
I_R 、 I_S	二极管的反向电流、反向饱和电流
V_{on}	二极管的开启电压
V_{BR}	二极管的击穿电压
r_d	二极管导通时的动态电阻
r_z	稳压管工作在稳压状态下的动态电阻

3. 三极管

VT	三极管的通用符号
$B(b)$ 、 $C(c)$ 、 $E(e)$	三极管的基极、集电极、发射极
$V_{(BR)CBO}$	发射极开路时 b-c 间的击穿电压
$V_{(BR)CEO}$	基极开路时 c-e 间的击穿电压
V_{CES}	三极管的饱和管压降
$V_{BE(on)}$	三极管 b-e 间的开启电压
I_{CM}	集电极最大允许电流
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
$r_{bb'}$	基区体电阻
$r_{b'e}$	发射结的动态电阻
r_{ce}	c-e 间的动态电阻
$C_{b'e}$	集电结电容
$C_{b'e}$	发射结电容
α 、 $\bar{\alpha}$	三极管共基极交流电流放大系数、共基极直流电流放大系数
β 、 $\bar{\beta}$	三极管共发射极交流电流放大系数、共发射极直流电流放大系数
g_m	跨导
f_β	三极管共发射极接法电流放大系数的上限截止频率
f_α	三极管共基极接法电流放大系数的上限截止频率
f_T	三极管的特征频率（共发射极接法下使电流放大系数为 1 时的频率）

4. 场效应管

VT	场效应管的通用符号
G(g)、D(d)、S(s)	场效应管的栅极、漏极、源极
$V_{GS(off)}$	耗尽型场效应管的夹断电压
$V_{GS(th)}$	增强型场效应管的开启电压
C_{OX}	单位面积的栅极电容量
$V_{(BR)GSO}$	漏极开路时 g-s 间的击穿电压
$V_{(BR)DSO}$	栅源电压一定, d-s 间的击穿电压
I_{DSS}	结型场效应管 $V_{GS}=0$ 时的漏极电流
P_{DM}	漏极最大允许耗散功率
r_{ds}	d-s 间的动态电阻
C_{ds}	d-s 间等效电容
C_{gs}	g-s 间等效电容
C_{gd}	g-d 间等效电容
g_m	跨导

5. 集成运放

A_{od}	开环差模电压增益
K_{CMR}	共模抑制比
I_{IB}	输入偏置电流
I_{IO} 、 dI_{IO}/dT	输入失调电流、输入失调电流的温漂
V_{IO} 、 dV_{IO}/dT	输入失调电压、输入失调电压的温漂
r_{id}	差模输入电阻
r_{ic}	共模输入电阻
V_{Idmax}	最大差模输入电压
V_{Icmax}	最大共模输入电压
$BW(f_H)$	开环带宽 (—3dB 带宽)
$BW_G(f_T)$	单位增益带宽
S_R	转换速率 (压摆率)

四、其他符号

THD	非线性失真系数
K	热力学温度的单位
Q	静态工作点
T	温度, 周期
η	效率 (交流输出功率与电源提供的功率之比)
τ	时间常数
φ	相位角
D_n	电子扩散系数
μ_n	电子迁移率

第0章

绪 论

0.1 电子科学技术发展概述

电子科学技术是十九世纪末、二十世纪初发展起来的新兴技术，经过了一个多世纪的发展，它已成为当代科学技术发展的一个重要标志。

0.1.1 电子管时代

现代电子科学技术的诞生最早可追溯到 1883 年美国发明家爱迪生发现的热电子效应，1904 年弗莱明利用这个效应制成了电子二极管，并首先被用于无线电检波。1906 年，美国的德弗雷斯在弗莱明的二极管中放进了第三个电极——栅极而发明了电子三极管，从而建树了早期电子技术史上最重要的里程碑。

电子管在电子技术的发展史上曾立下过汗马功劳，1946 年，世界上第一台电子计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) 的成功研制是电子管应用的一个经典范例。然而电子管有着它自身无法克服的诸多缺陷，如成本高、制造繁、体积大、耗电多等。例如，ENIAC 使用了 17468 个电子管、70000 个电阻、10000 个电容、1500 个继电器、6000 个手动开关、500 万个焊点、占地 167 平方米、重达 30 吨、耗电 160 千瓦、价格 40 多万美元，是一个昂贵耗电的“庞然大物”。图 0.1 为工作人员操作 ENIAC 的场景，其繁杂程度可见一斑。

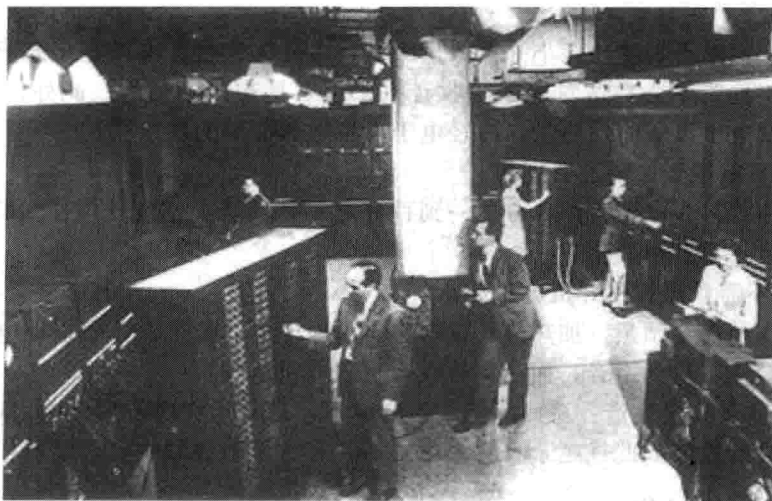
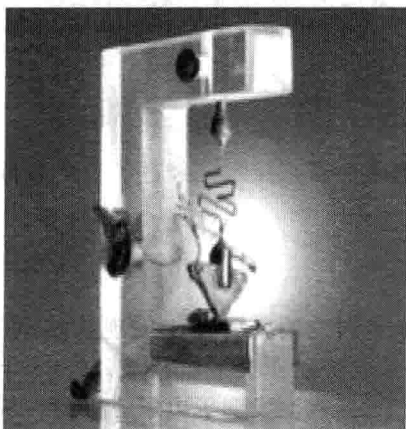


图 0.1 ENIAC 的工作场景

0.1.2 晶体管时代

电子科学技术真正突飞猛进的进步,是从晶体管发明以后开始的。1947年,美国贝尔实验室的威廉·肖克莱(William Shockley)、约翰·巴丁(John Bardeen)和沃特·布拉顿(Walter Brattain)发明了晶体管,见图0.2。晶体管的出现,是电子技术之树上绽开的一朵绚丽多彩的奇葩。尤其是PN结型晶体管的出现,开辟了电子器件的新纪元,引起了一场电子科学技术的革命。



(a) 世界上第一只晶体管



(b) 肖克莱(中坐)、巴丁(左站)和布拉顿

图0.2 世界上第一只晶体管及其发明者

晶体管同电子管相比具有如下优越性。

① 可靠性高,寿命长。

晶体管是用半导体材料制成的,其平均寿命一般比电子管长100倍到1000倍,称得上永久性器件的美名。而无论多么优良电子管,都将因阴极原子的变化和慢性漏气而逐渐劣化。此外,晶体管耐冲击、耐振动、不易损坏。

② 功耗低。

晶体管至少比电子管的功耗小一个数量级。一台晶体管收音机只要几节干电池就可以长达半年甚至一年地听下去,这对电子管收音机来说,是难以做到的。此外,晶体管发热量小,可显著降低电子设备的发热量,减轻电子设备散热冷却的要求。

③ 体积小、重量轻、装配密度高。

晶体管的体积只有电子管的十分之一到百分之一,其装配密度比电子管高1~2个数量级,从而可使电子设备小型化。

④ 晶体管不需预热,一开机就工作。

电子管工作前需要预热,加热灯丝以产生自由电子后才能工作,所以,电子管收音机开机后,得等一会才听得到声音。而晶体管收音机一开机就响。

⑤ 晶体管适于批量生产,从而降低了生产成本,且易于实现装配机械化和自动化。

因为晶体管的性能如此优越,自它诞生之后,在大多数领域中已逐渐取代了电子管。

0.1.3 集成电路时代

集成电路(Integrated Circuit, IC)的第一个样品是1958年在美国德克萨斯公司见诸