

■ 高 等 学 校 教 材

电子技术

DIANZI JISHU

许泽鹏 主编

赵敏玲 高立芳 李炳彦 李德元 王百灵 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等学校教材

电子技术

许泽鹏 主编

赵敏玲 高立芳 李炳彦 李德元 王百灵 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/许泽鹏主编;赵敏玲等编著. —北京:人民邮电出版社, 2004. 1

高等学校教材

ISBN 7-115-11827-2

I. 电... II. ①许...②赵... III. 电子技术—高等学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 096325 号

内 容 简 介

本书是在面向 21 世纪教学内容和课程体系改革研究的基础上, 根据教育部最新颁布的“电子技术”课程教学基本要求而编写的。本书的内容包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、波形产生和变换电路、直流稳压电源电路、晶闸管及应用、逻辑代数基础、门电路及其组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、半导体存储器、可程序逻辑器件以及 D/A 和 A/D 转换器等, 重点加强了线性集成电路和数字集成电路的内容, 以适应电子技术和信息技术不断深入发展的需要。各章均有丰富的例题、练习与思考题、习题, 并设有小结。

本书可作为高等学校非电类专业本科生教材, 也可作为大专生和自学考试、成人教育相关专业的教材, 还可供有关工程技术人员参考。

高等学校教材

电 子 技 术

◆ 主 编 许泽鹏

编 著 赵敏玲 高立芳 李炳彦 李德元 王百灵

责任编辑 刘 朋

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67129264

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 23.25

字数: 557 千字

2004 年 1 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-11827-2/TN · 2173

定价: 30.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

《电工技术》和《电子技术》是根据高等学校工科电工技术及电子技术课程教学基本要求编写的，是高等学校理工科非电类专业的教材。本书在编写时，对教材的内容做到起点适当，适应面广，更新内容，循序渐进。重点放在培养学生分析问题和解决问题的能力上，适当地引进电子技术中的新器件、新技术和新方法，使学生掌握基础知识，培养学生对电子技术的定性分析能力、综合应用能力和创新意识。教材中加强了基本概念和各种典型的基本单元电路的介绍。

《电子技术》一书的主要内容包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、波形发生和变换电路、直流稳压电源电路、晶闸管及应用、逻辑代数、门电路及组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、半导体存储器、可编程逻辑器件以及 A/D 和 D/A 转换器等。

随着电子技术与信息技术的不断发展，对教材的处理上，在保证学生掌握基本概念、基本原理和基本分析方法的前提下，适当精减分立元件的单元电路，重点加强线性集成电路和数字集成电路部分的内容，如常用的模拟集成电路、运算电路、集成功率放大电路、集成三端稳压器，以及数字电路中常用的集成门电路、加法器、编码器、译码器、集成计数器等。为加强学生对理论知识的理解和掌握，书中安排了较丰富的例题、练习与思考题、习题，每章后附有小结。为适应不同专业的需要，书中增加了部分选学内容，并在相应的章节前标有 * 号。本书的参考教学学时范围为 50 ~ 80 学时，其中实验和习题课等实践教学环节的学时一般不低于总学时的 25%。

本书的第 1、2、3、11 章由赵敏玲和许泽鹏编写，第 4、6、7、10 章由高立芳和李炳彦编写，第 9 章由李德元编写，第 5、8 章由王百灵编写。全书最后由许泽鹏统稿。在编写过程中，得到了西安理工大学自动化与信息工程学院领导的指导与帮助，同时也得到了电工教研室全体同志的帮助。他们提出了许多宝贵的修改意见和建议，编者在此对他们表示衷心的感谢。

限于编者的水平有限，书中难免有错误和不妥之处，希望读者和使用本书的师生批评指正，以便修正提高。

编 者

文字符号及其说明

A	电流的单位(安培), 运放器件
$\dot{A}, A$	放大倍数, 增益
$\dot{A}_u, A_u$	电压放大倍数, 电压增益
$\dot{A}_i, A_i$	电流放大倍数, 电流增益
$\dot{A}_{um}, A_{um}$	中频电压放大倍数
$\dot{A}_{us}, A_{us}$	源电压放大倍数
$\dot{A}_{uf}, A_{uf}$	闭环电压放大倍数
A_{od}	开环电压放大倍数
$\dot{A}_d, A_d$	差模电压放大倍数
$\dot{A}_c, A_c$	共模电压放大倍数
B	晶体管的基极
C	晶体管的集电极, 电容
$C_{b'c}$	基极—集电极电容
$C_{b'e}$	基极—发射极电容
C_E	发射极旁路电容
C_f	反馈电容
C_j	结电容
C_L	负载电容
C_o	输出电容
CP	时钟脉冲
CR	清零端
D	二极管, 场效应管的漏极, D 触发器输入端
D_Z	稳压管
D_{SR}	移位寄存器右移串行输入端
D_{SL}	移位寄存器左移串行输入端
E	晶体管的发射极
ET, EP	计数器的工作状态控制端
$EN, \overline{EN}$	使能端
$\dot{F}, F$	反馈系数, 输出函数
F_u	电压反馈系数
f	频率
f_0	谐振频率, 中心频率
f_β	晶体管共发射极的截止频率

f_{α}	晶体管共基极的截止频率
f_T	晶体管的特征频率
f_L	放大电路的下限截止频率
f_H	放大电路的上限截止频率
f_{BW}	通频带宽
G	场效应管的栅极, 逻辑门
G	电导
g_m	跨导
H	双口网络的混合参数
J, K	JK 触发器输入端
kHz	频率(千赫兹)
K_{CMR}	共模抑制比
K	热力学温度的单位
L	自感系数, 电感
$\overline{LD}$	计数器预置数端
M	互感系数, 互感
m, m_i	最小项
N	电子型半导体, 计数器计数输入
n	电子浓度
OC	集电极开路输出端
P	空穴型半导体
P	功率通用符号
p	瞬时功率
P_o	输出交流功率
P_{CM}	晶体管集电极最大耗散功率
P_{OM}	最大输出交流功率
P_T	晶体管耗散功率
P_E, P_V	电源提供的功率或电源消耗的功率
Q	放大电路的静态工作点, 触发器的输出
Q^n	触发器输出初态
Q^{n+1}	触发器输出次态
q	占空比
R	电阻通用符号
R, S	RS 触发器输入端, S 也是场效应管的源极
R_D, S_D	触发器直接置 0 端、置 1 端
R_i	放大电路的输入电阻
R_{if}	负反馈放大电路的输入电阻
R_{of}	负反馈放大电路的输出电阻

R_B	基极偏置电阻
R_{B1}, R_{B2}	分压式偏置放大电路的偏置电阻
R_C	放大电路的晶体管集电极电阻
R_E	晶体管发射极电阻, 共模反馈电阻
R_F, R_f	反馈电阻
R_L	负载电阻
R_G	栅极电阻
R_D	漏极电阻
R_S	源极电阻, 信号源内阻
$\overline{R_D}$	触发器和计数器的异步清零端
R_{off}	关门电阻
R_{on}	开门电阻
r_{id}, R_{id}	差动放大电路的差模输入电阻
r_{od}, R_{od}	差动放大电路的差模输出电阻
r_d	二极管的动态电阻, 漏极动态电阻
r_Z	稳压管的动态电阻
r_{be}	晶体管的输入电阻
r_{ce}	晶体管的输出电阻
R_w, R_p	可变电阻, 电位器
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
T	晶体管或场效应管, T 触发器
T	周期, 温度
T'	T' 触发器
TG	传输门
TSL	三态门
T_N	N 沟道场效应管
T_P	P 沟道场效应管
t_{pd}	平均延迟时间
t_f	下降时间
t_r	上升时间
t_{re}	恢复时间
t_w	脉冲宽度
t_{set}	建立时间
U, u	电压通用符号
U_{CBO}	发射极开路, 集电极—基极反向击穿电压
U_{CEO}	基极开路, 集电极—发射极反向击穿电压
U_{EBO}	集电极开路, 发射极—基极反向击穿电压

U_{CES}	晶体管的饱和管压降
U_{DS}	场效应管漏源电压
U_{GS}	场效应管栅源电压
U_{GD}	场效应管栅漏电压
$U_{GS(off)}, U_P$	场效应管夹断电压
$U_{SG(th)}, U_T$	场效应管开启电压
U_{TH}	高阈值电压
U_{TL}	低阈值电压
U_{IH}	输入高电平
U_{IL}	输入低电平
U_{OH}	输出高电平
U_{OL}	输出低电平
U_{on}	导通电压
U_{BB}	基极直流电源
U_{CC}	放大电路直流电源
U_{DD}	场效应管放大电路漏极电源
U_{SS}	场效应管放大电路源极电源
U_{EE}	差动放大电路公共射极电源
U_R	参考电压, 基准电压
U_T	温度电压当量, 电压比较器阈值电压
U_Z	稳压管的稳定电压
U_Q	电压静态值
U_{BQ}	静态基极电位
U_{CQ}	静态集电极电位
U_{CEQ}	晶体管的静态管压降
U_D	二极管的管压降
U_+, u_+	运放同相端的输入电压
U_-, u_-	运放反相端的输入电压
$\dot{U}_f, u_f$	反馈电压
$U_o, \dot{U}_o, u_o$	输出电压
$U_i, \dot{U}_i, u_i$	输入电压
$U_s, \dot{U}_s, u_s$	信号源电压
u_{id}	差模输入电压
u_{ic}	共模输入电压
Δu_{id}	差模输入电压变化量
Δu_{ic}	共模输入电压变化量
$\Delta u_{od}, u_{od}$	差模输出电压变化量
$\Delta u_{oc}, u_{oc}$	共模输出电压变化量

I, i	电流通用符号
I_B, I_{BQ}	基极直流电流, 静态电流
I_C, I_{CQ}	集电极直流电流, 静态电流
I_E, I_{EQ}	发射极直流电流, 静态电流
i_B	包含直流量的瞬时基极电流总量
i_C	包含直流量的瞬时集电极电流总量
i_E	包含直流量的瞬时发射极电流总量
I_b, I_c, I_e	交流电流有效值
$\dot{I}_b, \dot{I}_c, \dot{I}_e$	交流电流复数(相量)值
$\Delta I_B, \Delta I_C, \Delta I_E$	直流电流变化量
$\Delta i_B, \Delta i_C, \Delta i_E$	电流瞬时值的变化量
I_i	交流输入电流
I_o	交流输出电流
I_R, I_{REF}	参考(基准)电流
I_D, i_D	二极管电流, 漏极电流
I_Z	稳压管电流
I_F, i_f	反馈电流, 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, 场效应管的源极电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
I_{CBO}	发射极开路 B-C 间的反向电流
I_{CEO}	基极开路 C-E 间的穿透电流
I_{DO}	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
I_{IH}	输入高电平电流
I_{IL}	输入低电平电流
I_{OH}	输出高电平电流
I_{OL}	输出低电平电流
I_{IS}	输入短路电流
I_L, i_L	负载电流
$\beta, \bar{\beta}$	共发射极交流或直流电流放大系数
$\alpha, \bar{\alpha}$	共基交流或直流电流放大系数
τ	时间常数
φ	相位差角
η	效率
ω	角频率
θ	导通角

目 录

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 什么是半导体	1
1.1.2 本征半导体	1
1.1.3 掺杂半导体	3
1.1.4 PN 结及其单向导电性	4
1.2 半导体二极管	6
1.2.1 半导体二极管的基本结构	6
1.2.2 半导体二极管的伏安特性	6
1.2.3 半导体二极管的主要参数	7
1.2.4 稳压二极管	9
1.2.5 其他类型的二极管	10
1.3 晶体管	11
1.3.1 晶体管的结构和类型	11
1.3.2 电流分配及放大原理	12
1.3.3 晶体管的特性曲线	13
1.3.4 晶体管的主要参数	15
1.3.5 温度对晶体管性能参数的影响	17
1.3.6 光电三极管	17
1.4 场效应晶体管	19
1.4.1 结型场效应管	19
1.4.2 绝缘栅场效应管	23
1.4.3 主要参数	26
小结	27
习题	28
第 2 章 基本放大电路	31
2.1 基本共射放大电路	31
2.1.1 电路的组成及各元器件的作用	31
2.1.2 直流通路和交流通路	32
2.2 放大电路的静态分析	33
2.2.1 用计算法确定静态工作点	34

2.2.2 用图解法确定静态工作点	34
2.3 放大电路的动态分析	37
2.3.1 图解法的动态分析	37
2.3.2 微变等效电路法	41
2.3.3 动态参数的分析	43
2.4 静态工作点稳定的放大电路——分压式偏置电路	47
2.4.1 温度对静态工作点的影响	47
2.4.2 分压式偏置电路	47
2.5 射极输出器	50
2.6 场效应管基本放大电路	52
2.6.1 自偏压电路	52
2.6.2 分压式自偏压放大电路	53
2.6.3 场效应管放大电路的微变等效电路分析法	54
2.7 多级放大电路与放大电路的频率特性	56
2.7.1 级间耦合方式	56
2.7.2 多级放大电路的动态分析	57
2.7.3 放大电路的频率特性	59
2.8 差动放大电路	62
2.8.1 直接耦合放大电路及其特殊问题	62
2.8.2 典型差动放大电路	63
2.8.3 差动放大电路的输入输出方式	66
2.9 互补对称功率放大电路	68
2.9.1 功率放大电路的特点和分类	68
2.9.2 互补对称功率放大电路	70
2.9.3 甲乙类互补对称功率放大电路	73
*2.9.4 集成功率放大电路	75
2.10 集成运算放大器概述	76
2.10.1 集成运算放大器的结构特点	76
2.10.2 集成运算放大器的组成及各部分的作用	77
2.10.3 集成运算放大器的主要参数	78
2.10.4 理想集成运算放大器及两个工作区域	79
2.11 放大电路中的负反馈	80
2.11.1 反馈的概念	81
2.11.2 负反馈的基本类型	81
2.11.3 反馈电路的方框图及放大倍数的一般表达式	87
2.11.4 负反馈对放大电路性能的影响	88
小结	92
习题	94

第3章 集成运算放大电路	104
3.1 基本运算电路	104
3.1.1 概述	104
3.1.2 比例运算电路	105
3.1.3 加法运算电路	107
3.1.4 减法运算电路	108
3.1.5 积分运算电路	110
3.1.6 微分运算电路	112
3.2 集成运放在信号处理中的应用	113
3.2.1 有源滤波电路	113
*3.2.2 采样保持电路	115
3.2.3 电压比较器	116
3.3 集成运放的使用	120
3.3.1 集成运放的选用	120
3.3.2 保护措施	120
3.3.3 提高输出电压和扩展输出电流	121
小结	122
习题	122
第4章 波形发生电路	127
4.1 正弦波发生器	127
4.1.1 产生自激振荡的条件	127
4.1.2 RC 正弦波振荡电路	129
4.1.3 LC 正弦波振荡电路	130
4.1.4 石英晶体振荡器	133
*4.2 非正弦波发生器	135
4.2.1 矩形波发生器	135
4.2.2 三角波发生器	137
4.2.3 锯齿波发生器	138
小结	139
习题	139
第5章 直流稳压电源	142
5.1 直流电源的组成及各部分的作用	142
5.2 整流电路	142
5.2.1 单相半波整流电路	143
5.2.2 单相桥式整流电路	144
*5.2.3 三相桥式整流电路	147

5.3 滤波电路	150
5.3.1 电容滤波电路	150
5.3.2 其他形式的滤波电路	152
5.4 稳压二极管稳压电路	154
5.4.1 稳压管稳压电路的组成	155
5.4.2 稳压原理	155
5.4.3 稳压管 D_Z 及限流电阻 R 的选择	156
5.5 串联型稳压电路	158
5.5.1 串联型稳压电路的工作原理	158
5.5.2 三端稳压器及应用	160
*5.6 开关型稳压电路简介	163
小结	165
习题	166
*第 6 章 晶闸管及其应用	170
6.1 晶闸管	170
6.1.1 基本结构	170
6.1.2 工作原理	171
6.1.3 伏安特性	172
6.1.4 主要参数	173
6.2 单相可控整流电路	175
6.2.1 单相半波可控整流电路	175
6.2.2 单相半控桥式整流电路	178
6.3 晶闸管的保护	180
6.3.1 晶闸管的过电流保护	180
6.3.2 晶闸管的过电压保护	181
6.4 单结晶体管触发电路	182
6.4.1 单结晶体管的结构和伏安特性	182
6.4.2 单结晶体管振荡电路	184
6.4.3 单结晶体管同步触发电路	186
6.5 晶闸管的应用	189
6.5.1 晶闸管交流调压电路	189
6.5.2 晶闸管直流调速系统	190
6.5.3 晶闸管逆变电路	193
小结	193
习题	194
第 7 章 逻辑代数基础	196
7.1 概述	196

7.1.1	模拟量和数字量	196
7.1.2	脉冲信号	196
7.1.3	数制和码制	197
7.2	逻辑代数中的三种基本运算	202
7.2.1	逻辑运算	202
7.2.2	三种基本逻辑运算	202
7.2.3	常用的复合逻辑运算	204
7.3	逻辑代数及公式化简法	205
7.3.1	逻辑代数的基本公式	205
7.3.2	逻辑代数的常用公式	206
7.3.3	逻辑代数的基本定理	207
7.3.4	逻辑函数的公式化简法	208
7.4	逻辑函数卡诺图化简法	211
7.4.1	逻辑函数的最小项及最小项表达式	211
7.4.2	逻辑函数的卡诺图表示法	212
7.4.3	用卡诺图化简逻辑函数	214
7.4.4	具有无关项的逻辑函数的化简	216
小结		217
习题		217
第 8 章	门电路及组合逻辑电路	220
8.1	最简单的“与”、“或”、“非”门电路	220
8.1.1	二极管“与”门	220
8.1.2	二极管“或”门	221
8.1.3	三极管“非”门	222
8.1.4	复合逻辑门电路	223
8.2	TTL 门电路	225
8.2.1	TTL “与非”门电路	225
8.2.2	集电极开路“与非”门	228
8.2.3	三态输出“与非”门电路	230
* 8.3	MOS 门电路	231
8.3.1	NMOS 门	232
8.3.2	CMOS 门	233
8.4	组合逻辑电路的分析与设计方法	235
8.4.1	组合逻辑电路的分析方法	235
8.4.2	组合逻辑电路的设计方法	238
8.5	若干常用组合逻辑电路	239
8.5.1	半加器和全加器	240
8.5.2	编码器	242

8.5.3 译码器及数字显示	245
8.5.4 数据选择器	252
8.5.5 数值比较器	255
8.5.6 应用举例	257
小结	259
习题	260
第 9 章 触发器和时序逻辑电路	266
9.1 概述	266
9.1.1 时序电路的特点	266
9.1.2 时序电路分类	266
9.1.3 时序电路逻辑功能表示常用方式	267
9.2 触发器	269
9.2.1 基本 RS 触发器	270
9.2.2 钟控 RS 触发器	271
9.2.3 主从型 JK 触发器	273
9.2.4 维持—阻塞型 D 触发器	276
9.2.5 触发器逻辑功能的转换	277
9.3 寄存器	279
9.3.1 数码寄存器	279
9.3.2 移位寄存器	279
9.4 计数器	283
9.4.1 二进制计数器	283
9.4.2 十进制计数器	284
9.4.3 集成计数器	287
9.4.4 任意进制计数器	290
9.4.5 计数器设计	290
9.5 555 定时器及其应用	295
9.5.1 集成 555 定时器	295
9.5.2 555 定时器组成的单稳态触发器	296
9.5.3 555 定时器组成的多谐振荡器	297
9.5.4 555 定时器组成的施密特触发器	298
9.6 数字电路应用实例	299
9.6.1 机床自动进给数控装置	299
9.6.2 数字测速系统	301
小结	302
习题	303
* 第 10 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	309
10.1 概述	309

10.2 只读存储器 ROM	310
10.2.1 ROM 的结构框图	310
10.2.2 ROM 的工作原理	310
10.2.3 可编程只读存储器 PROM	312
10.2.4 可擦除的可编程只读存储器 EPROM	314
10.3 随机存储器 RAM	317
10.3.1 RAM 的结构和工作原理	317
10.3.2 存储器容量的扩展	320
10.3.3 用存储器实现逻辑函数	321
10.4 可编程逻辑器件 PLD	323
10.4.1 可编程逻辑阵列 PLA	324
10.4.2 可编程阵列逻辑 PAL	325
10.4.3 通用阵列逻辑 GAL	325
小结	326
习题	327
第 11 章 数/模转换和模/数转换	328
11.1 概述	328
11.2 D/A 转换器	329
11.2.1 R-2R 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	329
11.2.2 D/A 转换器的主要性能指标	331
11.2.3 集成 D/A 转换器 5G7520	332
11.3 A/D 转换器	334
11.3.1 采样保持和量化编码	334
11.3.2 并联比较型 A/D 转换器和逐次逼近型 A/D 转换器	335
11.3.3 双积分 A/D 转换器	338
11.3.4 A/D 转换器的主要技术性能指标	341
小结	341
习题	342
附录一 半导体器件型号命名	343
附录二 常用半导体器件的参数	344
附录三 常用逻辑符号对照表	349

第 1 章 半导体器件

半导体器件是用半导体材料制成的电子器件。半导体器件具有体积小、重量轻、功耗低、寿命长、工作可靠等优点，在各个领域得到了广泛的应用。

本章从介绍有关半导体的基本知识开始，然后介绍常用的半导体二极管、晶体管和场效应管的基本结构、工作原理、特性曲线及主要参数等，为后面学习各种电子电路打下基础。

1.1 半导体基础知识

1.1.1 什么是半导体

自然界的物质按导电能力可分为导体、绝缘体和半导体三大类。导体如金、银、铜、铁、铝等金属，其导电能力强。绝缘体如橡胶、塑料、石英、陶瓷、云母等，其导电能力极差，尽管加很高的电压，电流也近似为零。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间，半导体材料主要有硅、锗、硒和一些氧化物、硫化物等。

半导体的导电能力受外界条件影响很大，主要表现在：

(1) 热敏性

半导体的导电能力对温度很敏感。当环境温度升高时，其导电能力增强。利用这种特性可以制成各种热敏器件，如热敏电阻等，可用来检测温度的变化以及对电路进行控制等。

(2) 光敏性

半导体的导电能力随光照的不同而不同。当光照加强时，其导电能力增强。利用这种特性可以制成各种光敏器件，如光电管、光电池等。

(3) 掺杂特性

如果在纯净的半导体中掺入微量的某些有用杂质，其导电能力将大大增加，可以增加几十万倍甚至几百万倍。利用这种特性制成了半导体二极管、晶体管、场效应管及晶闸管等很多不同用途的半导体器件。

半导体的导电特性是由其原子结构决定的。下面以常用的半导体材料硅和锗为例，简单介绍一下半导体的内部结构和导电机理。

1.1.2 本征半导体

纯净的、具有晶体结构的半导体称为本征半导体。硅和锗的原子结构如图 1-1 所示。硅(Si)原子核外有分层分布的 14 个电子，从内到外各层电子数目分别为 2、8、4；锗(Ge)原子