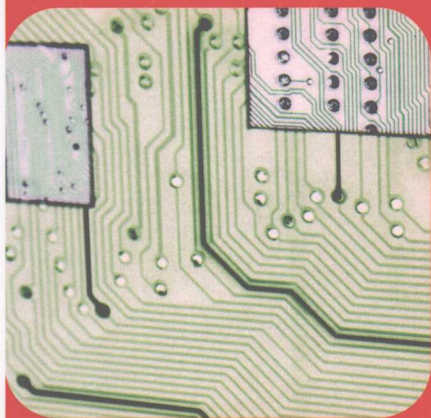




高职高专精品课程规划教材
GAOZHIGAOZHUANJINGPINKECHENGGUIHUAJIAOCAI



模拟电子技术基础

刘慰平◎主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

高职高专精品课程规划教材

模拟电子技术基础

刘慰平 主编

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础 / 刘慰平主编. — 北京: 北京理工大学出版社, 2008.5
高职高专精品课程规划教材
ISBN 978-7-304-1385-1

I. 模… II. 刘… 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(2008)第008312号

出版发行 / 北京理工大学出版社
社址 / 北京市海淀区中关村南大街2号
邮编 / 100081
电话 / (010) 88214775 (办公室) 88214770 (编辑中心) 88214784 (发行部)
网址 / <http://www.bjpress.com.cn>
经销 / 全国各地新华书店
印刷 / 北京圣翔印刷厂
本 / 787毫米×960毫米 1/16
张 / 17.75
字 / 357千字
版 / 2008年2月第1版
印 / 2008年2月第1次印刷
定价 / 26.80元

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

封面设计: 李林

内 容 简 介

本书汲取了当前高等职业教育在教学过程中以及探索培养应用型人才方面取得的成功经验,减少烦琐理论推导,注重结论和实践的应用,以培养能力为主,以实际应用为原则,更好地满足岗位需要。全书共分9章,内容包括半导体二极管、半导体三极管及其基本放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器及其应用、功率放大器、正弦波振荡器、直流稳压电源、Multisim 2001 电路仿真软件的应用。为方便教学,各章均配有小结、仿真实验、自我检测题和习题。

本书可作为高等职业教育电气、电子、自动化、通信信息、计算机、汽车电子、机电一体化等专业基础课教材,也可供从事电子技术的工程技术人员自学与参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/刘慰平主编. —北京:北京理工大学出版社,2008.2

高职高专精品课程规划教材

ISBN 978-7-5640-1385-1

I. 模… II. 刘… III. 模拟电路-电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 008315 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米×960 毫米 1/16

印 张 / 17.75

字 数 / 357 千字

版 次 / 2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷

印 数 / 1~6000 册

定 价 / 26.80 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 周瑞红

图书出现印装质量问题,本社负责调换

《模拟电子技术基础》编写委员会

主 编 刘慰平

副 主 编 朱永金 林金泉 钟 立

编写人员 (按姓氏笔划为序)

王建军 王瑞勇 闫佩君

许高骅 吴 侃 邱富军

周君芝 黄晓鹏 曾友州

主 审 张渠扬

前 言

本书依据教育部《高职高专教育专业人才培养目标及规划》的要求, 密切结合当前高职高专教育实际, 融入了高等职业教育多年的教学改革与实践的成果, 根据高职高专教育模拟电子技术基础课程教学基本要求编写而成。本书可作为高职高专电气、电子、自动化、通信信息、计算机、汽车电气、机电一体化等的专业基础课教材, 也可供从事电子技术的工程技术人员自学与参考。

本书以现代电子技术的基本知识与基本理论为主线, 以培养学生创新精神和实践能力为核心, 注重实用。在内容安排上, 本着深入浅出的原则, 突出基本概念、基本原理、基本方法, 文字精练、内容详实, 以岗位需求和培养学生动手能力为目的, 重在理论的应用。各章后均有小结、仿真实验、测试题和练习题, 方便教学。

本书共分 9 章, 第 1 章半导体基础知识, 介绍二极管的结构与特性, 主要讲解二极管的应用; 第 2 章基本放大电路, 介绍三极管的结构和及工作特性, 主要讲解三极管的放大原理, 以及由三极管组成的基本放大电路; 第 3 章负反馈放大电路, 着重介绍反馈的概念、分类、判断负反馈的方法及负反馈对放大电路的影响; 第 4 章集成运算放大电路, 重点介绍差动放大电路的结构、特性和集成运算放大器在信号运算方面、信号处理方面的应用。第 5 章功率放大电路, 主要讲解应用较多的互补对称功率放大器, 并介绍集成功放的典型应用。第 6 章正弦波振荡电路, 重点讲述正弦波产生的基本条件和由 RC 、 LC 组成的正弦波振荡器电路。第 7 章直流稳压电路, 讲述单相整流电路的工作原理, 滤波电路的作用和工作原理。介绍了三端集成稳压器的的工作原理及使用。第 8 章电力电子电路, 主要介绍晶闸管的基本工作原理、主要参数和伏安特性, 及单结晶体管触发电路。第 9 章 Multisim 2001 电路仿真软件的应用。Multisim 2001 电路仿真软件在电子技术教学中重要性已成为大家的共识。本章主要介绍该软件的结构, 使用方法, 通过仿真实验介绍了直流分析、交流分析、瞬态分析、直流扫描和参数扫描分析方法。

由于编写时间仓促, 书中难免有错误和不妥之处, 敬请使用本教材的师生和读者给予批评指正。

模拟电子技术基础符号说明

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
I_b	表示交流复数值
ΔI_B	表示直流变化量
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 、 $\dot{U}_f$	反馈电流、电压
i_i 、 $\dot{U}_i$	交流输入电流、电压
i_o 、 $\dot{U}_o$	交流输出电流、电压
I_o 、 U_o	电流、电压静态值
I_R 、 U_R 、 I_{REF} 、 U_{REF}	参考电流、电压
i_P 、 u_P	集成运放同相输入电流、电压
i_N 、 u_N 、 $I_{B(AV)}$ 、 i_b	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
Δu_{ic}	共模输入电压增量

Δu_{id}	差模输入电压增量
$\dot{U}_S$	交流信号源电压
U_T	电压比较器的阈值电压
U_{OH}	电压比较器的输出高电平
U_{OL}	电压比较器的输出低电平
V_{BB}	基极回路电源电压
V_{CC}	集电极回路电源电压
V_{DD}	漏极回路电源电压
V_{EE}	发射极回路电源电压
V_{SS}	源极回路电源电压
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_V	电源消耗的功率
3. 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
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_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_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_o	放大电路的输出电阻
R_{of}	负反馈放大电路的输出电阻
R_s	信号源内阻
5. 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, $\dot{A}_u = \dot{U}_o / \dot{U}_i$
$\dot{A}_{uh}$	高频电压放大倍数
$\dot{A}_{ul}$	低频电压放大倍数
$\dot{A}_{um}$	中频电压放大倍数
$\dot{A}_{up}$	有源滤波电路的通带放大倍数
$\dot{A}_{us}$	考虑信号源内阻时的电压放大倍数的通用符号, $\dot{A}_{us} = \dot{U}_o / \dot{U}_s A$
$\dot{A}_{uu}$	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; A_{ui} 、 A_{ii} 、 A_{iu} 依此类推
F	反馈系数通用符号
$\dot{F}_{uu}$	第一个下标为反馈量, 第二个下标为输出量。 $\dot{F}_{uu} = \dot{U}_f / \dot{U}_o$; $\dot{F}_{ui}$ 、 $\dot{F}_{ii}$ 、 $\dot{F}_{iu}$ 依此类推

三、器件参数符号

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
N	电子型半导体
n	电子浓度
n_{PO}	PN 结 P 区达到动态平衡时的电子浓度
P	空穴型半导体
p	空穴浓度
U_{b0}	PN 结平衡时的位垒
U_T	温度的电压当量

2. 二极管

 D D I_D $I_{D(AV)}$ I_F I_R I_S r_d r_z U_{on} $U_{(BR)}$

3. 双极型管

 T b c e C_{ob} C_{μ} C_{π} f_{β} f_{α} f_T g_m h_{11e} 、 h_{12e} 、 h_{21e} 、 h_{22e} I_{CBO} I_{CEO} I_{CM} P_{CM} $r_{bb'}$ $r_{b'e}$ $U_{(BR)CES}$ $U_{(BR)CBO}$ $U_{(BR)CER}$

二极管

稳压二极管

二极管的电流

二极管整流平均电流

二极管的最大整流平均电流

二极管的反向电流

二极管的反向饱和电流

二极管导通时的动态电阻

稳压二极管工作在稳压状态下的动态电阻

二极管的开启电压

二极管的击穿电压

晶体管

基极

集电极

发射极

共基接法时晶体管的输出电容

混合 π 等效电路中集电结的等效电容混合 π 等效电路中发射结的等效电容

晶体管共射接法电流放大系数的上限截止频率

晶体管共基接法电流放大系数的上限截止频率

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

跨导

晶体管共射接法 h 参数等效电路的四个参数发射极开路时 $b-c$ 间的反向电流基极开路时 $c-e$ 间的穿透电流

集电极最大允许电流

集电极最大允许耗散功率

基区体电阻

发射结微变等效电阻

 $b-e$ 间短路时 $b-c$ 间的击穿电压发射极开路时 $b-c$ 间的击穿电压 $b-e$ 间加电阻时 $c-e$ 间的击穿电压

$U_{(BR)CEO}$	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
α	晶体管共基交流电流放大系数
$\bar{\alpha}$	晶体管共基直流电流放大系数
β	晶体管共射交流电流放大系数
$\bar{\beta}$	晶体管共射直流电流放大系数
4. 单极型管	
T	场效应管
d	漏极
g	栅极
s	源极
C_{ds}	d-s 间的等效电容
C_{gs}	g-s 间的等效电容
C_{gd}	g-d 间的等效电容
g_m	跨导
I_D	漏极电流
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_S	场效应管的源极电流
P_{DM}	漏极最大允许耗散功率
r_{ds}	d-s 间的微变等效电阻
$U_{GS(off)}$ 或 U_P	耗尽型场效应管的夹断电压
$U_{GS(th)}$ 或 U_T	增强型场效应管的开启电压
5. 集成运放	
A	集成运放
A_{od}	开环差模增益
dI_{IO}/dT	I_{IO} 的温漂
dU_{IO}/dT	U_{IO} 的温漂
f_c	单位增益带宽
f_h	-3 dB 带宽
I_{IB}	输入级偏置电流
I_{IO}	f_c 输入失调电流
K_{CMR}	共模抑制比

r_{id}	差模输入电阻	r_{id}
SR	转换速率	SR
U_{IO}	输入失调电压	U_{IO}
四、其他符号		
D	非线性失真系数	D
K	热力学温度的单位	K
N_F	噪声系数	N_F
Q	静态工作点	Q
S	整流电路的脉动系数	S
S_r	稳压电路中的稳压系数	S_r
T	温度, 周期	T
η	效率, 等于输出功率与电源提供的功率之比	η
τ	时间常数	τ
φ	相位角	φ

目 录

第 1 章 电子元件基本知识

学习要点	(1)
1.1 半导体基本知识	(1)
1.2 半导体二极管	(5)
1.3 半导体三极管	(10)
1.4 场效应管	(16)
本章小结	(21)
仿真实验 实验 1 半导体元件的识别与检测	(21)
自我检测题	(23)
习题 1	(24)

第 2 章 基本放大电路

学习要点	(26)
2.1 放大电路的基本知识	(26)
2.2 放大电路的分析方法	(32)
2.3 常见的放大电路	(40)
2.4 放大器的频率特性	(47)
2.5 多级放大电路	(51)
本章小结	(54)
仿真实验 实验 2 基本放大电路	(55)
仿真实验 实验 3 分压式共发射极放大电路	(56)
仿真实验 实验 4 共集放大电路	(57)
自我检测题	(57)
习题 2	(59)

第 3 章 负反馈放大电路

学习要点	(66)
------	------

3.1 反馈的基本概念	(66)
3.2 反馈类型及判断	(68)
3.3 负反馈对放大电路性能的影响	(78)
3.4 深度负反馈放大电路的分析	(83)
本章小结	(86)
仿真实验 实验 5 负反馈对放大器性能的影响	(86)
自我检测题	(89)
习题 3	(90)
第 4 章 集成运算放大器	(96)
(2) 学习要点	(96)
(01) 4.1 直接耦合放大电路中存在的主要问题	(96)
(81) 4.2 差分放大电路	(98)
(15) 4.3 常见的几种改进型差分电路	(102)
(15) 4.4 集成运算放大器	(104)
(85) 4.5 理想集成运算放大器与实际集成运算放大器	(111)
(15) 4.6 集成运算放大器在实际中的应用	(113)
本章小结	(127)
(85) 仿真实验 实验 6 差分放大器的研究	(128)
(85) 仿真实验 实验 7 集成运算放大器的应用 (1)	(129)
(85) 仿真实验 实验 8 集成运算放大器的应用 (2)	(132)
(85) 自我检测题	(134)
(01) 习题 4	(135)
第 5 章 功率放大电路	(140)
(15) 学习要点	(140)
(22) 5.1 功率放大电路概述	(140)
(82) 5.2 甲类功率放大电路	(143)
(72) 5.3 互补对称功率放大电路	(147)
(72) 5.4 实际功率放大电路分析	(155)
(82) 本章小结	(162)
仿真实验 实验 9 互补对称功率放大器的测试	(163)
(80) 自我检测题	(165)
(80) 习题 5	(166)

第 6 章 正弦波振荡电路	(170)
学习要点	(170)
6.1 振荡的基本概念	(170)
6.2 RC 振荡电路	(172)
6.3 LC 振荡电路	(173)
本章小结	(178)
仿真实验 实验 10 RC 桥式振荡电路	(179)
自我检测题	(179)
习题 6	(181)
第 7 章 直流稳压电源	(183)
学习要点	(183)
7.1 整流电路	(183)
7.2 滤波电路	(189)
7.3 直流稳压电路	(192)
本章小结	(197)
仿真实验 实验 11 直流稳压电源	(199)
自我检测题	(199)
第 8 章 电力电子电路	(202)
学习要点	(202)
8.1 概述	(202)
8.2 晶闸管的结构和工作原理	(206)
8.3 单向可控整流	(212)
8.4 触发电路	(218)
8.5 应用举例	(222)
本章小结	(223)
仿真实验 实验 12 单相交流调压电路	(224)
自我检测题	(228)
习题 8	(229)
第 9 章 Multisim 2001 电路仿真软件的应用	(230)
学习要点	(230)

第1章 电子元器件基本知识

【学习要点】

- (1) 了解本征半导体的基本特点和载流子的运动方式;了解三极管的电流分配关系;了解场效应管的符号和工作原理。
- (2) 理解二极管的单向导电性;理解三极管的放大作用实质。
- (3) 掌握二极管的单向导电性的判断方法;掌握三极管放大状态的工作条件。

1.1 半导体基本知识

通常我们能见到的物质按导电能力强弱,可分为导体、半导体和绝缘体。所谓导体,指的是导电性能比较好的材料,比如我们常见的金、银、铜、铁等。绝缘体是导电性能很差的材料,比如橡胶、陶瓷等。半导体,是一种导电能力介于导体和绝缘体之间的物质,常见的半导体材料有硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓等。半导体材料还有一些独特的性质:热敏特性、光敏特性、掺杂特性。利用半导体材料的这些性质,人们制成了光电二极管、光电三极管、光敏电阻、热敏电阻、集成电路等各种各样的半导体器件。

1.1.1 半导体的特点

1. 本征半导体

所谓本征半导体就是结构完整的、纯净的不掺杂任何杂质的半导体。自然界所有的物质都是由原子构成,原子分原子核和电子两部分,带负电的电子围绕带正电的原子核旋转。在电子器件中,用得最多的半导体材料是硅和锗,硅和锗都是四价元素。以硅为例加以说明:围绕硅原子核旋转的电子共有14个,分布示意图如图1-1(a)所示。最外层轨道上有四个电子,导电性能主要由它们来决定,称为价电子。

每个原子的4个价电子不仅受自身原子核的束缚,也与相邻的4个原子发生联系,这些价电子一方面围绕着自身原子核旋转,另外也会同时出现在相邻原子所属轨道上。这样,相邻的原子就被共有的价电子联系在一起,称为共价键结构。如图1-1(b)所示。共价键中的电子不是自由的,不能自由运动。

2. 自由电子和空穴

我们知道,金属之所以具有良好的导电性能,是因为金属中有大量可以自由移动的电子。

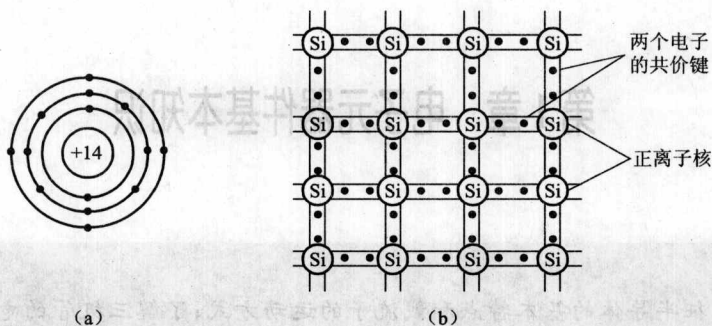


图 1-1 硅原子和硅材料的晶体结构

(a) 硅原子模型; (b) 硅材料的晶体结构

而上述讨论可以发现,共价键中的电子不是自由的,不能自由运动。即本征半导体是不导电的。

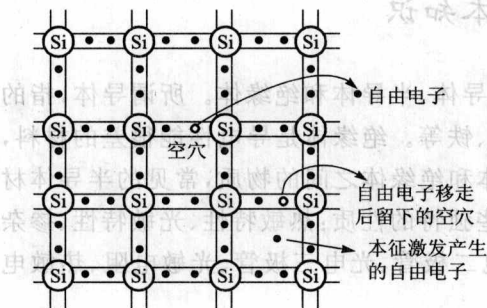


图 1-2 本征激发产生自由电子空穴对示意图

当温度升高或受光照时,由于本征半导体共价键对电子的约束能力不像绝缘体那样紧,价电子从外界获得能量,少数价电子会挣脱共价键的束缚,变成了自由电子,同时还产生相同数量的空位,这个空位称为空穴。空穴的运动是自由的,而且带正电,因此空穴与自由电子一样可以参与导电,它们是成对出现的,所以称它们是电子-空穴对。我们将自由电子和空穴统称为载流子。图 1-2 表明了产生自由电子和空穴的过程,这个过程叫作本征激发,又称热激发。

如果半导体中自由电子和空穴相遇,自由电子填补到空穴的位置上去,自由电子和空穴就成对地消失了,这个现象叫复合。本征激发和复合是一对逆过程。当温度升高或光照强度增加时,本征激发与复合会达到一个动态平衡,即激发等于复合,半导体内将维持一定数量的载流子。如果温度升高或光照变强,则激发加剧,半导体内载流子增多,半导体的导电性能就会提高,利用半导体的这一特性可以制成测量温度和光强的器件。

3. 杂质半导体

本征半导体内部,自由电子和空穴总是成对出现,因此本征半导体对外呈现电中性。热激发虽然能产生少量自由电子,但是本征半导体的导电性能还是很差,且对温度变化很敏感,因此,不能直接用来制造半导体器件。如果在本征半导体中掺入少量的杂质,半导体的导电能力就会发生显著变化,这样构成的半导体称为杂质半导体。我们常见的二极管、三极管、场效应管等半导体器件都是由杂质半导体制成的。根据掺入杂质的不同,半导体可分为 N 型半导体