

★高等院校 21 世纪新视野教材★

李 锋 刘晓魁 主编

模拟 电子技术

湖南大学出版社

0-43

52



模拟 电子技术

模 拟 电 子 技 术

主 编	李 锋	刘晓魁	
编 委	陆秀令	李 锋	谭耀辉
	李圣清	熊 翔	曾永和
	汤林峰	罗去霞	朱国平
	陈 伟	凌 涛	

湖 南 大 学 出 版 社

2004 年 · 长 沙

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术/李锋, 刘晓魁主编. —长沙: 湖南大学出版社, 2004. 1

ISBN 7-81053-714-8

I. 模... II. ①李... ②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 (2004) 第 004580 号

模拟电子技术

Moni Dianzi Jishu

李 锋 刘晓魁 主编

-
- | | | | |
|-------------------------------|-----------------|----|--------------|
| ☐ 责任编辑 | 李雄盛 | | |
| ☐ 封面设计 | 张 毅 | | |
| ☐ 出版发行 | 湖南大学出版社 | | |
| | 社址 长沙市岳麓山 | 邮码 | 410082 |
| | 电话 0731-8821315 | | 0731-8821691 |
| ☐ 经 销 | 湖南省新华书店 | | |
| ☐ 印 装 | 长沙环境保护学校印刷厂 | | |
-
- | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|--|-------|-----------------------------|-------|
| ☐ 开本 | 787×1092 16 开 | ☐ 印张 | 17.75 | ☐ 字数 | 410 千 |
| ☐ 版次 | 2004 年 1 月第 1 版 | ☐ 2004 年 1 月第 1 次印刷 | | | |
| ☐ 印数 | 1~5 000 册 | | | | |
| ☐ 书号 | ISBN 7-81053-714-8/TN·12 | | | | |
| ☐ 定价 | 23.00 元 | | | | |
-

(湖南大学版图书凡有印装差错, 请向承印厂调换)

本书常用符号说明

S	开关
S_R	转换速率
S_r	稳压系数
s	复频率变量
s	场效应管源极
T	温度
T	双口有源器件(半导体三极管、场效应管、晶体管)
T_r	变压器
t	时间
$U、u$	电压(下标含义与 $I、i$ 的下标含义相同)
$U_{(BR)CBO}$	发射极开路,集电极—基极反向击穿电压
$U_{(BR)CEO}$	基极开路,集电极—发射极反向击穿电压
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路,发射极—基极反向击穿电压
$U_{(BR)DS}、U_{(BR)GD}、U_{(BR)GS}$	分别为漏—源极、栅—漏极和栅—源极击穿电压
U_D	二极管导通时压降
$U_{GS(off)}$	场效应管的夹断电压
$U_{GS(th)}$	场效应管的开启电压
U_H	回差电压
U_I	直流信号输入电压
U_{vc}	共模输入电压
U_{vd}	差模输入电压
U_i	输入电压有效值
U_{id}	净输入电压
U_{on}	二极管、三极管的门限(起始导通)电压
U_p	单结晶体管的峰点电压
U_{REF}	参考电压、基准电压
U_S	信号源电压有效值
U_T	温度的电压当量
U_{T+}	上限阈值电压
U_{T-}	下限阈值电压
U_V	单结晶体管的谷点电压
u_X	模拟乘法器 X 端的输入电压
u_Y	模拟乘法器 Y 端的输入电压
$I_-、i_-$	运放反相端输入电流

i_c	集电极总电流
i_e	集电极电流交流分量
i_f	反馈电流
i_I	总输入电流
K	热力学温度单位
K_{CMR}	共模抑制比
K_r	纹波系数
k	玻耳兹曼常数
k	整流元件的阴极(负极)
L	自感系数、电感
M	互感系数、互感
N	电子型半导体
N	绕组的匝数比
n	电子浓度
P	功率
P	空穴型半导体
p	空穴浓度
Q	静态工作点、品质因数
q	电子的电荷量
R	电阻
R_b, R_c, R_e	半导体三极管放大电路的基极、集电极、发射极电阻
R_d, R_g, R_s	场效应管放大电路的漏极、栅极、源极电阻
R_f	反馈电阻
R_I	直流输入电阻
R_i	放大电路的交流输入电阻
R_L	负载电阻
R_O	放大电路的交流输入电阻
R_S	信号源内阻
R_P	电位器(可变电阻)
r	微变电阻(交流电阻或动态电阻)
r_{be}	半导体三极管的输入电阻
r_{ce}	半导体三极管的输出电阻
e	半导体三极管的发射极
$\dot{F}$	反馈系数
F_u	电压反馈系数
f	频率
f_H	放大电路的上限频率
f_L	放大电路的下限频率

f_0	谐振频率、中心频率
f_T	特征频率
f_a	半导体三极管共发射极的截止频率
f_β	半导体三极管共发射极的截止频率
G	电导
g	微变电导
g	场效应管的栅极
g_m	跨导
I, i	电流
I_C	集电极静态电流、直流电流
I_c	集电极电流交流分量有效值
I_{cm}	集电极电流交流分量幅值
ΔI_C	集电极电流变化量
I_D	二极管静态电流、漏极静态电流
I_F	二极管正向电流平均值
I_1, i_1	输入电流
I_{IB}	输入偏置电流
I_{IO}	输入失调电流
I_i	输入电流有效值
I_L, i_L	负载电流
I_O	输出电流有效值
I_{OAV}	输出电流平均值
I_{OM}	最大输出电流
I_{OS}	输出短路电流
I_R	二极管反向电流
I_S	信号源电流、二极管反向饱和电流
I_+, i_+	运放同相端输入电流

A	电流量的单位(安培)、运放器件
A	放大倍数、增益
A_f	反馈放大电路的增益、反馈放大电路的放大倍数
A_i	电流增益、电流放大倍数
A_{uo}	开环电压增益、开环电压放大倍数
A_u	带负载电压增益、带负载电压放大倍数
A'_u	空载电压增益、空载电压放大倍数
A_{uc}	共模电压增益、共模电压放大倍数
A_{ud}	差模电压增益、闭环电压放大倍数
A_{uf}	闭环电压增益、闭环电压放大倍数
A_{um}	中频区电压增益、中频区电压放大倍数
A_{us}	考虑信号内阻时的源电压放大倍数
a	整流元件的阳极(正极)
f_{bw}	频带宽度、通频带
b	半导体三极管的基极
C	电容
C_B	势垒电容
C_b	隔直电容(耦合电容)
$C_{b'c}$	基极—集电极电容
$C_{b'e}$	基极—发射极电容
C_D	扩散电容
C_e	发射极旁路电容
C_f	反馈电容
C_i	输入电容
C_j	结电容
C_L	负载电容
C_o	输出电容
c	半导体三极管的集电极
D	二极管
D_Z	稳压管
d	场效应管的漏极
U_Z	稳压管的稳定电压、模拟乘法器的输出电压
$U_+、u_+$	运放同相端的输入电压
$U_-、u_-$	运放反相端的输入电压
u_f	反馈电压
V_{BB}	半导体三极管放大电路的基极电源
V_{CC}	半导体三极管放大电路的集电极电源
V_{DD}	场效应管放大电路的漏极电源

V_{EE}	半导体三极管放大电路的发射极电源
V_{GG}	场效应管放大电路的栅极电源
V_{SS}	场效应管放大电路的源极电源
X	电抗、反馈电路中的信号量
Y	导纳
Z	阻抗
α	半导体三极管共基极接法的确良电流放大系数、晶闸管的控制角
β	半导体三极管共发射极接法的电流放大系数
θ	整流器件的导电角(二极管、三极管、晶闸管)
η	效率、单结晶体管的分压比
ω	角频率
τ	时间常数
τ_c	充电时间常数
τ_d	放电时间常数

目 次

第 1 章 半导体二极管和晶体管

1.1 半导体	(1)
1.1.1 本征半导体	(1)
1.1.2 N 型半导体	(2)
1.1.3 P 型半导体	(3)
1.2 PN 结	(4)
1.2.1 PN 结的形成	(4)
1.2.2 PN 结的单向导电性	(5)
1.2.3 PN 结的反向击穿特性	(6)
1.2.4 PN 结的电容特性	(7)
1.3 半导体二极管	(8)
1.3.1 二极管的结构和类型	(8)
1.3.2 二极管的伏安特性	(8)
1.3.3 二极管的电路模型	(9)
1.3.4 二极管的主要参数	(10)
1.3.5 二极管的基本应用	(11)
1.3.6 特殊二极管	(12)
1.4 半导体三极管(晶体管)	(15)
1.4.1 三极管的基本结构	(15)
1.4.2 三极管的工作原理	(16)
1.4.3 三极管的特性曲线	(18)
1.4.4 三极管的主要参数	(20)
本章小结	(22)
自 测 题	(23)
习 题	(24)

第 2 章 三极管基本放大电路

2.1 共射极基本放大电路	(26)
2.1.1 电路结构	(26)
2.1.2 工作原理	(27)

2.1.3 放大电路的主要技术指标·····	(28)
2.2 放大电路的基本分析方法·····	(30)
2.2.1 静态分析·····	(30)
2.2.2 动态分析·····	(33)
2.2.3 工作点稳定的共射极放大电路·····	(45)
2.3 共集电极放大电路(射极输出器)·····	(49)
2.3.1 电路结构·····	(49)
2.3.2 电路分析·····	(49)
2.3.3 电路特点和应用·····	(52)
2.4 共基极放大电路·····	(52)
2.4.1 电路结构·····	(52)
2.4.2 电路分析·····	(52)
2.4.3 电路的特点和应用·····	(54)
2.5 多级放大电路·····	(55)
2.5.1 多级放大电路的耦合方式·····	(55)
2.5.2 多级放大电路的分析方法·····	(58)
2.6 放大电路的频率响应·····	(59)
2.6.1 频率响应的概念·····	(59)
2.6.2 单级放大电路的频率响应·····	(60)
2.6.3 多级放大电路的频率特性·····	(69)
本章小结·····	(71)
自 测 题·····	(72)
习 题·····	(73)

第3章 场效应管及其放大电路

3.1 结型场效应管(JFET)·····	(78)
3.1.1 结型场效应管的结构和工作原理·····	(78)
3.1.2 结型场效应管的特性曲线·····	(80)
3.2 绝缘栅型场效应管(IGFET)·····	(82)
3.2.1 绝缘栅型场效应管的结构和工作原理·····	(82)
3.2.2 NMOS 场效应管的特性曲线·····	(84)
3.3 场效应管的主要参数、特点及使用注意事项·····	(87)
3.3.1 场效应管的主要参数·····	(87)
3.3.2 场效应管的特点及使用注意事项·····	(88)
3.4 场效应管放大电路·····	(89)
3.4.1 场效应管放大电路的静态偏置及静态分析·····	(89)
3.4.2 场效应管的小信号模型·····	(91)
3.4.3 场效应管放大电路的小信号模型法分析·····	(91)

3.4.4 放大电路的总结.....	(94)
本章小结	(95)
自 测 题	(96)
习 题	(97)

第4章 集成运算放大器

4.1 集成运算放大器的基本组成单元.....	(99)
4.1.1 偏置电路.....	(99)
4.1.2 差动放大输入级	(102)
4.1.3 中间级	(109)
4.1.4 输出级	(111)
4.2 集成运放的主要技术指标	(112)
4.3 集成运放的传输特性和理想模型	(114)
4.3.1 集成运放的电压传输特性	(114)
4.3.2 运放的理想模型	(115)
4.4 集成运放典型产品简介	(116)
4.4.1 通用型集成运放 F007(5G24、 μ A741)	(117)
4.5 集成运放使用注意事项	(118)
4.5.1 集成运放的参数测试	(118)
4.5.2 异常现象的分析和排除	(119)
4.5.3 集成运放的保护	(120)
本章小结.....	(121)
自 测 题.....	(122)
习 题.....	(123)

第5章 负反馈放大电路

5.1 反馈的基本概念	(127)
5.1.1 反馈的定义	(127)
5.1.2 反馈的类型及判别	(128)
5.1.3 四种类型的负反馈组态	(131)
5.2 负反馈放大电路增益的一般表达式	(133)
5.2.1 一般表达式	(133)
5.2.2 一般表达式的分析	(133)
5.2.3 反馈深度	(134)
5.2.4 $\dot{A}$ 、 $\dot{F}$ 、 $\dot{A}_f$ 的含义	(134)
5.3 负反馈对放大电路性能的影响	(134)
5.3.1 提高放大电路增益的稳定性	(134)

5.3.2	减小非线性失真	(135)
5.3.3	抑制干扰和噪声	(135)
5.3.4	扩展通频带	(135)
5.3.5	负反馈对输入电阻和输出电阻的影响	(136)
5.4	深度负反馈放大电路的分析方法	(137)
5.4.1	深度负反馈增益表达式	(137)
5.4.2	闭环输入电阻和闭环输出电阻	(137)
5.4.3	深度负反馈放大电路电压放大倍数的估算	(137)
5.5	负反馈放大电路的自激振荡及消除方法	(139)
5.5.1	产生自激振荡的原因和条件	(140)
5.5.2	负反馈放大电路的稳定判据和稳定裕度	(140)
5.5.3	消除自激振荡的常用方法	(141)
本章小结		(142)
自 测 题		(142)
习 题		(143)

第 6 章 模拟信号运算电路

6.1	比例运算电路	(146)
6.1.1	同相比比例运算电路	(146)
6.1.2	反相比比例运算电路	(147)
6.2	加减法运算电路	(148)
6.2.1	加法运算电路	(148)
6.2.2	减法电路	(149)
6.3	积分电路和微分运算电路	(150)
6.3.1	积分电路	(150)
6.3.2	微分电路	(150)
6.4	对数运算电路	(151)
6.4.1	对数运算电路	(151)
6.4.2	指数运算电路	(152)
6.5	模拟乘法器	(152)
6.5.1	对数式模拟乘法器	(153)
6.5.2	变跨导式模拟乘法器	(154)
6.5.3	模拟乘法器的应用	(155)
本章小结		(156)
自 测 题		(157)
习 题		(158)

第7章 信号处理电路

7.1 有源滤波电路	(162)
7.1.1 基本概念	(162)
7.1.2 一阶低通滤波器电路(LPF)	(163)
7.1.3 一阶高通滤波电路(HPF)	(165)
7.1.4 高通滤波电路与低通滤波电路的对偶性	(166)
7.1.5 二阶压控电压源低通滤波电路	(166)
7.1.6 二阶压控电压源高通滤波电路	(167)
7.1.7 带通滤波电路和带阻滤波电路	(168)
7.1.8 有源滤波器电路中阻容元件参数的计算	(171)
* 7.1.9 开关电容滤波电路(SCF)	(172)
7.2 精密仪用放大电路	(173)
7.2.1 概述	(173)
7.2.2 精密差分测量放大电路	(173)
7.3 高精度整流器流电路	(175)
本章小结	(176)
自 测 题	(177)
习 题	(177)

第8章 波形发生电路

8.1 正弦波振荡器的基本原理	(179)
8.1.1 产生正弦波振荡的条件和起振过程	(179)
8.1.2 正弦波振荡电路的组成、分类和分析方法	(180)
8.2 RC 正弦波振荡电路	(181)
8.2.1 RC 文氏桥式正弦波振荡电路	(181)
8.2.2 正弦波振荡电路的特点	(184)
8.3 LC 正弦波振荡电路	(186)
8.3.1 LC 并联谐振回路的选频特性	(187)
8.3.2 变压器反馈式振荡电路	(188)
8.3.3 其它形式的 LC 振荡电路	(190)
8.4 石英晶体正弦波振荡电路	(193)
8.4.1 石英晶体的特性和等效电路	(193)
8.4.2 石英晶体正弦波振荡电路	(194)
8.5 非正弦信号发生电路	(196)
8.5.1 矩形波发生电路	(196)
8.5.2 三角波和锯齿波发生电路	(198)

本章小结	(201)
自 测 题	(202)
习 题	(202)

第 9 章 功率放大电路

9.1 概述	(207)
9.2 乙类互补对称功率放大电路	(208)
9.2.1 双电源基本互补对称功率放大电路(OCL)及其工作原理	(208)
9.2.2 乙类双电源功率放大电路功率参数分析计算	(209)
9.3 甲乙类互补对称功率放大电路	(211)
9.3.1 实用的甲乙类双电源互补对称功率放大电路	(211)
9.3.2 甲乙类单电源互补对称功率放大电路(OTL)	(216)
9.4 集成功放大器	(218)
9.5 功率管的散热问题	(221)
本章小结	(223)
自 测 题	(223)
习 题	(223)

第 10 章 直流稳压电源

10.1 概述	(227)
10.2 单相整流电路	(227)
10.2.1 单相半波桥式整流电路	(227)
10.2.2 单相全波整流电路	(229)
10.2.3 单相桥式整流电路	(231)
10.3 滤波电路	(232)
10.3.1 电容滤波	(232)
10.3.2 有源滤波器	(234)
10.4 硅稳压管稳压电路	(234)
10.4.1 稳压电路及稳压工作原理	(234)
10.4.2 电路参数计算	(235)
10.4.3 硅稳压管稳压电特点	(236)
10.5 串联型稳压电路	(236)
10.5.1 串联型稳压电路的组成和稳压原理	(236)
10.5.2 稳压电路的保护措施	(238)
10.6 稳压电路的质量指标	(240)
10.7 集成三端式稳压器	(241)
10.7.1 概述	(241)

10.7.2 三端式固定输出集成稳压器·····	(241)
10.7.3 三端式可调集成稳压器·····	(244)
10.8 开关型稳压电源·····	(245)
10.8.1 开关型稳压电源的特点和类型·····	(245)
10.8.2 自激开关型稳压电路的基本工作原理·····	(246)
* 10.8.3 SW3524——集成单片脉冲调制式开关稳压电源 ·····	(248)
本章小结·····	(253)
自 测 题·····	(253)
习 题·····	(254)
部分自测题和习题答案·····	(257)
参考文献·····	(264)
后 记·····	(265)

第1章 半导体二极管和晶体管

半导体器件是近代电子装置设备的重要组成部分,具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小、功率转换效率高等优点,在工业上得到广泛的应用。本章首先介绍半导体的基本导电机理、PN结的形成及其特性;接着讨论晶体二极管的特性、参数和基本应用电路;最后介绍双极型三极管的工作原理、特性和参数。

1.1 半导体

在自然界中,存在着许多不同的物质,有的物质很容易传导电流,称为导体,如铜、铝等金属。也有的物质几乎不传导电流,称为绝缘体,如橡皮、陶瓷、塑料和木头等。此外还有一类物质,它的导电性能介于导体和绝缘体之间,称为半导体,如锗、硅、氧化亚铜、硫化镉等。半导体除了在导电能力方面与导体和绝缘体不同外,它还具有不同于其他物质的特点,例如,当半导体受到外界光和热的激发时,其导电能力将发生显著变化。又如,在纯净的半导体中掺入微量的杂质时,其导电能力会显著增强。这些特点表明:半导体的导电机构不同于其他物质。为此,必须了解半导体的结构和导电机理。

1.1.1 本征半导体

1. 本征半导体的共价键结构

不含任何杂质、结构完整的单晶体半导体称为本征半导体。在硅和锗的单晶体中,原子按一定间隔排列成有规律的空间点阵(称为晶格)。原子之间靠得很近,原来分属于每个原子的价电子就要受到相邻原子的影响,而使价电子为两个原子所共有,这样每个价电子个别的轨道就变成两个相邻原子之间两个价电子的公共轨道,形成了晶体中的共价键结构。图1.1.1表示单晶体硅和锗的共价键结构平面示意图。共价键中的电子,由于受其原子核的吸引,是不能在晶体中自由移动的,因此把它们称为束缚电子。故共价键是表示两个共有价电子所形成的束缚作用。当温度为绝对零度和无外界激发时,其共价键中的电子被束缚得很紧,不存在自由电子,这时的半导体不能导电,相当于绝缘体。

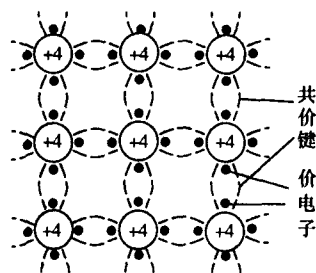


图 1.1.1 单晶硅和锗的共价键结构示意图

2. 半导体的导电机理

在金属导体中有很多自由电子,这些电子在电场的作用下可以定向运动而形成电流。电子是一种带电粒子,在电子技术中把这些能定向运动形成电流的带电微粒子叫做载