

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

电子技术基础 学习指导书

陈婉儿 王 岩 朱立群 编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是为华中工学院康华光主编的《电子技术基础》(第二版)作为函授、自学代用教材而编写的自学指导书。编者在总结自己教学经验的基础上,针对函授生和自学者自学为主的特点,对每一章节的内容进行学习指导,内容有学习方法指导、章节教学要求、内容提要、问题讨论、复习思考题、习题以及阶段测验检查题等。

本书由东北工学院何文兴副教授主审,由何文兴、应巧琴、林卫中、陈一尧等同志参加的审稿会复审,同意作为高等工业学校电类各专业函授生学习电子技术基础课程的辅助教材。对于自学“电子技术基础”课程的读者,也是不可缺少的读物。

本书责任编辑 张志军

高等学校函授教材

(兼作高等教育自学用书)

电子技术基础学习指导书

陈婉儿 王 岩 朱立群 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

上海新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 11.625 字数 277,000

1983年10月第1版 1984年5月第1次印刷

印数 00,001—26,500

书号 15010·0539 定价 1.35 元

目 录

引言	1
----------	---

第一章 放大电路基础

1.1 半导体的物理基础	1
1.2 PN 结及其单向导电性	3
1.3 半导体二极管	4
1.4 半导体三极管	7
1.5 基本放大电路	11
1.6 图解分析法	14
1.7 微变等效电路分析法	20
1.8 放大器的工作点稳定问题	26
1.9 单级放大器的设计 [†]	
1.10 共集电极电路——射极输出器	28
1.11 共基极电路	34

第二章 频率特性与多级放大器

2.1 频率特性的基本概念和分析方法	38
2.2 RC 耦合单级放大器的低频特性	45
2.3 RC 耦合单级放大器的高频特性	50
2.4 单级放大器的瞬态特性	54
2.5 RC 耦合多级放大器	56
2.6 多级放大器的频率特性	59
*2.7 多级放大器中的干扰和噪声 [△]	
*2.8 放大器的安装工艺与调试 [△]	
测验检查题(1)	62

† 打△的小节属选学内容,本书从略。

第三章 场效应管放大器

3.1 结型场效应管	65
3.2 绝缘栅场效应管	69
3.3 场效应管放大器	75

第四章 反馈放大器与正弦波振荡器

4.1 反馈的基本概念	78
4.2 负反馈放大器的方框图及放大倍数的一般表达式	83
4.3 反馈分类	85
4.4 负反馈对放大器性能的改善	92
4.5 负反馈放大器的分析方法	95
4.6 负反馈放大器的稳定问题	100
4.7 负反馈放大器的实例	102
4.8 正弦波振荡器的一般问题	102
4.9 RC 正弦波振荡器	104
*4.10 LC 正弦波振荡器	107
测验检查题(2)	113

第五章 功率放大器

5.1 功率放大器的一般问题	117
5.2 互补对称功率放大电路	119
5.3 变压器耦合功率放大器	129
5.4 功率管的散热问题 Δ	
*5.5 半导体三极管的二次击穿 Δ	

第六章 集成运算放大器及其应用

6.1 运算放大器的基本概念	134
6.2 运算放大器的级间耦合方式与零点漂移	136
6.3 差动式放大器	138
6.4 集成运算放大器	144

6.5 集成运算放大器的主要技术指标	147
6.6 运算放大器的两种基本电路	149
6.7 集成运算放大器的线性应用	155
6.8 集成运算放大器的非线性应用	163
*6.9 集成运算放大器使用时的一些实际问题	168
测验检查题(3)	170

第七章 直流稳压电源

7.1 单相桥式整流电路	173
7.2 滤波电路	175
7.3 稳压管及简单稳压电路	178
7.4 带放大器的串联反馈式稳压电路	181
7.5 集成稳压电源 [△]	

第八章 晶 闸 管 电 路

8.1 晶闸管	189
8.2 可控整流电路	191
8.3 晶闸管的触发电路	196
*8.4 晶闸管的保护 [△]	
*8.5 晶闸管电路应用实例 [△]	
测验检查题(4)	203

第九章 逻辑门电路

9.1 数字电路概述	207
9.2 二极管的开关特性	210
9.3 三极管的开关特性	211
9.4 基本逻辑门电路	214
9.5 三极管-三极管集成逻辑门(TTL)	220
*9.6 高阈值逻辑门(HTL)	229
9.7 射极耦合逻辑门(ECL) [△]	
*9.8 集成注入逻辑门(I ² L) [△]	

9.9 集成逻辑门在使用中的几个实际问题[△]

第十章 逻辑代数及其应用

10.1 逻辑函数	231
10.2 逻辑代数的基本定律	234
10.3 逻辑函数的代数化简法	237
10.4 逻辑函数的卡诺图化简法	241
10.5 组合逻辑电路的分析与设计基础	248
测验检查题(5)	256

第十一章 触 发 器

11.1 触发器的基本电路	258
11.2 主从触发器	262
11.3 维持阻塞触发器	267
*11.4 边沿触发器	270
11.5 应用集成触发器的几个实际问题	272

第十二章 基本数字部件

12.1~12.2 时序逻辑电路概述、寄存器	276
12.3 二进制计数器	282
12.4 非二进制计数器	285
12.5 译码器及数字显示电路	294
*12.6 时序脉冲产生器 [△]	
12.7 编码器 [△]	
12.8 数据选择器与数据分配器 [△]	
12.9 数-模与模-数转换器 [△]	
测验检查题(6)	308

第十三章 脉冲的产生与整形电路

13.1 单稳态触发器	311
13.2 多谐振荡器	317

13.3 施密特触发器	318
13.4 用定时器组成的脉冲产生与整形电路	319

第十四章 金属-氧化物-半导体场效应管数字集成电路

14.1 N沟道 MOS 数字集成电路	321
14.2 CMOS 集成电路	328
14.3 动态 MOS 逻辑电路	335
*14.4 随机存取存储器(RAM)	337
*14.5 只读存储器(ROM)和可编程逻辑阵列(PLA)	341
*14.6 电荷耦合器件(CCD) [△]	
14.7 数字石英钟 [△]	
*14.8 数字仪器实例 [△]	
测验检查题(7)	347
部分习题参考答案	350

第一章 放大电路基础

本章是本门课程的基础部分。对于半导体器件主要着眼于“管为路用”，着重掌握管子的特性参数，以便为在电路中的使用打下基础。本章的电路部分，是本课程的一个重点内容，其中基本放大单元电路及许多重要概念和分析方法等内容，不仅是学习放大器的基础，对于学习其它电子电路也是十分重要的。

本章学时安排建议

节次	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	合计
自学时数	3	3	4	6	5	9	9	6	选读	6	3	54

1.1 半导体的物理基础

1. 教学要求

- (1) 了解半导体中两种载流子的导电作用。
- (2) 熟悉 N 型和 P 型半导体的特点。
- (3) 熟悉半导体中扩散电流和漂移电流的形成。
- (4) 了解半导体的导电性能与温度的关系。

2. 自学范围

1.1.1, 1.1.2(着重熟悉共价键结构,对能带部分不作要求),
1.1.3, 1.1.4, 1.1.5(着重熟悉漂移和扩散的物理概念)。

3. 内容提要

(1) 半导体

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的一种物体。但半导体之所以得到广泛应用,是因为它的导电能力会随温度、光照或

所掺杂质而显著变化。特别是掺杂可以改变半导体的导电能力和导电类型，这是今天能用半导体材料制造各种管子及集成电路的基本依据。半导体的这些特点，是由它的内部导电机构所决定的。

(2) 本征半导体的导电机构

在本征激发下，空穴和自由电子成对出现，因此本征半导体导电机构的基本特点可以描述为自由电子浓度等于空穴浓度，即 $n_i = p_i$ 。

本征半导体的特点是电导率较低。

(3) 杂质半导体

特点：电导率高。

*N*型半导体：

Si 或 Ge 中加入五价元素 $\begin{cases} \text{多子——电子(主要由掺杂形成)} \\ \text{少子——空穴(本征激发形成)} \end{cases}$

*P*型半导体：

Si 或 Ge 中加入三价元素 $\begin{cases} \text{多子——空穴(主要由掺杂形成)} \\ \text{少子——电子(本征激发形成)} \end{cases}$

杂质半导体呈现电中性——任一空间内的正负电荷数目相等；

*N*型半导体：自由电子数 = 空穴数 + 正离子数

*P*型半导体：空穴数 = 自由电子数 + 负离子数

(4) 半导体中的电流

扩散电流：半导体中由于载流子浓度不均匀产生扩散运动而形成的电流。

漂移电流：在电场的作用下，半导体中的自由电子逆着电场方向作定向漂移运动，而空穴顺着电场方向作定向漂移运动而形成的电流，如图 1.1-1 所示。

(5) 半导体的导电性能与温度的关系

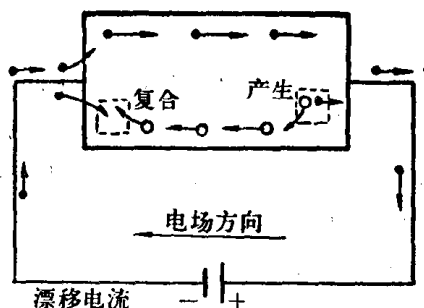


图 1.1-1

本征激发所产生的载流子浓度 n_i 和 p_i 随温度的升高基本上按指数规律增大, 因此温度是影响半导体管工作性能的一个重要因素, n_i 和 p_i 与温度的关系见式(1.1.2)。

4. 复习思考题

- (1) 本征半导体是怎样导电的?
- (2) 空穴导电和自由电子导电有何区别?
- (3) N 型半导体和 P 型半导体是怎样形成的? 各有什么特点?
- (4) 杂质半导体内的多子和少子各是由于什么原因产生的? 为什么杂质半导体中少子浓度比本征载流子浓度小?
- (5) N 型半导体中的电子为多子, P 型半导体中的空穴为多子, 是否 N 型半导体就带负电, 而 P 型半导体带正电?
- (6) 扩散电流与漂移电流的区别是什么?
- (7) 温度过高时, 本征激发对杂质半导体有什么影响?

1.2 PN 结及其单向导电性

1. 教学要求

- (1) 了解 PN 结形成的物理过程。
- (2) 从物理概念上掌握 PN 结的单向导电性。

2. 自学范围

1.2.1, 1.2.2, 1.2.4 为必读内容; 1.2.3 为选读内容。

3. 内容提要

(1) PN 结的形成过程

P 区和 N 区载流子的浓度差→引起多子向对方扩散→形成空间电荷及内电场→阻止扩散、产生漂移→达到扩散和漂移的动态平衡→形成空间电荷区,即平衡 PN 结(阻挡层)。

(2) PN 结的单向导电性

外加正向电压→阻挡层变薄,内电场减弱→扩散力大于电场力→扩散大于漂移→扩散电流形成的正向电流大,外加电压对正向电流有很强的控制作用。

外加反向电压→阻挡层变厚,内电场增强→电场力大于扩散力→漂移大于扩散→漂移电流形成的反向电流小,而且反向电流基本上不随外加电压而变化,但随温度变化大。

4. 复习思考题

(1) PN 结是怎样形成的?为什么空间电荷区靠 N 区的一侧带正电,而靠 P 区的一侧带负电?

(2) 简单地把一块 P 型半导体和一块 N 型半导体接触在一起,能否形成 PN 结?为什么?

(3) 为什么 PN 结具有单向导电性?

(4) 空间电荷区、阻挡层、耗尽层、势垒区等名称各有什么含义?

(5) PN 结的正向和反向电流各与什么因素有关?

1.3 半导体二极管

1. 教学要求

(1) 简单了解二极管的结构。

(2) 掌握二极管的特性曲线与主要参数。

(3) 了解二极管的测试方法。

(4) 会查阅器件手册。

(5) 会按要求选用二极管。

2. 自学范围

1.3 节。

3. 内容提要

(1) 二极管结构: PN 结

(2) 二极管伏安特性: 二极管伏安特性直观地表现了单向导电性能,如图 1.3-1 所示。

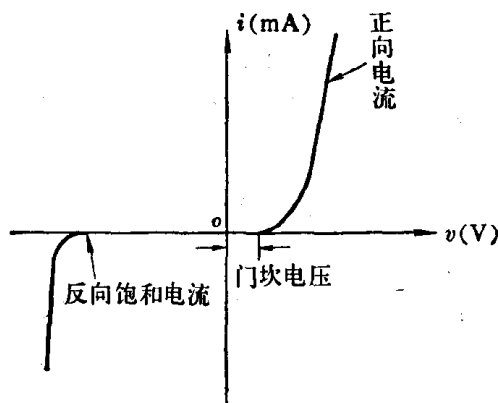


图 1.3-1

① 二极管的伏安特性是非线性的, 正反向导电性能有很大差别, 而且在不同的电压下, 管子的等效电阻是不同的。二极管是非线性元件。

② 正向特性起始部分的正向电流几乎为零, 当正向电压大于门坎电压后, 电流增长快。

③ 反向饱和电流很小, 但由于它是由热激发形成的, 所以随温度升高而迅速增大, 可能造成工作的不稳定, 因而对工作结温要有一定限制。

④ 反向电压过大会产生反向击穿。

(3) 二极管的主要参数

在半导体器件手册和制造厂的产品目录中, 对各种型号的管子, 通常是用表格列出其参数, 以反映管子在各方面的电性能, 作

为合理选择和正确使用的依据。二极管参数主要是针对单向导电性提出来的,如表 1.3.1 所示。其中:

极限参数: 最大整流电流和最高反向工作电压,使用时不得超过。

直流参数: 正向平均电流、反向饱和电流、反向击穿电压、正向压降。表示在一定直流测试条件下测得的参数。

交流参数: 结电容、最高工作频率。

用得最多的参数是正向平均电流和最高反向工作电压。

(4) 二极管的测试

用万用表或晶体管特性图示仪测试。

4. 复习思考题

(1) 定性画出二极管的伏安特性曲线。标出门坎电压和反向饱和电流。硅和锗二极管门坎电压的典型值是多少?

(2) 反向饱和电流 I_s 为何与外加电压基本无关,而和温度却有密切关系?

(3) 在同样的正向电流下,二极管的压降是大一些好还是小一些好?而在同样的反向电压下,二极管的反向电流是大一些好还是小一些好?

(4) 用万用表 $R \times 100$ 挡和 $R \times 1k$ 挡测量同一二极管的正向电阻时,发现用 $R \times 1k$ 挡测得的阻值比用 $R \times 100$ 挡测得的阻值为大,为什么?

(5) 用万用表 $R \times 1k$ 挡测试二极管的电阻时,如果用两手捏紧试笔和管子引线的接触处,这时发现测得的二极管反向电阻偏小,误差较大;而用同样的做法去测正向电阻时,则不致引起显著误差,为什么?

(6) 如电路要求通过二极管的正向平均电流为 $85mA$,加于二极管上的最高反向电压为 $15V$,如不用考虑太多的余量,试从半导体器件手册(或由表 1.3.1)选择合适的二极管型号。

(7) 比较一个小功率锗二极管(2AP1)和一个小功率硅管(2CP10)的门坎电压、反向电流、最高反向工作电压和工作频率。可查阅有关半导体器件手册(如手边无手册可用表 1.3.1 代替)。

(8) 从图 1.3.2 和图 1.3.3 说明硅二极管和锗二极管的门坎电压和反向电流的大致数量差别。

5. 习题

1.3.3, 1.3.4。

1.4 半导体三极管

1. 教学要求

- (1) 了解三极管的结构。
- (2) 掌握三极管的电流分配关系及放大原理。
- (3) 掌握共射极输入和输出特性,理解其含义。
- (4) 熟悉三极管主要参数的定义,了解器件手册的查阅方法。
- (5) 学会三极管的测试方法(通过实验进行)。

2. 自学范围

1.4.1, 1.4.2, 1.4.3 (共射电路特性为必读, 共基电路特性为选读内容), 1.4.4。

3. 内容提要

- (1) 结构(参看教材图 1.4-2、图 1.4-3)

两个互相联系的 PN 结: 发射结和集电结

三个区域: 发射区(引出发射极)——向基区发射载流子

基区(引出基极)——传输载流子

集电区(引出集电极)——收集载流子

NPN 管和 PNP 管的区别: 形成电流的载流子性质不同, 外加电压极性相反。

- (2) 电流分配与放大原理

放大条件:

发射结正向偏置, 集电结反向偏置: 保证载流子在发射区的发射和集电区的收集。这一条件是安排放大电路的基本原则。

电流分配基本关系式:

$$I_C = \beta I_B + I_{CBO}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B + I_{CEO}$$

放大原理：利用电子（指 *NPN* 型管；*PNP* 型管是空穴）在基区的扩散（形成集电极电流）大大超过复合（形成基极电流），产生放大作用。在线性区 i_C 和 i_B 两者的比例基本一定，所以可通过改变 i_B 的大小来达到控制 i_C 的目的。

在放大电路中，通过 Δv_{BE} 改变 Δi_B ，由 Δi_B 使 Δi_C 发生相应变化（ $\Delta i_C = \beta \Delta i_B$ ），再通过集电极负载电阻 R_c ，将此电流放大作用转化为电压放大作用，即产生 $\Delta i_C R_c (V_o)$ 传送出去。

(3) 共射极输入和输出特性

三极管由内部物理过程反映到外部电路，就是三极管各极电压和电流之间的相互关系，可用特性曲线来表示，由于三极管具有三个电极，要用两组特性曲线才能全面反映其性能。三极管和二极管都是非线性元件，但三极管的特性比二极管要复杂得多。

输入特性的特点：

- ① $v_{CE} = 0$ 时的特性类似于 *PN* 结的正向特性。
- ② $v_{CE} \neq 0$ 时输入特性右移，且 $v_{CE} > 1$ 以后特性基本重合。

输出特性的特点：

- ① 每条曲线均有上升和水平两部分。

上升部分—— i_C 主要决定于 v_{BE} ，而与 i_B 关系不大。

水平部分—— i_C 主要决定于 i_B ，而与 v_{CE} 关系不大（近于恒流）。

- ② 当 v_{CE} 超过一定数值时会发生击穿。

(4) 三极管的主要参数

β ——反映电流放大能力，注意交流 β 和直流 $\bar{\beta}$ 在概念上的区别。

I_{CBO} 、 I_{CEO} ：影响直流工作状态的稳定性，要求越小越好，注

意硅管的 I_{CBO} 和锗管的差别。

$$\text{极限参数} \begin{cases} I_{CM} \\ P_{CM} \\ BV_{CEO}, BV_{CBO}, BV_{EBO} \end{cases}$$

(5) 在特性曲线上反映参数

由 I_{CM} 、 P_{CM} 、 BV_{CEO} 共同确定三极管的安全工作区，如图 1.4-1 所示。

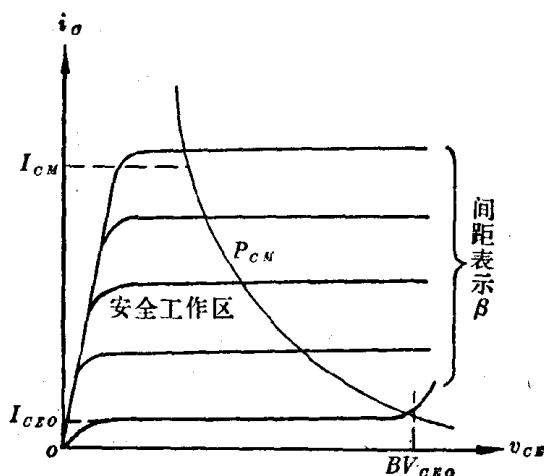


图 1.4-1

4. 问题讨论

(1) 三极管不能用两个对接的二极管构成

从 $P-N$ 结的构成看来，三极管就象是两个对接的二极管，如图 1.4-2 所示。但两个二极管对接起来是没有放大作用的，因为三极管的基区须做得很薄，因此在三极管中的两个 $P-N$ 结紧密相连，一个 $P-N$ 结上出现的过程可以影响另一个结的工作，这是三极管和两个对接二极管的本质区别。因此三极管中处于反向偏置的集电结也能出现较大的电流，而这个电流又受处于正向偏置的发射结中的电流控制，从而完成电流放大作用。这是两个独立的

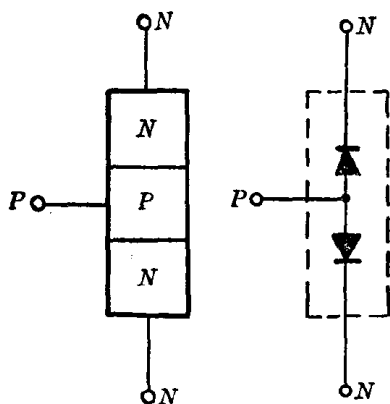


图 1.4-2

二极管对接所做不到的。

(2) 硅三极管和锗三极管的主要特点

用硅和锗材料都可以制成 *PNP* 型管或 *NPN* 型管。硅管和锗管的主要特点是：

① I_{CBO}

硅管的 I_{CBO} 比锗管小 100~1000 倍，小功率锗管的 I_{CBO} 约为几微安，而硅管可在

纳安以下。

② 发射结门坎电压

锗管约 0.1~0.2 V，硅管约 0.6~0.7 V。

③ 最高允许结温及最大允许功耗

硅管最高允许结温约为 150~200°C，而锗管约为 85~100°C，在相同结构尺寸、运用条件和工作温度下，硅管最大允许功耗要比锗管大 2~3 倍。

④ 反向击穿电压

硅管可达到的 BV_{CEO} 较锗管为高。

5. 复习思考题

(1) 三极管具有放大作用的外部条件是什么？

(2) 三极管与两个对接的二极管有何区别？

(3) *NPN* 型三极管的电流 I_E 、 I_B 、 I_O 分别由哪些载流子产生？它们之间有什么关系？

(4) 定性画出共射极输入和输出特性曲线，说明这两组特性曲线的变化趋向。

(5) 什么叫基区调宽效应？怎样从输入特性和输出特性上看出基区调宽效应的影响？