



国家示范性高职院校建设项目成果

高等职业教育教学改革系列规划教材·电子信息类

模拟电子技术 应用基础

王川 主编
崔群凤 黄京 副主编
魏汉勇 主审

-  任务驱动
-  行动导向
-  工学结合
-  学生主体
-  过程考核

随书有配套的教学资源，获取多媒体电子课件可登录

www.hxedu.com.cn 免费下载 



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等职业教育教学改革系列规划教材·电子信息类

模拟电子技术应用基础

王 川 主 编

崔群凤 黄 京 副主编

魏汉勇 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书内容充分考虑了高职培养目标和高职学生目前的知识层次与接受能力的实际情况,突出应用性、针对性,淡化电路内部结构和工作原理的阐述,深入浅出、通俗易懂,注重培养学生的实际应用能力。

本书共分为 5 个模块,内容包括:常用半导体器件、基本放大电路、模拟集成电路、波形发生电路、集成稳压器等。每个模块中都有若干任务引领,以“课题”、“任务”为支撑,将知识点融入其中,由浅入深,层层展开,完成任务导向的教学目标。

本书既可作为高等职业院校电子信息类专业教材,同时也可作为电子工程技术人员及电子爱好者的学习参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术应用基础/王川主编. —北京:电子工业出版社, 2011.1

高等职业教育教学改革系列规划教材. 电子信息类

ISBN 978-7-121-12204-0

I. ①模… II. ①王… III. ①模拟电路—电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 216394 号

策划编辑:田领红

责任编辑:夏平飞 特约编辑:郭茂威

印 刷: 北京京师印务有限公司
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 10.75 字数: 272 千字

印 次: 2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 22.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

依据《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，结合《教育部关于加快发展职业教育的意见》，根据“以服务为宗旨、以就业为导向、以能力为本位”的指导思想，在深入开展任务驱动教学的基础上，编写了电子信息类专业的“电路基础”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”等3门专业基础课程模块式教材。《模拟电子技术应用基础》是本系列教材之一。

“模拟电子技术”课程是一门理论与应用较强的专业基础课程，本教材的突出特点是理论学习与实际应用并重，教学的设计思路采用模块化任务导向式的教学方法，课程通过任务的引领，将知识点融入其中，提高课程和教学的工作指向性，达到理论与实际应用的结合，使学生能够学以致用，满足高职人才培养的要求。

在内容叙述上力求深入浅出，将知识点与能力有机结合，注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。书中对所涉及的器件内部结构与电路原理没有做太多的阐述，而是通过各种应用实例熟悉器件在电子系统中的具体应用。

本书共分为5个模块，内容包括：常用半导体器件、基本放大电路、模拟集成电路、波形发生电路、集成稳压器等。每个模块中都有若干任务引领，以“课题”、“任务”为支撑，将知识点融入其中，由浅入深，层层展开，完成课题任务目标。

本书参考学时为80~90学时，使用者可根据具体情况增减学时。

本书由武汉职业技术学院王川主编，崔群凤、黄京副主编。其中：模块1中的课题1、模块2由崔群凤编写；模块1中的课题2、模块3、模块5由王川编写；模块4由黄京编写。全书由王川统稿，武汉职业技术学院魏汉勇副教授和深圳德普施科技公司高级工程师王吉连审阅，本书由魏汉勇担任主审。

本书在编写过程中，得到了武汉职业技术学院电信工程学院任课老师的大力支持，并对编写大纲进行了审定；在修订过程中，郭守田副教授和彭芬副教授提出了许多宝贵意见，蔡静老师对书稿进行了认真的校对，在此一并表示衷心的感谢。由于对基于工作过程的教学理念的学习不够，加上时间紧和编者水平所限，书中难免存在不足和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者
2010年7月



模块 1 常用半导体器件	1
课题 1 晶体二极管和三极管	2
任务 1 延时照明开关电路的设计	2
1.1 任务目标	2
1.2 知识积累	2
1.2.1 半导体基本知识	2
1.2.2 PN 结及其单向导电性	2
1.2.3 半导体二极管	3
1.2.4 半导体三极管	6
1.3 任务实施过程	11
1.3.1 任务分析	11
1.3.2 任务设计	11
1.3.3 任务实现	12
1.4 知识链接	12
1.4.1 特殊二极管	12
1.4.2 场效应管	14
1.4.3 复合管	16
1.5 阶段小结	18
1.6 边学边议	18
课题 2 晶闸管的应用	20
任务 2 可调台灯电路的设计	20
2.1 任务目标	20
2.2 知识积累	20
2.2.1 晶闸管	20
2.2.2 其他类型的晶闸管	22
2.2.3 晶闸管可控整流电路	24
2.2.4 晶闸管逆变电路	26
2.3 任务实施过程	28

2.3.1	任务分析	28
2.3.2	任务设计	28
2.3.3	任务实现	29
2.4	知识链接	29
2.4.1	晶闸管的主要参数	29
2.4.2	双向触发二极管简介	30
2.4.3	晶闸管的保护	31
2.5	阶段小结	33
2.6	边学边议	33
2.7	知识阅读	34
模块 2	基本放大电路	36
课题 1	基本放大电路的应用	37
任务 3	电子助听器的设计	37
3.1	任务目标	37
3.2	知识积累	37
3.2.1	放大器的基本概念	37
3.2.2	放大电路的主要性能指标	38
3.2.3	基本放大电路	40
3.2.4	放大电路静态工作点的稳定	47
3.2.5	共集电极放大电路	49
3.3	任务实施过程	51
3.3.1	任务分析	51
3.3.2	任务设计	51
3.3.3	任务实现	52
3.4	知识链接	52
3.4.1	共基极放大电路	52
3.4.2	多级放大电路	52
3.4.3	基本放大电路的频率特性	54
3.5	阶段小结	55
3.6	边学边议	56
课题 2	负反馈放大电路的应用	59
任务 4	集成运放电压放大器的设计	59
4.1	任务目标	59
4.2	知识积累	59
4.2.1	反馈	59
4.2.2	反馈性质的判别	61

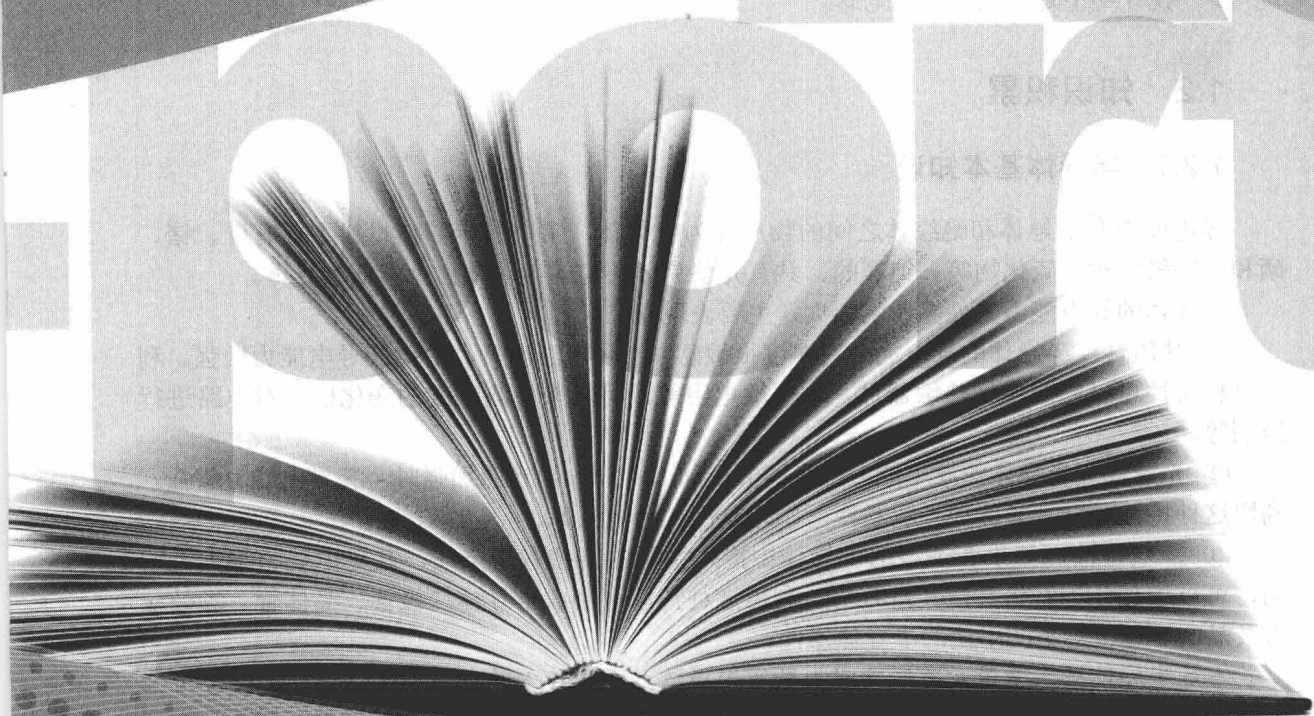
4.2.3	负反馈的类型	61
4.2.4	负反馈放大器的四种组态	63
4.2.5	负反馈对放大电路性能的影响	67
4.3	任务实施过程	70
4.3.1	任务分析	70
4.3.2	任务设计	70
4.3.3	任务实现	71
4.4	知识链接	71
4.5	阶段小结	74
4.6	边学边议	74
4.7	知识阅读	76
模块 3	模拟集成电路	77
课题 1	模拟集成电路的应用	78
任务 5	汽车倒车警示电路	78
5.1	任务目标	78
5.2	知识积累	78
5.2.1	差分放大器	78
5.2.2	集成运算放大器	84
5.2.3	集成功率放大器	91
5.3	任务实施过程	97
5.3.1	任务分析	97
5.3.2	任务设计	98
5.3.3	任务实现	98
5.4	知识链接	99
5.4.1	LM386 集成功率放大器的应用电路	99
5.4.2	功率放大器的散热问题	100
5.4.3	集成运放在使用时应考虑的一些问题	101
5.5	阶段小结	102
5.6	边学边议	102
5.7	知识阅读	105
模块 4	波形发生电路	107
课题 1	音频信号发生器	108
任务 6	简易音频信号发生器的设计	108
6.1	任务目标	108
6.2	知识积累	108

6.2.1	正弦波振荡电路	108
6.2.2	RC 正弦波振荡电路	110
6.2.3	LC 正弦波振荡电路	112
6.2.4	石英晶体正弦波振荡电路	119
6.3	任务实施过程	123
6.3.1	任务分析	123
6.3.2	任务设计	124
6.3.3	任务实现	124
6.4	知识链接	125
6.5	阶段小结	126
6.6	边学边议	126
任务 7	红外线警戒装置	128
7.1	任务目标	128
7.2	知识积累	128
7.2.1	电压比较电路	128
7.2.2	单限比较电路	130
7.2.3	滞回电压比较电路	132
7.2.4	窗口电压比较电路	134
7.2.5	矩形波发生电路	134
7.3	任务实施过程	136
7.3.1	任务分析	136
7.3.2	任务设计	136
7.3.3	任务实现	137
7.4	知识链接	137
7.4.1	占空比可调电路	137
7.4.2	三角波发生电路	138
7.5	阶段小结	140
7.6	边学边议	141
7.7	知识阅读	143
模块 5	集成稳压器	144
课题 1	集成稳压电路的应用	145
任务 8	直流稳压电源的设计	145
8.1	任务目标	145
8.2	知识积累	145
8.2.1	单相整流滤波电路	145
8.2.2	线性集成稳压器	148

8.3 任务实施过程	151
8.3.1 任务分析	151
8.3.2 任务设计	152
8.3.3 任务实现	153
8.4 知识链接	154
8.4.1 三端集成稳压电路简介	154
8.4.2 集成稳压器的选择及注意事项	156
8.4.3 稳压电源主要指标	157
8.5 阶段小结	159
8.6 边学边议	159
8.7 知识阅读	161
参考文献	162

模块 1

常用半导体器件



课题 1

晶体二极管和三极管

任务 1 延时照明开关电路的设计

1.1 任务目标

- 知道二极管、三极管的主要外特性。
- 掌握二极管的特性并运用于电路中。
- 知道复合管的特点。
- 知道场效应管的主要特性。
- 设计一个延时照明开关电路。

1.2 知识积累

1.2.1 半导体基本知识

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体，常用的半导体材料主要有硅、锗、硒和一些氧化物、硫化物等。纯净的、具有完整晶体结构的半导体称为本征半导体。

半导体的导电能力受外界影响很大，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。利用这种特性可制成半导体二极管、晶体管、场效应管及晶闸管等很多不同用途的半导体器件。

本征半导体掺入微量元素后就成为杂质半导体。由于掺入的杂质不同，杂质半导体可分为 N 型半导体和 P 型半导体。N 型半导体参与导电的多数载流子为带负电的“自由电子”，P 型半导体参与导电的多数载流子为带正电的“空穴”。

1.2.2 PN 结及其单向导电性

在一块纯净的本征半导体中，通过不同的掺杂工艺，使其一边成为 N 型半导体，另一边

成为 P 型半导体，那么就会在这两种半导体的交界处形成 PN 结，如图 1-1 所示，PN 结是构成各种半导体器件的基础。

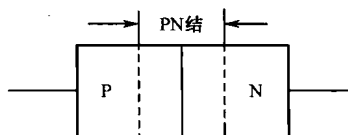


图 1-1 PN 结的内部结构示意图

PN 结具有单向导电性。当 P 区接电源正极，N 区接电源负极时，称为 PN 结正向偏置。这时，PN 结呈现很小的正向电阻，有较大的正向电流，PN 结处于导通状态，如图 1-2 (a) 所示。当 P 区接电源负极，N 区接电源正极时，称为 PN 结反向偏置。这时，PN 结呈现很大的反向电阻，有很小的反向电流，PN 结处于截止状态，如图 1-2 (b) 所示。所以，PN 结正偏时导通，PN 结反偏时截止，这就是 PN 结的单向导电性。

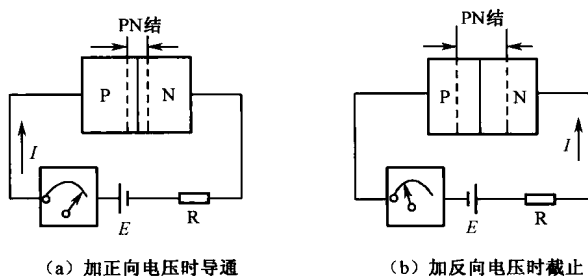


图 1-2 PN 结的单向导电性

1.2.3 半导体二极管

1. 二极管的基本结构

半导体二极管也叫晶体二极管，简称二极管。它是由一个 PN 结加上电极和引线用管壳封装而成的。按照制造二极管的材料不同，分为硅二极管和锗二极管；按照结构形式不同，分为点接触型二极管和面接触型二极管两类。

(1) 点接触型二极管

点接触型二极管的结构如图 1-3 (a) 所示，其特点是 PN 结面积小，因而结电容小，适用于高频（几百兆赫兹）工作，但不能通过很大的电流，常用于高频检波、脉冲电路和小电流整流。

(2) 面接触型二极管

面接触型二极管的结构如图 1-3 (b) 所示。其特点是 PN 结面积大，因而允许通过较大的正向电流，但其结电容也大，只能在较低频率下工作。二极管的符号如图 1-3 (c) 所示。

2. 二极管的特性

(1) 正向特性

在二极管两端加以正向电压，就会产生正向电流。但是，当起始电压很低时，正向电流很小，几乎为零，管子呈高阻状态，这段区域称为死区。正向电压增大，使二极管导通的临

界电压称为死区电压（又称门槛电压）。在常温下，硅管的死区电压一般约为 0.5V ，而锗管则约为 0.2V 。当二极管两端的电压大于死区电压后，管子开始导通，正向电流随着电压增加而迅速增大，管子呈低阻状态。从图 1-4 所示的特性可以看出，这时二极管的正向电流在相当大的范围内变化，而二极管两端的电压的变化不大（近似为恒压特性），小功率硅管约为 $0.6\sim 0.8\text{V}$ ，锗管约为 $0.2\sim 0.3\text{V}$ 。

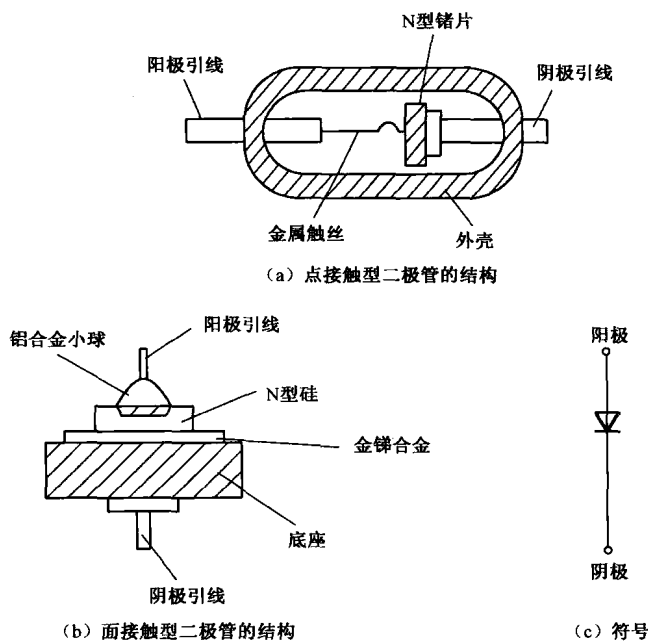


图 1-3 二极管的结构及符号

(2) 反向特性

在二极管两端加以反向电压，由于 PN 结的反向电阻很高，所以反向电压在一定范围内变化时，反向电流非常小，且基本不随反向电压而变化，这个电流称为反向饱和电流（正常情况下可忽略不计），此时管子处于截止状态。

反向饱和电流是二极管的一个重要参数，反向饱和电流越大，说明管子的单向导电性能越差。硅二极管的反向饱和电流比锗二极管小，一般为纳安（ nA ）数量级；锗二极管的反向饱和电流为微安数量级。另外，反向饱和电流随温度的上升而急剧增长，通常，温度每增加 10°C ，其值约增加 1 倍。

(3) 击穿特性

在图 1-4 中，当二极管的反向电压增大到一定数值后，其反向电流会突然增大，这种现象称为反向击穿。发生击穿时的电压称为反向击穿电压，用 U_{BR} 表示。二极管的击穿现象有电击穿与热击穿之分；发生了电击穿，如果将反向电压降至击穿电压以下，二极管仍能正常工作；发生了热击穿，二极管则会烧坏。在实际使用中，一般不允许二极管工作在击穿状态，但利用电击穿现象可以制成稳压二极管。

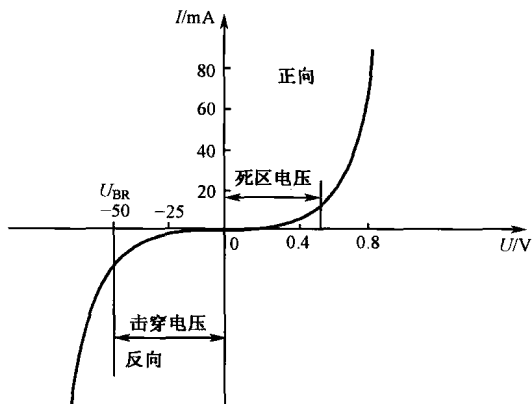


图 1-4 二极管的伏安特性曲线

(4) 温度对特性的影响

由于半导体的导电性能与温度有关,所以二极管对温度很敏感,温度升高时,二极管正向特性曲线向左移动,反向特性曲线向下移动,如图 1-5 所示,变化的规律是:在室温附近,温度每升高 1°C ,正向电压减小 $2\sim 2.5\text{mV}$,即温度系数约为 $-2.5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$;温度每升高 10°C ,反向电流约增大 1 倍。击穿电压也下降较多。

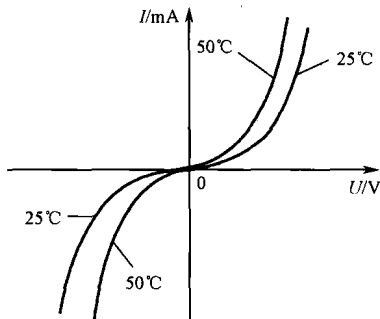


图 1-5 温度对二极管特性的影响

【例 1-1】电路如图 1-6 (a) 所示,输入电压波形如图 1-6 (b) 所示,设二极管为理想二极管,试绘出输出电压 u_o 的波形。

解:当理想二极管加正向电压时,二极管导通,其两端呈现的电阻为 0;加反向电压时,二极管截止,其两端呈现的电阻为 ∞ 。所以当 $u_i > 5\text{V}$ 时,二极管导通, $u_o = u_i$;当 $u_i < 5\text{V}$ 时,二极管截止, $u_o = 5\text{V}$ 。输出电压 (u_o) 波形如图 1-6 (c) 所示。该电路利用二极管的开关作用,把输入电压 $u_i < 5\text{V}$ 的部分掩盖了,所以此电路称为削波电路,也称为下限限幅电路。如果改变二极管的连接极性,还可以构成上限限幅电路。

3. 二极管的主要参数

二极管的参数是表征二极管的性能及其适用范围的数据,是选择和使用二极管的重要参考依据。二极管的主要参数有以下几个。

(1) 最大整流电流 I_F

最大整流电流 I_F 是指二极管长期运行时,允许通过二极管的最大正向平均电流。二极管在使用时不能超过此值,否则将使二极管过热而损坏。

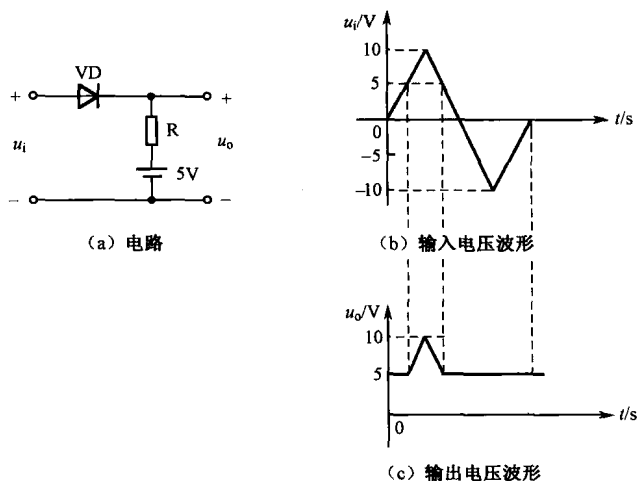


图 1-6 例 1-1 的电路图和电压波形

(2) 最大反向工作电压 U_{RM}

最大反向工作电压 U_{RM} 是指二极管工作时两端所允许加的最大反向电压。为保证二极管安全工作, 不被击穿, 通常 U_{RM} 约为反向击穿电压 U_{BR} 的一半。

(3) 反向电流 I_R

反向电流 I_R 是指二极管加最大反向工作电压 U_{RM} 时的反向电流。反向电流越小, 管子的单向导电性能越好。常温下, 硅管的反向电流一般只有几微安; 锗管的反向电流较大, 一般在几十至几百微安之间。反向电流受温度影响大, 温度越高, 其值越大, 故硅管的温度稳定性比锗管好。

(4) 最高工作频率 f_M

由于 PN 结存在结电容, 它的存在限制了二极管的工作频率。如果通过二极管的信号频率超过管子的最高工作频率 f_M , 则结电容的容抗变小, 高频电流将直接从结电容上通过, 管子的单向导电性变差。

1.2.4 半导体三极管

1. 三极管的结构及符号

与二极管相比, 三极管是由两个 PN 结构成的, 其基本特性是具有电流放大作用。三极管按其结构不同, 分为 NPN 型和 PNP 型两种。相应的结构示意图及电路符号如图 1-7 所示。

三极管的内部结构分为发射区、基区和集电区, 相应引出的电极分别为发射极 e、基极 b 和集电极 c。发射区和基区之间的 PN 结称为发射结, 集电区和基区之间的 PN 结称为集电结。在电路符号中, 发射极的箭头方向表示三极管在正常工作时发射极电流的实际方向。

在制作三极管时, 其内部的结构特点是:

- ① 发射区掺杂浓度高;
- ② 基区很薄, 且掺杂浓度低;
- ③ 集电结面积大于发射结面积。

以上特点是三极管实现放大作用的内部条件。

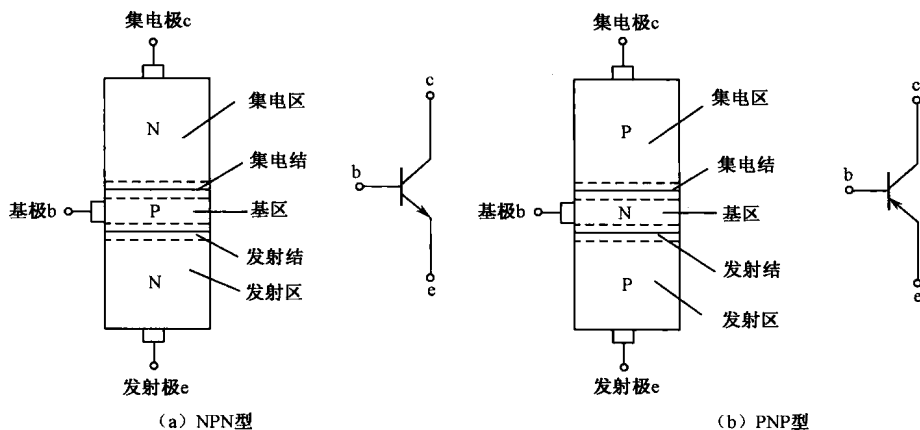


图 1-7 三极管的结构及符号

另外，三极管按其所用半导体材料不同，分为硅管和锗管；按用途不同，分为放大管、开关管和功率管；按工作频率不同，分为低频管和高频管；按耗散功率大小不同，分为小功率管和大功率管等。一般硅管多为 NPN 型，锗管多为 PNP 型。

2. 三极管的电流放大作用

(1) 三极管的电流放大条件

三极管要实现电流放大除满足内部条件外，还应满足外部偏置条件，即发射结正偏、集电结反偏，如图 1-8 所示。

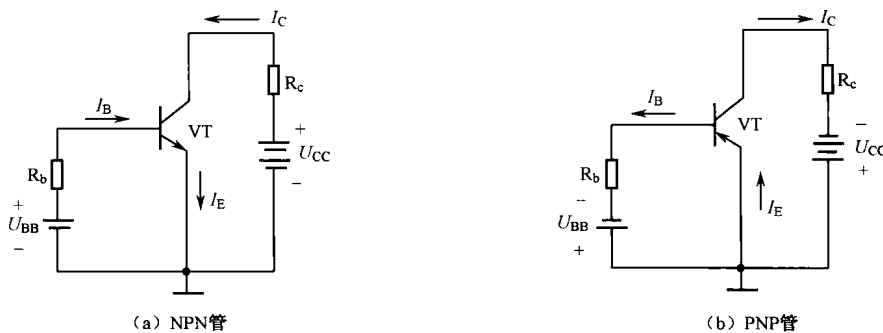


图 1-8 三极管放大的外部偏置条件

若用三极管三个电极电位的高低来判断三极管是否处于放大状态，对于 NPN 管，发射结正偏时 $U_B > U_E$ ，集电结反偏时 $U_C > U_B$ ，则各电极电位之间的关系是 $U_C > U_B > U_E$ ；对于 PNP 型管，发射结正偏时 $U_B < U_E$ ，集电结反偏时 $U_C < U_B$ ，则各电极之间的关系是 $U_C < U_B < U_E$ 。

(2) 电流分配关系

三极管电流放大实验电路如图 1-9 所示。电路中三极管的偏置满足发射结正偏，集电结反偏。调节基极偏置电阻 R_b ，改变 I_B 的大小，得出相应的 I_C 和 I_E 的数据，见表 1-1。

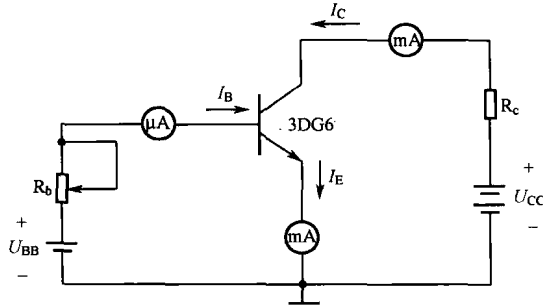


图 1-9 三极管电流放大的实验电路

表 1-1 电流放大实验数据

I_B (mA)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
I_C (mA)	<0.001	0.70	1.50	2.30	3.10	3.95
I_E (mA)	<0.001	0.72	1.54	2.36	3.18	4.05

由表 1-1 可知:

① 三极管的基极电流 I_B ，集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 之间符合基尔霍夫定律，即

$$I_E = I_B + I_C \tag{1-1}$$

同时， $I_B \ll I_C$ ，所以 $I_E \approx I_C$ 。

② 晶体管具有电流放大作用。从表 1-1 可看出， I_C 与 I_B 的比值近似为常数。通常， $\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$

称为共射极直流电流放大系数，所以有

$$I_C = \bar{\beta} \times I_B \tag{1-2}$$

$$I_E = (1 + \bar{\beta}) I_B \tag{1-3}$$

由表 1-1 中的数据可知

当 $I_B = 0.02\text{mA}$ 时， $I_C = 0.70\text{mA}$ ，则 $\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} = 0.70/0.02 = 35$ ；

当 $\Delta I_B = 0.04 - 0.02 = 0.02\text{mA}$ ，相应地 $\Delta I_C = 1.50 - 0.70 = 0.80\text{mA}$ 时，则 $\bar{\beta} = \Delta I_C / \Delta I_B = \frac{0.80}{0.02} = 40$ 。

通常， $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$ 称为共射极交流电流放大系数。由上面可知 $\beta \approx \bar{\beta}$ 。为了表示方便，以后不加区分，统一用 β 表示。

(3) 放大作用的实质

由上述实验结果可知，当 I_B 有微小变化时，能引起 I_C 较大的变化，这种现象称为三极管的电流放大作用。电流放大作用的实质是通过改变基极电流 I_B 的大小，达到控制 I_C 的目的，而不是真正把微小电流放大了，因此三极管也称为电流控制型器件。

3. 三极管的特性曲线及工作区域

三极管的各电极电压和各电极电流之间的关系曲线称为三极管的伏安特性曲线。三极管放大交流信号时有共发射极、共集电极和共基极三种接法。下面介绍常用的 NPN 管共射电路的特性曲线，其测试电路如图 1-10 所示。

