

高等学校教学参考书

# 模拟电子技术基础 简明教程(第二版) 教学指导书

- 清华大学电子学教研组 编
- 杨素行 主编

- 高等教育出版社

高等学校教学参考书

# 模拟电子技术基础简明教程

第二版

## 教学指导书

清华大学电子学教研组编

杨素行 主编



高等教育出版社

## 内 容 提 要

本书是《模拟电子技术基础简明教程(第二版)》(清华大学电子学教研组编、杨素行主编)教材(1998年10月由高等教育出版社出版)的配套教学参考书。本教学指导书为采用上述教材的教师备课、深入研究教材和批改作业提供了方便,同时可帮助广大学生及自学上述教材的读者正确把握模拟电子技术基础课程的教学基本要求,牢固掌握课程的基本概念、基本原理和基本分析方法,学习解题方法。主要内容为教材各章的基本教学要求、学习要点、重点难点分析、部分习题分析和详解以及全部习题的解答。书末附有几套测试性试题,并给出相应的参考答案。

本书可作为高等学校电气信息类专业教师的教学参考书和学生的学习指导书。

## 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础简明教程(第二版)教学指导书/  
杨素行主编.—2版.—北京:高等教育出版社,  
2004.1

ISBN 7-04-013023-8

I.模... II.杨... III.模拟电路—电子技术—高  
等学校—教学参考资料 IV.TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第097652号

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-82028899		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	新华书店北京发行所		
排 版	高等教育出版社照排中心		
印 刷	北京地质印刷厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	2004年1月第1版
印 张	23	印 次	2004年1月第1次印刷
字 数	430 000	定 价	28.30元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

# 前 言

清华大学电子学教研组编、杨素行主编的《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)一书出版以来,被许多高等院校采用作为模拟电子技术课程的教材,得到广大读者的关心。

为便于采用上述教材的教师进行备课,深入研究教材和批改作业;同时,也为了帮助广大学生及自学上述教材的读者正确把握模拟电子技术课程的教学基本要求,牢固掌握课程的基本概念、基本原理和基本分析方法,学习解题的方法,作者编写了与《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)配套的《教学指导书》,供大家参考。

本《教学指导书》是在作者过去编写的《模拟电子技术基础简明教程(第二版)教师手册》(属内部发行)的基础上扩充、修改而成的。上述《模拟电子技术基础简明教程(第二版)教师手册》的编写工作得到了童诗白教授和胡东成教授的大力支持和热诚的帮助。清华大学自动化系及电子学教研组的其他许多教师和研究生也对编写工作给予了支持和具体的帮助。

北京工业大学自动化系陆培新教授认真细致地审阅了本书的全部初稿,提出了许多宝贵的意见和建议。

谨对以上所有的同志致以深切的感谢。

由于作者的水平有限,书中一定存在许多错误或不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2003年8月于清华大学

# 目 录

绪论	1
一、模拟电子技术课程的性质和特点	1
二、学习模拟电子技术应注意的几个问题	2
三、本书的结构	2
四、讲课学时建议	3
第一章 半导体器件	4
1.1 本章基本教学要求	4
1.1.1 要求掌握的内容	4
1.1.2 要求理解的内容	4
1.1.3 要求了解的内容	4
1.2 本章学习要点	4
1.2.1 本章内容提要	4
1.2.2 学习本章应注意的问题	6
1.3 重点、难点分析	6
1.3.1 半导体二极管的单向导电作用	6
1.3.2 稳压二极管的稳压作用	9
1.3.3 双极型三极管的电流放大作用	10
1.3.4 场效应三极管的特点	14
1.4 部分习题分析及详解	17
1.5 习题参考答案	21
第二章 放大电路的基本原理	26
2.1 本章基本教学要求	26
2.1.1 要求掌握的内容	26
2.1.2 要求理解的内容	26
2.1.3 要求了解的内容	26
2.2 本章学习要点	26
2.2.1 本章的重要性	27
2.2.2 本章内容提要	27
2.2.3 学习本章应注意的问题	29
2.3 重点、难点分析	30

2.3.1	静态和动态、直流通路和交流通路	30
2.3.2	静态工作点的设置与估算	33
2.3.3	图解法	35
2.3.4	微变等效电路法	38
2.3.5	静态工作点稳定电路	40
2.3.6	放大电路的三种基本组态	44
2.3.7	多级放大电路	46
2.4	部分习题分析及详解	48
2.5	习题参考答案	55
<b>第三章</b>	<b>放大电路的频率响应</b>	<b>63</b>
3.1	本章基本教学要求	63
3.1.1	要求掌握的内容	63
3.1.2	要求理解的内容	63
3.1.3	要求了解的内容	63
3.2	本章学习要点	63
3.2.1	本章内容提要	63
3.2.2	学习本章应注意的问题	64
3.3	重点、难点分析	65
3.3.1	频率响应的基本概念	65
3.3.2	三极管的频率参数	67
3.3.3	单管共射放大电路的频率响应	69
3.3.4	多级放大电路的频率响应	76
3.4	部分习题分析及详解	78
3.5	习题参考答案	81
<b>第四章</b>	<b>集成运算放大电路</b>	<b>83</b>
4.1	本章基本教学要求	83
4.1.1	要求掌握的内容	83
4.1.2	要求理解的内容	83
4.1.3	要求了解的内容	83
4.2	本章学习要点	83
4.2.1	本章内容提要	84
4.2.2	学习本章应注意的问题	85
4.3	重点、难点分析	86
4.3.1	集成运放的基本组成部分	86
4.3.2	集成运放的偏置电路	87

4.3.3	差分放大电路的三种电路形式	92
4.3.4	差分放大电路的估算	93
4.3.5	差分放大电路四种不同的输入、输出方式	98
4.3.6	集成运放的主要技术指标	100
4.3.7	理想运放和“虚短”、“虚断”的概念	101
4.4	部分习题分析及详解	106
4.5	习题参考答案	112
<b>第五章</b>	<b>放大电路中的反馈</b>	<b>115</b>
5.1	本章基本教学要求	115
5.1.1	要求掌握的内容	115
5.1.2	要求理解的内容	115
5.1.3	要求了解的内容	115
5.2	本章学习要点	115
5.2.1	本章内容提要	115
5.2.2	学习本章应注意的问题	117
5.3	重点、难点分析	118
5.3.1	反馈概念的建立	118
5.3.2	反馈的分类和判断	118
5.3.3	负反馈的四种组态和反馈的一般表达式	123
5.3.4	利用负反馈改善放大电路的性能	127
5.3.5	负反馈放大电路的分析估算	131
5.3.6	负反馈放大电路的自激振荡	135
5.4	部分习题分析及详解	140
5.5	习题参考答案	146
<b>第六章</b>	<b>模拟信号运算电路</b>	<b>151</b>
6.1	本章基本教学要求	151
6.1.1	要求掌握的内容	151
6.1.2	要求了解的内容	151
6.2	本章学习要点	151
6.2.1	本章内容提要	151
6.2.2	学习本章应注意的问题	153
6.3	重点、难点分析	153
6.3.1	比例运算电路	153
6.3.2	求和电路	159
6.3.3	积分和微分电路	164

6.3.4	对数和指数电路 .....	170
6.3.5	乘法和除法电路 .....	171
6.4	部分习题分析及详解 .....	173
6.5	习题参考答案 .....	180
<b>第七章</b>	<b>信号处理电路</b> .....	<b>185</b>
7.1	本章基本教学要求 .....	185
7.1.1	要求掌握的内容 .....	185
7.1.2	要求理解的内容 .....	185
7.1.3	要求了解的内容 .....	185
7.2	本章学习要点 .....	185
7.2.1	本章内容提要 .....	185
7.2.2	学习本章应注意的问题 .....	187
7.3	重点、难点分析 .....	188
7.3.1	有源滤波器的作用和分类 .....	188
7.3.2	低通和高通滤波器 .....	189
7.3.3	带通和带阻滤波器 .....	195
7.3.4	各种有源滤波电路的比较 .....	199
7.3.5	过零比较器与单限比较器 .....	201
7.3.6	滞回比较器 .....	204
7.3.7	双限比较器 .....	206
7.3.8	各种电压比较器的比较 .....	207
7.4	部分习题分析及详解 .....	211
7.5	习题参考答案 .....	216
<b>第八章</b>	<b>波形发生电路</b> .....	<b>222</b>
8.1	本章基本教学要求 .....	222
8.1.1	要求掌握的内容 .....	222
8.1.2	要求理解的内容 .....	222
8.1.3	要求了解的内容 .....	222
8.2	本章学习要点 .....	222
8.2.1	本章内容提要 .....	222
8.2.2	学习本章应注意的问题 .....	225
8.3	重点、难点分析 .....	225
8.3.1	产生正弦波振荡的条件 .....	225
8.3.2	文氏电桥式振荡电路 .....	227
8.3.3	其他 RC 振荡电路 .....	232



---

8.3.4 LC 振荡电路 .....	235
8.3.5 石英晶体振荡器 .....	244
8.3.6 非正弦波发生电路 .....	246
8.4 部分习题分析及详解 .....	252
8.5 习题参考答案 .....	257
<b>第九章 功率放大电路 .....</b>	<b>262</b>
9.1 本章基本教学要求 .....	262
9.1.1 要求掌握的内容 .....	262
9.1.2 要求理解的内容 .....	262
9.1.3 要求了解的内容 .....	262
9.2 本章学习要点 .....	262
9.2.1 本章内容提要 .....	262
9.2.2 学习本章应注意的问题 .....	263
9.3 重点、难点分析 .....	264
9.3.1 功率放大的基本概念 .....	264
9.3.2 OTL 互补对称电路 .....	266
9.3.3 OCL 互补对称电路 .....	273
9.3.4 复合管组成的互补对称电路 .....	276
9.4 部分习题分析及详解 .....	280
9.5 习题参考答案 .....	284
<b>第十章 直流电源 .....</b>	<b>287</b>
10.1 本章基本教学要求 .....	287
10.1.1 要求掌握的内容 .....	287
10.1.2 要求理解的内容 .....	287
10.1.3 要求了解的内容 .....	287
10.2 本章学习要点 .....	288
10.2.1 本章内容提要 .....	288
10.2.2 学习本章应注意的问题 .....	290
10.3 重点、难点分析 .....	290
10.3.1 对直流电源的一般要求及直流电源的组成 .....	290
10.3.2 单相整流电路 .....	292
10.3.3 倍压整流电路 .....	297
10.3.4 滤波电路 .....	298
10.3.5 硅稳压管稳压电路 .....	307
10.3.6 串联型直流稳压电路 .....	314

---

10.3.7 三端集成稳压器的特点、组成和使用方法 .....	322
10.3.8 开关型稳压电路的特点 .....	324
10.3.9 可控整流电路 .....	324
10.4 部分习题分析及详解 .....	327
10.5 习题参考答案 .....	333
<b>附录 A 试题举例</b> .....	<b>342</b>
A.1 试题举例 1 .....	342
A.2 试题举例 2 .....	346
<b>附录 B 试题举例参考答案</b> .....	<b>351</b>
B.1 试题举例 1 参考答案 .....	351
B.2 试题举例 2 参考答案 .....	353

# 绪 论

模拟电子技术课程在高等院校理工科电类专业学生的培养过程中起着重要的作用。它不仅要为今后学习有关的后续课程打下基础,而且模拟电子技术课程本身涉及的一些基本概念、基本原理和基本分析方法,对于培养学生分析问题和解决问题的能力也十分重要。因此,本课程通常被列为有关专业的重要技术基础课。

## 一、模拟电子技术课程的性质和特点

首先,作为一门技术基础课,模拟电子技术既不同于专业课——本课程强调基本概念、基本原理和基本分析方法,为将来在工作中应用电子技术解决实际问题打下牢固的基础;又不同于某些基础理论课——本课程的内容更接近工程实际,因此,在学习方法上要适应这种特点。一方面,在分析各种电子电路的工作原理时要紧紧抓住基本概念和基本分析方法;另一方面,在分析和计算时又常常需要从实际情况出发,抓住主要矛盾,忽略次要因素,这就使开始学习时可能感到不习惯,甚至认为“不严格”。实际上,由于工艺制造上的分散性,各种电子器件的实际特性曲线与手册上给出的参考特性曲线之间一般都存在差别,而电阻、电容等元件的误差通常约为 $\pm 5\% \sim \pm 20\%$ ,所以,在分析和计算电子电路时过分追求“精确”是没有必要的。

其次,电子技术是一门发展十分迅速的学科。课程内容现在已经非常丰富,而且还在不断更新,新的器件、新的应用电路层出不穷,日新月异,因此,在教学计划规定的短短几十学时内,要求面面俱到、包罗万象是不可能的。实际上,今天的学习是为今后的工作和进一步的学习打下基础,所以,在本课程的学习中,一方面要抓住基本,另一方面要注意能力的培养,包括学习新知识、新技术的能力。

最后,电子技术是一门实践性很强的课程。由这一特点决定,实践环节和动手能力的培养在课程中占有重要的地位。为了加强实践环节,本课程除了讲课以外,通常还应有一定学时数的实验课。通过实验,不仅巩固和深化书本上学到的知识,而且倡导理论联系实际的精神,提高电子技术方面的动手能力,培养严谨踏实的科学作风。

模拟电子技术课程的主要先修课有“物理·电学”和“电路分析”,特别是后者。在分析模拟电子电路时,经常需要运用“电路分析”中有关的基础知识,例如

电压源、电流源和受控源的概念,基尔霍夫定律,叠加定理,戴维宁定理和诺顿定理,RC 电路时间常数的概念等等。

## 二、学习模拟电子技术应注意的几个问题

第一,注意正确理解和掌握模拟电路的基本概念和重要术语,例如,PN 结,单向导电性,稳压作用,放大作用,截止、放大和饱和,直流通路和交流通路,静态和动态,正向偏置和反向偏置,工作点,负载线,非线性失真,放大倍数,输入电阻和输出电阻,零点漂移,频率响应,波特图,理想运放,虚短,虚地,差模和共模,共模抑制比,反馈,开环和闭环,自激振荡,互补对称,交越失真等等。

第二,注意掌握模拟电路常用的分析方法,例如,分析放大电路静态工作情况和分析波形失真常用的图解法,分析放大电路动态性能(如放大倍数、输入输出电阻等)的微变等效电路法,判断正负反馈的瞬时极性法,估算深负反馈条件下放大电路闭环放大倍数的近似估算法,分析运放应用电路的“虚短”和“虚断”法,利用相位平衡条件和幅度平衡条件判断电路能否产生正弦波振荡的方法等等。

第三,注意通过模拟电子技术课程的学习,培养分析问题和解决问题的能力,例如,初步的电子电路读图能力(能阅读较简单的典型电子设备的原理图,了解各主要组成部分的作用和原理),根据要求选择基本单元电路和选用元器件的初步能力,估算基本电路主要性能指标的初步能力等等。

## 三、本书的结构

本《教学指导书》的主要内容有:全书的最前面是“绪论”,阐明模拟电子技术课程的性质和特点,学习模拟电子技术应注意的几个问题,介绍本书的结构,并提出了采用《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)一书进行教学的讲课学时建议,供老师和同学们参考。然后,按照《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)一书的顺序列出十章,每章的内容如下。

### 1. 本章基本教学要求

进一步明确各章的基本教学要求,并按照“掌握”、“理解”和“了解”三个层次分别列出。其中,要求“掌握”的内容属于本课程中最基本、最重要的基本概念、基本原理和基本分析方法,必须牢固掌握,显然,“掌握”是最高层次的要求。其次是要求“理解”的内容,这部分通常也是课程中比较重要的内容,只是与要求“掌握”的内容相比,要求略低而已。要求“了解”的内容是三者之中相对来说最低层次的要求,但是,要求“了解”的内容也属于本课程的教学要求。

### 2. 本章学习要点

主要提出两个问题,一个是本章内容提要,简要介绍本章的主要内容;另一

个是学习本章应注意的问题。

### 3. 重点和难点分析

在本章范围内,提出若干重点和难点的内容,进行较深入的分析,以帮助学生掌握模拟电子技术的基本概念和基本电路的工作原理。

### 4. 部分习题分析及详解

挑选若干典型习题,通过分析以及较详细的解题过程,帮助学生掌握模拟电子电路的基本分析方法和解题方法。对每道习题均明确指出其出题的意图。

### 5. 习题参考答案

给出《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)一书中各章习题的简要参考答案。

最后,在本书的附录 A 中,给出了两套试题作为例子,供读者参考。同时,在附录 B 中,给出了试题举例相应的参考答案。

## 四、讲课学时建议

如采用《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)作为教材,假设讲课学时为 64 或 48(实验课除外),这里提出下表所示的讲课学时安排作为建议,供大家参考。

章号	内 容	学时(总 64)	学时(总 48)	备 注
1	半导体器件	5	4	
2	放大电路的基本原理	10	7	
3	放大电路的频率响应	4	3	
4	集成运算放大电路	8	6	
5	放大电路中的反馈	8	6	
6	模拟信号运算电路	6	4	
7	信号处理电路	5	4	
8	波形发生电路	6	4	
9	功率放大电路	4	3	
10	直流电源	6	5	
	机动	2	2	期中考试
总计		64	48	

## 第一章

---

# 半导体器件

---

## 1.1 本章基本教学要求

### 1.1.1 要求掌握的内容

1. 半导体二极管的伏安特性及主要参数。
2. 稳压二极管的伏安特性及主要参数。
3. 半导体三极管的输入、输出特性及主要参数。

### 1.1.2 要求理解的内容

1. PN 结的单向导电性。
2. 半导体三极管的放大作用。
3. 场效应三极管的放大原理、特性曲线及主要参数。

### 1.1.3 要求了解的内容

1. 半导体中的两种载流子。
2. N 型半导体和 P 型半导体。

## 1.2 本章学习要点

各种半导体器件,包括半导体二极管、稳压管、双极型三极管和场效应三极管等是构成各种模拟电子电路(包括分立元件电路和集成电路)的基本元件。因此,本章属于模拟电子电路的基础性内容。

### 1.2.1 本章内容提要

#### 1. 半导体的基本知识

半导体器件由各种半导体材料制成,例如硅、锗等。本章首先介绍半导体的基本知识。

纯净的半导体称为本征半导体。半导体中有两种载流子:带负电的自由电

子和带正电的空穴。总的来说,常温下本征半导体中载流子的浓度很低,导电能力很差。本征半导体没有什么实用价值。

在本征半导体中掺入某种特定的杂质,就成为**杂质半导体**,其导电情况将发生根本变化。根据掺入杂质的不同,杂质半导体分为两种:**N型半导体**(多数载流子是电子),和**P型半导体**(多数载流子是空穴)。

P型半导体和N型半导体结合在一起,就形成一个**PN结**。本章介绍了PN结在正向接法和反向接法时电路中的导电状况不同,从而说明,PN结具有单向导电性。PN结是构成各种半导体器件的基础。

### 2. 半导体二极管

随后介绍半导体二极管的结构、伏安特性和主要参数。半导体二极管由一个PN结,加上外壳和电极引线而构成。它的主要特点就是具有**单向导电性**,利用这一特点,可以组成整流电路,将交流电转换为直流电。

### 3. 稳压管

本章介绍了稳压二极管的结构、伏安特性和主要参数。稳压管实质上也是一种二极管,但是一种特殊的二极管。与一般的半导体二极管不同,稳压管通常工作在反向击穿区。在二极管特性曲线的反向击穿部分,当流过二极管的电流在一个相当大的范围内变化时,管子两端的电压变化很小。利用这一特性,可以实现**稳压**作用。

稳压管虽然工作在反向击穿区,但只要注意稳压管中的电流,使其不超过规定值,则不会对管子造成损坏。

### 4. 双极型三极管

双极型三极管(BJT)和场效应三极管(FET)是模拟电子电路中主要的放大器件。本章介绍了双极型三极管的结构和电流放大作用,以及三极管的伏安特性和主要参数。

从双极型三极管的结构来看,有NPN和PNP两种类型。这两种类型的三极管内部都包含两个PN结:发射结和集电结,而且引出三个电极:发射极、基极和集电极。

双极型三极管的特点是具有**电流放大作用**。当三极管工作在放大区时,如果基极电流有一个微小的变化量 $\Delta I_B$ ,集电极电流将随之产生一个较大的变化量 $\Delta I_C$ ,通常 $\Delta I_C$ 比 $\Delta I_B$ 大得多。表征双极型三极管电流放大作用的主要参数有:共射电流放大系数 $\beta$ 和共基电流放大系数 $\alpha$ 等。

双极型三极管的输入、输出特性曲线能够较全面地描述三极管各极电流与电压之间的关系。在三极管的共射输出特性上,可以划分为三个区:截止区、放大区和饱和区。在截止区和饱和区,三极管不能实现放大作用。在各种放大电路中,必须使三极管工作在放大区内,才能对信号进行线性放大,避免产生明显

的非线性失真。

### 5. 场效应三极管

与双极型三极管不同,场效应三极管只有一种极性的载流子参与导电,所以又称为单极型三极管。场效应管总的可分为两大类:结型和绝缘栅型,后一种又可简称为 MOS 场效应管。本章介绍上述两种场效应三极管的结构、伏安特性和主要参数。

场效应三极管利用栅极与源极之间电压的电场效应来控制漏极电流的变化,所以认为是一种电压控制元件。描述场效应管放大作用的主要参数有跨导  $g_m$ 。

描述场效应管各极电流和电压之间关系的特性曲线有,漏极特性曲线——当栅-源之间电压不变时,漏极电流与漏-源之间电压的关系曲线,以及转移特性曲线——当漏-源之间电压不变时,漏极电流与栅-源之间电压的关系曲线。

与双极型三极管相比,场效应管的另一个重要特点是输入电阻高,另外,在制造工艺方面,比较容易实现大规模集成,因此发展十分迅速。

## 1.2.2 学习本章应注意的问题

1. 学习半导体器件的目的在于应用,因此,本章学习的重点是各种器件的外特性。至于器件的内部,只需了解其最基本的原理,以便理解有关器件的工作原理和特点,从而更好地掌握这些器件的外特性。对于半导体内部深入的工作机理,不宜花费过多的精力。

2. 从应用的角度出发,要求很好地理解和掌握有关器件的伏安特性和主要参数。学习本章之后,在以后各章,将利用各种不同的器件组成形形色色的电子电路。而其中的关键是掌握器件的伏安特性和主要参数。只有掌握了器件的伏安特性和主要参数,方能根据实际需要,正确选用适当的器件,并对组成的电路进行定性分析或定量估算。

3. 通过本章的学习,应能明确认识并区分本章所介绍的各种半导体器件的特点和用途,并且与有关器件的特性曲线联系起来。例如,从半导体二极管的伏安特性看出其单向导电性,从稳压管的伏安特性看出其具有稳压作用,从双极型三极管的输入、输出特性看出其具有电流放大作用,从场效应三极管的漏极特性曲线和转移特性看出其具有电压控制作用,等等。

## 1.3 重点、难点分析

### 1.3.1 半导体二极管的单向导电作用

半导体二极管的核心组成部分是一个 PN 结。下面讨论 PN 结是如何形成



的,它的主要特性是什么。

### 1. PN 结的形成及其单向导电性

如将一块半导体的一侧掺杂为 P 型,而另一侧掺杂为 N 型,则在 P 型和 N 型的交界处即形成一个 PN 结。

在 PN 结中存在着两种载流子的运动:扩散运动和漂移运动。

**扩散运动**——这是多数载流子的运动。由于在 P 区和 N 区交界面两侧的半导体中电子和空穴的浓度不同,因此,P 区的多数载流子(空穴)要向 N 区扩散,同时,N 区的多数载流子(电子)也要向 P 区扩散。当空穴和电子相遇时,由于发生复合而消失。于是,剩下不能参加导电的正负离子,它们组成了一个空间电荷区,即 PN 结,又称耗尽层,如图 1.3.1 所示。因为这些正负离子带电的极性不同,所以在交界面的两侧产生一个电位差  $U_D$ ,又称**电位壁垒**。电场的方向由 N 区指向 P 区,如图 1.3.1 所示。这个电场称为**内电场**。由图可见,内电场的作用将阻止多数载流子继续进行扩散运动,但是,却促进少数载流子的漂移运动。

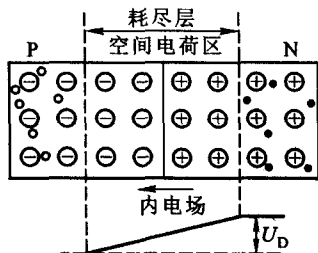


图 1.3.1 PN 结的形成

**漂移运动**——这是少数载流子在电场作用下的定向运动。由图 1.3.1 可见,内电场的方向将促进 P 区中的少数载流子电子向 N 区运动,以及 N 区中的少数载流子空穴向 P 区运动。

载流子的上述两种运动产生相应的两种电流:扩散运动产生扩散电流,漂移运动产生漂移电流。扩散运动的结果是使空间电荷区加宽,而漂移运动的结果是使空间电荷区变窄。当达到动态平衡时,扩散电流和漂移电流相等,PN 结中总的电流为零,空间电荷区的宽度达到稳定。

如果在 PN 结的两端加上不同极性的电压,则结果将有何不同?

首先,假设在 PN 结上加一个正向电压,即外电源的正极接 P 区,负极接 N 区,如图 1.3.2(a)所示。PN 结的这种接法称为**正向偏置**。此时,外电场的方向与 PN 结的内电场方向相反。外电场的作用将推动 P 区的空穴不断向空间电荷区运动,并与其中的一部分负离子中和;同时,也将推动 N 区的电子不断向空间