



21世纪

全国高等教育应用型精品课规划教材

模拟电子技术

moni dianzi jishu

◆ 主编 黄跃华 张钰玲

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

模拟电子技术

主 编	黄跃华	张钰玲
副主编	李广兴	张永格
	陈娇英	卢勇威
参 编	许庆华	尤文坚
	方梦飞	杨华勋



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书是高等学校规划教材之一,是按照教育部教学指导分委员会最新修订的模拟电子技术基础课程教学基本要求,结合作者多年的教学经验及教学改革的体会编写而成的。全书以行动引导型教学法来组织教学内容,通过制作实例激发学生的学习兴趣,培养学生分析、设计、制作、调整实用模拟电路的能力。主要内容包括认识电子技术、制作直流稳压电源、放大小信号、放大器性能改善、信号处理电路、功率放大电路、信号发生电路和可控整流电路等内容。全书以一个课题例子作为开篇,以其具体应用结束,引起读者的学习兴趣,使读者尽快入门,具有较强的应用性,并能站在系统的高度去认识模拟电子电路。该书每个课题以相关的一个应用实例开始,并以小结结束。

本书既可作为高等院校电工类、电子类、电气类、自动化类、计算机类、通信技术类、机电一体化等相关专业的教材和教学参考书,也可作为相关专业工程技术人员的技术参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术 / 黄跃华, 张钰玲主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2009.8
ISBN 978-7-5640-2715-5

I. 模… II. ①黄…②张… 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(2009)第 150695 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 (总编室) 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 / 三河市南阳印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 13.5

字 数 / 257 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1~1500 册

定 价 / 24.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

出版说明

21 世纪是科技全面创新和社会高速发展的时代, 面临这个难得的机遇和挑战, 本着“科教兴国”的基本战略, 我国已着力对高等学校进行了教学改革。为顺应国家对于培养应用型人才的要求, 满足社会对高校毕业生的技能需要, 北京理工大学出版社特邀一批知名专家、学者进行了本系列规划教材的编写, 以期能为广大读者提供良好的学习平台。

本系列规划教材面向机电类相关专业。作者在编写之际, 广泛考察了各校应用型学生的学习实际, 本着“实用、适用、先进”的编写原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格, 以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点, 力求提高学生的实际运用能力, 使学生更好地适应社会需求。

一、教材定位

- ✚ 以就业为导向, 培养学生的实际运用能力, 以达到学以致用目的。
- ✚ 以科学性、实用性、通用性为原则, 以使教材符合机电类课程体系设置。
- ✚ 以提高学生综合素质为基础, 充分考虑对学生个人能力的提高。
- ✚ 以内容为核心, 注重形式的灵活性, 以便学生易于接受。

二、编写原则

- ✚ 定位明确。本系列教材所列案例均贴合工作实际, 以满足广大企业对于机电类专业应用型人才实际操作能力的需求, 增强学生在就业过程中的竞争力。

- ✚ 注重培养学生职业能力。根据机电类专业实践性要求，在完成基础课的前提下，使学生掌握先进的机电类相关操作软件，培养学生的实际动手能力。

三、丛书特色

- ✚ 系统性强。丛书各教材之间联系密切，符合各个学校的课程体系设置，为学生构建牢固的知识体系。
- ✚ 层次性强。各教材的编写严格按照由浅及深，循序渐进的原则，重点、难点突出，以提高学生的学习效率。
- ✚ 先进性强。吸收最新的研究成果和企业的实际案例，使学生对当前专业发展方向有明确的了解，并提高创新能力。
- ✚ 操作性强。教材重点培养学生的实际操作能力，以使理论来源于实践，并最大限度运用于实践。

北京理工大学出版社

前 言

《模拟电子技术》是电子信息类专业重要的技术基础课程，也是一门实践性很强的课程。通过本课程的学习，可以使學生掌握模拟电子技术方面的基本知识、基本理论和基本技能，培养学生的电子电路分析、制作和调试的专业实践能力，并为学习后续课程和今后在实际工作中应用电子技术打好基础。

根据高等学校培养目标的要求以及现代科学技术发展的需要，结合高等学校学生的特点，本书以工学为核心，以融入行动引导型教学法为载体，以“用感性引导理性，从实践导入理论，从形象过渡到抽象，从整体扩展到细节”的认识规律为主线，以开发智力和调动学习积极性为目的，以添加案例和实验实训项目为手段，形成理论、设计计算、实验实训一体化教材。每一课题都以实训项目开始或结束，强调实践性，突出技术应用性，将理论知识的讲授与技能训练有机地融为一体，使能力培养贯穿于整个教学过程。每一课题都有实训项目、小结，以及复习思考题。技能训练内容丰富、实用。在编写过程中，遵循“以能力为本位，以应用为目的，以必需、够用为度”的原则，着重讲清物理概念，避免繁琐的理论计算和推导，着重介绍比较实用的工程计算和近似估算方法，使教材在内容上做到清楚、准确、简洁，通俗易懂，可读性好。

本课程的教学，应使学生达到如下基本要求：

1) 熟悉常用电子元器件的特性和主要参数，具有识别元器件、检测元器件和选用元器件的能力。

2) 掌握常用基本单元电路和典型电路的结构、工作原理、主要性能的计算方法，熟练掌握电子电路分析的基本方法，能对电子电路进行定性分析和工程估算，具有根据需要选择适用电路和使用集成电路的能力。

3) 掌握电子技术的专业实践技能，培养基本电路制作、测试和调整的能力。

本书由黄跃华老师担任第一主编，负责全书的统稿工作并编写了课题一和课题三；张钰玲老师担任第二主编，参与统稿工作并编写了课题四；李广兴老师担任副主编并编写了课题六；张永格老师担任副主编并编写了课题二；陈娇

英老师担任副主编并参与编写了课题五；卢勇威老师担任副主编并参与编写了课题四；许庆华老师编写了课题五；尤文坚老师编写了课题八；方梦飞、苏波和蔡欢欢三位老师共同编写了课题七；杨华勋老师参加了课题二的编写工作。

由于编者水平有限，加上时间仓促，书中疏漏及错误之处在所难免，殷切希望使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

目 录

课题一 认识电子技术 (绪论)	1
【课题 1.1】 卡拉 OK 音响系统的连接调试	1
【课题 1.2】 认识电子技术 (绪论)	2
1.2.1 电子技术与人们的生活	2
1.2.2 电子技术的研究内容	3
1.2.3 电子技术课程的性质和任务	4
1.2.4 电子技术课程的特点及学习方法	4
课题二 制作直流稳压电源	5
【课题 2.1】 直流稳压电源的设计	5
2.1.1 直流稳压电源的作用	5
2.1.2 将交流电转换为直流电的方法	5
2.1.3 二极管的结构与导电特性	6
2.1.4 二极管的伏安特性曲线	7
2.1.5 单相桥式整流电路	8
2.1.6 滤波电路	10
2.1.7 集成稳压电路	11
【课题 2.2】 直流稳压电源的制作与调试	15
小结	18
复习思考题	18
课题三 放大小信号	20
【课题 3.1】 蓄电池供电音响系统实训	21
【课题 3.2】 用三极管实现小信号放大	21
3.2.1 信号放大的实质	21
3.2.2 三极管是具有电流控制作用的半导体器件	22
3.2.3 三极管的伏安特性	23
3.2.4 三极管的三种工作状态	25
3.2.5 用三极管组成信号放大电路	25

3.2.6 共发射极放大电路静态工作点计算	28
3.2.7 共发射极放大电路动态分析	29
【课题 3.3】 其他组态的三极管放大电路	33
3.3.1 稳定静态工作点的分压式射极偏置电路	33
3.3.2 共集电极放大电路(射极输出器)	34
3.3.3 共基极放大电路	36
3.3.4 三种组态的基本放大电路比较	37
【课题 3.4】 用场效应晶体管实现小信号放大	37
3.4.1 N 沟道增强型绝缘栅场效应晶体管特性及其放大电路	38
3.4.2 N 沟道耗尽型绝缘栅场效应晶体管特性及其放大电路	42
3.4.3 N 沟道结型场效应晶体管特性及其放大电路	45
3.4.4 场效应晶体管的主要参数	46
3.4.5 使用场效应晶体管的注意事项	47
【课题 3.5】 多级放大电路	49
3.5.1 多级放大电路电压放大倍数 A_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o	49
3.5.2 多级放大电路级间耦合方式	50
3.5.3 集成运算放大电路	51
【课题 3.6】 差动放大电路	55
【课题 3.7】 放大电路的频率响应	60
小结	62
复习思考题	63
课题四 改善放大器性能	68
【课题 4.1】 负反馈放大器	69
4.1.1 放大电路的线性失真及其改善方法	69
4.1.2 反馈的基本概念	69
4.1.3 负反馈的组态及其判断	77
【课题 4.2】 负反馈对放大性能的影响	87
4.2.1 减小并稳定放大倍数	87
4.2.2 稳定被采样的输出量	88
4.2.3 减小非线性失真	88
4.2.4 拓宽通频带	89
4.2.5 改变输入/输出电阻	90
【课题 4.3】 深度负反馈放大电路放大倍数估算	93
4.3.1 深度负反馈的概念	93
4.3.2 深度负反馈条件下放大倍数的估算	94

【课题 4.4】 负反馈放大电路测试	98
4.4.5 预习要求	100
4.4.6 思考题	100
小结	100
复习思考题	101
课题五 信号处理	109
【课题 5.1】 集成运算放大电路的特点和工作方式	109
5.1.1 集成运算放大电路的特点	109
5.1.2 集成运算放大电路的工作方式	110
【课题 5.2】 运算电路	112
5.2.1 反相比例运算电路	112
5.2.2 同相比例运算电路	113
5.2.3 减法电路	114
5.2.4 反相求和电路	115
5.2.5 积分电路	117
5.2.6 微分电路	118
【课题 5.3】 有源滤波电路	119
5.3.1 滤波电路的作用和分类	119
5.3.2 有源低通滤波电路	120
5.3.3 有源高通滤波电路	121
【课题 5.4】 电压电流转换电路	123
5.4.1 电流-电压转换电路	123
5.4.2 电压-电流转换电路	123
【课题 5.5】 电压比较电路	124
5.5.1 简单电压比较器	124
5.5.2 滞回电压比较器	125
【课题 5.6】 逻辑测试器的制作	128
小结	131
复习思考题	131
课题六 功率放大电路	134
【课题 6.1】 集成功率放大电路的制作	135
【课题 6.2】 功率放大电路	138
6.2.1 功率放大电路概述	138
6.2.2 基本功率放大电路	140

【课题 6.3】 OTL 音频功率放大电路的制作与调试	149
6.3.1 电路原理与元器件的作用	149
6.3.2 电路主要技术参数与要求	150
6.3.3 电路元器件的参数及功能	150
6.3.4 OTL 音频功率放大电路的制作	152
6.3.5 OTL 音频功率放大电路的调试与综合测试	153
6.3.6 相关知识点	155
小结	159
复习思考题	160
课题七 信号发生	166
【课题 7.1】 调幅无线话筒制作	166
【课题 7.2】 正弦波发生电路	167
7.2.1 自激振荡	168
7.2.2 RC 正弦波发生电路	168
7.2.3 LC 正弦波发生电路	170
【课题 7.3】 非正弦波发生电路	173
7.3.1 方波发生电路	173
7.3.2 三角波发生电路	175
7.3.3 锯齿波发生电路	176
小结	177
复习思考题	177
课题八 可控整流电路	183
【课题 8.1】 调光台灯制作	183
【课题 8.2】 晶闸管	185
8.2.1 晶闸管的结构、特性和分类	186
8.2.2 可控整流电路	192
【课题 8.3】 张弛振荡电路	197
8.3.1 单结晶体管的结构和特性	197
8.3.2 张弛振荡电路	199
8.3.3 可控整流电路的同步	200
小结	201
复习思考题	201
参考文献	203

课题一 认识电子技术（绪论）

【课题 1.1】 卡拉 OK 音响系统的连接调试

1.1.1 实训目的

- 1) 学习掌握卡拉 OK 音响系统的连接方法，了解各器材的功能及接口；
- 2) 了解卡拉 OK 扩音机的音量、均衡、混响等旋钮的作用，建立声音处理的初步概念；
- 3) 了解电子系统的组成结构。

1.1.2 实训器材

影碟机、具有卡拉 OK 功能的扩音机、话筒和音箱。

1.1.3 实训步骤

- 1) 分别了解各器材的功能，认识器材的输入/输出端口；
- 2) 按图 1-1 所示的卡拉 OK 音响系统图连接系统；



图 1-1 卡拉 OK 音响系统

- 3) 将扩音机的音量调节旋钮调到最小，依次接通影碟机和扩音机的电源，播放音乐；
- 4) 调节扩音机的音量旋钮，仔细聆听音箱声音的变化；
- 5) 调节扩音机的音乐均衡旋钮，仔细聆听音箱声音的变化；
- 6) 将话筒插入扩音机话筒的输入插口，并对着话筒讲话，调节话筒音量旋钮，仔细聆听音箱播放的话筒声音的变化；
- 7) 调节话筒均衡旋钮，仔细聆听音箱播放的话筒声音的变化；
- 8) 调节混响旋钮（ECHO），仔细聆听音箱播放的话筒声音的变化。

1.1.4 实训结论

- 1) 话筒可以将声音信号转换为电信号送入扩音机进行处理;
- 2) 扩音机可以对话筒信号进行多种形式的处理, 如下所列:
 - ①对话筒信号添加混响效果, 使声音得到美化;
 - ②将话筒信号与影碟机伴音信号进行混合;
 - ③提升或压缩信号中的高音(频)或低音(频)的比例;
 - ④将信号放大, 推动音箱播放出大音量的声音。

【课题 1.2】认识电子技术(绪论)

1.2.1 电子技术与人们的生活

在人类社会的发展过程中, 人们采用了各种方式对信息进行收集、传输和保存(记录)。在古代, 用烽烟、信鸽、驿报和书信等形式来传递信息; 用龟甲、石碑、竹简、书籍和绘画等方式来记录历史事件、社会生活以及人们的思想和情感; 用地动仪和浑天仪来收集、推测地震和天体运行的信息等。鉴于当时社会发展和技术进步的局限, 人们在这些方面花费大量人力和物力, 但效果并不理想。

电子技术的诞生与发展, 为人们提供了一种有效的信息处理方式。19 世纪初, 奥斯特通过实验发现了电流的磁效应; 法拉第提出了电磁感应定律; 麦克斯韦以麦克斯韦方程的形式提出了电磁波理论; 赫兹通过反复试验, 论证了电磁波的存在。这些伟大科学家的工作, 为人类揭示出一个无限广阔的应用前景。

电磁波极快的传播速度, 首先被应用于信息的传递。1837 年, 莫尔斯发明了有线电报。六年之后, 他实现了 40 英里远的电文传递。1875 年, 贝尔发明了电话, 在发送端通过话筒将声音信号转换为电流信号, 电流信号通过导线进行远距离传输; 在接收端, 再利用听筒将传过来的电流信号转换回声音信号。人类第一次实现了通过导线进行远距离的通话。

1894 年, 马可尼和波波夫同时发明无线电, 利用火花振荡器通过电键的开关产生了可在空中传播的电磁波信号。三年后, 发射的信号就可以送到 20km 以外。自此人类开始进入无线电通信时代。

20 世纪初, 弗莱明发明了具有单向导电作用的二极管, 可以用来对电信号进行整流和检波。随后, 福斯特发明了能放大信号的真空三极管。1947 年, 布拉丁、巴丁和肖克利发明了晶体三极管。这些发明为人们采用更多方式来处理信号提供了可能。尤其是 1945 年, 第一台电子计算机的研制成功, 为电子信息的处理和快速通信的实现提供了强大的工具。

依赖于电子技术的发展和新型器件的不断出现, 20 世纪中期, 现代通信技术、广播电视技术、计算机技术等得到了突飞猛进的发展。人们对于信息的采集、传输和保存进入了一个令人激动的时代。尤其是 1958 年, 基尔比等人发明了第一片集成电路以后, 单片硅片上集成的元器件由数百个增加到上千万个, 各种大规模和超大规模集成电路层出不穷。由于集成电路具有成本低、尺寸小、可靠性高和性能优良等优点而被广泛应用, 从而引起了工业系统、通信系统、控制系统、计算机系统、测量系统、生物医学系统的革命性发展, 使人类进入了信息技术时代。

电磁场理论的建立和各种半导体器件的发明, 促进了电子技术的发展和完善。人们对于电信号的处理进入了一个具有无限想象和实现可能的发展空间。借助于各种各样的传感器(比如话筒将声音信号转换为电信号, CCD 感应器将图像信号转换为电信号, 温度传感器将温度信号转换为电信号, 光敏传感器将光信号转换为电信号, 压力传感器将压力信号转换为电信号等), 人们可以将对电信号的处理能力迁移到对声音、图像、温度、光、压力等范畴, 从而拥有了对这些不同类型物理量或物理表现形式的全方位的处理能力。

以声音处理为例, 现在人们可以很容易地实现声音的传输(电话、手机和网络等)、保存(CD、MP3、计算机等)、处理(扩音、变调、混响、语音识别)等。这样的方式是以前无法想象的。

工业生产过程中, 很多都是依据温度、压力、湿度、位移等物理量的变化来进行操作的, 而以前是依靠技术工人来完成这些工作的, 自从利用传感器将这些物理量转换成电信号以后, 就可采用电子技术手段来采集、记录、显示、分析、判断这些信息, 使生产过程自动化成为了可能。

1.2.2 电子技术的研究内容

电子技术的基本任务是研究电信号的产生、传输以及处理。

根据信号变化规律的不同, 可以将信号分为模拟信号和数字信号。模拟信号的幅值随时间连续变化, 具有多个不同的状态值。通常以正弦波为代表。我们能感知到的声音信号、图像信号和自然界中的大部分物理参数(温度、压力、速度、位移、重量等)都属于模拟信号, 这些物理参数通过传感器转换成的电信号也是模拟信号。研究模拟电信号的处理方法称为模拟电子技术, 包括放大、运算、比较、振荡、滤波、整流等。

另外一种信号是数字信号, 它在时间和幅值上都是离散的, 通常用脉冲信号来表示。数字信号只有两个相对立的状态, 比如车辆的开与停、灯的亮与灭、门的开与关等。在电信号中, 一般以高电平(1)表示一种状态, 低电平(0)表示另外一种状态。研究数字电信号的处理方法称为数字电子技术, 包括编码、译码、数据分配、数据选择、加法、比较、寄存和计数等。

近年来,数字处理技术发展迅速,大规模和超大规模数字集成电路不断涌现,采用数字方式处理模拟信号已经成为主流。通过模数转换器将模拟信号转换为数字信号,利用数字处理技术对数字信号作各种期望的处理,处理完成后再通过数模转换器将数字信号还原为模拟信号。这样的处理方式能更加灵活、高效,也更加多样化。激光唱机、数码摄像机、数字电视、移动电话等都属于这个范畴。

1.2.3 电子技术课程的性质和任务

本课程是高职高专电类专业通用的技术基础课,是实践性较强的主干课程,在专业课程体系中具有重要的地位和作用。

通过本课程的理论学习和实验、实训和制作等实践教学,学生可获得电子电路及其应用的基本知识,认识常见电子元器件的特性和使用方法,掌握电子电路测量、调整以及故障分析和排除的基本技能,培养了学生的实践能力,为后续专业课程的学习和职业能力的培养打下坚实基础。

1.2.4 电子技术课程的特点及学习方法

本课程主要研究如何利用电子系统对模拟信号进行处理,其中包括模拟信号的获得、处理和输出三个环节,在学习的过程中,要着眼于系统和应用的角度来理解课程内容。本课程具有以下与其他课程不同的特点和分析方法,学习时应注意把握。

1) 模拟电子技术是以电子元器件为核心的电子电路,对于元器件的内容应重点了解其外特性和功能,以及应用方法,对其内部导电机理不作深入研究。

2) 电子电路是一个比较复杂的系统,且影响电路性能的因素很多,在分析时要从实际情况出发,抓住主要矛盾,忽略次要因素,采用工程经验公式进行近似估算,在适当的条件下将非线性特性的电子元器件转换为线性器件,使分析计算过程简化。

3) 由于实际的电子电路性能受各种因素的影响,很难通过理论分析来完整地解决问题,因此必须在实际应用中进行测试和调整,才能保证电路的性能指标达到设计要求。

电子技术是一门应用性和实践性都很强的课程,且理论内容抽象,分析方法对于初学者而言比较陌生。学习时要注意在理解基本理论的基础上,通过强化实践训练环节来提高对课程内容的掌握程度。随着设计软件的应用和电路板制作手段的改进,电子线路的设计和制作也由难而易,这为我们学习掌握这门课程提供了有利的条件,因此,在学习过程中,要做到勤动脑(动脑理解原理、分析电路、思考电路调试和检测方法)和多动手(动手设计电路、制作电路、测试电路和调整电路),这样才能够真正掌握好电子技术这门课程。

课题二 制作直流稳压电源

教学目的和要求

1. 知识目标要求

- 1) 掌握二极管的单向导电性和伏安特性曲线；
- 2) 熟悉单相桥式整流电路的组成结构、工作原理及电路参数的计算；
- 3) 掌握电容滤波电路的工作原理及电路参数的计算；
- 4) 熟悉串联型稳压电路的组成结构和工作原理；
- 5) 掌握三端固定、可调集成稳压电路的基本应用方法。

2. 能力目标要求

- 1) 学会选择电子元器件，并熟练使用万用表检测其质量的好坏；
- 2) 能够完成直流稳压电源的设计、安装和调试，并能测定其参数。

【课题 2.1】 直流稳压电源的设计

2.1.1 直流稳压电源的作用

几乎所有的电子设备都需要稳定的直流电源，而这些通常都是由交流电网供电，因此需要将交流电变成稳定的直流电。直流稳压电源的作用就是将交流电经过整流变成脉动的直流电，然后再通过滤波、稳压转换成稳定的直流电。

2.1.2 将交流电转换为直流电的方法

小功率直流电源通常采用单相整流获得。其主要是利用二极管的单向导电特性，将交流电变为脉动直流电的。如图 2-1 所示，线性直流稳压电源由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路四部分组成。每部分的功能如下所述。

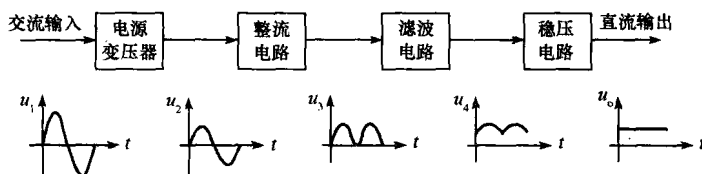


图 2-1 直流稳压电路的组成框图及其波形图

1. 电源变压器

电源变压器的任务就是将交流电的幅度变换为直流电源所需要的幅度。

2. 整流电路

整流电路的目的是利用具有单向导电性能的整流元件，将正负交替的正弦交流电压整流成为单方向的脉动电压。

3. 滤波电路

滤波电路的功能是将整流后的单向脉动电压中的脉动成分尽可能地滤掉，使输出电压成为比较平滑的直流电压。该电路由电容、电感等储能元件组成。

4. 稳压电路

稳压电路的功能是减小电源电压波动、负载变化和温度变化的影响，以维持输出电压的稳定。

2.1.3 二极管的结构与导电特性

1. PN 结的形成

如图 2-2 所示，在同一片半导体基片上，分别制造 P 型半导体和 N 型半导体，经过载流子的扩散，在它们的交界面处就形成了 PN 结。PN 结是多数载流子的扩散运动和少数载流子的漂移运动相较量，最终达到动态平衡的必然结果，相当于两个区之间没有电荷运动，空间电荷区的厚度固定不变。

2. PN 结的单向导电性

(1) PN 结外加正向电压

如图 2-3 所示，PN 结的 P 端接高电位，N 端接低电位，称 PN 结外加正向电压，或称 PN 结正向偏置，简称为正偏。正偏时，PN 结变窄，正向电阻变小，电流变大，PN 结处于导通状态。

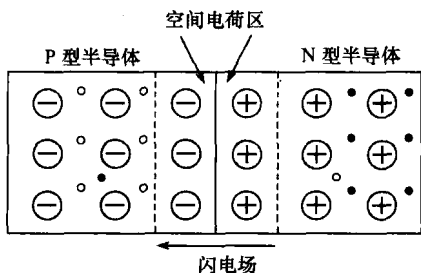


图 2-2 PN 结的形式

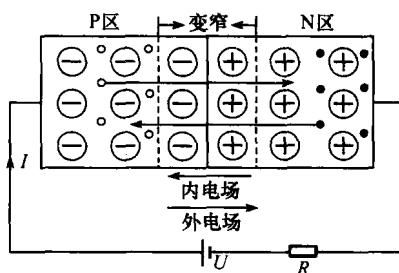


图 2-3 PN 结外的正向电压

(2) PN 结外加反向电压

如图 2-4 所示，PN 结的 P 端接低电位，N 端接高电位，称 PN 结外加反向电压，或称 PN 结反向偏置，简称为反偏。反偏时，PN 结变宽，反向电阻变大，电流变小，PN 结处于截止状态。