



21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国高职高专
电子信息系列实用规划教材

模拟电子技术

主 编 张 琳 孙建林



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专电子信息系列实用规划教材

模拟电子技术

主 编	张 琳	孙建林	
副主编	程素平	唐明良	闫学斌
参 编	姜洪雁	唐 静	
主 审	李源生		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

地址: 北京市海淀区中关村大街22号 邮编: 100871 电话: (010) 62750672

内 容 简 介

本书是根据教育部最新制定的《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》编写的“21世纪全国高职高专电子信息系列实用规划教材”。

全书共 10 章, 内容包括: 半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路基础、负反馈放大电路、信号发生电路、直流稳压电源、晶闸管及其应用、Multisim 9 电路设计与仿真技术、模拟电子技术实验以及综合实训。

本书为高职高专电气、电子类各专业教材, 也可供自动化、机电一体化等专业以及成人教育、职业培训等选用。

木 村 干 申 姓 姓

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/张琳, 孙建林主编. —北京: 北京大学出版社, 2007.8

(21 世纪全国高职高专电子信息系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-12173-3

I. 模… II. ①张… ②孙… 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(2007)第 074910 号

书 名: 模拟电子技术

著作责任者: 张 琳 孙建林 主编

策 划 编 辑: 徐 凡

责 任 编 辑: 徐 凡 李娉婷

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-12173-3/TM · 0002

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北涿县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 438 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书是根据教育部制定的高等职业教育培养目标和规定的有关文件精神及电子技术课程教学的基本要求,并结合现代电子技术系列课程的建设实际编写的。编写时既考虑到要使学生获得必要的电子技术基础理论、基本知识和基本技能,也充分考虑到专科生的实际情况,在编写过程中认真贯彻理论以够用为度,加强应用,提高分析和解决实际问题的能力原则。

本书的编写思路是:

1. 注重理论与工程实践相结合,重在会用。各章列举大量应用实例,以加深学生对各个单元电路功能的理解。
2. 以集成电路为主,分立元件为辅。各章相应介绍常用的最新模拟集成电路和新的常用电子器件,重在电路的认知和应用能力的培养。
3. 讲授内容与习题融为一体。每章习题中设置填空、选择、判断以及思考题与计算题,以帮助学生总结内容,拓宽思路,提高分析问题和解决问题的能力。
4. 强调课程体系的针对性,根据高职高专的培养规格,理论上以为后续课打基础,够用为度,注重应用能力的培养。

全书共 10 章,内容包括:半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路基础、负反馈放大电路、信号发生电路、直流稳压电源、晶闸管及其应用、Multisim 电路设计与仿真技术、模拟电子技术实验以及综合实训。其中,第 8 章编入了 Multisim 仿真技术,以利突出实践环节教学。第 9、10 两章分别安排了与教学内容相对应的模拟电子技术实验和综合实训,以加强技能培养,适应工程实践的需求。本书总课时为 80 学时。

本书由辽宁省交通高等专科学校张琳编写第 1~3 章和附录,并负责全书的统稿和定稿;张琳和重庆正大软件职业技术学院唐明良合编第 4 章;山西建筑职业技术学院程素平编写第 5、6 章;程素平和张家口职业技术学院闫学斌合编第 7 章;甘肃畜牧工程职业技术学院孙建林编写第 8 章;辽宁信息职业技术学院姜洪雁、唐静合编第 9、10 章。

本书在编写过程中得到了辽宁省交通高等专科学校李源生教授的大力支持,在此深表谢意。

由于编者水平有限,统稿时间仓促,书中不妥和错误之处恳请读者给予批评指正,以便修订,使之成为日臻完善的高职高专教材。

编 者

2007 年 7 月

目 录

第 1 章 半导体器件	1
1.1 PN 结与二极管.....	1
1.1.1 半导体概述.....	1
1.1.2 PN 结及其单向导电性.....	2
1.1.3 二极管的结构与类型.....	3
1.1.4 二极管的伏安特性和 主要参数.....	4
1.1.5 二极管的应用.....	5
1.1.6 特殊二极管.....	9
1.2 双极型三极管.....	12
1.2.1 三极管的结构和分类.....	12
1.2.2 电流分配与放大原理.....	14
1.2.3 三极管的伏安特性及 主要参数.....	15
1.3 场效应管.....	18
1.3.1 绝缘栅场效应管.....	18
1.3.2 结型场效应管.....	22
1.3.3 场效应管的主要参数、 特点及使用注意事项.....	25
1.3.4 其他类型的场效应管.....	26
习题.....	28
第 2 章 基本放大电路	33
2.1 共射极基本放大电路.....	33
2.1.1 组成及各元件的作用.....	33
2.1.2 放大电路的分析.....	35
2.1.3 放大电路的改进.....	44
2.2 共集电极放大电路与 共基极放大电路.....	48
2.2.1 共集电极放大电路.....	48
2.2.2 共基极放大电路.....	52
2.3 场效应管放大电路.....	53
2.3.1 场效应管偏置电路及 静态分析.....	54

2.3.2 场效应管放大电路的 微变等效电路分析.....	55
2.4 功率放大电路.....	58
2.4.1 功率放大电路的问题.....	58
2.4.2 互补对称功率放大电路.....	60
2.4.3 集成功率放大器.....	68
2.4.4 功率放大电路应用举例.....	70
2.5 多级放大电路.....	71
2.5.1 电路结构与耦合方式.....	71
2.5.2 多级放大电路的频率特性.....	74
习题.....	75
第 3 章 集成运算放大电路基础	82
3.1 差分放大电路.....	82
3.1.1 基本差分放大器.....	82
3.1.2 典型的差分放大器.....	83
3.1.3 带恒流源的差分放大器.....	86
3.1.4 差分放大器的输入、 输出方式.....	89
3.2 集成运算放大器简介.....	91
3.2.1 集成运算放大器的 基本结构及其特点.....	91
3.2.2 集成运算放大器 主要参数的意义.....	92
3.2.3 理想集成运算放大器的 分析方法.....	93
3.3 基本运算电路.....	95
3.3.1 比例运算电路.....	96
3.3.2 加减运算电路.....	98
3.3.3 积分与微分运算电路.....	100
3.4 信号处理电路.....	101
3.4.1 电压比较器.....	101
3.4.2 有源滤波器.....	105
3.4.3 信号转换电路.....	111

3.4.4 精密仪器放大电路.....	114	6.1.2 滤波电路.....	160
3.5 集成运放使用中的问题.....	116	6.2 稳压电路.....	162
习题.....	119	6.2.1 硅稳压管稳压电路.....	163
第4章 负反馈放大电路.....	124	6.2.2 串联型稳压电路.....	164
4.1 反馈的基本概念.....	124	6.3 三端集成稳压器.....	166
4.1.1 反馈的概念.....	124	6.3.1 概述.....	166
4.1.2 反馈的形式.....	124	6.3.2 固定输出的三端集成稳压器.....	166
4.2 负反馈放大电路的分析方法.....	126	6.3.3 可调输出的三端集成稳压器.....	169
4.2.1 负反馈放大电路的四种组态.....	126	6.4 开关型稳压电路.....	171
4.2.2 反馈放大电路的基本关系式.....	127	6.4.1 开关型稳压电路的特点和类型.....	171
4.2.3 负反馈对放大电路性能的影响.....	128	6.4.2 开关稳压电路的工作原理.....	172
4.2.4 负反馈放大电路应用举例——音调控制电路.....	131	6.4.3 SW3524——集成单片脉宽调制式开关稳压电源.....	174
4.3 负反馈放大电路的稳定性问题.....	132	习题.....	175
4.3.1 产生自激振荡的条件和原因.....	132	第7章 晶闸管及其应用.....	180
4.3.2 消除自激振荡的常用方法.....	133	7.1 晶闸管.....	180
习题.....	133	7.1.1 晶闸管结构及其特性.....	180
第5章 信号发生电路.....	136	7.1.2 晶闸管的主要参数.....	183
5.1 正弦波振荡电路.....	136	7.2 单相可控整流电路.....	183
5.1.1 自激条件.....	136	7.2.1 单相半波可控整流电路.....	183
5.1.2 正反馈使放大电路自激.....	137	7.2.2 单相桥式全控整流电路.....	187
5.1.3 RC正弦波发生器.....	138	7.3 晶闸管触发电路.....	188
5.1.4 LC正弦波发生器.....	141	7.3.1 触发电路.....	188
5.1.5 石英晶体振荡器.....	146	7.3.2 单结管振荡电路.....	190
5.1.6 应用实例.....	149	7.4 应用实例.....	190
5.2 非正弦信号发生电路.....	150	7.4.1 交流开关.....	190
5.2.1 方波发生器.....	151	7.4.2 声控彩灯电路.....	191
5.2.2 8038集成函数波形发生器.....	153	习题.....	192
5.2.3 应用实例.....	154	第8章 Multisim 9 电路设计与仿真技术.....	194
习题.....	154	8.1 Multisim 9 的操作界面.....	195
第6章 直流稳压电源.....	158	8.1.1 Multisim 9 的主窗口.....	195
6.1 整流和滤波电路.....	158	8.1.2 设计工具栏.....	196
6.1.1 桥式整流电路.....	158	8.1.3 图形注释条.....	196

8.1.4 描述编辑条	196	9.10 基本运算电路的应用与测试	235
8.1.5 元件库栏	196	9.11 集成运放基本运算电路的 仿真实验	238
8.1.6 仪器库栏	197	9.12 有源滤波器的性能测试	239
8.2 Multisim 9 的基本操作	197	9.13 集成运放单级负反馈放大 电路的测试	241
8.2.1 文件建立与打开	198	9.14 集成运放波形产生电路的 应用实践	243
8.2.2 设置电路窗口	198	9.15 RC 电路的频率特性	246
8.2.3 元器件的放置与操作	199	9.16 稳压电路的测试与应用实践	248
8.2.4 连线的基本操作	202	9.17 三端集成稳压器的应用实践	251
8.3 虚拟仪器的基本操作	204	9.18 单相可控整流电路的实践	253
8.3.1 数字万用表	204	第 10 章 综合实训	256
8.3.2 函数信号发生器	205	10.1 概述	256
8.3.3 示波器	205	10.1.1 综合实训的任务与 基本要求	256
8.3.4 功率表	207	10.1.2 电子电路的安装与调试	256
8.3.5 波特图示意	207	10.2 综合实训内容	263
8.4 电路设计与仿真	209	10.2.1 综合实训 1 铂电阻 测温电路的制作实训	263
8.4.1 电路设计	209	10.2.2 综合实训 2 用运算放大 器组成万用电表实训	264
8.4.2 电路的仿真	209	10.2.3 综合实训 3 录/放 音机实训	269
8.5 电路仿真分析方法	210	10.2.4 综合实训 4 直流稳压 电源的制作实训	276
8.5.1 直流工作点分析	211	附录 1 中国半导体器件型号 命名方法	283
8.5.2 交流分析	212	附录 2 美国、日本生产的半导体 器件型号命名方法	284
8.5.3 瞬态分析	213	部分习题答案	285
习题	214	参考文献	289
第 9 章 模拟电子技术实验	215		
9.1 常用电子仪器的使用	215		
9.2 二极管、三极管的识别和检测	218		
9.3 晶体管共发射极放大电路的 调试与性能测试	220		
9.4 晶体管共集电极放大电路的 调试与性能测试	224		
9.5 晶体管放大器电路的仿真实验	226		
9.6 场效应管放大器的安装与测试	228		
9.7 多级放大电路的性能测试	230		
9.8 集成功放应用实践	232		
9.9 差动式放大器性能测试	233		

第1章 半导体器件

【教学提示】：半导体二极管、三极管和场效应管是电子电路中用得极为广泛的元件，也是构成集成电路的基本单元。本章在介绍 PN 结的基础上介绍二极管、三极管和场效应管的原理、特性和主要参数，为学习后续各章奠定基础。

【教学基本要求】：了解 N 型和 P 型半导体的区别；掌握 PN 结和二极管正偏和反偏的概念；熟悉硅、锗二极管阈值电压和正向导通电压值；了解温度对反向饱和电流的影响；了解特殊二极管的使用要点；掌握二极管的单向导电性，稳压管的工作区域，晶体管与场效应管的放大作用和三个工作区域的特点；能够由三极管三个电极电位关系确定三极管管型；掌握三极管与场效应管性能特点区别及其主要参数；掌握选用各种器件的原则。

本章教学重点是：PN 结的特性、晶体三极管、场效应管的工作原理、主要参数和特性。教学难点是：PN 结的形成、三极管电流放大作用。

1.1 PN 结与二极管

1.1.1 半导体概述

1. 本征半导体

导电性能介于导体与绝缘体之间的物质称半导体。常用的半导体有硅和锗，将它们提纯后，其原子结构排列成晶体状，称单晶硅和单晶锗，又称本征半导体。它们的原子外层都有 4 个价电子。每个原子的价电子与相邻原子的价电子形成共价键结构，如图 1.1 所示。具有共价键结构的半导体有下述特点：

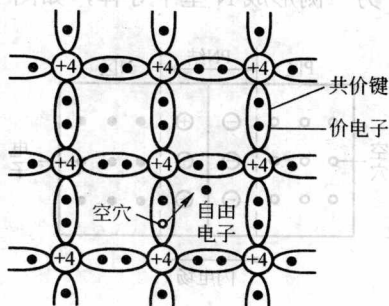


图 1.1 半导体内部结构示意图

(1) 共价键上的电子被束缚得较紧，不像自由电子那样活泼。所以，半导体的导电能力不如导体。

(2) 共价键上的某些电子受外界能量激发(如受热或光照)后，可以挣脱共价键的束缚，

成为带负电荷的自由电子,如图 1.1 所示。自由电子在电场力的作用下,逆着电场方向作定向运动,形成电子流。所以,电子是半导体的载流子之一。

(3) 共价键上的电子挣脱束缚成为自由电子后,在其原来的位置留下一个空位,称空穴。具有空穴的粒子带正电荷。它对邻近原子共价键上的电子有吸引作用,加上外电场的作用,就会产生共价键上的价电子填补空穴的运动,形成空穴电流。空穴是半导体的载流子之二。

本征半导体中的自由电子和空穴总是成对出现的,同时又不断地复合。在一定温度或光照下,载流子的产生和复合达到动态平衡时,半导体中的自由电子和空穴便维持一定的数目。温度越高或光照越强,载流子数目越多,导电性能也就越好。所以温度或光照对半导体导电性能的影响很大,这就是半导体的热敏和光敏特性。

2. N 型半导体

用特殊工艺在本征半导体中掺入微量五价元素,如磷或砷。这种元素在和半导体原子组成共价键时,就多出一个电子。这个多出来的电子不受共价键的束缚,很容易成为自由电子而导电。这种掺入五价元素,电子为多数载流子,空穴为少数载流子的半导体叫电子型半导体,简称 N 型半导体。

3. P 型半导体

在半导体硅或锗中掺入少量最外层只有 3 个电子的硼元素,和外层电子数是 4 个的硅或锗原子组成共价键时,就自然形成一个空穴,这就使半导体中的空穴载流子增多,导电能力增强,这种掺入三价元素,空穴为多数载流子,而自由电子为少数载流子的半导体叫空穴型半导体,简称 P 型半导体。

1.1.2 PN 结及其单向导电性

1. PN 结的形成

在一块纯净的半导体晶片上,采用特殊的掺杂工艺,在两侧分别掺入三价元素和五价元素。一侧形成 P 型半导体,另一侧形成 N 型半导体,如图 1.2 所示。

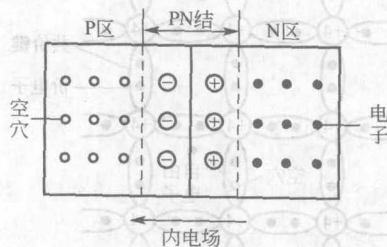


图 1.2 PN 结的形成

P 区的空穴浓度大,会向 N 区扩散,N 区的电子浓度大则向 P 区扩散。这种在浓度差作用下多数载流子的运动称为扩散运动。空穴带正电,电子带负电,这两种载流子在扩散到对方区域后复合而消失,但在结合面的两侧分别留下了不能移动的正负离子,呈现出一

个空间电荷区。这个空间电荷区就称为 PN 结, 因此 PN 结的形成会产生一个由 N 区指向 P 区的内电场。内电场的产生对 P 区和 N 区间多数载流子的相互扩散运动起阻碍作用。同时, 在内电场的作用下, P 区中的少数载流子电子、N 区中的少数载流子空穴会越过交界面向对方区域运动。这种在内电场作用下少数载流子的运动称漂移运动。漂移运动和扩散运动最终会达到动态平衡, PN 结的宽度一定。

2. PN 结的单向导电性

PN 结外加正向电压, 即 P 区接电源的正极, N 区接电源的负极, 称为 PN 结正偏, 如图 1.3(a) 所示。

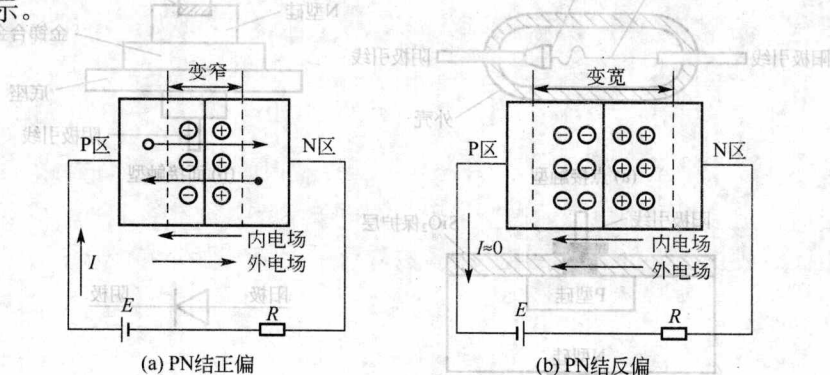


图 1.3 PN 结的单向导电性

外加电压在 PN 结上所形成的外电场与 PN 结内电场的方向相反, 相当于削弱了内电场的作用, 使 PN 结变窄, 破坏了原有的动态平衡, 加强了多数载流子的扩散运动, 形成较大的正向电流。这时称 PN 结为正向导通状态。

如果给 PN 结外加反向电压, 即 P 区接电源的负极, N 区接电源的正极, 称为 PN 结反偏, 如图 1.3(b) 所示。外加电压在 PN 结上所形成的外电场与 PN 结内电场的方向相同, 相当于增强了内电场的作用, 使 PN 结变厚, 破坏了原有的动态平衡, 加强了少数载流子的漂移运动, 由于少数载流子的数量很少, 所以只有很小的反向电流, 一般情况下可以忽略不计。这时称 PN 结为反向截止状态。

综上所述, PN 结正偏(P^+N^-)导通, 反偏(P^-N^+)截止, 因此它具有单向导电性。这是 PN 结的重要特性, 也是制造各种半导体器件的基础。

1.1.3 二极管的结构与类型

从一个 PN 结引出两个电极, 再加上外壳封装, 就构成一个二极管(Diode)。P 区的引出线称为阳极, N 区的引出线称为阴极。常见的外形如图 1.4 所示。

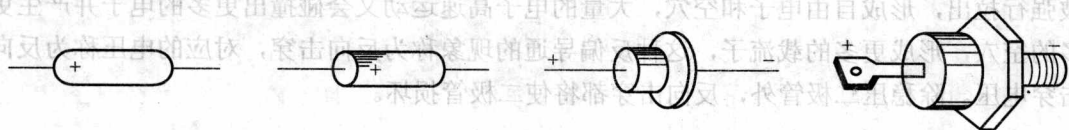


图 1.4 二极管的几种外形

按 PN 结接触面的大小, 二极管可分为点接触型和面接触型; 按制造所用的半导体材料的不同, 二极管可分为硅管和锗管; 按不同的用途, 二极管可分为普通管、整流管和开关管等。其常用类型如图 1.5(a)~(c)所示。

二极管的符号如图 1.5(d)所示, 其中的箭头符号表示 PN 结正偏时电流的流向。因为二极管内部就是一个 PN 结, PN 结具有单向导电性, 所以二极管也具有单向导电性。

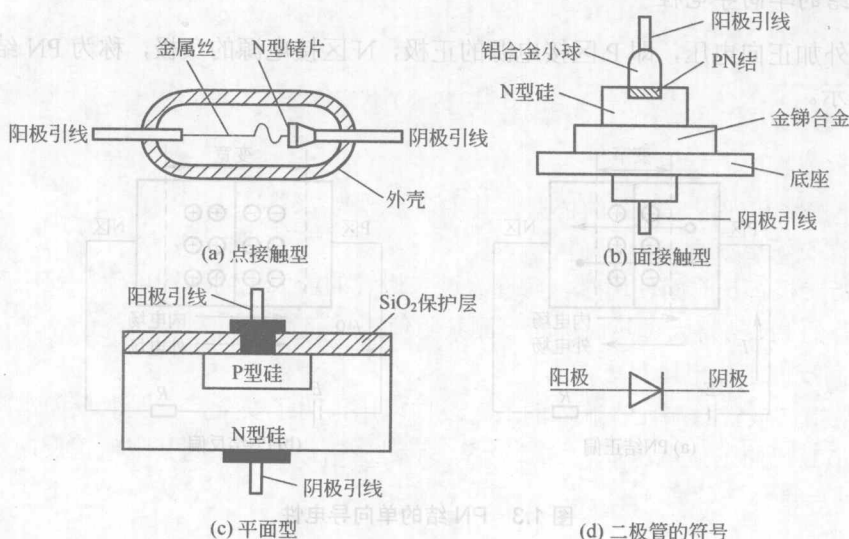


图 1.5 半导体二极管常见类型

1.1.4 二极管的伏安特性和主要参数

1. 伏安特性

伏安特性是指二极管流过的电流与二极管两端电压之间的关系曲线, 如图 1.6 所示。当二极管承受正偏电压而外加电压还不足以克服内电场的作用时, 二极管不能导通, 此时二极管中几乎没有电流, 如图 1.6 中的 OA 段。如正偏电压继续增大达到某一数值, PN 结内电场被抵消, 正向电流急剧增大, 二极管导通, 一般硅管的导通压降约为 $0.7V$, 锗管的导通压降约为 $0.3V$ 。二极管外加正向电压所得到的电压电流关系曲线称为正向特性。

如果二极管外加反向电压, 二极管内部的 PN 结被加宽, 只有少数的载流子漂移形成很微弱的反向电流, 称为反向饱和电流, 硅管约几微安, 锗管约几百微安, 一般情况下忽略不计, 二极管反偏截止。但当反偏电压超过某一数值时, 二极管就会产生急剧增大的反向电流, 如图 1.6 中的 B 点。原因是外加反向电场过强, 使半导体内被共价键束缚的电子被强行拉出, 形成自由电子和空穴, 大量的电子高速运动又会碰撞出更多的电子并产生更多的空穴, 形成更多的载流子, 这种反偏导通的现象称为反向击穿, 对应的电压称为反向击穿电压。除稳压二极管外, 反向击穿都将使二极管损坏。

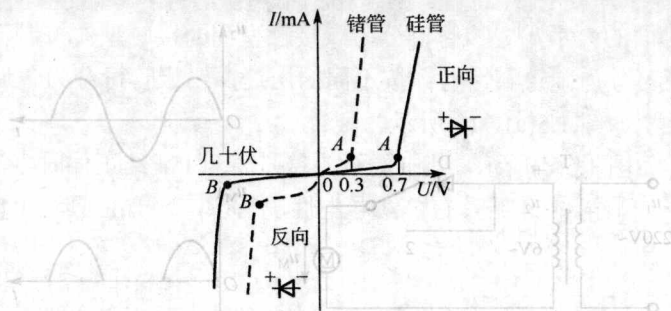


图 1.6 二极管的伏安特性

2. 主要参数

参数是选择和使用二极管的依据，其主要参数为：

1) 最大整流电流 I_F

I_F 是指二极管长时间使用时，允许流过二极管的最大正向平均电流。使用时电流超过 I_F ，二极管的 PN 结将因过热而烧断，测其阻值正反向均为无穷大。

2) 最高反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 是指二极管两端允许施加的最大反向电压，为了安全，一般取反向击穿电压值的 1/2，作为最高反向工作电压 U_{RM} 。二极管一旦过压击穿损坏，测其阻值正反向均为零，便会失去单向导电性。

3) 最大反向电流 I_{RM}

I_{RM} 是指二极管承受最高反向工作电压时的反向电流。这个电流越小，二极管的单向导电性就越好。当温度升高时， I_{RM} 增大。同一型号的二极管，其反向阻值越大，则其反向电流 I_{RM} 就越小。

4) 最高工作频率 f_M

f_M 是指保证二极管具有良好的单向导电性能的最高工作频率。结电容越大，则 f_M 越低，当工作频率过高时，二极管就会失去单向导电性能。

利用二极管的单向导电性，可实现整流、限幅、钳位、检波、保护、开关等。有关二极管的命名方法见附录 1。

1.1.5 二极管的应用

二极管在电子技术中有着广泛的应用，本节介绍几种最基本的应用。

1. 整流电路

整流电路是利用二极管的单向导电作用，将交流电变成脉动直流电的电路。下面通过一个简单的演示即可验证二极管的整流作用，电路如图 1.7 所示。

图 1.7(a) 中 M 为 3V 的直流电动机，其轴头上焊个小风叶，以显示其是否旋转。当开关 S 在 1 位时，交流电的正半周二极管导通，负半周二极管截止，所以直流电动机上得到的是只有正半周的直流电，如图 1.7(b) 所示。由于直流电动机的运转惯性，虽然直流电是脉动的，但直流电动机是连续转动的；当开关 S 打到 2 位时，交流电没有经过二极管，而直接加到了直流电动机上，直流电动机不转。

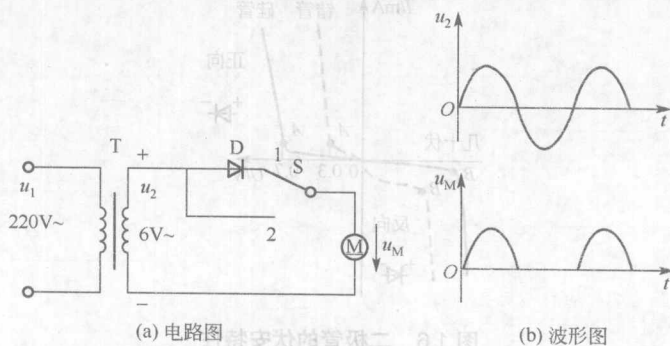


图 1.7 半波整流演示电路

日常使用的电褥子的调温开关的低温挡, 实际上就是串入了一个二极管, 使电热线上只得到半波整流的电压, 使电流减小, 从而降低了发热量。

【例 1.1】如图 1.8 所示, 是家庭照明、装饰两用壁灯的电路。单刀双掷开关 S 与①点接通时, 作照明用; S 与②点接通时, 作装饰用。

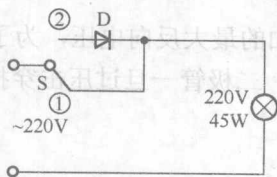


图 1.8 例 1.1 电路 1

(1) 分析该电路的工作原理, 画出灯泡两端的电压波形。

(2) 确定壁灯两端的电压 U_0 。

(3) 怎样选择电路中的二极管?

解: (1) 设灯泡的电阻为 R_L 。开关 S 与①点接通时, 220V 的交流电压直接加到灯泡两端, 如图 1.9(a)所示。这时壁灯灯泡工作在额定状态, 正常发光, 电压波形为正弦波。

开关 S 与②点接通时, 成为半波整流电路。设市电电压 $u = \sqrt{2} U \sin \omega t$ (V), 当 $0 < \omega t < \pi$ 时, 二极管导通, 等效电路如图 1.9(b)所示; 当 $\pi < \omega t < 2\pi$ 时, 二极管截止, 等效电路如图 1.9(c)所示。波形如图 1.9(d)所示。可见, 此时灯泡两端的电压是半波脉动直流电压。

(2) 由波形图 1.9 可知, S 与①点接通时, 灯泡承受的交流电压有效值为 $U_0 = 220\text{V}$; S 与②点接通时, 灯泡承受的直流电压平均值为

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U \sin \omega t d(\omega t) \quad (\text{V})$$

$$= 0.45U$$

当 $U = 220\text{V}$ 时, $U_0 = 0.45 \times 220 = 99\text{V}$ 。

(3) 由图 1.9(b)可知, 二极管导通时流过的正向电流等于负载电流 U_0/R_L ; 由图 1.9(c)可知, 二极管截止时承受的最高反向工作电压 $U_{RM} = \sqrt{2}U = 310\text{V}$ 。为此, 应当选择正向电流大于 U_0/R_L , 反向电压大于 310V 的整流二极管。

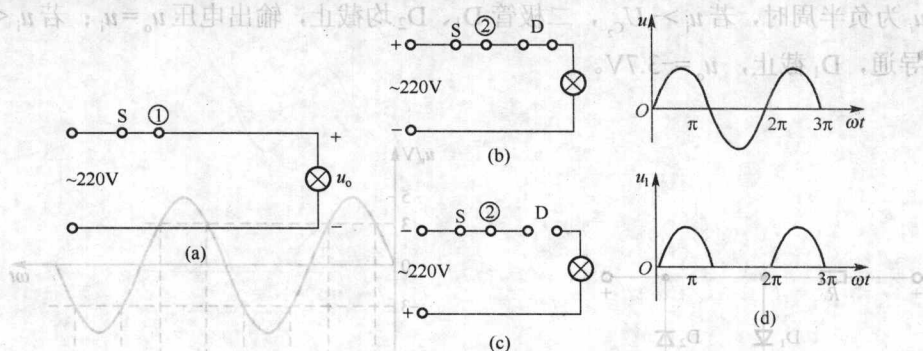


图 1.9 例 1.1 电路 2

2. 限幅电路

限幅电路是限制输出信号幅度的电路，它在计算机、电视机等很多电子电路中都有应用。如果输入信号幅度变化较大，要使其输出信号限制在一定的范围之内，则可接入限幅电路，如图 1.10(a)所示。

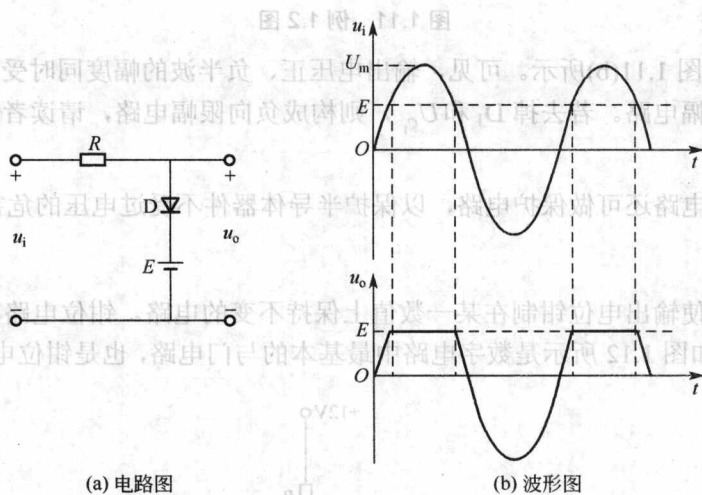


图 1.10 单相限幅电路

为了分析方便起见，忽略二极管的正向压降和反向电流，即设 D 为理想的二极管。当输入信号 $u_i > E$ 时，二极管正偏导通，输出电压 $u_o = E$ ，即输出电压正半周幅度被限制为 E 的值，输入电压超出 E 的部分降在电阻 R 上， $u_R = u_i - E$ ；当 $u_i < E$ 时，二极管反偏截止，电路中电流为零， R 上的压降为零，所以 $u_o = u_i$ ，波形如图 1.10(b)所示。如果要想实现双向限幅，则再并入一个 D 、 E 反方向串联的支路即可。

【例 1.2】 电路如图 1.11(a)所示，已知 $u_i = 5\sin\omega t$ (V)，二极管的导通电压 $U_D = 0.7$ V。试画出 u_i 与 u_o 的波形，并标出幅值。

解： 当 u_i 为正半周时，若 $u_i < U_{C1}$ ，二极管 D_1 、 D_2 均截止，输出电压 $u_o = u_i$ ；若 $u_i > U_{C1}$ ， D_1 正偏导通， D_2 仍截止， $u_o = 3.7$ V。

当 u_i 为负半周时, 若 $u_i > -U_{C_2}$, 二极管 D_1 、 D_2 均截止, 输出电压 $u_o = u_i$; 若 $u_i < -U_{C_2}$, D_2 正偏导通, D_1 截止, $u_o = -3.7V$ 。

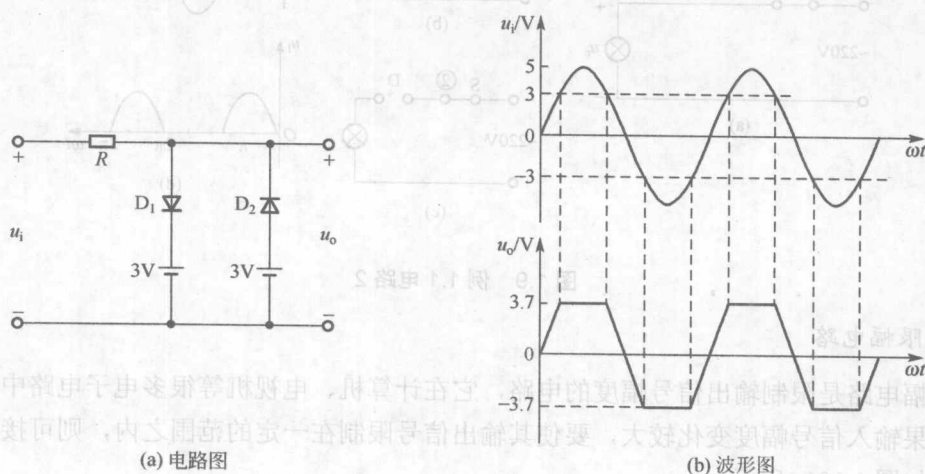


图 1.11 例 1.2 图

u_o 的波形如图 1.11(b) 所示。可见, 输出电压正、负半波的幅度同时受到了限制, 该电路称之为双向限幅电路。若去掉 D_1 和 U_{C_1} , 则构成负向限幅电路, 请读者自行分析, 并画出它的波形。

二极管限幅电路还可做保护电路, 以保护半导体器件不受过电压的危害。

3. 钳位电路

钳位电路是使输出电位钳制在某一数值上保持不变的电路。钳位电路在数字电子技术中的应用最广。如图 1.12 所示是数字电路中最基本的与门电路, 也是钳位电路的一种形式。

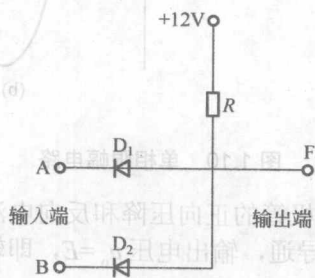


图 1.12 钳位电路(与门)

设二极管为理想元件, 当输入 $U_A = U_B = 3V$ 时, 二极管 D_1 、 D_2 正偏导通, 输出被钳制在 U_A 和 U_B 上, 即 $U_F = 3V$; 当 $U_A = 0V$, $U_B = 3V$, 则 D_1 导通, 输出被钳制在 $U_F = U_A = 0V$, D_2 反偏截止。

4. 检波电路

检波电路是把信号从已调波中检出来的电路。检波电路在调幅收音机及电视机中都有应用, 电路如图 1.13 所示。

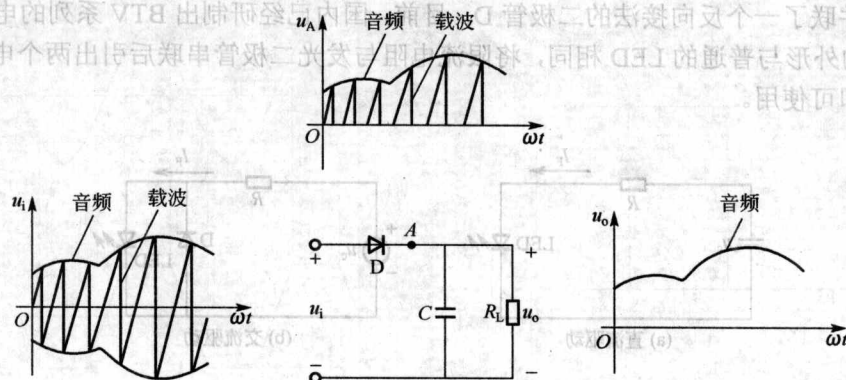


图 1.13 检波电路

调幅广播为了能使音频(低频)信号远距离传送, 则将音频叠加在高频载波信号之上发射出去, 如图 1.13 所示的 u_i 的波形。接收端半导体收音机, 经检波电路, 首先由二极管 D 去掉负半周, 得到 U_A 波形, 然后利用电容 C 滤掉高频载波, 检出音频信号 u_o , 再经放大后送到喇叭就可还原为声音了。

1.1.6 特殊二极管

1. 发光二极管

发光二极管(LED^[1])是一种将电能转换成光能的特殊二极管, 它的外型和符号如图 1.14 所示。在 LED 的管头上一般都加装了玻璃透镜。

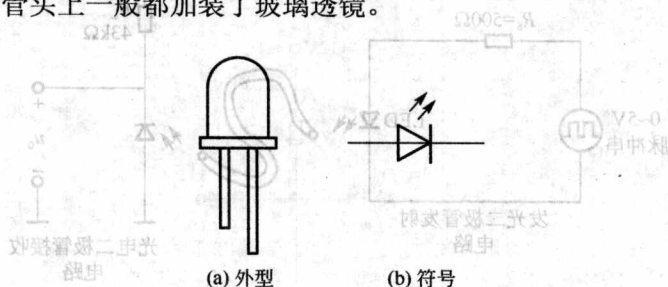


图 1.14 发光二极管的外型和符号

通常制成 LED 的半导体中的掺杂浓度很高, 当向管子施加正向电压时, 大量的电子和空穴在空间电荷区复合时释放出的能量大部分转换为光能, 从而使 LED 发光。

LED 常用半导体砷、磷、镓及其化合物制成, 它的发光颜色主要取决于所用的半导体

[1] 是 Light Emitting Diode 的缩写。

材料, 具有单向导电性, 通电后不仅能发出红、绿、黄等可见光, 也可发出看不见的红外光。使用时必须正向偏置。它工作时只需 $1.5 \sim 3\text{V}$ 的正向电压和几毫安的电流就能正常发光, 由于 LED 允许的工作电流小, 使用时应串联限流电阻。

如图 1.15 所示为 LED 的驱动电路, 用于交流驱动时为避免 LED 承受较高的反向电压, 在其两端并联了一个反向接法的二极管 D。目前, 国内已经研制出 BTV 系列的电压发光二极管, 它的外形与普通的 LED 相同, 将限流电阻与发光二极管串联后引出两个电极, 加上额定电压即可使用。

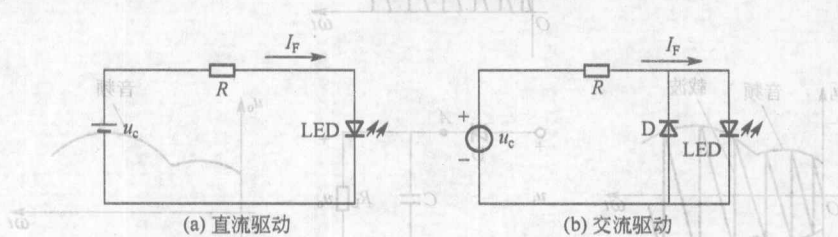


图 1.15 LED 驱动电路

LED 具有体积小、工作电压低、工作电流小、发光均匀稳定且亮度比较高、响应速度快以及寿命长等优点。它主要用来做显示器件, 除单个使用外, 也常做成七段式或矩阵式显示器件。发光二极管的另一个重要的用途是将电信号变为光信号, 通过光缆传输, 然后再用光电二极管接收, 再现电信号。如图 1.16 所示为发光二极管发射电路通过光缆驱动的光电二极管电路(示意图)。在发射端, 一个 $0 \sim 5\text{V}$ 的脉冲信号通过 500Ω 的电阻作用于发光二极管(LED), 这个驱动电路可使 LED 产生数字光信号, 并作用于光缆, 可应用于光纤通信和自动控制系统中; 此外, LED 还可与光电管一起构成光电耦合器件。

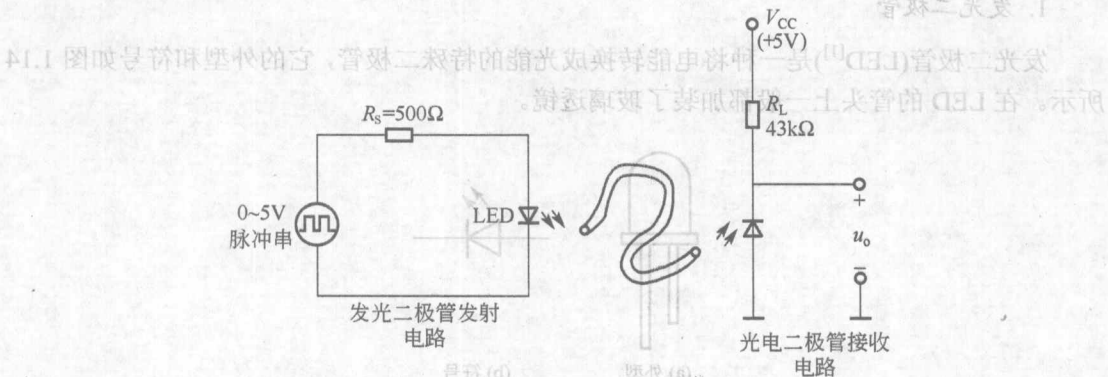


图 1.16 光电传输系统

在日常生活中所见到的热水器电源指示灯、计算机上的电源指示灯等都使用发光二极管。除单个使用外, 还可多个组合制成发光数码管等显示器。在遥控器上所采用的是红外发光二极管, 发出的是不可见的红外光, 也是发光二极管的一种类型。

2. 光电二极管

光电二极管又称光敏二极管, 是一种将光信号转换为电信号的特殊二极管(受光器件)。