

Dianzi Jishu Jichu

电子技术基础

主 编 韦 抒 叶 丽
副主编 陈国庆 孙 昆
 兰如波 张新强
主 审 何 佳

电子技术基础

主 编 韦 抒 叶 丽

副主编 陈国庆 孙 昆

兰如波 张新强

主 审 何 佳

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据高等院校《电子技术基础》的教学基本要求编写的。全书共分为 15 章, 分别为半导体二极管及应用电路、基本放大电路、交流放大器、场效应管放大器、运算放大器、正弦波振荡器、直流稳压电源、晶闸管及其应用、数字电路基础、集成门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲产生与变换、D/A 与 A/D 转换器。本书除了有一定的原理分析以外, 还介绍一些工程实例。另外, 每一章后面还附有相应的习题, 供读者思考与练习。

本书具有很强的针对性和实用性, 理论分析以适度、够用为限, 力求深入浅出, 突出重点, 分散难点, 文字简明通俗, 便于自学。

本书可作为高等院校、成人高校电子类、自动化类、电力类及相关专业的教材, 也可以供职业培训和工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础/韦抒, 叶丽主编. —北京: 北京理工大学出版社,
2008. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1726 - 2

I. 电… II. ①韦…②叶… III. 电子技术 - 高等学校 - 教材
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 123123 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 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 14. 75

字 数 / 355 千字

版 次 / 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 28. 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

前 言

进入 21 世纪,电子技术的发展日新月异,新型电子器件不断涌现,电子产品的应用已经渗透到工农业生产和日常生活中。电子技术基础作为一门重要技术基础课程,对电子器件的应用、电子电路的基本分析和设计方法进行了论述,熟练掌握这些基本内容,将为学生进一步学习专业课程奠定良好的基础。

本书从高等院校学生的学习特点和岗位需要出发,教材内容的选择及体系结构适用于应用型教学的需要,力求简洁实用、图文并茂、通俗易懂,达到举一反三,融会贯通的目的。在编写安排上力争做到由浅入深,循序渐进,所编内容注重实用性和可操作性,理论分析以适度、够用为限,突出重点,分散难点。

本书对电子技术基础知识做了较详尽的叙述,内容涵盖半导体元器件、基本放大电路、集成运算放大器及振荡电路、直流稳压电源、晶闸管及可控整流电路、数字电路基础、逻辑电路、数/模和模/数转换器等知识,对学习电子技术和分析识读电路图有相当裨益。本书适合高等院校学生使用,也可供培训和从事电子设备与电子装置维修的技术人员参考。

本书由韦抒、叶丽担任主编。全书共 15 章,第 5、6 章由孙昆编写,第 7、8 章由陈国庆编写,第 9、10 章由叶丽编写,第 11、12 章由兰如波编写,第 13、14、15 章由张新强编写,第 1、2、3、4 章由韦抒编写,并由韦抒负责全书统稿。本书由何佳担任主审。贾卫华参与了部分书稿的校对。在编写过程中,还得到北京理工大学出版社领导和编辑的大力支持和帮助,在此表示感谢。

由于电子技术的发展十分迅速,加之编者的水平有限,书中难免会有不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

目 录

第1章 半导体二极管及应用电路	1
1.1 半导体与PN结	1
1.2 半导体二极管	4
1.3 二极管整流电路	8
1.4 滤波电路	11
本章小结	13
习题1	14
第2章 基本放大电路	16
2.1 半导体三极管	16
2.2 三极管放大电路的组成	21
2.3 三极管放大电路静态与动态分析	24
2.4 共集放大器与共基放大器	31
本章小结	36
习题2	36
第3章 交流放大电路	40
3.1 多级放大器	40
3.2 反馈放大电路	44
3.3 功率放大器	49
本章小结	52
习题3	53
第4章 场效应管放大电路	55
4.1 场效应管	55
4.2 场效应管放大电路	59
本章小结	62
习题4	62
第5章 集成运算放大器	63
5.1 概述	63
5.2 差动放大器	65
5.3 集成运放主要技术指标及理想集成运放特性	68
5.4 集成运算放大器的线性应用	69
5.5 集成运放的非线性应用	75
本章小结	78
习题5	78

第6章 正弦波振荡器	80
6.1 概述	80
6.2 RC 正弦波振荡器	82
6.3 LC 正弦波振荡器	85
6.4 石英晶体振荡器	88
本章小结	91
习题6	91
第7章 直流稳压电源	92
7.1 直流稳压电源	92
7.2 串联型稳压电路	95
7.3 集成稳压器	98
本章小结	103
习题7	104
第8章 晶闸管及其应用	106
8.1 晶闸管	106
8.2 晶闸管整流电路	108
本章小结	115
习题8	115
第9章 数字电路基础	116
9.1 数字电路概述	116
9.2 数制与编码	117
9.3 逻辑代数基础	122
9.4 逻辑函数化简	127
本章小结	135
习题9	135
第10章 集成门电路	137
10.1 分立元件门电路	137
10.2 TTL 集成门电路	139
10.3 CMOS 集成门电路	145
本章小结	149
习题10	149
第11章 组合逻辑电路	151
11.1 组合逻辑电路的分析与设计	151
11.2 加法器	153
11.3 编码器	155
11.4 译码器	158
11.5 数据选择器与数据分配器	163

11.6 比较器	166
11.7 组合逻辑电路的竞争与冒险	168
本章小结	171
习题 11	171
第 12 章 集成触发器	173
12.1 RS 触发器	173
12.2 同步触发器	176
12.3 防止空翻触发器	180
12.4 触发器的转换	183
本章小结	184
习题 12	185
第 13 章 时序逻辑电路	187
13.1 时序逻辑电路的基本概述	187
13.2 寄存器	188
13.3 计数器	191
本章小结	200
习题 13	201
第 14 章 脉冲产生与变换	203
14.1 多谐振荡器	203
14.2 单稳态触发器	206
14.3 施密特触发器	209
14.4 555 集成定时器及应用	212
本章小结	215
习题 14	215
第 15 章 D/A 与 A/D 转换器	217
15.1 D/A 转换器	217
15.2 A/D 转换器	221
本章小结	225
习题 15	225
参考文献	226

第 1 章 半导体二极管及应用电路

1.1 半导体与 PN 结

自然界的物质，按导电能力的不同，可分为导体、绝缘体和半导体三大类。通常将电阻率小于 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质称为导体，例如金、银、铜、铁等金属都是良好的导体。电阻率大于 $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质称为绝缘体，例如橡胶、塑料等。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。

1.1.1 半导体的基本知识

常用的半导体材料有硅 (Si)、锗 (Ge)、砷化镓 (GaAs) 等。半导体除了与其他物质不同的导电能力之外，还有许多特点，如受到外界影响（光照、温度变化）或掺入杂质时，其电阻会显著变化。利用半导体的这些特性，人们可制造出各种半导体器件。

1. 本征半导体

纯度很高、晶体结构完整的半导体称为本征半导体。理想的本征半导体是由单一元素构成的单晶硅。硅和锗的原子结构示意图如图 1-1 所示，它们的最外层电子数为 4 个，这层电子受原子核的束缚力较弱，称为价电子，所以硅和锗都是四价元素。

在硅晶体中，价电子不仅受到自身原子核的约束，同时还会受到相邻原子核的吸引。因此，价电子一方面围绕自身原子核运动，另一方面又会出现

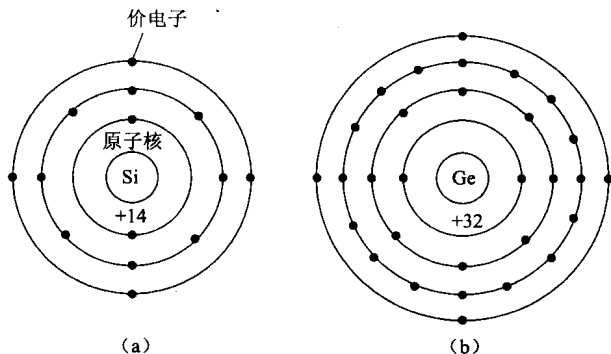


图 1-1 半导体原子结构图

相邻原子核的轨道上，形成稳定的共价键结构。由于价电子不易摆脱原子核束缚成为自由电子，因此本征半导体导电能力较差。本征半导体晶体结构示意图如图 1-2 所示。

但是，如果能从外界获得能量，有少数价电子就会挣脱共价键的束缚成为自由电子。与此同时，在共价键上留下一个空位，称为空穴。由于存在空位，使附近共价键的价电子很容易过来填补，于是又留下一个新的空位。其他地方的电子又有可能来填补后一个空位。从效果上看，这种电子填补空穴

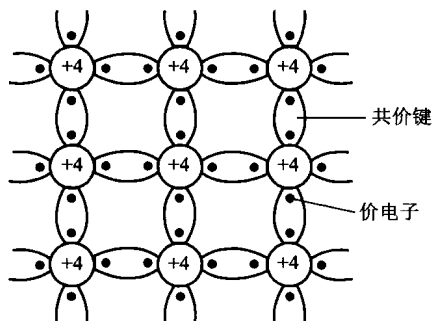


图 1-2 本征半导体结构图

的运动，相当于带正电的空穴在运动一样，所以空穴是带正电的载流子。

在本征半导体中，电子和空穴总是成对出现的，称为电子—空穴对。这时电子和空穴的数目总是相等的。随着温度升高，电子—空穴的数量增多，半导体的导电性增强。

2. 杂质半导体

如果在本征半导体中掺入微量的杂质，其导电能力会显著变化。根据掺入杂质的不同，可以分为 P 型半导体和 N 型半导体。

(1) P 型半导体。在本征半导体硅中掺入微量的三价元素硼 (B)，就形成 P 型半导体，如图 1-3 所示。

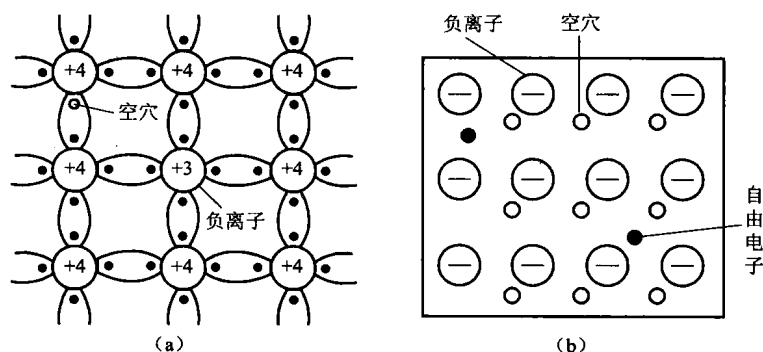


图 1-3 P 型半导体结构图

(a) P 型半导体晶体结构图；(b) P 型半导体示意图

硅原子与硼原子组成共价键时少一个电子，即产生一个空穴。每掺入一个硼原子就提供一个空穴，而相邻硅原子中的价电子有可能过来填补这个空穴，使硼原子多出一个电子，成为带负电的离子。P 型半导体中空穴的浓度比电子的浓度高得多，它主要靠空穴导电。

(2) N 型半导体。在本征半导体中掺入微量的五价元素磷 (P) 就形成 N 型半导体，如图 1-4 所示。拥有 5 个价电子的磷原子与周围的硅原子组成共价键时，会多出一个价电子，这个电子很容易成为自由电子，所以 N 型半导体中自由电子的浓度比空穴的浓度高得多，它主要靠自由电子导电。

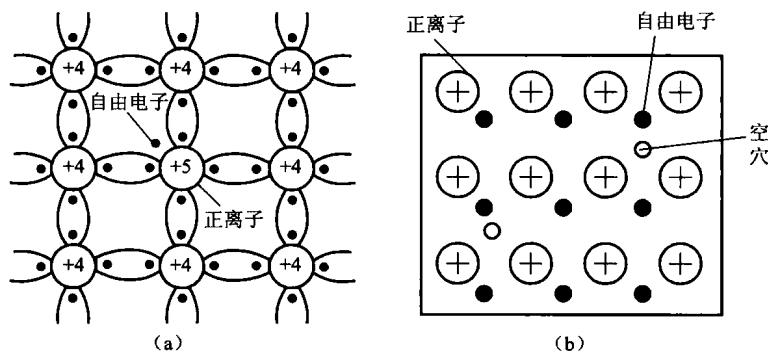


图 1-4 N 型半导体结构图

(a) N 型半导体晶体结构图；(b) N 型半导体示意图

1.1.2 PN 结及单向导电性

1. PN 结的形成

当采用某种方法使半导体中一部分区域成为 P 型，另一部分区域成为 N 型半导体时，其交界上就会形成一个很薄的空间电荷区，如图 1-5 所示。由于交界面两侧存在载流子浓度差，P 区中的多数载流子（空穴）就要向 N 区扩散；同样，N 区的多数载流子（电子）也向 P 区扩散。在扩散中，电子与空穴复合，因此在交界面上，靠 N 区一侧就留下不可移动的正电荷离子，而靠 P 区一侧就留下不可移动的负电荷离子，从而形成空间电荷区。在空间电荷区产生一个从 N 区指向 P 区的内电场（自建电场）。

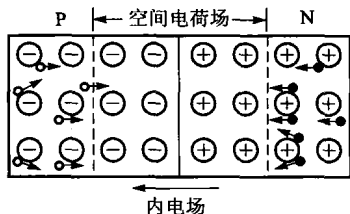


图 1-5 PN 结的形成

随着扩散的进行，内电场不断增强。内电场的加强又反过来阻碍扩散运动，但却使 P 区的少数载流子电子向 N 区漂移，N 区的少数载流子空穴向 P 区漂移。当扩散和漂移达到动态平衡时，即扩散运动的载流子数等于漂移运动的载流子数时，就形成一定厚度的空间电荷区，称其为 PN 结。在这个空间电荷区内，能移动的载流子极少，故又称为耗尽层或阻挡层。

2. PN 结的单向导电性

PN 结外加正向电压（称为正向偏置），即电源正极接 P 区，负极接 N 区，如图 1-6(a) 所示。这时，外电场方向与内电场方向相反，内电场被削弱，空间电荷区变薄，多数载流子的扩散运动大大超过少数载流子的漂移运动。同时电源的不断向 P 区补充空穴，向 N 区补充电子，其结果使电路中形成较大的正向电流，PN 结处于正向导通状态。

PN 结外加反向电压（称为反向偏置），就是将电源的正极接 N 区，负极接 P 区，如图 1-6(b) 所示。这时外电场方向与内电场方向一致，空间电荷区变厚，多数载流子的扩散运动受到阻碍，但少数载流子的漂移运动得到加强。由于少数载流子的数目很少，故只有很小的电流通过，PN 处于几乎不导电的截止状态。

综上所述，PN 结正向偏置时，处于导通状态，有较大电流通过；PN 结反向偏置时，处于截止状态，反向电流很少，这就是 PN 结的单向导电性。

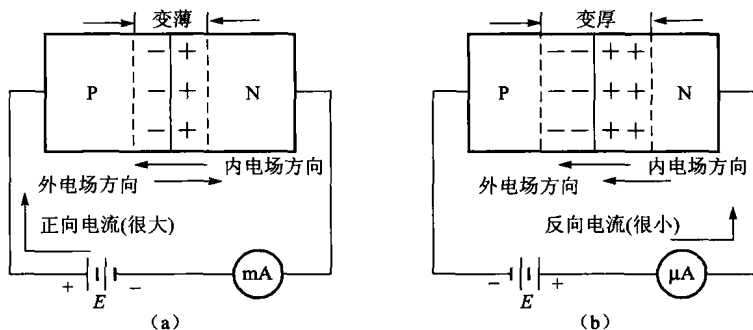


图 1-6 PN 结的单向导电性

(a) 正向导通；(b) 反向截止

1.2 半导体二极管

半导体二极管简称二极管，是一种非线性半导体器件。它具有单向导电特性，可用于整流、稳压、检波、限幅等场合。

1.2.1 二极管的结构

二极管是在PN结的外面装上管壳，再引出两个电极而做成的。从P区引出的电极称为阳极（正极）；从N区引出的电极称为阴极（负极）。常见二极管的外形如图1-7(a)所示，二极管的结构如图1-7(b)、(c)所示，图形符号如图1-7(d)所示。

二极管的类型很多，按制造二极管的材料来分，有硅二极管和锗二极管；按用途来分，有整流二极管，开关二极管，稳压二极管等；按结构来分，主要有点接触型和面接触型。

点接触型二极管的PN结面积小，结电容也小，因而不允许通过较大的电流，但可在高频下工作。而面接触型的二极管由于PN结面积大，可以通过较大的电流，但只在较低频率下工作。

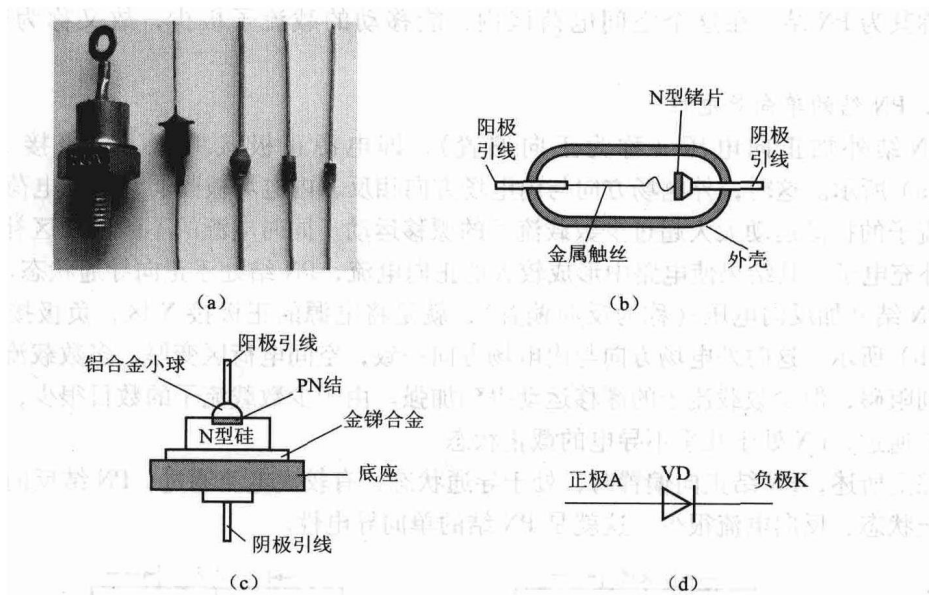


图1-7 二极管的结构类型及外形

(a) 二极管的实物图；(b) 二极管的点接触型结构；
(c) 二极管的面接触型结构；(d) 二极管的图形符号

1.2.2 二极管的特性

二极管两端电压与通过二极管电流之间的关系曲线称为二极管的伏安特性，如图1-8所示。伏安特性表明二极管具有单向导电特性。

1. 正向特性

当加在二极管的正向电压数值较小时，由于外电场不足以克服内电场对多数载流子扩散

运动的阻力，正向电流几乎为零，二极管不导通。在特性曲线上对应的这部分区域称为“死区”。死区电压的大小与材料的类型有关，一般硅二极管为 0.5 V 左右；锗二极管为 0.1 V 左右。

当正向电压大于死区电压时，外电场削弱了内电场对扩散运动的阻力，正向电流增大，二极管导通。这时，正向电压稍有增大，电流会迅速增加，电压与电流的关系呈现指数关系。图中曲线显示，管子正向导通后其管压降很小（硅管为 0.6 ~ 0.7 V，锗管为 0.2 ~ 0.3 V），相当于开关闭合。

2. 反向特性

当二极管加反向电压时，外电场增强了内电场对扩散运动的阻力，扩散运动很难进行，但少数载流子在这两个电场的作用下很容易通过 PN 结，形成很小的反向电流。由于少数载流子的数目很少，即使增加反向电压，反向电流仍基本保持不变，故称此电流为反向饱和电流。所以，如果给二极管加反向电压，二极管将处于截止状态，这时相当于开关断开。

如果继续增加反向电压，当超过 U_B 时，反向电流急剧增大，这种现象称为反向击穿。 U_B 为反向击穿电压。反向击穿后，如果不对反向电流的数值加以限制，将会烧坏二极管。所以普通二极管不允许工作在反向击穿区。

1.2.3 二极管的参数

为了正确、合理地使用二极管，必须了解二极管的主要参数。

1. 最大整流电流 I_F

最大整流电流是指二极管长期运行时，允许通过管子的最大正向平均电流。因为电流通过 PN 结要引起管子发热，电流太大，发热量超过限度，就会使 PN 结烧坏。

2. 反向击穿电压 U_{RM}

它是指允许加在二极管上的反向电压的最大值。一般手册上给出的最高反向工作电压约为击穿电压的一半，以确保管子安全运行。

3. 反向饱和电流 I_S

它是指在室温下，二极管两端加上规定反向电压时的反向电流。其数值愈小，说明二极管的单向导电性愈好。硅材料二极管的反向电流比锗材料二极管的反向电流要小。另外，二极管受温度的影响较大，当温度增加时，反向电流会急剧增加，在使用时需要加以注意。

二极管参数还有最高工作频率、正向压降、结电容等，此处不再说明。

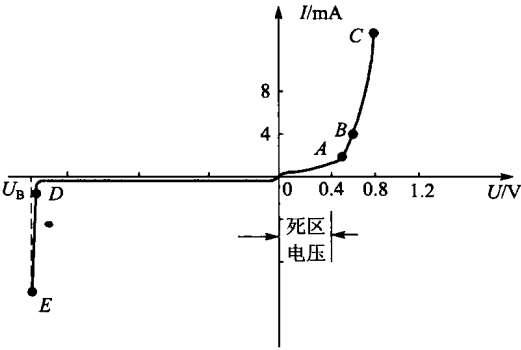


图 1-8 二极管伏安特性曲线

表 1-1 国外 1N 系列普通二极管和主要技术参数

主要技术参数 型 号	最高反向工作电压/V	最大整流电流/A	最大正向压降/V	反向电流/ μ A
1N4001	50	1	≤ 1	≤ 10
1N4002	100	1	≤ 1	≤ 10

续表

型 号	主要技术参数	最高反向工作电压/V	最大整流电流/A	最大正向压降/V	反向电流/ μA
1N4004		400	1	≤ 1	≤ 10
1N4007		1 000	1	≤ 1	≤ 10
1N5401		100	3	≤ 1.2	≤ 10
1N5404		400	3	≤ 1.2	≤ 10
1N5407		800	3	≤ 1.2	≤ 10
1N5408		1 000	3	≤ 1.2	≤ 10

1.2.4 特殊二极管

电子设备中除广泛使用整流二极管、开关二极管外，还常常使用一些特殊功能的二极管，下面分别予以介绍。

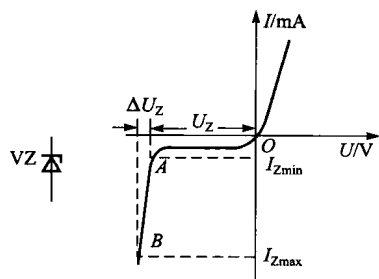


图 1-9 稳压管的符号和伏安特性

1. 硅稳压二极管

稳压二极管是一种能稳定电压的二极管，如图1-9为稳压二极管的符号及伏安特性。其正向特性曲线与普通二极管相似，反向特性段比普通二极管更陡些，稳压管正常工作在反向击穿区 AB 段内。在此区段，反向电流在 $I_{Z\min} \sim I_{Z\max}$ 变化时，管子两端电压变化很小，起到稳压作用。若反向电流小于 $I_{Z\min}$ 时，管子将工作在特性曲线的截止区，管子两端电压不能保持稳定；若反向电流大于 $I_{Z\max}$ 时，管子可能过热而损坏，所以

在应用中，稳压管通常串联一个电阻来限制电流。

稳压管有以下几个主要参数：

(1) 稳定电压 U_Z 是指在规定测试条件下，稳压管工作在击穿区时的稳定电压值。由于制造工艺的原因，同型号稳压管的稳压值不可能都相等。但对每一个稳压管来说，对应一定的工作电流只有一个确定值，选用时应以实际测量为准。例如 2CW53 型硅稳压二极管，在测试电流 $I_Z = 10 \text{ mA}$ 时稳定电压 U_Z 为 $4.0 \sim 5.8 \text{ V}$ 。

(2) 最小稳定电流 $I_{Z\min}$ 指稳压管进入反击穿区时的转折点电流。稳压管工作时，反向电流必须大于 $I_{Z\min}$ ，否则不能稳压。

(3) 最大稳定电流 $I_{Z\max}$ 指稳压管长期工作时，允许通过的最大反向电流。例如 2CW53 型稳压管的 $I_{Z\max} = 41 \text{ mA}$ ，在使用稳压二极管时，工作电流不允许超过 $I_{Z\max}$ ，否则可能会过热烧坏管子。

(4) 稳定电流 I_Z 指稳压管在稳定电压下的工作电流，其范围在 $I_{Z\min} \sim I_{Z\max}$ 之间。

(5) 耗散功率 P_{ZM} 指稳压管稳定电压 U_Z 与最大稳定电流 $I_{Z\max}$ 的乘积。在使用中若超过这个数值，管子将被烧坏。

(6) 动态电阻 r_Z 是指稳压管工作在稳压区时，两端电压变化量与电流变化量之比，

即 $r_z = \Delta U_z / \Delta I_z$ ，动态电阻愈小，稳压性能愈好。

如图 1-10 为最简单的硅稳压管稳压电路，稳压管作为稳压元件与负载 R_L 并联， R 为限流电阻。电路在正常工作时，负载 R_L 两端的直流电压 U_o 就等于稳压管的稳定电压。

2. 发光二极管

发光二极管（LED）是一种能把电能转换成光能的半导体器件。它由磷砷化镓（GaAsP）、磷化镓（GaP）等半导体材料制成。当 PN 结加正向电压时，多数载流子在进行扩散运动的过程中相遇而复合，其过剩的能量以光子的形式释放出来，从而产生一定波长的光。发光的颜色取决于所采用的半导体材料。目前使用的有红、绿、黄、蓝、紫等颜色的发光二极管。发光二极管的实物图和符号如图 1-11 所示。

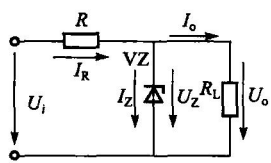


图 1-10 简单的稳压管稳压电路

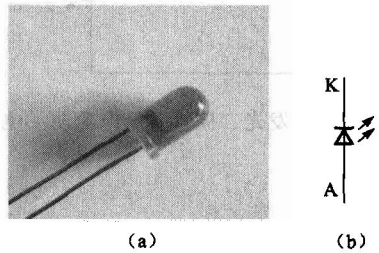


图 1-11 发光二极管
(a) 实物图；(b) 图形符号

发光二极管与指示灯相比，具有体积小、工作电压低、工作电流小、发光均匀稳定、响应速度快和寿命长等优点，因而 LED 是一种优良的发光器件，在各种电子设备、家用电器以及显示装置中得到广泛应用。

发光二极管的正向工作电压比普通二极管高，约 1~2 V；反向击穿电压比普通二极管低，约 5 V 左右。一般发光亮度与工作电流有关。

发光二极管有电流驱动型和电压驱动型两类。对于电流驱动型，使用时必须加限流电阻 R_S ， R_S 阻值的大小按 $R_S = (U - U_F) / I_F$ 来选择。图 1-12 为直流电流驱动电路，在发光二极管的产品说明或相关手册中，有的给出其正向电流，有的给出管子的最大电流 I_{FM} 。一般 I_F 为 I_{FM} 的 60%。在实际使用时，为确保发光管长期稳定工作、防止老化，管子的平均工作电流不能高于手册给出的正向电流值 I_F 。

表 1-2 部分发光二极管的主要技术参数

技术参数 型 号	发光颜色	波长 /nm	最大耗散 功率/mW	最大工作 电流/mA	正向 电压/V	反向 电压/V	反向 电流/ μ A	材料	封装 形式
BT102	红	700	50	20	≤ 2.5	≥ 5	≤ 50	GaP	D, W, C, T
BT103	绿	565	50	20	≤ 2.5	≥ 5	≤ 50	GaP	
BT104	黄	585	50	20	≤ 2.5	≥ 5	≤ 50	GaP	
BT111	红	650	50	20	≤ 2	≥ 5	≤ 50	GaAsP	
BT116-X (高亮)	红	660	100	20	≤ 2.5	≥ 5	≤ 100	GaAlAs	

3. 光敏二极管

光敏二极管的 PN 结与普通二极管不同，其 P 区比 N 区薄得多。另外，为了获得光照，在其管壳上设有一个玻璃窗口，光敏二极管在反向偏置状态下工作。无光照时，光敏二极管在反向电压作用下，通过管子的电流很小；受到光照时，PN 结将产生大量的载流子，反向电流明显增大。这种由于光照射而产生的电流称为光电流，它的大小与光照度有关。光敏二极管的符号和应用电路如图 1-13 所示。

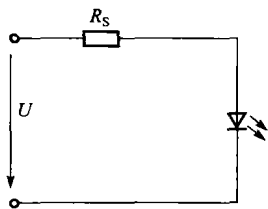


图 1-12 发光二极管直流电流驱动电路

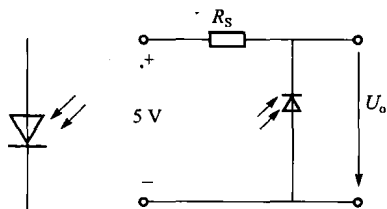


图 1-13 光敏二极管的符号和应用电路

1.3 二极管整流电路

电子设备需要稳定的直流电源供电才能正常工作，而电网供给的都是交流电，因此必须将交流电变换成直流电，这一过程称为整流。本节主要介绍单相半波整流电路和单相桥式整流电路。

1.3.1 单相半波整流电路

1. 电路组成及工作原理

图 1-14 为单相半波整流电路，T 为电源变压器，VD 为整流二极管， R_L 为负载电阻。设变压器副边电压为

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$$

其中， U_2 为变压器副边电压有效值。

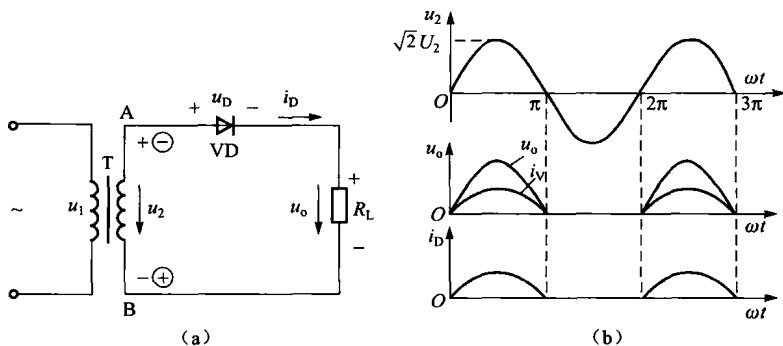


图 1-14 单相半波整流电路及波形

在 u_2 的正半周 ($0 \sim \pi$) 期间，变压器副边绕组的极性是上正下负，二极管 VD 承受正

向电压导通, 此时有电流 i_o ($i_o = i_D$) 流过负载 R_L , 其压降为 $U_o = i_o \cdot R_L$, 如果忽略 VD 的管压降 u_V , 则 $u_o \approx u_2$, 负载上的电压 u_o 与 u_2 基本相等。

在 u_2 的负半周 ($\pi \sim 2\pi$) 期间, 变压器副边绕组的极性变为上负下正, 二极管 VD 承受反向电压截止, 此时电流 $i_o \approx 0$, 负载上的电压 $u_o \approx 0$, 变压器上的电压 u_2 全部加到二极管上。

从电流的第二个周期开始又重复上述过程。尽管电源变压器侧是交流电压 u_2 , 但经二极管变换后, 负载 R_L 上的电压极性始终不变 (上正下负), 也就是负载得到的电压是直流电压。由于在一个周期内, 二极管导电半个周期, 负载 R_L 只获得半个周期的电压, 故称为半波整流。经半波整流后获得的是波动较大的脉动直流电。

2. 电压和电流计算

负载上获得的是脉动直流电压, 其大小用平均值 U_o 来衡量

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45 U_2$$

流过负载电流的平均值为

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

流过二极管的平均电流与负载电流相等。故

$$I_D = I_o = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

二极管反向截止期承受的最高反向电压等于变压器副边电压的最大值, 所以

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2$$

单相半波整流电路简单, 元件少, 但输出电流脉动很大, 变压器利用率低。因此半波整流仅适用于要求不高的场合。

1.3.2 单相桥式整流电路

1. 电路组成和工作管理

图 1-15 为单相桥式整流电路的三种画法。它由整流变压器, 四个二极管和负载电阻组成。

在 u_2 的正半周 ($0 \sim \pi$) 时, 二极管 VD_1 、 VD_3 承受正向电压导通, VD_2 、 VD_4 承受反向电压而截止, 电流 i_o 从变压器副边 a 端经 VD_1 、 R_L 、 VD_3 回到 b 端, 电流在电阻 R_L 上产生压降 u_o 。如果忽略 VD_1 、 VD_3 的管压降, 则 $u_o \approx u_2$ 。

在 U_2 的负半周 ($\pi \sim 2\pi$) 时, VD_1 、 VD_3 反向截止, VD_2 、 VD_4 承受正向电压而导通, 电流 i_o 从变压副边 b 端开发经 VD_4 、 R_L 、 VD_2 回到 a 端。忽略 VD_2 、 VD_4 的管压降, 负载的电压 $u_o \approx u_2$ 。

可见, 在 u_2 的一个周期内, VD_1 、 VD_3 和 VD_2 、 VD_4 轮流导通, 流过负载 R_L 的电流 i_o 的方向始终不变, 负载的电压为单方向的脉动直流电压。波形如图 1-16 所示。

2. 电流和电流计算

负载的平均电压

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} 2\sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t)$$

$$= \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0.9 U_2$$

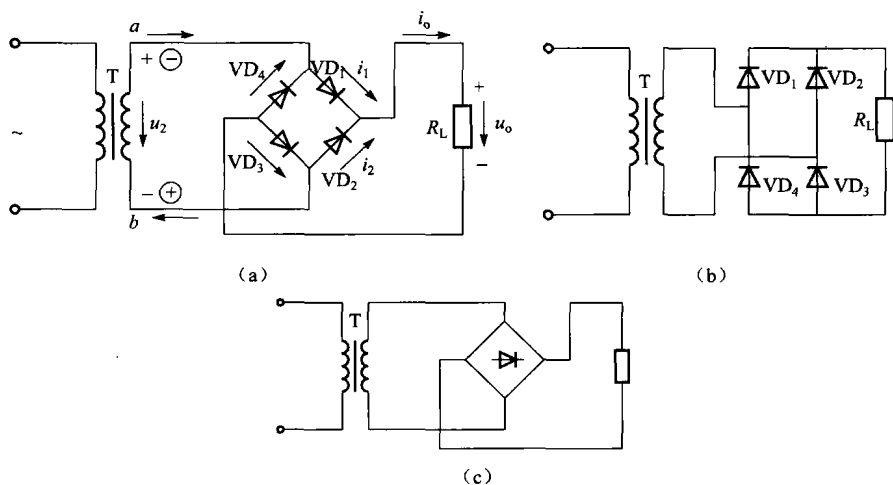


图 1-15 桥式整流电路的三种画法

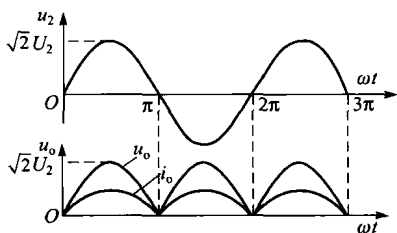


图 1-16 桥式整流电路波形图

负载的平均电流

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.9 \frac{U_2}{R_L}$$

在每个周期内，两组二极管轮流导通，各导电半个周期，所以每只二极管的平均电流应为负载电流的一半，即：

$$I_D = \frac{1}{2} I_o = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

在一组二极管正向导通期间，另一组二极管反向截止，其承受的最高反向电压为变压器副边电压的峰值：

$$U_{RM} = \sqrt{2} U_2$$

桥式整流比半波整流电路复杂，但输出电压脉动比半波整流小一倍，变压器的利用率也较高，因此桥式整流电路得到了广泛的应用。

【例 1.1】已知单相桥式整流电路中的负载电阻 $R_L = 200 \Omega$ ，变压器副边电压有效值 $U_2 = 36 \text{ V}$ ，试求：

- (1) 负载上的平均电压和平均电流；
- (2) 二极管承受的最高反压和通过的平均电流，并选择二极管。

解：(1) 负载上的平均电压

$$U_o = 0.9 U_2 = 0.9 \times 36 = 32.4 \text{ V}$$

负载上的平均电流

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{32.4}{200} = 0.162 \text{ A}$$

- (2) 二极管承受的最高反压