



高职高专电子信息类“十三五”课改规划教材



# 模拟电路 测试与分析

主编 黄业安  
主审 梁长垠



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

高职高专电子信息类“十三五”课改规划教材

# 模拟电路测试与分析

主 编 黄业安

主 审 梁长垠

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书以完成真实项目“高保真功放的制作与调试”为主线，按照工作过程系统化原则对完成实际工作任务所需要的技能及相关知识进行有机的融合。书中包括电源电路的制作与测试、电子音量控制器的制作与测试、音调前置放大器的制作与测试、功率放大器的制作与测试四个学习情境，以及一个综合实训——音频功率放大器的整机制作与测试，并将电子电路的仿真与测试技术纳入到教学内容中，以强化对学生职业能力的培养。

本书可作为高职高专电子信息类及其相关专业的教材，也可作为工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟电路测试与分析/黄业安主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2016.12

高职高专电子信息类“十三五”课改规划教材

ISBN 978-7-5606-4273-4

I. ①模… II. ①黄… III. ①模拟电路—电路测试—高等职业教育—教材 ②模拟电路—电路分析—高等职业教育—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 226367 号

策 划 毛红兵

责任编辑 刘玉芳 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.5

字 数 365千字

印 数 1~2000册

定 价 30.00元

ISBN 978-7-5606-4273-4/TN

**XDUP 4565001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

# 前 言

“模拟电路测试与分析”是高职高专电子类相关专业的一门专业基础课。本书是以教育部关于“高等职业学校培养目标和人才规格”为依据，针对电子类专业技术岗位的基本能力需求，比照“模拟电路”的知识结构要求，打破理论教学与实践教学的界限，对课程内容进行重组、序化后形成的项目化教材。本书旨在帮助学生轻松学习电子技术基础知识，扎实地训练基本操作技能，有效地形成电子类专业的基本素养和基本能力。

本书与传统的模拟电子技术教材相比，在内容上作了颠覆性的重组，基于工作过程系统化的理念进行设计。本书以典型电子产品“音频功率放大器”的整机制作与调试为载体，并按照载体的制作过程设计了“电源电路的制作与测试、电子音量控制器的制作与测试、音调前置放大器的制作与测试、功率放大器的制作与测试”四个学习情境，最后是项目贯穿综合实训“音频功率放大器的整机制作与测试”。在每个学习情境中，都有若干个同系列的电子产品制作的综合性“工作任务”，使学生在系列电子产品的制作中有比较、有系统地学习所涉及的模拟电路相关知识，逐步形成岗位基本能力，体现学习的系统性、实践性。每个任务中，先以相关的“技能训练”引入，让学生获得感知后再进行相关理论知识的学习，体现了从感性到理性的认知规律，之后在相关理论知识的指导下完成综合性工作任务，凸显理论知识的应用性。同时把电子产品生产过程中需要的社会能力、产品制作与测试的操作方法、产品电路的分析方法等融合到教学内容中，从而使学生对专业基本技能的训练更贴近岗位要求。

本书参考学时数为72学时(含实践教学)，具体安排如下：学习情境一18学时，学习情境二22学时，学习情境三20学时，学习情境四12学时。本书尽可能采用教、学、做一体化的方式组织教学活动，书中安排的实训项目(包含仿真与测试)在有条件的情况下应尽量完成，以期实现基础知识与实践能力的有机结合。

本书由黄业安老师在《电子电路分析与实践》(西安电子科技大学出版社,2011)的基础上升级完成，梁长垠教授参与了本书的策划工作，并审阅了全书。

由于编者水平有限，书中的疏漏在所难免，恳切期望读者提出批评与建议。

编 者  
2016年5月

# 目 录

学习情境一 电源电路的制作与测试 .....	1
任务一 恒流充电器的制作与测试 .....	2
技能训练 1 二极管的识别与测试 .....	2
知识学习 二极管的特性与应用 .....	4
技能训练 2 三极管的识别与测试 .....	19
知识学习 三极管的特性与应用 .....	21
任务实施 恒流充电器的制作与测试 .....	30
常识链接 手工焊接技术 .....	32
小结 .....	33
习题 .....	33
任务二 可控硅控制充电器的仿真测试 .....	37
技能训练 1 晶闸管的识别与测试 .....	37
知识学习 晶闸管的特性及应用 .....	38
技能训练 2 串联型稳压电源的制作与测试 .....	43
知识学习 直流稳压电源 .....	45
任务实施 可控硅控制充电器的仿真测试 .....	56
小结 .....	57
习题 .....	58
项目训练 稳压电源电路的制作与测试 .....	61
常识链接 电子元器件的引线成型和插装 .....	62
学习情境二 电子音量控制器的制作与测试 .....	65
任务一 分立助听器电路的仿真测试 .....	66
技能训练 共射极放大电路的制作与测试 .....	66
知识学习 三极管放大电路 .....	67
任务实施 分立助听器的仿真测试 .....	86
小结 .....	87
习题 .....	87
任务二 听诊器电路的仿真测试 .....	93
技能训练 1 场效应管的识别与测试 .....	93
知识学习 场效应管及其放大电路 .....	95
技能训练 2 基本差动放大电路的制作与特性测试 .....	107
知识学习 差动放大电路 .....	109
任务实施 分立听诊器的仿真测试 .....	114
小结 .....	116
习题 .....	117
项目训练 分立式电子音量控制电路的制作测试 .....	121

<b>学习情境三 音调前置放大器的制作与测试</b> .....	123
<b>任务一 分立音调放大器的制作与测试</b> .....	124
技能训练 负反馈改善非线性失真电路的制作与测试 .....	124
知识学习 多级放大与负反馈放大电路 .....	125
任务实施 分立音调电路的制作与测试 .....	143
常识链接 电子电路的识图方法 .....	144
小结 .....	146
习题 .....	146
<b>任务二 集成反馈式音调电路的仿真测试</b> .....	152
技能训练 集成运放的识别检测与基本性能测试 .....	152
知识学习 集成运算放大器 .....	153
任务实施 集成反馈式音调电路的仿真测试 .....	163
常识链接 印制电路板图的识图方法 .....	165
小结 .....	166
习题 .....	166
<b>任务三 LED电平显示器的制作与测试</b> .....	170
技能训练 集成运放电压比较器的制作与测试 .....	170
知识学习 集成运放的非线性应用 .....	171
任务实施 LED电平显示器的制作与测试 .....	175
小结 .....	177
习题 .....	177
<b>项目训练 音调前置放大器的制作与测试</b> .....	180
常识链接 放大电路的调整与测试 .....	181
<b>学习情境四 功率放大器的制作与测试</b> .....	185
<b>任务一 分立喊话器的仿真与测试</b> .....	186
技能训练 双共集互补对称电路的仿真测试 .....	186
知识学习 功率放大器 .....	187
任务实施 分立喊话器的仿真测试 .....	197
小结 .....	198
习题 .....	199
<b>任务二 集成喊话器的制作与测试</b> .....	202
技能训练 集成功放电路的输出功率测试 .....	202
知识学习 集成功率放大器 .....	203
任务实施 集成喊话器的制作与测试 .....	208
常识链接 集成功放电路外围元件连接的一般规律 .....	209
小结 .....	210
习题 .....	210
<b>项目训练 功率放大器的制作与测试</b> .....	212
常识链接 电子设计制作过程中元器件的选用 .....	213
<b>项目贯穿综合实训 音频功率放大器的整机制作与测试</b> .....	217
常识链接 电子整机产品制作流程及工艺 .....	220

附录	223
附录一 项目考核评分表	223
附录二 电子产品常用工艺文件简介	224
附录三 电子产品常用设计文件简介	230
附录四 PROTEUS 仿真软件简介	235
附录五 学习情境一～四的元器件清单	239
参考文献	240

## 学习情境一 电源电路的制作与测试

电子电路一般都使用稳定的直流电源来供电。虽然蓄电池、干电池等类电源可以满足很多电路的要求，但蓄电池的体积大，使用不便；而干电池则是一次性产品，大量使用会对环境造成污染，且使用成本很高，因此一般都是将市电变换成直流电源。

### ※学习目标

1. 能正确测试常用二极管、三极管、晶闸管，并对测量结果进行准确描述和分析。
2. 通过查阅半导体器件手册，能够正确选择和使用二极管、三极管等制作出稳压电源。
3. 能判断和处理简单的电源电路故障。



## 任务一 恒流充电器的制作与测试

### 能力目标：

1. 能使用万用表识别和检测二极管、三极管。
2. 能使用万用表等对电路进行测试，并能对所得数据进行分析。
3. 能在万能板上进行元件布局与焊接，能分析并排除简单的电路故障。

### 知识目标：

1. 掌握二极管、三极管的结构、特性及基本应用。
2. 掌握整流、滤波电路和三极管控制电流电路的工作原理。

### 技能训练 1 二极管的识别与测试

#### 1. 实训目的

- (1) 熟悉常用二极管的外形和标记。
- (2) 学会使用万用表检测、判断二极管的极性。
- (3) 了解二极管的正、反向导电等特性。

#### 2. 实训仪器与材料

实训仪器	参考型号	实训材料	规格	数量
万用表	DE960TR 或 DT9205A	二极管	各种类型	若干
可调稳压电源	HG63303	电阻	100 $\Omega$ /3W	1 个

#### 3. 实训内容与步骤

##### 1) 二极管的识别

- (1) 从给定的两端元器件中挑选出二极管。
- (2) 能识别发光二极管、稳压二极管和普通二极管。

##### 2) 二极管正、负极及质量好坏的判断

- (1) 利用万用表欧姆挡对给定的二极管进行正、反向电阻测量，并判断出其正、负极。
- (2) 记录被检测二极管的正、反向电阻值，并根据测试结果区分二极管的材料、类型及质量等。

##### 3) 二极管的测试

- (1) 按如图 1.1.1(a) 所示搭接电路，测试普通二极管 VD 的导电特性。

① 调整电源为 0V 输出后接入，缓慢调节“稳压调节”旋钮，同时观察电流表，待电流表中开始有电流时，停止电压调节，读出此时电压表的电压值，并记录在表 1-1-1 中。

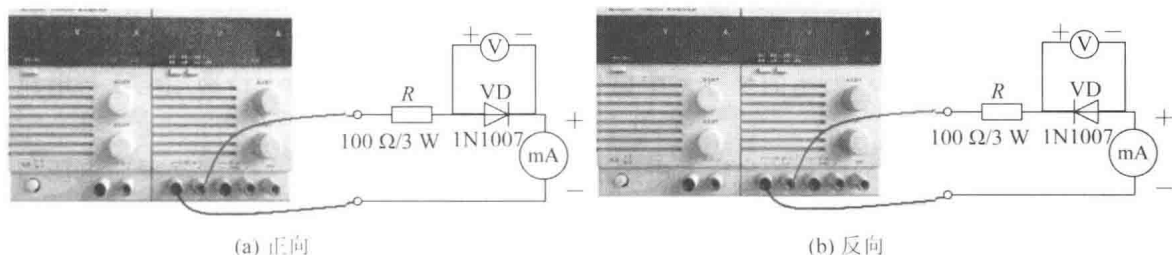


图 1.1.1 二极管的测试电路

表 1-1-1 二极管测试数据记录表

普通二极管 VD 的特性	正向电压					反向电压 0~15 V 范围内的电 流值
	开始有电 流时,电压表的 电压值	电流为 1 mA 时,电压 表的电压值	电流为 2 mA 时,电压表的 电压值	电流为 4 mA 时,电压表的 电压值	电流为 8 mA 时,电压表的 电压值	
二极管 VD <sub>Z</sub> 的反 向特性	反向电压					
	开始有电 流时,电压表 的电压值	电流为 1 mA 时,电压表的 电压值	电流为 2 mA 时,电压表的 电压值	电流为 3 mA 时,电压表的 电压值	电流为 4 mA 时,电压表的 电压值	

② 缓慢调节“稳压调节”旋钮,同时观察电流表,分别在电流表中指示的电流为 1 mA、2 mA、4 mA、8 mA 时,停止电压调节,读取电压表的电压值,并记录在表 1-1-1 中。

③ 关断电源,按如图 1.1.1(b)所示调换二极管的两个引脚后,接通电源,调节“稳压调节”旋钮,同时观察电压表的读数如何变化? 电流表是否有电流?

(2) 按如图 1.1.2 所示搭接电路,测试二极管 VD<sub>Z</sub> 的反向导电特性。

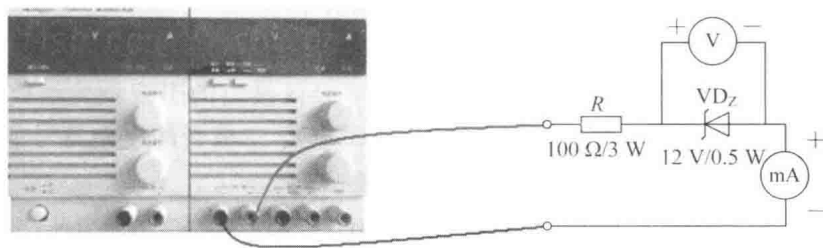


图 1.1.2 二极管的反向特性测试电路

① 调整电源为 0 V 输出后接入,缓慢调节“稳压调节”旋钮,同时观察电流表,待电流表中开始有电流时,停止电压调节,读出此时电压表的电压值,并记录在表 1-1-1 中。

② 缓慢调节“稳压调节”旋钮,同时观察电流表,分别在电流表中的电流为 1 mA、2 mA、3 mA、4 mA 时,停止电压调节,读取电压表的电压值,并记录在表 1-1-1 中。

③ 关断电源,调整电源输出回到 0 V 后,调换二极管的两个引脚接入电路,调节“稳压调节”旋钮。同时观察电流表,分别在电流表中的电流为 1 mA、2 mA、3 mA、4 mA 时,

停止电压调节, 读取电压表的电压值, 读数如何变化?

(3) 撰写实训报告要求。

① 在如图 1.1.3(a) 所示的坐标系中描出对应的点, 作出二极管 VD 两端电压与电流的关系曲线。

② 在如图 1.1.3(b) 所示的坐标系中描出对应的点, 作出二极管 VD<sub>z</sub> 两端反向电压与电流的关系曲线。

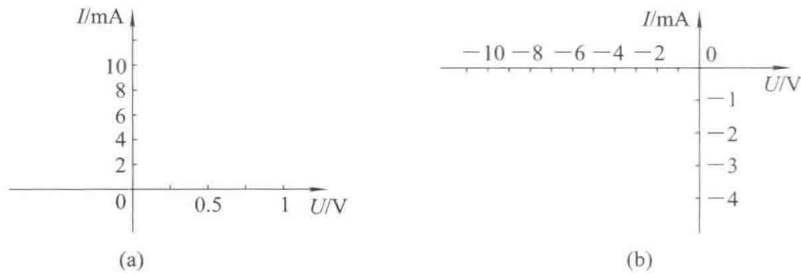


图 1.1.3 二极管导电特性作图坐标

#### 4. 分析与思考

- (1) 使用万用表测量二极管的正向电阻与电阻器的电阻时有什么不同?
- (2) 为什么二极管的正向电阻与反向电阻相差很大?
- (3) 用万用表  $R \times 1k$  或  $R \times 100$  挡测量二极管的正向电阻时, 指针读数是否基本相同?
- (4) 如何利用万用表区分检波二极管、开关二极管与稳压二极管?

## ※ 知识学习 二极管的特性与应用

### 一、二极管的结构与特性

#### 1. 二极管的内部结构与导电模型

二极管是以 PN 结为管芯, 两侧(即 P 区和 N 区)均接上电极引线(管脚), 并用外壳封装起来构成的, 其内部结构如图 1.1.4(a) 所示。从 P 区接出的引线称为二极管的正极(或阳极), 从 N 区接出的引线称为二极管的负极(或阴极)。二极管的电路符号如图 1.1.4(b) 所示, 其中三角箭头表示二极管正向导通时电流的方向。



图 1.1.4 二极管的结构与符号

二极管内部的 PN 结是采用特殊的制造工艺, 在同一块半导体基片的两边分别形成 N 型(通过掺杂使自由电子浓度大大增加)和 P 型(通过掺杂使空穴浓度大大增加)半导体时自动形成的。二极管的内部有了 PN 结, 其导电性能就像一个单向水阀, 只不过水阀中通过的是水流, 而二极管中通过的是电流, 如图 1.1.5 所示。

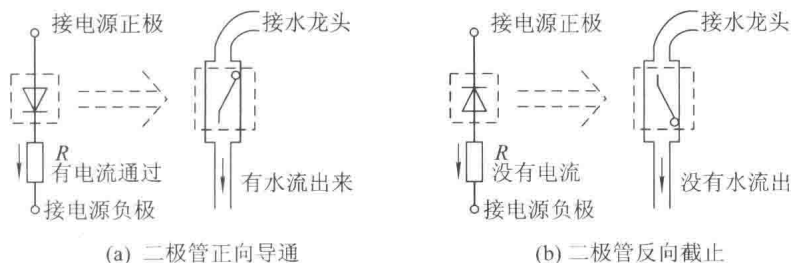


图 1.1.5 二极管的单向导电性

当二极管两端外加正向电压(指 P 区电位高于 N 区电位)时,称为正向偏置,简称正偏,呈低阻导通状态,如图 1.1.5(a)所示。为了限制过大的正向电流,回路中常串接限流电阻  $R$ 。当二极管两端外加反向电压(指 P 区电位低于 N 区电位)时,称为反向偏置,简称反偏,呈高阻截止状态,如图 1.1.5(b)所示。这就是二极管的单向导电性。

## 2. 二极管的外形与分类

玻璃封装的二极管一般为点接触型,工作电流小、频率高,常用于小信号检波;塑封、金属封的二极管一般为面接触型,工作电流大、频率低,常应用于大功率整流等电路中。

常用二极管的外形如图 1.1.6 所示,有图(a)所示的塑料封装、图(b)所示的金属封装、图(c)所示的玻璃封装和图(d)所示的贴片形式等几种外形,图(e)、(f)、(g)所示是常见的具有特殊性能的二极管外形。

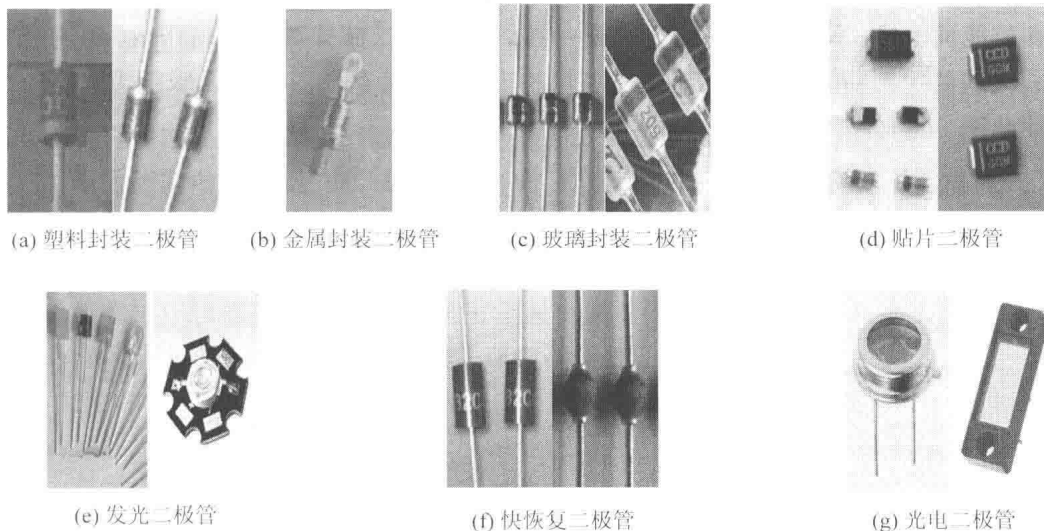


图 1.1.6 常用的具有特殊性能的二极管外形

二极管的种类很多,按制造材料可分为硅二极管和锗二极管;按制造工艺可分为点接触型、面接触型和硅平面型等,如图 1.1.7 所示。

点接触型二极管是由一根很细的金属丝(如三价元素铝)热压在 N 型锗片上制成的。与金属丝相接的引出线为阳极,与金属支架相接的引出线为阴极,如图 1.1.7(a)所示。由于金属细丝与 N 型半导体的接触面很小,所以 PN 结的结电容很小,允许通过的电流也很小(几十毫安以下),适用于高频检波、变频、高频振荡等场合。国产检波二极管 2AP 系列和

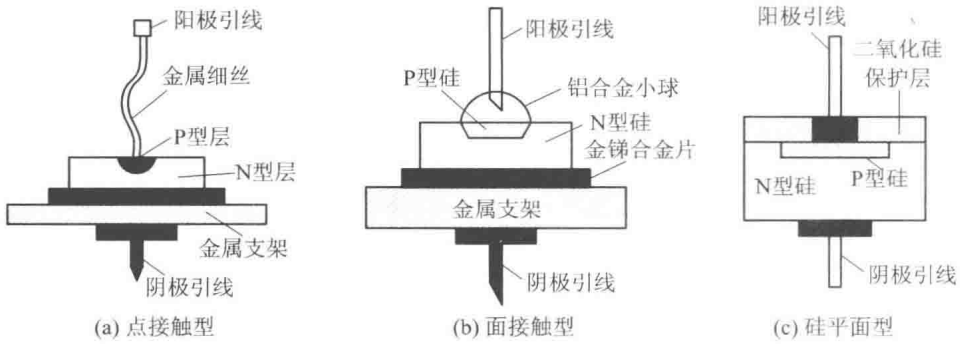


图 1.1.7 常见二极管的内部构造

开关二极管 2AK 系列都属于这一构造。

面接触型二极管是用合金法制成的，如图 1.1.7(b)所示。面接触型二极管的 PN 结面积大，允许通过的电流较大，结电容也大，适用于工作频率较低的情况，一般用作整流器件。国产硅二极管 2CP 和 2CZ 系列都属于这种构造。

采用光刻、杂质原子扩散等生产工艺制成的硅平面型二极管结构如图 1.1.7(c)所示。集成电路中的二极管通常采用这种构造。

按用途分，二极管可分为整流二极管、稳压二极管、开关二极管、发光二极管、检波二极管等。在实际应用中，人们多按其用途来进行分类。

### 3. 二极管的伏安特性

在技能训练中，如果把测试点选得密一些，得到的二极管两端的电压  $u_D$  和流过它的电流  $i_D$  之间的关系曲线，就是半导体二极管的伏安特性曲线。图 1.1.8 所示为二极管的伏安特性曲线，下面分析它的特点。

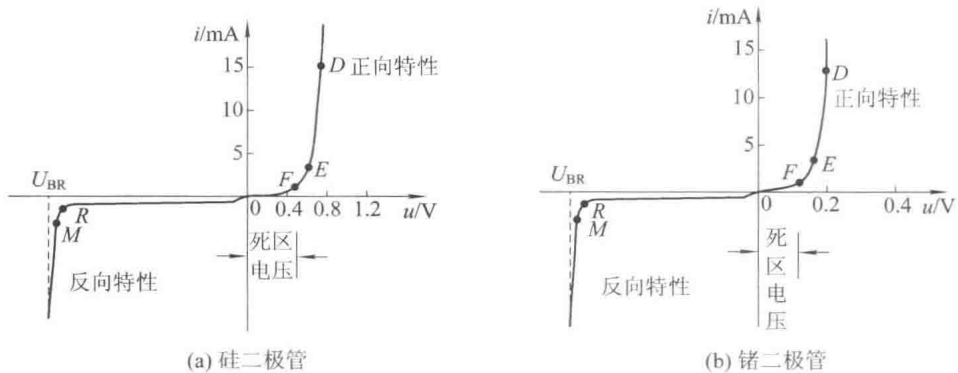


图 1.1.8 半导体二极管的伏安特性

#### 1) 正向特性

当二极管正向电压较小(硅管  $u_D < 0.5\text{ V}$ ，锗管  $u_D < 0.1\text{ V}$ )时， $I_F \approx 0$ ，如图 1.1.8 中的 0F 段所示。0F 段称为死区，F 点电压称为阈值电压  $U_T$  (又称为死区电压或门坎电压)。

当正偏电压大于阈值电压时，随着外加电压的增加，正向电流逐渐增大。当正偏电压  $U_D$  达到导通电压(硅管约为  $0.7\text{ V}$ ，锗管约为  $0.2\text{ V}$ )时，曲线陡直上升，稍微增大， $i_D$  显著

增加(每约增加 60 mV,  $i_D$  增加十倍), 这一段称为“正向导通区”, 曲线如图中的  $ED$  段所示。曲线  $FE$  段称为“缓冲带”。 $ED$  段对应的二极管两端电压称为二极管的正向导通电压  $U_D$ , 硅管  $U_D$  为 0.6~0.8 V, 一般取 0.7 V; 锗管  $U_D$  为 0.1~0.3 V, 通常取 0.2 V。这一段二极管的正向管压降近似恒定。

半导体二极管的导电特性与温度有关, 通常温度升高 1°C, 硅和锗二极管导通时的正向压降  $U_D$  将减小 2.2 mV 左右(此电压与二极管的工作电流有关)。

### 2) 反向特性

二极管反向偏置时, 有微小反向电流通过, 如图 1.1.8 中的  $OR$  段所示。由图可见, 反向电流  $i_R$  基本上不随反向偏置电压的变化而变化。这时, 二极管呈现很大的反向电阻, 处于截止状态。

二极管的反向电流越小, 表明二极管的反向性能越好。小功率硅管的反向电流在  $10^{-6}$  A 以下, 小功率锗管的反向电流为几微安至几十微安。从反向特性看, 半导体二极管的温度每升高 10°C, 反向电流增加约一倍。

### 3) 反向击穿特性

当外加反向电压增加到一定数值时, 反向电流急剧上升(比如在 M 点), 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  $U_{BR}$ 。各类二极管的反向击穿电压大小各不相同, 普通二极管不允许反向击穿情况发生, 当二极管反向击穿后, 若电流不加限制, 会使二极管的 PN 结过热而损坏。

当温度升高时, 二极管反向击穿电压  $U_{BR}$  会有所下降。

## 4. 二极管主要参数

电子器件的参数是国家标准或制造厂家对生产的器件应达到的技术指标所提供的数据要求, 也是合理选择和正确使用器件的依据。下面对二极管的几种常用参数作简要介绍。

(1) 最大正向电流  $I_{FM}$ , 指二极管长时间工作时允许通过的最大正向平均电流。

(2) 最高反向工作电压  $U_{RM}$ , 指允许加在二极管上的反向电压的最大值(峰值)。通常取二极管反向击穿电压的一半。

(3) 最高工作频率  $f_M$ , 指保证二极管具有良好单向导电性性能的最高工作频率。二极管的工作频率若超过一定值, 就可能失去单向导电性。

$f_M$  主要由 PN 结的结电容的大小来决定。点接触型二极管的结电容较小,  $f_M$  可达几百兆赫; 面接触型二极管的结电容较大,  $f_M$  只能达到几十千赫。

(4) 反向恢复时间  $t_{rr}$ , 指二极管上所加的电压由正向突然变为反向时, 电流由很大衰减到反向最小时所需的时间, 一般为纳秒(ns)级。大功率开关管工作在高频时, 此项指标尤为重要。

二极管的主要参数可以从半导体器件手册中查得。

## 二、二极管电路的分析

### 1. 二极管电路的图解分析法

二极管导通时, 其电流随两端电压按指数规律变化, 是一种非线性器件, 若想要通过列方程来求得流过二极管中的电流和两端的电压, 求解的是指数方程, 但解方程的过程比

较繁琐，特别是当电路复杂时，将变得更加困难。在实际中，为了了解二极管的工作原理，常使用图解分析法来进行分析。下面通过一个例题来介绍一种简单的图解分析法。

**例 1.1.1** 二极管电路如图 1.1.9(a) 所示，已知电源  $U_{DD}$  和电阻  $R$ ，假设二极管的  $U-I$  特性曲线如图 1.1.9(b) 所示。求二极管两端电压  $u_D$  和流过二极管的电流  $i_D$ 。

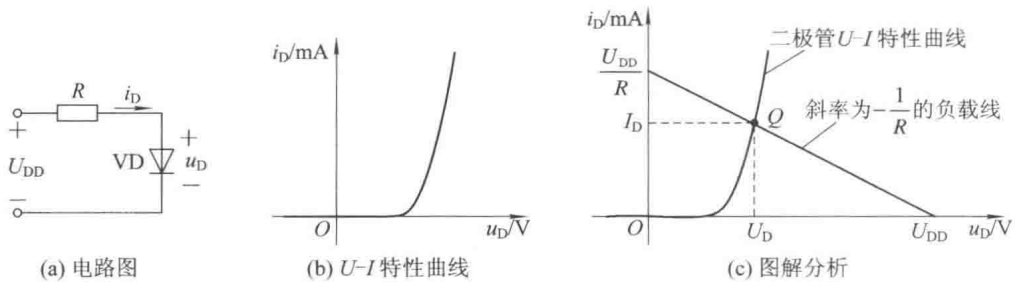


图 1.1.9 例 1.1.1 的二极管电路分析

**解** 由电路的 KVL 方程  $i_D R = U_{DD} - u_D$  可得

$$i_D = -\frac{1}{R}u_D + \frac{U_{DD}}{R}$$

该式是一条斜率为  $-1/R$  的直线。在图(b)的二极管  $U-I$  特性曲线坐标系中作出该直线，称为负载线，负载线与二极管  $U-I$  特性曲线有一交点  $Q$ ，称为电路的工作点， $Q$  点的坐标值  $(U_D, I_D)$  就是我们要求的二极管两端的电压  $u_D$  和流过二极管的电流  $i_D$ 。

用图解法求解二极管电路既简单又直观，但前提是要已知二极管的  $U-I$  特性曲线；而在实际应用中，由于各类二极管甚至是同类二极管的  $U-I$  特性曲线存在差异，很难确切知道电路中所用的各二极管的  $U-I$  特性曲线。所以，图解法只对理解电路的工作原理和相关概念有较大意义。

## 2. 二极管电路的简化模型分析法

从以上分析可以看出，图解法并不实用。工程上，通常在一定条件下，利用简化模型代替非线性特性的二极管，从而使二极管的电路分析大为简化。简化模型分析方法是简单有效的工程近似分析方法。

### 1) 理想单向导电模型

把二极管的单向导电性理想化，即当二极管两端外加正向偏置时，其管压降为  $0\text{ V}$ ，呈短路导通状态，而当二极管处于反向偏置时，认为它的电阻为无穷大，电流为零。如图 1.1.10(a) 所示，其中的实线表示理想二极管的  $U-I$  模型，虚线表示实际二极管的  $U-I$  特性，图 1.1.10(b) 是理想二极管的代表符号。在实际的电路中，当电源电压远大于二极管的管压降时，利用此模型来分析可获得很好的近似。

### 2) 恒压降模型

二极管导通后，认为其管压降是恒定的，且不随电流而变，典型值为  $0.7\text{ V}$  (硅管)，如图 1.1.11(a) 所示，此时的电路模型如图 1.1.11(b) 所示。该模型给二极管的电流  $i_D$  近似等于或大于  $1\text{ mA}$  时提供了合理的近似，因此应用也较广。

### 3) 折线模型

为了贴近二极管的  $U-I$  特性，对压降模型作一定的修正，即认为二极管的管压降不

是恒定的，而是随着通过二极管电流的增加而增加，如图 1.1.12(a)所示，此时，用图 1.1.12(b)所示的一个电池串联一个电阻  $r_D$  来作为电路模型，从而获得进一步的近似。其中电池的电压选定为二极管的门坎电压  $U_T$ ，约为 0.5 V(硅管)。确定  $r_D$  的值，可以认为二极管的导通电流为 1 mA 时，管压降为 0.7 V，于是  $r_D$  值可计算如下：

$$r_D = \frac{0.7 \text{ V} - 0.5 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 200 \Omega$$

由于二极管参数的分散性， $U_T$  和  $r_D$  的值不是固定不变的。此外还有小信号模型，将在小信号放大的章节中介绍。

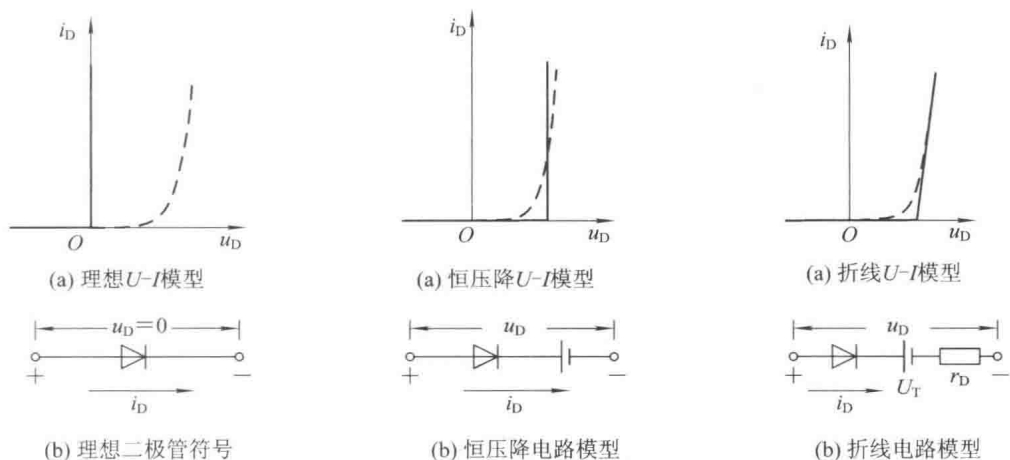


图 1.1.10 理想单向导电模型

图 1.1.11 恒压降模型

图 1.1.12 折线模型

### 3. 常见二极管应用电路分析

由于二极管的特性在电子技术领域可以实现很多功能，因而得到广泛的应用。例如利用二极管的单向导电性可实现整流、检波；利用其正向恒压特性可实现限幅；利用其反向特性可实现稳压；利用其温度特性可实现电路的温度补偿、温度探测等。

#### 1) 二极管整流电路

在直流电源电路中，利用二极管可将变压器输出的交流电转换成脉动的直流电。由于变压器的输出电压远大于二极管的导通电压，因而可把二极管当成理想模型。

##### (1) 半波整流电路。

图 1.1.13(a)是半波整流电路， $u_2$  为变压器次级输出的交流电压，VD 为半波整流二极

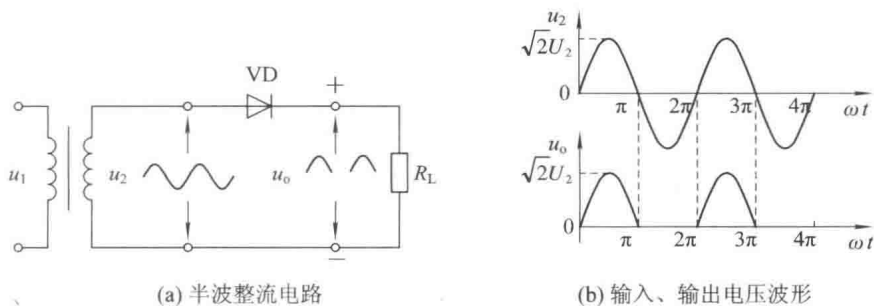


图 1.1.13 半波整流电路及其整流波形



管,  $u_o$  为输出电压,  $R_L$  为负载电阻。当  $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin\omega t$  时, 正半周期间, VD 正偏导通; 负半周期间, VD 反偏截止。在负载  $R_L$  上得到一个单向半波脉动直流电压, 如图 1.1.13(b) 所示, 此时有

$$\left. \begin{aligned} u_o &= \sqrt{2}U_2 \sin\omega t & (0 \leq \omega t \leq \pi) \\ u_o &= 0 & (\pi \leq \omega t \leq 2\pi) \end{aligned} \right\}$$

半波整流电路结构简单, 但在负载中只有一半的时间获得变压器输出的能量, 整流效率较低。

(2) 全波整流电路。

为了使负载在交流的负半周也能获得变压器输出的能量, 可以给变压器增加一个同样的输出绕组, 并用二极管把负半周整流出来接入负载, 如图 1.1.14(a) 所示。当  $u_{2a} = u_{2b} = \sqrt{2}U_2 \sin\omega t$  时, 正半周期间,  $VD_1$  正偏导通,  $VD_2$  反偏截止; 负半周期间,  $VD_2$  正偏导通,  $VD_1$  反偏截止。在负载  $R_L$  上得到两个单向半波脉动直流电压的合成, 如图 1.1.14(b) 所示, 即

$$\left. \begin{aligned} u_o &= \sqrt{2}U_2 \sin\omega t & (0 \leq \omega t \leq \pi) \\ u_o &= -\sqrt{2}U_2 \sin\omega t & (\pi \leq \omega t \leq 2\pi) \end{aligned} \right\}$$

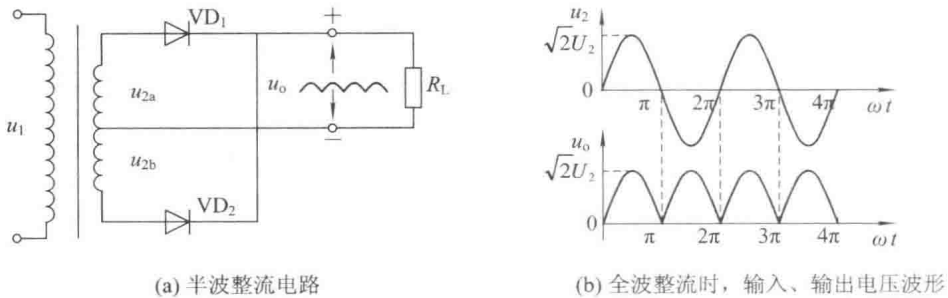


图 1.1.14 全波整流电路及其整流波形

全波整流电路在负载中整个周期的时间均可获得变压器输出的能量, 但变压器要有两组输出。

(3) 桥式整流电路。

为了把同一个输出绕组的交流负半周也有效地利用起来, 人们设计了如图 1.1.15(a) 所示的由 4 个二极管  $VD_1 \sim VD_4$  组成的桥式全波整流电路。在实际应用中, 常常用 4 个二极管封装在一起的器件代替  $VD_1 \sim VD_4$ , 称为桥堆, 在电路中的符号如图 1.1.15(b) 所示。

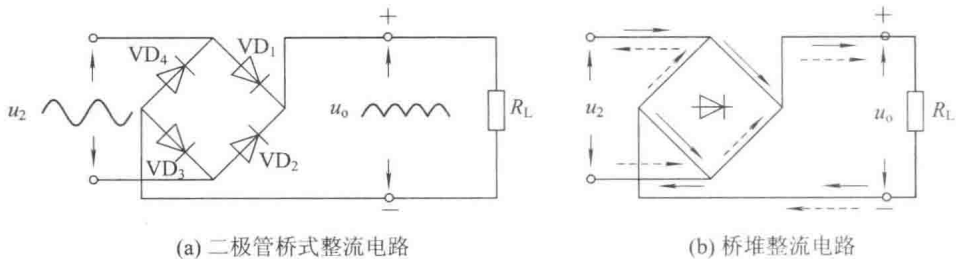


图 1.1.15 桥式整流电路