



电气与信息学科精品课程系列教材

模拟电子技术

MONI DIANZI JISHU

韦建英 徐安静 / 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

电气与信息学科精品课程系列教材

模拟电子技术

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本书是为普通高等院校电子类、电气类和计算机类专业而编写的模拟电子技术课程教材。全书分为 9 章,内容包括半导体二极管及其应用电路、半导体三极管及其放大电路、场效应管及其放大电路、功率放大电路、集成运算放大器、反馈放大电路、集成运算放大器的应用电路、直流稳压电源和模拟电路应用实例等。1~8 章每章都有各章小结,还配有习题和自测题。书后附有相应习题的参考答案。

本书还可以作为机电类、仪器仪表类等专业的参考教材,可供广大电子技术爱好者自学与参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/韦建英 徐安静 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2010.8
ISBN 978-7-5609-6298-6

I. 模… II. ①韦… ②徐… III. 模拟电路-电子技术-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 100923 号

模拟电子技术

韦建英 徐安静 主编

策划编辑:谢燕群

责任编辑:熊 慧

封面设计:刘 卉

责任校对:刘 竣

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉兴明图文信息有限公司

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14.75

字 数:353 千字

版 次:2010 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:23.80 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

电气与信息学科精品课程系列教材

编审委员会

主 任 尹项根

副主任 秦实宏

委 员 (按姓氏笔画排列)

毛 哲 吴文辉 宋玉阶 李忠明 李德俊

殷小贡 容太平 唐永奇 梅秋燕 谭文群

前 言

本书是为普通高等院校电子类、电气类和计算机类专业而编写的模拟电子技术课程教材。本书是作者在多年从事应用型本科电子技术教学实践的基础上,吸收了兄弟院校相关教材的优点编写而成的,具有很强的针对性。

应用型本科院校培养学生的目标是使学生成为具有一定专业理论水平和较强动手能力的应用型人才。因此,本书在编写过程中,着重突出如下几个问题。

1. 基础知识与新技术相结合

随着电子技术的发展,模拟电子的新技术、新器件不断涌现,使得模拟电子技术的内容越来越多,市场上的相关教材也越来越厚。为了适应培养应用型人才的需要,本书首先在教材内容上进行了精心挑选,既重视基础知识的提炼和更新,又介绍了电子技术的发展和现状,使基础知识与新技术有机地结合起来。让学生既学到了扎实的基础知识,又了解了新技术。

2. 理论与实际相结合

本书首次引入模拟电子技术在工程上的应用实例,使学生从抽象的理论跃进看得见、摸得着的工程实践中。这不仅大大激发了学生学习模拟电子技术的兴趣,而且也培养了学生学习工程概念和实现工程技术的能力。

3. 理论与技能培养相结合

为培养应用型人才,本书注重对学生进行技能方面的培养,1~8章每章都留有适量的、有趣味性的、应用性的习题和自测题,以培养学生独立思考的能力、分析问题的能力和解决实际问题的能力。

4. 教材结构安排与叙述方式的结合

为适应应用型本科院校学生的理解能力,教材在结构安排上由浅入深、由特殊到一般,以适应学生的认识规律;在叙述方法上做到通俗易懂,减少不必要的推理演绎,着重突出物理概念,从而化解模拟电路中的许多难点,使学生易学易懂。

本书引用了许多专家、学者著作和论文中的研究成果,在此特向他们表示衷心的感谢。

本书第1、2章由陈振云老师编写;第3、5、9章由韦建英老师编写;第4、8章由刘龙辉老师编写;第6、7章由徐安静老师编写。韦建英、徐安静老师任主编,负责全书统稿,陈振云、刘龙辉老师任副主编。

由于编者水平有限,缺点和疏漏在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2010年5月于武汉

目 录

第 1 章 半导体二极管及其应用电路	(1)
1.1 半导体基本知识	(1)
1.2 PN 结	(3)
1.3 半导体二极管	(6)
1.4 特殊二极管	(10)
小结	(12)
习题	(13)
自测题	(14)
第 2 章 半导体三极管及其放大电路	(16)
2.1 半导体三极管	(16)
2.2 基本共射极放大电路	(21)
2.3 射极偏置放大电路	(29)
2.4 共集电极放大电路和共基极放大电路	(32)
2.5 多级放大电路	(35)
小结	(40)
习题	(41)
自测题	(45)
第 3 章 场效应管及其放大电路	(47)
3.1 绝缘栅型场效应管	(47)
3.2 结型场效应管	(51)
3.3 场效应管的主要参数	(55)
3.4 场效应管放大电路	(56)
3.5 场效应管放大电路	(57)
小结	(60)
习题	(61)
自测题	(63)
第 4 章 功率放大电路	(65)
4.1 功率放大电路的特点与类型	(65)
4.2 乙类双电源互补对称功率放大电路	(67)

4.3 集成功率放大器	(72)
小结	(74)
习题	(75)
自测题	(75)
第5章 集成运算放大器	(78)
5.1 集成运算放大器概述	(78)
5.2 电流源电路	(79)
5.3 差动放大电路	(81)
5.4 集成运算放大器	(91)
小结	(96)
习题	(96)
自测题	(98)
第6章 反馈放大电路	(100)
6.1 反馈的基本概念与分类	(100)
6.2 负反馈放大电路的四种组态	(105)
6.3 负反馈对放大电路性能的影响	(112)
6.4 负反馈放大电路的分析方法	(118)
6.5 负反馈放大电路的稳定问题	(123)
6.6 正反馈的典型应用	(126)
小结	(135)
习题	(136)
自测题	(142)
第7章 集成运算放大器的应用电路	(145)
7.1 理想运算放大器	(145)
7.2 基本运算电路	(147)
7.3 非正弦波产生电路	(158)
7.4 有源滤波电路	(168)
小结	(174)
习题	(175)
自测题	(179)
第8章 直流稳压电源	(183)
8.1 直流电源的组成	(183)
8.2 整流电路	(183)
8.3 滤波电路	(188)

8.4 稳压电路	(192)
8.5 三端集成稳压器及其应用	(197)
8.6 开关型稳压电路	(200)
小结	(202)
习题	(203)
自测题	(204)
第9章 模拟电路应用实例	(207)
9.1 功率放大电路的应用	(207)
9.2 振荡电路的应用	(209)
9.3 基本放大电路的应用	(212)
9.4 其他应用电路	(214)
附录 A 部分参考答案	(218)
参考文献	(225)

第 1 章 半导体二极管及其应用电路

1.1 半导体基本知识

1.1.1 半导体及其特性

在自然界中,所有物质按导电能力的强弱可分为导体、绝缘体、半导体三大类。所谓半导体就是指导电能力介于导体和绝缘体之间的一类物质。用半导体制成的器件称为半导体器件,包括半导体二极管、三极管、场效应管等。半导体有如下一些特性:

(1) 热敏性和光敏性 半导体受热和受光的作用,其导电能力会增加,由此可制成热敏和光敏器件。

(2) 杂敏性 在半导体中掺入另一种物质,其导电能力会增加,由此可制成二极管、三极管等。

1.1.2 半导体的结构

半导体的原子由带正电的原子核和带负电且绕原子核运动的电子组成。电子是一层一层分布的,其分布规律为 $2n^2$ (n 为电子层数),它表示在第 n 个电子层上可容纳的最多电子数。硅和锗是制造半导体器件的常用元素,它们的原子结构平面示意图如图 1-1-1 所示。它们的不同点是硅的外层电子有 14 个,而锗的外层电子有 32 个。它们的共同点是最外层电子数都是 4 个。通常只有最外层电子能够参与导电,因此,常把内层电子和原子核简画成一个实体,称为离子核,这样简化后的硅和锗原子结构如图 1-1-2 所示。

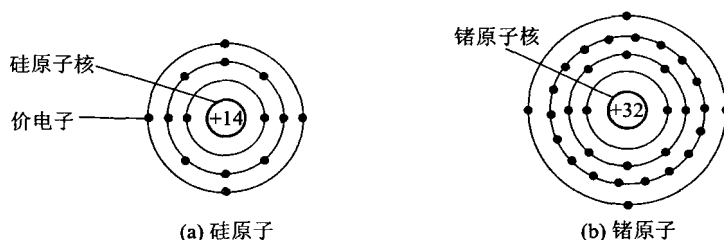


图 1-1-1 硅和锗的原子结构

硅或锗原子之间关系的立体结构是有一定规律的,如图 1-1-3 所示,1 个原子在正六面体中心,而另外 4 个原子在正六面体的 4 个顶点上,这称为晶体结构,故半导体管又称为晶体管。

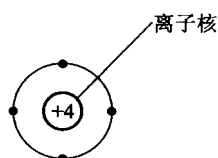


图 1-1-2 硅和锗的简化原子结构

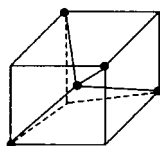


图 1-1-3 晶体结构

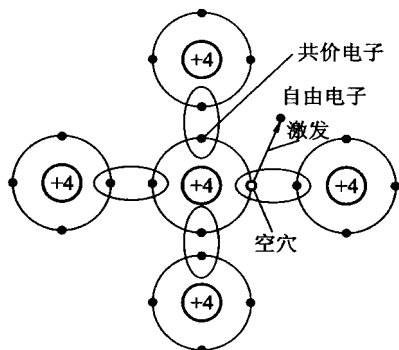


图 1-1-4 共价键结构平面示意图

硅或锗原子之间关系的平面结构为共价键结构，如图 1-1-4 所示。在共价键结构中，原子最外层有 8 个电子，这些电子属于各原子共有，称为共价电子。在热力学温度为 0 K 时，共价电子的能量不足以挣脱共价键的束缚成为自由电子，因此半导体不能导电。在获得热量或光照后，部分共价电子会挣脱共价键的束缚，成为自由电子。共价电子成为自由电子的过程称为热激发或光激发，同时，共价键留下一个空位，称为空穴。自由电子和空穴总是成对产生并且成对复合的。如果共价电子填补空穴，可以理解

为空穴填补共价电子，即理解为空穴在共价键内自由移动，而移动的方向与共价电子移动的方向相反，所以可将空穴理解为带正电的粒子。自由电子和空穴统称载流子，载流子的多少就决定了半导体的导电能力的强弱。

完全纯净、晶体结构完整的半导体称为本征半导体，本征硅和本征锗在常温下导电能力较差，其原因就是常温激发出的自由电子数量的浓度比其原子的浓度要小得多，例如在室温下，只有少数共价电子获得足够的能量，克服原子核和共价键的束缚而成为自由电子。但因自由电子数量很少，导电能力很差。为提高半导体材料的导电能力，工程上采用杂质半导体。

1.1.3 掺杂半导体

在本征半导体中，掺入一定数量的杂质元素，该本征半导体就成为掺杂半导体。若掺入五价元素的杂质，则其自由电子浓度将大大增加，故将此掺杂半导体称为电子型半导体或 N 型半导体。若掺入三价元素的杂质，则其空穴浓度将大大增加，故将此掺杂半导体称为空穴型半导体或 P 型半导体。

1. N 型半导体

五价元素原子有 5 个价电子，其中 4 个价电子与周围 4 个硅或锗原子以共价键形式相结合，而余下的 1 个价电子就成为自由电子，由于该电子不是共价键中的价电子，因而不会产生空穴，如图 1-1-5 所示。N 型半导体中自由电子的数量会大大增加，掺入多少五价元素的原子，就会产生多少自由电子。相比受激发产生的空穴而言，此处的自由电子称为多子，而空穴称为少子。

2. P 型半导体

三价元素原子有 3 个价电子，与周围 4 个硅或锗原子以共价键形式相结合，就缺少 1 个价电子，它就留下一个空穴，显然此空穴不是激发产生的，因而不会产生自由电子，如图

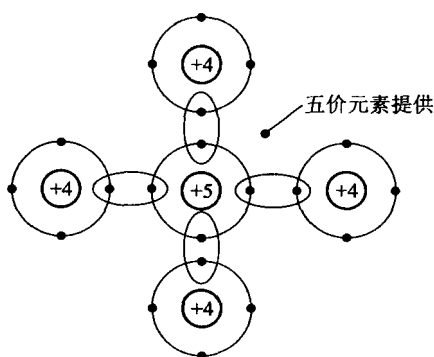


图 1-1-5 N 型半导体结构图

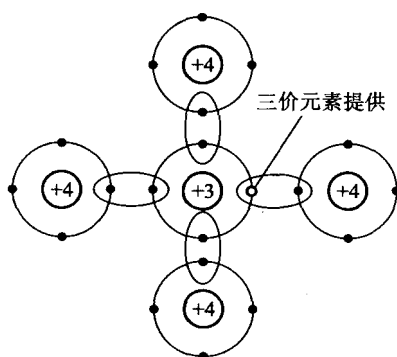


图 1-1-6 P 型半导体结构图

1-1-6 所示。P 型半导体中空穴的数量会大大增加,掺入多少三价元素的原子,就会产生多少空穴。相比其中的电子而言,空穴称为多子,而受激发产生的自由电子称为少子。

通常将 N 型半导体用一个正离子核和一个自由电子来表示,如图 1-1-7 所示,将 P 型半导体用一个负离子核和一个空穴来表示,如图 1-1-8 所示。



图 1-1-7 N 型半导体简化结构图



图 1-1-8 P 型半导体简化结构图

1.2 PN 结

1.2.1 PN 结的形成

当 P 型半导体和 N 型半导体相接触时,由于 P 区中多子——空穴的浓度大于 N 区空穴的浓度, N 区中多子——自由电子的浓度大于 P 区自由电子的浓度,因而空穴就会由 P 区跨过接触面扩散到 N 区,并与 N 区中自由电子相遇而复合。同样,自由电子就会由 N 区跨过接触面扩散到 P 区,并与 P 区中的空穴相遇而复合。那么在紧靠接触面两侧的区域留下正负离子核,并且形成结电场,此电场会阻止上述扩散的进行。多子扩散作用增大,结电场就会增大,电场阻止多子扩散加强,最后达到某种平衡,使得 P 型半导体和 N 型半导体接触面两侧的正负离子核空间保持一定宽度,这就是 PN 结,如图 1-2-1 所示。

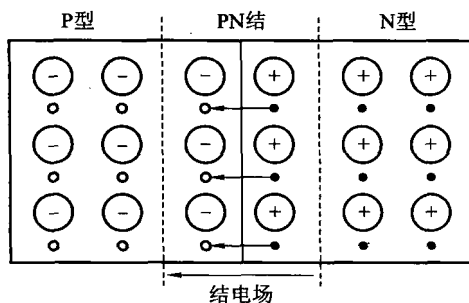


图 1-2-1 PN 结的形成

1.2.2 PN 结的单向导电性

1. 正向导通特性

当外加正向电压 $U_{PN} > 0$ (简称为正偏),即外电源正极接 P 区,负极接 N 区时,如图

1-2-2 所示,外加电压产生电场的方向与内电场的方向相反,它会打破 PN 结原来的平衡,使 P 型半导体中的多子——空穴向 N 型半导体运动,而 N 型半导体中的多子——电子向 P 型半导体运动,这些多子越过 PN 结,就会形成很大的正向电流。对于外电源而言,它必须向 P 区源源不断地补充所失去的空穴,向 N 区源源不断地补充所失去的电子。这样,就完成了整个闭合回路中电流的连续性。向 P 区补充空穴是为了保持 P 区处处电中性,向 N 区补充电子是为了保持 N 区处处电中性。PN 结正偏时,产生很大电流的特性称为正向导通特性。

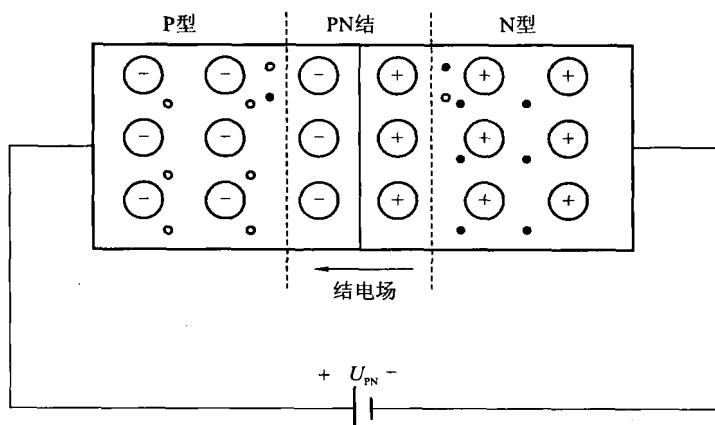


图 1-2-2 加正偏时的 PN 结

2. 反向截止特性

当外加正向电压 $U_{PN} < 0$ (简称为反偏), 即外电源正极接 N 区, 负极接 P 区时, 如图 1-2-3 所示, 外加电压产生电场的方向与内电场的方向相同, 它也会打破 PN 结原来的平衡。外电场驱使空间电荷区两侧的空穴和自由电子移走, 使得 PN 结变宽, 多子的扩散运动变难, 但 P 型半导体中少子——电子则会向 N 型半导体运动, 而 N 型半导体中的少子——空穴向 P 型半导体运动。这些少子越过 PN 结, 只会形成很小的反向电流。不过这些少子受温度影响很大, 温度升高时, 反向电流就大。PN 结反偏时, 只有很小电流的特性称为反向截止特性。

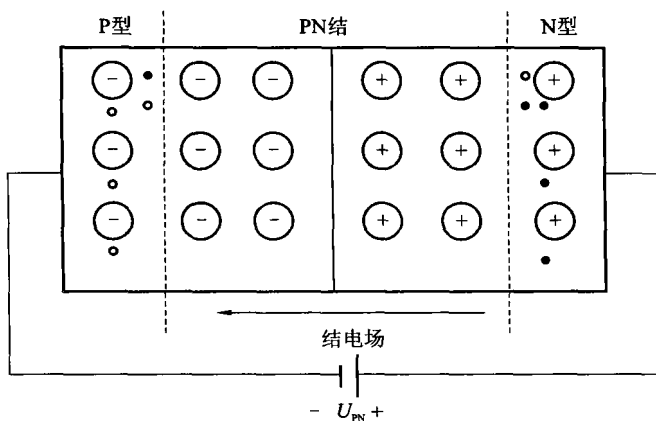


图 1-2-3 加反偏时的 PN 结

1.2.3 反向击穿特性

加反向电压时,通过PN结的电流很小。但当反向电压增大到一定值时,PN结的反向电流将随反向电压的增加而急剧增大,这种现象称为PN结的反向击穿特性。反向电流开始剧增时所对应的反向电压称为击穿电压,用 U_{BR} 表示。产生击穿的原因是PN结内共价电子大量产生,成为自由电子和空穴,如图1-2-4所示。当反向电压足够大时,少数载流子获得足够的动能将PN结内共价电子碰撞出来,产生自由电子和空穴。如此连续,使得PN结的反向电流急剧增大。PN结反偏足够大时,会产生很大的反向电流的特性称为反向击穿的特性。

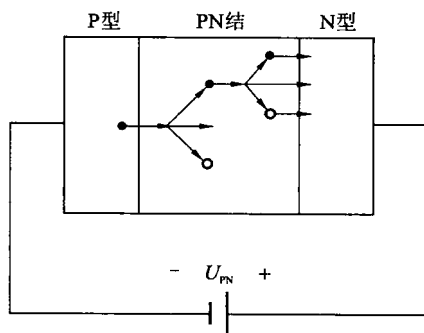


图 1-2-4 PN 结反向击穿特性

1.2.4 PN 结的电容效应

PN 结的电容效应直接影响器件的高频性能。

1. 扩散电容

PN 结正偏时,P区的空穴将向N区扩散,其结果导致在N区靠近PN结的边缘有高于正常情况时的空穴浓度。这种超量的空穴浓度可视为电荷存储到PN结的邻域。存储电荷量的大小取决于PN结上所加正向电压值的大小。离PN结愈远,空穴浓度愈小,这是空穴在N区与多数载流子中的自由电子产生复合所致。N区的电子向P区扩散的情况与上述情况类似。PN结在正偏时,积累在P区的电子和N区的空穴随正向电压的增加而很快增加,扩散电容较大。反偏时,载流子数目很少,因此扩散电容数值很小,可以忽略。

2. 势垒电容

在PN结处于反偏的情况下,当外加反偏电压增加时,结电场增强,多数载流子被拉出而远离PN结,PN结即势垒区将增宽;反之,当外加反偏电压减小时,势垒区变窄。势垒区的变化意味着区内存储的正、负离子电荷数的增减,类似于平行板电容器两极板上电荷的变化。此时PN结呈现出电容效应,称为势垒电容。所不同的是,势垒电容是非线性的。经文献理论推导,势垒电容为

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{u}{U_B}\right)^n} \quad (1-2-1)$$

式中: C_{j0} ——零偏情况下的势垒电容;

u ——PN 结反偏电压；

U_B ——势垒电压，常取 0.7 V；

n ——变容指数，常取 $\frac{1}{3} \sim 6$ 。

由上可见，PN 结的电容效应是扩散电容和势垒电容的综合反映，在高频应用时，必须考虑 PN 结电容的影响。PN 结电容除了与本身结构和工艺有关外，还与外加电压有关。当 PN 结处于正偏时，PN 结电容较大（主要取决于扩散电容）；当 PN 结处于反偏时，PN 结电容较小（主要取决于势垒电容）。

1.3 半导体二极管

1.3.1 二极管的结构

将 PN 结加上相应的电极引线和管壳，就构成了半导体二极管。按结构，二极管可分为点接触型和面接触型两类。点接触型二极管的 PN 结面积很小，PN 结电容也小，因此不能通过较大电流，但其高频性能好，一般用在高频和小功率的场合，也用做数字电路中的开关元件。面接触型二极管的 PN 结面积大，PN 结电容也大，故可通过较大电流，但其工作频率较低，一般用在整流和稳压等大功率的场合。

1.3.2 二极管的特性曲线

二极管内部的核心结构就是一个 PN 结，可用符号 D 表示，如图 1-3-1(a) 所示。根据理论分析，PN 结的伏安特性为

$$i_D = I_s \left(e^{\frac{u_D}{U_T}} - 1 \right) \quad (1-3-1)$$

式中： U_T ——温度电压当量，常温下约为 26 mV；

I_s ——反向饱和电流，对于硅管约为 10^{-14} A，对于锗管约为 10^{-8} A；

u_D ——PN 结两端的外加电压；

i_D ——通过 PN 结的电流。

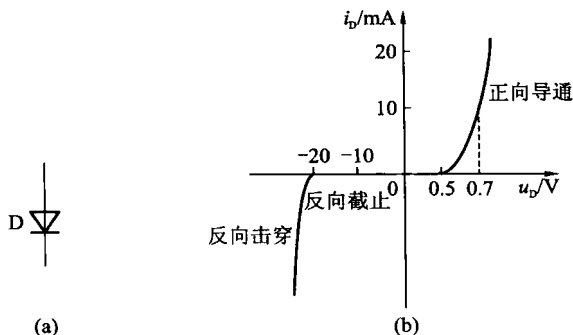


图 1-3-1 二极管的符号和伏安特性曲线(硅管)

以 i_D 为直角坐标纵轴函数, u_D 为直角坐标横轴变量, 式(1-3-1) 的伏安特性曲线(硅管)如图 1-3-1(b) 所示。其中反向击穿曲线, 式(1-3-1) 不能描述。

二极管的伏安特性曲线全面、形象、直观地描述了二极管的电压和电流的关系。此曲线可近似由三段组成。第一段称为正向导通曲线。若为硅管, 则对应的 u_D 约为 0.7 V。若为锗管, 则对应的 u_D 约为 0.2 V, 而正向电流为任意值。第二段称为反向截止曲线, 对应的 u_D 小于 0.7 V, 且大于击穿电压 U_{BR} 的负值(图 1-3-1 中约为 -20 V), 而电流约为零。第三段称为反向击穿曲线, 对应的 u_D 约为击穿电压 U_{BR} 的负值(图 1-3-1 中约为 -20 V), 而反向电流为任意值。

例 1-3-1 测得通过某硅管的正向电流 $i_D = 0.01$ A 或 $i_D = 1$ A, 问它两端所加的电压 u_D 分别是多少?

解 由 $i_D = I_S(e^{\frac{u_D}{U_T}} - 1)$ 得

$$u_D = 0.026 \ln\left(\frac{i_D}{10^{-14}} + 1\right)$$

若 $i_D = 0.01$ A, 则

$$u_D = 0.026 \ln\left(\frac{0.01}{10^{-14}} + 1\right) \text{ V} = 0.6 \text{ V}$$

若 $i_D = 1$ A, 则

$$u_D = 0.026 \ln\left(\frac{1}{10^{-14}} + 1\right) \text{ V} = 0.84 \text{ V}$$

从例 1-3-1 的结果来看, 二极管正向电流从 0.01 A 增大至 100 倍, 即 1 A, 而加在二极管两端的电压从 0.6 V 反增大到 0.84 V, 故实际应用中只要二极管导通, 就认为硅管的导通电压约为 0.7 V。同理, 锗管的导通电压约为 0.2 V。0.7 V 和 0.2 V 就成了学习二极管导通特性很重要的经验参数。

1.3.3 二极管的主要参数

1. 交流电阻

二极管在工作点附近的电压变化量 Δu_D 和相应的电流变化量 Δi_D 之比的极限值, 称为二极管的交流动态电阻, 即

$$r_d = \lim_{\Delta i \rightarrow 0} \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} = \frac{du_D}{di_D}$$

交流电阻的大小与二极管的工作状态有关。二极管在正向运用时, 交流电阻很小(通常为几欧姆到几十欧姆), 这说明正向电压增加一点, 电流将增加很多。二极管在反向运用时, 交流电阻却很大(通常为几百千欧姆以上), 这说明即使反向电压增加很多, 电流也几乎不变。

由式(1-3-1) 可知

$$\left. \frac{di_D}{du_D} \right|_Q = \left. \frac{I_S}{U_T} e^{\frac{u_D}{U_T}} \right|_Q \approx \left. \frac{i_D}{U_T} \right|_Q = \frac{I_D}{26 \text{ mV}}$$

式中: I_D ——导通时的直流电流。

交流电阻为

$$r_d = \left. \frac{du_D}{di_D} \right|_Q = \frac{26 \text{ mV}}{I_D} \quad (1-3-2)$$

2. 最大整流电流 I_{DM}

最大整流电流是指连续长时间工作时,允许流过晶体二极管的最大正向平均电流。在二极管连续工作时,为使 PN 结的温度不超过某一极限值,整流电流不应超过半导体器件手册所规定的允许值。对于大功率二极管,为了降低它的温度,增大最大整流电流,必须安装散热片。如果半导体器件手册上提出了散热片的规格,就必须依此办理。有的还采用风冷来达到散热的目的。

3. 最高反向工作电压 U_{DRM}

最高反向工作电压是指二极管所能承受的最大反向电压。通常,真正加在二极管上的最高反向电压不应超过半导体器件手册上给出的最高反向工作电压,以保证二极管不致因反向击穿而损坏。

另外,二极管的极间电容包括扩散电容和势垒电容,在高频或开关状态时应用。

1.3.4 二极管分立器件型号的命名方法

二极管分立器件型号的命名方法如表 1-3-1 所示。

表 1-3-1 二极管分立器件型号的命名方法

第一部分表示电极数	第二部分用字母表示材料和极性	第三部分用字母表示种类	第四部分表示序号	第五部分表示规格号
2 表示二极管	A 表示锗材料 N 型 B 表示锗材料 P 型 C 表示硅材料 N 型 D 表示硅材料 P 型	P 表示普通管 W 表示稳压管 Z 表示整流管 K 表示开关管		

例如,2AP1 为普通锗二极管,最大整流电流为 16 mA,最高反向电压为 20 V。又如,2CW1 为稳压硅二极管,稳定电压为 7 ~ 8.5 V,稳定电流为 5 mA,最大稳定电流为 33 mA,管耗功率为 0.28 W。

关于命名的具体应用,读者可以查看晶体管手册等资料。

1.3.5 二极管电路的基本分析方法

借助数学工具,分析求解二极管的电压和电流的方法包括代数计算方法和几何查看方法,举例说明如下。

例 1-3-2 二极管电路如图 1-3-2 所示,已知电源 U_{DD} 和电阻 R ,求二极管两端电压 u_D 和流过二极管的电流 i_D 。

解 由二极管 D 外面的电路可知

$$i_D = \frac{U_{DD} - u_D}{R} \quad (1-3-3)$$

由二极管 D 内部的结构可知

$$i_D = I_S \left(e^{\frac{u_D}{U_T}} - 1 \right) \quad (1-3-4)$$

联立式(1-3-3)和式(1-3-4)便可求出 u_D 和 i_D 。这种代数计算方法又称为迭代法。

将式(1-3-3)和式(1-3-4)用解析几何方法,画在直角坐标中,如图 1-3-3 所示。

根据图 1-3-3 中的两条特性曲线的交点便可求出 u_D 和 i_D ,这种几何方法称为图解法。用 U_D 和 I_D 表示结果, U_D 和 I_D 就称为二极管 D 的工作点。

从以上分析可以看出,无论是迭代法还是图解法,都不方便,也不实用。工程上通常用的是等效电路法,等效电路法也就是模拟、近似、估算的方法,是复杂电路简化、实用而有效的分析方法,应重点掌握。它是学习模拟电子技术的关键所在。

将二极管的伏安特性近似理解为正向导通时, $u_D = 0.7 \text{ V}$ (以后无特别说明都是指硅管),反向截止时, $i_D = 0$,这样二极管的特性曲线如图 1-3-4 所示。

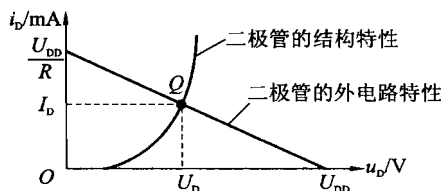


图 1-3-3 二极管图解分析

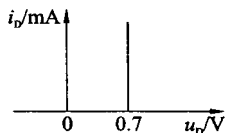


图 1-3-4 二极管近似伏安特性曲线

二极管用两种元件来等效:当二极管正向导通时,可用恒压源等效,如图 1-3-5 所示;当二极管反向截止时,可用断开的开关等效,如图 1-3-6 所示。

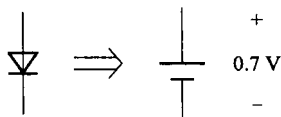


图 1-3-5 二极管导通等效

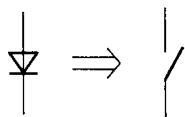


图 1-3-6 二极管截止等效

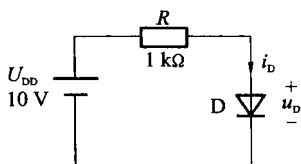


图 1-3-7 例 1-3-3 图

例 1-3-3 二极管电路如图 1-3-7 所示,已知电源 $U_{DD} = 10 \text{ V}$,电阻 $R = 1 \text{ k}\Omega$,求二极管两端电压 u_D 和流过二极管的电流 i_D 。

解 因为 $U_{DD} = 10 \text{ V} > 0$,所以可判断二极管正向导通,其导通电压 $u_D = 0.7 \text{ V}$,相应产生的电流为

$$i_D = \frac{U_{DD} - u_D}{R} = \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 9.3 \text{ mA}$$

1.3.6 二极管的基本应用

将二极管等效成开关是二极管的基本应用之一。在如图 1-3-7 所示的二极管电路中,若 U_{DD} 足够大,是 u_D 的 10 倍以上,则二极管被近似等效成接通的开关,此时 $u_D = 0$ 。