

大 学 学 习 指 导 丛 书



模拟电子技术基础

学习指导与提高

王成珍 李辉 编著



北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

华北水利水电学院图书馆



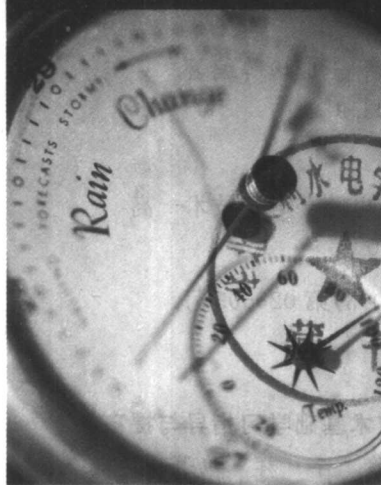
206150699

TN710-42

W120

大学生学习指导丛书

模拟电子技术基础



学习指导与提高

王成珍 编著
李 辉

北京航空航天大学出版社

615069

内 容 简 介

本书是根据全国高等工科院校电子技术基础教学“基本要求”编写的教学参考书。书中保持了多数教材的系统顺序,因此可与目前国内各种版本的电子技术基础(模拟部分)教材配合使用。

本书共分10章。主要内容包括:半导体二极管、三极管、基本放大电路、场效应管放大电路、功率放大电路、模拟集成电路、反馈放大电路、信号运算与处理电路、正弦波振荡电路、直流电源和放大电路的频率响应。还附有模拟电子技术试题和答案。其题源丰富,覆盖面宽,具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性。

本书可作为高等学校电子类、电气及自动化类专业电子技术基础或低频电子线路课程配套教材,也可供电大、职大、函大、高职和自学者使用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础学习指导与提高/王成珍等编著.

北京:北京航空航天大学出版社,2003.9

ISBN 7-81077-319-4

I. 模... II. 王... III. 模拟电路—电子技术—高等学校—教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 028503 号

模拟电子技术基础学习指导与提高

王成珍 李 辉 编著

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn>

E-mail: bhpess@263.net

北京市朝阳区宏伟胶印厂印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:13.75 字数:308千字

2003年9月第1版 2003年9月第1次印刷 印数:6 000册

ISBN 7-81077-319-4 定价:16.00元

前 言

电子技术基础是电子类、电气类、自动化类专业在电子技术或电子线路方面的入门性的专业基础课。模拟电子技术内容庞杂、概念性强、分析方法多、难点集中,加上课堂授课学时有限,教与学都有困难,初学者倍感“入门难”。因此,为本课程编写一本适用的学习辅导教材是很有必要的。为了适应模拟电子技术的发展和教学要求,对1995年出版的《电子技术基础题解与复习指导》一书进行了认真修改,并加以充实和提高。

本书是根据国家教育部关于全国高等工科院校电子技术基础教学“基本要求”而编写的教学参考书。它可以与目前国内各种版本的模拟电子技术基础或低频电子线路教材配套使用。

作为一本辅导性质的教材,该书具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性等特点。为了帮助学生加深对所学基本内容的理解、切实掌握基本概念、基本原理和基本分析方法,扩展知识的深度和广度,我们根据多年的教学实践过程中所遇到的多方面的疑难问题,并考虑到读者的不同特点,在内容上做了以下安排。

1. 内容摘要。对各章教学的基本内容及重点进行了系统归纳、分析比较和扼要的小结,便于掌握重点,从各章内容之间的有机联系上把握知识的系统性、完整性和实用性。

2. 难点释疑。本书各章都选编了具有代表性的疑难问题,以及容易产生错误或混淆不清的概念,对此进行了深入、详细的讨论与分析,并引导学生思考问题、澄清模糊概念、深刻领会重要概念的实质,以开拓思路。

3. 例题分析。对于各章不同的题型,不仅给出例题,而且介绍解题要领,分析问题和解决问题的方法及技巧,注意揭示其中的规律,以培养学生分析问题、解决问题的能力,并做到理论联系实际,运用所学知识解决实际问题。

4. 复习思考题及自测题。本书选编或改编了国内外有关书刊和多年来积累的优秀试题和练习题500余个。采用了标准化命题方式作为每章自我检查题,并附有提示和答案。选题类型多、范围广,知识覆盖面宽、重点突出,难易并举、图文并茂,较好的体现“紧扣课程要求、突出重点难点、例题分析透彻、自测练习全面”的24字方针。

本书主要由王成珍编写,李辉对本书的修改方案、内容调整提出了不少宝贵意见,并参加了第9章、第10章、全部试题(示例)和各章补充修改内容的编写。本书全稿由天津大学赵玉山、庞维珍两位教授审阅,并提出了许多建设性意见,对提高本书质量有很大帮助,在这里表示诚挚的感谢。

由于编者水平及时间所限,书中难免存在一些缺点和错误,竭诚希望得到广大读者的批评指正。

编 者

2003年4月

目 录

第 1 章 半导体二极管和三极管

1.1 内容摘要	(1)
1.1.1 半导体基本知识	(1)
1.1.2 半导体中的电流	(2)
1.1.3 PN 结及其单向导电性	(2)
1.1.4 PN 结的伏安特性	(2)
1.1.5 二极管的参数	(2)
1.1.6 硅稳压管	(2)
1.1.7 半导体三极管	(2)
1.2 难点释疑	(4)
1.2.1 二极管的直流电阻 R_D 和交流电阻 r_D 的概念、区别和关系	(4)
1.2.2 三极管能否用两个对接的二极管构成	(5)
1.2.3 三极管工作状态的分析和判定	(6)
1.3 例题分析	(7)
1.4 复习与思考题	(12)
1.5 自我检查题	(13)
1.6 自我检查题答案和提示	(18)

第 2 章 基本放大电路

2.1 内容摘要	(20)
2.1.1 基本放大电路的组成原则	(20)
2.1.2 放大过程及放大的实质	(20)
2.1.3 放大电路的工作原理	(20)
2.1.4 图解分析法	(20)
2.1.5 微变等效电路法	(21)
2.1.6 放大电路静态工作点的稳定问题	(21)
2.1.7 放大电路的三种基本组态	(22)
2.1.8 多级放大电路——组合放大电路	(22)

2.2 难点释疑.....	(23)
2.2.1 放大电路的基本概念.....	(23)
2.2.2 判断放大电路的放大作用.....	(26)
2.3 例题分析.....	(26)
2.4 复习与思考题.....	(36)
2.5 自我检查题.....	(37)
2.6 自我检查题答案和提示.....	(44)

第3章 场效应管放大电路

3.1 内容摘要.....	(47)
3.1.1 场效应管的工作原理及分类.....	(47)
3.1.2 场效应管的几个重要参数.....	(47)
3.2 难点释疑.....	(48)
3.2.1 场效应管的偏置电路.....	(48)
3.2.2 利用特性曲线求解场效应管的某些参数.....	(49)
3.2.3 场效应管类型的判别和电压极性的规律.....	(51)
3.3 例题分析.....	(51)
3.4 复习与思考题.....	(58)
3.5 自我检查题.....	(60)
3.6 自我检查题答案和提示.....	(63)

第4章 功率放大电路

4.1 内容摘要.....	(64)
4.1.1 功率放大电路的特殊问题.....	(64)
4.1.2 功率放大电路的三种工作状态.....	(64)
4.2 难点释疑.....	(65)
4.2.1 功率放大电路的指标分析计算.....	(65)
4.2.2 甲乙类互补对称电路的计算.....	(66)
4.3 例题分析.....	(66)
4.4 复习与思考题.....	(72)
4.5 自我检查题.....	(73)
4.6 复习与思考题部分答案.....	(76)
4.7 自我检查题答案和提示.....	(76)

第5章 模拟集成电路

5.1 内容摘要	(78)
5.1.1 直接耦合放大电路的特点	(78)
5.1.2 差动放大电路	(78)
5.2 难点释疑	(80)
5.2.1 差动放大电路的本质	(80)
5.2.2 差动放大电路的基本性质	(80)
5.2.3 比较输入情况的分析	(82)
5.3 例题分析	(83)
5.4 复习与思考题	(90)
5.5 自我检查题	(91)
5.6 自我检查题答案和提示	(94)

第6章 反馈放大电路

6.1 内容摘要	(96)
6.1.1 反馈的基本概念	(96)
6.1.2 反馈的分类	(96)
6.2 难点释疑	(97)
6.2.1 怎样寻找反馈元件	(97)
6.2.2 如何判别反馈的类型	(98)
6.2.3 如何判别反馈的极性	(98)
6.3 例题分析	(102)
6.4 复习与思考题	(107)
6.5 自我检查题	(108)
6.6 自我检查题答案和提示	(112)

第7章 信号的运算与处理电路

7.1 内容摘要	(114)
7.1.1 集成运放的应用	(114)
7.1.2 集成运放应用电路的分析方法	(115)
7.1.3 集成运放运算电路中运放的输入情况	(115)
7.1.4 几种基本运算电路	(116)
7.1.5 电压比较器——集成运放的非线性应用	(117)

7.2 难点释疑	(119)
7.2.1 “虚短”和“虚地”概念	(119)
7.2.2 如何判断运放是否满足“虚短”条件	(119)
7.2.3 实际运算放大器主要参数对运算精度的影响	(121)
7.3 例题分析	(125)
7.4 复习与思考题	(130)
7.5 自我检查题	(130)
7.6 自我检查题答案和提示	(135)

第8章 正弦波振荡电路

8.1 内容摘要	(137)
8.2 难点释疑	(137)
8.2.1 如何判定电路的振荡条件	(137)
8.2.2 对三点式电路进行相位条件的判定	(138)
8.2.3 石英晶体振荡器	(140)
8.3 例题分析	(142)
8.4 复习与思考题	(146)
8.5 自我检查题	(148)
8.6 复习与思考题答案和提示	(150)
8.7 自我检查题答案和提示	(151)

第9章 直流电源

9.1 内容摘要	(152)
9.1.1 整流电路	(152)
9.1.2 滤波电路	(153)
9.1.3 硅稳压管稳压电路	(154)
9.1.4 串联型直流稳压电源	(154)
9.2 难点释疑	(155)
9.2.1 滤波电路的工作原理	(155)
9.2.2 串联型稳压电路	(158)
9.3 例题分析	(160)
9.4 自我检查题	(167)
9.5 自我检查题答案和提示	(171)

第 10 章 放大电路的频率响应

10.1 内容摘要	(173)
10.2 难点释疑	(177)
10.2.1 三个频率区段的划分原则	(177)
10.2.2 晶体管的混合 π 型等效电路	(177)
10.2.3 各段频率范围内的分析方法	(178)
10.2.4 时间常数法	(178)
10.3 例题分析	(179)
10.4 复习与思考题	(187)
10.5 自我检查题	(189)
10.6 自我检查题答案和提示	(194)

附 录 模拟电子技术基础试题(示例)

模拟电子技术试题(一)	(196)
模拟电子技术试题(二)	(201)
模拟电子技术试题(一)参考答案	(205)
模拟电子技术试题(二)参考答案	(206)

第 1 章 半导体二极管和三极管

1.1 内容摘要

1.1.1 半导体基本知识

1. 本征半导体的导电特性

纯净的单晶半导体,既不含任何杂质,也没有结构上的缺陷,称为本征半导体。其导电特点是:

(1) 在热力学温度为 0 K 时,半导体不能导电,如同绝缘体一样。

(2) 半导体中,存在着两种载流子——自由电子和空穴。在本征激发下,自由电子和空穴总是成对出现,称为电子空穴对。因此, $n_i = p_i$ 。式中: n_i 为自由电子浓度; p_i 为空穴的浓度。

(3) 由于热激发,半导体中的电子空穴对不断地产生,同时,当它们相遇时又因为复合而使电子空穴对消失。在一定温度下,上述产生和复合两种运动达到平衡,使电子空穴对的浓度达到定值。可以证明,本征半导体中载流子的浓度,除与半导体材料本身的性质有关以外,还与温度密切相关。当 $T=300\text{ K}$ 时,硅材料的 $n_i = p_i \approx 1.4 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$; 锗材料的 $n_i = p_i \approx 2.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 。

本征载流子对温度十分敏感。它们的浓度随温度的升高基本上按指数规律增加。如硅材料,大约温度每升高 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$,本征载流子的浓度 n_i 增加一倍;对于锗材料,大约温度每升高 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$,增加一倍。这样,两种材料平均每升高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,增加一倍。

2. 杂质半导体的导电特性

杂质半导体的电导率较高。在硅或锗中掺入五价元素如磷、砷、锑,形成 N 型半导体。

产生 ↗ 多子——电子(主要由掺杂形成)
 ↘ 少子——空穴(本征激发形成)

在硅或锗中掺入三价元素如硼、铝、镓等,形成 P 型半导体。

产生 ↗ 多子——空穴(主要由掺杂形成)
 ↘ 少子——电子(本征激发形成)

杂质半导体呈电中性,即任一空间内的正、负电荷数目相等。

N 型半导体:自由电子数目 = 空穴数目 + 正离子数目。

P 型半导体:空穴数目 = 自由电子数目 + 负离子数目。

1.1.2 半导体中的电流

半导体中载流子的定向电流有两种:扩散电流和漂移电流。

(1) 扩散电流是由于载流子浓度不均匀产生的扩散运动而形成的电流。

(2) 漂移电流是在电场作用下,半导体中的载流子沿电场力方向运动而形成的电流。

1.1.3 PN 结及其单向导电性

在 PN 结没有外加电压时,PN 结中载流子的扩散运动和漂移运动达到动态平衡,所以通过 PN 结的总电流为零。

PN 结加正向电压→阻挡层变薄,内电场减弱→扩散力大于电场力→扩散大于漂移→扩散形成较大的正向电流。而且外加正向电压对正向电流有很强的控制作用。

PN 结加反向电压→阻挡层变厚,内电场增强→电场力大于扩散力→漂移大于扩散→漂移少于运动形成一个较小的反向电流。而且反向电流基本上不随外加电压而变化,但随温度变化大。

1.1.4 PN 结的伏安特性

二极管的伏安特性一般分为正向特性、反向特性和击穿特性三部分,如图 1.1 所示。

锗二极管的门坎电压(对称死区电压)为 0.1 V,正向压降一般在 0.2~0.3 V;硅二极管的门坎电压约为 0.5 V,正向压降一般在 0.6~0.8 V。

硅二极管的反向电流一般要比锗二极管小得多。

1.1.5 二极管的参数

二极管最重要的参数有:最大整流电流 I_F 和最高反向击穿电压 U_{BR} 。除此极限参数外,还有一些其他参数。

1.1.6 硅稳压管

稳压管也是一种二极管,与一般二极管不同的是它正常工作在反向击穿状态。

1.1.7 半导体三极管

(1) 三极管的重要特性是具有电流放大作用。

(2) 三极管具有放大作用的外部条件:发射结正偏,集电结反偏。对 NPN 管,应满足 $U_E < U_B < U_C$;对 PNP 管,应满足 $U_E > U_B > U_C$ 。

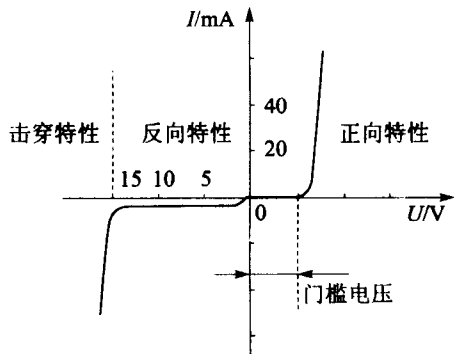


图 1.1 二极管伏安特性

(3) 重要的电流方程式: $I_C = \beta I_B + I_{CEO}$; $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ 。

(4) 三种工作状态: 晶体三极管有截止、放大、饱和三种工作状态, 各种状态其主要特点如表 1.1 所列。

表 1.1 三极管三种工作状态的特点

三极管的状态	PN 结的偏置		电流、电压的变化特征	电流、电压的数量特征	放大能力
	发射结	集电结			
截止	① 反偏; ② 正偏, 但正向电压小于门坎电压	反偏	电压变化, 电流基本不变	电流极小	无
放大	正偏, 且正向电压大于门坎电压	反偏	① U_{CE} 变化, I_C 基本不变; ② I_B 小变, I_C 大变	不定	强
饱和	正偏, 且正向电压大于门坎电压	正偏	I_B 变, I_C 基本不变	U_{CE} 电压很小	弱或无

(5) 三极管的放大原理。利用电子(NPN 型指电子, 而 PNP 型指空穴)在基区的扩散(形成集电极电流)大大超过复合(形成基极电流), 产生放大作用。在线性区, I_C 和 I_B 两者的比例基本一定, 所以可通过改变 I_B 的大小来达到控制 I_C 的目的。

在放大电路中, 通过 ΔU_{BE} 改变 I_B , 由 ΔI_B 使 I_C 发生相应的变化 ($\Delta I_C = \beta \Delta I_B$), 再通过集电极负载电阻 R_C , 将此电流的放大作用转化为电压放大, 即产生 $\Delta I_C R_C (\Delta U)$ 传递出去。

(6) 输出特性曲线的三个区域。截止区、饱和区和放大区。NPN 管输出特性曲线如图 1.2 所示。

● 截止区: 一般将 $I_B \leq 0$ 的区域称为截止区。在 $I_B = 0$ 的曲线以下的部分, 由于此时 I_C 也近似为零, 所以三极管没有放大作用。

截止区的特点是三极管的发射结和集电结都处于反向偏置状态。对于 NPN 三极管来说, $U_{BE} \leq 0$ (零偏或反偏); $U_{BC} < 0$ (反偏)。

● 放大区: 放大区内的变化曲线呈现以下特点。

① 各输出特性曲线比较平坦, 近似为水平的直线。当 I_B 一定时, I_C 的值基本上不随 U_{CE} 而变化。

② 当基极电流有一个微小的变化量 ΔI_B 时, 相应的集电极电流将产生较大的变化量 ΔI_C , 这比 ΔI_B 大 β 倍, 即 $\Delta I_C = \beta \Delta I_B$, 这个表达式体现了三极管的电流放大作用。

③ 放大区的特点: 三极管的发射结正向偏置, 而集电结反向偏置。对于 NPN 三极管来说, $U_{BE} > 0$ 而 $U_{BC} < 0$ 。

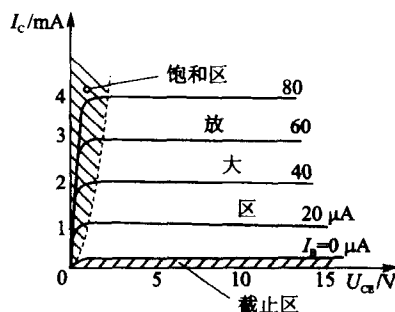


图 1.2 NPN 管输出特性曲线

● 饱和区:图 1.2 中靠近纵坐标的附近,各条输出特性曲线的上升部分均处于三极管的饱和区。在这个区域,不同 I_B 值的各条曲线几乎重叠在一起,十分密集,也就是说,当 U_{CE} 较小时,管子的集电极电流 I_C 基本上不随基极电流 I_B 而变化。这种现象称为饱和。在饱和区,三极管失去了放大作用。

一般认为,当 $U_{CE} = U_{BE}$,即 $U_{CE} = 0$ 时,三极管达到临界饱和状态;当 $U_{CE} < U_{BE}$ 时,称为过饱和。三极管饱和时的管压降用 U_{CES} 表示,一般小功率三极管的饱和压降 $U_{CES} < 0.4 \text{ V}$ 。

三极管工作在饱和区时,发射结和集电结都处于正向偏置状态。对于 NPN 三极管来说, $U_{BE} > 0, U_{BC} > 0$ 。

(7) 三极管的主要参数。三极管参数很多,平时最常用的有以下几个。

● β 和 β 都是反映电流放大能力的重要参数。在数量上,对于理想晶体管,输出特性曲线等间隔, β 和 β 几乎相等,所以在计算中,两者可互相代替,即 $\beta \approx \beta$ 。

● I_{CBO} 和 I_{CEO} 为晶体管的反向饱和电流,它们影响直流工作状态的稳定性,因此要求越小越好。

● 极限参数 I_{CM} 、 P_{CM} 、 $U_{(BR)CE(s)}$ 。

1.2 难点释疑

1.2.1 二极管的直流电阻 R_D 和交流电阻 r_D 的概念、区别和关系

直流电阻和交流电阻都是用来表征二极管导电能力大小的参数,都与工作点密切相关。从单向导电特性考虑,无论直流电阻或交流电阻,正向电阻值越小越好,反向电阻值越大越好。

r_D 涉及的电压、电流都是变化量(包括交流量),而 R_D 涉及的仅是电压、电流本身,即

$$R_D = \frac{U_D}{I_D} \quad r_D = \frac{\Delta U_D}{\Delta I_D}$$

式中: U_D 指二极管两端所加直流电压; I_D 为流过二极管的直流电流; ΔU_D 为二极管伏安特性上工作点附近的电压变化量; ΔI_D 为与 ΔU_D 相对应的电流变化量。

平时用万用表测量出的正、反向阻值是直流电阻。不过在测量二极管的正向电阻时,常发现用不同欧姆档测出的电阻值不相同。用 $R \times 10$ 档测出的阻值小,用 $R \times 100$ 档测出的阻值大,这是为什么?

为了弄清楚上面的问题,首先要对万用表欧姆档的等效电路有一个清楚的了解。

以常用的国产 500 型万用表为例。这个电表在欧姆档时,其等效电路如图 1.3 所示。由图中看到,在不同量程上,电表内的电源、内阻和电流表满量程所对应的电流都不相同。

假设将欧姆档分别置于 $R \times 10$ 和 $R \times 100$ 量程上,用万用表的两表笔接到待测二极管的两个电极上,两次读数不相同,前者电阻读数比后者小。

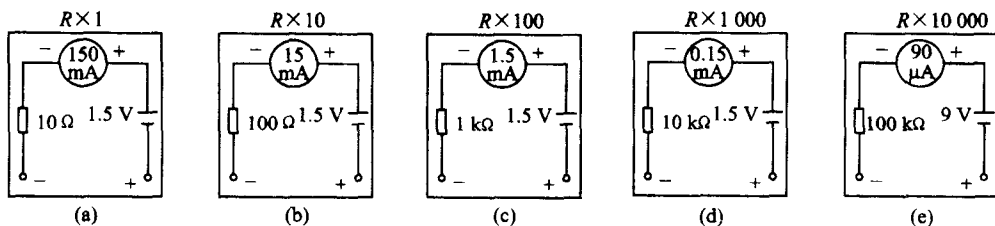


图 1.3 500 型万用表欧姆档的等效电路

下面分别说明它们的测量原理。

(1) 欧姆档置于 $R \times 10$ 量程。设二极管 VD 的伏安特性如图 1.4 所示。

由图 1.3(b) 所示电路, 其中 $R = 100 \Omega$, 有方程

$$U_D = E - I_D R_D \quad (1.1)$$

由此方程作出直线 AB。当 $U_D = 0$ 时, 流过万用表的电流为 15 mA, 电流表正好满刻度, AB 线与二极管特性曲线交点是 Q_1 , 它分别对应于 U_{D1} 和 I_{D1} , 此时对应的欧姆刻度应是 U_{D1} / I_{D1} 。

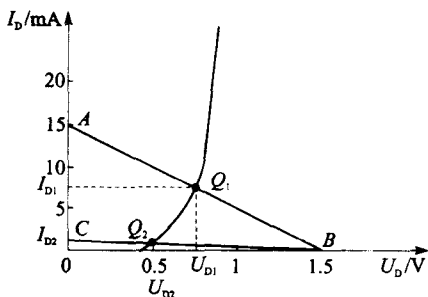


图 1.4 万用表测量二极管正向电阻

(2) 欧姆档置于 $R \times 100$ 量程。如图 1.3(c) 所示, 此时万用表显示电阻 $R = 10^3 \Omega$ 。

由方程式(1.1)作直线 BC。当 $U_D = 0$ 时流过万用表的电流为 1.5 mA, 电流表正好满刻度, 这时直线与二极管特性曲线交点是 Q_2 , 而 Q_2 对应于 U_{D2} 和 I_{D2} , 此时对应的欧姆刻度应是 U_{D2} / I_{D2} 。

经过以上分析, 就不难理解为什么不同的欧姆档测出二极管的电阻值是不同的。通过以上测试, 充分说明二极管的非线性特性。

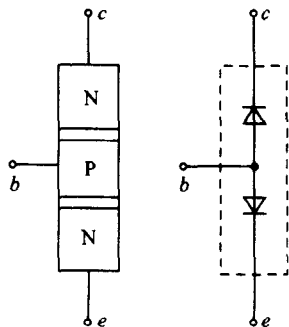


图 1.5 三极管中两个 PN 结关系说明

1.2.2 三极管能否用两个对接的二极管构成

从 PN 结的构成看来, 三极管就像是两个对接的二极管, 如图 1.5 所示。但它没有放大作用; 为了使三极管实现放大, 首先必须由三极管的内部结构来保证。其内部条件是:

- (1) 发射区的掺杂浓度远大于基区, 也大于集电区。
- (2) 基区的宽度必须很窄, 通常只有几 μm 到几十 μm 。在内部条件满足的前提下, 只要外部电源的极性能保证发射结正向偏置, 集电结反向偏置, 三极管中两个

PN 结紧密相连,一个 PN 结上出现的过程可以影响另一个结的工作。这就是三极管和两个对接二极管的本质区别。三极管中处于反向偏置的集电结也能出现较大的电流,而这个电流又受处于正向偏置的发射结中的电流的控制,从而完成电流放大作用。这是两个独立的二极管对接所做不到的。

1.2.3 三极管工作状态的分析与判定

判定三极管处于何种工作状态的方法很多,通常有三种方法:结偏置、管电流和管电位判定法。

(1) 三极管结偏置的判定法:三极管发射结、集电结的偏置和管子工作状态关系如表 1.1 所列。

(2) 三极管电流关系判定法:三极管中的电流和工作状态间的关系如表 1.2 所列。表中的参量 I_{BS} 称为三极管临界饱和时基极注入的电流。 I_{BS} 大小对共射接法放大电路的其值为

$$I_{BS} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\beta R_C}$$

表 1.2 三极管的工作电流与工作状态的关系

状 态	电 流		
	I_B	I_C	I_E
截 止	0	0	0
放 大	>0	βI_B	$I_B + I_C = (1 + \beta) I_B$
饱 和	$I_B > I_{BS}$	$< \beta I_B$	$< (1 + \beta) I_B$

通常对硅管而言,临界饱和时三极管集电极、发射极间的饱和压降 $U_{CES} = 0.7 \text{ V}$,深饱和时的 $U_{CES} \approx 0.1 \sim 0.3 \text{ V}$ 。

当基极偏置电流 $I_B \geq I_{BS}$ 时,管子饱和;而当 $0 < I_B < I_{BS}$ 时,管子处在放大状态。

(3) 三极管电位判定法:共射电路中(NPN 管),三极管基极电位 U_B 、集电极电位 U_C 和三极管工作状态间的关系如表 1.3 所列。

表 1.3 三极管的 U_B 、 U_C 与状态之关系

状 态	电 压	
	U_B / V	U_C / V
截 止	≤ 0	V_{CC}
放 大	0.7	$U_{CES} < U_C < V_{CC}$
饱 和	0.7	U_{CES}

三种判定方法中,第三种常用于实验测定,而第二种则常用于解题过程中。具体应用,见后面例题。

1.3 例题分析

题型1 求解由理想二极管、电源和电阻组成的直流电路。

解题要领 解这类题,判断二极管的状态是个前提。如果电路比较复杂,无法根据管子电极与电源正负端的连接直接看出,则可以用比较管子正、负极电位高低的方法来判断。若正极电位高于负极,则二极管正偏;反之,管子反偏。

为使判断趋于简化,可设想把被判二极管从电路中取出,然后比较电路两个开路端电位的高低。若该极性对于被判二极管是正向的,则管子接回原处后仍正偏;反之,则反偏。

例1.1 设图1.6(a)中的 VD_1 、 VD_2 都是理想二极管,求电阻 R 中的电流 I 和引出端电压 U_0 。

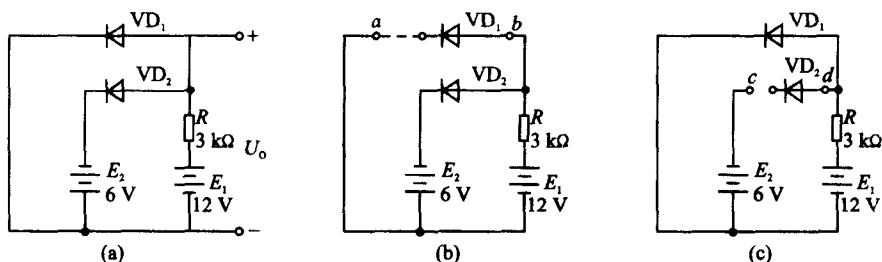


图1.6 例1.1图

对图1.6(a)电路,先判断 VD_1 状态。设想把它从电路中取出,如图1.6(b)所示。这时, VD_2 正向导通,因而可知开路端 a 点的电位高于 b 点。这个极性对于 VD_1 是反向的,故 VD_1 接回原处后必反偏。

再判断 VD_2 状态,设想把它从电路中取出,如图1.6(c)所示。这时因为 VD_1 截止,因而可知开路端 c 的电位低于 d 点。这个极性对 VD_2 是正偏,所以 VD_2 导通。根据上述判断,图1.6(c)所示的电路可等效成图1.7所示电路。

$$\text{因此} \quad I = \frac{E_1 + E_2}{R} = \frac{(12 + 6)V}{3 \text{ k}\Omega} = 6 \text{ mA}$$

$$U_0 = -E_2 = -6 \text{ V}$$

题型2 求解由实际二极管、电源和电阻组成的直流电路(见图1.8)的二极管正偏。

解题要领 与上一种题型相比,这种题目的特点是二极管正向偏置时要考虑二极管的正向压降,通过例1.2可知有三种情况。

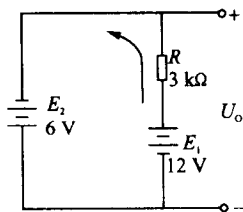


图 1.7 图 1.6(c)的等效电路

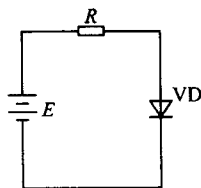


图 1.8 例 1.2 图

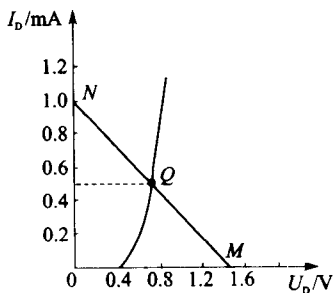


图 1.9 二极管的正向特性曲线

例 1.2 在图 1.8 电路中,已知 $R = 1.5 \text{ k}\Omega$,并知 VD 的伏安特性曲线如图 1.9 所示,求电源电压 E 分别等于 15 V、4.5 V 和 1.5 V 时回路中的电流。

解 由图 1.9 可知,VD 为硅管,取 U_D 的估量值为 0.7 V。

(1) 当 $E = 15 \text{ V}$ 时,满足条件 $E \gg U_D$,所以回路中的电流即二极管的电流

$$I_D \approx \frac{E}{R} = \frac{15 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ mA}$$

(2) 当 $E = 4.5 \text{ V}$ 时,不满足条件 $E \gg U_D$,但是满足 $(E - U_D) \gg \Delta U_D$,这里 ΔU_D 为 U_D 的估量值(锗管为 0.2~0.3 V,硅管为 0.6~0.8 V)与实际值之间的误差范围,通常在 0.1~0.2 V,在这种情况下,宜用下式进行近似计算,即

$$I_D = \frac{E - U_D}{R} = \frac{(4.5 - 0.7) \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega} = 2.53 \text{ mA}$$

(3) 当 $E = 1.5 \text{ V}$ 时,不满足 $(E - U_D) \gg \Delta U_D$,所以应用图解法求解。

在图 1.9 中,令 $I_D = 0$,则 $U_D = E = 1.5 \text{ V}$,得开路点 M;令 $U_D = 0$,则 $I_D = E/R = 1 \text{ mA}$,得点 N。用直线连 M、N 两点,得负载线。该线与特性曲线相交于 Q 点,则 Q 点的纵坐标即为所求的电流,也即 $I_D = 0.5 \text{ mA}$ 。

题型 3 分析限幅电路中二极管的状态,并画出限幅后的电压波形(限幅前的电压波形已知)。

解题要领 由于输入电压 u_i 的大小和极性不断变化,为判断二极管的状态增加了困难。分析的思路是,分别分析 VD 导通和截止时, u_i 的大小和极性应怎样。

可从 VD 的正极出发,在回路中画一个绕行方向至负极,规定顺绕行方向的电压取正值;反之,取负值。判据是:回路中所有的电压的代数和为正,则 VD 正偏;反之,VD 反偏。这样 VD 的状态对于 u_i 的依赖性便可推断出来,整个问题也就迎刃而解了。

例 1.3 在图 1.10(a)所示电路中,已知 $u_i = 12 \sin \omega t (\text{V})$,试画出输出电压 u_o 波形。

解 在回路中,画出绕行方向如图 1.10(a)所示,沿绕行方向,列方程(取出 VD)。