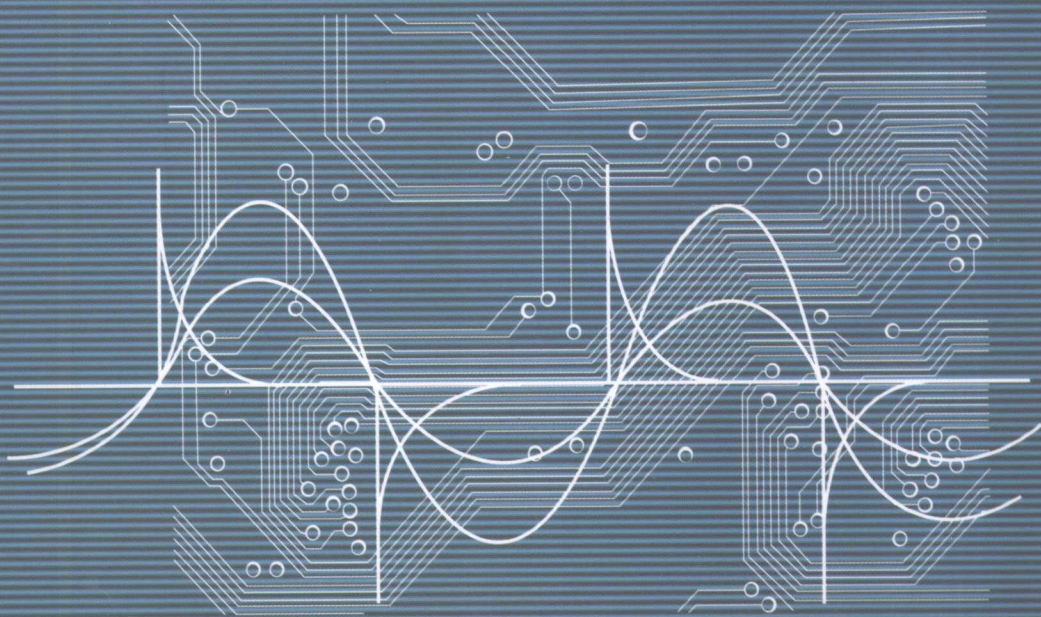


现代电子技术基础 (模拟部分) 解题指南

● 王成华 邵 杰 编著



北京航空航天大学出版社

现代电子技术基础(模拟部分)

解题指南

王成华 邵 杰 编著

北京航空航天大学出版社

内容简介

本书是配合国防科工委“十五”规划教材《现代电子技术基础(模拟部分)》(王成华等编著)而编写的学习指导书。全书共9章,内容包括:半导体器件基础、放大器基础、集成运算放大器与模拟乘法器、信号运算与处理电路、放大器的频率响应、反馈放大电路及其稳定性、波形产生与变换电路、功率放大电路与直流稳压电源及电流模式电路等。各章主要由重点与难点、习题与解答及提高题与参考答案等3部分组成。书中习题选择恰当、讲解详细、分析清楚;提高题有助于读者对所学内容的进一步理解和巩固。

本书可作为高等院校电子信息类、电气信息类、自动控制类和计算机类各专业学生的辅导教材,也可作为教师的教学参考书,还可供有关工程技术人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代电子技术基础(模拟部分)解题指南/王成华,邵杰编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2007.4
ISBN 978-7-81077-996-8

I. 现… II. ①王…②邵… III. 模拟电路-电子技术-高等学校-解题 IV. TN710-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第032669号

现代电子技术基础(模拟部分)解题指南

王成华 邵杰 编著

策划编辑 蔡喆

责任编辑 蔡喆

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:bhpress@263.net

北京宏伟双华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16

印张:18 字数:403千字

2007年4月第1版 2007年4月第1次印刷

印数:4000册

ISBN 978-7-81077-996-8 定价:28.00元

前 言

电子技术是 20 世纪发展最为迅速的领域之一,这主要得益于集成电路和计算机的发明。这两项技术既是电子技术发展的产物,又是电子技术持续发展的推动力。集成电路和计算机技术的飞速发展,正把人类社会带入信息时代。在这样的时代背景下,掌握模拟和数字电子技术是对所有电类专业学生的基本要求。

本书配合国防科工委“十五”规划教材《现代电子技术基础(模拟部分)》使用,包括教材上前 9 章的重点与难点,所有习题的详细解答,精选的典型习题的解答。内容包括:半导体器件基础、放大器基础、集成运算放大器与模拟乘法器、信号运算与处理电路、放大器的频率响应、反馈放大电路及其稳定性、波形产生与变换电路、功率放大电路与直流稳压电源及电流模式电路等。习题在内容的编排上由浅入深,逐步增加难度。本书可作为高等院校电子电气类学生在学习模拟电子技术课程时的辅助教材,也可作为准备研究生入学考试的参考教材。

本书由王成华、邵杰主编,共同执笔。本书的编写得到了南京航空航天大学同行们的支持与帮助,在此表示深切的谢意。

由于编者水平有限,对于书中的错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 4 月于南京

目 录

第 1 章 半导体器件基础

1.1 重点与难点	1
1.1.1 主要内容	1
1.1.2 重 点	1
1.1.3 难 点	1
1.2 习题与解答	1
1.3 提高题与参考答案	15

第 2 章 放大器基础

2.1 重点与难点	21
2.1.1 主要内容	21
2.1.2 重 点	21
2.1.3 难 点	21
2.2 习题与解答	21
2.3 提高题与参考答案	49

第 3 章 集成运算放大器与模拟乘法器

3.1 重点与难点	67
3.1.1 主要内容	67
3.1.2 重 点	67
3.1.3 难 点	67
3.2 习题与解答	67
3.3 提高题与参考答案	91

第 4 章 信号运算与处理电路

4.1 重点与难点	103
4.1.1 主要内容	103
4.1.2 重 点	103
4.1.3 难 点	103
4.2 习题与解答	103
4.3 提高题与参考答案	127

第 5 章 放大器的频率响应

5.1 重点与难点	140
5.1.1 主要内容	140

5.1.2 重点	140
5.1.3 难点	140
5.2 习题与解答	140
5.3 提高题与参考答案	150
第 6 章 反馈放大电路及其稳定性	
6.1 重点与难点	165
6.1.1 主要内容	165
6.1.2 重点	165
6.1.3 难点	165
6.2 习题与解答	165
6.3 提高题与参考答案	182
第 7 章 波形产生与变换电路	
7.1 重点与难点	196
7.1.1 主要内容	196
7.1.2 重点	196
7.1.3 难点	196
7.2 习题与解答	196
7.3 提高题与参考答案	213
第 8 章 功率放大电路与直流稳压电源	
8.1 重点与难点	234
8.1.1 主要内容	234
8.1.2 重点	234
8.1.3 难点	234
8.2 习题与解答	234
8.3 提高题与参考答案	250
第 9 章 电流模式电路	
9.1 重点与难点	269
9.1.1 主要内容	269
9.1.2 重点	269
9.1.3 难点	269
9.2 习题与解答	269

第 1 章 半导体器件基础

1.1 重点与难点

1.1.1 主要内容

半导体的基础知识;PN 结与半导体二极管;特殊二极管;半导体三极管;场效应晶体管。

1.1.2 重点

1. 半导体器件(半导体二极管、三极管及场效应管)的工作原理:包括半导体二极管的单向导电特性、伏安特性和主要参数;稳压二极管的伏安特性、稳压原理和主要参数;晶体管的放大作用、输入特性、输出特性和主要参数;
2. 半导体二极管的运用和二极管电路的分析方法;
3. 晶体三极管和场效应管的微变等效电路。

1.1.3 难点

1. 器件内部的物理过程;
2. 器件特性的物理概念。

1.2 习题与解答

题 1.1 求硅本征半导体在温度为 250 K,300 K,350 K 时载流子的浓度。若掺入施主杂质的浓度 $N_d=10^{17}$ 个/cm³,分别求出在 250 K,300 K,350 K 时电子和空穴的浓度。

解: 当 $T_1=250$ K 时,有:

$$n_i(T_1) = p_i(T_1) = A \cdot T_1^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_{g0}}{2kT_1}} = 3.87 \times 10^{16} \times 250^{\frac{3}{2}} \times e^{-\frac{1.21}{2 \times 250}} = 1.015 \times 10^8 \text{ 个/cm}^3;$$

同理,当 $T_2=300$ K 时,有: $n_i(T_2) = p_i(T_2) = 1.428 \times 10^{10}$ 个/cm³;

当 $T_3=350$ K 时,有: $n_i(T_3) = p_i(T_3) = 5.070 \times 10^{11}$ 个/cm³;

当掺入施主杂质后,电子浓度: $n=N_d$,空穴浓度: $p=\frac{n_i^2}{n}$;

当 $T_1=250\text{ K}$ 时, $n=10^{17}\text{ 个/cm}^3$, $p=\frac{n_i^2(T_1)}{n}=0.103\text{ 个/cm}^3$;

当 $T_2=300\text{ K}$ 时, $n=10^{17}\text{ 个/cm}^3$, $p=\frac{n_i^2(T_2)}{n}=2.04\times 10^3\text{ 个/cm}^3$;

当 $T_3=350\text{ K}$ 时, $n=10^{17}\text{ 个/cm}^3$, $p=\frac{n_i^2(T_3)}{n}=2.57\times 10^6\text{ 个/cm}^3$ 。

题 1.2 若硅 PN 结的 $N_a=10^{17}\text{ 个/cm}^3$, $N_d=10^{16}\text{ 个/cm}^3$, 求 $T_3=350\text{ K}$ 时 PN 结的内建电位差。

解: $U_\varphi=U_T \cdot \ln\left(\frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2}\right)$ 。当 $T=300\text{ K}$ 时, $U_T=26\text{ mV}$, $n_i=1.43\times 10^{10}\text{ 个/cm}^3$, 代入得

$$U_\varphi=0.026\text{ V} \times \ln\left[\frac{10^{17}\text{ 个/cm}^3 \times 10^{16}\text{ 个/cm}^3}{(1.43 \times 10^{10}\text{ 个/cm}^3)^2}\right]=0.76\text{ V}。$$

题 1.3 已知锗 PN 结的反向饱和电流为 10^{-6} A , 当分别外加正向偏置和反向偏置电压为 0.2 V , 0.36 V 及 0.4 V 时, 流过 PN 结的电流为多少? 由计算结果说明伏安特性的特点。

解: 根据 PN 结方程, 流过 PN 结的电流 $I=I_S \cdot (e^{\frac{U}{U_T}}-1)$, $I_S=10^{-6}\text{ A}$, $U_T=26\text{ mV}$ 。

$$U_1=0.2\text{ V 时}, I_1=I_S \cdot (e^{\frac{U_1}{U_T}}-1)=2.19 \times 10^{-3}\text{ A};$$

$$U_2=0.36\text{ V 时}, I_2=I_S \cdot (e^{\frac{U_2}{U_T}}-1)=1.03\text{ A};$$

$$U_3=0.4\text{ V 时}, I_3=I_S \cdot (e^{\frac{U_3}{U_T}}-1)=4.8\text{ A};$$

$$U_4=-0.2\text{ V 时}, I_4=-I_S \approx 0, \text{反向截止};$$

$$U_5=-0.36\text{ V 时}, I_5=-I_S \approx 0, \text{反向截止};$$

$$U_6=-0.4\text{ V 时}, I_6=-I_S \approx 0, \text{反向截止}。$$

由此可见, PN 结外加正向电压时, U 稍有增加就引起正向电流明显增加。PN 结外加反向电压时, 反向电流等于 $-I_S$, 近似为 0, 与 U 无关, PN 结截止。

题 1.4 怎样用万用表判断二极管的正负极与好坏?

解: 利用万用表的欧姆挡来判断。设二极管的两端为 A, B, 首先, 用万用表的正负表笔分别接二极管的 A, B 端, 测得电阻为 R_1 ; 然后, 用万用表的正负表笔分别接二极管的 B, A 端, 测得电阻为 R_2 。

若 $R_1 \approx R_2$, 则二极管已坏。

若 $|R_1 - R_2|$ 较大, 则二极管是好的, 且较小电阻时对应的万用表的正负表笔即为二极管的正负极。

题 1.5 流过硅二极管的电流 $I_D=1\text{ mA}$ 时, 二极管两端压降 $U_D=0.7\text{ V}$, 求电流 $I_D=0.1\text{ mA}$ 和 10 mA 时, 二极管两端压降 U_D 分别为多少?

解: 根据 $I_D=I_S \cdot e^{\frac{U_D}{U_T}}$, 且 $U_D=0.7\text{ V}$, $U_T=26\text{ mV}$, $I_D=1\text{ mA}$,

代入得 $0.001 = I_S \cdot e^{\frac{0.7}{0.026}}$, 解得 $I_S = 2.03 \times 10^{-15} \text{ A}$ 。

当 $I_D = 0.1 \text{ mA}$ 时, $0.0001 = 2.03 \times 10^{-15} \cdot e^{\frac{U_D}{0.026}}$, 得: $U_D = 0.64 \text{ V}$;

当 $I_D = 10 \text{ mA}$ 时, $0.01 = 2.03 \times 10^{-15} \cdot e^{\frac{U_D}{0.026}}$, 得: $U_D = 0.76 \text{ V}$ 。

题 1.6 电路如图 1.1 所示, D 是理想二极管, $u_i = U_m \sin \omega t$ 。

① 画出该电路的电压传输特性(u_i 与 u_o 的关系曲线);

② 画出输出电压波形。

解: ① 当 $u_i > 0$ 时, D 导通, $u_o = u_i$;

当 $u_i \leq 0$ 时, D 截止, $u_o = 0$, 电路的电压传输特性如图

1.2(a) 所示。

② 当 $u_i = U_m \sin \omega t$, 输出电压波形如图 1.2(b) 所示。

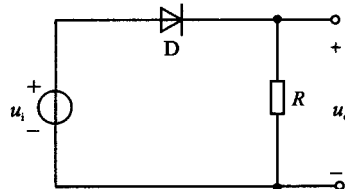
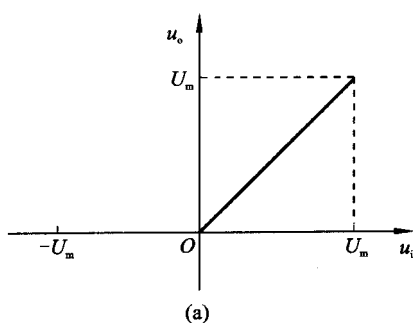
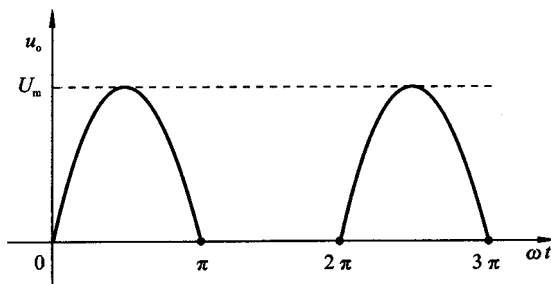


图 1.1 题 1.6 用图



(a)



(b)

图 1.2 题 1.6 解图

题 1.7 图 1.3 中二极管是理想的, 画出该电路的电压传输特性。若 $u_i = 10 \sin \omega t \text{ V}$, 画出 u_o 的波形。

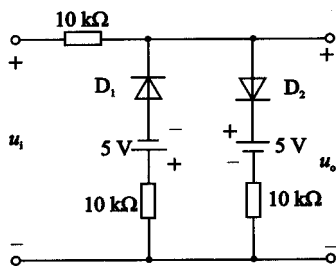


图 1.3 题 1.7 用图

解: 当 $u_i > 5 \text{ V}$ 时, D_1 截止, D_2 导通, $u_o = \frac{u_i - 5}{10 + 10} \times 10 + 5 =$

$$\frac{1}{2} u_i + 2.5;$$

当 $u_i < -5 \text{ V}$ 时, D_1 导通, D_2 截止, $u_o = \frac{u_i + 5}{20} \times 10 - 5 =$

$$\frac{1}{2} u_i - 2.5;$$

当 $-5 \text{ V} \leq u_i \leq 5 \text{ V}$ 时, D_1, D_2 均截止, $u_o = u_i$ 。

$$\text{所以 } u_o = \begin{cases} \frac{1}{2}u_i - 2.5, & u_i < -5 \text{ V} \\ u_i, & -5 \text{ V} \leq u_i \leq 5 \text{ V} \\ \frac{1}{2}u_i + 2.5, & u_i > 5 \text{ V} \end{cases}$$

其电压传输特性如图 1.4(a)所示。

若 $u_i = 10\sin \omega t \text{ V}$, 则

$$u_o = \begin{cases} 5\sin \omega t - 2.5, & \omega t \in \left[2k\pi - \frac{5}{6}\pi, 2k\pi - \frac{1}{6}\pi \right] \\ 10\sin \omega t, & \omega t \in \left[k\pi - \frac{1}{6}\pi, k\pi + \frac{1}{6}\pi \right] \\ 5\sin \omega t + 2.5, & \omega t \in \left[2k\pi + \frac{1}{6}\pi, 2k\pi + \frac{5}{6}\pi \right] \end{cases}$$

其输出波形如图 1.4(b)所示。

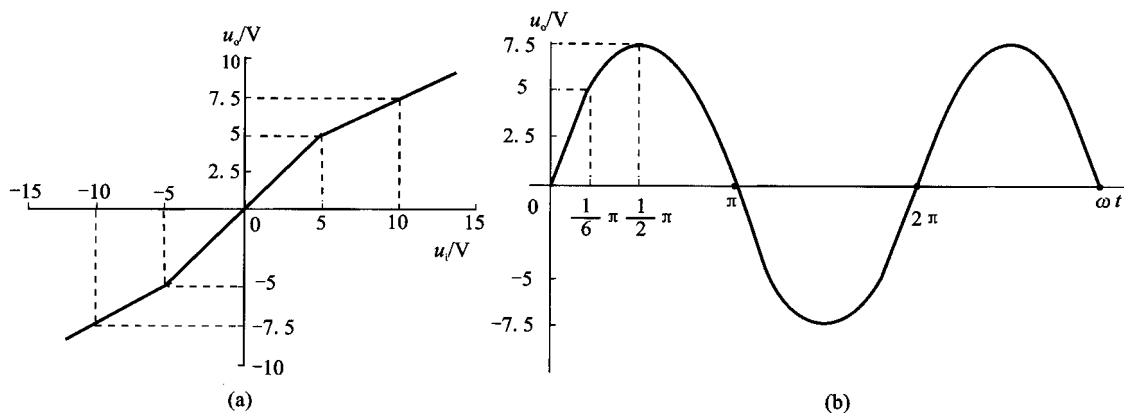


图 1.4 题 1.7 解图

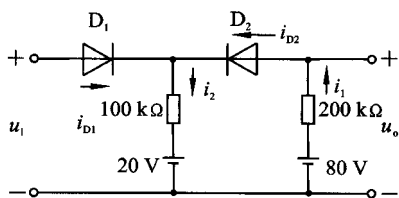


图 1.5 题 1.8 用图

题 1.8 图 1.5 中所示的双向限幅电路中,二极管是理想的,输入电压 u_i 从 0 V 变到 100 V ,画出电压传输特性曲线。

解: 分析的关键是要确定二极管导通与截止的条件。可以先假设 D_1 和 D_2 都导通,因为二极管是理想的,导通时有 $U_{D1} = 0 \text{ V}$, $U_{D2} = 0 \text{ V}$,所以此时 $u_o = u_i$ 。为了求出 i_{D1} , i_{D2} ,可将 D_1 和 D_2 短路,写出

$$i_1 = \frac{80 - u_i}{200}$$

$$i_2 = \frac{u_i - 20}{100}$$

所以

$$i_{D2} = i_1 = \frac{80 - u_i}{200}$$

$$i_{D1} = i_2 - i_1 = \frac{3u_i - 120}{100}$$

可见, D_1 导通的条件是: $30u_i - 120 > 0, u_i > 40 \text{ V}$;

D_2 导通的条件是: $80 - u_i > 0, u_i < 80 \text{ V}$ 。

当 $0 \leq u_i \leq 40 \text{ V}$ 时, D_1 截止, D_2 导通。此时

$$u_o = \left(80 - \frac{80 - 20}{300} \times 200 \right) \text{ V} = 40 \text{ V}$$

当 $40 \text{ V} < u_i < 80 \text{ V}$ 时, D_1, D_2 均导通。此时

$$u_o = u_i$$

当 $u_i \geq 80 \text{ V}$ 时, D_1 导通, D_2 截止。此时

$$u_o = 80 \text{ V}$$

电压传输特性曲线如图 1.6 所示。

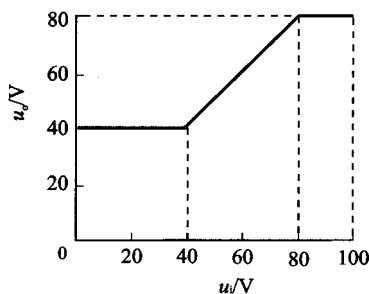


图 1.6 题 1.8 解图

题 1.9 图 1.7 中二极管是理想的, 求图 1.7(a)~(d) 所示电路中的电压 U 和电流 I 。

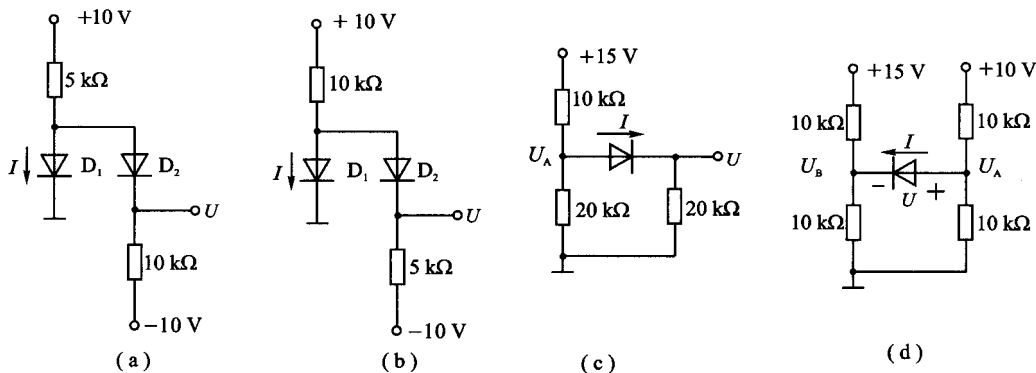


图 1.7 题 1.9 用图

解: 图 1.7(a), 假设 D_1 截止, 则 $U = \left(10 - 20 \times \frac{5}{15} \right) \text{ V} = \frac{10}{3} \text{ V} > 0$, 故 D_1 导通, 有电流流过 D_1 。

$$U = 0, \quad I = \left(\frac{10}{5} - \frac{10}{10} \right) \text{ mA} = 1 \text{ mA}$$

图 1.7(b), 假设 D_1 截止, 则 $U = \left(10 - 20 \times \frac{10}{15}\right) \text{V} = -\frac{10}{3} \text{V} < 0$, 故假设成立, 无电流流过 D_1 。

$$I = 0, \quad U = -\frac{10}{3} \text{V}$$

图 1.7(c), 假设二极管截止, 则 $U_A = \left(15 \times \frac{20}{30}\right) \text{V} = 10 \text{V} > 0$, 故二极管导通。

$$U = \left(15 \times \frac{20 // 20}{10 + 20 // 20}\right) \text{V} = 7.5 \text{V}, \quad I = \frac{U}{20} = 0.375 \text{mA}$$

图 1.7(d), 假设二极管截止, 则 $U_A = 5 \text{V}, U_B = 7.5 \text{V}, U_A < U_B$, 故假设成立。

$$I = 0, \quad U = U_A - U_B = -2.5 \text{V}$$

题 1.10 图 1.8 中二极管是理想的, 分别求出图 1.8(a), (b) 中电压 U 和电流 I 的值。

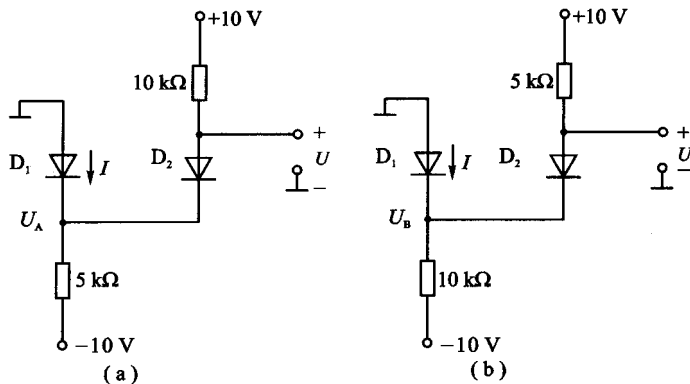


图 1.8 题 1.10 用图

解: 图 1.8(a), 设 D_1, D_2 均导通, $10 \text{k}\Omega$ 电阻上电流为 I' , $5 \text{k}\Omega$ 电阻上电流为 I'' , 则 $U_A = 0$ 。

$$I' = \left(\frac{10}{10}\right) \text{mA} = 1 \text{mA}, \quad I'' = \left(\frac{10}{5}\right) \text{mA} = 2 \text{mA}$$

$$I = I'' - I' = 1 \text{mA}, \quad U = 0 \text{V}$$

图 1.8(b), 设 D_1, D_2 均导通, $5 \text{k}\Omega$ 电阻上电流为 I' , $10 \text{k}\Omega$ 电阻上电流为 I'' , 则 $U_B = 0$ 。

$$I' = \left(\frac{10}{5}\right) \text{mA} = 2 \text{mA}, \quad I'' = \left(\frac{10}{10}\right) \text{mA} = 1 \text{mA}$$

$I = I'' - I' = -1 \text{mA} < 0$, 故 D_1 截止。得出

$$I = 0, \quad I' = I'' = \left(\frac{20}{5 + 10}\right) \text{mA} \approx 1.33 \text{mA}$$

$$U = (10 - 5 \times 1.33) \text{V} = 3.35 \text{V}$$

题 1.11 在图 1.9 所示电路中, 取 $-5 \text{V} < U_1 < 5 \text{V}$ 。

① 设二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.6 \text{ V}$, 忽略其导通电阻, 画出电压传输特性曲线 $U_1 \sim U_0$;

② 若二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.6 \text{ V}$, 导通电阻 $R_D = 100 \Omega$, 画出其传输特性曲线。

解: ① 当 $U_1 > 0.6 \text{ V}$ 时, D_1 截止, D_2 导通, $U_0 = \frac{U_1 - 0.6}{2} \times 1 + 0.6 = \frac{1}{2}U_1 + 0.3$;

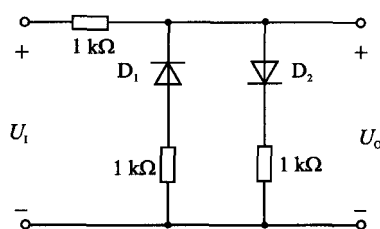


图 1.9 题 1.11 用图

当 $U_1 < -0.6 \text{ V}$ 时, D_1 导通, D_2 截止, $U_0 = \frac{U_1 + 0.6}{2} \times 1 - 0.6 = \frac{1}{2}U_1 - 0.3$;

当 $-0.6 \text{ V} \leq U_1 \leq 0.6 \text{ V}$ 时, D_1, D_2 均截止, $U_0 = U_1$ 。

其电压传输特性曲线如图 1.10(a) 所示。

② 当 $U_1 > 0.6 \text{ V}$ 时, D_1 截止, D_2 导通, $U_0 = \frac{U_1 - 0.6}{2 + 0.1} \times 1.1 + 0.6 = \frac{11}{21}U_1 + \frac{6}{21}$;

当 $U_1 < -0.6 \text{ V}$ 时, D_1 导通, D_2 截止, $U_0 = \frac{U_1 + 0.6}{2.1} \times 1.1 - 0.6 = \frac{11}{21}U_1 - \frac{6}{21}$;

当 $-0.6 \text{ V} \leq U_1 \leq 0.6 \text{ V}$ 时, D_1, D_2 均截止, $U_0 = U_1$ 。

其电压传输特性曲线如图 1.10(b) 所示。

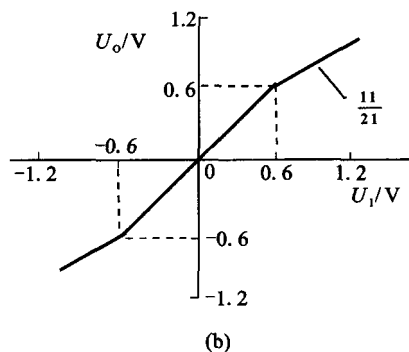
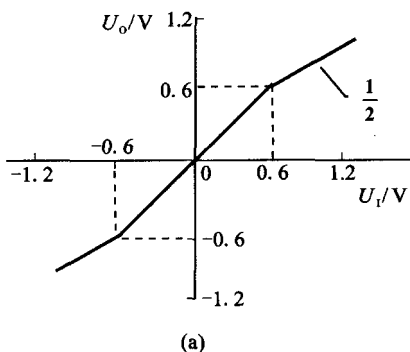


图 1.10 题 1.11 解图

题 1.12 在图 1.11 中, 二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$, 证明电路的传输特性是:

$$-4.65 \text{ V} \leq U_1 \leq 4.65 \text{ V}, \quad U_0 = U_1$$

$$U_1 \geq 4.65 \text{ V}, \quad U_0 = 4.65 \text{ V}$$

$$U_1 \leq -4.65 \text{ V}, \quad U_0 = -4.65 \text{ V}$$

解: 假设 D_1, D_2, D_3, D_4 均导通, 则

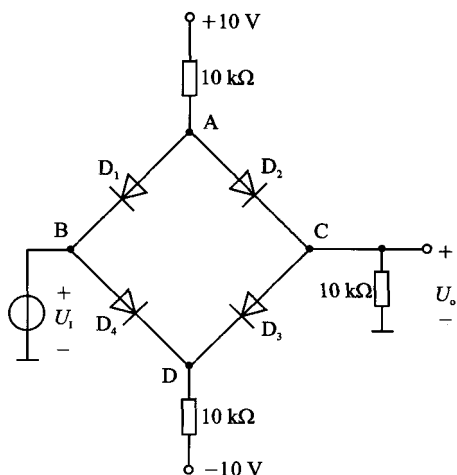


图 1.11 题 1.12 用图

$$U_A = U_1 + 0.7 = U_O + 0.7$$

$$U_D = U_1 - 0.7 = U_O - 0.7$$

当 U_1 不断增大,使 $U_1 + 0.7 > U_A$ 时, D_1 截止。而

$$\begin{cases} U_O = U_A - 0.7 \\ U_D = U_1 - 0.7 \end{cases}$$

$U_D + 0.7 > U_O$, 故 D_3 也截止。

在截止临界点上列出方程有:
$$\begin{cases} \frac{U_O}{10} = \frac{10 - U_A}{10} \\ U_1 = U_A - 0.7 \end{cases}$$

得

$$U_1 = U_O = 4.65 \text{ V}$$

故当 $U_1 \geq 4.65 \text{ V}$ 时, $U_O = 4.65 \text{ V}$ 。

同理,当 U_1 不断减小,使 $U_1 - 0.7 < U_D$ 时, D_4 截止,此时 D_2 也截止。

在截止临界点上列出方程有:
$$\begin{cases} \frac{0 - U_O}{10} = \frac{U_D - (-10)}{10} \\ U_O - 0.7 = U_D \end{cases}$$
, 得

$$U_O = -4.65 \text{ V}$$

故当 $U_1 \leq -4.65 \text{ V}$ 时, $U_O = -4.65 \text{ V}$ 。

当 $-4.65 \text{ V} \leq U_1 \leq 4.65 \text{ V}$ 时, D_1, D_2, D_3, D_4 均导通。易知 $U_O = U_1$ 。

证毕。

题 1.13 二极管电路可以实现数字逻辑功能。图 1.12 中二极管都是理想的,分别求出图(a), (b) 中 u_Y 和 u_A, u_B, u_C 的关系。若 u_A, u_B, u_C 分别对应逻辑量 A, B, C, u_Y 对应逻辑量 Y, 写出 Y 和 A, B, C 的逻辑关系。

解: 图 1.12(a), 若 u_A, u_B, u_C 均小于零, 则 D_1, D_2, D_3 均截止。此时, $u_Y = 0$ 。

若 u_A, u_B, u_C 中至少有一个大于零, 不妨设 $u_A = \max\{u_A, u_B, u_C\}$, 则 D_1 导通, 且 $u_Y = u_A$ 。

因为 $u_A > u_B, u_A > u_C$

所以 $u_Y > u_B, u_Y > u_C$

故 D_2, D_3 均截止。此时, $u_Y = u_A$ 。

考虑到上述假设的任意性, 可得 $u_Y = \max\{u_A, u_B, u_C\}$ 。

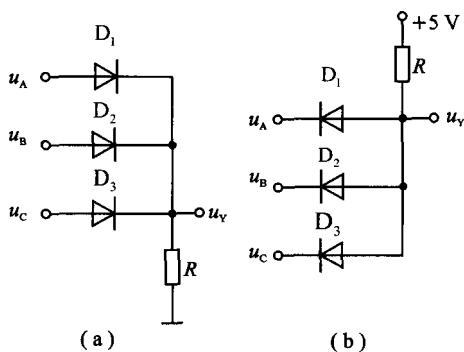


图 1.12 题 1.13 用图

若 u_A, u_B, u_C, u_Y 分别对应逻辑量 A, B, C, Y, 则 $Y = A + B + C$ 。

图 1.12(b), 若 u_A, u_B, u_C 均大于 5 V, 则 D_1, D_2, D_3 均截止。此时, $u_Y = 5$ V。

若 u_A, u_B, u_C 中至少有一个小于 5 V, 不妨设 $u_A = \min\{u_A, u_B, u_C\}$,

则 D_1 导通, 且 $u_Y = u_A$ 。

因为 $u_A < u_B, \quad u_A < u_C$

所以 $u_Y < u_B, \quad u_Y < u_C$

故 D_2, D_3 均截止。此时, $u_Y = u_A$ 。

考虑到上述假设的任意性, 可得 $u_Y = \min\{u_A, u_B, u_C\}$ 。

若 u_A, u_B, u_C, u_Y 分别对应逻辑量 A, B, C, Y, 则逻辑关系: $Y = \overline{ABC}$ 。

题 1.14 图 1.13 所示为一个三相半波整流电路, 由对称的三相交流电源供电。试问每一个理想二极管在交流电源的一个周期内导通的相位角是多少度? 并请画出输出电压 u_o 的波形。

解: 由题可知, 同一时间 D_A, D_B, D_C 中只能有一个导通, 且只能是电压幅值最大的那一路的二极管导通, 设三相交流电源中的 u_A, u_B, u_C 分别为

$$u_A = U_m \sin \omega t, \quad u_B = U_m \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right),$$

$$u_C = U_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right), \quad T_A = T_B = T_C = \frac{2\pi}{\omega}$$

u_A, u_B, u_C 的波形如图 1.14(a) 所示。

由上图显而易见: 每个理想二极管在交流电源的一个周期内导通的相位角均为 120° 。 u_o 波形如图 1.14(b) 所示。

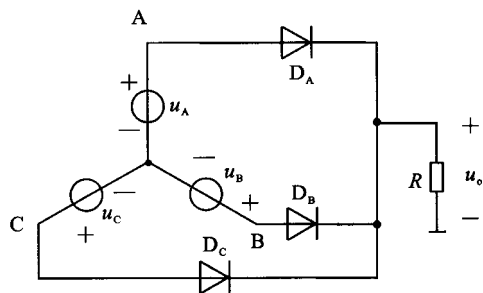


图 1.13 题 1.14 用图

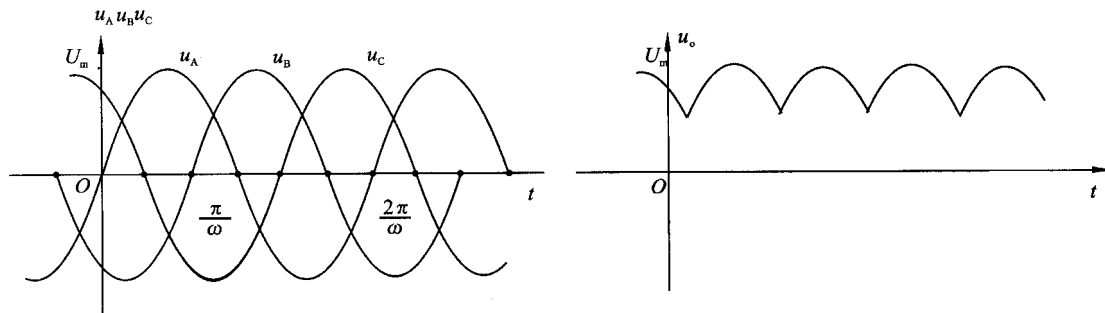


图 1.14 题 1.14 解图

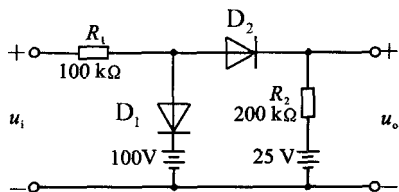


图 1.15 题 1.15 用图

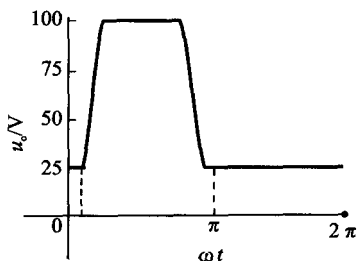
题 1.15 二极管电路如图 1.15 所示, 设输入信号 $u_i = 150\sin\omega t$ V, D_1, D_2 为理想二极管, 试画出输出电压 u_o 的波形, 标出电压数值, 并画出电压传输特性曲线。

解: 当 $u_i \leq 25$ V 时, D_1, D_2 均截止, $u_o = 25$ V。

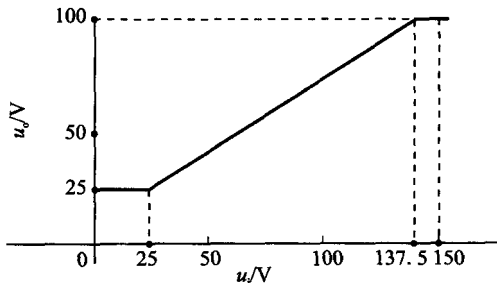
当 $25 \text{ V} < u_i$ 时, D_1 截止, D_2 导通, $u_o = \frac{u_i - 25}{300} \times 200 + 25 = \frac{2u_i}{3} + \frac{25}{3}$, 随着 u_i 增加, u_o 也增加。当 $u_i = 137.5$ V, $u_o = 100$ V, 此时 D_1 导通。

当 $u_i > 137.5$ V 时, D_1, D_2 导通, $u_o = 100$ V。

其输出电压 u_o 的波形和电压传输特性曲线如图 1.16(a), (b) 所示。



(a)



(b)

图 1.16 题 1.15 解图

题 1.16 图 1.17 电路中稳压二极管的稳压值 $U_Z = 6.8$ V, 稳定电流 $I_Z = 5$ mA, 动态电阻 $r_z = 20$ Ω, 反向饱和电流为 0.2 mA, 电源电压 U^+ 。

① $U^+ = 10 \pm 1$ V 且没有负载 R_L 时, 求 U_o ;

② $U^+ = 10 \pm 1$ V, $R_L = 2$ kΩ 时, 求 U_o ;

③ $U^+ = 10 \pm 1$ V, $R_L = 0.5$ kΩ 时, 求 U_o ;

④ 求使稳压二极管仍工作在稳压区的 $R_{L\min}$ 。

解: ① 无负载 R_L 时, 若 D_Z 工作在稳压区, 则 $U_Z = 6.8$ V。

$$I_Z = \frac{U^+ - U_Z}{R} = \left(\frac{10 - 6.8}{0.5} \right) \text{ mA} = 6.4 \text{ mA} > I_{Z\min}$$

故 D_Z 处于反向击穿状态, 则 $U_o = U_Z = 6.8$ V。

② 负载 $R_L = 2$ kΩ 时, 若设 D_Z 工作在稳压区, $U_Z = 6.8$ V。

$$R_L \text{ 分流: } \Delta I_Z = \frac{U_Z}{R_L} = \frac{6.8 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 3.4 \text{ mA},$$

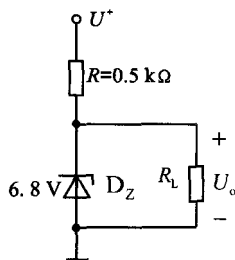


图 1.17 题 1.16 用图

$$I_Z = 6.4 \text{ mA} - \Delta I_Z = 3 \text{ mA}.$$

因为 $I_{Z\min} = 0.2 \text{ mA}$, 此时 $I_{Z\min} < I_Z$, D_Z 确实工作在稳压区, $\Delta U^+ = \pm 1 \text{ V}$, $r_z = 20 \Omega$,

$$\Delta U_o = \frac{r_z // R_L}{r_z // R_L + R} \cdot \Delta U^+ = \pm 38 \text{ mV}$$

即: $U_o = 6.8 \text{ V} \pm 38 \text{ mV}$.

③ 负载 $R_L = 500 \Omega$ 时, 若设 D_Z 工作在稳压区, $U_Z = 6.8 \text{ V}$.

R_L 分流: $\Delta I_Z = \frac{U_Z}{R_L} = \frac{6.8 \text{ V}}{500 \Omega} = 13.6 \text{ mA} > 6.4 \text{ mA}$, D_Z 工作在反向截止区, 此时流过二极管的反向电流 $I_S = 0.2 \text{ mA}$,

$$\frac{U^+ - U_o}{R} = I_S + \frac{U_o}{R_L}$$

$$U_o = 4.95 \text{ V}.$$

④ 要使 D_Z 工作在稳压区, 需满足在供电电源 U^+ 最低 ($U^+ = 9 \text{ V}$) 时流过 D_Z 的稳定电流大于 $I_{Z\min} = 0.2 \text{ mA}$ 。而由于 $U_Z = 6.8 \text{ V}$, $I_Z = 5 \text{ mA}$, 且已知 $r_z = 20 \Omega$, 故可求得: 此时的稳定电压值 $U_{Z\min} = 6.8 \text{ V} - 20 \Omega \times 5 \text{ mA} = 6.7 \text{ V}$, 从而由

$$\frac{U_{\min}^+ - U_{Z\min}}{R} = \frac{U_{Z\min}}{R_{L\min}} + I_{Z\min}$$

可求得: $R_{L\min} = 1.5 \text{ k}\Omega$ 。

题 1.17 试画出 PNP 型晶体三极管在发射结正偏、集电结反偏条件下, 内部载流子传输示意图。

解: PNP 型三极管在发射结正偏、集电结反偏条件下, 内部载流子传输如图 1.18 所示。

题 1.18 一个三极管的 $I_B = 10 \mu\text{A}$ 时, $I_C = 1 \text{ mA}$, 能否从这两个数据来确定它的放大倍数? 什么时候可以, 什么时候不可以?

解: 不能仅通过这两个数据确定三极管的放大倍数。

当三极管处于饱和区时, $I_C < \beta I_B$, 故不能确定; 当三极管处于放大区时, $I_C = \beta I_B$, 故可以确定。

题 1.19 PNP 型晶体三极管的 $I_{CBO} = 10 \mu\text{A}$, 工作在放大区且 $I_E = 3 \text{ mA}$ 时, $I_C = 2.98 \text{ mA}$ 。若连接成共射组态, 调整发射结电压, 使三极管工作在放大区且 $I_B = 30 \mu\text{A}$, 此时的 I_C 为多大?

解: 三极管工作在放大区时,

$$I_C = \alpha \cdot I_E + I_{CBO}$$

$$2.98 = 3 \times \alpha + 10 \times 10^{-3}$$

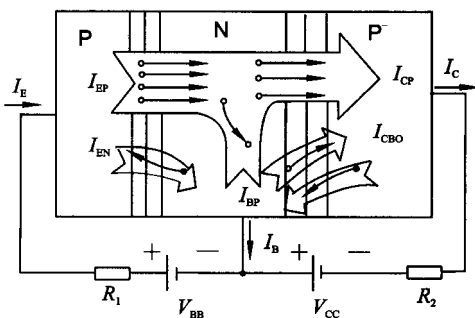


图 1.18 题 1.17 用图