



“十三五”普通高等教育本科规划教材

MONI DIANZI JISHU JICHU
XITI JIEXI

模拟电子技术基础 习题解析

李月乔 编



扫一扫

更多习题详解



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

模拟电子技术基础 习题解析

李月乔 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是与《“十三五”普通高等教育本科规划教材 模拟电子技术基础》(李月乔编)配套的习题解析。

本书内容上与主教材相对应,习题讲解步骤详细,每一道习题针对某一个知识点解析,既有对基本概念的训练,又有综合性的训练。本书部分习题的解析内容作为电子附件,以二维码形式通过手机客户端呈现。

本书可供普通高等院校电气类、自动化类相关专业电子技术课程师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础习题解析/李月乔编. —北京:中国电力出版社, 2017.1

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-9824-5

I. ①模… II. ①李… III. ①模拟电路—电子技术—高等学校—题解 IV. ①TN710-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第231090号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2017年1月第一版 2017年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 12.75印张 312千字

定价 28.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

模拟电子技术基础是高等学校理工科电类各专业的技术基础课,本书是为电类各专业的本科生学习模拟电子技术的基础知识而编写的,满足模拟电子技术的教学基本要求,符合课程教学大纲要求。

本书是与《“十三五”普通高等教育本科规划教材 模拟电子技术基础》(李月乔编)配套的习题解析。

本书在注重文字叙述解释的基础上,强调电路模型,训练学生掌握分析问题的一般方法,应用电路定律去列方程求解。本书内容上与主教材相对应,每一道习题针对某一个知识点解析,既有对基本概念的训练,又有综合性的训练。每一道习题的解答都非常详细,适合初学者,便于学生自学。本书部分习题的解析内容作为电子附件,以二维码形式通过手机客户端呈现。

在习题解答中引导学生将电路中的参考方向、三大定律、电位参考点的概念应用其中。基本概念和术语的定义明确而清晰,强调对非线性、某个工作点的直流电阻、某个工作点的交流电阻、直流通路、交流通路、直流负载线、交流负载线、虚短、虚断等基本概念的记忆和理解;强调图解法对理解放大电路的重要性,以便于学生深刻理解“小信号”的定义。

本书共分九章,第一章是半导体二极管及其应用电路;第二章是双极型三极管及其放大电路;第三章是场效应管及其放大电路;第四章是功率放大电路;第五章是集成运算放大器的基础;第六章是反馈放大电路;第七章是集成运算放大器的线性应用和非线性应用;第八章是信号产生电路;第九章是单相小功率直流稳压电源。

第一章解题过程中注重与电路理论课程的衔接,符合初学者的理论水平。习题 1-14、1-15、1-16 对稳压管电路中的限流电阻的确定进行了详细分析和计算,对于理解稳压管的应用、学习本书第九章直流稳压电源很有帮助。

第二章中习题 2-27 使用较大篇幅详细分析了射极偏置放大电路的图解法,如何求解最大不失真输出正弦电压的幅值,给出了为使静态工作点处于交流负载线的中央如何调整电路参数的方法。习题 2-28 详细分析了共集电极放大电路的图解法,如何求解最大不失真输出正弦电压的幅值,给出了为使静态工作点处于交流负载线的中央如何调整电路参数的方法。

在电子系统中放大电路是选用集成运放芯片的,而不是选用分立元件构成的放大电路。第五章中习题 5-22 详细分析了集成运算放大器芯片 LM324 的内部电路,详细分析了其工作原理,并给出了交流指标的计算,有助于学生进一步理解集成运算放大器,帮助学生提高在实际工作中选择运放芯片的能力。解题过程中强调直流通路、差模信号的交流通路、共模信号的交流通路的画法,注重应用电路定律列方程求解。

第六章的习题解答注重对基本概念的解释,画出交流通路,首先判断反馈的类型,再利用瞬时极性法判断反馈的极性,此时交流通路中不标注参考方向。对于深度负反馈,计算广义放大倍数时,需要标注参考方向,参考方向是可以任意标注的,为简单起见,可以将判断

反馈的极性所使用的交流通路中的瞬时真实方向作为参考方向，利用深度负反馈时净输入量为零，对反馈网络进行简化，列电路定律方程，求解广义放大倍数。

第七章中的习题 7-29、7-30、7-31 详细分析了模拟除法运算、乘方运算、开平方运算，用瞬时极性法分析了输入信号的极性。使用较大篇幅对一些有源滤波器电路进行了详细分析和计算。

本书由马永超主审。由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，殷切希望读者批评指正，并将意见和建议反馈给我们，邮箱地址为 lyqiao@ncepu.edu.cn。

编 者

2016 年 6 月

目 录

前言

第一章	半导体二极管及其应用电路	1
第二章	双极型三极管及其放大电路	23
第三章	场效应管及其放大电路	67
第四章	功率放大电路	91
第五章	集成运算放大器	99
第六章	反馈放大电路	119
第七章	集成运算放大器的线性应用和非线性应用	137
第八章	信号产生电路	169
第九章	单相小功率直流稳压电源	190

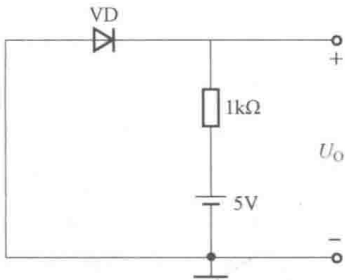
总码



第一章 半导体二极管及其应用电路

1-1 如题 1-1 图所示, 二极管采用下列模型时求输出电压 U_O 。

- (1) 二极管采用直流理想模型。
- (2) 二极管采用直流恒压降模型。
- (3) 二极管采用直流折线模型。



题 1-1 图

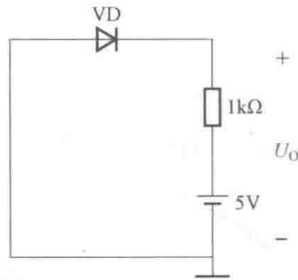


图 1-1-1

解: 在题 1-1 图中, 有 2 个小圈, 小圈的周围并没有数值, 且没有电源符号的省略, 所以这不是电路的简化画法。此处的小圈只是为了标注输出电压 U_O 方便, 表示若是要接负载电阻, 将在这两点之间连接。此处的小圈类似于设备的接线端子。图 1-1-1 是题 1-1 图的另一种画法, 这种画法与电路理论中电路的表示方法相同。

(1) 二极管采用直流理想模型。

在题 1-1 图中二极管使用直流理想模型, 得到的电路如图 1-1-2 所示。其中理想二极管的阳极一端用 a 标示, 阴极一端用 k 标示, 此处取直流电压源的负极为电位参考点。

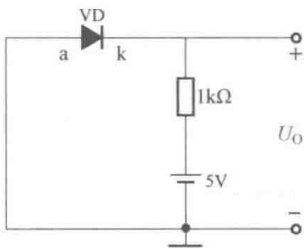


图 1-1-2

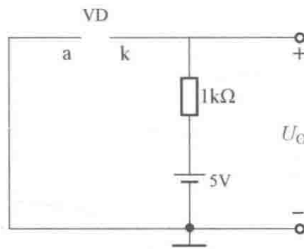


图 1-1-3

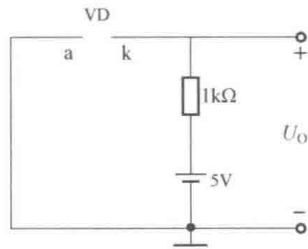


图 1-1-4

为了判断理想二极管的状态, 将图 1-1-2 中的理想二极管断开, 得到电路如图 1-1-3 所示。将理想二极管断开的这种判断方法是模拟了电路刚刚开始工作的瞬间。刚开始时, 二极管还只是一个处于动态平衡的 PN 结, 外加的电压产生的电场还没有起作用, 这时二极管没有电流流过, 相当于断路, 所以, 将二极管从电路中拿走的思路是有道理的。

在图 1-1-3 中, 求 a、k 之间的电位差。因为电路中没有回路, 所以没有电流, 电阻两端电压为 0, k 的电位为 +5V。二极管的阳极 a 和阴极 k 之间的电位差为 -5V, 小于 0, 符合理想二极管反偏的定义, 所以理想二极管反偏, 理想二极管处于截止状态。用断路代替图

1-1-2 中的理想二极管，得到等效电路如图 1-1-4 所示。分析图 1-1-4 所示的等效电路，得到输出电压 $U_O = +5V$ 。

(2) 二极管采用直流恒压降模型。

在题 1-1 图中二极管使用直流恒压降模型，得到电路如图 1-1-5 所示。

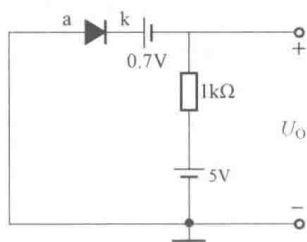


图 1-1-5

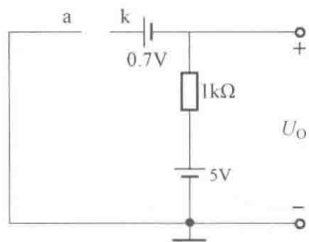


图 1-1-6

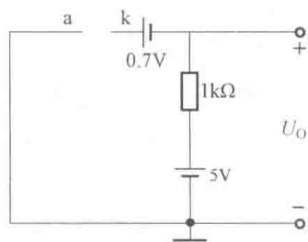


图 1-1-7

为了判断理想二极管的状态，将图 1-1-5 中的理想二极管断开，得到电路如图 1-1-6 所示。在图 1-1-6 中，求 a、k 之间的电位差。因为电路中没有回路，所以没有电流，电阻两端电压为 0，k 的电位为 $+5.7V$ 。二极管的阳极 a 和阴极 k 之间的电位差为 $-5.7V$ ，小于 0，符合理想二极管反偏的定义，所以理想二极管反偏，理想二极管处于截止状态。用断路代替图 1-1-5 中的理想二极管，得到等效电路如图 1-1-7 所示。分析图 1-1-7 所示的等效电路，得到输出电压 $U_O = +5V$ 。

(3) 二极管采用直流折线模型。

在题 1-1 图中二极管使用直流折线模型，得到电路如图 1-1-8 所示。

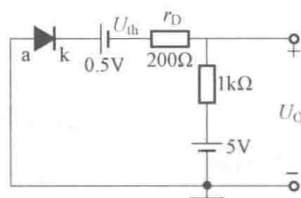


图 1-1-8

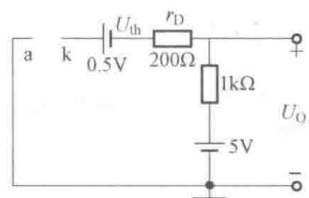


图 1-1-9

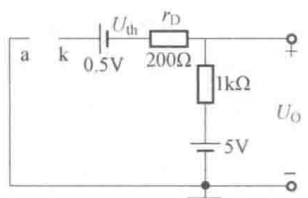


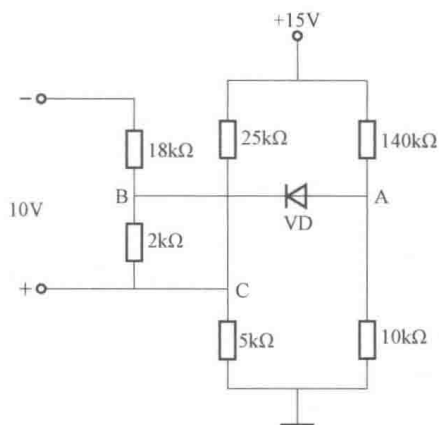
图 1-1-10

为了判断理想二极管的状态，将图 1-1-8 中的理想二极管断开，得到电路如图 1-1-9 所示。在图 1-1-9 中，求 a、k 之间的电位差。因为电路中没有回路，所以没有电流，电阻两端电压为 0，k 的电位为 $+5.5V$ 。二极管的阳极 a 和阴极 k 之间的电位差为 $-5.5V$ ，小于 0，符合理想二极管反偏的定义，所以理想二极管反偏，理想二极管处于截止状态。用断路代替图 1-1-8 中的理想二极管，得到等效电路如图 1-1-10 所示。分析图 1-1-10 所示的等效电路，得到输出电压 $U_O = +5V$ 。

电路中只有直流电压源，所以二极管采用直流模型。

1-2 判断题 1-2 图中二极管的工作状态，并求 A 点和 B 点的电位。二极管采用直流理想模型。

解：题 1-2 图中二极管使用直流理想模型，得到电路如图 1-2-1 所示。其中理想二极管的阳极一端用 A 标示，阴极一端用 B 标示。题 1-2 图中，电路取 $+15V$ 直流电压源的负极为电位参考点，此电路采用了习惯画法， $+15V$ 的直流电压源的符号省略，用小圈和旁边



题 1-2 图

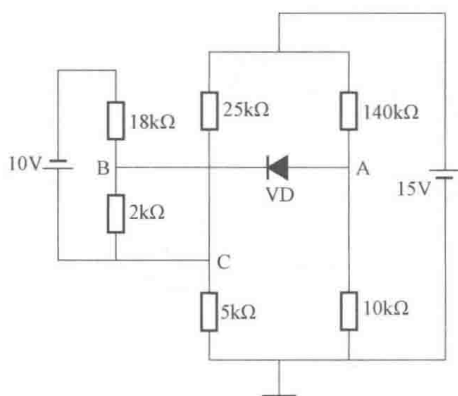


图 1-2-1

标注的+15V 来表示直流电压源,即小圈处和地之间有一个 15V 的直流电压源。题 1-2 图中,电路的左端也有两个小圈,两个小圈的左边标有 10V 和+、-号,这两个小圈类似于设备的两个端子,与前述小圈的含义不同,此处也表示这两个点之间有一个直流电压源。对于模拟电子技术课程的初学者,要重点体会这种电路的画法。

断开图 1-2-1 中的理想二极管 VD,得到电路如图 1-2-2 所示,电路中标注了 3 个电压的参考方向, $U_1 = -10\text{V}$ 。

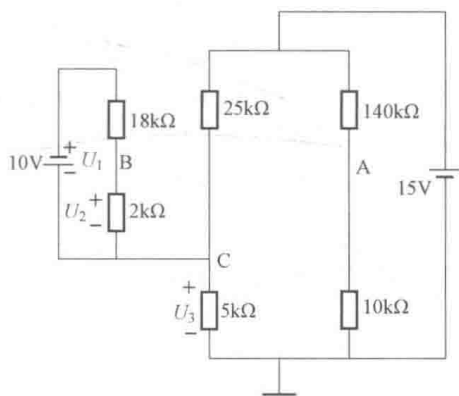


图 1-2-2

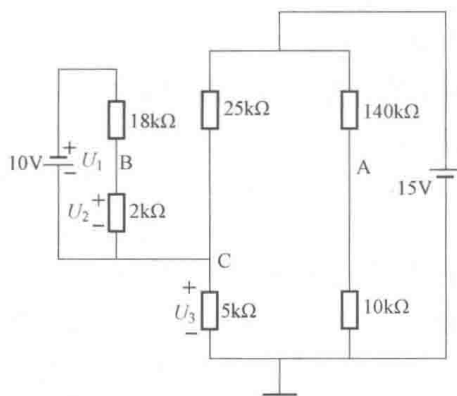


图 1-2-3

在图 1-2-2 中, A 点的电位 U_A 为

$$U_A = \frac{10}{10 + 140} \times 15 = +1(\text{V})$$

在图 1-2-2 中, B 点的电位 U_B 为

$$U_B = U_2 + U_3 = \frac{2}{18 + 2} U_1 + \frac{5}{5 + 25} \times 15 = \frac{2}{18 + 2} \times (-10) + 2.5 = +1.5(\text{V})$$

$$U_A - U_B = +1 - (+1.5) = -0.5(\text{V}) < 0(\text{V})$$

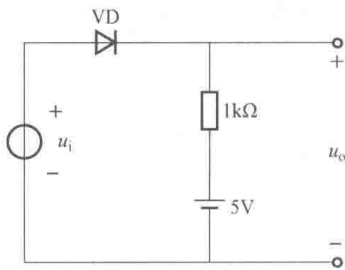
因为 $U_A < U_B$, 所以,理想二极管 VD 反偏,处于截止状态,等效电路如图 1-2-3 所示。

根据图 1-2-3 所示的等效电路分别求 A 点和 B 点的电位

$$U_A = \frac{10}{10 + 140} \times 15 = +1(\text{V})$$

$$U_B = U_2 + U_3 = \frac{2}{18+2}U_1 + \frac{5}{5+25} \times 15 = \frac{2}{18+2} \times (-10) + 2.5 = +1.5(\text{V})$$

1-3 如题 1-3 图所示, 已知输入电压 $u_i = 10\sin\omega t$ (V), 试分析输出电压 u_o 的波形。设二极管是理想二极管。



题 1-3 图

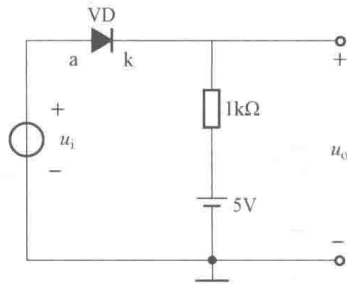


图 1-3-1

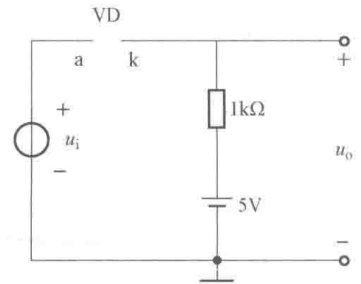


图 1-3-2

解: 题 1-3 图中有 4 个元器件, 其中有 2 个为电压源, 1 个为直流电压源, 另一个为正弦交流电压源, 电路中直流电压源和交流电压源共存。问题的关键在于, 二极管应该采用直流模型还是交流模型。电压源 $u_i = 10\sin\omega t$ (V) 的单位为伏, 峰峰值有 20V, 这样大的变化范围对二极管来说是不能采用其交流模型来分析问题的, 即不能采用叠加原理将直流电压源和交流电压源分开单独作用于电路这样的分析方法。

当 $u_i = 10\sin\omega t$ (V) 在正峰值 (+10V) 的时刻, 二极管是正偏的, 当 $u_i = 10\sin\omega t$ (V) 在负峰值 (-10V) 的时刻, 二极管是反偏的, 而且反偏电压的值为 15V, 所以此电路中虽然有直流电压源和交流电压源同时存在, 分析可知, 在 $u_i = 10\sin\omega t$ (V) 变化的一个周期内, 二极管的工作点沿着伏安特性曲线从第一象限运动到第三象限, 动态工作范围比较大, 不能用直线段近似代替, 所以此题中的 $u_i = 10\sin\omega t$ (V) 输入交流信号不能认为是小信号, 不能采用直流和交流分开求解的方法, 必须直流和交流统一考虑, 也就是要分析计算不同时刻点的二极管的工作情况。所以二极管采用直流模型, 题目中给定假设二极管是理想的二极管, 所以二极管采用直流理想模型。

在题 1-3 图中, 将二极管用直流理想模型代替, 理想二极管的阳极用 a 表示, 阴极用 k 表示, 取 5V 直流电压源的负极为电位参考点, 规定电位参考点的电位为 0, 得到电路如图 1-3-1 所示。为了判断图 1-3-1 中理想二极管的状态, 断开其中的理想二极管, 得到电路如图 1-3-2 所示。

在图 1-3-2 中, 求 a 点和 k 点之间的电位差。因为电路中没有回路, 所以没有电流, 电阻两端电压为 0, a 点的电位为 u_i , k 点的电位为 +5V。

当 $u_i > +5\text{V}$ 时, 理想二极管正偏, 处于正向导通状态, 用理想的导线代替它, 等效电路如图 1-3-3 所示, 所以输出电压 $u_o = u_i$ 。当 $u_i < +5\text{V}$ 时, 理想二极管反偏, 处于反偏截止状态, 相当于断路, 等效电路如图 1-3-4 所示, 输出电压 $u_o = +5\text{V}$ 。输入电压 u_i 和输出电压 u_o 的波形如图 1-3-5 所示。

再次强调一下, 本题中有一个正弦交流电压源, 此“交流”的含义与电工学中“交流”的含义相同, 此处与非线性电阻的定义中“交流小信号电阻”的“交流”是不一样的, 希望读者注意理解。所以本题中, 二极管仍然选用了其直流模型, 而不是交流小信号模型。二极管的直流模型有时也称为大信号模型。

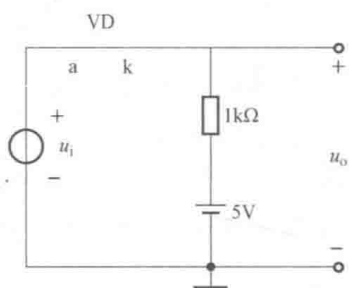


图 1-3-3

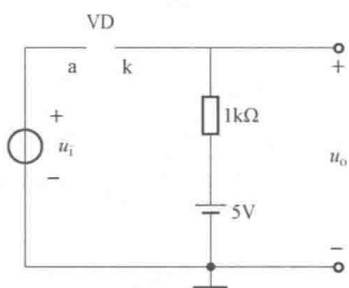


图 1-3-4

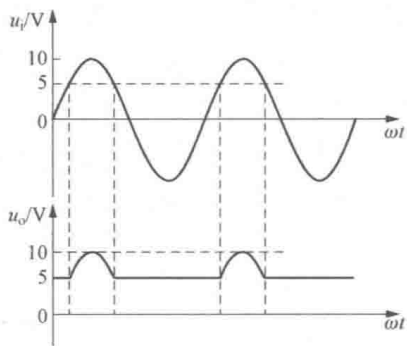
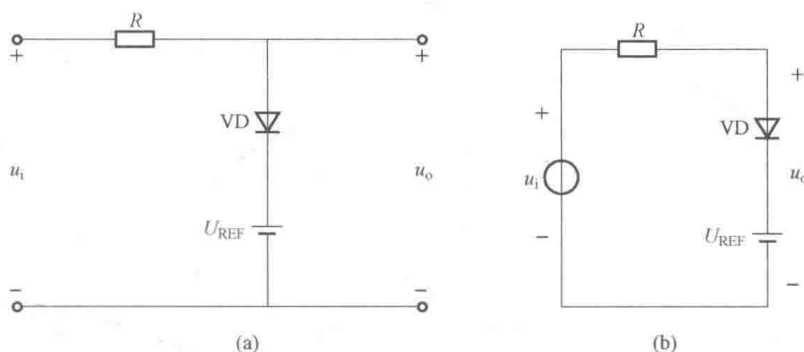


图 1-3-5

1-4 若二极管采用直流理想模型，当输入为正弦信号 $u_i = 6\sin\omega t$ (V) 时，求解题 1-4 图所示的限幅电路的输出电压波形。



题 1-4 图

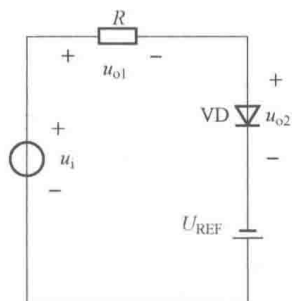
解：



1-5 如题 1-5 图所示，已知 $R = 10\text{k}\Omega$ ， $U_{\text{REF}} = 10\text{V}$ ，当输入电压 u_i 为正弦波 $u_i = 6\sin\omega t$ (mV) 时，画出电阻两端电压 u_{o1} 的波形、二极管两端电压 u_{o2} 的波形并与配套教材中 [例 1-4-3] 的求解方法做对比。

解：本题的电路与本书配套教材中 [例 1-4-3] 的电路结构完全相同，唯一不同的是输入正弦波的峰值不同。前者单位为伏，而此题中的正弦波 $u_i = 6\sin\omega t$ (mV) 的单位为毫伏。

题 1-5 图中有 4 个元器件，其中有 2 个为电压源，1 个为直流电压源，另一个为正弦交流电压源，电路中直流电压源和交流电压源共存。问题的关键在于，二极管应该采用直流模型还是交流模型。电压源 $u_i = 6\sin\omega t$ (mV) 的单位为毫伏，峰峰值只有 12mV，二极管的端电压在一个直流量的基础上叠加了很小的变化成分，在 $u_i = 6\sin\omega t$ (mV) 变化的一个周期内，二极管的工作点



题 1-5 图

沿着伏安特性曲线只在第一象限运动, 动态工作范围比较小, 可以用直线段近似代替, 所以此题中的 $u_i = 6\sin\omega t$ (mV) 输入交流信号可以认为是小信号, 可以采用直流和交流分开求解的方法。

分析题 1-5 图对应的直流通路, 直流通路的画法如下: 交流小信号电压源 u_i 短路, 保留线性电阻, 保留电压源 U_{REF} , 保留二极管, 得到如图 1-5-1 所示的直流通路。

在图 1-5-1 所示的直流通路中, 二极管用直流恒压降模型代替, 理想二极管的阳极用 a 表示, 阴极用 k 表示, 取 U_{REF} 直流电压源的负极为电位参考点, 规定电位参考点的电位为 0, 得到电路如图 1-5-2 所示。为了判断图 1-5-2 中理想二极管的状态, 断开其中的理想二极管, 可知理想二极管导通, 用理想的导线代替, 得到直流通路的等效电路如图 1-5-3 所示。

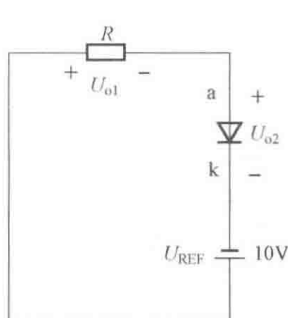


图 1-5-1

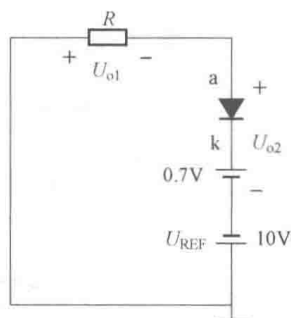


图 1-5-2

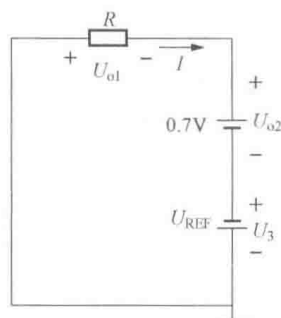


图 1-5-3

在图 1-5-3 中, 应用基尔霍夫电压定律 (KVL), 有 $+U_{o1} + U_{o2} + U_3 = 0$ 。观察电路可知, $U_{o2} = +0.7\text{V}$, $U_3 = -10\text{V}$ 。得到电阻 R 两端的直流电压为

$$U_{o1} = -U_{o2} - U_3 = -(+0.7) - (-10) = +9.3(\text{V})$$

二极管两端直流电压 $U_{o2} = +0.7\text{V}$ 。

在图 1-5-3 中, 对电阻 R 应用欧姆定律, $U_{o1} = +IR$, 得出流过二极管的直流电流 $I =$

$$\frac{U_{o1}}{R} = \frac{9.3}{10} = +0.93 (\text{mA})。$$

分析题 1-5 图对应的交流通路, 交流通路的画法如下: 保留交流小信号电压源 u_i , 保留线性电阻, 将直流电压源 U_{REF} 短路, 保留二极管, 得到如图 1-5-4 所示的交流通路。

在图 1-5-4 所示的交流通路中, 二极管用交流小信号模型代替, 得到小信号等效电路如图 1-5-5 所示。求出二极管 Q 点的交流小信号电阻为 $r_d = \frac{26}{I} = \frac{26}{0.93} = 27.96 (\Omega) = 0.02796\text{k}\Omega$ 。

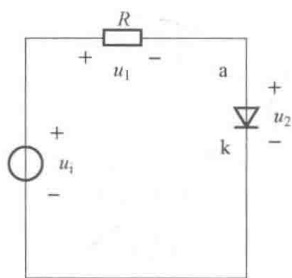


图 1-5-4

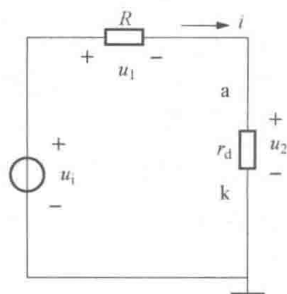


图 1-5-5

在图 1-5-5 中, 电阻 R 两端的交流电压为

$$u_1 = \frac{R}{r_d + R} u_i = \frac{10}{0.02796 + 10} \times 6 \sin \omega t = 5.983 \sin \omega t \text{ (mV)}$$

在图 1-5-5 中, 二极管两端的交流电压为

$$u_2 = \frac{r_d}{r_d + R} u_i = \frac{0.02796}{0.02796 + 10} \times 6 \sin \omega t = 0.017 \sin \omega t \text{ (mV)}$$

电阻 R 两端的电压 u_{o1} 是其直流电压和交流电压之和, 二极管两端的电压 u_{o2} 是其直流电压和交流电压之和。 u_{o1} 、 u_{o2} 的表达式为

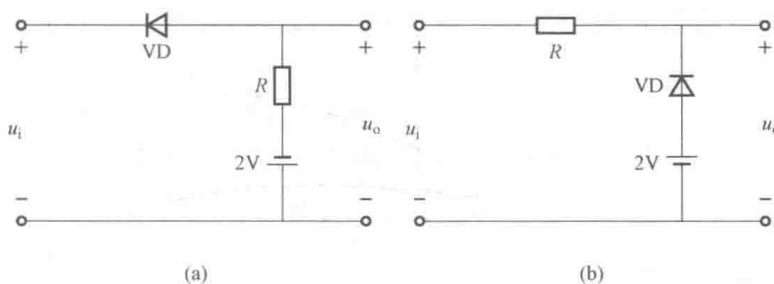
$$u_{o1} = U_{o1} + u_1 = 9300 + 5.983 \sin \omega t \text{ (mV)}$$

$$u_{o2} = U_{o2} + u_2 = 700 + 0.017 \sin \omega t \text{ (mV)}$$

画出的波形图如图 1-5-6 所示。

1-6 硅二极管限幅电路如题 1-6 图所示, $R = 10 \text{ k}\Omega$, 若 $u_i = 5 \sin \omega t \text{ (V)}$, 试画出 u_o 的波形。

- (1) 二极管采用直流理想模型。
- (2) 二极管采用直流恒压降模型。
- (3) 二极管采用直流折线模型。



题 1-6 图

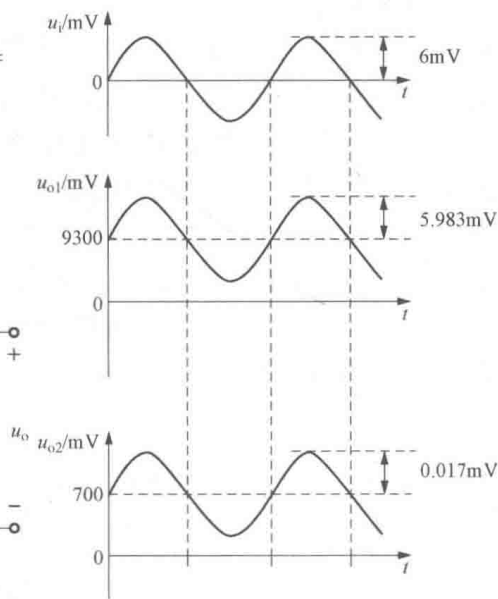
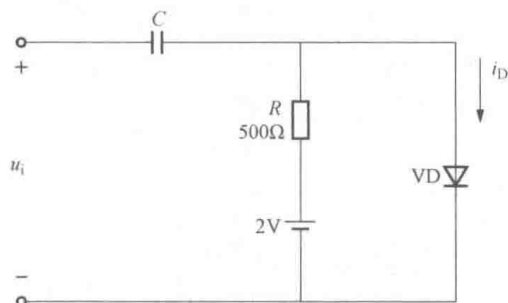


图 1-5-6

解:



题 1-7 图

1-7 电路如题 1-7 图所示, 输入电压源 $u_i = 10\sqrt{2} \sin \omega t \text{ (mV)}$, 电容 C 对交流信号可近似视为短路, 求二极管中流过的交流电流的有效值。

解: 在题 1-7 图中, 直流电压源和交流电压源同时存在, 当 $u_i = 10\sqrt{2} \sin \omega t \text{ (mV)}$ 在正峰值 ($10\sqrt{2} \text{ mV}$) 的时刻, 二极管是正偏的, 当 $u_i = 10\sqrt{2} \sin \omega t \text{ (mV)}$ 在负峰值 ($-10\sqrt{2} \text{ mV}$) 的时刻, 二极管也是正偏的。分析可知, 在 $u_i = 10\sqrt{2} \sin \omega t \text{ (mV)}$

变化的一个周期内,二极管的工作点永远在伏安特性曲线上的第一象限,而且工作点的动态范围比较小,可以用直线段近似代替曲线段,所以此题中的 $u_i = 10\sqrt{2}\sin\omega t$ (mV) 输入交流信号是小信号,可以采用直流和交流分开求解的方法,这样就不用分析很多时刻点的二极管的工作情况了,简化了计算,只要用二极管的交流小信号模型就可以解决问题。

画出题 1-7 图对应的直流通路。直流通路是直流电流流通的路径。直流通路中的元件是各元件对直流电流的反应。对于直流电流而言,理想的交流电压源是短路的,因为理想的交流电压源可以通过直流电流,但是其两端不落直流压降,所以是短路的;对于直流电流而言,电容是开路的,因为直流电流不能流过电容;对于直流电流而言,线性电阻保留,因为直流电流可以流过线性电阻,根据定义,此时的电阻是其直流电阻;对于直流电流而言,直流电压源保留,因为直流电压源是产生直流电流的源头;对于直流电流而言,二极管保留,因为直流电流可以流过二极管。根据上述画出直流通路的方法,得到题 1-7 图对应的直流通路,如图 1-7-1 所示。将多余的线条去掉,取电位参考点,得到更为简洁的直流通路,如图 1-7-2 所示。在图 1-7-2 中,二极管用直流恒压降模型代替,得到电路如图 1-7-3 所示。阳极一端用 a 点标示,阴极一端用 k 点标示,取直流电压源的负极作为电位参考点。在图 1-7-3 中,为了判断理想二极管的状态,断开理想二极管,得到电路如图 1-7-4 所示。在图 1-7-4 中, $U_{ak} = 2 - 0.7 = +1.3$ (V) > 0 V,所以理想二极管正偏,导通,用理想的导线代替理想二极管,画出等效电路如图 1-7-5 所示。

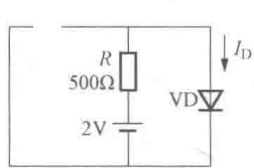


图 1-7-1

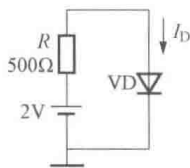


图 1-7-2

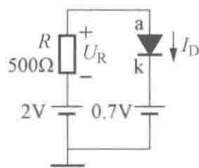


图 1-7-3

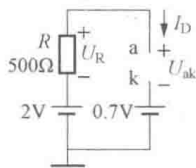


图 1-7-4

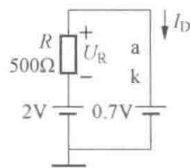


图 1-7-5

在图 1-7-5 中,对电阻应用欧姆定律,得 $U_R = -I_D R$ 。

流过二极管的直流电流为

$$I_D = -\frac{U_R}{R} = -\frac{(+0.7) - (+2)}{0.5} = +2.6 \text{ (mA)}$$

画出题 1-7 图对应的交流通路。交流通路是交流电流流通的路径。交流通路中的元件是各元件对交流电流的反应。对于交流电流而言,理想的交流电压源保留,因为理想的交流电压源是产生交流电流的源头;对于交流电流而言,电容是短路的,如果交流信号的频率足够大,电容的容量足够大,那么电容的容抗就足够小,可以近似认为是 0,所以电容是短路的;对于交流电流而言,线性电阻保留,因为交流电流可以流过线性电阻,根据定义,此时的电阻是其交流电阻;对于交流电流而言,直流电压源是短路的,因为理想的直流电压源可以通过交流电流,但是其两端不落交流压降,所以是短路的;对于交流电流而言,二极管保留,因为交流电流可以流过二极管。根据上述画出交流通路的方法,得到题 1-7 图对应的交流通路,如图 1-7-6 所示。在图 1-7-6 中,二极管用其交流小信号模型代替,得到小信号的等效电路如图 1-7-7 所示。二极管的交流电阻 $r_d = \frac{U_T}{I_D} = \frac{26}{2.6} = 10$ (Ω),其中 I_D 为流过

二极管的直流电流。

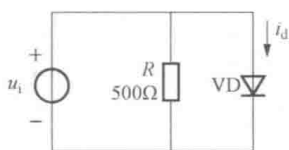


图 1-7-6

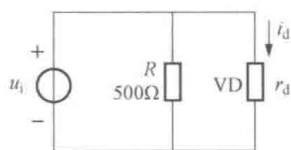


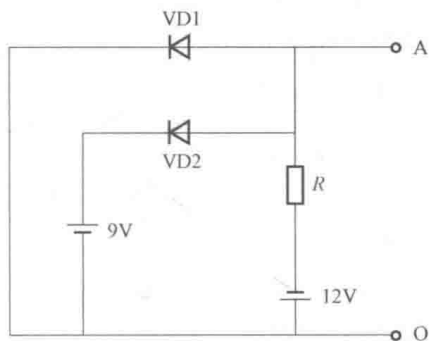
图 1-7-7

在图 1-7-7 中, 对电阻 r_d 应用欧姆定律, $u_i = +i_d r_d$, 得到 $i_d = \frac{u_i}{r_d}$ 。

$$i_d = \frac{u_i}{r_d} = \frac{10\sqrt{2}\sin\omega t}{10} = \sqrt{2}\sin\omega t \text{ (mA)}$$

1-8 电路如题 1-8 图所示, 判定二极管是否导通并计算 U_{AO} , 二极管采用直流理想模型。

解: 在题 1-8 图中二极管使用直流理想模型, 得到电路如图 1-8-1 所示。其中两个理想二极管的阳极一端分别用 a1 和 a2 标示, 阴极一端分别用 k1 和 k2 标示, 任取一点为电位参考点, 此处取 12V 直流电压源的正极为电位参考点。规定电位参考点的电位为 0。在图 1-8-1 中, 为了判断理想二极管的状态, 同时断开这两个理想二极管, 得到电路如图 1-8-2 所示。



题 1-8 图

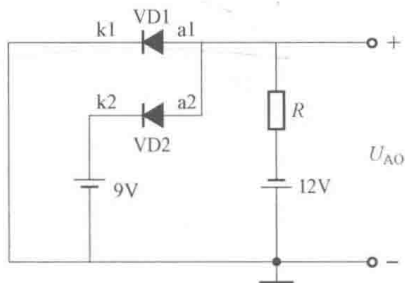


图 1-8-1

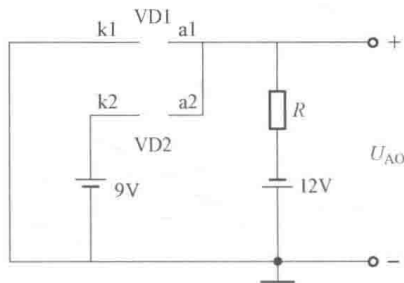


图 1-8-2

在图 1-8-2 中, 求 a1、k1 之间的电位差, 求 a2、k2 之间的电位差。因为图 1-8-2 所示的电路中没有回路, 所以没有电流流通, 电阻两端电压为 0, 所以 a1、a2 的电位均为 -12V 。

a1、k1 之间的电位差为

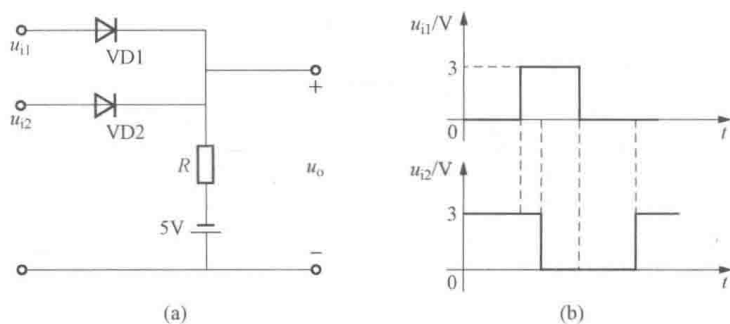
$$U_{a1} - U_{k1} = (-12) - 0 = -12(\text{V}) < 0(\text{V})$$

a2、k2 之间的电位差为

$$U_{a2} - U_{k2} = (-12) - 9 = -21(\text{V}) < 0(\text{V})$$

VD1 和 VD2 均截止, 等效电路与图 1-8-2 相同。 $U_{AO} = -12\text{V}$ 。

1-9 在题 1-9 图 (a) 所示电路中, 硅二极管采用直流恒压降模型。已知输入电压 u_{i1} 、 u_{i2} 的波形如题 1-9 图 (b) 所示, $R = 3\text{k}\Omega$ 。试画出 u_o 的波形。



题 1-9 图

解：题 1-9 (a) 图中二极管使用直流恒压降模型，得到电路如图 1-9-1 所示。其中两个理想二极管的阳极一端分别用 a1 和 a2 标示，阴极一端分别用 k1 和 k2 标示，任取一点为电位参考点，此处取直流电压源的正极为电位参考点。规定电位参考点的电位为 0。同时断开图 1-9-1 中的两个理想二极管，得到电路如图 1-9-2 所示。

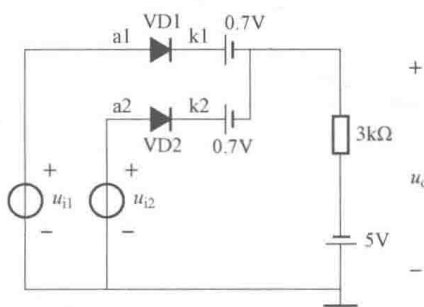


图 1-9-1

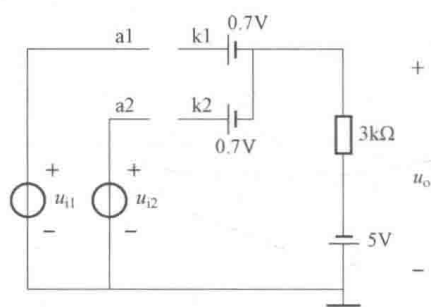


图 1-9-2

在图 1-9-2 中，求 a1、k1 之间的电位差，求 a2、k2 之间的电位差。因为图 1-9-2 所示的电路中没有回路，所以没有电流流通，电阻两端电压为 0，所以 k1、k2 的电位均为 $-4.3V$ 。

a1、k1 之间的电位差为

$$U_{a1} - U_{k1} = u_{i1} - (-4.3) = u_{i1} + 4.3$$

a2、k2 之间的电位差为

$$U_{a2} - U_{k2} = u_{i2} - (-4.3) = u_{i2} + 4.3$$

在题 1-9 (b) 中，输入电压 u_{i1} 、 u_{i2} 共有四种组合，下面分别进行分析。

(1) $u_{i1} = 0V$ 、 $u_{i2} = +3V$ 。

图 1-9-2 中，a1、k1 之间的电位差为

$$U_{a1} - U_{k1} = u_{i1} - (-4.3) = 0 + 4.3 = +4.3(V)$$

图 1-9-2 中，a2、k2 之间的电位差为

$$U_{a2} - U_{k2} = u_{i2} - (-4.3) = 3 + 4.3 = +7.3(V)$$

理想二极管 VD2 承受的外加电场强，所以 VD2 先导通、VD1 不定。将先导通的理想二极管 VD2 用理想的导线代替，VD2 先导通后改变了电路的拓扑结构，所以二极管 VD1 的状态需要再进一步判断。此时电路就转变成了只有一个理想二极管 VD1 的电路，如图 1-9-3 所示。

为了判断 VD1 的状态, 将图 1-9-3 中理想二极管 VD1 断开, 电路如图 1-9-4 所示。

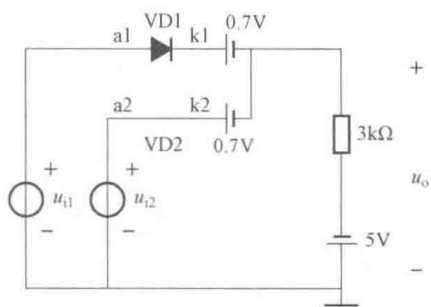


图 1-9-3

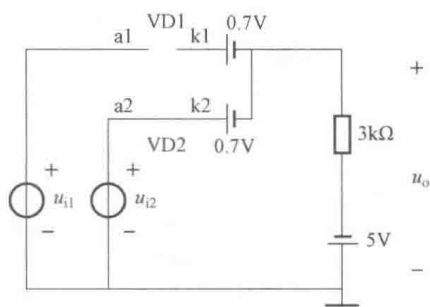


图 1-9-4

在图 1-9-4 中, a1、k1 之间的电位差为

$$U_{a1} - U_{k1} = u_{i1} - (+3) = u_{i1} - 3 = 0 - 3 = -3(\text{V}) < 0(\text{V})$$

所以 VD1 反偏, 截止, 用断路代替理想二极管。

在输入 $u_{i1} = 0\text{V}$ 、 $u_{i2} = +3\text{V}$ 的情况下, 等效电路与图 1-9-4 相同。VD2 导通, VD1 截止。 $u_o = u_{i2} - 0.7 = 3 - 0.7 = +2.3(\text{V})$ 。

(2) $u_{i1} = +3\text{V}$ 、 $u_{i2} = +3\text{V}$ 。

图 1-9-2 中, a1、k1 之间的电位差为

$$U_{a1} - U_{k1} = u_{i1} - (-4.3) = u_{i1} + 4.3 = 3 + 4.3 = +7.3(\text{V})$$

图 1-9-2 中, a2、k2 之间的电位差为

$$U_{a2} - U_{k2} = u_{i2} - (-4.3) = u_{i2} + 4.3 = 3 + 4.3 = +7.3(\text{V})$$

两个电压完全相同, 所以理想二极管 VD2 和理想二极管 VD1 同时导通, 用理想的导线代替, 得到 $u_{i1} = +3\text{V}$ 、 $u_{i2} = +3\text{V}$ 情况下的等效电路, 如图 1-9-5 所示, $u_o = u_{i2} - 0.7 = 3 - 0.7 = +2.3(\text{V})$ 。

(3) $u_{i1} = +3\text{V}$ 、 $u_{i2} = 0\text{V}$ 。

图 1-9-2 中, a1、k1 之间的电位差为

$$\begin{aligned} U_{a1} - U_{k1} &= u_{i1} - (-4.3) = u_{i1} + 4.3 \\ &= 3 + 4.3 = +7.3(\text{V}) \end{aligned}$$

图 1-9-2 中, a2、k2 之间的电位差为

$$U_{a2} - U_{k2} = u_{i2} - (-4.3) = u_{i2} + 4.3 = 0 + 4.3 = +4.3(\text{V})$$

理想二极管 VD1 承受的外加电场强, 所以 VD1 先导通、VD2 不定。将先导通的理想二极管 VD1 用理想的导线代替, VD1 先导通后改变了电路的拓扑结构, 所以二极管 VD2 的状态需要再进一步判断。此时电路就转变成了只有一个理想二极管 VD2 的电路, 如图 1-9-6 所示。为了判断 VD2 的状态, 将理想二极管 VD2 断开, 电路如图 1-9-7 所示。

在图 1-9-7 中, a2、k2 之间的电位差为

$$U_{a2} - U_{k2} = u_{i2} - u_{i1} = 0 - (+3) = -3(\text{V}) < 0(\text{V})$$

所以 VD2 反偏, 截止, 用断路代替理想二极管。

在输入 $u_{i1} = +3\text{V}$ 、 $u_{i2} = 0\text{V}$ 的情况下, 等效电路与图 1-9-7 相同。VD1 导通, VD2 截止。 $u_o = u_{i1} - 0.7 = 3 - 0.7 = +2.3(\text{V})$ 。

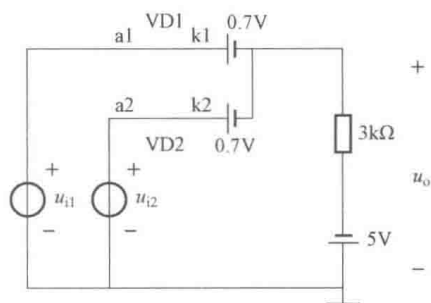


图 1-9-5