

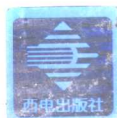
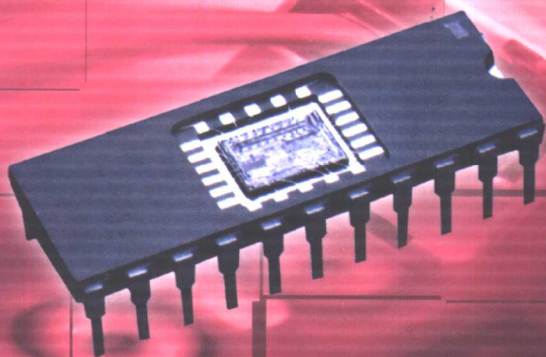
21世纪

高等学校电子信息类系列教材

《模拟电子技术基础》

教、学指导书

■ 孙肖子 张企民 编著



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

★ 21 世纪高等学校电子信息类系列教材

《模拟电子技术基础》 教、学指导书

孙肖子 张企民 编著

西安电子科技大学出版社

2002

内 容 简 介

本书是配合西安电子科技大学孙肖子、张企民编著的《模拟电子技术基础》教材而编写的教、学指导书。其主要内容包括《模拟电子技术基础》教材使用指南(教材特点、教学方法、重点与难点等),建议的授课学时数分配,各章习题解答,以及计算机仿真 EDA 软件(EWB)的使用简介等。希望本书对从事模拟电子线路教、学的老师、同学、考研者和自学人员能有所帮助。

图书在版编目(CIP)数据

《模拟电子技术基础》教、学指导书/孙肖子等编著.

西安:西安电子科技大学出版社,2002.9

21 世纪高等学校电子信息类系列教材

ISBN 7-5606-1140-0

I. 模... II. 孙... 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(2002)第 039253 号

责任编辑 云立实 龙晖

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)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 7.375

字 数 169 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 8.00 元

ISBN 7-5606-1140-0/TN·0204

XDUP 1411001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志,无标志者不得销售。

前 言

本书是配合西安电子科技大学电子工程学院孙肖子、张企民老师编著的《模拟电子技术基础》教材而编写的教、学指导书。其目的是帮助从事电子线路和电子技术基础课教学的教师更好地实施教学，开展互相交流和教学研究，以期进一步提高教学质量；帮助学习“模拟电子技术基础”课程的同学、考研者以及自学人员更好地掌握课程内容。

本书内容主要包括：

- (1) 《模拟电子技术基础》教材的使用说明，学习方法，各章重点与难点。
- (2) 《模拟电子技术基础》实施教学的学时数分配。
- (3) 各章习题解答。
- (4) 计算机仿真软件《Electronic Workbench》使用简介。

本书习题解答部分的第一、二、四章由张企民老师编写，其他部分由孙肖子老师编写。冯涛同志帮助编排了第四部分。云立实编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动。对于帮助过我们的老师和同学在此表示衷心的感谢。

作者希望本书的出版对广大教师、同学、有志考研者以及自学人员能有所帮助。

由于时间和水平所限，书中可能存在许多不足之处，请广大读者指正。

编 者

2002年5月于西安

目 录

第一部分	《模拟电子技术基础》教材使用说明	1
第二部分	《模拟电子技术基础》(建议)授课学时数分配	5
第三部分	各章习题解答	6
第一章	晶体二极管及其基本电路	6
第二章	双极型晶体管及其放大电路	12
第三章	场效应管及其基本电路	32
第四章	集成运算放大器电路	36
第五章	频率响应	44
第六章	反馈	52
第七章	模拟集成电路系统	66
第八章	现代模拟集成电路技术	86
第九章	功率电路及系统	91
第四部分	计算机仿真软件《Electronic Workbench》使用简介	100
参考文献		111

第一部分 《模拟电子技术基础》教材使用说明

(一) 本课程特点及教学方法

《模拟电子技术基础》是一门介绍电子器件、电子电路和电子技术应用的专业基础课程。其特点是将电路理论扩展到包含有源器件(晶体管、场效应管、集成运放、比较器等)的电子电路中,概念性、工程性、实践性都很强,初学者因不适应而倍感困难。在教学中应根据课程的新特点,引导学生“注重物理概念”,“采用工程观点”,“重视实验技术”,“善于总结对比”,“寻找内在规律”,以期较好、较快地掌握器件与电路的基本工作原理和基本分析方法,并具备本课程学习后所应有的基本工程设计能力。

因教学总学时数有限,本教材采用“管路结合”、“以路为主”的方式。对于器件,要注重物理概念,掌握电流、电压的控制特性。对于电路,要注重电路的组成原理,元件对性能的影响以及工程近似估算方法。并将教学重点尽快转移到集成电路的原理和应用方面上。

要引导学生善于应用现代 EDA 工具来分析和设计电路,以进一步加深对课程内容的理解与掌握。

(二) 各章的重点、难点及深广度要求

1. 晶体二极管及其基本电路

(1) 明确指出半导体导电特性与温度、光照、掺杂关系极大。

(2) 从硅、锗的原子结构及共价键概念入手,点明本征半导体、N 型半导体、P 型半导体的特点,多子、少子、电中性的概念,漂移电流和扩散电流的区别。

(3) 沿着浓度差→扩散→内建电场产生→漂移→扩散力与漂移力达到动态平衡的路线,讲明 PN 结的形成原理。

(4) 突出 PN 结及晶体二极管的单向导电性能,深刻理解并牢记指数特性(即 $i = I_s(e^{\frac{u}{V_T}} - 1)$)。了解 PN 结及晶体二极管的温度特性、击穿特性以及电容特性。

(5) 重点介绍二极管在限幅、整流、电平选择等方面的应用。教会学生判断二极管导通或截止的方法。

(6) 讲清稳压管的特点、电路以及应用中如何选择限流电阻的原则,而公式(1-13)、(1-14)、(1-15)则不必推导,也不必记住。

(7) “其它二极管简介”一节可不讲。变容二极管可在讲 PN 结电容特性(势垒电容部分)时点到为止。其余内容供同学们参考和自学。

本章的难点是概念太多,如扩散电流、扩散电容、齐纳击穿等概念较难理解,教学中

要密切联系应用背景,以引起同学们的学习兴趣。

2. 双极型晶体管及其放大电路

(1) 深刻理解晶体管内部的电流分配关系,指数电流方程($i_C \approx i_E \approx I_S e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$),共射输入及输出特性曲线,以及参数 β 、 α 、 r_{ce} 、 g_m 的含义。

(2) 理解晶体管放大器的组成原理,各元件的作用;掌握静态工作点的估算方法以及工作状态(放大、截止、饱和)的判断原则;了解图解分析法的意义(简单电路的直流负载线、交流负载线,非线性失真的判断,动态范围的确定等)。

(3) 掌握晶体管及放大电路的简化小信号模型(包括受控源用 βI_b 和 $g_m \dot{U}_{be}$ 表示的两种等效电路)。用小信号模型分析共射电路(反相放大器)、共集电路(电压跟随器)、共基电路(电流跟随器)的增益、输入输出阻抗等性能指标。指出三种组态电路的特点及应用场合。这部分内容是全书的基础,是重中之重。

(4) 放大器级联的电平配置原则(保证各级均工作在放大区,输入级信号小,工作点可低一些,而输出级信号大,工作点可高一些)。增益的计算:总增益为各级增益之乘积。计算各级增益时可有两种方法计入互相之间的影响:一种是将后级视为前级的负载,另一种是将前级视为后级的信号源。一般情况下,采用前一种方法比较好。

多级放大器的主放大器一般采用共射组态,要求输入电阻在 $1\text{ M}\Omega$ 以上,一般采用带自举的共集电路或场效应管放大器作输入级;当负载很重时(即负载电阻小,负载电容大)采用共集电路作输出级。若要求高频特性好,则采用共射—共基—共集级联电路。

3. 场效应管及其基本电路

(1) 了解 MOS 和结型场效应管的工作原理,平方律电流方程,转移特性及输出特性曲线,参数 g_m 、 r_{ds} 的含义。

(2) 掌握场效应管及其放大器的小信号模型,主要性能指标与元件之间的关系,共源、共漏、共栅放大器的特点。

(3) 对比晶体管放大器和场效应管放大器的异同点。

4. 集成运算放大器电路

(1) 了解集成运放的重要组成电路之一——恒流源电路(包括简单电流镜、改进型电流镜、比例电流源、微电流源、威尔逊电流源、电流源组以及 MOS 管镜像电流源等)的原理。

(2) 掌握差动放大器原理,差模增益、共模抑制比的计算,元件值及电路结构对二者的影响。

(3) 了解差动放大器的差模传输特性、线性动态范围以及展宽动态范围的方法。

(4) 了解运算放大器输出级的特点、互补跟随器的原理、克服交越失真的方法等。

(5) 了解运算放大器主要参数的含义,包括 A_{ud} 、 K_{CMR} 、 R_i ,失调电流和失调电压,带宽及压摆率等,为将来正确选择运放型号提供依据。

5. 频率响应

(1) 正确理解频率响应的概念, 线性失真与非线性失真的区别, 通频带定义, 波特图的绘制方法, 稳态响应 f_H 与暂态响应 t_r 的关系。

(2) 了解表征晶体管频率特性的主要参数, 包括 f_β 、 f_T 、 C_{bc} , 场效应管 C_{gd} 、 C_{gs} 等的含义。

(3) 了解共射放大器及共源放大器的高频混合 π 模型。分析晶体管参数、负载电容、负载电阻对晶体管放大器频率特性的影响。

(4) 对比共射、共集、共基三种组态电路高频响应的特点。了解展宽频率特性的途径及方法, 包括正确利用组合电路展宽频带的原理。

6. 反馈

(1) 正确理解开环增益、反馈系数、闭环增益三者之间的关系。正确判断反馈放大器类型。

(2) 深刻理解各种反馈类型的引入对放大器性能的影响, 包括增益、输入输出阻抗、增益稳定度、频带、非线性失真及线性动态范围、噪声及干扰等。深刻理解反馈深度与性能改善的关系。

(3) 熟练掌握深反馈条件下电压增益的估算方法。即

$$\text{串联负反馈: } \dot{U}_i' = \dot{U}_i - \dot{U}_f \approx 0, \dot{U}_i \approx \dot{U}_f$$

$$\text{并联负反馈: } \dot{I}_i' = \dot{I}_i - \dot{I}_f \approx 0, \dot{I}_i \approx \dot{I}_f$$

而 $\dot{U}_f$ 和 $\dot{I}_f$ 又正比于输出量 $\dot{U}_o$ 或 $\dot{I}_o$, 通过这种方法, 可以很容易求出闭环电压增益。

(4) 能够使学生根据改善性能的要求, 自主、正确地引入反馈。

(5) 了解由于放大器存在附加相移而引起正反馈, 从而导致放大器不稳定(甚至于自激)的机理和条件。了解为克服自激采取的相位补偿方法, 重点在电容滞后补偿法及零极点相消法。

7. 模拟集成电路系统

从面向实际的工程应用出发, 本章是全书的又一个重点。通过本章的教学, 应使学生掌握运算放大器在各个领域中的基本应用要点, 抓住“虚短”、“虚断”概念, 进行分析与设计:

(1) 比例放大、相加、相减、仪表放大、积分、微分、对数、反对数、 $V-I$ 、 $I-V$ 变换等。

(2) 有源滤波器是一类重要的模拟电路, 其应用十分广泛。要使学生了解传递函数、零极点分布与幅频特性的关系, 在此基础上举两个例子, 如二阶低通和二阶带通电路, 让同学们了解 RC 有源滤波器的电路构成和工作原理。然后再推广到带阻和一阶全通滤波器。模拟电感、频变负阻和状态变量滤波器可以只提一下, 使学生的知识面有所扩展, 不做详细分析。这部分内容可供同学们自学。

开关电容滤波器是一种介乎模拟电路与数字电路之间的数据取样系统, 要使同学们了

解这种新思想,但不必详细分析。只将用开关和电容代替电阻的原理,以及等效积分时常数与电容比和时钟频率有关的结论点到为止。

(3) 关于精密二极管电路,要求学生掌握半波整流、全波整流(绝对值电路)的工作原理。了解峰值检波和取样保持的电路构成及工作原理。

(4) 关于电压比较器及弛张振荡器,主要让学生明白运放开环工作的特点,引入正反馈和引入负反馈的区别,说明为什么在引入正反馈时“虚短”概念不能随便使用的道理。掌握迟滞比较器的原理、传输特性及输出波形的分析,了解弛张振荡产生非正弦波的原理。

(5) 关于模拟开关,主要讲解其功能,可供学生自学。

(6) 关于运算放大器和电压比较器的选择要强调“精度”和“速度”两方面的指标,可让学生自学,老师提一些问题,引导学生正确选择合适的运放型号。

8. 现代模拟集成电路技术

写这一章的目的是想通过介绍模拟集成电路领域的新发展来扩大学生的知识面,启发学生的创新意识。具体内容不必全讲,最多介绍跨导线性环原理及电流反馈型集成运放(即电流模运放)的特点即可。

9. 功率电路及系统

(1) 让学生明确功率放大器的特点,掌握互补跟随功放的工作原理及功率、效率的计算。

(2) 了解半波、全波、桥式整流电路及滤波电路的原理。

(3) 掌握串联反馈型线性稳压电源的工作原理及三端稳压器的使用。

(4) 了解开关电源提高频率、减小变压器体积的思想及机理,以开阔思路。

(5) 了解保证功率管安全工作的措施。

(6) 了解能隙基准源的工作原理,以开阔思路。

第二部分 《模拟电子技术基础》(建议)授课学时数分配

章节号	内 容		学时数	备 注
1	晶体二极管及其基本电路		5	本表以 60 学时进行分配(仅供参考)。各校可根据具体情况适当调整
2	双极型晶体管及其放大电路		12	
	(1)	三极管原理、特性及参数	2	
	(2)	放大器静态工作点分析及估算	2	
	(3)	图解分析法	2	
	(4)	小信号模型及共射放大器分析	2	
	(5)	共集、共基组态电路分析	2	
	(6)	多级放大器分析及举例	2	
3	场效应管及其基本电路		4	
	(1)	结型场效应管的工作原理及特性	1	
	(2)	MOS 场效应管的工作原理及特性	1	
	(3)	场效应管偏置, 小信号模型及放大器	2	
4	集成运算放大器电路		8	
	(1)	运放特点及恒流源电路	2	
	(2)	差分放大器电路	3	
	(3)	输出级电路及 F007 介绍	1.5	
	(4)	MOS 运放介绍	1	
	(5)	集成运放指标参数简介	0.5	
5	频率响应		4	
	(1)	频率特性概念、晶体管共射放大器高频分析	2	
	(2)	共集、共基放大器频率特性及其它	2	
6	反 馈		8	
	(1)	反馈框图、基本方程、对性能的改善	2	
	(2)	反馈分类及对输入、输出阻抗的影响	2	
	(3)	反馈放大器分析举例(运放比例放大及分立元件电路)	2.5	
	(4)	反馈稳定性分析	1.5	
7	模拟集成电路系统		11	
	(1)	基本运算电路(加、减、仪表放大、积分、微分、对数、反对数、 $V-I$ 、 $I-V$)	3	
	(2)	有源 RC 滤波器	2	
	(3)	开关电容滤波器	1	
	(4)	精密二极管电路	2	
	(5)	电压比较器及弛张振荡	2	
	(6)	运算放大器选型指南、模拟开关简介	1	
8	现代模拟集成电路技术(跨导线性环及电流模运放)		2	
9	功率电路及系统		4	
	(1)	功率放大器	1.5	
	(2)	整流及线性稳压电源	2	
	(3)	开关电源及电压基准的思想	0.5	
机 动			2	
总学时数			60	

第三部分 各章习题解答

第一章 晶体二极管及其基本电路

1-1 半导体二极管伏安特性曲线如图 P1-1 所示, 求图中 A、B 点的直流电阻和交流电阻。

解: 从图中量得 A、B 点坐标分别为 A(0.6 V, 5 mA), B(0.58 V, 2 mA), 故得

$$R_{oA} = \frac{U_{oA}}{I_{oA}} = \frac{0.6}{5} = 0.12 \text{ k}\Omega$$

$$R_{oB} = \frac{U_{oB}}{I_{oB}} = \frac{0.58}{2} = 0.29 \text{ k}\Omega$$

$$r_A = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_A = \frac{U_T}{I_{oA}} = 26/5 = 5.2 \text{ }\Omega$$

$$r_B = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_B = \frac{U_T}{I_{oB}} = 26/2 = 13 \text{ }\Omega$$

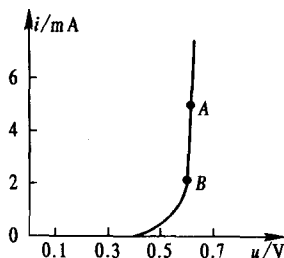


图 P1-1

1-2 二极管整流电路如图 P1-2 所示, 已知 $u_i = 200 \sin \omega t$ (V), 试画出 u_o 的波形。

解: 因变压器的匝数比为 10:1, 所以次级端电压为 20 V, 即 $u_2 = 10 \sin \omega t$ (V)。当 u_2 为正半周且大于等于 0.7 V 时, V_1 导通, V_2 截止, $u_o = u_2 - 0.7$ 。而 u_2 为负半周且小于等于 -0.7 V 时, 则 V_2 导通, V_1 截止, $u_o = |u_2| - 0.7$ 。当 $|u_2| < 0.7$ V 时, V_1 、 V_2 均截止, 此时 $u_o = 0$ 。由此画出的 u_o 波形如图 P1-2' 所示。

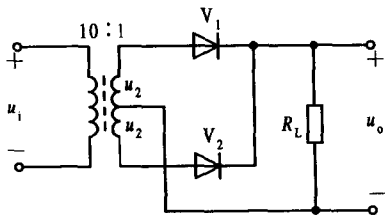


图 P1-2

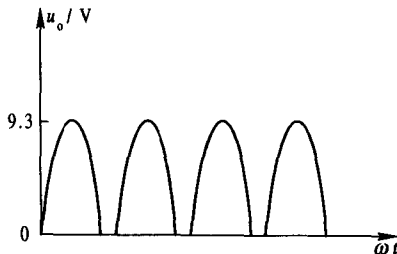


图 P1-2'

1-3 二极管电路如图 P1-3 所示, 设二极管均为理想二极管, $u_i = 10 \sin \omega t$ (V)。

(1) 画出负载 R_L 两端电压 u_o 的波形。

(2) 若 V_3 开路, 试重画 u_o 的波形。

(3) 若 V_3 被短路, 会出现什么现象?

解: (1) u_2 为正半周时, V_1 、 V_2 导通, V_3 、 V_4 截止, $u_o = u_2$ 。 u_2 为负半周时, V_3 、 V_4 导

通, V_1 、 V_2 截止, $u_o = -u_2$, 即 $u_o = |u_2|$ 。 u_o 波形如图 P1-3'(a) 所示。

(2) 若 V_3 开路, 则 u_2 为负半周时, $u_o = 0$, 即 u_o 变为半波整流波形, 如图 P1-3'(b) 所示。

(3) 若 V_3 短路, 则 u_2 为正半周时, 将 V_1 短路烧坏。

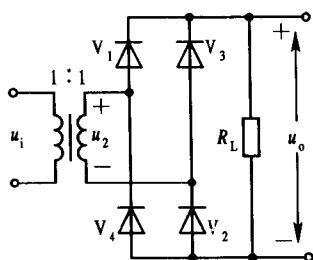


图 P1-3

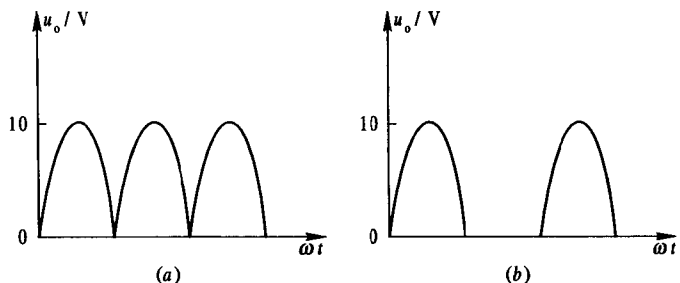


图 P1-3'

1-4 在图 P1-4 所示各电路中, 设二极管均为理想二极管。试判断各二极管是否导通, 并求 U_o 的值。

解: (1) 在图(a)中, V_2 导通, V_1 截止, $U_o = 5\text{ V}$ 。

(2) 在图(b)中, V_1 导通, V_2 截止, $U_o = 0\text{ V}$ 。

(3) 在图(c)中, V_1 、 V_2 均导通, 此时有

$$U_o = \frac{E \cdot R_4}{R_1 + (R_2 // R_3) + R_4} = \frac{6 \times 2}{4 + (1 // 0.051) + 2} = 1.984\text{ V}$$

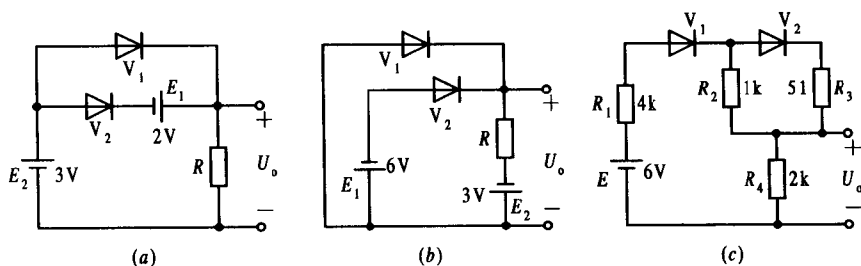


图 P1-4

1-5 二极管限幅电路如图 P1-5(a)、(b) 所示。若 $u_i = 5 \sin \omega t (\text{V})$, 试画出 u_o 的波形。

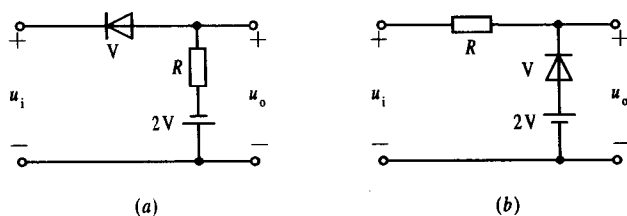


图 P1-5

解: (1) 在图(a)中: 当 $u_i > -2.7 \text{ V}$ 时, V 管截止, $u_o = -2 \text{ V}$; 当 $u_i \leq -2.7 \text{ V}$ 时, V 管导通, $u_o = u_i$ 。当 $u_i = 5 \sin \omega t (\text{V})$ 时, 对应的 u_o 波形如图 P1-5'(a) 所示。

(2) 在图(b)中: 当 $u_i > 1.3 \text{ V}$ 时, V 管截止, $u_o = u_i$; 当 $u_i \leq 1.3 \text{ V}$ 时, V 管导通, $u_o = 2 \text{ V}$ 。其相应波形如图 P1-5'(b) 所示。

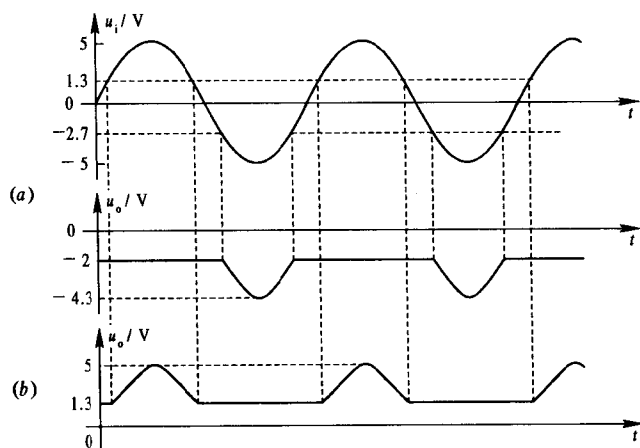


图 P1-5'

1-6 二极管双向限幅电路如图 P1-6(a) 所示。若输入 u_i 为图 P1-6(b) 所示的三角波, 试画出 u_o 的波形。

解: 电路为双向限幅器, 其上门限为 3.7 V , 下门限为 -3.7 V 。对应输入的 u_o 波形如图 P1-6(c) 所示。

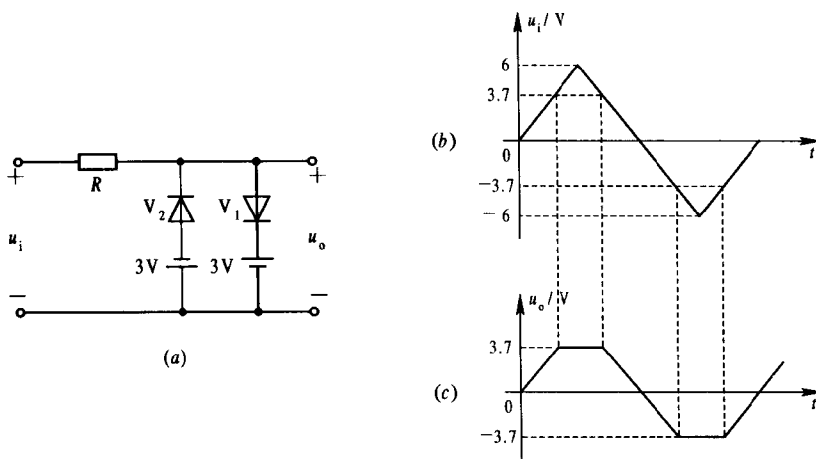


图 P1-6

1-7 在图 P1-7 所示的电路中, 设二极管为理想二极管。当输入电压 u_i 由 0 逐渐增加到 10 V 时, 试画出输出电压 u_o 与 u_i 的关系曲线。

解: 当 $u_i = 0$ 时, V_1 截止, V_2 导通。此时

$$u_o = u_A = 8 - \frac{8-2}{5+1} \times 5 = 3 \text{ V}$$

当 $0 < u_i < 3 \text{ V}$ 时, V_1 仍截止, V_2 导通, $u_o = 3 \text{ V}$ 。当 $3 \text{ V} \leq u_i \leq 8 \text{ V}$ 时, V_1 、 V_2 均导通, $u_o = u_i$ 。当 $u_i > 8 \text{ V}$ 时, V_1 导通, V_2 截止, $u_o = 8 \text{ V}$ 。 u_o 与 u_i 的关系曲线如图 P1-7' 所示。

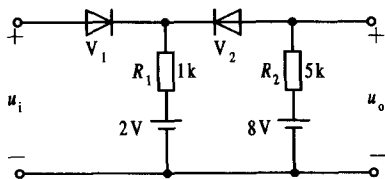


图 P1-7

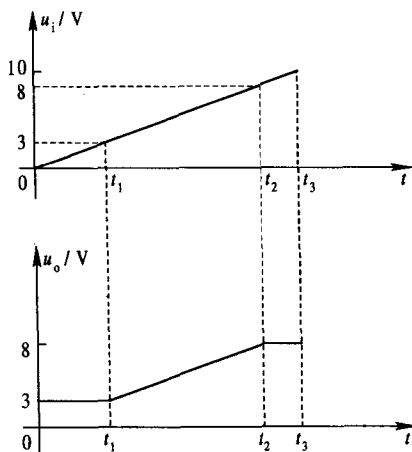
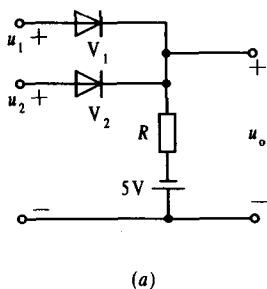


图 P1-7'

1-8 在图 P1-8(a)所示电路中, 已知输入电压 u_1 、 u_2 的波形如图 P1-8(b)所示, 试画出 u_o 的波形。



(a)

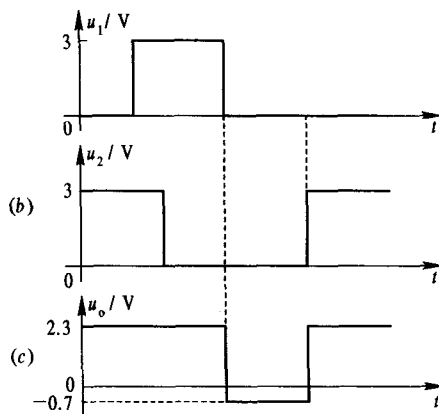


图 P1-8

解: 该电路为高电平选择电路, 即 u_1 、 u_2 中至少有一个为 3 V , 则 $u_o = 3 - 0.7 = 2.3 \text{ V}$ 。 u_1 、 u_2 均为 0 时, $u_o = -0.7 \text{ V}$ 。其波形如图 P1-8(c)所示。

1-9 有两只稳压二极管 V_{Z1} 、 V_{Z2} , 其稳定电压分别为 $U_{Z1} = 6 \text{ V}$ 、 $U_{Z2} = 10 \text{ V}$, 正向导通压降均为 0.7 V 。如果将它们以不同方式串联后接入电路, 可能得到几种不同的电压值? 试画出相应的串联电路。

解: 两只稳压管串联方式有四种, 如图 P1-9 所示。在不同输入电压下使稳压管正向导通或反向击穿。

对图(a)可得, $u_o = 1.4 \text{ V}$ 或 $u_o = -16 \text{ V}$ 。

对图(b)可得, $u_o = 10.7 \text{ V}$ 或 $u_o = -6.7 \text{ V}$ 。

对图(c)可得, $u_o = 6.7 \text{ V}$ 或 $u_o = -10.7 \text{ V}$ 。

对图(d)可得, $u_o = 16 \text{ V}$ 或 $u_o = -1.4 \text{ V}$ 。

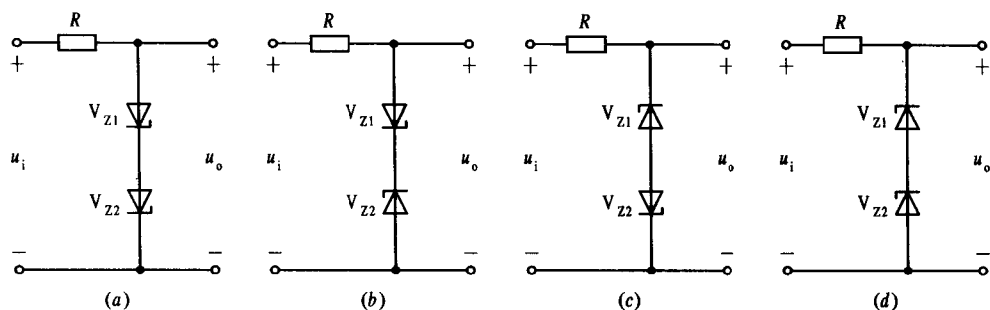


图 P1-9

1-10 稳压二极管电路如图 P1-10 所示, 已知稳压管的 $U_Z = 6 \text{ V}$, 限流电阻 $R = 100 \Omega$ 。

(1) 当 $R_L = 200 \Omega$ 时, 稳压管的 $I_Z = ?$ $U_o = ?$

(2) 当 $R_L = 50 \Omega$ 时, 稳压管 $I_Z = ?$ $U_o = ?$

解: (1) 由图可知

$$I_R = \frac{E - U_Z}{R} = \frac{-10 - (-6)}{0.1} = -40 \text{ mA}$$

$$I_L = \frac{U_Z}{R_L} = \frac{-6}{0.2} = -30 \text{ mA}$$

$$I_Z = I_R - I_L = -40 + 30 = -10 \text{ mA}$$

$$U_o = U_Z = -6 \text{ V}$$

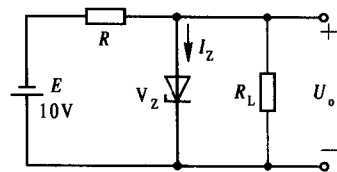


图 P1-10

(2) 当 $R_L = 50 \Omega$ 时, 稳压二极管不能击穿, 因而

$$U_o = \frac{E}{R + R_L} R_L = \frac{-10}{100 + 50} \times 50 = -3.3 \text{ V}$$

$$I_Z = 0$$

1-11 在图 P1-11 所示电路中, 设稳压管的 $U_Z = 5 \text{ V}$, 正向导通压降为 0.7 V 。若 $u_i = 10 \sin \omega t (\text{V})$, 试画出 u_o 的波形。

解: 当 $u_i \geq 5 \text{ V}$ 时, V_Z 击穿, $u_o = 5 \text{ V}$ 。当 $u_i \leq -0.7 \text{ V}$ 时, V_Z 正向导通, $u_o = -0.7 \text{ V}$ 。当 $-0.7 \text{ V} < u_i < 5 \text{ V}$ 时, V_Z 截止, $u_o = u_i$ 。由此画出的 u_o 波形如图 P1-11' 所示。

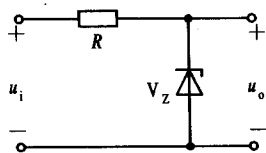


图 P1-11

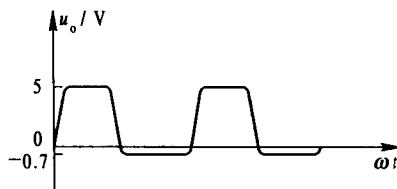


图 P1-11'

1-12 电路如图 P1-12 所示, 已知 V_z 的稳定电压 $U_z = 10 \text{ V}$, $P_z = 1 \text{ W}$, $I_{z\min} = 2 \text{ mA}$, $R = 100 \Omega$ 。

(1) 若 $R_L = 250 \Omega$, 试求 u_i 允许的变化范围。

(2) 若 $u_i = 22 \text{ V}$, 试求 R_L 允许的变化范围。

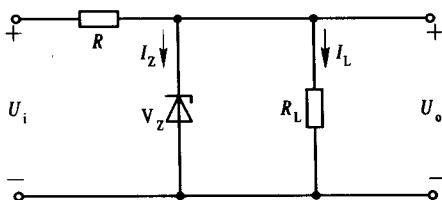


图 P1-12

解: (1) V_z 管允许的最大电流为

$$I_{z\max} = \frac{P_z}{U_z} = \frac{1000}{10} = 100 \text{ mA}$$

u_i 的最大值 $U_{i\max}$ 应满足以下关系:

$$\frac{U_{i\max} - U_z}{R} - \frac{U_z}{R_L} < I_{z\max}$$

即

$$\frac{U_{i\max} - 10}{0.1} - \frac{10}{0.25} < 100$$

解得

$$U_{i\max} < 24 \text{ V}$$

而 u_i 的最小值 $U_{i\min}$ 应满足以下关系:

$$\frac{U_{i\min} - U_z}{R} - \frac{U_z}{R_L} > I_{z\min}$$

即

$$\frac{U_{i\min} - 10}{0.1} - \frac{10}{0.25} > 2$$

解得

$$U_{i\min} > 14.2 \text{ V}$$

故

$$14.2 \text{ V} < u_i < 24 \text{ V}$$

(2) R_L 的最大值 $R_{L\max}$ 和最小值 $R_{L\min}$ 应分别满足以下关系:

$$\begin{cases} \frac{U_i - U_z}{R} - \frac{U_z}{R_{L\max}} < I_{z\max} \\ \frac{U_i - U_z}{R} - \frac{U_z}{R_{L\min}} > I_{z\min} \end{cases}$$

即

$$\begin{cases} \frac{22 - 10}{0.1} - \frac{10}{R_{L\max}} < 100 \\ \frac{22 - 10}{0.1} - \frac{10}{R_{L\min}} > 2 \end{cases}$$

解得

$$R_{L\max} < 0.5 \text{ k}\Omega \text{ 和 } R_{L\min} > 0.085 \text{ k}\Omega$$

故

$$85 \Omega < R_L < 500 \Omega$$

第二章 双极型晶体管及其放大电路

2-1 测得某放大管三个电极上的电流分别为： $I_1=3\text{ mA}$ ， $I_2=0.06\text{ mA}$ ， $I_3=3.06\text{ mA}$ 。试估算该管的 β 、 $\bar{\alpha}$ 值。

解：根据晶体管放大状态下的电流关系

$$I_E = I_C + I_B$$

得 $I_E=3.06\text{ mA}$ ， $I_C=3\text{ mA}$ ， $I_B=0.06\text{ mA}$ 。故

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3}{0.06} = 50$$

$$\bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_E} = \frac{3}{3.06} = 0.98$$

2-2 某个晶体管的 $\beta=25$ ，当它接到电路中时，测得两个电极上的电流分别为 50 mA 和 2 mA ，能否确定第三个电极上的电流数值？

解：不能。因为第三个电极上的电流与管子的工作状态有关。当管子处于放大状态时，第三个电极上的电流为 52 mA ；而当管子处于饱和状态时，则电流为 48 mA 。

2-3 测得电路中的四个NPN硅管各极电位分别如下：

(1) $U_b=-3\text{ V}$ ， $U_c=5\text{ V}$ ， $U_e=-3.7\text{ V}$ ；

(2) $U_b=6\text{ V}$ ， $U_c=5.5\text{ V}$ ， $U_e=5.3\text{ V}$ ；

(3) $U_b=-1\text{ V}$ ， $U_c=8\text{ V}$ ， $U_e=-0.3\text{ V}$ ；

(4) $U_b=3\text{ V}$ ， $U_c=2.3\text{ V}$ ， $U_e=-6\text{ V}$ 。

试判断每个管子的工作状态。

解：(1) $U_{be}=U_b-U_e=-3-(-3.7)=0.7\text{ V}$

$$U_{bc}=U_b-U_c=-3-5=-8\text{ V}$$

即 e 结正偏，c 结反偏，管子工作在放大状态。

(2) $U_{be}=U_b-U_e=6-5.3=0.7\text{ V}$

$$U_{bc}=U_b-U_c=6-5.5=0.5\text{ V}$$

即 e 结、c 结均正偏，管子工作在饱和状态。

(3) $U_{be}=U_b-U_e=-1-(-0.3)=-0.7\text{ V}$

$$U_{bc}=U_b-U_c=-1-8=-9\text{ V}$$

即 e 结、c 结均反偏，管子工作在截止状态。

(4) $U_{be}=U_b-U_e=3-6=-3\text{ V}$

$$U_{bc}=U_b-U_c=3-2.3=0.7\text{ V}$$

即 e 结反偏，c 结正偏，管子处在反向放大(或称倒置)状态。

2-4 测得放大电路中的四个晶体管各极电位分别如下：

(1) $U_1=0\text{ V}$ ， $U_2=0.3\text{ V}$ ， $U_3=-5\text{ V}$ ；

(2) $U_1=8\text{ V}$ ， $U_2=2\text{ V}$ ， $U_3=2.7\text{ V}$ ；

(3) $U_1=-2\text{ V}$ ， $U_2=5\text{ V}$ ， $U_3=-2.3\text{ V}$ ；

(4) $U_1=-10\text{ V}$ ， $U_2=-2.3\text{ V}$ ， $U_3=-3\text{ V}$ 。