

《模拟电路基础》课程辅导

刘光祐 编著

知识点归纳

习题解答

复习题解答

画放大器电路和纠错要点

本科期末考试题及题解

硕士入学研考题选解

电子科技大学

电子科技大学出版社

《模拟电路基础》课程辅导

刘光祜

电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

《模拟电路基础》课程辅导 / 刘光祜编著. —成都:
电子科技大学出版社, 2005.9

ISBN 7—81094—939—X

I. 模… II. 刘… III. 模拟电路—高等学校—教

学参考资料 IV.TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 107003 号

内 容 提 要

本书是电子科技大学通用教材《模拟电路基础》(刘光祜, 饶妮妮)的配套教材。该书正文对《模拟电路基础》各章内容做了全面而精炼的归纳, 并给出了各章后面的习题和复习题的详细解答。这些内容可以帮助学生复习和掌握所学的知识并对解题方法给予指导。本书的附录收录了2000年至2005年共六套电子科技大学模拟电路课期末统考试题并给出详细解答。附录还对电子科技大学近十年模拟电路课硕士研究生入学试题中一些有启发性的考题做了选解。这使该书对学生应对模拟电路期末考试和模拟电路硕士入学考试均有很高的参考价值。

《模拟电路基础》课程辅导

刘光祜 编著

出 版	电子科技大学出版社 (成都市建设北路二段四号, 邮编: 610054)
责任编辑	徐守铭
发 行	新华书店经销
印 刷	电子科技大学出版社印刷厂
开 本	787mm×1092mm 1/16 印张 14.5 字数 356 千字
版 次	2005 年 9 月第一版
印 次	2005 年 9 月第一次印刷
书 号	ISBN 7—81094—939—X/TM·15
印 数	1—4000 册
定 价	19.00 元

编者的话

由我和饶妮妮教授编著的《模拟电路基础》在电子科技大学使用三年以来,对于“是否要编写一本习题解答?”这一问题,存在着两种不同的观点。反对者认为,题解使学生不能独立思考完成作业。这也是笔者原来的观点。

电子科大的另一本全校统一使用的教材《电路分析基础》于2002年出版了习题解答。当年该课全校统考的成绩有大幅提高,特别是不及格率成倍下降。我向编者胡翔骏教授取经后得知,这一成绩得益于人手一本习题解。此事对我触动颇大,也改变了我原来的观点。

《模拟电路基础》是学生第一次接触的电子技术类课程。该课工程性很强,基本概念很多,入门较难。在学时很少的情况下,任课教师无法占用过多课堂教学时间讲例题和讲评作业。学生独自完成作业困难,又造成普遍的互相抄袭的现象。编写一本习题解答能在一定程度上解除上述困难。详细的题解可使学生获得大量的例题,通过自学这些题解,学生便能较快地掌握解题方法和技巧。老师也可以在作业讲评上省去不少时间。

剩下的问题是,学生如果抄题解来应付作业怎么办?这的确是一个问题。在没有习题解时抄作业就很普遍,现在有了标准的题解,肯定会有不少人抄。其实,抄袭作业是学风问题,并非不出题解就能杜绝这一现象。与其学生之间互相抄,还不如让爱抄别人作业的学生去抄正确的解答。

编写习题解答的想法得到全校师生的共同欢迎。2003年5月付印了初稿在校内使用。这次由电子科技大学出版社正式出版的“课程辅导”又新增了电子科技大学历年模拟电路期末考试题解和硕士入学试题选解等内容。相信对广大师生用处会更大。

《模拟电路基础课程辅导》包含各章知识点归纳、各章复习题和各章习题解答三个重要内容。需要指明的是,各章知识点归纳是针对教材内容写的,它与电子科技大学对该课的教学大纲要求不完全吻合。学生对该课程的掌握程度应以教学大纲为准。在本书附录中,给出了模拟电路基础教学大纲、模拟电路历届本科统考试题解答以及考研题选解供同学们期末复习时用。另外,针对普遍存在的不会画电路的问题,附录中还示例了正确画出放大电路的方法以及画电路时的常见错误。这些内容教材上没有,对同学们应该有所帮助。

本书作为《模拟电路基础》课程辅导材料,仅是作者个人观点的体现。有不妥之处,欢迎同行教师提出宝贵的意见。

刘光祜

2005年6月于电子科技大学

目 录

第一章 晶体二极管及应用电路	1
§ 1.1 知识点归纳	1
§ 1.2 习题解答	3
§ 1.3 复习题解答	11
第二章 双极型晶体三极管 (BJT)	15
§ 2.1 知识点归纳	15
§ 2.2 习题解答	17
§ 2.3 复习题解答	25
第三章 晶体管放大器基础	28
§ 3.1 知识点归纳	28
§ 3.2 习题解答	31
§ 3.3 复习题解答	38
第四章 场效应管 (FET) 及基本放大电路	42
§ 4.1 知识点归纳	42
§ 4.2 习题解答	44
§ 4.3 复习题解答	54
第五章 模拟集成单元电路	58
§ 5.1 知识点归纳	58
§ 5.2 习题解答	62
§ 5.3 复习题解答	72
第六章 放大器的频率响应	76
§ 6.1 知识点归纳	76
§ 6.2 习题解答	79
§ 6.3 复习题解答	90
第七章 负反馈技术	95
§ 7.1 知识点归纳	95
§ 7.2 习题解答	99
§ 7.3 复习题解答	115
第八章 集成运算放大器及应用	119
§ 8.1 知识点归纳	119

§ 8.2 习题解答·····	121
§ 8.3 复习题解答·····	136
附录一 电子科技大学(本科)《模拟电路基础》教学大纲(修订)·····	140
附录二 如何正确画出放大器电路·····	144
附录三 放大器电路中的常见错误·····	146
附录四 电子科技大学《模拟电路基础》本科统考试题·····	147
2000 年本科统考试题 ·····	147
2001 年本科统考试题 ·····	153
2002 年本科统考试题 ·····	159
2003 年本科统考试题 ·····	164
2004 年本科统考试题 ·····	167
2005 年本科统考试题 ·····	172
附录五 电子科技大学《模拟电路基础》本科统考试题解答·····	177
2000 年本科统考试题解答 ·····	177
2001 年本科统考试题解答 ·····	182
2002 年本科统考试题解答 ·····	186
2003 年本科统考试题解答 ·····	190
2004 年本科统考试题解答 ·····	195
2005 年本科统考试题解答 ·····	199
附录六 电子科技大学《模拟电路》历届硕士研究生入学考题选解·····	204

第一章 晶体二极管及应用电路

§ 1.1 知识点归纳

一、半导体知识

1. 本征半导体

• 单质半导体材料是具有 4 价共价键晶体结构的硅(Si)和锗(Ge)(见配套教材《模拟电路基础》图 1-2)。前者是制造半导体 IC 的材料(三五价化合物砷化镓 GaAs 是微波(毫米波)半导体器件和 IC 的重要材料)。

• 纯净(纯度 $>7N$)且具有完整晶体结构的半导体称为本征半导体。在一定的温度下,本征半导体内最重要的物理现象是本征激发(又称热激发或产生)(见配套教材《模拟电路基础》图 1-3)。本征激发产生两种带电性质相反的载流子——自由电子和空穴对。温度越高,本征激发越强。

• 空穴是半导体中的一种等效为 $+q$ 电量的载流子。空穴导电的本质是价电子依次填补本征晶格中的空位,使局部显示 $+q$ 电荷的空位宏观定向运动(见配套教材《模拟电路基础》图 1-4)。

• 在一定的温度下,自由电子与空穴在热运动中相遇,使一对自由电子和空穴消失的现象称为载流子复合。复合是产生的相反过程,当产生等于复合时,称载流子处于平衡状态。

2. 杂质半导体

• 在本征硅(或锗)中渗入微量 5 价(或 3 价)元素后形成 N 型(或 P 型)杂质半导体(N 型:见配套教材《模拟电路基础》图 1-5。P 型:见配套教材《模拟电路基础》图 1-6)。

• 在很低的温度下,N 型(P 型)半导体中的杂质会全部电离,产生自由电子和杂质正离子对(空穴和杂质负离子对)。

• 由于杂质电离,使 N 型半导体中的多子是自由电子,少子是空穴,而 P 型半导体中的多子是空穴,少子是自由电子。

• 在常温下,多子远多于少子(见配套教材《模拟电路基础》图 1-7),且多子浓度几乎等于杂质浓度,与温度无关,而少子浓度是温度的敏感函数。

• 在相同掺杂和常温下,Si 的少子浓度远小于 Ge 的少子浓度。这也是 Si 器件工作温度高于 Ge 器件的原因。

3. 半导体中的两种电流

在半导体中存在因电场作用产生的载流子漂移电流(这与金属导电一致);还存在因载流子浓度差而产生的扩散电流。

4. PN 结

• 在具有完整晶格的 P 型和 N 型材料的物理界面附近,会形成一个特殊的薄层——

PN 结(见配套教材《模拟电路基础》图 1-8)。

- PN 结是非中性区(故称 PN 结为空间电荷区),存在由 N 区指向 P 区的内建电场和内建电压;PN 结内载流子数远少于结外的中性区(故称 PN 结为耗尽层);PN 结内的电场是阻止结外两区的多子越结扩散的(故称 PN 结为势垒层或阻挡层)。

- 正偏 PN 结(P 区外接高于 N 区的电压)会产生随正偏电压指数增大的电流;反偏 PN 结(P 区外接低于 N 区的电压),在使 PN 结击穿前,只有其值很小的反向饱和电流。即 PN 结具有单向导电特性(正偏导通,反偏截止)。

- PN 结的伏安方程为: $i = I_s(e^{v/V_T} - 1)$,其中,在 $T = 300\text{K}$ 时,热电压 $V_T = \frac{KT}{q} = 26\text{mV}$ 。

- 非对称 PN 结有 P^+N 结(P 区高掺杂)和 PN^+ 结(N 区高掺杂)。PN 结主要向低掺杂区域延伸(见配套教材《模拟电路基础》图 1-9)。

二、二极管知识

- 普通二极管内的芯片就是一个 PN 结,P 区引出正电极,N 区引出负电极(见配套教材《模拟电路基础》图 1-13)。

- 在低频运用时,二极管具有单向导电特性,正偏时导通,Si 管和 Ge 管导通电压典型值分别是 0.7V 和 0.3V ;反偏时截止,但 Ge 管的反向饱和电流比 Si 管大得多(见配套教材《模拟电路基础》图 1-15)。

- 低频运用时,二极管是一个非线性电阻,其交流电阻不等于直流电阻。

二极管交流电阻 r_d 定义: $r_d = \left(\frac{di_D}{dv_D} \right)^{-1} \Big|_Q$

二极管交流电阻 r_d 估算: $r_d \approx V_T / I_D$ 。当 I_D 很大时,该公式误差较大。

- 二极管的低频小信号模型就是交流电阻 r_d ,它反映了在工作点 Q 处,二极管的微变电流与微变电压之间的关系。

- 二极管的低频大信号模型是一种开关模型,有理想开关模型、恒压源模型和折线模型三种近似模型(见配套教材《模拟电路基础》图 1-20)。

三、二极管应用

1. 单向导电特性应用

- 整流器:半波整流,全波整流(见配套教材《模拟电路基础》图 P1-8(a)),桥式整流(见配套教材《模拟电路基础》P 图 1-8(b))。

- 限幅器:顶部限幅,底部限幅,双向限幅(见配套教材《模拟电路基础》图 1-9)。

- 钳位电路。

- 通信电路中的应用:检波器、混频器、倍频器等。

2. 正向导通特性及应用

二极管正向充分导通时只有很小的交流电阻,近似于一个 0.7V (Si 管)或 0.3V (Ge 管)的恒压源。

3. 反向击穿及应用

- 二极管反偏电压增大到一定值时,反向电流突然增大的现象即反向击穿。

• 反向击穿的原因有价电子被碰撞电离而发生的“雪崩击穿”和价电子被场效激发而发生的“齐纳击穿”。

• 反向击穿电压十分稳定,可以用来作稳压管(见配套教材《模拟电路基础》图 1-33)。

• 稳压管电路设计时,要正确选取限流电阻,使稳压管在一定的负载条件下正常工作。

4. 高频时的电容效应及应用

• 高频工作时,二极管失去单向导电特性,其原因是管内的 PN 结存在电容效应(结电容)。

• 结电容分为 PN 结内的势垒电容 C_T 与 PN 结两侧形成的扩散电容 C_D 。

• C_T 随偏压的增大而增大, C_D 与正偏电流近似成正比。

• 反偏二极管在高频条件下,其等效电路主要是一个势垒电容 C_T 。利用这一特性的二极管称为变容二极管。变容二极管在通信电路中有较多的应用,如压控振荡器(VCO)、倍频器等。

§ 1.2 习题解答

1-1 某 N 型 Si 材料的施主密度 $N_D = 10^{15}/\text{cm}^3$ 。在 $T = 300\text{K}$ 和 $T = 550\text{K}$ 时 Si 的本征浓度分别为 $1.5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$ 和 $10^{15}/\text{cm}^3$ 。计算在这两种温度下的自由电子浓度和空穴浓度并说明材料导电特性的变化。

[解] (1) $T = 300\text{K}$ 时

因为 $N_D \gg n_i$, 所以 $n_{n0} \gg P_{n0}$ 肯定成立。

$$\text{此时, } n_{n0} \approx N_D = 10^{15}/\text{cm}^3, P_{n0} = \frac{n_i^2}{n_{n0}} \approx \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{2.25 \times 10^{20}}{10^{15}} = 2.25 \times 10^5/\text{cm}^3.$$

(2) $T = 550\text{K}$ 时

$$\text{因为 } n_{i0} \approx N_D, \text{ 应联立 } \begin{cases} n_{n0} P_{n0} = n_i^2 \\ n_{n0} = N_D + P_{n0} \end{cases} \text{ 求解 } n_{n0} \text{ 和 } P_{n0}.$$

将 n_i, N_D 代入上面两方程可得: $n_{n0}^2 - 10^{15} n_{n0} - 10^{30} = 0$

由上式解出 $n_{n0} = 1.62 \times 10^{15}/\text{cm}^3$

$$\therefore P_{n0} = n_{n0} - N_D = 0.62 \times 10^{15}/\text{cm}^3.$$

结论: 在 $T = 300\text{K}$ 时, $n_{n0} \gg P_{n0}$, 是杂质导电特性。

在 $T = 550\text{K}$ 时, $n_{n0} \approx P_{n0}$, 此时, 材料已呈现本征导电特性。

1-2 在 $T = 300\text{K}$ 时, 某 Si 管和 Ge 管的反向饱和电流分别是 0.5pA 和 $1\mu\text{A}$ 。两管按如图 1-1 所示的方式串联, 且电流为 1mA 。试用二极管方程估算两管的端电压 V_{Si} 和 V_{Ge} 。

[解] 因为 $I \gg I_s$, 两管已充分导通, 故伏安关系近似为

$$I = I_s e^{V/V_T}$$

由此

$$V = V_T \ln \frac{I}{I_s}, \text{ 取 } V_T = 26\text{mV} (T = 300\text{K})$$

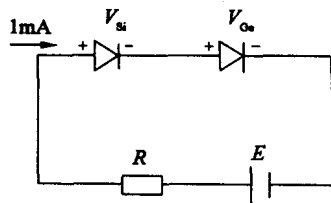


图 1-1

$$\therefore V_{Ge} = 0.026 \ln \frac{1000}{1} = 0.18V$$

$$V_{Si} = 0.026 \ln \frac{10^9}{0.5} = 0.557V$$

1-3 在 $T=300K$ 时,利用 PN 结伏安方程作以下的估算:

(1)若反向饱和电流 $I_S=10\mu A$,求正向电压为 0.1V,0.2V 和 0.3V 时的电流;

(2)当反向电流达到反向饱和电流的 90%时,反向电压为多少?

(3)若正反向电压均为 0.05V,求正向电流与反向电流比值的绝对值。

[解] (1) $V=0.1V$ 时, $I_1=10(e^{0.1/0.026}-1)=458\mu A$;

$$V=0.2V \text{ 时, } I_2=10(e^{0.2/0.026}-1)=21.9mA;$$

$$V=0.3V \text{ 时, } I_3=10(e^{0.3/0.026}-1)=1.026A.$$

(2)按题意 $-0.9I_S=I_S(e^{V/0.026}-1)$

由上式解出 $V=0.026 \ln 0.1 = -0.06(V)$

$$(3) \left| \frac{I_+}{I_-} \right| = \frac{e^{0.05/0.026}-1}{e^{-0.05/0.026}-1} = \frac{5.84}{0.54} = 6.84$$

1-4 试分析如图 1-2 所示电路中的二极管 2AP15 的状态(导通还是截止)。

[解] 去掉 2AP15,以 O 点为参考点,则

$$V_{AO} = \frac{2}{18+2} \times 10 + \frac{5}{25+5} \times 15 = 3.5V$$

$$V_{BO} = \frac{10}{140+10} \times 15 = 1V$$

因为 $V_{BO} < V_{AO}$,所以二极管反偏,2AP15 截止。

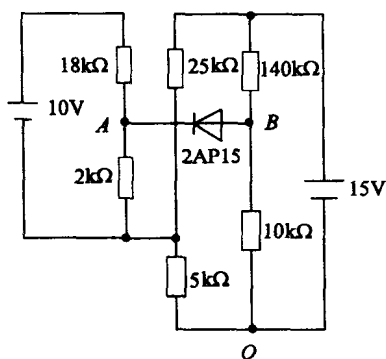


图 1-2

1-5 如图 1-3 所示,试估算 Si 二极管电路中的二极管工作点电流 I_D 。

[解] 将二极管支路的外电路用戴维南定理等效为图 1-4。

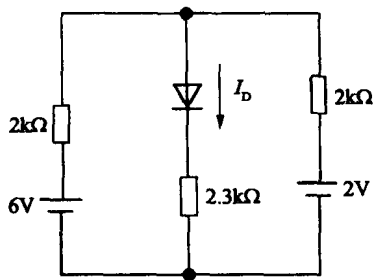


图 1-3

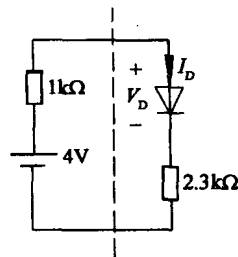


图 1-4

$$\text{取 } V_D = 0.7V; \therefore I_D \approx \frac{4-0.7}{1+2.3} = 1mA.$$

1-6 试判断如图 1-5 所示电路中二极管 D_1 和 D_2 是导通状态还是截止状态,并求出电压 V_{AO} ($V_{AO}=V_A-V_O$)。(提示: D_1 和 D_2 的状态共有 2^2 即四种组合。分析每一种组合,当假设的导通管只有正向电流,截止管只有反向电压时,该假设状态即为实际状态。该方法称为假定状态分析法。)

[解] (1) 设 D_1 、 D_2 均截止,此时 $V_{OA}=12\text{V}$,加在 D_1 上的电压是正向电压,故该假设不成立。

(2) 设 D_1 、 D_2 均导通,导通的 D_1 使 $V_{AO}=0$, D_2 应有反向电压,故该假设不成立。

(3) 设 D_2 导通 D_1 截止,此时,加在 D_1 上的电压是正向电压,故假设仍不成立。

(4) 设 D_1 导通, D_2 截止。

D_1 导通时, 正向电流 $=\frac{12\text{V}}{3\text{k}\Omega}=4\text{mA}$

此时, $V_{BA}=-5\text{V}$,使 D_2 截止。

∴ 此假设成立。

结论: D_1 导通, D_2 截止。

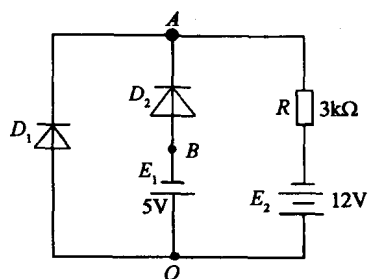


图 1-5

1-7 如图 1-6 所示,在 Si 二极管电路中,低频正弦电压 v_i 的有效值 $V_i=5\text{mV}$,电容 C 是耦合电容。试估算 R_1 上电压 v_{R1} 的交流成分的有效值 V_{r1} ($T=300\text{K}$)。

[解] 令 $v_i=0$,由二极管 D 的直流通路估算静态 I_D 。

$$I_D \approx \frac{E - V_D}{R_1} \approx \frac{6 - 0.7}{5.1} = 1.039\text{mA}$$

二极管交流电阻 $r_d \approx \frac{V_T}{I_D} = 25\Omega$

$v_i \neq 0$ 时,画出交流通路如图 1-7 所示。

$$\therefore V_{r1} = \frac{R_1 // r_d}{R_2 + R_1 // r_d} V_i = \frac{24.88 \times 5}{25 + 24.88} = 2.49\text{mV}$$

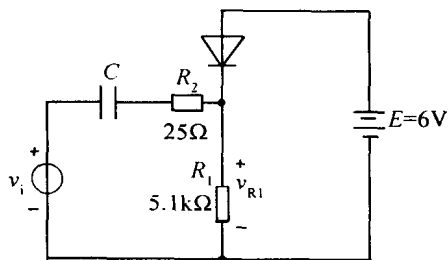


图 1-6

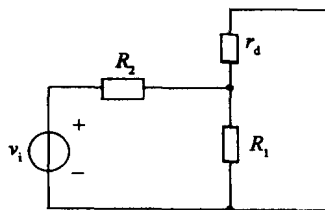


图 1-7

1-8 图 1-8(a)和图 1-8(b)分别是二极管全波整流电路和桥式整流电路。假设二极管为理想开关,试分析对于输入信号的正半周和负半周,每只二极管的状态,并画出输出电压 v_o 的波形。

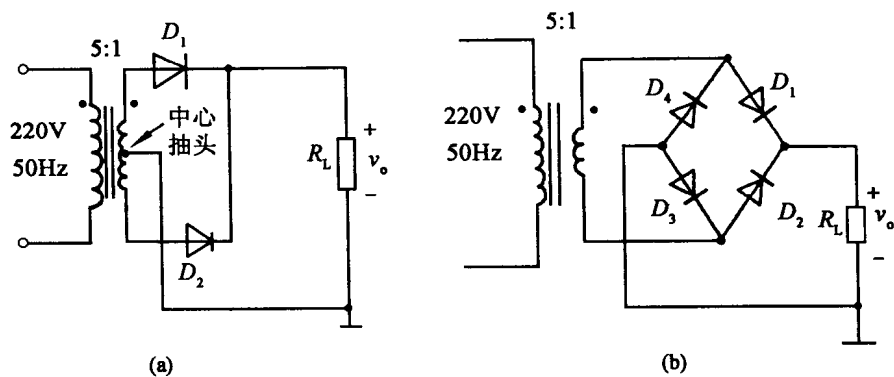


图 1-8

〔解〕 在图 1-8(a)中:

输入为正半周时, D_1 导通, D_2 截止;

输入为负半周时, D_2 导通, D_1 截止。

在图 1-8(b)中:

输入为正半周时, $D_1 D_3$ 导通, $D_2 D_4$ 截止;

输入为负半周时, $D_2 D_4$ 导通, $D_1 D_3$ 截止。

图 1-8(a)、(b)两种整流电路输出波形相同(图 1-9):

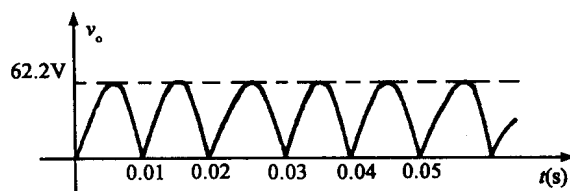


图 1-9

1-9 (1)假设二极管 D_1 和 D_2 是理想开关,试画出如图 1-10 所示并联型双向限幅器的输出电压 v_o 的波形。图中 v_i 是振幅为 12V 的正弦电压。

(2)试总结:要使上限幅电压为 V_{MAX} 和下限幅电压为 V_{MIN} 的电路构成原则以及对输入电压的要求。

〔解〕 (1) $\because D_1$ 支路上 D_1 有 6V 反偏

$\therefore v_i < 6\text{V}$ 时, D_1 不导通。

$\because D_2$ 支路上 D_2 有 6V 反偏

$\therefore v_i > -6\text{V}$ 时, D_2 不导通。

$\therefore$ 当 $6\text{V} > v_i > -6\text{V}$ 时, D_1 、 D_2 均不导通。

此时, $v_o = v_i$ 。

当 $v_i > 6\text{V}$ 时, 仅 D_1 导通, $v_o = 6\text{V}$ 。

当 $v_i < -6\text{V}$ 时, 仅 D_2 导通, $v_o = -6\text{V}$ 。

v_o 的波形如图 1-11 所示。

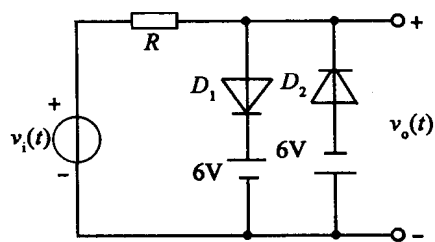


图 1-10

(2)双向限幅器构成的电路如图 1-12 所示。

要求 $V_{MAX} > V_{MIN}$, 两电压均可正可负。

对 v_i 的要求: $V_{imax} > V_{MAX}, V_{imin} < V_{MIN}$ 。

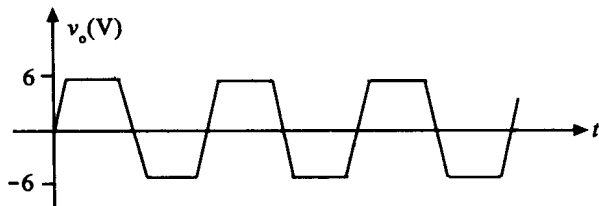


图 1-11

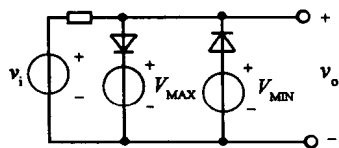


图 1-12

1-10 (1)分析如图 1-13 所示二极管箝位电路,画出输出电压 v_o 的近似波形。图中 v_i 是振幅为 5V 的正弦电压。

(2)试总结:要使底部电压箝位于 V_{MIN} 和顶部电压箝位于 V_{MAX} 的原则以及对输入电压的要求。

[解] (1)二极管 D 上有 3V 反偏,故当 $v_i > 3V$ 后, D 导通, C 被快充电至 2V (v_i 峰值时)。之后 V_C 保持 2V, 使 v_i 波形下降 2V, 即 v_i 顶部被箝位在 3V。 v_o 波形如图 1-14 所示。

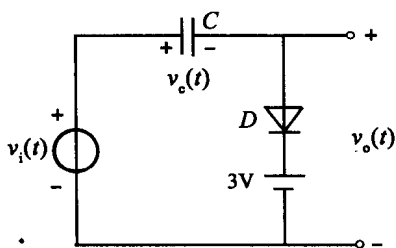


图 1-13

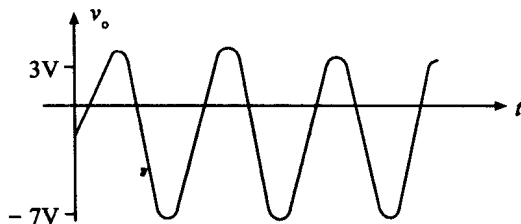


图 1-14

图 1-15 是顶部箝位于 V_{MAX} 的电路, V_{MAX} 可正可负。

对 v_i 的要求: $V_{imax} > V_{MAX}$

图 1-16 是底部箝位于 V_{MIN} 的电路, V_{MIN} 可正可负。

要求: $V_{imin} < V_{MIN}$ 。

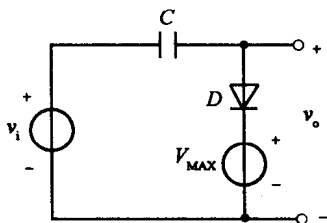


图 1-15

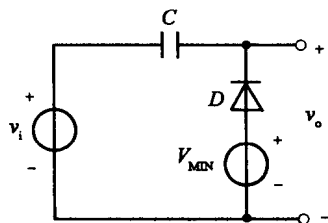


图 1-16

1-11 如图 1-17 所示的电路中, v_i 是振幅为 10V 的低频正弦电压, 二极管视为恒压器件 ($V_{ON}=0.7V$)。试画出 v_o 的波形。

[解一] 因为二极管在回路中有 2V 正偏, 又 D 导通电压为 0.7V, 所以 $v_i > -1.3V$ 时, D 导通。

$$v_o = -0.7 + v_i + 2 = 1.3 + v_i$$

当 $v_i < -1.3V$ 时, D 截止, $v_o = 0$ 。

$\therefore v_o$ 的波形如图 1-18 所示。

[解二] $v_{AB} = v_i + 2$, $v_{AB} > 0.7V$ 时, D 导通, $v_o = v_{AB} - 0.7$ 。

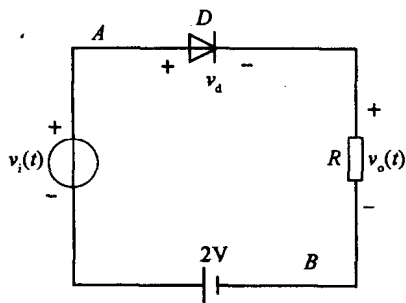


图 1-17

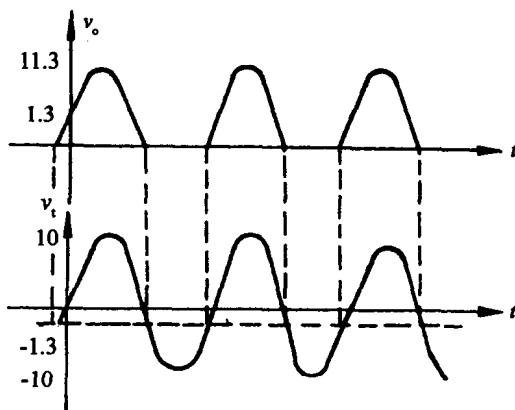


图 1-18

$v_{AB} < 0.7V$ 时, D 截止, $v_o = 0$ 。

所以波形如图 1-19 所示。

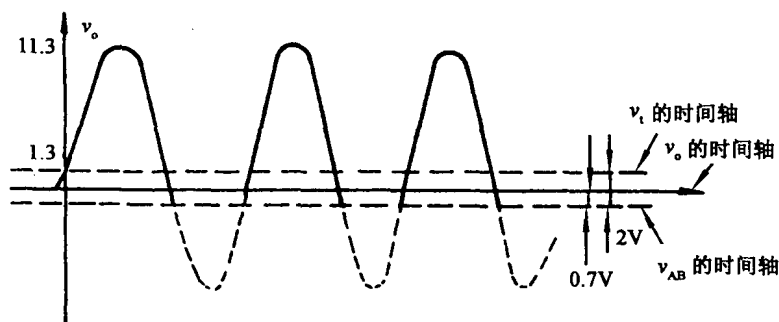


图 1-19

1-12 图 1-20 为串联型二极管双向限幅电路。假设 D_1 和 D_2 为理想开关, 试分析画出 v_o 对 v_i 的电压关系曲线(提示: 采用假定状态分析法)。

[解] 状态 1: D_1 、 D_2 均截止, 此时 $v_B = 10V$, $v_C = 40V$ 。

$\because v_C > v_B, \therefore D_2$ 不能截止。

$\therefore$ 此状态不存在。

状态 2: D_1 导通, D_2 截止。

此时, $v_C = v_D = 40\text{V}$, 但要求 $v_B > 40\text{V}$, 所以 $v_i > 40\text{V}$ 。

状态 3: D_1 截止, D_2 导通。此时 $v_o = \frac{(40-10) \times 100}{50+100} = 20\text{V} = v_C = v_B$ 。

但要求 $v_i < v_B$, 所以 $v_i < 20\text{V}$ 。

状态 4: D_1 、 D_2 均导通。由状态 2、状态 3 可知, $40\text{V} > v_i > 20\text{V}$ 时, D_1 、 D_2 均导通。

故此时 $v_o = v_i$ 。

由上述分析可画出 v_o 与 v_i 的关系曲线, 如图 1-21 所示。

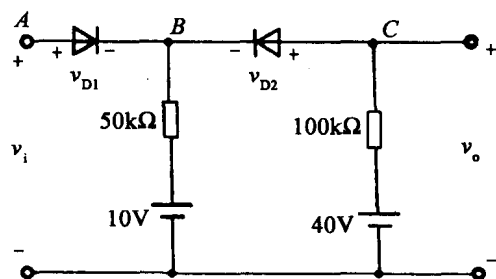


图 1-20

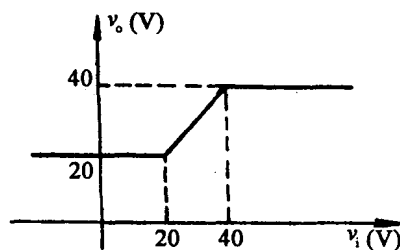


图 1-21

1-13 图 1-22 为一种二极管电路逼近某种非线性伏安特性的电路。假设二极管为理想开关, 试画出 $i = f(v)$ 的关系曲线。

[解] (1) 当 $v < 3\text{V}$ 时, D_1 、 D_2 均截止, 电路如图 1-23 所示。

$$\therefore i = \frac{v}{R_1} = \frac{v}{5} (3\text{V}/0.6\text{mA})$$

(2) 当 $7\text{V} > v_i > 3\text{V}$ 时, D_1 导通, D_2 截止, 电路如图 1-24 所示。

$$\therefore v = i + 2.4, \quad i = -2.4 + v (0.6\text{mA}/3\text{V}, 4.6\text{mA}/7\text{V})$$

(3) 当 $v_i > 7\text{V}$ 时, D_1 、 D_2 均导通, 电路如图 1-25 所示。

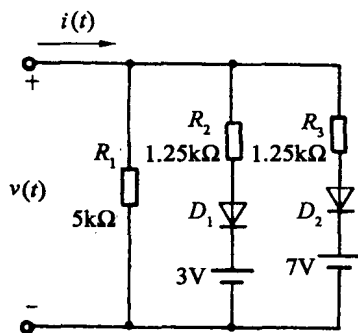


图 1-22

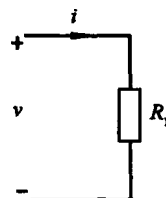


图 1-23

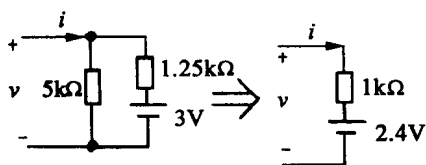


图 1-24

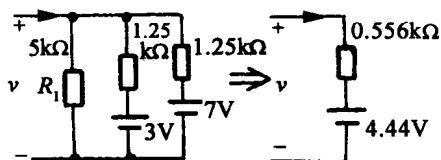


图 1-25

此时 $i = -7.99 + \frac{v}{0.556}$ 。

由上述分析可画出 $i = f(v)$ 曲线如图 1-26 所示。

1-14 由稳压管 2DW12D 构成的稳压电路如图 1-27 所示。已知 2DW12D 的参数为: $V_Z = 9V$, $I_{ZMIN} = 2mA$, $P_{ZMAX} = 250mW$ 。输入直流电压变化范围为 $V_1 = 12 \sim 15V$, 负载电阻 $R_L = 1k\Omega$ 。试正确选取限流电阻 R 的值, 并要求 R_L 开路时不会烧管。

[解] 当 $V_1 = 12V$ 且接上负载 R_L 时, I_Z 应不小于 $2mA$ 。即

$$\frac{12-9}{R} - 9 > 2, \therefore R < \frac{12-9}{2+9} \quad (\text{图 1-28})$$

即 $R < 0.273k\Omega$

当 $V_1 = 15V$, 且 R_L 开路时, D_Z 管耗最大(图 1-29)。此时, 管耗应小于 $25mW$, 即

$$I_{Zmax} < \frac{P_{Zmax}}{V_Z} = 27.78mA$$

即

$$\frac{15.9}{R} < 27.78$$

$$\therefore R > \frac{15-9}{27.78} = 0.216k\Omega$$

应选取 $273\Omega > R > 216\Omega$

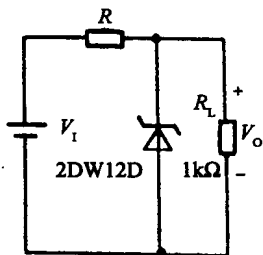


图 1-27

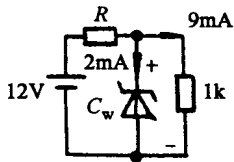


图 1-28

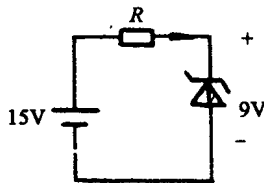


图 1-29

1-15 在如图 1-30 所示电路中, 低频正弦电压 $v_s(t) = 15\sin\omega t(V)$, Si 稳压管 $V_Z = 8V$ 。试画出稳压管两端的电压 v_o 的波形。

[解] $v_s > V_Z = 8V$ 时, D_Z 击穿, $v_o = 8V$ 。

$v_s < -V_{ON} = -0.7V$ 时, D_Z 导通, $v_o = -0.7V$ 。

$V_Z > v_s > -V_{ON}$ 时, D_Z 截止, $v_o = v_s$ 。

v_o 波形如图 1-31 所示。

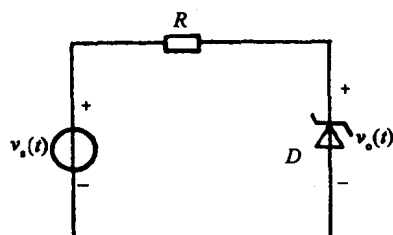


图 1-30

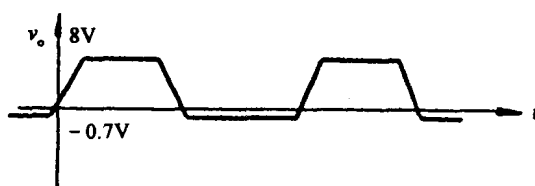
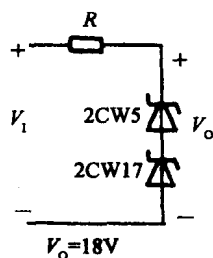


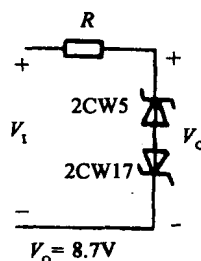
图 1-31

1-16 Si 稳压管 2CW15 的 $V_Z = 8V$, 2CW17 的 $V_Z = 10V$ 。若将其串联接入稳压电路, 问能够产生几种稳压输出。试画出稳压电路。

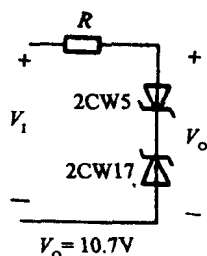
[解] 共四种稳压输出, 如图 1-32 所示。



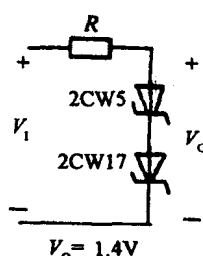
(a) 条件: $V_i > 18V$



(b) 条件: $V_i > 8.7V$



(c) 条件: $V_i > 10.7V$



(d) 条件: $V_i > 1.4V$

图 1-32

§ 1.3 复习题解答

一、填空题

1. 杂质半导体分为(N)型和(P)型。自由电子是(N)型半导体中的多子。空穴是(N)型半导体中的少子。

2. 常温下, 杂质半导体中的少子因(本征激发)而产生, 多子主要因(杂质电离)而产生。