



普通高等教育“十五”国家级规划教材配套辅导

电 工 学

第六版
【下册】

电子技术 习题精解

秦曾煌主编《电工学》第六版电工技术、电子技术同步辅导

主 编 李玲远 范绿蓉 胡亚波 黄 林

策 划 众邦考试教育研究所

★重点考点归纳

★方法技巧点拨

★教材习题详解

★考研真题汇编

★名师精华积累



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

普通高等教育“十五”国家级规划教材配套辅导

电 工 学

(第六版)

(下册)

电 子 技 术

习 题 精 解

主编 李玲远 范绿蓉 胡亚波 黄 林

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

目 录

下册 电子技术

第 14 章	二极管和晶体管	(253)
14.1	基本要求	(253)
14.2	知识要点	(253)
14.3	典型例题	(255)
14.4	练习与思考	(258)
14.5	习题详解	(261)
第 15 章	基本放大电路	(271)
15.1	基本要求	(271)
15.2	知识要点	(271)
15.3	典型例题	(278)
15.4	练习与思考	(280)
15.5	习题详解	(287)
第 16 章	集成运算放大器	(305)
16.1	基本要求	(305)
16.2	知识要点	(305)
16.3	典型例题	(312)
16.4	练习与思考	(315)
16.5	习题详解	(318)
第 17 章	电子电路中的反馈	(336)
17.1	基本要求	(336)
17.2	知识要点	(336)
17.3	典型例题	(341)
17.4	练习与思考	(344)

	17.5 习题详解	(346)
第 18 章	直流稳压电源	(355)
	18.1 基本要求	(355)
	18.2 知识要点	(355)
	18.3 典型例题	(359)
	18.4 练习与思考	(361)
	18.5 习题详解	(362)
第 19 章	电力电子技术	(375)
	19.1 基本要求	(375)
	19.2 知识要点	(375)
	19.3 典型例题	(380)
	19.4 练习与思考	(381)
	19.5 习题详解	(386)
第 20 章	门电路和组合逻辑电路	(392)
	20.1 基本要求	(392)
	20.2 知识要点	(392)
	20.3 典型例题	(396)
	20.4 练习与思考	(401)
	20.5 习题详解	(408)
第 21 章	触发器和时序逻辑电路	(434)
	21.1 基本要求	(434)
	21.2 知识要点	(434)
	21.3 典型例题	(437)
	21.4 练习与思考	(446)
	21.5 习题详解	(449)
第 22 章	存储器和可编程逻辑器件	(473)
	22.1 基本要求	(473)
	22.2 知识要点	(473)
	22.3 典型例题	(474)
	22.4 练习与思考	(477)
	22.5 习题详解	(480)

第 23 章 模拟量和数字量的转换	(495)
23.1 基本要求	(495)
23.2 知识要点	(495)
23.3 典型例题	(495)
23.4 练习与思考	(497)
23.5 习题详解	(497)
参考文献	(500)



第14章

二极管和晶体管



14.1 基本要求

通过本章的学习,学生应当了解本征半导体的重要特性,了解二极管、稳压二极管和晶体管的基本结构及基本工作原理,了解光电器件的基本工作原理。掌握PN结构的单向导电性,掌握二极管、稳压二极管的晶体管的主要特性曲线,理解主要参数的意义。理解晶体管的电流分配和放大作用的实质是实现能量转换。



14.2 知识要点

14.2.1 半导体的重要特性

本征半导体具有三个重要特性:热敏性、光敏性和掺杂特性。

热敏性:有些半导体对温度特别灵敏。环境温度增高时,它们的导电能力增强很多。利用这种特性可以制成热敏器件。

光敏性:有些半导体对光照特别灵敏。有些半导体受到光照时,它们的导电能力变得很强;无光照时,它们变得像绝缘体那样不导电。利用这种特性可以制成光敏器件。

掺杂性:掺杂性是半导体最重要的特性。如果在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质后,它们的导电能力可以增加几十万乃至几百万倍。利用这种特性可以制成各种不同用途的半导体器件。

14.2.2 两种杂质半导体

杂质半导体中的多数载流子是由杂质原子提供的,但同时存在本征激发产生的少量的电子空穴对,其中之一就成为杂质半导体中的少数载流子。

N型半导体中,自由电子是多数载流子,空穴是少数载流子。P型半导体中,空穴是多数载流子,自由电子是少数载流子。





14.2.3 PN 结及其单向导电性

在 P 型半导体和 N 型半导体的交界面形成一个特殊的薄层,称为 PN 结。

在 PN 结上加正向偏压(P 区电位高于 N 区电位),PN 结变薄,结电阻很小,P 区的多数载流子空穴和 N 区的多数载流子自由电子在电场的作用下通过 PN 结进入对方,两者形成较大的正向电流,PN 结呈现低电阻,处于导通状态。

在 PN 结上加反向偏压(P 区电位低于 N 区电位),PN 结变宽,结电阻很大,P 区和 N 区的多数载流子受阻很难通过 PN 结。这时只有少数载流子在电场作用下通过 PN 结进入对方,形成很小的反向电流。PN 结呈现高电阻,处于截止状态。

14.2.4 二极管

1. 二极管的伏安特性曲线

二极管的伏安特性曲线反映了二极管的单向导电性和击穿特性。当二极管处于正向偏压,且小于二极管的开启电压时,正向电流很小,几乎为零。当正向电压超过开启电压时,电流随电压线性增长很快。

当二极管处于反向偏置时,形成很小的反向电流。在反向电压不超过击穿电压时,二极管的反向电流大小基本恒定。反向电流随温度的上升增加很快。

当二极管所加反向电压等于二极管的击穿电压时,反向电流突然增大,二极管失去单向导电性,二极管被击穿。

2. 二极管的主要参数

二极管的参数主要有最大整流电流 I_{RM} ,反向工作峰值电压 U_{RM} 及反向峰值电流 I_{RM} 等。这几个参数都是二极管使用时的极限参数,它为选用二极管提供了主要的依据。

3. 二极管的主要应用

二极管的应用很广泛,其主要用途有限幅、整流、箝位、检波和隔离。这些应用都利用了二极管的单向导电性。

4. 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的半导体二极管。和一般的二极管相比,它的反向击穿电压低,反向击穿特性陡,击穿后除去反向电压又能恢复正常。它的主要应用是稳压。

14.2.5 晶体管

1. 晶体管的放大作用

晶体管的结构具有基区很薄,基区的掺杂浓度远小于发射区的掺杂浓度,这是晶体管起放大作用的内部条件。



晶体管起放大作用的外部条件,发射结必须正向偏置,集电结反向偏置。

晶体管放大作用的实质是利用晶体管工作在放大区的电流分配关系实现能量转换。

2. 晶体管的电流分配关系

晶体管工作在放大区时,其各极电流关系如下:

$$I_C \approx \beta I_B$$

$$I_E = I_B + I_C = (1 + \beta) I_B$$

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} \quad \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

3. 晶体管的特性曲线和三个工作区域

(1) 晶体管的输入特性曲线:

晶体管的输入特性曲线反映了当 U_{CE} 等于某个电压时, i_B 和 U_{BE} 之间的关系。晶体管的输入特性也存在一个死区电压。当发射结处于的正向偏压大于死区电压时,晶体管才会出现 I_B ,且 I_B 随 U_{BE} 线性变化。

(2) 晶体管的输出特性曲线:

晶体管的输出特性曲线反映当 I_B 为某个值时, I_C 随 U_{CE} 变化的关系曲线。在不同的 I_B 下,输出特性曲线是一组曲线, $I_B = 0$ 以下区域为截止区,当 U_{CE} 比较小的区域为饱和区。输出特性曲线近于水平部分为放大区。

(3) 晶体管的三个区域:

晶体管的发射结正偏,集电结反偏,晶体管工作在放大区。此时, $I_C = \beta I_B$, I_C 与 I_B 成线性正比关系,对应于曲线簇平行等距的部分。

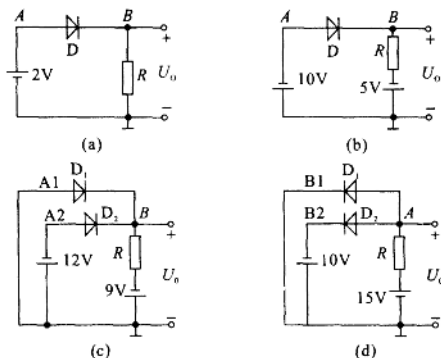
晶体管发射结正偏压小于开启电压,或者反偏压,集电结反偏压,晶体管处于截止工作状态,对应输出特性曲线的截止区。此时, $I_B = 0$, $I_C = I_{CBO}$ 。

晶体管发射结和集电结都处于正向偏置,即 U_{CE} 很小时,晶体管工作在饱和区。此时, I_C 虽然很大,但 $I_C \neq \beta I_B$ 。即晶体管处于失控状态,集电极电流 I_C 不受输入基极电流 I_B 的控制。

14.3

典型例题

例 14.1 二极管电路如例 14.1 图所示,试判断二极管是导通还是截止,并确定各电路的输出电压值。设二极管导通电压 $U_D = 0.7V$ 。



例 14.1 图

解: ① 图(a) 电路中的二极管所加正偏压为 2V , 大于 $U_D = 0.7\text{V}$, 二极管处于导通状态, 则输出电压 $U_o = U_A - U_D = 2\text{V} - 0.7\text{V} = 1.3\text{V}$ 。

② 图(b) 电路中的二极管所加反偏压为 -5V , 小于 U_D , 二极管处于截止状态, 电路中电流为零, 电阻 R 上的压降为零, 则输出电压 $U_o = -5\text{V}$ 。

③ 图(c) 电路中的二极管 D_2 所加反偏压为 (-3V) , 二极管 D_2 截止。二极管 D_1 所加正偏压为 9V , 大于 U_D , 二极管 D_1 处于导通状态。二极管 D_1 接在 B 点和“地”之间, 则 D_1 导通后将 B 点电位箝位在 (-0.7V) , 则 $U_o = U_B = -0.7\text{V}$ 。

④ 如果分别断开图(d) 电路中的二极管 D_1 和 D_2 , D_1 处于正偏压为 15V , D_2 处于正偏压为 25V , 都大于 U_D 。但是, 二极管 D_2 所加正偏压远大于 D_1 所加正偏压, D_2 优先导通并将 A 点电位箝位在 $U_A = -10\text{V} + 0.7\text{V} = -9.3\text{V}$, 实际上, 二极管 D_1 处于反偏压, 处于截止状态。则输出电压 $U_o = U_A = -9.3\text{V}$ 。

例 14.2 电路如例 14.2 图所示, 已知 $u_i = 5\sin(\omega t)(\text{V})$, 二极管导通电压 $U_D = 0.7\text{V}$, 试画出 u_i 与 u_o 的波形, 并标出幅值。

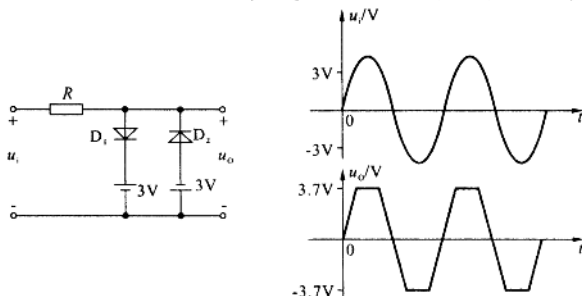
解: 在 u_i 正半周, 当 u_i 大于 3.7V 时, 二极管 D_1 处于正偏压而导通, 输出电压箝位在 $u_o = 3.7\text{V}$, 此时的二极管 D_2 截止。

当 u_i 小于 3.7V 时, 二极管 D_1 和 D_2 均处于反偏压而截止, 输出电压 $u_o = u_i$ 。

在 u_i 的负半周, 当 u_i 小于 (-3.7V) , 二极管 D_2 处于正偏压而导通, 输出电压 $u_o = -3.7\text{V}$, 二极管 D_1 截止。



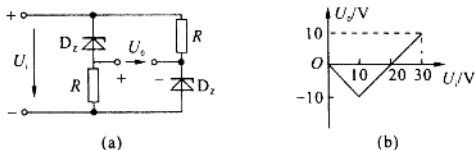
当 u_i 大于 (-3.7V) 时, 二极管 D_1 和 D_2 均处于反偏压而截止, 输出电压 $u_o = u_i$ 。



例 14.2 图

例 14.3 电路如例 14.3(a) 图所示, 设稳压管的稳定电压 $U_Z = 10\text{V}$, 试画出 $0\text{V} \leq U_i \leq 30\text{V}$ 范围内的传输特性曲线 $U_o = f(U_i)$ 。

解: 当 $U_i < 10\text{V}$ 时, D_2 反向截止, 所以 $U_o = -U_i$; 当 $U_i \geq 10\text{V}$ 时, D_2 反向击穿, 所以 $U_o = U_i - 10 - 10 = U_i - 20\text{V}$, 所以传输特性曲线 $U_o = f(U_i)$ 如图(b) 所示。



例 14.3 图

例 14.4 晶体管工作在放大区时, 要求发射结上加正向电压, 集电结上加反向电压。试就 NPN 型和 PNP 两种情况讨论。

- ① U_C 和 U_B 的电位哪个高? U_{CB} 是正还是负?
- ② U_B 和 U_E 的电位哪个高? U_{BE} 是正还是负?
- ③ U_C 和 U_E 的电位哪个高? U_{CE} 是正还是负?

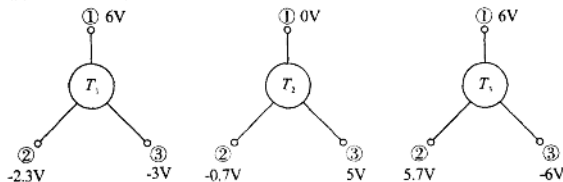
解: 先就 NPN 管来分析。

- ① $U_C > U_B$, U_{CB} 为正。
- ② $U_B > U_E$, U_{BE} 为正。
- ③ $U_C > U_E$, U_{CE} 为正。



PNP管的各项结论同NPN管的各项结论相反。

例 14.5 用直流电压表测某电路三只晶体管的三个电极对地的电压分别如例 14.5 图所示。试指出每只晶体管的 C、B、E 极。



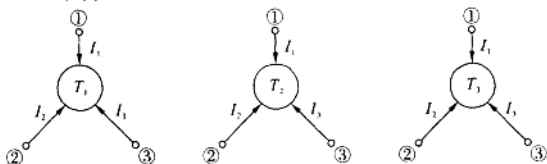
例 14.5 图

解: T_1 管:①为 C 极,②为 B 极,③为 E 极。

T_2 管:①为 B 极,②为 E 极,③为 C 极。

T_3 管:①为 E 极,②为 B 极,③为 C 极。

例 14.6 在例 14.6 图中,晶体管 T_1 、 T_2 、 T_3 的三个电极上的电流分别为:



例 14.6 图

① $I_1 = 0.01\text{mA}$ $I_2 = 2\text{mA}$ $I_3 = -2.01\text{mA}$

② $I_1 = 2\text{mA}$ $I_2 = -0.02\text{mA}$ $I_3 = -1.98\text{mA}$

③ $I_1 = -3\text{mA}$ $I_2 = 3.03\text{mA}$ $I_3 = -0.03\text{mA}$

试指出每只晶体管的 B、C、E 极。

解: T_1 管:①为 B 极,②为 C 极,③为 E 极。

T_2 管:①为 E 极,②为 B 极,③为 C 极。

T_3 管:①为 C 极,②为 E 极,③为 B 极。

14.4 练习与思考

练习与思考 14.1.1 电子导电和空穴导电有什么区别,空穴电流是不是自由电子递补空穴所形成的?



答： 电子导电是指在外电场的作用下，自由电子定向运动形成的电子电流。空穴导电是指在外电场作用下，被原子核束缚的价电子递补空穴形成空穴电流。由此可见，空穴电流不是自由电子递补空穴所形成的。

练习与思考 14.1.2 杂质半导体中的多数载流子和少数载流子是怎样产生的？为什么杂质半导体中少数载流子的浓度比本征载流子的浓度小？

答： 杂质半导体中的多数载流子是由掺杂产生的，少数载流子是由本征激发产生的。本征激发产生电子空穴对，其中有一种载流子和多数载流子相同，归于多数载流子，所以少数载流子的浓度比本征载流子的浓度小。

练习与思考 14.1.3 N型半导体中的自由电子多于空穴，而P型半导体的空穴多于自由电子，是否N型半导体带负电，而P型半导体带正电？

答： 整个晶体呈电中性不带电，所以不能说N型半导体带负电和P型半导体带正电。

练习与思考 14.3.1 二极管的伏安特性曲线上有一个死区电压。什么是死区电压？硅管和锗管的死区电压的典型值约为多少？

答： 当二极管正向偏压很小时，正向电流几乎为零，当正向偏压超过一定数值后，电流随电压增长很快。这个一定数值的正向电压称为死区电压。硅管死区电压约为0.5V，锗管的死区电压约为0.1V。

练习与思考 14.3.2 为什么二极管的反向饱和电流与外加反向电压基本无关，而当环境温度升高时，又明显增大？

答： 当二极管加反向电压时，通过PN结的只有少数载流子的漂移运动所形成的漂移电流。在常温下，由于少数载流子数目极少，在不太大的反向电压下已全部通过PN结，因而，即使反向电压再升高，反向饱和电流仍保持很小的数值不变。当环境温度升高时，少数载流子迅速增多，电流也明显增大。

练习与思考 14.3.3 用万用表测量二极管的正向电阻时，用 $R \times 100$ 挡测出的电阻值小，而用 $R \times 1k\Omega$ 挡测出的大，这是为什么？

答： 万用表测电阻是通过测量电阻中的电流而获得其电阻值。指针式万用表测电阻，指针偏转角度越大，读出电阻值越小。在使用 $R \times 100$ 挡时，万用表内阻小，加到二极管两端的正偏压大，流过二极管的正向电流大，指针向右偏转角度大，测得的电阻小。在使用 $R \times 1k\Omega$ 挡时，万用表内阻大，加到二极管两端的正向偏压小，流过二极管的正向电流小，指针向右偏转角度小，测得的电阻大。

练习与思考 14.3.4 怎样用万用表判断二极管的正极和负极以及管子的好坏？

答： 将万用表旋到电阻挡，表笔接在二极管两端，以阻值较小的一次测量为





准,黑表笔所接的为正极,红表笔接的一端为负极。当正接时电阻较小,反接时电阻很大表明二极管是好的。

练习与思考 14.3.5 把一个 1.5V 的干电池直接接到(正向接法)二极管的两端,会不会发生什么问题?

答: 产生大的电流,烧坏电源。

练习与思考 14.3.6 在某电路中,要求通过二极管的正向平均电流为 80mA,加在上面的最高反向电压为 110V,试从附录 C 中选用一合适的二极管。

答: 选择 2CZ52D。

练习与思考 14.4.1 为什么稳压二极管的动态电阻愈小,则稳压愈好?

答: 动态电阻是指稳压二极管端电压的变化量与相应的电流变化量的比值,动态电阻越小,反向击穿特性曲线越陡,稳压效果越好。

练习与思考 14.4.2 利用稳压二极管或普通二极管的正向压降,是否也可以稳压?

答: 也具有一定的稳压作用,硅管两端保持 0.6~0.8V,锗管两端保持 0.2~0.3V,其实际意义不大。

练习与思考 14.5.1 晶体管的发射极和集电极是否可以调换使用,为什么?

答: 晶体管结构主要特点是:E 区的掺杂浓度高,B 区的掺杂浓度低且薄,C 区结面积较大,因此 E 极和 C 极不可调换使用。

练习与思考 14.5.2 晶体管在输出特性曲线的饱和区工作时,其电流放大系数和在放大区工作时是否一样大?

答: 不一样大,在饱和区, I_B 的变化对 I_C 影响较小,两者不成正比,放大区的放大系数不适用于饱和区。

练习与思考 14.5.3 晶体管具有电流放大作用,其外部条件和内部条件各为什么?

答: 外部条件: 晶体管的偏置电压必须满足发射结正向偏置,集电结反向偏置。

内部条件: 发射区掺杂浓度高,基区很薄且掺杂浓度低,集电结面积大,且集电区掺杂浓度低。

练习与思考 14.5.4 为什么晶体管基区掺杂浓度小且做得很薄?

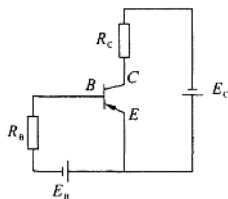
答: 只有这样才可以大大减少电子与基区空穴复合的机会,使绝大部分自由电子都能扩散到集电结边缘,形成集电极电流 $I_c = \beta I_b$,使晶体管成为电流控制器件。





练习与思考 14.5.5 将一PNP型晶体管接成共发射极电路,要使它具有电流放大作用, E_C 和 E_B 的正、负极应如何连接,为什么?画出电路图。

答: 电路如图所示,这样连接才能保证发射结正向偏置,集电结反向偏置,三极管具有电流放大作用。



练习与思考 14.5.5 图

练习与思考 14.5.6 有两个晶体管,一个管子 $\bar{\beta} = 50$, $I_{CBO} = 0.5\mu A$;另一个管子 $\bar{\beta} = 150$, $I_{CBO} = 2\mu A$ 。如果其他参数一样,选用哪个管子较好?为什么?

答: 选用 $\bar{\beta} = 50$, $I_{CBO} = 0.5\mu A$ 的晶体管。若选择 $\bar{\beta} = 150$, $I_{CBO} = 2\mu A$ 的晶体管由于 I_{CBO} 比较大,受温度影响大,影响静态工作点的稳定性。

练习与思考 14.5.7 使用晶体管时,只要①集电极电流超过 I_{CM} 值;②耗损功率超过 P_{CM} 值;③集-射极电压超过 $U_{(BR)CEO}$ 值,晶体管就必然损坏。上述几种说法是否都是对的?

答: ①会损坏;②会损坏;③会损坏,以上几种说法都正确。

练习与思考 14.5.8 在附录C中查出晶体管3DG100B的直流参数和极限参数。

答: 直流参数: $I_{CBO} = 0.1\mu A$, $I_{EBO} = 0.1\mu A$, $I_{CB} = 0.1\mu A$, $U_{BE(sat)} = 1.1V$, $h_{FE}(\beta) = 30$

极限参数: $U_{(BR)CEO} = 40V$, $U_{(BR)CE} = 30V$, $U_{(BR)EB} = 4V$, $I_{CM} = 20mA$, $P_{CM} = 100mW$, $T_{JM} = 150^\circ C$

练习与思考 14.5.9 测得某一晶体管的 $I_B = 10\mu A$, $I_C = 1mA$,能否确定它的电流放大系数?什么情况下可以,什么情况下不可以?

答: $\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$, $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$,两者的含义是不同的,但在输出特性曲线近于平行等距,并且 I_{CBO} 较小的情况下,两者数值较为接近,在这种情况下,可以利用 I_B 和 I_C 的值确定 β ,否则不行。

练习与思考 14.5.10 晶体管在工作时,基极引线万一断开,为什么有时会导致管子损坏?

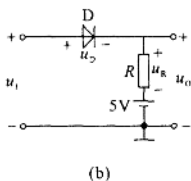
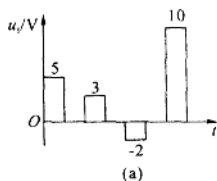
答: 当基极断开,加在C极,E极之间的电压 $U_{CE} > U_{(BR)CEO}$ 时,管子会被损坏。



14.5 习题详解

习题 14.3.1 题 14.3.1 图是二极管组成的电路和输入电压 U_i 的波形,试画出

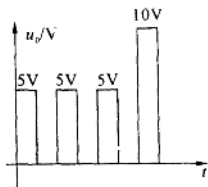
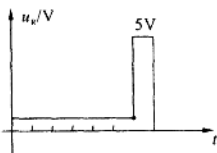
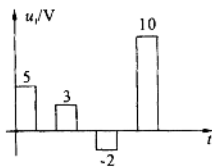
输出电压 u_o 和电阻 R 上电压 U_R 的波形。二极管的正向压降可忽略不计。



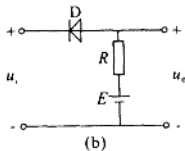
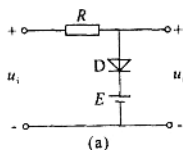
习题 14.3.1 图

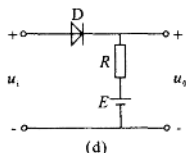
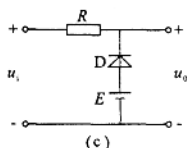
分析: 在二极管正向压降可忽略不计的条件下, $u_i \geq 5V$ 时, 二极管导通, $u_o = 5V + u_R$ 。当 $u_i < 5V$ 时, 二极管截止, $u_o = 5V$ 。

解: u_R 与 u_o 波形如下图所示:



习题 14.3.2 在题 14.3.2 图所示的各电路中, $E = 5V$, $u_i = 10\sin(\omega t)(V)$, 二极管的正向压降可忽略不计, 试分别画出输出电压 u_o 的波形。

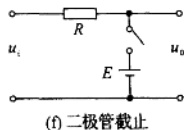
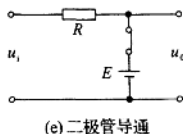




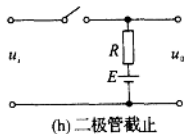
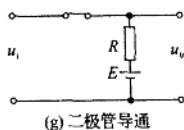
习题 14.3.2 图

分析: 图(a)和图(c)电路中, 二极管接在输出回路中, 当二极管导通时, $u_o = E$; 当二极管截止时, $u_o = u_i$ 。图(b)和图(d)电路中, 二极管串接在输入回路中, 二极管截止时, $u_o = E$; 二极管导通时, $u_o = E + u_R = u_i$ 。

解: (a): u_i 为正半周时, 当 $u_i > E$, D 导通, 当 $u_i < E$, D 截止。 u_i 负半周时, D 截止。两种情况的等效电路如下图(e)、(f)所示, 由图可见, D 导通时, $u_o = E$; D 截止时, $u_o = u_i$ 。

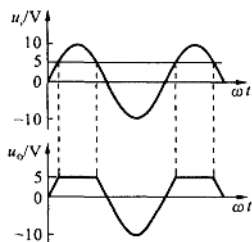


(b): u_i 为正半周时, $u_i > E$, D 截止, $u_i < E$, D 导通; u_i 负半周时, $u_i < E$, D 导通。两种情况的等效电路如下图(g)、(h)所示, 由图可见, D 导通时, $u_o = u_i$, D 截止时, $u_o = E$ 。

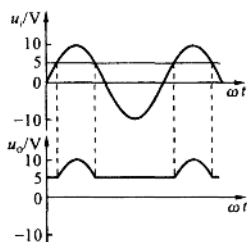


(c): 图(c)与图(a)电路比较, 二极管反接, 导通和截止时间刚好相反。

(d): 图(d)和图(b)电路比较, 二极管反接, 导通和截止时间刚好相反。

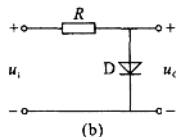
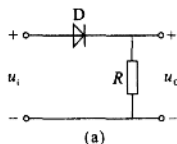


图(a)和图(b)电路输出电压的波形



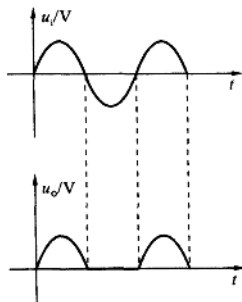
图(c)和图(d)电路输出电压的波形

习题 14.3.3 在题 14.3.3 图所示的两个电路中, 已知 $u_i = 50\sin(\omega t)(V)$, 二极管的正向压降可忽略不计, 试分别画出输出电压 u_o 的波形。

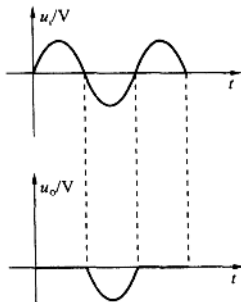


习题 14.3.3 图

解: 此题分析同题 14.3.2 图, 其输出波形如下图所示。



图(a)电路输出电压的波形



图(b)电路的输出电压的波形