

## 第八章 波形的发生和信号的转换

### 自测题

一、判断下列说法是否正确，用“ ”或“×”表示判断结果。

(1) 在图 T8.1 所示方框图中，若  $\varphi_F = 180^\circ$ ，则只有当  $\varphi_A = \pm 180^\circ$  时，电路才能产生正弦波振荡。( )

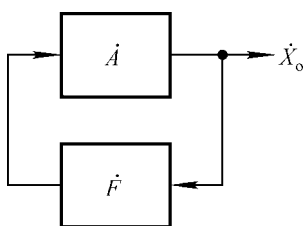


图 T8.1

(2) 只要电路引入了正反馈，就一定会产生正弦波振荡。( )

(3) 凡是振荡电路中的集成运放均工作在线性区。( )

(4) 非正弦波振荡电路与正弦波振荡电路的振荡条件完全相同。( )

解：(1) (2) × (3) × (4) ×

二、改错：改正图 T8.2 所示各电路中的错误，使电路可能产生正弦波振荡。要求不能改变放大电路的基本接法（共射、共基、共集）。

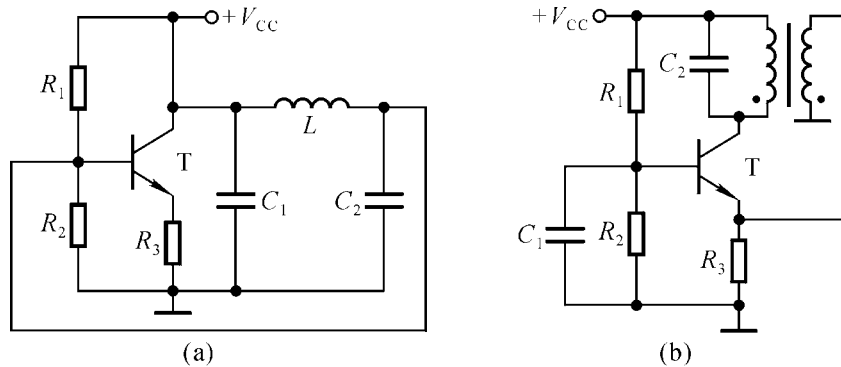


图 T8.2

解：(a) 加集电极电阻  $R_c$  及放大电路输入端的耦合电容。

(b) 变压器副边与放大电路之间加耦合电容，改同铭端。

三、试将图 T8.3 所示电路合理连线，组成 RC 桥式正弦波振荡电路。

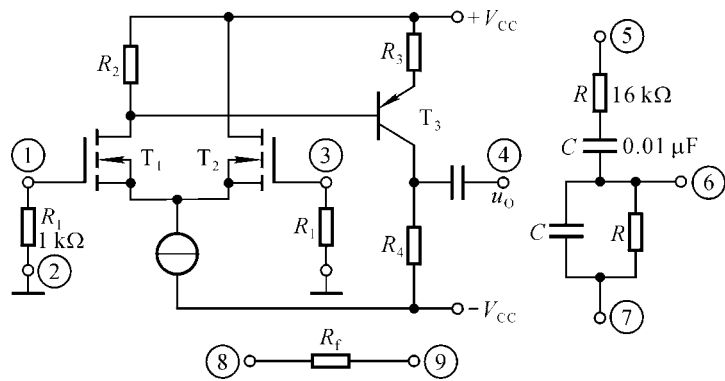
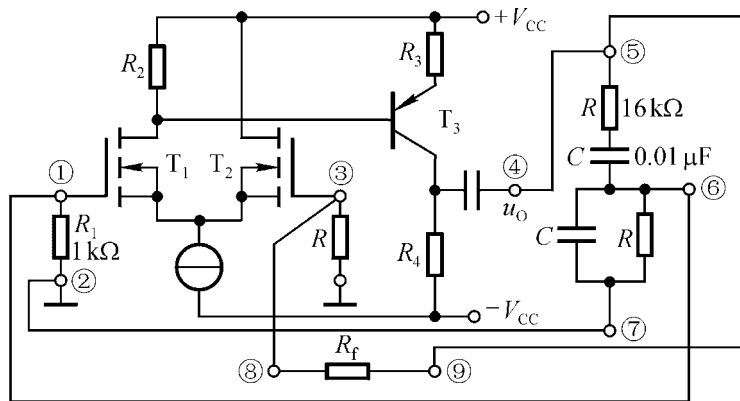


图 T8.3

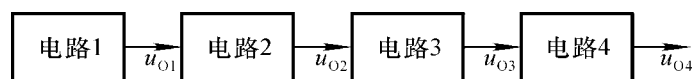
解：、与 相连，与 相连，与 相连，与 相连。如解图 T8.3 所示。



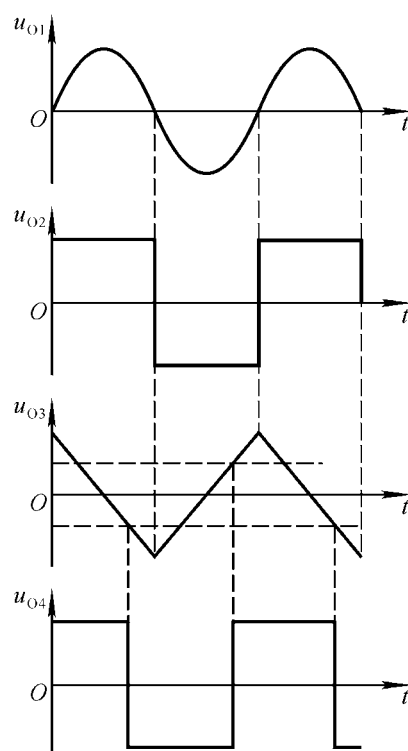
解图 T8.3

四、已知图 T8.4 (a) 所示方框图各点的波形如图 (b) 所示，填写各电路的名称。

电路 1 为 \_\_\_\_\_ ， 电路 2 为 \_\_\_\_\_ ， 电路 3 为 \_\_\_\_\_ ， 电路 4 为 \_\_\_\_\_ 。



(a)



(b)

图 T8.4

**解：**正弦波振荡电路，同相输入过零比较器，反相输入积分运算电路，同相输入滞回比较器。

五、试分别求出图 T8.5 所示各电路的电压传输特性。

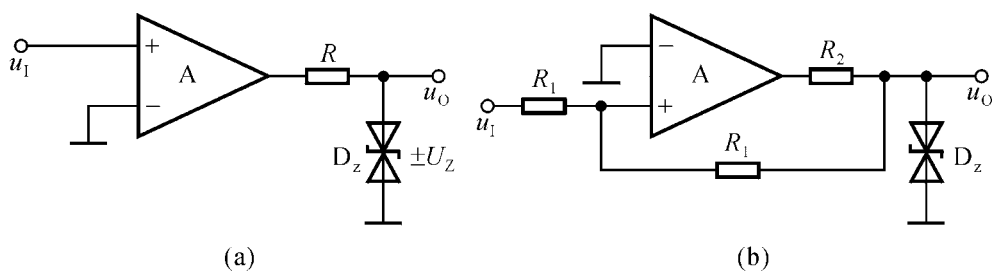
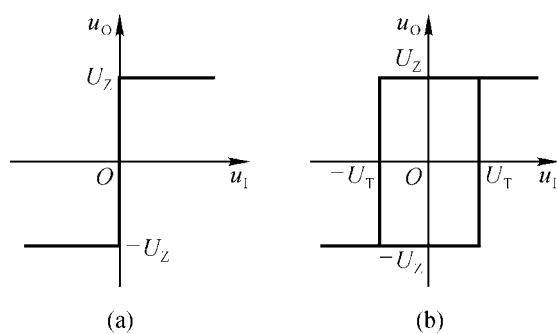


图 T8.5

**解：**图 (a) 所示电路为同相输入的过零比较器；图 (b) 所示电路为同相输入的滞回比较器，两个阈值电压为  $\pm U_T = \pm 0.5 U_Z$ 。两个电路的电压传输特性如解图 T8.5 所示



解图 T8.5

六、电路如图 T8.6 所示。

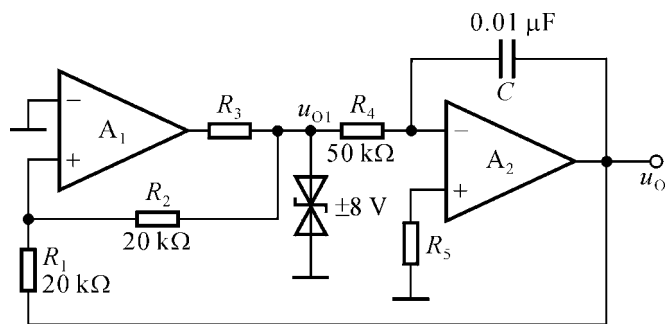


图 T8.6

- (1) 分别说明  $A_1$  和  $A_2$  各构成哪种基本电路；
- (2) 求出  $u_{O1}$  与  $u_O$  的关系曲线  $u_{O1} = f(u_O)$ ；
- (3) 求出  $u_O$  与  $u_{O1}$  的运算关系式  $u_O = f(u_{O1})$ ；
- (4) 定性画出  $u_{O1}$  与  $u_O$  的波形；
- (5) 说明若要提高振荡频率，则可以改变哪些电路参数，如何改变。

解：(1)  $A_1$ ：滞回比较器； $A_2$ ：积分运算电路。

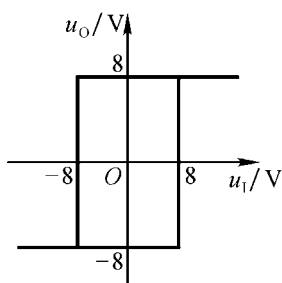
$$(2) \text{ 根据 } u_{P1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_{O1} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot u_O = \frac{1}{2}(u_{O1} + u_O) = u_{N1} = 0, \text{ 可得}$$

$$\pm U_T = \pm 8V$$

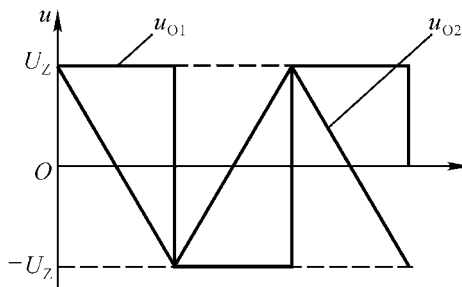
$u_{O1}$  与  $u_O$  的关系曲线如解图 T8.6 (a) 所示。

(3)  $u_O$  与  $u_{O1}$  的运算关系式

$$\begin{aligned} u_O &= -\frac{1}{R_4 C} u_{O1}(t_2 - t_1) + u_O(t_1) \\ &= -2000 u_{O1}(t_2 - t_1) + u_O(t_1) \end{aligned}$$



(a)



(b)

解图 T8.6

(4)  $u_{O1}$  与  $u_O$  的波形如解图 T8.6 (b) 所示。

(5) 要提高振荡频率, 可以减小  $R_4$ 、 $C$ 、 $R_1$  或增大  $R_2$ 。

## 习 题

8.1 判断下列说法是否正确, 用 “ ” 或 “ × ” 表示判断结果。

(1) 在图 T8.1 所示方框图中, 产生正弦波振荡的相位条件是  $\varphi_F = \pm \varphi_A$ 。( )

(2) 因为  $RC$  串并联选频网络作为反馈网络时的  $\varphi_F = 0^\circ$ , 单管共集放大电路的  $\varphi_A = 0^\circ$ , 满足正弦波振荡的相位条件  $\varphi_A + \varphi_F = 2n\pi$  ( $n$  为整数), 故合理连接它们可以构成正弦波振荡电路。( )

(3) 在  $RC$  桥式正弦波振荡电路中, 若  $RC$  串并联选频网络中的电阻均为  $R$ , 电容均为  $C$ , 则其振荡频率  $f_0 = 1/RC$ 。( )

(4) 电路只要满足  $|\dot{A}\dot{F}|=1$ , 就一定会产生正弦波振荡。( )

(5) 负反馈放大电路不可能产生自激振荡。( )

(6) 在  $LC$  正弦波振荡电路中, 不用通用型集成运放作放大电路的原因是其上限截止频率太低。( )

解: (1)            (2) ×            (3) ×            (4) ×            (5) ×            (6)

8.2 判断下列说法是否正确, 用 “ ” 或 “ × ” 表示判断结果。

(1) 只要集成运放引入正反馈, 就一定工作在非线性区。( )

(2) 当集成运放工作在非线性区时, 输出电压不是高电平, 就是低电平。( )

(3) 一般情况下, 在电压比较器中, 集成运放不是工作在开环状态, 就是仅仅引入了正反馈。( )

(4) 如果一个滞回比较器的两个阈值电压和一个窗口比较器的相同, 那么当它们的输入电压相同时, 它们的输出电压波形也相同。( )

(5) 在输入电压从足够低逐渐增大到足够高的过程中, 单限比较器和滞回比较器的输出电压均只跃变一次。( )

(6) 单限比较器比滞回比较器抗干扰能力强, 而滞回比较器比单限比较器灵敏度高。( )

解: (1) ×            (2)            (3)            (4) ×            (5)            (6) ×

8.3 现有电路如下：

- A .  $RC$  桥式正弦波振荡电路
- B .  $LC$  正弦波振荡电路
- C . 石英晶体正弦波振荡电路

选择合适答案填入空内，只需填入 A、B 或 C。

- (1) 制作频率为  $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$  的音频信号发生电路，应选用\_\_\_\_\_。
- (2) 制作频率为  $2\text{MHz} \sim 20\text{MHz}$  的接收机的本机振荡器，应选用\_\_\_\_\_。
- (3) 制作频率非常稳定的测试用信号源，应选用\_\_\_\_\_。

解：(1) A      (2) B      (3) C

8.4 选择下面一个答案填入空内，只需填入 A、B 或 C。

- A . 容性      B . 阻性      C . 感性

(1)  $LC$  并联网络在谐振时呈\_\_\_\_\_，在信号频率大于谐振频率时呈\_\_\_\_\_，在信号频率小于谐振频率时呈\_\_\_\_\_。

(2) 当信号频率等于石英晶体的串联谐振频率或并联谐振频率时，石英晶体呈\_\_\_\_\_；当信号频率在石英晶体的串联谐振频率和并联谐振频率之间时，石英晶体呈\_\_\_\_\_；其余情况下石英晶体呈\_\_\_\_\_。

(3) 当信号频率  $f = f_0$  时， $RC$  串并联网络呈\_\_\_\_\_。

解：(1) B    A    C      (2) B    C    A      (3) B

8.5 判断图 P8.5 所示各电路是否可能产生正弦波振荡，简述理由。设图 (b) 中  $C_4$  容量远大于其它三个电容的容量。

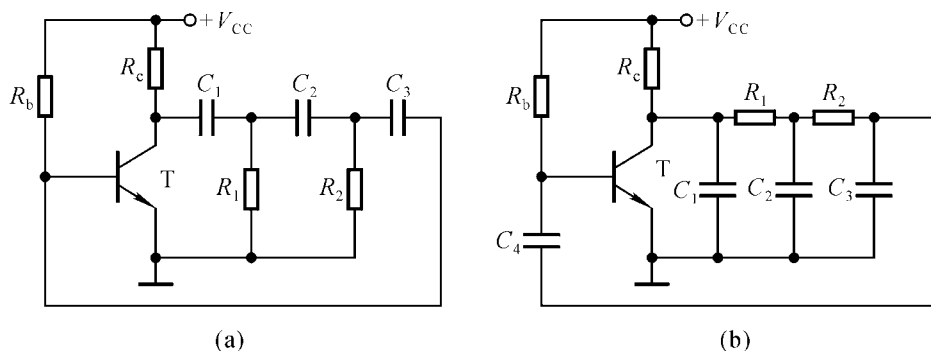


图 P8.5

**解：**图 (a) 所示电路有可能产生正弦波振荡。因为共射放大电路输出电压和输入电压反相 ( $\varphi_A = -180^\circ$ )，且图中三级移相电路为超前网络，在信号频率为 0 到无穷大时相移为  $+270^\circ \sim 0^\circ$ ，因此存在使相移为  $+180^\circ$  ( $\varphi_F = +180^\circ$ ) 的频率，即存在满足正弦波振荡相位条件的频率  $f_0$  (此时  $\varphi_A + \varphi_F = 0^\circ$ )；且在  $f = f_0$  时有可能满足起振条件  $|\dot{A}\dot{F}| > 1$ ，故可能产生正弦波振荡。

图 (b) 所示电路有可能产生正弦波振荡。因为共射放大电路输出电压和输入电压反相 ( $\varphi_A = -180^\circ$ )，且图中三级移相电路为滞后网络，在信号频率为 0 到无穷大时相移为  $0^\circ \sim -270^\circ$ ，因此存在使相移为  $-180^\circ$  ( $\varphi_F = -180^\circ$ ) 的频率，即存在满足正弦波振荡相位条件的频率  $f_0$  (此时  $\varphi_A + \varphi_F = -360^\circ$ )；且在  $f = f_0$  时有可能满足起振条件  $|\dot{A}\dot{F}| > 1$ ，故可能产生正弦波振荡。

**8.6** 电路如图 P8.5 所示，试问：

(1) 若去掉两个电路中的  $R_2$  和  $C_3$ ，则两个电路是否可能产生正弦波振荡？为什么？

(2) 若在两个电路中再加一级  $RC$  电路，则两个电路是否可能产生正弦波振荡？为什么？

**解：**(1) 不能。因为图 (a) 所示电路在信号频率为 0 到无穷大时相移为  $+180^\circ \sim 0^\circ$ ，图 (b) 所示电路在信号频率为 0 到无穷大时相移为  $0^\circ \sim -180^\circ$ ，在相移为  $\pm 180^\circ$  时反馈量为 0，因而不可能产生正弦波振荡。

(2) 可能。因为存在相移为  $\pm 180^\circ$  的频率，满足正弦波振荡的相位条件，且电路有可能满足幅值条件，因此可能产生正弦波振荡。

**8.7** 电路如图 P8.7 所示，试求解：



- (1)  $R_W$  的下限值；  
 (2) 振荡频率的调节范围。

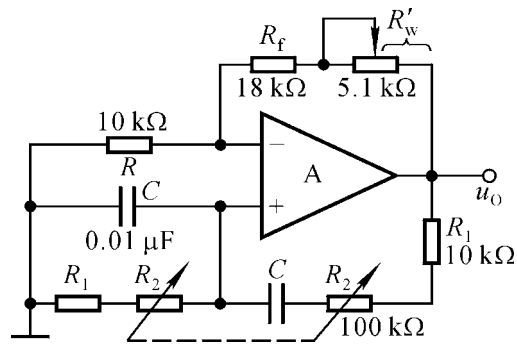


图 P8.7

解：(1) 根据起振条件

$$R_f + R'_W > 2R, R'_W > 2k \quad .$$

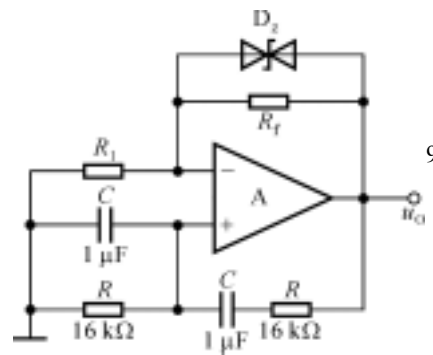
故  $R_W$  的下限值为  $2k$  。

(2) 振荡频率的最大值和最小值分别为

$$f_{0\max} = \frac{1}{2\pi R_1 C} \approx 1.6\text{kHz}$$

$$f_{0\min} = \frac{1}{2\pi (R_1 + R_2) C} \approx 145\text{Hz}$$

8.8 电路如图 P8.8 所示，稳压管



$D_Z$  起稳幅作用，其稳定电压  $\pm U_Z = \pm 6V$ 。试估算：

- (1) 输出电压不失真情况下的有效值；
- (2) 振荡频率。

解：(1) 输出电压不失真情况下的峰值是稳压管的稳定电压，故其有效值

$$U_o = \frac{1.5U_Z}{\sqrt{2}} \approx 6.36V$$

- (2) 电路的振荡频率

图 P8.8

$$f_0 = \frac{1}{2RC} \approx 9.95Hz$$

8.9 电路如图 P8.9 所示。

(1) 为使电路产生正弦波振荡，标出集成运放的“+”和“-”；并说明电路是哪一种正弦波振荡电路。

(2) 若  $R_1$  短路，则电路将产生什么现象？

(3) 若  $R_1$  断路，则电路将产生什么现象？

(4) 若  $R_F$  短路，则电路将产生什么现象？

(5) 若  $R_F$  断路，则电路将产生什么现象？

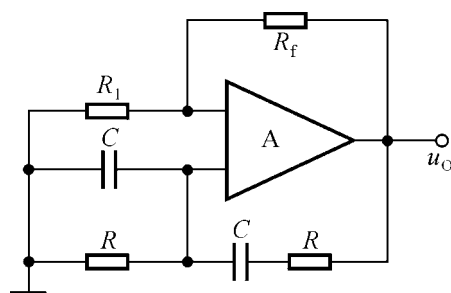


图 P8.9

解：(1) 上“-”下“+”

- (2) 输出严重失真，几乎为方波。
- (3) 输出为零。
- (4) 输出为零。
- (5) 输出严重失真，几乎为方波。

8.10 图 P8.10 所示电路为正交正弦波振荡电路，它可产生频率相同的正

弦信号和余弦信号。已知稳压管的稳定电压  $\pm U_Z = \pm 6V$  ,  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$  ,  $C_1 = C_2 = C$ 。

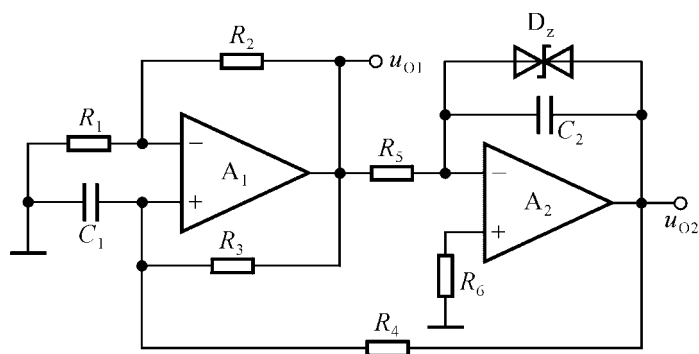


图 P8.10

- (1) 试分析电路为什么能够满足产生正弦波振荡的条件；
- (2) 求出电路的振荡频率；
- (3) 画出  $\dot{U}_{o1}$  和  $\dot{U}_{o2}$  的波形图，要求表示出它们的相位关系，并分别求出它们的峰值。

**解：**(1) 在特定频率下，由  $A_2$  组成的积分运算电路的输出电压  $\dot{U}_{o2}$  超前输入电压  $\dot{U}_{o1}$   $90^\circ$ ，而由  $A_1$  组成的电路的输出电压  $\dot{U}_{o1}$  滞后输入电压  $\dot{U}_{o2}$   $90^\circ$ ，因而  $\dot{U}_{o1}$  和  $\dot{U}_{o2}$  互为依存条件，即存在  $f_0$  满足相位条件。在参数选择合适时也满足幅值条件，故电路在两个集成运放的输出同时产生正弦和余弦信号。

(2) 解方程组：

$$\begin{cases} \dot{U}_{P1} = \dot{U}_{N1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \dot{U}_{o1} \\ \frac{\dot{U}_{P1} - \dot{U}_{o1}}{R_4} + \frac{\dot{U}_{P1} - \dot{U}_{o1}}{R_3} = -\dot{U}_{P1} \cdot j\omega C_1 \\ \dot{U}_{o2} = -\frac{\dot{U}_{o1}}{j\omega R_5 C_2} \end{cases}$$

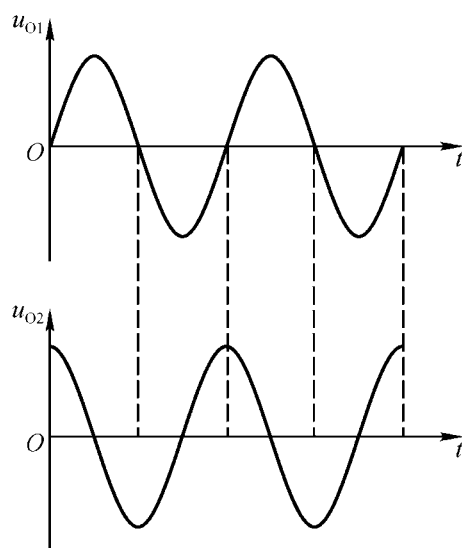
可得正实根，求出  $f_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi} RC}$ 。

(3) 输出电压  $u_2$  最大值  $U_{O2\max} = U_Z = 6V$

对方程组中的第三式取模，并将  $\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}RC}$  代入可得

$$|\dot{U}_{o1}| = \sqrt{2}|\dot{U}_{o2}|, \text{ 故 } U_{o1\max} = \sqrt{2}U_{o2\max} \approx 8.5V。$$

若  $u_{O1}$  为正弦波，则  $u_{O2}$  为余弦波，如解图 8.10 所示。



解图 P8.10

**8.11** 分别标出图 P8.11 所示各电路中变压器的同铭端，使之满足正弦波振荡的相位条件。

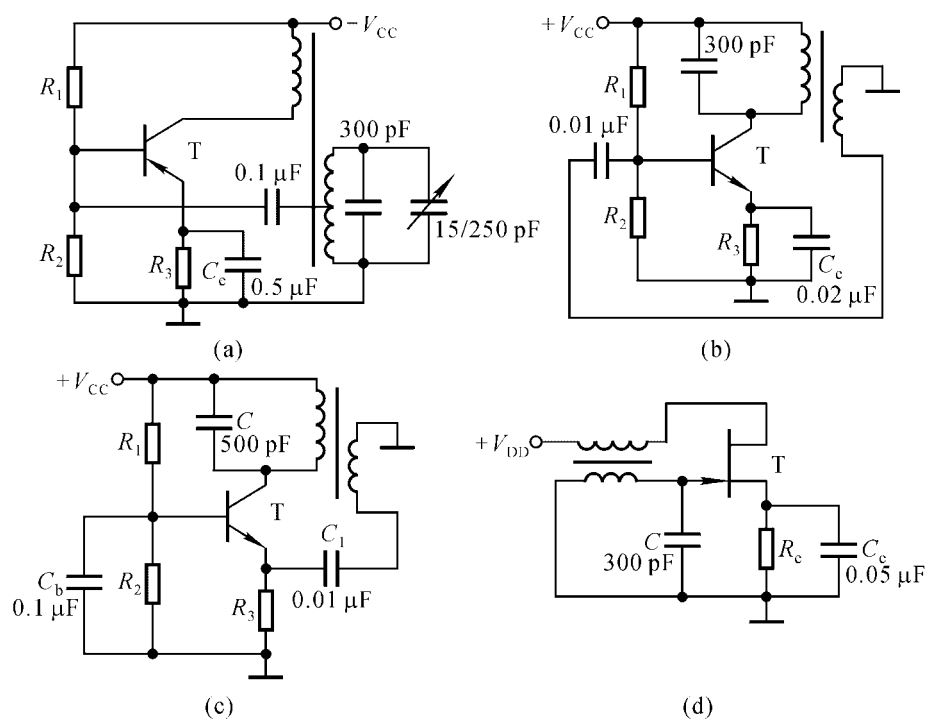
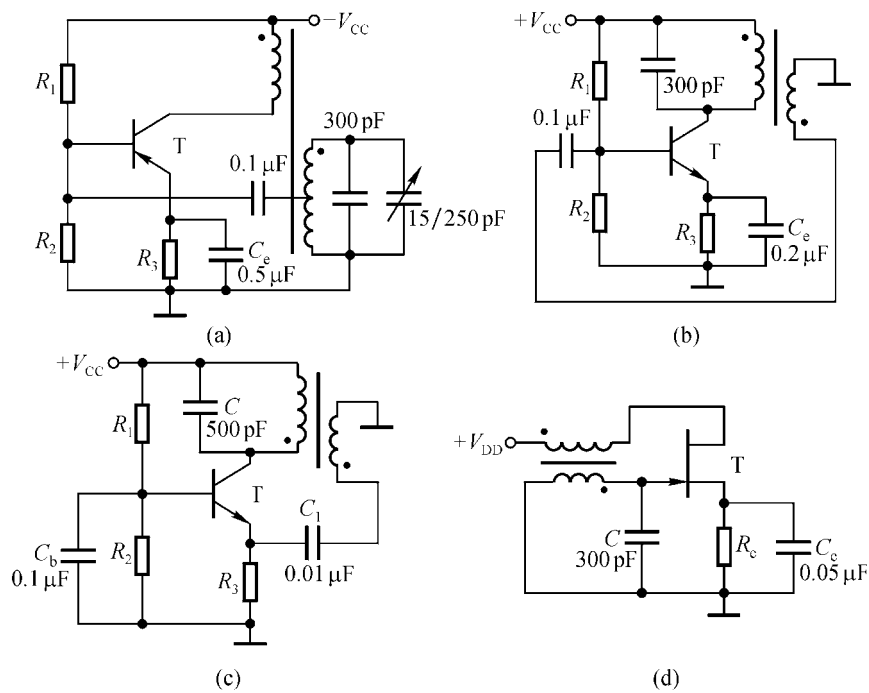


图 P8.11

解：图 P8.11 所示各电路中变压器的同铭端如解图 P8.11 所示。



解图 P8.11

8.12 分别判断图 P8.12 所示各电路是否满足正弦波振荡的相位条件。

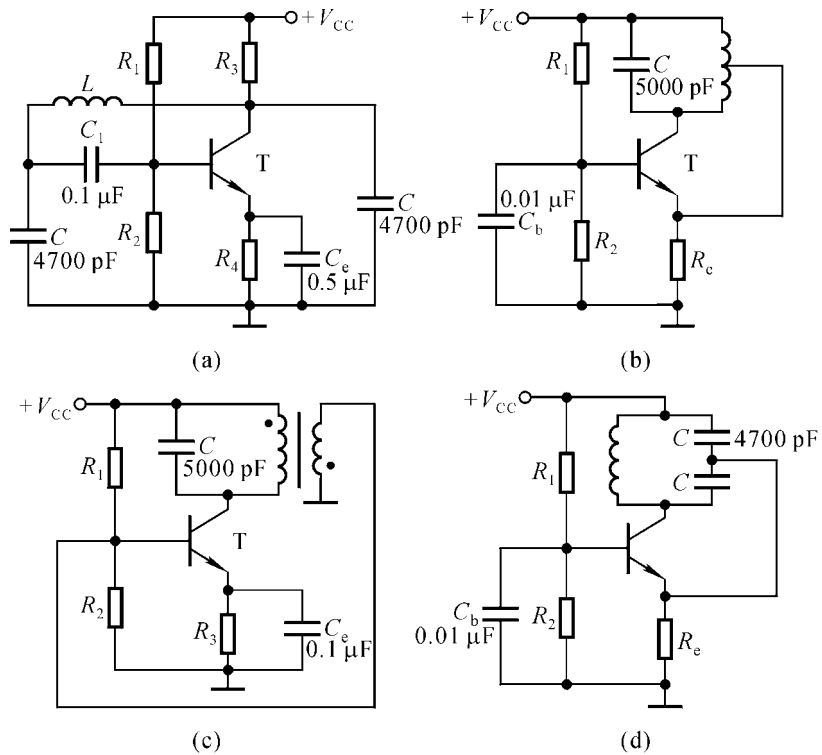


图 P8.12

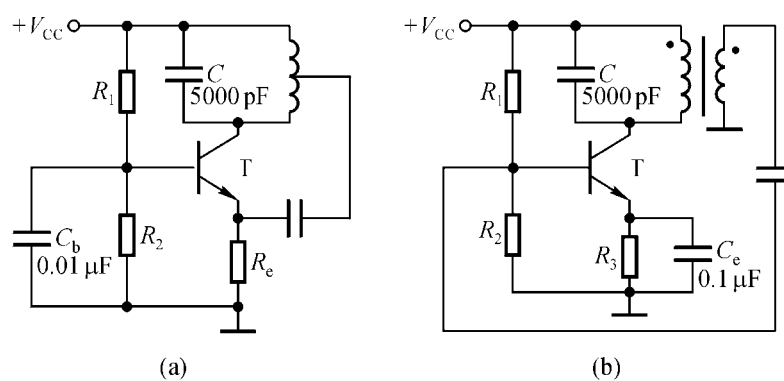
解：(a) 可能 (b) 不能 (c) 不能 (d) 可能

**8.13** 改正图 P8.12 (b)(c) 所示两电路中的错误，使之有可能产生正弦波振荡。

**解：**应在 (b) 所示电路电感反馈回路中加耦合电容。

应在 (c) 所示电路放大电路的输入端（基极）加耦合电容，且将变压器的同铭端改为原边的上端和副边的上端为同铭端，或它们的下端为同铭端。

改正后的电路如解图 P8.13 所示。



解图 P8.13

8.14 试分别指出图 P8.14 所示两电路中的选频网络、正反馈网络和负反馈网络，并说明电路是否满足正弦波振荡的相位条件。

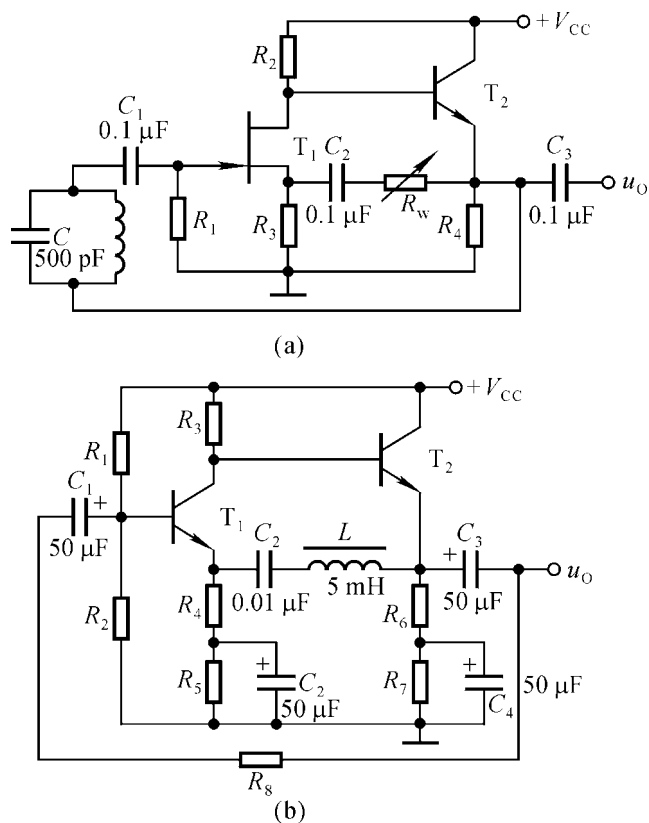


图 P8.14

解：在图 (a) 所示电路中，选频网络： $C$  和  $L$ ；正反馈网络： $R_3$ 、 $C_2$  和  $R_w$ ；负反馈网络： $C$  和  $L$ 。电路满足正弦波振荡的相位条件。

在图 (b) 所示电路中，选频网络： $C_2$  和  $L$ ；正反馈网络： $C_2$  和  $L$ ；负反馈网络： $R_8$ 。电路满足正弦波振荡的相位条件。

8.15 试分别求解图 P8.15 所示各电路的电压传输特性。

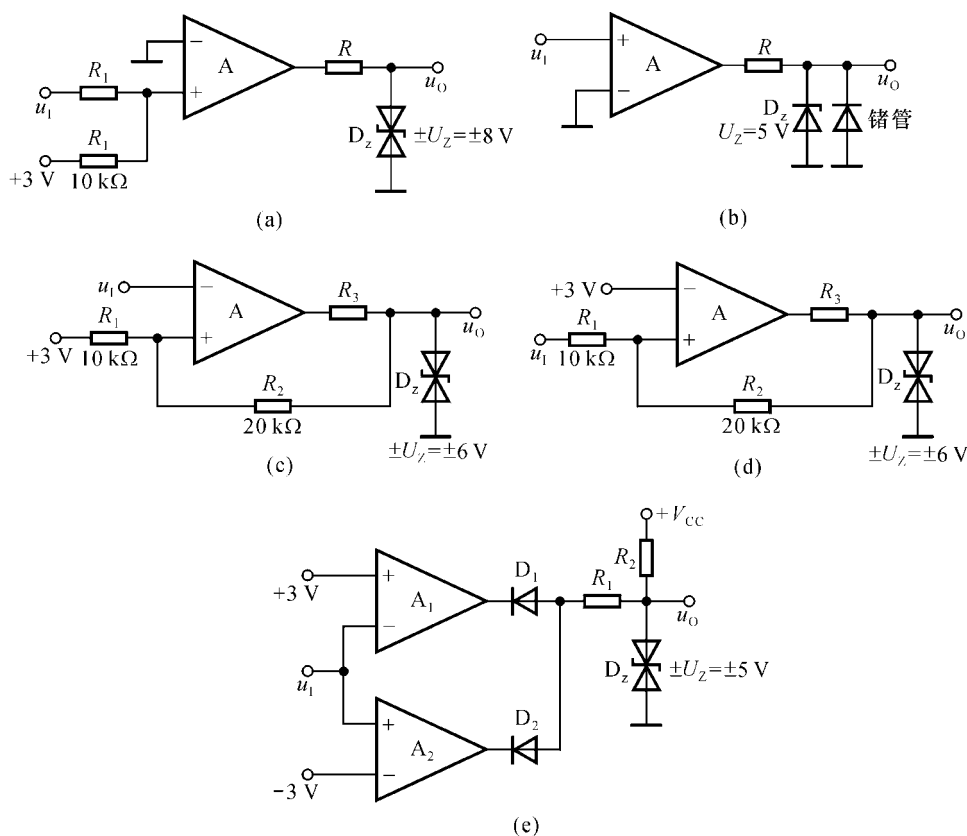


图 P8.15

**解：**图 (a) 所示电路为单限比较器， $u_O = \pm U_Z = \pm 8V$ ， $U_T = -3V$ ，其电压传输特性如解图 P8.15 (a) 所示。

图 (b) 所示电路为零比较器， $U_{OL} = -U_D = -0.2V$ ， $U_{OH} = +U_Z = +6V$ ， $U_T = 0V$ 。其电压传输特性如解图 P8.15 (b) 所示。

图 (c) 所示电路为反相输入的滞回比较器， $u_O = \pm U_Z = \pm 6V$ 。令

$$u_P = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{REF} = u_N = u_I$$

求出阈值电压  $U_{T1} = 0V$   $U_{T2} = 4V$

其电压传输特性如解图 P8.15 (c) 所示。

图 (d) 所示电路为同相输入的滞回比较器， $u_O = \pm U_Z = \pm 6V$ 。令

$$u_P = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot u_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_{O1} = u_N = 3V$$

得出阈值电压

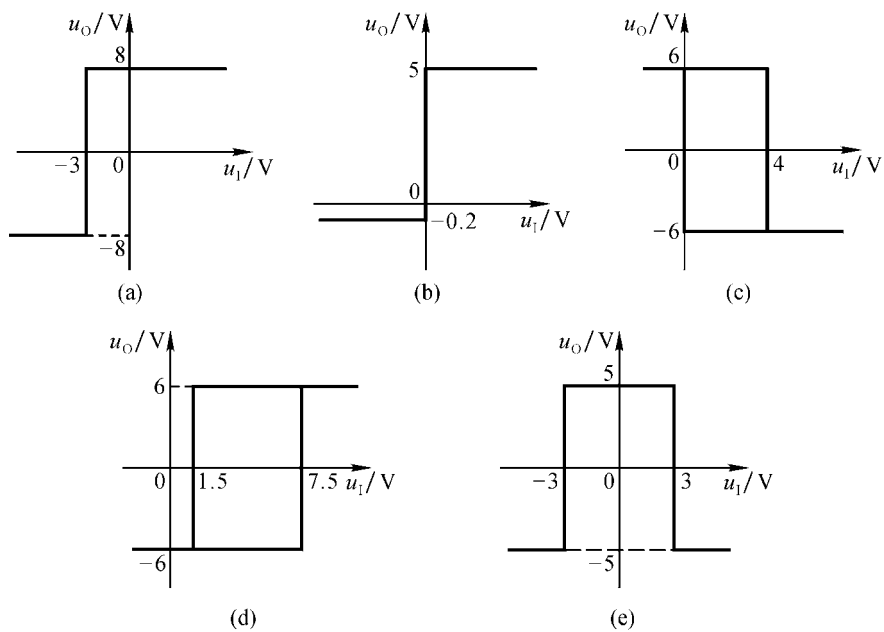


$$U_{T1} = 1.5V$$

$$U_{T2} = 7.5V$$

其电压传输特性如解图 P8.15 (d) 所示。

图 (e) 所示电路为窗口比较器， $u_O = \pm U_Z = \pm 5V$ ， $\pm U_T = \pm 3V$ ，其电压传输特性如解图 P8.15 (e) 所示。



解图 P8.15

**8.16** 已知三个电压比较器的电压传输特性分别如图 P8.16 (a)、(b)、(c) 所示，它们的输入电压波形均如图 (d) 所示，试画出  $u_{O1}$ 、 $u_{O2}$  和  $u_{O3}$  的波形。

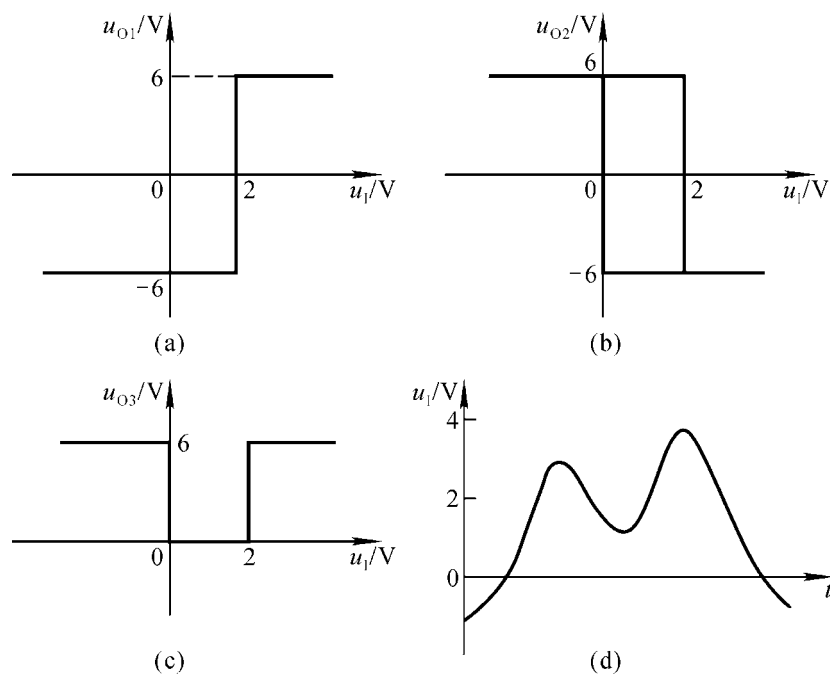
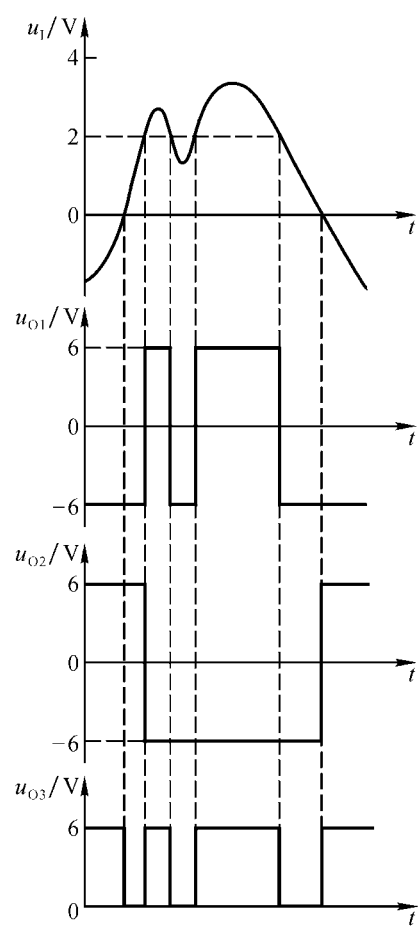


图 P8.16

**解：**根据三个电压比较器的电压传输特性画出在输入电压作用下它们的输出电压波形，如解图 P8.16 所示。



解图 P8.16

8.17 图 P8.17 所示为光控电路的一部分，它将连续变化的光电信号转换成离散信号（即不是高电平，就是低电平），电流  $I$  随光照的强弱而变化。

（1）在  $A_1$  和  $A_2$  中，哪个工作在线性区？哪个工作在非线性区？为什么？

（2）试求出表示  $u_O$  与  $i$  关系的传输特性。

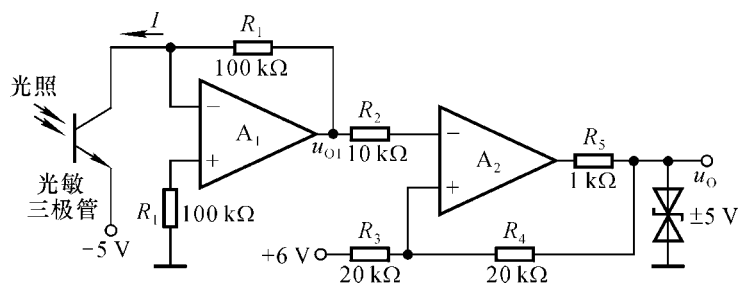


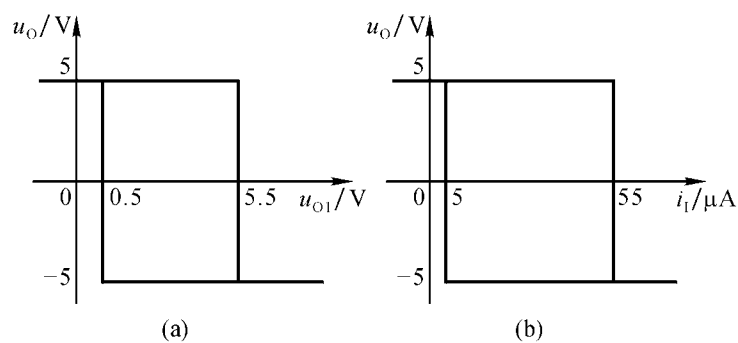
图 P8.17

解：（1） $A_1$  工作在线性区（电路引入了负反馈）； $A_2$  工作在非线性区（电路仅引入了正反馈）。

（2） $u_O$  与  $i$  关系式为

$$u_{O1} = -i_1 R_1 = -100i_1$$

$u_O$  与  $u_{O1}$  的电压传输特性如解图 P8.17 (a) 所示，因此  $u_O$  与  $i$  关系的传输特性如解图 P8.17 (b) 所示。



解图 P8.17

**8.18** 设计三个电压比较器，它们的电压传输特性分别如图 P8.16 (a)、(b)、(c) 所示。要求合理选择电路中各电阻的阻值，限定最大值为  $50\text{k}\Omega$ 。

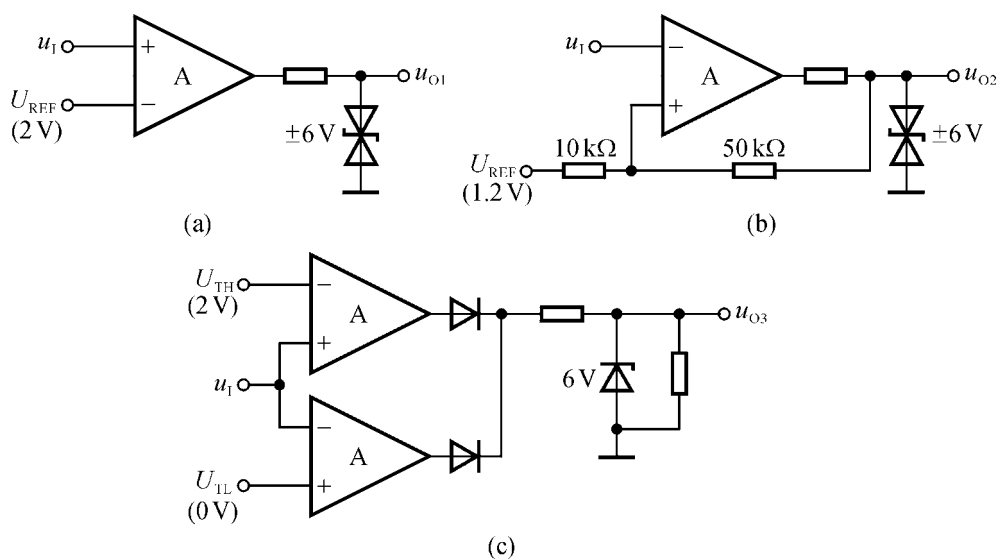
**解：**具有图 P8.16 (a) 所示电压传输特性的电压比较器为同相输入的单限比较器。输出电压  $u_O = \pm U_Z = \pm 6\text{V}$ ，阈值电压  $U_T = 2\text{V}$ ，电路如解图 P8.18 (a) 所示。

具有图 P8.16 (b) 所示电压传输特性的电压比较器为反相输入的滞回比较器。输出电压  $u_O = \pm U_Z = \pm 6\text{V}$ ；阈值电压  $U_{T1} = 0\text{V}$ ， $U_{T2} = 2\text{V}$ ，说明电路输入有  $U_{\text{REF}}$  作用，根据

$$u_P = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{\text{REF}} = u_N = u_1$$

列方程，令  $R_2 = 50\text{k}\Omega$ ，可解出  $R_1 = 10\text{k}\Omega$ ， $U_{\text{REF}} = 1.2\text{V}$ 。电路如解图 P8.18 (b) 所示。

具有图 P8.16 (c) 所示电压传输特性的电压比较器为窗口单限比较器。输出电压  $U_{\text{OL}} = 0\text{V}$ ， $U_{\text{OH}} = 6\text{V}$ ，阈值电压  $U_{\text{T1}} = 0\text{V}$ ， $U_{\text{T2}} = 2\text{V}$ 。电路如解图 P8.18 (c) 所示。



解图 P8.18

8.19 在图 P8.19 所示电路中, 已知  $R_1 = 10 \text{ k}$ ,  $R_2 = 20 \text{ k}$ ,  $C = 0.01 \mu\text{F}$ , 集成运放的最大输出电压幅值为  $\pm 12\text{V}$ , 二极管的动态电阻可忽略不计。

(1) 求出电路的振荡周期;

(2) 画出  $u_O$  和  $u_C$  的波形。

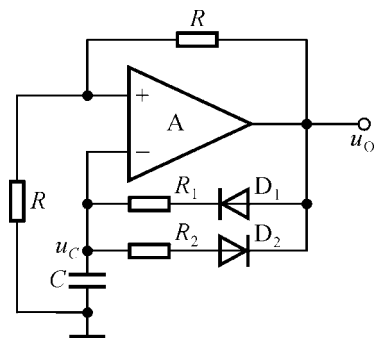
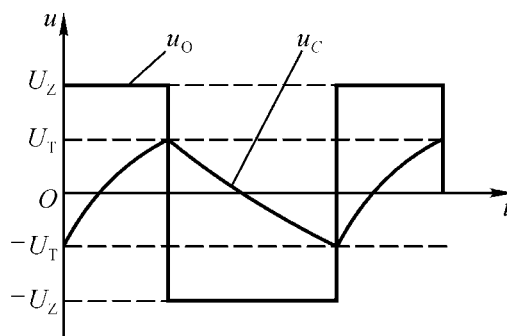


图 P8.19



解图 P8.19

解:(1) 振荡周期

$$T = (R_1 + R_2) C \ln 3 = 3.3 \text{ ms}$$

(2) 脉冲宽度

$$T_1 = R_1 C \ln 3 = 1.1 \text{ ms}$$

$u_O$  和  $u_C$  的波形如解图 8.19 所示。

8.20 图 P8.20 所示电路为某同学所接的方波发生电路, 试找出图中的三个错误, 并改正。

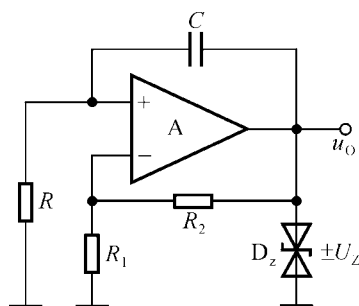
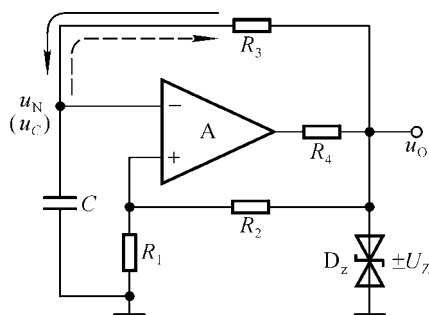


图 P8.20



解图 P8.20

解: 图 P8.20 所示电路中有三处错误:(1) 集成运放“+”“-”接反;(2)  $R$ 、 $C$  位置接反;(3) 输出限幅电路无限流电阻。改正后的电路如解图 8.20 所示。

**8.21** 波形发生电路如图 P8.21 所示，设振荡周期为  $T$ ，在一个周期内  $u_{O1} = U_Z$  的时间为  $T_1$ ，则占空比为  $T_1 / T$ ；在电路某一参数变化时，其余参数不变。选择 增大、 不变或 减小填入空内：

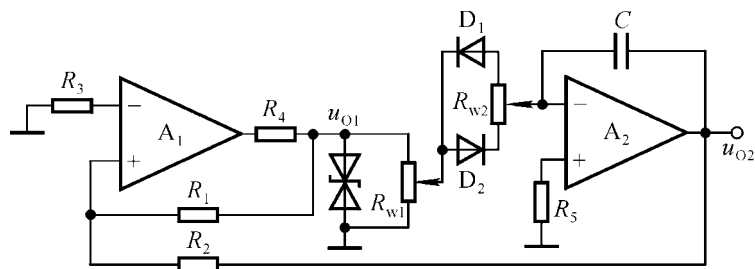


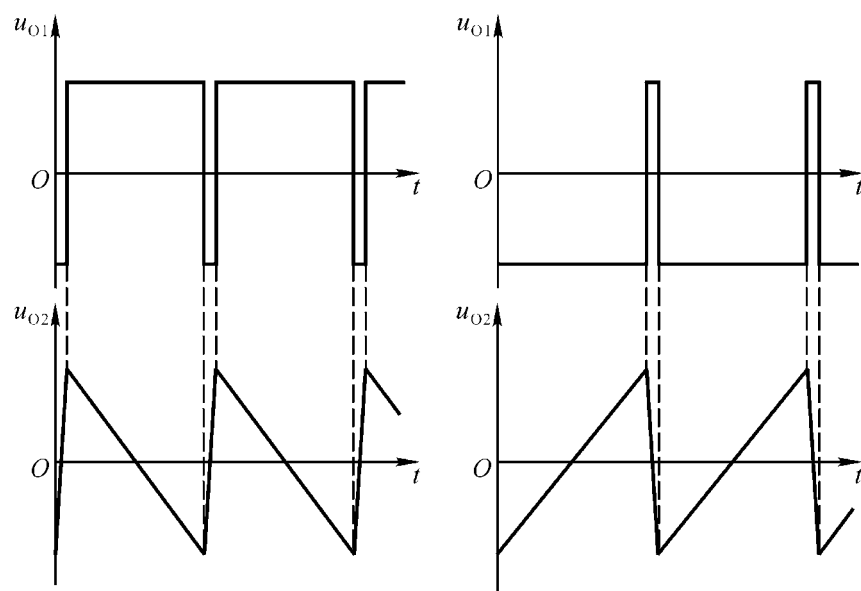
图 P8.21

当  $R_1$  增大时， $u_{O1}$  的占空比将\_\_\_\_，振荡频率将\_\_\_\_， $u_{O2}$  的幅值将\_\_\_\_；若  $R_{W1}$  的滑动端向上移动，则  $u_{O1}$  的占空比将\_\_\_\_，振荡频率将\_\_\_\_， $u_{O2}$  的幅值将\_\_\_\_；若  $R_{W2}$  的滑动端向上移动，则  $u_{O1}$  的占空比将\_\_\_\_，振荡频率将\_\_\_\_， $u_{O2}$  的幅值将\_\_\_\_。

**解：**设  $R_{W1}$ 、 $R_{W2}$  在未调整前滑动端均处于中点，则应填入\_\_\_\_，\_\_\_\_，\_\_\_\_；  
\_\_\_\_，\_\_\_\_；\_\_\_\_，\_\_\_\_。

8.22 在图 P8.21 所示电路中，已知  $R_{W1}$  的滑动端在最上端，试分别定性画出  $R_{W2}$  的滑动端在最上端和在最下端时  $u_{O1}$  和  $u_{O2}$  的波形。

解：  $u_{O1}$  和  $u_{O2}$  的波形如解图 8.22 所示。



(a)  $R_{W2}$  滑动端在最上端

(b)  $R_{W2}$  滑动端在最下端

解图 8.22



8.23 电路如图 P8.23 所示, 已知集成运放的最大输出电压幅值为  $\pm 12\text{V}$ ,  $U_1$  的数值在  $u_{O1}$  的峰峰值之间。

(1) 求解  $u_{O3}$  的占空比与  $U_1$  的关系式;

(2) 设  $U_1 = 2.5\text{V}$ , 画出  $u_{O1}$ 、 $u_{O2}$  和  $u_{O3}$  的波形。

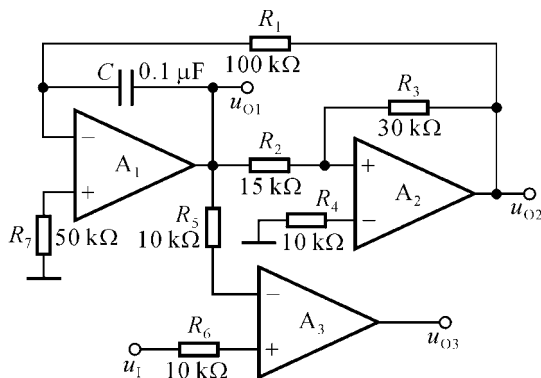


图 P8.23

解: 在图 P8.23 所示电路中,  $A_1$  和  $A_2$  组成矩形波-三角波发生电路。

(1) 在  $A_2$  组成的滞回比较器中, 令

$$u_P = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot u_{O2} + \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot u_{O1} = 0$$

求出阈值电压 
$$\pm U_T = \pm \frac{R_2}{R_3} \cdot U_{OM} = \pm 6\text{V}$$

在  $A_1$  组成的积分运算电路中, 运算关系式为

$$u_O = -\frac{1}{RC} u_{O2} (t_2 - t_1) + u_O(t_1)$$

在二分之一振荡周期内, 积分起始值  $u_{O1}(t_1) = -U_T = -6\text{V}$ , 终了值  $u_{O1}(t_1) = -U_T = 6\text{V}$ ,  $u_{O2} = -U_{OM} = -12\text{V}$ , 代入上式

$$6 = -\frac{1}{10^5 \times 10^{-7}} \times (-12) \times \frac{T}{2} - 6$$

求出振荡周期 
$$T = 20\text{ms}$$

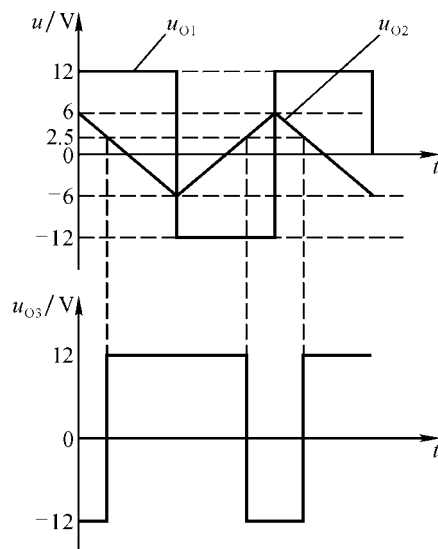
求解脉冲宽度  $T_1$ :

$$U_1 = -\frac{1}{RC} \cdot (-U_{OM}) \cdot \frac{T_1}{2} - U_T$$

$$T_1 = \frac{6 + u_1}{600}$$

求解占空比：
$$\delta = \frac{T_1}{T} = \frac{6+U_1}{12}$$

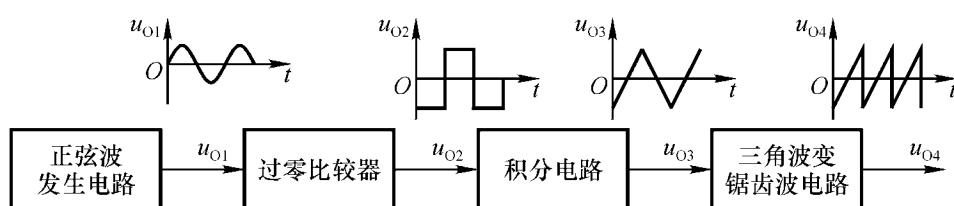
(2)  $u_{O1}$ 、 $u_{O2}$  和  $u_{O3}$  的波形如解图 8.23 所示。



解图 P8.23

**8.24** 试将正弦波电压转换为二倍频锯齿波电压，要求画出原理框图来，并定性画出各部分输出电压的波形。

**解：**原理框图和各部分输出电压的波形如解图 P8.24 所示。



解图 P8.24

8.25 试分析图 P8.25 所示各电路输出电压与输入电压的函数关系。

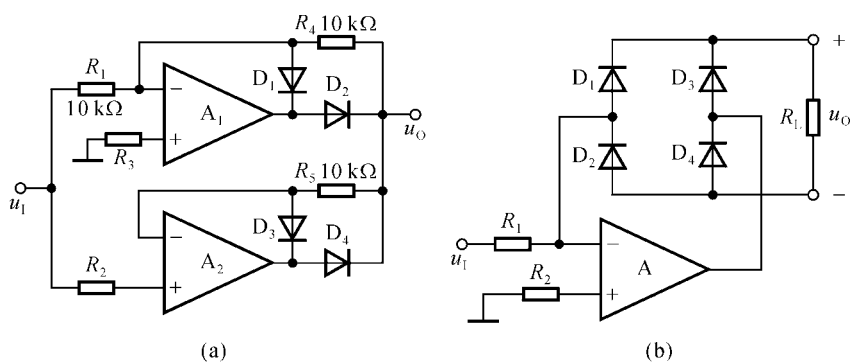


图 P8.25

解：图示两个电路均为绝对值运算电路。运算关系式分别为

$$(a) \quad u_O = |u_1|$$

$$(b) \quad u_O = \frac{R_L}{R_1} |u_1|$$

8.26 电路如图 P8.26 所示。

- (1) 定性画出  $u_{O1}$  和  $u_O$  的波形；
- (2) 估算振荡频率与  $u_1$  的关系式。

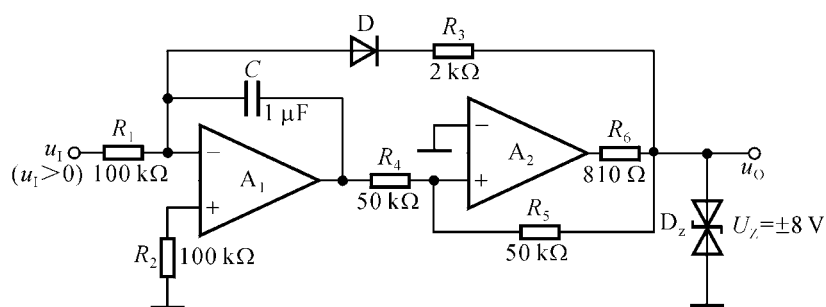


图 P8.26

解：(1)  $u_{O1}$  和  $u_O$  的波形如解图 P8.26 所示。

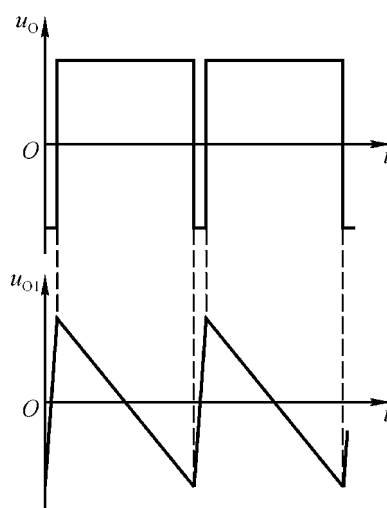
(2) 求解振荡频率：首先求出电压比较器的阈值电压，然后根据振荡周期近似等于积分电路正向积分时间求出振荡周期，振荡频率是其倒数。

$$\pm U_T = \pm U_Z = \pm 8V$$

$$U_T \approx -\frac{1}{R_1 C} u_1 T - U_T$$

$$T \approx \frac{2U_T R_1 C}{u_1}$$

$$f \approx \frac{u_1}{2U_T R_1 C} = 0.625u_1$$



解图 P8.26

8.27 已知图 P8.27 所示电路为压控振荡电路 ,晶体管 T 工作在开关状态 ,  
第八章题解 - 28

当其截止时相当于开关断开，当其导通时相当于开关闭合，管压降近似为零；  
 $u_1 > 0$ 。

- (1) 分别求解 T 导通和截止时  $u_{O1}$  和  $u_1$  的运算关系式  $u_{O1} = f(u_1)$ ；
- (2) 求出  $u_O$  和  $u_{O1}$  的关系曲线  $u_O = f(u_{O1})$ ；
- (3) 定性画出  $u_O$  和  $u_{O1}$  的波形；
- (4) 求解振荡频率  $f$  和  $u_1$  的关系式。

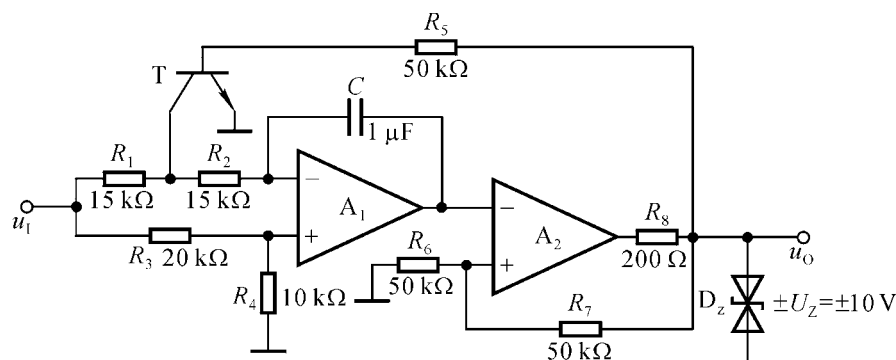


图 P8.27

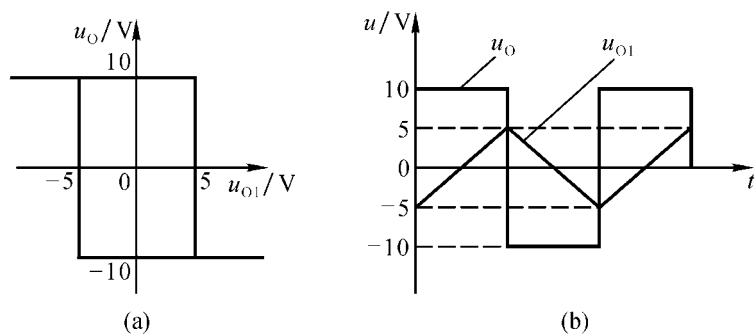
解：(1) T 导通时， $u_{N1} = u_1/3$ 。

$$\begin{aligned} u_{O1} &= \frac{1}{R_2 C} \cdot \frac{u_1}{3} (t_1 - t_0) + u_{O1}(t_0) \\ &= \frac{10^3}{45} u_1 (t_1 - t_0) + u_{O1}(t_0) \end{aligned}$$

T 截止时，

$$\begin{aligned} u_{O1} &= \frac{1}{(R_1 + R_2)C} \cdot \frac{-2u_1}{3} (t_2 - t_1) + u_{O1}(t_1) \\ &= -\frac{10^3}{45} u_1 (t_2 - t_1) + u_{O1}(t_1) \end{aligned}$$

- (2)  $u_O$  和  $u_{O1}$  的关系曲线如解图 P8.27 (a) 所示。
- (3)  $u_O$  和  $u_{O1}$  的波形如解图 P8.27 (b) 所示。



解图 P8.27

(4) 首先求出振荡周期，然后求出振荡频率，如下：

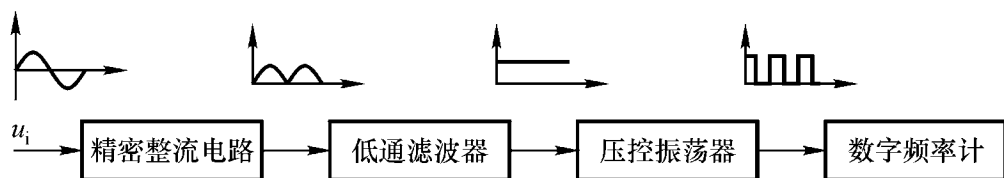
$$U_T = \frac{10^3}{45} \cdot u_1 \cdot \frac{T}{2} - U_T$$

$$T = \frac{2U_T \times 90}{10^3 u_1} = \frac{0.9}{u_1}$$

$$f \approx 1.1 u_1$$

8.28 试设计一个交流电压信号的数字式测量电路,要求仅画出原理框图。

解：原理框图如解图 P8.28 所示，各部分波形如图所示，数字频率计完成计数、译码、显示等功能。



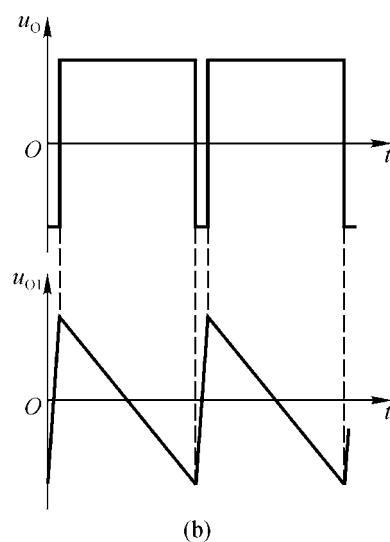
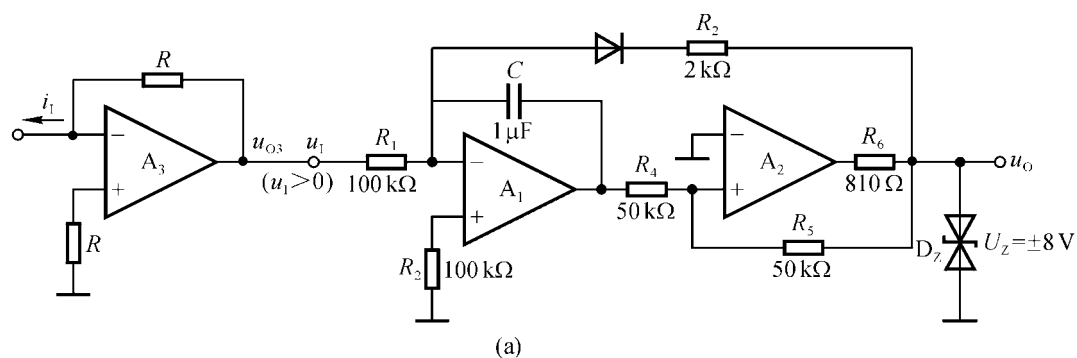
解图 P8.28

8.29 试将直流电流信号转换成频率与其幅值成正比的矩形波，要求画

出电路来，并定性画出各部分电路的输出波形。

**解：**首先将电流信号转换成电压信号，然后将电压信号接如图 P8.26 所示压控振荡器的输入端，即可将直流电流信号转换成频率与其幅值成正比的矩形波，如解图 P8.29 (a) 所示，其波形如解图 (b) 所示。

若输入电流与解图 P8.29 (a) 所示相反，则应将  $u_{O3}$  经比例系数为 -1 的反比例运算电路后，再接压控振荡器。



解图 P8.29

此题还可选用其它的压控振荡器，完成电压 - 频率转换。

**8.30** 什么是调制？什么是调幅、调频和调相？什么是解调？

**解：**参阅 P451 ~ P452。

**8.31** 锁相环有什么特点？如何利用锁相环实现调制和解调？

**解：**参阅 P448、P452 ~ P454。