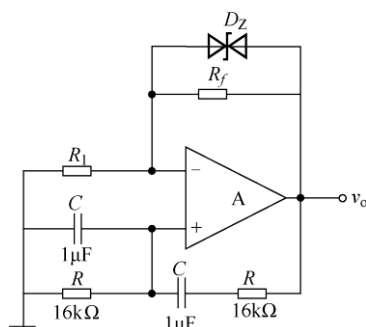


9.1 电路如图题 9.1 所示，稳压管 D_Z 起稳幅作用，其稳定电压 $V_Z = \pm 6V$ 。试估算：

- (1) 输出电压不失真情况下的有效值；
- (2) 振荡频率。



图题 9.1

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

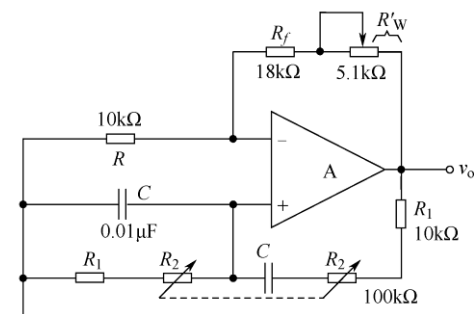
$$V_o = \frac{1.5 V_Z}{\sqrt{2}} \approx 6.36V$$

- (2) 电路的振荡频率

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

9.2 电路如图题 9.2 所示，试求解：

- (1) R_W 的下限值；
- (2) 振荡频率的调节范围。



图题 9.2

解：(1) 根据起振条件

$$R_f + R'_W > 2R, R'_W > 2k\Omega。$$

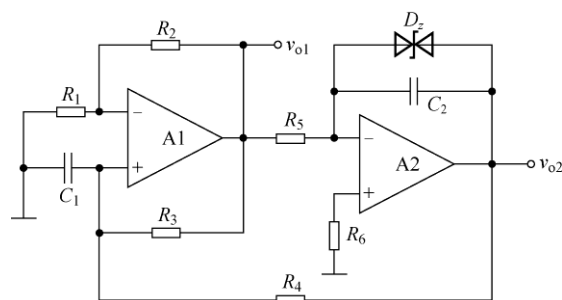
故 R_W 的下限值为 $2k\Omega$ 。

- (2) 振荡频率的最大值和最小值分别为

$$f_{0\max} = \frac{1}{2\pi R_1 C} \approx 1.6kHz, f_{0\min} = \frac{1}{2\pi(R_1 + R_2)C} \approx 145Hz$$

9.3 图题 9.3 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 $V_Z = \pm 6V$ ， $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$ ， $C_1 = C_2 = C$ 。

- (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 v_{o1} 和 v_{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。



图题 9.3

解：（1）在特定频率下，由 A₂ 组成的积分运算电路的输出电压 \dot{V}_{o2} 超前输入电压 \dot{V}_{o1} 90°，而由 A₁ 组成的电路的输出电压 \dot{V}_{o1} 滞后输入电压 \dot{V}_{o2} 90°，因而 \dot{V}_{o1} 和 \dot{V}_{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：

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

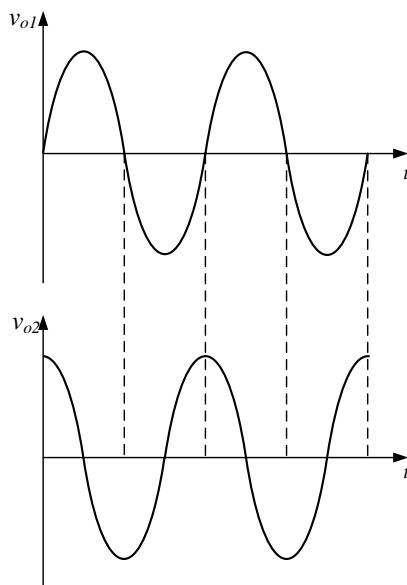
可得正实根，求出 $f_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi RC}}$ 。

（3）输出电压 v_2 最大值 $V_{O2\max} = V_Z = 6V$

对方程组中的第三式取模，并将 $\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{2RC}}$ 代入可得 $|\dot{V}_{o1}| = \sqrt{2}|\dot{V}_{o2}|$ ，故

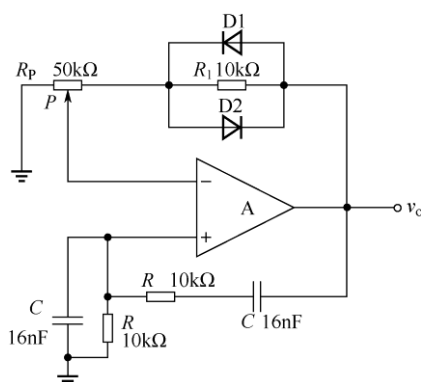
$$V_{o1\max} = \sqrt{2}V_{o2\max} \approx 8.5V。$$

若 v_{o1} 为正弦波，则 v_{o2} 为余弦波，如解图所示。



9.4 电路如图题 9.4 所示，调节电位器 R_P 使电路刚好开始振荡，则

- (1) P 点到地之间电阻为多少？
- (2) D_1 和 D_2 在电路中的作用？
- (3) 电路的振荡频率为多少？



图题 9.4

解：(1) 当 $\frac{R_1 + 50k - R_p}{R_p}$ 略大于 2 时，电路刚好开始振荡，此时 $R_p = 40k\Omega$ 。即 P 点到地之间电阻为 $20k\Omega$ 。

(2) 在电路刚起振时 D_1 和 D_2 均截止，此时负反馈放大器的增益较大，电路容易起振。当 v_o 增大使得 D_1 或 D_2 导通，使得负反馈放大器的增益下降，在运放未进入非线性工作区域前，达到振幅平衡条件。

$$(3) f = \frac{1}{2\pi RC} = 995\text{Hz}$$

9.5 判断图题 9.5 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。

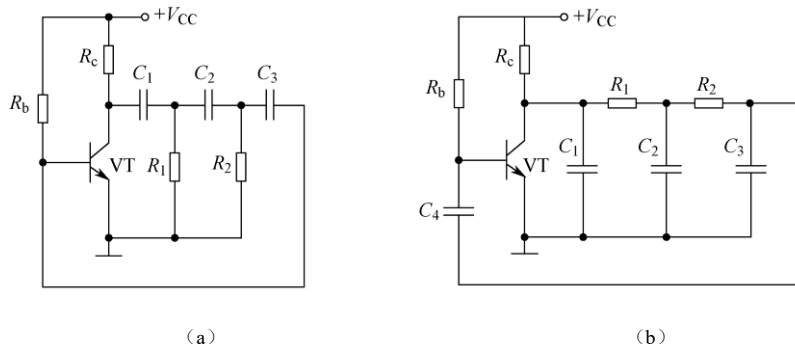
解：

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 $+180^\circ$ ($\varphi_\beta = +180^\circ$) 的频率，即存在满足正弦波振荡相位条件的频率 f_0 (此时 $\varphi_A + \varphi_\beta = 0^\circ$)；且在 $f=f_0$ 时有可能满足起振条件 $|\dot{A}\dot{\beta}| > 1$ ，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° ($\varphi_\beta = -180^\circ$) 的频率，即存在满足正弦波振荡相位条件的频率 f_0 (此时 $\varphi_A + \varphi_\beta = -360^\circ$)；且在 $f=f_0$ 时有可能满足起振条件 $|\dot{A}\dot{\beta}| > 1$ ，故可能产生正弦波振荡。

9.6 电路如上题图题 9.5 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？



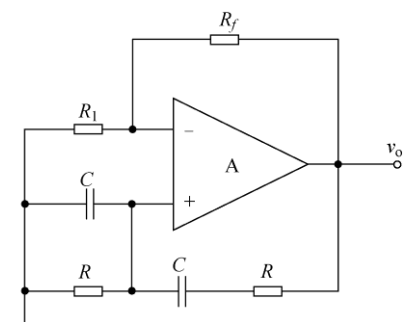
图题 9.5

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，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。

9.7 电路如图题 9.6 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？



图题 9.6

解：(1) 上“—”下“+”

(2) 输出严重失真，几乎为方波。

(3) 输出为零。

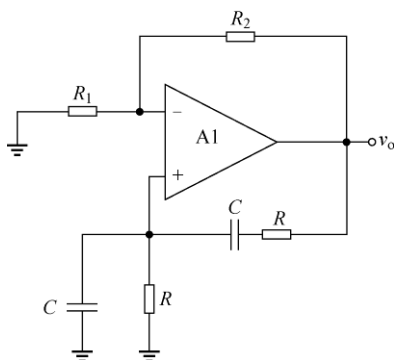
(4) 输出为零。

(5) 输出严重失真，几乎为方波。

9.8 如图题 9.7 所示，RC 文氏电桥正弦振荡电路：

(1) 已知 $R_2 = 4\text{k}\Omega$ ，为满足起振条件， R_1 应如何取值？

(2) 若 $R = 10\text{k}\Omega$ ， $C = 0.2\mu\text{F}$ ，则输出正弦波频率 f 为多少？

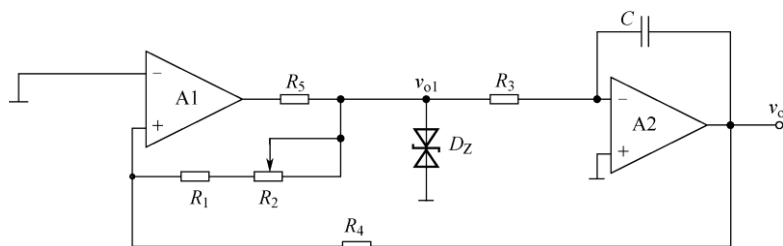


图题 9.7

解：(1) 当 $\frac{R_2}{R_1}$ 略大于 2 时，电路满足起振条件，此时 R_1 应略小于 $2\text{k}\Omega$ 。

$$(2) f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{2}{2\pi \times 10 \times 10^3 \times 0.2 \times 10^{-6}} = 159\text{Hz}$$

9.9 图题 9.8 所示为三角波振荡器，请说明其工作原理，并证明三角波的频率为： $f = \frac{R_1 + R_2}{4R_3R_4C}$



图题 9.8

解：A1为迟滞比较器，A2为反相积分器。A1输出端为矩形波，A2输出为三角波。

A1当 $v_+ = v_- = 0$ 时输出发生跃变。

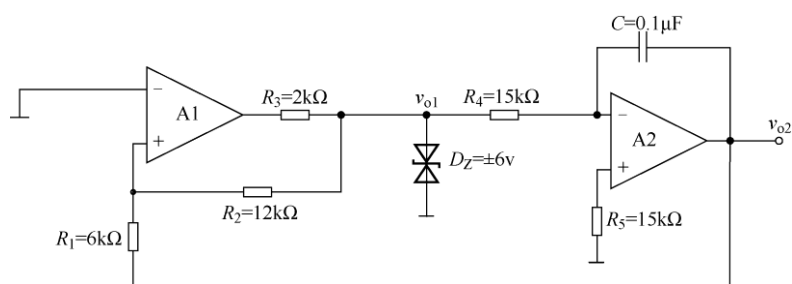
$$v_+ = v_{o1} \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_4} + v_o \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_4} = 0$$

$$v_o = -\frac{R_4}{R_1 + R_2} v_{o1} = \pm \frac{R_4}{R_1 + R_2} V_Z$$

$$-\frac{1}{R_3 C} \int_0^{\frac{T}{2}} V_Z dt = -\frac{2R_4}{R_1 + R_2} V_Z \rightarrow T = \frac{4R_4 R_3 C}{R_1 + R_2} \rightarrow f = \frac{R_1 + R_2}{4R_3 R_4 C}, \text{ 证毕。}$$

9.10 图题 9.9 所示电路为三角波产生电路，求：

- (1) 其振荡频率 ω_0 ；
- (2) 画出 v_{o1} 和 v_{o2} 的波形（标明参数）；
- (3) 若要改变三角波的幅度和频率，应如何修改电路？



图题 9.9

解：(1)、A1为迟滞比较器，忽略二极管正向导通电阻。

$$A1 \text{ 的 } v_+ \text{ 为: } v_+ = v_{o1} \frac{R_1}{R_1 + R_2} + v_{o2} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

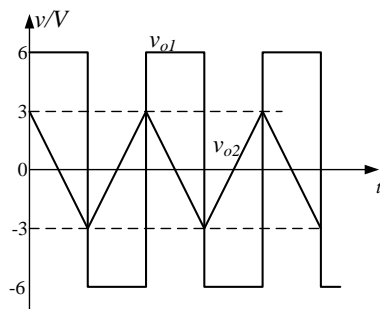
$v_+ = v_- = 0$ 时，A1输出端 v_{o1} 发生翻转。

$$v_{o2} = -\frac{R_1}{R_2} v_{o1} = \pm \frac{R_1}{R_2} V_Z = \pm \frac{6k}{12k} \times 6 = \pm 3V$$

A2为反向积分器，输入输出满足积分关系， $\frac{T}{2}$ 时间内：

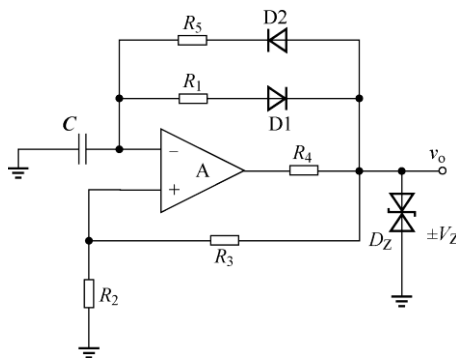
$$-\frac{1}{R_4 C} \int_0^{\frac{T}{2}} V_Z dt = v_{TL} - v_{TH} = -6, \quad T = 0.003, \quad \omega_o = \frac{2\pi}{T} = 667\pi (\text{rad/s})$$

(2)画出 v_{o1} 和 v_{o2} 的波形



(3)、若要改变三角形的幅度,可调整 R_1/R_2 比例。若要改变三角形的频率,可调整 R_4C 乘积。

9.11 如图题 9.10 所示矩形波振荡器, 其中 $R_2=R_3=10\text{k}\Omega$, $R_1=10\text{k}\Omega$, $R_5=20\text{k}\Omega$, $C=100\text{nF}$, 稳压管的 $V_Z=10\text{V}$ 。求生成的矩形波的周期 T 和占空比 D 。



图题 9.10

由图得, 该电路高电平持续时间为:

$$T_H = R_5 C \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_3}\right)$$

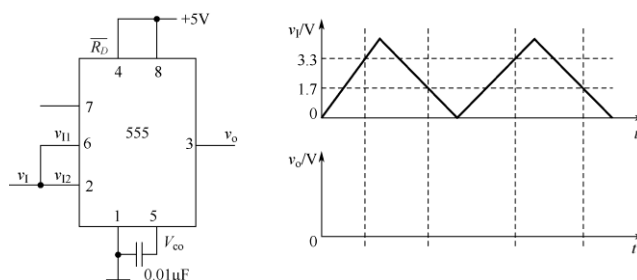
低电平持续时间为:

$$T_L = R_1 C \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_3}\right)$$

所以矩形波输出信号周期为: $T = T_H + T_L = (R_A + R_B)C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) = 3.3\text{ms}$

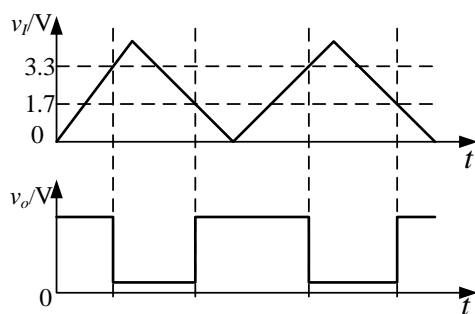
占空比: $D = \frac{T_H}{T_H + T_L} = 0.67$

9.12 用集成定时器 555 所构成的施密特触发器电路及输入波形 v_i 如图题 9.11 所示, 试画出对应的输出波形 v_o 。



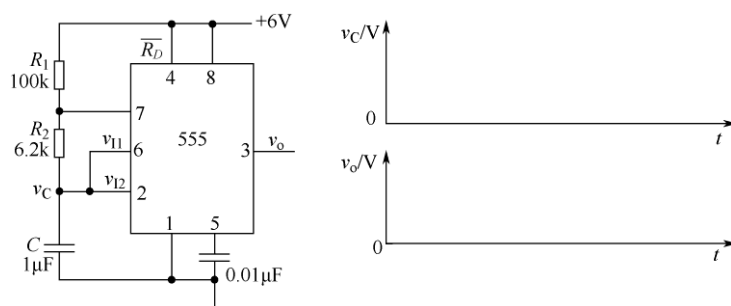
图题 9.11

解：



9.13 由集成定时器 555 构成的电路如图 9.12 所示，请回答下列问题。

- (1) 构成电路的名称；
- (2) 画出电路中 v_C 、 v_O 的波形（标明各波形电压幅度， v_O 波形周期）。



图题 9.12

解：（1）构成多谐振荡器；

（2）参数计算：

$$T = T_1 + T_2 = (R_1 + 2R_2) C \ln 2 = (100 \times 10^3 + 2 \times 6.2 \times 10^3) \times 10 \times 10^{-6} \times 0.7 = 78.7 \text{ (ms)}$$

