

集成运放电路应用之非正弦波信号发生器

常见的非正弦波信号发生电路有方波、矩形波、三角波、锯齿波发生电路等。方波发生器是非正弦发生器中应用最广的电路，矩形波发生电路常作为数字电路的信号源或模拟电子开关的控制信号，是其它非正弦波发生电路的基础。

1、方波发生器

方波发生器电路如图 1 所示，它由反相输入的滞回比较器和 RC 电路组成。 RC 回路既作为延迟环节，又作为反馈网络，通过 RC 充放电实现输出状态的自动转换。

图中虚线框内为滞回比较器，它的输出电压 $u_o = \pm U_Z$ ，

$$\text{阈值电压 } \pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z$$

R 、 C 组成一个负反馈网络， u_o 通过 R 对电容 C 充电使 C 上获得一个三角波电压 u_C 。运放将 u_C 与 u_+ 进行比较，根据比较结果决定输出状态：

当 $u_C > u_+$ 时， $u_o = -U_Z$ ；

当 $u_C < u_+$ 时， $u_o = +U_Z$ 。

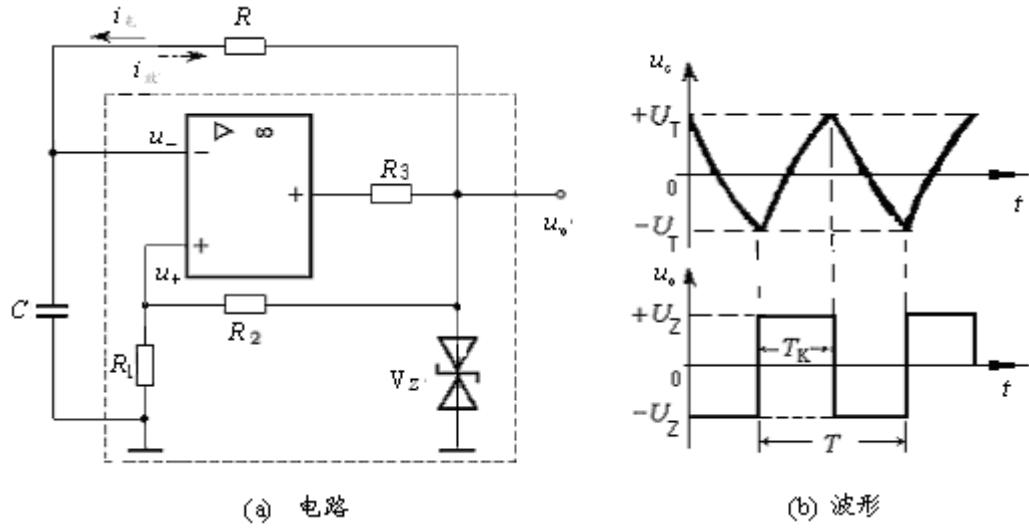


图 1 方波发生器电路及波形图

设某一时刻输出电压 $u_o = +U_Z$ ，则 $u_+ = +U_T$ 。 u_o 通过电阻 R 对电容 C 充电（如图中实线箭头所示），反相输入端 u_- 随时间 t 逐渐升高，当 t 趋近于无穷时， u_- 应趋于 $+U_Z$ ；但是，当 u_- 过 U_T 时， u_o 就从 $+U_Z$ 跳变为 $-U_Z$ ，同时 u_+ 从 $+U_T$ 变为 $-U_T$ 。然后电容 C 开始放电（也可说是反向充电如图中虚线箭头所示），反相输入端 u_- 随时间 t 而逐渐降低，当时间 t 趋于无穷时， u_- 应趋于 $-U_Z$ ；但是，当 u_- 过 $-U_T$ 时， u_o 就从 $-U_Z$ 跳变为 $+U_Z$ ，与此同时 u_+ 从 $-U_T$ 变为 $+U_T$ ，电容又开始正向充电。就这样周而复始，电路产生自激振荡。由于电容充电与放电时间常数相同，所以在一个周期内 u_o 为 $+U_Z$ 的时间与 u_o 为 $-U_Z$ 的时间相等，则输出电压 u_o 为方波。如图 1 (b) 所示。

占空比是指矩形波中高电平的宽度 T_K 与其周期 T 的比值，方波的占空比为 50%。

利用一阶 RC 电路的三要素法可求出电路的振荡周期和频率为

$$T = 2RC \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2RC \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)}$$

若适当选取 R_1 、 R_2 的值, 使 $\ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) = 1$ 则有

$$T = 2RC$$

$$f = \frac{1}{2RC}$$

由以上分析可知, 调整电压比较器的电路参数 R_1 、 R_2 和 U_Z 可以改变方波发生器的振荡幅值, 调整电阻 R_1 、 R_2 、 R 和电容 C 的值可以改变电路的振荡频率。

2、锯齿波发生器

在方波发生电路中, 若能采取措施改变输出波形的占空比, 则电路就变成矩形波发生电路。利用前面所学知识可以想到, 利用二极管的单向导电性使电容正向充电和反向充电的通路不同, 从而使它们时间常数不同, 即可改变输出电压的占空比, 电路如图 2 所示。

图 2 (a) 中, 电位器 R_p 的滑动端将 R_p 分成 R_{p1} 分和 R_{p2} 两部分, 若忽略二极管 VD_1 和 VD_2 的导通电阻, 则电容 C 充电回路的电阻为 $(R + R_{p1})$, 而放电回路的电阻则为 $(R + R_{p2})$ 。如果调整 R_p , 使 $R_{p1} < R_{p2}$, 则充电快而放电慢, 即电容 C 充电时间 T_1 小于放电时间 T_2 , 如果调整 R_p , 使 $R_{p1} > R_{p2}$, 则情况刚好相反。波形图如图 2 (b) 所示。

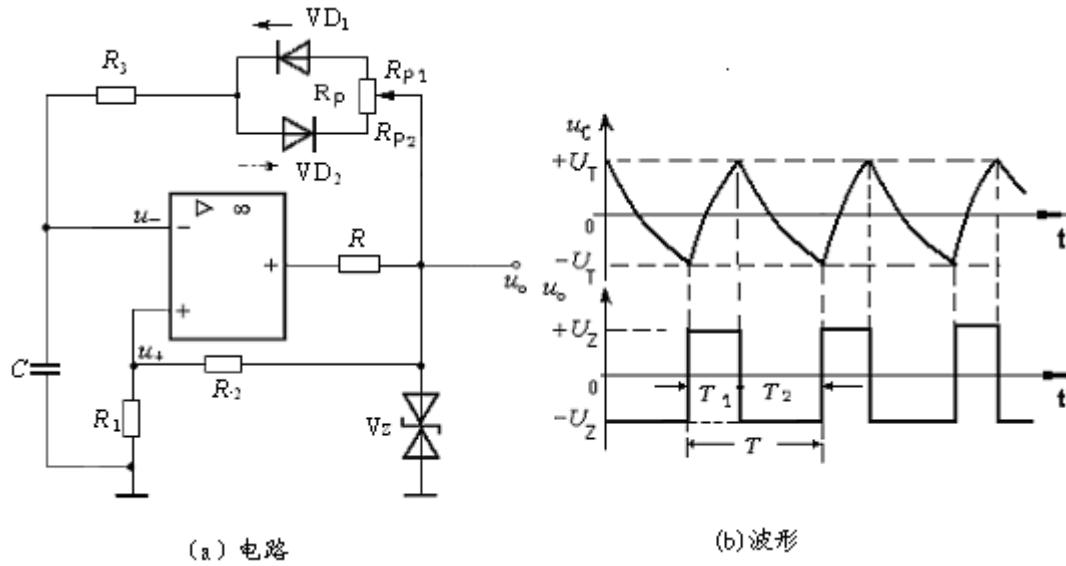


图 2 矩形波发生器电路及波形图

根据一阶 RC 电路的三要素法可导出:

$$T_1 = (R + Rp_1)C \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

$$T_2 = (R + Rp_2)C \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

振荡周期

$$T = T_1 + T_2 = (2R + Rp)C \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

矩形波的占空比

$$\delta = \frac{T_1}{T} = \frac{R + Rp_1}{2R + Rp}$$

由上式可知，改变电位器 Rp 滑动端位置可以调节矩形波的占空比，但振荡周期保持不变。

例 1 图所示电路中，已知 $R_1=10\text{K}\Omega$, $R_2=50\text{K}\Omega$, $R_p=150\text{K}\Omega$, $R_3=10\text{K}\Omega$, $C=0.1\mu\text{F}$, $\pm U_z=\pm 6\text{V}$ 。试求：

(1) 输出电压的幅值和振荡频率约为多少；

(2) 占空比的调节范围约为多少。

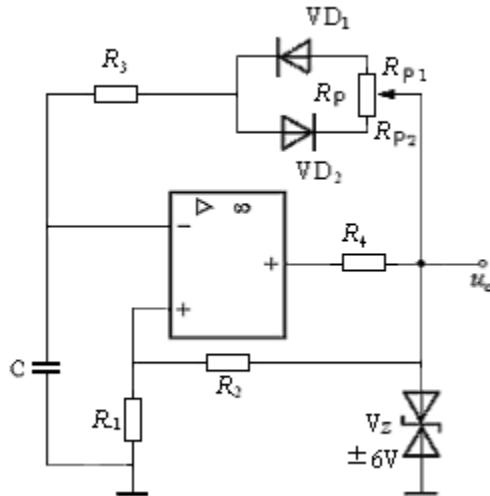


图 3 例 1 图

解：(1) 由电路可知为矩形波发生器，输出电压 $u_o = \pm 6\text{V}$ 。

$$\begin{aligned} \text{振荡周期 } T &\approx (R_p + 2R_3)C \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) \\ &= (150 + 2 \times 10) \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6} \cdot \ln\left(1 + \frac{2 \times 10}{50}\right) \\ &= 5.72 \times 10^{-3} \text{ s} = 5.72 \text{ ms} \end{aligned}$$

$$\text{振荡频率 } f = \frac{1}{T} \approx 175 \text{ Hz}$$

$$(2) \delta_{\min} = \frac{T_1}{T} = \frac{R_3}{2R_3 + R_P} = \frac{10}{2 \times 10 + 150} = 5.88\%$$

$$\delta_{\max} = \frac{T_1}{T} = \frac{R_3 + R_P}{2R_3 + R_P} = \frac{10 + 150}{2 \times 10 + 150} = 94.1\%$$

占空比 δ 的调节范围在 5.88% – 94.1% 之间。