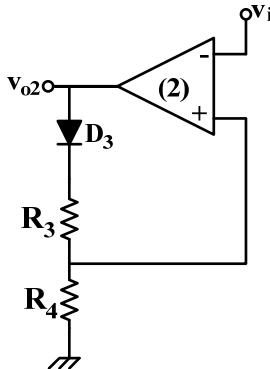


حل تمرین سری ۷

۱- اول به همراه خازنها و مقاومت R_1 و دیود D_1 یک مدار بوت استرپ را نشان می‌دهند که در آن خازن C_1 بقدر کافی بزرگ بوده و ولتاژ آن که برابر $V_{CC} - V_{D1}$ است، در مدت عملکرد مدار به مقدار ناجیزی دشارز می‌گردد که از آن صرفنظر می‌شود. op. دوم به همراه مقاومتهای R_3 و R_4 و دیود D_3 یک مدار اشمیت تریگر را نشان می‌دهند که در ذیل مشخصه آن را بررسی می‌کنیم.

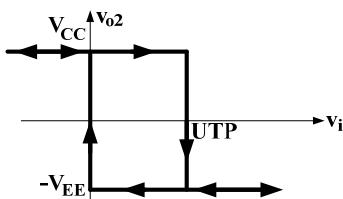


هنگامی که ورودی منفی با قدر مطلق بسیار بزرگ است، op. حتماً در اشباع مثبت (V_{CC}) است و دیود هدایت می‌کند و می‌توان نوشت:

$$v_+ = \frac{V_{o2} - V_{D3}}{R_3 + R_4} R_4 = \frac{V_{CC} - V_{D3}}{R_3 + R_4} R_4$$

وقتی ورودی افزایش یابد و به مقدار ولتاژ فوق برسد، op. در اشباع منفی ($-V_{EE}$) قرار می‌گیرد. پس:

$$UTP = \frac{V_{CC} - V_{D3}}{R_3 + R_4} R_4$$



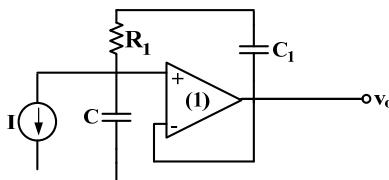
با افزایش بیشتر ورودی تغییری در ولتاژ خروجی رخ نمی‌دهد. در این حالت دیود قطع بوده و ولتاژ پایه مثبت، صفر ولت است. حال با کاهش ولتاژ ورودی، وقتی این ولتاژ به ولتاژ پایه مثبت یعنی صفر ولت برسد، مجدداً op. در اشباع مثبت قرار می‌گیرد. لذا $LTP = 0$ پس مشخصه اشمیت تریگر چنین است:

هنگامی که ولتاژ خروجی اشمیت تریگر $-V_{EE}$ است، ترانزیستور روشن بوده و خازن C تخلیه می‌گردد. لذا ولتاژ v_0 کاهش می‌یابد. وقتی این ولتاژ به LTP یعنی صفر ولت برسد، ولتاژ خروجی اشمیت تریگر خواهد شد و ترانزیستور قطع شده و خازن C بطور خطی شارژ می‌گردد. لذا ولتاژ v_0 نیز بطور خطی افزایش می‌یابد تا اینکه ولتاژ آن به UTP برسد. در این صورت ولتاژ خروجی اشمیت تریگر مجدد $-V_{EE}$ می‌شود و سیکل کار ادامه می‌یابد.

هنگام شارژ خازن:

$$i_C = \frac{v_o + V_{C1} - v_C}{R_1} = \frac{V_{C1}}{R_1} = \frac{V_{CC} - V_{D1}}{R_1} \rightarrow v_o = v_C = \frac{V_{CC} - V_{D1}}{R_1 C} t + LTP \rightarrow v_o = v_C = \frac{V_{CC} - V_{D1}}{R_1 C} t$$

$$v_o(T_1^-) = UTP \Rightarrow T_1 = \frac{R_1 C}{V_{CC} - V_{D1}} \frac{V_{CC} - V_{D3}}{R_3 + R_4} R_4 \approx \frac{R_1 R_4 C}{R_3 + R_4}$$



هنگام دشارز خازن: مدار شکل مقابل را داریم:

$$i_C = -I + \frac{v_o + V_{C1} - v_C}{R_1} = -I + \frac{V_{C1}}{R_1} = -I + \frac{V_{CC} - V_{D1}}{R_1}$$

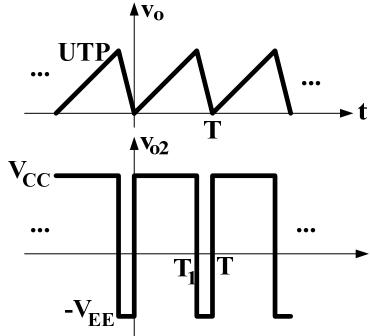
$$I_B = \frac{V_B - V_{o2}}{R_2} = \frac{V_E - V_{EB} - (-V_{EE})}{R_2} = \frac{V_C - V_{D2} - V_{EB} + V_{EE}}{R_2}$$

$$I = (\beta + 1)I_B \rightarrow i_C = C \frac{dv_C}{dt} = -(\beta + 1) \frac{V_C - V_{D2} - V_{EB} + V_{EE}}{R_2} + \frac{V_{CC} - V_{D1}}{R_1}$$

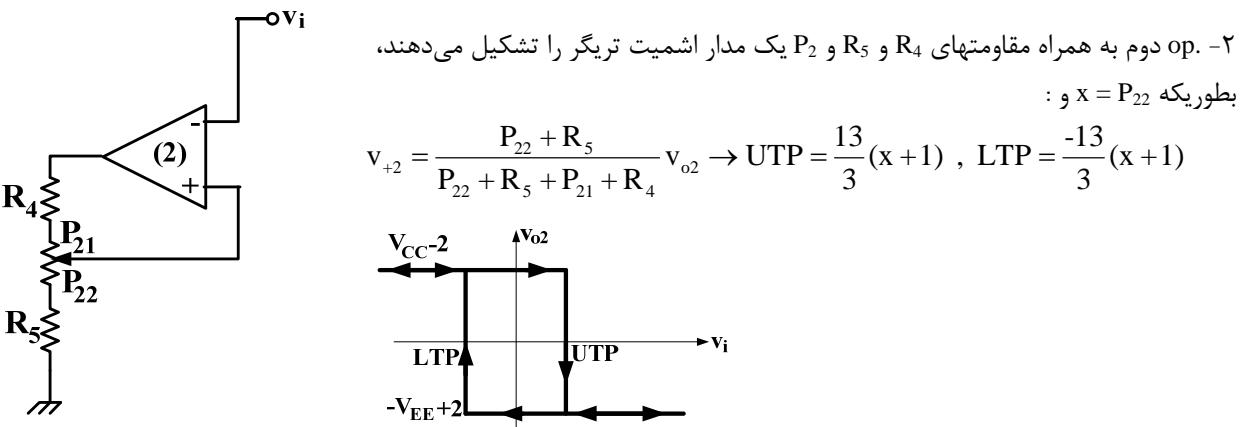
$$CR_2 \frac{dv_C}{dt} + (\beta + 1)v_C = -(\beta + 1)(-V_{D_2} - V_{EB} + V_{EE}) + \frac{V_{CC} - V_{D_1}}{R_1} R_2 = x$$

$$\tau_2 = \frac{R_2 C}{\beta + 1} \quad v_C(\infty) = \frac{x}{\beta + 1} \quad v_C(t) = \frac{x}{\beta + 1} + ke^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad v_C(T_1^+) = UTP \rightarrow k = UTP - \frac{x}{\beta + 1}$$

$$v_C(t) = \frac{x}{\beta + 1} + (UTP - \frac{x}{\beta + 1})e^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad v_C(T^-) = LTP = 0 \rightarrow T_2 = \tau_2 \ln \left(\frac{UTP - \frac{x}{\beta + 1}}{\frac{-x}{\beta + 1}} \right)$$



با توجه به مقادیر پارامتری بدست آمده ، مقدار T_2 نسبت به T_1 بسیار کوچکتر است.
شکل موج خروجی اشمیت تریگر و خروجی نهایی مدار چنین است :



در مدار اصلی جریان این مقاومتها یکسان نبوده و از ولتاژ v_{+2} جریانی برای مقاومت R_3 صادر می‌شود. پس ولتاژ UTP و LTP از معادلات بالا بدست نمی‌آیند. لذا مجدداً این پارامترها را محاسبه می‌کنیم.

$$\frac{v_{o2} - v_{+2}}{R_4 + P_{21}} = \frac{v_{+2}}{R_5 + P_{22}} + \frac{v_{+2}}{R_3} \rightarrow \frac{v_{o2}}{2-x} = \frac{v_{+2}}{2-x} + \frac{v_{+2}}{x+1} + v_{+2} \rightarrow \frac{v_{o2}}{2-x} = v_{+2} \left[\frac{x+1+2-x+x+2-x^2}{(x+1)(2-x)} \right]$$

$$v_{+2} = \frac{x+1}{5+x-x^2} v_{o2} \rightarrow UTP = \frac{13(x+1)}{5+x-x^2}, \quad LTP = \frac{-13(x+1)}{5+x-x^2}$$

وقتی که ولتاژ v_o افزایش یافته و به UTP می‌رسد، v_{+2} نیز به مقدار LTP می‌رود. op.3 یک تقویت کننده با بهره منفی است که ولتاژ خروجی آن در این حالت مثبت خواهد بود. لذا جریان حافظ ثابت بوده و از سمت مقاومت R_1 شارژ می‌شود. لذا ولتاژ v_o کاهش می‌یابد. پس از مدتی این ولتاژ به op.2 رسیده و op.2 به اشباع مثبت رفته و v_{+2} نیز به مقدار UTP می‌رود. با توجه به بهره منفی تولید شده توسط تقویت کننده op.3، ولتاژ خروجی آن منفی شده و لذا جریان حافظ ثابت بوده و از سمت مقاومت R_1 دشارژ می‌شود. لذا ولتاژ v_o افزایش می‌یابد. پس از مدتی این ولتاژ به UTP رسیده و سیکل کار تکرار

می‌شود. فرض کنید $y = P_1$

: v_o هنگام کاهش

$$\frac{v_{o3}}{R_1 + y} = C \frac{dv_C}{dt} \rightarrow \frac{-v_{+2}}{R_1 + y} = C \frac{dv_C}{dt} \rightarrow \frac{-LTP}{R_1 + y} = C \frac{-dv_o}{dt} \Rightarrow v_o = \frac{LTP}{(R_1 + y)C} t + k_1$$

$$v_o(0^+) = UTP \rightarrow k_1 = UTP \Rightarrow v_o = \frac{UTP}{(R_1 + y)C} t + UTP \quad v_o(T^-) = LTP \rightarrow T_1 = (R_1 + y)C(1 - \frac{UTP}{LTP})$$

$$T_1 = 2(R_1 + y)C$$

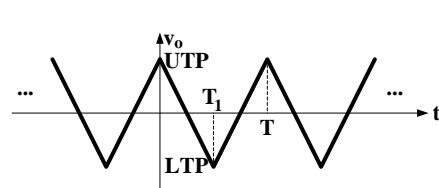
: v_o هنگام افزایش

$$\frac{v_{o3}}{R_1 + y} = C \frac{dv_C}{dt} \rightarrow \frac{-v_{+2}}{R_1 + y} = C \frac{dv_C}{dt} \rightarrow \frac{-UTP}{R_1 + y} = C \frac{-dv_o}{dt} \Rightarrow v_o = \frac{UTP}{(R_1 + y)C} (t - T_1) + k_2$$

$$v_o(T_1^+) = LTP \rightarrow k_2 = LTP \Rightarrow v_o = \frac{UTP}{(R_1 + y)C} (t - T_1) + LTP \quad v_o(T^-) = UTP \rightarrow T_2 = (R_1 + y)C(1 - \frac{LTP}{UTP})$$

$$T_2 = 2(R_1 + y)C \rightarrow T = 4(R_1 + y)C \quad , \quad f = \frac{1}{4(R_1 + y)C}$$

$$y = 0 \rightarrow f_{\max} = 2.5 \text{ KHz} \quad , \quad y = 1 \rightarrow f_{\min} = 1.25 \text{ KHz} \Rightarrow 1.25 \leq f \leq 2.5$$



$$0 \leq x \leq 1 \rightarrow \begin{cases} 2.6 \leq UTP = \frac{13(x+1)}{5+x-x^2} \leq 5.2 \\ -5.2 \leq LTP = \frac{-13(x+1)}{5+x-x^2} \leq -2.6 \end{cases}$$

می‌توان بكمک پتانسیومترهای P_1 و P_2 به ترتیب فرکانس ولتاژ خروجی و دامنه آن را کنترل نمود و تغییر داد.

