

حل تمرین سری ۶

۱- الف- حالت پایدار: خازن C جریان ندارد، پس دیود D₃ قطع است. بنابراین داریم:

$$v_+ = 0, \quad v_- = -V_R, \quad v_o = V_{01} : V_{01} = V_{Z2} + V_{D1} \quad v_o(0^-) = V_{01}$$

در این حالت op در حالت اشباع + بسر می‌برد. با دادن تریگر مناسب، op به حالت اشباع - می‌رود و داریم:

$$v_o = V_{02} : V_{02} = -V_{Z1} - V_{Z2}$$

و چون ولتاژ خازن جهشی تغییر نمی‌کند، و یک طرف آن (ولتاژ خروجی) از مقدار مثبت V₀₁ به مقدار منفی V₀₂ جهش می‌کند، به

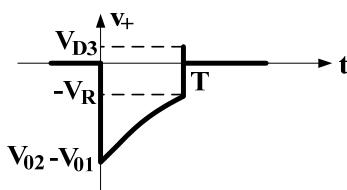
همین میزان ولتاژ طرف دیگر خازن یعنی پایه مثبت op، جهش می‌کند و دیود قطع می‌ماند. یعنی:

$$\tau = RC \quad v_+(\infty) = 0 \quad , \quad v_-(t) = 0 + ke^{-\frac{t}{\tau}} \quad v_+(0^+) = V_{02} - V_{01} \rightarrow k = V_{02} - V_{01}$$

$$v_+(t) = (V_{02} - V_{01})e^{-\frac{t}{\tau}}$$

هنگامیکه ولتاژ پایه مثبت op به -V_R- میرسد و بخواهد از آن زیادتر شود، op به اشباع + می‌رود. پس:

$$v_+(T^-) = -V_R \rightarrow T = \tau \ln\left(\frac{V_{01} - V_{02}}{V_R}\right)$$



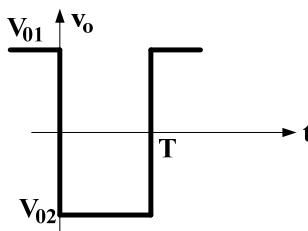
در این حالت داریم: $v_C(T^-) = V_{02} - (-V_R), \quad v_o(T^+) = V_{01}$

و چون ولتاژ خازن جهشی تغییر نمی‌کند، و یک طرف آن (ولتاژ خروجی)

از مقدار منفی V₀₂ به مقدار مثبت V₀₁ جهش می‌کند، به همین میزان

ولتاژ طرف دیگر خازن یعنی پایه مثبت op، جهش می‌کند و دیود

$$v_-(0^+) = (V_{01} - V_{02}) + (-V_R) > V_{D3}$$



پس طرف دیگر خازن یعنی پایه مثبت op، فقط به اندازه‌ای جهش می‌کند که ولتاژ

آن به اندازه ولتاژ هدایت دیود می‌رسد و بقیه مقدار جهش را خازن تحمل می‌کند.

یعنی در اینجا ولتاژ خازن جهشی تغییر می‌کند و چون ولتاژ خازن ثابت می‌ماند،

جریان آن قطع شده و لذا دیود نیز قطع می‌گردد و مدار به حالت پایدار می‌رسد.

با فرض ایده‌آل بودن دیود، زمان بهبودیابی وجود ندارد ولی اگر برای دیود یک

مقاومت در نظر گرفته شود، عملکرد اخیر با یک ثابت زمانی کوچک انجام خواهد شد.

ب- تریگر را باید به ولتاژ پایه -op اعمال نمود و بایستی تریگر مثبت باشد و حداقل دامنه آن برابر V_R است.

۲- در این مدار باید ابتدا فرض کلید کلید بسته است و ولتاژ خازن C₁ صفر است و سپس کلید باز می‌شود.

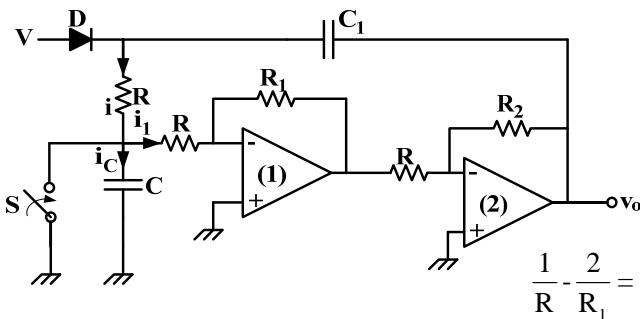
هنگامی که کلید بسته است، دیود D روشن بوده و چون ولتاژ خازن C₁ صفر است، ولتاژ خروجی هر دو op صفر خواهد بود و لذا

$$v_{C1} = V - V_D \approx V$$

اگر فرض کنیم ولتاژ این خازن هنگامی که کلید قطع است، کاهش نمی‌یابد، خواهیم داشت:

$$v_{o2} = \frac{-R_2}{R} V_{o1} = -V_{o1} \rightarrow \frac{R_2}{R} = 1 \quad v_{o1} = \frac{-R_1}{R} v_c \rightarrow v_{o2} = \frac{R_1}{R} v_c \Rightarrow v_c = \frac{R}{R_1} v_{o2}$$

$$I = \frac{V_{C1} + v_{o2} - v_c}{R} \rightarrow I = \frac{V + v_{o2} - \frac{R}{R_1} v_{o2}}{R}, \quad i_C = I - i_1 = I - \frac{v_c}{R} = I - \frac{\frac{R}{R_1} v_{o2}}{R} = I - \frac{v_{o2}}{R_1}$$



$$i_C = \frac{V + v_{o2} - \frac{R}{R_1} v_{o2}}{R} - \frac{v_{o2}}{R_1} = \frac{V}{R} + \left(\frac{1}{R} - \frac{2}{R_1} \right) v_{o2}$$

چون جریان خازن باید ثابت باشد (مشابه تکنیک مدار بوت استرپ)، پس داریم :

$$\frac{1}{R} - \frac{2}{R_1} = 0 \rightarrow \frac{R_1}{R} = 2 \rightarrow i_C = \frac{V}{R} \Rightarrow v_C = \frac{V}{RC} t \rightarrow v_o = \frac{2V}{RC} t$$

$$V_+ = \frac{R_2}{R_2 + R_1} (v_o - v_i) + v_i \rightarrow V_+ = \frac{R_2}{R_2 + R_1} v_o + \frac{R_1}{R_2 + R_1} v_i \quad -\text{الف}-3$$

وقتی که ورودی منفی بینهایت است، ولتاژ پایه مثبت نیز منفی بینهایت بوده، پس op. در اشباع منفی بسر می‌برد و دیود زنر بصورت دیود معمولی کار می‌کند و ولتاژ خروجی $\frac{V}{2}$ است. با افزایش ورودی، ولتاژ پایه + نیز زیاد شده و وقتی به ولتاژ V_R می‌رسد و بخواهد از آن بیشتر گردد، op. اشباع مثبت می‌گردد. پس داریم :

$$V_R = \frac{R_2}{R_2 + R_1} (-0.7) + \frac{R_1}{R_2 + R_1} v_i \rightarrow v_i = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_R + \frac{R_2}{R_1} (0.7) = UTP = 6 \quad (1)$$

پس از اشباع + شدن op. دیود زنر بصورت زنری عمل نموده و ولتاژ خروجی برابر $\frac{4}{7}V$ خواهد شد. لذا ولتاژ زنر $\frac{4}{7}V$ ولتی است. حال با کاهش ولتاژ ورودی، ولتاژ پایه + نیز کاهش یافته و وقتی به ولتاژ V_R می‌رسد و بخواهد از آن کمتر گردد، op. اشباع منفی می‌گردد. پس داریم :

$$V_R = \frac{R_2}{R_2 + R_1} (4.7) + \frac{R_1}{R_2 + R_1} v_i \rightarrow v_i = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_R + \frac{R_2}{R_1} (-4.7) = LTP = 4 \quad (2)$$

از روابط ۱ و ۲ خواهیم داشت :

$$(1) - (2) \rightarrow \frac{R_2}{R_1} (0.7 + 4.7) = 2 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{10}{27} \xrightarrow{(1)} V_R = \frac{155}{37}$$

با فرض اینکه مقاومت $R_1 = 27$ کیلواهم باشد، مقاومت $R_2 = 10$ کیلو اهم خواهد شد.

برای محاسبه R_3 ، فرض کنید ولتاژ اشباع خروجی op. ۲ ولت باشد. پس حداکثر و حداقل ولتاژ خروجی آن به ترتیب ۱۳ و ۱۳ ولت خواهد بود.

$$I_{Z1} = \frac{V_{sat+} - V_{o1}}{R_3} - \frac{V_{o1} - V_R}{R_1 + R_2} \rightarrow I_{Z1} = \frac{13 - 4.7}{R_3} - \frac{\frac{4.7 - 155}{37}}{37} \geq I_{Zmin} = 1mA \rightarrow R_3 \leq \frac{11362.7}{1387.9} = 8.187K\Omega$$

$$I_{Z2} = \frac{V_{o2} - V_{sat-}}{R_3} - \frac{V_R - V_{o2}}{R_1 + R_2} \rightarrow I_{Z2} = \frac{-0.7 - (-13)}{R_3} - \frac{\frac{155}{37} - (-0.7)}{37} \geq I_{Zmin} = 1mA \rightarrow R_3 \leq \frac{16838.7}{1549.9} = 10.86K\Omega$$

$$I_{oo,p.1} = \frac{V_{sat+} - V_{o1}}{R_3} = \frac{13 - 4.7}{R_3} = \frac{8.4}{R_3} \leq I_{osat} = 20mA \rightarrow R_3 \geq 420\Omega$$

$$I_{oo,p.2} = \frac{V_{o2} - V_{sat-}}{R_3} = \frac{-0.7 - (-13)}{R_3} = \frac{12.3}{R_3} \leq I_{osat} = 20mA \rightarrow R_3 \geq 615\Omega$$

پس : $R_4 = R_1 \parallel R_2 = 7.3 K\Omega$ از طرفی بایستی داشته باشیم :

ب- هنگامیکه ولتاژ v_i افزایش می‌یابد و به مقدار UTP می‌رسد، ولتاژ v_o برابر $\frac{4}{7}V$ می‌شود. در این حالت ولتاژ خازن همان

است. مبدأ زمان را این لحظه فرض می‌کنیم. پس : $v_C(0^+) = UTP = 6$ در این لحظه ترانزیستور روشن شده و فرض می‌کنیم اشباع شود. فرض کنید باتری E برابر منبع تغذیه مثبت op. یعنی 15 ولت باشد. لذا می‌توان نوشت :

$$I_B = \frac{V_o - V_{BE}}{R_B} = \frac{4}{R_B}, \quad I_C(0^+) = \frac{E - v_{CQ-sat}}{R_C} + \frac{v_C(0^+) - v_{CQ-sat}}{R} = \frac{15}{R_C} + \frac{6}{R}$$

$$\frac{I_C(0^+)}{I_B} = \frac{\frac{15}{R_C} + \frac{6}{R}}{\frac{4}{R_B}} \leq \beta_{min} = 50 \quad (3)$$

از این لحظه به بعد ولتاژ خازن کاهش می‌یابد و داریم :

$$\tau_1 = RC, \quad v_C(t) = 0 + k_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}}, \quad v_C(0^+) = 6 \rightarrow k_1 = 6 \Rightarrow v_C(t) = 6e^{-\frac{t}{\tau_1}}$$

وقتی این ولتاژ به LTP می‌رسد، ولتاژ خروجی به $7/4$ جهش می‌کند. پس : $v_C(T_1^-) = 4 \rightarrow T_1 = \tau_1 \ln(1.5)$
از این لحظه به بعد، ترانزیستور قطع شده و خازن از طریق باتری E شارژ می‌گردد. پس ولتاژ v_i افزایش می‌یابد.

$$\tau_2 = (R + R_C)C, \quad v_C(t) = E + k_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}}, \quad v_C(T_1^+) = 4 \rightarrow k_2 = -11e^{\frac{T_1}{\tau_2}} \Rightarrow v_C(t) = 15 - 11e^{-\frac{t-T_1}{\tau_2}}$$

وقتی این ولتاژ به UTP می‌رسد، ولتاژ خروجی به $7/9$ جهش می‌کند. پس : $v_C(T_2^-) = 6 \rightarrow T = T_1 + \tau_2 \ln(\frac{11}{9})$

از این لحظه به بعد عملیات فوق تکرار می‌شود.

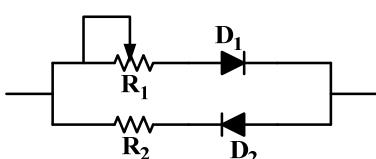
$$T = \tau_1 \ln(1.5) + \tau_2 \ln(\frac{11}{9}) = 1 \text{ msec.} \rightarrow RC \ln(1.5) + (R + R_C)C \ln(\frac{11}{9}) = 1 \text{ msec.} \quad (4)$$

فقط ۲ معادله (۳) و (۴) را داریم و ۴ مجهول وجود دارد. ۲ تا را انتخاب می‌کنیم.

$$R = 10 \text{ K}\Omega, C = 100 \text{ nF} \xrightarrow{(4)} R_C = 19.63 \text{ K}\Omega \xrightarrow{(3)} R_B \leq 146.6 \text{ K}\Omega \rightarrow R_B = 120 \text{ K}\Omega$$

$$T_1 = \tau_1 \ln(1.5) = 0.405 \text{ msec.}, \quad T_2 = 0.595 \text{ msec.}$$

ج- پس با استفاده از پریود موج بین $1/10 \text{ ms}$ تا 10 ms باشد. چون فقط زمان T_1 زمان high بودن v_o ، قابل کنترل است، می‌توان در مسیر Low بودن v_o را ثابت فرض نمود و با کنترل T_1 ، پریود کل را نیز تغییر داد. یعنی مسیر high بودن v_o را با یک مقاومت متغیر کنترل نمود.



به جای مقاومت R شکل مقابل را بکار می‌بریم :

اگر از ولتاژ هدایت دیودها صرف نظر نمائیم و فرض کنیم T_2 برابر 0.05 ms باشد،

آنگاه T_1 باید بین 0.05 ms تا 0.95 ms تغییر نماید.

بنابراین داریم :

$$T_2 = \tau_2 \ln(\frac{11}{9}) = 0.05 \text{ msec.}, \quad R_2 = 1 \text{ K}\Omega, \quad C = 100 \text{ nF} \rightarrow R_C = 992 \Omega$$

$$T_1 = \tau_1 \ln(1.5) = 0.05 \text{ msec.}, \quad 9.95 \text{ msec.}, \quad \tau_1 = R_1 C \rightarrow 1233 \Omega \leq R_1 \leq 245397 \Omega$$

برای رابطه ۳ کمترین مقاومت R_1 را بکار می‌بریم که سبب بیشترین جریان کلکتور می‌گردد.

$$\frac{I_C(0^+)}{I_B} = \frac{\frac{15}{R_C} + \frac{6}{R_1}}{\frac{4}{R_B}} \leq \beta_{min} = 50 \rightarrow R_B \leq 10.006 \text{ K}\Omega \rightarrow R_B = 8.2 \text{ K}\Omega$$