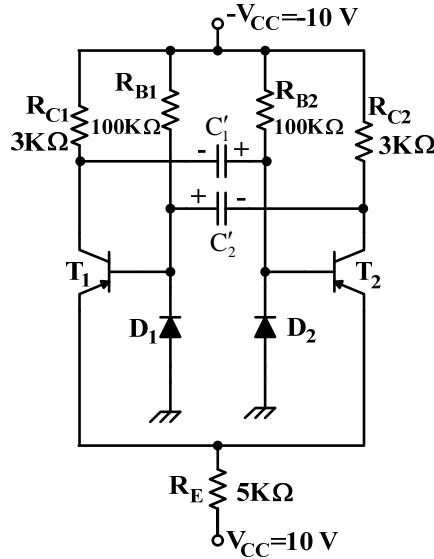


حل تمرین سری ۴

-الف-



فرض کنید در $t = 0^-$ ، T_1 قطع و T_2 روشن است می‌توان نشان داد که در هدایت بسر می‌برد. زیرا اگر در اشباع باشد، ولتاژ امیتر برابر صفر و جریان آن برابر 2 mA است، در حالیکه جریان کلکتور از جریان مقاومت $3 \text{ k}\Omega$ اهم بیشتر بوده و این جریان برابر 3 mA می‌باشد. لذا جریان کلکتور بیش از امیتر است که ممکن نیست. پس فرض اشباع صحیح نمی‌باشد. البته بهتر است که با محاسبه جریان بیس و کلکتور در این لحظه و تعیین نسبت آنها فرض اشباع را رد کرد.

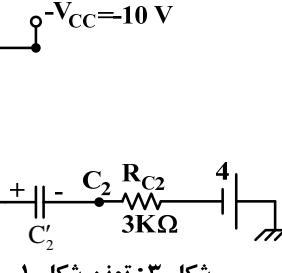
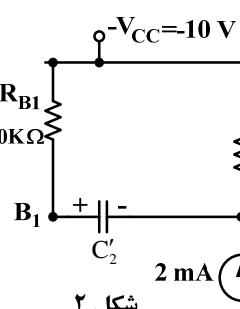
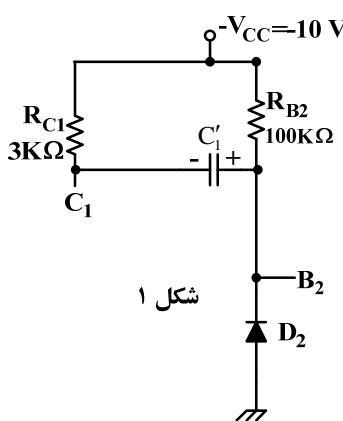
ولتاژ اولیه خازن اول را در این لحظه نمی‌دانیم.

$$V_{C'_1}(0^-) = E_1, \quad V_{C'_2}(0^-) = -0.7 - (-10) = 9.3 \text{ volt}$$

در $t = 0^+$ ، T_1 قطع و T_2 روشن است و نشان می‌دهیم فرض هدایت بودن آن صحیح است. زیرا اگر اشباع باشد، مشابه آنچه که قبل از مورد ترانزیستور اول

گفته شد، جریان کلکتور بیش از جریان امیتر خواهد بود که غیر ممکن است. مدارها برای $t < 0$ در شکل زیر رسم شده‌اند.

$$V_{B_2}(0^+) = -0.7, \quad V_E(0^+) = 0 \rightarrow I_{C_2} \approx I_{E_2} = \frac{V_{CC} - 0}{R_E} = 2 \text{ mA}$$



با توجه به شکل ۳ داریم :

$$\tau_2 = C'_2(R_{C_2} + R_{B1}) = 103^K \times 3^n = 309 \text{ ms} \quad v_{B1}(0^+) = \frac{v_{C'_2}(0^+) - (-10) - 4}{R_{C_2} + R_{B1}} R_{B1} + (-10) = \frac{500}{103} \text{ volt}$$

$$v_{B1}(\infty) = -10 \quad v_{B1}(t) = -10 + k_1 e^{-\frac{t}{\tau_2}}, \quad v_{B1}(0^+) = \frac{500}{103} \rightarrow k_1 = \frac{1530}{103} \Rightarrow v_{B1}(t) = -10 + \frac{1530}{103} e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

وقتی که ولتاژ بیس ترانزیستور اول به مقدار $5/4$ بررسد، این ترانزیستور روشن می‌شود.

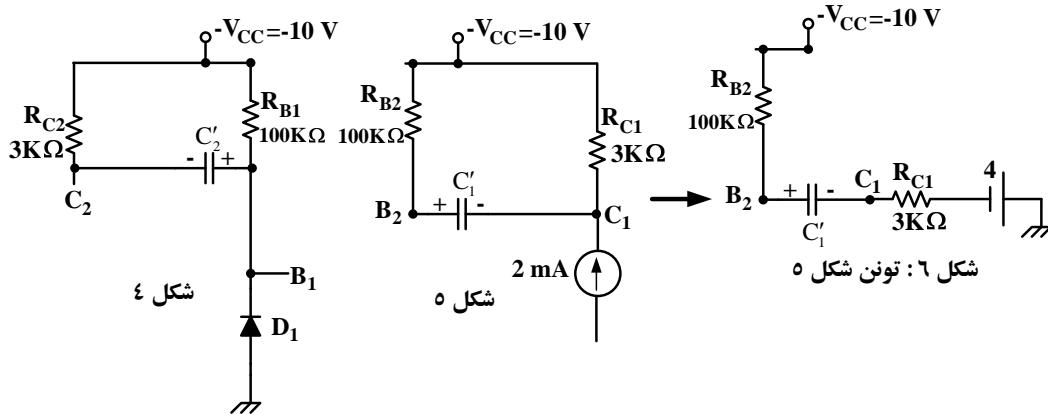
$$v_{B1}(T_1^-) = -0.5 \rightarrow T_1 = 138.12 \text{ ms} \quad v_{C'_2}(T_1^-) = v_{B1}(T_1^-) - \left[\frac{v_{B1}(T_1^-) - (-10)}{R_{B1}} (-R_{C_2}) - 4 \right] = 3.785 \text{ volt}$$

در این مدت خازن اول در شکل ۱ به مقدار نهایی خود رسیده است. زیرا :

$$\tau_1 = C'_1 R_{C_1} = 3^K \times 1^n = 3 \text{ ms} \rightarrow 5\tau_1 = 15 \text{ ms} \quad V_{C'_1}(T_1^-) = -0.7 - (-10) = 9.3 \text{ volt}$$

در شکل زیر در $T_1 < t < T_1^+$ روشن و قطع است و مشابه آنچه که قبلاً گفته شد در هدایت بسر می‌برد. مدارها برای $T_1 < t < T_1^+$ در شکل ۶ رسم شده‌اند.

$$V_{B1}(T_1^+) = -0.7 \quad , \quad V_E(0^+) = 0 \rightarrow I_{C1} \approx I_{E1} = \frac{V_{CC} - 0}{R_E} = 2 \text{ mA}$$



با توجه به شکل ۶ داریم :

$$\tau_1 = C'_1(R_{C1} + R_{B2}) = 103 \text{ K} \times 1^n = 103 \text{ ms} \quad v_{B2}(T_1^+) = \frac{v_{C'_1}(T_1^+) - (-10) - 4}{R_{C1} + R_{B2}} R_{B2} + (-10) = \frac{500}{103} \text{ volt}$$

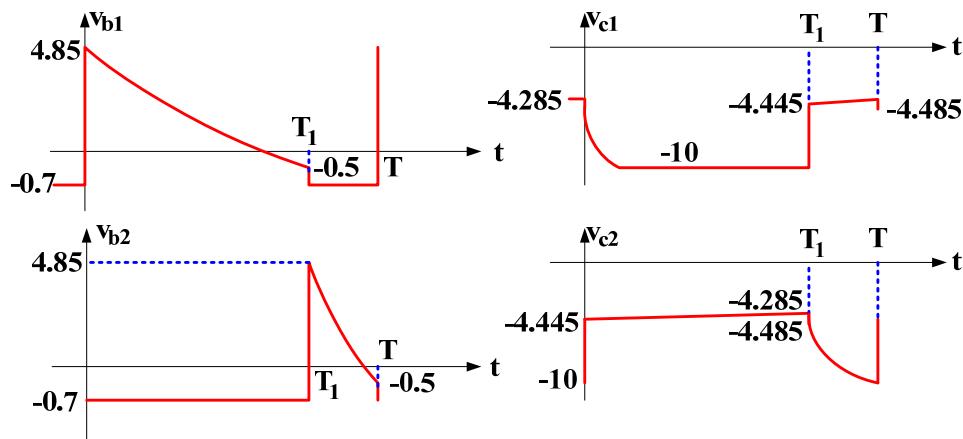
$$v_{B2}(\infty) = -10 \quad v_{B2}(t) = -10 + k_2 e^{-\frac{t}{\tau_1}}, v_{B2}(T_1^+) = \frac{500}{103} \rightarrow k_2 = \frac{1530}{103} e^{\frac{T_1}{\tau_1}} \Rightarrow v_{B2}(t) = -10 + \frac{1530}{103} e^{-\frac{t-T_1}{\tau_1}}$$

وقتی که ولتاژ بیس ترانزیستور دوم به مقدار $5/4 = 1.25$ برسد، این ترانزیستور روشن می‌شود.

$$v_{B2}(T^-) = -0.5 \rightarrow T = 184.16 \text{ ms} \quad v_{C'_1}(T^-) = v_{B2}(T^-) - \left[\frac{v_{B2}(T^-) - (-10)}{R_{B2}} (-R_{C1}) - 4 \right] = 3.785 \text{ volt} = E_1$$

در این مدت خازن دوم در شکل ۴ به مقدار نهایی خود رسیده است. زیرا :

$$\tau_4 = C'_2 R_{C1} = 3 \text{ K} \times 3^n = 9 \text{ ms} \rightarrow 5\tau_1 = 45 \text{ ms} \quad V_{C'_2}(T^-) = -0.7 - (-10) = 9.3 \text{ volt}$$



ب- C'_2 باید در مدت زمان $T - T_1 = 46.04 \text{ ms}$ به حالت تعادل برسد.

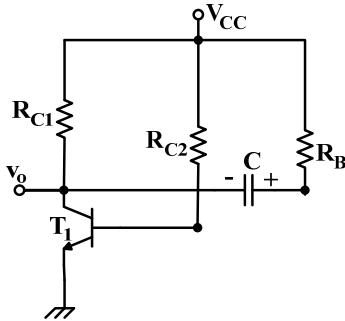
$$5\tau_{\max} = 46.04 \text{ ms} \rightarrow \tau_{\max} = 9.208 \text{ ms} = C'_2 R_{C1} \rightarrow C'_2 = 3069.4 \text{ pF}$$

-۲- وقتی که ترانزیستور اول قطع باشد ، ولتاژ خروجی برابر V_{CC} است. پس :
بررسی حالت پایدار : خازن C مدار باز و ترانزیستور دوم روشن است. با ایجاد اشباع این ترانزیستور، ترانزیستور اول قطع خواهد بود.

$$V_{B2} = 0.7 \text{ volt} \rightarrow I_{B2} = \frac{5 - 0.7}{R_B}, I_{C2} = \frac{5}{R_{C2}} \rightarrow \frac{I_{C2}}{I_{B2}} = \frac{5R_B}{4.3R_{C2}} < \beta_{\min} = 50 \Rightarrow \frac{R_B}{R_{C2}} < 43 \quad (1)$$

$$V_{B1} = 0 \text{ volt}, v_o = 5 \text{ volt}, v_C(0^-) = 0.5 - 5 = -4.3 \text{ volt}$$

در $t = 0^+$ ، (پس از اعمال تریگر) ترانزیستور دوم قطع و ترانزیستور اول روشن می‌شود که بنابر مشخصات خروجی بایستی در اشباع قرار گیرد.



$$V_{B1} = 0.7 \text{ volt} \rightarrow I_{B1} = \frac{5 - 0.7}{R_{C2}} = \frac{4.3}{R_{C2}}$$

$$I_{C1}(0^+) = \frac{V_{CC} - v_o(0^+)}{R_{C1}} + \frac{V_{CC} - v_C(0^+) - v_o(0^+)}{R_B} = \frac{5}{R_{C1}} + \frac{9.3}{R_B}$$

$$\frac{I_{C1}(0^+)}{I_{B1}} = \frac{\frac{5}{R_{C1}} + \frac{9.3}{R_B}}{\frac{4.3}{R_{C2}}} < \beta_{\min} = 50 \quad (2)$$

$$V_{B2}(0^+) = v_C(0^+) - v_o(0^+) = -4.3 \text{ volt}$$

در $t < T$ ، خازن از طریق مقاومت R_B شارژ شده و ولتاژ بیس T_2 افزایش می‌یابد تا اینکه این ولتاژ به $5/4$ ولت برسد.

$$\tau = R_B C, v_{B2}(\infty) = V_{CC} \rightarrow v_B(t) = 5 + ke^{-\frac{t}{\tau}} \quad V_{B2}(0^+) = -4.3 \text{ volt} \rightarrow k = -9.3 \Rightarrow v_{B2}(t) = 5 - 9.3e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$V_{B2}(T^+) = 0.5 \rightarrow T = \tau \ln\left(\frac{9.3}{4.5}\right) = 4 \text{ msec.} \rightarrow \tau = 5.51 \text{ msec.} \Rightarrow R_B C = 5.51 \text{ msec.} \quad (3)$$

در $t = T^+$ ، ترانزیستور دوم روشن و ترانزیستور اول قطع هستند. مدت زمان بهبودیابی مربوط به شارژ نهایی خازن از طریق مقاومت R_{C1} است. در این مدت جریان بیس نسبت به حالت پایدار بیشتر بوده (شامل جریان خازن نیز است) ، لذا چون در حالت پایدار ترانزیستور دوم در اشباع بسیار می‌برد، در اینجا نیز اولی‌تر در حالت اشباع است.

$$\tau_r = R_{C1} C, t_r = 5\tau_r \leq 0.4 \text{ msec.} \rightarrow R_{C1} C \leq 0.08 \text{ msec.} \quad (4)$$

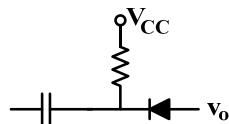
۳ نامعادله و یک معادله داریم. از رابطه ۳ و ۴ داریم، می‌توان نوشت : (5) از رابطه ۲ داریم :

$$\frac{5}{R_{C1}} + \frac{9.3}{R_B} < 50 \frac{4.3}{R_{C2}} \rightarrow \frac{5R_B}{R_{C1}} + 9.3 < \frac{215R_B}{R_{C2}} \xrightarrow{(1)} \frac{5R_B}{R_{C1}} + 9.3 < 9245 \rightarrow \frac{R_B}{R_{C1}} < 1847.14 \quad (6)$$

از رابطه ۵ و ۶ خواهیم داشت : $68.8765 < \frac{R_B}{R_{C1}} < 1847.14$

با انتخاب ۵ و ۶ خواهیم داشت : با اعمال تریگر منفی ترانزیستور دوم را در حالت روشن به قطع برد.

مدار تریگر :



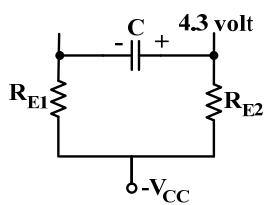
با ایستی با اعمال تریگر منفی ترانزیستور دوم را در حالت روشن به قطع برد.

در حالت پایدار باید دیود قطع باشد. لذا مقاومت مشتق گیر را به V_{CC} متصل کرده‌ایم.

-۳- فرض کنید در $t = 0^-$ ، ترانزیستور دوم قطع و ترانزیستور اول روشن و در اشباع باشد. چون خروجی V_{oL} برابر $7/0$ volt و ولتاژ امیتر ترانزیستور اول برابر $7/0$ volt است، این ترانزیستور اشباع است. در این حالت دیود قطع است. در $t = 0^+$ ، ترانزیستور اول قطع و ترانزیستور دوم روشن است. در این حالت دیود امکان روشن شدن دارد و آن را روشن فرض می‌کنیم. با توجه به خروجی V_{oH} برابر ۵ volt و ولتاژ هدایت دیود داریم :

بنابر این بایستی ولتاژ منبع تغذیه از این ولتاژ بیشتر باشد : $V_{CC} > 5$ volt . در این حالت داریم :

پس با توجه به مقدار ولتاژ منبع تغذیه، حداقل ولتاژ V_{CE2} برابر $7/0$ volt است و ترانزیستور در هدایت بسر می‌برد.



برای $T_1 < t < 0$ ، خازن از طریق مقاومت R_{E1} شارژ می‌گردد. فرض کنید ولتاژ اولیه خازن E باشد.

$$\tau_1 = R_{E1}C \quad v_C(0^+) = E \rightarrow v_{E1}(0^+) = 4.3 - E , \quad v_{E1}(\infty) = -V_{CC}$$

$$v_{E1}(t) = -V_{CC} + k_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}}, \quad v_{E1}(0^+) = 4.3 - E \rightarrow k_1 = 4.3 - E + V_{CC}$$

$$v_{E1}(t) = -V_{CC} + (4.3 - E + V_{CC}) e^{-\frac{t}{\tau_1}}$$

عمل شارژ خازن تا زمانی ادامه دارد که ولتاژ امیتر T_1 برای $5/0$ volt گردد. پس :

$$v_{E1}(T_1^-) = -0.5 \rightarrow T_1 = \tau_1 \ln\left(\frac{4.3 - E + V_{CC}}{V_{CC} - 0.5}\right), \quad v_C(T_1^-) = 4.8 \text{ volt}$$

در $t = T_1^+$ ، ترانزیستور دوم قطع و ترانزیستور اول روشن است. چون می‌خواهیم ترانزیستور اول اشباع باشد، پس دیود قطع است.

برای $T_1 < t < T$ ، خازن از طریق مقاومت R_{E2} شارژ می‌گردد.

$$\tau_2 = R_{E2}C \quad v_C(T_1^+) = 4.8 \rightarrow v_{E2}(T_1^+) = 4.1 , \quad v_{E2}(\infty) = -V_{CC}$$

$$v_{E2}(t) = -V_{CC} + k_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}}, \quad v_{E2}(T_1^+) = 4.1 \rightarrow k_2 = (4.1 + V_{CC}) e^{\frac{T_1}{\tau_2}},$$

عمل شارژ خازن تا زمانی ادامه دارد که ولتاژ امیتر T_2 برای $2/1$ volt گردد. پس :

$$v_{E2}(T) = -1.2 \rightarrow T = \tau_2 \ln\left(\frac{4.1 + V_{CC}}{V_{CC} - 1.2}\right) + T_1$$

$$f = 1 \text{ KHz} \rightarrow T = 1 \text{ msec.}$$

$$R_{E2} C \ln\left(\frac{4.1 + V_{CC}}{V_{CC} - 1.2}\right) + R_{E1} C \ln\left(\frac{4.3 - E + V_{CC}}{V_{CC} - 0.5}\right) = 1 \text{ msec.} \quad (1)$$

در $t = T$ ، ولتاژ خازن برابر است با : $5/0$ volt، پس :

$$R_{E2} C \ln\left(\frac{4.1 + V_{CC}}{V_{CC} - 1.2}\right) + R_{E1} C \ln\left(\frac{4.8 + V_{CC}}{V_{CC} - 0.5}\right) = 1 \text{ msec.} \quad \text{از رابطه ۱ داریم :}$$

با انتخاب $R_{E1} = R_{E2}$ و $V_{CC} = 10$ volt داشت :

$$R_{E2} C \ln\left(\frac{14.1}{8.8}\right) + R_{E1} C \ln\left(\frac{14.8}{9.5}\right) = 1 \text{ msec.} \rightarrow R_E C = 0.5466 \text{ msec.}$$

اگر فرض کنیم $C = 100 \text{ nF}$ آنگاه : $R_{E1} = R_{E2} = 5.466 \text{ K}\Omega$

برای اینکه در $t = T_1^+$ ، بلافاصله اشباع شود بایستی داشته باشیم :

$$I_{E1}(T_1^+) = \frac{V_{E1}(T_1^+) - (-V_{CC})}{R_{E1}} + \frac{V_{E1}(T_1^+) + V_C(T_1^+) - (-V_{CC})}{R_{E2}} = \frac{9.3}{5.466} + \frac{14.1}{5.466} = 4.281 \text{ mA}$$

$$I_{C1}(T_1^+) = \frac{V_{CC} - V_o(T_1^+)}{R_{C2}} = \frac{10.7}{R_{C2}} \rightarrow I_{B1}(T_1^+) = I_{E1}(T_1^+) - I_{C1}(T_1^+) = 4.281 - \frac{10.7}{R_{C2}} > 0 \rightarrow R_{C2} > 394.2 \Omega$$

$$\frac{I_{C1}(T_1^+)}{I_{B1}(T_1^+)} < \beta_{\min} = 50 \rightarrow \frac{\frac{10.7}{R_{C2}}}{4.281 - \frac{10.7}{R_{C2}}} < 50 \rightarrow \frac{10.7}{R_{C2}} < 214.05 - \frac{535}{R_{C2}} \rightarrow R_{C2} > 2.5494 \text{ K}\Omega$$

مقاومت R_{C2} را برابر ۲/۷ کیلواهم در نظر می‌گیریم.