

پاسخنامه‌ی تمرین چهارم درس مدارهای الکتریکی و الکترونیکی

دکتر سمیه کوهی

سوال اول

الف) ماکزیمم جریان عبوری از دیود لحظه‌ای اتفاق می‌افتد که ولتاژ به ماکزیمم مثبت خود برسد. بنابراین:

$$V_{in} = V_F = 20 \text{ V}$$

$$V_F = V_o + I_{peak}(r_f + R)$$

$$20 = 0.7 + I_{peak}(10 + 500)$$

$$I_{peak} = \frac{20 - 0.7}{500 + 10} = 37.8 \text{ mA}$$

(ب)

$$\max(V_{out}) = I_{peak}R = 37.8 \text{ mA} \times 500 = 18.9 \text{ V}$$

در حالت ایده‌آل: مقاومت ولتاژ و دیود برابر صفر هستند (دیود در مواجهه با جریان هم‌راند خود مانند سیم و در مواجهه با جریان مخالف خود مانند مدار باز عمل می‌کند) بنابراین $V_o = 0$ و $r_f = 0$

سوال دوم

حالت‌های مختلف روشن یا خاموش بودن دیودها را باید بررسی کنیم.

الف) هر دو دیود خاموش باشند. در چنین شرایطی داریم که $V_o = V_i$.

ب) دیود D_1 روشن و دیود D_2 خاموش باشد. در مدار بدست آمده، معادلات زیر را خواهیم داشت:

$$3 - 1 - 2I_{f1} - I_{f1} = V_i$$

$$\Rightarrow I_{f1} = \frac{2 - V_i}{3} > 0$$

$$\Rightarrow V_i < 2 \text{ V}$$

از آنجایی که در صورت سوال گفته شده:

$$I_{f1, \max} = 4 \text{ mA} = \frac{2 - V_i}{3} \Rightarrow V_i = -10 \text{ V}$$

حالا ولتاژ خروجی را محاسبه می‌کنیم:

$$V_o = V_i + I_{f1} = \frac{2V_i + 2}{3}$$

ج) حالتی که D_1 خاموش و D_2 روشن باشد. مشابه حالت قبل می‌توانیم معادلات زیر را بنویسیم:

$$V_i - I_{f2} - 3I_{f2} - 1 - 5 = 0$$

$$\Rightarrow I_{f2} = \frac{V_i - 6}{4} > 0$$

$$\Rightarrow V_i > 6 V$$

دوباره، از آنجایی در صورت سوال گفته شده:

$$I_{f2,max} = 6 mA = \frac{V_i - 6}{4} \Rightarrow V_i = 30 V$$

اکنون ولتاژ خروجی را محاسبه می‌کنیم:

$$V_o = V_i - I_{f2} = \frac{3V_i + 6}{4}$$

د) هر دو دیود روشن باشند. در این حالت ولتاژ خروجی از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$V_o = 3 - 1 - 2I_{f1} = 5 + 1 + 3I_{f2}$$

$$\Rightarrow 2I_{f1} + 3I_{f2} = -4$$

البته، می‌دانیم که برای روشن بودن دیودها، هر دو جریان باید مثبت باشند. در نتیجه معادله‌ی فوق هیچ پاسخی ندارد و حالتی که هر دو دیود روشن باشند امکان پذیر نیست.

در مجموع، به طور خلاصه ولتاژ خروجی و محدودیت‌های ولتاژ ورودی به شرح زیر هستند:

$$V_o = \begin{cases} (3V_i + 6)/4, & \text{for } 6 < V_i \leq 30 \\ V_i, & \text{for } 2 < V_i \leq 6 \\ (2V_i + 2)/3, & \text{for } -10 \leq V_i < 2 \end{cases}$$

سوال سوم

در مدار داده شده، دیودهای D_2 و D_3 روشن هستند و جریان را عبور می‌دهند و این در حالی است دیودهای D_1 و D_4 خاموش هستند و جریانی را عبور نمی‌دهند. در مدارنهایی، مقاومت معادل برابر:

$$R_{eff} = 1\Omega + 10\Omega + 1\Omega = 12\Omega$$

برای هر دیود، ولتاژ آستانه برابر $0.7 V$ است و در نتیجه دیودهای روشن همانند یک منبع ولتاژ به همین اندازه عمل می‌کنند. در نتیجه، ولتاژ موثر در مدار برابر:

$$V_{net} = 3 - 0.7 - 0.7 = 1.6 \text{ V}$$

خواهد بود. در نتیجه، جریان خواسته شده برابر است با:

$$I = \frac{V_{net}}{R_{eff}} = \frac{1.6}{12} = 0.133 \text{ A}$$

سوال چهارم

$$R_{th} = 10 \text{ M}\Omega \parallel 5 \text{ M}\Omega = \frac{5 \times 10}{5 + 10} = 3.34 \text{ M}\Omega$$

$$V_{th} = \left(\frac{5}{5 + 10} \right) \times 15 = 5 \text{ V}$$

$$V_G = V_{th}(I_G = 0), V_{GS} = 2$$

$$V_{GS} = V_G - V_S \Rightarrow V_S = V_G - V_{GS} = V_{th} - V_{GS} = 3 \text{ V}$$

$$I_D = \frac{V_S}{R_S} = \frac{3}{3 \times 10^3} = 1 \text{ mA}$$

$$V_D = V_{DD} - I_D \times R_D = 15 - 1 \times 7.5 = 7.5 \text{ V}$$

سوال پنجم

در ابتدا، فرض می‌کنیم که ماسفت در حالت اشباع باشد، و در نتیجه، معادله‌ی جریان از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$I_D = K(V_{GS} - V_t)^2$$

اکنون می‌توانیم مدار را تحلیل کنیم. از آنجایی که می‌دانیم $V_{GS} = -4.0 \text{ V}$ و فرض کردیم که ترانزیستور PMOS در حالت اشباع قرار دارد، می‌توانیم جریان را محاسبه کنیم:

$$I_D = K(V_{GS} - V_t)^2 = 0.75(-4 - (-2))^2 = 3 \text{ mA}$$

و به این ترتیب ولتاژ $drain$ از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$V_D = 0 + I_D R_3 = 3 \text{ V}$$

دقت کنید که اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R_2 برابر ولتاژ V_{GS} می‌باشد که مقدار آن را داریم، در نتیجه جریان گذرنده از این مقاومت برابر $I_2 = \frac{-4}{1} = -4 \text{ mA}$ می‌باشد. از آنجایی که پایه‌ی گیت ترانزیستور جریانی نمی‌کشد، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار جریان گذرنده از دو مقاومت برابر می‌باشد. حالا می‌توان مقدار ولتاژهای V_G و V_S را با استفاده از این جریان‌ها محاسبه کرد:

$$V_G = 0 - I_1 R_1 = 4 \text{ V}$$

$$V_S = V_G - I_2 R_2 = 8 \text{ V}$$

جریان گذرنده از مقاومت مجهول را با استفاده از KCL بدست می‌آوریم:

$$I = I_D - I_2 = 3 - (-4) = 7 \text{ mA}$$

و حالا با استفاده از قانون اهم، مقدار مقاومت را بدست می‌آوریم:

$$R = \frac{15 - V_S}{I} = 1 \text{ K}\Omega$$

اکنون باید بررسی کنیم که فرض اولیه (اشباع بودن ترانزیستور) همچنان برقرار باشد:

$$V_{GS} = -4 < -2 = V_t$$

$$V_{DS} = -5 < -2 = V_{GS} - V_t$$

حالا که فرض اولیه ما درست بوده، پس مقدار مقاومت را درست محاسبه کرده‌ایم.