www.modaresanesharif.ac.ir



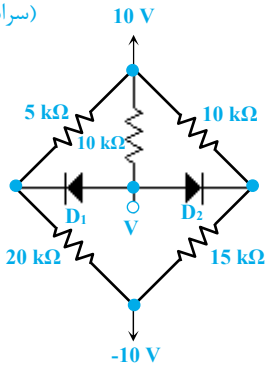
# فصل اول

# دیود

## تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل اول

**درسنامه: تحلیل مدارات دیودی**

۱ـ با فرض دیودهای ایده‌آل ولتاژ V در مدار زیر به کدام گزینه نزدیکتر است؟ (سراسری ۷۶)



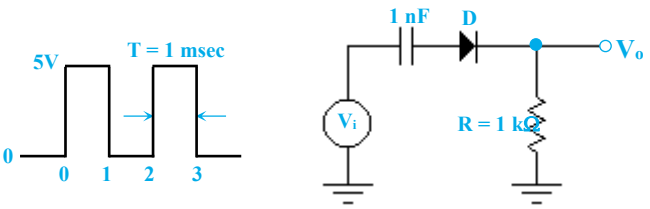

۱) ۵V

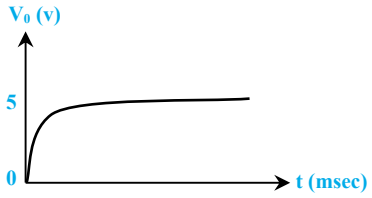
۲) ۵/۵V

۳) ۷/۱V

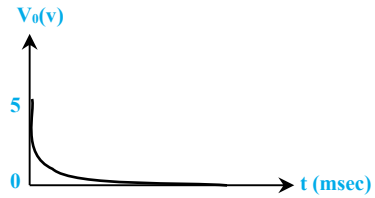
۴) ۱۰V

۲ـ در مدار نشان داده شده در شکل، دیود D ایده‌آل فرض می‌شود. کدام شکل، موج خروجی مدار را نشان می‌دهد؟ (سراسری ۷۸)

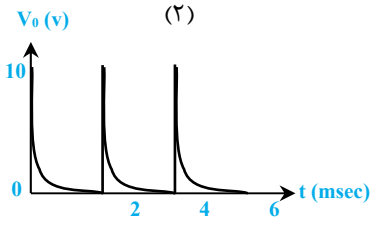


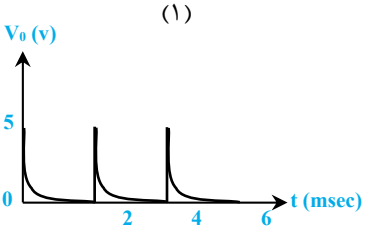

(۲)




(۱)

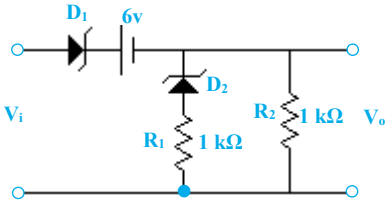



(۴)




(۳)

۳ـ در شکل زیر ولتاژ آستانه دیودها برابر ۰/۷ ولت و ولتاژ زنری آنها برابر با ۵ ولت می‌باشد. به ازای کدام گستره $V_i$، $V_o = 0$ می‌شود؟ (سراسری ۷۹)




۱) $1 \le V_i \le 6/7$

۲) $0 \le V_i \le 6/7$

۳) $-1 \le V_i \le 6/7$

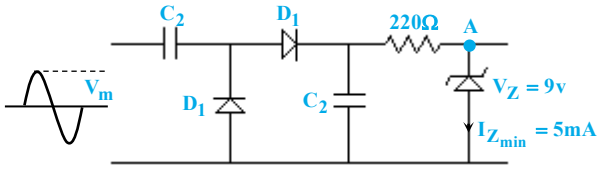
۴) $V_i \ge 6/7$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

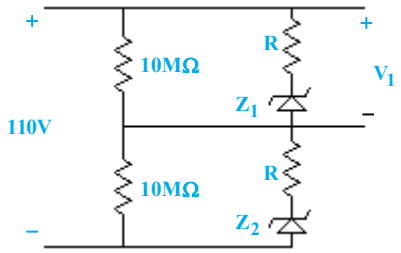


۴ـ در مدار شکل زیر حداقل مقدار $V_m$ برای تثبیت ولتاژ A چقدر است؟ $V_\gamma = 0/7v$ (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)



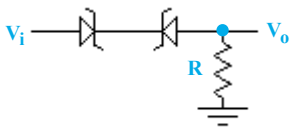

۱) ۷/۱۵ ولت
۲) ۵/۷۵ ولت
۳) ۱۰/۴ ولت
۴) ۹ ولت

۵ـ در مدار زیر $V_{Z_1} = V_{Z_2} = 100v$ و جریان‌های اشباع معکوس $I_{s_1} = 1\mu A$ و $I_{s_2} = 2\mu A$ می‌باشد $V_1$ برابر است: (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)



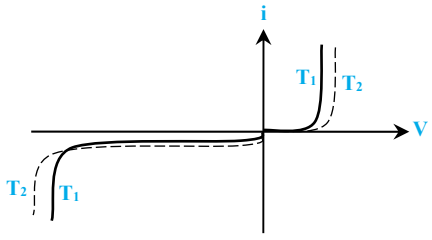

۱) ۶۵v
۲) ۵۵v
۳) ۵۰v
۴) ۶۰v

۶ـ در این مدار $V_d = 0/6v$ و $V_Z = 5v$ است و از مقاومت داخلی دیودها صرف‌نظر می‌شود بنابراین: (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)

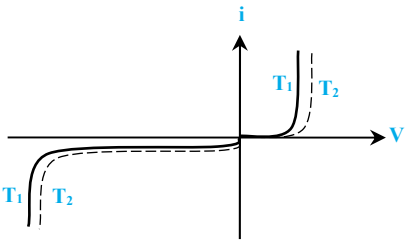



۱) در $-5/6v \le V_i \le 5/6v$ خروجی صفر و خارج از این محدوده مساوی با ورودی است.
۲) در $-5v \le V_i \le 5v$ خروجی صفر و خارج از این محدوده مساوی با ورودی است.
۳) در $-5/6v \le V_i \le 5/6v$ خروجی صفر و در خارج از این محدوده ثابت است.
۴) در $-5v \le V_i \le 5v$ خروجی صفر و در خارج از این محدوده ثابت است.

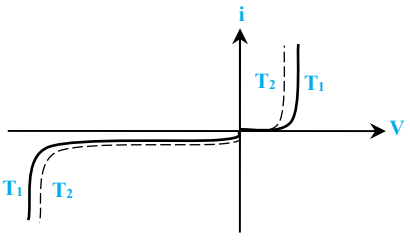
۷ـ کدام گزینه بیانگر دیود در دمای $(T_1 > T_2)$ می‌باشد؟ ( ولتاژ شکست دیود در دمای $T_1$ برابر $-20v$ است.) (سراسری ۸۱)



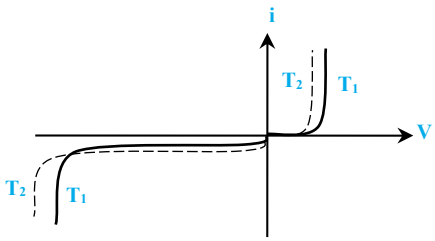

(۱)




(۲)




(۳)




(۴)

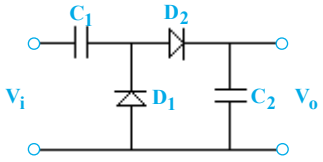
www.modaresanesharif.ac.ir

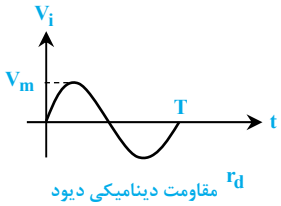
www.modaresanesharif.ac.ir



۸ـ اگر $T >> r_d C$ باشد، حداکثر $V_o$ برابر است با: ( $V_\alpha$ ولتاژ آستانه‌ی هدایت دیودها)

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۱)




$r_d$ مقاومت دینامیکی دیود

$v_d$ ولتاژ کوچکی است

۱) $2V_m - V_\alpha$

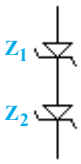
۲) $2V_m + V_\alpha$

۳) $2V_m \pm V_\alpha$

۴) $2V_m$

۹ـ در مدار مقابل دیودها دارای مشخصه $\begin{cases} V_{Z_1} = 5v \\ I_{Z_1,min} = 1mA \end{cases}$ و $\begin{cases} V_{Z_2} = 6v \\ I_{Z_2,min} = 2mA \end{cases}$ می‌باشد، این مدار معادل است با:

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۱)




۱) دیود زنری با $I_{Z,min} = 2mA, V_Z = 11v$

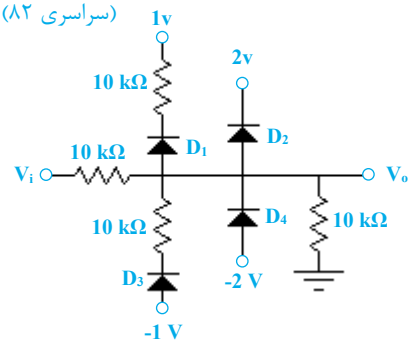
۲) دیود زنری با $I_{Z,min} = 1mA, V_Z = 11v$

۳) دیود زنری با $I_{Z,min} = 3mA, V_Z = 11v$

۴) این مجموعه معادل دیود زنر عمل نمی‌کند.

۱۰ـ در مدار شکل زیر دیودها ایده‌آل هستند. سیگنال $V_i$ از $-4/5v$ تا $+4/5v$ تغییر می‌کند، سیگنال خروجی $V_o$ در چه حوزه‌ای تغییر می‌کند؟

(سراسری ۸۲)




۱) $-2v < V_o < 2v$

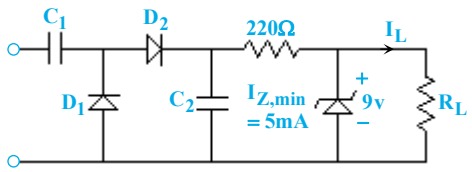
۲) $-1/5v < V_o < 1/5v$

۳) $-2/25v < V_o < 2/25v$

۴) $-1/83v < V_o < 1/83v$

۱۱ـ حداکثر $I_L$ در مدار زیر چقدر است؟ ( خازن بزرگ و $V_\gamma = 0/7v$ )

(مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۳)




۱) $38/6mA$

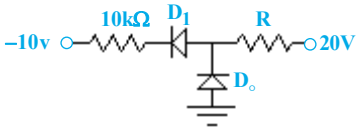
۲) $77/2mA$

۳) $19/3mA$

۴) $11mA$

۱۲ـ در مدار زیر حداقل جریان لازم برای راه‌اندازی دیودها $100\mu A$ می‌باشد. در این صورت برای روشن بودن $D_0$ حدود $R$ کدام است؟ $(V_D = 0/7^v)$

(مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۳)




۱) $R > 13/7k$

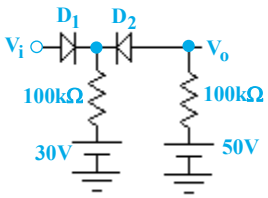
۲) $R > 27/2k$

۳) $R < 13/7k$

۴) $R < 27/2k$

۱۳ـ با فرض ایده‌آل بودن دیودها برای چه محدوده‌ای از تغییرات $V_i$ ، $V_o = V_i$ می‌باشد؟

(مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۳)




۱) $0v < V_i < 80v$

۲) $20v < V_i < 80$

۳) $40v < V_i < 50$

۴) $30v < V_i < 50$

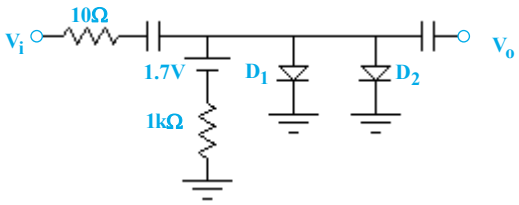
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۴ـ بهره ولتاژ مدار زیر در حالت ac چقدر است؟ $V_\gamma = ۰/۷V$ و ظرفیت خازن‌ها به اندازه کافی بزرگ انتخاب شده است.

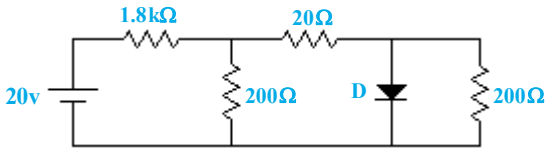
(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۳ و ۸۴)




۱) ۰/۷۱
۲) ۱
۳) ۱/۱۲
۴) ۰/۵۶

۱۵ـ در مدار شکل زیر دیود از نوع سیلیکون با ولتاژ مستقیم ۰/۶۵ ولت است. جریان دیود برابر است با:

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳)



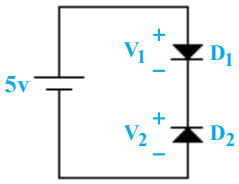

۱) ۳/۵ میلی آمپر
۲) ۰/۶۵ میلی آمپر
۳) ۱۸ میلی آمپر
۴) ۱ میلی آمپر

۱۶ـ در مدار شکل زیر، با فرض اینکه دیودها از هر نظر یکسان باشند، ولتاژهای $V_۱$ و $V_۲$ برابر است با:

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳)

فرض اول: ولتاژ معکوس دیودها بیش از ۵ ولت است.

فرض دوم: $V_T = ۲۶mV$




۱) $V_۱ = ۵V_۲$
۲) $V_۲ = ۵V_۱$
۳) $V_۱ = V_۲$
۴) $V_۱ = ۰/۷V$ و $V_۲ = ۴/۳V$

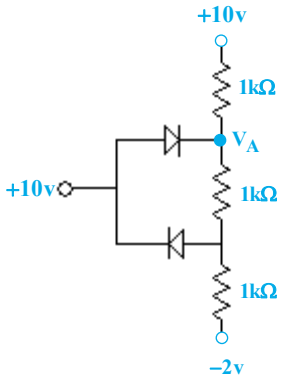
۱۷ـ جریان اشباع معکوس دیود به چه عواملی بستگی دارد؟

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳)

۱) فقط به درجه حرارت
۲) به ولتاژ بایاس معکوس
۳) به هر عاملی که چگالی حامل‌های اقلیت را تغییر دهد.
۴) به هر عاملی که چگالی حامل‌های اکثریت را تغییر دهد.

۱۸ـ ولتاژ $V_A$ در مدار شکل مقابل برابر است با (برحسب ولت): $(V_\gamma = ۰/۵v)$

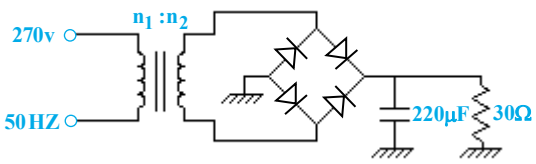
(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۴)




۱) صفر
۲) ۹/۵
۳) ۱۰
۴) ۱۰/۵

۱۹ـ در مدار یکسوکننده شکل زیر، ترانسفورماتور ایده‌آل و دارای نسبت دور $\frac{n_۱}{n_۲} = ۳۰$ و دیودها دارای ولتاژ مستقیم ۰/۷ ولت هستند. ولتاژ DC خروجی و ولتاژ ریپل قله تا قله (peak – to- peak) به ترتیب برابر است با:

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۴ و گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۷)



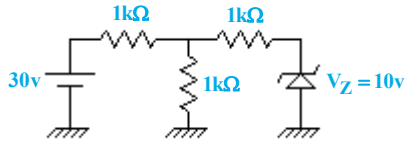

۱) ۵ ولت و ۰/۸ ولت قله تا قله
۲) ۷/۳ ولت و ۱۰ میلی ولت قله تا قله
۳) ۸/۴ ولت و ۱/۲ ولت قله تا قله
۴) ۹ ولت و ۱۰ میلی ولت قله تا قله

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

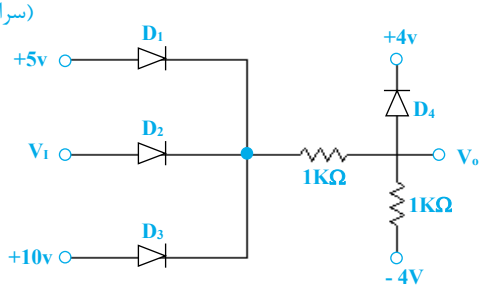


**۲۰ـ در مدار شکل زیر توان تلف شده در دیود زنر چند میلی وات است؟** (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۴)



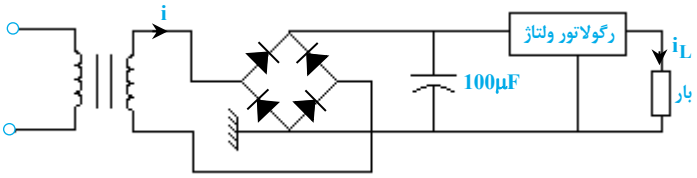

۱) ۲۵
۲) ۳۳/۳
۳) ۵۰
۴) ۶۶/۶

**۲۱ـ در مدار شکل زیر، دیودها ایده‌آل فرض شده‌اند. اگر ولتاژ ورودی $V_I$ در محدوده‌ی $12v < V_I < 16v$ باشد، کدامیک از گزینه‌های زیر در مورد $V_o$ صادق است؟** (سراسری ۸۵)




۱) $V_o = +4v$
۲) $V_o = -4v$
۳) $V_o = \frac{1}{2}V_I + 2$
۴) $V_o = \frac{1}{2}V_I - 2$

**۲۲ـ در مدار شکل زیر اگر جریان بار افزایش پیدا کند، کدام یک از گزینه‌های زیر درست هستند؟** (مهندسی برق گرایش قدرت، مخابرات و کنترل ـ آزاد ۸۵)

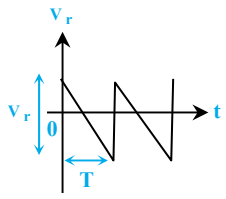



۱) مدت زمان هدایت دیودها تغییر نمی‌کند، ولی جریان ماکزیمم ورودی (i) افزایش می‌یابد.
۲) مدت زمان هدایت دیودها افزایش یافته و متوسط ولتاژ ورودی به رگولاتور کاهش می‌یابد.
۳) ریپل خروجی بیشتر می‌شود و توان کمتری در رگولاتور تلف می‌شود.
۴) مدت زمان هدایت دیودها کاهش می‌یابد و جریان ماکزیمم دیودها افزایش می‌یابد.

**۲۳ـ در یکسوکننده تمام موج با بار $R_L = 300\Omega$ ولتاژ خروجی $20\,V$ و ضریب ریپل کمتر از ۰/۰۱۵ می‌باشد: حداقل تقریبی خازن مورد نیاز نزدیک به کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌باشد؟ (فرکانس برق $f = 50\,Hz$ می‌باشد.)** (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۵)

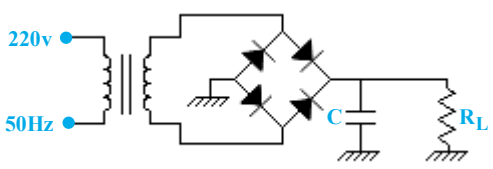
۱) $268\mu F$
۲) $298\mu F$
۳) $320\mu F$
۴) $642\mu F$

**۲۴ـ ریپل خروجی یک یکسوکننده با صافی خازنی را می‌توان با منحنی زیر تقریب زد. مقدار مؤثر ولتاژ پیل $V_r(ms)$ برحسب $V_r$ در کدام گزینه به درستی گزارش شده است؟** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)




۱) $V_r(rms) = \frac{V_r}{\sqrt{3}}$
۲) $V_r(rms) = \frac{V_r}{2\sqrt{3}}$
۳) $V_r(rms) = \frac{V_r}{\sqrt{2}}$
۴) $V_r(rms) = \frac{V_r}{3\sqrt{2}}$

**۲۵ـ می‌خواهیم بار $R_L = 100\Omega$ را با ولتاژ $12v(DC)$ تغذیه کنیم. اگر خازن بکار رفته در صافی یکسوساز پل، $C = 500\mu F$ باشد، ولتاژ مؤثر (rms) ثانویه چند ولت است؟ (نکته: ولتاژ آستانهٔ دیودها را ۰/۷v در نظر بگیرید.)** (مهندسی برق گرایش کنترل ـ آزاد ۸۸)



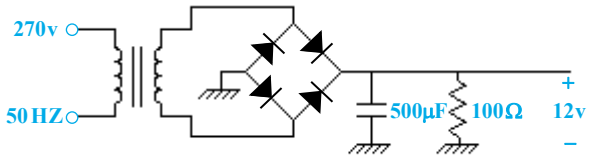

۱) ۱۱/۷v
۲) ۱۰/۳v
۳) ۱۲/۳v
۴) ۱۲v

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

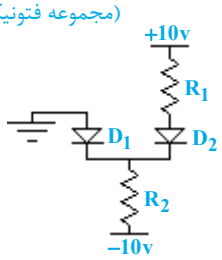


۲۶ـ در مدار شکل زیر، ضریب تضاریس (Ripple Factor) چقدر است؟ (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۸)




۱) ٪۸/۳۵
۲) ٪۶/۷۳
۳) ٪۵/۷۷
۴) ٪۹/۴۶

۲۷ـ در شکل مقابل اگر بخواهیم جریان $I_{D_1} = I_{D_2} = 1\,mA$ باشد به شرط آنکه از افت دیودها صرف‌نظر شود مقادیر $R_1$ و $R_2$ برابر است با: (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۸۹)

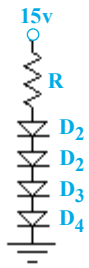



۱) $R_1 = 10k\ ,\ R_2 = 5k$
۲) $R_1 = 5k\ ,\ R_2 = 10k$
۳) $R_1 = 5k\ ,\ R_2 = 5k$
۴) $R_1 = 10k\ ,\ R_2 = 10k$

۲۸ـ مشخصه دیود با رابطهٔ $I = 5(e^{40V} - 1)pA$ بیان شده است. اگر جریان دیود $0/5mA$ باشد برای افزایش آن به میزان $1\mu A$ میزان تغییرات ولتاژ روی دیود برابر است با: (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۸۹)

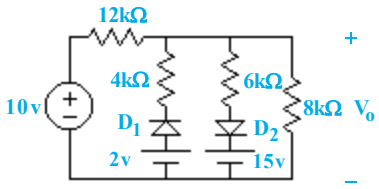
۱) $25\mu V$
۲) $50\mu V$
۳) $100\mu V$
۴) $200\mu V$

۲۹ـ افت دیودها به ازای ۲ میلی آمپر جریان ۰/۷ ولت می‌باشد. برای آنکه افت ولتاژ روی چهار دیود ۳ ولت باشد مقدار R برابر است با: $(\eta = 1\ ,\ V_T = 25mV\ ,\ e^2 = 7)$ (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۸۹)



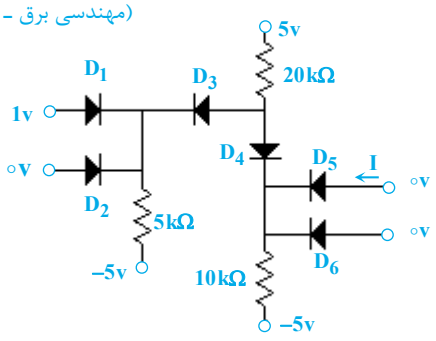

۱) $\frac{6}{7}k\Omega$
۲) $\frac{3}{7}k\Omega$
۳) $\frac{12}{7}k\Omega$
۴) $12k\Omega$

۳۰ـ در مدار نشان داده شده ولتاژ خروجی برابر کدام گزینه می‌باشد؟ (از افت دیودها صرف‌نظر کنید.) (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۸۹)




۱) $\frac{12}{16}v$
۲) $\frac{4}{3}v$
۳) $4v$
۴) $6v$

۳۱ـ با فرض ایده‌آل بودن دیودها در مدار شکل داده شده، جریان I برابر است با: (مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)



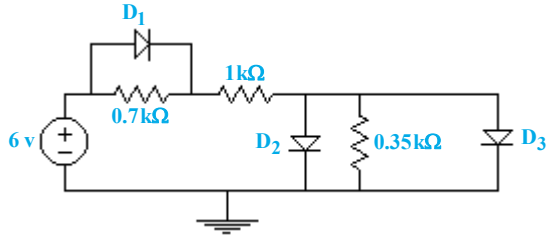

۱) $0/125mA$
۲) $0/25mA$
۳) $0/375mA$
۴) صفر

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۳۲ـ جریان دیود $D_2$ چند میلی‌آمپر است؟ $(V_D = 0/7v)$ (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۹۰)



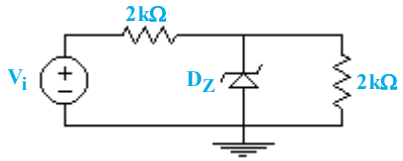

۱) ۱/۳

۲) ۱/۵

۳) ۲

۴) ۴

۳۳ـ مقدار مینیمم ولتاژ ورودی برای تثبیت ولتاژ خروجی برابر است با: $(V_Z = 4v)$ (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۹۰)




۱) ۲v

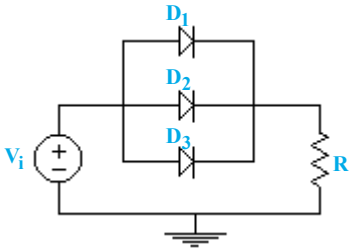
۲) ۴v

۳) ۶v

۴) ۸v

۳۴ـ ولتاژ شکست معکوس شبکه ۳ دیودی مقابل برابر است با:

(ولتاژ شکست معکوس هر دیود برابر با ۶۰ ولت می‌باشد.) (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۹۰)



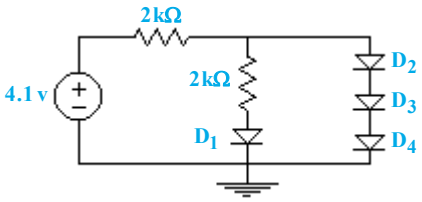

۱) ۲۰v

۲) ۶۰v

۳) ۱۸۰v

۴) ۲۲۰v

۳۵ـ مقدار جریان $D_1$ برابر است با: $V_D = 0/7v$ (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۹۰)




۱) ۰/۳۵mA

۲) ۰/۷mA

۳) ۱mA

۴) ۱/۴mA

www.modaresanesharif.ac.ir

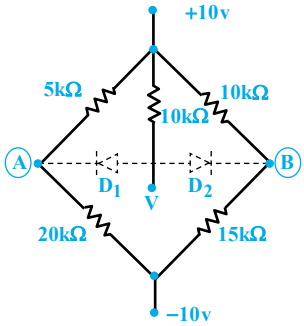
www.modaresanesharif.ac.ir



# پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل اول

**درسنامه: تحلیل مدارات دیودی**

**۱ـ گزینه «۱»** ابتدا با فرض قطع بودن دیودهای $D_1$ و $D_2$ ولتاژ نقاط A و B را مطابق شکل زیر حساب می‌کنیم:




$$\begin{cases} V_A = \dfrac{(+10)(20)+(-10)(5)}{(20+5)} = 6v \\ V_B = \dfrac{(+10)(15)+(-10)(10)}{(10+15)} = 2v \end{cases}$$

با توجه به اینکه $V_A > V_B$ می‌باشد، دیود $D_1$ قطع و دیود $D_2$ وصل می‌باشد. حال با این فرض ولتاژ $V_B$ و سپس ولتاژ $V$ را حساب می‌کنیم:

$$V_B = \frac{(+10)(15)+(-10)(10\,k \,||\, 10\,k)}{(15+(10\,k \,||\, 10\,k))} = 5v$$

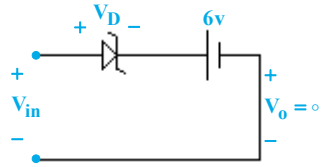
با توجه به ایده‌آل بودن دیود $D_2$ داریم: $V = V_B = 5v$

---

**۲ـ گزینه «۱»** در صورتی که مقدار ولتاژ ورودی به 5v برسد دیود روشن می‌شود و ولتاژ ورودی به یک مدار RC با ثابت زمانی $\tau = 1nF \times 1k\Omega = 1\mu s$ وصل می‌شود. در این حالت خازن پس از پنج ثابت زمانی یعنی $5\mu s$ به مقدار 5v می‌رسد و چون مدت زمانی که پالس ورودی برابر 5v می‌باشد $1ms$ است؛ لذا خازن حتماً به مدار ۵ ولت می‌رسد و پس از آن دیگر دیود روشن نمی‌شود، بنابراین گزینه (۱) صحیح است.

---

**۳ـ گزینه «۱»** برای آنکه ولتاژ خروجی صفر شود باید دیود $D_1$ قطع باشد. با صفر شدن ولتاژ خروجی مدار معادل را می‌توان به صورت مقابل رسم کرد. همان‌طور که گفته شد باید دیود $D_1$ قطع باشد، یعنی نه در ناحیه زنری و نه در ناحیه بایاس مستقیم باشد:




$$-5v < V_D < 0/7v \xrightarrow{V_D = V_{in} - 6} -5 \le V_{in} - 6 \le 0/7 \Rightarrow 1v \le V_{in} \le 6/7v$$

---

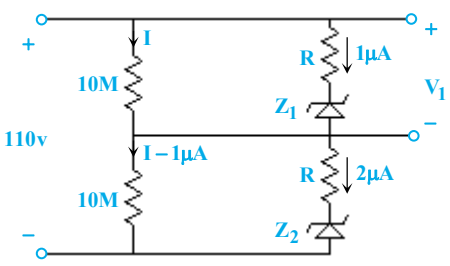
**۴ـ گزینه «۲»** برای تثبیت ولتاژ نقطه‌ی A ولتاژ $V_m$ مجاز است تا حدی کم شود که جریان $I_{Z,min}$ دیود زنر تأمین شود؛ در نتیجه حداقل مقدار ولتاژ دو سر خازن $C_2$ برابر می‌شود با: $V_{C_{2,min}} = 2200 \times I_{Z,min} + V_Z = 10/1v$

از طرفی ساختار تشکیل شده به وسیله‌ی خازن‌های $C_1$ و $C_2$ و دیودهای $D_1$ و $D_2$ یک دو برابرکننده ولتاژ می‌باشد؛ یعنی ولتاژ خازن $C_2$ برحسب ولتاژ ورودی برابر است با:

$$V_{C_2} = 10/1 = 2V_m - 2V_\gamma \Rightarrow V_m = 5/75v$$

---

**۵ـ گزینه «۴»** به علت وجود مقاومت‌های سری با زنرها هیچ‌کدام از آنها وارد ناحیه شکست خود نمی‌شوند. در مورد جریان‌های دیودها می‌توان گفت از $Z_1$ جریان $1\mu A$ و از $Z_2$ جریان $2\mu A$ می‌گذرد.




$$KVL: 110 = 10M(I) + (I - 1\mu A)10M$$

$$\Rightarrow I = 6\mu A \Rightarrow V_1 = 10M \times I = 60v$$

---

**۶ـ گزینه «۱»** تا زمانی‌که اندازه ولتاژ ورودی به $|V_Z| + |V_d|$ نرسیده باشد هر دو دیود خاموش هستند و ولتاژ خروجی صفر می‌باشد؛ یعنی در محدوده $|V_i| \le 5/6v$ $(-5/6v \le V_i \le 5/6v)$ خروجی صفر می‌باشد، خارج از این محدوده اندازه ولتاژ خروجی برابر است با: $|V_o| = |V_i| - 5/6$

---

**۷ـ گزینه «۴»** با افزایش دما $(T_1 > T_2)$ ولتاژ مستقیم دیودها $(\gamma)$ و ولتاژ شکست بهمنی (با توجه به $V_R = -20v$) کاهش می‌یابد و در عوض مقدار جریان اشباع معکوس $(I_S)$ افزایش می‌یابد. لذا شکل چهارم درست می‌باشد.

---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۸ـ گزینه «۴»** با فرض کوچک بودن $V_d$ (ولتاژ آستانه دیود) خروجی این مدار دو برابرکننده ولتاژ برابر می‌شود با:

$$V_{C_2} = 2V_m$$

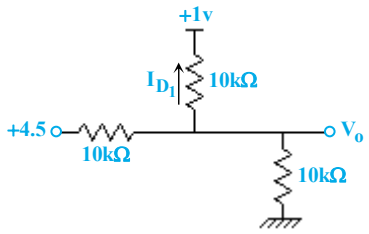
---

**۹ـ گزینه «۱»** حاصل سری دیودهای $Z_1$ و $Z_2$ دیود زنری با ولتاژ شکست و جریان حداقل زیر می‌شود:

$$V_Z = V_{Z_1} + V_{Z_2} = 11v \quad , \quad I_{Z,min} = 2mA$$

---

**۱۰ـ گزینه «۴»** در صورتی که فرض کنیم ولتاژ ورودی برابر $+4/5v$ باشد، دیودهای $D_3$ و $D_4$ حتماً خاموش می‌شوند. از بین دیودهای $D_1$ و $D_2$ نیز اگر فرض کنیم $D_2$ خاموش و $D_1$ روشن باشد مدار معادل به صورت مقابل می‌شود:



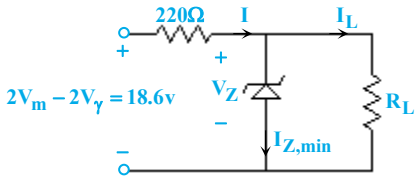

$$KCL: \frac{4/5 - V_o}{10k} = \frac{V_o - 1}{10k} + \frac{V_o}{10k} \Rightarrow V_o = 1/83\,v$$

$D_2$ قطع می‌باشد

به طور مشابه اگر $V_i = -4/5v$ باشد مقدار ولتاژ خروجی برابر می‌شود با $V_o = -1/83$.

---

**۱۱ـ گزینه «۱»** خازن‌های $C_1$ و $C_2$ و دیودهای $D_1$ و $D_2$ تشکیل یک مدار دو برابرکننده ولتاژ می‌دهند، لذا مدار را می‌توان به صورت زیر ساده کرد:



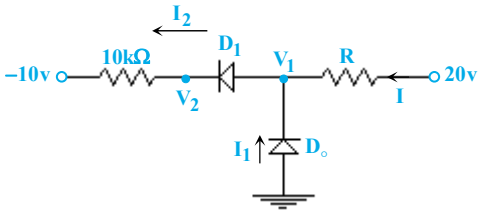

$$I = \frac{V_{C_2} - V_Z}{220} = 43/46\,mA$$

مقدار جریان $R_L$ زمانی حداکثر می‌شود که از دیود زنر حداقل جریان عبور کند:

$$I_{L,max} = I - I_{Z,min} = 43/46mA - 5mA = 38/46\,mA$$

---

**۱۲ـ گزینه «۲»** در صورتی که دیود $D_0$ روشن شود، دیود $D_1$ نیز روشن خواهد شد، با روشن بودن دیودهای $D_0$ و $D_1$ ولتاژ گره‌های ۱ و ۲ به صورت زیر محاسبه می‌شود:




$$V_1 = -0/7\,v \quad , \quad V_2 = -1/4\,v$$

$$I_2 = \frac{V_2 - (-10)}{10k} = \frac{10 - 1/4}{10} = 0/86\,mA$$

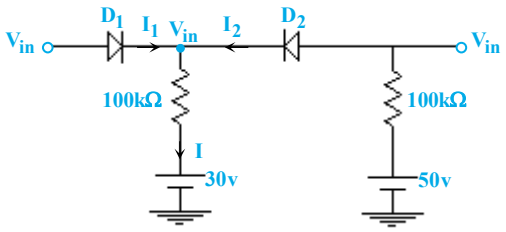
با نوشتن KCL در گره $V_1$، جریان $I$ را می‌توان محاسبه کرد:

$$I = I_2 - I_1$$

$$I < I_2 - I_{1,min} \xrightarrow{I_{1,min} = 100\mu A} I < 0/76\,mA \xrightarrow{I = \frac{20 - V_1}{R}} \frac{20/7}{R} < 0/76 \Rightarrow R \geq 27/2k\Omega$$

---

**۱۳ـ گزینه «۳»** برای آنکه ولتاژ ورودی و خروجی برابر شوند بایستی دیودهای $D_1$ و $D_2$ با هم روشن باشند. شرط روشن بودن $D_1$ و $D_2$ یعنی مثبت بودن جریان آنها نیز باید برقرار باشد.




$$I_2 = \frac{50 - V_{in}}{100} \quad , \quad I = \frac{V_{in} - 30}{100}$$

$$I_1 + I_2 = I \Rightarrow I_1 = \frac{2V_{in} - 80}{100}$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{شرط روشن بودن } D_2: I_2 > 0 \Rightarrow V_{in} < 50\,v \\ \text{شرط روشن بودن } D_1: I_1 > 0 \Rightarrow V_{in} > 40\,v \end{array}\right\} \Rightarrow 40\,v < V_{in} < 50\,v$$

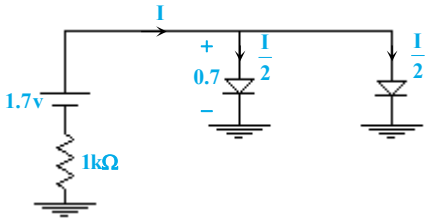
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۱۴ـ گزینه «۱»** ابتدا مدار معادل DC را رسم می‌کنیم و جریان DC دیودها را حساب می‌کنیم:



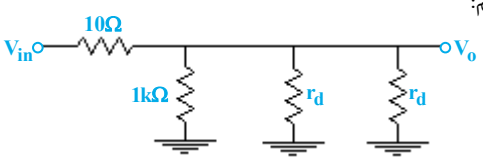

$$I=\frac{۱/۷-۰/۷}{۱}=۱mA$$

$$I_{D_۱}=I_{D_۲}=۰/۵mA$$

مقدار مقاومت دینامیکی دیودها برابر است با:

$$r_{d_۱}=r_{d_۲}=\frac{V_T}{I_D}=۵۰\Omega$$

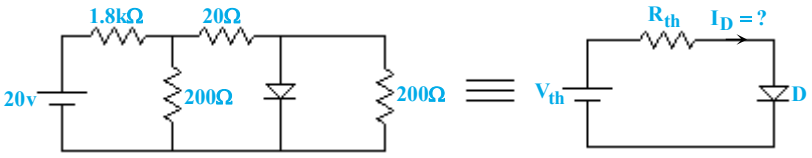
پس از به دست آوردن مقاومت دینامیکی دیودها مدار معادل ac را می‌توانیم به صورت زیر رسم کنیم:




$$\frac{V_o}{V_{in}}\simeq\frac{(۵۰\,||\,۵۰)}{۱۰+(۵۰\,||\,۵۰)}\simeq۰/۷$$

---

**۱۵ـ گزینه «۱»** برای سادگی حل مسئله در ابتدا معادل تونن دو سر دیود را حساب می‌کنیم:




مقاومت معادل تونن $R_{th}=[(۱/۸k\,||\,۰/۲k)+۰/۰۲k]\,||\,۰/۲k=۱۰۰\Omega$

ولتاژ معادل تونن $V_{th}=۲۰\times\frac{(۲۰۰\,||\,۲۲۰)\Omega}{۱۸۰۰\Omega+(۲۰۰\,||\,۲۲۰)}\times\frac{۲۰۰}{۲۰۰+۲۰}=۱v$

$$I_D=\frac{V_{th}-V_D}{R_{th}}=\frac{۱-۰/۶۵}{۰/۱}=۳/۵mA$$

---

**۱۶ـ هیچ‌کدام از گزینه‌ها صحیح نیست.** از آنجایی که ولتاژ شکست دیودها بیشتر از ۵ ولت می‌باشد، دیود $D_۲$ وارد ناحیه شکست نمی‌شود و در ناحیه بایاس معکوس می‌باشد، لذا جریان شاخه برابر $I_۰$ می‌باشد؛ در این جریان ولتاژ $V_{D_۱}$ برابر می‌شود با:

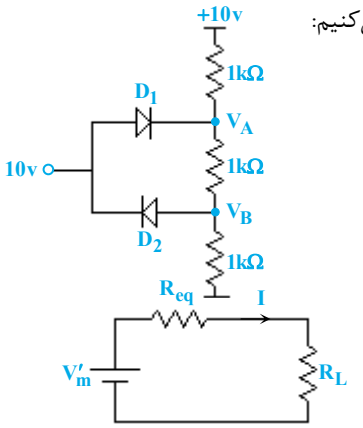
$$I=I_۰=I_۰(e^{\frac{V_{D_۱}}{V_T}}-۱)\Rightarrow e^{\frac{V_{D_۱}}{V_T}}=۲\Rightarrow V_{D_۱}=۱۸mv\Rightarrow V_{D_۲}=۴/۹۸۲v$$

---

**۱۷ـ گزینه «۳»** جریان اشباع معکوس تابعی از رفتار حامل‌های اقلیت می‌باشد.

---

**۱۸ـ گزینه «۲»** در صورتی که فرض کنیم دیودهای $D_۱$ و $D_۲$ خاموش باشند، ولتاژهای $V_A$ و $V_B$ را حساب می‌کنیم:




$$V_A=۱۰-۱k\Omega\times(\frac{۱۰-(-۲)}{۳k})=۶v\quad,\quad V_B=۲v$$

در نتیجه $D_۲$ قطع و $D_۱$ وصل می‌باشد؛ حال با فرض وصل بودن دیود $D_۱$ ولتاژ $V_A$ برابر می‌شود با:

$$V_A=۱۰-۰/۵=۹/۵v$$

---

**۱۹ـ هیچ‌کدام از گزینه‌ها صحیح نیست.** مدار معادل یکسوساز به صورت زیر می‌باشد:

$$R_{eq}=\frac{۱}{۴fC}=\frac{۱}{۴\times۲۲۰\times۱۰^{-۶}\times۵۰}=۲۲۰/۷۳\Omega$$

$$V_m=\frac{۲۲۰\times\sqrt{۲}}{\frac{n_۱}{n_۲}}=۱۰/۳۷v$$

$$V'_m=V_m-۲V_D=۱۰/۳۷-۱/۴\simeq۹v\Rightarrow V_{DC}=V'_m\times\frac{R_L}{R_L+R_{eq}}\simeq۵/۱۲v$$

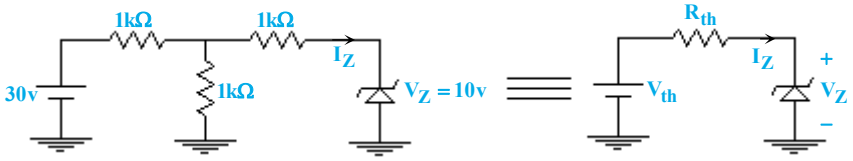
$$V_r=۲(R_{eq}\times I)=۲\times۲۲۰/۷۳\times\frac{V'_m}{R_L+R_{eq}}=۷/۷۶v$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۰ـ گزینه «۲»** برای محاسبه توان تلف شده در دیود زنر باید جریان عبوری از آن را حساب کنیم. برای راحتی کار مدار معادل تونن از دو سر دیـود زنـر را حساب می‌کنیم:

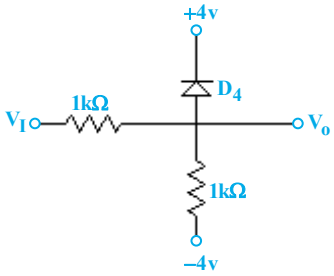



$$R_{th} = (۱k \,||\, ۱k) + ۱k = ۱/۵\,k\Omega \quad , \quad V_{th} = ۳۰ \times \frac{۱}{۱+۱} = ۱۵v$$

$$I_Z = \frac{V_{th} - V_Z}{R_{th}} = \frac{۱۵-۱۰}{۱/۵} = ۳/۳۳\,mA \Rightarrow P_Z = V_Z . I_Z = ۳۳/۳\,mw$$

---

**۲۱ـ گزینه «۱»** دیودهای $D_۱$، $D_۲$ و $D_۳$ تشکیل یک ساختار ماکزیمم‌گیر می‌دهنـد؛ لـذا دیـود $D_۲$ همـواره روشن می‌باشد و مدار به صورت مقابل تبدیل می‌شود. با فرض خاموش بودن $D_۴$ ولتاژ خروجی را می‌توان بـه صورت زیر نوشت:




$$V_o = \frac{V_I - ۴}{۲}$$

با توجه به اینکه $۱۲v < V_I < ۱۶v$ می‌باشد می‌توان گفت $V_o$ همیشه بزرگتر از چهار ولت می‌شود و در نتیجه حتماً دیود $D_۴$ روشن می‌شود و ولتاژ خروجی در مقدار $V_o = ۴v$ ثابت می‌شود.

---

**۲۲ـ گزینه «۳»** با افزایش جریان بار مدت زمان هدایت دیودهای یکسوساز افزایش می‌یابد؛ در نتیجه ریپل ولتاژ خروجی بیشتر می‌شود. به عبارتی، متوسط ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد؛ لذا طبق رابطه زیر می‌توان گفت توان تلفاتی رگولاتور نیز کاهش می‌یابد:

$$P_d = (V_i - V_o).I_L$$

---

**۲۳ـ گزینه «۴»** ابتدا سعی می‌کنیم ولتاژ ریپل را حساب کنیم:

$$\text{ضریب ریپل } \%R_F = \frac{V_{ac}}{V_{DC}} \Rightarrow V_{ac} = ۲۰ \times ۰/۰۱۵ = ۰/۳\,v$$

$$\text{مقدار مؤثر ریپل } V_{ac} = \frac{\frac{V_r}{۲}}{\sqrt{۳}} = ۰/۳ \Rightarrow V_r = ۱/۰۴\,v$$

$$V_r = \frac{I_{DC}}{۲fC} = \frac{\frac{V_o}{R_L}}{۲fC} = \frac{\frac{۲۰}{۳۰۰}}{۲ \times ۵۰ \times C} = ۱/۰۴ \Rightarrow C = ۶۴۲\mu F$$

از طرفی در مورد یکسوساز تمام موج داریم:

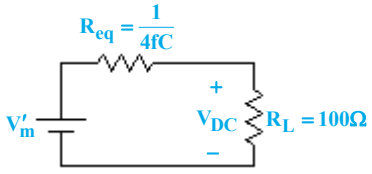
---

**۲۴ـ گزینه «۲»** مقدار مؤثر برای هر شکل موجی را می‌توان از رابطه زیر حساب کرد:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{۱}{T}\int_۰^T V_r^۲(t)dt} = \sqrt{\frac{۱}{T}\int_۰^T V_r^۲(\frac{-t}{T} + \frac{۱}{۲})^۲ dt} = \frac{V_r}{۲\sqrt{۳}}$$

---

**۲۵ـ گزینه «۲»** پس از محاسبه پارامترهای مدار معادل یکسوساز تمام موج داریم:




$$R_{eq} = \frac{۱}{۴fC} = ۱۰\Omega \quad , \quad I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = ۱۲۰\,mA$$

$$V'_m = I_{DC}(R_{eq} + R_L) = ۱۳/۲\,v$$

ابتدا ماکزیمم ولتاژ ثانویه و سپس مقدار مؤثر آن را حساب می‌کنیم:

$$V_m = V'_m + ۲V_\gamma = ۱۴/۶\,v \quad , \quad \text{ولتاژ مؤثر ثانویه } V_۲ = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = ۱۰/۳۲v$$

---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



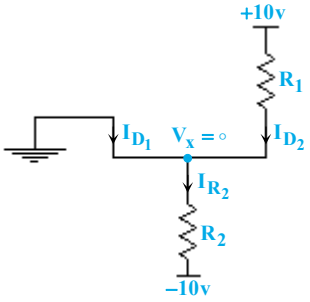
**۲۶ـ گزینه «۳»** ابتدا سعی می‌کنیم مقادیر $I_{DC}$ و ولتاژ ریپل را حساب کنیم، سپس با کمک آنها ضریب تضاریس را حساب می‌کنیم:

$$I_{DC}=\frac{V_{DC}}{R_L}=۱۲۰\,mA \quad , \quad V_r=\frac{I_{DC}}{۲fC}=۲/۴v$$

$$\text{ضریب تضاریس } \%RF=\frac{V_{ac}}{V_{DC}}\times ۱۰۰=\frac{\frac{V_r}{۲\sqrt{۳}}}{V_{DC}}\times ۱۰۰=\%۵/۷۷$$

---

**۲۷ـ گزینه «۱»** با صرف‌نظر از افت ولتاژ دیودها و روشن بودن هر دو دیود ولتاژ نقطه‌ی x برابر صفر می‌باشد.




$$I_{R_۲}=I_{D_۱}+I_{D_۲}=\frac{۰-(-۱۰)}{R_۲}=۲mA \Rightarrow R_۲=۵k\Omega$$

$$I_{D_۲}=\frac{۱۰-V_x}{R_۱}=\frac{۱۰}{R_۱}=۱mA \Rightarrow R_۱=۱۰k\Omega$$

---

**۲۸ـ گزینه «۲»** در صورتی که فرض کنیم ولتاژ $V_۱$ جریان $I_۱=۵۰۰\mu A$ و ولتاژ $V_۲$ جریان $I_۲=۵۰۱\mu A$ را ایجاد کند، داریم:

$$I_۱=۵pA(e^{۴۰V_۱}-۱)\simeq ۵PA\times e^{۴۰V_۱} \Rightarrow V_۱=\frac{۱}{۴۰}Ln(\frac{I_۱}{۵pA})$$

$$I_۲=۵pA(e^{۴۰V_۲}-۱)\simeq ۵e^{۴۰V_۲} \Rightarrow V_۲=\frac{۱}{۴۰}Ln(\frac{I_۲}{۵pA})$$

$$(V_۲-V_۱)=\frac{۱}{۴۰}Ln(\frac{I_۲}{۵pA}\times\frac{۵pA}{I_۱})=\frac{۱}{۴۰}Ln(\frac{I_۲}{I_۱})=\frac{۱}{۴۰}Ln(\frac{۵۰۱}{۵۰۰}) \Rightarrow (V_۲-V_۱)=۵۰\mu V$$

---

**۲۹ـ گزینه «۱»** با توجه به صورت سؤال افت ولتاژ دیودها در حالت جدید برابر ۰/۷۵v می‌باشد، در حالی که به ازای جریان ۲mA این مقدار برابر ۰/۷ ولت می‌باشد، حال باید مقدار جریان برای این خواسته را حساب کنیم:

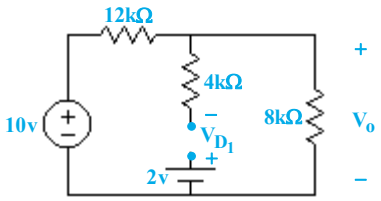
$$V'_D-V_D=V_TLn(\frac{I'_D}{I_۰})-V_TLn(\frac{I_D}{I_۰})=V_TLn(\frac{I'_D}{I_D}) \quad , \quad ۰/۰۵v=V_TLn(\frac{I'_D}{۲mA}) \Rightarrow I'_D=۱۴mA$$

در نتیجه برای مقدار مقاومت R داریم:

$$I_R=\frac{۱۵-۴V'_D}{R}=۱۴mA \Rightarrow R=\frac{۶}{۷}k\Omega$$

---

**۳۰ـ گزینه «۳»** با توجه به منبع ولتاژ ۱۵ ولتی در کاتد دیود $D_۲$ می‌توان گفت دیود $D_۲$ همواره خاموش می‌باشد. در صورتی که فرض کنیم دیود $D_۱$ نیز خاموش باشد ولتاژ خروجی برابر می‌شود با:

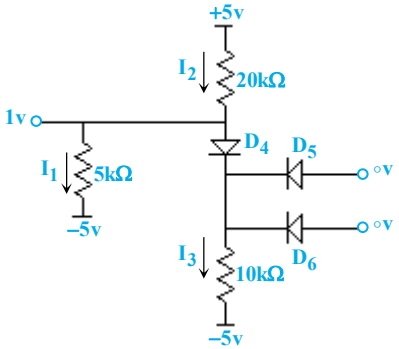



$$V_o=\frac{۸}{۱۲+۸}\times ۱۰=۴v$$

در مورد دیود $D_۱$ نیز چون ولتاژ آند آن از کاتد کمتر می‌باشد، فرض خاموش بودن $D_۱$ صحیح می‌باشد و ولتاژ خروجی برابر چهار ولت می‌باشد.

---

**۳۱ـ گزینه «۱»** دیودهای $D_۱$ و $D_۲$ ماکزیمم‌گیر هستند، لذا دیود $D_۱$ روشن و دیود $D_۲$ خاموش می‌باشد. در ادامه برای دیود $D_۳$ فرض می‌کنیم روشن باشد؛ در نتیجه مدار به این صورت ساده می‌شود:




$$I_۱=\frac{۱+۵}{۵}=۱/۲mA$$

$$I_۲=\frac{۵-۱}{۲۰}=۰/۲mA$$

www.modaresanesharif.ac.ir

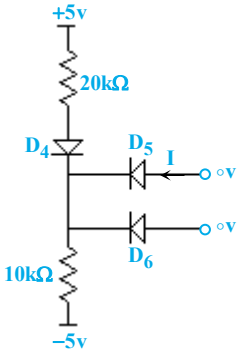
www.modaresanesharif.ac.ir



با توجه به اینکه جریان شاخه از بالا به پایین می‌باشد پس $D_۴$ روشن می‌باشد؛ با فرض روشن بودن $D_۴$، دیودهای $D_۵$ و $D_۶$ نمی‌توانند روشن باشند. لذا برای جریان $I_۳$ داریم:

$$I_۳ = \frac{۱+۵}{۱۰} = ۰/۶\,mA$$

لذا قانون KCL $(I_۲ = I_۱ + I_۳)$ برقرار نمی‌باشد، پس فرض روشن بودن $D_۳$ اشتباه می‌باشد. حال با خاموش در نظر گرفتن $D_۳$ مدار معادل به صورت زیر می‌شود.

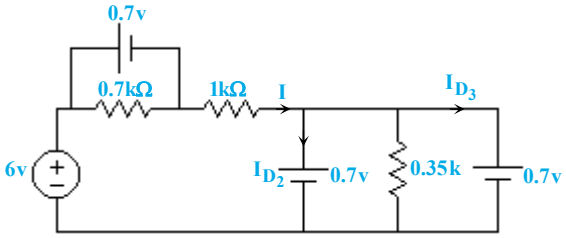



با توجه به جهت جریان $D_۴$ روشن می‌شود و اگر دیودهای $D_۵$ و $D_۶$ را خاموش فرض کنیم، ولتاژ کاتد دیودهای $D_۵$ و $D_۶$ برابر $-\frac{۵}{۳}$ ولت می‌شود که باعث می‌شود دیودهای $D_۵$ و $D_۶$ روشن شوند و چون این دیودها مشابه هستند جریان آنها با یکدیگر برابر خواهد بود:

$$۲I + \frac{۵-۰}{۲۰} + \frac{-۵-۰}{۱۰} = ۰ \Rightarrow ۲I = ۰/۵ - ۰/۲۵ \Rightarrow I = ۰/۱۲۵\,mA$$

---

**۳۲ـ گزینه «۱»** با توجه به مدار واضح است که هر سه دیود روشن می‌باشند؛ با در نظر گرفتن اثر افت ولتاژ دو سر دیودها مدار معادل به صورت زیر می‌شود:



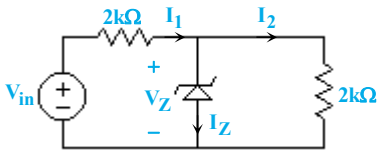

$$KVL: ۶ = V_{D_۱} + ۱k \times I + V_{D_۲} \xrightarrow{V_{D_۱} = V_{D_۲} = ۰/۷v} I = ۴/۶\,mA$$

$$KCL: I = I_{D_۲} + I_{D_۳} + \frac{V_{D_{۲,۳}}}{۰/۳۵} \xrightarrow{I_{D_۲} = I_{D_۳}} ۲I_{D_۳} + \frac{۰/۷}{۰/۳۵} = ۴/۶\,mA$$

$$\Rightarrow I_{D_۳} = ۱/۳\,mA$$

---

**۳۳ـ گزینه «۴»** ولتاژ ورودی باید به اندازه‌ای باشد که $I_{Z,min} < I_Z < I_{Z,max}$ باشد؛ در صورتی که فرض کنیم $I_{Z,min} = ۰$ باشد، ولتاژ ورودی باید حداقل به اندازه‌ای باشد که جریان زنر از $I_{Z,min}$ کمتر نشود:




$$I_Z = I_{Z,min} = ۰ \Rightarrow I_۱ = I_۲$$

$$V_{in} = ۴k \times I_۲ \quad , \quad I_۲ = \frac{V_Z}{۲k} = ۲mA$$

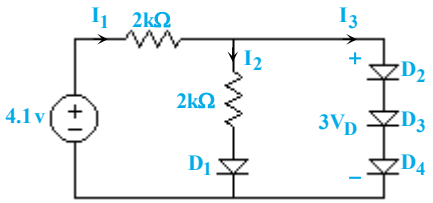
در نتیجه ولتاژ ورودی باید حداقل برابر $V_{in,min} = ۸v$ باشد.

---

**۳۴ـ گزینه «۲»** با موازی کردن دیودها ولتاژ شکست تغییر نمی‌کند، پس $V_{BR} = ۶۰\,v$ می‌باشد.

---

**۳۵ـ گزینه «۲»** با فرض روشن بودن تمام دیودها داریم:




$$I_{D_۱} = I_۲ = \frac{۳V_D - V_D}{۲k} = ۰/۷mA$$

$$I_۱ = \frac{۴/۱ - ۳V_D}{۲k} = ۱mA$$

$$KCL: I_۳ = I_۱ - I_۲ = ۰/۳\,mA$$

با توجه به جریان‌های محاسبه شده فرض روشن بودن تمام دیودها درست می‌باشد.

---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



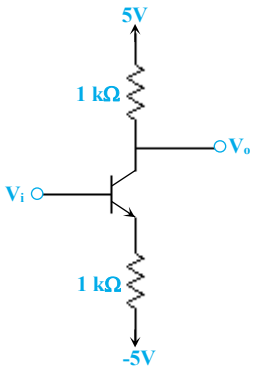
# فصل دوم

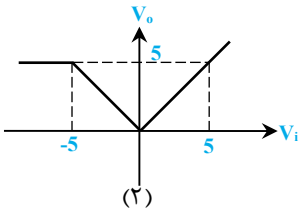
# تحلیل DC مدارهای ترانزیستوری

## تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل دوم

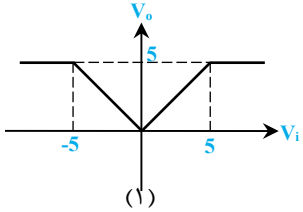
***درسنامه (۱): ترانزیستورهای پیوندی دوقطبی*** (BJT)

**۱ـ** در مدار مقابل اگر $V_{CE(SAT)} = V_{BE(ON)} = 0$ و $-10 < V_i < 10$ ولت باشد، رابطه $V_o$ به $V_i$ برابر کدام است؟ (سراسری ۷۵)

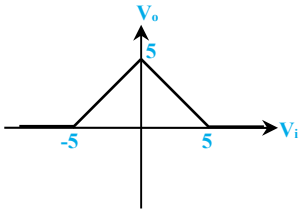


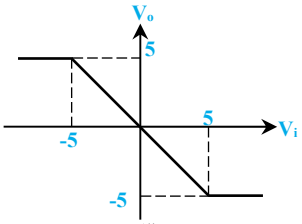
(۲)



(۱)

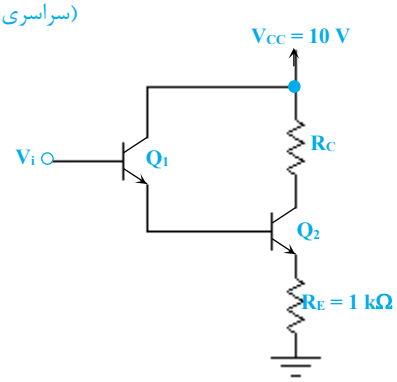


(۴)



(۳)

**۲ـ** در مدار زیر $V_i$ را از صفر ولت شروع کرده و افزایش می‌دهیم. ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ با هم به اشباع می‌روند. مقدار مقاومت $R_C$ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ ($\beta_1 = \beta_2 = 100$ و $V_{CE(sat)} = 0/2\,V$ و $V_{BE(sat)} = 0/8\,V$) (سراسری ۷۶)




۱) $90\Omega$

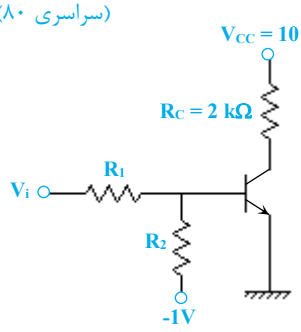
۲) $130\Omega$

۳) $910\Omega$

۴) ترانزیستور $Q_2$ در این مدار نمی‌تواند در ناحیه اشباع کار کند.

**۳ـ** ترانزیستور سیلیکنی مدار زیر باید به ازای $V_i = 2V$ شروع به هدایت کرده و به ازای $V_i = 5V$ در آستانه ناحیه اشباع قرار گیرد. در این صورت مقادیر $R_1$ و $R_2$ به ترتیب برحسب $k\Omega$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟ (سراسری ۸۰)

$V_{BE,off} = V_{CE,sat} = 0V$ و $V_{BE} = 0/7V$ و $\beta = 50$




۱) ۶ و ۳

۲) ۹ و ۴/۵

۳) ۱۵ و ۲۰

۴) ۳۰ و ۳۹

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

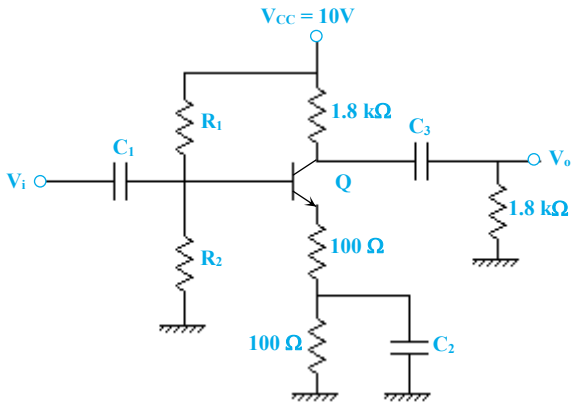


**۴ـ با افزایش ولتاژ معکوس کلکتور ـ بیس در یک ترانزیستور BJT :** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)

۱) $I_{CQ}$ افزایش می‌یابد ۲) $\beta$ کاهش می‌یابد ۳) $\beta$ افزایش می‌یابد ۴) $I_{CQ}$ کاهش می‌یابد

**۵ـ ماکزیمم خروجی بدون اعوجاج (ماکزیمم سوئینگ) در بهترین نقطه کار کدام است؟** (سراسری ۸۱)

$(V_{BE} = ۰/۶V$ و $V_{CE_{sat}} = ۱\,V$ و خازن‌ها بزرگ)




۱) ۱۰/۸ ولت (پیک تا پیک)

۲) ۶ ولت (پیک تا پیک)

۳) ۵/۴ ولت (پیک تا پیک)

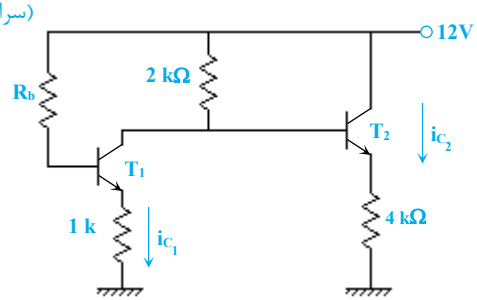
۴) ۳ ولت (پیک تا پیک)

**۶ـ برای افزایش $h_{fe}$ در یک ترانزیستور npn بهترین راه‌حل ممکن عبارت است از:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۱)

۱) کاهش ولتاژ معکوس دیود کلکتور ـ بیس ۲) کاهش $I_B$ با تغییر مقاومت‌های بایاس مدار

۳) افزایش ولتاژ معکوس دیود کلکتور ـ بیس ۴) افزایش $I_C$ با تغییر مقاومت‌های بایاس مدار

**۷ـ در شکل زیر، $i_{C_۲} = I_{CQ_۲} - ۰/۳\,mA$ است که در آن جریان $I_{CQ_۲}$ جریان وسط خط بار ترانزیستور $T_۲$ است. کدام گزینه به جواب نزدیکتر است؟ (ترانزیستورها مشابه هستند)** (سراسری ۸۲)




$V_{BE_۱} = V_{BE_۲} = ۰/۶V$

$\beta_۱ = \beta_۲ = ۱۰۰$

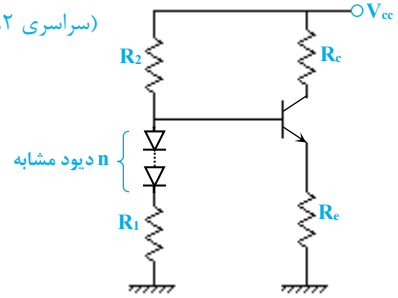
۱) $R_b \approx ۲۴۵k\Omega$

۲) $R_b \approx ۲۶۰\,k\Omega$

۳) $R_b \approx ۲۸۰\,k\Omega$

۴) $R_b \approx ۳۴۰\,k\Omega$

**۸ـ در شکل زیر جریان نقطه کار ($I_{CQ}$) بایستی مستقل از تغییرات دما باشد. با فرض اینکه $\beta$ ثابت و بسیار بزرگ و $I_{CBO} = ۰$ و $\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} = \frac{\Delta V_D}{\Delta T} \neq ۰$ است، کدام عبارت زیر صحیح است؟ $(R_۱ = ۲R_۲)$** (سراسری ۸۲)



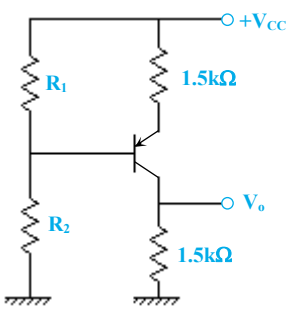

۱) نقطه کار با $n = ۴$ تثبیت می‌شود.

۲) نقطه کار با $n = ۳$ تثبیت می‌شود.

۳) نقطه کار با $n = ۲$ تثبیت می‌شود.

۴) نقطه کار با $n = ۱$ تثبیت می‌شود.

**۹ـ در شکل زیر نقطه کار در $\begin{cases} |V_{CEQ}| = ۶V \\ |I_{CQ}| = ۳mA \end{cases}$ برقرار شده است. مطلوب است تعیین حداکثر سوئینگ متقارن ولتاژ خروجی $(V_o)$، $V_{CE,sat} \simeq ۰$ است.** (سراسری ۸۲)




۱) ۳V

۲) ۴/۵V

۳) ۶V

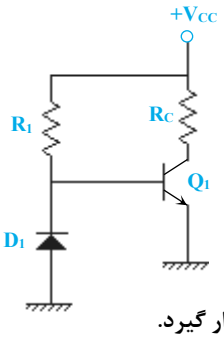
۴) ۹V

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۰ـ اگر بدانیم جریان اشباع معکوس دیود $I_o$ مساوی $I_{CBO}$ ترانزیستور است، در این صورت $S = \frac{\partial Ic}{\partial I_{cbo}}$ را بیابید ( Q اکتیو است). (سراسری ۸۳)



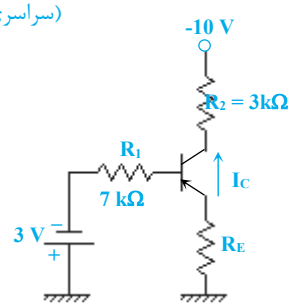

۱) $\frac{۱}{R_۱}$

۲) ۱

۳) $\frac{۱}{Rc}$

۴) $\beta$

۱۱ـ با فرض $\beta = ۱۰۰$ و $V_{CE}(sat) = -۰/۱V$ مقدار مینیمم $R_E$ را به‌دست آورید که ترانزیستور در ناحیه فعال قرار گیرد. $(V_{BEon} = -۰/۷V)$ (سراسری ۸۳)




۱) ۱/۷۹kΩ

۲) ۱/۱۹kΩ

۳) ۲kΩ

۴) ۰/۸۱kΩ

۱۲ـ کدام‌یک از جملات زیر در مورد یک ترانزیستور BJT صحیح است؟ (مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۳)

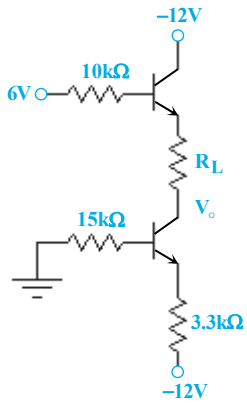
۱) با افزایش ولتاژ معکوس دیود کلکتور ـ بیس، $I_B$ افزایش می‌یابد.

۲) با افزایش ولتاژ معکوس دیود کلکتور ـ بیس، $\beta$ افزایش می‌یابد.

۳) با افزایش ولتاژ معکوس دیود کلکتور ـ بیس، $I_B$ کاهش می‌یابد.

۴) با افزایش ولتاژ معکوس دیود کلکتور ـ بیس، $\beta$ کاهش می‌یابد.

۱۳ـ برای اینکه $V_{O_{DC}} = ۰$ باشد کدام گزینه صحیح است؟ (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۳ و ۸۴)



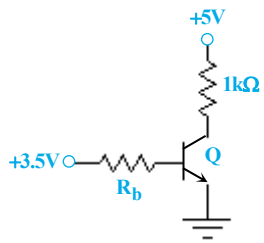

۱) $R_L = ۳/۳K\Omega$

۲) $R_L = ۴/۷K\Omega$

۳) $R_L = ۵/۲K\Omega$

۴) $R_L = ۶/۵K\Omega$

۱۴ـ در مدار شکل زیر، ترانزیستور دارای $V_{BE}(sat) = ۰/۷V$ , $V_{CE}(sat) = ۰/۲V$ و حداقل $\beta$ برابر ۵۰ می‌باشد. بیشترین مقدار مقاومت $R_b$ که می‌تواند ترانزیستور را در حالت اشباع نگه دارد، برابر است با: (برحسب کیلو اهم) (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۴ و گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۷)




۱) ۲۹

۲) ۳۶

۳) ۴۷

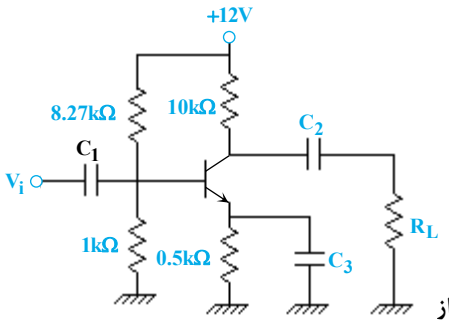
۴) ۸۲

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

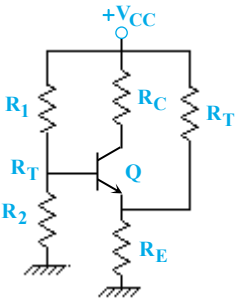


۱۵ـ در مدار شکل زیر، مقدار $R_L$ چقدر باشد که حداکثر تغییرات ولتاژ در خروجی ظاهر گردد؟ (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۴)



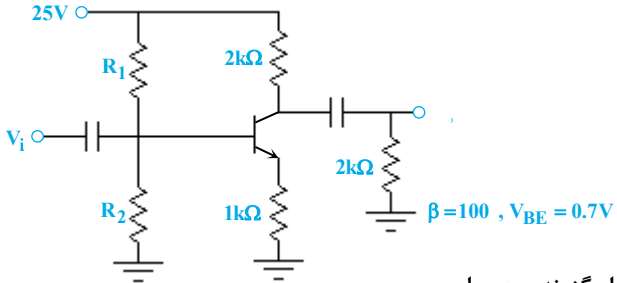

۱) ۱۰ کیلو اهم
۲) ۵۶۰ اهم
۳) ۸ اهم
۴) ۱۳ کیلو اهم

۱۶ـ در مدار شکل زیر، در مورد نقش مقاومت حرارتی $R_T$(Thermistor)، بیان کدامیک از (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۴)



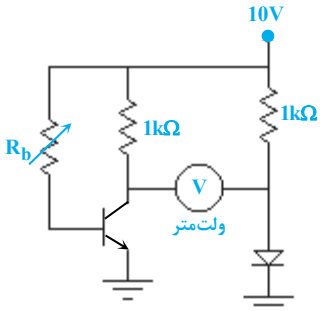

۱) افزایش درجهٔ حرارت موجب کم شدن مقاومت $R_T$ شده و در نتیجه جریان بیشتری را به مقاومت $R_E$ هدایت می‌کند.
۲) افزایش درجهٔ حرارت موجب افزایش $R_T$ و در نتیجه کاهش $V_B$ می‌گردد.
۳) از مقاومت حرارتی برای جبران اثر تغییرات حرارتی جریان کلکتور ـ بیس استفاده شده است.
۴) گزینه‌های (۱) و (۳) صحیح هستند.

۱۷ـ نقطه کار مناسب برای مدار زیر کدام است؟ (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۴)



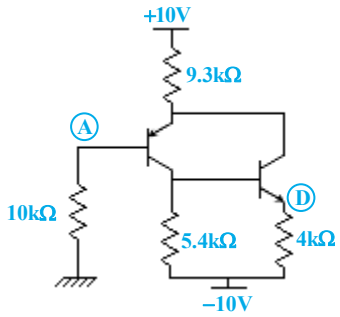

۱) $\begin{cases} I_{CQ} = ۱۰\,mA \\ V_{CEQ} = ۱۵V \end{cases}$
۲) $\begin{cases} I_{CQ} = ۱۰\,mA \\ V_{CEQ} = ۱۰\,V \end{cases}$
۳) $\begin{cases} I_{CQ} = ۵mA \\ V_{CEQ} = ۱۵V \end{cases}$
۴) $\begin{cases} I_{CQ} = ۵mA \\ V_{CEQ} = ۱۰\,V \end{cases}$

۱۸ـ مدار زیر برای اندازه‌گیری $\beta$ ترانزیستور مورد استفاده قرار می‌گیرد، کدام گزینه صحیح است. (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۴)




۱) $\beta = R_b$ اگر ولت‌متر صفر را نشان دهد.
۲) $\beta = \frac{۱}{۲}R_b$ اگر ولت‌متر صفر را نشان دهد.
۳) $\beta = ۲R_b$ اگر ولت‌متر صفر را نشان دهد.
۴) $\beta = \frac{۳}{۲}R_b$ اگر ولت‌متر صفر را نشان دهد.

۱۹ـ در مدار شکل داده شده، ترانزیستورها مشابه بوده و برای هر یک از آنها $|V_{BE}| = ۰/۷V$ است. ولتاژ نقاط A و D با فرض $p = ۱۰۰$ برابر است با: (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)



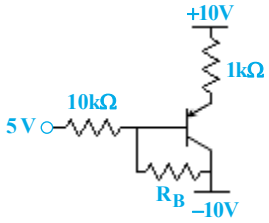

۱) $V_D = -۴V,\ V_A \simeq ۱۰۰mV$
۲) $V_D = -۸V\ ,\ V_A \simeq ۵۰\,mV$
۳) $V_D = -۴V\ ,\ V_A \simeq ۵۰\,mV$
۴) $V_D = -۸V\ ,\ V_A \simeq ۱۰۰mV$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۰ـ در مدار شکل زیر، برای ترانزیستور $V_{CE}(sat)=0/2V$ و $V_{EB}(sat)=0/8V$ و $V_{EB}(ON)=0/7V$ و $\beta=100$ است. آیا می‌توان $R_B$ را طوری تعیین کرد که ترانزیستور اشباع یا قطع شود؟** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)



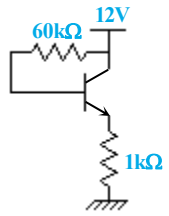

۱) اشباع: خیر، قطع: بلی

۲) اشباع: بلی، قطع: خیر

۳) اشباع: خیر، قطع: خیر

۴) اشباع: بلی، قطع: بلی

**۲۱ـ در مدار شکل زیر با فرض $V_{BE}=0/7V$ و $50<\beta<200$، تغییرات جریان کلکتور نقطهٔ کار برابر است با:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)



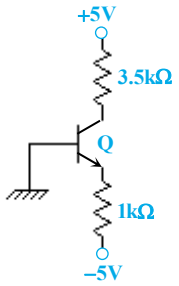

۱) $\Delta I_{CQ}=3/6mA$

۲) $\Delta I_{CQ}=7/2mA$

۳) $\Delta I_{CQ}=5/1mA$

۴) $\Delta I_{CQ}=10/2mA$

**۲۲ـ در مدار شکل زیر، ترانزیستور دارای $V_{BE}=0/6V$ و $\beta=200$ است. جریان کلکتور تقریباً برابر است با:** (مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۷)



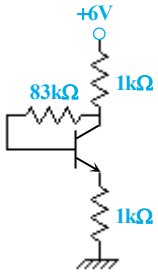

۱) ۲mA

۲) ۴/۴mA

۳) ۱/۶mA

۴) ۲/۶mA

**۲۳ـ در مدار شکل زیر، ترانزیستور دارای $\beta=100$ و $V_{BE}=0/6V$ است. نقطهٔ کار ترانزیستور در کدام گزینه به درستی گزارش شده است؟** (مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۷)




۱) $V_{CE}=4V\ ,\ I_C=1mA$

۲) $V_{CE}=2/2V\ ,\ I_C=1/9mA$

۳) $V_{CE}=1V\ ,\ I_C=2/5mA$

۴) $V_{CE}=3V\ ,\ I_C=1/5mA$

**۲۴ـ اگر در یک ترانزیستور، پیوند بیس ـ امیتر را به صورت معکوس و پیوند کلکتور ـ بیس را به صورت مستقیم بایاس کنیم، آنگاه خاصیت تقویت جریان در مقایسه با حالتی که ترانزیستور در ناحیهٔ فعال بایاس شده باشد، چگونه خواهد بود؟** (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۸)

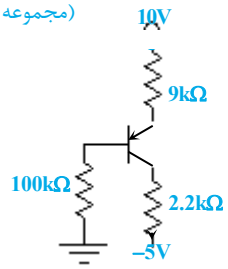
۱) تقویت جریان افزایش می‌یابد.

۲) تقویت جریان تفاوتی نمی‌کند.

۳) تقویت جریان ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

۴) تقویت جریان کاهش می‌یابد.

**۲۵ـ در مدار شکل زیر، ولتاژ بیس $1V$ و ولتاژ کلکتور $-2/8V$ اندازه‌گیری شده است. $\beta$ ترانزیستور چه مقدار می‌باشد؟** (مجموعه فوتونیک ـ سراسری ۸۹)




$V_{BE}=0/7V\ ,\ V_{CE}=0V$

۱) $\beta=50$

۲) $\beta=100$

۳) $\beta=150$

۴) قابل محاسبه نمی‌باشد.

www.modaresanesharif.ac.ir

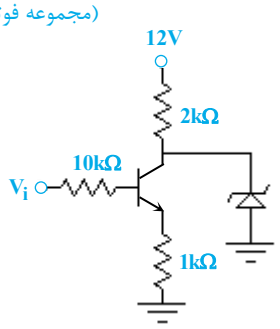
www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۶ـ** مقدار $V_i$ که باعث قطع شدن دیود زنر می‌شود، کدام است؟

(مجموعه فوتونیک ـ سراسری ۸۹)

$\beta = ۱۰۰ , V_{BE} = ۰/۷V , V_{CE_{sat}} = ۰ , V_{Z_K} = ۶v , I_{Z_{min}} = ۰A$




۱) ۲/۳V

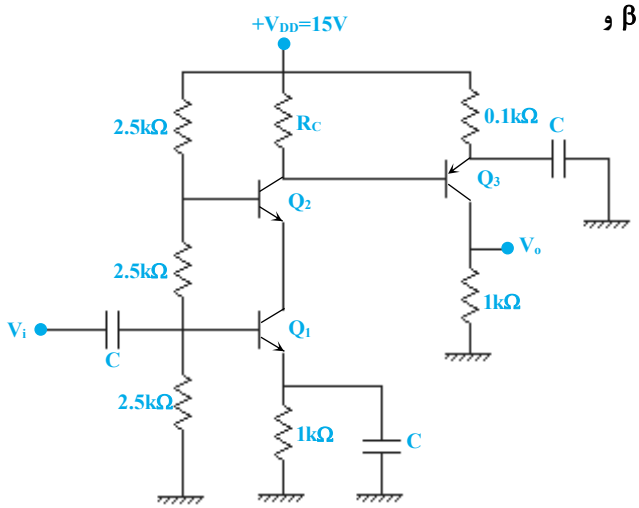
۲) ۲/۶V

۳) ۳V

۴) ۴V

**۲۷ـ** در مدار شکل داده شده برای همه ترانزیستورها $\beta = ۲۰۰$ و $V_{BE} = ۰/۷V$ است. $R_C$ چقدر باشد تا سطح ولتاژ dc خروجی ۷V شود؟

(مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)




۱) ۹۸۰Ω

۲) ۱۶۹۰Ω

۳) با اطلاعات موجود، $R_C$ را نمی‌توان تعیین کرد.

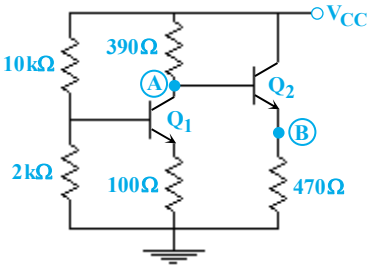
۴) ۳۲۰Ω

**۲۸ـ** در مدار شکل داده شده، فرض کنید که برای $Q_1$ و $Q_2$ سیلیکونی داشته باشیم: $V_{BE} = ۰/۶V , \beta = ۱۰۰$

اگر محیط گرم‌تر شود، ولتاژ نقطه A و B چگونه تغییر می‌کند؟

(فرض: تغییرات حرارتی ولتاژ منبع، $\beta$ ترانزیستورها و مقاومت‌ها ناچیز هستند.)

(مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)




۱) $B\uparrow , A\downarrow$

۲) $B\downarrow , A\uparrow$

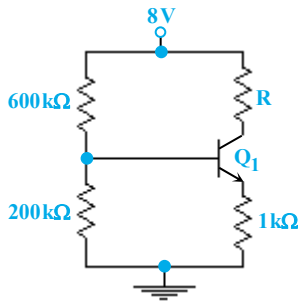
۳) $B\uparrow , A\uparrow$

۴) $B\downarrow , A\downarrow$

**۲۹ـ** در شرایط روشن فعال ماکزیمم مقدار R برابر است با:

(مجموعه فوتونیک ـ سراسری ۹۰)

$\beta = ۵۰ \quad , \quad V_{CE_{sat}} = ۰/۲V \quad , \quad V_{BE} = ۰/۷V$




۱) ۱۲kΩ

۲) ۲۳kΩ

۳) ۴۰kΩ

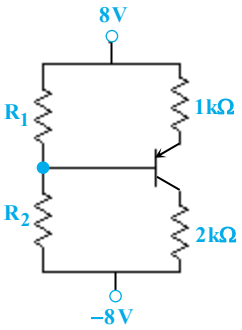
۴) ۱۲۰kΩ

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

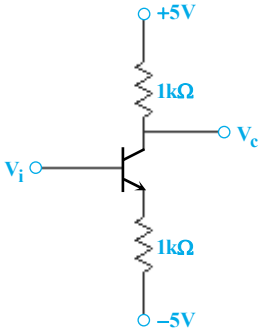


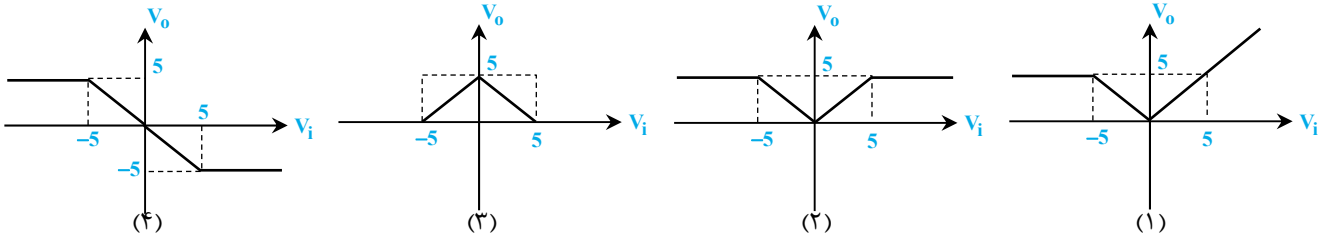
**۳۰ـ** کدام گزینه مقاومتی، جهت تغذیه بهینه مدار در تقویت ولتاژ صحیح است؟ (مجموعه فوتونیک ـ سراسری ۹۰)




۱) $R_1 = R_2$
۲) $R_1 > R_2$
۳) $R_2 > R_1$
۴) $R_1 > 2R_2$

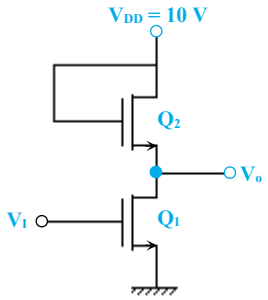
**۳۱ـ** در مدار شکل داده شده، در صورتی که $-10 < V_i < 10$ ولت بوده و $V_{CE(sat)} = V_{BE(ON)} = 0$ باشد، رابطهٔ $V_o - V_i$ در کدام گزینه به درستی ترسیم شده است؟ (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۹۰)




## درسنامه (۲): ترانزیستورهای اثر میدانی (Field Effect Transistors)

**۳۲ـ** در شکل زیر ترانزیستورها MOSFET ارتقایی (Enhancement) بوده و پارامترهای آنها معلوم است. حوزه‌ی تغییرات $V_I$ که به ازای آن تقویت‌کننده در ناحیه Pinch – off باقی می‌ماند، چقدر است؟ (سراسری ۷۹)



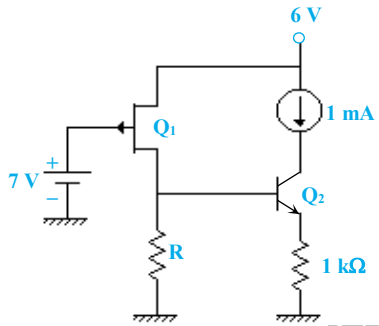

$$Q_2 \begin{cases} K_2 = 1\dfrac{mA}{V^2} \\ V_{T_2} = 2V \end{cases}$$

$$Q_1 \begin{cases} K_1 = 4\dfrac{mA}{V^2} \\ V_{T_1} = 2V \end{cases}$$

۱) $2V < V_I < 6/67V$
۲) $2V < V_I < 4/67V$
۳) $2V < V_I < 3/34V$
۴) $0V < V_I < 8/67V$

**۳۳ـ** مقدار مقاومت R در مدار شکل زیر به کدام گزینه نزدیکتر است؟ (برحسب kΩ). (سراسری ۸۰)

$\beta = 100$ , $|I_{DSS}| = 120^{\mu A}$ , $V_p = 4V$ , $V_{BE} = 0/7V$ , $V_{CE,sat} = 0/2V$



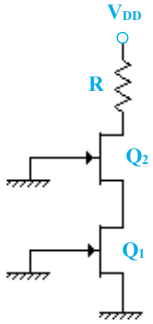

۱) ۶۰۰
۲) ۳۰
۳) ۱۵
۴) ۲/۷

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۳۴ـ در مدار شکل مقابل هر دو JEFT ، $Q_1$ و $Q_2$ در ناحیهٔ Pinch – off بایاس شده‌اند. هرگاه $Q_1$ را با یک JEFT دیگر که $I_{DSS}$ آن کمتر از $Q_1$ است جایگزین نمائیم، کدام گزینه اتفاق می‌افتد؟** (سراسری ۸۰)



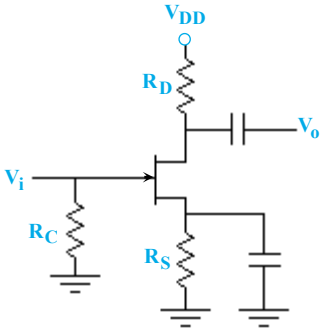

۱) هر دوی $Q_1$ و $Q_2$ به حالت Triode می‌روند.

۲) $Q_1$ در حالت Pinch – off باقی می‌ماند و ممکن است $Q_2$ به حالت Triode برود.

۳) ممکن است $Q_1$ به حالت Triode برود، ولی $Q_2$ در حالت Pinch – off باقی می‌ماند.

۴) هر دوی $Q_1$ و $Q_2$ در حالت Pinch – off باقی می‌مانند.

**۳۵ـ در مدار زیر برای اینکه حداکثر خروجی ac برابر ۲V باشد، مقدار مناسب برای $V_{DSQ}$ برابر است با:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۱)




$|V_T| = 2V$

$|V_{GSQ}| = 6V$

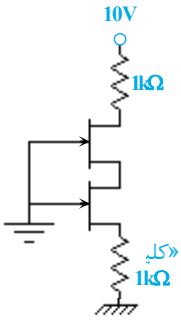
۱) ۴V

۲) کمتر از ۴V بیشتر از ۲V

۳) ۶V

۴) بیشتر از ۶V کمتر از $V_{DD} - 4V$

**۳۶ـ در مدار زیر $V_P = -5V$ و $I_{DSS} = 10mA$ می‌باشد $I_{DS}$ کدام گزینه است؟** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۴)




۱) ۳mA

۲) ۱mA

۳) ۴/۱۴mA

۴) هیچکدام

**۳۷ـ در یک NMOS ,$|V_T| = 2V$ ,$V_{gs} = 6V$ می‌باشد، اگر $V_{ds} \geq 4V$ باشد. آن‌گاه:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۴)

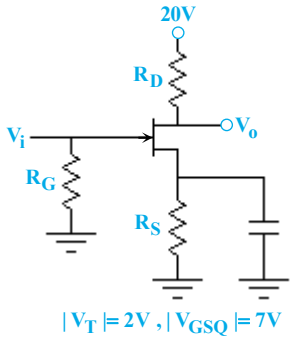
۱) $I_{ds} \simeq f(V_{ds})$

۲) $I_{ds} \simeq f(V_{gs})$

۳) $I_{ds} \simeq f(V_{ds}, V_{gs})$

۴) $I_{ds} \simeq f(V_{ds} - V_{gs})$

**۳۸ـ اگر $Vo\,max = 3V$ در حالت ac باشد، $V_{DSQ}$ مناسب برابر است با:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۴)




$|V_T| = 2V$ , $|V_{GSQ}| = 7V$

۱) $6V \leq V_{DS} \leq 9V$

۲) $6V \leq V_{DS} \leq 8V$

۳) $V_{DS} > 8V$

۴) $V_{DS} > 9V$

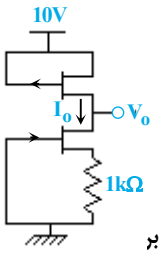
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۳۹ـ در مدار شکل داده شده مقادیر $V_o$ و $I_o$، با فرض اینکه JFET ها دارای $I_{DSS} = 4mA$ و $|V_P| = 2V$ باشند، برابر است با:

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)




۱) $I_o = 1mA\ ,\ V_o = 5/6V$

۲) $I_o = 1mA\ ,\ V_o = 9/7V$

۳) $I_o = 2mA\ ,\ V_o = 9/7V$

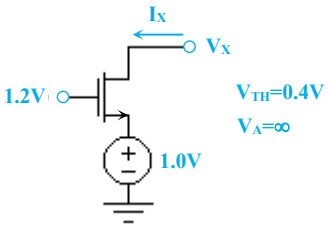
۴) $I_o = 2mA\ ,\ V_o = 5/6V$

۴۰ـ یک ترانزیستور NMOS نوع تهی با $V_P = -1V$ و $I_{DSS} = 1mA$ در $V_{GS} = 1V$ کار می‌کند. حداقل مقدار $V_{DS}$ بر متور در ناحیهٔ اشباع کار کند، چقدر است؟ مقدار $I_D$ چقدر خواهد بود؟

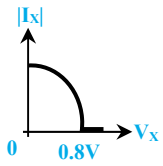
(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)

۱) $I_D = 4mA\ ,\ V_{DS} \geq 2V$ ۲) $I_D = 2mA\ ,\ V_{DS} \geq 1V$ ۳) $I_D = 2mA\ ,\ V_{DS} \geq 2V$ ۴) $I_D = 4mA\ ,\ V_{DS} \geq 1V$

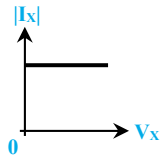
۴۱ـ در مدار شکل زیر قدرمطلق شکل موج جریان $I_x$ برحسب ولتاژ $V_x$ برابر با کدام گزینه است؟ (سراسری ۸۸)



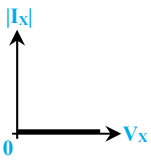

(۱)



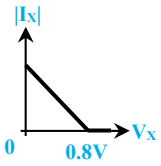

(۲)



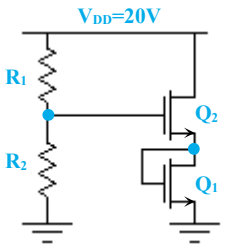

(۳)




(۴)




۴۲ـ در مدار شکل زیر $V_T = 2V, K = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L} = 0/25\frac{mA}{V^2}$ برای این که جریان درین $Q_1$ برابر $1mA$ باشد. مقدار $R_1$ و $R_2$ برابر با کدام مورد می‌تواند باشد؟ (سراسری ۸۸)




۱) $R_2 = R_1 = 2M$

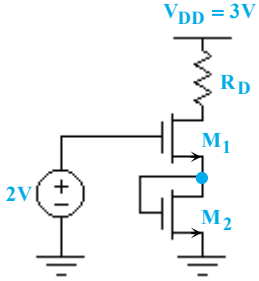
۲) $R_2 = 3M, R_1 = 2M$

۳) $R_2 = 2M, R_1 = 6M$

۴) $R_2 = 4M, R_1 = 6M$

۴۳ـ در مدار شکل زیر بدون اینکه هیچ یک از ترانزیستورهای مدار از ناحیه اشباع خارج شود، حداکثر مقدار مقاومت $R_D$ برحسب $(k\Omega)$ چقدر می‌تواند باشد؟ $V_A = \infty$ ، $\mu_n C_{ox} \times (\frac{W}{L})_{1,2} = 4\frac{mA}{V^2}$ ، $V_{TH} = 0/5V$

(مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۸۹)




۱) ۱/۵

۲) ۲

۳) ۲/۵

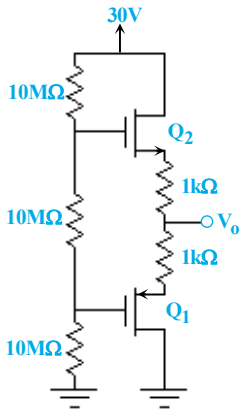
۴) ۳

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



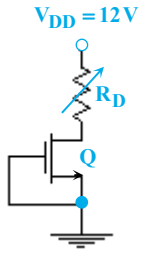
**۴۴ـ** جریان نقطه کار ترانزیستورها کدام است؟ (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۸۹)




$$|V_T| = ۳V \;,\; k = ۱\frac{mA}{V^۲} \;,\; I_D = k(V_{gs} - V_t)^۲$$

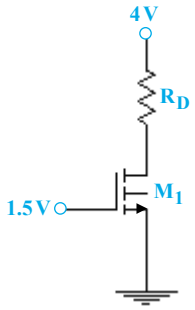
۱) ۰/۵ mA
۲) ۱ mA
۳) ۲ mA
۴) ۴ mA

**۴۵ـ** در مدار شکل زیر، ترانزیستور Q از نوع کانال $n-$ و تخلیه می‌باشد (Depletion NMOS)، $V_t = -۲V$ حداکثر مقدار مقاومت $(R_D)$ چقدر باشد تا جریان ثابت درین در حد $I_D = ۱۲۰\mu A$ باقی بماند؟ $(\lambda = ۰)$ (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۹۰)




۱) $R_D \le ۱۳/۳۴k\Omega$
۲) $R_D < ۶۶/۷k\Omega$
۳) $R_D < ۱۳۳/۴k\Omega$
۴) $R_D \le ۶۶۷k\Omega$

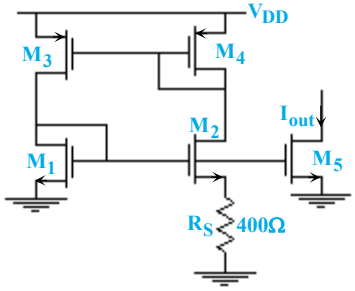
**۴۶ـ** مقدار بیشینه مقاومت $R_D$ برای آن که ترانزیستور در اشباع باشد چند کیلو اهم است؟ (فتونیک ـ سراسری ۹۱)




$$V_T = ۰/۵V$$
$$\mu_n C_{ox} = ۲۰\frac{\mu A}{V^۲}$$
$$L = ۰/۲\mu m \quad W = ۲۰\mu m$$

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

**۴۷ـ** در مدار شکل زیر همه ترانزیستورها در ناحیه اشباع بایاس شده‌اند. مقدار جریان $I_{out}$ چند میلی آمپر است؟ از اثر بدنه و مدولاسیون طول کانال ترانزیستورها صرف‌نظر کنید. (مهندسی برق ـ سراسری ۹۲)




$$(\frac{W}{L})_۲ = ۲(\frac{W}{L})_۱$$
$$(\frac{W}{L})_۳ = ۲(\frac{W}{L})_۴$$
$$(\frac{W}{L})_۵ = ۲(\frac{W}{L})_۲$$
$$\mu_n C_{ox}(\frac{W}{L})_۱ = \frac{۲۵mA}{V^۲}$$

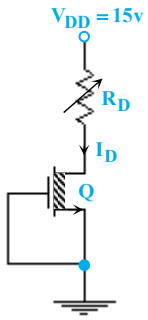
۱) ۱
۲) ۳
۳) ۲
۴) ۴

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۴۸ـ** در شکل زیر، ترانزیستور Q، از نوع کانال n(NMOS) و تخلیه (depletion) می‌باشد. حداکثر مقدار مقاومت $R_D$ چقدر باشد تا جریان ثابت درین در حدّ $I_D = 80\mu A$ باقی بماند؟ (صرف‌نظر از مقاومت خروجی Q ؛ $\lambda = 0$)؛ $V_T = -2V$ ولتاژ آستانه (فتونیک ـ سراسری ۹۵)



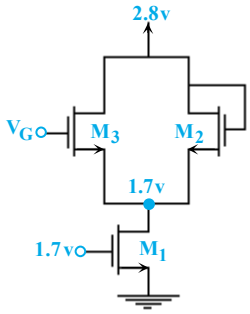

۱) $R_D < 162/5 k\Omega$

۲) $R_D < 185 k\Omega$

۳) $R_D < 200 k\Omega$

۴) $R_D < 271 k\Omega$

**۴۹ـ** به شرط آنکه $V_T = 0/7V$، $\mu_n C_{ox} = 100\frac{\mu A}{V^2}$، $(\frac{W}{L})_1 = 2$ و $(\frac{W}{L})_{2,3} = 8$ باشد، ولتاژ $V_G$ برابر است با: (فتونیک ـ سراسری ۹۵)




۱) $1/8V$

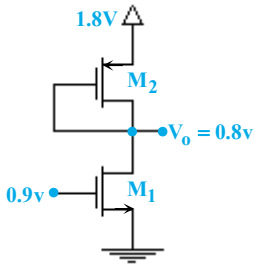
۲) $3/2V$

۳) $3/6V$

۴) $2/7V$

**۵۰ـ** در ترانزیستور $M_2$ پهنای کانال $W_2$ برابر با کدام است؟ (فتونیک ـ سراسری ۹۶)

فرض کنید: $\mu_n C_{ox} = 200\frac{\mu A}{V^2}$ , $\mu_p C_{ox} = 100\frac{\mu A}{V^2}$ , $|V_{TP}| = V_{TN} = 0/5V$ , $L_1 = L_2 = 0/2\mu m$ , $I_{D1} = 500\mu A$




۱) $w = 3\mu m$

۲) $w = 4\mu m$

۳) $w = 6\mu m$

۴) $w = 8\mu m$

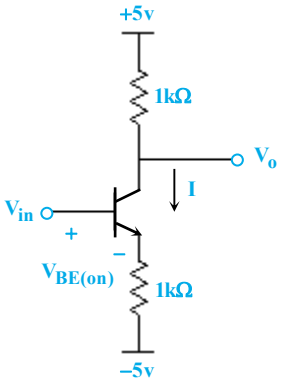
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



## پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل دوم

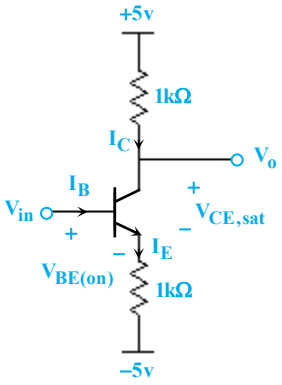
**۱ـ گزینه «۲»** برای به دست آوردن نمودار مشخصه مقدار ورودی را از $-۱۰۷$ شروع به افزایش دادن می‌کنیم. با توجه به اینکه $V_{BE(on)} = ۰$ می‌باشد، برای مقادیر $V_i < -۵$ ترانزیستور خاموش می‌باشد و ولتاژ خروجی برابر $+۵$ ولت خواهد بود. با افزایش $V_i$ از $-۵v$ ترانزیستور روشن می‌شود. در این صورت روابط جریان و ولتاژ خروجی به صورت زیر می‌شود:




$$I = \frac{V_{in} - V_{BE(on)} - (-۵)}{۱} = V_{in} + ۵$$

$$V_o = ۵ - I \Rightarrow V_o = -V_{in}$$

با اعمال شرط فعال بودن ترانزیستور محدوده‌ی ورودی که باعث اشباع رفتن ترانزیستور می‌شود به صورت زیر محاسبه می‌شود:




$$V_{CE} = V_C - V_E = V_o - (V_{in} - V_{BE(on)}) = -V_{in} - V_{in} = -۲V_{in}$$

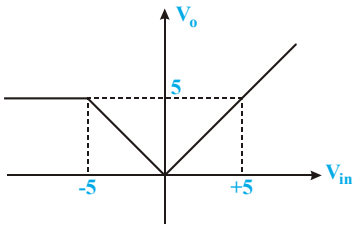
با توجه به $V_{CE,sat} = ۰$ به ازای مقادیر $V_{in} > ۰$ ترانزیستور وارد ناحیه‌ی اشباع می‌شود. در این صورت جریان خروجی و در نتیجه ولتاژ $V_o$ به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$V_o = V_{in} - V_{BE(on)} + V_{CE,sat} = V_{in}$$

دقت شود جریان‌های ترانزیستور نیز به صورت زیر خواهند بود:

$$I_B = ۲V_{in} \ , \ I_C = ۵ - V_{in} \ , \ I_E = ۵ + V_{in}$$

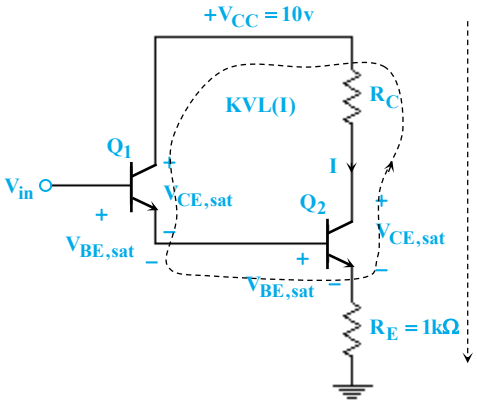
به طور خلاصه رابطه‌ی ورودی و خروجی به صورت زیر می‌باشد:




$$V_o = \begin{cases} ۵ & ; \ V_{in} < -۵ \\ -V_{in} & ; \ -۵ < V_{in} < ۰ \\ +V_{in} & ; \ V_{in} > ۰ \end{cases}$$

---

**۲ـ گزینه «۱»** مطابق خواسته‌ی سوال فرض می‌کنیم که هر دو ترانزیستور وارد ناحیه‌ی اشباع شده باشند. در این صورت با نوشتن KVL در حلقه‌های نشان داده شده داریم:




$$KVL(I): R_C I + V_{CE,sat_۲} = V_{CE,sat_۱} + V_{BE,sat_۲}$$

$$KVL(II) \quad \Rightarrow R_C I = ۰/۸ \rightarrow I = \frac{۰/۸}{R_C}$$

با قراردادن رابطه‌ی جریان در معادله‌ی زیر داریم:

$$KVL(II): V_{CC} = (R_C + R_E).I + V_{CE,sat_۲} \rightarrow ۹/۸ = (R_C + ۱).\frac{۰/۸}{R_C}$$

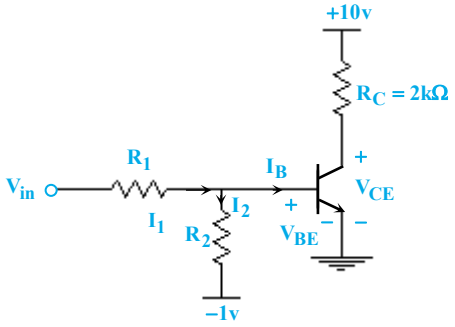
$$\rightarrow \boxed{R_C = ۸۸/۸۸\Omega}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۳ـ گزینه «۲»** برای حل مسئله برای دو حالت $V_i = ۲$ و $V_i = ۵$ جریان بیس را تغییر می‌دهیم.




(I) در هنگامی که ترانزیستور شروع به هدایت می‌کند، جریان بیس صفر می‌باشد. در نتیجه داریم:

$$KCL: I_۱ = I_۲ + I_B \xrightarrow{I_B=۰} \frac{V_{in} - V_{BE(off)}}{R_۱} = \frac{V_{BE(off)} + ۱}{R_۲}$$

$$\rightarrow \frac{۲-۰}{R_۱} = \frac{۱+۰}{R_۲} \rightarrow \frac{R_۲}{R_۱} = \frac{۱}{۲}$$

(II) زمانی که ترانزیستور در مرز ناحیه‌ی اشباع باشد ($V_{in} = ۵$) داریم:

$$V_{CE} = V_{CE,sat} \rightarrow I_C = \frac{۱۰ - V_{CE,sat}}{۲} = ۵mA \xrightarrow{I_B=\frac{I_C}{\beta}} I_B = ۰/۱mA$$

$$KCL: I_۱ = I_۲ + I_B \rightarrow \frac{V_{in} - V_{BE(on)}}{R_۱} = ۰/۱ + \frac{V_{BE(on)} + ۱}{R_۲}$$

$$\frac{۵ - ۰/۷}{R_۱} = ۰/۱ + \frac{۱/۷}{R_۲} \xrightarrow{R_۲=\frac{R_۱}{۲}} \begin{cases} R_۱ = ۹K\Omega \\ R_۲ = ۴/۵K\Omega \end{cases}$$

---

**۴ـ گزینه «۳ و ۱»** با توجه به رابطه‌ی $V_{CE} = V_{BE(on)} + V_{CB}$ افزایش ولتاژ $V_{CB}$ باعث افزایش $V_{CE}$ می‌شود و به دلیل پدیده‌ی اولی جریان $I_{CQ}$ افزایش پیدا می‌کند و به عبارتی می‌توان گفت $\beta$ بیشتر می‌شود.

---

**۵ـ گزینه «۳»** برای داشتن ماکزیمم خروجی بدون اعوجاج، جریان باید به صورت زیر محاسبه شود:

$$\text{نقطه‌ی کار بهینه} \rightarrow I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{ac} + R_{DC}} = \frac{۱۰ - ۱}{\underbrace{[(۱/۸ \| ۱/۸) + ۰/۱]}_{R_{ac}} + \underbrace{[۱/۸ + ۰/۱ + ۰/۱]}_{R_{DC}}}$$

$$\rightarrow I_{CQ} = ۳mA \rightarrow V_{CEQ} = ۱۰ - ۳ \times (۱/۸ + ۰/۲) = ۴V$$

مقادیر دامنه‌ی نوسان مثبت و منفی نیز به صورت مقابل محاسبه می‌شوند:

$$V_{om}^{+} = (R_L \| R_C).\tau_{CQ} = (۱/۸ \| ۱/۸) \times ۳ = ۲/۷V$$

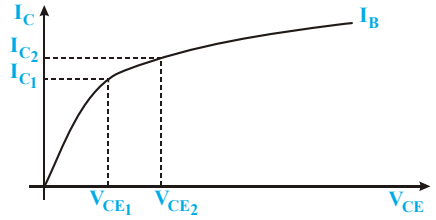
$$V_{om}^{-} = (R_L \| R_C).\left(\frac{V_{CEQ} - V_{CE,sat}}{R_{ac}}\right) = (۱/۸ \| ۱/۸) \times \frac{۴-۱}{(۱/۸ \| ۱/۸) + ۰/۱} = ۲/۷$$

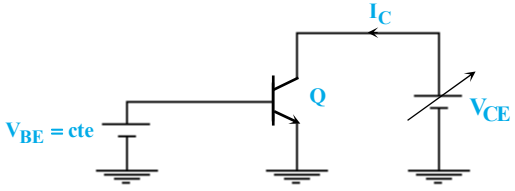
در نتیجه ماکزیمم خروجی بدون اعوجاج برابر ۵/۴ ولت (پیک تا پیک) می‌باشد.

---

**۶ـ گزینه «۳»** در صورتی که ولتاژ معکوس دیود کلکتور ـ بیس را افزایش دهیم، طبق رابطه‌ی $V_{CE} = V_{BE(on)} + V_{CB}$، ولتاژ $V_{CE}$ افزایش پیدا می‌کند و به علت پدیده‌ی اولی جریان $I_{CQ}$ افزایش می‌یابد و در نتیجه $\beta$ یا همان $h_{fe}$ افزایش پیدا می‌کند.

شکل زیر نشان می‌دهد چطور با افزایش $V_{CE}$ به دلیل پدیده‌ی اولی جریان $I_{CQ}$ افزایش می‌یابد.




---

www.modaresanesharif.ac.ir

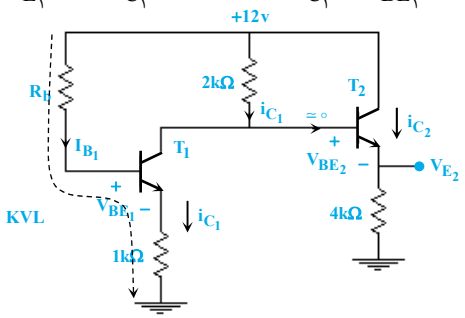
www.modaresanesharif.ac.ir



**۷ـ گزینه «۱»** با توجه به اینکه $I_{CQ_2}$ جریان نقطه‌ی کار وسط خط بار مربوط به $T_2$ می‌باشد، داریم:

$$I_{CQ_2}=\frac{V_{CC}-V_{CE,sat}}{R_{ac}+R_{DC}}=\frac{۱۲}{۴+۴}=۱/۵mA \xrightarrow{i_{C_2}=I_{CQ_2}-۰/۳} i_{C_2}=۱/۲mA$$

$$V_{E_2}=۴\times i_{C_2}=۴/۸V \rightarrow V_{C_1}=V_{BE_2}+V_{E_2}=۵/۴V$$




با صرف نظر از جریان بیس $T_2$ برای جریان $T_1$ داریم:

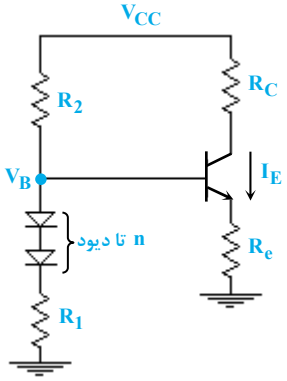
$$i_{C_1}=\frac{۱۲-V_{C_1}}{۲}=\frac{۱۲-۵/۴}{۲}=۳/۳mA$$

با استفاده از قانون KVL در حلقه‌ی نشان داده شده داریم:

$$KVL: V_{CC}=R_b.I_{B_1}+V_{BE_1}+۱\times i_{C_1} \Rightarrow R_b=۲۴۵k\Omega$$

---

**۸ـ گزینه «۲»** در ابتدا جریان امیتر را برحسب موارد متغیر مدار به دست می‌آوریم:




$$V_B=\frac{V_{CC}\times R_1+nV_D\times R_2}{R_1+R_2}$$

$$\xrightarrow{R_2=\frac{R_1}{۲}} V_B=\frac{۲}{۳}V_{CC}+\frac{۱}{۳}nV_D$$

$$\rightarrow I_E=\frac{V_B-V_{BE}}{R_e}=\frac{۱}{R_e}(\frac{۲}{۳}V_{CC}+\frac{nV_D}{۳}-V_{BE})$$

حال می‌خواهیم تا تغییرات جریان $I_E$ با دما صفر باشد، یعنی:

$$\frac{\partial IE}{\partial T}=۰ \xrightarrow[\frac{\partial V_D}{\partial T}=\frac{\partial V_{BE}}{\partial T}]{\frac{\partial V_{CC}}{\partial T}=۰} \frac{۱}{R_e}(۰+(\frac{n}{۳}-۱)).\frac{\partial V_{BE}}{\partial T}=۰ \rightarrow \frac{n}{۳}-۱=۰ \rightarrow n=۳$$

**نکته:** برای عدم وابستگی جریان امیتر به تغییرات دما باید داشته باشیم:

$$\frac{\text{تعداد دیودهای بیس}}{\text{تعداد دیودهای امیتر}}=۱+\frac{R_1}{R_2} \Rightarrow n=۱+\frac{R_1}{R_2} \Rightarrow n=۳$$

---

**۹ـ گزینه «۱»** برای محاسبه سوئینگ حداکثر، دامنه‌ی نوسان مثبت و منفی را به صورت زیر به دست می‌آوریم:

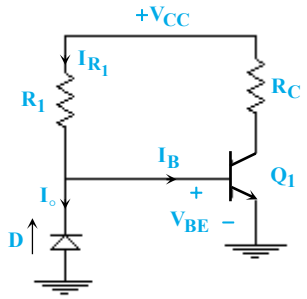
$$V_{om}^{+}=R_C\times(\frac{|V_{CE}|-|V_{CE,sat}|}{R_{ac}})=۱/۵\times\frac{(۶-۰)}{۱/۵+۱/۵}=۳V \quad , \quad V_{om}^{-}=R_C\times I_{CQ}=۱/۵\times۳=۴/۵V$$

$$V_{om}=\min(V_{om}^{+},V_{om}^{-})=۳$$

---

**۱۰ـ گزینه «۲»** در صورتی که اثر جریان $I_{CBO}$ را در نظر بگیریم، جریان کلکتور در حالت کلی برابر می‌شود با:

$$I_C=\beta I_B+(۱+\beta)I_{CBO}$$




جریان بیس با توجه به شکل زیر برابر است با:

$$I_{R_1}=I_۰+I_B \xrightarrow{I_۰=I_{CBO}} I_B=\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_1}-I_{CBO}$$

پس برای جریان کلکتور داریم:

$$I_C=\beta[\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_1}-I_{CBO}]+(\beta+۱)I_{CBO}$$

اکنون کافی است که برحسب $I_{CBO}$ مشتق بگیریم:

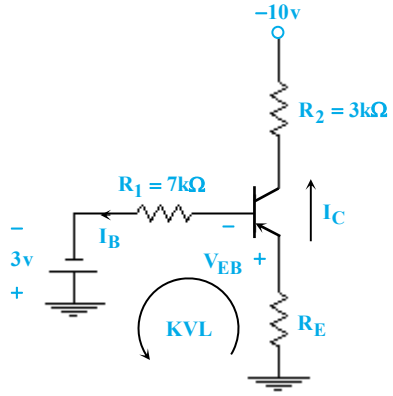
$$S=\frac{\partial I_C}{\partial I_{CBO}}=-\beta+(\beta+۱)=۱$$

---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir






**۱۱ـ گزینه «۴»** با توجه به آرایش مدار، ترانزیستور هرگز قطع نمی‌باشد، از این‌رو تنها حالت خروج از ناحیه فعال، اشباع‌شدن آن است. فرض می‌کنیم ترانزیستور در مرز اشباع باشد. مقاومت $R_E$ که برای مرز اشباع محاسبه شود در واقع همان $R_E$ مینیمم می‌باشد.

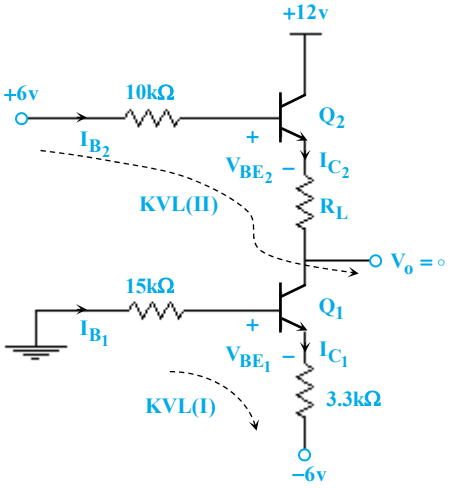
$$KVL: I_E = \frac{0-(-3)-0/7}{R_E+\frac{7}{100}} = \frac{2/3}{R_E+0/07}$$

$$V_{EC} = 0-(R_E+3)I_E+10 = 10-(R_E+3)\times\frac{2/3}{R_E+0/07}$$

برای آنکه ترانزیستور در ناحیه‌ی فعال قرار گیرد باید داشته باشیم:

$$V_{CE} \le -0/1 \rightarrow -10+(R_E+3)\times\frac{2/3}{R_E+0/07} \le -0/1 \rightarrow R_E \ge 0/81k\Omega$$

**۱۲ـ گزینه «۲»** به پاسخ سؤالات ۴ و ۶ رجوع کنید.



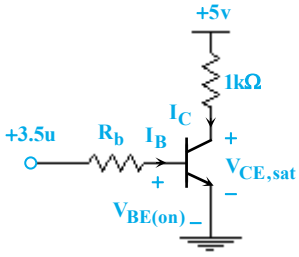

**۱۳ـ گزینه «۱»** در صورت سؤال مقدار $-6V$ به اشتباه $-12V$ نوشته شده است. با اصلاح این موضوع طبق شکل زیر داریم:

سری بودن ترانزیستورها $\Rightarrow I_{C_2} = I_{C_1} \rightarrow I_{B_1} = I_{B_2}$

$$KVL(I): 15I_B + V_{BE} + 3/3I_C - 6 = 0 \rightarrow I_C = 1/6mA$$

$$KVL(II): 6 = 10I_B + V_{BE} + R_L I_C + V_O = 0$$

$$\xrightarrow{V_O=0} R_C = 3/3K\Omega$$



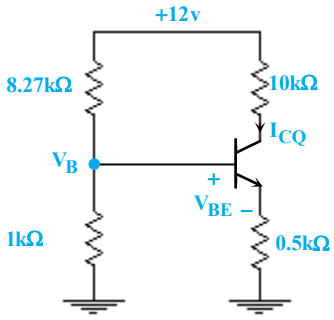

**۱۴ـ گزینه «۱»** فرض می‌کنیم مقدار مقاومت $R_b$ در حدی باشد که ترانزیستور در مرز اشباع قرار گیرد، در این حالت جریان کلکتور به صورت زیر محاسبه می‌شود:

حلقه‌ی خروجی $KVL: 5 = 1\times I_C + V_{CE,sat} \rightarrow I_C = 4/8mA$

$$\xrightarrow{\beta_{min}=50} I_B = \frac{I_C}{\beta} = 96\mu A$$

حالا با نوشتن KVL در حلقه‌ی ورودی مقدار $R_b$ را حساب می‌کنیم:

$$KVL: 3/5 = R_b.I_B + V_{BE(on)} \rightarrow R_b = 29K\Omega$$




**۱۵ـ گزینه «۲»** برای داشتن حداکثر تغییرات در ولتاژ خروجی باید نقطه‌ی کار مدار در نقطه‌ی کار بهینه باشد، لذا در ابتدا با کمک تحلیل DC مطابق شکل مقابل جریان $I_{CQ}$ را به دست می‌آوریم و سپس با تطابق آن با مشخصه‌ی نقطه‌ی کار بهینه مقدار $R_L$ را حساب می‌کنیم:

با فرض $I_B \simeq 0 \rightarrow V_B = \frac{1}{1+8/27}\times 12 = 1/294$

$$I_{CQ} = \frac{V_B - V_{BE}}{0/5K} = 1/089mA$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



اما مشخصه‌ی اصلی نقطه‌ی کار بهینه به صورت زیر می‌باشد:

$$I_{CQ}=\frac{V_{CC}-V_{CE,sat}}{R_{DC}+R_{aC}}\xrightarrow{V_{CE,sat}\simeq 0}1/089=\frac{12-0}{10/5+(10\|RL)}$$

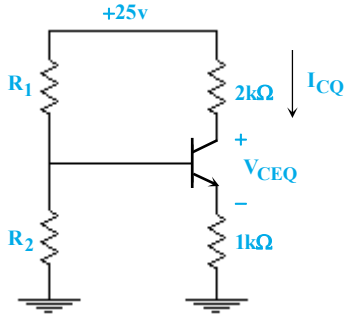
$$\rightarrow (10\|R_L)=0/519K\Omega\rightarrow R_L\simeq 0/56K\Omega$$

---

**۱۶ـ گزینه «۴»** با افزایش دما مقدار $I_{CBO}$ بیشتر می‌شود و طبق رابطه‌ی $I_C=\beta I_B+(\beta+1)I_{CBO}$ مقدار $I_C$ نیز بیشتر می‌شود. از طرف دیگر، در ترمیستور $R_T$ افزایش دما باعث کاهش میزان مقاومت و به دنبال آن افزایش جریان آن می‌شود، با افزایش این جریان کل جریان وارد شده به مقاومت $R_E$ نیز بیشتر می‌شود و لذا ولتاژ امیتر افزایش می‌یابد. افزایش $V_E$ باعث کاهش $V_{BE}$ و یا تحریک ترانزیستور می‌شود. با کاهش تحریک ترانزیستور جریان $I_C$ کاهش می‌یابد. لذا می‌توان گفت اثر افزایش $I_{CBO}$ در جریان کلکتور بدین ترتیب جبران شده است.

---

**۱۷ـ گزینه «۴»** نقطه‌ی کار مناسب وسط خط بار ac یا همان نقطه‌ی کار بهینه می‌باشد که در آن باید $I_{CQ}=\frac{V_{CC}-V_{CE,sat}}{R_{DC}+R_{ac}}$ باشد. مطابق شکل $R_{ac}=(2\|2)+1=2K\Omega$ و $R_{DC}=1+2=3k\Omega$ می‌باشد در نتیجه با فرض $V_{CE,sat}\simeq 0$ مقدار جریان نقطه‌ی کار بهینه به صورت زیر محاسبه می‌شود:




$$I_{CQ}=\frac{V_{CC}-V_{CE,sat}}{R_{ac}+R_{DC}}=\frac{25}{2+3}=5mA$$

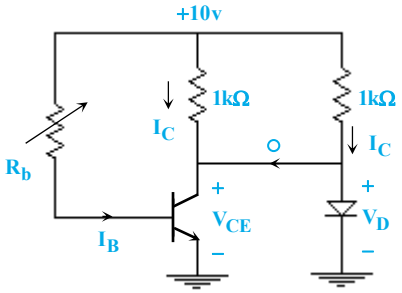
حال با نوشتن KVL در حلقه‌ی خروجی مطابق شکل مقابل مقدار $V_{CE}$ نیز محاسبه می‌شود:

$$KVL: V_{CEQ}=V_{CC}-(2+1)I_{CQ}\rightarrow V_{CEQ}=10\,V$$

---

**۱۸ـ گزینه «۱»** با توجه به گزینه‌های سؤال در صورتی که ولت‌متر عدد صفر را نشان دهد، می‌توان به جای آن سیم قرار داد. به این ترتیب مطابق شکل مقادیر ولتاژها و جریان‌ها را محاسبه می‌کنیم.

دقت شود به علت مشابه بودن دیود و دیود کلکتور ـ امیتر در ترانزیستور از هر دو مقاومت یک کیلو اهمی جریان یکسانی عبور می‌کند، لذا جریان کلکتور به صورت زیر محاسبه می‌شود:



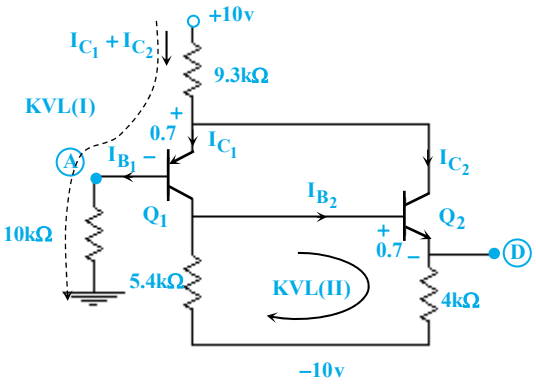

$$I_C=\frac{V_{CC}-V_D}{1}=\frac{9/4}{1}\quad,\quad I_B=\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_b}=\frac{9/4}{R_b}$$

اما رابطه‌ی بین جریان کلکتور و بیس به صورت $I_C=\beta.I_B$ می‌باشد؛ لذا داریم:

$$I_C=\beta I_B\rightarrow\frac{9/4}{1}=\beta.\frac{9/4}{R_b}\Rightarrow\beta=R_b$$

---

**۱۹ـ گزینه «۲»** با فرض جریان‌های $I_{C_1}$ و $I_C$ مطابق شکل زیر و صرف نظر از جریان‌های بیس داریم:




$$KVL(I): 10\simeq 9/3(I_{C_1}+I_{C_2})+0/7$$

$$KVL(II): 5/4I_{C_1}\simeq 0/7+4I_{C_2}$$

$$\Rightarrow\begin{cases}I_{C_1}+I_{C_2}=1\\5/4I_{C_1}=0/7+4I_{C_2}\end{cases}\Rightarrow I_{C_1}=I_{C_2}=0/5mA$$

حال برای ولتاژ نقاط A و D داریم:

$$\begin{cases}V_D=4I_{C_2}-10=-8V\\V_A=10I_{B_1}=0/05=50mV\end{cases}$$

---

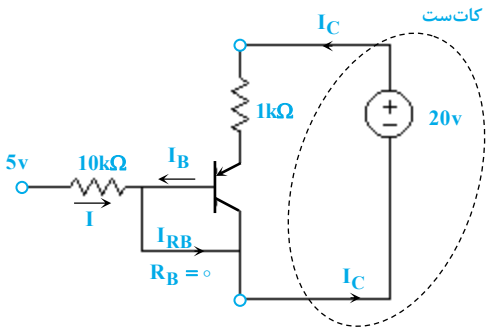
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۰ـ گزینه «۱»** برای مقاومت $R_B$ دو حالت حدی $R_B = ۰$ و $R_B = \infty$ را بررسی می‌کنیم:

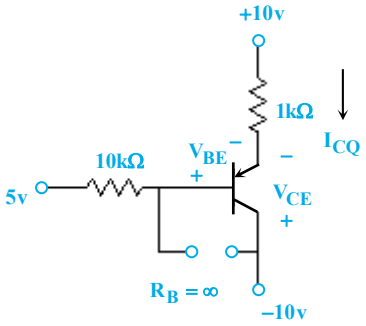
۱) $R_B = ۰$: در این حالت جریان $I_B$ به دلیل لزوم برقراری KCL باید منفی باشد، لذا ترانزیستور در این حالت خاموش می‌شود.




$$I_{R_B} = ۰ \rightarrow I_B + \frac{۵-(-۱۰)}{۱۰} = ۰$$

$$\rightarrow I_B = -۱/۵\text{mA} \rightarrow$$ ترانزیستور قطع می‌شود

۲) $R_B = \infty$: در این حالت مدار مانند حالتی که مقاومت $R_B$ وجود ندارد، عمل می‌کند:



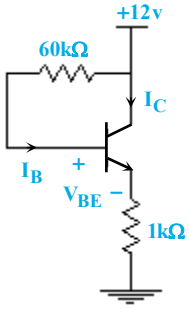

$$I_{CQ} = \frac{۱۰+V_{BE}-۵}{۱+\frac{۱۰}{۱۰۰}} = ۳/۹\text{mA}$$

حلقه‌ی خروجی $\text{KVL}: V_{CE} = -۲۰+I_{CQ} = -۱۶/۱۷ < -۰/۲$

لذا در مجموع می‌توان گفت ترانزیستور هیچ‌گاه وارد ناحیه‌ی اشباع نمی‌شود اما وارد ناحیه قطع می‌شود.

---

**۲۱ـ گزینه «۱»** با نوشتن KVL در مسیر شامل بیس ـ امیتر و در نظر گرفتن $I_B \simeq \frac{I_E}{\beta}$ رابطه‌ی جریان کلکتور به صورت زیر می‌باشد:



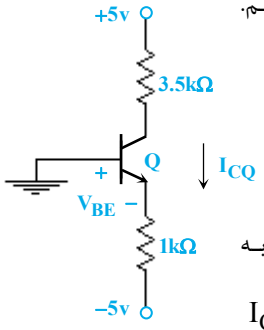

$$\text{KVL}: I_C = \frac{۱۲-V_{BE(on)}}{۱+\frac{۶۰}{\beta}}$$

برای مقادیر ابتدا و انتهای بازه‌ی تغییرات $\beta$، مقدار جریان کلکتور برابر می‌شود با:

$$\begin{cases} \beta = ۵۰ \rightarrow I_{C_۱} = ۵/۱۳۷\text{mA} \\ \beta = ۱۰۰ \rightarrow I_{C_۲} = ۸/۶۹\text{mA} \end{cases} \Rightarrow \Delta I_{CQ} = I_{C_۲} - I_{C_۱} = ۳/۶\text{mA}$$

---

**۲۲ـ گزینه «۳»** در ابتدا با فرض فعال بودن ترانزیستور با نوشتن KVL در حلقه‌ی ورودی مقدار جریان را به دست می‌آوریم.




پس شرط فعال بودن یعنی $V_{CE} > V_{CE,sat}$ را بررسی می‌کنیم:

حلقه‌ی ورودی $\text{KVL}: I_{CQ} = \frac{۰-V_{BE(on)}-(-۵)}{۱} = ۴/۴\text{mA}$

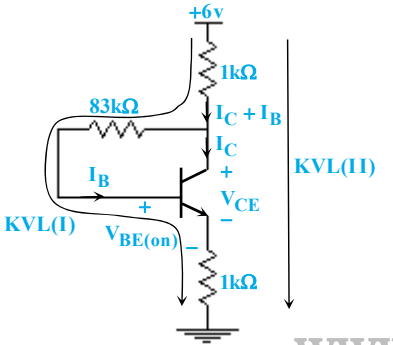
حلقه‌ی خروجی $\text{KVL}: V_{CE} = ۱۰-۴/۵\times۴/۴ = -۹/۸ < V_{CE,sat}$

در نتیجه ترانزیستور وارد ناحیه‌ی اشباع می‌شود؛ در این حالت با قراردادن $V_{CE} = V_{CE,sat}$ ولتاژ کلکتور و جریان آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I_C = \frac{۵-V_C}{۳/۵} = \frac{۵-V_E}{۳/۵} = \frac{۵-(-۰/۶)}{۳/۵} = ۱/۶\text{mA}$$

---

**۲۳ـ گزینه «۲»** در ابتدا جریان‌ها را مطابق شکل مقابل در مدار پخش می‌کنیم:




$$\text{KVL(I)}: ۶ = ۱(I_C + I_B) + ۸۳I_B + V_{BE(on)} + ۱\times I_C$$

$$\xrightarrow{I_B = \frac{I_C}{\beta}} I_C = ۱/۹\text{mA}$$

$$\text{KVL(II)}: V_{CE} = ۶ - ۱(I_C + I_B) - ۱\times I_C = ۲/۲\text{v}$$

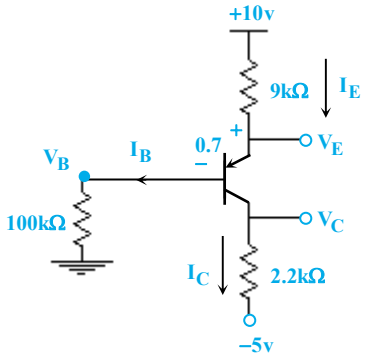
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۴ـ گزینه «۴»** در این حالت جای پایه‌های امیتر و کلکتور تغییر می‌کنند، ولی پایه‌ی بیس تغییر نمی‌کند. در این حالت باید دقت کرد پیوند کلکتور نقش گسیل کردن حامل‌ها را بر عهده دارد؛ اما چون ناخالصی کلکتور کمتر از امیتر می‌باشد، تقویت جریان به شدت کاهش می‌یابد، لذا به همین دلیل برخلاف ترانزیستورهای اثر میدانی در ترانزیستورهای دوقطبی جای پایه‌های امیتر و کلکتور را نمی‌توان عوض کرد.

**۲۵ـ هیچ‌کدام از گزینه‌ها صحیح نیست.** برای محاسبه‌ی $\beta$ کافی است تا جریان‌های ترانزیستور را محاسبه کنیم؛ سپس با فرض فعال بودن و با استفاده از رابطه‌ی $I_C = \beta I_B$ می‌توانیم مقدار $\beta$ را به دست آوریم.




$$V_B = ۱v \rightarrow I_B = \frac{V_B}{۱۰۰k} = ۱۰\mu A$$

$$V_E = V_B + ۰/۷ = ۱/۷ \rightarrow I_E = \frac{۱۰ - ۱/۷}{۹k} = ۰/۹۲۲mA$$

$$V_C = -۲/۸ \rightarrow I_C = \frac{-۲/۸ - (-۵)}{۲/۲} = ۱mA$$

اما متأسفانه قانون KCL با توجه به اعداد داده شده در این ترانزیستور برقرار نمی‌باشد:

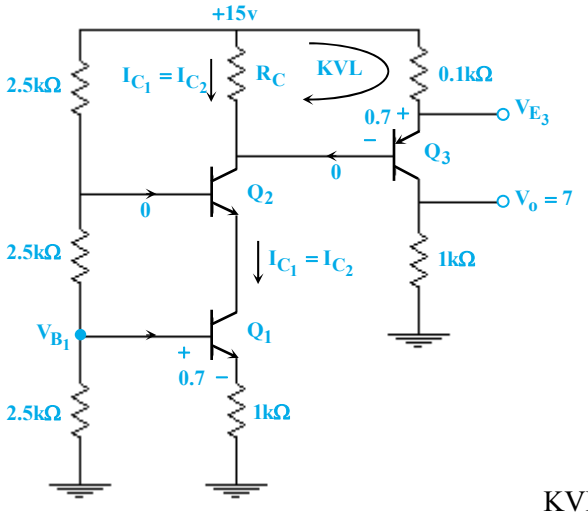
$I_E \neq I_B + I_C \rightarrow$ سؤال اشتباه می‌باشد

**۲۶ـ گزینه «۴»** با توجه به مقدار ولتاژ شکست دیود زنر یعنی $V_Z = ۶v$، برای قطع شدن دیود زنر باید ولتاژ دو سر آن (که برابر ولتاژ کلکتور می‌باشد) کمتر از $V_Z = ۶$ باشد. در مرز قطع شدن دیود زنر داریم:

$$V_Z = V_C = ۶v \quad , \quad I_Z = ۰ \rightarrow I_C = \frac{۱۲ - V_Z}{۲k} = ۳mA$$

$$\text{حلقه ورودی KVL}: V_i = ۱۰ \times I_B + V_{BE} + ۱ \times I_C = ۴v$$

**۲۷ـ گزینه «۴»** با صرف نظر کردن از جریان بیس ترانزیستورها، مطابق شکل زیر ولتاژها و جریان‌های لازم را در ابتدا محاسبه می‌کنیم:




$$V_{B_۱} = \frac{۲/۵}{۲/۵ + ۲/۵ + ۲/۵} \times ۱۵ = ۵V$$

$$I_{C_۱} = \frac{V_{B_۱} - ۰/۷}{۱K} = ۴/۳mA$$

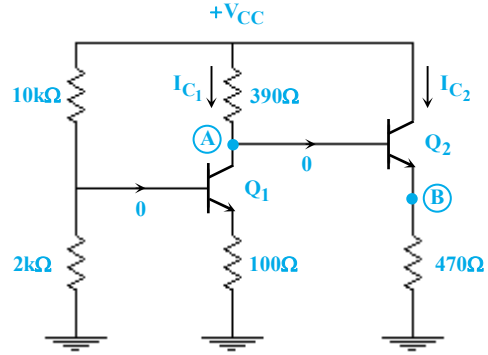
با توجه به مقدار مطلوب DC در خروجی جریان ترانزیستور $Q_۳$ را می‌توان محاسبه کرد:

$$I_{C_۳} = \frac{V_{O,dc}}{۱K} = \frac{۷}{۱} = ۷mA$$

اکنون برای به دست آوردن مقدار مقاومت $R_C$ کافی است ولتاژ دو سر آن را به دست آوریم و به مقدار $I_{C_۱} = I_{C_۲}$ تقسیم کنیم:

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_{C_۱}} = \frac{۱/۴V}{۴/۳mA} = ۳۲۵\Omega \quad , \quad KVL: V_{RC} = ۰/۱I_{C_۳} + ۰/۷ = ۱/۴$$

**۲۸ـ گزینه «۱»** با توجه به فرض‌های مسئله، تغییرات دما فقط روی پارامترهای $I_{CBO}$ و $V_{BE}$ تأثیرگذار خواهد بود. با افزایش دما $I_{CBO}$ بیشتر می‌شود و طبق رابطه‌ی $I_C = \beta I_B + (\beta + ۱)I_{CBO}$ جریان کلکتور در هر دو ترانزیستور بیشتر می‌شود.




در صورتی که فرض کنیم ولتاژ بیس هر دو ترانزیستور نیز ثابت باشد، با افزایش دما مقدار $V_{BE}$ کمتر می‌شود و در نتیجه ولتاژ امیتر هر دو ترانزیستور بیشتر می‌شود که به دنبال آن جریان هر دو ترانزیستور نیز افزایش می‌یابد. حال به بیان ولتاژ نقاط A و B برحسب جریان‌های کلکتور ترانزیستورها می‌پردازیم:

$$V_A = V_{CC} - ۰/۳۹I_{C_۱}$$

$$V_B = ۰/۴۷I_{C_۲}$$

همانطور که گفته شد، هر دوی $I_{C_۱}$ و $I_{C_۲}$ افزایش پیدا می‌کنند، لذا ولتاژ نقطه‌ای B افزایش و ولتاژ نقطه‌ای A کاهش می‌یابد.

www.modaresanesharif.ac.ir

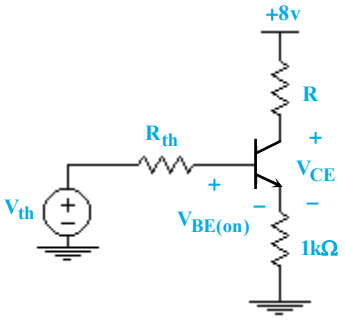
www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۹ـ گزینه «۲»** در ابتدا معادل تونن از دید بیس را محاسبه می‌کنیم:

$$R_{th} = ۲۰۰k \,||\, ۶۰۰k = ۱۵۰k\Omega$$

$$V_{th} = \frac{۲۰۰}{۲۰۰+۶۰۰} \times ۸ = ۲v$$




با نوشتن KVL در حلقه‌ی ورودی جریان $I_{CQ}$ را محاسبه می‌کنیم:

$$\text{KVL}: I_{CQ} = \frac{V_{th} - V_{BE(on)}}{۱ + \frac{R_{th}}{\beta}} = \frac{۲ - ۰/۷}{۱ + \frac{۱۵۰}{۵۰}} = ۰/۳۲۵\,mA \quad \text{حلقه ورودی}$$

حال باید شرایط فعال ماندن ترانزیستور را بررسی کنیم:

$$\text{KVL}: V_{CE} = V_{CC} - (R+۱)I_{CQ} = ۸ - (R+۱) \times ۰/۳۲۵ \quad \text{حلقه خروجی}$$

$$V_{CE} \geq V_{CE,sat} \rightarrow ۸ - (R+۱) \times ۰/۳۲۵ \geq ۰/۲ \rightarrow \boxed{R \leq ۲۳k\Omega} \quad \text{شرط فعال بودن}$$

---

**۳۰ـ گزینه «۳»** برای تغذیه بهینه باید نقطه کار در وسط خط بار ac قرار گیرد یا به عبارتی باید در نقطه‌ی کار بهینه باشیم:

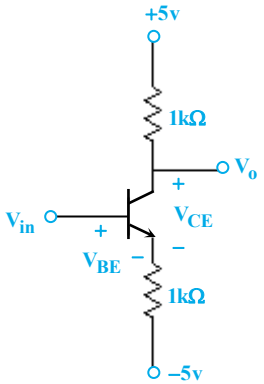
$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{ac} + R_{DC}} = \frac{۲ \times ۸ - ۰}{۳ + ۳} = \frac{۸}{۳}\,mA$$

حال با توجه به جریان محاسبه شده مقادیر ولتاژهای دو سر مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ را محاسبه می‌کنیم.

$$\left.\begin{aligned} V_{R_۱} &= ۱ \times I_C - V_{BE} = ۳/۳۷v \\ V_{R_۲} &= ۱۶ - V_{R_۱} = ۱۲/۶۳v \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{R_۲}{R_۱} = \frac{V_{R_۲}}{V_{R_۱}} \simeq ۳/۷۵ \Rightarrow R_۲ > R_۱$$

---

**۳۱ـ گزینه «۱»** چون ترانزیستور از نوع npn می‌باشد، انتظار داریم در ابتدا ترانزیستور از ناحیه‌ی خاموش و یا فعال شروع به کار کند و با افزایش ولتاژ ورودی به سمت اشباع حرکت کند. با توجه به این که $V_{BE} = ۰$ می‌باشد، لذا برای روشن شدن دیود بیس ـ امیتر باید میزان ورودی از ۵- ولت بیشتر باشد، پس در بازه‌ی $-۱۰ < V_{in} < -۵$ ترانزیستور خاموش می‌باشد و ولتاژ خروجی برابر ۵+ ولت می‌شود. حال اگر ورودی را از ۵- ولت افزایش دهیم، ترانزیستور روشن می‌شود؛ ولی باید دقت کنیم با افزایش تحریک ورودی، خطر اشباع رفتن ترانزیستور وجود دارد که باید بررسی شود:




$$\text{KVL}: I_C = \frac{V_i - V_{BE} + ۵}{۱} \quad \text{حلقه‌ی ورودی}$$

$$\rightarrow I_C = V_i + ۵$$

$$\text{KVL}: V_O = ۵ - ۱ \times I_C = -V_i \rightarrow V_O = -V_i \quad \text{حلقه‌ی خروجی}$$

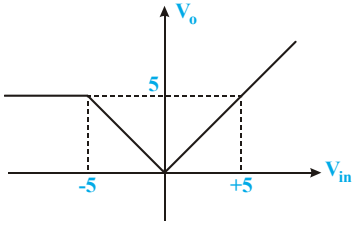
حال برای بررسی شرط اشباع ترانزیستور با استفاده از قانون KVL در حلقه‌ی خروجی داریم:

$$\text{KVL}: V_{CE} = ۵ - (-۵) - ۲I_{CQ} = ۱۰ - ۲(V_{in} + ۵) = -۲V_{in}$$

$$V_{CE} > V_{CE,sat} \rightarrow -۲V_{in} > ۰ \rightarrow V_{in} < ۰ \quad \text{شرط فعال بودن}$$

لذا می‌توان گفت برای مقادیر $V_{in} > ۰$ ترانزیستور وارد ناحیه‌ی اشباع و $V_{CE} = ۰$ می‌شود و در نتیجه ولتاژ خروجی برابر می‌شود با:

$$V_O = V_{CE,sat} + ۱ \times I_E - ۵ \xrightarrow{I_E = \frac{V_{in}+۵}{۱}} V_O = V_{in}$$




در مجموع می‌توان رفتار ترانزیستور را با تغییرات ورودی به صورت زیر بیان کرد:

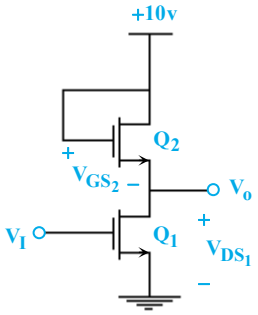
$$V_O = \begin{cases} +۵ & ; -۱۰ < V_{in} < -۵ \\ -V_{in} & ; -۵ < V_{in} < ۰ \\ +V_{in} & ; V_{in} > ۰ \end{cases}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**درسنامه (۲): ترانزیستورهای اثر میدانی** (Field Effect Transistors)




**۳۲ـ گزینه «۲»** ترانزیستور $Q_2$ چون پایه‌های گیت و درین آن به هم وصل شده‌اند همواره در ناحیه اشباع یا pinch – off می‌باشد. لذا در ادامه باید شرط اشباع (فعال) را برای $Q_1$ برحسب ولتاژ ورودی پیدا کنیم. با توجه به سری بودن دو ترانزیستور و شرط تساوی جریان آن‌ها داریم:

$$I_{DS_1} = I_{DS_2} \rightarrow k_1(V_{GS_1} - V_{TH_1})^2 = k_2(V_{GS_1} - V_{TH_2})^2$$

$$\rightarrow V_{GS_2} = 2V_{GS_1} - 2 \quad (I)$$

از طرفی با نوشتن قانون KVL از منبع تغذیه تا زمین داریم: $KVL: V_{GS_2} + V_{DS_1} = 10 \quad (II)$

با جایگذاری رابطه‌ی (I) در (II) داریم:

$$2V_{GS_1} - 2 + V_{DS_1} = 10 \rightarrow V_{DS_1} = 12 - 2V_{GS_1} \quad (*)$$

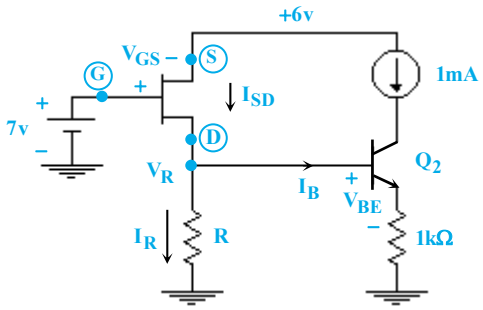
شرط فعال بودن: $V_{DS_1} > V_{GS_1} - V_{TH} \xrightarrow{(*)} 12 - 2V_{GS_1} \geq V_{GS_1} - V_{TH} \rightarrow V_{GS_1} \leq 4/6\,v$

از طرفی برای روشن شدن $Q_1$ هم باید $V_{GS_1} \geq V_{TH}$ باشد؛ لذا در مجموع داریم:

$$2 \leq V_I = V_{GS_1} \leq 4/6\,v$$

---

**۳۳ـ گزینه «۲»** برای به دست آوردن مقدار مقاومت R لازم است تا مقدار ولتاژ دو سر و جریان آن را در ابتدا محاسبه کنیم. لذا ابتدا جریان ترانزیستور JFET را مطابق شکل روبه‌رو و با فرض فعال بودن حساب می‌کنیم:




$$I_D = \frac{I_{DSS}}{V_p^2}(V_{GS} - V_p)^2 \quad , \quad V_{GS} = 7 - 6 = 1$$

$$I_D = 120^{\mu A}\,(1 - \frac{1}{4})^2 = 67/5\,\mu A$$

از طرفی در مورد جریان بیس $Q_2$ داریم:

$$I_{B_2} = \frac{I_{C_2}}{\beta} = 10\,\mu A$$

با نوشتن قانون KCL در گره $V_R$ داریم:

$$I_R = I_{SD} - I_B = 67/5 - 10 = 57/5\,\mu A$$

ولتاژ دو سر مقاومت را نیز به صورت زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$V_R = V_{BE_2} + 1k\Omega \times 1mA = 1/7\,v$$

بدین ترتیب با داشتن مقادیر $V_R$ و $I_R$ می‌توانیم اندازه مقاومت R را حساب کنیم:

$$R = \frac{V_R}{I_R} \simeq 30\,k\Omega$$

---

**۳۴ـ گزینه «۴»** از آنجایی که هر دو ترانزیستور در ناحیه‌ی pinch-off بایاس شده‌اند و چون پایه‌های گیت و سورس ترانزیستور $Q_1$ به هم وصل شده‌اند، یا به‌عبارتی $V_{GS_1} = 0$ است، با استفاده از رابطه‌ی ناحیه فعال JFET در نتیجه جریان هر دو ترانزیستور برابر مقدار $I_{DSS_1}$ می‌باشد. لذا با کاهش $I_{DSS_1}$ جریان درین $Q_2$ نیز باید کاهش یابد که تنها راه آن کاهش $V_{GS_2}$ می‌باشد. با کاهش $V_{GS_2}$ مقدار $V_{DS_1}$ بیشتر می‌شود و لذا می‌توان گفت که $Q_1$ همواره در اشباع باقی می‌ماند. اما در مورد $Q_2$ داریم:

حلقه خروجی $KVL: V_{DS_2} = V_{DD} - RI - V_{DS_1}$

شرط اشباع: $V_{DS_2} > V_{GS_2} - V_p \xrightarrow[V_{DS_1} = -V_{GS_2}]{V_{DS_2} = V_{DD} - RI - V_{DS_1}} V_{DD} - RI - V_{DS_1} > -V_{DS_1} - V_p \rightarrow V_{DD} - RI > -V_p$

شرط فوق از ابتدا برای $Q_2$ برقرار بوده است؛ اما در این حالت با کاهش $I_{DSS_1}$ می‌دانیم که جریان درین هر دو ترانزیستور کاهش می‌یابد و رابطه فوق با شدت بیشتری همچنان برقرار خواهد بود؛ لذا در مجموع می‌توان گفت هر دو ترانزیستور در حالت Pinch-off باقی می‌مانند.

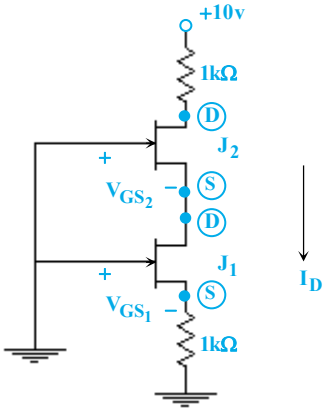
---

**۳۵ـ گزینه «۳»** برای آنکه ترانزیستور در ناحیه‌ی فعال (در مورد ترانزیستورهای اثر میدانی منظور همان ناحیه‌ی اشباع می‌باشد) باشد، باید $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ باشد؛ با توجه به اطلاعات مسئله $V_{DS} > 4V$ باید باشد. اما برای آنکه دو ولت سوئینگ ac نیز داشته باشیم و ترانزیستور همچنان در ناحیه‌ی اشباع باشد، باید $V_{DS} > 6$ باشد تا در نیم سیکل منفی خروجی که $V_{DS}$ به اندازه‌ی دو ولت کاهش می‌یابد همچنان شرط $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ برقرار باشد. چراکه در حالت ac، تنها ولتاژ درین تغییر می‌کند و ولتاژ سورس به دلیل خازن بای‌پس تغییرات ac را ندارد. از این رو مقدار تغییرات ac روی $v_o$ که برابر تغییرات ac روی $V_D$ است، بدون تغییر به $V_{DS}$ منتقل می‌شود. پس برای عملکرد مناسب و داشتن دو ولت سوئینگ باید $V_{DS} = 6V$ باشد.

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir






**۳۶ـ گزینه «۴»** با توجه به اینکه هر دو ترانزیستور مشابه و سری هستند، پس جریان و $V_{GS}$ آنها با یکدیگر برابر می‌باشند. با فرض فعال بودن ترانزیستورها و استفاده از رابطه‌ی جریان در ناحیه‌ی فعال داریم:

$$I_{D_1} = I_{D_2} = I_D$$

$$V_{GS_1} = V_{GS_2} = V_{GS} = -1K\Omega \times I_D$$

رابطه‌ی جریان در ناحیه‌ی فعال: $I_{DS} = \frac{I_{DSS}}{V_P^2}(V_{GS} - V_P)^2 \xrightarrow[V_P=-5V]{I_{DSS}=10mA}$

$$I_{DS} = \frac{10}{25}(-I_{DS} + 5)^2 \rightarrow I_{DS} = 2/5mA$$

حال باید با مقدار $I_{DS} = 2/5mA$ شرط فعال بودن ترانزیستورها را بررسی کنیم:

$$I_{DS} = 2/5mA \xrightarrow{V_{GS}=-I_D} V_{GS_1} = V_{GS_2} = -2/5V \xrightarrow[V_{G_2}=0]{V_{G_1}=0} V_{S_1} = V_{S_2} = V_{D_1} = 2/5$$

$$\text{pinch} - \text{off} \text{ شرط} 0 > -2/5 + 5 \rightarrow 0 > 2/5 : V_{DS_1} > V_{GS_1} - V_P \rightarrow V_{D_1} - V_{S_1} > V_{GS_1} - V_P \xrightarrow[V_{D_1}=2/5V]{V_{S_1}=2/5V}$$

در نتیجه شرط فعال بودن برای ترانزیستور $J_1$ برقرار نمی‌باشد و برای محاسبه‌ی جریان باید از رابطه‌ی جریان در ناحیه‌ی ترایود استفاده کرد.

**۳۷ـ گزینه «۳»** یک ترانزیستور MOSFET در صورتی که در ناحیه‌ی اشباع باشد، میزان جریان آن فقط تابع $V_{GS}$ خواهد بود و با تغییرات $V_{DS}$ جریان تغییراتی نخواهد داشت. اما در صورتی که ترانزیستور در ناحیه‌ی اهمی یا ترایود باشد، تغییرات جریان علاوه بر $V_{GS}$ به تغییرات $V_{DS}$ هم حساس می‌شود. در مورد ترانزیستور NMOS با مشخصات داده شده داریم:

$$\begin{cases} V_{DS} \le 4 \\ V_{GS} - V_{TH} = 4 \end{cases} \rightarrow \text{شرط اشباع برقرار نمی‌باشد}$$

$$I_{DS} = f(V_{DS}, V_{GS})$$

در نتیجه ترانزیستور در ناحیه‌ی ترایود می‌باشد و داریم:

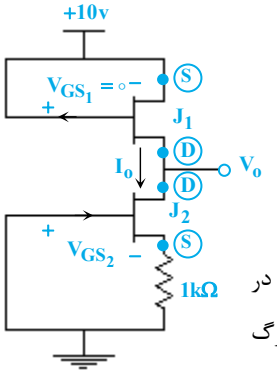
**۳۸ـ گزینه «۳»** برای آنکه ترانزیستور در ناحیه‌ی اشباع باشد، باید شرط $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ برقرار باشد که با توجه به اطلاعات مسئله معادل $V_{DS} > 5$ می‌شود. اما با تغییرات ولتاژ خروجی در حالت ac ولتاژ دو سر درین و سورس تغییر می‌کند چراکه $V_D$ تغییر کرده ولی $V_S$ به‌دلیل خازن بای‌پس بدون تغییر می‌ماند. برای عملکرد مناسب ترانزیستور همواره باید شرط $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ برقرار باشد. پس اگر $V_{DS} = 8$ باشد، در این صورت با تغییرات ولتاژ خروجی در نیم سیکل منفی به اندازه‌ی ۳ ولت همچنان شرط اشباع برقرار خواهد بود.

**۳۹ـ گزینه «۲»** در ابتدا فرض می‌کنیم هر دو ترانزیستور در ناحیه‌ی اشباع باشند. در این صورت داریم:

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{V_P^2}(V_{GS} - V_P)^2$$

$$V_{GS_1} = 0 \rightarrow I_{D_1} = 4mA$$

$$V_{GS_2} = -1K\Omega \times I_{D_2} \rightarrow I_{D_2} = 4(1 - \frac{-I_{D_2}}{-2})^2 \rightarrow I_{D_1} = 1mA$$




همانطور که دیده می‌شود، جریان‌های ناحیه‌ی فعال دو ترانزیستور با هم برابر نیستند، لذا هر دو نمی‌توانند در ناحیه‌ی اشباع باشند. در صورتی که فرض کنیم $J_1$ در اشباع باشد و $J_2$ از اشباع خارج شود، ولتاژ $V_{GS_2} = -4V$ می‌شود که باعث خاموش شدن ترانزیستور $J_2$ می‌شود.

پس می‌توان گفت که $J_2$ در ناحیه‌ی اشباع خواهد بود ولی $J_1$ وارد ناحیه‌ی ترایود می‌گردد؛ اما جریان هر دو ترانزیستور برابر 1mA می‌باشد.

در ناحیه‌ی ترایود جریان به مقدار $V_{DS}$ وابسته می‌باشد، لذا با کمک رابطه‌ی جریان در ناحیه‌ی ترایود می‌توان $V_{DS_1}$ و در نتیجه $V_O$ را حساب کرد. ولی می‌دانیم که در ناحیه‌ی ترایود $V_{DS}$ مقدار کوچکی خواهد داشت، لذا $V_O$ باید عددی بزرگ باشد؛ در نتیجه با توجه به گزینه‌ها و بدون استفاده از رابطه‌ی جریان در ناحیه‌ی ترایود می‌توان گزینه‌ی (۲) را انتخاب کرد.

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

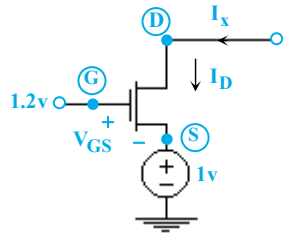


**۴۰ـ گزینه «۱»** شرط اشباع به صورت $V_{DS} > V_{GS} - V_P$ می‌باشد، یعنی باید $V_{DS} \geq ۲$ باشد و برای مقدار جریان با کمک رابطه‌ی جریان در ناحیه‌ی اشباع داریم:

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{V_P^۲}(V_{GS} - V_P)^۲ \rightarrow I_D = ۴mA$$

---

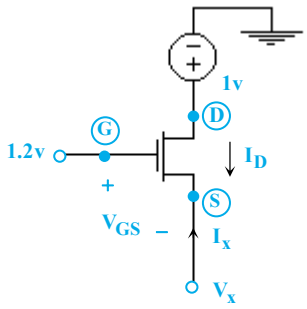
**۴۱ـ گزینه «۴»** همان‌طور که می‌دانید پایه‌های سورس و درین در ترانزیستورهای اثر میدانی قابلیت جابجایی را دارند ولی باید دقت کرد در ترانزیستور MOSFET کانال N پایه درین به سطح ولتاژی بالاتر از پایه سورس وصل می‌شود؛ لذا برای مقادیر $V_x > ۱v$ پایه‌های سورس و درین ترانزیستور به صورت زیر مشخص می‌شوند:




$$V_{GS} = ۱/۲ - ۱ = ۰/۲ < V_{TH} \rightarrow I_D = I_x = ۰$$

یعنی برای مقادیر $V_x > ۱v$ ترانزیستور خاموش می‌باشد.

حال اگر $V_x < ۱v$ باشد جای پایه‌های سورس و درین عوض می‌شود:




شرط روشن شدن: $V_{Gs} > V_{th} \rightarrow ۱/۲ - V_x > ۰/۴ \rightarrow V_x < ۰/۸$

تاکنون می‌دانیم که به ازای $V_x < ۰/۸$ ترانزیستور روشن می‌شود و البته جای پایه‌های سورس و درین آن عوض می‌شوند. در این حالت ناحیه کاری ترانزیستور را تعیین می‌کنیم:

$$V_{GD} = ۱/۲ - ۱ = ۰/۲ \xrightarrow{\text{شرط اشباع}} V_{GD} < V_{TH} \rightarrow ۰/۲ < ۰/۴ \ \checkmark$$

یعنی ترانزیستور در ناحیه اشباع قرار دارد؛ لذا جریان در این ناحیه به صورت زیر می‌باشد:

$$I_D = -I_x = k(V_{GS} - V_{TH})^۲ \Rightarrow |I_x| = k(۰/۸ - V_x)^۲$$

---

**۴۲ـ گزینه «۴»** ترانزیستور $Q_۱$ چون که پایه‌های گیت و درین آن به هم متصل شده‌اند همواره در ناحیه اشباع می‌باشد؛ لذا جریان آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

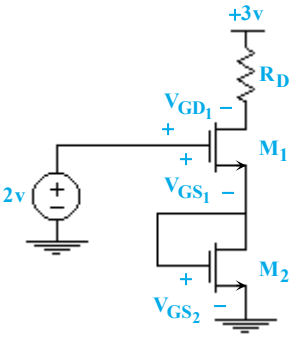
$$I_{D_۱} = \frac{۱}{۲}\mu_n C_{ox}(\frac{w}{L})(V_{GS_۱} - V_{TH})^۲ \rightarrow \frac{۱}{۴}(V_{GS_۱} - ۲)^۲ = ۱ \rightarrow V_{GS_۱} = ۴v$$

اما چون مشخصات هر دو ترانزیستور یکسان می‌باشند و جریان‌های آنها نیز باید برابر باشند، لذا $V_{GS_۲} = ۴v$ می‌باشد. بدین ترتیب $V_{G_۲} = V_{GS_۱} + V_{GS_۲} = ۸v$ می‌شود. حال با استفاده از تقسیم مقاومتی ساده و مقدار $V_{G_۲}$ می‌توانیم نسبت مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ را محاسبه کنیم:

$$V_{G_۲} = \frac{R_۲}{R_۱ + R_۲} \times V_{DD} \rightarrow ۸ = \frac{R_۲}{R_۱ + R_۲} \times ۲۰ \rightarrow \frac{R_۲}{R_۱} = \frac{۲}{۳} \rightarrow R_۱ = ۶$$

---

**۴۳ـ گزینه «۴»** در ابتدا با کمک اطلاعات مسئله جریان ترانزیستورها را به دست می‌آوریم. چون پایه‌های گیت و درین ترانزیستور $M_۲$ به هم وصل شده‌اند پس همواره در ناحیه اشباع می‌باشد. از طرف دیگر چون جریان هر دو ترانزیستور باید برابر باشد و چون مشخصات هر دو ترانزیستور مشابه هم هستند پس حتماً $V_{GS_۱} = V_{GS_۲}$ می‌باشد. در این صورت مقدار جریان دو ترانزیستور برابر است با:




$$KVL: ۲ = V_{GS_۱} + V_{GS_۲} \rightarrow V_{GS_۱} = V_{GS_۲} = ۱$$

$$I_{D_۱} = I_{D_۲} = \frac{۱}{۲}\mu_n C_{ox}(\frac{w}{L})(V_{GS} - V_{TH})^۲ = ۲ \times (۱ - ۰/۵)^۲ = ۰/۵mA$$

همان‌طور که گفته شد $M_۲$ همواره در ناحیه اشباع می‌باشد ولی برای اشباع ماندن $M_۱$ داریم: $V_{GD_۱} < V_{TH} \rightarrow ۲ - V_{D_۱} < ۰/۵ \rightarrow V_{D_۱} > ۱/۵v$

در ناحیه‌ی اشباع و مرز اشباع نیز مقدار جریان شاخه خروجی همان مقدار $۰/۵mA$ می‌باشد؛ در نتیجه برای مقاومت $R_D$ داریم:

$$I_{RD} = \frac{۳ - V_{D_۱}}{R_D} \rightarrow V_{D_۱} = ۳ - R_D I = ۳ - \frac{R_D}{۲}$$

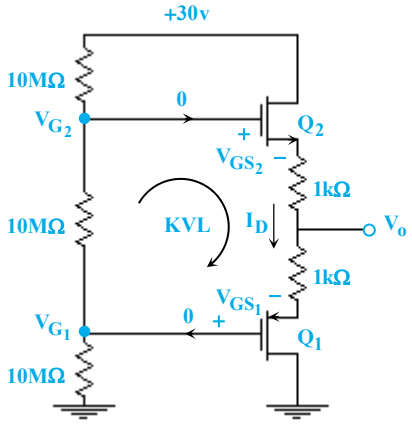
شرط اشباع: $V_{D_۱} > ۱/۵ \rightarrow ۳ - \frac{R_D}{۲} > ۱/۵ \rightarrow R_D < ۳k\Omega \rightarrow R_{D,max} = ۳k\Omega$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۴۴ـ گزینه «۲»** چون ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ مشابه هستند و با یکدیگر به صورت سری قرار گرفته‌اند، پس باید $V_{GS_2}=-V_{GS_1}$ باشد. از طرف دیگر با توجه به صفر بودن جریان پایه‌های گیت می‌توانیم ولتاژ گیت‌ها را به صورت زیر محاسبه کنیم:




$$V_{G_2}=20v \quad , \quad V_{G_1}=10v$$

$$KVL: V_{G_2}-V_{G_1}=V_{GS_2}+2I_D-V_{GS_1}=10$$

$$\rightarrow V_{GS_2}=-V_{GS_1}=5-I_D$$

با فرض فعال بودن هر دو ترانزیستور و استفاده از رابطه‌ی جریان در ناحیه فعال داریم:

$$I_D=k(V_{GS}-V_{TH})^2=1(5-I_D-3)^2 \Rightarrow I_D=4mA \text{ یا } 1mA$$

برای برقراری فرض فعال بودن هر دو ترانزیستور مقدار $I_D=1mA$ قابل قبول می‌باشد.

---

**۴۵ـ گزینه «۲»** برای آنکه جریان ترانزیستور ثابت بماند باید در ناحیه کاری اشباع باشد. لذا شرط اشباع را بررسی می‌کنیم:

$$V_{DS} \geq V_{GS}-V_{TH} \xrightarrow[V_{TH}=-2]{V_{GS}=0} V_{DS} \geq 2$$

$$V_{DS}=V_{DD}-R_D.I_D \rightarrow 12-R_D \times 0/12 \geq 2 \rightarrow R_D \leq 83/3 k\Omega$$

در نتیجه گزینه دوم یعنی $R_D < 66/7 k\Omega$ درست می‌باشد.

---

**۴۶ـ گزینه «۳»** ولتاژ $V_{GS_1}$ برابر است با $1/5V$. شرط اشباع را می‌نویسیم:

$$V_{DS} > V_{GS}-V_{th} \qquad (1)$$

ولتاژ درین برابر است با:

$$V_D=4-R_D I_{D_1} \qquad (2)$$

ولتاژ سورس نیز برابر صفر است. جریان $I_{D_1}$ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$I_{D_1}=k(V_{GS_1}-V_{th})^2=\frac{1}{2}\mu_n cox(\frac{W}{L})_1(V_{GS_1}-V_{th})^2=\frac{1}{2}\times 20\times 10^{-3}\times\frac{20}{0/2}\times(1/5-0/5)^2=1mA$$

با جایگذاری رابطه (۲) در رابطه (۱) محدود $R_D$ به‌دست می‌آید:

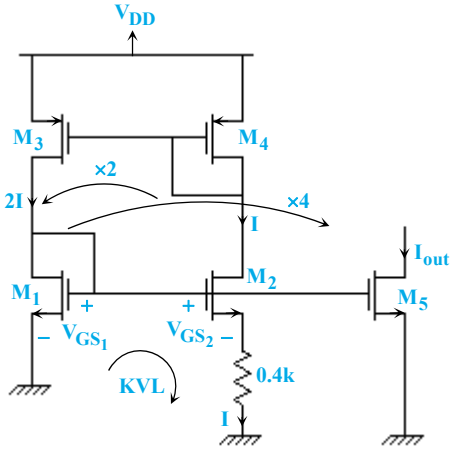
$$4-R_D\times 1>1/5-0/5 \Rightarrow R_D<3k\Omega$$

---

**۴۷ـ گزینه «۳»** با استفاده از روابط داده شده، $k_1$ و $k_2$ را به دست می‌آوریم.

$$k_1=\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}(\frac{W}{L})_1=\frac{25}{2}\frac{mA}{V^2}$$

$$k_2=\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}(\frac{W}{L_2})=\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\times 2(\frac{W}{L})_1=25\frac{mA}{V^2}$$




با توجه به نسبت $(\frac{W}{L})$ها اگر جریان I از ترانزیستورهای $M_2$ و $M_4$ عبور کند، جریان عبوری از $M_1$ و $M_2$ برابر 2I و جریان عبوری از $M_5$ برابر با 8I است.

ابتدا جریان I را محاسبه می‌کنیم. برای این کار لازم است در مسیر مشخص‌شده در شکل، KVL بنویسیم:

$$KVL: -V_{GS_1}+V_{GS_2}+0/4I=0$$

روابط $V_{GS_1}$ و $V_{GS_2}$ را جایگذاری می‌کنید:

$$-V_T-\sqrt{\frac{I_{D_1}}{k_1}}+V_T+\sqrt{\frac{I_{D_2}}{k_2}}+0/4I=0$$

$$-\sqrt{\frac{2I}{25}}+\sqrt{\frac{I}{25}}+0/4I=0 \qquad (1)$$

از رابطه (۱) جریان I برابر با $\frac{1}{4}mA$ به دست می‌آید. جریان خروجی $I_{out}$ برابر است با:

$$I_{out}=8I=2mA$$

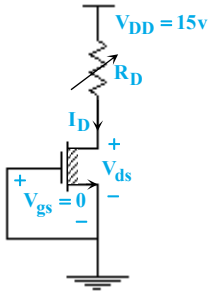
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۴۸ـ گزینه «۱»** می‌دانیم که اگر ترانزیستور MOS در ناحیه‌ی اشباع باشد، مانند یک منبع جریان ثابت می‌تواند عمل کند. پس در این سؤال برای این‌که جریان ثابت بماند $(I = ۸۰\mu A)$ باید شرط اشباع همواره برقرار باشد.



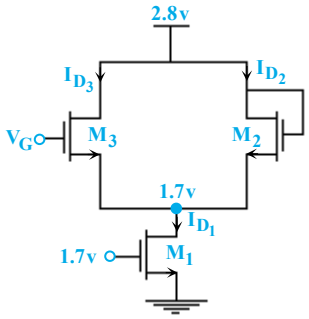

شرط اشباع $\Rightarrow V_{ds} > V_{gs} - V_{th}$

$$V_{ds} = ۱۵ - ۰/۰۸R_D$$

شرط اشباع $\Rightarrow ۱۵ - ۰/۰۸R_D > ۰ - (-۲) \Rightarrow ۱۵ - ۰/۰۸R_D > ۲ \Rightarrow R_D < \frac{۱۳ \times ۲۵}{۲} = ۱۶۲/۵k\Omega$

---

**۴۹ـ گزینه «۴»** در ابتدا با کمک اطلاعات مسئله و تحلیل dc مقادیر جریان هر یک از ترانزیستورها را حساب می‌کنیم. برای ترانزیستور $M_۱$ داریم:




$$I_{D_۱} = \frac{۱}{۲}\mu_n C_{ox}(\frac{w}{L})_۱(V_{gs_۱} - V_{th})^۲$$

$$I_{D_۱} = (\frac{۱}{۲})(۱۰۰ \times ۱۰^{-۶}) \times ۲ \times (۱/۷ - ۰/۷)^۲ \Rightarrow I_{D_۱} = ۱۰۰\mu A$$

برای ترانزیستور $M_۲$ داریم:

$$I_{D_۲} = \frac{۱}{۲}\mu_n C_{ox}(\frac{w}{L})_۲(V_{gs_۲} - V_{th})^۲$$

$$I_{D_۲} = (\frac{۱}{۲})(۱۰۰ \times ۱۰^{-۶}) \times ۸ \times ((۲/۸ - ۱/۷) - ۰/۷)^۲ \Rightarrow I_{D_۲} = ۶۴\mu A$$

در نتیجه طبق قانون KCL باید جریان ترانزیستور M۳ برابر ۳۶μA باشد؛ پس داریم:

$$I_{D_۳} = \frac{۱}{۲}\mu_n C_{ox}(\frac{w}{L})_۳(V_{gs_۳} - V_{th})^۲$$

$$۳۶ \times ۱۰^{-۶} = (\frac{۱}{۲}) \times (۱۰۰ \times ۱۰^{-۶}) \times ۸ \times ((V_G - ۱/۷) - ۰/۷)^۲ \Rightarrow V_G = ۲/۷v$$

---

**۵۰ـ گزینه «۴»** با توجه به اطلاعات مسئله جریان ترانزیستور $M_۱$ برابر $I_{D_۱} = ۰/۵mA$ می‌باشد، در نتیجه جریان ترانزیستور $M_۲$ نیز باید برابر $۰/۵mA$ باشد. پس داریم:

$$I_{D_۲} = \frac{۱}{۲}\mu_p C_{ox}(\frac{W}{L})_۲ \times (V_{SG_۲} - |V_{TP}|)^۲ \Rightarrow ۰/۵ = \frac{۱}{۲} \times ۰/۱ \times (\frac{W}{L})_۲ \times (۱ - ۰/۵)^۲ \Rightarrow (\frac{W}{L})_۲ = ۴۰ \Rightarrow W_۲ = ۸\mu m$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



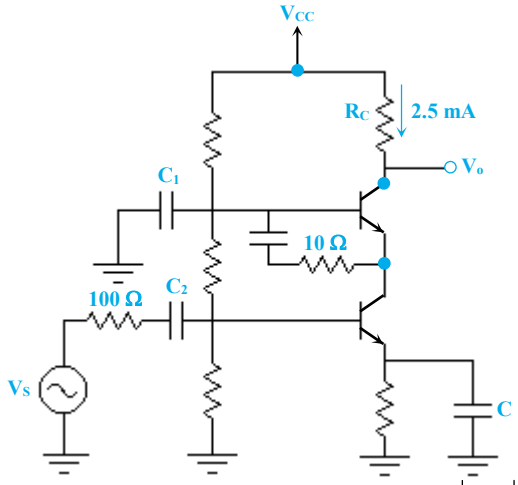
# فصل سوم

# تحلیل ac مدارهای ترانزیستوری

## تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل سوم

**درسنامه(۱): تحلیل ac ترانزیستورهای BJT**

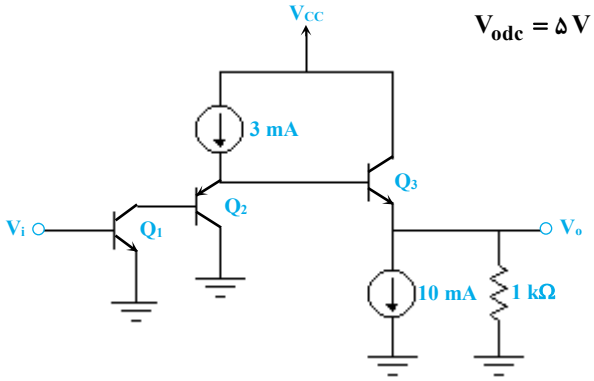
۱ـ در تقویت‌کنندهٔ شکل زیر ضریب تقویت ولتاژ $\left|\frac{V_o}{V_s}\right|$ کدام است؟ (با فرض اینکه $R_C = ۱۱۰\Omega$ ، $\beta = ۱۰۰$ و $V_T = ۲۵\,mV$ بوده و از اثر مقاومت‌های بایاس و خازن‌های کوپلاژ صرف‌نظر شود.) (سراسری ۷۵)




۱) ۵۰
۲) ۷۰
۳) ۱۰۰
۴) ۱۱۰

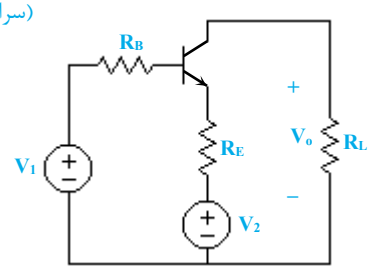
۲ـ در صورت ایده‌آل بودن منابع جریان و صفر بودن $h_{oe}$ و $h_{re}$ ترانزیستورها، بهرهٔ ولتاژ $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ مدار به کدام گزینه نزدیکتر است؟ (سراسری ۷۷)

$V_{odc} = ۵\,V$ , $\beta_۱ = \beta_۲ = \beta_۳ = ۱۵۰$




۱) $۳/۵\times۱۰^۶$
۲) $۲/۵\times۱۰^۶$
۳) $۲/۲\times۱۰^۴$
۴) $۱/۸\times۱۰^۴$

۳ـ اگر $A_۱ = \left|\frac{V_o}{V_۱}\right|$ و $A_۲ = \left|\frac{V_o}{V_۲}\right|$ باشند، کدام گزینه برای ولتاژ خروجی مدار زیر درست است؟ ($h_{re} = h_{oe} = ۰$ و فقط مدار ac رسم شده است.) (سراسری ۷۸)



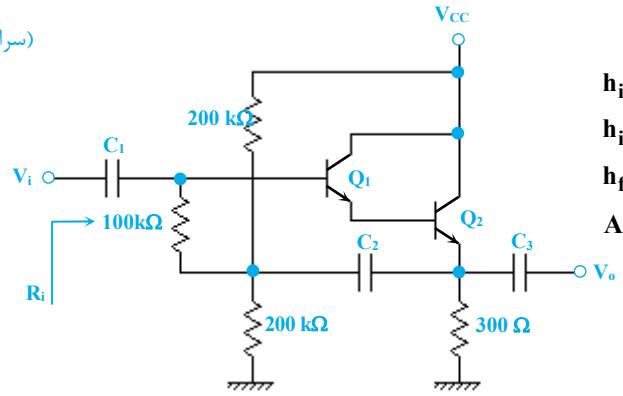

۱) $A_۱ \neq A_۲$ , $V_o = A_۲V_۲ - A_۱V_۱$
۲) $A_۱ \neq A_۲$ , $V_o = A_۲V_۲ + A_۱V_۱$
۳) $A_۱ = A_۲$ , $V_o = A_۲V_۲ - A_۱V_۱$
۴) $A_۱ = A_۲$ , $V_o = A_۲V_۲ + A_۱V_۱$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۴ـ امپدانس ورودی مدار تقویت کننده زیر چند کیلو اهم است؟ (سراسری ۸۱)




$h_{ie1} = 1k\Omega$

$h_{ie2} = 500\Omega$

$h_{fe1} = h_{fe2} = 50$

$A_V = 0/98$

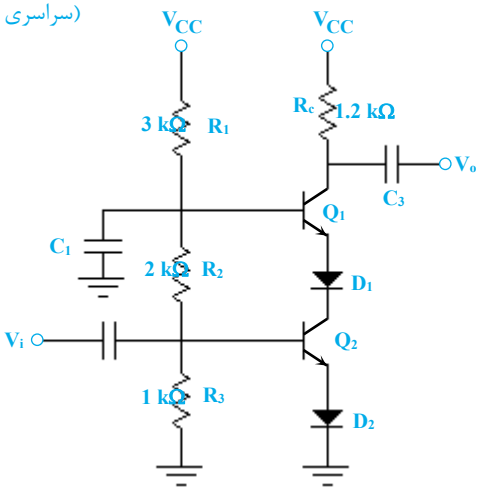
۱) $250\,k\Omega$

۲) $450\,k\Omega$

۳) $650\,k\Omega$

۴) $50\,k\Omega$

۵ـ در شکل مقابل جریان DC ترانزیستورها و دیودها برابر با ۲mA می‌باشد. اگر $V_T = 25mV$ و $\beta = 120$ و $\eta = 1$ باشد، مطلوبست تعیین بهره ولتاژ؟ $(A_V = \frac{V_o}{V_i})$ (سراسری ۸۳)



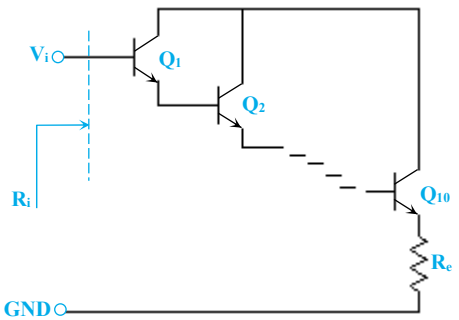

۱) $A_V = \frac{V_o}{V_i} = -60$

۲) $A_V = \frac{V_o}{V_i} = -48$

۳) $A_V = \frac{V_o}{V_i} = -96$

۴) $A_V = \frac{V_o}{V_i} = -24$

۶ـ در شکل زیر اگر ترانزیستورها دارای $h_{ie} = h_{re} = h_{oe} = 0$ باشند، مقاومت ورودی مدار برابر کدام گزینه می‌شود؟ (سراسری ۸۳)



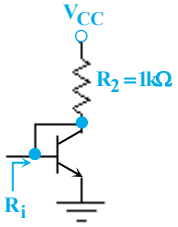

۱) $\frac{Re^{10}}{h_{fe}}$

۲) $(Re)^{10}.h_{fe}$

۳) $\frac{Re}{(1+h_{fe})^{10}}$

۴) $Re(1+h_{fe})^{10}$

۷ـ $R_i$ در مدار زیر برابر است با : $(h_{ie} = 1k\ ،\ \beta = 100)$ (مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۳)




۱) $9/8K\Omega$

۲) $980\Omega$

۳) $9/8\Omega$

۴) $98\Omega$

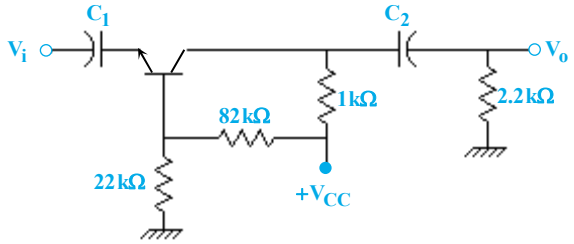
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۸ـ در مدار شکل زیر، ترانزیستور دارای $h_{fe}=۲۰۰$ ، $h_{ie}=۲k\Omega$ ، $h_{re}=۰$ و $h_{oe}=۰$ است. بهره ولتاژ مدار $(\frac{V_o}{V_i})$ در فرکانس‌های متوسط برابر است با:

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳)




۱) ۷/۱

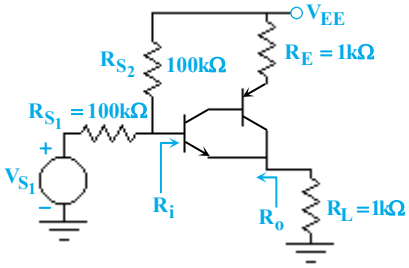
۲) ۶۹

۳) ۹/۵

۴) -۱۲

۹ـ $R_i$ و $R_o$ در مدار زیر برابرند با:

(مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۳)




$h_{ie_1}=h_{ie_2}=1k\Omega$ , $\beta_1=۲۰۰$ , $\beta_2=۱۰۰$

۱) $R_i=۲۰/۲M\Omega$ , $R_o=۲/۵\Omega$

۲) $R_i=۲۰۲k\Omega$ , $R_o=۲۵\Omega$

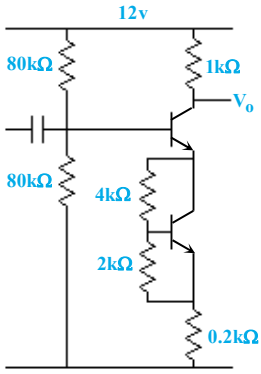
۳) $R_i=۲۰۲۰k\Omega$ , $R_o=۲۵\Omega$

۴) $R_i=۲۰۲۰k\Omega$ , $R_o=۲/۵\Omega$

۱۰ـ در مدار مقابل مطلوب است تعیین بهره ولتاژ مدار به کدام گزینه نزدیکتر می‌باشد؟

$(\beta=۱۰۰, V_T=\frac{kT}{q}=۲۵mV)$

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۵)




۱) $A_V=-۳/۹$

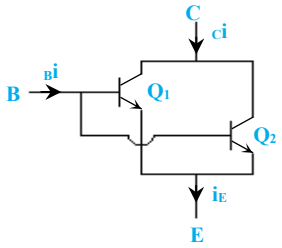
۲) $A_V=-۵$

۳) $A_V=-۱۹/۳$

۴) $A_V=-۲۱۲$

۱۱ـ در شکل مقابل ترانزیستورها در همه پارامترها با هم برابرند بجز $\beta$. با این شرایط $\beta$ برای ترکیب موازی دو ترانزیستور کدام است؟

(سراسری ۸۷)




۱) $\frac{۲\beta_1\beta_2}{\beta_1+\beta_2}$

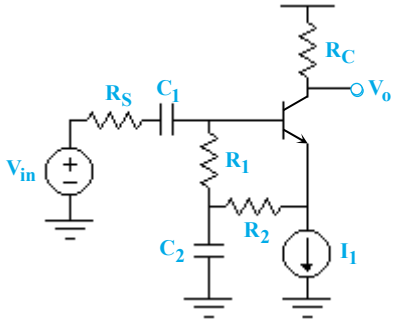
۲) $\frac{\beta_1+\beta_2}{۲}$

۳) $\frac{\beta_1\beta_2}{\beta_1+\beta_2}$

۴) $\frac{\beta_1^۲+\beta_2^۲}{\beta_1+\beta_2}$

۱۲ـ مقدار بهرهٔ ولتاژ مدار نشان داده شده به شرط آنکه $r_o=\infty$ باشد کدام است؟

(مجموعه فتونیک ـ سراسری ۸۹)




۱) $\frac{V_{out}}{V_{in}}=\frac{R_C}{\frac{-R_S||R_1}{\beta+1}+\frac{1}{g_m}+R_2}\times\frac{R_1}{R_1+R_s}$

۲) $\frac{V_{out}}{V_{in}}=\frac{R_C}{\frac{R_1}{\beta+1}+\frac{1}{g_m}+R_2}\times\frac{R_1}{R_1+R_s}$

۳) $\frac{V_{out}}{V_{in}}=-\frac{R_C}{\frac{R_1}{\beta+1}+\frac{1}{g_m}+R_2}\times\frac{R_1}{R_1+R_s}$

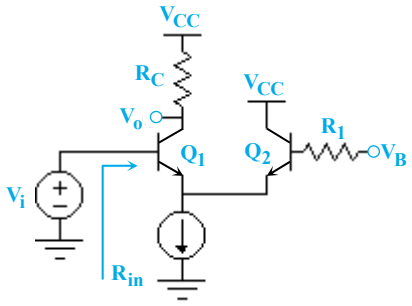
۴) $\frac{V_{out}}{V_{in}}=\frac{R_C}{\frac{-R_C}{R_2}\times\frac{R_1}{\beta+1}+\frac{1}{g_m}+R_2}\times\frac{R_1}{R_1+R_s}$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۳ـ مقاومت ورودی $R_{in}$ در مدار نشان داده شده تقریباً برابر است با: $r_o = \infty$ (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۸۹)



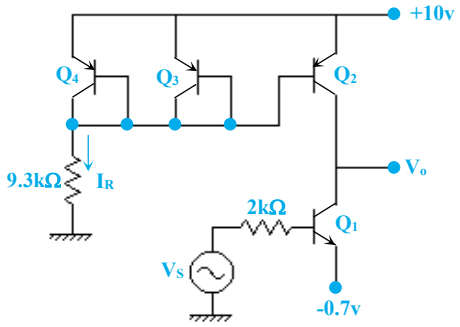

۱) $r_{\pi_1} + \frac{r_{\pi_2}}{\beta+1}$

۲) $r_{\pi_1} + (\beta+1)\frac{1}{g_{m_2}}$

۳) $r_{\pi_1} + [\frac{R_1}{\beta+1} + \frac{1}{g_{m_2}}]$

۴) $r_{\pi_1} + (\beta+1)[\frac{R_1}{\beta+1} + \frac{1}{g_{m_2}}]$

۱۴ـ در مدار شکل داده شده، با فرض $V_A = 100v$ ، $V_{BE} = 0/7v$ و $\beta = 200$ بهره ولتاژ $A_V = \frac{V_o}{V_s}$ برابر است با: (مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)



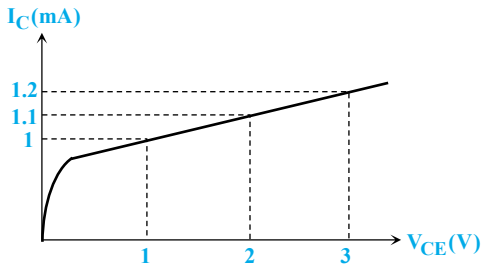

۱) -۳۳۳۳

۲) -۲۸۵۷

۳) -۴۰۰۰

۴) -۱۶۶۷

۱۵ـ با استفاده از مشخصه خروجی ترانزیستور دو قطبی مقاومت خروجی $r_o$ آن چند کیلواهم است؟ (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۹۰)



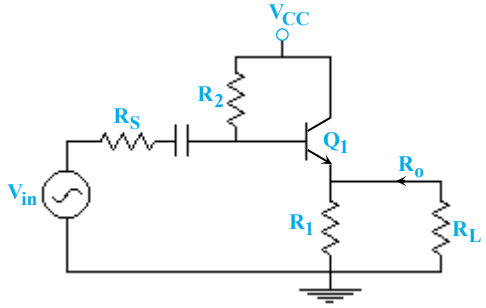

۱) ۱۰

۲) ۲۰

۳) ۴۰

۴) ۵۰

۱۶ـ مقدار $R_o$ برابر است با: $(r_o = \infty)$ (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۹۰)




۱) $R_1 \| r_\pi$

۲) $R_1 \| (\frac{r_\pi + (R_2 \| R_S)}{B+1})$

۳) $R_2 \| 1R_1$

۴) $R_1 \| (r_\pi + R_2 \| R_S)$

www.modaresanesharif.ac.ir

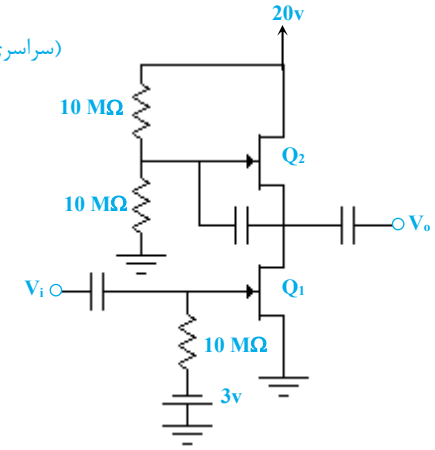
www.modaresanesharif.ac.ir



**درسنامه (۲): تحلیل ac ترانزیستورهای FET**

۱۷ـ در شکل داده شده FETها دارای مشخصات $I_{DSS}=10mA$ ، $V_P=-5v$ و $r_d=\frac{50}{I_d}$ می‌باشند. مطلوب است تعیین بهره ولتاژ این تقویت‌کننده $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$. (امپدانس خازن‌ها را برای سیگنال ac صفر فرض نمایید.)

(سراسری ۷۶)



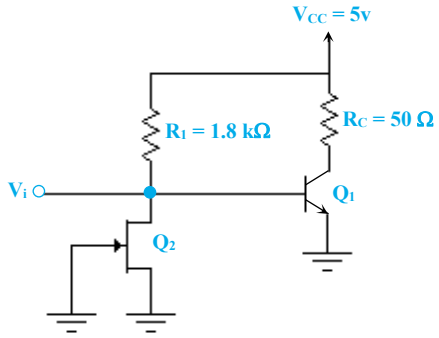

۱) ۲۵
۲) ۳۳/۳
۳) ۴۰
۴) ۱۲۵

۱۸ـ در صورتی که ترانزیستورها دارای مشخصات زیر باشند، مقاومت ورودی در شکل به کدام گزینه نزدیکتر است؟

(سراسری ۷۷)

$BJT: V_{BE}=0/7v, \beta=150, rbb'=0, h_{oe}=0, V_T=25mV$

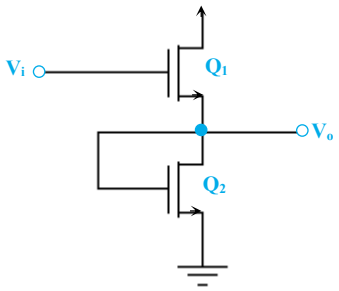
$JFET: I_{DSS}=2mA, V_P=-0/6v$




۱) زیر ده اهم
۲) ۲۸Ω
۳) ۵۰Ω
۴) ۶۲Ω

۱۹ـ مقاومت خروجی در مدار شکل زیر کدام است؟ (از اثر کوتاه شدن طول کانال با ولتاژ درین و اثر بدنه صرف‌نظر شود.)

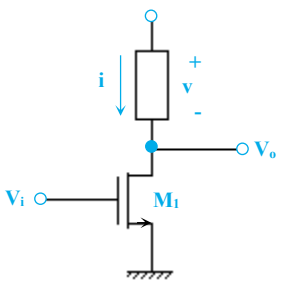
(سراسری ۷۷)

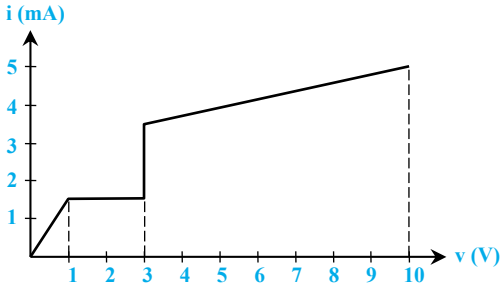



۱) $\frac{\mu_2}{g_{m_1}}$
۲) $\frac{1}{g_{m_1}+g_{m_2}}$
۳) $\frac{\mu_1\mu_2}{g_{m_1}+g_{m_2}}$
۴) $\frac{1}{g_{m_1}}+\frac{1}{g_{m_2}}$

۲۰ـ در صورتی‌که بار ترانزیستور $M_1$ در شکل مقابل دارای منحنی مشخصه داده شده باشد، مدار به ازای چه قسمتی از ولتاژ $V_{ds}$ بیشترین بهره ولتاژ را خواهد داشت؟

(سراسری ۷۸)




۱) $0<V_{ds}<7v$
۲) $V_{ds}=7v$
۳) $9v<V_{ds}<10v$
۴) $7v<V_{ds}<9v$

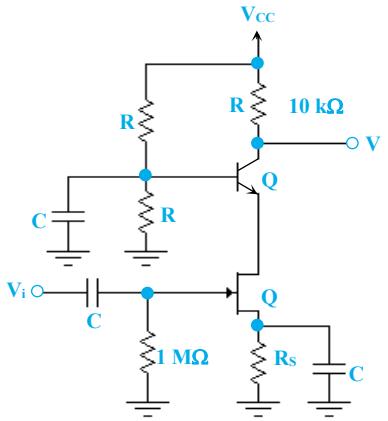
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۲۱ـ در صورتی‌که جریان DC مقاومت $R_S$ در مدار شکل مقابل $0/25\,mA$ باشد، مقدار بهره ولتاژ مدار کدام گزینه است؟ (سراسری ۷۸)

$$V_p = -4\,V\ ,\ I_{DSS} = 4\,mA\ ,\ r_{ds} = \infty$$
$$V_{BE} = 0/7\,V\ ,\ \beta = 150\ ,\ r_{ce} = \infty$$



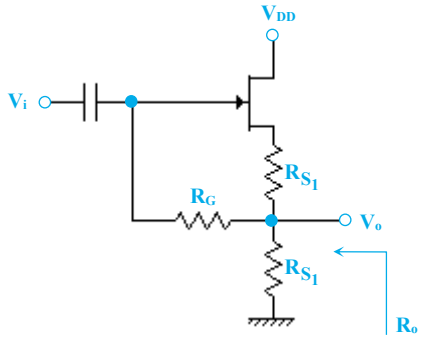

۱) ۵

۲) ۱۰

۳) ۱۷

۴) ۴۰

۲۲ـ برای مقاومت خروجی $R_o$ مدار زیر، کدام گزینه صحیح‌تر است؟ (سراسری ۷۹)



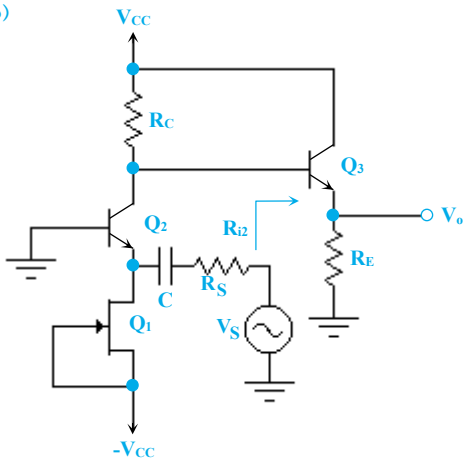

۱) $(R_{S_1} + R_{S_2}) \| \frac{r_d}{1+\mu}$

۲) $R_{S_2} \| (R_{S_1} + \frac{r_d}{1+\mu})$

۳) $R_{S_2} \| \frac{R_G}{1-\frac{1}{A_V}} \| (R_{S_1} + \frac{r_d}{1+\mu})$

۴) $R_{S_2} \| R_G \| (R_{S_1} + \frac{r_d}{1+\mu})$

۲۳ـ اگر در مدار تقویت‌کننده مقابل، همه ترانزیستورها در ناحیه فعال باشند، بهرهٔ $A_V = \frac{V_o}{V_S}$ به کدام‌یک از موارد زیر نزدیکتر است؟ $R_E \gg r_e$ و $R_S$ ، $R_{i_2} \gg R_C$ است. (سراسری ۷۹)



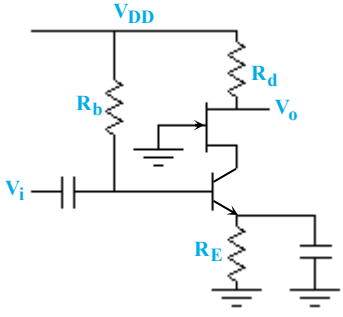

۱) $A_V = \frac{R_E}{R_S}$

۲) $A_V = \frac{R_C}{R_S}$

۳) $A_V = \frac{R_C}{h_{ie} + R_S}$

۴) $A_V = \frac{R_E . h_{fe}}{h_{ie} + R_S}$

۲۴ـ در مدار مقابل با فرض $\mu = g_m r_d >> 1$، ضریب تقویت ولتاژ برابر است با: (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)




۱) $\frac{-R_d I_{CD}}{\beta V_T}$

۲) $\frac{-R_d I_{CD}}{V_T}$

۳) $\frac{-\beta R_d}{1+h_{ie}}$

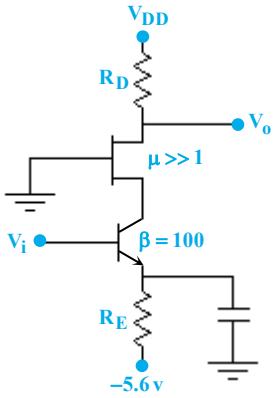
۴) $\frac{-R_d}{\beta(1+h_{ie})}$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۵ـ** ضریب تقویت ولتاژ مدار مقابل برابر است با: (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۲)



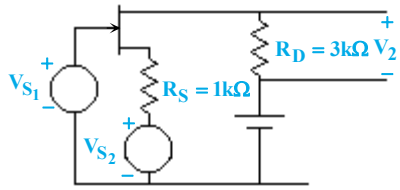

۱) $-۲۰۰\frac{R_d}{R_E}$

۲) $-۲۰۰\frac{R_E}{R_d}$

۳) $-۲\frac{R_d}{R_E}$

۴) $-۲\frac{R_E}{R_d}$

**۲۶ـ** در مدار زیر $V_۲$ برابر است با: $r_d = ۱۰\,k\Omega$ ، $g_m = ۱۰۰\,ms$ (مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۳)



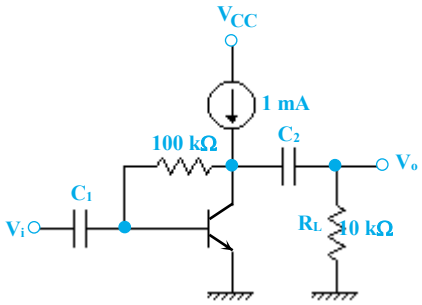

۱) $۲/۵(V_{S_۱} - V_{S_۲})$

۲) $۳(V_{S_۱} - V_{S_۲})$

۳) $۲/۵(V_{S_۲} - V_{S_۱})$

۴) $۳(V_{S_۲} - V_{S_۱})$

**مثال ۲۷:** بهره ولتاژ مدار شکل مقابل در فرکانس میانی به طور تقریبی برابر است با: $(V_T = ۲۵mV, \beta = ۱۰۰)$ فرض شود. (سراسری ۸۳)



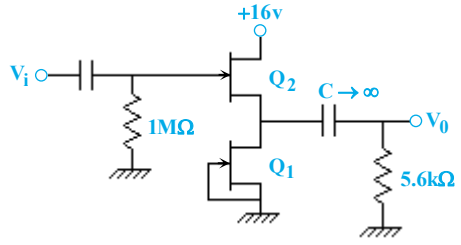

۱) $-۴۰$

۲) $-۱۰۰$

۳) $-۳۶۰$

۴) $-۴۰۰$

**۲۸ـ** در مدار شکل زیر، نسبت $\frac{V_o}{V_i}$ برابر است با: (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۴)




$Q_۱: \begin{cases} I_{DSS} = ۲mA \\ r_{ds} \to \infty \end{cases}$

$Q_۲: \begin{cases} I_{DSS} = ۸mA \\ V_p = -۴v \\ r_{ds} \to \infty \end{cases}$

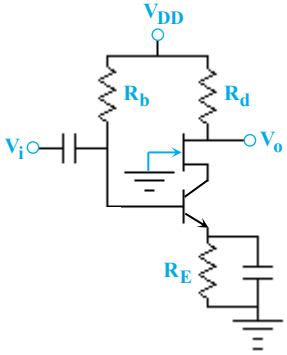
۱) ۰/۹۹۷

۲) ۰/۹۹۵

۳) ۰/۸۱۵

۴) ۰/۹۱۸

**۲۹ـ** ضریب تقویت ولتاژ در مدار زیر کدام است؟ (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۴)




۱) $\frac{-\beta R_d}{h_{ie}}$

۲) $\frac{-\beta\mu R_d}{(۱+\mu)h_{ie}}$

۳) $\frac{-\mu R_d}{(۱+\mu)h_{ie}}$

۴) $\frac{-\beta R_d}{۱+h_{ie}}$

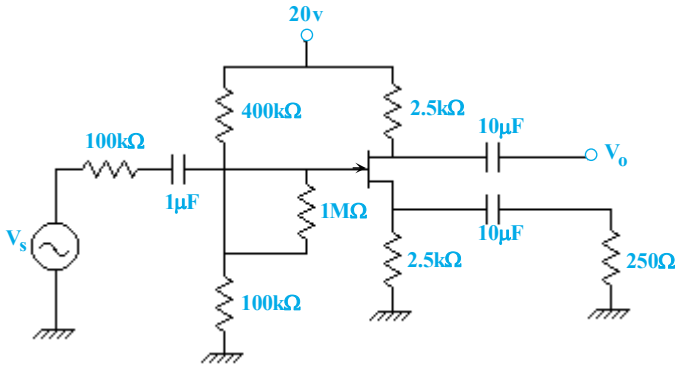
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۳۰ـ در مدار شکل زیر برای FET که در آن $I_{DSS}=8mA$ و $|V_P|=2v$ . بهرهٔ ولتاژ مدار برابر است با:

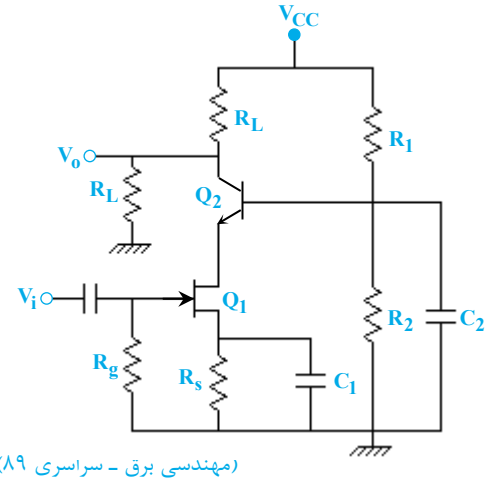
(مهندسی برق گرایش قدرت، مخابرات و کنترل ـ آزاد ۸۵)




۱) -۴/۸
۲) -۵/۷
۳) -۳/۹
۴) -۵/۱

۳۱ـ بهرهٔ ولتاژ مدار شکل زیر $(\frac{V_o}{V_i})$ در کدام گزینه به درستی آورده شده است؟ فرض: $C_1$ و $C_2$ بزرگ و $g_m$ هدایت انتقالی FET است.

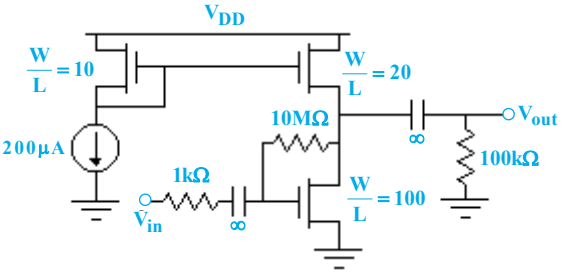
(مهندسی برق گرایش قدرت، مخابرات و کنترل ـ آزاد ۸۵)




۱) $-h_{fe}\frac{g_m}{1+g_m}R_L$
۲) $-h_{fe}g_mR_L$
۳) $-(1+h_{fe})g_mR_L$
۴) $-\frac{h_{fe}}{1+h_{fe}}g_mR_L$

۳۲ـ در مدار شکل مقابل داریم:

(مهندسی برق ـ سراسری ۸۹)




$$\mu_nC_{ox}=200\frac{\mu A}{V^2},\mu_pC_{ox}=50\frac{\mu A}{V^2},V_{tn}=0/7V,V_{tp}=-0/7v$$

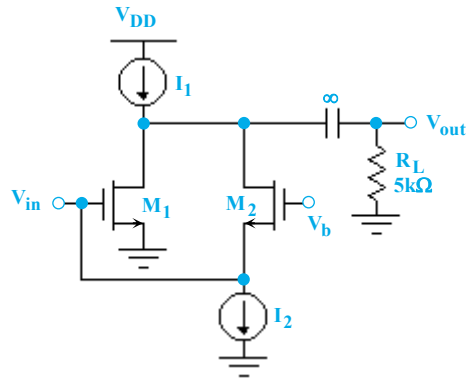
$$\lambda_n=\lambda_p=0,i_D=\frac{1}{2}\mu C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_t)^2$$

بهره ولتاژ مدار $(\frac{V_{out}}{V_{in}})$ به کدام مقدار نزدیکتر است؟

۱) -۴۰۰
۲) -۲۰۰
۳) -۲۸۰
۴) -۱۴۰

۳۳ـ در مدار شکل مقابل همه ترانزیستورها در ناحیه اشباع بایاس شده‌اند و منابع جریان ایده‌آل هستند. بهره ولتاژ $A_V=\frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً کدام است؟

(مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۸۹)




$$\begin{cases} g_{m_1}=20\frac{mA}{V} \\ g_{m_2}=10\frac{mA}{V} \\ r_{ds_1}=r_{ds_2}=10k\Omega \end{cases}$$

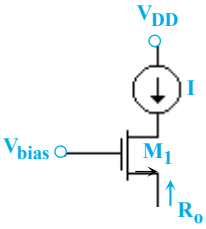
۱) -۱۰۰
۲) -۷۵
۳) -۵۰
۴) -۲۵

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۳۴ـ** مقاومت خروجی دیده شده برابر است با: (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۹۰)




۱) $\frac{۱}{g_m}$

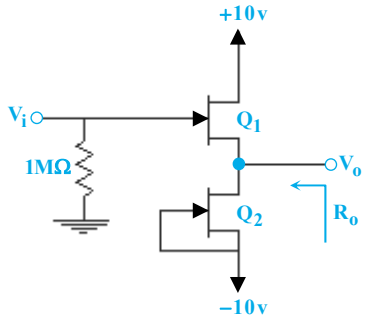
۲) $\frac{۱}{g_m r_o}$

۳) $\frac{۱}{\frac{۱}{r_o}+g_m}$

۴) $\infty$

**۳۵ـ** مقاومت خروجی مدار شکل داده شده تقریباً برابر است با: (مهندسی مکاترونیک ـ آزاد ۹۰)

$Q_۱, Q_۲ : \{V_p = -۱v;\ I_{DSS} = ۲mA\ ;r_d = ۴۰kΩ\}$



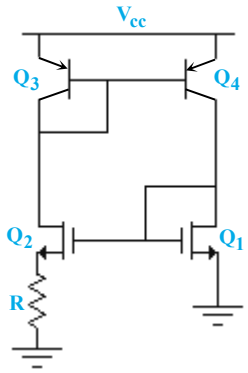

۱) $R_o \simeq ۴۰kΩ$

۲) $R_o \simeq ۵۰۰Ω$

۳) $R_o \simeq ۲۵۰Ω$

۴) $R_o \simeq ۲۰Ω$

**۳۶ـ** در مدار شکل مقابل، مساحت پیوند بیس ـ امیتر ترانزیستور $Q_۴$، ۲ برابر $Q_۳$ است و ترانزیستورهای $Q_۱$ و $Q_۴$ ابعاد یکسان دارند. اگر $Q_۱$ و $Q_۲$ در ناحیه اشباع بایاس شده باشند، هدایت انتقالی $(g_m)$ ترانزیستور $Q_۱$ چقدر است؟ (مهندسی برق ـ سراسری ۹۱)




۱) $\frac{۲-\sqrt{۲}}{R}$

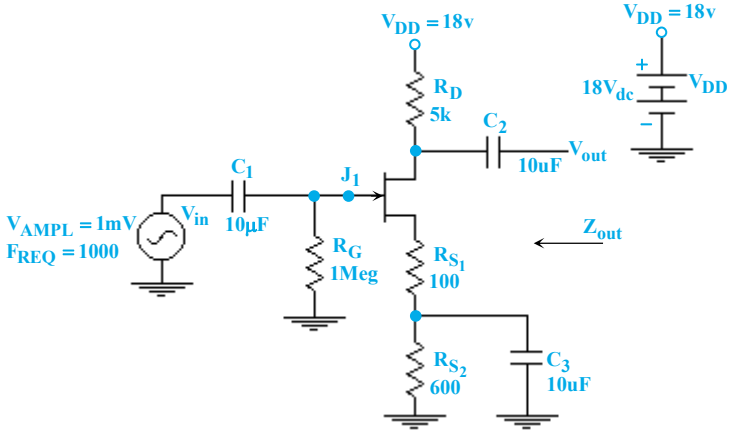
۲) $\frac{۲}{R}$

۳) $\frac{۲\sqrt{۲}-۱}{R}$

۴) $\frac{۲(۲-\sqrt{۲})}{R}$

**۳۷ـ** مقدار امپدانس خروجی $Z_{out}$ در مدار زیر چند کیلو اهم است؟

برای ترانزیستور $(I_{DSS} = ۵m, V_p = -۵v, r_d = ۲۰kΩ)$ فرض شود. (نانو فناوری و نانو مواد ـ سراسری ۹۵)




۱) ۳/۵

۲) ۳/۸

۳) ۴/۱

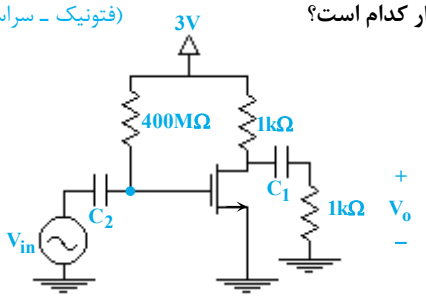
۴) ۴/۴

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۳۸ـ در مدار زیر اگر $V_T = 0/8V$ ، $\frac{W}{L} = 2$ ، $\mu_n C_{ox} = 100\frac{\mu A}{V^2}$ باشد، بهره ولتاژ مدار کدام است؟ (فتونیک ـ سراسری ۹۶)



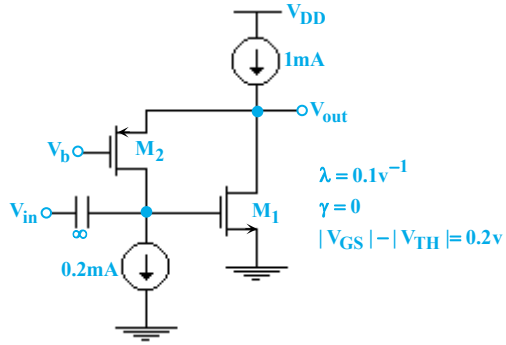

۱) $A_v = -0/44$

۲) $A_v = -0/34$

۳) $A_v = -0/22$

۴) $A_v = -0/12$

۳۹ـ در مدار شکل مقابل، همهٔ ترانزیستورها در ناحیهٔ اشباع بایاس شده‌اند و منابع جریان ایده‌آل هستند. مقدار بهرهٔ ولتاژ $A_v = \left|\frac{V_{out}}{V_{in}}\right|$ برابر کدام است؟ (دکتری ۹۲)



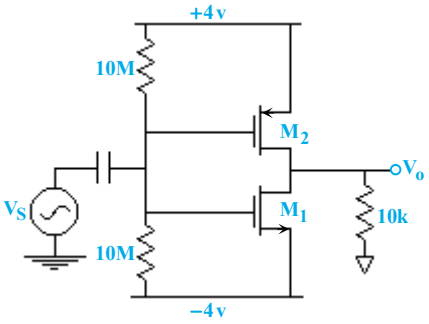

۱) ۲

۲) ۲/۵

۳) ۴

۴) ۵

۴۰ـ در مدار زیر $M_1$ و $M_2$ (ماسفت) نوع ارتقایی و دارای $|V_T| = 2V$ و $\mu_n C_{ox} = 1\frac{mA}{V^2}$ هستند. بهره ولتاژ سیگنال کوچک چند است؟ (دکتری ۹۳)




۱) ۴۰−

۲) ۲۰−

۳) صفر

۴) ۲۰+

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



## پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل سوم

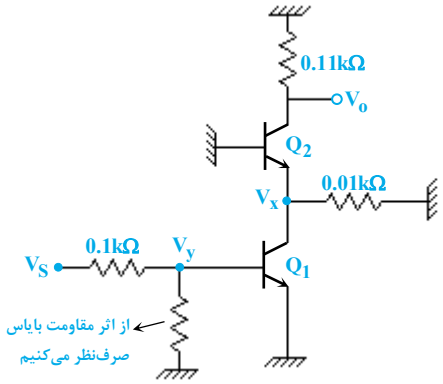
**درسنامه(۱): تحلیل ac ترانزیستورهای BJT**

**۱ـ هیچ‌کدام از گزینه‌ها صحیح نیست.** ابتدا مدار را تحلیل DC کرده و نقطه کار ترانزیستور را به‌دست می‌آوریم. سپس پارامترهای سیگنال کوچک مدار را به‌دست آورده و مدار را تحلیل ac می‌کنیم:

تحلیل DC:

$$I_{C_{1,2}} = 2/5\,mA \Rightarrow g_{m_{1,2}} = 40\,I_C = 100\,ms \Rightarrow r_{\pi_{1,2}} = \frac{\beta}{g_{m_{1,2}}} = \frac{100}{100} = 1k\Omega$$

تحلیل ac: مدار معادل ac را مطابق شکل زیر رسم می‌کنیم:




$$\frac{V_o}{V_S} = \frac{V_o}{V_x} \times \frac{V_x}{V_y} \times \frac{V_y}{V_S}$$

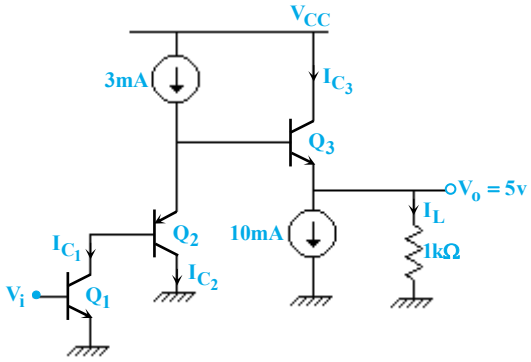
(طبقه بیس مشترک) $\frac{V_o}{V_x} = g_{m_2} R_C = 11$

(طبقه امیتر مشترک) $\frac{V_x}{V_y} = -g_{m_1}\left(\frac{1}{g_{m_2}} \| 0/01k\Omega\right) = -0/5$

$$\frac{V_y}{V_S} = \frac{r_{\pi_1}}{r_{\pi_1} + 0/1} = \frac{1}{1/1} \qquad \left|\frac{V_o}{V_S}\right| = 5$$

---

**۲ـ گزینه «۴»** تحلیل DC: مدار معادل DC را مطابق شکل زیر به دست آورده و نقطه کار مدار را حساب می‌کنیم:




$$I_L = \frac{V_o}{1k\Omega} = 5\,mA$$

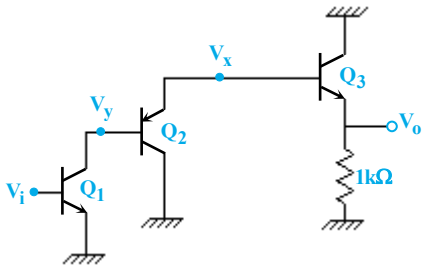
$$\Rightarrow I_{C_3} = 15\,mA \;,\; I_{B_3} = 0/1mA \Rightarrow I_{C_2} = 2/9mA \Rightarrow I_{C_1} = 0/02mA$$

$$g_m = 40\,I_C \Rightarrow g_{m_1} = 0/8\,ms \;,\; g_{m_2} = 116ms$$

$$g_{m_2} = 116\,ms \;,\; g_{m_3} = 600ms$$

$$\Rightarrow r_{\pi_1} = 117/5k\Omega \;,\; r_{\pi_2} = 1/293k\Omega \;,\; r_{\pi_3} = 0/25k\Omega$$

**روش اول:** تحلیل ac: مدار معادل ac را مطابق شکل مقابل رسم و با در نظر گرفتن اثرات بارگذاری و با استفاده از قاعده‌ی زنجیره‌ای گین را محاسبه می‌کنیم:




$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_x} \times \frac{V_x}{V_y} \times \frac{V_y}{V_i}$$

(طبقه کلکتور مشترک) $\frac{V_x}{V_y} = \frac{r_{\pi_3} + (\beta+1)\times 1k\Omega}{[r_{\pi_3} + (\beta+1)\times 1k\Omega] + \frac{1}{g_{m_3}}} \cong 1$

(طبقه کلکتور مشترک) $\frac{V_o}{V_x} = \frac{1k\Omega}{1k\Omega + \frac{1}{g_{m_3}}} \simeq 1$

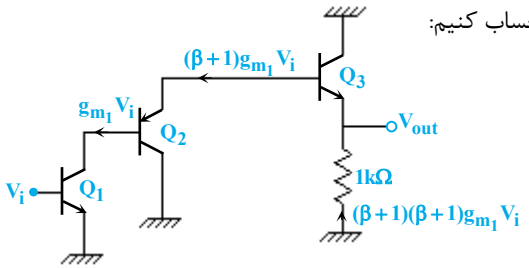
$$\frac{V_y}{V_i} = -g_{m_1}[r_{\pi_2} + \overbrace{(\beta+1)(\underbrace{r_{\pi_3} + (\beta+1)1k\Omega}_{\simeq 150k\Omega})}^{\simeq 150^2 k\Omega}] \simeq -1/8\times 10^4 \qquad \Rightarrow \left|\frac{V_o}{V_i}\right| = 1/8\times 10^4$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**روش دوم:** با استفاده از روش پخش جریان‌ها در مدار معادل ac زیر می‌توانیم بهره‌ی کل را حساب کنیم:



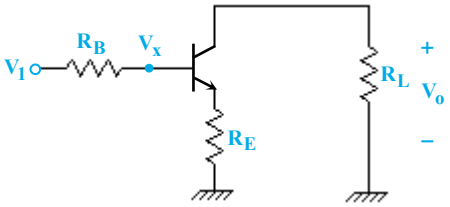

به علت بزرگ بودن $\beta$، می‌توان از تقریب $(\beta+1)\simeq\beta$ استفاده کرد.

$$V_{out}\simeq-\beta^2 g_m V_i\times 1k\Omega\Rightarrow A_v\simeq-1/8\times10^4\Rightarrow|A_v|=1/8\times10^4$$

---

**۳ـ گزینه «۳»** از جمع آثار استفاده می‌کنیم.

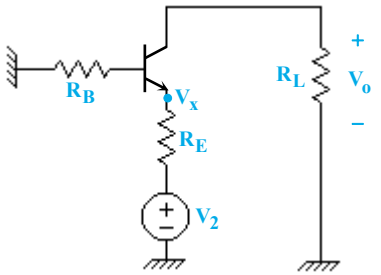
محاسبه $A_1$ :




$$\frac{V_o}{V_1}=\frac{V_o}{V_x}\times\frac{V_x}{V_1}=(-\frac{R_L}{R_E+\frac{1}{g_m}})\times\frac{\beta}{r_\pi+(\beta+1)R_E+R_B}$$

$$\simeq-\frac{(\beta+1)R_L}{r_\pi+(\beta+1)R_E+R_B}=-\frac{R_L}{R_E+\frac{1}{g_m}+\frac{R_B}{\beta+1}}\Rightarrow V_o=-A_1V_1$$

محاسبه $A_2$ :




$$\frac{V_o}{V_2}=\frac{V_o}{V_x}\times\frac{V_x}{V_2}$$

**نکته:** بهره یک طبقه بیس مشترک که مقاومت $R_B$ روی بیس آن قرار گرفته است با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید.

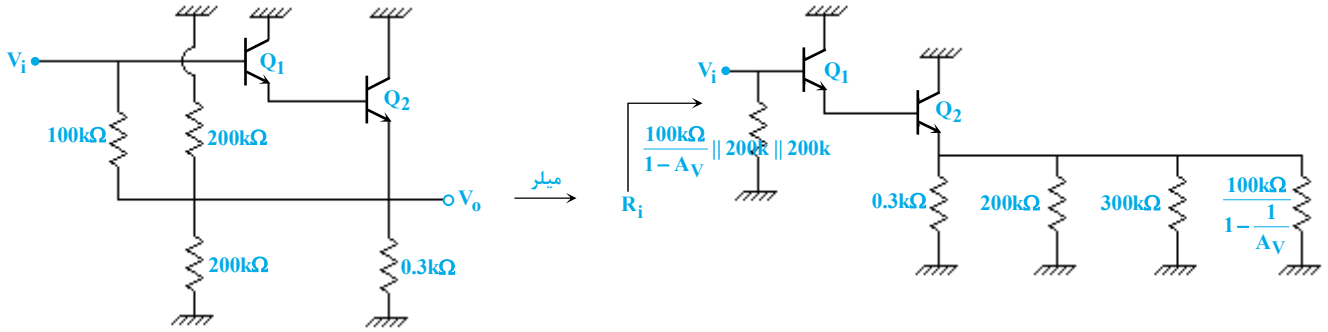
$$\frac{V_o}{V_i}=+\frac{R_C}{\frac{R_B}{\beta+1}+\frac{1}{g_m}}$$

$$\frac{V_o}{V_x}=+\frac{R_L}{\frac{R_B}{\beta+1}+\frac{1}{g_m}}\qquad\frac{V_x}{V_2}=\frac{\frac{R_B}{\beta+1}+\frac{1}{g_m}}{\frac{R_B}{\beta+1}+\frac{1}{g_m}+R_E}\qquad\Rightarrow\frac{V_o}{V_2}=+\frac{R_L}{\frac{R_B}{\beta+1}+\frac{1}{g_m}+R_E}\Rightarrow V_o=A_2V_2$$

بنابراین داریم: $A_1=A_2$ و $V_o=-A_1V_1+A_2V_2$

---

**۴ـ گزینه «۳»** با استفاده از قضیه میلر مقاومت $100k\Omega$ را می‌شکنیم و مدار را به شکل زیر ساده می‌کنیم.




$$R_i=\frac{100k\Omega}{1-A_V}\|[r_{\pi_1}+(\beta+1)[r_{\pi_2}+(\beta+1)(0/3k\Omega\|200k\Omega\|200k\Omega\|\frac{100k\Omega}{1-\frac{1}{A_V}})]]\simeq670k\Omega$$

---

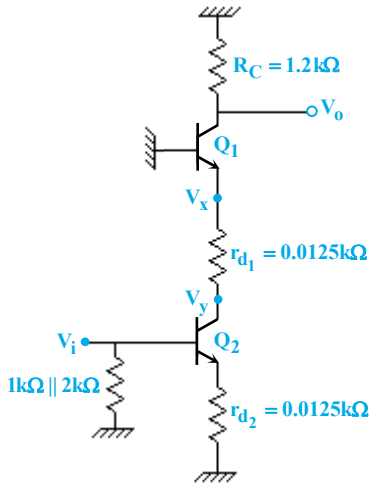
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۵ـ گزینه «۲»** ابتدا مدار را تحلیل DC کرده و پارامترهای سیگنال کوچک مدار را به دست می‌آوریم، سپس مدار معادل ac را رسم کرده و بهره را حساب می‌کنیم.

**روش اول:** تحلیل DC:




$$I_{C_{1,2}} = I_{D_{1,2}} = 2mA \Rightarrow g_{m_{1,2}} = 40 I_C = 80ms \ , \ r_{d_{1,2}} = \frac{\eta V_T}{I_D} = 0/0125k\Omega$$

تحلیل ac:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_x} \times \frac{V_x}{V_y} \times \frac{V_y}{V_i}$$

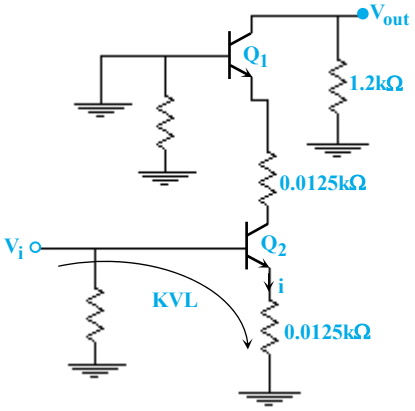
$$\frac{V_o}{V_x} = g_{m_1} R_C = 96 \quad \text{(طبقه بیس مشترک)}$$

$$\frac{V_x}{V_y} = \frac{\frac{1}{g_{m_1}}}{\frac{1}{g_{m_1}} + r_{d_1}} = 0/5$$

$$\frac{V_y}{V_i} = -\frac{r_{d_1} + \frac{1}{g_{m_1}}}{r_{d_2} + \frac{1}{g_{m_2}}} = -1 \quad \text{(طبقه امیتر مشترک)}$$

$$V_o = -48$$

**روش دوم:** با استفاده از روش پخش جریان‌ها داریم:




$$KVL: i = \frac{V_i}{\frac{1}{g_{m^2}} + 0/0125k} = \frac{V_i}{25\Omega}$$

$$\Rightarrow V_{out} = -1/2i = -48V_i$$

$$\Rightarrow A_v = -48$$

---

**۶ـ گزینه «۴»** از ترانزیستور $Q_{10}$ شروع کرده و مقاومت ورودی آن را به دست می‌آوریم؛ سپس مقاومت ورودی $Q_9$ را به دست آورده و به همین ترتیب تا ترانزیستور $Q_1$ ادامه می‌دهیم.

مقاومت دیده شده از بیس ترانزیستور $Q_{10}$: $R_{10} = r_{\pi_{10}} + (\beta+1)R_e \xrightarrow{r_{\pi_{10}} = 0} R_{10} = (\beta+1)R_e$

مقاومت دیده شده از بیس ترانزیستور $Q_9$: $R_9 = r_{\pi_9} + (\beta+1)R_{10} = (\beta+1)^2 R_e$

$\vdots$

مقاومت دیده شده از بیس ترانزیستور $Q_1$: $R_i = R_1 = (\beta+1)^{10} R_e$

---

**۷ـ گزینه «۳»** کلکتور و بیس ترانزیستور به هم اتصال کوتاه شده‌اند؛ بنابراین یک ترانزیستور با اتصال بار دیودی می‌باشد و می‌توان آن را با مقاومت $\frac{1}{g_m}$ مدل کرد. بنابراین داریم:

$$R_i = R_2 \parallel \frac{1}{g_m} \Rightarrow R_i \simeq 9/8\Omega$$

$$\frac{1}{g_m} = \frac{r_\pi}{\beta} = 10\Omega$$

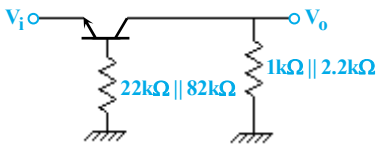
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



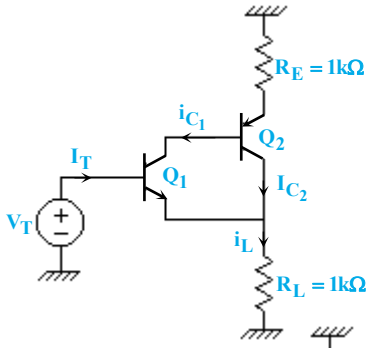
**۸ـ گزینه «۱»** مدار معادل ac را به صورت زیر رسم و بهره را حساب می‌کنیم.




$$\frac{V_o}{V_i} = +\frac{1k\Omega \,||\, 2/2k\Omega}{\frac{1}{g_m} + \frac{22k\Omega \,||\, 82k\Omega}{\beta+1}} = \frac{0/687}{0/01+0/087} \simeq 7/1 \quad \text{(طبقه بیس مشترک)}$$

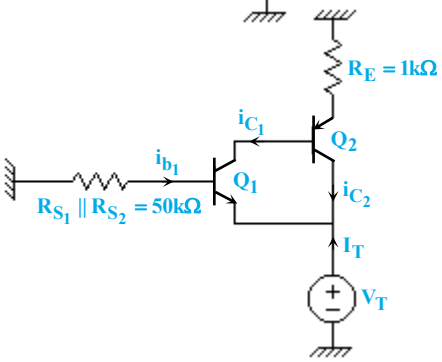
---

**۹ـ گزینه «۱»** محاسبه $R_i$: از روش پخش جریان استفاده می‌کنیم.




$$i_{C_1} = R_1 I_T = 200 I_T$$
$$i_{C_2} = \beta_2 i_{C_1} = 20000 I_T$$
$$I_L = i_{C_1} + i_{C_2} \simeq 20200 I_T$$
$$V_T = V_{be_1} + R_L i_L \Rightarrow V_T = r_{\pi_1} I_T + R_L (20200 I_T)$$
$$V_{be_1} = r_{\pi_1} I_T$$
$$\Rightarrow R_i = \frac{V_T}{I_T} \simeq 20/2 M\Omega$$

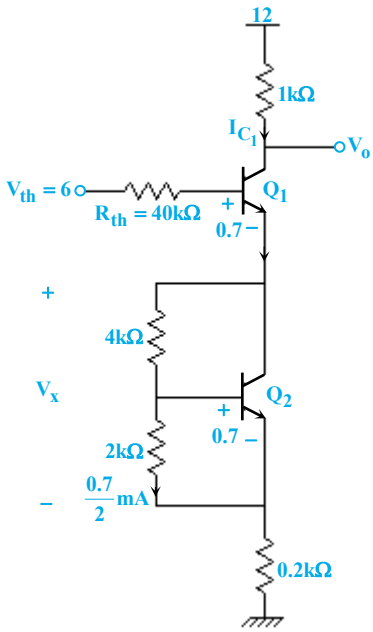
محاسبه $R_o$:




$$-I_T = i_{C_1} + i_{C_2}$$
$$i_{C_2} = 100 i_{C_1} \Rightarrow -I_T = 20200 i_{b_1} \Rightarrow i_{b_1} = -\frac{I_T}{20200}$$
$$i_{C_1} = 200 i_{b_1}$$
$$V_T = -(R_{S_1} \,||\, R_{S_2}) i_{b_1} - V_{be_1} \Rightarrow V_T = -51(-\frac{I_T}{20200}) \Rightarrow R_o = 2/5\Omega$$
$$V_{be_1} = r_{\pi_1} i_{b_1} = i_{b_1}$$

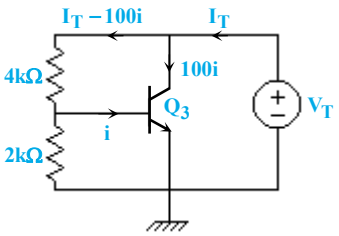
---

**۱۰ـ گزینه «۲»** تحلیل DC: ولتاژ $V_{BE}$ را برابر ۰/۷ در نظر می‌گیریم و نقطه کار ترانزیستور را به دست می‌آوریم.




$$V_x = \frac{0/7}{2}(2k\Omega + 4k\Omega) = 2/17$$
$$I_{C_1} = \frac{6 - V_{BE_1} - V_x}{\frac{40}{0/2 + \frac{40}{100}}} = 5/33 mA \Rightarrow I_{C_2} = 5mA$$
$$g_{m_1} = 213/2 ms$$
$$r_{\pi_2} = 0/5 k\Omega$$

تحلیل ac: ابتدا مقاومت معادل ساختار زیر را به دست می‌آوریم، سپس با استفاده از رابطه مربوط به ساختار امیتر مشترک بهره را حساب می‌کنیم.




$$\begin{cases} V_T \simeq (4k\Omega + 2k\Omega)(I_T - 100i) & (1) \\ \frac{V_{be_2}}{2k\Omega} = I_T - 100i \Rightarrow i \simeq \frac{I_T}{100/25} & (2) \\ V_{be_2} = r_{\pi_2} i = 0/5i \end{cases}$$

$$\xrightarrow{(1),(2)} V_T = 6(I_T - \frac{100}{100/25} I_T) \Rightarrow \frac{V_T}{I_T} \simeq 15\Omega$$

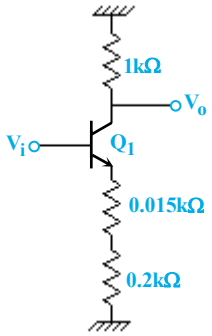
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



البته لازم به ذکر است که مقاومت ساختار فوق که یک چندبرابرکننده‌ی ولتاژ بیس ـ امیتر است در نکته (۶) نیز به‌صورت پارامتری بیان شده است که با جایگذاری مقادیر برابر مقدار فوق می‌شود.

بنابراین مدار معادل ac را به صورت مقابل رسم می‌کنیم و بهره را از رابطه زیر به دست می‌آوریم:




$$\frac{V_o}{V_i}=-\frac{1k\Omega}{0/2k\Omega+0/015k\Omega+\frac{1}{g_{m_1}}}\simeq -5$$

---

**۱۱ـ گزینه «۱»** در درسنامه دیدیم که $\beta$ معادل مربوط به دو ترانزیستور که با هم موازی شده‌اند با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید:

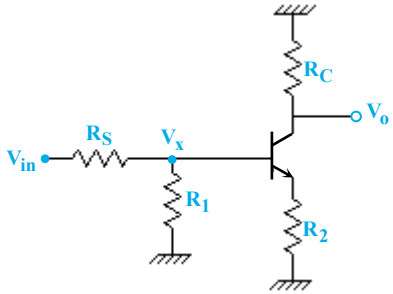
$$\beta=(g_{m_1}+g_{m_2})(r_{\pi_1}\parallel r_{\pi_2})=(\frac{I_{C_1}}{V_T}+\frac{I_{C_2}}{V_T})\frac{\frac{\beta_1V_T}{I_{C_1}}\frac{\beta_2V_T}{I_{C_2}}}{\frac{\beta_1V_T}{I_{C_1}}+\frac{\beta_2V_T}{I_{C_2}}}\Rightarrow\beta=\frac{\beta_1\beta_2\frac{V_T}{I_{C_2}}+\beta_1\beta_2\frac{V_T}{I_{C_1}}}{\beta_1\frac{V_T}{I_{C_1}}+\frac{\beta_2V_T}{I_{C_2}}}$$

با توجه به اینکه دو ترانزیستور در همه پارامترها با هم برابرند و با مهم موازی شده‌اند،جریان $I_{C_1}$ با $I_{C_2}$ برابر می‌باشد. در نتیجه خواهیم داشت:

$$\beta=\frac{2\beta_1\beta_2}{\beta_1+\beta_2}$$

---

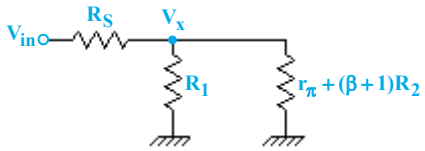
**۱۲ـ گزینه «۳»** مدار روبه‌رو یک تقویت‌کننده امیتر مشترک می‌باشد. بهره آن به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:




$$\frac{V_o}{V_{in}}=\frac{V_o}{V_x}\times\frac{V_x}{V_{in}}$$

(طبقه امیتر مشترک) $\frac{V_o}{V_x}=-\frac{R_C}{R_2+\frac{1}{g_m}}$

$$\frac{V_x}{V_{in}}=\frac{[R_1\parallel(r_\pi+(\beta+1)R_2)]}{[R_1\parallel(r_\pi+(\beta+1)R_2]+R_S}$$




$$\frac{V_o}{V_{in}}=-\frac{R_C}{R_2+\frac{1}{g_m}}\times\frac{[R_1\parallel\overbrace{(r_\pi+(\beta+1)R_2)}^{(\beta+1)(\frac{1}{g_m}+R_2)}]}{[R_1\parallel(r_\pi+(\beta+1)R_2)]+R_S}$$

$$\Rightarrow\frac{V_o}{V_{in}}=-\frac{R_C}{R_2+\frac{1}{g_m}}\times\frac{\frac{R_1\times(\beta+1)(\frac{1}{g_m}+R_2)}{R_1+(\beta+1)(\frac{1}{g_m}+R_2)}}{[R_1\parallel(r_\pi+(\beta+1)R_2)]+R_S}\Rightarrow\frac{V_o}{V_{in}}=-\frac{(\beta+1)R_1R_C}{R_1+(\beta+1)(\frac{1}{g_m}+R_2)}\times\frac{1}{\underbrace{[R_1\parallel(r_\pi+(\beta+1)R_2)]}_{\simeq R_1}+R_S}$$

(با فرض اینکه $R_1<<r_\pi+(\beta+1)R_2$)

$$\Rightarrow\frac{V_o}{V_{in}}=-\frac{R_1R_C}{\frac{R_1}{\beta+1}+\frac{1}{g_m}+R_2}\times\frac{1}{R_1+R_S}$$

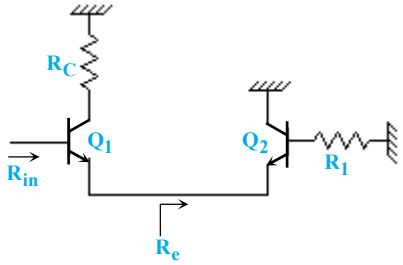
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۱۳ـ گزینه «۴»** ابتدا مقاومت دیده شده از امیتر ترانزیستور $Q_2$ را به دست می‌آوریم.




$$R_e = \frac{1}{g_{m_2}} + \frac{R_1}{\beta+1}$$

بنابراین داریم:

$$R_{in} = r_{\pi_1} + (\beta+1)R_e \Rightarrow R_{in} = r_{\pi_1} + (\beta+1)[\frac{1}{g_{m_2}} + \frac{R_1}{\beta+1}]$$

---

**۱۴ـ گزینه «۴»** تحلیل DC:

$$I_R = \frac{10 - V_{BE}}{9/3k\Omega} \Rightarrow I_R = 1mA$$

با فرض آنکه ترانزیستورها مشابه باشند خواهیم داشت: $I_{C_2} = I_{C_3} = I_{C_4}$

از طرفی داریم:

$$I_{C_3} + I_{C_4} = I_R \Rightarrow I_{C_2} = I_{C_3} = I_{C_4} = 0/5mA \Rightarrow g_{m_{2,3,4}} = 20ms \ , \ r_{o_{2,3,4}} = 200k\Omega$$

$$I_{C_1} = I_{C_2} = 0/5mA \Rightarrow g_{m_1} = 20ms \ , \ r_{o_1} = 200k\Omega$$

تحلیل ac:

$$\frac{V_o}{V_S} = -\frac{r_{o_1} \| r_{o_2}}{\frac{1}{g_{m_1}} + \frac{2k\Omega}{\beta+1}} \Rightarrow \frac{V_o}{V_S} \simeq -1667$$

---

**۱۵ـ گزینه «۱»** از تعریف مقاومت خروجی استفاده می‌کنیم:

$$r_o = (\frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}})^{-1} = (\frac{1/2-1}{3-1})^{-1} = 10k\Omega$$

---

**۱۶ـ گزینه «۲»**

$$R_o = R_1 \| [\frac{(R_2 \| R_S) + r_\pi}{\beta+1}]$$

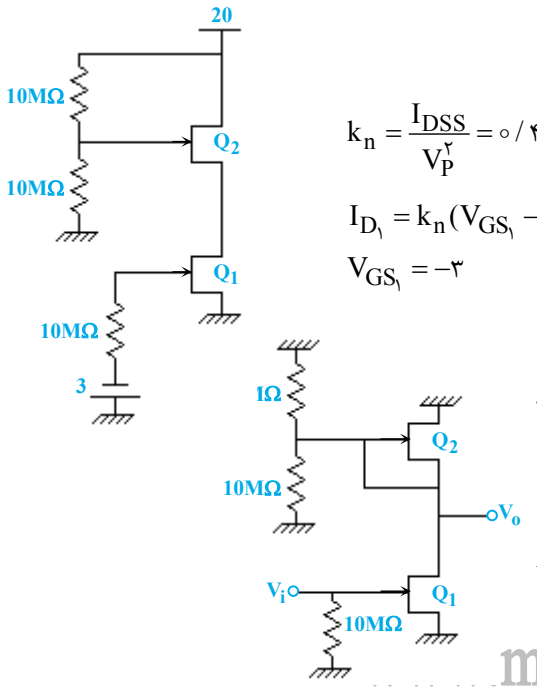
مقاومت‌های روی بیس بر $(\beta+1)$ تقسیم و به امیتر منتقل می‌شوند.

---

***درسنامه (۲): تحلیل ac ترانزیستورهای FET***

**۱۷ـ گزینه «۱»** ابتدا مدار را تحلیل DC کرده و با استفاده از جریان نقطه کار، پارامترهای سیگنال کوچک را به دست می‌آوریم، سپس با استفاده از رابطه $A_V = -G_m R_{out}$ بهره را محاسبه می‌کنیم.

تحلیل DC:




$$k_n = \frac{I_{DSS}}{V_P^2} = 0/4$$

$$I_{D_1} = k_n(V_{GS_1} - V_P)^2 \Rightarrow I_{D_1} = 0/4(-3-(-5))^2 \Rightarrow I_{D_1} = I_{D_2} = 1/6mA$$

$$V_{GS_1} = -3$$

$$g_{m_{1,2}} = \frac{2}{|V_P|}\sqrt{I_D I_{DSS}} = 1/6ms \Rightarrow r_{d_{1,2}} = \frac{50}{I_d} \Rightarrow r_{d_{1,2}} = 31/25k\Omega$$

تحلیل ac:

$$A_V = -G_m R_{out}$$

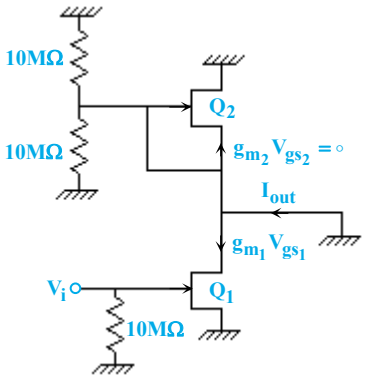
modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



محاسبه $G_m$:

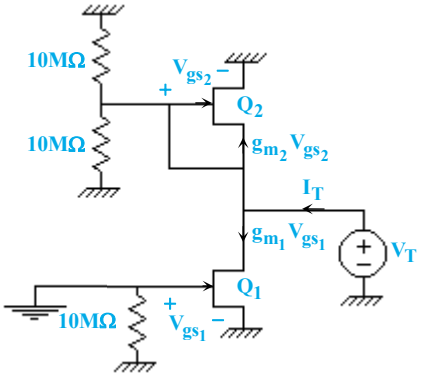
گره خروجی را به زمین اتصال کوتاه کرده و نسبت جریان خروجی به ولتاژ ورودی را به دست می‌آوریم.




$$I_{out}=g_{m_1}V_{gs_1} \quad \Rightarrow I_{out}=g_{m_1}V_i \Rightarrow G_m=\frac{I_{out}}{V_i}=g_{m_1}$$
$$v_{gs_1}=V_i$$

محاسبه $R_{out}$:

در گره خروجی منبع $V_T$ با جریان $I_T$ قرار می‌دهیم و با محاسبه نسبت $V_T$ به $I_T$ مقاومت خروجی را به دست می‌آوریم.




$$I_T=g_{m_1}v_{gs_1}+g_{m_2}v_{gs_2}+\frac{v_{gs_2}}{10M\,||\,10M}$$
$$v_{gs_1}=0 \qquad v_{gs_2}=0$$
$$I_T=\frac{V_T}{5000k} \Rightarrow \frac{V_T}{I_T}=5000k=5M\Omega$$

از طرفی مقاومت به دست آمده با مقاومت‌های داخلی ترانزیستورها یعنی $r_{o_1}$ و $r_{o_2}$ موازی می‌باشد، بنابراین کل مقاومت خروجی برابر است با:

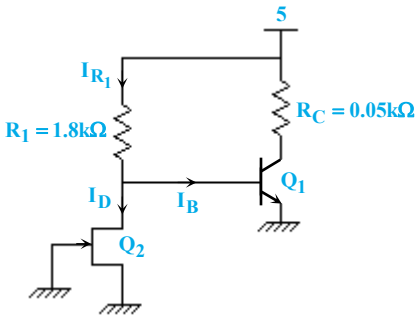
$$R_{out}=r_{o_1}\,||\,r_{o_2}\,||\,5000k\Omega \simeq 15/625k\Omega$$

در نهایت خواهیم داشت:

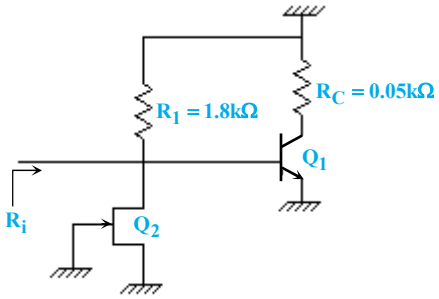
$$A_V=-g_{m_1}R_{out}=-1/6(15/625)=-25$$

---

**۱۸ـ گزینه «۴»** ابتدا نقطه کار مدار را به دست آورده و سپس به محاسبه مقاومت ورودی می‌پردازیم.




$$I_D=k_n(V_{GS}-V_P)^2$$
$$V_{GS}=0 \qquad \Rightarrow I_D=I_{DSS}=2mA$$
$$V_P=-0/6 \qquad \Rightarrow g_{m_2}=6/66ms$$
$$k_n=\frac{I_{DSS}}{V_P^2}$$




$$I_{R_1}=\frac{5-V_{BE}}{1/8}=2/39mA \Rightarrow I_B=0/39mA$$
$$\Rightarrow I_C=58/5mA \Rightarrow g_{m_1}=2340ms\ ,\ r_{\pi_1}=0/064k\Omega$$

محاسبه مقاومت ورودی:

$$R_i=R_1\,||\,r_{\pi_1}\,||\,r_{o_2} \Rightarrow R_i=1/8k\Omega\,||\,0/064k\Omega\,||\,\infty \simeq 0/064k\Omega$$
$$r_{o_2}=\infty$$

---

**۱۹ـ گزینه «۲»** گیت و درین ترانزیستور $Q_2$ به هم وصل شده‌اند؛ پس می‌توان آن را با مقاومت $\frac{1}{g_{m_2}}$ مدل نمود. بنابراین مقاومت خروجی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$R_o=\frac{1}{g_{m_1}}\,||\,\frac{1}{g_{m_2}}=\frac{1}{g_{m_1}+g_{m_2}}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



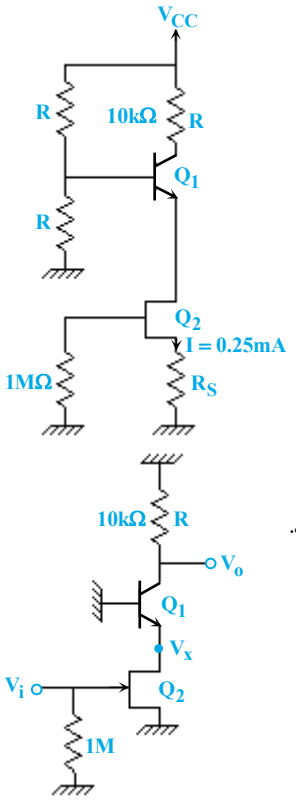
**۲۰ـ گزینه «۴»** گین مدار با توجه به رابطه $-g_m R_L$ به دست می‌آید. زمانی مدار بیشترین بهره را دارد که $R_L$ بیشترین مقدار خود را داشته باشد. با توجه به منحنی داده شده ملاحظه می‌شود که به ازای ولتاژ $V$ بین یک تا سه نسبت $\frac{V}{i}$ برابر $\infty$ می‌شود، بنابراین مدار بیشترین بهره را خواهد داشت.

بنابراین خواهیم داشت:

$$۱ < V < ۳ \Rightarrow ۷ < V_{ds} < ۹$$

---

**۲۱ـ گزینه «۱»** تحلیل DC: مدار معادل ac را به صورت زیر رسم و مقاومت $R_S$ و پارامترهای سیگنال کوچک مدار را محاسبه می‌کنیم.




$$I = ۰/۲۵\,mA \Rightarrow g_{m_۱} = ۴۰I = ۱۰\,ms \;,\; g_{m_۲} = \frac{۲}{|V_P|}\sqrt{I_D I_{DSS}} = ۰/۵\,ms$$

$$I = k_n (V_{GS} - V_P)^۲$$

$$k_n = \frac{I_{DSS}}{V_P^۲} = \frac{۱}{۴}\frac{mA}{V^۲}$$

$$V_{GS} = -R_S I \quad \Rightarrow ۰/۲۵ = ۰/۲۵(-۰/۲۵R_S - (-۴))^۲$$

$$I = ۰/۲۵\,mA \quad \Rightarrow -۰/۲۵R_S + ۴ = \pm ۱$$

شرط روشن بودن ترانزیستور JFET این است که $V_{GS} > V_P$ باشد، پس $-۰/۲۵R_S + ۴ > ۰$ می‌باشد.

$$-۰/۲۵R_S + ۴ = ۱ \rightarrow R_S = ۱۲k\Omega$$

تحلیل ac: مدار از دو طبقه بیس مشترک و امیتر مشترک تشکیل شده است و بهره آن به صورت زیر به دست می‌آید.




$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_x} \times \frac{V_x}{V_i}$$

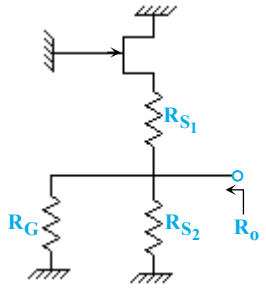
(طبقه بیس مشترک) $\frac{V_o}{V_x} = g_{m_۱} R = ۱۰۰$

(طبقه امیتر مشترک) $\frac{V_x}{V_i} = -g_{m_۲}\frac{۱}{g_{m_۱}} = -۰/۰۵$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -۵$$

---

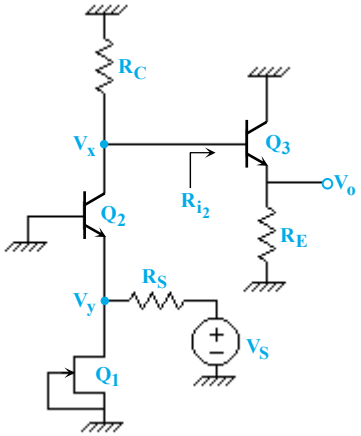
**۲۲ـ گزینه «۴»** ابتدا تمام منبع DC و ac را صفر می‌کنیم و مدار را به شکل مقابل ساده می‌کنیم. مقاومت خروجی از رابطه زیر به دست می‌آید:




$$R_o = R_{S_۲} \| R_G \| (R_{S_۱} + \frac{۱}{g_m})$$

---

**۲۳ـ گزینه «۲»** ابتدا مدار معادل ac را رسم می‌کنیم.




$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_x} \times \frac{V_x}{V_y} \times \frac{V_y}{V_s}$$

(طبقه کلکتور مشترک) $\frac{V_o}{V_x} = \frac{R_E}{R_E + \frac{۱}{g_m}} \xrightarrow{R_E >> r_e = \frac{۱}{g_m}} \frac{V_o}{V_x} = ۱$

(طبقه بیس مشترک) $\frac{V_x}{V_y} = g_{m_۲}(R_C \| R_{i_۲}) \xrightarrow{R_C << R_{i_۲}} \frac{V_x}{V_y} = g_{m_۲} R_C$

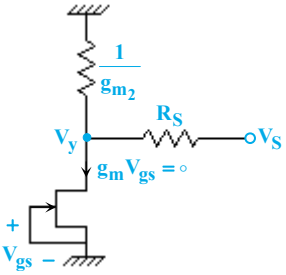
$$\frac{V_y}{V_s} = \frac{\frac{۱}{g_{m_۲}}}{\frac{۱}{g_{m_۲}} + R_s}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



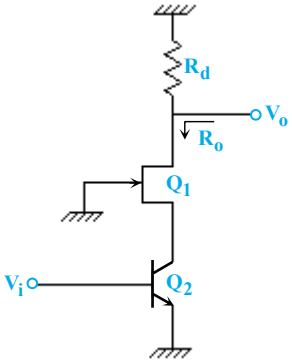
بنابراین داریم:




$$\frac{V_o}{V_S}=\frac{R_C}{\frac{۱}{g_{m_۲}}+R_S}\xrightarrow{R_S>>\frac{۱}{g_{m_۲}}}\frac{V_o}{V_S}=\frac{R_C}{R_S}$$

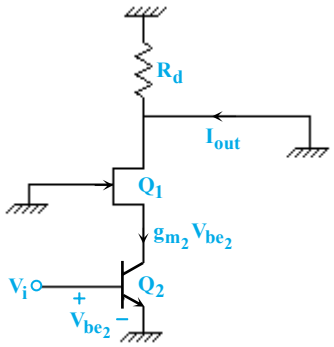
---

**۲۴ـ گزینه «۲»** برای محاسبه بهره از رابطه $A_V=-G_mR_{out}$ استفاده می‌کنیم.




$$R_{out}=R_d\,\|\,R_o$$
$$R_o=r_{o_۱}+(۱+g_{m_۱}r_{o_۱})r_{o_۲}\Rightarrow R_o\simeq g_{m_۱}r_{o_۱}r_{o_۲}$$
$$\Rightarrow R_{out}=R_d\,\|\,g_{m_۱}r_{o_۱}r_{o_۲}\simeq R_d$$

محاسبه $G_m$: خروجی را به زمین اتصال کوتاه می‌کنیم و نسبت $\frac{I_{out}}{V_i}$ را به دست می‌آوریم.



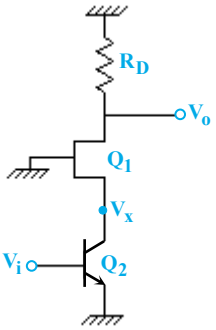

$$I_{out}=g_{m_۲}V_i\Rightarrow G_m=\frac{I_{out}}{V_i}=g_{m_۲}$$

$$A_V=-g_{m_۲}R_d=-\frac{I_C}{V_T}R_d$$

---

**۲۵ـ گزینه «۱»** تقویت‌کننده از دو طبقه گیت مشترک و امیتر مشترک تشکیل شده است. بهره مدار از ضرب بهره دو طبقه به دست می‌آید.

**روش اول:**

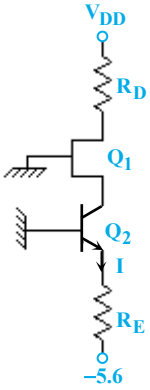



$$\frac{V_o}{V_i}=\frac{V_o}{V_x}\times\frac{V_x}{V_i}$$

(طبقه امیتر مشترک) $\frac{V_x}{V_i}=-g_{m_۲}\frac{۱}{g_{m_۱}}$ (طبقه گیت مشترک) $\frac{V_o}{V_x}=g_{m_۱}R_D$

$$\rightarrow\frac{V_o}{V_i}=-g_{m_۲}R_D$$

مدار را تحلیل DC می‌کنیم و $g_{m_۲}$ را به دست می‌آوریم.




$$I=\frac{-۰/۶-(-۵/۶)}{R_E}=\frac{۵}{R_E}\Rightarrow g_{m_۲}=\frac{۲۰۰}{R_E}$$
$$\Rightarrow\frac{V_o}{V_i}=-۲۰۰\frac{R_D}{R_E}$$

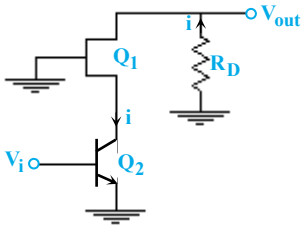
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**روش دوم:** مقدار ترارسانایی ترانزیستورها را با استفاده از تحلیل DC به‌صورت زیر می‌توان حساب کرد:

$$I=\frac{-0/6-(-5/6)}{R_E}=\frac{5}{R_E}\Rightarrow g_{m_2}=\frac{200}{R_E}$$

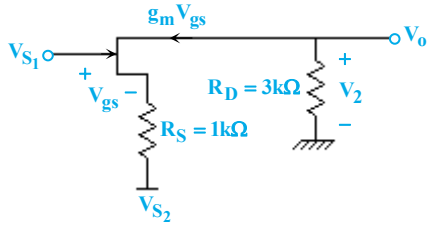



با استفاده از مدار معادل ac زیر و به کمک روش پخش جریان‌ها می‌توانیم بهره‌ی مدار را به‌صورت زیر به دست آوریم:

$$i=g_m V_i$$
$$V_{out}=-R_D\times i=-g_m R_D.V_i$$
$$\Rightarrow A_v=-g_m R_D=-200\frac{R_D}{R_E}$$

---

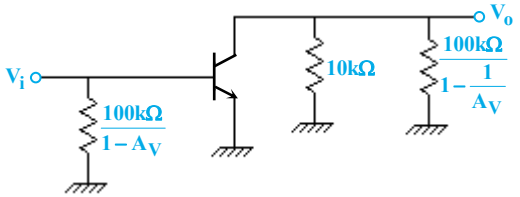
**۲۶ـ گزینه «۴»** از روش پخش جریان استفاده می‌کنیم.




$$g_m V_{gs}=\frac{(V_{S_1}-V_{gs})-V_{S_2}}{R_S=1k\Omega}\rightarrow V_{S_1}-V_{S_2}\simeq 100V_{gs}$$
$$V_2=-g_m R_D V_{gs}\Rightarrow V_{gs}=-\frac{V_2}{300}$$
$$V_{S_1}-V_{S_2}=-\frac{V_2}{3}\Rightarrow V_2=3(V_{S_2}-V_{S_1})$$

---

**۲۷ـ گزینه «۳»** مقاومت $100k\Omega$ را طبق قضیه میلر تجزیه می‌کنیم. بنابراین به مدار ساده شده زیر می‌رسیم. توجه کنید که $A_V$ در قضیه‌ی میلر همان بهره‌ی تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک است که $A_V>>1$ می‌باشد.

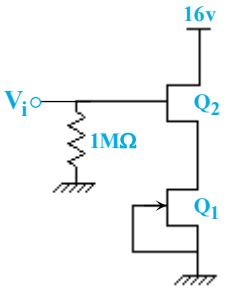



$$\text{(طبقه امیتر مشترک)}\ \frac{V_o}{V_i}=-\frac{10k\Omega\,\|\,\left(\frac{100k\Omega}{1-\frac{1}{A_V}}\right)}{\frac{1}{g_m}}\xrightarrow{A_V>>1}\frac{V_o}{V_i}=-g_m(10k\Omega\,\|\,100k\Omega)\simeq -360$$

$$g_m=40I_C=40ms$$

---

**۲۸ـ گزینه «۴»** تحلیل DC:




$$I_{D_1}=I_{D_2}\Rightarrow k_{n_1}(V_{GS_1}-V_{P_1})^2=k_{n_2}(V_{GS_2}-V_{P_2})^2$$
$$\Rightarrow\frac{2}{V_{P_1}^2}(0-V_{P_1})^2=\frac{8}{16}(V_{GS_1}+4)^2$$
$$\Rightarrow V_{GS_2}+4=\pm 2\xrightarrow[V_{GS_2}>-4]{\text{شرط ON بودن } Q_2}V_{GS_2}+4=+2\Rightarrow V_{GS_2}=-2$$
$$\Rightarrow I_{D_1}=I_{D_2}=2mA\Rightarrow g_{m_2}=2ms$$

تحلیل ac: مدار فوق یک تقویت درین مشترک است و گین آن با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید:

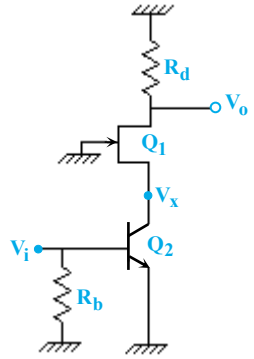
$$\frac{V_o}{V_i}=\frac{5/6k\Omega}{5/6k\Omega+\frac{1}{g_{m_2}}}=0/918$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۹ـ گزینه «۱»** تقویت‌کننده روبه‌رو شامل دو طبقه امیتر مشترک و گیت مشترک می‌باشد. بهره مدار فوق از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

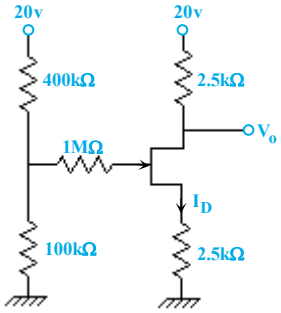



$$\frac{V_o}{V_i}=\frac{V_o}{V_x}\times\frac{V_x}{V_i}=(g_{m_1}R_d)\times(-g_{m_2}\frac{1}{g_{m_1}})$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i}=-g_{m_2}R_d \Rightarrow \frac{V_o}{V_i}=-\frac{\beta}{r_\pi}R_d$$

---

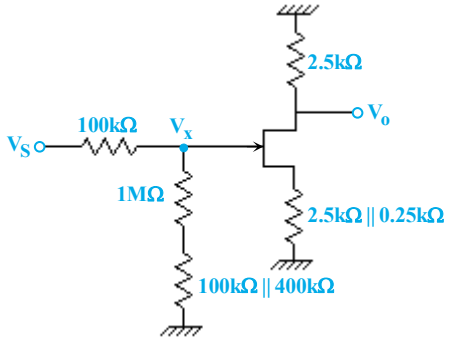
**۳۰ـ گزینه «۱»** تحلیل DC: مدار معادل DC مدار را رسم کرده و نقاط کار مدار و پارامترهای سیگنال کوچک را به دست می‌آوریم.




$$I_D=k_n(V_{GS}-V_P)^2 \quad V_{GS}=4-2/5I_D \Rightarrow I_D=\frac{8}{4}(-2/5I_D+6)^2$$

$$\Rightarrow I_D=2mA \Rightarrow g_m=\frac{2}{|V_P|}\sqrt{I_DI_{DSS}}=4ms$$

تحلیل ac:




$$\frac{V_o}{V_S}=\frac{V_o}{V_x}\times\frac{V_x}{V_s}$$

$$\frac{V_o}{V_x}=-\frac{2/5k\Omega}{\frac{1}{g_m}+(2/5k\Omega\,||\,0/25k\Omega)}\simeq -5$$

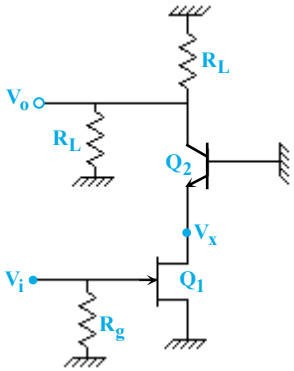
$$\frac{V_x}{V_s}=\frac{1M\Omega+(100k\Omega\,||\,400k\Omega)}{1M\Omega+(100k\Omega\,||\,400k\Omega)+100k\Omega}\simeq 0/92$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_S}=4/6$$

---

**۳۱ـ هیچ‌کدام از گزینه‌ها صحیح نیست.**

مدار از دو طبقه بیس مشترک و سورس مشترک تشکیل شده است. بهره آن از حاصل‌ضرب بهره دو طبقه به دست می‌آید.




$$\frac{V_o}{V_i}=\frac{V_o}{V_x}\times\frac{V_x}{V_i}$$

(طبقه بیس مشترک) $\frac{V_o}{V_x}=g_{m_2}(R_L\,||\,R_L)=\frac{1}{2}g_{m_2}R_L$

(طبقه سورس مشترک) $\frac{V_x}{V_i}=-g_{m_1}\frac{1}{g_{m_2}}$

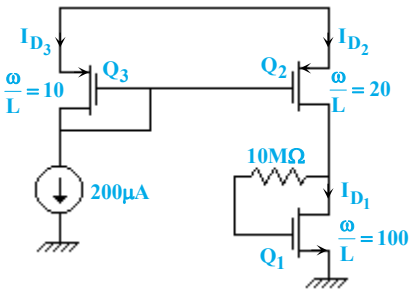
$$\frac{V_o}{V_i}=-\frac{1}{2}g_{m_1}R_L$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



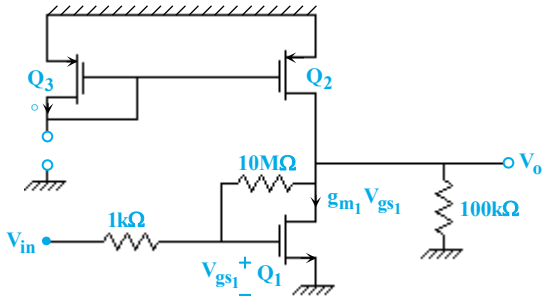
**۳۲ـ گزینه «۱»** ابتدا حالت DC مدار را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در زیر مدار معادل DC مدار نشان داده شده است.




$$\begin{cases} V_{GS_2}=V_{GS_3} \\ (\frac{\omega}{L})_2=2(\frac{\omega}{L})_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{D_2}=2I_{D_3} \\ I_{D_3}=200\mu A \end{cases} \Rightarrow I_{D_2}=I_{D_1}=400\mu A$$

$$g_{m_1}=\sqrt{2\mu_n C_{ox}(\frac{w}{L})_1 I_{D_1}} \Rightarrow g_{m_1}=4ms$$

برای محاسبه بهره مدار از روش پخش جریان استفاده می‌کنیم و مدار معادل ac را به صورت مقابل رسم می‌کنیم.




$$\begin{matrix} i_{d_3}=0 \\ V_{gs_2}=V_{gs_3} \end{matrix} \Rightarrow i_{d_2}=0$$

در گره $V_o$، قاعده‌ی KCL را به صورت زیر می‌نویسیم:

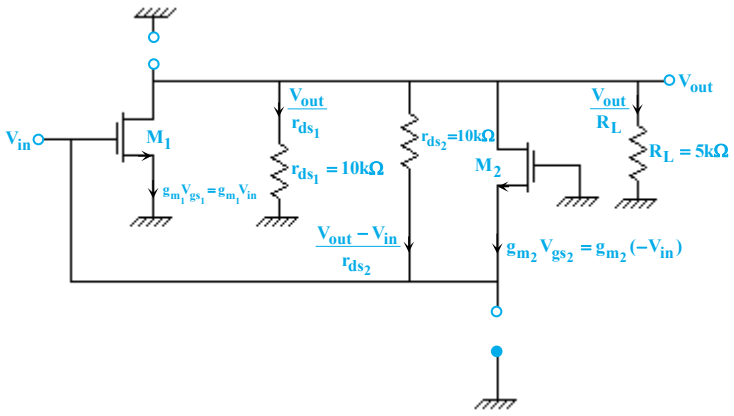
$$\frac{V_{in}-V_o}{1k\Omega+10M\Omega}+\frac{0-V_o}{100k\Omega}=g_{m_1}V_{gs_1} \Rightarrow V_{gs_1}=\frac{V_{in}}{400000}-\frac{V_o}{400} \qquad (1)$$

$$\frac{V_{in}-V_{gs_1}}{1k\Omega}=\frac{V_{in}-V_o}{1k\Omega+10M\Omega} \Rightarrow V_{gs_1}=V_{in}+\frac{V_o}{10000} \qquad (2)$$

$$(1)=(2) \Rightarrow \frac{V_{in}}{400000}-\frac{V_o}{400}=V_{in}+\frac{V_o}{10000} \Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} \simeq -400$$

---

**۳۳ـ گزینه «۴»** از روش پخش جریان استفاده می‌کنیم. به مدار معادل ac رسم شده در شکل زیر دقت کنید:




$$\text{KCL در گره } V_{out}: g_{m_1}V_{in}+\frac{V_{out}}{r_{ds_1}}+\frac{V_{out}-V_{in}}{r_{ds_2}}-g_{m_2}V_{in}+\frac{V_{out}}{R_L}=0$$

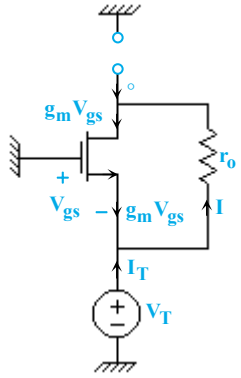
$$\Rightarrow 20V_{in}+\frac{V_{out}}{10k\Omega}+\frac{V_{out}-V_{in}}{10k\Omega}-10V_{in}+\frac{V_{out}}{5k\Omega}=0 \Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}}=-\frac{9/9}{0/4}=-24/75$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۳۴ـ گزینه «۴»** مدار معادل ac را رسم کرده و در سورس ترانزیستور منبع $V_T$ با جریان $I_T$ قرار داده، نسبت $\frac{V_T}{I_T}$ را به دست می‌آوریم.




$$I = g_m V_{gs}$$
$$I_T = -g_m V_{gs} + I \Rightarrow I_T = 0 \Rightarrow \frac{V_T}{I_T} = \infty$$

---

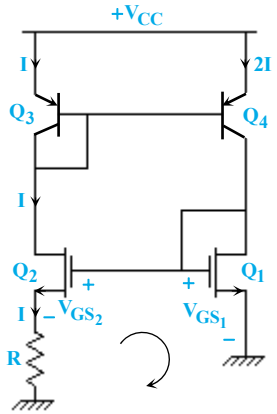
**۳۵ـ گزینه «۳»** ابتدا حالت DC مدار را بررسی کرده و پارامترهای سیگنال کوچک مورد نیاز را به دست می‌آوریم.

$$V_{GS_2} = 0 \Rightarrow I_{D_2} = I_{DSS} = 2mA \Rightarrow g_{m_{1,2}} = \frac{2}{|V_P|}\sqrt{I_D I_{DSS}} = 4ms$$

$$R_o = r_{o_2} \| (r_{o_1} \| \frac{1}{g_{m_1}}) = 40k\Omega \| 40k\Omega \| \frac{1}{4}k\Omega \simeq 0/25k\Omega = 250\Omega$$

---

**۳۶ـ گزینه «۴»** چون مساحت پیوند بیس ـ امیتر ترانزیستور $Q_4$ دو برابر $Q_3$ است، جریان عبوری از ترانزیستور $Q_4$ نیز دو برابر $Q_3$ می‌باشد. با توجه به شکل داریم:




$$I_{D_1} = I_{C_4} = k(V_{GS_1} - V_T)^2 = 2I \qquad (1)$$
$$I_{D_2} = I_{C_3} = k(V_{GS_2} - V_T)^2 = I \qquad (2)$$

با توجه به KVL داریم:
$$V_{GS_1} = V_{GS_2} + RI \qquad (3)$$

با جایگذاری رابطه (۳) در روابط (۱) و (۲) جریان I به دست می‌آید:

$$I = \frac{(V_{GS_1} - V_T)(1 - \frac{1}{\sqrt{2}})}{R} \qquad (4)$$

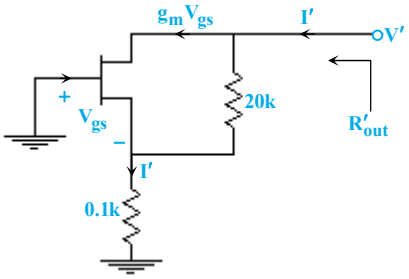
$g_{m_1}$ از رابطه روبرو به دست می‌آید:
$$g_{m_1} = 2\sqrt{kI_{D_1}} = 2\sqrt{k(k(V_{GS_1} - V_T)^2)} = 2k(V_{GS_1} - V_T) \qquad (5)$$

با جایگذاری k در رابطه (۵) داریم:
$$\xrightarrow{(1)} k = \frac{2I}{(V_{GS_1} - V_T)^2} \qquad g_{m_1} = \frac{4I}{(V_{GS_1} - V_T)}$$

جریان I را در $g_{m_1}$ جایگذاری می‌کنیم:
$$g_{m_1} = \frac{4(V_{GS_1} - V_T)(1 - \frac{1}{\sqrt{2}})}{R(V_{GS_1} - V_T)} = \frac{4(1 - \frac{1}{\sqrt{2}})}{R} = \frac{2(2 - \sqrt{2})}{R}$$

---

**۳۷ـ گزینه «۳»** مقادیر جریان DC و $g_m$ مربوط به ترانزیستور در سؤال قبلی محاسبه شدند؛ حال با کمک مقادیر به‌دست آمده، مدار معادل ac برای محاسبه‌ی مقاومت خروجی را رسم می‌کنیم (دقت شود که ورودی باید زمین شود).




$$V_{gs} = -0/1I'$$
$$KVL \Rightarrow V' = 20(I' - gmV_{gs}) + 0/1I'$$
$$\Rightarrow V' = 20(I' + 0/1gI') + 0/1I' \Rightarrow \boxed{R'_{out} = \frac{V'}{I'} = 22/9k\Omega}$$
$$R_{out} = R'_{out} \| 5^k = 22/9^k \| 5^k = 4/1^k \Rightarrow \boxed{R_{out} = 4/1k\Omega}$$

دقت شود خازن $C_2$ در فرکانس ۱۰۰۰Hz مقدار خیلی کمی دارد و جواب نهایی همان ۴/۱kΩ درست می‌باشد.

---

www.modaresanesharif.ac.ir

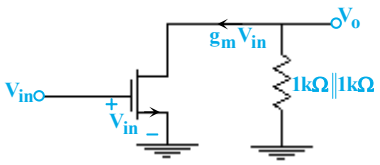
www.modaresanesharif.ac.ir



**۳۸ـ گزینه «۳»** در ابتدا با توجه به اطلاعات مسئله مقدار ترارسانایی ترانزیستور را حساب می‌کنیم:

$$g_m = \mu_n C_{ox}(\frac{W}{L})(V_{GS}-V_T) = ۰/۱\times۲\times(۳-۰/۸) = ۰/۴۴ ms$$

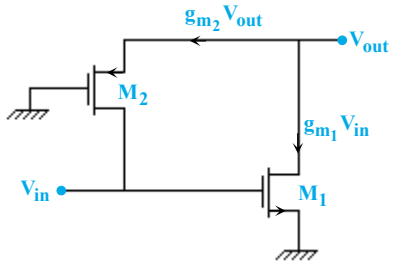
مدار معادل ac برای محاسبه بهره به‌صورت زیر می‌باشد:




$$V_o = -g_m V_{in}(۱k \| ۱k)$$
$$\Rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = -g_m \times ۰/۵ = -۰/۲۲$$

**۳۹- گزینه «۳»** ابتدا مدار را در حالت ac می‌کشیم:

با نوشتن KCL در خروجی داریم:




$$KCL: i_۱ + i_۲ = ۰$$
$$g_{m_۱} V_{in} = g_{m_۲} V_{out}$$

بهره به‌دست می‌آید:

$$A_V = \frac{g_{m_۱}}{g_{m_۲}} = \sqrt{\frac{k_۱ I_{D_۱}}{k_۲ I_{D_۲}}} = \sqrt{\frac{\frac{I_{o_۱}}{(۰/۲)^۲}\times I_{D_۱}}{\frac{I_{D_۲}}{(۰/۲)^۲}\times I_{D_۲}}} = \frac{I_{D_۱}}{I_{D_۲}} = \frac{۰/۸}{۰/۲} = ۴$$

**۴۰- گزینه «۱»** ابتدا تحلیل DC را انجام می‌دهیم:

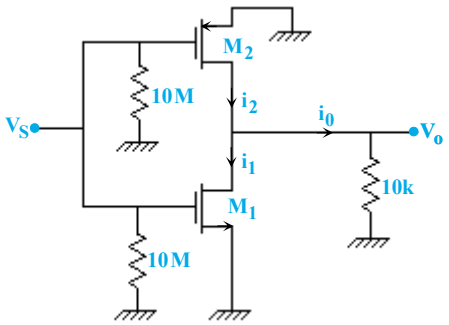
$$V_G = \frac{۴\times۱۰M - ۴\times۱۰M}{۱۰M + ۱۰M} = ۰$$

$$I_{D_{۱,۲}} = I_D = k(V_{GS}-V_{th})^۲ = \frac{۱}{۲}\times۱\times(۰-۴+۱)^۲ = ۲mA$$

$$g_{m_{۱,۲}} = g_m = ۲\sqrt{kI_D} = ۲m\mho$$

$g_m$ها را به‌دست می‌آوریم:

برای تحلیل ac، مدار شکل مقابل را رسم می‌کنیم:




جریان خروجی برابر است با:
$$i_o = i_۲ - i_۱$$

جریان $M_۲$ برابر است با:
$$i_۲ = g_{m_۲} V_{sg_۲} = -۲V_s$$

جریان $M_۱$ را به‌دست می‌آوریم:
$$i_۱ = g_{m_۱} V_{gs_۱} = ۲V_s$$

ولتاژ خروجی را می‌نویسیم:

$$V_o = ۱۰ i_o = ۱۰(i_۲ - i_۱)$$
$$V_o = ۱۰(-۲V_s - ۲V_s) = -۴۰V_s$$

بنابراین بهره به‌دست می‌آید:
$$A_V = \frac{V_o}{V_s} = -۴۰$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

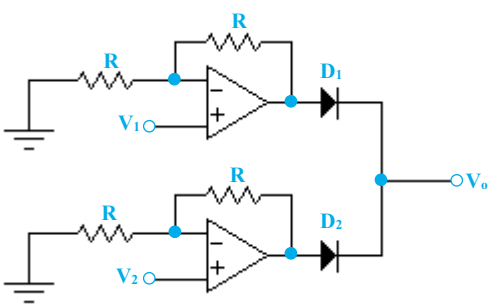


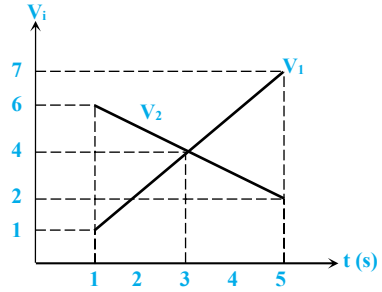
# فصل چهارم
# تقویت‌کننده عملیاتی

## تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل چهارم

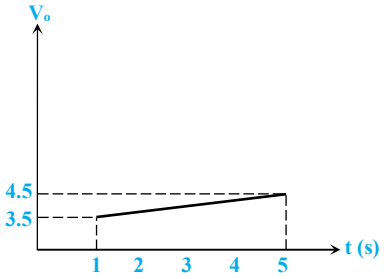
۱ـ باتوجه به ولتاژهای $V_1$ و $V_2$ داده شده، کدام‌یک از شکل‌های زیر نشان‌دهندهٔ $V_o$ هستند؟ (سراسری ۷۵ و مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۹۵)

۱) (a) ۲) (b) ۳) (c) ۴) (d)

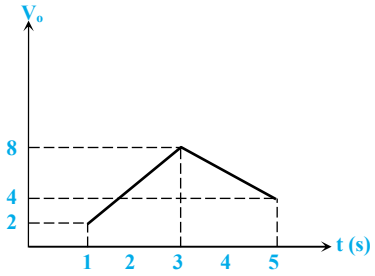


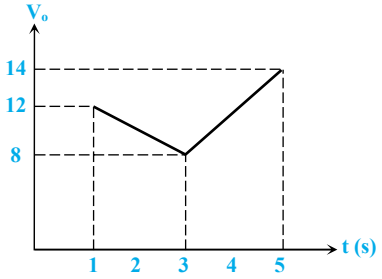

(a)



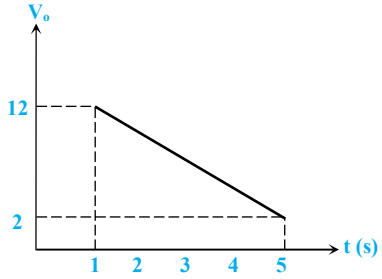

(b)



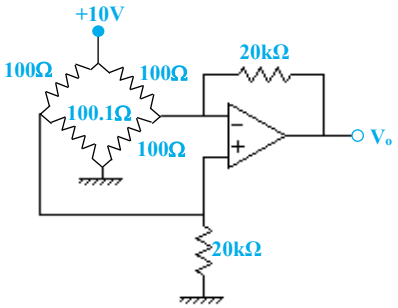

(c)




(d)




۲ـ با فرض OP-AMP ایده‌آل، ولتاژ خروجی مدار زیر را به‌دست آورید (ولتاژ اشباع OP-AMP را $\pm 10\,V$ در نظر بگیرید). (سراسری ۷۵)




۱) ۰V

۲) ۱V

۳) ۴V

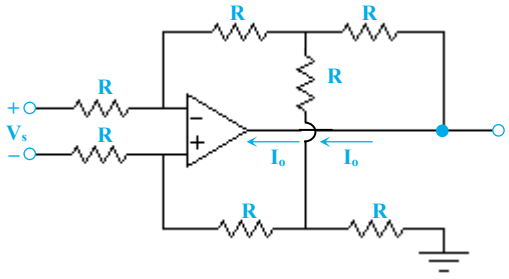
۴) ۱۰V

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۳ـ با فرض OP – AMP ایده‌آل، جریان $I_o$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟ (سراسری ۷۶)



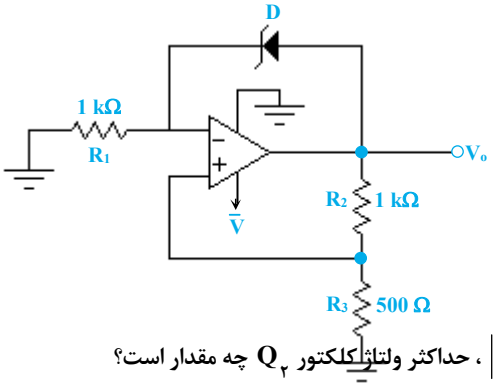

۱) $\frac{V_s}{R}$

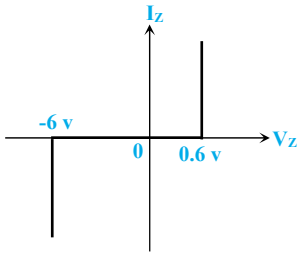
۲) $\frac{2V_s}{R}$

۳) $\frac{V_s}{2R}$

۴) $\frac{3V_s}{2R}$

۴ـ مدار شکل زیر با یک منبع تغذیه منفی کار می‌کند. با توجه به منحنی مشخصهٔ دیود زنر داده شده، ولتاژ خروجی $V_o$ را به‌دست آورید؟ (OP – AMP را ایده‌آل در نظر بگیرید.) (سراسری ۷۷)



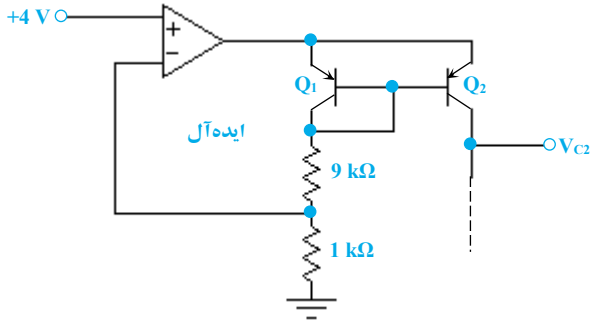

۱) $-۹\ V$

۲) $-۶\ V$

۳) $۰/۶\ V$

۴) $۰/۹V$

۵ـ در مـدار شکل زیر داریم: $|V_{BE(ON)}| = ۰/۷\ V$ ، $|V_{CE(sat)}| = ۰/۲\ V$ ، حداکثر ولتاژ کلکتور $Q_۲$ چه مقدار است؟ (سراسری ۷۹)



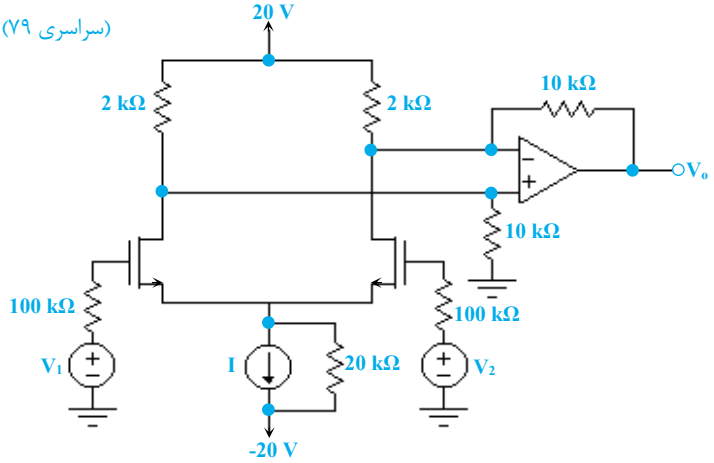

۱) $۳/۱V$

۲) $۴/۵V$

۳) $۳۹/۱V$

۴) $۴۰/۵\ V$

۶ـ در مدار مقابل OP – AMP ایده‌آل می‌باشد، اگر بدانیم $g_m = ۲\frac{mA}{V}$ می‌باشد، بهره دیفرانسیلی $A_{dm}$ مدار چه خواهد بود؟ (سراسری ۷۹)




۱) ۲۰

۲) ۱۰

۳) ۵

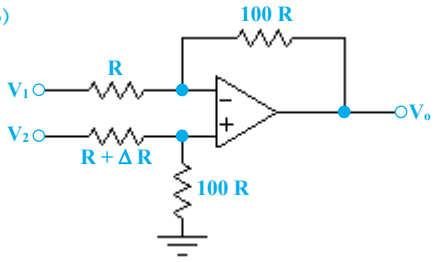
۴) ۱

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

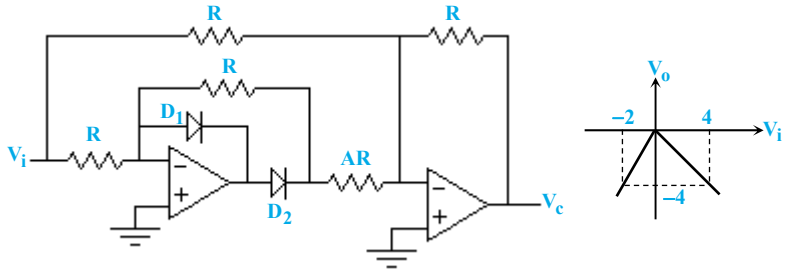


۷ـ با استفاده از یک OP – AMP ایده‌آل در مدار زیر، اگر $\frac{\Delta R}{R} = ۰/۱$ باشد، بهره حالت مشترک مدار، $A_c = \frac{V_o}{V_c}$ چقدراست؟ $(V_۱ = V_۲ = V_c)$ (سراسری ۷۹)



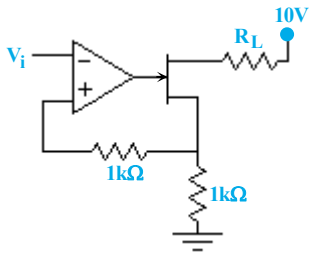

۱) ۰/۰۰۰۱
۲) ۰/۰۰۱
۳) ۰/۰۱
۴) ۰/۱

۸ـ در مدار زیر برای اینکه تابع انتقال مدار به شکل داده شده باشد، ضریب A برابر است با (دیودها ایده‌آل): (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)



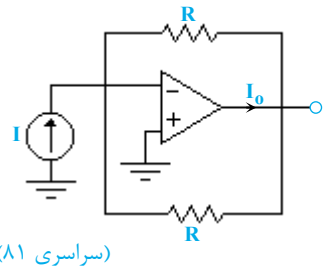

۱) ۳
۲) $\frac{۱}{۳}$
۳) $\frac{۱}{۲}$
۴) ۲

۹ـ در این مدار $۱V \le V_i \le ۵V$ است. حدود مقاومت $R_L$ برای اینکه JFET در ناحیه فعال باشد، برابر است با: $(|V_P| = ۳v\ ,\ I_{DSS} = ۹mA)$ (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)



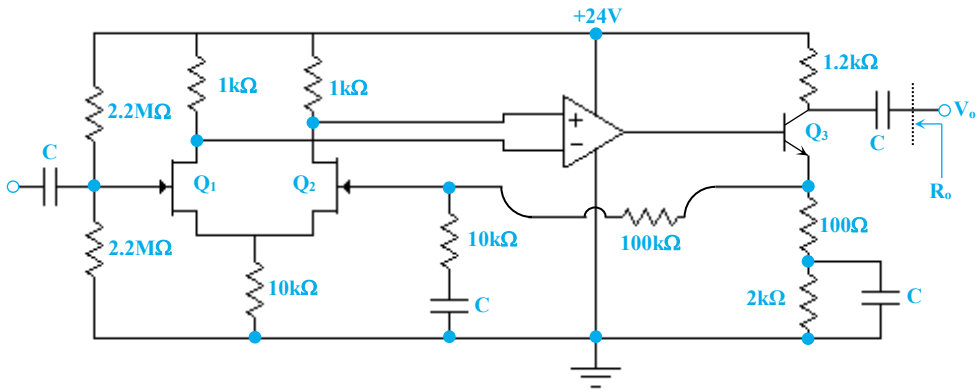

۱) $R_L < ۰/۵۲K\Omega$
۲) $R_L < ۲/۹۵K\Omega$
۳) $R_L < ۱/۷۵K\Omega$
۴) $R_L < ۳/۴۵K\Omega$

۱۰ـ در مدار زیر $I_o$ برابر است با: (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)




۱) ۲I
۲) −۲I
۳) I
۴) −I

۱۱ـ مطلوب است ؟ $= \left|\frac{V_o}{V_i}\right|$، $(V_{p_{۱,۲}} = -۳V$ و $\beta_۳ = ۱۰۰$، $C \to \infty)$: (سراسری ۸۱)




۱) $|A_V| = \left|\frac{V_o}{V_i}\right| = ۱۱$
۲) $|A_V| = \left|\frac{V_o}{V_i}\right| = ۶/۶$
۳) $|A_V| = \left|\frac{V_o}{V_i}\right| = ۱۳۲$
۴) $|A_V| = \left|\frac{V_o}{V_i}\right| = ۶۶$

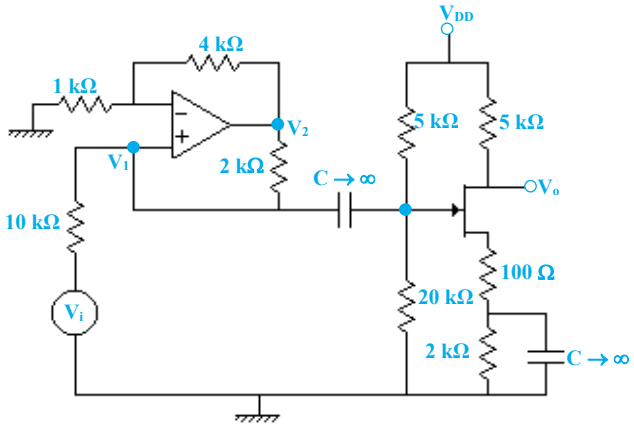
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۲ـ در مدار مقابل بهره ولتاژ به کدام یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ ($OP-AMP$ ایده‌آل فرض شود.) ($g_m = ۱۰\,mA/V$)

(سراسری ۸۲)




۱) $A_V = ۳$

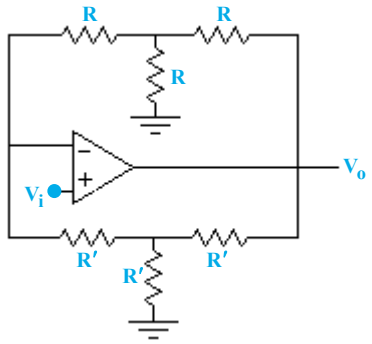
۲) $A_V = ۱/۵$

۳) $A_V = ۲۵$

۴) $A_V = ۵$

۱۳ـ در مدار مقابل $\frac{V_o}{V_i}$ برابر است با:

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۲)




۱) ۲

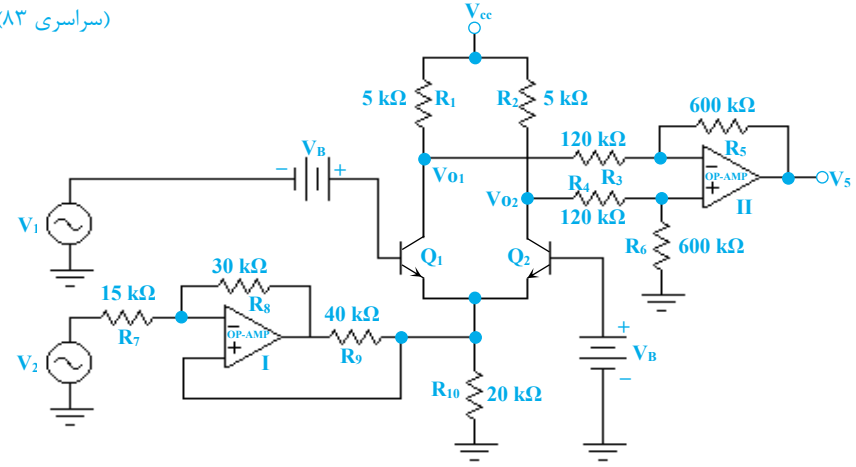
۲) $\frac{۲R'}{R}$

۳) $\frac{۲R}{R'}$

۴) ۱

۱۴ـ در شکل زیر $V_o$ را بر حسب $V_۱$ و $V_۲$ به دست آورید. ترانزیستورها مشابه هستند و $Op-Amp$ها ایده‌آل فرض می‌شوند.

(سراسری ۸۳)




۱) $+۵V_۱V_۲$

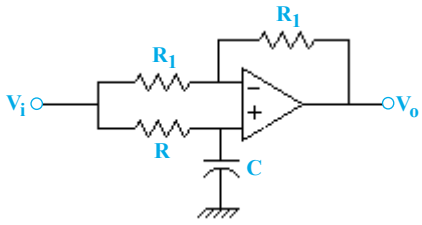
۲) $+۱۰\,V_۱V_۲$

۳) $+۲۰\,V_۱V_۲$

۴) $+۲۵V_۱V_۲$

۱۵ـ مدار شکل زیر چه نوع فیلتری است؟

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳)




۱) میان‌گذر

۲) پایین‌گذر

۳) بالا گذر

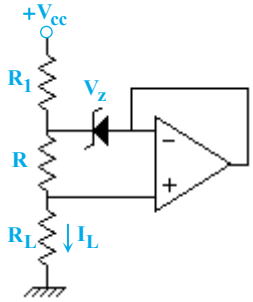
۴) تمام‌گذر

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۶ـ در مدار شکل زیر میزان $I_L$ برابر است با: (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳)



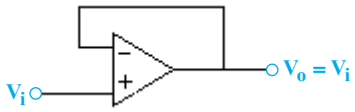

۱) $\frac{V_{CC}-V_Z}{R}$

۲) $\frac{V_Z}{R_L}$

۳) $\frac{V_Z}{R}$

۴) $\frac{V_{CC}-V_Z}{R_1}$

۱۷ـ در یک مدار تقویت کننده با $OP-AMP$، اگر $Slew\ Rate = ۲۵\frac{v}{\mu sec}$ باشد و ماکزیمم ولتاژ خروجی مجاز $\pm ۱۰$ ولت باشد، در مدار زیر که تقویت‌کننده عملیاتی مذکور به کار گرفته شده است، حداقل پهنای باند تمام قدرت این مدار برابر است با: (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳)



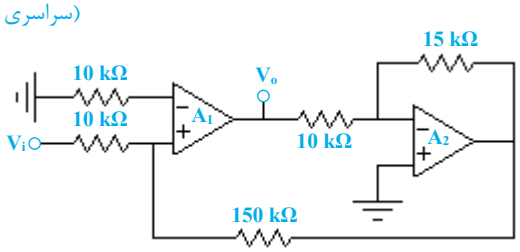

۱) ۵۱۲ کیلوهرتز

۲) ۶۰۰ کیلوهرتز

۳) ۲۱۵ کیلوهرتز

۴) ۳۹۸ کیلوهرتز

۱۸ـ در مدار داده شده، بهرهٔ ولتاژ $A_V = \frac{V_o}{V_i}$ چقدر است؟ (سراسری ۸۴)



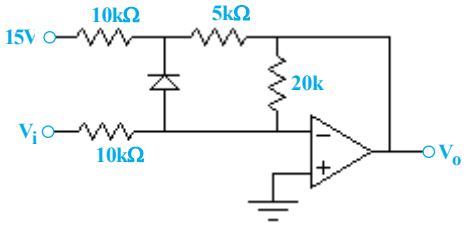

۱) ۱۵

۲) ۱۰

۳) ۱/۵

۴) −۱۵

۱۹ـ دیود ایده‌آل مدار زیر در صورتی روشن است که: (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۴)



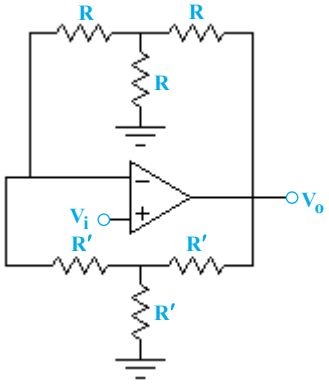

۱) $V_i \geq ۳/۷۵V$

۲) $V_i \leq ۳/۷۵V$

۳) $۳/۷۵ \leq V_i \leq ۳/۷۵V$

۴) $V_i \geq ۷/۵V$

۲۰ـ ضریب بهره ولتاژ مدار زیر برابر است با: (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۴)




۱) ۱

۲) ۲

۳) $\frac{R'}{R}$

۴) $\frac{R}{R'}$

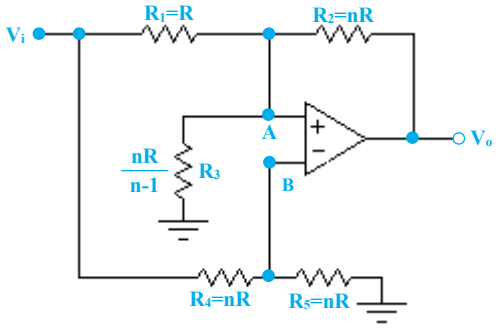
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۲۱ـ با فرض ایده‌آل بودن $Op-Amp$ در مدار شکل زیر، ضریب بهرهٔ ولتاژ مدار برابر کدام‌یک از مقادیر داده شده می‌باشد؟

(سراسری ۸۵)



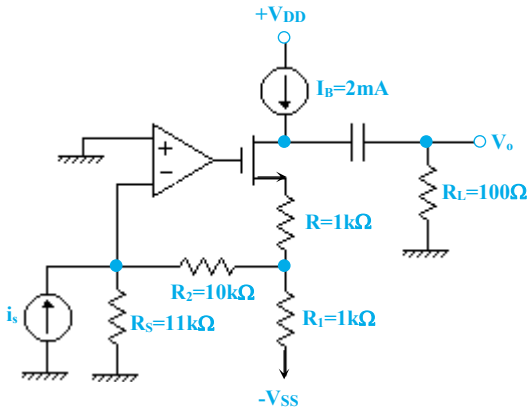

۱) $A_V=0$

۲) $A_V=-n$

۳) $A_V=n+1$

۴) $A_V=-n+1$

۲۲ـ در مدار شکل مقابل با فرض آنکه تقویت‌کنندهٔ عملیاتی ایده‌آل باشد، مقدار $\frac{V_o}{i_s}$ چقدر می‌باشد؟ (سراسری ۸۵)




۱) $+550$

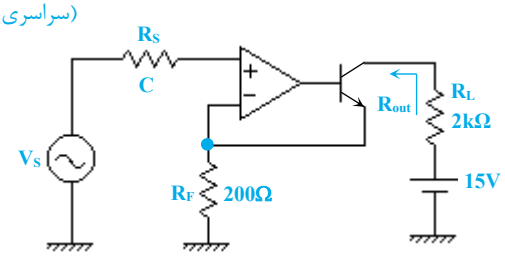
۲) $-550$

۳) $+1100$

۴) $-1100$

۲۳ـ در شکل مقابل مشخصات $Op-Amp$ عبارتست از: $A_v=10^5$ و $R_o=50\Omega$ و $R_i=2M\Omega$ . همچنین مشخصات ترانزیستور عبارتست از: $r_\mu=\infty$ , $r_o=50K\Omega$ , $r_\pi=250\Omega$ , $h_{fe}=100$ . مقدار $R_{out}$ به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر می‌باشد؟

(سراسری ۸۵)




۱) $5M\Omega$

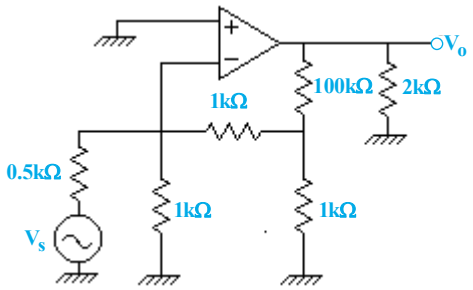
۲) $40M\Omega$

۳) $18/4G\Omega$

۴) $40G\Omega$

۲۴ـ در مدار شکل زیر با فرض ایده‌آل بودن تقویت‌کننده عملیاتی $(OP-Amp)$، بهرهٔ ولتاژ $\frac{V_o}{V_S}$ به کدام یک از مقادیر ارائه شده در گزینه‌ها نزدیک‌تر است؟

(مهندسی برق گرایش قدرت، مخابرات و کنترل ـ آزاد ۸۵)




۱) $-400$

۲) $-200$

۳) $-100$

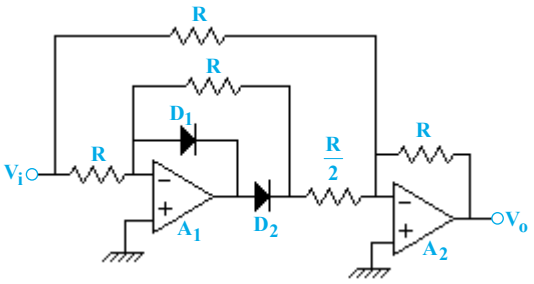
۴) $-50$

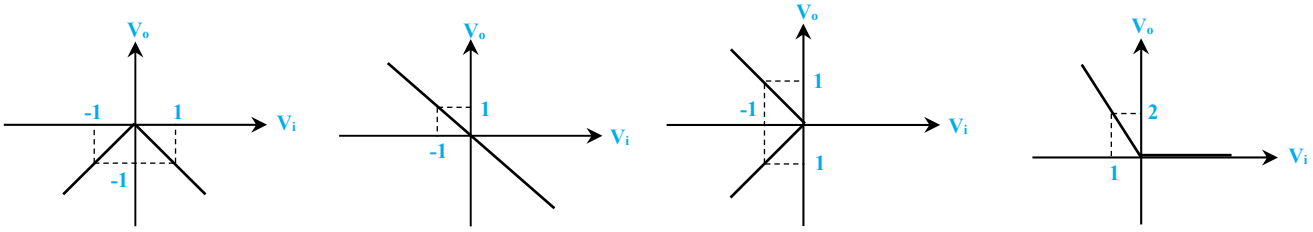
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



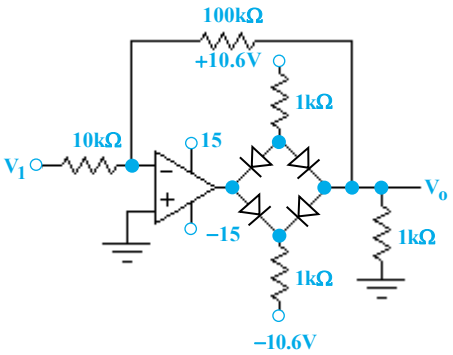
**۲۵ـ** در مدار شکل زیر، دیودها و تقویت‌کننده‌های عملیاتی ایده‌آل فرض می‌شوند. تابع انتقال (رابطهٔ ورودی ـ خروجی) مدار در کدام گزینه به درستی ترسیم شده است؟ (مهندسی برق گرایش قدرت، مخابرات و کنترل ـ آزاد ۸۵ و مهندسی مکاترونیک ـ آزاد ۹۰)




(۴) (۳) (۲) (۱)

**۲۶ـ** یک سیگنال سینوسی به ورودی $V_1$ مدار زیر اعمال شده و موج خروجی بریده شده است، $V_1$ مینیمم به چه سطحی برسد خروجی بریده می‌شود؟ (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۵)



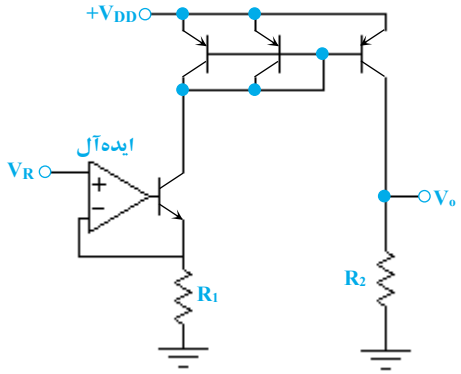

۱) $V_1 = \pm 0/5V$

۲) $V_1 = \pm 1V$

۳) $V_1 = \pm 10\ V$

۴) $V_1 = \pm 15V$

**۲۷ـ** در مدار شکل مقابل با فرض تشابه ترانزیستورهای pnp و خیلی بزرگ بودن $\beta$ همه ترانزیستورها، ولتاژ خروجی برابر کدام است؟ $(V_A \to \infty)$ (سراسری ۸۶)




۱) $V_R \frac{R_1}{2R_2}$

۲) $V_R \frac{R_2}{2R_1}$

۳) $V_R \frac{2R_1}{R_2}$

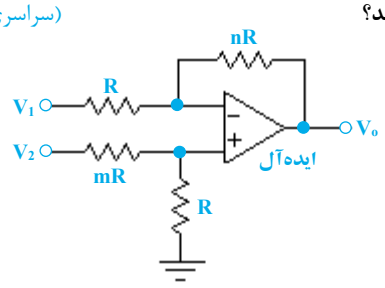
۴) $V_R \frac{2R_2}{R_1}$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۸ـ** در مدار شکل مقابل چه رابطه‌ای بین **m** و **n** برقرار باشد تا تقویت‌کننده به صورت تفاضلی باشد؟ (سراسری ۸۶)



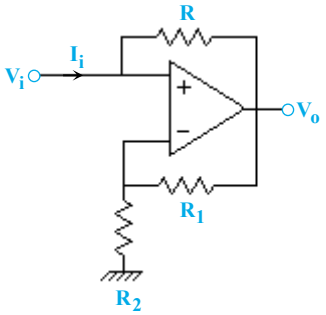

۱) $m=\frac{1}{n}$

۲) $m=\frac{2}{n}$

۳) $m=2n$

۴) $m=n$

**۲۹ـ** در مدار شکل زیر، رابطه جریان $I_i$ در کدام گزینه به درستی آورده شده است؟ (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)



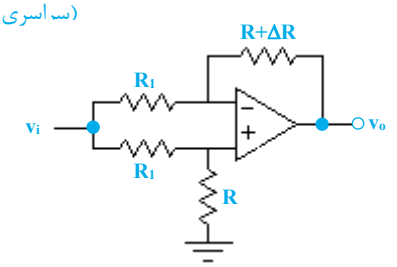

۱) $I_i=\frac{R_1}{RR_2}$

۲) $I_i=-\frac{R_2}{RR_1}V_i$

۳) $I_i=-\frac{R_1}{RR_2}V_i$

۴) $I_i=\frac{R_2}{RR_1}V_i$

**۳۰ـ** در مدار شکل مقابل بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟ (سراسری ۸۷)



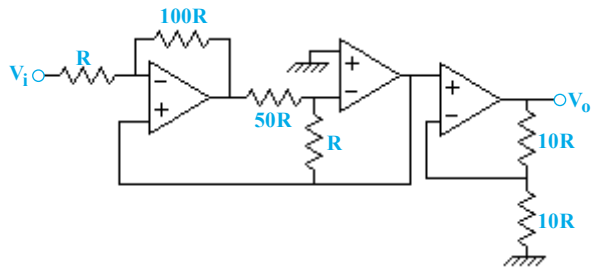

۱) $\frac{R+\Delta R}{R_1+R}$

۲) $\frac{\Delta R}{2R_1+R}$

۳) $\frac{\Delta R}{R_1+R}$

۴) $\frac{R+\Delta R}{2R_1+R}$

**۳۱ـ** در مدار شکل داده شده با فرض ایده‌آل بودن تقویت‌کننده‌های عملیاتی به‌کار رفته، رابطهٔ بین $V_o$ و $V_i$ چیست؟ (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۸)



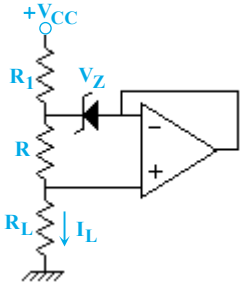

۱) $V_o=\frac{5}{4}V_i$

۲) $V_o=-\frac{4}{3}V_i$

۳) $V_o=-\frac{5}{3}V_i$

۴) $V_o=\frac{4}{3}V_i$

**۳۲ـ** در مدار شکل داده شده، میزان $I_L$ در کدام گزینه به درستی گزارش شده است؟ (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۸)




۱) $\frac{V_Z}{R}$

۲) $\frac{V_Z}{R_L}$

۳) $\frac{V_{cc}-V_Z}{R}$

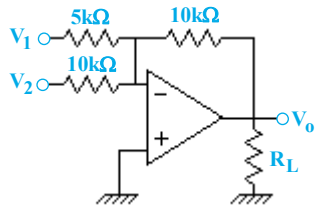
۴) $\frac{V_{cc}-V_Z}{R_1}$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

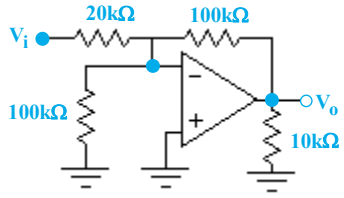


۳۳ـ در مدار شکل داده شده، در صورتی که ولتاژ و جریان ماکزیمم خروجی تقویت‌کنندهٔ عملیاتی به ترتیب $\pm ۱۰\,V$ و $\pm ۱۵mA$ باشد، مطلوب است محاسبهٔ حداقل $R_L$ در حالتی که ولتاژ خروجی حداکثر مقدار مجاز خود را داشته باشید. (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۸)



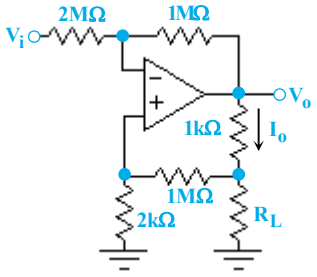

۱) $۸۲۱\Omega$
۲) $۷۱۴\Omega$
۳) $۵۱۷\Omega$
۴) $۱۲۰\Omega$

۳۴ـ بهره‌ی ولتاژ در تقویت‌کننده‌ی شکل مقابل کدام است؟ (تقویت‌کننده‌ی عملیاتی از هر نظر ایده‌آل است جز اینکه بهره‌ی آن محدود و برابر $A=۱۰۰, R_i=\infty, R_o=۰$ می‌باشد.) (مهندسی برق ـ سراسری ۸۹)



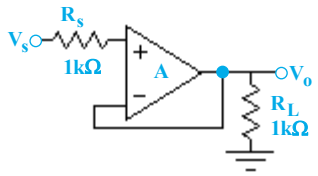

۱) $-۵/۰۵$
۲) $-۴/۶۵$
۳) $-۵/۳۵$
۴) $-۴/۹۵$

۳۵ـ در مدار مقابل رابطه $I_o$ و $V_i$ برحسب $\frac{mA}{V}$ کدام است؟ (مهندسی برق ـ سراسری ۸۹)




۱) $-\frac{۲V_i}{۵}$
۲) $-\frac{V_i}{۳}$
۳) $-\frac{۳V_i}{۴}$
۴) $-\frac{V_i}{۲}$

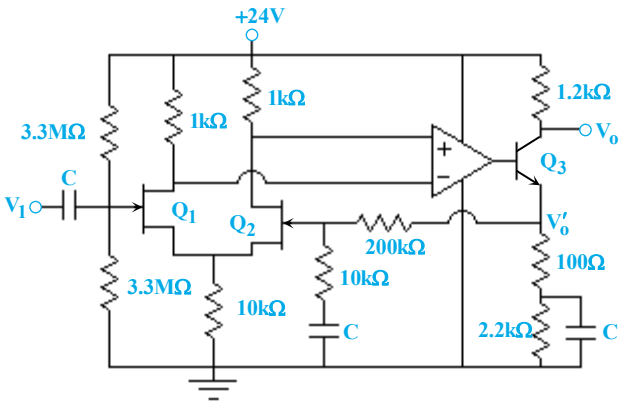
۳۶ـ در مدار شکل مقابل بهره حلقه باز Op-Amp برابر با ۵۰ است. اگر مقدار بهره حلقه باز Op-Amp به اندازه ۲۰ درصد کاهش یابد، در این صورت مقدار $\frac{V_o}{V_S}$ تقریباً چقدر تغییر می‌کند؟ (مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۸۹)




$$Op-Amp: \begin{cases} A=۵۰ \\ R_{in}=\infty \\ R_{out}=۰ \end{cases}$$

۱) ٪۲
۲) ٪۱
۳) ٪۰/۵
۴) ٪۰/۱

۳۷ـ در مدار مقابل اگر $r_{d_{۱,۲}}=۵۰k$ ، $V_{P_{۱,۲}}=-۳V$ ، $(\beta_۳=۱۰۰)(C\to\infty)$، مقدار $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ چقدر است؟ (مجموعه فتونیک ـ سراسری ۸۹)



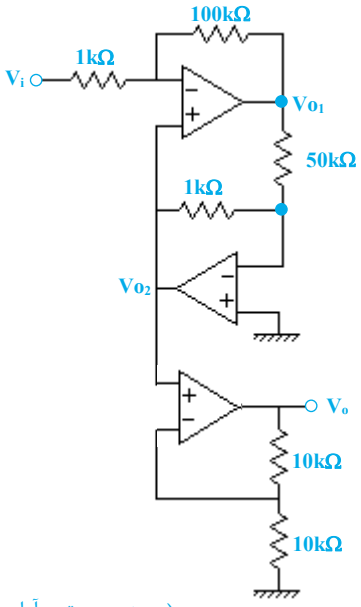

۱) ۱۲
۲) ۲۱
۳) ۱۳۲
۴) ۲۵۲

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۳۸ـ در مدار شکل داده شده، ولتاژ خروجی به ازای ولتاژ ورودی $V_i = ۱۰\,mV$، تقریباً برابر است با: (مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)



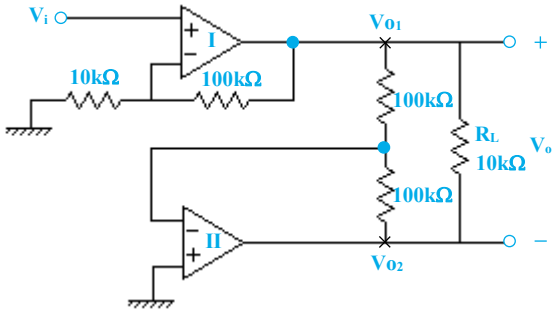

۱) ۱۳mv

۲) ۲۸mv

۳) −۲۸mv

۴) ۵v

۳۹ـ در مدار شکل داده شده، بهره تقویت‌کننده $(\frac{V_o}{V_i})$ برابر است با: (مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)



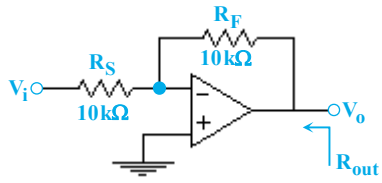

۱) ۲۰

۲) ۲۲

۳) ۱۱

۴) ۱۰

۴۰ـ در مدار شکل زیر مشخصات تقویت‌کننده عملیاتی داده شده است. مقدار بهره $A_v = \frac{V_o}{V_i}$ و مقاومت خروجی $R_{out}$ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ $(Op-Amp: R_i = ۱۰kΩ\ ,\ R_o = ۱۰kΩ\ ,\ A = ۳۰)$ (مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۹۰)



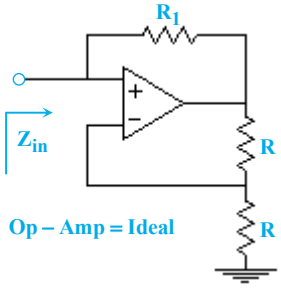

۱) $R_{out} = ۱k\Omega\ ،\ A_v = -۵$

۲) $R_{out} = \frac{۵}{۷}k\Omega\ ،\ A_v = -\frac{۶}{۷}$

۳) $R_{out} = ۱k\Omega\ ،\ A_v = -۱$

۴) $R_{out} = \frac{۵}{۶}k\Omega\ ،\ A_v = -\frac{۵}{۶}$

۴۱ـ در مدار مقابل امپدانس ورودی برابر است با: (مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۹۰)




۱) $-(R_۱ + R)$

۲) $-R_۱$

۳) $۲R$

۴) $R_۱ + ۲R$

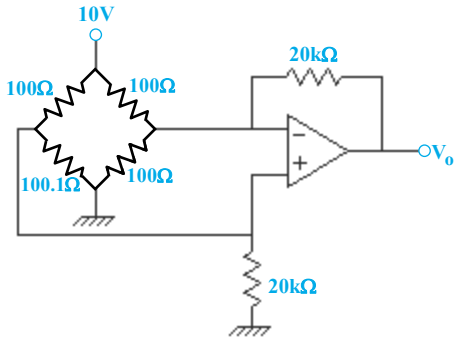
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۴۲ـ در مدار شکل زیر تقویت‌کنندهٔ عملیاتی را ایده‌آل و با ولتاژ اشباع $\pm ۱۰ v$ در نظر بگیرید. ولتاژ خروجی مدار به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟**

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۹۰)




۱) ۴v

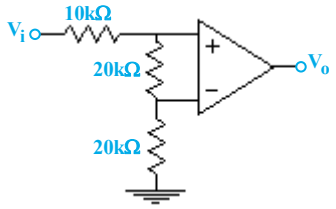
۲) ۱۰ v

۳) ۱v

۴) صفر ولت

**۴۳ـ در تقویت‌کننده‌ی تفاضلی زیر، اگر بهره‌ی تفاضلی ۱۰ و مقدار CMRR آن برابر ۳ باشد، بهره‌ی $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟ (مقاومت ورودی تقویت‌کننده را بی‌نهایت فرض کنید.)**

(دکتری ۹۴)




۱) ۴

۲) ۶

۳) ۸

۴) ۱۰

**۴۴ـ در یک تقویت‌کننده عملیاتی، $V_{CC} = \pm ۱۸$، $SlewRate = ۳\frac{V}{M sec}$ چرخش. حداکثر دامنه خروجی ($A_{max}$) یک نوسان سینوسی (بدون اعوجاج محسوس) با فرکانس ۱۰۰KHz، چند ولت است؟**

(فتونیک ـ سراسری ۹۵)

$$V(t) = A.\sin(۲\pi \times ۱۰^{۵}.t)$$

۱) ۱۸ ۲) ۸ ۳) ۴/۷۸ ۴) ۱۵

www.modaresanesharif.ac.ir

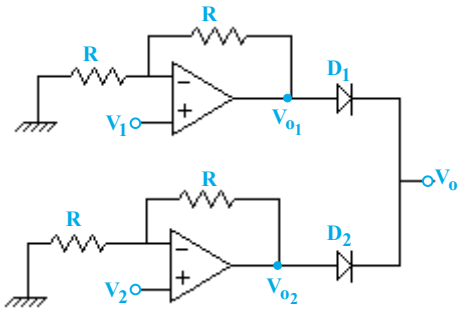
www.modaresanesharif.ac.ir



# پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل چهارم

**درسنامه : مدارهای تقویت‌کننده عملیاتی**

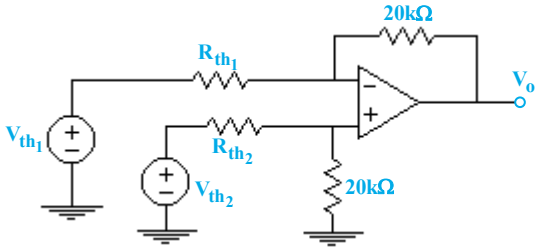
**۱ـ گزینه «۳»** ابتدا با کمک گین مدارات آپامپی به‌کار گرفته شده، ولتاژ نقاط میانی $V_{o_1}$ و $V_{o_2}$ را حساب می‌کنیم:




$$\begin{cases} V_{o_1} = (1+\frac{R}{R})V_1 = 2V_1 \\ V_{o_2} = (1+\frac{R}{R})V_2 = 2V_2 \end{cases}$$

از طرفی دیودهای $D_1$ و $D_2$ یک مدار ماکزیمم‌گیر تشکیل می‌دهند؛ لذا در بازه‌ای که $V_2 > V_1$ باشد، خروجی برابر $V_o = 2V_2$ و برای بازه‌ای که $V_1 > V_2$ باشد، خروجی برابر $V_o = 2V_1$ می‌گردد. در نتیجه گزینه‌ی (۳) درست می‌باشد.

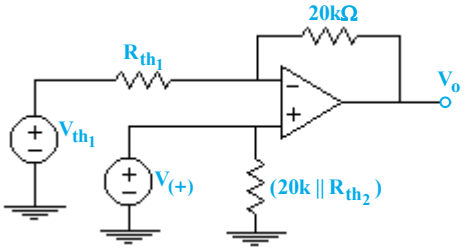
**۲ـ گزینه «۲»** ابتدا معادل تونن دیده شده از سرهای مثبت و منفی آپامپ را حساب می‌کنیم:




$$\begin{cases} V_{th_1} = 10\,v \times \frac{100}{100+100} = 5\,v \\ R_{th_1} = 100 \| 100 = 50\,\Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{th_2} = 10 \times \frac{100/1}{100+100/1} = 5/0025\,v \\ R_{th_2} = 100 \| 100/1 = 50/025\,\Omega \end{cases}$$

در مرحله‌ی بعد با ساده کردن مدار متصل به پایه‌ی مثبت آپامپ داریم:

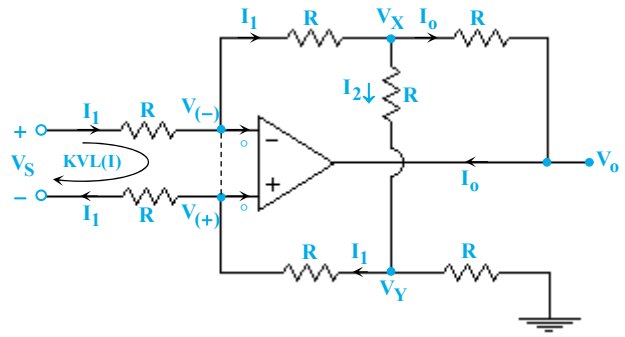



$$V_{(+)} = \frac{20\,k\Omega \times V_{th_2}}{20\,k\Omega + R_{th_2}} = 4/9\,v$$

حال با کمک قضیه‌ی جمع آثار می‌توانیم خروجی نهایی را حساب کنیم:

$$V_o = V_{th_1}[-\frac{20\,k\Omega}{R_{th_1}}] + V_{(+)}[1+\frac{20\,k\Omega}{R_{th_1}}] \simeq 1v$$

**۳ـ گزینه «۴»** با توجه به آن‌که آپامپ ایده‌آل می‌باشد و در حلقه‌ی فیدبک بسته شده است، ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی آن با یکدیگر برابر می‌باشند. در مرحله‌ی بعد با مشخص کردن جریان‌های $I_1$ و $I_2$ مطابق شکل زیر سعی می‌کنیم جریان $I_o$ را به‌دست آوریم.




$$KVL(I): V_S = 2R.I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{V_S}{2R}$$

ولتاژهای $V_X$ و $V_Y$ را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\begin{cases} V_X = V_{(-)} - RI_1 \\ V_Y = V_{(+)} + RI_1 \end{cases} \Rightarrow I_2 = \frac{V_X - V_Y}{R} = \frac{(V_{(-)} - RI_1) - (V_{(+)} + RI_1)}{R} = -2I_1$$

با نوشتن قاعده‌ی KCL در گره $V_x$ می‌توانیم جریان خروجی $I_o$ را حساب کنیم:

$$KCL@V_X : I_o = I_1 - I_2 = 3I_1 = \frac{3}{2}.\frac{V_S}{R}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۴ـ گزینه «۱»** با فرض این که دیود زنر در ناحیه شکست باشد با توجه به آن‌که آپامپ در حلقه‌ی فیدبک منفی بسته شده است، ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی آن با یکدیگر برابر می‌باشند:

$$V_{(+)}=V_o\times\frac{500\Omega}{1k\Omega+500\Omega}=\frac{V_o}{3}\quad,\quad V_{(-)}=V_o+V_Z$$

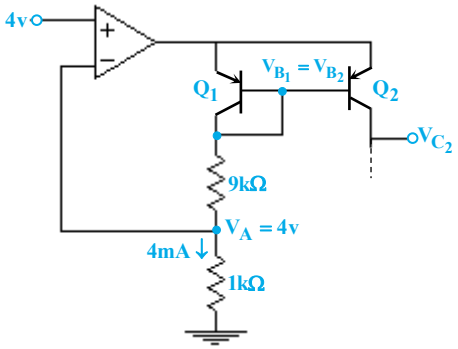
با توجه به نمودار مشخصه‌ی دیود زنر، ولتاژ شکست آن برابر $V_Z=6v$ می‌باشد؛ لذا با برابری $V_{(-)}=V_{(+)}$ داریم:

$$\frac{V_o}{3}=V_o+6\Rightarrow-\frac{2}{3}V_o=6\Rightarrow V_o=-9v$$

از طرف دیگر با توجه به ولتاژ تغذیه‌ی آپامپ می‌توان گفت که ولتاژ خروجی باید منفی باشد. به عبارت دیگر، در نگاه اول گزینه‌های (۳) و (۴) حذف می‌شوند.

---

**۵ـ گزینه «۴»** با توجه به آن‌که آپامپ در حلقه‌ی فیدبک منفی بسته شده است، ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی آن با یکدیگر برابر می‌باشند. لذا مطابق شکل زیر داریم:




$$V_{B_1}=V_{B_2}=10k\Omega\times4mA=40v$$

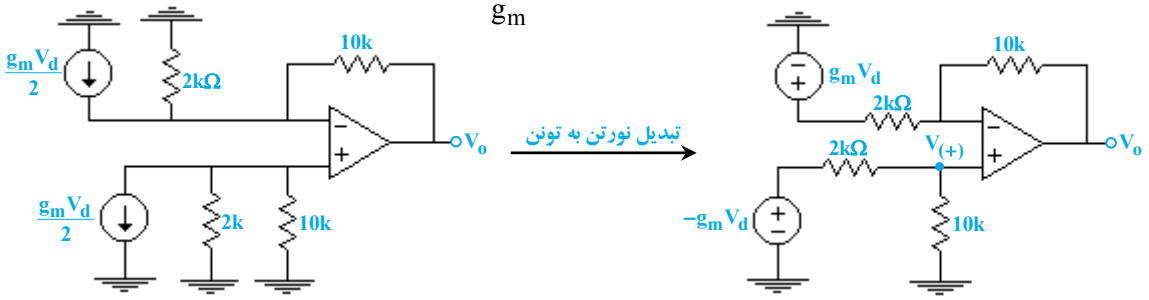
برای حداکثر شدن ولتاژ کلکتور ترانزیستور $Q_2$ باید در ناحیه‌ی اشباع باشد؛ در این صورت ولتاژ $V_{C_2}$ برابر می‌شود با:

$$V_{E_2}=V_{B_2}+|V_{BE(on)}|=40/7v$$

$$V_{C_2}=V_{E_2}-|V_{CE(sat)}|=40/5v$$

---

**۶ـ گزینه «۱»** جریان تفاضلی که در حلقه‌ی خروجی می‌چرخد برابر با $\frac{V_d}{2}=\frac{g_mV_d}{2}$ می‌باشد، در نتیجه می‌توان مدار را به صورت زیر ساده کرد:




با استفاده از جمع اثار می‌توان ولتاژ خروجی را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$V_{(+)}=-\frac{10}{12}\times g_mV_d=-\frac{5}{6}g_mV_d$$

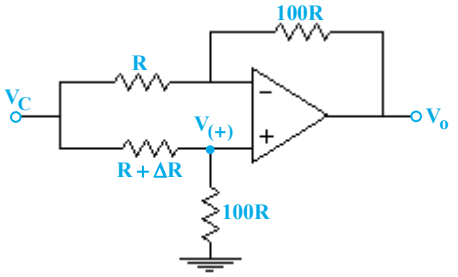
$$V_o=g_mV_d[-\frac{10}{2}]+(-\frac{5}{6}g_mV_d)[1+\frac{10}{2}]=-10\,g_mV_d=-20\,V_d$$

در نتیجه بهره‌ی دیفرانسیلی $A_d=|\frac{V_o}{V_d}|$ برابر می‌شود با:

$$A_d=20$$

---

**۷ـ گزینه «۴»** برای محاسبه‌ی بهره‌ی حالت مشترک می‌توان ولتاژهای $V_1$ و $V_2$ را به هم وصل کرد و فقط قسمت مشترک آن‌ها یعنی $V_C$ را در نظر گرفت:




$$V_{(+)}=\frac{100R}{100R+R+\Delta R}\cdot V_C$$

با استفاده از جمع آثار می‌توان ولتاژ خروجی را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$V_o=V_C\underbrace{[-\frac{100R}{R}]}_{\text{گین معکوس‌کنندگی}}+\underbrace{\frac{100R\,.\,V_C}{100R+R+\Delta R}}_{V_{(+)}}\underbrace{[1+\frac{100R}{R}]}_{\text{گین غیرمعکوس‌کنندگی}}$$

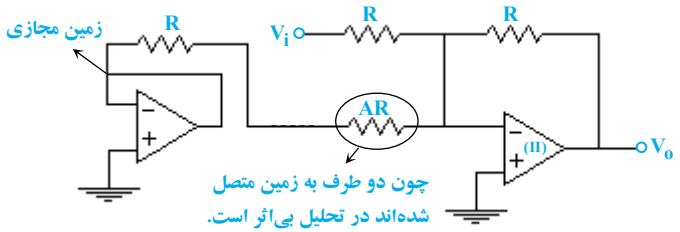
$$A_C=\frac{V_o}{V_C}=-0/099\simeq-0/1$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

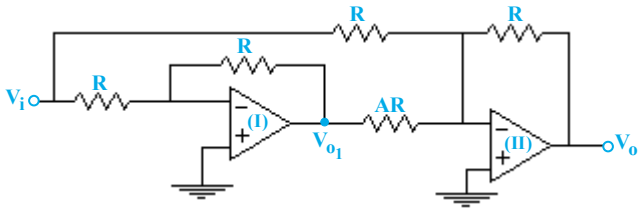


**۸ـ گزینه «۲»** ابتدا فرض می‌کنیم که هر دو دیود $D_1$ و $D_2$ خاموش باشند، لذا آپ‌امپ اول به صورت حلقه باز عمل خواهد کرد. در صورتی که ولتاژ ورودی در نیم‌سیکل مثبت باشد، دیود $D_1$ روشن و دیود $D_2$ خاموش خواهد شد و در نتیجه شکل مدار به صورت زیر ساده خواهد شد.




$$V_o = -\frac{R}{R}V_i = -V_i$$

و در صورتی که ولتاژ ورودی در نیم‌سیکل منفی باشد، دیود $D_1$ خاموش و دیود $D_2$ روشن خواهد شد و مدار به صورت زیر خواهد شد:




با استفاده از اصل جمع آثار، خروجی را می‌توان به صورت زیر نوشت: $V_o = (-\frac{R}{R}).V_i + (-\frac{R}{AR}).V_{o_1} \xrightarrow{V_{o_1} = -\frac{R}{R}.V_i} V_o = -V_i + \frac{1}{A}V_i$

با توجه به نمودار مشخصه داده شده، شیب منحنی مشخصه در نیم‌سیکل منفی باید برابر ۲ باشد، یعنی $V_o = 2V_i$. با مقایسه‌ی رابطه‌ی مطلوب یعنی $V_o = 2V_i$ و رابطه‌ی به‌دست آمده $V_o = (\frac{1}{A} - 1)V_i$ نتیجه می‌گیریم که باید $A = \frac{1}{3}$ باشد.

---

**۹ـ گزینه «۱»** با توجه به ایده‌آل بودن آپ‌امپ، ولتاژ سورس ترانزیستور با ولتاژ ورودی برابر می‌باشد و لذا جریان ترانزیستور برابر $\frac{V_i}{1k\Omega}$ می‌شود. در صورتی که $V_i$ برابر حداکثر مقدار خود یعنی $V_i = 5v$ باشد، میزان جریان ترانزیستور حداکثر می‌شود که در این حالت احتمال وارد شدن ترانزیستور به ناحیه‌ی ترایود وجود دارد. با در نظر گرفتن $V_i = 5v$ جریان ترانزیستور را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$V_i = 5v \Rightarrow V_S = R_S.I_{DS} = 5v \Rightarrow I_{DS} = 5mA$$

برای آن‌که ترانزیستور در ناحیه‌ی فعال باشد باید شرط $V_{DS} \geq V_{GS} - V_P$ برقرار باشد، برای این منظور ابتدا سعی می‌کنیم مقادیر $V_{DS}$ و $V_{GS}$ را به‌دست آوریم:

$$I_{DS} = I_{DSS}(1 - \frac{V_{GS}}{V_P})^2 \Rightarrow V_{GS} = 0/63v$$

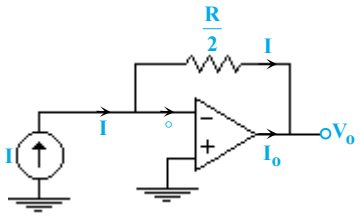
$$V_{DS} = V_D - V_S = (10 - R_L \times 5mA) - 5$$

با برقراری شرط $V_{DS} \geq V_{GS} - V_P$ می‌توانیم محدوده‌ی RL را به‌دست آوریم:

$$(10 - R_L \times 5mA) - 5 \geq 0/63 - (-3) \Rightarrow R_L < 526\Omega$$

---

**۱۰ـ گزینه «۴»** با توجه به آن‌که مقاومت‌های R با یکدیگر موازی هستند می‌توانیم شکل مدار را به صورت مقابل ساده کنیم.




$$KCL@V_o : I_o = -I$$

---

**۱۱ـ گزینه «۳»** جریان خروجی برابر $i_{e_2} = 110V_i$ می‌شود، لذا ولتاژ خروجی برابر می‌شود با:

$$V_o = 1/2 \times i_{e_2} = 132V_i \Rightarrow |\frac{V_o}{V_i}| = 132$$

---

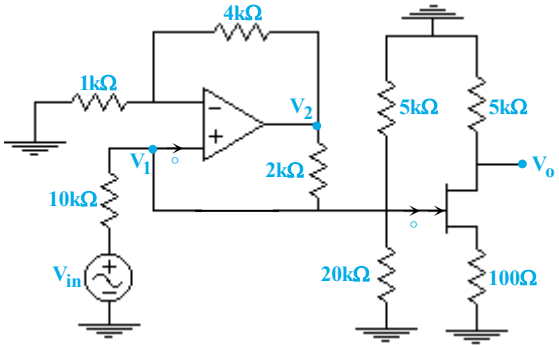
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۱۲ـ گزینه «۲»** گین آپ‌امپ در مدار برابر با گین یک عنصر معکوس‌کننده می‌باشد، لذا برای ولتاژهای $V_1$ و $V_2$ رابطه‌ی زیر برقرار می‌باشد.

$$V_2 = (1+\frac{4k\Omega}{1k\Omega}).V_1 = 5V_1$$




مدار معادل در حالت ac به صورت مقابل می‌باشد:

با نوشتن KCL در گیت ترانزیستور داریم:

$$\frac{V_i - V_1}{10} = \frac{V_1 - V_2}{2} + \frac{V_1}{5k\Omega \| 20k\Omega} \Rightarrow \frac{V_1}{V_i} = -\frac{2}{23}$$

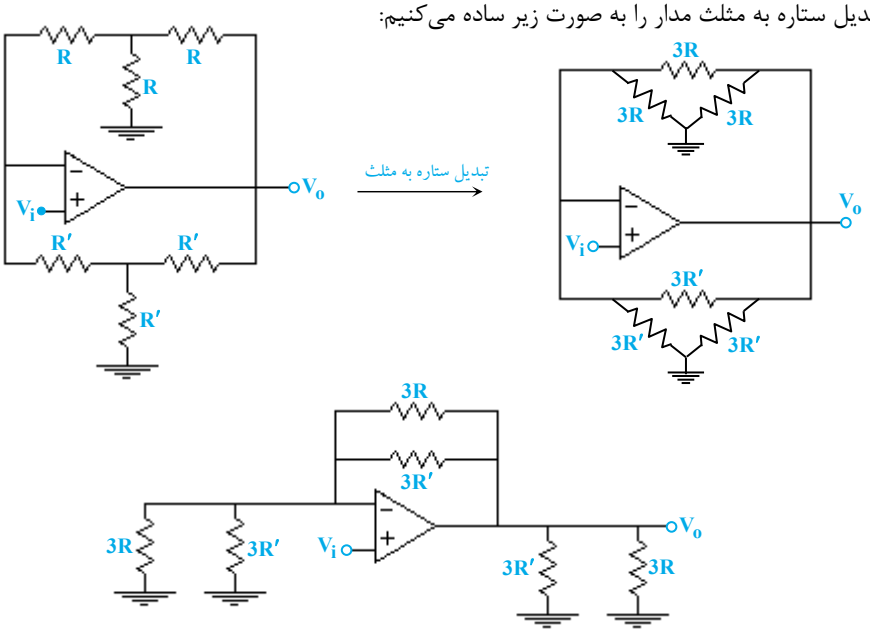
از طرفی نسبت ولتاژ خروجی به ولتاژ $V_1$ برابر گین یک طبقه‌ی سورس مشترک می‌باشد:

$$\frac{V_o}{V_1} = \frac{-g_m R_D}{1+g_m R_S} = -25$$

در نتیجه گین کلی برابر می‌شود با:

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_1} \times \frac{V_1}{V_i} = -25 \times -\frac{2}{23} \simeq +1/5$$

**۱۳ـ گزینه «۱»** با استفاده از تبدیل ستاره به مثلث مدار را به صورت زیر ساده می‌کنیم:




مدار فوق نیز یک تقویت‌کننده از نوع غیرمعکوس‌کننده می‌باشد که گین آن از رابطه‌ی مقابل قابل محاسبه می‌باشد:

$$\frac{V_o}{V_i} = (1+\frac{3R \| 3R'}{3R \| 3R'}) = 2$$

**۱۴ـ گزینه «۴»** در صورتی که تقویت‌کننده تفاضلی را در حالت مُد مشترک در نظر بگیریم، ولتاژ امیتر هر دو ترانزیستور $Q_1$ و $Q_2$ برابر $V_E$ خواهد بود. از طرف دیگر برای آپ‌امپ اول رابطه‌ی خروجی آن برحسب ولتاژ $V_2$ به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$V_{o(op-amp\,I)} = V_2 \times \underbrace{[-\frac{30k\Omega}{15k\Omega}]}_{\text{معکوس‌کننده}} + V_E \underbrace{[1+\frac{30k\Omega}{15k\Omega}]}_{\text{غیرمعکوس‌کننده}} = -2V_2 + 3V_E$$

با توجه به آن‌که تقویت‌کننده تفاضلی را در مد مشترک در نظر می‌گیریم (دقت شود در حالت تفاضلی امیتر هر دو ترانزیستور زمین مجازی خواهد شد) و با توجه به بایاس یکسان ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ می‌توان گفت $I_{C_1} = I_{C_2}$ می‌باشد. با استفاده از قاعده‌ی KCL در امیتر ترانزیستورها داریم:

$$I_{R_9} + 2I_{C_1} = \frac{V_E}{20k\Omega}\ ,\ I_{R_9} = \frac{(-2V_2 + 3V_E) - V_E}{R_9} = \frac{-V_2 + V_E}{20k\Omega} \Rightarrow 2I_{C_1} + \frac{-V_2 + V_E}{20k\Omega} - \frac{V_E}{20k\Omega} = 0 \Rightarrow I_{C_1} = \frac{V_2}{40k\Omega}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

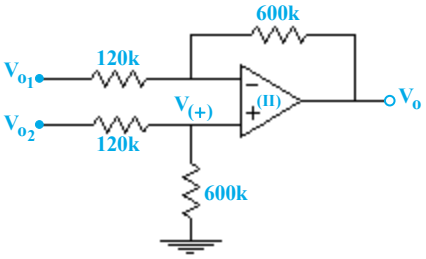
www.modaresanesharif.ac.ir



حال با در نظر گرفتن تقویت‌کننده تفاضلی در مد تفاضلی داریم:

$$\begin{cases}\frac{V_{o_1}}{V_1}=\frac{-g_{m_1}.R_1}{2}=\frac{-R_1.I_{C_1}}{2\eta V_T}=-\frac{R_1(\frac{V_2}{40k\Omega})}{2\eta V_T}=-\frac{V_2}{0/4}\\ \frac{V_{o_2}}{V_1}=\frac{g_{m_2}.R_2}{2}=\frac{R_2.I_{C_2}}{2\eta V_T}=\frac{R_2(\frac{V_2}{40k\Omega})}{2\eta V_T}=\frac{V_2}{0/4}\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}V_{o_1}=-2/5V_1.V_2\\ V_{o_2}=2/5V_1.V_2\end{cases}$$

حال با داشتن ولتاژهای $V_{o_1}$ و $V_{o_2}$ در طبقه‌ی آخر شامل آپ‌امپ دوم ولتاژ خروجی نهایی را حساب می‌کنیم:

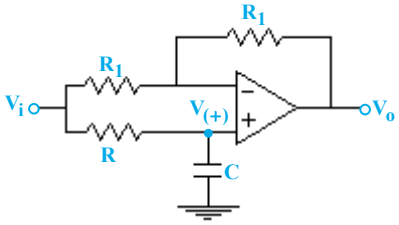



$$V_{(+)}=\frac{600k\Omega}{600k\Omega+120k\Omega}\times V_{o_2}$$

$$V_o=V_{o_1}\times[-\frac{600k\Omega}{120k\Omega}]+V_{(+)}\times[1+\frac{600k\Omega}{120k\Omega}]\Rightarrow\boxed{V_o=25.V_1.V_2}$$

---

**۱۵ـ گزینه «۴»** با استفاده از اصل جمع آثار نسبت ولتاژ خروجی را به ورودی حساب می‌کنیم:




$$V_o=(-\frac{R_1}{R_1}).V_i+V_{(+)}.(1+\frac{R_1}{R_1})$$

ولتاژ پایه‌ی مثبت آپ‌امپ نیز به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$V_{(+)}=V_i.\frac{\frac{1}{CS}}{R+\frac{1}{CS}}=\frac{V_i}{1+RCS}$$

حال رابطه‌ی $\frac{V_o}{V_i}$ را تشکیل می‌دهیم:

$$V_o=-V_i+\frac{V_i}{1+RCS}\times2\Rightarrow\frac{V_o}{V_i}=\frac{1-RCS}{1+RCS}\Rightarrow|\frac{V_o}{V_i}|=1\rightarrow\text{فیلتر تمام‌گذر}$$

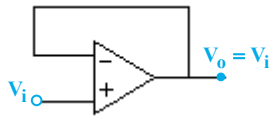
---

**۱۶ـ گزینه «۳»** با توجه به آن‌که ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی آپ‌امپ یکسان می‌باشند، ولتاژ دو سر مقاومت R برابر ولتاژ شکست دیود زنر می‌باشد؛ درنتیجه جریان $I_L$ برابر می‌شود با:

$$I_L=\frac{V_Z}{R}$$

---

**۱۷ـ گزینه «۴»** منظور از Slew Rate تغییرات ولتاژ نسبت به زمان می‌باشد. در صورتی که ورودی بافر نشان داده شده در سؤال را به صورت یک موج سینوسی با دامنه‌ی ۱۰ ولت در نظر بگیریم، مقدار Slew Rate را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:




$$V_i=10\sin\omega t\Rightarrow V_o=V_i=10\sin\omega t$$

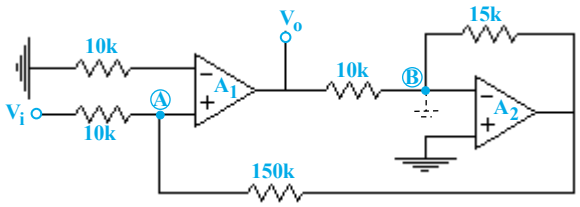
$$\text{Slew Rate}=\left.\frac{dV_o}{dt}\right|_{max}=10\omega$$

با برابر قرار دادن Slew Rate محاسبه شده با مقدار داده شده در صورت سؤال می‌توان پهنای باند حداقل را محاسبه کرد:

$$10\omega=25\frac{V}{\mu s}\Rightarrow\omega=2/5\frac{M\,rad}{s}\Rightarrow F=\frac{\omega}{2\pi}\simeq398KHz$$

---

**۱۸ـ گزینه «۲»** یادآوری می‌کنیم که هیچ‌گاه در گره خروجی یک آپ‌امپ نمی‌توان از قانون KCL استفاده کرد، زیرا جریان خروجی آپ‌امپ مقدار معلومی ندارد؛ لذا مطابق شکل زیر با استفاده از قانون KCL در نقاط A و B داریم:




$$KCL@A:\frac{V_i-0}{10}=\frac{0-V_x}{150}\Rightarrow V_x=-15V_i$$

$$KCL@B:\frac{V_o-0}{10}=\frac{0-V_x}{15}\Rightarrow V_o=-\frac{10}{15}V_x$$

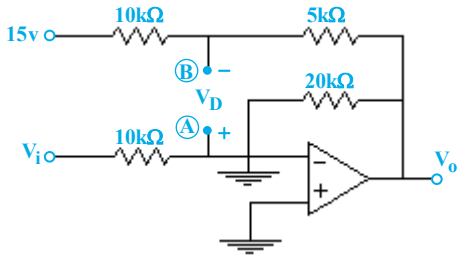
$$V_o=-\frac{10}{15}(-15V_i)=10V_i\Rightarrow A_V=\frac{V_o}{V_i}=10$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۱۹ـ گزینه «۱»** ابتدا فرض می‌کنیم دیود قطع باشد، سپس ولتاژ دو سر آن را محاسبه می‌کنیم و پس از آن شرایط لازم برای روشن شدن دیود را بررسی می‌کنیم. با توجه به تقویت‌کننده معکوس‌کننده به‌کار گرفته شده داریم:




$$V_o = -\frac{۲۰k}{۱۰k} \times V_i = -۲V_i$$

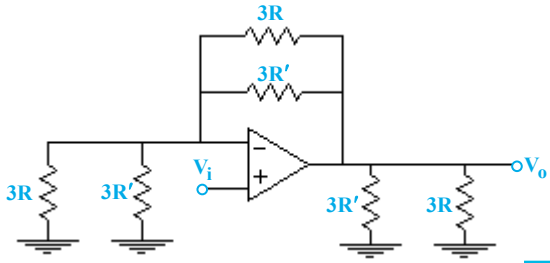
حال ولتاژ نقاط A و B را محاسبه می‌کنیم:

$$V_B = \frac{۱۵ \times ۵ + ۱۰ V_o}{۱۵} = ۵ + \frac{۲}{۳} V_o \quad , \quad V_A = ۰$$

شرط روشن بودن دیود $V_D > ۰$ می‌باشد، یعنی:

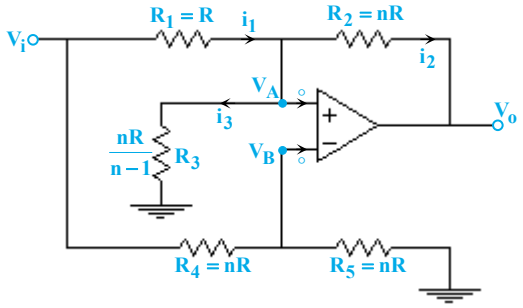
$$V_D = V_A - V_B = -۵ - \frac{۲}{۳} V_o \geq ۰ \xrightarrow{V_o = -۲V_i} -۵ + \frac{۴}{۳} V_i \geq ۰ \Rightarrow V_i \geq ۳/۷۵$$

**۲۰ـ گزینه «۲»** از اعمال تبدیل ستاره به مثلث مدار به صورت مقابل تبدیل خواهد شد:




گین تقویت‌کننده غیرمعکوس‌کننده $\frac{V_o}{V_i} = ۱ + \frac{۳R \,||\, ۳R'}{۳R \,||\, ۳R'} = ۲$

**۲۱ـ گزینه «۱»** ابتدا مطابق شکل زیر با استفاده از تقسیم مقاومتی، ولتاژ نقطه‌ی B را حساب می‌کنیم.



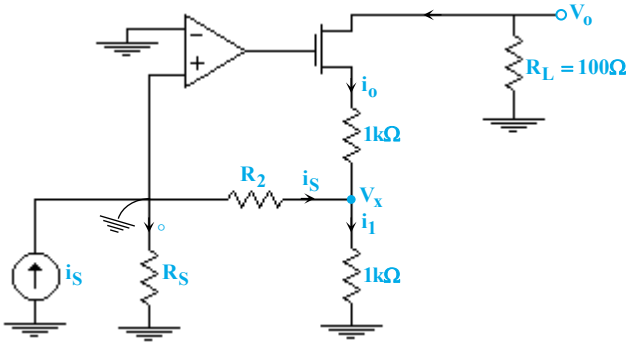

$$V_B = V_i \times \frac{R_۵}{R_۵ + R_۴} = V_i \times \frac{nR}{۲nR} = \frac{V_i}{۲}$$

با توجه به ایده‌آل بودن آپامپ $V_A = V_B$ می‌باشد.

با نوشتن قاعده‌ی KCL در گره $V_A$ داریم: $KCL@V_A : i_۱ = i_۲ + i_۳$

$$\frac{V_i - V_A}{R_۱} = \frac{V_A - V_o}{R_۲} + \frac{V_A}{R_۳} \xrightarrow{V_A = V_B = \frac{V_i}{۲}} \frac{V_o}{V_i} = ۰$$

**۲۲ـ گزینه «۳»** با توجه به ایده‌آل بودن آپامپ، ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی آن با یکدیگر برابر خواهند بود، لذا $V_{(-)} = ۰$ می‌باشد و در نتیجه مقاومت $R_S$ اتصال کوتاه خواهد بود و هیچ جریانی از آن عبور نمی‌کند. با پخش جریان در مدار معادل ac مقابل سعی می‌کنیم نسبت $\frac{V_o}{i_S}$ را حساب کنیم:




$$V_x = -R_۲ . i_S \quad , \quad i_۱ = \frac{V_x}{۱} \quad , \quad KCL : i_o = i_۱ - i_S$$

$$i_o = V_x - i_S \xrightarrow{V_x = -R_۲ . i_S} i_o = -(۱ + R_۲) i_S = -۱۱ . i_S$$

از طرفی ولتاژ خروجی برابر است با:

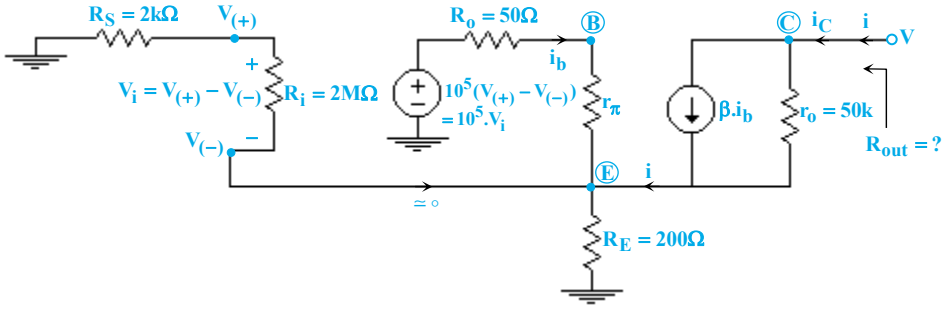
$$V_o = -R_L . i_o = R_L . (۱ + R_۲) . i_S \Rightarrow \frac{V_o}{i_S} = ۱۰۰ \times (۱۱) = ۱۱۰۰$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۳ـ گزینه «۱»** می‌دانیم که برای محاسبه‌ی مقاومت خروجی باید منابع مستقل را خاموش کرد. با در نظر گرفتن مدل سیگنال کوچک واقعی آپامپ و ترانزیستور مدار معادل ac برای محاسبه‌ی مقاومت خروجی به صورت زیر می‌شود:




با توجه به مقاومت ورودی بزرگ آپامپ می‌توان فرض کرد که جریانی از $R_i$ عبور نکند و لذا $V_e = -V_i$ می‌باشد.

$$i_b = \frac{10^5\, V_i - V_e}{R_o + r_\pi} = \frac{-10^5}{0/3}.V_e \Rightarrow V_e = -3\times10^{-6}\, i_b \qquad (I)$$

از طرفی ولتاژ $V_e$ را به صورت دیگری نیز می‌توان بیان کرد:

$$V_e \simeq (i_o + i_b)\times R_E = 0/2 i_o + 0/2\left(\frac{-10^5}{0/3}\right)V_e \Rightarrow V_e = 3\times10^{-6}\, i_o \qquad (II)$$

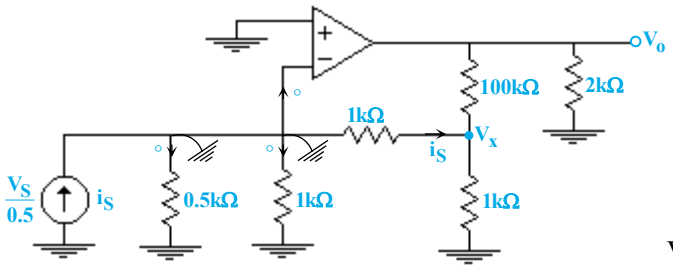
در نتیجه با مقایسه‌ی روابط (I) و (II) می‌توان گفت باید $i_o = -i_b$ باشد. حال برای به‌دست آوردن مقاومت خروجی در گره خروجی داریم:

$$i_o = \frac{V_o - V_e}{50k\Omega} + \beta i_b = \frac{V_o - 3\times10^{-6}\, i_o}{50k\Omega} + \beta i_b$$

$$i_o \simeq \frac{V_o}{50k\Omega} + \beta i_b \xrightarrow{i_b = -i_o} \beta i_o \simeq \frac{V_o}{50k\Omega} \Rightarrow \frac{V_o}{i_o} = 50k\Omega\times100 = 5M\Omega$$

---

**۲۴ـ گزینه «۱»** با توجه به ایده‌آل بودن آپامپ، ولتاژ پایه‌های آن با هم برابر است، یعنی $V_{(+)} = V_{(-)} = 0$ می‌باشد؛ در نتیجه جریان مقاومت $1k\Omega$ برابر صفر می‌باشد. در صورتی که از معادل نورتن در ورودی استفاده کنیم، داریم: $V_x = -i_S\times1k\Omega = -2V_S$




از طرفی رابطه‌ی بین $V_o$ و $V_x$ به صورت زیر می‌باشد:

$$V_x = V_o\times\frac{(1k\Omega \,\|\, 1k\Omega)}{100k\Omega + (1k\Omega \,\|\, 1k\Omega)} \Rightarrow V_o \simeq V_x\times\frac{100}{0/5} = 200V_x$$

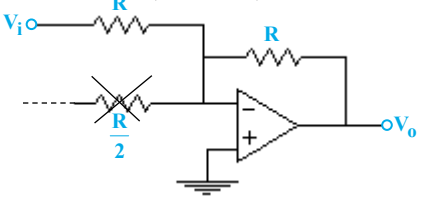
با قرار دادن $V_x = -2V_S$ در رابطه‌ی فوق داریم: $V_o = -400V_S \Rightarrow \frac{V_o}{V_S} = -400$

---

**۲۵ـ گزینه «۴»** ابتدا فرض می‌کنیم هر دو دیود $D_1$ و $D_2$ خاموش باشند؛ در این صورت آپامپ طبقه‌ی اول به صورت حلقه باز عمل می‌کند و در صورتی که ورودی در نیم‌سیکل مثبت باشد، ولتاژ پایه‌ی منفی بیشتر از پایه‌ی مثبت می‌شود و در نتیجه ولتاژ خروجی آپامپ برابر حداقل مقدار تغذیه می‌گردد، لذا باعث می‌شود تا دیود $D_1$ روشن شود. به طور مشابه برای نیم‌سیکل منفی ورودی هم می‌توان نشان داد که دیود $D_2$ روشن می‌شود.

طبق آنچه گفته شد، برای نیم‌سیکل مثبت و منفی شکل مدار را رسم می‌کنیم و ولتاژ خروجی را در هر حالت حساب می‌کنیم:

(I) $V_i > 0 \Rightarrow D_1 : \text{on} \;,\; D_2 : \text{off}$



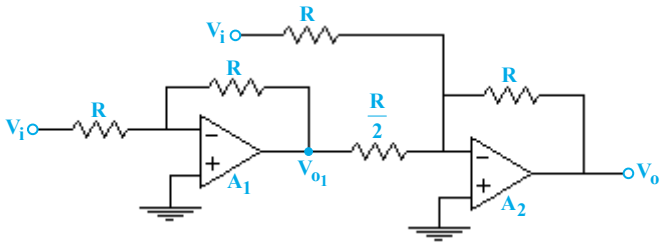

گین طبقه‌ی معکوس‌کننده $\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R}{R} \Rightarrow V_o = -V_i$

(II) $V_i < 0 \Rightarrow D_1 : \text{off} \;,\; D_2 : \text{on}$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir






$$V_{o_1} = -\frac{R}{R} \times V_i = -V_i$$

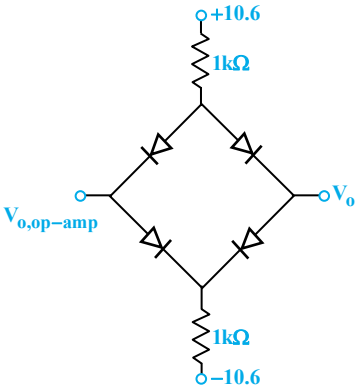
$$V_o = -\frac{R}{R} \times V_i + (-\frac{R}{\frac{R}{2}}).V_{o_1} \Rightarrow V_o = -V_i + 2V_i = V_i$$

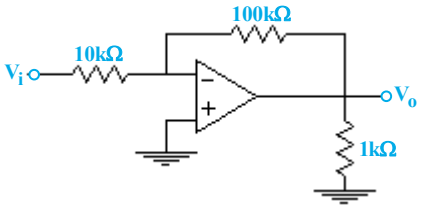
در نتیجه رابطه‌ی بین ولتاژ ورودی و خروجی به صورت مقابل خلاصه می‌شود:

$$V_o = \begin{cases} -V_i & ; V_i > 0 \\ +V_i & ; V_i < 0 \end{cases}$$

---

**۲۶ـ گزینه «۲»** در صورتی که ولتاژ آستانه هدایت دیودها را برابر $V_\gamma = 0/6\,V$ در نظر بگیریم، مدار زیر یک محدودکننده ولتاژ در دو سطح $\pm 10\,V$ می‌باشد. به عبارت دیگر، در صورتی که $|V_{o,op-amp}| \le 10\,V$ باشد، هر چهار دیود مدار زیر روشن خواهند شد و ولتاژ خروجی نهایی مطابق شکل زیر با $V_{o,op-amp}$ برابر می‌شود.



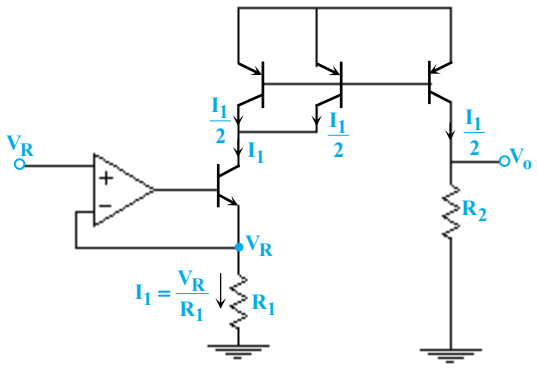

$$-10\,V < V_{o,op-amp} < +10\,V$$

$$\Rightarrow V_o = V_{o,op-amp} = -\frac{100\,k\Omega}{10\,k\Omega}.V_i = -10V_i$$

$$\Rightarrow -10 < -10V_i < 10 \Rightarrow -1 < V_i < +1$$

---

**۲۷ـ گزینه «۲»** با توجه به ایده‌آل بودن آپ‌امپ ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی آن یکسان می‌باشند؛ مطابق شکل مقابل با پخش جریان‌ها می‌توانیم ولتاژ خروجی را حساب کنیم:




$$V_o = R_2.(\frac{I_1}{2}) = R_2 \times \frac{1}{2} \times \frac{V_R}{R_1} = V_R.(\frac{R_2}{2R_1})$$

---

**۲۸ـ گزینه «۱»** منظور از آن‌که مدار تبدیل به یک تقویت‌کننده تفاضلی شود این است که خروجی را برحسب ورودی‌ها بتوان به صورت $V_o = A_d.(V_2 - V_1)$ بیان کرد. لذا با کمک اصل جمع آثار ولتاژ خروجی را حساب می‌کنیم:

$$V_o = V_1(\underbrace{-\frac{nR}{R}}_{\text{گین معکوس‌کنندگی}}) + (V_2 \times \underbrace{\frac{R}{R+mR}}_{\text{ولتاژ پایه‌ی مثبت}}) \times (\underbrace{1+\frac{nR}{R}}_{\text{گین غیرمعکوس‌کنندگی}})$$

$$V_o = -nV_1 + \frac{n+1}{m+1}.V_2 \Leftrightarrow V_o = A_d(V_2 - V_1)$$

بنابراین برای آن‌که یک تقویت‌کننده تفاضلی داشته باشیم باید اندازه‌ی ضرایب $V_1$ و $V_2$ با هم برابر باشند:

$$n = \frac{n+1}{m+1} \Rightarrow m.n = 1 \Rightarrow m = \frac{1}{n}$$

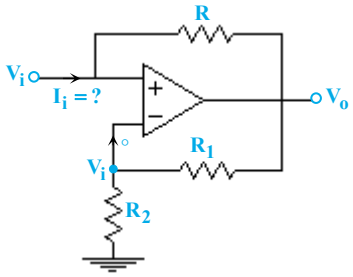
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۹ـ گزینه «۳»** با فرض ایده‌آل بودن آپ‌امپ هر دو پایه‌ی آپ‌امپ هم‌پتانسیل خواهند بود و رابطه‌ی بین ولتاژ خروجی و ورودی را می‌توان به صورت مقابل نوشت:




$$V_i = \frac{R_2}{R_1+R_2}.V_o \Rightarrow V_o = (1+\frac{R_1}{R_2}).V_i$$

جریان $I_i$ را می‌توان به صورت مقابل نوشت:

$$I_i = \frac{V_i - V_o}{R} = \frac{V_i - (1+\frac{R_1}{R_2})V_i}{R} = \frac{-R_1}{R.R_2}.V_i$$

---

**۳۰ـ گزینه «۳»** با نوشتن KCL در پایه‌های مثبت و منفی آپ‌امپ داریم: $(V_{(+)} = V_{(-)} = V_x)$

$$KCL(I): \frac{V_i - V_x}{R_1} = \frac{V_x}{R} \Rightarrow V_x = \frac{R}{R+R_1}.V_i \quad , \quad KCL(II): \frac{V_i - V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_o}{R+\Delta R}$$

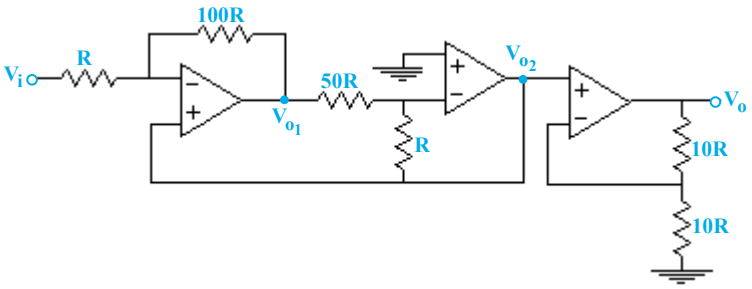
با قرار دادن $V_x$ در رابطه‌ی دوم داریم:

$$\frac{V_1 - \frac{R}{R+R_1}V_i}{R_1} = \frac{\frac{R}{R+R_1}V_i - V_o}{R+\Delta R} \Rightarrow \frac{V_i}{R+R_1} = \frac{\frac{R}{R+R_1}V_i - V_o}{R+\Delta R} \Rightarrow \frac{(R+\Delta R)V_i}{R+R_1} = \frac{R}{R+R_1}V_i - V_o \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\Delta R}{R+R_1}$$

در صورتی که اندازه‌ی بهره‌ی ولتاژ مورد نظر باشد، گزینه‌ی (۳) درست می‌باشد.

---

**۳۱ـ گزینه «۴»** با مشخص کردن نقاط میانی $V_{o_1}$ و $V_{o_2}$ در شکل زیر و با استفاده از گین طبقه‌های معروف، گین کلی مدار را حساب می‌کنیم:




طبقه‌ی سوم : $\frac{V_o}{V_{o_2}} = 1+\frac{10R}{10R} = 2$

طبقه‌ی دوم : $\frac{V_{o_2}}{V_{o_1}} = -\frac{R}{50R} = -\frac{1}{50}$

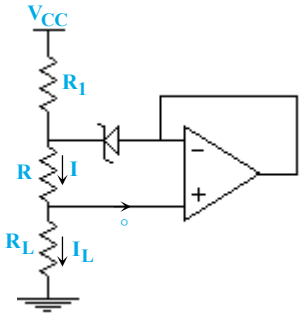
طبقه‌ی اول : $V_{o_1} = -\frac{100R}{R}.V_i + (1+\frac{100R}{R}).V_{o_2} = -100V_i + 101V_{o_2}$

با استفاده از سه رابطه‌ی فوق، نسبت $\frac{V_o}{V_i}$ برابر $\frac{4}{3}$ می‌شود.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{4}{3}$$

---

**۳۲ـ گزینه «۱»** با توجه به ایده‌آل بودن آپ‌امپ، ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی با هم برابر می‌باشد، لذا با نوشتن KVL در حلقه‌ی شامل پایه‌های آپ‌امپ جریان مقاومت R برابر $I = \frac{V_Z}{R}$ می‌شود.

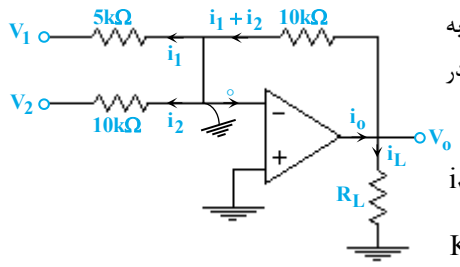



از طرف دیگر چون پایه‌های آپ‌امپ جریان نمی‌کشند، پس:

$$I = I_L = \frac{V_Z}{R}$$

---

**۳۳ـ گزینه «۲»** فرض می‌کنیم ولتاژ خروجی حداکثر مقدار خود یعنی $+10V$ را داشته باشد. با توجه به علامت تقویت‌کننده معکوس‌کننده برای داشتن حداکثر مقدار خروجی مثبت، ولتاژهای $V_1$ و $V_2$ باید در نیم‌سیکل منفی باشند و در نتیجه جریان آن‌ها به صورت نشان داده شده در شکل مقابل می‌باشد.




$$i_1 + i_2 = \frac{V_{o,max} - 0}{10k\Omega} = 1mA \qquad i_o = i_{o,max} = 15mA$$

$$KCL@V_o: i_L = i_o - (i_1+i_2) = 14mA$$

در نتیجه نسبت ولتاژ به جریان خروجی آپ‌امپ برابر است با:

$$R_L = \frac{V_o}{i_L} = \frac{10}{14mA} = 714\Omega$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۳۴ـ گزینه «۲»** با توجه به این‌که گین تقویت‌کننده محدود می‌باشد، ولتاژ پایه‌ی منفی آپ‌امپ را برابر $V_x$ در نظر می‌گیریم ($V_x \neq 0$ خواهد بود). در این حالت ولتاژ خروجی برحسب ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی برابر می‌شود با:

$$V_o = A.(V_{(+)} - V_{(-)}) = 100 \times (0 - V_x) = -100V_x \Rightarrow V_x = -0/01V_o$$

با نوشتن قاعده‌ی KCL در پایه‌ی منفی داریم:

$$KCL@V_x : \frac{V_i - V_x}{20} = \frac{V_x - V_o}{100} + \frac{V_x}{100} \Rightarrow V_o = 7V_x - 5V_i \xrightarrow{V_x = -0/01V_o} 1/07V_o = -5V_i$$

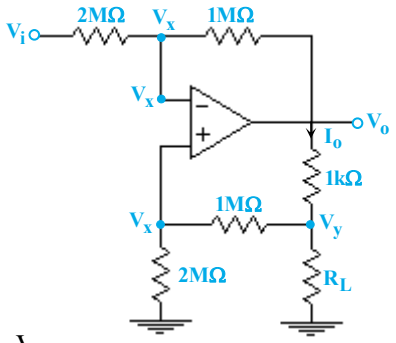
$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{-5}{1/07} = -\frac{5}{1+0/07}$$

با استفاده از تقریب $|x| \ll 1$ ; $\frac{1}{1+x} \simeq 1-x$ داریم:

$$\frac{V_o}{V_i} = -5 \times \frac{1}{1+0/07} = -5(1-0/07) = -5+0/35 = -4/65$$

---

**۳۵ـ گزینه «۴»** ابتدا ولتاژهای $V_x$ و $V_y$ را مطابق شکل زیر به مدار اضافه می‌کنیم. با نوشتن قاعده‌ی KCL در پایه‌های مثبت و منفی آپ‌امپ داریم:




$$KCL(+) : \frac{V_y - V_x}{1M} = \frac{V_x}{2M} \Rightarrow 2V_y = 3V_x$$

$$KCL(-) : \frac{V_i - V_x}{2M} = \frac{V_x - V_o}{1M}$$

$$V_i = 3V_x - 2V_o \xrightarrow{3V_x = 2V_y} V_i = 2(V_y - V_o) \qquad (*)$$

از طرف دیگر در مورد جریان $I_o$ داریم:

$$I_o = \frac{V_o - v_y}{1k\Omega} = V_o - V_y \,(mA)$$

در نتیجه با کمک رابطه‌ی (*) می‌توان نوشت:

$$V_i = -2I_o \Rightarrow I_o = -\frac{V_i}{2}$$

---

**۳۶ـ گزینه «۳»** با توجه به گین محدود آپ‌امپ ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی آن با هم برابر نخواهند بود:

$$V_o = A.(V_{(+)} - V_{(-)}) \Rightarrow V_o = A.(V_S - V_o) \Rightarrow \frac{V_o}{V_S} = \frac{A}{A+1}$$

برای حالت $A = 50$، گین برابر می‌شود با:

$$\left.\frac{V_o}{V_S}\right|_{A=50} = \frac{50}{51}$$

با ۲۰ درصد کاهش گین حلقه باز، گین کلی مدار برابر می‌شود با:

$$\left.\frac{V_o}{V_S}\right|_{A=40} = \frac{40}{41}$$

$$\frac{\text{گین جدید}}{\text{گین قبلی}} = \frac{\frac{40}{41}}{\frac{50}{51}} = 0/995$$

لذا می‌توان گفت با کاهش بیست درصدی گین حلقه باز، گین کلی مدار به اندازه‌ی ۰/۵ درصد کاهش می‌یابد.

---

**۳۷ـ گزینه «۴»** به طور مشابه با توجه به فیدبک جریان ـ سری و با فرض گین حلقه زیاد $V_{g_1} = V_{g_2} = V_i$ می‌شود. با توجه به اتصال کوتاه شدن خازن‌ها در حالت ac، جریان و ولتاژ خروجی را حساب می‌کنیم:

$$V_{g_1} = V_{g_2} = V_i \Rightarrow V_{g_2} = \frac{10}{10+200}.V_{e_3} = V_i$$

$$V_{e_3} = V_o' = 21V_i \Rightarrow i_o \simeq i_{e_3} = \frac{V_o'}{0/1} = 210V_i$$

$$V_o = -1/2k \times i_o = 252V_i \Rightarrow \left|\frac{V_o}{V_i}\right| = 252$$

---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۳۸ـ گزینه «۱»** برای هر یک از طبقه‌های آپ‌امپی رابطه‌ی ولتاژ خروجی را بیان می‌کنیم:

$$V_{o_1}=(-\frac{100k\Omega}{1k\Omega}).V_i+(1+\frac{100k\Omega}{1k\Omega}).V_{o_2}=-100V_i+101V_{o_2}$$

$$V_{o_2}=(-\frac{1}{50}).V_{o_1}=-0/02V_{o_1}\ \Rightarrow\ V_{o_1}=-100V_i+101(-0/02V_{o_1})$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{o_1}=-33V_i} \xrightarrow{V_{o_2}=-0/2V_{o_1}} \boxed{V_{o_2}=0/66V_i}$$

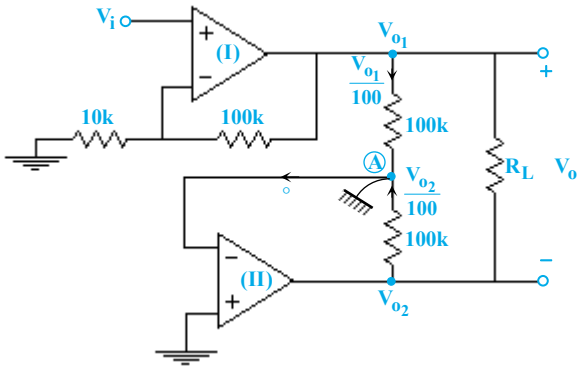
ولتاژ خروجی نهایی برابر است با:

$$V_o=V_{o_2}(1+\frac{10k}{10k})=1/32V_i \xrightarrow{V_i=10mv} V_o=13/2mv$$

---

**۳۹ـ گزینه «۲»** ابتدا با کمک گین یک معکوس‌کننده با استفاده از آپ‌امپ اول می‌توان ولتاژ $V_{o_1}$ را برحسب $V_i$ به صورت مقابل بیان کرد:

$$\frac{V_{o_1}}{V_i}=(1+\frac{100k\Omega}{10k\Omega})=11$$




در مرحله‌ی بعد با استفاده از پخش جریان‌ها و قاعده‌ی KCL در شکل زیر داریم:

$$KCL@A:\frac{V_{o_1}}{100}+\frac{V_{o_2}}{100}=0\ \Rightarrow\ V_{o_1}=-V_{o_2}$$

در نتیجه ولتاژ خروجی برابر می‌شود با:

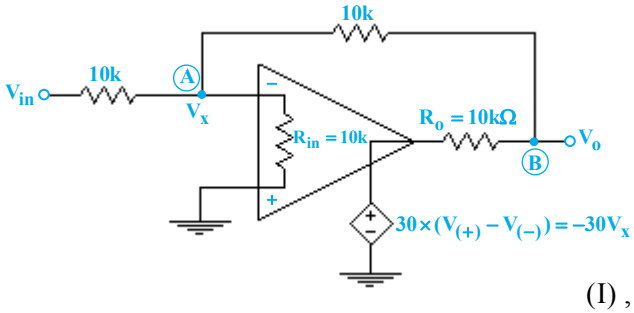
$$V_o=V_{o_1}-V_{o_2}\xrightarrow{V_{o_2}=-V_{o_1}} V_o=2V_{o_1}$$

بنابراین گین کلی برابر است با:

$$\frac{V_o}{V_{in}}=2(\frac{V_{o_1}}{V_{in}})=2\times11=22$$

---

**۴۰ـ گزینه «۴»** با توجه به گزینه‌ها تنها محاسبه‌ی گین مدار کافی می‌باشد؛ برای این کار از مدار معادل سیگنال کوچک واقعی آپ‌امپ استفاده می‌کنیم، چون مقاومت ورودی آپ‌امپ بی‌نهایت نمی‌باشد، ورودی آپ‌امپ هم جریان می‌کشد و از طرف دیگر با توجه به معلوم بودن جریان خروجی آپ‌امپ در خروجی آن هم می‌توان از قانون KCL استفاده کرد.




$$KCL@A:\frac{V_i-V_x}{10}=\frac{V_x}{10}+\frac{V_x-V_o}{10}\ \Rightarrow V_o=3V_x-V_i \qquad (I)$$

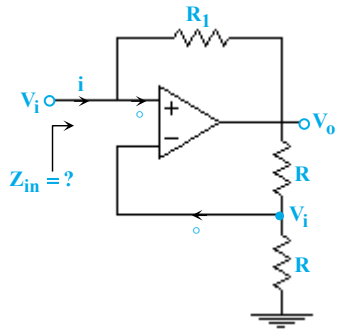
$$KCL@B:\frac{V_x-V_o}{10}=\frac{V_o+30V_x}{10}$$

$$2V_o=-30V_x-V_x\simeq-30V_x\ \Rightarrow\ V_x=-\frac{1}{15}V_o \qquad (II)$$

$$(I),(II)\ \Rightarrow\ V_o=3V_x-V_i\ \Rightarrow\ V_o=3(-\frac{1}{15}V_o)-V_i\ \Rightarrow\ \frac{V_o}{V_i}=-\frac{5}{6}$$

---

**۴۱ـ گزینه «۲»** با توجه به ایده‌آل بودن آپ‌امپ ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی با یکدیگر برابر می‌باشند:




$$V_o\times\frac{R}{R+R}=V_i\ \Rightarrow\ V_o=2V_i$$

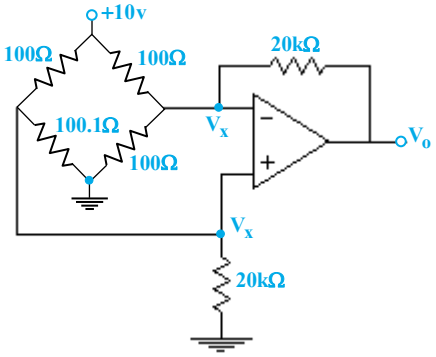
$$Z_{in}=\frac{V_i}{i}=\frac{V_i}{\frac{V_i-V_o}{R_1}}=\frac{V_i}{\frac{V_i-2V_i}{R_1}}\ \Rightarrow\ Z_{in}=\frac{R_1\times V_i}{-V_i}=-R_1$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۴۲ـ گزینه «۱»** با توجه به آن‌که آپ‌امپ ایده‌آل می‌باشد، ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی آن با یکدیگر برابر می‌باشند؛ با استفاده از قاعده‌ی KCL در سرهای مثبت و منفی آپ‌امپ طبق شکل مقابل داریم:

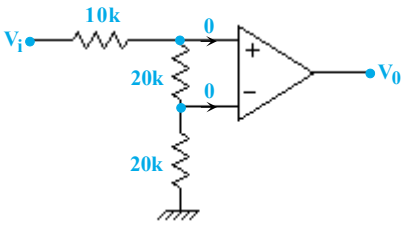



$$KCL@V_{(+)}:\frac{V_x}{20k\Omega}+\frac{V_x}{0/1001k\Omega}=\frac{10-V_x}{0/1}\Rightarrow V_x\simeq 5v$$

$$KCL@V_{(-)}:\frac{V_x-V_o}{20k\Omega}+\frac{V_x}{0/1}=\frac{10-V_x}{0/1k\Omega}\Rightarrow V_o\simeq 4v$$

---

**۴۳ـ گزینه «۲»** مقدار CMRR و مقدار بهره وجه تفاضلی داده شده است. بنابراین مقدار بهره وجه مشترک را محاسبه می‌کنیم:




$$CMRR=\frac{|A_d|}{|A_c|}=\frac{10}{|A_c|}=3\Rightarrow|A_c|=\frac{10}{3}$$

مقاومت ورودی آپ‌امپ بی‌نهایت است و در نتیجه آپ‌امپ جریان نمی‌کشد. بنابراین با تقسیم ولتاژ، ولتاژ پایه‌های + و − آپ‌امپ را به‌دست می‌آوریم:

$$V_+=\frac{20+20}{10+20+20}\times V_i=\frac{4}{5}V_i\quad,\quad V_-=\frac{20}{10+20+20}\times V_i=\frac{2}{5}V_i$$

ولتاژ ورودی در حالت مد مشترک برابر است با:

$$V_{ic}=\frac{V_++V_-}{2}=\frac{(\frac{4}{5}+\frac{2}{5})V_i}{2}=\frac{3}{5}V_i$$

ولتاژ ورودی در حالت تفاضلی برابر است با:

$$V_{id}=V_+-V_-=\frac{4}{5}V_i-\frac{2}{5}V_i=\frac{2}{5}V_i$$

ولتاژ خروجی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$V_o=A_dV_{id}+A_cV_{ic}=10\times\frac{2}{5}V_i+\frac{10}{3}\times\frac{3}{5}V_i\Rightarrow V_o=6V_i\Rightarrow A_v=\frac{V_o}{V_i}=6$$

---

**۴۴ـ گزینه «۳»** مقدار slewRate برابر $\frac{3v}{\mu sec}$ می‌باشد که در صورت سؤال اشتباه تایپی وجود دارد. می‌دانیم که مقدار چرخش در حالت کلی برابر است با:

$$Slew\ Rate=A_{max}.\omega$$

$$3\times10^6=A_{max}\times(2\pi\times10^5)\Rightarrow\frac{A_{max}\times2\pi}{3}=10\Rightarrow\boxed{A_{max}=4/78}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

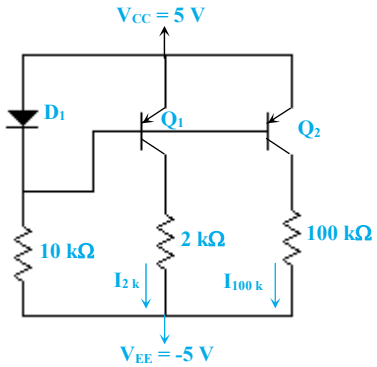


# فصل پنجم
# آینه جریان و تقویت‌کننده‌های تفاضلی

## تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل پنجم

### درسنامه (۱): آینه جریان

۱ـ مدار شکل زیر مفروض است. در صورتیکه $h_{oe}$ ترانزیستورها قابل صرفنظر کردن باشد ، جریان مقاومت‌های $100\,k\Omega$ و $2\,k\Omega$ چقدر است؟ دیود $D_1$ را مشابه دیود بیس ـ امیتر ترانزیستورها در نظر گرفته و ولتاژ آنها را $0/7$ ولت فرض کنید. $\beta$ ترانزیستورها را به اندازهٔ کافی بزرگ در نظر بگیرید. $|V_{CE}(sat)| = 0/2V$ (سراسری ۷۵)



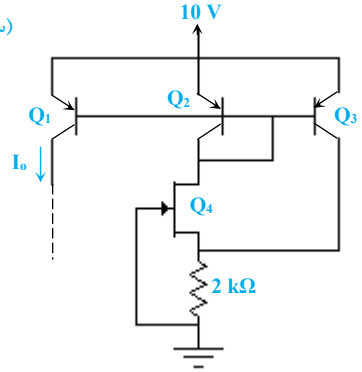

۱) $I_{100\,k} = I_{2k} = 0/93\,mA$

۲) $I_{100k} = 0/1mA\ ,\ I_{2k} = 5\,mA$

۳) $I_{100k} = 0/098mA\ ,\ I_{2k} = 4/9mA$

۴) $I_{100k} = 0/098mA, I_{2k} = 0/93\,mA$

۲ـ مقدار جریان $I_o$ در مدار زیر به کدام گزینه نزدیکتر است؟ ( $\beta$ ترانزیستورهای $Q_1$ تا $Q_3$ خیلی بزرگ و برای ترانزیستور $Q_4$، $I_{DSS} = 4mA$ و $V_P = -2V$ است.) (سراسری ۷۶)



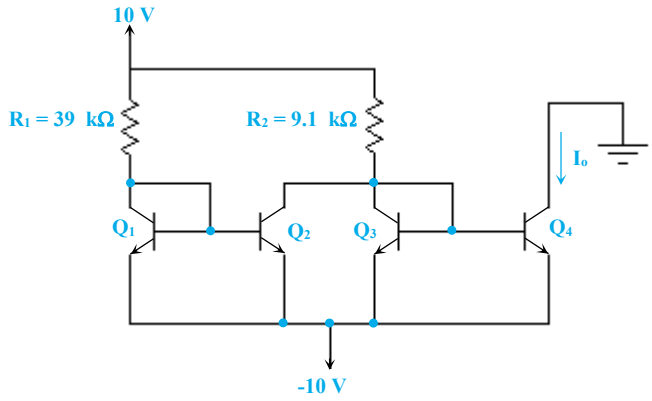

۱) $0/2\,mA$

۲) $0/35\,mA$

۳) $0/6\,mA$

۴) $1\,mA$

۳ـ جریان $I_o$ در مدار زیر به کدام گزینه نزدیکتر است؟( $V_{BE} = 0/7\,V$ و $\beta \gg 1$ است و مشخصات ترانزیستورها یکسان فرض شود.) (سراسری ۷۷)




۱) صفر

۲) $0/9\,mA$

۳) $1/6\,mA$

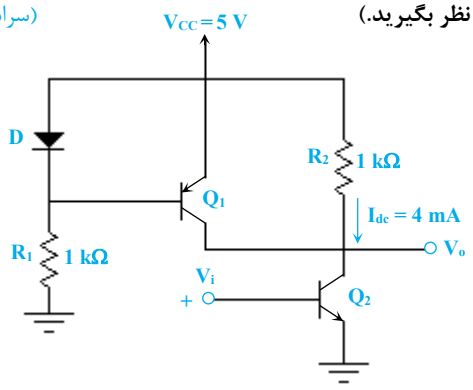
۴) $2/1\,mA$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۴ـ در مدار شکل زیر، در صورتیکه $V_D = V_{BE} = ۰/۷V$ و جریان اشباع (معکوس) دیود و پیوند بیس امیتر ترانزیستورها یکسان باشد، بهره ولتاژ $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ چقدر است؟ ($h_{re} = h_{oe} = ۰$ ، $V_T = ۲۵mV$ ، $\beta$ ترانزیستورها را بزرگ در نظر بگیرید.) (سراسری ۷۷)



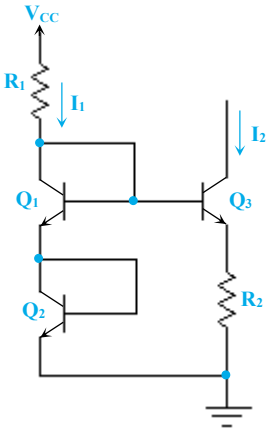

۱) ۱۲

۲) ۱۶۰

۳) ۱۷۲

۴) ۳۳۲

۵ـ در مدار زیر همه ترانزیستورها مشابه هستند ($I_S$ و $\beta$ یکسان دارند) و $\beta >> ۱$ است. جریان $I_۲$ از کدام رابطه بدست می‌آید؟ (سراسری ۸۰)



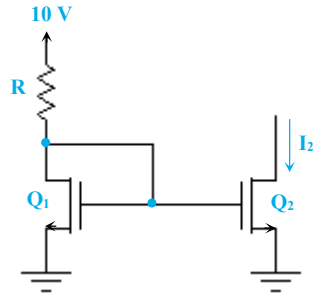

۱) $I_۲ = I_۱ Ln \frac{I_۱^۲}{I_۲ I_S}$

۲) $I_۲ = \frac{V_T}{R_۲} Ln \frac{I_۱}{I_S}$

۳) $I_۲ = \frac{۲V_T}{R_۲} Ln \frac{I_۱}{I_S}$

۴) $I_۲ = \frac{V_T}{R_۲} Ln \frac{I_۱^۲}{I_۲ I_S}$

۶ـ در مدار شکل مقابل با فرض $V_{T_۱} = V_{T_۲} = ۲V$ و $k_۱ = k_۲ = ۱\frac{mA}{V^۲}$، مقدار مقاومت $R$ باید چند کیلو اهم باشد تا $I_۲ = ۱mA$ شود؟ (سراسری ۸۱)



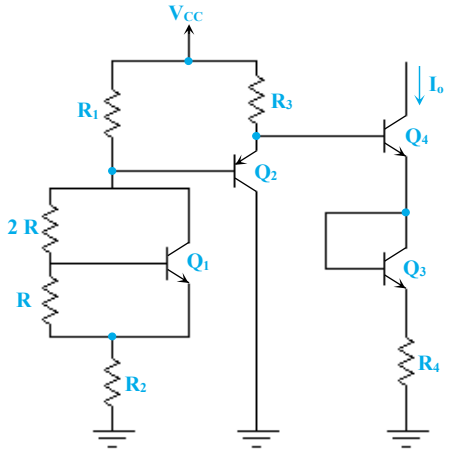

۱) ۲۱

۲) ۱۴

۳) ۷

۴) ۵/۳

۷ـ در مدار شکل مقابل چه رابطه‌ای بین مقاومتهای $R_۱$ و $R_۲$ برقرار باشد تا جریان خروجی $I_o$ مستقل از درجه حرارت باشد؟ (تمام ترانزیستورها مشابه با ولتاژ $V_{BE}$ و دارای تغییرات حرارتی یکسان هستند.) (سراسری ۸۱)




۱) $R_۲ = R_۱$

۲) $R_۲ = ۲R_۱$

۳) $R_۲ = ۳R_۱$

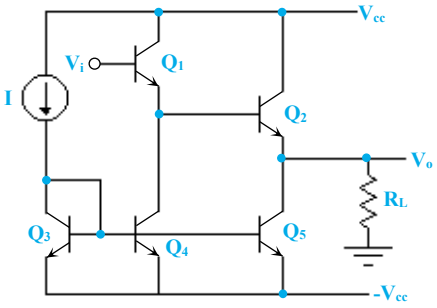
۴) $R_۲ = ۴R_۱$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۸ـ در مدار زیر، $V_{BE} = ۰/۷V$ و $V_{CE_{sat}} = ۰/۲V$ و $V_{CC} = ۵V$ و $I = ۴۰mA$ است. حداکثر دامنه موج سینوسی در خروجی، بدون آنکه بریده شود با فرض $R_L = ۱۰۰\Omega$ برابر است با: (سراسری ۸۲)



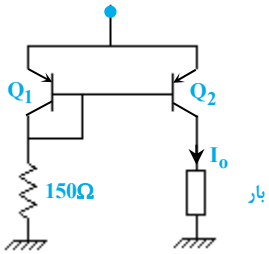

۱) ۴V

۲) ۶V

۳) ۴/۸V

۴) ۵V

۹ـ با فرض اینکه ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ در مدار شکل زیر کاملاً مشابه باشند و $\beta = ۱۰۰$ و $V_{EB} = ۰/۶V$، مقدار $I_0$ برابر است با: (مهندسی برق گرایش قدرت، مخابرات و کنترل ـ آزاد ۸۵)



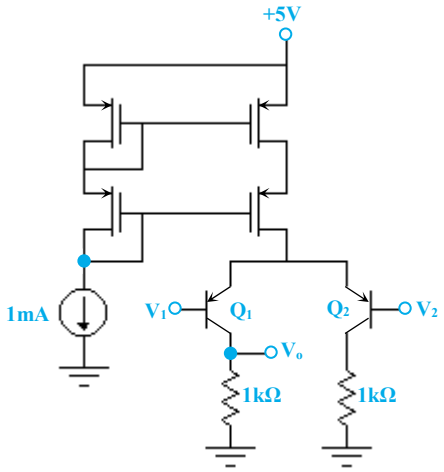

۱) ۹۶mA

۲) ۵۴mA

۳) ۴۲mA

۴) به علت مشخص نبودن مقدار و نوع بار، $I_0$ قابل محاسبه نیست

۱۰ـ در مدار شکل مقابل، ترانزیستورهای MOS را مشابه و دارای $\beta = ۴\frac{mA}{V^۲}$، $|V_T| = ۰/۵V$ و ترانزیستورهای دو قطبی را هم مشابه و دارای $V_A \to \infty v$ فرض کنید. اگر $V_1 = ۲V$ و $V_۲ = ۱/۹۹۵V$ آنگاه ولتاژ $V_0$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟ (سراسری ۸۷)



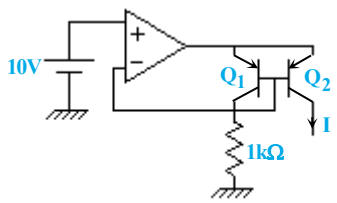

۱) ۰/۴V

۲) ۰/۴۵V

۳) ۰/۵V

۴) ۰/۵۵V

۱۱ـ در مدار شکل داده شده با فرض ایده‌آل بودن عناصر مدار، مقدار جریان I و ماکزیمم ولتاژ کلکتور چقدر است؟ فرض: $|V_{BE}| = ۰/۶V$ (مهندسی برق گرایش کنترل ـ آزاد ۸۸)




۱) $I = ۲۰mA \ , \ V_{C۲}(max) = ۱۰/۶V$

۲) $I = ۲۰mA \ , \ V_{C۲}(max) = ۱۰V$

۳) $I = ۱۰mA \ , \ V_{C۲}(max) = ۱۰V$

۴) $I = ۱۰mA \ , \ V_{C۲}(max) = ۱۰/۶V$

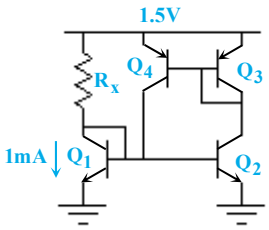
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۲ـ در مدار شکل مقابل مساحت پیوند بیس ـ امیتر ترانزیستور $Q_۲$، ۳ برابر $Q_۱$ و مساحت پیوند بیس ـ امیتر $Q_۳$، ۴ برابر $Q_۴$ است. اگر جریان کلکتور $Q_۱$ برابر با ۱mA باشد، در این صورت مقاومت $R_X$ برحسب کیلواهم (kΩ) تقریباً کدام است؟ (مهندسی برق ـ سراسری ۸۹)

$V_{BE} = ۰/۷V, A_{E_۲} = ۳A_{E_۱}, A_{E_۳} = ۴A_{E_۴}, \beta$ خیلی بزرگ




۱) ۳/۲

۲) ۱/۶

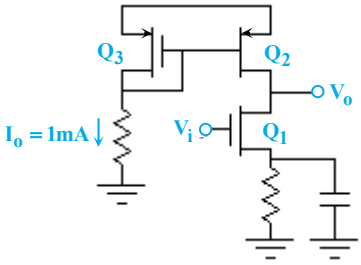
۳) ۲/۴

۴) ۰/۸

۱۳ـ با چهار برابر شدن جریان $I_o$، مقدار $\frac{V_o}{V_i}$ چند برابر می‌شود؟ (مجموعه فوتونیک ـ سراسری ۸۹)

$N_{MOS}(V_T = ۲ , k = ۴\frac{mA}{V^۲} , V_A = ۱۰۰V) ; I_D = K(V_{gs} - V_T)^۲$

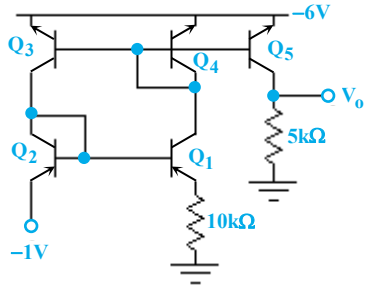
$P_{MOS}(V_T = -۲ , K = ۱\frac{mA}{V^۲} , V_A = ۵۰)$




۱) $\frac{۱}{۲}$ ۲) ۲

۳) ۳ ۴) ۴

۱۴ـ در مدار شکل مقابل، ابعاد ترانزیستورهای $Q_۱$ تا $Q_۵$ یکسان هستند. اگر $\beta$ ترانزیستورها بسیار بزرگ باشد، ولتاژ $V_o$ بر حسب ولت به کدام مقدار نزدیکتر است؟ (مهندسی برق ـ سراسری ۸۹)



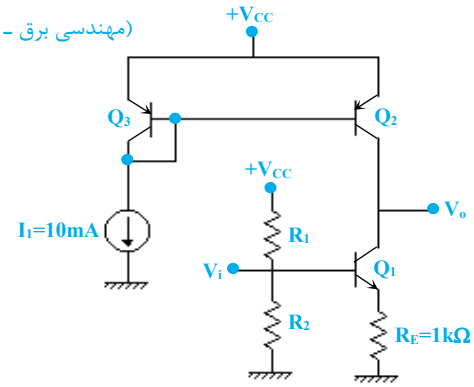

۱) −۲

۲) -۱

۳) −۰/۵

۴) ۰

۱۵ـ در مدار شکل داده شده، ولتاژ ارلی (Early) ترانزیستور PNP را برابر ۷۵V و ولتاژ ارلی ترانزیستور NPN را ۱۲۵V فرض کنید. بـا فـرض بزرگ بودن $\beta$ برای تمام ترانزیستورها، بهره ولتاژ $A_V = |\frac{V_o}{V_i}|$ برابر است با: (مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)



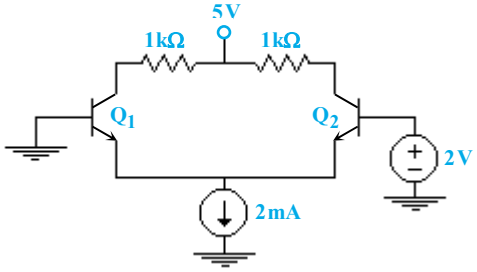

۱) ۴/۵

۲) ۱۲/۵

۳) ۷/۵

۴) ۵۰۰

۱۶ـ ولتاژ $V_{CE_۱}$ برابر است با: (مجموعه فوتونیک ـ سراسری ۹۰)




۱) ۳/۷V

۲) ۳V

۳) ۱/۳V

۴) ۵V

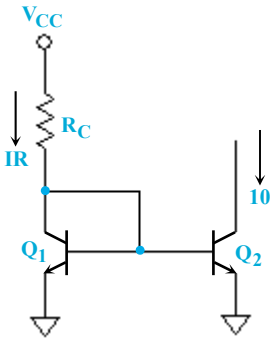
www.modaresanesharif.ac.ir

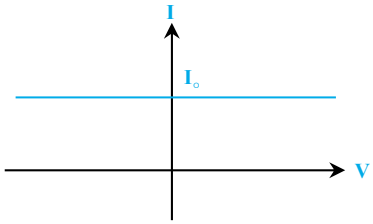
www.modaresanesharif.ac.ir



۱۷ـ در مدار زیر $RC = 50\,k\Omega$ ، $V_{cc} = 10\,V$ ، ترازیستورها مشابه و $V_{be} = 0/7V$ است. چنانچه بهره‌های جریان $\beta$ ترانزیستورها به صورت هم‌زمان از ۲۰ تا ۱۸۵ تغییر کند، نسبت تغییرات جریان خروجی این مدار به مقدار جریان مرجع $I_R$ ، کدام است؟

(مهندسی ابزار دقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۹۷)



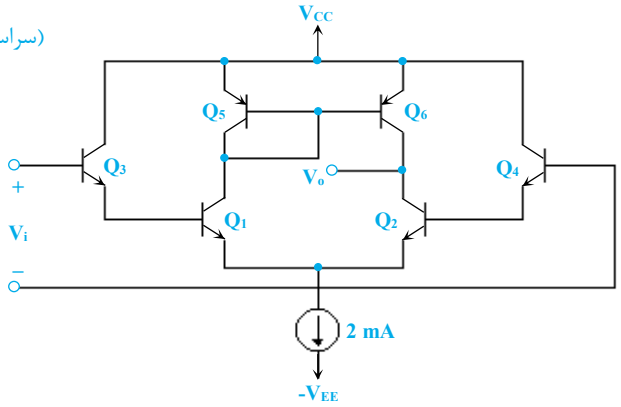




۱) ۰/۰۲
۲) ۰/۰۴
۳) ۰/۰۶
۴) ۰/۰۸

***درسنامه (۲): تقویت‌کننده‌های تفاضلی***

۱۸ـ در مدار شکل زیر ترانزیستورهای متقارن مشابه‌اند. اگر $V_{A(NPN)} = 120V$ ، $V_{A(PNP)} = 40V$ ، $\beta_{NPN} = 100$ ، $\beta_{PNP} = 90$ و $V_T = 25\,mV$ باشد، مقدار $\frac{V_o}{V_i}$ برابر کدام است؟

(سراسری ۷۵)

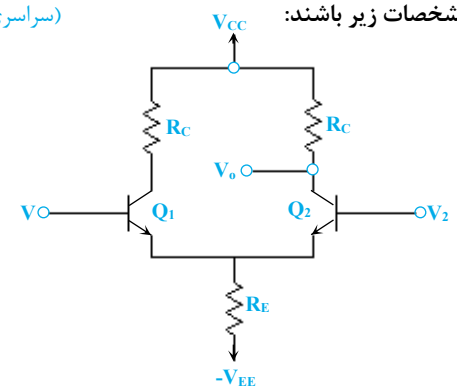



۱) ۳۰۰
۲) ۶۰۰
۳) ۱۲۰۰
۴) ۲۰۰۰

۱۹ـ در تقویت‌کننده تفاضلی شکل زیر با فرض اینکه ترانزیستورها یکسان بوده و دارای مشخصات زیر باشند: کدامیک از گزاره‌های زیر درست است؟ $h_{oe} = 0$ ، $\beta >> 1$ ، $V_{BE} << |V_{EE}|$

(CMRR : Common Mode Rejection Ratio)

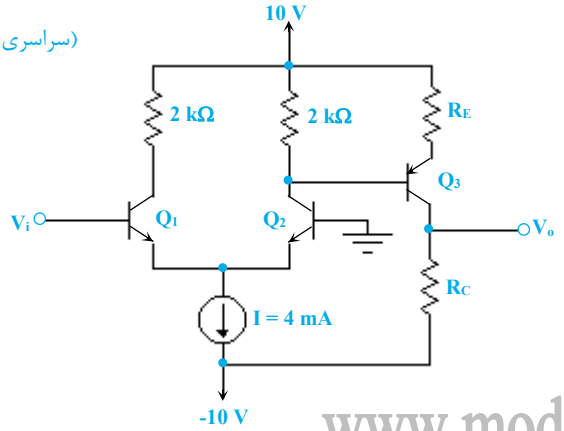
(سراسری ۷۵)




۱) مقدار CMRR مدار فقط به مقادیر $R_E$ و $R_C$ بستگی دارد.
۲) مقدار CMRR مدار فقط به مقادیر $R_E$ و $V_{EE}$ بستگی دارد.
۳) مقدار CMRR مدار فقط به $R_E$ بستگی دارد.
۴) مقدار CMRR مدار فقط به مقدار $V_{EE}$ بستگی دارد.

۲۰ـ در مدار زیر ولتاژ خروجی نقطه کار $V_o(dc) = 0\,v$ است. اگر $\beta >> 1$ و $V_T = 25\,mV$ و $|V_{BE}| = 0/6\,V$ و $h_{re} = h_{oe} = 0$ باشد، بهره ولتاژ $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟ $R_E >> re$ است.

(سراسری ۷۶)



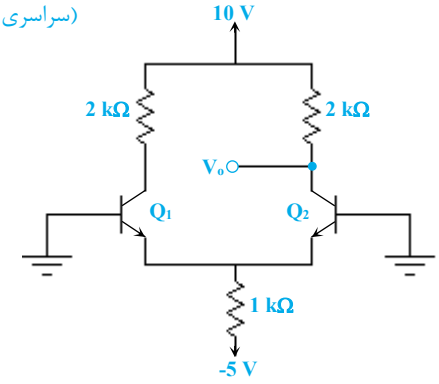

۱) ۸۰
۲) ۱۶۰
۳) ۲۳۵
۴) ۴۶۵

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۲۱ـ در تقویت‌کننده تفاضلی شکل زیر ولتاژ خروجی نقطه کار dc برابر $V_o$ است. در صورتی که بر اثر افزایش درجه حرارت، $V_{BE}$ هر یک از ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ به اندازه ۱۰mV کاهش یابند، تغییرات ولتاژ خروجی $V_o$ تقریباً برابر است با: ($Q_1$ و $Q_2$ از نوع سیلیکن بوده و $\beta_1 = \beta_2 = 100$ است.) (سراسری ۷۷)



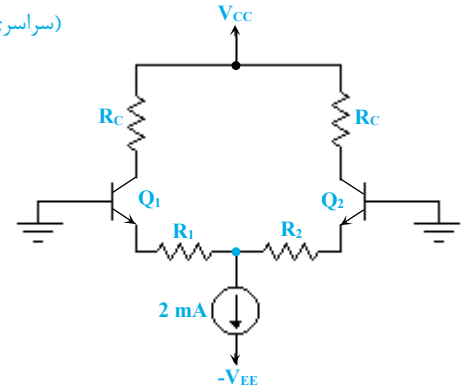

۱) ۰

۲) ۱۰mV

۳) ۲۰mV

۴) ۴۰mV

۲۲ـ در مدار زیر سطح مقطع امیتر $Q_1$ چهار برابر سطح مقطع امیتر $Q_2$ می‌باشد، مینیمم مقدار $R_1$ و $R_2$ را به ترتیب برحسب اهم چنان بیابید که $I_{EQ_1} = I_{EQ_2}$ باشد؟ (فرض کنید $V_T = \frac{kT}{q} = 26mV$) (سراسری ۸۰)



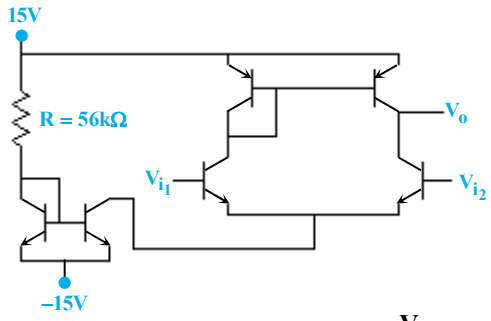

۱) ۰ و ۳۶

۲) ۰ و ۰

۳) ۳۶ و ۰

۴) ۴۶ و ۱۰

۲۳ـ در مدار مقابل $\beta = 250$ و $h_{oe} = 5\frac{\mu A}{V}$ است. مقدار $\frac{V_o}{V_{i_1} - V_{i_2}}$ برابر است با: (مهندسی برق «کلیه گرایشها» ـ آزاد ۸۰)



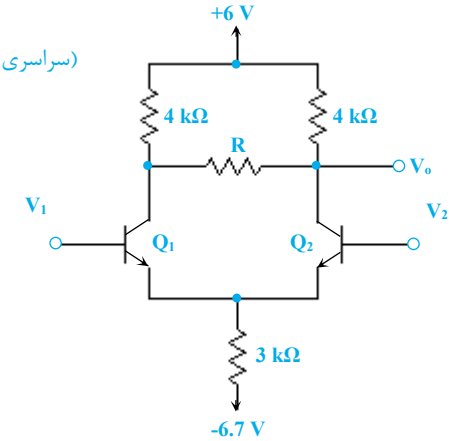

۱) +۱۰۰۰

۲) −۵۰۰

۳) +۵۰۰

۴) −۱۰۰۰

۲۴ـ در تقویت کننده زیر بهره تفاضلی $|A_d| = |\frac{V_o}{V_1 - V_2}|$ با بهره وجه مشترک $A_c = |\frac{V_o}{\frac{(V_1 + V_2)}{2}}|$ برابر است. مقدار مقاومت R به کدام گزینه نزدیکتر است؟ $V_{BE} = 0/7^V$ و $V_T = 25^{mv}$ (سراسری ۸۱)




۱) ۳۳Ω

۲) ۶۷Ω

۳) ۱۳۳Ω

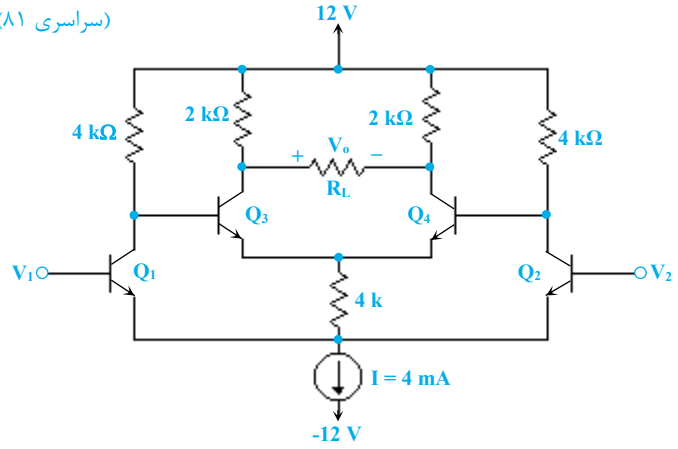
۴) Ad نمی‌تواند با Ac برابر باشد.

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۲۵ـ در مدار شکل مقابل با فرض یکسان بودن ترانزیستورها و $\beta = ۱۶۰$ ، $V_{BE} = ۰/۶v$ ، $V_T = ۲۵mv, R_L = ۴k\Omega$ بهره تفاضلی مدار بـه کـدام یک از عبارات زیر نزدیک است؟ (سراسری ۸۱)



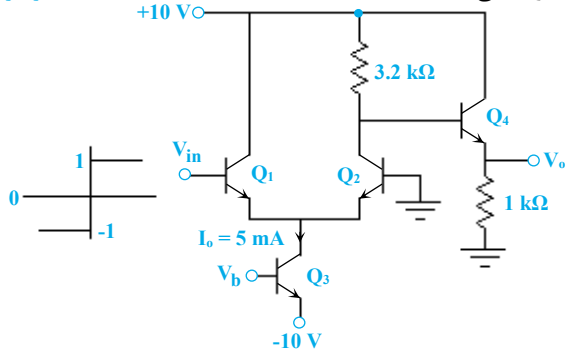

۱) $\frac{V_o}{V_i} = ۸۰۰$

۲) $\frac{V_o}{V_i} = ۱۶۰۰$

۳) $\frac{V_o}{V_i} = ۳۲۰۰$

۴) $\frac{V_o}{V_i} = ۶۴۰۰$

۲۶ـ در مدار شکل مقابل کـه بـــرای همـهٔ ترانزیســتورها $\beta = ۲۰۰$ ، $V_{BE(ON)} = ۰/۷V$ و $V_{BE(sat)} \approx ۰$ $V_{CE(sat)}$ فـرض مـی‌شـوند، اگـر ورودی $v_{in}$ بصورت پله از ۱- ولت به ۱+ ولت برود، تغییرات ولتاژ خروجی $(\Delta V_o)V_o$ چند ولت می‌باشد. (سراسری ۸۲)



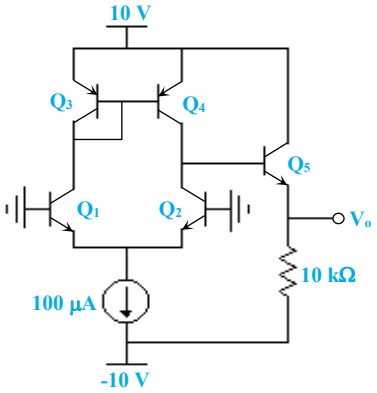

۱) ۸/۷V

۲) ۹/۱۵V

۳) ۱۰ V

۴) ۱۱/۴V

۲۷ـ اگر $V_o(DC) = ۰$ باشد، جریان ترانزیستورهای $Q_۱$ و $Q_۲$ چند میکروآمپر $(\mu A)$ خواهد بود؟ $(\beta = h_{fe} = ۱۰۰)$ (سراسری ۸۲)



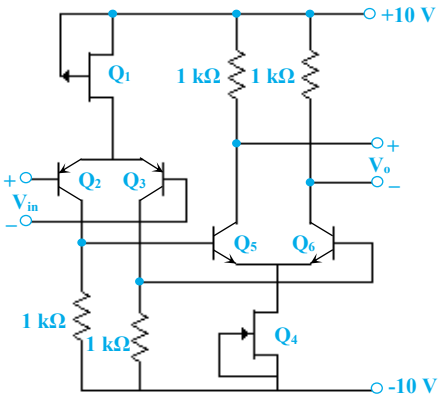

۱) $I_{C_۲} = ۴۰$ , $I_{C_۱} = ۶۰$

۲) $I_{C_۲} = ۵۵$ , $I_{C_۱} = ۴۵$

۳) $I_{C_۲} = ۵۰$ , $I_{C_۱} = ۵۰$

۴) $I_{C_۲} = ۴۵$ , $I_{C_۱} = ۵۵$

۲۸ـ در مدار شکل زیر برای JFET ها، $|I_{DSS}| = ۵mA$ ، $|V_P| = ۱V$ است و برای BJT ها ، $h_{fe} = ۱۰۰$ , $\eta = ۱$, اسـت. $A_V = \frac{Vout}{Vin}$ چقـدر است؟ $V_T = ۲۵mV$ (سراسری ۸۲)




۱) $-۵۰۰۰$

۲) $-۲۵۰۰$

۳) $+۵۰۰۰$

۴) $+۲۵۰۰$

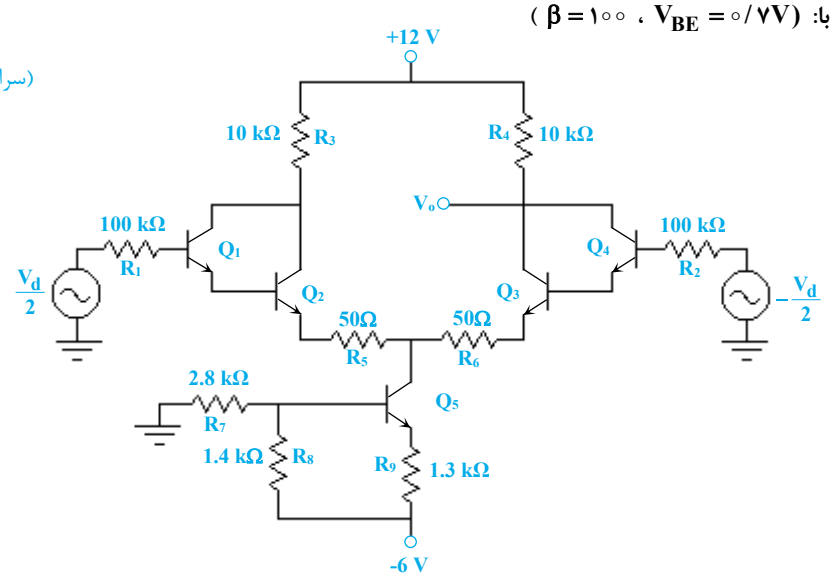
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۲۹ـ بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_d}$ در مدار مقابل برابر است با: $(V_{BE} = ۰/۷V \ ، \ \beta = ۱۰۰)$

(سراسری ۸۳)




۱) ۴۵/۵

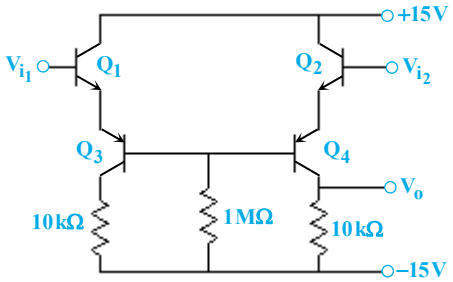
۲) ۳۱

۳) ۱۰۰

۴) ۲۰۰

۳۰ـ در تقویت‌کننده شکل مقابل ترانزیستورها دارای $h_{fe} = ۲۵۰$ ، $h_{ie} = ۱۰kΩ$ و $h_{re}$ و $h_{oe}$ ناچیز هستند. بهره دیفرانسیل مدار $(A_d = \frac{V_o}{(V_{i_۱} - V_{i_۲})})$ برابر است با:

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳)




۱) -۶۲/۵

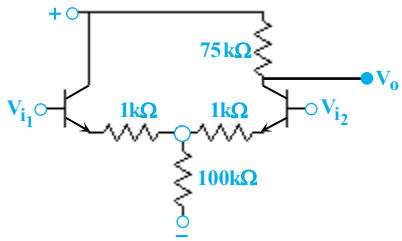
۲) ۶۲/۵

۳) -۱۲۵

۴) ۱۲۵

۳۱ـ در مدار زیر ضریب تقویت Common Mode برابر است با :

(مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۳)




$h_{ie} \ll ۱۰۰k$

۱) ۰/۳۷

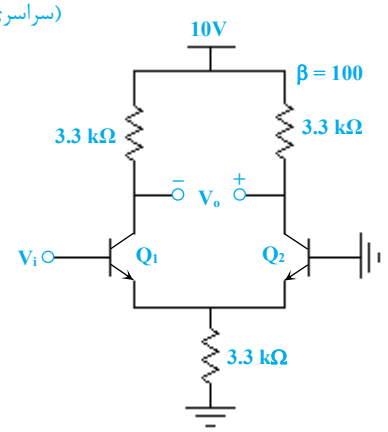
۲) ۰/۷۴

۳) ۰/۱۴

۴) ۰/۵۲

۳۲ـ در شکل داده شده، ترانزیستورها یکسان هستند. اگر دمای پیوند ترانزیستور $Q_۱$ برابر $۲۵^\circ C$ و دمای پیوند $Q_۲$ برابر $۴۵^\circ C$ باشد. برای چه مقدار از $V_i$ ولتاژ خروجی برابر صفر خواهد شد؟ $(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} = -۲\frac{mV}{^\circ K})$ فرض شود

(سراسری ۸۴)




۱) ۰

۲) −۴۰ mV

۳) ۲۰ mV

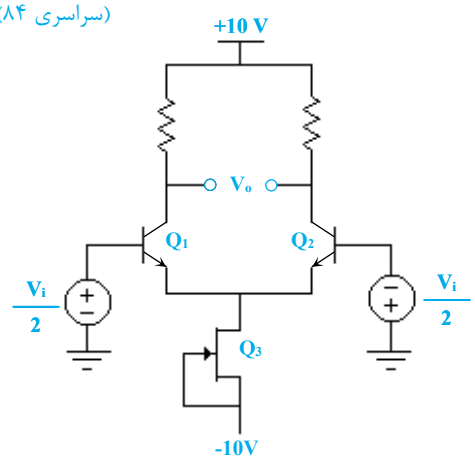
۴) ۴۰ mV

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۳۳ـ در مدار زیر $A_d$ را حساب کنید. $(A_d = \frac{V_o}{V_i})$ (سراسری ۸۴)




$\beta = ۱۰۰, V_T = ۲۵mV, V_{BEQ} = ۰/۷V$

$I_{DSS} = ۴mA, |V_P| = ۲V, r_{ds} = ۱۰۰k\Omega$

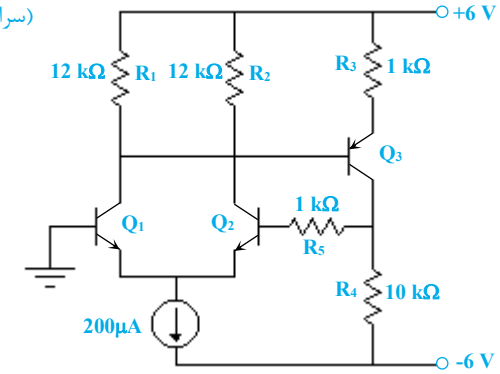
۱) $-۱۲۰$

۲) $-۱۸۰$

۳) $-۲۴۰$

۴) $-۳۲۰$

۳۴ـ در مدار مقابل مقدار $I_{c_1}$ به کدام مقدار نزدیکتراست؟ $\beta_1 = \beta_2 = ۲۵۰, \beta_3 = ۲۰, V_{BE_1} \approx V_{BE_2} \approx V_{BE_3} \approx ۰/۶V$ فرض شوند. (سراسری ۸۴)



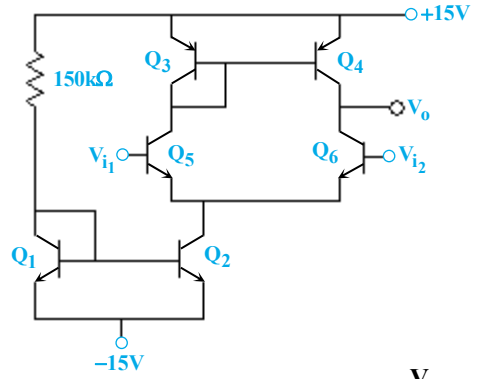

۱) $۷۰\mu A$

۲) $۱۰۰\mu A$

۳) $۱۱۵\mu A$

۴) $۱۳۰\mu A$

۳۵ـ در مدار تقویت کننده شکل زیر با فرض اینکه ترانزیستورها دارای $h_{fe} = ۲۵۰$ ، $h_{ie} = ۵۰k\Omega$ و $h_{oe} = ۵\frac{\mu A}{V}$ هستند، بهرهٔ تفاضلی مدار $(A_d = |\frac{V_o}{V_{i_1} - V_{i_2}}|)$ با فرض $h_{re} = ۰$ برابر است با: (مهندسی برق گرایش قدرت، مخابرات و کنترل ـ آزاد ۸۵)



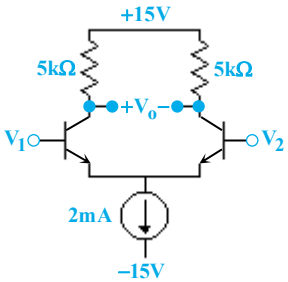

۱) ۱۰۰۰

۲) ۲۵۰

۳) ۱۲۵

۴) ۵۰۰

۳۶ـ با فرض آنکه ترانزیستورها در مدار زیر مشابه بوده و بزرگ $\beta$، بهره تفاضلی $A_d = \frac{V_o}{V_1 - V_2}$ تقریباً برابر است با: (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۵)




۱) $-۵۰$

۲) $-۱۰۰$

۳) $-۲۰۰$

۴) $+۲۰۰$

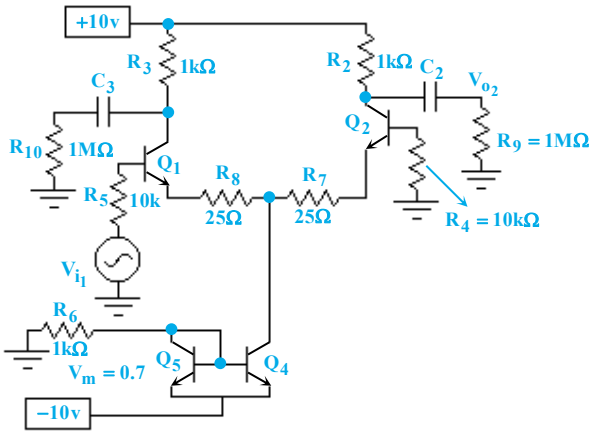
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۳۷ـ با فرض $\beta = ۱۰۰$ برای BJT ها و کار در فرکانس میانی مدار، بهره ولتاژ $\frac{V_{o_۲}}{V_{i_۱}}$ در شکل زیر به کدام‌یک از گزینه‌ها نزدیکتر است؟

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۵)




۱) ۱/۸

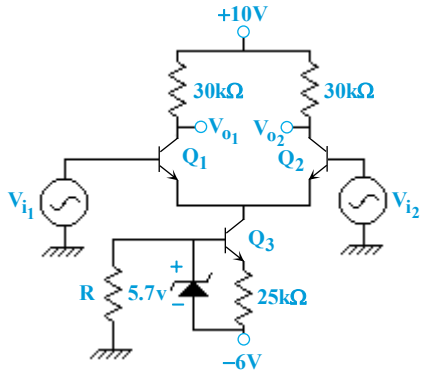
۲) ۲/۸

۳) ۳/۸

۴) ۴/۸

۳۸ـ در مدار شکل زیر با فرض این که هر سه ترانزیستور دارای $h_{fe} = ۱۰۰$ و برای $Q_۳$ ، $V_A = ۱۰۰V$ باشد و خروجی‌های $V_{o_۱}$ و $V_{o_۲}$ به ترتیب ورودی‌های $V_{i_۱}$ و $V_{i_۲}$ یک تقویت کننده دیفرانسیلی مشابه وصل شوند، بهرهٔ ولتاژ $A_d$ (بهرهٔ تفاضلی مدار) در کدام گزینه به درستی گزارش شده است؟

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)




۱) $A_d \simeq -۱۰۸$

۲) $A_d \simeq -۵۴$

۳) $A_d \simeq ۵۴$

۴) $A_d \simeq ۱۰۸$

۳۹ـ در مدار تقویت کننده تفاضلی، بهرهٔ ولتاژ وجه تفاضل $(A_d)$ خیلی ..... از بهرهٔ ولتاژ وجه مشترک $(A_c)$ است. پارامتر $\rho = CMRR$ به صورت ..... تعریف می‌شود و اگر CMRR برابر ..... باشد، تقویت کنندهٔ تفاضلی در حالت ایده‌آل خود قرار دارد.

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)

۱) بزرگ تر، $|\frac{A_d}{A_c}|$، $۲۰\log$، بی‌نهایت

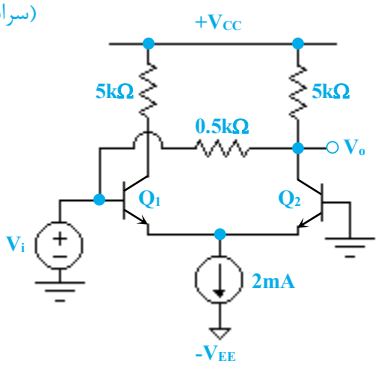
۲) کوچک‌تر، $|\frac{A_c}{A_d}|$، $۲۰\log$، صفر

۳) بزرگ‌تر، $|\frac{A_d}{A_d + A_c}|$، $۲۰\log$، بی‌نهایت

۴) کوچک‌تر، $|\frac{A_d}{A_d + A_c}|$، $۲۰\log$، صفر

۴۰ـ در مدار تقویت‌کننده شکل زیر $V_i$ سیگنال کوچک و سطح DC آن صفر است. بهره ولتاژ $A_V = \frac{V_o}{V_i}$ برابر با کدام است؟ (منبع جریان را ایده‌آل در نظر بگیرید.) $(V_A = \infty, V_T = ۲۵mV, \beta = ۱۰۰, Q_۱ = Q_۲)$

(سراسری ۸۸)




۱) ۱۰

۲) ۲۰

۳) ۵

۴) ۱۵

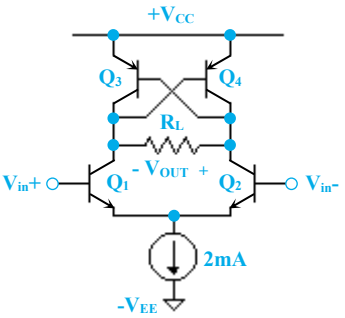
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۴۱ـ در مدار شکل زیر همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. بهره ولتاژ $A_d = \frac{V_{out}}{V_{in+} - V_{in-}}$ برابر است با:

$(V_T = ۲۵mV, |V_A| = ۱۰V, \beta = ۱۰۰, R_L = ۵۰\Omega)$ (سراسری ۸۸)




۱) ۲۰۰

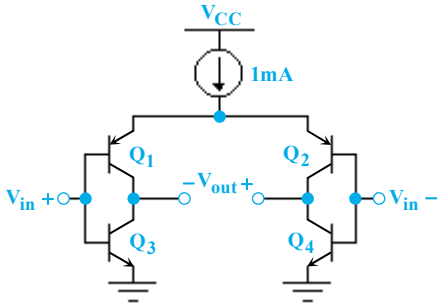
۲) ۳۰۰

۳) ۴۰۰

۴) ۱۰۰

۴۲ ـ در مدار شکل مقابل همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مقدار بهره ولتاژ $A_d = \frac{V_{out}}{V_{in+} - V_{in-}}$ آن تقریباً چقدر است؟

(مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۸۹)




$\begin{cases} \beta = ۱۰۰ \\ V_T = ۲۵mv \\ V_A = ۱۰v \end{cases}$

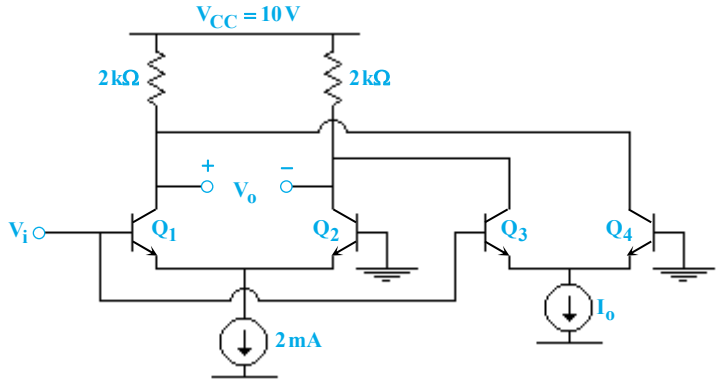
۱) ۱۰۰

۲) ۲۰۰

۳) ۴۰۰

۴) ۸۰۰

۴۳ ـ در مدار شکل مقابل به ازای چه مقداری از $I_o$ (برحسب میلی‌آمپر) بهره $\frac{V_o}{V_i}$ برابر ۶۰- است؟ (مهندسی ابزار دقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۹۰)




۱) ۰/۲۵

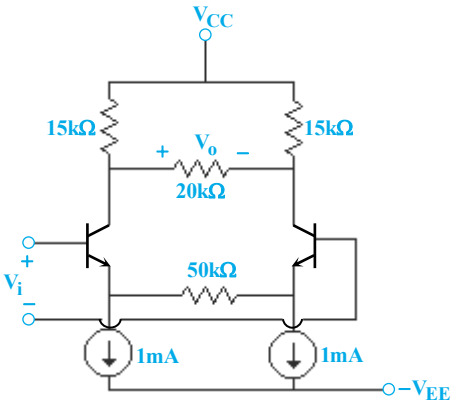
۲) ۰/۵

۳) ۰/۷۵

۴) ۱

۴۴ـ در تقویت‌کننده شکل داده شده با فرض $V_T = ۲۵mV$، بهرهٔ ولتاژ برابر است با:

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۹۰)




۱) ۲۴۰-

۲) ۶۰-

۳) ۳۰-

۴) ۱۲۰-

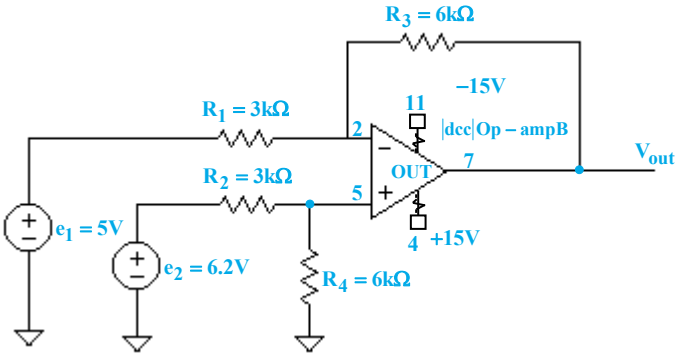
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۴۵ـ در مدار مقابل، مقاومت $R_۴$ بـه انـدازه ۰/۲ درصـد تغییر می‌کند. در این صورت CMRR کـل مـدار در خروجـی $V_{out}$ آمپلی‌فایر، چند dB است؟

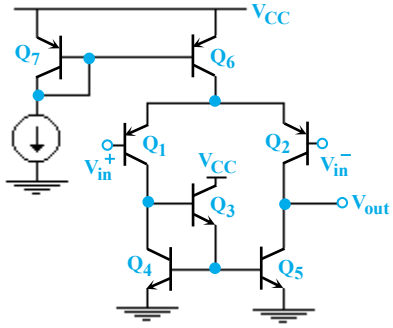
(مهندسی ابزار دقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۹۶)




۱) ۵۱
۲) ۵۷
۳) ۶۳
۴) ۶۹

۴۶ـ در مدار زیر، اگر بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ باشد، با بای‌پس کردن بیس ترانزیستورهای $Q_۴$ و $Q_۵$ (با خازن به زمین وصل شوند)، بهره مدار چه تغییری خواهد کرد؟

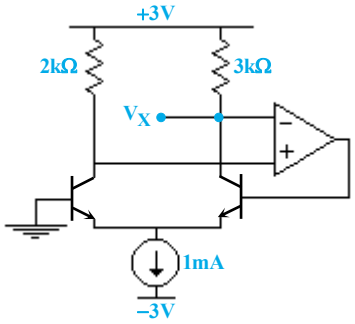
(دکتری ۹۲)




۱) بهرهٔ مدار نصف می‌گردد.
۲) بهرهٔ مدار دو برابر می‌شود.
۳) بهرهٔ مدار تغییری نمی‌کند.
۴) میزان تغییر بهره بستگی به میزان بار در خروجی دارد.

۴۷ـ با فرض $\beta = \infty$ در شکل زیر ولتاژ گره X $(V_x)$ چند ولت است؟

(فوتونیک ـ سراسری ۹۷)

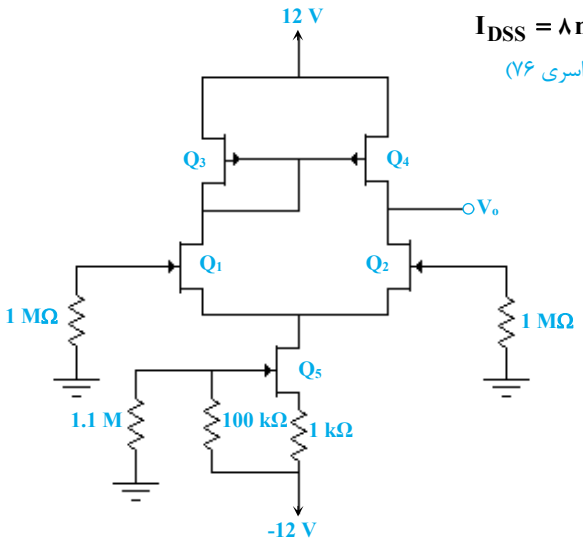



۱) ۱/۲
۲) ۱/۵
۳) ۱/۸
۴) ۳

***درسنامه (۳): تقویت‌کننده‌های تفاضلی ماسفتی***

۴۸ـ در مـدار نشان داده شده ترانزیستـورها مشـابه بوده و دارای $V_P = -۲V$ و $I_{DSS} = ۸mA$ هستنـد، $V_{DS_۱}$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟

(سراسری ۷۶)




۱) ۶/۷ V
۲) ۱۲ V
۳) ۹/۴ V
۴) ۱۰/۷ V

www.modaresanesharif.ac.ir

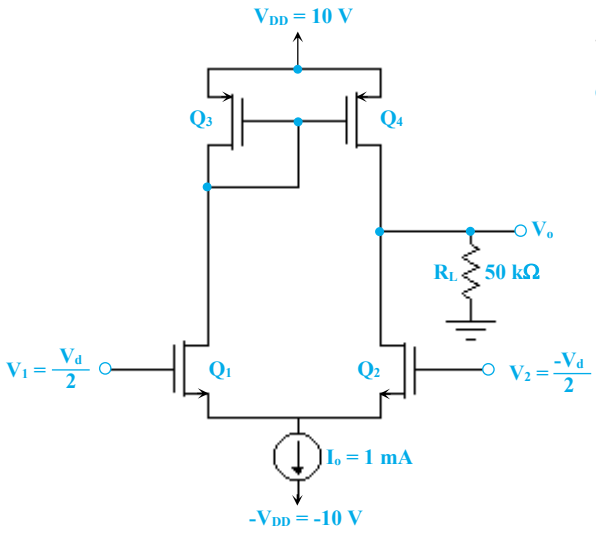
www.modaresanesharif.ac.ir



۴۹ـ در مدار نشان داده شده در شکل زیر، مشخصات MOSFET های مدار به قرار زیر است:

$|V_T| = ۲V$ و $k = ۰/۵ \frac{mA}{V^۲}$ ، $r_d = \frac{۷۵(V)}{I_D}$ .

درجه تقویت ولتاژ تفاضلی مدار برابر است با: (سراسری ۷۸)




۱) $\frac{V_o}{V_d} = ۱۵۰$

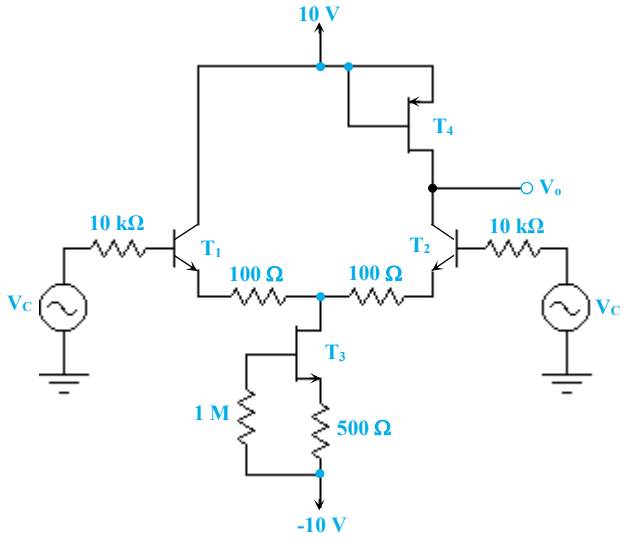
۲) $\frac{V_o}{V_d} = ۷۵$

۳) $\frac{V_o}{V_d} = ۶۰$

۴) $\frac{V_o}{V_d} = ۳۰$

۵۰ـ گزینه صحیح را برای بهره حالت مشترک $\frac{V_o}{V_C}$ تعیین کنید. ترانزیستورهای BJT سیلیکنی با $r_o = \infty$ و ترانزیستورهای اثر میدان JFET با مشخصات: (سراسری ۷۹)

$I_{DSS} = ۸mA$ ، $V_p = -۲V$ ، $r_{d_۳} = r_{d_۴} = ۲۰kΩ$ سایر مشخصات BJT ها $\beta = ۱۰۰$ ، $V_T = ۲۶mV$



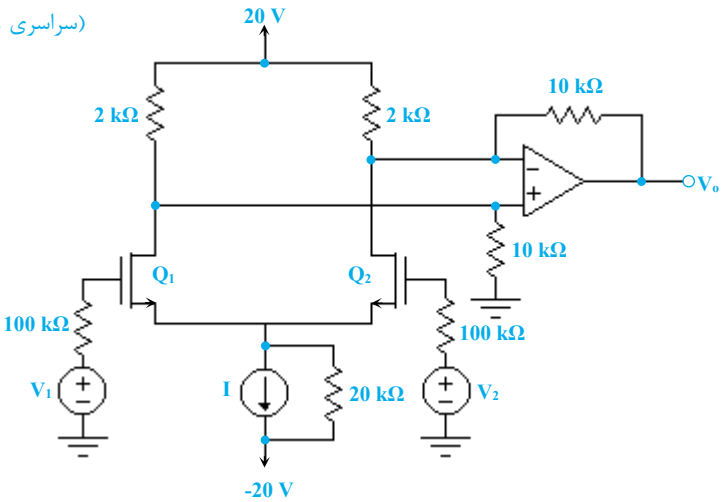

۱) $\frac{V_o}{V_C} = ۲$

۲) $\frac{V_o}{V_C} = ۰/۹۷$

۳) $\frac{V_o}{V_C} = ۰/۴۸$

۴) $\frac{V_o}{V_C} = ۰/۱۶$

۵۱ـ در مدار مقابل OP – AMP ایده‌آل می‌باشد. اگر بدانیم $g_m = ۲ \frac{mA}{V}$ می‌باشد، بهره دیفرانسیلی $A_{dm}$ مدار چه خواهد بود؟ (سراسری ۷۹)




۱) ۲۰

۲) ۱۰

۳) ۵

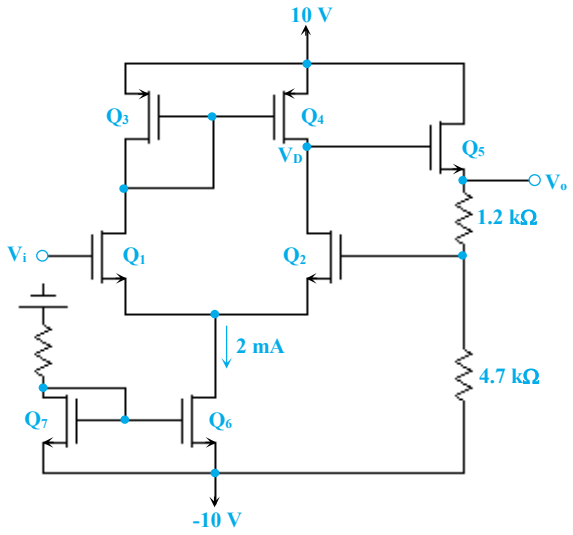
۴) ۱

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۵۲ـ** در شکل داده شده ولتاژ آستانه کلیه ترانزیستورها ۲ ولت می‌باشد ($|V_T| = 2v$). در رابطه $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ مقدار $K = 0/5 \frac{mA}{V^2}$ است. مقادیر DC ولتاژهای $V_o$ و $V_D$ به ترتیب برحسب V کدام است؟ (سراسری ۸۰)



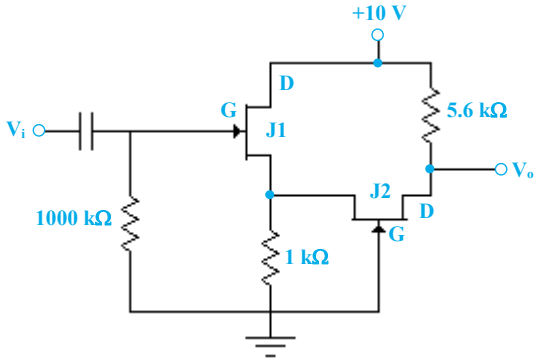

۱) ۰ و ۳/۴

۲) ۰ و ۴

۳) ۴/۶ و ۳/۴

۴) ۲/۶ و ۶/۶

**۵۳ـ** بهره ولتاژ مدار مقابل چقدر است؟ ترانزیستورها از نوع $N-JFET$ می‌باشند. $g_m = 1/8 mA/V$ فرض شود. (سراسری ۸۳)




۱) ۰/۳۹

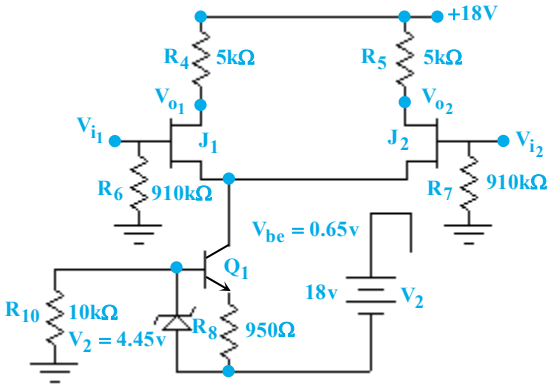
۲) ۳/۹

۳) ۵/۳

۴) ۱۰

**۵۴ـ** در مدار شکل مقابل بهره ولتاژ $\frac{V_{o1} - V_{o2}}{V_{i1} - V_{i2}}$ به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ ترانزیستورهای $J_1$ و $J_2$ مشابه فرض شود با $V_p = -6V, r_d = 45k, I_{Dss} = 8mA$

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۵)



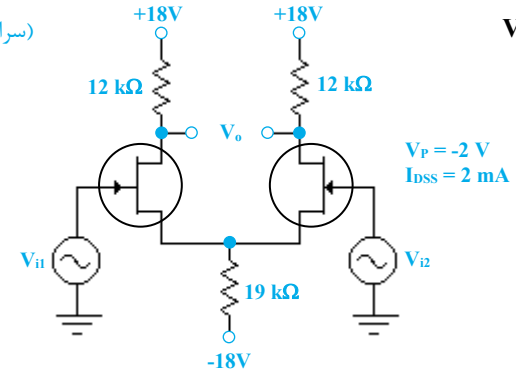

۱) $-3/6$

۲) $-6$

۳) $-7/6$

۴) $-8/1$

**۵۵ـ** در شکل روبرو مطلوبست : محاسبه CMRR، $I_{DSS} = 2mA$ ; $V_P = -2V$ (سراسری ۸۶)




۱) ۳/۱۶

۲) ۱۲

۳) ۳۹

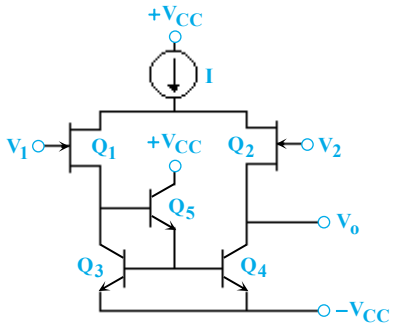
۴) ۱۹۵

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۵۶ـ** در تقویت کنندهٔ تفاضلی شکل زیر، مقدار بهرهٔ $A_d = \frac{V_o}{V_1 - V_2}$ برابر است با: (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۸)



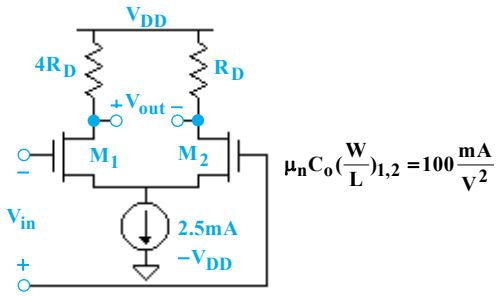

۱) $A_d = -g_m R_o$

۲) $A_d = -2g_m R_o$

۳) $A_d = g_m R_o$

۴) $A_d = 2g_m R_o$

**۵۷ـ** در مدار شکل مقابل ترانزیستورهای $M_1, M_2$ در ناحیه اشباع بایاس شده‌اند. به ازای چه مقدار از ورودی $V_{in}$ بر حسب ولت، ولتاژ خروجی $V_{out}$ برابر با صفر خواهد بود؟ (مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۸۹)




۱) ۰/۱

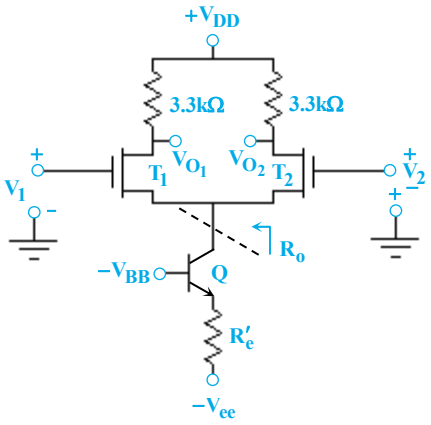
۲) ۰/۱۵

۳) ۰/۲

۴) ۰/۲۵

**۵۸ـ** در مدار شکل روبرو CMRR چقدر است؟ (مجموعه فوتونیک ـ سراسری ۸۹)

برای FET : $g_m = 3\frac{mA}{V}$ , $r_{ds} = 200k\Omega$ , $R_o = 200k\Omega$




۱) $CMRR = 295 \equiv 49/4^{dB}$

۲) $CMRR = 480 \equiv 53/6^{dB}$

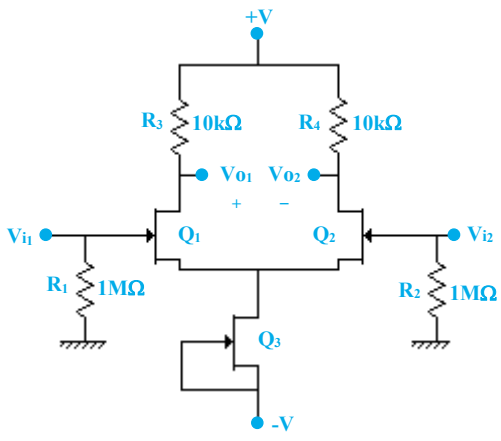
۳) $CMRR = 590 \equiv 55/4^{dB}$

۴) $CMRR = 1180 \equiv 61/4^{dB}$

**۵۹ـ** در مدار شکل داده شده، مشخصات ترانزیستورها چنین است: (مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)

$Q_1, Q_2$ ; $I_{DSS} = 2mA$ , $V_P = -1V$ , $r_d = 40k\Omega$

$Q_3$ ; $I_{DSS} = 4mA$ , $V_P = -2V$ , $r_d = 40k\Omega$




بهره ولتاژ تفاضلی برابر است با:

۱) ۶۴

۲) -۳۲

۳) ۳۲

۴) -۶۴

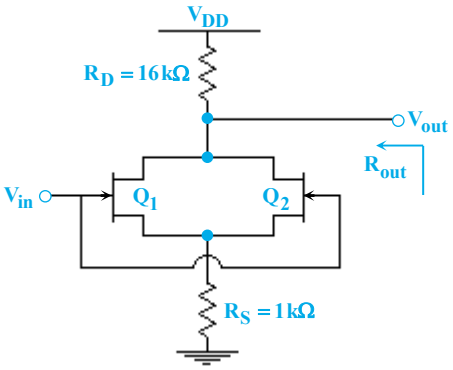
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۶۰ـ در مدار روبه‌رو $Q_1$ و $Q_2$ مشابه هستند. مقاومت خروجی $R_{out}$ بر حسب کیلو اهم $(k\Omega)$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟

(مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۹۰)




$$\begin{cases} g_m = ۱ \dfrac{mA}{v} \\ r_d = ۱۰ k\Omega \end{cases}$$

۱) ۶/۳

۲) ۸

۳) ۱۰/۵

۴) ۱۶

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



## پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل پنجم

**۱ـ گزینه «۴»** ترانزیستور $Q_۱$ و $Q_۲$ و دیود $D_۱$ مشابه هم می‌باشند و ولتاژ یکسانی دو سر پیوند بیس ـ امیتر آن‌ها افتاده است. بنابراین دارای جریان یکسانی خواهند بود. دقت شود که ترانزیستورها باید در ناحیه فعال خود باشند که نقش آینه جریان را ایفا کنند. بنابراین شرط فعال بودن ترانزیستورها باید بررسی شود.

ابتدا جریان عبوری از مقاومت $۱۰\,k\Omega$ را به دست می‌آوریم.

$$\text{جریان عبوری از مقاومت } ۱۰\,k\Omega \quad I_{۱۰k}=\frac{(V_{CC}-|V_{BE}|)-V_{EE}}{۱۰k}=۰/۹۳\,mA$$

جریان $I_{۱۰k}$ توسط ترانزیستور $Q_۱$ و $Q_۲$ کپی می‌شود. حال باید بررسی کنیم که این ترانزیستورها دو ناحیه فعال هستند. بنابراین لازم است تا شرط فعال بودن ترانزیستورها یعنی $V_{CE}<V_{CE(sat)}$ بررسی شود. ولتاژ کلکتور ترانزیستور $Q_۱$ برابر است با:

$$V_{C_۱}=۲k\times ۰/۹۳mA+V_{EE}\ \Rightarrow V_{C_۱}=-۳/۱۴$$

حال شرط فعال بودن $Q_۱$ را بررسی می‌کنیم:

$$V_{CE_۱}<V_{CE(sat)}\ \Rightarrow\ V_{C_۱}-V_{CC}<V_{CE(sat)}\ \Rightarrow -۳/۱۴-۵<-۰/۲\ \Rightarrow\ -۸/۱۴<-۰/۲\ \checkmark$$

بنابراین $Q_۱$ فعال می‌باشد و جریان عبوری از آن $۰/۹۳mA$ است.

شرط فعال بودن ترانزیستور $Q_۲$ نیز مشابه بالا بررسی می‌شود. یعنی داریم:

$$V_{C_۲}=۱۰۰k\times ۰/۹۳mA+V_{EE}\ \Rightarrow V_{C_۲}=۸۸$$

$$V_{CE_۲}<V_{CE(sat)}\ \Rightarrow V_{C_۲}-V_{CC}<V_{CE(sat)}\ \Rightarrow ۸۸-۵<-۰/۲\ \Rightarrow ۸۳<-۰/۲\quad \times$$

بنابراین $Q_۱$ فعال نیست و در ناحیه اشباع خود قرار دارد، پس نقش آینه جریان را نمی‌تواند داشته باشد. با توجه به اینکه در ناحیه اشباع قرار دارد جریان آن به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\text{جریان عبوری از مقاومت } ۱۰۰k\Omega=\frac{(V_{CC}-|V_{CE}(sat)|)-V_{EE}}{۱۰۰k}=۰/۰۹۸\,mA$$

بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

---

**۲ـ گزینه «۲»** ترانزیستورهای $Q_۱$، $Q_۲$ و $Q_۳$ مشابه هم هستند و ولتاژ بیس ـ امیتر یکسانی دارند بنابراین هر سه دارای جریان یکسان $I_o$ خواهند بود. جریان عبوری از ترانزیستور $Q_۴$ برابر با جریان عبوری از ترانزیستور $Q_۲$ می‌باشد. رابطه جریان ـ ولتاژ ترانزیستور $Q_۴$ را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$I_{D_۴}=\frac{I_{DSS}}{V_P^۲}(V_{GS}-V_P)^۲\ \Rightarrow I_o=\frac{۴}{(-۲)^۲}(V_{GS}+۲)^۲\ \Rightarrow I_o=(V_{GS}+۲)^۲$$

گیت ترانزیستور $Q_۴$ به زمین متصل می‌باشد پس ولتاژ گیت آن صفر است. ولتاژ سورس ترانزیستور $Q_۴$ نیز برابر $۴I_o$ می‌باشد زیرا مجموع جریان‌های مربوط به $Q_۲$ و $Q_۳$ از مقاومت $۲k$ می‌گذرد یعنی جریان عبوری از آن $۲I_o$ می‌باشد، پس ولتاژ دو سر مقاومت $۲k\Omega$ برابر $۴I_o$ خواهد بود. پس داریم:

$$I_o=(-۴I_o+۲)^۲\ \Rightarrow I_o=۰/۳۵\,mA$$

---

**۳ـ گزینه «۳»** مشخصات هر چهار ترانزیستور یکسان است. ترانزیستورهای $Q_۱$، $Q_۲$ دارای ولتاژ بیس ـ امیتر یکسانی هستند پس جریان یکسانی نیز دارند. جریان عبوری از ترانزیستور $Q_۱$ برابر است با:

$$I_{C_۱}=\frac{۱۰-(-۱۰+۰/۷)}{۳۹k}=۰/۵\,mA$$

پس جریان کلکتور $Q_۲$ نیز برابر $۰/۵\,mA$ می‌باشد.

ترانزیستورهای $Q_۳$ و $Q_۴$ نیز دارای ولتاژ بیس ـ امیتر یکسانی هستند پس جریان یکسانی نیز دارند. بنابراین جریان $I_o$ با جریان کلکتور ترانزیستور $Q_۳$ برابر می‌باشد. برای محاسبه جریان کلکتور ترانزیستور $Q_۳$ کافیست جریان عبوری از $R_۲$ را به دست آورده و جریان ترانزیستور $Q_۲$ را از آن کم کنیم. یعنی داریم:

$$I_{R_۲}=\frac{۱۰-(-۱۰+۰/۷)}{۹/۱k\Omega}=۲/۱mA\quad ,\quad I_{C_۳}=I_{R_۲}-I_{C_۲}\ \Rightarrow I_{C_۳}=۱/۶mA$$

بنابراین جریان $I_o$ برابر $۱/۶\,mA$ می‌باشد، پس گزینه (۳) صحیح است.

---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۴ـ گزینه «۴»** ابتدا نقطه کار مدار را به دست می‌آوریم. ترانزیستور $Q_1$ و دیود D دارای جریان اشباع معکوس یکسانی می‌باشند، همچنین ولتاژ دو سر پیوندشان نیز یکسان می‌باشد پس جریان عبوری یکسانی دارند. با توجه به $\beta$ بزرگ ترانزیستورها، جریان بیس قابل صرف نظر می‌باشد پس جریان عبوری از دیود با جریان مقاومت $R_1$ برابر است. پس داریم:

$$I_D=\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_1}\Rightarrow I_D=\frac{5-0/7}{1k}=4/3\,mA$$

جریان عبوری از $Q_2$ نیز با نوشتن یک KCL در گره خروجی به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$I_{C_2}=I_{C_1}+I_{dc}\Rightarrow I_{C_2}=4/3\,mA+4\,mA=8/3\,mA$$

حال به محاسبه بهره $|\frac{V_o}{V_i}|$ می‌پردازیم. تقویت‌کننده از نوع امیتر مشترک می‌باشد، پس بهره آن برابر با $-g_{m_2}R_2$ می‌باشد. بنابراین داریم:

$$|\frac{V_o}{V_i}|=g_{m_2}R_2=\frac{I_{C_2}}{V_T}\times R_2=332$$

---

**۵ـ گزینه «۴»** همه ترانزیستورها مشابه می‌باشند پس جریان اشباع معکوس یکسانی دارند. از طرفی ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ با هم سری هستند پس جریان عبوری از آن‌ها برابر می‌باشد. با نوشتن یک KVL در حلقه وسط ترانزیستورها خواهیم داشت:

$$V_{BE_1}+V_{BE_2}=V_{BE_3}+R_2I_2\Rightarrow V_T\text{Ln}\frac{I_1}{I_s}+V_T\text{Ln}\frac{I_1}{I_s}=V_T\text{Ln}\frac{I_2}{I_s}+R_2I_2$$

$$\Rightarrow V_T\text{Ln}\frac{I_1^2}{I_s^2}=V_T\text{Ln}\frac{I_2}{I_s}+R_2I_2\Rightarrow I_2=\frac{V_T}{R_2}\text{Ln}\frac{I_1^2}{I_2I_s}$$

---

**۶ـ گزینه «۳»** ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ مشابه هم هستند و با ولتاژ گیت ـ سورس برابری دارند. پس جریان عبوری از آن‌ها نیز با هم برابر می‌باشد. بنابراین جریان ترانزیستور $Q_1$ برابر 1mA است. با نوشتن رابطه جریان ـ ولتاژ برای $Q_1$ ولتاژ گیت ـ سورس آن را به دست می‌آوریم:

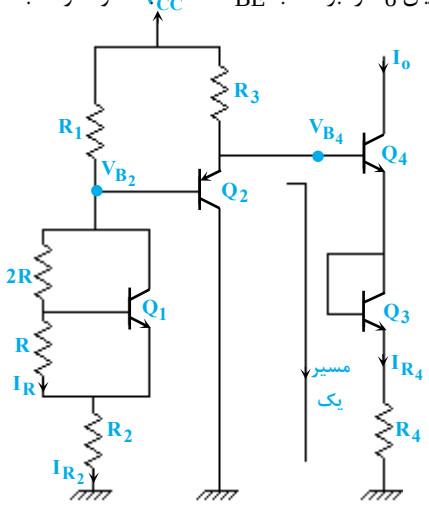
$$I_{D_1}=k_n(V_{GS_1}-V_{T_1})^2\Rightarrow 1mA=1\frac{mA}{V^2}(V_{GS_1}-2)^2\Rightarrow V_{GS_1}=3\,V$$

بنابراین مقدار مقاومت R با داشتن ولتاژ و جریان عبوری از آن به صورت مقابل به دست می‌آید:

$$R=\frac{10-V_{GS_1}}{I_{D_1}}\Rightarrow R=\frac{10-3}{1mA}=7k\Omega$$

---

**۷ـ گزینه «۲»** با توجه به اینکه تغییرات دما منجر به تغییر ولتاژ $V_{BE}$ ترانزیستورها می‌شود، بنابراین جریان $I_o$ را برحسب $V_{BE}$ محاسبه نموده و نسبت به ولتاژ $V_{BE}$ مشتق می‌گیریم و برابر صفر قرار می‌دهیم.




جریان $I_o$ با جریان عبوری از مقاومت $R_4$ برابر می‌باشد. با نوشتن یک KVL در مسیر یک خواهیم داشت:

$$I_o=I_{R_4}=\frac{V_{B_4}-V_{BE}-V_{BE}}{R_4}\Rightarrow I_o=\frac{V_{B_4}-2V_{BE}}{R_4}\quad(1)$$

ولتاژ بیس ترانزیستور $Q_4$ برابر با $V_{B_2}+V_{BE}$ می‌باشد. برای محاسبه $V_{B_2}$ نیز کافیست یک KVL در مسیر بیس ترانزیستور $Q_2$ به سمت مقاومت $R_2$ بنویسیم بنابراین خواهیم داشت:

$$\begin{cases}V_{B_2}=(2R+R)I_R+R_2I_{R_2}\\ I_R=\dfrac{V_{BE}}{R}\end{cases}\Rightarrow V_{B_2}=3V_{BE}+R_2I_{R_2}\quad(2)$$

جریان $I_{R_2}$ با جریان عبوری از مقاومت $R_1$ برابر می‌باشد، پس داریم:

$$\begin{cases}I_{R_2}=I_{R_1}\\ I_{R_1}=\dfrac{V_{CC}-V_{R_2}}{R_2}\end{cases}\Rightarrow I_{R_2}=\frac{V_{CC}-V_{B_2}}{R_1}\quad(3)$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



از ترکیب روابط (۲) و (۳) ولتاژ $V_{B_2}$ را به دست می‌آوریم:

$$V_{B_2}=3V_{BE}+\frac{R_2}{R_1}(V_{CC}-V_{B_2})\Rightarrow V_{B_2}(1+\frac{R_2}{R_1})=3V_{BE}+\frac{R_2}{R_1}V_{CC}\Rightarrow V_{B_2}=\frac{3R_1}{R_1+R_2}V_{BE}+\frac{R_2}{R_1+R_2}V_{CC}\quad(4)$$

با استفاده از روابط (۱) و (۴) جریان $I_o$ را به صورت روبه‌رو تعیین می‌کنیم:

$$\xrightarrow{(1)\text{و}(4)} I_o=\frac{1}{R_4}[\frac{2R_1-R_2}{R_1+R_2}V_{BE}+\frac{R_2}{R_1+R_2}V_{CC}]$$

حال از $I_o$ نسبت به $V_{BE}$ مشتق گرفته و برابر صفر قرار می‌دهیم:

$$\frac{\partial I_o}{\partial V_{BE}}=0\Rightarrow R_2=2R_1$$

---

**۸ـ گزینه «۱»** لازم است تا حداکثر دامنه خروجی را در هر دو نیم سیکل مثبت و منفی محاسبه کنیم و مقدار کوچکتر را به عنوان دامنه سوئینگ در نظر بگیریم:
در نیم سیکل منفی ماکزیمم ولتاژ خروجی به مقدار $V_{CC}-V_{CE_1(sat)}-V_{BE}$ محدود می‌شود، بنابراین ماکزیمم دامنه در نیم سیکل مثبت برابر ۴/۱۷ می‌باشد.
در نیم سیکل منفی ترانزیستور $Q_2$ خاموش و ترانزیستور $Q_5$ روشن می‌باشد، بنابراین ماکزیمم دامنه به ولتاژ $-R_L I_{C_5}$ محدود می‌شود. با توجه به اینکه ترانزیستورهای $Q_3$ و $Q_5$ مشابه هستند و ولتاژ بیس ـ امیتر یکسانی دارند، پس جریان کلکتور ترانزیستور $Q_3$ و $Q_5$ یکسان خواهد بود. بنابراین ماکزیمم سوئینگ در نیم‌سیکل منفی برابر است با: $\text{دامنه سوئینگ در نیم سیکل منفی}=-R_L I=-4V$
بنابراین حداکثر دامنه ولتاژ در خروجی بدون آنکه شکل موج برش خورد برابر ۴ ولت می‌باشد.

---

**۹ـ گزینه «۴»** به علت اینکه بار وضعیت ترانزیستور $Q_2$ به لحاظ فعال یا اشباع بودن مشخص نمی‌باشد، بنابراین جریان $I_o$ قابل محاسبه نیست.

---

**۱۰ـ گزینه «۲»** ابتدا مدار را در مد مشترک بررسی می‌کنیم. جریان ۱mA توسط مدار آینه جریان کپی شده به شاخه سمت راست مدار انتقال پیدا می‌کند، بنابراین سهم هر کدام از ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ برابر با ۰/۵mA می‌شود. پس ولتاژ خروجی برابر با ۰/۵ ولت خواهد بود.
با توجه به اینکه در مد تفاضلی ولتاژ بیس ترانزیستور $Q_1$ برابر $+\frac{V_{id}}{2}$ و ولتاژ بیس $Q_2$ برابر $-\frac{V_{id}}{2}$ است، بنابراین ولتاژ خروجی در مد تفاضلی برابر است با:

$$\begin{cases}V_o=(-g_{m_1}\times 1k)(\frac{V_{id}}{2})\\ g_{m_1}=20ms\\ V_{id}=V_1-V_2=5mv\end{cases}\Rightarrow V_o=-50mV$$

مقدار نهایی $V_o$ از مجموع مقدار $V_o$ در حد تفاضلی و حد مشترک به دست می‌آید:

$$V_o=0/5V-50mV=0/45V$$

---

**۱۱ـ گزینه «۴»** ترانزیستور $Q_1$ و $Q_2$ نقش آینه جریان را دارند و جریانشان یکسان می‌باشد، بنابراین مقدار جریان $I$ با جریان عبوری از مقاومت $1k\Omega$ برابر می‌باشد. با توجه به اینکه ولتاژ پایه مثبت و منفی آپ امپ با هم برابر است، پس داریم:

$$I_{1k}=\frac{10V}{1k}=10mA$$

ولتاژ بیس ترانزیستور $Q_2$ برابر ۱۰ ولت می‌باشد، پس ولتاژ امیتر آن برابر ۱۰/۶ ولت است. از طرفی برای آنکه $Q_2$ در ناحیه فعال بماند لازم است تا ولتاژ کلکتور آن بیشتر از ۱۰/۶ ولت نشود. بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

---

**۱۲ـ گزینه «۱»** مساحت پیوند بیس ـ امیتر ترانزیستور $Q_2$ سه برابر $Q_1$ است، پس جریان آن نیز سه برابر جریان کلکتور $Q_1$ $(I_{C_1})$ می‌باشد؛ یعنی $I_{C_2}$ برابر ۳mA است. از طرفی مساحت پیوند بیس ـ امیتر $Q_3$، ۴ برابر $Q_4$ است، پس جریان $Q_4$ یک چهارم جریان ترانزیستور $Q_3$ می‌باشد. یعنی داریم:

$$\begin{cases}I_{C_4}=\frac{1}{4}I_{C_3}\\ I_{C_3}=I_{C_2}=3mA\end{cases}\Rightarrow I_{C_4}=\frac{3}{4}mA$$

با نوشتن یک KCL در کلکتور ترانزیستور $Q_1$ مقاومت $R_x$ به دست می‌آید:

$$I_{R_x}+I_{C_4}=I_{C_1}\Rightarrow\frac{1/5-0/7}{R_x}+0/75mA=1mA\Rightarrow R_x=3/2k\Omega$$

---

www.modaresanesharif.ac.ir

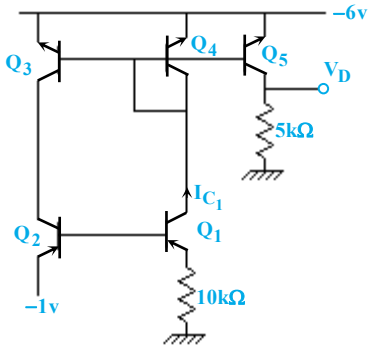
www.modaresanesharif.ac.ir



**۱۳ـ گزینه «۱»** بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ برابر با $-g_{m_1}(r_{o_1} \| r_{o_2})$ می‌باشد. از آنجایی که ترانزیستورهای $Q_2$ و $Q_4$ نقش آینه جریان را ایفا می‌کنند بنابراین با چهار برابر شدن جریان $I_o$، جریان شاخه سمت راست مدار نیز چهار برابر می‌شود، در نتیجه $g_{m_1}$ دو برابر خواهد شد و $r_o$ یک چهارم می‌شود بنابراین بهره نصف می‌شود.

$$\begin{cases} g_m = \sqrt{2\mu c_{ox}\frac{w}{L}I_D} \Rightarrow g_m \propto \sqrt{I_D} \\ r_o = \frac{1}{\lambda I_D} \Rightarrow r_o \propto \frac{1}{I_D} \end{cases} \Rightarrow A_V \propto \frac{1}{\sqrt{I_D}}$$

**۱۴ـ گزینه «۳»** با نوشتن یک KVL در مسیر بیس ـ امیتر ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ خواهیم داشت:




$$-1-V_{BE_2} = -V_{BE_1} - 10\,k\Omega \times I_{C_1} \Rightarrow -1 - V_T Ln\frac{I_{C_2}}{I_{S_2}} = -V_T Ln\frac{I_{C_1}}{I_{S_1}} - 10\,k\Omega \times I_{C_1}$$

با توجه به اینکه همه ترانزیستورها مشابه هستند و همچنین به دلیل نقش آینه جریانی که ترانزیستورهای $Q_3$، $Q_4$ و $Q_5$ ایفا می‌کنند بنابراین جریان هر سه شاخه مدار یکسان می‌باشد. بنابراین رابطه بالا را به شکل زیر ساده می‌کنیم:

$$-1 - V_T Ln\frac{I_{C_1}}{I_{S_1}}\frac{I_{S_1}}{I_{C_1}} = -10\,I_{C_1} \Rightarrow I_{C_1} = 0/1\,mA$$

پس ولتاژ خروجی برابر خواهد با: $V_o = -5I_{C_1} = -0/5\,V$

**۱۵ـ گزینه «۳»** ابتدا نقطه کار مدارمان را به دست می‌آوریم. ترانزیستورهای $Q_2$ و $Q_3$ نقش آینه جریان را دارند بنابراین جریان $10\,mA$ در شاخه سمت راست مدار کپی می‌شود.

$$I_{C_1} = I_{C_2} = I_{C_3} = 10\,mA \Rightarrow g_{m_1} = g_{m_2} = g_{m_3} = 400\,ms$$

$$r_{o_1} = \frac{V_A}{I_{C_1}} = \frac{125}{10\,mA} = 12/5\,k\Omega \quad , \quad r_{o_2} = \frac{V_A}{I_{C_2}} = \frac{75}{10\,mA} = 7/5\,k\Omega$$

بهره ولتاژ مدار با توجه به رابطه روبه‌رو به دست می‌آید: $\left|\frac{V_o}{V_i}\right| = \frac{g_{m_1}}{1+g_{m_1}R_E}[r_{o_2} \| [r_{o_1} + (1+g_{m_1}r_{o_1})R_E]] \simeq 7/5$

**۱۶ـ گزینه «۱»** با توجه به اینکه ولتاژ بیس ترانزیستور $Q_2$ بیشتر از $Q_1$ می‌باشد، بنابراین تمام جریان $2\,mA$ از $Q_2$ عبور می‌کند بنابراین ولتاژ کلکتور ترانزیستور $Q_2$ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$V_{C_2} = 5 - 1k\Omega \times 2\,mA = 3\,V$$

از طرفی ولتاژ امیتر ترانزیستور $Q_2$ برابر $-2\,V_{BE}$ یعنی برابر $1/3\,v$ می‌باشد، پس ولتاژ $V_{CE_2}$ برابر است با:

$$V_{CE_2} = V_{C_2} - V_{E_2} \Rightarrow V_{CE_2} = 3 - 1/3 = 1/7\,v$$

با توجه به صفر بودن جریان ترانزیستور $Q_1$ می‌توان گفت که ولتاژ کلکتور آن برابر $5\,V$ است پس ولتاژ $V_{CE_1}$ برابر می‌شود با:

$$V_{CE_1} = V_{C_1} - V_{E_1} \Rightarrow V_{CE_1} = 5 - 1/3 = 3/7$$

**۱۷ـ گزینه «۴»** ابتدا جریان $I_o$ را برحسب جریان مرجع $I_R$ به‌دست می‌آوریم:

$$I_R = I_o(1+\frac{2}{\beta}) \Rightarrow I_o = \frac{I_R}{1+\frac{2}{\beta}}$$

نسبت تغییرات جریان خروجی به ازای $\beta$های مختلف به جریان مرجع برابر است با:

$$\frac{\Delta I_o}{I_R} = \frac{1}{1+\frac{2}{\beta_1}} - \frac{1}{1+\frac{2}{\beta_2}} \Rightarrow \frac{\Delta I_o}{I_R} = \frac{1}{1+\frac{2}{185}} - \frac{1}{1+\frac{2}{20}} = 0/08$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



***درسنامه (۲): تقویت‌کننده‌های تفاضلی***

**۱۸ـ گزینه «۲»** مدار فوق یک تقویت‌کننده دو طبقه می‌باشد. طبقه اول آن که شامل ترانزیستورهای $Q_3$ و $Q_4$ است، یک تقویت‌کننده کلکتور مشترک می‌باشد و بهره آن کمتر از یک است. طبقه دوم یک تقویت‌کننده تفاضلی با بار فعال است که شامل ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$، $Q_5$ و $Q_6$ می‌باشد. بهره کل مدار از حاصل ضرب بهره دو طبقه به دست می‌آید:

$$\frac{V_o}{V_i}=\underbrace{\frac{V_o}{V_{B_1}-V_{B_2}}}_{\text{بهره طبقه تفاضلی}}\times\underbrace{\frac{V_{B_1}-V_{B_2}}{V_i}}_{\text{بهره طبقه کلکتور مشترک}}$$

بهره طبقه کلکتور مشترک از رابطه $\frac{\text{مقاومت‌های روی امیتر}}{\frac{1}{g_m}+\text{مقاومت‌های روی امیتر}}$ به دست می‌آید. پس بهره طبقه کلکتور مشترک برابر است با:

$$\frac{V_{B_1}-V_{B_2}}{V_i}=\frac{r_{\pi_1}}{r_{\pi_1}+\frac{1}{g_{m_3}}}$$

بهره طبقه تفاضلی نیز با توجه به رابطه مقابل تعیین می‌شود. $\frac{V_o}{V_i}=g_{m_1}(r_{o_2}\parallel r_{o_6})$

با توجه به این که ترانزیستورهای متقارن مشابه هستند پس جریان ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ برابر می‌باشد، بنابراین جریان هر کدام از ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ برابر $1mA$ است. پس خواهیم داشت:

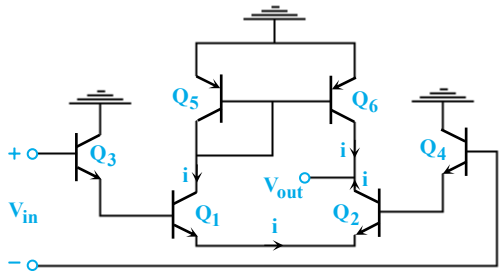
$$I_{C_{1,2}}=1mA\Rightarrow g_{m_{1,2}}=40ms \quad , \quad I_{C_3}=0/01mA\Rightarrow g_{m_3}=0/4ms$$

$$r_{o_2}=\frac{V_A}{I_{C_2}}\Rightarrow r_{o_2}=\frac{120}{1mA}=120k\Omega \quad , \quad r_{o_6}=\frac{V_A}{I_{C_2}}\Rightarrow r_{o_6}=\frac{40}{1mA}=40k\Omega$$

$$r_{\pi_1}=\frac{\beta}{g_{m_1}}\Rightarrow r_{\pi_1}=\frac{100}{45}=2/5k\Omega$$

$$\Rightarrow\frac{V_o}{V_i}=40(120\parallel 40)\times\frac{2/5}{2/5+\frac{1}{0/4}}=600$$

**روش دوم:** با استفاده از روش پخش جریان‌ها می‌توان جریان حلقه‌ی تفاضلی را به‌صورت زیر مشخص کرد:



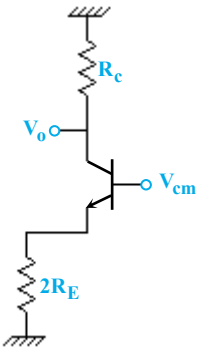

$$i=\frac{V_{in}}{\frac{1}{g_{m1}}+\frac{1}{g_{m2}}+(\frac{1}{g_{m3}}+\frac{1}{g_{m4}})\times\frac{1}{\beta_{NPN}}}=\frac{V_{in}}{\frac{4}{g_{m1}}}$$

$$i=\frac{V_{in}.g_{m1}}{4}=10V_{in}\quad(\frac{mA}{V})$$

ولتاژ خروجی را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$V_{out}=2i(r_{o_2}\parallel r_{o_6})=2\times10\times(120\parallel 40)=600$$

**۱۹ـ گزینه «۴»** CMRR با توجه به نسبت بهره مد تفاضلی به بهره مد مشترک به دست می‌آید. پس به محاسبه بهره مد مشترک و تفاضلی می‌پردازیم. در مد مشترک با توجه به اینکه مدار متقارن است از روش نیم‌مدار استفاده می‌کنیم و بهره را محاسبه می‌کنیم.



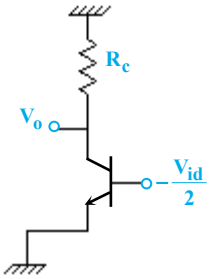

$$A_C=\frac{V_o}{V_{cm}}=-\frac{R_C}{2R_E+\frac{1}{g_m}}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



در مد تفاضلی نیز از روش نیم‌مدار به شکل زیر استفاده می‌کنیم.




$$\frac{V_o}{-\frac{V_{id}}{۲}} = -g_m R_C \Rightarrow A_d = \frac{V_o}{V_{id}} = \frac{۱}{۲} g_m R_C$$

با تقسیم بهره مد تفاضلی به بهره مد مشترک CMRR به دست می‌آید:

$$CMRR = \left|\frac{A_d}{A_c}\right| \Rightarrow CMRR = \frac{\frac{۱}{۲} g_m R_C}{\frac{R_C}{۲R_E + \frac{۱}{g_m}}} \Rightarrow CMRR = \frac{۱ + ۲ g_m R_E}{۲} \qquad (۱)$$

برای محاسبه $g_m$ لازم است تا نقطه کار مدار را به دست آوریم. با توجه به اینکه متقارن بودن تقویت‌کننده جریان عبوری از هر دو شاخه برابر خواهد بود، اگر جریان هر ترانزیستور را $I_C$ در نظر بگیریم، جریان عبوری از مقاومت $R_E$ برابر $۲I_C$ خواهد بود. بنابراین داریم:

$$۲I_C = \frac{۰ - V_{BE} - (-V_{EE})}{R_E} \Rightarrow I_C = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{۲R_E} \Rightarrow g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{۲R_E V_T}$$

از ترکیب روابط (۱) و (۲) مقدار CMRR به صورت زیر درمی‌آید:

$$CMRR = \frac{۱ + \frac{V_{EE} - V_{BE}}{V_T}}{۲} \simeq \frac{V_{EE}}{۲V_T}$$

همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار CMRR مستقل از $R_C$ و $R_E$ می‌باشد و به $V_{EE}$ و $V_T$ بستگی دارد. بنابراین گزینه (۴) صحیح می‌باشد.

---

**۲۰ـ گزینه «۳»** مدار فوق یک تقویت‌کننده دو طبقه می‌باشد. طبقه اول یک تقویت‌کننده تفاضلی است و طبقه دوم یک تقویت‌کننده امیتر مشترک است. بهره کل تقویت‌کننده از حاصل ضرب بهره دو طبقه به دست می‌آید.

$$\frac{V_o}{V_i} = \overbrace{\frac{V_o}{V_{b_۳}}}^{\text{بهره طبقه امیتر مشترک}} \times \overbrace{\frac{V_{b_۳}}{V_i}}^{\text{بهره طبقه تفاضلی}} = (\frac{۱}{۲} g_{m_۱} \times ۲k)(-\frac{R_C}{R_E + r_e}) \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -\frac{g_{m_۱} R_C}{R_E}$$

$V_{b_۳}$: ولتاژ بیس ترانزیستور $Q_۳$

حال به سراغ محاسبه نقطه کار مدار می‌رویم. در حالت DC ولتاژ خروجی برابر صفر می‌باشد بنابراین جریان عبوری از مقاومت $R_C$ برابر می‌شود با:

$$I_{R_C} = \frac{V_o - (-۱۰)}{R_C} \Rightarrow I_{R_C} = \frac{۱۰}{R_C} \qquad (۱)$$

از طرفی جریان عبوری از مقاومت $R_E$ با جریان عبوری از مقاومت $R_C$ برابر می‌باشد، پس با محاسبه جریان عبوری از مقاومت $R_E$ و برابر قرار دادن آن با $I_{R_C}$، رابطه بین $I_{R_C}$ و $I_{R_E}$ را به دست آوریم.

$$I_{R_E} = \frac{۱۰ - (V_{B_۳} + ۰/۶)}{R_E} \qquad (۲)$$

با توجه به اینکه ترانزیستورهای $Q_۱$ و $Q_۲$ مشابه هستند و ولتاژ بیس ـ امیتر یکسانی در حالت DC دارند، پس جریانشان نیز برابر می‌شود یعنی جریان هر ترانزیستور برابر $۲mA$ می‌باشد. پس ولتاژ $V_{B_۳}$ برابر می‌شود با:

$$V_{B_۳} = ۱۰ - ۲I_{C_۲} \Rightarrow V_{B_۳} = ۶V \qquad (۳)$$

$$\xrightarrow{(۲)\text{و}(۳)} I_{R_E} = \frac{۳/۴}{R_E}$$

از ترکیب روابط ۱، ۲ و ۳ خواهیم داشت:

$$\xrightarrow{(۱)\text{و}(۲)\text{و}(۳)} I_{R_C} = I_{R_E} \Rightarrow \frac{۱۰}{R_C} = \frac{۳/۴}{R_E} \Rightarrow \frac{R_C}{R_E} = \frac{۱۰}{۳/۴}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



بنابراین بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ برابر است با:

$$\begin{cases} |\frac{V_o}{V_i}| = g_{m_1}\frac{R_C}{R_E} \\ g_{m_1} = ۸۰ ms \\ \frac{R_C}{R_E} = \frac{۱۰}{۳/۴} \end{cases} \Rightarrow |\frac{V_o}{V_i}| = ۲۳۵$$

---

**۲۱ـ گزینه «۲»** تغییرات ولتاژ خروجی متناسب با تغییرات جریان عبوری از مقاومت $2k$ می‌باشد، یعنی: $\Delta V_o = ۲k \times \Delta I_{C_۲}$

از طرفی تغییرات جریان ترانزیستورها وابسته به تغییرات ولتاژ بیس ـ امیتر ترانزیستورها می‌باشد. با توجه به اینکه ولتاژ بیس ـ امیتر ترانزیستورها به اندازه $۱۰mv$ کاهش داشته است پس تغییرات جریان برابر است با:

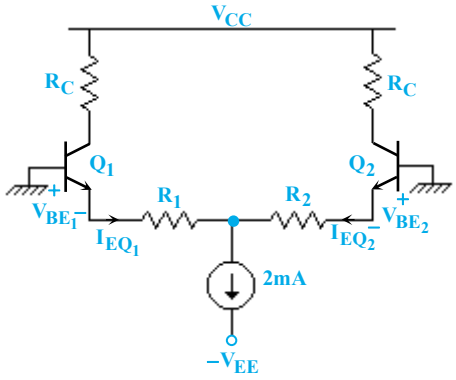
$$۲\Delta I_{C_۲} = \frac{\Delta V_{BE}}{۱k} \Rightarrow \Delta I_{C_۲} = ۵mA$$

بنابراین تغییرات ولتاژ خروجی برابر $۱۰mv$ می‌باشد.

---

**۲۲ـ گزینه «۳»** جریان $I_{EQ_۱}$ و $I_{EQ_۲}$ با هم برابر می‌باشند و مجموع آن‌ها برابر با $۲mA$ هستند، پس هر کدام از آن جریان‌ها برابر $۱mA$ است. از طرفی سطح مقطع امیتر $Q_۱$ چهار برابر سطح مقطع امیتر $Q_۲$ می‌باشد، پس جریان اشباع معکوس $Q_۲$ چهار برابر جریان اشباع معکوس $Q_۱$ است.

با نوشتن یک KVL در مسیر بیس ترانزیستور $Q_۱$ تا بیس ترانزیستور $Q_۲$ خواهیم داشت:




$$\begin{cases} V_{BE_۱} - R_۱I_{EQ_۱} = V_{BE_۲} - R_۲I_{EQ_۲} \\ I_{EQ_۱} = I_{EQ_۲} = ۱mA \\ V_{BE_۱} = V_T Ln\frac{I_{C_۱}}{I_{S_۱}} \\ V_{BE_۲} = V_T Ln\frac{I_{C_۲}}{I_{S_۲}} \end{cases} \Rightarrow V_T Ln\frac{I_{C_۱}}{I_{S_۱}} - R_۱ = V_T Ln\frac{I_{C_۲}}{I_{S_۲}} - R_۲ \Rightarrow V_T Ln\frac{I_{C_۱}}{I_{C_۲}}\frac{I_{S_۲}}{I_{S_۱}} = R_۱ - R_۲$$

با توجه به اینکه $I_{S_۲} = ۴I_{S_۱}$ و $I_{C_۱} = I_{C_۲}$ می‌باشد، بنابراین داریم:

$$V_T Ln۴ = R_۱ - R_۲ \Rightarrow R_۱ - R_۲ = ۳۶\Omega$$

با فرض $R_{۲,min} = ۰$، بنابراین $R_{۱,min}$ برابر $۳۶\Omega$ خواهد بود. پس گزینه (۳) صحیح است.

---

**۲۳ـ گزینه «۱»** مدار فوق تقویت‌کننده تفاضلی با بار فعال می‌باشد. همانطور که در درسنامه دوم گفته شده بهره آن با توجه به رابطه $g_{m_۱}(r_{o_۲} \| r_{o_۴})$ به دست می‌آید. بنابراین لازم است تا نقطه کار مدار را به دست آوریم و $g_m$ و $r_o$ را محاسبه نماییم.

ابتدا جریان عبوری از مقاومت $۵۶k$ را به دست می‌آوریم:

$$I_R = \frac{۱۵ - (-۱۵ + ۰/۷)}{۵۶k} \simeq ۰/۵mA$$

این جریان توسط آینه جریان کپی شده و به شاخه سمت راست مدار منتقل می‌شود، بنابراین سهم هر کدام از ترانزیستورهای ورودی مدار برابر $۰/۲۵$ خواهد بود. پس خواهیم داشت:

$$g_{m_{۱,۲}} = ۱۰ ms \ , \ r_{o_{۲,۴}} = (h_{oe})^{-۱} = ۲۰۰k\Omega \Rightarrow \frac{V_o}{V_{i_۱} - V_{i_۲}} = ۱۰۰ms(۲۰۰k \| ۲۰۰k) = ۱۰۰۰$$

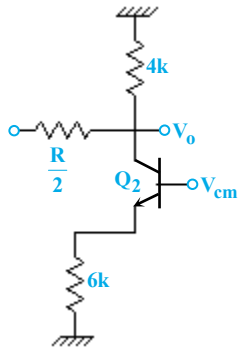
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

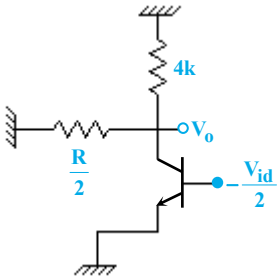


**۲۴ـ گزینه «۲»** ابتدا بهره مد مشترک را حساب می‌کنیم. با توجه به اینکه مدار متقارن است از روش نیم‌مدار استفاده می‌کنیم. بنابراین نیم‌مدار تقویت‌کننده را در مد مشترک به صورت مقابل رسم می‌کنیم. ملاحظه می‌شود که در این حالت مقاومت $\frac{R}{۲}$ به صورت اتصال باز می‌باشد، پس در بهره مد مشترک اثری نخواهد داشت.




$$\frac{V_o}{V_{cm}} = -\frac{۴k}{۶k + \frac{۱}{gm}} \Rightarrow \frac{V_o}{V_{cm}} = \frac{۴g_m}{۱+۶g_m}$$

در شکل زیر نیز نیم‌مدار مد تفاضلی رسم شده است. بهره مد تفاضلی برابر است با:




$$\frac{V_o}{-\frac{V_{id}}{۲}} = -g_m(۴k \| \frac{R}{۲}) \Rightarrow \frac{V_o}{V_{id}} = \frac{۱}{۲}g_m(۴k \| \frac{R}{۲})$$

حال بهره مد تفاضلی و مشترک را برابر قرار داده و $R$ را به دست می‌آوریم:

$$\frac{۴g_m}{۱+۶g_m} = \frac{۱}{۲}g_m(۴ \| \frac{R}{۲}) \Rightarrow \frac{۸}{۱+۶g_m} = ۴k \| \frac{R}{۲}$$

برای محاسبه $g_m$ باید جریان نقطه کار مدارمان را بدانیم. جریان هر یک از ترانزیستورهای $Q_۱$ و $Q_۲$ نصف جریان عبوری از مقاومت $۳k\Omega$ می‌باشد. جریان عبوری از مقاومت $۳k$ برابر است با:

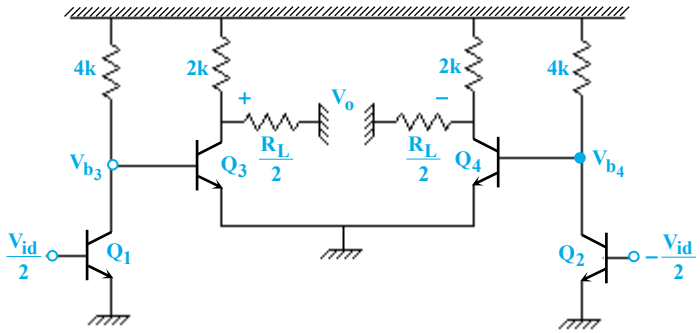
$$I_{۳k} = -\frac{۰/۷-(-۶/۷)}{۳k} = ۲mA \Rightarrow I_{C_{۱,۲}} = ۱mA \Rightarrow g_{m_{۱,۲}} = ۴۰ms$$

بنابراین داریم:

$$\frac{۸}{۱+۶(۴۰)} = ۴k \| \frac{R}{۲} \Rightarrow R = ۶۷\Omega$$

---

**۲۵ـ گزینه «۳»** تقویت‌کننده فوق شامل دو طبقه تقویت‌کننده تفاضلی می‌باشد که بهره آن از حاصلضرب بهره دو طبقه به دست می‌آید. در شکل زیر نیم‌مدار مد تفاضلی رسم شده است.




بهره ولتاژ مدار برابر است با:

$$\frac{V_o}{V_۱ - V_۲} = \underbrace{\frac{V_o}{V_{b_۳} - V_{b_۴}}}_{\text{طبقه‌اول}} \times \underbrace{\frac{V_{b_۳} - V_{b_۴}}{V_۱ - V_۲}}_{\text{طبقه‌دوم}}$$

بهره طبقه اول برابر است با:

$$\frac{V_o}{V_{b_۳} - V_{b_۴}} = -g_{m_۳}(۲k \| \frac{R_L}{۲}) \xrightarrow{R_L = ۴k} \frac{V_o}{V_{b_۳} - V_{b_۴}} = -g_{m_۳}$$

بهره طبقه دوم نیز به صورت مقابل می‌باشد:

$$\frac{V_{b_۳} - V_{b_۴}}{V_۱ - V_۲} = -g_{m_۱}(۴k \| r_{\pi_۳})$$

پس خواهیم داشت:

$$\frac{V_o}{V_۱ - V_۲} = g_{m_۱}g_{m_۳}(۴k \| r_{\pi_۳})$$

برای محاسبه جریان نقطه کار به صورت زیر عمل می‌کنیم.

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



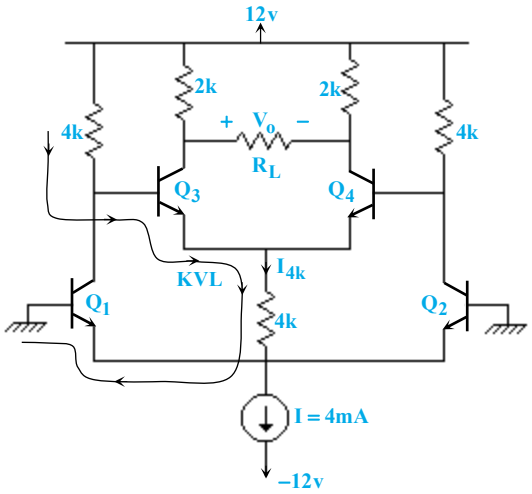
مجموع جریان‌های عبوری از مقاومت ۴k (مقاومتی که به پایه امیتر $Q_۳$ و $Q_۴$ متصل است) و ترانزیستورهای $Q_۱$ و $Q_۲$ برابر با جریان منبع جریان $I$ می‌باشد یعنی:

$$I_{۴k}+I_{C_۱}+I_{C_۲}=۴\,mA \xrightarrow{I_{C_۱}=I_{C_۲}} I_{۴k}+۲I_{C_۱}=۴\,mA \quad (۱)$$

از طرفی جریان $I_{۴k}$ برابر با مجموع جریان‌های ترانزیستورهای $Q_۳$ و $Q_۴$ می‌باشد، پس داریم:

$$I_{۴k}=I_{C_۳}+I_{C_۴} \xrightarrow{I_{C_۳}=I_{C_۴}} I_{۴k}=۲I_{C_۳} \quad (۲)$$

$$\xrightarrow{(۱)\text{و}(۲)} I_{C_۱}+I_{C_۳}=۲\,mA \quad (۳)$$




با نوشتن یک KVL در مسیر مشخص بر روی شکل مقابل و با استفاده از رابطه ۳ جریان نقطه کار به دست می‌آید.

$$۱۲-۴K(I_{C_۱})-\cancel{V_{BE_۴}}-۴k(۲I_{C_۳})=-\cancel{V_{BE_۱}}$$

$$\Rightarrow ۱۲=۴I_{C_۱}+۸I_{C_۳} \Rightarrow I_{C_۱}+۲I_{C_۳}=۳\,mA \quad (۳)$$

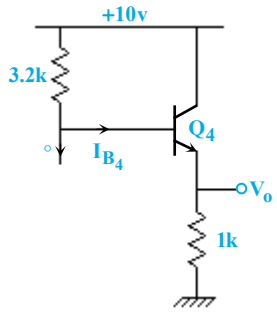
$$\xrightarrow{(۲)\text{و}(۳)} I_{C_۱}=I_{C_۳}=۱mA \Rightarrow g_{m_{۱,۳}}=۴۰ms\ ,\ r_{\pi_۳}=\frac{\beta}{g_{m_۳}}=۴k\Omega$$

بنابراین بهره مدار برابر است با:

$$\frac{V_o}{V_۱-V_۲}=۴۰ms\times۴۰ms\times(۴k\,||\,۴k)=۳۲۰۰$$

---

**۲۶ـ گزینه «۲»** ابتدا مدار را به ازای ورودی $-۱V$ حل می‌کنیم. وقتی که ورودی برابر $-۱V$ است، ترانزیستور $Q_۱$ خاموش و ترانزیستور $Q_۲$ روشن می‌باشد و تمام جریان $۵\,mA$ از آن می‌گذرد. این جریان از مقاومت $۳/۲k$ عبور کرده و افت ولتاژ ۱۶ ولتی ایجاد می‌کند، پس ولتاژ کلکتور $Q_۲$ برابر $-۶$ ولت می‌شود بنابراین ترانزیستور $Q_۲$ وارد ناحیه اشباع خود شده است. با توجه به اینکه بیس $Q_۲$ زمین شده است، پس ولتاژ امیتر آن برابر $-۰/۷$ ولت می‌باشد و از آنجایی که در ناحیه اشباع خود قرار دارد و $V_{CE(sat)}$ برابر صفر است بنابراین ولتاژ کلکتور آن نیز برابر $-۰/۷$ ولت خواهد بود. ترانزیستور $Q_۴$ برای آن که روشن شود لازم است تا به بیس آن ولتاژ تحریک بیشتر از $۰/۷$ ولت برسد، پس ترانزیستور $Q_۴$ خاموش می‌باشد و جریان آن صفر است. بنابراین ولتاژ خروجی برابر صفر می‌باشد.




حال حالتی را در نظر می‌گیریم که ولتاژ ورودی برابر $۱V$ باشد، در این حالت ترانزیستور $Q_۱$ روشن و $Q_۲$ خاموش می‌باشد. بنابراین داریم:

$$۱۰-۳/۲I_{B_۴}-V_{BE_۴}-(\beta+۱)I_{B_۴}\times۱k=۰$$

$$\Rightarrow ۹/۳=۲۰۴/۲I_{B_۴} \Rightarrow I_{B_۴}=۰/۰۴۵\,mA$$

$$\Rightarrow I_{E_۴}=(\beta+۱)I_{B_۴}=۹/۱۵\,mA \Rightarrow V_o=۱k\times I_{E_۴}=۹/۱۵\,V$$

پس تغییرات ولتاژ خروجی برابر $۹/۱۵\,V$ می‌باشد.

---

**۲۷ـ گزینه «۴»** مجموع جریان‌های $I_{C_۱}$ و $I_{C_۲}$ برابر $۱۰۰\mu A$ می‌باشد. جریان $I_{C_۱}$ و $I_{C_۳}$ با هم برابرند؛ اما جریان $I_{C_۲}$ و $I_{C_۴}$ با هم برابر نمی‌باشند. در واقع داریم:

$$I_{C_۲}=I_{C_۴}-I_{B_۵}$$

از آن‌جایی که ولتاژ DC خروجی برابر صفر ولت می‌باشد پس جریان عبوری از مقاومت $۱۰k$ برابر است با:

$$I_{۱۰k}=\frac{V_o(DC)-(-۱۰)}{۱۰k}=۱mA$$

بنابراین جریان بیس ترانزیستور $Q_۵$ برابر $۱۰\mu A$ می‌باشد. بنابراین خواهیم داشت:

$$I_{C_۱}+I_{C_۲}=۱۰۰\mu A$$

$$I_{C_۱}=I_{C_۳} \Rightarrow I_{C_۳}+I_{C_۴}-۱۰\mu A=۱۰۰\mu A \Rightarrow I_{C_۳}+I_{C_۴}=۱۱۰\mu A$$

$$I_{C_۲}=I_{C_۴}-۱۰\mu A$$

با توجه به اینکه ترانزیستورهای $Q_۳$ و $Q_۴$ مشابهند و ولتاژ بیس ـ امیترشان یکسان می‌باشد، پس جریان‌های $I_{C_۳}$ و $I_{C_۴}$ با هم برابر هستند یعنی:

$$I_{C_۳}=I_{C_۴}=۵۵\mu A \Rightarrow I_{C_۱}=۵۵\mu A \quad \text{و} \quad I_{C_۲}=۴۵\mu A$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۸ـ گزینه «۳»** تقویت‌کننده شامل دو طبقه تقویت‌کننده تفاضلی می‌باشد. بهره آن برابر است با:

$$\frac{V_o}{V_{in}}=\frac{V_o}{V_{b_5}-V_{b_6}}\times\frac{V_{b_5}-V_{b_6}}{V_{in}}=(-g_{m_5}\times 1k)(-g_{m_2}\times(1k\,||\,r_{\pi_5}))=g_{m_2}g_{m_5}(1k\,||\,r_{\pi_5})$$

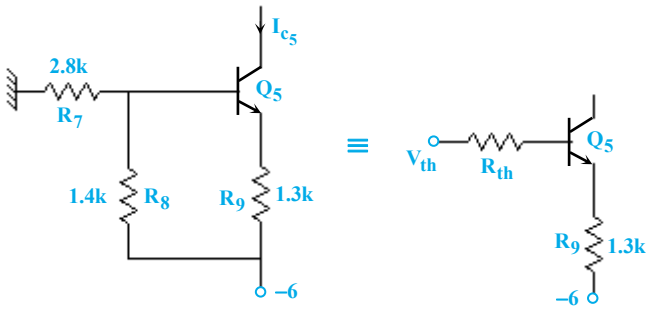
با توجه به اینکه ولتاژ گیت ـ سورس ترانزیستورهای JFET برابر صفر است، پس جریان آن‌ها برابر با $I_{DSS}$ می‌باشد. بنابراین جریان هر یک از ترانزیستورهای $Q_2$ تا $Q_6$ برابر $2/5\,mA$ می‌باشد.

$$g_{m_{2-6}}=100\,ms\ ,\ r_{\pi_5}=\frac{\beta}{g_{m_5}}=1k$$

پس بهره ولتاژ تقویت‌کننده برابر است با: $\frac{V_o}{V_{in}}=5000$

---

**۲۹ـ گزینه «۲»** ابتدا نقطه کار مدار را محاسبه می‌کنیم. با توجه به اینکه مدارمان متقارن می‌باشد بنابراین ولتاژ بیس ـ امیتر ترانزیستورهایی که متناظر هستند با هم برابر می‌باشد، پس جریان یکسانی نیز دارند. مجموع جریان ترانزیستورهای $Q_2$ و $Q_3$ با جریان ترانزیستور $Q_5$ برابر می‌باشد. جریان ترانزیستور $Q_5$ به صورت زیر به دست می‌آید.




$$I_{C_5}=\frac{V_{th}-V_{BE}-(-6)}{R_9+\frac{R_{th}}{\beta+1}}$$

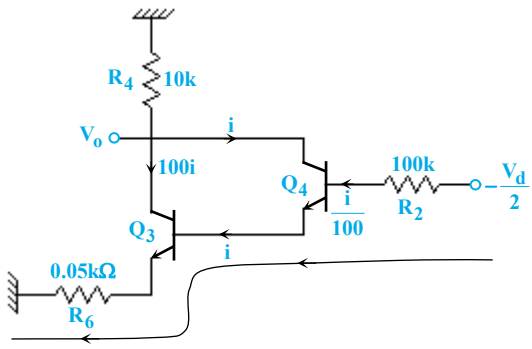
$$R_{th}=R_7\,||\,R_8=0/933$$

$$V_{th}=\frac{R_7(-6)+R_8(0)}{R_7+R_8}=-4\,V\ \Rightarrow I_{C_5}=\frac{-4-0/7+6}{1/3+\frac{0/933}{101}}\simeq 1\,mA$$

بنابراین جریان هر کدام از ترانزیستورهای $Q_2$ و $Q_3$ برابر با $0/5\,mA$ می‌باشد. با توجه به اینکه پایه امیتر ترانزیستور $Q_1$ و $Q_4$ به ترتیب به بیس $Q_2$ و $Q_3$ متصل شده است، پس جریان کلکتور ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_4$ برابر با $5\mu A$ می‌باشد. بنابراین داریم:

$$I_{C_2}=I_{C_3}=0/5\,mA\ \Rightarrow g_{m_2}=g_{m_3}=20\,ms\ ,\ I_{C_1}=I_{C_4}=5\,mA\ \Rightarrow g_{m_1}=g_{m_4}=0/2\,ms$$

برای محاسبه بهره تفاضلی ابتدا نیم مدار تقویت‌کننده را به شکل زیر رسم می‌کنیم. یک جریان فرضی به اسم i مطابق زیر در نظر می‌گیریم.




جریان عبوری از مقاومت $R_4$ برابر با مجموع جریان ترانزیستورهای $Q_3$ و $Q_4$ می‌باشد. بنابراین می‌توان ولتاژ خروجی را به صورت زیر به دست آورد.

$$V_o=-R_4(100i+i)\ \Rightarrow V_o=-101R_4 i\qquad(1)$$

برای آن که رابطه بین i و ولتاژ $V_d$ را به دست آوریم در مسیر نشان داده شده بر روی شکل یک KVL می‌زنیم، بنابراین داریم:

$$(100i\times R_6)+V_{be_3}+V_{be_4}+(\frac{i}{100}\times R_2)=-\frac{V_d}{2}\qquad V_{be_3}=\frac{1}{g_{m_3}}(100i)\qquad V_{be_4}=\frac{1}{g_{m_4}}(i)$$

$$5i+\frac{100i}{20}+\frac{i}{0/2}+i=-\frac{V_d}{2}\ \Rightarrow i=-\frac{V_d}{32}\qquad(2)$$

با استفاده از روابط(۱) و (۲) بهره به دست می‌آید.

$$\xrightarrow{(1)\,و\,(2)} V_o=-101\times 10k\times(-\frac{V_d}{32})=-31/56$$

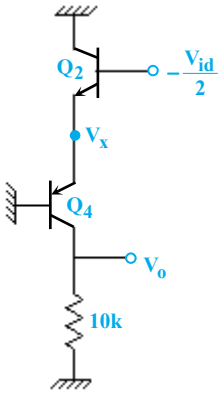
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۳۰ـ گزینه «۱»** ابتدا نیم‌مدار مد تفاضلی را به شکل زیر رسم می‌کنیم. بهره مدار از حاصلضرب بهره دو طبقه بیس مشترک و کلکتور مشترک به صورت زیر تعیین می‌شود.




$$\frac{V_o}{-\frac{V_{id}}{2}} = \frac{V_o}{V_x} \times \frac{V_x}{-\frac{V_{id}}{2}}$$

بهره طبقه بیس مشترک: $\frac{V_o}{V_x} = g_{m_4} \times 10k = 10 g_{m_4}$

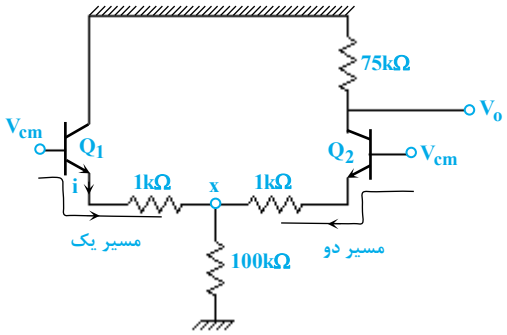
بهره طبقه کلکتور مشترک: $\frac{V_x}{-\frac{V_{id}}{2}} = \frac{\frac{1}{g_{m_4}}}{\frac{1}{g_{m_4}} + \frac{1}{g_{m_2}}}$ ، $g_{m_{2,4}} = \frac{\beta}{r_\pi} = \frac{250}{10k} = 25\,ms$

بنابراین داریم:

$$\frac{V_o}{-\frac{V_{id}}{2}} = (10 \times 25) \times (\frac{1}{2}) \Rightarrow \frac{V_o}{V_{id}} = -62/5$$

---

**۳۱ـ گزینه «۱»** برای محاسبه بهره مد مشترک با توجه به اینکه مدارمان متقارن نمی‌باشد، از روش پخش جریان استفاده می‌کنیم. یک جریان فرضی $i$ روی شکل در نظر می‌گیریم. ولتاژ گره $x$ با نوشتن یک KVL در مسیر یک به دست می‌آید.




$$V_{cm} - V_{be_1} - i \times 1k = V_x \Rightarrow V_{cm} - \frac{1}{g_m} i - i = V_x$$

$$\Rightarrow V_x = V_{cm} - (1 + \frac{1}{g_m}) i \qquad (1)$$

با توجه به اینکه مسیر یک و مسیر دو متقارن می‌باشند بنابراین می‌توان گفت که جریان شاخه سمت راست مدار نیز برابر $i$ می‌باشد. بنابراین جریانی که از مقاومت $100k$ عبور می‌کند برابر $2i$ می‌باشد. پس ولتاژ $V_x$ برابر می‌شود با:

$$V_x = 100k \times 2i \qquad (2)$$

با استفاده از روابط ۱ و ۲ رابطه بین جریان $i$ و ولتاژ $V_x$ را به دست می‌آوریم.

$$(1) = (2) \Rightarrow 200i = V_{cm} - (1 + \frac{1}{g_m}) i \Rightarrow i \simeq \frac{V_{cm}}{200}$$

از طرفی ولتاژ خروجی برابر با $-75k \times i$ می‌باشد، پس خواهیم داشت:

$$V_o = -75i \xrightarrow{i = \frac{V_{cm}}{200}} \frac{V_o}{V_{cm}} = -\frac{75}{200} = -0/3\,V$$

---

**۳۲ـ گزینه «۲»** برای آنکه ولتاژ خروجی صفر بماند لازم است تا جریان هر دو ترانزیستور با هم برابر باشد. با توجه به اینکه دمای پیوند $Q_2$، ۲۰ درجه بیشتر از دمای پیوند $Q_1$ است پس ولتاژ بیس ـ امیتر $Q_2$ به اندازه $40mv$ کمتر از ولتاژ بیس ـ امیتر $Q_1$ است. از آن‌جایی که بیس $Q_2$ به زمین متصل است برای آنکه این $40mv$ کمتر بودن ولتاژ بیس امیتر آن جبران شود لازم است تا $V_i$ برابر با $-40mv$ باشد. پس گزینه (۲) صحیح می‌باشد.

---

**۳۳ـ گزینه «۳»** ولتاژ گیت ـ سورس $Q_3$ برابر صفر است، پس جریان آن برابر $I_{DSS}$ می‌باشد. با توجه به متقارن بودن مدار، سهم جریان هر یک از ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ برابر با $2mA$ است. بهره مدار با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{V_o}{V_i} = -g_{m_1} \times 3k = -240$$

---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۳۴ـ گزینه «۴»** پایه بیس ترانزیستور $Q_۱$ به زمین متصل شده است، بنابراین ولتاژ امیتر $Q_۱$ برابر $-۰/۶$ ولت می‌باشد، پس ولتاژ بیس $Q_۲$ برابر با صفر خواهد بود. با توجه به اینکه $\beta$ ترانزیستور $Q_۲$ بسیار بزرگ می‌باشد پس از جریان بیس آن صرف‌نظر می‌کنیم بنابراین ولتاژ کلکتور $Q_۳$ نیز برابر صفر ولت خواهد بود. در این صورت جریان عبوری از مقاومت $R_۴$ به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$I_{R_۴}=\frac{۰-(-۶)}{R_۴}=\frac{۶}{۱۰k}=۰/۶\text{mA}$$

پس جریان ترانزیستور $Q_۳$ برابر $۰/۶\text{mA}$ می‌باشد. بنابراین ولتاژ بیس $Q_۳$ را به صورت زیر می‌توان محاسبه نمود:

$$۶-R_۳I_{R_۴}-V_{BE_۳}=V_{B_۳}\Rightarrow V_{B_۳}=۶-۰/۶-۰/۶=۴/۸\text{V}$$

با نوشتن یک KCL در گره کلکتور ترانزیستور $Q_۱$ جریان $I_{C_۱}$ را به دست می‌آوریم:

$$\frac{۶-V_{B_۳}}{R_۱}+I_{B_۳}=I_{C_۱}\Rightarrow\frac{۶-۴/۸}{۱۲k}+\frac{۰/۶\text{mA}}{۲۵}=I_{C_۱}\Rightarrow I_{C_۱}=۱۲۵\mu\text{A}$$

بنابراین گزینه (۴) صحیح می‌باشد.

---

**۳۵ـ گزینه «۴»** بهره تفاضلی برابر $g_{m_۵}(r_{o_۴}\,||\,r_{o_۶})$ می‌باشد.

$$\begin{cases}r_o=(h_{oe})^{-۱}=۲۰۰\text{k}\Omega\\ g_m=\dfrac{\beta}{r_\pi}=\dfrac{۲۵۰}{۵۰}=۵\text{ms}\end{cases}\Rightarrow A_d=۵\text{ms}(۲۰۰\text{k}\,||\,۲۰۰\text{k})=۵۰۰$$

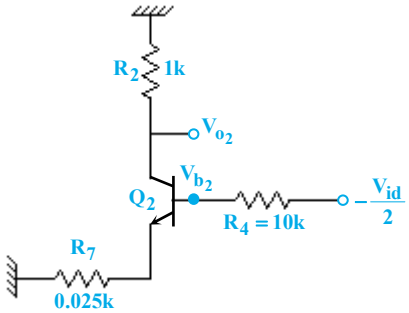
---

**۳۶ـ گزینه «۳»** بهره مدار برابر با $-g_m\times۵k$ می‌باشد. با توجه به اینکه مدار متقارن است، جریان هر ترانزیستور $۱\text{mA}$ می‌باشد.

$$A_d=-g_m\times۵k=-۲۰۰$$

---

**۳۷ـ گزینه «۳»** با توجه به اینکه مدار متقارن می‌باشد از روش نیم‌مدار استفاده می‌کنیم. بنابراین نیم‌مدار مد تفاضلی را به شکل مقابل رسم می‌کنیم و بهره مدار به صورت زیر محاسبه می‌شود:




$$\frac{V_{o_۲}}{-\frac{V_{id}}{۲}}=\frac{V_{o_۲}}{V_{b_۲}}\times\frac{V_{b_۲}}{-\frac{V_{id}}{۲}}$$

طبقه امیتر مشترک: $\dfrac{V_{o_۲}}{V_{b_۲}}=-\dfrac{R_۲}{R_۷+\frac{۱}{g_{m_۲}}}$ ، $\dfrac{V_{b_۲}}{-\frac{V_{id}}{۲}}=\dfrac{r_{\pi_۲}+(\beta+۱)R_۷}{r_{\pi_۲}+(\beta+۱)R_۷+R_۴}$

$$\Rightarrow\frac{V_{o_۲}}{-\frac{V_{id}}{۲}}=-\frac{R_۲}{\frac{۱}{g_{m_۲}}+R_۷+\frac{R_۴}{\beta+۱}}\Rightarrow\frac{V_{o_۲}}{V_{id}}=\frac{\frac{۱}{۲}R_۲}{\frac{۱}{g_{m_۲}}+R_۷+\frac{R_۴}{\beta+۱}}$$

جریان ترانزیستور $Q_۴$ با جریان ترانزیستور $Q_۵$ برابر می‌باشد. از آنجایی که ترانزیستور $Q_۵$ و مقاومت $R_۶$ به صورت سری با هم می‌باشند پس جریان $Q_۴$ با جریان $R_۶$ برابر است.

$$I_{R_۶}=\frac{۰-(-۱۰+V_{BE})}{R_۶}=۹/۳\text{mA}\Rightarrow I_{C_۱}=I_{C_۲}=۴/۶۵\text{mA}\Rightarrow g_{m_{۱,۲}}=۱۸۶\text{ms}$$

$$\Rightarrow\frac{V_{o_۲}}{V_{id}}=\frac{\frac{۱}{۲}\times۱k}{\frac{۱}{۱۸۶\text{ms}}+۰/۰۲۵k+\frac{۱۰k}{۱۰۱}}=۳/۸$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**راه‌حل دوم:** با استفاده از روش جریانی می‌توان جریان داخل حلقه تفاضلی و ولتاژ خروجی را به‌صورت زیر بیان کرد:

$$i=\frac{v_{i1}}{10k\times\frac{1}{\beta}+25+25+\frac{1}{g_{m1}}+\frac{1}{g_{m2}}+\frac{1}{10k}\times\frac{1}{\beta}}\simeq\frac{v_{i1}}{260\Omega}$$

$$v_{out}=(1M\Omega\|1k\Omega)i\Rightarrow A_v=\frac{1000}{260}\simeq 3/9$$

---

**۳۸ـ گزینه «۱»**

ابتدا نقطه کار مدارمان را به دست می‌آوریم. ولتاژ دیود زنر دو سر مقاومت $25k$ و پیوند بیس ـ امیتر $Q_3$ می‌افتد. بنابراین داریم:

$$I_{25k}=\frac{5/7-V_{BE}}{25k}\Rightarrow I_{25k}=0/2mA$$ جریان عبوری از مقاومت $25k\Omega$

با توجه به اینکه ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ مشابه هستند سهم جریان هر کدام برابر $0/1mA$ خواهد بود.

بهره مدار از رابطه $-g_{m_1}(r_{o_1}\|30k)$ به دست می‌آید. پس داریم:

$$\frac{V_{o_1}-V_{o_2}}{V_{i_1}-V_{i_2}}=-g_{m_1}(r_{o_1}\|30k)$$

$$\begin{cases}r_{o_1}=\frac{V_A}{I_{D_1}}=\frac{100}{0/1mA}=1000k\Omega\\ g_{m_1}=4ms\end{cases}\Rightarrow\frac{V_{o_1}-V_{o_2}}{V_{i_1}-V_{i_2}}=-120$$

اگر جواب تقریبی مدنظر طراح باشد گزینه (۱) جواب خواهد بود.

---

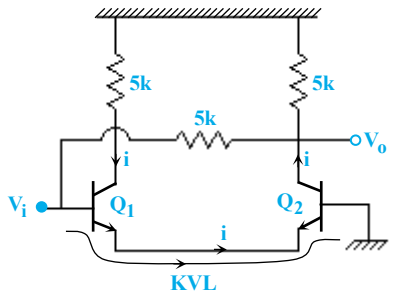
**۳۹ـ گزینه «۱»** در مدار تقویت‌کننده تفاضلی، بهره تفاضلی خیلی بزرگ‌تر از بهره حالت مشترک است. پارامتر CMRR به صورت $20\log\left|\frac{A_d}{A_C}\right|$ تعریف می‌شود. اگر CMRR برابر بی‌نهایت باشد، یعنی تقویت‌کننده تفاضلی بسیار ایده‌آل است.

---

**۴۰ـ گزینه «۱»** ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ مشابه‌اند و ولتاژ بیس ـ امیتر یکسانی دارند پس جریان نقطه کارشان نیز برابر می‌باشد.

$$I_{C_1}=I_{C_2}=1mA\Rightarrow g_{m_1}=g_{m_2}=40ms$$

با توجه به اینکه مدارمان نامتقارن است برای محاسبه بهره از روش پخش جریان استفاده می‌کنیم. بنابراین جریان فرضی $i$ را مطابق شکل زیر در نظر می‌گیریم. با نوشتن یک KVL در مسیر مشخص شده بر روی شکل رابطه بین جریان $i$ و ولتاژ ورودی را به دست می‌آوریم:




$$\begin{cases}V_i=V_{be_1}+V_{eb_2}\\ V_{be_1}=\frac{1}{g_{m_1}}i\\ V_{be_2}=\frac{1}{g_{m_2}}i\end{cases}\Rightarrow i=20V_i$$

با نوشتن یک KCL در گره خروجی می‌توان بهره ولتاژ را به صورت زیر به دست آورد:

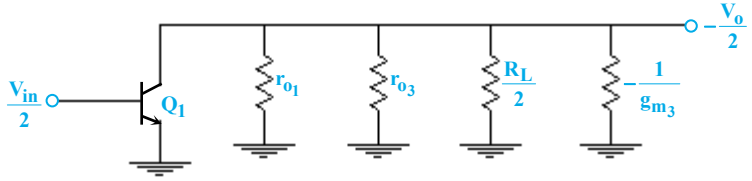
$$i=\frac{V_o}{5k}+\frac{V_o-V_i}{0/5k}\xrightarrow{i=20V_i}22V_i=2/2V_o\Rightarrow\frac{V_o}{V_i}=10$$

---

**۴۱ـ گزینه «۱»** ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ مشابه‌اند پس جریان نقطه کار یکسانی دارند.

$$I_{C_{1-4}}=1mA\Rightarrow g_{m_{1-4}}=40ms$$

در مد تفاضلی با توجه به متقارن بودن مدار می‌توان مدار را به صورت زیر ساده نمود:




www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



برای این تقویت‌کننده امیتر مشترک گین از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

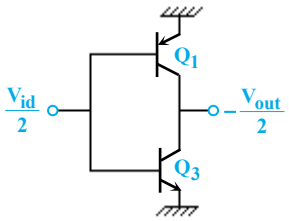
$$\frac{-\frac{V_o}{2}}{\frac{V_{in}}{2}} = -g_{m_1}[r_{o_1} \| r_{o_3} \| \frac{R_L}{2} \| -\frac{1}{g_{m_3}}] \Rightarrow A_d = \frac{V_o}{V_{in}} = +5g_m = +200$$

---

**۴۲ـ گزینه «۳»** مدار متقارن می‌باشد و ترانزیستورهای متناظر مشابه هم هستند بنابراین جریان نقطه کارشان نیز با هم برابر می‌باشد.

$$I_{C_{1-4}} = 0/5\,mA \Rightarrow g_{m_{1-4}} = 20\,ms \ , \ r_{o_{1-4}} = 20\,k\Omega$$

در مد تفاضلی بهره برابر است با:

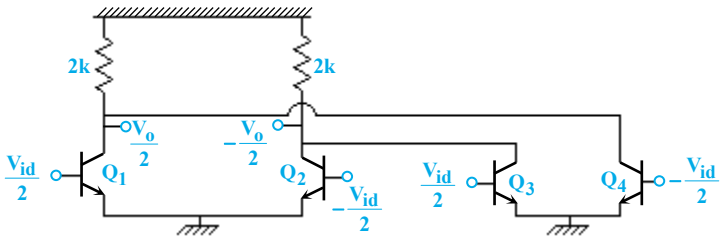



$$\frac{-\frac{V_{out}}{2}}{\frac{V_{id}}{2}} = -(g_{m_1} + g_{m_3})(r_{o_1} \| r_{o_3})$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{id}} = (g_{m_1} + g_{m_3})(r_{o_1} \| r_{o_3}) = 400$$

---

**۴۳ـ گزینه «۲»** ابتدا نیم‌مدار مد تفاضلی را به شکل زیر رسم می‌کنیم.




با نوشتن یک KCL در گره $\frac{V_o}{2}$، بهره ولتاژ تقویت به دست می‌آید:

$$\frac{\frac{V_o}{2}}{2k} + g_{m_1}\frac{V_{id}}{2} + g_{m_4}(-\frac{V_{id}}{2}) = 0 \Rightarrow \frac{V_o}{4} = \frac{1}{2}(g_{m_4} - g_{m_1})V_{id}$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_{id}} = 2(g_{m_4} - g_{m_1}) \xrightarrow{\frac{V_o}{V_{id}} = -60} g_{m_4} - g_{m_1} = -30$$

در حالت DC داریم: $I_{C_1} = I_{C_2} = 1mA \Rightarrow g_{m_1} = g_{m_2} = 40\,ms \quad , \quad I_{C_3} = I_{C_4} = \frac{I_o}{2} \Rightarrow g_{m_3} = g_{m_4} = 20\,I_o$

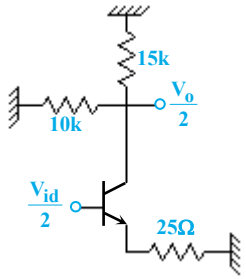
بنابراین داریم:

$$20\,I_o - 40 = -30 \Rightarrow I_o = 0/5\,mA$$

---

**۴۴ـ گزینه «۴»** با توجه به اینکه مدار متقارن است از روش نیم‌مدار برای محاسبه بهره استفاده می‌کنیم.

در شکل زیر نیم‌مدار مد تفاضلی رسم شده است.




$$\frac{\frac{V_o}{2}}{\frac{V_{id}}{2}} = -\frac{(15k \| 10k)}{\frac{25}{1000} + \frac{1}{g_m}} \Rightarrow \frac{V_o}{V_{id}} = -120$$

$$I_C = 1mA \Rightarrow g_m = 40\,ms$$

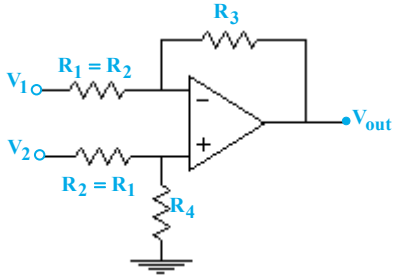
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۴۵ـ گزینه «۳»** مدار را می‌توان به صورت زیر در حالت کلی در نظر گرفت. در این صورت با استفاده از جمع آثار و روابط مدارهای معکوس‌کننده و غیرمعکوس‌کننده می‌توانیم رابطه ولتاژ خروجی را به دست آوریم:




$$V_{out}=\frac{-R_۳}{R_۱}V_۱+(\frac{R_۴}{R_۲+R_۴})V_۲\times(۱+\frac{R_۳}{R_۲})$$

$$V_{out}=\frac{-R_۳}{R_۱}V_۱+(\frac{R_۴}{R_۲+R_۴}\times\frac{R_۲+R_۳}{R_۲})V_۲$$

در صورتی که ولتاژهای $V_۱$ و $V_۲$ را به صورت مجموع قسمت‌های مشترک و تفاضلی در نظر بگیریم، می‌توانیم بهره‌های مُد مشترک و تفاضلی را جداگانه به صورت زیر حساب کنیم:

$$V_۱=۵/۶-\frac{۱/۲}{۲}=V_{cm}-\frac{V_{id}}{۲}\quad,\quad V_۲=۵/۶+\frac{۱/۲}{۲}=V_{cm}+\frac{V_{id}}{۲}$$

$$A_{cm}=\frac{V_o}{V_{cm}}=[\frac{R_۴}{R_۲+R_۴}\times\frac{R_۲+R_۳}{R_۲}-\frac{R_۳}{R_۲}]=\frac{R_۴(R_۲+R_۳)-R_۳(R_۲+R_۴)}{R_۲(R_۲+R_۴)}$$

$$A_d=\frac{V_o}{V_{id}}=\frac{۱}{۲}[\frac{R_۳}{R_۲}+\frac{R_۴(R_۲+R_۳)}{R_۲(R_۲+R_۴)}]=\frac{R_۳(R_۲+R_۴)+R_۴(R_۲+R_۳)}{R_۲(R_۲+R_۴)}$$

بنابراین CMRR را در حالت کلی می‌توان به صورت زیر بیان کرد: $(R_۱=R_۲)$

$$CMRR=|\frac{A_d}{A_{cm}}|=\frac{۱}{۲}\times\frac{R_۴(R_۲+۲R_۳)+R_۲R_۳}{R_۴\cdot R_۲-R_۲R_۳}$$

اگر فرض کنیم که مقاومت $R_۴$ به اندازه ۰/۲ درصد افزایش داشته باشد (کاهش هم می‌توان در نظر گرفت)، برابر $R_۴=۶/۰۱۲k\Omega$ می‌شود و در نتیجه CMRR برابر می‌شود با:

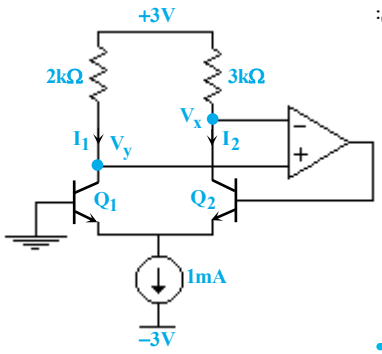
$$CMRR=\frac{۱}{۲}\times\frac{۱۸+۶/۰۱۲(۱۵)}{-۱۸+۶/۰۱۲\times۳}=۱۵۰۲/۵\quad,\quad CMRR\big|_{dB}=۲۰\log(۱۵۰۲/۵)\simeq۶۳d_B$$

---

**۴۶ـ گزینه «۱»** با بای پس کردن بیس ترانزیستورهای $Q_۴$ و $Q_۵$ (زمین کردن)، منبع جریان $Q_۴$ و $Q_۵$ از بین می‌رود و سیگنالی را به خروجی منتقل نمی‌کند. در نتیجه جریان خروجی نصف می‌شود و چون مقاومت خروجی تغییری نمی‌کند، بهره نیز نصف می‌شود.

---

**۴۷ـ گزینه «۳»** با توجه به اینکه آپ ـ امپ در حلقه‌ی فیدبک منفی بسته شده است ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی آن با هم برابر است. از طرف دیگر به علت عدم تقارن زوج تفاضلی جریان ترانزیستورها با هم برابر نیستند و آن‌ها را مطابق شکل زیر $I_۱$ و $I_۲$ می‌نامیم:




$$V_x=V_y\Rightarrow۲I_۱=۳I_۲$$

$$I_۱+I_۲=۱\Rightarrow I_۱=۱-I_۲$$

در نتیجه جریان $I_۲$ برابر می‌شود با:

$$۲(۱-I_۲)=۳I_۲\Rightarrow I_۲=۰/۴mA$$

پس ولتاژ $V_x$ برابر می‌شود با:

$$V_x=۳-۳k\Omega\times۰/۴mA=۱/۸v$$

---

***درسنامه (۳): تقویت‌کننده‌های تفاضلی ماسفتی***

**۴۸ـ گزینه «۲»** ابتدا جریان کار مدارمان را محاسبه می‌کنیم. رابطه جریان ـ ولتاژ ترانزیستور $Q_۵$ را نوشته و جریان آن را محاسبه می‌کنیم.

$$\begin{cases}I_{D_۵}=\frac{I_{DSS}}{V_p^۲}(V_{GS_۵}-V_p)^۲\\ V_{G_۵}=\frac{۱/۱M}{۱/۱M+۱۰۰k}(-۱۲)=-۱۱V\Rightarrow I_{D_۵}=۲(۳-I_{D_۵})^۲\Rightarrow I_{D_۵}=۲mA\\ V_{S_۵}=-۱۲+I_{D_۵}\end{cases}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



با توجه به اینکه مدارمان متقارن است پس جریان ترانزیستورهای $Q_۱$ و $Q_۲$ با هم برابر می‌باشد بنابراین ولتاژ گیت ـ سورس ترانزیستورهای $Q_۱$ تا $Q_۴$ را با توجه به مشخص بودن جریانشان محاسبه می‌کنیم.

$$I_{D_{۱,۲}}=\frac{I_{DSS}}{V_P^۲}(V_{GS_{۱,۲}}-V_P)^۲ \xrightarrow{I_{D_{۱,۲}}=۱mA} ۱mA=۲(V_{GS_{۱,۲}}+۲)^۲ \Rightarrow V_{GS_{۱,۲}}=-۱/۳V$$

$$I_{D_{۳,۴}}=\frac{I_{DSS}}{V_P^۲}(V_{GS_{۳,۴}}-V_P)^۲ \xrightarrow{I_{D_{۳,۴}}=۱mA} ۱mA=۲(V_{GS_{۳,۴}}-۲)^۲ \Rightarrow V_{GS_{۳,۴}}=۱/۳V$$

ولتاژ درین ترانزیستور $Q_۱$ برابر با $۱۲+V_{GS_۳}$ می‌باشد. از طرفی ولتاژ سورس $Q_۱$ برابر $-V_{GS_۱}$ است. پس ولتاژ درین ـ سورس ترانزیستور $Q_۱$ برابر است با:

$$V_{DS_۱}=(۱۲+V_{GS_۳})-(-V_{GS_۱})=۱۲+V_{GS_۳}+V_{GS_۱} \Rightarrow V_{DS_۱}=۱۲V$$

---

**۴۹ـ گزینه «۴»** بهره تقویت‌کننده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\begin{cases}\frac{V_o}{V_{id}}=g_{m_۱}(r_{o_۲}\parallel r_{o_۴}\parallel ۵۰k\Omega)\\ g_{m_۱}=\sqrt{۲\mu_n cox\frac{w}{L}I_D}=\sqrt{۲\times۱\frac{mA}{V^۲}\times ۰/۵mA}=۱ms \Rightarrow \frac{V_o}{V_{id}}=۳۰\\ r_{o_۲}=r_{o_۴}=\frac{۷۵}{۰/۵mA}=۱۵۰k\Omega\end{cases}$$

---

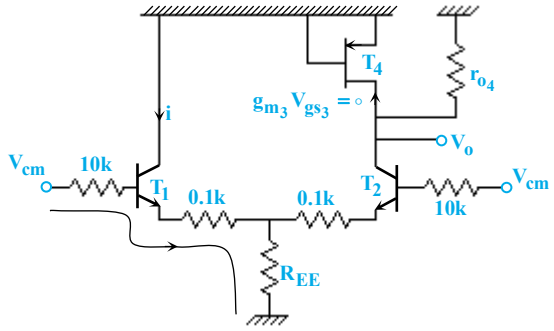
**۵۰ـ گزینه «۴»** رابطه جریان ـ ولتاژ ترانزیستور $T_۳$ را نوشته و جریان نقطه کار آن را محاسبه می‌کنیم.

$$I_{D_۳}=\frac{I_{DSS}}{V_P^۲}(V_{GS_۳}-V_P)^۲ \Rightarrow I_{D_۳}=۲(-۰/۵I_{D_۳}+۲)^۲ \Rightarrow I_{D_۳}=۲mA \Rightarrow g_{m_۳}=\frac{۲}{|V_P|}\sqrt{I_D I_{DSS}}=۴ms$$

با توجه به اینکه ترانزیستورهای $T_۱$ و $T_۲$ مشابه‌اند و مسیر بیس $T_۱$ تا بیس $T_۲$ یکسان می‌باشد، بنابراین جریان نقطه کار $T_۱$ و $T_۲$ با هم برابر می‌باشد.

$$I_{C_۱}=I_{C_۲}=۱mA$$

مدار معادل ac تقویت‌کننده را به صورت زیر رسم کرده و جریان فرضی i را در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه ولتاژ بیس‌ــ امیتر ترانزیستورهای $T_۱$ و $T_۲$ یکسان است پس جریان ترانزیستور $T_۲$ نیز i می‌باشد. این جریان از مقاومت $r_{o_۴}$ عبور کرده و ولتاژ خروجی را می‌سازد.




$$V_o=-r_{o_۴}i=-۲۰i \quad (۱)$$

$$R_{EE}=r_{o_۳}+(۱+g_{m_۳}r_{o_۳})۰/۵k=۶۰/۵k$$

با نوشتن یک KVL در مسیر مشخص شده روی شکل رابطه بین i و $V_{cm}$ را به دست می‌آوریم:

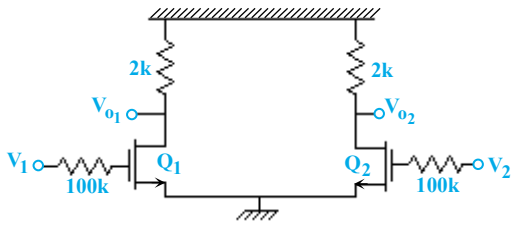
$$V_{cm}-۱۰k(\frac{i}{۱۰۰})-V_{be_۱}-۰/۱k(i)-R_{EE}(۲i)=۰ \xrightarrow{V_{be_۱}=\frac{۱}{gm_۱}i}$$

$$-V_{cm}-۰/۱i-\frac{۱}{۴۰}i-۰/۱i-۱۲۱i=۰ \Rightarrow i\simeq\frac{V_{cm}}{۱۲۱/۲} \quad (۲)$$

از روابط (۱) و (۲) بهره به شکل مقابل حاصل می‌شود: $\xrightarrow{(۱)\text{و}(۲)} \frac{V_o}{V_{cm}}=-۰/۱۶$

---

**۵۱ـ گزینه «۱»** این تقویت‌کننده شامل دو طبقه گین می‌باشد. در طبقه اول یک تقویت‌کننده تفاضلی به صورت شکل زیر داریم.




$$\frac{V_{o_۱}-V_{o_۲}}{V_۱-V_۲}=-g_{m_۱}\times ۲k=-۴ \quad (۱)$$

در طبقه دوم یک تقویت‌کننده عملیاتی داریم بهره این طبقه برابر است با:

$$V_o=\frac{۱۰k}{۲k}(V_{o_۱}-V_{o_۲}) \Rightarrow V_o=۵(V_{o_۱}-V_{o_۲}) \quad (۲)$$

از ترکیب روابط(۱) و (۲) بهره ولتاژ مدار به دست می‌آید: $\frac{V_o}{V_۱-V_۲}=-۲۰$

---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۵۲ـ گزینه «۴»** در حالت DC، ولتاژ گیت ترانزیستورهای ورودی تقویت‌کننده تفاضلی با هم برابر می‌باشد. با توجه به اینکه ولتاژ گیت ترانزیستور $Q_1$ برابر صفر ولت می‌باشد ولتاژ گیت ترانزیستور $Q_2$ نیز صفر ولت است. با نوشتن یک KCL در گره گیت ترانزیستور $Q_2$، ولتاژ خروجی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{V_o-0}{1/2k}=\frac{0-(-10)}{4/7k}\Rightarrow V_o=2/55\,V$$

جریان عبوری از ترانزیستور $Q_5$ برابر است با:

$$I_{D_5}=\frac{V_o-0}{1/2k}\Rightarrow I_{D_5}=\frac{2/55}{1/2k}\simeq 2mA$$

با نوشتن رابطه جریان ـ ولتاژ ترانزیستور $Q_5$، ولتاژ گیت ـ سورس به صورت زیر به دست می‌آید:

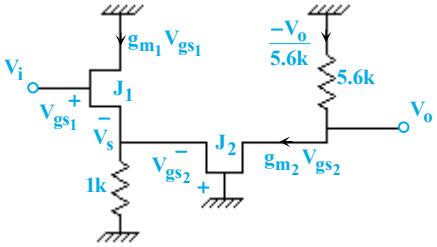
$$I_{D_5}=k(V_{GS_5}-V_T)^2\Rightarrow 2mA=\frac{1}{2}\frac{mA}{V^2}(V_{GS_5}-2)^2\Rightarrow V_{GS_5}=4V$$

ولتاژ $V_D$ برابر با $V_o+V_{GS_5}$ می‌باشد پس $V_D$ برابر است با:

$$V_D=V_o+V_{GS}=2/55+4=6/55\,V$$

---

**۵۳ـ گزینه «۲»** جریان ترانزیستور $J_2$ با جریان عبوری از مقاومت $5/6k$ برابر است. جریان عبوری از این مقاومت برابر با $\frac{0-V_o}{5/6k}$ می‌باشد. با داشتن جریان ترانزیستور $J_2$ ولتاژ سورس آن به صورت زیر به دست می‌آید:




$$-\frac{V_o}{5/6}=g_{m_2}V_{gs_2}\Rightarrow -\frac{V_o}{5/6k}=-g_{m_2}V_s$$

$$\Rightarrow V_s=\frac{V_o}{5/6g_{m_2}}\Rightarrow V_S=0/1V_o$$

با نوشتن یک KCL در گره $V_S$، بهره ولتاژ به صورت زیر به دست می‌آید.

$$g_{m_1}V_{gs_1}+g_{m_2}V_{gs_2}=\frac{V_s-0}{1k}\Rightarrow 1/8(V_i-V_s)+1/8(0-V_s)=V_s$$

$$\Rightarrow 1/8V_i-3/6V_s=V_s\xrightarrow{V_s=0/1V_o}1/8V_i=4/6(0/1V_o)\Rightarrow\frac{V_o}{V_i}=3/9$$

---

**۵۴ـ گزینه «۲»** ابتدا نقطه کار مدار را به دست می‌آوریم. جریان ترانزیستور $Q_1$ برابر است با:

$$I_{C_1}=\frac{V_2-V_{BE_1}}{950\Omega}\Rightarrow I_{C_1}=\frac{4/45-0/65}{950\Omega}=4mA$$

ترانزیستورهای $J_1$ و $J_2$ مشابه‌اند پس جریان هر یک از آن‌ها برابر $2mA$ می‌باشد.

$$g_{m_{1,2}}=\frac{2}{|V_P|}\sqrt{I_DI_{DSS}}\Rightarrow g_{m_{1,2}}=\frac{2}{6}\sqrt{2\times 8}=\frac{4}{3}ms$$

بهره $\frac{V_{o_1}-V_{o_2}}{V_{i_1}-V_{i_2}}$ از رابطه مقابل به دست می‌آید:

$$\frac{V_{o_1}-V_{o_2}}{V_{i_1}-V_{i_2}}=-g_{m_1}(5k\,\|\,r_d)=-\frac{4}{3}(5k\,\|\,45k)=-6$$

**۵۵ـ گزینه «۳»** دو ترانزیستور مشابه‌اند، پس جریان نقطه کارشان یکسان است. اگر جریان هر ترانزیستور را $I_D$ در نظر بگیریم پس جریان $2I_D$ از مقاومت $19k$ عبور می‌کند. پس ولتاژ سورس ترانزیستورها برابر است با:

$$V_s=-18+19k(2I_D)=38I_D-18$$

با نوشتن رابطه جریان ـ ولتاژ ترانزیستورها، جریان $I_D$ را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$I_D=\frac{I_{DSS}}{|V_P|^2}(V_{GS}-V_P)^2\Rightarrow I_D=\frac{2}{4}(-38I_D+18+2)^2\Rightarrow I_D=0/5mA$$

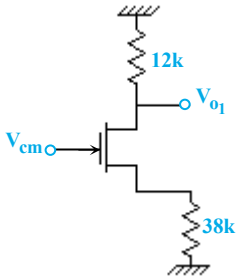
$$g_m=\frac{2}{|V_P|}\sqrt{I_DI_{DSS}}=\frac{2}{2}\sqrt{0/5\times 2}\Rightarrow g_m=1ms$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



برای محاسبه بهره مد مشترک، نیم‌مدار مد مشترک را به شکل زیر رسم کرده و بهره را به دست می‌آوریم.




$$A_{cm}=\frac{V_{o_1}}{V_{cm}}=-\frac{12k}{38k+\frac{1}{g_m}}=-\frac{12}{39}$$

بهره ولتاژ تفاضلی با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A_d=\frac{V_o}{V_{id}}=-g_m(12k)=-1ms(12k)=-12$$

بنابراین CMRR برابر است با:

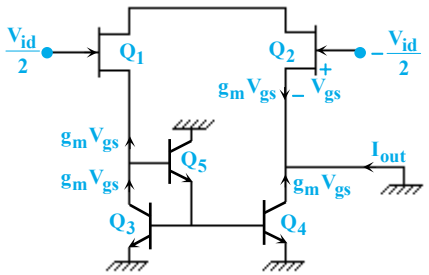
$$CMRR=\left|\frac{A_d}{A_{cm}}\right|=\frac{12}{\frac{12}{39}}=39$$

---

**۵۶ـ گزینه «۱»** برای محاسبه بهره از رابطه $-G_mR_{out}$ استفاده می‌کنیم. مقاومت خروجی را $R_o$ در نظر می‌گیریم. برای محاسبه $G_m$ خروجی را به زمین اتصال کوتاه کرده و نسبت $I_{out}$ به $V_{id}$ را به دست می‌آوریم:

ترانزیستورهای $Q_1$، $Q_2$ و $Q_3$ به صورت سری با هم می‌باشند پس جریانشان با هم برابر می‌باشد.

ترانزیستورهای $Q_3$ و $Q_4$ نیز با هم نقش آینه جریان را ایفا می‌کنند پس جریان آن‌ها نیز با هم برابر می‌باشد بنابراین جریان خروجی برابر با $-2g_mV_{gs}$ می‌باشد. ولتاژ $V_{gs}$ برابر $-\frac{V_{id}}{2}$ است. پس داریم:




$$I_{out}=-2g_mV_{gs}=g_mV_{id}\Rightarrow G_m=g_m$$

بنابراین بهره ولتاژ برابر است با:

$$A_v=-G_mR_{out}\xrightarrow[R_{out}=R_o]{G_m=g_m}A_v=-g_mR_o$$

---

**۵۷ـ گزینه «۱»** اگر جریان ترانزیستور $M_1$ را $I_{D_1}$ و جریان $M_2$ را $I_{D_2}$ در نظر بگیریم در این صورت ولتاژ خروجی برابر با $R_DI_{D_2}-4R_DI_{D_1}$ می‌شود. برای آن که ولتاژ خروجی صفر شود باید جریان $I_{D_2}$، ۴ برابر جریان $I_{D_1}$ باشد. از طرفی مجموع جریان $I_{D_1}$ و $I_{D_2}$ برابر $2/5mA$ است. پس داریم:

$$\begin{cases}I_{D_2}=4I_{D_1}\\ I_{D_1}+I_{D_2}=2/5mA\end{cases}\Rightarrow I_{D_1}=0/5mA\ ,\ I_{D_2}=2mA$$

بنابراین ولتاژ گیت ـ سورس ترانزیستور $M_1$ و $M_2$ برابر است با:

$$I_{D_1}=\frac{1}{2}\mu_nC_{ox}\left(\frac{w}{L}\right)(V_{GS_1}-V_{TH})^2\ ,\ 0/5mA=\frac{1}{2}\times100\frac{mA}{V^2}(V_{GS_1}-V_{TH})^2\ ,\ V_{GS_1}=0/1+V_{TH}$$

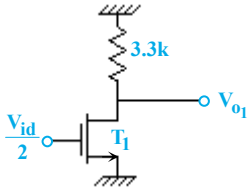
$$I_{D_2}=\frac{1}{2}\mu_nC_{ox}\left(\frac{w}{L}\right)(V_{GS_2}-V_{TH})^2\ ,\ 2mA=\frac{1}{2}\times100\frac{mA}{V^2}(V_{GS_2}-V_{TH})^2\ ,\ V_{GS_2}=0/2+V_{TH}$$

از طرفی ولتاژ ورودی $V_{in}$ برابر با $V_{GS_2}-V_{GS_1}$ می‌باشد، پس داریم:

$$V_{in}=V_{GS_2}-V_{GS_1}=(0/2+V_{TH})-(0/1+V_{TH})=0/1$$

---

**۵۸ـ گزینه «۳»** ابتدا نیم‌مدار تفاضلی را رسم کرده و بهره تفاضلی را به دست می‌آوریم:




$$\frac{\frac{V_{o_1}}{V_{id}}}{2}=-g_m(3/3k\,||\,200k)\Rightarrow A_d=\frac{V_{o_1}}{V_{id}}=-\frac{1}{2}g_m(3/3k\,||\,200)$$

برای محاسبه بهره مد مشترک از نیم‌مدار مد مشترک زیر استفاده می‌کنیم:

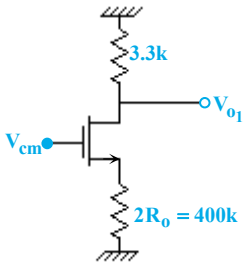
$$A_{cm}=\frac{V_{o_1}}{V_{cm}}=-\frac{3/3k}{2R_o+\frac{1}{g_m}}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



CMRR از رابطه زیر به دست می‌آید:




$$CMRR = \left|\frac{A_d}{A_{cm}}\right| = \frac{\frac{1}{2}g_m(3/3k \,\|\, 200k)}{\frac{3/3k}{2R_o + \frac{1}{g_m}}} = \frac{1}{2}g_m(2R_o + \frac{1}{g_m}) = \frac{1}{2} + g_m R_o$$

$$\Rightarrow CMRR = \frac{1}{2} + 3ms \times 200k \simeq 600 = 55/5dB$$

---

**۵۹ـ گزینه «۲»** ولتاژ گیت ـ سورس ترانزیستور $Q_3$ برابر صفر ولت می‌باشد پس جریان آن برابر با $I_{DSS}$ می‌باشد. جریان ترانزیستور $Q_3$ برابر $4mA$ است، بنابراین سهم جریان هر یک از ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ برابر $2mA$ است. پس خواهیم داشت:

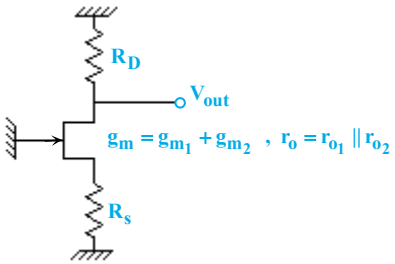
$$g_{m_{1,2}} = \frac{2}{|V_P|}\sqrt{I_D I_{DSS}} \Rightarrow g_{m_{1,2}} = \frac{2}{1}\sqrt{2mA \times 2mA} = 4ms$$

بهره ولتاژ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{V_{o_1} - V_{o_2}}{V_{i_1} - V_{i_2}} = -g_{m_1}(R_3 \,\|\, r_d) = -4ms(10k \,\|\, 40k) = -32$$

---

**۶۰ـ گزینه «۲»** ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ با هم موازی شده‌اند بنابراین می‌توان آن‌ها را با یک ترانزیستور معادل نمود که $g_m$ آن برابر با $g_{m_1} + g_{m_2}$ و $r_o$ آن برابر با $r_{o_1} \,\|\, r_{o_3}$ می‌باشد. بنابراین مدار را به شکل مقابل ساده می‌کنیم.




مقاومت خروجی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_{out} = R_D \,\|\, [r_o + (1 + g_m r_o)R_S] = R_D \,\|\, [(r_{o_1} \,\|\, r_{o_2}) + (1 + (g_{m_1} + g_{m_2})(r_{o_1} \,\|\, r_{o_2}))R_S]$$

$$\Rightarrow R_{out} = 16k \,\|\, [(10k \,\|\, 10k) + (1 + (1+1)(10k \,\|\, 10k))1k] = 8k$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

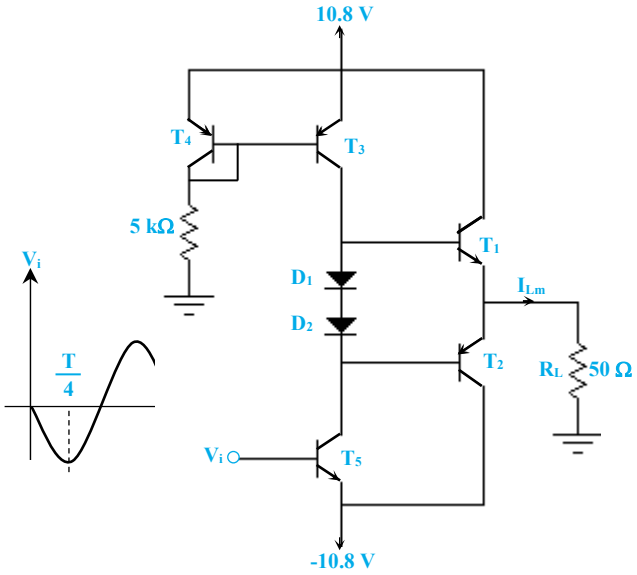


# فصل ششم
# تقویت‌کننده‌های توان

## تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل ششم

### درسنامه (۱): بررسی کلاس‌های مختلف تقویت‌کننده‌های توان

**۱ـ** در شکل زیر، ماکزیمم دامنه سیگنال ورودی مقداری است که بتواند ماکزیمم توان خروجی را در لحظه $\frac{T}{۴}$ در بار $R_L$ ظاهر کند، به طوری که مدار از حالت خطی خارج نشود. در این صورت کدام‌یک از عبارات زیر صحیح است؟ (سراسری ۷۵)




$|V_{BE}| = ۰/۶v$

$V_D = ۰/۶v$

$|V_{BE,sat}| = ۰/۷v$

$|V_{CE,sat}| < ۰/۸v$

$\beta = ۱۰۰$

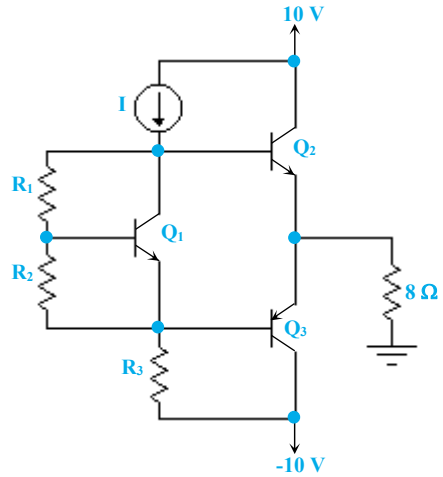
۱) $I_{Lm} = ۲۰۰mA$ ، $T_۱$ در حالت فعال و $T_۲$ در حالت قطع است.

۲) $I_{Lm} = ۱۹۸mA$ ، $T_۳$ در حالت فعال هستند.

۳) $I_{Lm} = ۲۰۰mA$ ، $T_۲$ و $T_۵$ در حالت قطع هستند.

۴) $I_{Lm} = ۱۸۸mA$ ، $T_۱$ و $T_۳$ در حالت فعال هستند.

**۲ـ** در تقویت‌کننده کلاس AB شکل زیر، در شرایطی که ولتاژ خروجی صفر است، می‌خواهیم جریان ترانزیستورهای $Q_۲$ و $Q_۳$ برابر ۱۰ mA باشد. $V_{CE}$ ترانزیستور $Q_۱$ کدام‌یک از مقادیر داده شده زیر است؟ (کلیه ترانزیستورها دارای $V_T = ۲۵mV$ ، $\eta = ۱$ و $h_{fe} = ۱۰۰$ هستند. $|V_{BE}|$ ترانزیستور $Q_۲$ و $Q_۳$ در $I_C = ۱۰۰mA$ برابر $۰/۸V$ است.) (سراسری ۷۶)




۱) ۱/۱۴v

۲) ۱/۴۸v

۳) ۱/۵۲v

۴) ۱/۵۸v

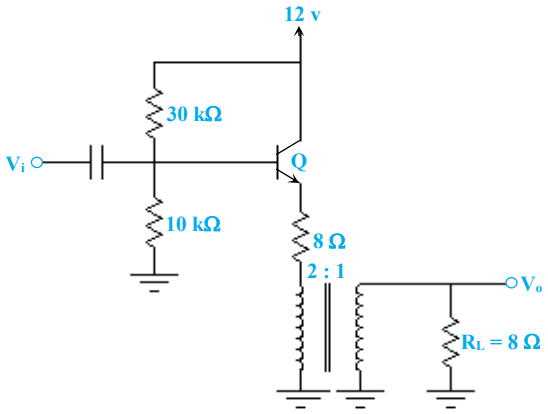
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۳ـ در مدار نشان داده شده در شکل، مشخصات ترانزیستور Q به قرار روبه‌رو است: $V_{CE}(sat) \approx 0$ و $\beta$ خیلی زیاد و $V_{BE} = 0/6\,V$

با فرض اینکه ترانسفورماتور ایده‌آل باشد، حداکثر توان تحویل شده به بار (در حالت ورودی سینوسی به مدار) کدام است؟ (سراسری ۷۷)




۱) ۲/۲۵W

۲) ۱/۴۴W

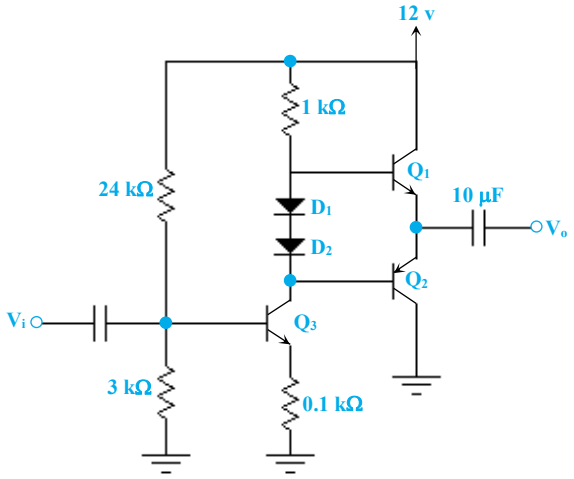
۳) ۰/۹۲W

۴) ۰/۳۶W

۴ـ در مدار نشان داده شده در شکل، مشخصات عناصر مدار به قرار زیر است:

$$Q_1, Q_2: \begin{cases} |V_{BE}| = 0/6\,v \\ |V_{CE(sat)}| = 0/5\,v \\ \beta = 100 \end{cases} \qquad Q_3: \begin{cases} V_{BE} = 0/6\,v \\ \beta = 100 \end{cases} \qquad D: V_D = 0/6\,v$$

یک اسیلوسکوپ با امپدانس ورودی $1M\Omega$ برای اندازه‌گیری سطح DC ولتاژ خروجی به نقطه $V_0$ متصل کرده و منبع تغذیه مدار را روشن می‌کنیم، کدام گزاره درست است؟ (سراسری ۷۷)




۱) در لحظهٔ اول $V_0 \approx 4V$ بوده و به تدریج $V_0$ به سمت صفر میل می‌کند.

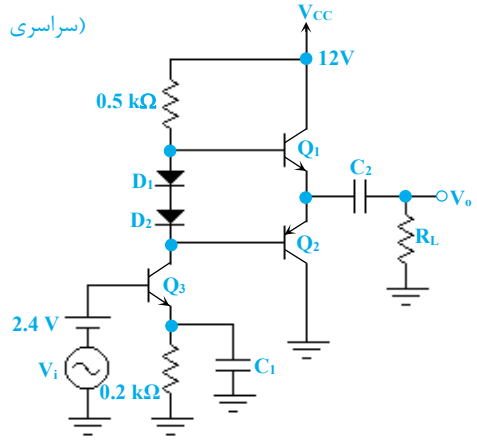
۲) در لحظهٔ اول $V_0 = 6V$ بوده و به تدریج $V_0$ به سمت صفر میل می‌کند.

۳) در لحظهٔ اول $V_0 = 6V$ بوده و به تدریج به سمت $V_0 \approx 4V$ میل می‌کند.

۴) در تمام لحظات $V_0 = 6V$ نشان داده می‌شود.

۵ـ در مدار نشان داده شده در شکل زیر با فرض اینکه ترانزیستورهای مدار دارای مشخصات یکسان زیر بوده باشند؛

$|V_{CE,sat}| = 0/3v$ , $|V_{BE}| = 0/6^v$ , $\beta = 49$ و دیودها دارای $V_D = 0/6v$، به ازای چه مقدار $R_L$ حداکثر دامنه خروجی بدون بریده شدن در نیم‌سیکل‌های مثبت و منفی برابر خواهند بود؟ (خازن‌های مدار بزرگ فرض می‌شوند.) (سراسری ۸۰)




۱) $\approx 7\Omega$

۲) $\approx 56\Omega$

۳) $\approx 140\Omega$

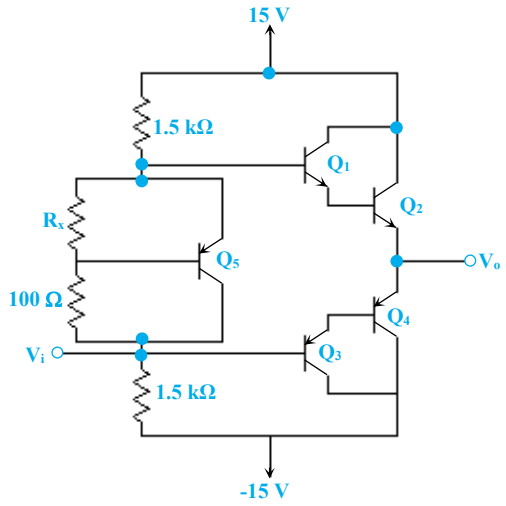
۴) به ازای هیچ مقداری از $R_L$ این دو دامنه یکسان نخواهند بود.

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۶ـ در تقویت‌کننده کلاس B شکل مقابل، مقدار مناسب $R_x$ برای عملکرد صحیح مدار به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ (سراسری ۸۱)



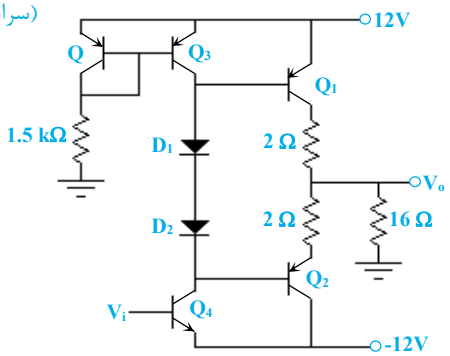

۱) $R_X = ۱۵۰\Omega$

۲) $R_X = ۱۰۰\Omega$

۳) $R_X = ۸۲\Omega$

۴) $R_X = ۳۳\Omega$

۷ـ در طبقه خروجی نشان داده شده در شکل زیر، فرض کنید که: $|V_{CE,sat}| = ۰/۵V$ ; $|V_{BE}| = ۰/۷\ V$ و $\beta_۳ = \beta_۴ = \beta_۵ = ۲۰۰$؛ $\beta_۱ = \beta_۲ = ۵۰$، اندازه حداکثر نوسان مثبت و منفی برابر است با: (سراسری ۸۲)



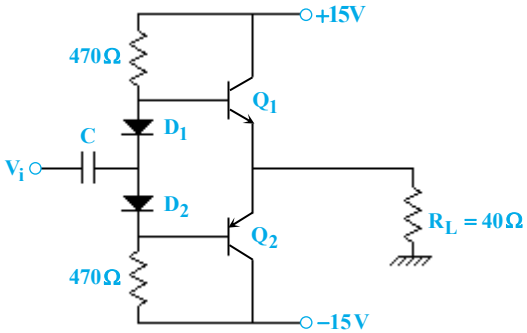

۱) $MS^- = ۱۰/۲۲v, MS^+ = ۹/۶v$

۲) $MS^- = ۶/۱۴v, MS^+ = ۹/۶v$

۳) $MS^- = ۹/۶v, MS^+ = ۱۰/۲۲v$

۴) $MS^- = ۹/۶v, MS^+ = ۶/۱۴v$

۸ـ در مدار شکل زیر، ترانزیستورها دارای $\beta = ۶۰$، $|V_{BE}| = ۰/۷v$ ، $V_{CE,sat} = ۱v$ هستند. ماکزیمم توان منتقل شده به بار $R_L$ برابر است با: (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳)



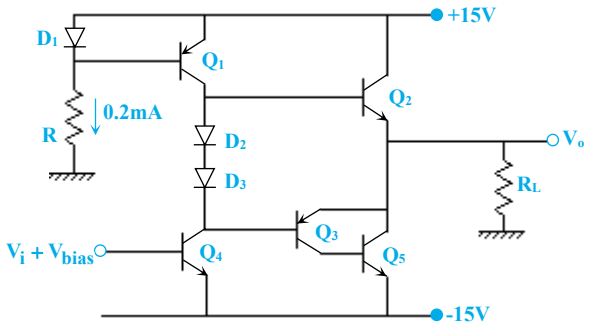

۱) ۱/۸ وات

۲) ۳/۶ اوت

۳) ۵/۶ وات

۴) ۲/۸ وات

۹ـ مقدار مناسب $R_L$ برای دسترسی به توان خروجی ماکزیمم و بدون اعوجاج کدام است؟ (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۳ و ۸۴)




$\beta_{NPN} = ۱۰۰$

$\beta_{NPN} = ۲۰$

$|V_{BE}| = ۰/۷v$

$|VCE,sat| = ۰/۳v$

۱) $۶۵۰\Omega$

۲) $۶۰۰\Omega$

۳) $۷۵۰\Omega$

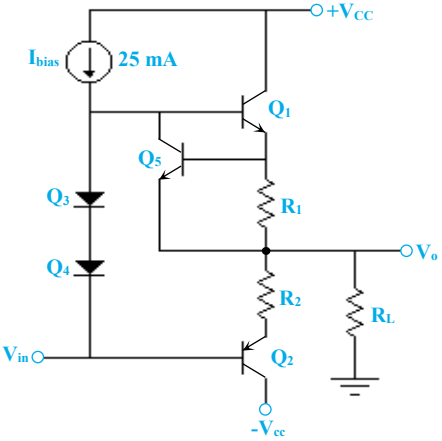
۴) $۷۰۰\Omega$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۰ـ در مدار شکل زیر وقتی که جریان خروجی ($I_{R_L}$) به ۲ A برسد، ترانزیستور Q۵ تقریباً تمام جریان $I_{bias} = ۲۵mA$ را از خود عبور می‌دهد. مقدار مقاومت $R_۱$ تقریباً برابر است با: $(V_{BE} \approx ۶۰ mV \log \frac{I_e}{I_s}, \beta \to \infty, I_s \approx ۲/۵ \times ۱۰^{-۱۴}\ A)$ (سراسری ۸۴)



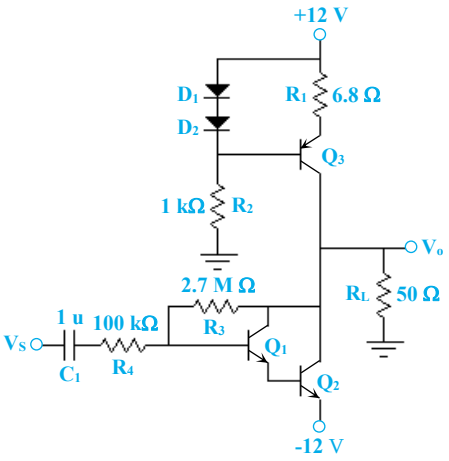

۱) $R_۱ = ۳۲۰ m\Omega$

۲) $R_۱ = ۳۶۰ m\Omega$

۳) $R_۱ = ۴۴۰ m\Omega$

۴) $R_۱ = ۴۶۰ m\Omega$

۱۱ـ با فرض اینکه $|V_{BE}| = ۰/۷v$ و $\beta_۱ = ۲۵۰, V_D \approx$ و $\beta_۲ = \beta_۳ = ۱۰۰$ و شکل موج خروجی یک سینوسی بریده نشده باشد، ماکزیمم توانی که به روی مقاومت بار ($R_L$) منتقل می‌شود حدوداً برابر است با: (سراسری ۸۴)



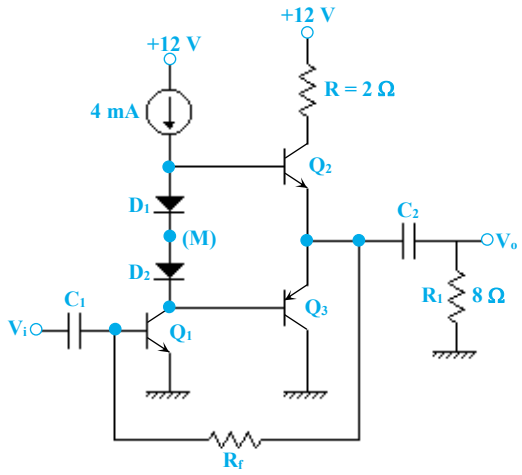

۱) ۲/۴w

۲) ۱/۲w

۳) ۰/۵w

۴) ۰/۲۵w

۱۲ـ در تقویت‌کنندهٔ قدرت ولتاژ DC نقطهٔ M برابر با ۶ ولت و همهٔ ترانزیستورها مشابه با مشخصات $|V_{BE(on)}| = ۰/۷v$، $V_D = ۰/۷$ و $|V_{CE,sat}| = ۰/۵$ و $\beta = ۱۰۰$ می‌باشند. حداکثر خروجی بدون اعوجاج ($V_{op-p}$) چقدر است؟ (سراسری ۸۴)



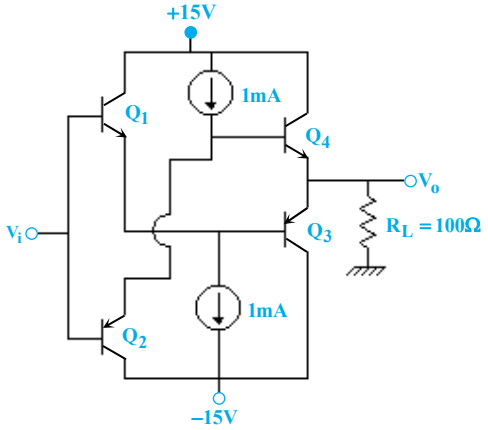

۱) ۶/۴

۲) ۸/۸

۳) ۶/۹

۴) ۱۲

۱۳ـ در مدار شکل زیر در صورتی که منابع جریان DC ایده‌آل بوده و $\beta_۳ = \beta_۴ = ۵۰$ و $\beta_۱ = \beta_۲ = ۱۰۰$ و $|V_{BE,on}| = ۰/۷v$ و $|V_{CE,sat}| = ۰/۲v$ باشند، حداکثر دامنهٔ نوسان متقارن بدون اعوجاج خروجی برابر است با: (مهندسی برق گرایش قدرت، مخابرات و کنترل ـ آزاد ۸۵)




۱) ۹/۳V

۲) ۹/۸V

۳) ۵V

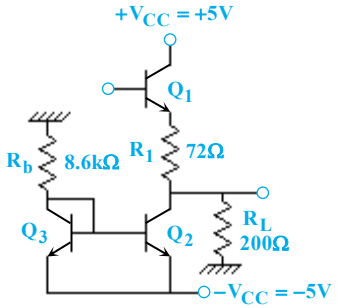
۴) صفر ولت

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۴ـ در مدار شکل مقابل مساحت پیوند بیس ـ امیتر ترانزیستورهای $Q_1, Q_2$ ۲۰ برابر مساحت پیوند بیس ـ امیتر ترانزیستور $Q_3$ است. حداکثر راندمان توان چقدر است؟ (مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۸۹)




$$\begin{cases}\beta \gg ۱\\ V_{CE,sat} = ۰/۲v\\ V_{BE,on} = ۰/۷v\\ A_{E_{۱,۲}} = ۲۰ A_{E_۳}\end{cases}$$

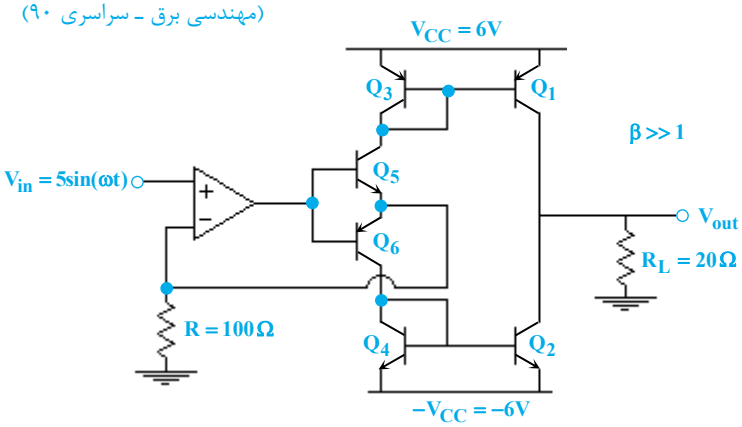
۱) ۱۰٪

۲) ۱۵٪

۳) ۱۸/۵٪

۴) ۲۲/۵٪

۱۵ـ در مدار شکل مقابل، دامنه متقارن ولتاژ خروجی $V_{out}$ به کدام گزینه (برحسب ولت) نزدیک‌تر است؟ (آپ امپ را ایده‌آل فرض کنید و مساحت پیوند بیس امیتر $Q_2$ و $Q_1$ چهار برابر $Q_3$ و $Q_4$ است) (مهندسی برق ـ سراسری ۹۰)



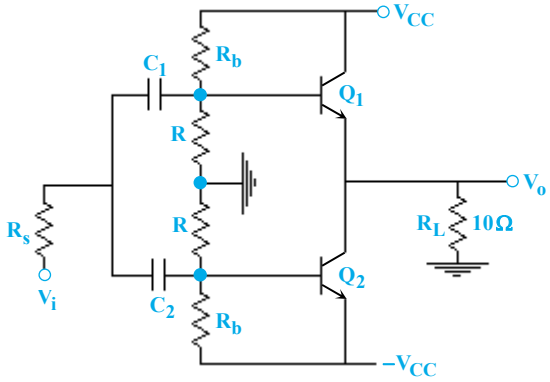

۱) ۱

۲) ۲

۳) ۴

۴) ۵

۱۶ـ در شکل زیر حداکثر توان تحویلی $(P_{L\,max})$ به مقاومت بار ۱۰ اهمی چند وات است؟ $(V_{CE,sat} = ۰/۵v, R_b >> R;\ V_i$ سینوسی فرض شود $;\pm V_{CC} = \pm ۱۰ v)$ (مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۹۰)




۱) ۳

۲) ۴

۳) ۴/۵

۴) ۵/۵

***درسنامه (۲): الزامات تبادلات حرارتی ترانزیستورهای قدرت در تقویت‌کننده‌های توان***

۱۷ـ ترانزیستوری در مدار ۳۰ وات مصرف دارد. اگر ماکزیمم حرارت قابل تحمل پیوندها $۱۷۵^\circ C$ و درجه حرارت محیط $۳۵^\circ C$ باشد و مقاومت حرارتی بین پیوند و پوشش فلزی ترانزیستور $۲\frac{^\circ C}{W}$ باشد، چه رادیاتوری برای چنین عنصری مناسب می‌باشد تا مانع افزایش بیش از حد حرارت اتصال گردد؟ (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳ و ۹۰)

۱) $۲/۶۷\frac{^\circ C}{W}$

۲) $۳/۴۳\frac{^\circ C}{W}$

۳) $۱/۷۸\frac{^\circ C}{W}$

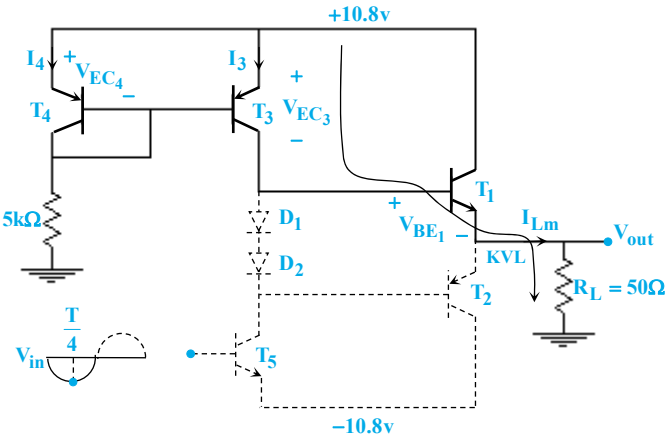
۴) $۴/۰۹\frac{^\circ C}{W}$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



## پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل ششم




**۱ـ گزینه «۴»** در نیم‌سیکل منفی ولتاژ ورودی در حالت حدی، ترانزیستور $T_5$ خاموش می‌شود و تمام جریان ترانزیستور $T_3$ وارد بیس ترانزیستور $T_1$ می‌گردد. با توجه به ترکیب ترانزیستورهای $T_1$ و $T_3$ امکان اشباع شدن $T_1$ زودتر از $T_3$ نیست، لذا با فرض جاری شدن تمام جریان به بیس $T_1$ وضعیت ترانزیستور $T_3$ را بررسی می‌کنیم.

$$I_4 = \frac{10/8 - V_{EB_4(on)}}{6} = 2/04\,mA$$

فرض می‌کنیم که جریان $I_3$ نیز برابر $2/04mA$ باشد؛ در این صورت برای ولتاژ امیتر ـ کلکتور ترانزیستور $T_3$ داریم:

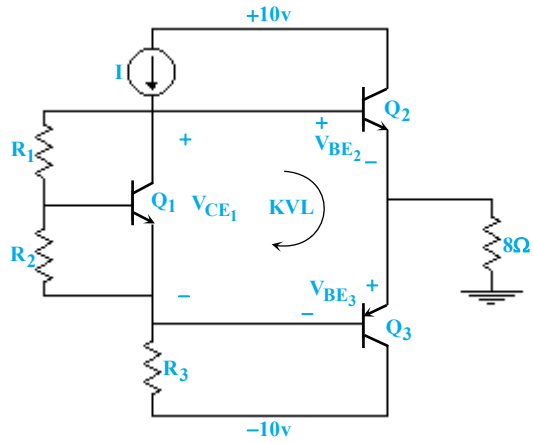
$$KVL: V_{EC_3} = 10/8 - (V_{BE_1} + \beta.I_4 \times 0/05) < |V_{CE,sat}|$$

پس $T_3$ وارد اشباع می‌شود و $V_{EC_3} = |V_{CE,sat}|$ می‌گردد؛ در این صورت حداکثر اندازه جریان بار در نیم‌سیکل مثبت برابر می‌شود با:

$$V_{E_1} = 10/8 - (|V_{CE,sat}| + V_{BE_1(on)}) = 9/4\,v$$

$$I_{Lm} = \frac{V_{E_1}}{R_L} = \frac{9/4}{50} = 188\,mA$$

**نکته تستی:** چون گزاره‌های دوم گزینه‌های ۱ و ۳ هر دو درست هستند پس هیچ‌یک از این دو گزینه درست نیستند و جواب درست ۲ یا ۴ است.




**۲ـ گزینه «۲»** با استفاده از قانون KVL در حلقه نشان داده شده در شکل، می‌توانیم به راحتی $V_{CE_1}$ را محاسبه کنیم.

$$KVL: V_{CE_1} = 2V_{BE(on)}\,|_{I_C = 100mA}$$

اما باید توجه کرد که مقدار ولتاپ بیس ـ امیتر ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ در جریان $100mA$ داده شده است، در حالی که جریان $Q_1$ و $Q_2$ در این مدار برابر $10mA$ می‌باشد. پس سعی می‌کنیم $V_{BE}$ را در جریان $10\,mA$ به دست آوریم:

$$I_C = 100mA \Rightarrow V_{BE} = \eta V_T \,Ln(\frac{100mA}{I_S}) \Rightarrow 0/8 = \eta V_T \,Ln(\frac{100mA}{I_S})$$

$$I_C = 10mA \Rightarrow V_{BE} = \eta V_T \,Ln(\frac{10\,mA}{I_S})$$

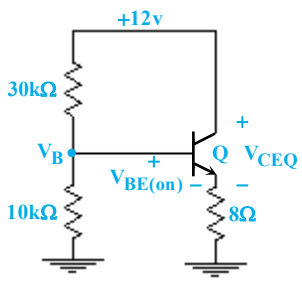
با تفریق دو رابطه فوق داریم:

$$0/8 - V_{BE}\,|_{I_C = 100mA} = \eta V_T \,Ln(\frac{100mA}{10\,mA}) \Rightarrow V_{BE}\,|_{I_C = 100mA} = 742\,mv$$

پس $V_{CE_1}$ برابر می‌شود با:

$$V_{CE_1} = 2V_{BE(on)}\,|_{I_C = 100mA} = 1/484\,v$$

**۳ـ گزینه «۳»** برای به دست آوردن حداکثر توان تحویلی به بار باید حداکثر سوئینگ متقارن ولتاژ خروجی را حساب کنیم. برای این منظور در ابتدا با استفاده از خط بار ac حداکثر دامنه متقارن جریان خروجی ترانزیستور را حساب می‌کنیم. برای به دست آوردن خط بار ac در ابتدا با کمک تحلیل DC نقطه کار مدار را به دست می‌آوریم و سپس با استفاده از مدار معادل ac خط بار ac را رسم می‌کنیم:




مدار معادل DC

$$\text{با صرف‌نظر از جریان بیس} \Rightarrow V_B = \frac{10}{10+30} = 12 = 3v$$

$$I_{CQ} = \frac{V_B - V_{BE(on)}}{8\Omega} = 300\,mA$$

$$V_{CEQ} = 12 - 8I_{CQ} = 9/6\,v$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



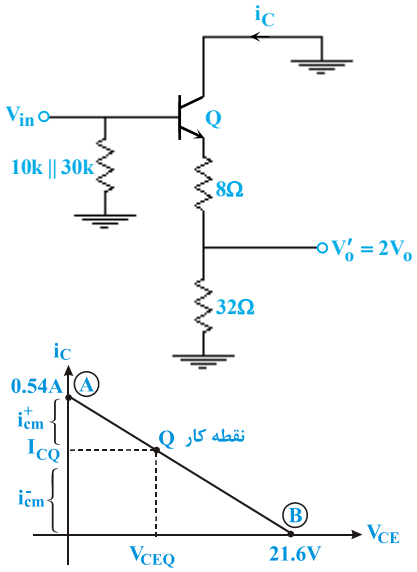
در مرحله بعد با کمک مدار معادل ac داریم:

$$V_{ce} = -R_{ac}.i_C = -۴۰\,i_C \Rightarrow R_{ac} = +۴۰\,\Omega$$

با انتقال خط بار ac از نقطه کار به مبدأ مختصات داریم:

$$(i_C - I_{CQ}) = -\frac{۱}{R_{ac}}(V_{ce} - V_{CEQ})$$

$$\boxed{i_C = -\frac{V_{ce}}{۴۰} + ۰/۵۴}$$







دامنه سوئینگ نیم‌سیکل مثبت و منفی جریان کلکتور برابر است با:

$$\begin{cases} i_{cm}^{-} = I_{CQ} = ۰/۳\,A \\ i_{cm}^{+} = \dfrac{V_{CEQ} - V_{CE,sat}}{R_{ac}} = ۰/۲۴A \end{cases}$$

پس حداکثر سوئینگ متقارن جریان کلکتور با استفاده از خط بار ac برابر می‌شود با:

$$i_{cm} = \min(i_{cm}^{+}, i_{cm}^{-}) = ۰/۲۴A$$

با توجه به مدار معادل ac رابطه ولتاژ و جریان خروجی برابر است با:

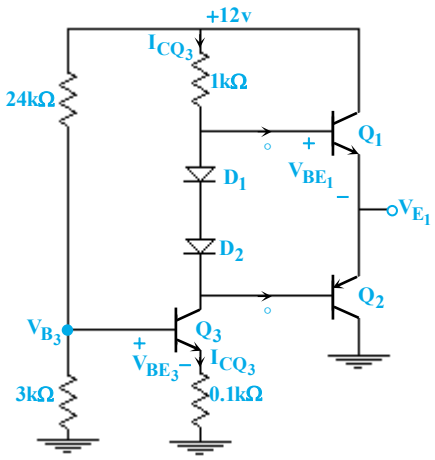
$$V_o' = ۳۲ \times i_C \xrightarrow{V_o' = ۲V_o} V_o = ۱۶ i_C \Rightarrow V_{om} = ۱۶ \times i_{cm} = ۳/۸۴\,v$$

لذا حداکثر توان رسیده به بار (حالتی که شکل موج خروجی به صورت $V_o(t) = ۳/۸۴ \sin \omega_۰ t$ باشد) برابر است با:

$$P_{o,max} = \frac{V_{om}^{۲}}{۲R_L} = \frac{(۳/۸۴)^{۲}}{۲ \times ۸} = ۰/۹۲۱۶\,watt$$

---

**۴ـ گزینه «۱»** ابتدا با کمک تحلیل DC جریان شاخه دیودها را به دست می‌آوریم (از جریان بیس $Q_۱$ و $Q_۲$ صرف‌نظر می‌کنیم).




$$V_{B_۳} = \frac{۳}{۳ + ۲۴} = ۱۲v = ۱/۳۳\,v$$

$$I_{CQ_۳} = \frac{V_{B_۳} - V_{BE_۳}}{۰/۱k\Omega} = ۷/۳\,mA$$

در نتیجه ولتاژ امیتر $Q_۱$ برابر می‌شود با:

$$V_{E_۱} = ۱۲ - ۱k\Omega \times I_{CQ_۳} - V_{BE_۱} \simeq ۴\,v$$

اما چون قرائت ما با اسیلسکوپ همراه با مقاومت و خازن می‌باشد، به تدریج خازن اسیلسکوپ به مقدار ۴ ولت شارژ می‌شود و سر اُسیلسکوپ که به صفحه‌ی منفی خازن متصل است به ولتاژ صفر میل می‌کند.

**۵ـ گزینه «۳»** در حالت DC خازن خروجی اتصال باز می‌شود و مقدار DC خروجی صفر می‌باشد. حال باید با کمک تحلیل DC ولتاژ امیتر $Q_۱$ و $Q_۲$ را به دست آوریم تا مقدار شارژ ذخیره شده در خازن را حساب کنیم.

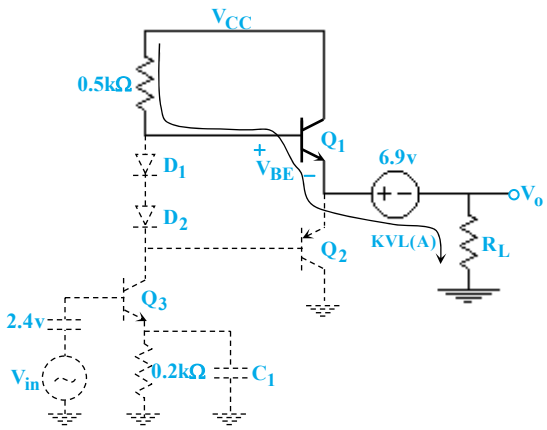
$$I_{CQ_۳} = \frac{۲/۴ - V_{BE(on)}}{۰/۲k\Omega} = ۹\,mA \Rightarrow V_{E_۱} = V_{CC} - ۰/۵ I_{CQ_۳} - V_{BE_۱} = ۶/۹v$$

پس خازن در نیم‌سیکل مثبت به اندازه ۶/۹ ولت شارژ می‌شود و در نیم‌سیکل منفی به جای $-V_{CC}$ عمل می‌کند. اگر در نیم‌سیکل منفی اندازه ورودی را زیاد کنیم $Q_۱$ قطع می‌شود و اگر دامنه ورودی را در نیم‌سیکل مثبت زیاد کنیم، $Q_۳$ وارد اشباع می‌شود. در این دو حالت حدی مدار به صورت زیر تبدیل می‌شود:

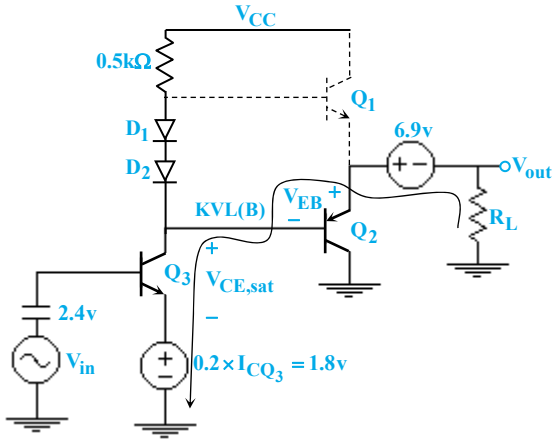
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir






(I): حالت حدی نیم‌سیکل مثبت ولتاژ خروجی




(II): حالت حدی نیم‌سیکل منفی ولتاژ خروجی

(I) : در این حالت با نوشتن KVL در حلقه (A) حداکثر ولتاژ خروجی را می‌توانیم حساب کنیم:

$$V_{o,max} = R_L \times \frac{۱۲ - ۶/۹ - ۰/۶}{R_L + \frac{۵۰۰\Omega}{۵۰}} = \frac{۴/۵R_L}{R_L + ۱۰}$$

(II): در این حالت نیز با نوشتن KVL در حلقه (B) حداقل ولتاژ خروجی را می‌توانیم حساب کنیم:

$$V_{o,min} = ۱/۸ + ۰/۳ + ۰/۶ - ۶/۹ = -۴/۲v$$

با مساوی قرار دادن دو مقدار $V_{o,min}$ و $V_{o,max}$ داریم:

$$\frac{۴/۵R_L}{R_L + ۱۰} = ۴/۲ \Rightarrow \boxed{R_L = ۱۴۰\Omega}$$

---

**۶ـ گزینه «۴»** برای عملکرد صحیح مدار باید ولتاژ کلکتور ـ امیتر ترانزیستور $Q_۵$ برابر $۴V_{BE(on)}$ باشد. ولتاژ کلکتور ـ امیتر ترانزیستور $Q_۵$ را با استفاده از ضرب‌کننده $V_{BE}$ می‌توانیم به صورت زیر بیان کنیم:

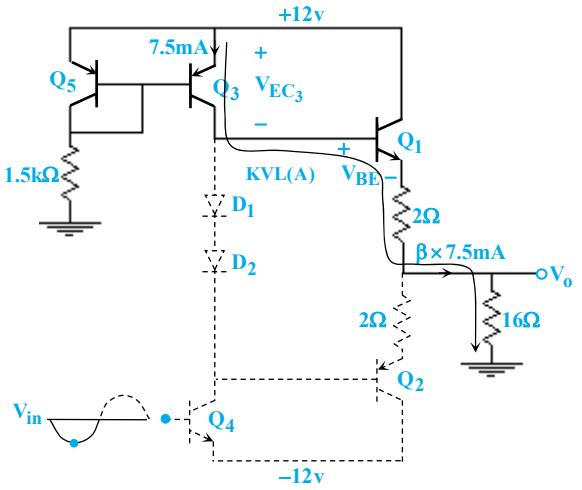
$$(۱ + \frac{۱۰۰}{R_x}).|V_{EB_۵}| = ۴V_{BE} \Rightarrow ۱ + \frac{۱۰۰}{R_x} = ۴ \Rightarrow \boxed{R_x = ۳۳\Omega}$$

---

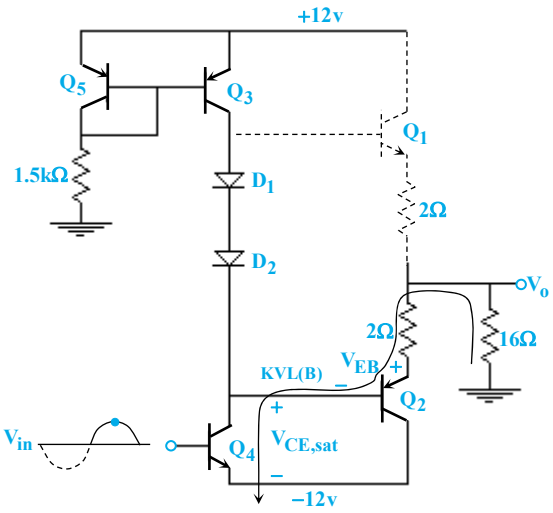
**۷ـ گزینه «۴»** در این تقویت‌کننده ترانزیستور $Q_۳$ مانند یک منبع جریان عمل می‌کند، لذا ابتدا با کمک تحلیل DC میزان جریان ترانزیستور را حساب می‌کنیم:

$$I_{CQ_۳} = \frac{۱۲ - |V_{BE(on)}|}{۱/۵k\Omega} = ۷/۵mA$$

سپس با ورودی همراه می‌شویم؛ اگر در نیم‌سیکل منفی اندازه ورودی را زیاد کنیم، $Q_۴$ قطع می‌شود و اگر دامنه ورودی را در نیم‌سیکل مثبت زیاد کنیم، $Q_۴$ وارد اشباع می‌شود. در این دو حالت حدی مدار به صورت زیر تبدیل می‌شود:




(I): حالت حدی نیم‌سیکل مثبت ولتاژ خروجی




(II): حالت حدی نیم‌سیکل منفی ولتاژ خروجی

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



(I): در این حالت فرض می‌کنیم با خاموش شدن دیودها تمام جریان $Q_۳$ وارد بیس $Q_۱$ شود، با این فرض وضعیت $Q_۳$ را بررسی می‌کنیم (می‌دانیم که $Q_۱$ نمی‌تواند زودتر از $Q_۳$ وارد اشباع شود).

$$KVL@(A): V_{EC_۳} = ۱۲ - (V_{BE(on)} + ۱۸ \times ۵۱ \times \frac{۷/۵mA}{۱۰۰۰}) > |V_{CE,sat}|$$

پس منبع جریان وارد اشباع نمی‌شود و لذا حداکثر ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل مثبت برابر می‌شود با:

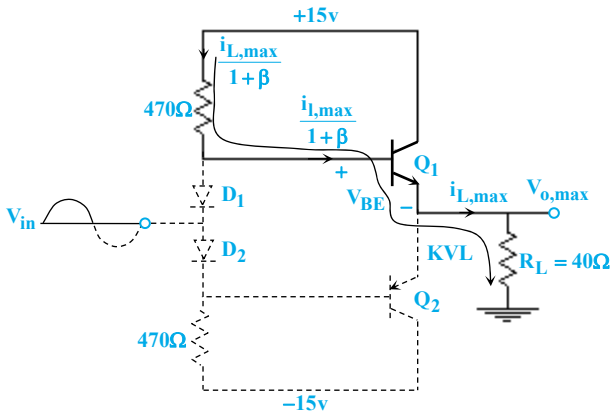
$$V_{om}^{+} = ۱۶ \times \frac{۷/۵mA}{۱۰۰۰} \times (۵۰+۱) = ۶/۱۲v$$

(II): در این حالت $Q_۴$ وارد اشباع می‌شود و با استفاده از تقسیم مقاومتی می‌توانیم حداقل ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل منفی را به دست آوریم:

$$V_{om}^{-} = (-۱۲ + V_{CE,sat} + |V_{EB(on)}|) \times \frac{۱۶}{۱۶+۲} = -۹/۶v$$

---

**۸ـ گزینه «۱»** برای به دست آوردن حداکثر توان رسیده به بار باید حداکثر سوئینگ ولتاژ و جریان خروجی را حساب کنیم. با توجه به تقارن مدار کافی است آن را تنها در یک نیم‌سیکل بررسی کنیم. در نیم‌سیکل مثبت خروجی داریم:



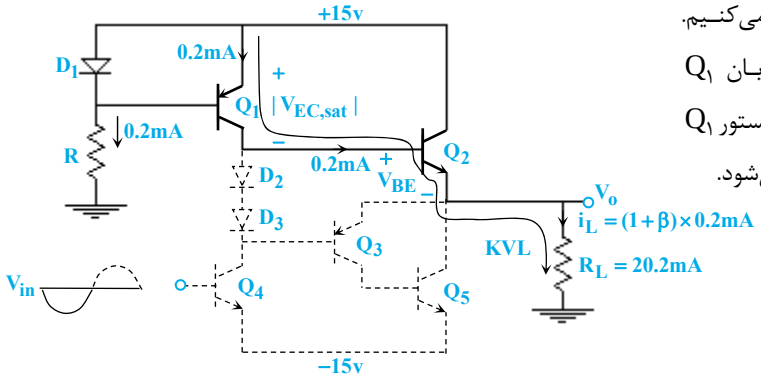

$$KVL: ۴۷۰(\frac{i_{L,max}}{۱+\beta}) + V_{BE} + ۴۰(i_{L,max}) \Rightarrow i_{L,max} = ۳۰۰mA$$

$$\Rightarrow V_{o,max} = ۰/۳ \times ۴۰ = ۱۲v$$

دقت شود که با افزایش ولتاژ خروجی تا ۱۲ ولت $Q_۱$ وارد اشباع نمی‌شود. در نتیجه توان رسیده به بار برابر است با:

$$P_{o,max} = \frac{V_{om}^{۲}}{۲R_L} = \frac{(۱۲)^{۲}}{۸۰} = ۱/۸ watt$$

**۹ـ گزینه «۴»** به علت تقارن مدار را تنها در یک نیم‌سیکل بررسی می‌کنیم. در نیم‌سیکل مثبت ولتاژ خروجی $Q_۴$ خاموش می‌شود و تمام جریان $Q_۱$ وارد بیس $Q_۲$ می‌شود، اما بار بهینه باری است که باعث شود ترانزیستور $Q_۱$ در مرز اشباع قرار گیرد. مدار در نیم‌سیکل مثبت به صورت مقابل می‌شود.




$$KVL: ۱۵ = |V_{EC,sat}| + V_{BE(on)} + R_L \times (۲۰/۲mA)$$

$$\Rightarrow R_L = ۷۰۰\Omega$$

---

**۱۰ـ گزینه «۲»** در این تقویت‌کننده پوش ـ پول در واقع ترانزیستور $Q_۵$ نقش محدودکننده جریان را دارد. در صورتی که بخواهیم در جریان ۲A محدودکننده جریان فعال شود، ابتدا باید ولتاژ بیس ـ امیتر در جریان ۲۵mA را برای ترانزیستور $Q_۵$ حساب کنیم:

$$V_{BE_۵}|_{I_C = ۲۵mA} = ۶۰mv \times \log(\frac{۲۵ \times ۱۰^{-۳}}{۲/۵ \times ۱۰^{-۱۴}}) = ۷۲۰mv$$

پس مقاومت $R_۱$ برای آنکه در جریان ۲A افت ولتاژی به اندازه ۷۲۰mv ایجاد کند برابر است با:

$$R_۱ = \frac{V_{BE_۵}}{۲A} = ۳۶۰m\Omega$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۱۱ـ گزینه «۴»** در این تقویت‌کننده ترانزیستور $Q_3$ مثل یک منبع جریان عمل می‌کند، با استفاده از قانون KVL در حلقه شامل پیوند بیس ـ امیتر $Q_3$ می‌توانیم جریان $Q_3$ را جساب کنیم:

$$I_{CQ_3}=\frac{2V_D-V_{BE(on)}}{6/8\Omega}\simeq 100mA$$

در صورتی که ولتاژ ورودی تا جایی کاهش یابد که $Q_1$ و در نتیجه $Q_2$ خاموش شوند، تمام جریان منبع جریان وارد بار می‌شود و لذا حداکثر ولتاژ خروجی برابر با $V_{om}^{+}=100mA\times 0/05k\Omega=5v$ می‌شود. اگر ورودی افزایش یابد در جایی $Q_1$ وارد اشباع می‌شود و لذا حداقل مقدار ولتاژ خروجی برابر می‌شود با:

$$V_{o,min}=-12+V_{BE_2}+V_{CE,sat}=-11/1v$$

پس حداکثر دامنه سینوسی ولتاژ خروجی برابر با ۵ ولت می‌شود و لذا حداکثر توان رسیده به بار برابر می‌شود با: $P_{o,max}=\frac{V_{om}^2}{2R_L}=\frac{25}{100}=0/25w$

---

**۱۲ـ گزینه «۱»** در صورتی که ولتاژ DC نقطه M برابر ۶ ولت باشد، ولتاژ DC امیتر ترانزیستورهای $Q_2$ و $Q_3$ نیز برابر ۶ ولت می‌شود و لذا خازن $C_2$ با مقدار ۶ ولت شارژ می‌شود و در نیم‌سیکل منفی ولتاژ خروجی نقش منبع تغذیه $-V_{CC}$ را بازی می‌کند. اگر ولتاژ ورودی تا جایی کاهش یابد که $Q_1$ قطع شود، در این صورت تمام جریان 4mA وارد بیس $Q_2$ می‌شود و ولتاژ خروجی به حداکثر مقدار خود $V_{om}^{+}=8\times 4mA\times\beta=3/2v$ در نیم‌سیکل مثبت می‌رسد. در این حالت ترانزیستور $Q_2$ وارد اشباع نمی‌شود (با استفاده از قانون KVL مقدار $V_{CE_2}$ را حساب کنید) و لذا جواب حداکثر ولتاژ در نیم‌سیکل مثبت درست می‌باشد.

حال اگر ورودی افزایش یابد تا جایی که $Q_1$ اشباع شود، حداقل ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل منفی برابر با $V_{om}^{-}=-6+0/7+0/5=4/8v$ می‌شود. در مجموع می‌توان گفت حداکثر دامنه ولتاژ خروجی برای داشتن یک شکل موج سینوسی بدون برش برابر با ۳/۲ ولت می‌باشد. البته در سؤال مقدار پیک تا پیک خواسته شده که جواب $2\times 3/2=6/4v$ می‌باشد.

**نکته:** فقط با بررسی محدودیت جریان‌دهی بیس ترانزیستور $Q_2$ می‌توان گزینه ۶/۴ را انتخاب کرد چرا که کوچک‌ترین عدد است.

---

**۱۳ـ گزینه «۳»** در نیم‌سیکل مثبت ولتاژ خروجی ترانزیستورهای $Q_2$ و $Q_4$ و در نیم‌سیکل منفی ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_3$ روشن هستند. با توجه به تقارن، مقدار سوئینگ ولتاژ در هر دو نیم‌سیکل با هم برابر است. اگر در نیم سیکل مثبت مدار را در نظر بگیریم، جریان 1mA وارد بیس $Q_4$ می‌شود و در نتیجه جریان خروجی برابر با 50 mA می‌شود و لذا حداکثر دامنه نوسان بدون اعوجاج برابر است با:

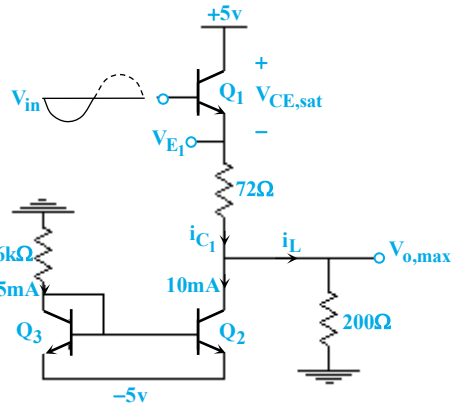
$$V_{om}=0/1k\Omega\times 50mA=5v$$

---

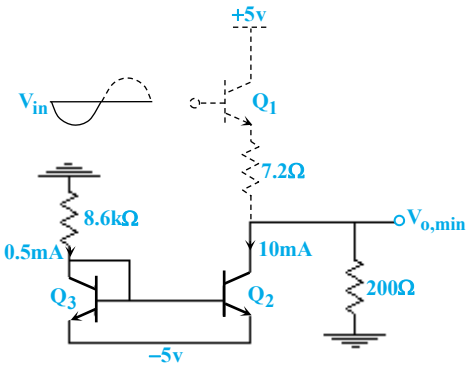
**۱۴ـ گزینه «۱»** فرض می‌کنیم سطح DC ورودی به گونه‌ای باشد که سطح DC خروجی صفر باشد. ترانزیستورهای $Q_2$ و $Q_3$ در حالت DC یک منبع جریان هستند، مقدار این جریان برابر است با:

$$I_{CQ_3}=\frac{0-(V_{BE(on)}-5)}{8/6}=0/5mA\xrightarrow{AE_2=20AE_3}I_{CQ_2}=10mA$$

برای محاسبه حداکثر راندمان ابتدا حداکثر سوئینگ متقارن خروجی و سپس توان کشیده شده از منبع تغذیه را به دست می‌آوریم. برای محاسبه حداکثر سوئینگ مدار را در دو حالت حدی نیم‌سیکل مثبت و منفی خروجی بررسی می‌کنیم:




**(I): حالت حدی نیم‌سیکل مثبت خروجی**




**(II): حالت حدی نیم‌سیکل منفی خروجی**

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



(I): در این حالت با افزایش ورودی $Q_1$ وارد مرز اشباع می‌شود و در نتیجه $V_{E_1} = ۴/۸\,v$ می‌شود. با استفاده از قانون KCL در گره خروجی می‌توانیم حداکثر مقدار ولتاژ خروجی را حساب کنیم:

$$KCL: \frac{V_{E_1} - V_{o,max}}{۷۲} = ۱۰\,mA + \frac{V_{o,max}}{۲۰۰} \Rightarrow V_{o,max} = ۳\,v$$

(II): در این حالت با کاهش ورودی در نهایت $Q_1$ قطع می‌شود و در حالت حدی تمام جریان $۱۰\,mA$ به بار تزریق می‌شود. دقت شود همیشه باید در این حالت وضعیت $Q_2$ (منبع جریان) را نیز بررسی کنیم (در این سؤال با عبور جریان $۱۰\,mA$، $Q_2$ وارد اشباع نمی‌شود).

$$V_{o,min} = -۲v$$

پس حداکثر دامنه متقارن خروجی برابر با $V_{om} = \min(V_{om}^+, V_{om}^-) = ۲v$ می‌شود؛ یعنی ولتاژ و جریان خروجی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$V_o(t) = ۲\sin\omega_۰ t \rightarrow i_L(t) = ۱۰\,mA\sin\omega_۰ t$$

پس توان تحویل داده شده به بار برابر می‌شود با:

$$P_{o,max} = \frac{V_{om}^۲}{۲R_L} = ۱۰\,mw$$

با توجه به جریان بار، جریان $Q_1$ نیز برابر با $i_{C_1}(t) = ۱۰\,mA + ۱۰\,mA.\sin(\omega_۰ t)$ می‌شود. کل توان لحظه‌ای کشیده شده از منابع تغذیه برابر است با:

$$P_S(t) = ۵(۱۰\,mA + ۱۰\,mA.\sin\omega_۰ t) + (-۵)\times(-۱۰\,mA - ۰/۵mA)$$

مقدار متوسط توان دریافتی از منابع تغذیه نیز برابر می‌شود با:

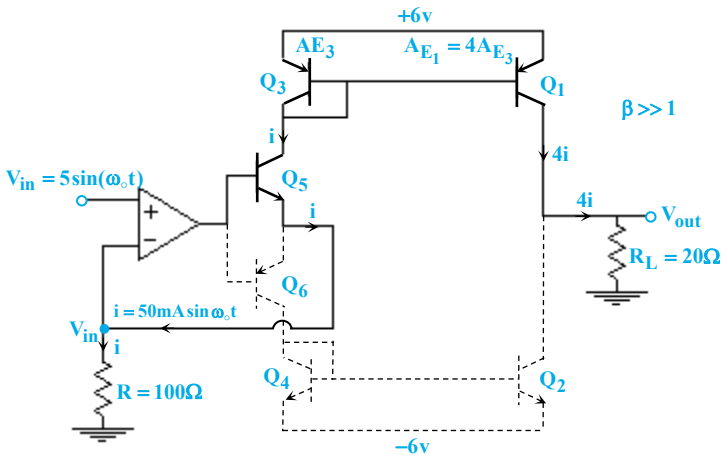
$$\overline{P_S}(t) = ۱۰۲/۵mw$$

در نتیجه بازده حداکثر برابر است با:

$$\eta_{max} = \frac{P_{o,max}}{\overline{P_S}(t)} \times ۱۰۰ = \frac{۱۰\,mw}{۱۰۲/۵mw} \times ۱۰۰ \simeq \%۱۰$$

---

**۱۵ـ گزینه «۳»** با توجه به تقارن موجود در مدار، تقویت‌کننده را تنها در یک نیم‌سیکل بررسی می‌کنیم. وضعیت مدار در یک نیم‌سیکل به صورت مقابل می‌باشد. با توجه به فیدبک منفی ولتاژ پایه‌های آپ امپ برابر خواهند بود و لذا جریان i مطابق شکل در شاخه‌ها جاری می‌شود.




$$V_{out} = ۰/۰۲k\Omega \times ۲۰۰mA\sin\omega_۰ t = ۴v\sin\omega_۰ t$$

لذا دامنه ولتاژ خروجی چهار ولت می‌باشد.

---

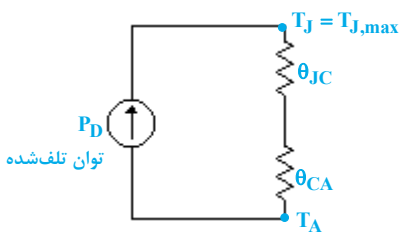
**۱۶ـ گزینه «۳»** برای به دست آوردن حداکثر توان بار باید حداکثر سوئینگ متقارن خروجی را حساب کنیم. در این سؤال عامل محدودکننده بالا و پایین هر دو اشباع ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ می‌باشد. پس $V_{om} = V_{CC} - V_{CE,sat} = ۹/۵\,v$ حداکثر دامنه بدون اعوجاج خروجی می‌شود و در نتیجه توان بار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_{o,max} = \frac{V_{om}^۲}{۲R_L} = \frac{۹/۵\times۹/۵}{۲\times۱۰} \simeq ۴/۵\,watt$$

---

***درسنامه (۲): الزامات تبادلات حرارتی ترانزیستورهای قدرت در تقویت‌کننده‌های توان***

**۱۷ـ گزینه «۱»** مدار معادل دمایی این ترانزیستور به‌صورت مقابل می‌باشد. اگر فرض کنیم $T_J$ (دمای پیوند) در بدترین حالت به مقدار ماکزیمم حرارت قابل تحمل پیوند $(T_{J,max})$ برسد، داریم:




$$\frac{T_{J,max} - T_A}{(\theta_{JC} + \theta_{CA})} = P_D \Rightarrow ۳۰ = \frac{۱۷۵ - ۳۵}{۲ + \theta_{CA}}$$

$$\Rightarrow \theta_{CA} = \frac{۸}{۳} = ۲/۶۷\frac{°C}{W}$$

www.modaresanesharif.ac.ir

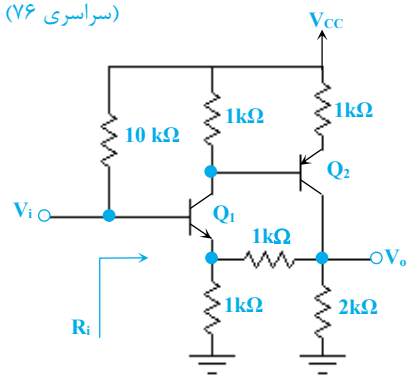
www.modaresanesharif.ac.ir



# فصل هفتم
# فیدبک منفی در تقویت‌کننده‌ها

## تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل هفتم

۱ـ مقاومت ورودی $R_i$ تقویت‌کننده زیر به کدام گزینه نزدیکتر است؟ $h_{fe} = ۵۰$ و $h_{ie} = ۱k\Omega$ (سراسری ۷۶)



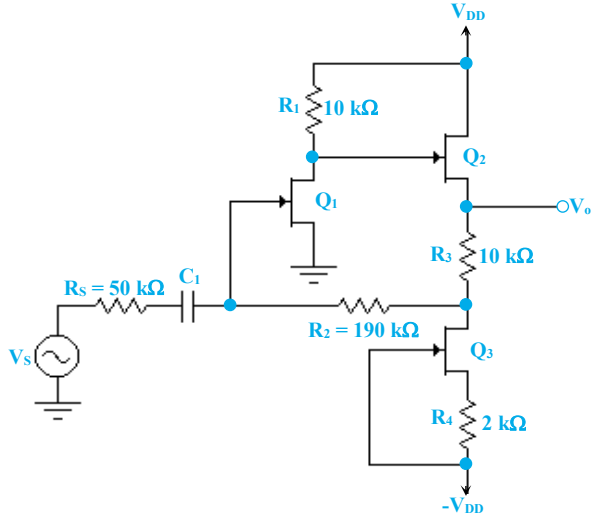

۱) ۷/۵ kΩ

۲) ۸/۴ kΩ

۳) ۹/۱ kΩ

۴) ۱۴/۵ kΩ

۲ـ با فرض $r_d = \infty$ و $g_m = ۱\frac{mA}{V}$ برای JFET های مدار، درجه تقویت $\left|\frac{V_o}{I_s}\right|$ مدار برابر است با: $(I_s \triangleq \frac{V_s}{R_s})$ (سراسری ۷۷)



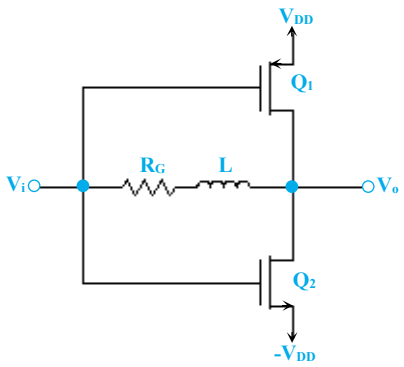

۱) ۱۳۳

۲) ۲۸۵

۳) ۱۵۲۰

۴) ۶۴۶۰

۳ـ با فرض اینکه $Q_1, Q_2$ در ناحیه فعال بایاس شده باشند، کدام عبارت درست است؟ ( $R_i(\circ)$ و $R_o(\circ)$ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی امپدانس‌های ورودی و خروجی مدار در فرکانس dc و $R_i(\infty)$ و $R_o(\infty)$ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی امپدانس‌های ورودی و خروجی در فرکانس‌های خیلی زیاد هستند.) (سراسری ۷۸)




۱) $R_i(\circ) > R_i(\infty)$ و $R_o(\circ) > R_o(\infty)$

۲) $R_i(\circ) < R_i(\infty)$ و $R_o(\circ) > R_o(\infty)$

۳) $R_i(\circ) < R_i(\infty)$ و $R_o(\circ) < R_o(\infty)$

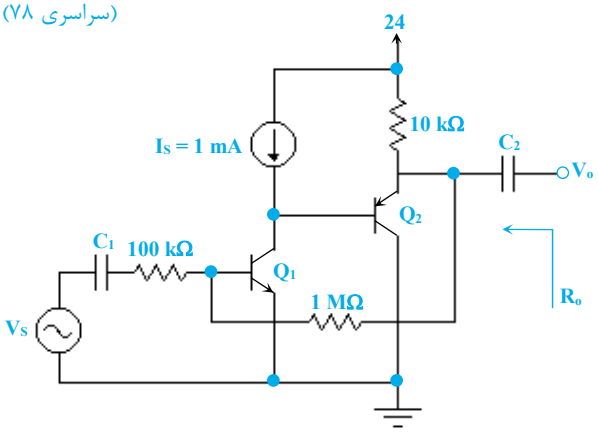
۴) $R_i(\circ) > R_i(\infty)$ و $R_o(\circ) < R_o(\infty)$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۴ـ در مدار مقابل مشخصات ترانزیستورها: $h_{oe} = \frac{۱}{r_o} = ۰$ ، $V_T = ۲۵mV$ و $|V_{BE}| = ۰/۶V$ ، $h_{fe} = \beta = ۱۰۰$ فرض می‌شوند. مقاومت خروجی تقویت کننده $(R_o)$ در فرکانس‌های میانی، به کدام مقدار نزدیکتر است؟ (سراسری ۷۸)



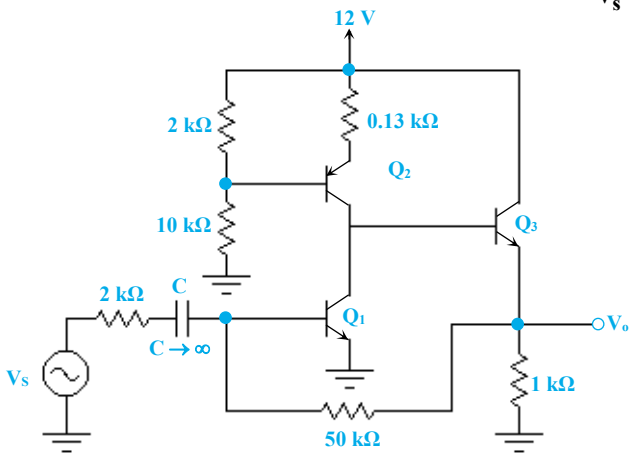

۱) $۱۰kΩ$

۲) $۲۰Ω$

۳) $۲۵Ω$

۴) $۱۰۰Ω$

۵ـ در تقویت‌کننده شکل مقابل، برای هر دو ترانزیستور $h_{fe} = ۱۰۰$ ، $h_{ie} = ۱k$ ، $A_v = \frac{V_o}{V_s}$ به کدامیک از اعداد زیر نزدیکتر است؟ (سراسری ۷۹)



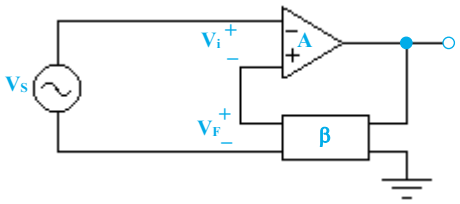

۱) $-۱۰۰$

۲) $-۵۰$

۳) $-۲۵$

۴) $-\frac{۵۰}{۳}$

۶ـ در تقویت‌کننده پسخوردی (فیدبک‌دار) زیر اگر $A$ دو برابر شود، کدام گزینه درست‌تر است؟ $(\beta A_v >> ۱)$ (سراسری ۷۹)



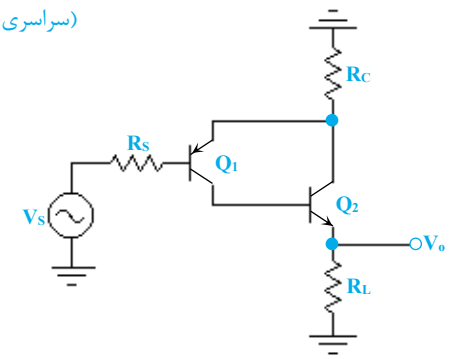

۱) $V_o$ دو برابر می‌شود.

۲) $V_i$ نصف می‌شود.

۳) $V_f$ دو برابر می‌شود.

۴) $V_f$ نصف می‌شود.

۷ـ توپولوژی پسخورد (فیدبک) موجود در مدار زیر را تشخیص دهید و بر مبنای آن $\beta$ شبکه پسخورد را مشخص کنید. (فقط مدار ac رسم شده است) (سراسری ۸۰)




۱) $-R_C$

۲) $-\frac{۱}{R_C}$

۳) $-\frac{R_C}{R_L}$

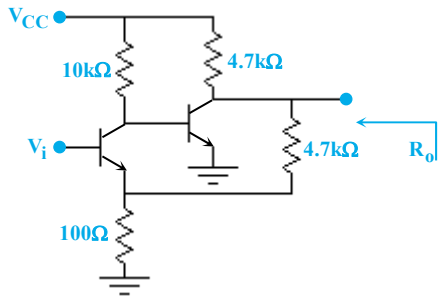
۴) $-\frac{R_C}{R_C + R_L}$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۸ـ مقاومت خروجی مدار مقابل برابر است با:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)



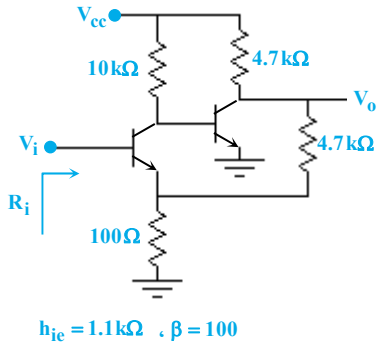

۱) ۲۶۰Ω

۲) ۲/۳۵KΩ

۳) ۱۳۰Ω

۴) ۴/۸KΩ

**۹ـ در مدار مقابل $R_i$ برابر است با:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۲)




$h_{ie} = 1.1k\Omega$ ، $\beta = 100$

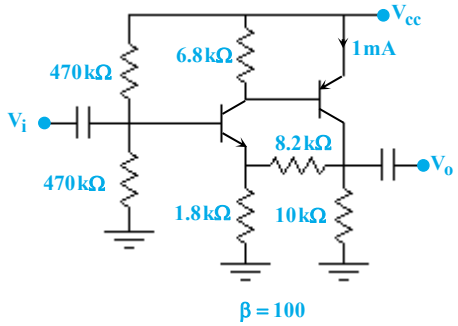
۱) ۲۲۵kΩ

۲) ۱۱/۱kΩ

۳) ۴۵۰kΩ

۴) ۱۰kΩ

**۱۰ـ ضریب تقویت ولتاژ در مدار مقابل برابر است با:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۲)




$\beta = 100$

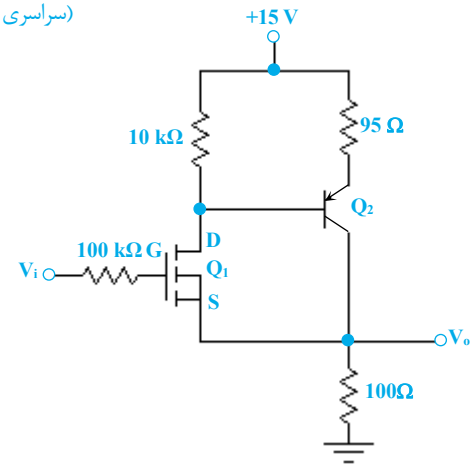
۱) ۲۰۰

۲) ۲۰

۳) ۵۴

۴) ۵/۴

**۱۱ـ برای مدار مقابل بهره ولتاژ و مقاومت خروجی تقریباً برابر است با: $g_{m1} = 2mA/V$ ، $r_{e_2} = 5\Omega$ و $h_{fe} = \beta = 100$ فرض شوند:** (سراسری ۸۳)




۱) ۹Ω,۰/۹

۲) ۱۰۰Ω,۱

۳) ۹Ω,۰/۸

۴) ۱۰۰Ω,۱/۰۵

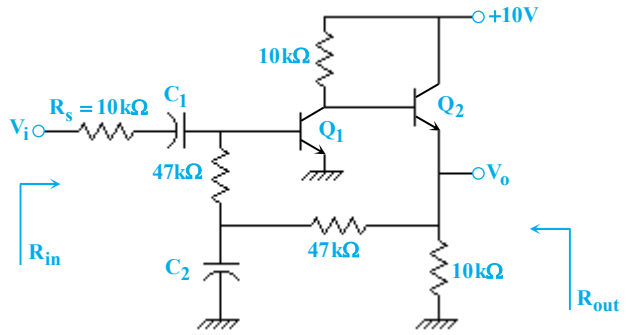
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۲ـ در مدار شکل زیر با فرض $h_{ie} = 1k\Omega$ برای هر دو ترانزیستور $R_{in}$ و $R_{out}$ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ فرض: $h_{fe} = 100$

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۳)




۱) $R_{out} = 10\Omega$ و $R_{in} = 90\Omega$

۲) $R_{out} = 100\Omega$ و $R_{in} = 11k\Omega$

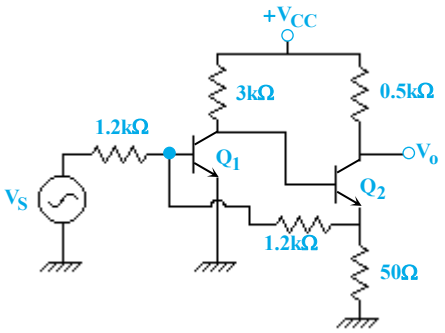
۳) $R_{out} = 10\Omega$ و $R_{in} = 10k\Omega$

۴) $R_{out} = 110\Omega$ و $R_{in} = 90k\Omega$

۱۳ـ نسبت $\frac{V_o}{V_S}$ در مدار شکل زیر به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۴)

$h_{fe} = 50$ ، $h_{ie} = 1/1k\Omega$




۱) ۱۰

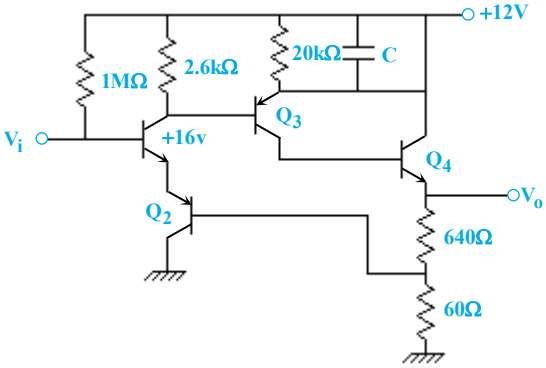
۲) ۲۰

۳) ۳۰

۴) ۴۰

۱۴ـ در تقویت‌کننده شکل زیر، ترانزیستورها دارای $\beta = h_{fe} = 100$ و $V_{BE} = 0/6V$ و $h_{ie} = 3k\Omega$ در جریان $I_C = 1mA$ هستند. بهرهٔ ولتاژی $(\frac{V_o}{V_i})$ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۴)




۱) ۱۱۶

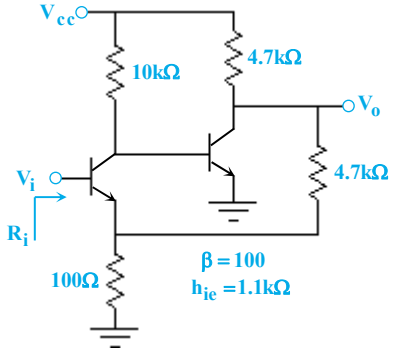
۲) ۱۱/۶

۳) -۱۱۶

۴) -۱۱/۶

۱۵ـ $R_i$ در مدار مقابل برابر است با:

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۴)




۱) ۱۰kΩ

۲) ۱۱/۱kΩ

۳) ۲۲۵kΩ

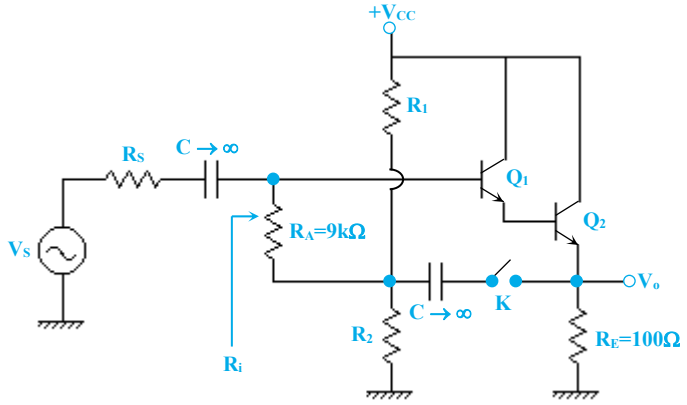
۴) ۴۵۰kΩ

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۶ـ در مدار شکل زیر با قطع بودن کلید K مقدار $A_{vs}$ برابر ۰/۹ و با وصل بودن کلید مقدار $A_{vs}$ برابر با ۰/۹۹ بدست آمده است، مقاومت ورودی ($R_i$) با وصل بودن کلید چقدر می‌باشد؟ ($R_E = 100\Omega$ ، $R_1 \| R_2 = 81k\Omega$ ، $Q_1 = Q_2$ ، $\beta = h_{fe}$ = بزرگ) (سراسری ۸۵)



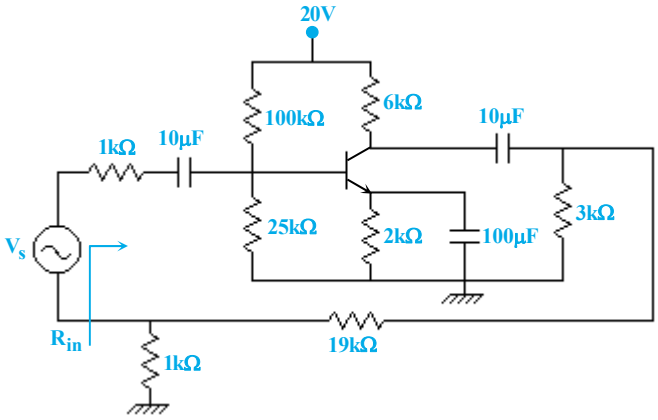

۱) ۹/۹kΩ

۲) ۹۹kΩ

۳) ۹/۹MΩ

۴) ۹۹۰kΩ

۱۷ـ در مدار شکل زیر با فرض $h_{fe} = 100$ و $h_{ie} = 1k\Omega$ برای ترانزیستور، مقدار مقاومت ورودی ($R_{in}$) برابر است با: (مهندسی برق گرایش قدرت، مخابرات و کنترل ـ آزاد ۸۵)




۱) ۱۱/۶kΩ

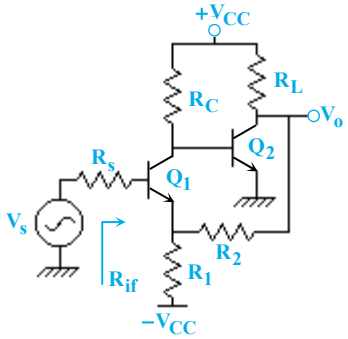
۲) ۱۷/۱kΩ

۳) ۲۵/۵kΩ

۴) ۱۱۵/۴kΩ

۱۸ـ در تقویت کننده فیدبک ارائه شده در شکل زیر، مقدار $R_{if}$ درکدام گزینه به درستی گزارش شده است؟

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)



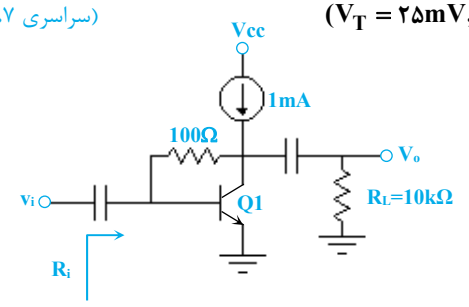

۱) $\beta = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$ ، $R_i = R_s + r_{\pi_1} + h_{fe_1}(R_1 \| R_2)$ که در آن $R_{if} = R_i(1+\beta A)$

۲) $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ ، $R_i = R_s + r_{\pi_1} + h_{fe_1}(R_1 \| R_2)$ که در آن $R_{if} = \frac{R_i}{(1+\beta A)}$

۳) $\beta = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$ ، $R_i = R_s + r_{\pi_1} + h_{fe_1}(R_1 \| R_2)$ که در آن $R_{if} = \frac{R_i}{1+\beta A}$

۴) $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ ، $R_i = R_s + r_{\pi_1} + h_{fe_1}(R_1 \| R_2)$ که در آن $R_{if} = R_i(1+\beta A)$

۱۹ـ بهره ولتاژ و مقاومت ورودی مدار شکل مقابل به طور تقریبی برابر کدام است؟ ($V_T = 25mV, \beta = 100$) (سراسری ۸۷)




۱) $R_i = 2/5k\Omega \; Av = -10$

۲) $R_i = 2/5k\Omega \; Av = -40$

۳) $R_i = 225\Omega \; Av = -100$

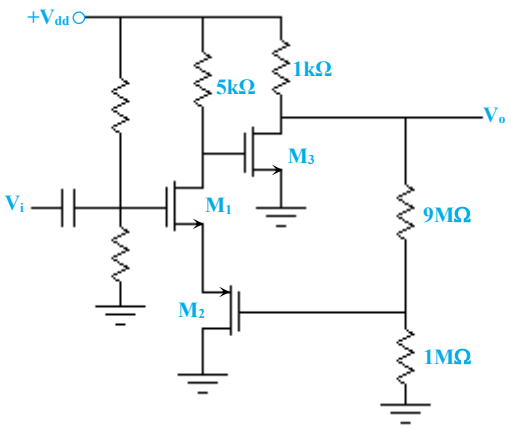
۴) $R_i = 225\Omega \; Av = -400$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۲۰ـ مقدار بهره $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟ $(g_m = ۴\frac{mA}{V})$ (سراسری ۸۷)



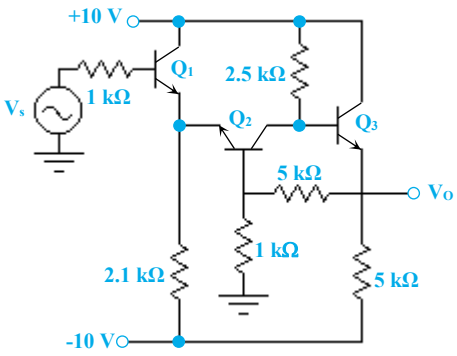

۱) ۱۰

۲) ۹

۳) ۸

۴) ۷

۲۱ـ در شکل روبه‌رو نوع فیدبک و مقدار تقریبی بهره ولتاژ $A_{vs} = \frac{V_o}{V_s}$ عبارت است از: (سراسری ۸۷)




$(\beta = ۱۰۰, V_{BE} = ۰/۷V)$

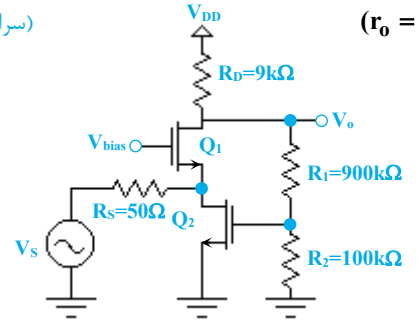
۱) ولتاژ ـ سری ۵/۵

۲) ولتاژ ـ سری ۷/۵

۳) جریان ـ سری ۶

۴) ولتاژ ـ موازی ۱/۲

۲۲ـ در مدار شکل مقابل مقدار $\frac{V_o}{V_s}$ برابر با کدام مورد است؟ $(r_o = \infty, g_{m_۱} = g_{m_۲} = ۲۰\frac{mA}{V})$ (سراسری ۸۸)




۱) ۷

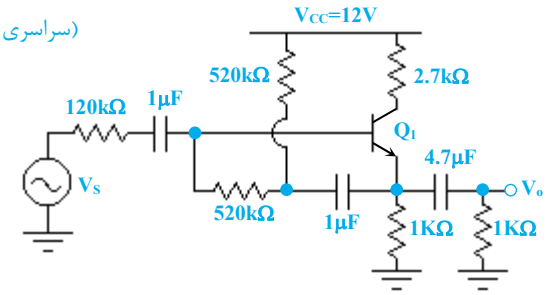
۲) ۸

۳) ۹

۴) ۱۰

۲۳ـ در مدار شکل زیر، در فرکانس‌های میانی مقدار $A_V = \frac{V_o}{V_s}$ به کدام مورد نزدیکتر است؟

$(V_A = \infty, V_T = ۲۵mV, V_{BE} = ۰/۶V, \beta = ۱۰۰)$ فرض شود. (سراسری ۸۸)



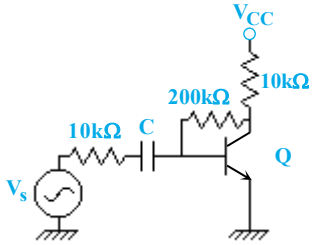

۱) ۰/۲۹

۲) ۰/۴۹

۳) ۰/۶۸

۴) ۰/۹۴

۲۴ـ در مدار شکل داده شده، با فرض $\beta > ۱۰۰$ و $\frac{۱}{h_{oe}} = ۴۰kΩ$، مقدار مقاومت خروجی $(R_o)$ چقدر است؟ (مهندسی برق گرایش کنترل ـ آزاد ۸۸)




۱) ۳۳/۳kΩ

۲) ۷/۷kΩ

۳) ۸kΩ

۴) ۹/۵kAΩ

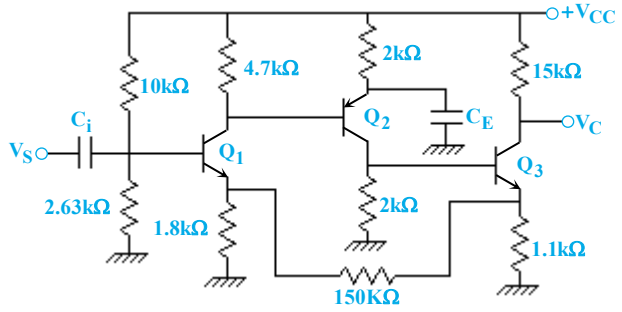
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۵ـ** در مدار شکل داده شده با فرض $\beta = h_{fe} = ۲۰۰$ , $|V_{BE}| = ۰/۷V$ و $h_{ie} = ۱k\Omega$ به ازای $I_C = ۶mA$ امپدانس خروجی چقدر است؟

(مهندسی برق گرایش کنترل ـ آزاد ۸۸)




۱) $۱/۵k\Omega$

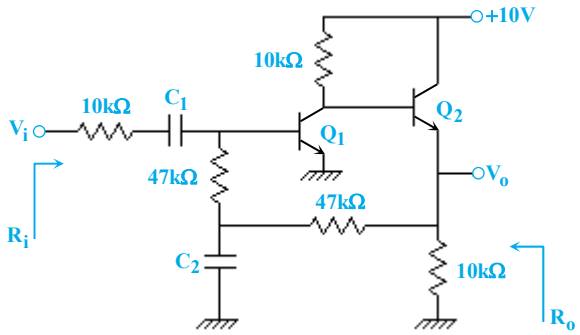
۲) $۱۵۰\Omega$

۳) $۱۵k\Omega$

۴) $۳k\Omega$

**۲۶ـ** مدار شکل زیر با فرض $h_{ie} = ۱k\Omega$ برای هر دو ترانزیستور و $h_{fe} = ۱۰۰$، $R_i$ و $R_o$ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

(مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۸)




۱) $R_o = ۱۰۰\Omega, R_i = ۱۱k\Omega$

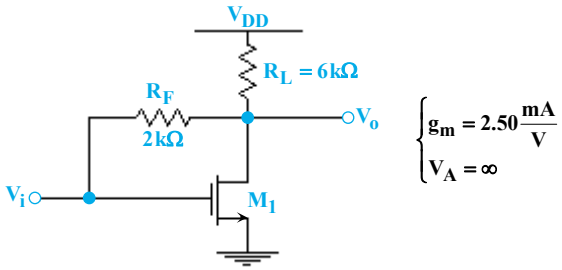
۲) $R_o = ۱۰\Omega, R_i = ۹۰\Omega$

۳) $R_o = ۱۰\Omega, R_i = ۱۰k\Omega$

۴) $R_o = ۱۱۰\Omega, R_i = ۹۰k\Omega$

**۲۷ـ** در شکل مقابل، بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟

(مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۹۰)




۱) $-۵$

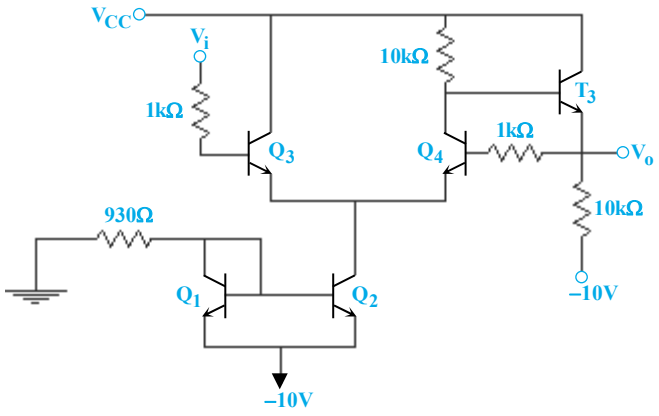
۲) $-۴/۵$

۳) $-۳/۷۵$

۴) $-۳$

**۲۸ـ** ضریب تقویت مدار داده شده برابر است با:

(مهندسی مکاترونیک ـ آزاد ۹۰)




$h_{ie_۳}$ = بزرگ

$\beta = ۲۰۰$

۱) ۲

۲) ۱

۳) ۳۳۳

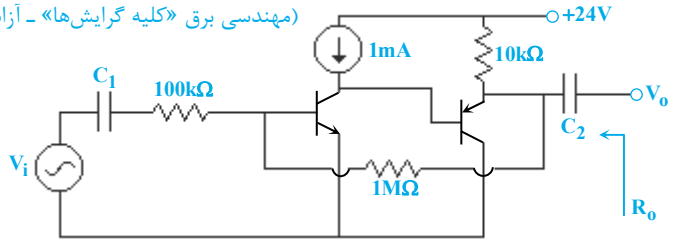
۴) ۶۶۶

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

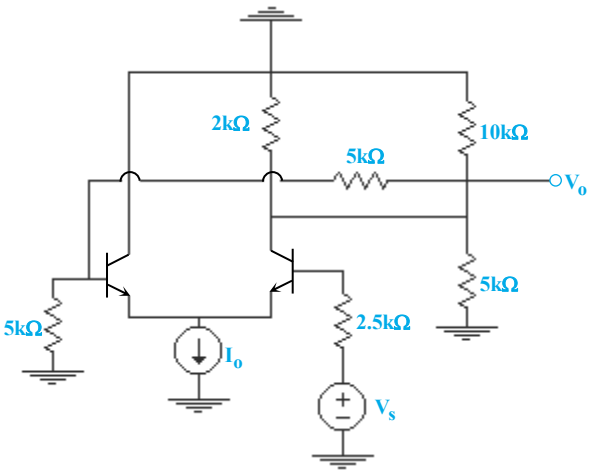


**۲۹ـ** در مدار شکل داده شده، با فرض $h_{oe}=0$ ، $V_T=25mV$ ، $|V_{BE}|=0/6V$ و $h_{fe}=\beta=100$، مقدار مقاومت خروجی تقویت‌کننده ($R_o$) کدام است؟ (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۹۰)




۱) $10k\Omega$
۲) $20\Omega$
۳) $25\Omega$
۴) $100\Omega$

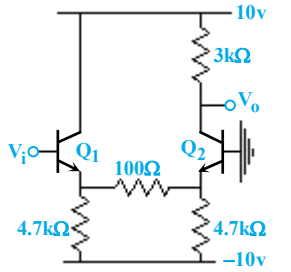
**۳۰ـ** شکل داده شده مدار ac تقویت‌کننده را نشان می‌دهد. بهره ولتاژ تقویت‌کننده $(\frac{V_o}{V_s})$ به کدام‌یک از اعداد زیر نزدیک‌تر است؟ (مهندسی مکاترونیک ـ آزاد ۹۰)




برای تمام ترانزیستورها $h_{ie}=2/5k\Omega$
$h_{fe}=100$

۱) ۲
۲) ۱
۳) ۳۳۳
۴) ۶۶۶

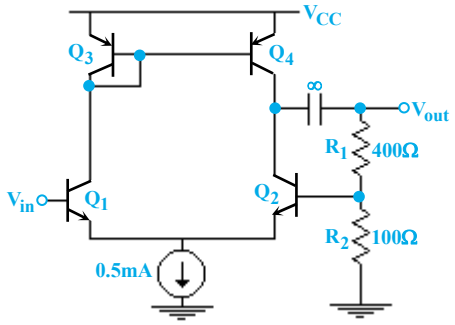
**۳۱ـ** مقدار تقریبی بهره ولتاژ تقویت کننده شکل زیر $(A_v=\frac{v_o}{v_i})$، کدام است؟ (مهندسی برق ـ سراسری ۹۳)




$V_{BE}=0.6v$ ، $\beta=100$
$V_T=25mV$ ، $V_A=\infty$

۱) ۶۴
۲) ۲۴
۳) ۳۰
۴) ۴۸

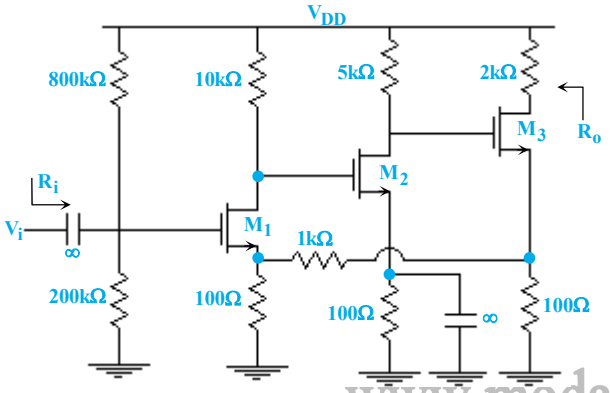
**۳۲ـ** در مدار مقابل همه ترانزیستورها در ناحیهٔ فعال بایاس شده‌اند و ترانزیستورهای متناظر یکسان هستند. مقدار بهرهٔ ولتاژ $A_V=\frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً برابر کدام است؟ (دکتری ۹۲)




$(V_A=\infty, V_T=25mV, \beta=100)$

۱) ۲
۲) ۴/۵
۳) ۲/۵
۴) ۵

**۳۳ـ** در مدار مقابل جریان بایاس ترانزیستورها به صورت زیر هستند.
$I_{D_1}=1mA, I_{D_2}=4mA, I_{D_3}=2mA$. جریان ترانزیستورها با رابطه $I_D=4(V_{GS}-V_T)^2$ تطبیق دارد. مقادیر $R_o$ و $R_i$ به کدام گزینه زیر نزدیک‌تر می‌باشند؟ (مهندسی ابزاردقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۹۱)




۱) $R_i=160k\Omega, R_o=2k\Omega$
۲) $R_i=4800k\Omega, R_o=2k\Omega$
۳) $R_i=160k\Omega, R_o=60k\Omega$
۴) $R_i=4800k\Omega, R_o=60k\Omega$

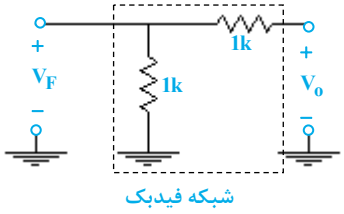
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



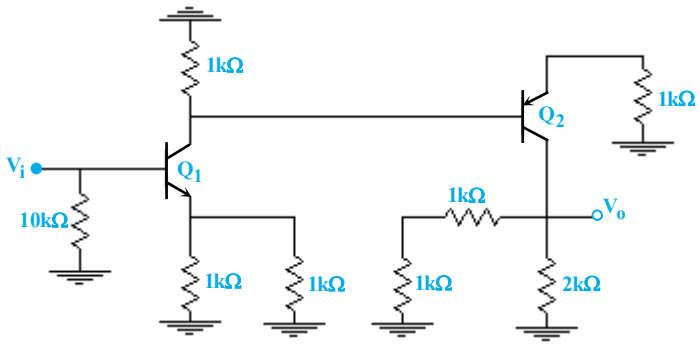
## پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل هفتم

**۱ـ گزینه «۲»** در ابتدا با استفاده از شبکه فیدبک، نوع فیدبک و در نتیجه پارامتر متناظر فیدبک را تشخیص می‌دهیم. چون شبکه فیدبک به طور مستقیم به ولتاژ خروجی متصل شده است و در ورودی شاخه انشعاب جریان وجود ندارد پس فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد.




$$K=\frac{V_F}{V_o}=\frac{۱}{۱+۱}=\frac{۱}{۲}$$

حال با توجه به نوع فیدبک و اثر بارگذاری فیدبک در ورودی و خروجی کل مدار را به صورت زیر باز می‌کنیم:




با توجه به نوع فیدبک، پارامتر فیدبک از نوع $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{ولتاژ}}$ می‌باشد که برای مدار فوق برابر است با:

$$A=\frac{V_o}{V_i}=\frac{V_o}{V_{C_۱}}\times\frac{V_{C_۱}}{V_i}=\frac{-(۲k\Omega\,||\,۲k\Omega)}{۱k\Omega+\frac{h_{ie}}{۱+\beta}}\times\frac{-۱k\Omega}{(۱k\Omega\,||\,۱k\Omega)+\frac{h_{ie}}{۱+\beta}}\simeq+۲$$

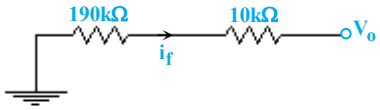
$$R_i'=h_{ie}+(۱+\beta).(۱k\Omega\,||\,۱k\Omega)=۲۶/۵\,k\Omega$$

مقاومت ورودی در فیدبک ولتاژ ـ سری $R_{i_f}=R_i'\times(۱+kA)=۵۳\,k\Omega$

$$R_i=R_{i_f}\,||\,۱۰\,k\Omega=۸/۴k\Omega$$

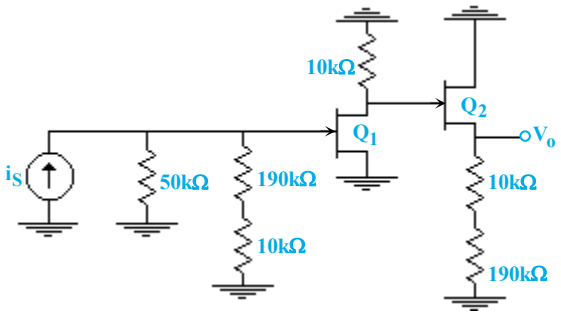
---

**۲ـ گزینه «۱»** دقت شود ترانزیستور $Q_۳$ همانند یک منبع جریان DC عمل می‌کند و در حالت ac حذف می‌گردد، پس شبکه فیدبک از مقاومت‌های $R_۲$ و $R_۳$ تشکیل شده است. با توجه به روش‌های درسنامه فیدبک در این حالت از نوع ولتاژ ـ موازی می‌باشد و بهره فیدبک از نوع $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$ می‌باشد. با توجه به شبکه فیدبک ضریب فیدبک برابر است با:




$$k=\frac{i_f}{V_o}=\frac{-۱}{۲۰۰k\Omega}$$

حال با توجه به اثر بارگذاری در ورودی و خروجی می‌توانیم کل مدار را به صورت زیر باز کنیم:




www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



بهره حلقه باز و بهره‌ی فیدبک برای فیدبک ولتاژ ـ موازی مورد سؤال به صورت زیر است:

$$R_m = \frac{V_o}{i_s} = \frac{V_o}{V_{d_1}} \times \frac{V_{d_1}}{V_{g_1}} \times \frac{V_{g_1}}{i_s} \simeq 1 \times -\frac{10\,k\Omega}{1k\Omega} \times (50\,k\Omega \,||\, 200 k\Omega) = -400^{k\Omega}$$

$$R_{m_F} = \frac{R_m}{D} = \frac{R_m}{1 + kR_m} = \frac{-400^{k\Omega}}{3} \simeq -133^{k\Omega}$$

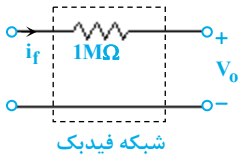
**نکته:** بهره خواسته شده در سؤال همان بهره فیدبک می‌باشد که حداکثر می‌تواند برابر $\frac{1}{k}$ باشد که با توجه به گزینه‌ها می‌توان بدون حل مسئله گزینه (۱) را انتخاب کرد.

---

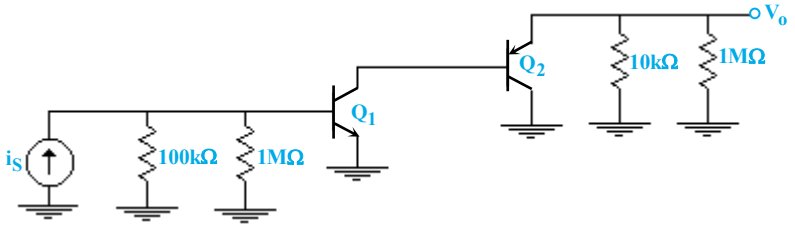
**۳ـ گزینه «۳»** شاخه شامل سلف $(L)$ و مقاومت $(R_G)$ مانند یک شبکه فیدبک می‌باشد. در فرکانس DC این شاخه به مقاومت $R_G$ تبدیل می‌شود و در فرکانس‌های $\omega \to \infty$ این شاخه اتصال باز می‌شود. پس در فرکانس DC یک فیدبک از نوع ولتاژ ـ موازی خواهیم داشت. بنابراین هردوی امپدانس‌های ورودی و خروجی در اثر فیدبک ولتاژ ـ موازی با ضریب $D = 1 + KR_m$ کاهش می‌یابند: یعنی: $R_i(0) < R_i(\infty)\ ,\ R_o(0) < R_o(\infty)$

---

**۴ـ گزینه «۴»** شبکه فیدبک در اینجا تنها از مقاومت $1M\Omega$ تشکیل شده است و چون در خروجی به ولتاژ خروجی متصل می‌باشد و در ورودی به بیس $Q_1$ متصل شده است، فیدبک از نوع ولتاژ ـ جریان می‌باشد و بهره فیدبک از نوع $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$ می‌باشد. با توجه به شبکه فیدبک ضریب فیدبک برابر است با: $K = \frac{i_f}{V_o} = \frac{-1}{1M\Omega}$




حال با توجه به اثر بارگذاری در ورودی و خروجی مدار معادل ac پس از باز کردن فیدبک به صورت زیر می‌شود:




بهره فیدبک: $R_m = \frac{V_o}{i_s} = \frac{V_o}{v_{c_1}} \times \frac{V_{c_1}}{v_{b_1}} \times \frac{V_{b_1}}{i_s}$

$$R_m = -1 \times \frac{[(10\,k\Omega \,||\, 1M\Omega) \times (1 + \beta_2)] + r_{\pi_2}}{\frac{1}{g_{m_1}}} \times (r_{\pi_1} \,||\, 100 k\Omega \,||\, 1M\Omega)$$

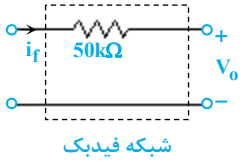
$$\frac{I_{CQ_1} = 1mA\ ,\ \beta_1 = 100}{g_{m_1} = 40^{ms}, r_{\pi_1} = 2/5^{k\Omega}} \rightarrow R_m \simeq -1 \times \frac{100000 \times 100}{25} \times 25 \times 100 = -100 M\Omega$$

مقاومت خروجی $R_o$ بدون اثر فیدبک برابر است با: $R_o = 10\,k\Omega \,||\, 1M\Omega \,||\, (\frac{r_{o_1} + r_{\pi_2}}{1 + \beta}) \simeq 10^{k\Omega}$

در نتیجه مقاومت خروجی حلقه بسته با در نظر گرفتن اثر فیدبک ولتاژ ـ موازی در خروجی برابر می‌شود با: $R_{o_F} = \frac{R_o}{1 + kR_m} = \frac{10\,k\Omega}{1 + 100} = 100\Omega$

---

**۵ـ گزینه «۳»** شبکه فیدبک در اینجا فقط از مقاومت $50\,k\Omega$ تشکیل شده است. شبکه فیدبک در خروجی مستقیماً به ولتاژ خروجی وصل شده است و در ورودی نیز انشعاب جریان وجود دارد، پس فیدبک از نوع ولتاژ ـ موازی می‌باشد. بهره فیدبک از نوع $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$ می‌باشد و ضریب فیدبک برابر است با: $k = \frac{i_f}{V_o} = \frac{-1}{50\,k\Omega}$




www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



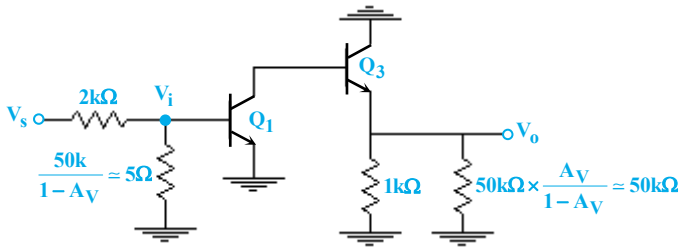
چون بهره حلقه $(kR_m)$ بزرگ می‌باشد، بهره فیدبک تقریباً برابر $\frac{1}{k}$ می‌باشد، یعنی $-50\,k\Omega \simeq \frac{1}{k}$ پس بهره ولتاژ با در نظر گرفتن فیدبک برابر می‌شود با:

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{2k\Omega \times i_f} = -25 \qquad \frac{V_o}{i_f} = R_{mf} \frac{R_m}{1+kR_m} \simeq \frac{1}{k} = -50\,k\Omega$$

**نکته:** با توجه به این‌که فیدبک از نوع ولتاژ ـ موازی می‌باشد می‌توان از قضیه میلر استفاده کرد و مقاومت $50^{k\Omega}$ را به دو قسمت در ورودی $(R_1)$ و خروجی $(R_2)$ تقسیم کرد.

$$R_1 = \frac{50\,k\Omega}{1-A_V} \quad , \quad R_2 = 50\,k\Omega \times \frac{A_V}{1-A_V} \simeq 50\,k\Omega \ (\text{با فرض } A_V \text{ بزرگ})$$

مدار معادل ac با استفاده از قضیه میلر برای محاسبه گین کلی مدار به صورت زیر می‌باشد:




$$\text{گین میلر: } A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\beta \times (1k\Omega \,||\, 50\,k\Omega)}{\frac{1}{g_{m_1}}} \xrightarrow[g_{m_1}=40ms]{I_{CQ_1}=I_{CQ_2}=1mA} A_V \simeq -1020$$

$$\text{گین مدار: } A_{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \times \frac{V_i}{V_s} = \frac{-\beta \times (1k\Omega \,||\, 50\,k\Omega)}{\frac{1}{g_{m_1}}} \times \frac{5\Omega}{2k\Omega + 5\Omega} \simeq -25$$

---

**۶ـ گزینه «۲»** با توجه به شماتیک داده شده در صورت سؤال می‌توان روابط زیر را نوشت:

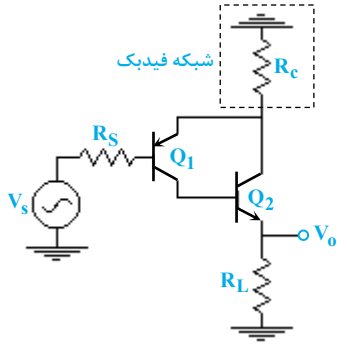
$$V_o = A.V_i \Rightarrow V_i = \frac{V_o}{A} \qquad (I)$$

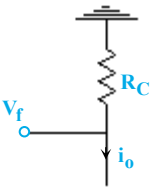
$$V_f = \beta.V_o \ , \ V_s = V_i + V_f \xrightarrow{(I)} V_s = \frac{V_o}{A} + \beta V_o$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{\beta + \frac{1}{A}} = \frac{A}{1+\beta A} \xrightarrow{\beta A \gg 1} \frac{V_o}{V_s} \simeq \frac{1}{\beta} \qquad (II)$$

با توجه به رابطه (II) می‌توان گفت گین مدار مستقل از A می‌باشد و لذا با تغییر A دامنه خروجی تغییر نمی‌کند؛ اما طبق رابطه (I) با دو برابر شدن A، ولتاژ $V_i$ نصف می‌شود. از طرف دیگر طبق رابطه $V_s = V_i + V_f$ ولتاژ $V_f$ تغییر ناچیزی می‌کند تا تساوی برقرار باشد.

**۷ـ گزینه «۱»** شبکه فیدبک در مدار شکل زیر نشان داده شده است. در صورتی که ولتاژ خروجی را اتصال کوتاه کنیم شبکه فیدبک از بین نمی‌رود، پس نمونه‌برداری در خروجی از جریان می‌باشد و نه ولتاژ! از طرف دیگر چون در ورودی انشعاب جریان وجود ندارد پس فیدبک در ورودی از نوع سری می‌باشد؛ یعنی فیدبک از نوع جریان ـ سری می‌باشد. لذا ضریب فیدبک (K) با توجه به نوع فیدبک برابر است با:



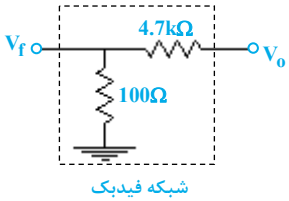

$$V_f = -R_c.i_o \Rightarrow k = \frac{V_f}{i_o} = -R_c$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

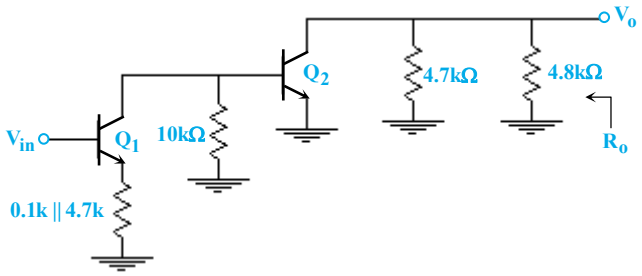


**۸ـ هیچ‌کدام از گزینه‌ها صحیح نیست.** شبکه فیدبک شامل مقاومت‌های $4/7k\Omega$ و $100\Omega$ می‌باشد و چون نمونه‌برداری در خروجی مستقیماً از ولتاژ خروجی می‌باشد و در ورودی نیز انشعاب جریان نداریم، فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد و بهره فیدبک از نوع $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{ولتاژ}}$ می‌باشد؛ همچنین ضریب فیدبک با توجه به شکل زیر برابر است با:




$$K=\frac{V_f}{V_o}=\frac{0/1}{0/1+4/7}=\frac{1}{48}$$

با اعمال اثر بارگذاری شبکه فیدبک را می‌توان به صورت زیر باز کرد:




$$R_o=4/7k\Omega\,||\,4/8k\Omega \xrightarrow{\text{فیدبک ولتاژ-سری}} R_{of}=\frac{R_o}{1+KA_V}$$

برای محاسبه $R_{of}$ باید گین حلقه باز را نیز حساب کنیم که داده‌های مسئله برای ادامه کافی نیستند! بعداً در سال ۸۱ دوباره همین تست با مقدار $r_\pi=1/1k\Omega$ مطرح شد که در آن $R_{of}=130\Omega$ می‌شود.

---

**۹ـ گزینه «۳»** مدار داده شده عیناً مدار مربوط به سؤال قبلی می‌باشد و با تحلیل مشابه برای مقاومت ورودی نیز می‌توان گفت:

$$R_{if}=[r_{\pi_1}+(1+\beta)(0/1k\Omega\,||\,4/7k\Omega)]\times(1+KA_V)$$

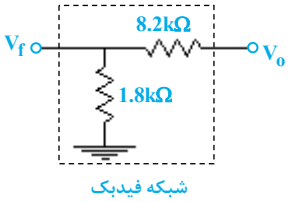
برای محاسبه بهره حلقه باز داریم:

$$A_V=-\frac{(10k\Omega\,||\,r_{\pi_2})}{(0/1k\Omega\,||\,4/7k\Omega)+\frac{1}{g_{m_1}}}\times\frac{-(4/7k\Omega\,||\,4/8k\Omega)}{\frac{1}{g_{m_2}}}\Rightarrow A_V=(-9/9)\times(-215/8)=2139$$

$$\Rightarrow R_{if}=(11/2k\Omega)\times(1+\frac{2139}{48})\simeq 500k\Omega$$

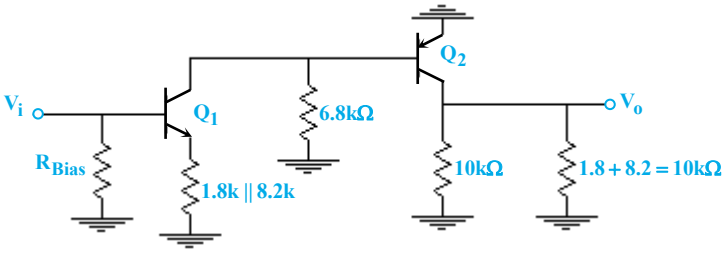
---

**۱۰ـ گزینه «۴»** شبکه فیدبک شامل مقاومت‌های $8/2k\Omega$ و $1/8k\Omega$ می‌باشد. این شبکه فیدبک در خروجی مستقیماً به ولتاژ خروجی متصل شده است و در ورودی نیز مستقیماً به ولتاژ ورودی متصل نشده است و لذا انشعاب جریان را ایجاد نکرده است پس فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد. با توجه به شبکه فیدبک مشخص شده در شکل زیر ضریب فیدبک برابر است با:




$$k=\frac{V_f}{V_o}=\frac{1/8k\Omega}{1/8k\Omega+8/2k\Omega}=0/18$$

با در نظر گرفتن اثر بارگذاری می‌توان شبکه فیدبک را به صورت زیر باز کرد:




بهره حلقه باز $A_V=\frac{-(6/8k\Omega\,||\,r_{\pi_2})}{(1/8k\Omega\,||\,8/2k\Omega)+\frac{1}{g_{m_1}}}\times\frac{-(10k\Omega\,||\,10k\Omega)}{\frac{1}{g_{m_2}}}\simeq 248$

در نتیجه بهره ولتاژ حلقه بسته که همان بهره فیدبک نیز می‌باشد برابر است با:

$$A_{V_f}=\frac{A_V}{1+KA_V}=\frac{248}{1+(0/18\times 248)}\simeq 5/4$$

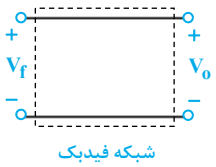
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



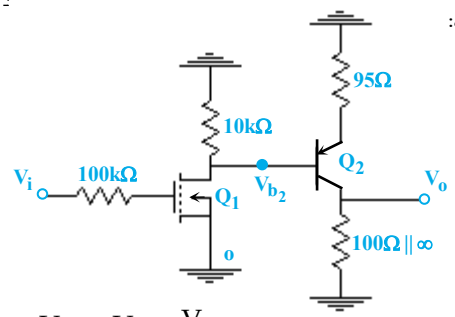
**۱۱ـ گزینه «۱»** شبکه فیدبک را می‌توان سیمی که گره خروجی را به سورس ترانزیستور $Q_1$ وصل کرده است در نظر گرفت. در این صورت چون نمونه‌برداری از ولتاژ خروجی انجام شده است و در ورودی مقایسه ولتاژی انجام شده است، فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد. بهره فیدبک به صورت $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{ولتاژ}}$ می‌باشد و ضریب فیدبک برای شبکه فیدبک تعیین شده برابر است با:



شبکه فیدبک

$$K=\frac{V_f}{V_o}=1$$

با اعمال اثر بارگذاری فیدبک در ورودی و خروجی مدار معادل ac زیر به‌دست می‌آید:




$$\begin{cases} g_{m_1}=2\,ms \\ g_{m_2}=200\,ms \end{cases}$$

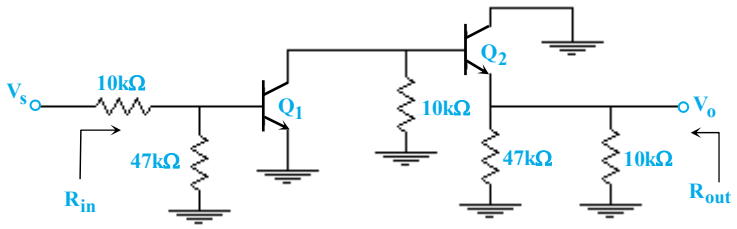
بهره حلقه باز: $A_V=\frac{V_o}{V_i}=\frac{V_o}{V_{b_2}}\times\frac{V_{b_2}}{V_i}=-g_{m_1}(10\,k\Omega\,||\,[(95+\frac{1}{g_{m_2}})\times(1+\beta)])\times\frac{100}{95+\frac{1}{g_{m_2}}}=10$

بهره حلقه بسته: $A_{V_f}=\frac{A_V}{1+KA_V}=\frac{10}{11}\simeq 0/9$

$$R_{o_f}=\frac{R_o}{1+KA_V}=\frac{100}{1+10}\simeq 9\Omega$$

---

**۱۲ـ گزینه «۲»** در فرکانس‌های میانی خازن $C_2$ اتصال کوتاه می‌شود و مقاومت $47k\Omega$ در ورودی و در بیس ترانزیستور $Q_1$ قرار می‌گیرد و در خروجی نیز مقاومت $47k\Omega$ با مقاومت $10\,k\Omega$ موازی می‌شود و لذا هیچ مسیری از خروجی به ورودی نخواهیم داشت بنابراین اصلاً فیدبکی وجود ندارد. مدار معادل ac نیز به صورت زیر می‌شود:

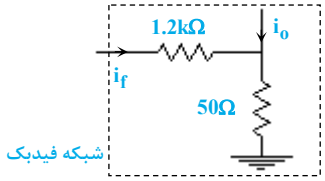



$$R_{in}=R_s+(47k\Omega\,||\,r_{\pi_1})\simeq 1\,1k\Omega$$

$$R_{out}=10\,k\Omega\,||\,47k\Omega\,||\,(\frac{10\,k\Omega+r_{\pi_2}}{1+\beta_2})\simeq 0/1k\Omega=100\Omega$$

---

**۱۳ـ گزینه «۱»** شبکه فیدبک شامل مقاومت‌های $50\Omega$ و $1/2k\Omega$ می‌باشد. نمونه‌برداری خروجی از سیگنال جریان انجام شده است و به وسیله ایجاد یک انشعاب جریان سیگنال نمونه‌برداری شده به صورت جریان با ورودی مقایسه می‌شود و لذا فیدبک از نوع جریان ـ موازی می‌باشد. با در نظر گرفتن شبکه فیدبک شکل زیر ضریب فیدبک به صورت مقابل محاسبه می‌شود: $K=\frac{i_f}{i_o}=\frac{-0/05k\Omega}{0/05k\Omega+1/2k\Omega}=-0/04$



شبکه فیدبک

چون فیدبک از نوع جریان ـ موازی می‌باشد، بهره فیدبک از جنس $\frac{\text{جریان}}{\text{جریان}}$ می‌باشد. با توجه به بزرگ بودن بهره جریان حلقه باز، بهره فیدبک را می‌توان به صورت مقابل نوشت:

$$A_{if}=\frac{A_i}{1+KA_i}\xrightarrow{|A_i|\gg}A_{if}\simeq\frac{1}{K}=-25$$

دقت شود بهره خواسته شده در سؤال از جنس $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{ولتاژ}}$ می‌باشد در حالی که بهره فیدبک از جنس $\frac{\text{جریان}}{\text{جریان}}$ می‌باشد؛ با استفاده از رابطه زیر این دو بهره را می‌توان به هم مرتبط کرد:

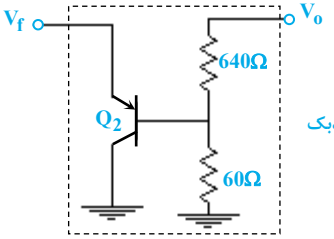
$$A_{V_f}=\frac{V_o}{V_s}\quad,\quad A_{if}=\frac{i_o}{i_s}=\frac{\frac{V_o}{0/5k\Omega}}{\frac{V_s}{1/2k\Omega}}=-25\Rightarrow A_{V_f}=\frac{V_o}{V_s}\simeq -10$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۱۴ـ گزینه «۲»** چنانچه شبکه فیدبک را مطابق شکل زیر در نظر بگیریم فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد.



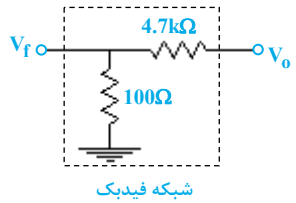

ضریب فیدبک را می‌توان با کمک شبکه فیدبک به صورت زیر حساب کرد. دقت شود چون $V_f$ یک ولتاژ ac می‌باشد، پس تغییرات بیس ترانزیستور $Q_2$ را می‌توان همان تغییرات ولتاژ $V_f$ در نظر گرفت:

$$K=\frac{V_f}{V_o}=\frac{۶۰\Omega}{۶۰\Omega+۶۴۰\Omega}=\frac{۱}{۱۱/۶}$$

چنانچه بهره ولتاژ حلقه باز را خیلی بزرگ بگیریم، بهره فیدبک را می‌توان به صورت زیر تقریبی نوشت:

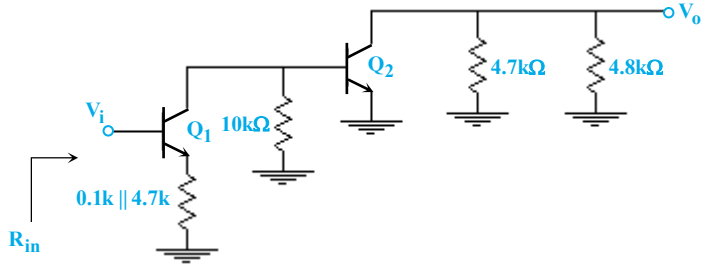
$$A_{V_f}=\frac{A_V}{۱+kA_V}\simeq\frac{۱}{k}=۱۱/۶$$

**۱۵ـ گزینه «۴»** شبکه فیدبک شامل مقاومت‌های $۴/۷k\Omega$ و $۱۰۰\Omega$ می‌باشد. شبکه فیدبک در خروجی مستقیماً به ولتاژ خروجی متصل شده است و در ورودی نیز سیگنال نمونه‌برداری شده به صورت ولتاژی مقایسه می‌شود و در واقع انشعاب جریان در ورودی ایجاد نشده است. پس فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد و لذا بهره فیدبک از جنس بهره ولتاژ می‌باشد. با توجه به شبکه فیدبک نشان داده شده ضریب فیدبک برابر است با:




$$K=\frac{V_f}{V_o}=\frac{۰/۱k\Omega}{۰/۱k\Omega+۴/۷k\Omega}=\frac{۱}{۴۸}$$

با در نظر گرفتن اثر بارگذاری فیدبک در خروجی و ورودی، مدار معادل ac پس از باز کردن فیدبک به صورت زیر می‌شود.

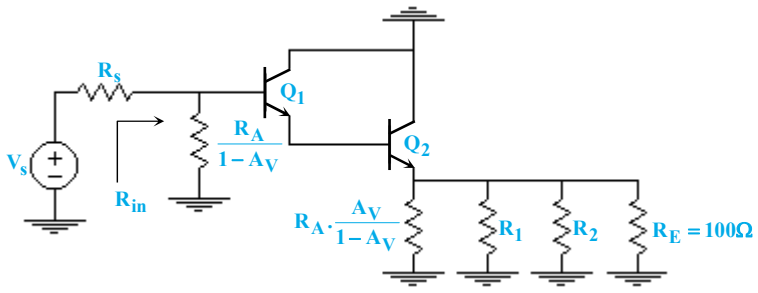



بهره حلقه باز و مقاومت ورودی حلقه بسته به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\text{بهره حلقه باز: } A_V=\frac{-(۱۰k\Omega\,\|\,r_{\pi_۲})}{(۰/۱k\Omega\,\|\,۴/۷k\Omega)+\frac{۱}{g_{m_۱}}}\times\frac{-(۴/۷k\Omega\,\|\,۴/۸k\Omega)}{\frac{۱}{g_{m_۲}}}\simeq ۲۱۳۹$$

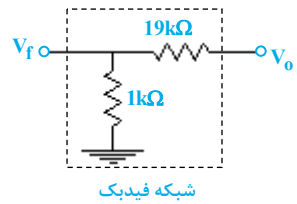
$$\text{مقاومت ورودی حلقه بسته } R_{if}=R_{in}\times(۱+KA_V)=[r_{\pi_۱}+(۱+\beta)(۰/۱k\Omega\,\|\,۴/۷k\Omega)]\times(۱+KA_V)\Rightarrow R_{if}=۴۵۰k\Omega$$

**۱۶ـ گزینه «۴»** شبکه فیدبک در اینجا از مقاومت $R_A$ تشکیل شده است. در صورتی‌که کلید k وصل باشد توسط مقاومت $R_A$ از ولتاژ خروجی نمونه‌برداری می‌شود و در ورودی به صورت جریانی مقایسه انجام می‌شود؛ لذا فیدبک از نوع ولتاژ ـ موازی می‌باشد. چون فیدبک از نوع ولتاژ ـ موازی می‌باشد و چون در صورت سؤال مقاومت خروجی سؤال نشده است، پس بهتر است که از قضیه میلر استفاده کنیم. در این صورت مدار معادل ac با تقسیم کردن مقاومت $R_A$ به صورت زیر می‌شود:




$$R_{in}=(\frac{R_A}{۱-A_V})\,\|\,[r_{\pi_۱}+(۱+\beta)\times(r_{\pi_۲}+(۱+\beta)\times(R_۱\,\|\,R_۲\,\|\,R_E\,\|\,\frac{R_A\times A_V}{۱-A_V}))]\Rightarrow R_{in}\simeq\frac{R_A}{۱-A_V}=\frac{۹}{۱-۰/۹۹}\simeq۹۰۰k\Omega$$

**۱۷ـ گزینه «۱»** شبکه فیدبک از مقاومت‌های $۱۹k\Omega$ و $۱k\Omega$ تشکیل شده است. دقت شود شبکه فیدبک در خروجی از ولتاژ خروجی نمونه‌برداری می‌کند پس فیدبک در خروجی از نوع ولتاژ می‌باشد؛ اما در ورودی چون منبع ولتاژ ورودی به زمین وصل نشده است و به شبکه فیدبک وصل شده است پس مقایسه به صورت ولتاژی می‌باشد و انشعاب جریانی در ورودی دیده نمی‌شود پس فیدبک در مجموع از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد.




www.modaresanesharif.ac.ir

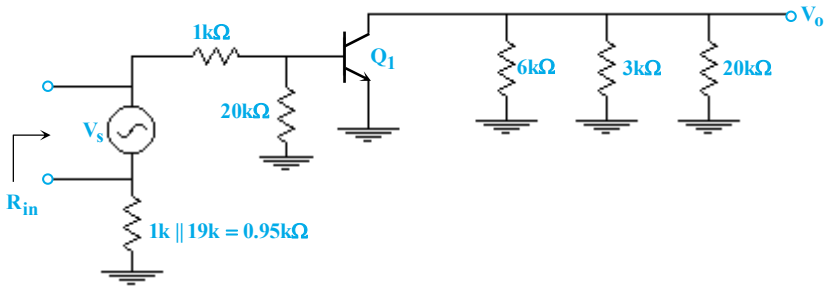
www.modaresanesharif.ac.ir



با توجه به شبکه فیدبک ضریب فیدبک برابر است با:

$$k=\frac{V_f}{V_o}=\frac{1k\Omega}{1k\Omega+19k\Omega}=\frac{1}{20}$$

با توجه به آن‌که فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری و بهره فیدبک از جنس $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{ولتاژ}}$ می‌باشد، مقاومت ورودی در اثر فیدبک در ضریب $(1+kA_V)$ ضرب می‌شود. مدار معادل ac پس از باز کردن شبکه فیدبک به صورت مقابل می‌باشد:



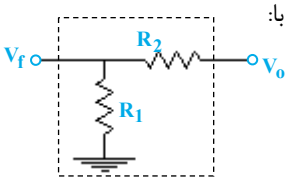

بهره حلقه باز $A_V=\frac{V_o}{V_s}=-g_m(6k\,\|\,3k\,\|\,20k)\times\frac{(20k\Omega\,\|\,r_\pi)}{(20k\Omega\,\|\,r_\pi)+(1k\Omega+0/95k\Omega)}\Rightarrow A_V\simeq -60$

مقاومت ورودی حلقه باز $R_{in}=(1k\Omega+0/95k\Omega)+(20k\Omega\,\|\,r_\pi)=2/9k\Omega$

مقاومت ورودی حلقه بسته $R_{if}=R_{in}\times(1+KA_V)=2/9\times4=11/6k\Omega$

---

**۱۸ـ گزینه «۴»** فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد و با در نظر گرفتن شبکه فیدبک زیر مقدار ضریب فیدبک برابر می‌شود با:



شبکه فیدبک

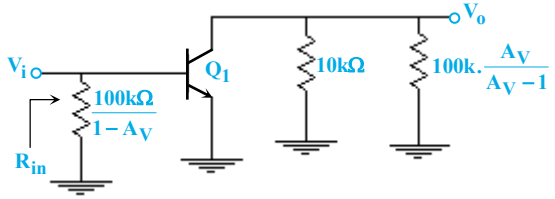
$$K=\frac{V_f}{V_o}=\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

و چون فیدبک در ورودی سری می‌باشد پس مقاومت ورودی حلقه باز در ضریب $(1+KA_V)$ ضرب می‌شود و لذا داریم:

$$R_{if}=R_i(1+KA_V)$$

---

**۱۹ـ گزینه «۴»** شبکه فیدبک در این سؤال مقاومت $100\Omega$ می‌باشد که از گره خروجی به صورت ولتاژی نمونه‌برداری می‌کند و در ورودی انشعاب جریان را ایجاد می‌کند، پس فیدبک از نوع ولتاژ ـ موازی می‌باشد و لذا می‌توان از قضیه میلر برای محاسبه بهره ولتاژ و مقاومت ورودی استفاده کرد:



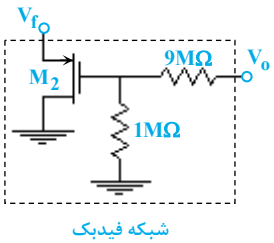

$$I_{CQ}=1mA\Rightarrow g_m=40ms\ ,\ r_\pi=\frac{\beta}{g_m}=2/5k\Omega$$

$$\frac{V_o}{V_i}\simeq -g_{m_1}(R_L\,\|\,100k\Omega)\simeq -40ms\times10k\Omega=-400$$

$$R_{in}=\frac{100k\Omega}{1-A_v}\,\|\,r_\pi=250\Omega\,\|\,2/5k\Omega=225\Omega$$

---

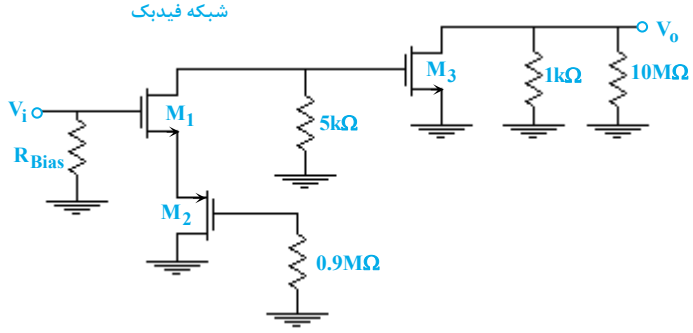
**۲۰ـ گزینه «۳»** شبکه فیدبک در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. شبکه فیدبک در خروجی مستقیماً به گره خروجی متصل شده است و در ورودی باعث انشعاب جریان نشده است پس فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد،



شبکه فیدبک

لذا بهره فیدبک از جنس $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{ولتاژ}}$ می‌باشد و ضریب فیدبک نیز برابر است با: $k=\frac{V_f}{V_o}=\frac{1M\Omega}{1M\Omega+9M\Omega}=\frac{1}{10}$

با اعمال اثر بارگذاری فیدبک در ورودی و خروجی مدار معادل ac زیر به دست می‌آید:




بهره حلقه باز $A_V=\frac{V_o}{V_i}=\frac{V_o}{V_{g_3}}\times\frac{V_{g_3}}{V_i}$

$$=-g_{m_3}\times(1k\Omega\,\|\,10M\Omega)\times\frac{-5k\Omega}{\frac{1}{g_{m_1}}+\frac{1}{g_{m2}}}=40$$

بهره حلقه بسته: $A_{V_f}=\frac{A_V}{1+kA_V}=\frac{40}{1+\frac{1}{10}\times40}=8$

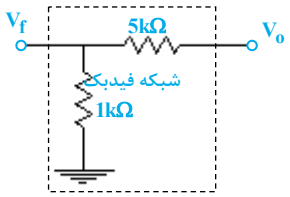
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



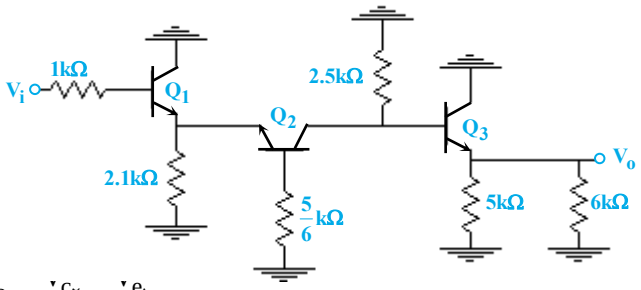
**۲۱ـ گزینه «۱»** شبکه فیدبک شامل مقاومت‌های $5k\Omega$ و $1k\Omega$ می‌باشد. چون توسط شبکه فیدبک به طور مستقیم از ولتاژ خروجی نمونه‌برداری شده است فیدبک در خروجی از نوع ولتاژ می‌باشد و چون سیگنال ولتاژ نمونه‌برداری شده به طور مستقیم به ورودی اعمال و انشعاب ایجاد نشده است.




پس در مجموع فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد و لذا بهره فیدبک از نوع $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{ولتاژ}}$ می‌باشد. ضریب فیدبک با توجه به شبکه فیدبک برابر است با:

$$K=\frac{V_f}{V_o}=\frac{1k\Omega}{1k\Omega+5k\Omega}=\frac{1}{6}$$

با در نظر گرفتن اثر بارگذاری شبکه فیدبک را می‌توان به صورت زیر باز کرد:



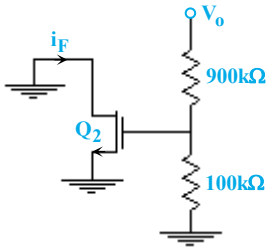

بهره حلقه باز: $A_V=\frac{V_o}{V_{c_2}}\times\frac{r_{c_2}}{V_{e_1}}\times\frac{r_{e_1}}{V_i}$

$$A_V=\frac{(5k\,\|\,6k)}{(5k\,\|\,6k)+\frac{1}{g_{m_3}}}\times\frac{2/5k\,\|\,[r_{\pi_3}+(5k\,\|\,6k)\times(1+\beta)]}{\frac{1}{g_{m_2}}+(\frac{5}{6}k\Omega\times\frac{1}{1+\beta})}\times\frac{2/1k\,\|\,(\frac{\frac{5}{6}k\Omega+r_{\pi_2}}{1+\beta})}{[2/1k\,\|\,(\frac{\frac{5}{6}k\Omega+r_{\pi_2}}{1+\beta})]+(\frac{1k\Omega+r_{\pi_1}}{1+\beta})}$$

بهره حلقه بسته $A_{V_f}=\frac{A_V}{1+K_V}\simeq 5/5$

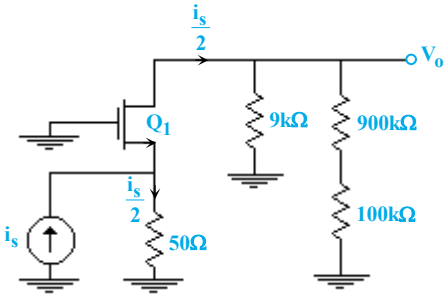
**نکته:** در یک شبکه فیدبکی حداکثر بهره فیدبک می‌تواند برابر $\frac{1}{K}$ باشد، پس با توجه به آن‌که همه گزینه‌ها به جز گزینه (۱) مقدارشان بیشتر از $\frac{1}{K}=6$ می‌باشند پس بدون حل دقیق مسئله می‌توان گزینه (۱) را انتخاب کرد.

**۲۲ـ گزینه «۳»** ترانزیستور $Q_2$ به همراه مقاومت‌های $R_1$ و $R_2$ شبکه فیدبک را تشکیل می‌دهند. چون شبکه فیدبک در خروجی به ولتاژ خروجی متصل شده است و در ورودی باعث ایجاد انشعاب جریان شده است پس فیدبک در مجموع از نوع ولتاژ ـ موازی می‌باشد. با توجه به شبکه فیدبک ضریب فیدبک برابر است با:




$$k=\frac{i_f}{V_o}=\frac{100k\Omega}{100k\Omega+900k\Omega}\times 20\,ms=2ms$$

با توجه به نوع فیدبک، بهره فیدبک از نوع $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$ می‌باشد. با اعمال اثر بارگذاری مدار معادل ac پس از باز کردن فیدبک به صورت زیر می‌باشد:




بهره حلقه باز: $R_m=\frac{V_o}{i_s}=9k\Omega\times\frac{1}{2}=4/5k\Omega$

بهره حلقه بسته برابر می‌شود با: $R_{mf}=\frac{R_m}{1+kR_m}=\frac{4/5k\Omega}{1+2\times 4/5}=0/45k\Omega$

بهره فیدبک از نوع $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$ می‌باشد ولی بهره خواسته شده از نوع $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{ولتاژ}}$ می‌باشد، پس داریم:

$$\frac{V_o}{V_s}=\frac{V_o}{50\Omega\times i_s}=\frac{R_{mf}}{50\Omega}=\frac{450\Omega}{50\Omega}=9$$

www.modaresanesharif.ac.ir

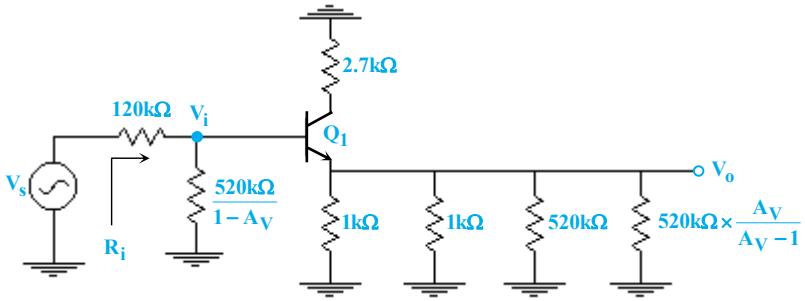
www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۳ـ گزینه «۱»** با توجه به آن‌که فیدبک از نوع ولتاژ ـ موازی می‌باشد می‌توانیم از قضیه میلر استفاده کنیم. در ابتدا با کمک تحلیل DC پارامترهای سیگنال کوچک ترانزیستور $Q_1$ را محاسبه می‌کنیم.

$$KVL: ۱۲ = (۵۲۰+۵۲۰)I_B + ۰/۶ + ۱k\Omega \times I_{CQ} \Rightarrow I_{CQ} \simeq ۵/۷mA \Rightarrow r_\pi \simeq ۴۳۸\Omega$$

مدار معادل ac با استفاده از قضیه میلر به صورت زیر می‌شود:




$$\text{گین میلر: } A_V = \frac{(۱k\Omega \| ۱k\Omega \| ۵۲۰k\Omega \| ۵۲۰k\Omega \times \frac{A_V}{A_V-۱})}{\frac{۱}{g_{m_۱}} + (۱k\Omega \| ۱k\Omega \| ۵۲۰k\Omega \| ۵۲۰k\Omega \times \frac{A_V}{A_V-۱})} \simeq ۰/۹۵$$

در نتیجه با داشتن گین میلر می‌توانیم مقدار مقاومت $R_i$ را حساب کنیم:

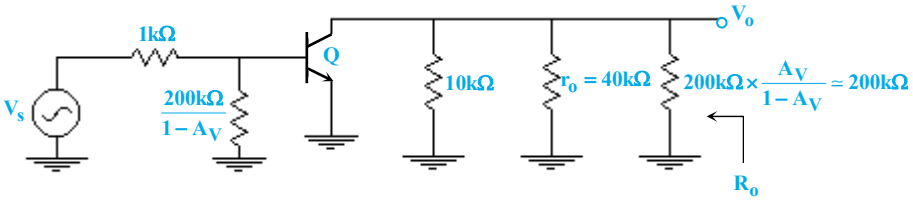
$$R_i \simeq (\frac{۵۲۰k\Omega}{۱-۰/۹۵}) \| (r_{\pi_۱} + (۱k\Omega \| ۱k\Omega) \times (۱+\beta)) \simeq ۵۰k\Omega$$

پس بهره ولتاژ خواسته شده برابر می‌شود با:

$$A_{V_s} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \times \frac{R_i}{R_i + R_s} \simeq ۰/۲۹۴$$

---

**۲۴ـ گزینه «۲»** مقاومت $۲۰۰k\Omega$ یک فیدبک ولتاژ ـ موازی را ایجاد کرده است، دقت شود در صورتی که مقاومت خروجی خواسته ما باشد نمی‌توان از قضیه میلر استفاده کرد چرا که جواب به دست آمده با روش میلر بیشتر از مقدار واقعی می‌باشد و بهتر است از روش فیدبک استفاده کنیم. اما چنانچه از قضیه میلر استفاده کنیم و مدار معادل ac را پس از باز کردن شبکه فیدبک رسم کنیم داریم:




$$R_{out} = ۱۰k\Omega \| ۴۰k\Omega \| ۲۰۰k\Omega = ۷/۷k\Omega$$

دقت شود چون جواب به دست آمده با روش میلر کوچک‌ترین جواب موجود در گزینه‌ها می‌باشد پس گزینه (۲) صحیح می‌باشد، در غیر این صورت باید از روش فیدبک استفاده می‌کردیم. برای تمرین بیشتر این سؤال را با روش فیدبک نیز حل کنید.

---

**۲۵ـ گزینه «۳»** شبکه فیدبک توسط مقاومت‌های $۱۵۰k\Omega$ و $۱/۸k\Omega$ ایجاد شده است و از نوع جریان ـ سری می‌باشد. دقت شود چون نمونه‌برداری در خروجی از نوع جریان می‌باشد و نقطه اثر فیدبک در خروجی در جایی به غیر از ولتاژ خروجی می‌باشد پس می‌توان گفت مقاومت خروجی تغییر خاصی نمی‌کند و برابر $۱۵k\Omega$ می‌باشد.

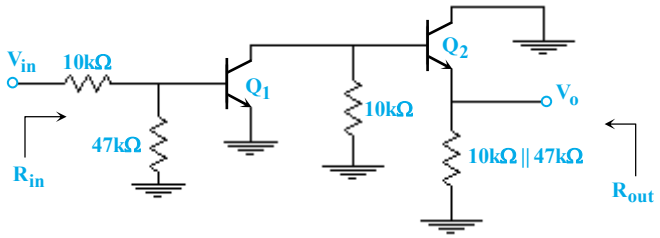
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۲۶ـ گزینه «۱»** دقت شود در حالت ac خازن $C_2$ اتصال کوتاه می‌شود و مدار معادل ac تقویت‌کننده به صورت زیر می‌شود:

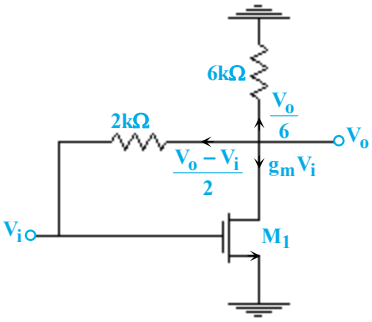



پس اصلاً فیدبکی وجود ندارد و مقاومت‌های ورودی و خروجی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{in} = ۱۰\,k\Omega + ۴۷k\Omega \,||\, r_{\pi_۱} \simeq ۱۱k\Omega \quad , \quad R_{out} = ۱۰\,k\Omega \,||\, ۴۷k\Omega \,||\, \left(\frac{۱۰\,k\Omega + r_{\pi_۲}}{۱+\beta}\right) \simeq ۱۰۰\Omega$$

---

**۲۷ـ گزینه «۴»** شبکه فیدبک یعنی مقاومت $R_F$ مستقیماً از گره خروجی نمونه‌برداری می‌کند و در ورودی نیز مستقیماً به ولتاژ ورودی وصل شده است پس فیدبک از نوع ولتاژ ـ موازی می‌باشد، لذا می‌توان از تقریب میلر استفاده کرد. اما در این سؤال به علت سادگی مدار بدون استفاده از روش‌های فیدبک و میلر با استفاده از قانون پخش جریان‌ها بهره خواسته شده را حساب می‌کنیم:




$$KCL@V_o: \frac{V_o}{۶} + g_m V_i + \frac{V_o - V_i}{۲} = ۰$$

$$\Rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{۱}{۲} - g_m}{\frac{۲}{۳}} = \frac{-۲}{\frac{۲}{۳}} = -۳$$

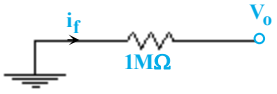
---

**۲۸ـ گزینه «۲»** مقاومت $۱k\Omega$ ولتاژ خروجی را از طریق واسطه پیوندهای بیس ـ امیتر به ولتاژ ورودی وصل می‌کند. در واقع تغییرات ولتاژ خروجی به نوعی به صورت ولتاژی و بدون تضعیف یا تقویت با ولتاژ ورودی مقایسه می‌شود پس می‌توان گفت ضریب فیدبک برابر $k = \frac{V_f}{V_o} = ۱$ می‌باشد. چون فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد بهره فیدبک از جنس $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{ولتاژ}}$ می‌باشد. در صورتی‌که فرض کنیم بهره حلقه باز (بهره زوج دیفرانسیلی) بزرگ باشد بهره حلقه بسته تقریباً برابر است با:

$$A_{V_f} = \frac{A_V}{۱ + KA_V} \simeq \frac{۱}{K} = ۱$$

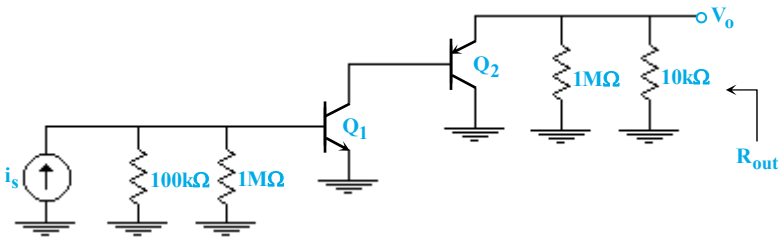
---

**۲۹ـ گزینه «۴»** مقاومت $۱M\Omega$ چون به گره خروجی متصل شده است و در ورودی نیز مقایسه جریانی را انجام می‌دهد (چون انشعاب جریان ایجاد کرده است) پس از نوع ولتاژ ـ موازی می‌باشد و چون مقدار مقاومت خروجی خواسته شده است نمی‌توان از قضیه میلر استفاده کرد. برای شبکه فیدبک نشان داده شده در شکل مقابل ضریب فیدبک برابر است با:




$$K = \frac{i_f}{V_o} = \frac{-۱}{۱M\Omega}$$

با توجه به اینکه نوع فیدبک بهره فیدبک از جنس $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$ می‌باشد، بهره حلقه باز با توجه به مدار معادل ac زیر برابر است با:




www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



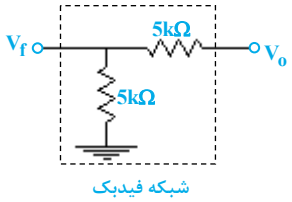
بهره حلقه باز $R_m = \frac{V_o}{i_s} = \frac{-10\,k\Omega \times \beta_1 \times \beta_2 \times i_{b_1}}{i_{b_1}} = -100M\Omega$

چون فیدبک در خروجی از نوع ولتاژ می‌باشد پس مقاومت خروجی با ضریب $(1+kR_m)$ کاهش می‌یابد:

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+KR_m} = \frac{(10\,k\Omega \,||\, 1M\Omega)}{1+(\frac{-1}{1M\Omega} \times -100M\Omega)} = 100\Omega$$

---

**۳۰ـ گزینه «۱»** مقاومت‌های $5k\Omega$ مطابق شکل زیر تشکیل یک فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌دهند.



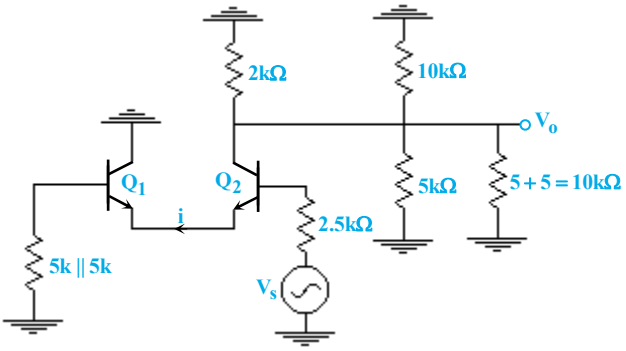
شبکه فیدبک

برای شکل مقابل ضریب فیدبک برابر است با:

$$K = \frac{V_f}{V_o} = \frac{5k\Omega}{5k\Omega + 5k\Omega} = \frac{1}{2}$$

چون فیدبک از نوع ولتاژ ـ سری می‌باشد بهره فیدبک از جنس $\frac{\text{ولتاژ}}{\text{ولتاژ}}$ می‌باشد.

مدار معادل ac با در نظر گرفتن اثر بارگذاری در ورودی و خروجی به صورت زیر می‌باشد:

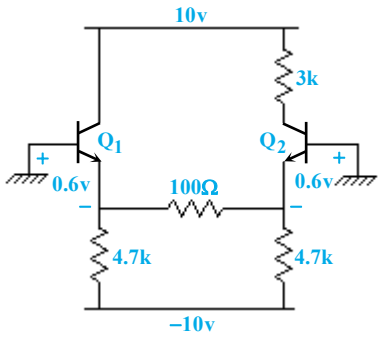



بهره حلقه باز $A_V = \frac{V_o}{V_s} = \frac{-(10\,k\Omega \,||\, 10\,k\Omega \,||\, 5k\Omega \,||\, 2k\Omega)}{\frac{1}{g_{m_1}} + \frac{1}{g_{m_2}} + \frac{2/5k\Omega + 2/5k\Omega}{\beta}} \simeq -11$

بهره حلقه بسته $A_{V_f} = \frac{A_V}{1+KA_V} = \frac{-11}{1+(\frac{1}{2}) \times (-11)} \simeq 2$

---

**۳۱ـ گزینه «۲»** برای محاسبه بهره به مقادیر $g_m$ نیاز داریم. بنابراین ابتدا تحلیل dc انجام می‌دهیم:



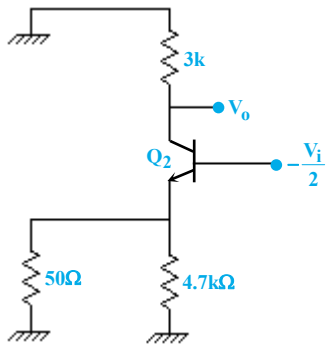

به دلیل تقارن در مدار، جریان عبوری از ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ برابر است و از مقاومت ۱۰۰ اهمی جریانی عبور نمی‌کند:

$$I_{C_1} = I_{C_2} = \frac{-0/6 - (-10)}{4/7} = 2mA$$

مقادیر $g_m$ را به دست می‌آوریم:

$$g_{m_1} = g_{m_2} = \frac{I_{C_{1,2}}}{V_T} = 40 I_{C_{1,2}} = 80\,m\mho$$

برای به دست آوردن بهره از روش نیم‌مدار استفاده می‌کنیم. در نتیجه شکل مقابل را داریم:




مقدار بهره به دست می‌آید:

$$\frac{\frac{V_o}{-V_i}}{2} = \frac{-g_{m_2}(3)}{1+g_{m_2}(4/7 \,||\, 0/05)}$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{+1}{2} \times \frac{240}{1+4} = 24$$

---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir

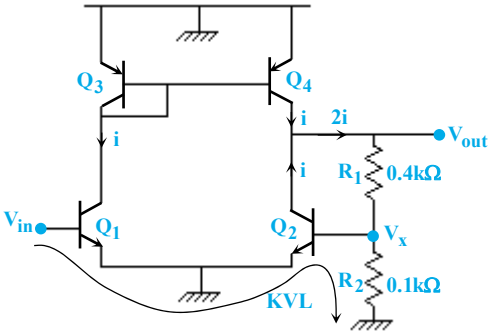


**۳۲ـ گزینه «۳»** با تحلیل DC مدار داریم:

$$I_{C_{1,2}} = \frac{0/5}{2} = 0/25\,mA$$

$$g_{m_{1,2}} = 40 I_{C_{1,2}} = 10\,m\mho$$

$$r_{e_{1,2}} = \frac{1}{g_{m_{1,2}}} = 0/1\,k\Omega$$




با صرف‌نظر از جریان بیس، ولتاژ خروجی برحسب جریان $i$ برابر است با:

$$V_{out} = (0/1 + 0/4) \times 2i = i$$

از طرفی در مسیر مشخص شده KVL می‌نویسیم تا جریان $i$ برحسب $V_{in}$ به‌دست آوریم:

$$KVL: -V_{in} + r_{e_1} i + r_{e_2} i + V_x = 0 \qquad (1)$$

ولتاژ $V_x$ از تقسیم ولتاژ به‌دست می‌آید:

$$V_x = \frac{0/1}{0/1 + 0/4} V_{out} = \frac{1}{5} V_{out}$$

با جایگذاری $V_x$ در رابطه (۱) داریم:

$$i = \frac{V_{in} - \frac{1}{5} V_{out}}{0/1 + 0/1} = 5V_{in} - V_{out}$$

با جایگذاری $i$ در رابطه $V_{out}$، بهره به‌دست می‌آید:

$$V_{out} = 5V_{in} - V_{out} \Rightarrow A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 2/5$$

---

**۳۳ـ گزینه «۱»** $g_m$ ترانزیستورها برابر است با:

$$g_{m_1} = 2\sqrt{kI_{D_1}} = 2\sqrt{4 \times 1} = 4m\mho \quad , \quad g_{m_2} = 2\sqrt{kI_{D_2}} = 2\sqrt{4 \times 4} = 8m\mho \quad , \quad g_{m_3} = 2\sqrt{kI_{D_3}} = 2\sqrt{4 \times 2} = 4\sqrt{2}m\mho$$

مدار دارای فیدبک از نوع جریان ـ سری است. در نتیجه $R_{of}$ و $R_{if}$ بسیار بزرگ است.

مقاومت خروجی برابر است با:

$$R_o = 2k\Omega \,||\, R_{of} \simeq 2k\Omega$$

مقاومت ورودی برابر است با:

$$R_i = 800 \,||\, 200 \,||\, R_{if} \simeq 160k\Omega$$

---

www.modaresanesharif.ac.ir

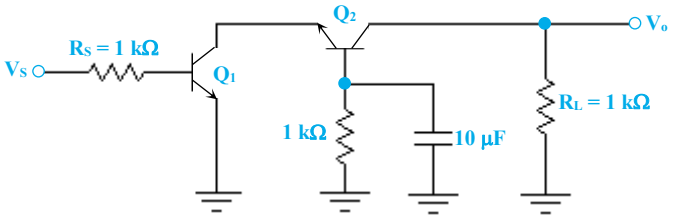
www.modaresanesharif.ac.ir



# فصل هشتم
# پاسخ فرکانسی

## تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل هشتم

**۱ـ** فرکانس قطع پایین مدار زیر به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ $h_{fe}=۱۰۰$ ، $h_{ie}=۱k\Omega$ و $h_{re}=h_{oe}=۰$. (سراسری ۷۵)



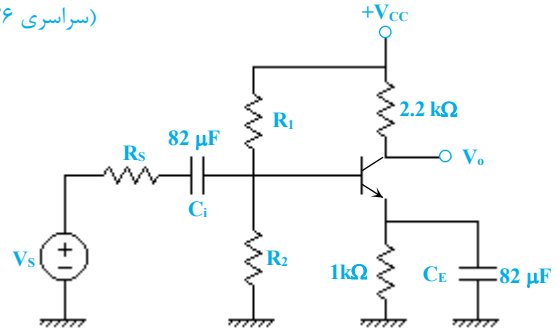

۱) ۰Hz

۲) ۸ Hz

۳) ۱۶ Hz

۴) ۳۲ Hz

**۲ـ** با فرض $R_B=R_1\|R_2$ خیلی بزرگ در مدار زیر، به ازای کدام مقدار $R_S$ بهره ولتاژ فرکانس میانی $\left|\frac{V_o}{V_s}\right|>۱۰۰$ و فرکانس قطع ۳ dB پایینی کمتر از ۱۰۰ Hz می‌باشد. ($h_{fe}=۱۰۰$ و $h_{ie}=۱۱۰۰\Omega$) (سراسری ۷۶)



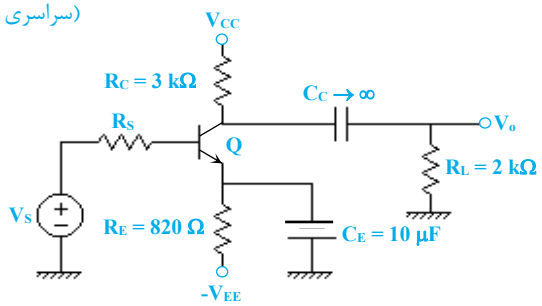

۱) ۱kΩ

۲) ۲kΩ

۳) ۱/۵kΩ

۴) ۵۰۰Ω

**۳ـ** در مدار زیر فرکانس قطع پایین مدار ۰Hz است. مقدار مقاومت $R_S$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟ ($h_{fe}=۵۰$ و $h_{ie}=۱k\Omega$ است.) (سراسری ۷۷)



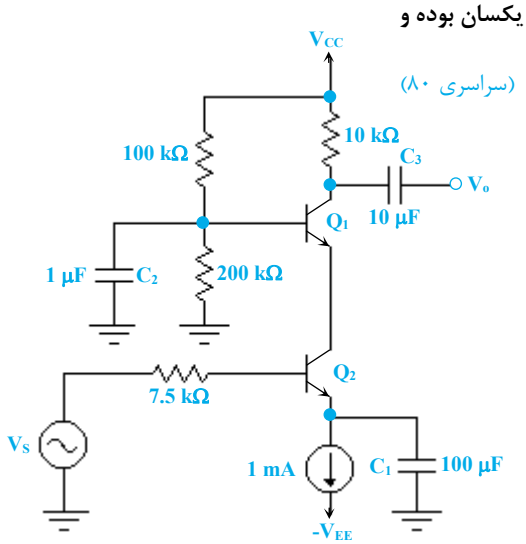

۱) ۴۹kΩ

۲) ۱۰۰kΩ

۳) ۹۸۰Ω

۴) فرکانس قطع پایین این مدار نمی‌تواند ۰Hz باشد.

**۴ـ** در مدار شکل زیر بهره فرکانس میانی تقویت‌کننده و ترانزیستورهای $Q_1$ و $Q_2$ یکسان بوده و دارای $h_{oe}=۰$ و $h_{fe}=۱۰۰$ هستند. تابع تبدیل $A_v(s)=\frac{V_o(s)}{V_s(s)}$ مدار کدام است؟ (سراسری ۸۰)




۱) $\frac{A_۰s}{(s+۱۰۰)}$

۲) $\frac{A_۰s^۲}{(s+۱۰۰)(s+۱۰)}$

۳) $\frac{A_۰s^۲}{(s+۱۰۰)(s+۱۵)}$

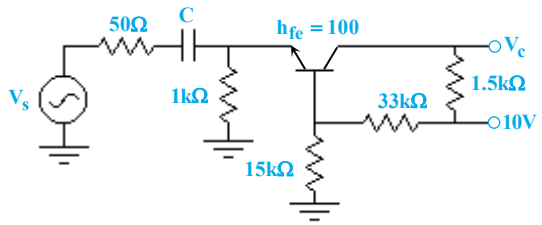
۴) $\frac{A_۰s^۳}{(s+۱۰۰)(s+۱۵)(s+۱۰)}$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۵ـ در مدار روبرو فرکانس قطع پایین برابر $50\,Hz$ می‌باشد. ظرفیت C چقدر است؟ (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)




۱) $42\mu f$

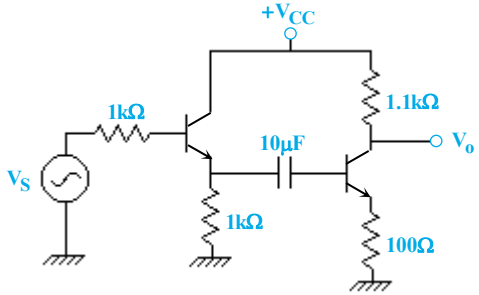
۲) $10/5\mu f$

۳) $31/5\mu f$

۴) $21\mu f$

۶ـ فرکانس قطع پایین مدار زیر به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ (برحسب هرتز) (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۴)

$h_{ie} = 1k\Omega \quad , \quad h_{fe} = 100$



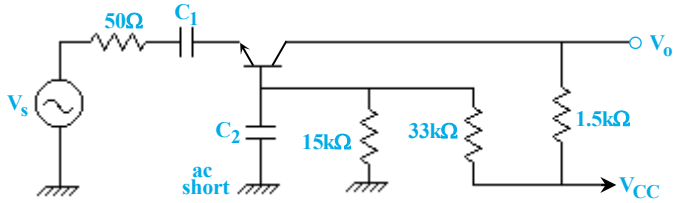

۱) ۵

۲) ۱۵

۳) ۰/۵

۴) ۱/۵

۷ـ در مدار شکل زیر خازن $C_1$ را چنان تعیین کنید که فرکانس قطع پایین مدار حداقل $50\,HZ$ باشد. پارامترهای ترانزیستور $h_{ie} = 1/1k\Omega$، $h_{fe} = 100$ و $h_{re} = h_{oe} = 0$ (در نقطه کار) می‌باشند. مقدار خازن $C_1$ را نیز براساس کوچک‌ترین خازن استاندارد که شرط فوق را تأمین کند، انتخاب نمایید. (مهندسی برق گرایش قدرت، مخابرات و کنترل ـ آزاد ۸۵)



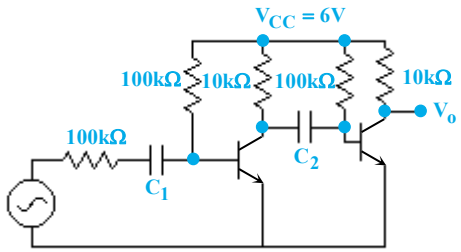

۱) $27\mu F$

۲) $100\mu F$

۳) $68\mu F$

۴) $330\mu F$

۸ـ در شکل زیر، ترانزیستورها دارای $V_T = 26mV, V_{BE(on)} = 0/7V, \beta = 100, \eta = 1$ می‌باشند. اگر $C_1 = C_2 = 1\mu F$ باشند، مطلوب است تعیین فرکانس قطع پایین مدار. (مهندسی برق گرایش الکترونیک ـ آزاد ۸۵)



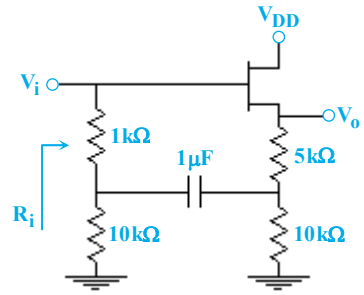

۱) ۵/۱ هرتز

۲) ۱۵/۱ هرتز

۳) ۲۳/۷ هرتز

۴) ۳۴ هرتز

۹ـ در مدار شکل داده شده، JFET دارای مشخصات مقابل است: $g_m = 1\frac{mA}{V}$ , $r_o \to \infty$ عبارت کدام گزینه درست است؟ (یادآوری: $\omega_L(3dB)$ فرکانس قطع 3dB پایین مدار است.) (مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)




۱) در فرکانس‌های بالا، امپدانس ورودی افزایش می‌یابد و $\omega_L(3dB) = 0$

۲) در فرکانس‌های بالا، امپدانس ورودی کاهش می‌یابد و $\omega_L(3dB) = 0$

۳) در فرکانس‌های بالا، امپدانس ورودی افزایش می‌یابد و $\omega_L(3dB) > 0$

۴) در فرکانس‌های بالا، امپدانس ورودی کاهش می‌یابد و $\omega_L(3dB) > 0$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



## پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل هشتم

**۱ـ گزینه «۱»** خازن بیس $Q_2$ یک صفر و قطب هم‌اندازه در تابع تبدیل کلی ایجاد می‌کند که از صورت و مخرج حذف می‌شوند، لذا خازن بیس $Q_2$ نقشی در گین ندارد و فرکانس قطع پایین وجود ندارد.

**۲ـ گزینه «۱»** رابطه‌ی ولتاژ خروجی به ورودی برای تقویت‌کننده امیتر مشترک با فرض $R_1 \| R_2 \simeq \infty$ به صورت زیر می‌باشد:

$$|A_V| = \frac{R_C}{\frac{(R_S \| R_1 \| R_2) + h_{ie}}{1 + h_{fe}}} \simeq \frac{h_{fe}.R_C}{h_{ie} + R_S} > 100$$

با استفاده از شرط فوق می‌توان حد بالای مقاومت $R_S$ را حساب کرد:

$$|A_V| > 100 \Rightarrow R_S < 1/1k\Omega \quad (I)$$

با توجه به اینکه $R_{C_E} << R_{C_i}$ می‌باشد، قطب حاصل از خازن $C_E$ تعیین‌کننده‌ی $f_L$ می‌باشد.

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_{C_E} \times C_E} = \frac{1}{2\pi \times (\frac{(R_S \| R_1 \| R_2) + h_{ie}}{1 + h_{fe}} \| 1k\Omega) \times 82\mu F} < 100Hz$$

با استفاده از این شرط نیز می‌توان حد پایین مقاومت $R_S$ را حساب کرد:

$$f_L < 100Hz \Rightarrow R_S > 0/84k\Omega \quad (II)$$

با استفاده از روابط (I) و (II) گزینه‌ی (۱) یعنی مقدار $R_S = 1k\Omega$ درست می‌باشد.

**۳ـ گزینه «۴»** فرکانس قطع پایین این مدار از رابطه‌ی مقابل قابل محاسبه می‌باشد:

$$f_L = 2\pi\sqrt{(\frac{1}{R_1C_1})^2 + (\frac{1}{R_2C_2})^2 + \cdots}$$

لذا به علت وجود خازن در این مدار امکان صفر شدن $f_L$ وجود ندارد.

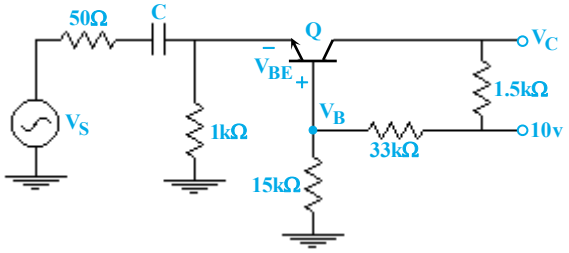
**۴ـ گزینه «۱»** برای به دست آوردن تابع تبدیل باید صفر و قطب‌های مدار را حساب کنیم. در فرکانس $S = 0$ خازن $C_3$ اتصال باز می‌شود و خروجی صفر می‌شود، لذا $S = 0$ صفر تابع تبدیل می‌باشد. از طرف دیگر صفر و قطب ایجاد شده ناشی از خازن $C_2$ با هم برابر می‌باشند و لذا خازن $C_2$ تأثیری در پاسخ فرکانسی ندارد، اما قطب ایجاد شده توسط خازن $C_1$ برابر است با:

$$\omega_{P_1} = \frac{1}{R_{C_1} \times C_1} = \frac{1}{(\frac{7/5 + r_{\pi_2}}{1 + \beta_2}) \times 100\mu F} = \frac{1}{(75 + 25) \times 10^{-4}} = 100 \frac{rad}{s}$$

پس تابع تبدیلی کلی را می‌توان به صورت مقابل نوشت:

$$A_V(S) = A_0 \times \frac{(S + \omega_{Z_1})}{(S + \omega_{P_1})} = A_0 \times \frac{S}{S + 100}$$

**۵ـ گزینه «۴»** ابتدا با استفاده از تحلیل DC میزان جریان و پارامترهای سیگنال کوچک ترانزیستور را حساب می‌کنیم. با صرف‌نظر از جریان بیس داریم:




$$V_B = \frac{15}{15 + 33} \times 10v = 3/125v$$

$$I_C = \frac{V_B - V_{BE(on)}}{1k\Omega} \simeq 2/5mA$$

درنتیجه پارامتر سیگنال کوچک $r_\pi$ برابر می‌شود با:

$$r_\pi = \frac{\eta V_T}{I_{CQ}} \times \beta \simeq 1k\Omega$$

پس مقاومت معادل دیده شده از دو سر خازن C و درنتیجه قطب ناشی از آن را می‌توان به صورت زیر حساب کرد:

$$R_C = 50\Omega + [1k\Omega \| (\frac{r_\pi + 15k\Omega \| 33k\Omega}{1 + \beta})] \simeq 60\Omega$$

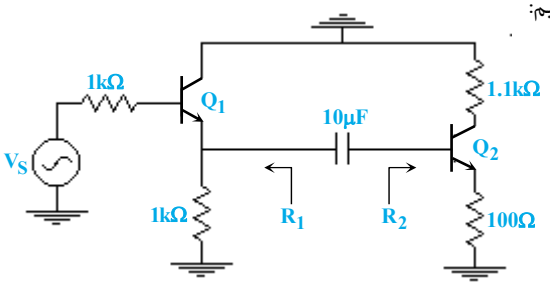
$$f_L = \frac{1}{2\pi R_C C} = 50Hz \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi R_C f_L} = 20\mu F$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۶ـ گزینه «۴»** ابتدا مطابق شکل زیر مقاومت دیده شده از دو سر خازن $۱۰\mu F$ را حساب می‌کنیم:




$$R_{۱۰\mu F} = R_۱ + R_۲$$

$$R_{۱۰\mu F} = (۱k\Omega \,||\, \frac{۱k\Omega + r_{\pi_۱}}{۱+\beta_۱}) + (r_{\pi_۲} + ۱۰۰\Omega \times (۱+\beta_۲))$$

$$R_{۱۰\mu F} \simeq ۱۱k\Omega \Rightarrow f_L = \frac{۱}{۲\pi(۱۱k\Omega)\times ۱۰\mu F} \simeq ۱/۴۴Hz$$

---

**۷ـ گزینه «۳»** مقاومت دیده شده از دو سر خازن $C_۱$ بسیار کوچکتر از مقاومت معادل دو سر خازن $C_۲$ می‌باشد، لذا قطب ایجاد شده توسط خازن $C_۱$ غالب می‌باشد، با فرض اتصال کوتاه بودن $C_۲$، مقاومت دو سر خازن $C_۱$ برابر می‌شود با:

$$R_{C_۱} = ۵۰\Omega + \frac{۱}{g_m} = ۵۰\Omega + \frac{h_{ie}}{۱+h_{fe}} = ۶۱\Omega$$

$$f_L = \frac{۱}{۲\pi R_{C_۱} \times C_۱} = ۵۰Hz \Rightarrow C_۱ = ۵۲/۴\mu F \xrightarrow{\text{مقدار استاندارد}} C_۱ = ۶۸\mu F$$

---

**۸ـ گزینه «۳»** ابتدا با کمک تحلیل DC جریان ترانزیستور و پارامترهای سیگنال کوچک لازم را حساب می‌کنیم:

$$I_{B_۱} = I_{B_۲} = \frac{۶ - V_{BE(on)}}{۱۰۰k\Omega} = ۵۳\mu A \Rightarrow I_{C_۱} = I_{C_۲} = ۵/۳mA$$

$$r_{\pi_۱} = r_{\pi_۲} = \frac{\eta V_T}{I_{CQ}} \times \beta \simeq ۴۷۰\Omega$$

با توجه به شکل مدار، مقاومت معادل دیده شده از دو سر خازن‌های $C_۱$ و $C_۲$ با همدیگر برابر هستند:

$$R_{C_۱} = R_{C_۲} = ۱۰k\Omega + [۱۰۰k\Omega \,||\, r_{\pi_{۱,۲}}] = ۱۰/۴۷k\Omega$$

لذا قطب‌های ناشی از هر یک از خازن‌ها نیز برابر می‌شود با:

$$f_{p_۱} = f_{p_۲} = \frac{۱}{۲\pi(R_{C_{۱,۲}} \times C_{۱,۲})} = ۱۵/۲Hz$$

با توجه به برابری قطب‌ها، فرکانس قطع پایین کل برابر است با:

$$f_L = \frac{f_{p_۱} \text{ یا } f_{p_۲}}{\sqrt{۲^{\frac{۱}{۲}} - ۱}} \simeq ۲۴Hz$$

دقت کنید در این سؤال با توجه به مقدار جریان و مقاومت‌ها، ترانزیستورها در ناحیه‌ی اشباع خواهند بود و لذا سؤال با این مقادیر اشتباه می‌باشد! ولی با فرض فعال بودن ترانزیستورها جواب گزینه‌ی (۳) خواهد بود.

---

**۹ـ گزینه «۳»** به علت آنکه در مدار خازنی داریم که صفر و قطب ایجاد شده ناشی از آن با هم برابر نیستند، پس حتماً فرکانس قطع پایین کل مدار مخالف صفر (مقداری مثبت) می‌باشد؛ اما در فرکانس‌های بالا با اتصال کوتاه شدن خازن $۱\mu F$، فیدبک از ولتاژ خروجی به جریان ورودی به وجود می‌آید که باعث می‌شود هر دو امپدانس‌های ورودی و خروجی در این نوع فیدبک افزایش یابد، پس در مجموع می‌توان گفت گزینه‌ی (۳) صحیح می‌باشد.

---

www.modaresanesharif.ac.ir

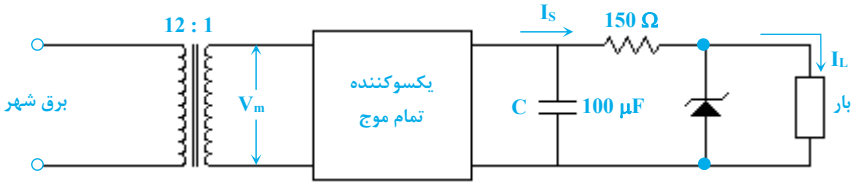
www.modaresanesharif.ac.ir



# فصل نهم
# رگولاتورهای خطی ولتاژ

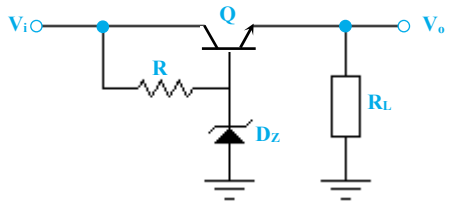
## تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل نهم

**۱ـ** در مدار تنظیم کننده زنری نشان داده شده در شکل مقابل ولتاژ دو سر خازن C تقریباً برابر است با: $V_C \approx V_m - \frac{I_s}{4fC}$ که در آن $f = 50Hz$ فرکانس برق شهر و $V_m$ دامنه ماکزیمم ولتاژ ورودی یکسو کننده است. دیود زنر دارای مشخصات زیر است : $r_z = 20\Omega$ و $V_z = 6V$ و $I_{z(max)} = 60mA$ ، $I_{z(min)} = 5mA$ . حدود جریان بار چه مقدار می‌تواند باشد تا به ازای تغییرات مقدار مؤثر ولتاژ برق شهر از ۱۸۰v تا ۲۴۰v این تنظیم‌کننده به طور صحیح عمل نماید؟ (سراسری ۷۵)



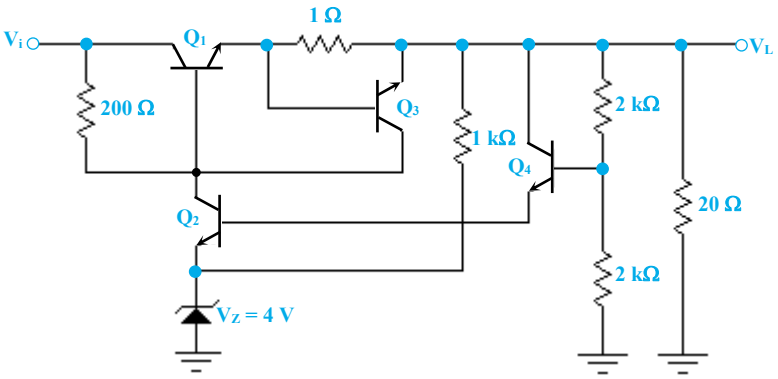

۱) $4mA < I_L < 40mA$
۲) $0mA < I_L < 64mA$
۳) $46mA < I_L < 70mA$
۴) $10mA < I_L < 105mA$

**۲ـ** شکل زیر مدار یک تنظیم کننده ولتاژ امیتر فالور را نشان می‌دهد. اگر دیود زنر با یک منبع ولتاژ Vz سری با یک مقاومت $r_z$ مدل شود و درجه تنظیم خط (Line Regulation) به صورت $S_V \triangleq \frac{\partial V_o}{\partial V_i}$ تعریف گردد ، کدامیک از گزاره‌های زیر درست است؟ (سراسری ۷۵)




۱) با افزایش $r_z$ و کاهش R مقدار $S_V$ کم می‌شود.
۲) با کاهش $r_z$ و افزایش R مقدار $S_V$ کم می‌شود.
۳) $S_V$ بستگی به مقدار R ندارد.
۴) $S_V$ بستگی به مقدار $r_z$ ندارد.

**۳ـ** در مدار تنظیم‌کننده ولتاژ (regulator) مقدار $V_L$ برابر کدام است؟ $Q_2$ دارای $h_{ie} = 100\Omega$ و برای بقیه ترانزیستورها $h_{ie} = 1k\Omega$ و $h_{fe} = 100$ و $V_{BE} = 0/7V$ است. (سراسری ۷۵)




۱) 9/4 V
۲) 10/8 V
۳) 11/11 V
۴) 15 V

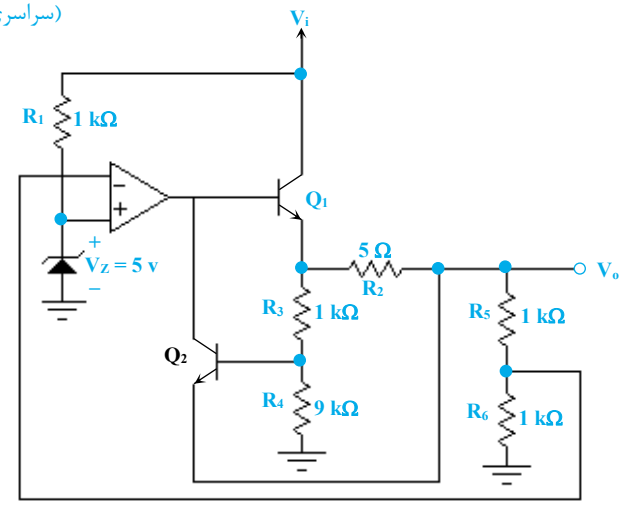
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۴ـ مدار شکل زیر یک تنظیم‌کننده ولتاژ را نشان می‌دهد. اگر حداکثر جریان خروجی این تنظیم‌کننده در حالت عادی کار تنظیم‌کننده (یعنی $V_o = V_{REG}$ ) را با $I_{REG}$ و حداکثر جریان خروجی در حالت اتصال کوتاه را با $I_{SC}$ نشان دهیم، کدام گزاره درست است؟ (ترانزیستورها از نوع سیلیکن با $V_{BE} = ۰/۶V$ هستند.)

(سراسری ۷۷)




۱) $I_{SC} = I_{REG} \approx ۱۳۰ mA$

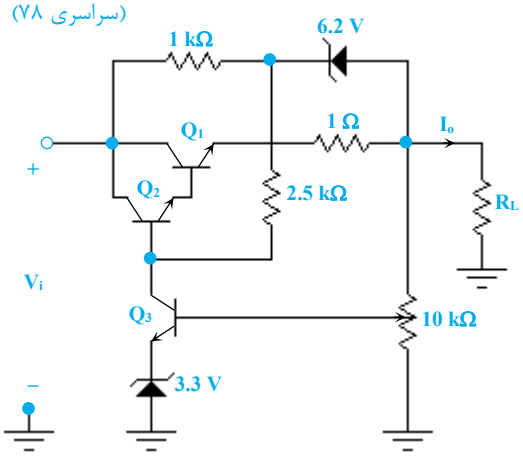
۲) $I_{SC} = I_{REG} \approx ۳۶۰ mA$

۳) $I_{REG} \approx ۳۶۰ mA$ و $I_{SC} \approx ۱۳۰ mA$

۴) $I_{REG} \approx ۱۳۰ mA$ و $I_{SC} \approx ۳۶۰ mA$

۵ـ در شکل مقابل، حداکثر جریان خروجی چند آمپر است؟مشخصات ترانزیستورها به صورت ($V_{BE}(ON) = ۰/۷V$ , $\beta = ۵۰$) است.

(سراسری ۷۸)




۱) ۱/۲

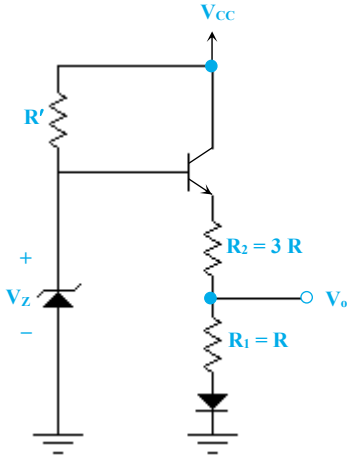
۲) ۲/۵

۳) ۳/۲

۴) ۴/۸

۶ـ مدار یک نوع مرجع ولتاژ در مدارهای مجتمع، در شکل زیر نشان داده شده است. اگر $V_D = V_{BE} = ۰/۶^V$ و گسترهٔ ولتاژ زنر $۶^V \le V_z \le ۹^V$ باشد، گسترهٔ ولتاژ خروجی ممکن به کدام گزینه نزدیکتر است؟ ( برحسب ولت)

(سراسری ۸۰)




۱) $۱/۸ \le V_o \le ۲/۵$

۲) $۲/۲ \le V_o \le ۳/۲$

۳) $۳ \le V_o \le ۴/۵$

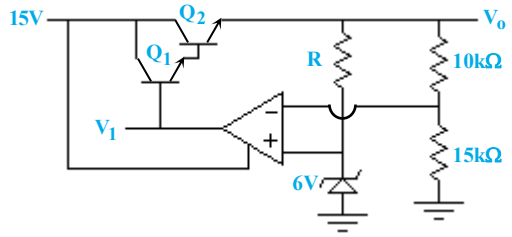
۴) $۴/۸ \le V_o \le ۷/۸$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۷ـ در تثبیت کننده ولتاژ شکل زیر $V_{CE}$ اشباع برای $Q_1$ ، ۰/۵ ولت و برای $Q_2$ ، ۲ ولت و $V_{BE}$ برای هر دو ۰/۷ ولت است و $1/5V \le V_1 \le 13/5V$ می‌باشد ولتاژ $V_o$ و $V_1$ برابر هستند با:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۰)



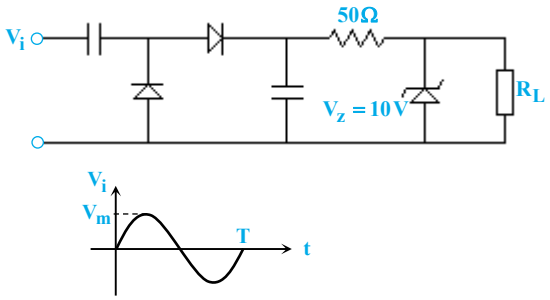

۱) $\begin{cases} V_o = 10V \\ V_1 = 8/6V \end{cases}$

۲) $\begin{cases} V_o = 13/8V \\ V_1 = 12/4V \end{cases}$

۳) $\begin{cases} V_o = 10/2V \\ V_1 = 1/5V \end{cases}$

۴) $\begin{cases} V_o = 13V \\ V_1 = 13/5V \end{cases}$

**۸ـ در تثبیت کننده مقابل مشخصات جریان دیود زنر باید برابر باشد با:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۱)



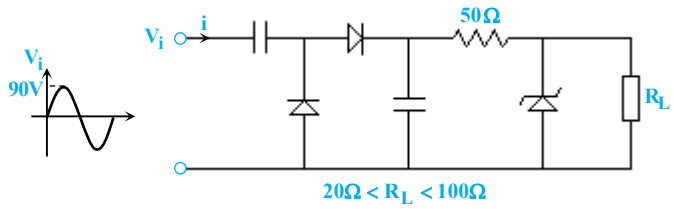

۱) $100mA < I_Z < 590mA$

۲) $300mA < I_Z < 790mA$

۳) $200mA < I_Z < 690mA$

۴) $I_Z < 590mA$

**۹ـ در مدار مقابل با کاهش مقاومت $R_L$ در محدوده مجاز:** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۱)



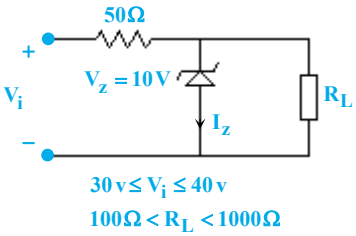

۱) مدت زمان هدایت دیودها تغییر نکرده ولی ماکزیمم جریان ورودی (i) افزایش می‌یابد.

۲) مدت زمان هدایت دیودها تغییر کرده و ماکزیمم جریان ورودی (i) افزایش می‌یابد.

۳) مدت زمان هدایت دیودها تغییر نکرده و ماکزیمم جریان ورودی نیز (i) تغییر نمی‌کند.

۴) ریپل‌های ولتاژ خروجی افزایش خواهد یافت.

**۱۰ـ در حالت تثبیت ولتاژ، محدوده جریان در دیود زنر برابر کدام گزینه زیر باشد تا مدار به درستی کار کند؟** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۲)




۱) $300mA < I_z < 590mA$

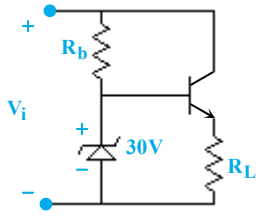
۲) $100mA < I_z < 590mA$

۳) $300mA < I_z < 790mA$

۴) $100mA < I_z < 790mA$

**۱۱ـ مقاومت $R_b$ برای اینکه توان مصرفی زنر حداقل باشد کدام است؟** (مهندسی برق گرایش کنترل و مخابرات ـ آزاد ۸۳)

$$\beta = 20, V_{BE} = 0/7V, 100\Omega \le R_L \le 1k, 40v \le V_i \le 50v, I_{Z_{min}} = 5mA$$




۱) $1/25k\Omega$

۲) $250\Omega$

۳) $0/5k\Omega$

۴) $1k\Omega$

**۱۲ـ تنظیم کننده‌های ولتاژ ساده معمولاً از یک ..... به عنوان ولتاژ مرجع استفاده می‌کنند. استفاده از دیود زیر در هنگام بی باری باعث ..... می‌شود، که این موجب ..... بازده تنظیم کننده می‌شود.** (مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)

۱) دیود زنر، کاهش تلفات حرارتی، افزایش

۲) دیود زنر، افزایش تلفات، حرارتی، کاهش

۳) رگولاتور، افزایش تلفات حرارتی، کاهش

۴) رگولاتور، کاهش تلفات حرارتی، افزایش

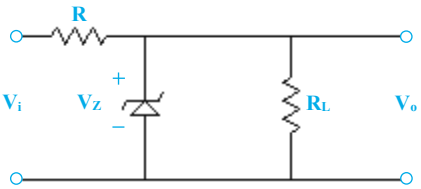
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۳ـ در مدار تنظیم کنندهٔ ولتاژ شکل زیر، از یک دیود زنر $۴/۸V$ استفاده شده است. برای این دیود زنر $I_k = ۰/۲mA$ و $I_z(max) = ۷mA$ است. با فرض $R = ۱k\Omega$ و $v_i = ۱۰ \pm ۱V$، حداقل مقدار $R_L$ چقدر باشد که علی‌رغم تغییرات ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی برابر $۴/۸V$ باشد؟

(مهندسی برق «کلیه گرایش‌ها» ـ آزاد ۸۶)

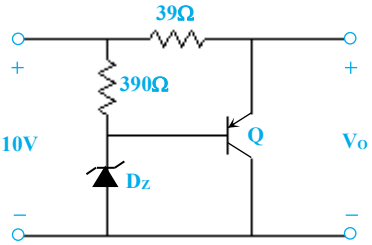



۱) $۲/۴k\Omega$
۲) $۳/۶k\Omega$
۳) $۱/۲k\Omega$
۴) $۴/۸k\Omega$

۱۴ـ شکل داده شده، مدار یک منبع ولتاژ تنظیم شده را نشان می‌دهد. حداکثر جریانی که می‌توان از این منبع کشید، به طوری که از حالت تنظیم خارج نشود به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

(مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)

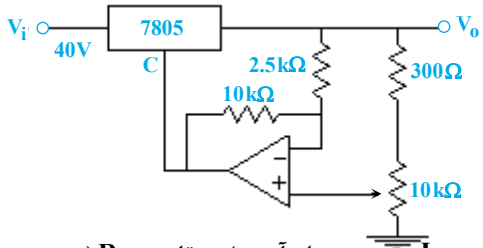
$\beta = ۱۰۰ , V_Z = ۵/۶V , |V_{BE}| = ۰/۷V , |V_{CE_{sat}}| = ۰/۲V$




۱) ۵۰mA
۲) ۱۰۰mA
۳) ۱۵۰mA
۴) ۲۰۰mA

۱۵ـ در مدار شکل داده شده، ولتاژ بین پایه مشترک (c) و خروجی رگولاتور ۷۸۰۵ برابر $۵V$ است. با تغییر پتانسیومتر R، ولتاژ خروجی بین کدامیک از مقادیر زیر تغییر می‌کند؟

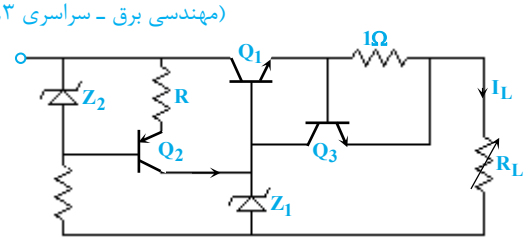
(مهندسی برق ـ آزاد ۸۹)




۱) ۱ تا ۹ ولت
۲) ۱ تا ۳۴ ولت
۳) ۴ تا ۵ ولت
۴) ۱ تا ۱/۲ ولت

۱۶ـ منبع تغذیه زیر برای ولتاژ خروجی ۶ ولت طراحی شده است. مقدار حداکثر جریان بار ($I_{L,max}$ برحسب میلی‌آمپر) و مقاومت R (برحسب اهم) به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

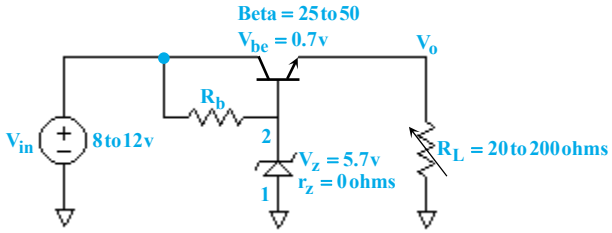
(مهندسی برق ـ سراسری ۹۳)




۱) ۱۰۰ , ۶۰۰
۲) ۱۷۵ , ۶۰۰
۳) ۷۳ , ۱۲۰۰
۴) ۱۰۰ , ۱۲۰۰

۱۷ـ در مدار رگولاتور ولتاژ زیر مقدار بهینه‌ی $R_b$ چند اُهم $(\Omega)$ است؟

(نانوفناوری و نانو مواد ـ سراسری ۹۵)




۱) ۱۴۳
۲) ۱۵۳
۳) ۱۶۳
۴) ۱۷۳

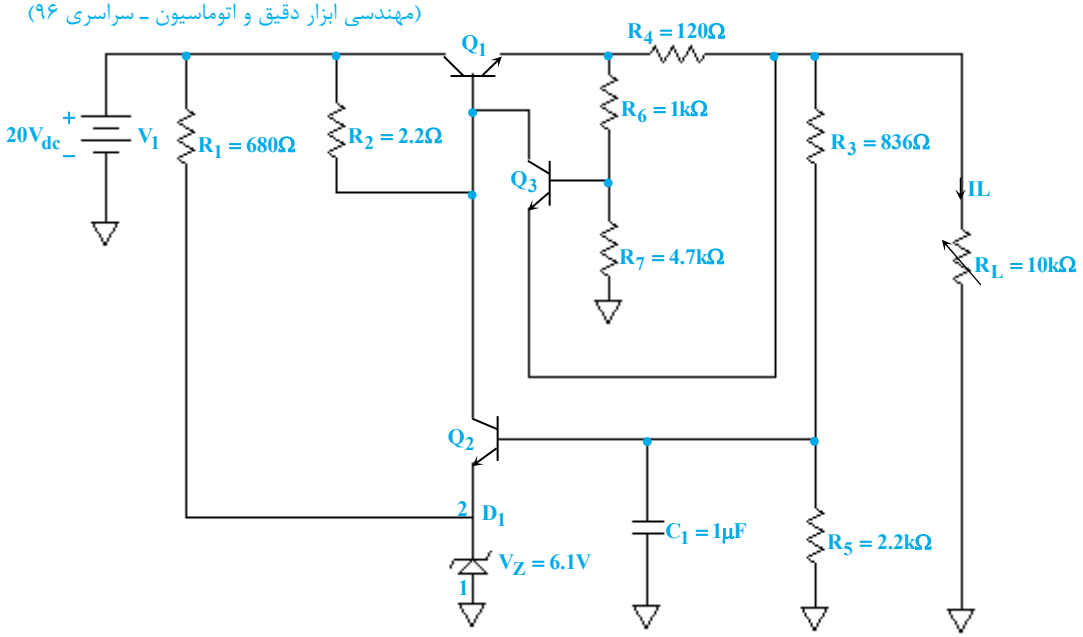
www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



۱۸ـ مقدار جریان اتصال کوتاه جریان بار IL در مدار زیر چند میلی‌آمپر است؟ برای ترانزیستورها $(V_{be} = 0/7V, \beta_{dc} = large)$ در نظر گرفته شود.

(مهندسی ابزار دقیق و اتوماسیون ـ سراسری ۹۶)




۱) ۷

۲) ۱۲

۳) ۱۷

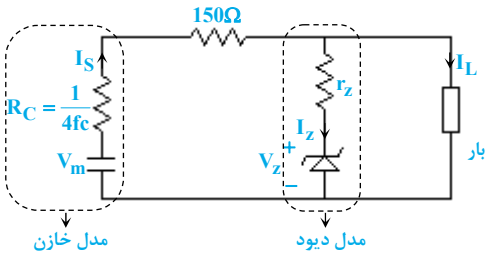
۴) ۲۲

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



## پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده کنکوری فصل نهم




**۱ـ گزینه «۳»** ابتدا با توجه به داده‌های مسئله به ساده‌سازی مدار فوق می‌پردازیم. به این صورت که خازن را با یک منبع ولتاژ (با ولتاژ $V_m$) سری با مقاومت (با مقدار $\frac{1}{4fc}$) مدل می‌کنیم. همچنین دیود زنر را به صورت یک دیود زنر ایده‌آل سری شده با مقاومت $r_z$ مدل می‌کنیم در شکل روبه‌رو مدار معادل مدار تنظیم‌کننده ولتاژ آورده شده است.

با توجه به اینکه فرکانس برق شهر $50\,Hz$ می‌باشد و همچنین مقدار ظرفیت صافی خازن برابر $100\mu F$ است بنابراین مقدار $R_C$ برابر خواهد بود با:

$$R_C = \frac{1}{4fc} = \frac{1}{4\times 50\times 100\times 10^{-6}} = 50\Omega$$

ولتاژ برق شهر بین $180\,V_{rms}$ تا $260\,V_{rms}$ تغییرات دارد بنابراین بازه تغییرات ولتاژ $V_m$ از $\frac{180}{12}\times\sqrt{2}$ تا $\frac{240}{12}\times\sqrt{2}$ خواهد بود.

ابتدا حد پایین جریان $I_L$ را محاسبه می‌کنیم. کمترین مقدار جریان $I_L$ ($I_{L,min}$) را زمانی خواهیم داشت که $I_{Z,max}$ و $V_{m,max}$ را داشته باشیم. پس داریم:

$$I_{L,min} = \frac{V_{m,max} - (V_z + r_z I_{Z,max})}{R_C + 150\Omega} - I_{Z,max} \Rightarrow I_{L,min} = \frac{28/28 - (6+1/2)}{0/2k\Omega} - 60mA \Rightarrow I_{L,min} = 45/6mA$$

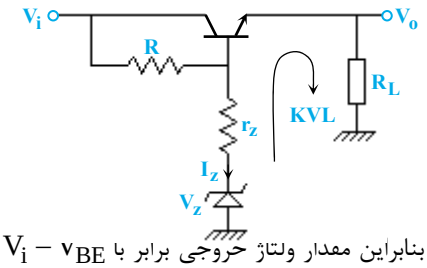
برای محاسبه $I_{L,max}$ نیز باید از $I_{Z,min}$ و $V_{m,min}$ استفاده نمود پس داریم:

$$I_{L,max} = \frac{V_{m,min} - (V_z + r_z I_{z,min})}{R_C + 150\Omega} - I_{z,min} \Rightarrow I_{L,max} = \frac{21/21 - (6+0/1)}{0/2k\Omega} - 5mA \Rightarrow I_{L,max} = 70/55mA$$

بنابراین داریم: $45/6mA < I_L < 70/55mA$

---

**۲ـ گزینه «۲»** پارامتر $S_V$ بیانگر میزان ریپل ولتاژ خروجی با توجه به تغییرات ولتاژ ورودی می‌باشد. هر چه مقدار $S_V$ کمتر باشد بدان معناست که مدار تنظیم‌کننده ولتاژ دارای ریپل کمتری می‌باشد.




اگر در مسیر نشان داده شده بر روی شکل KVL بزنیم آنگاه ولتاژ $V_o$ را با توجه به رابطه زیر به دست خواهیم آورد:

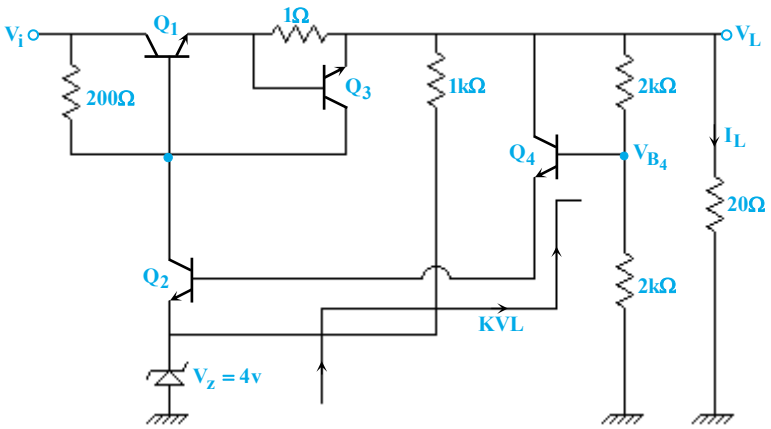
$$V_o = V_z + r_z I_z - V_{BE}$$

از آنجایی که $V_{BE}$ و $V_z$ مقادیر ثابتی هستند اما دامنه تغییرات $I_z$ زیاد می‌باشد بنابراین هر چه مقدار $r_z$ کوچکتر باشد در نتیجه $S_V$ نیز کمتر خواهد بود پس گزینه‌های ۱ و ۴ نادرست می‌باشند.

برای آنکه اثر R در ریپل ولتاژ خروجی را بررسی کنیم ابتدا فرض می‌کنیم که مقدار R برابر صفر باشد بنابراین مقدار ولتاژ خروجی برابر با $V_i - v_{BE}$ خواهد شد همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات $V_i$ مستقیماً به خروجی منتقل می‌شود بنابراین کاهش R منجر به افزایش $S_V$ خواهد شد و بالعکس. بنابراین می‌توان گفت که گزینه ۲ صحیح است.

---

**۳ـ گزینه «۲»** در این مدار از یک محدودکننده جریان استفاده شده است. به این صورت که یک مقاومت یک اهم بین پایه بیس ـ امیتر ترانزیستور $Q_3$ قرار گرفته است. با توجه به اینکه $V_{BE} = 0/7$ است در نتیجه محدودکننده جریان در صورتی فعال می‌شود که جریان بار بیشتر $\frac{0/7}{1\Omega} = 700mA$ شود. بنابراین در تحلیل اولیه فرض می‌کنیم محدودکننده جریان غیرفعال است.




ابتدا یک KVL در مسیر نشان داده شده بر روی شکل می‌زنیم و ولتاژ $V_{B_4}$ را به دست می‌آوریم: $V_{B_4} = V_z + V_{BE_1} + V_{BE_2} \Rightarrow V_{B_4} = 5/4v$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



سپس با تقسیم ولتاژ ولتاژ $V_L$ را محاسبه می‌کنیم:

$$V_{B_۴}=\frac{۲k\Omega}{۲k\Omega+۲k\Omega}\times V_L \Rightarrow V_L=۲V_{B_۴} \Rightarrow V_L=۱۰/۸v$$

با توجه به اینکه در خروجی یک بار $۲۰\Omega$ قرار گرفته است پس می‌توان گفت جریانی که به بار تحویل داده می‌شود برابر است با:

$$I_L=\frac{V_L}{۲۰\Omega}=۵۴۰mA$$

همانطور که دیدیم مقدار جریان $I_L$ کمتر از $۷۰۰mA$ است پس فرض غیرفعال بودن مدار محدودکننده جریان صحیح می‌باشد بنابراین $V_L=۱۰/۸v$ است.

---

**۴ـ گزینه «۳»** در حالتی که تنظیم‌کننده ولتاژ فعالیت عادی خود را دارد با توجه به اینکه پایه مثبت آپ امپ به دیود زنر ۵ ولتی متصل است در نتیجه پایه منفی آپ امپ نیز ولتاژ $+۵v$ را به خود می‌گیرد. با توجه به اینکه این پایه به محل اتصال مقاومت‌های $R_۵$ و $R_۶$ متصل است پس می‌توان گفت ولتاژ خروجی $۱۰v$ می‌باشد. ولتاژ بیس ترانزیستور $Q_۲$ برابر با $V_o+V_{BE}$ می‌باشد پس می‌توان با تقسیم ولتاژ، ولتاژ امیتر ترانزیستور $Q_۱$ را محاسبه کرد:

$$V_o+V_{BE_۲}=\frac{R_۴}{R_۳+R_۴}\times V_{E_۱} \Rightarrow V_{E_۱}=۱۰/۶\times\frac{۱۰}{۹}=۱۱/۷۷$$

جریان عبوری از مقاومت $R_۲$ برابر است با:

$$I_{R_۲}=\frac{V_{E_۱}-V_o}{۵\Omega}=۳۵۴mA$$

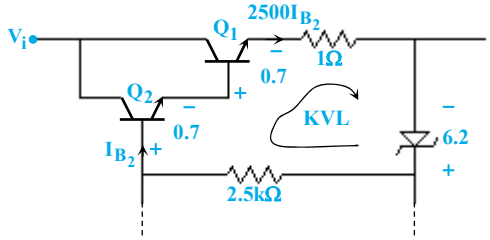
پس می‌توان گفت جریانی که به بار تحویل داده می‌شود حدود $۳۶۰mA$ است یعنی $I_{REG}=۳۶۰mA$.

در حالتی که در خروجی اتصال کوتاه رخ می‌دهد، آنگاه ولتاژ بیس ترانزیستور $Q_۲$ برابر $۰/۶$ ولت می‌باشد.

در نتیجه ولتاژ امیتر ترانزیستور $Q_۱$ برابر $۰/۶۶$ ولت می‌شود. پس جریان عبوری از مقاومت $R_۲$ برابر با $\frac{۰/۶۶-۰}{۵\Omega}=۱۳۳mA$ خواهد بود. پس می‌توان گفت جریانی که در حالت اتصال کوتاه خروجی داریم حدوداً برابر $۱۳۰mA$ است.

---

**۵ـ گزینه «۲»** همانطور که ملاحظه می‌شود می‌توان گفت جریان $I_o$ بیشتر متأثر از جریان عبوری از مقاومت $۱\Omega$ است و از جریان گذرنده از مقاومت $۱۰k\Omega$ می‌توان صرفنظر کرد. همچنین از جریان گذرنده از مقاومت $۱k\Omega$ در مقابل جریان گذرنده از مقاومت $۱\Omega$ می‌توان صرفنظر کرد. برای محاسبه جریان عبوری از مقاومت $۱\Omega$، مدار را به صورت روبه‌رو ساده‌سازی می‌کنیم:



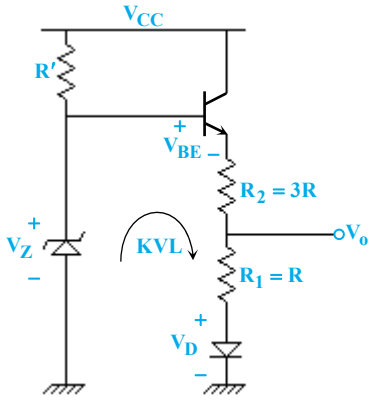

یک KVL در حلقه نشان داده شده در شکل می‌نویسیم و جریان $I_{B_۲}$ را به دست می‌آوریم:

$$۰/۷+۰/۷+۲/۵I_{B_۲}=۰ \Rightarrow I_{B_۲}=۰/۹۶mA$$

بنابراین حداکثر جریان خروجی برابر با $۲۵۰۰I_{B_۲}$ یعنی برابر با $۲/۴A$ می‌باشد.

---

**۶ـ گزینه «۱»** با نوشتن یک KVL در مسیر مشخص شده در شکل، ولتاژ خروجی را برحسب $V_Z$ به دست می‌آوریم:




$$V_o=\frac{R_۱}{R_۱+R_۲}(V_Z-V_{BE}-V_D)+V_D$$

$$V_o=\frac{۱}{۴}(V_Z-۱/۲)+۰/۶ \Rightarrow V_o=\frac{۱}{۴}V_Z+۰/۳$$

$$V_{Z,min}=۶ \Rightarrow V_{o,min}=۱/۸v$$

$$V_{Z,max}=۹ \Rightarrow V_{o,max}=۲/۵۵v$$

---

**۷ـ هیچ‌کدام از گزینه‌ها صحیح نیست.**

ولتاژ پایه مثبت آپ آمپ به دیود زنر ۶ ولتی متصل شده است. بنابراین ولتاژ پایه مثبت آپ امپ برابر ۶ ولت است. با توجه به اینکه ولتاژ پایه مثبت و منفی آپ امپ برابر است بنابراین ولتاژ پایه منفی نیز برابر ۶ ولت است. با نوشتن تقسیم ولتاژ در پایه منفی آپ امپ ولتاژ خروجی به دست می‌آید:

$$۶=\frac{۱۵k\Omega}{۱۵k\Omega+۱۰k\Omega}V_o \Rightarrow V_o=۱۰ \Rightarrow V_۱=V_o+V_{BE_۱}+V_{BE_۲} \Rightarrow V_۱=۱۱/۴$$

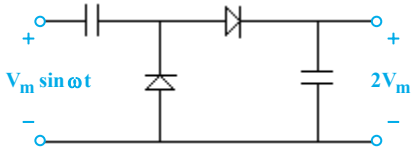
(ولتاژ پایه منفی آپ امپ)

www.modaresanesharif.ac.ir

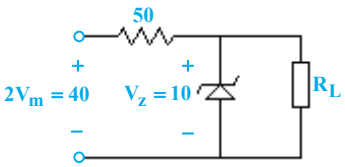
www.modaresanesharif.ac.ir



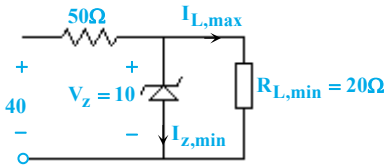
**۸ـ گزینه «۱»** مدار نشان داده شده در شکل مقابل یک مدار دو برابرکننده ولتاژ می‌باشد. با توجه به اینکه ماکزیمم دامنه سیگنال ورودی برابر $V_m = ۲۰\,v$ می‌باشد بنابراین این ولتاژ دو برابر شده و به مقاومت ۵۰ اهمی می‌رسد.




بنابراین مدار را به صورت زیر ساده‌سازی می‌کنیم:



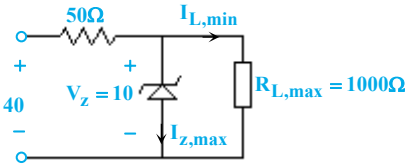

ابتدا $I_{z,min}$ را محاسبه می‌کنیم. برای اینکه جریان عبوری از دیود زنر به حداقل مقدار برسد باید اکثر جریان به بار تحویل داده شود که این در صورتی رخ می‌دهد که کوچکترین بار ممکنه را در خروجی قرار دهیم بنابراین داریم:




با نوشتن یک KCL در گروه خروجی به رابطه زیر می‌رسیم:

$$\frac{۴۰-۱۰}{۵۰\Omega} = I_{z,min} + I_{L,max} \Rightarrow \frac{۳۰}{۵۰\Omega} = I_{z,min} + \frac{۱۰}{۲۰\Omega} \Rightarrow I_{z,min} = ۱۰۰mA$$

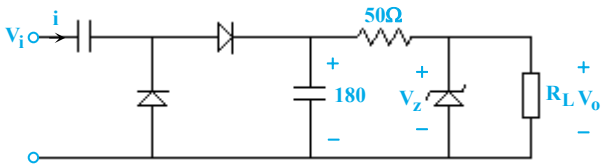
برای محاسبه ماکزیمم جریان دیود زنر باید حالتی را در نظر بگیریم که کمترین جریان ممکنه به بار تحویل داده شود یعنی اینکه باید بزرگترین بار موجود را در خروجی قرار دهیم. بنابراین خواهیم داشت:




$$\frac{۴۰-۱۰}{۵۰\Omega} = I_{z,max} + I_{L,min} \Rightarrow \frac{۳۰}{۵۰} = I_{z,max} + \frac{۱۰}{۱۰۰۰} \Rightarrow I_{z,max} = ۵۹۰\,mA$$

---

**۹ـ گزینه «۳»** در ورودی مدار یک مدار دو برابرکننده ولتاژ قرار گرفته است. در نتیجه ولتاژ خروجی مدار دو برابرکننده ولتاژ یک ولتاژ DC ۱۸۰ ولت است.

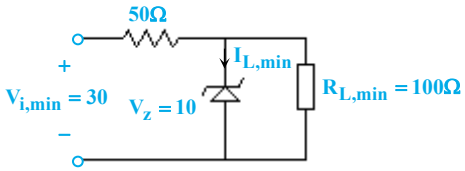



با توجه به اینکه ولتاژ خروجی برابر با ولتاژ دیود زنر است پس می‌توان گفت ولتاژ خروجی بدون ریپل است پس گزینه ۴ نادرست است.

از طرفی جریان عبوری از مقاومت ۵۰ اهمی همواره برابر با مقدار ثابت $\frac{۱۸۰-V_z}{۵۰\Omega}$ می‌باشد در نتیجه تغییر مقاومت بار اثری روی ماکزیمم جریان ورودی نخواهد داشت پس گزینه‌های یک و دو نیز ناصحیح هستند و گزینه ۳ صحیح است.

---

**۱۰ـ گزینه «۱»** ابتدا مینیمم مقدار جریان دیود زنر را محاسبه می‌کنیم. پس باید از $R_{L,min}$ و $V_{i,min}$ به منظور تحلیل مدار استفاده کنیم. با نوشتن یک KCL در گره خروجی مدار جریان $I_{z,min}$ را حساب می‌کنیم.




$$\frac{V_{in,min} - V_z}{۵۰} = I_{z,min} + \frac{V_z}{R_{L,min}} \Rightarrow I_{z,min} = ۳۰۰mA$$

جریان $I_{z,max}$ نیز با توجه به $R_{L,max}$ و $V_{i,max}$ تعیین می‌شود بنابراین داریم:

$$\frac{V_{i,max} - V_z}{۵۰} = I_{z,max} + \frac{V_z}{R_{L,max}} \Rightarrow I_{z,max} = ۵۹۰mA$$

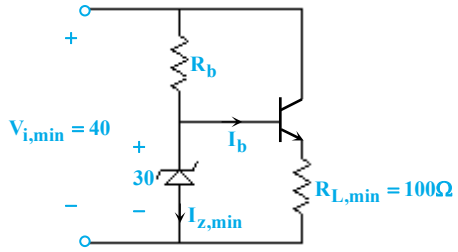
---

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir



**۱۱ـ گزینه «۳»** توان دیود زنر با توجه به رابطه $P_z = V_z \times I_z$ محاسبه می‌شود. برای آنکه این توان مینیمم شود باید جریان $I_z$ را کاهش داد. کمترین مقدار جریان $I_z$ برابر با ۵mA داده شده است. در این حالت باید از $R_{L,min}$ و $V_{i,min}$ برای تحلیل مدار استفاده شود. با نوشتن یک KCL در گره بیس ترانزیستور مقاومت $R_b$ را به دست می‌آوریم:




$$\frac{V_{in,min} - ۳۰}{R_b} = I_{z,min} + I_b$$

$$I_b = \frac{۱}{(\beta+۱)} \frac{(۳۰ - V_{BE})}{۱۰۰\Omega} = ۱۳/۹۵\,mA$$

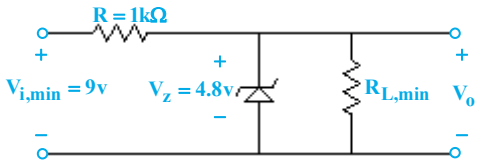
$$\Rightarrow R_b = ۵۲۷\Omega$$

---

**۱۲ـ گزینه «۲»** در تنظیم‌کننده‌های ولتاژ ساده از یک دیود زنر به عنوان مرجع ولتاژ استفاده می‌شود. در حالت بی‌باری جریان بار صفر می‌باشد درنتیجه جریان عبوری از دبود زنر در حداکثر مقدار خود قرار خواهد داشت که این منجر به افزایش تلفات حرارتی و کاهش راندمان می‌شود.

---

**۱۳ـ گزینه «۳»** می‌خواهیم حداقل مقدار $R_L$ را به دست آوریم . بنابراین باید از $V_{i,min}$ و $I_{Z,min}$ در تحلیل مدار استفاده شود. یک KCL در گره خروجی نوشته و $R_{L,min}$ را حساب می‌کنیم:

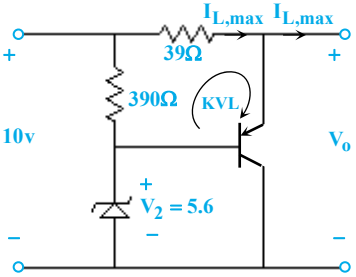



$$\frac{V_{i,min} - V_Z}{R} = I_{Z,min} + \frac{V_Z}{R_{L,min}}$$

$$\Rightarrow \frac{۹ - ۴/۸}{۱k\Omega} = ۰/۲mA + \frac{۴/۸}{R_{L,min}} \Rightarrow R_{L,min} = ۱/۲k\Omega$$

---

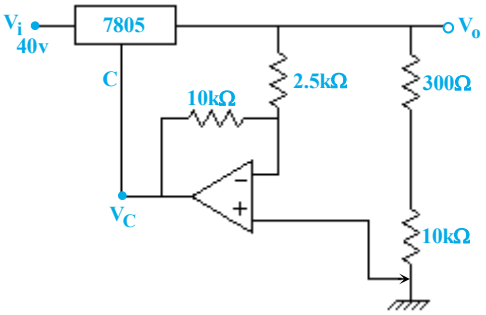
**۱۴ـ گزینه «۲»** حداکثر جریان خروجی زمانی رخ می‌دهد که ترانزیستور Q در مرز روشن و خاموش بودن قرار داشته باشد در این حالت جریان کلکتور برابر صفر می‌باشد در نتیجه حداکثر جریانی که به خروجی تحویل داده می‌شود برابر با جریانی است که از مقاومت ۳۹Ω عبور می‌کند بنابراین با نوشتن یک KCL در حلقه مشخصه شده بر روی مدار جریان عبوری از مقاومت ۳۹Ω ای را به دست می‌آوریم.




$$۴/۴ - ۳۹I_{L,max} = ۰/۷ \Rightarrow I_{L,max} = ۹۵\,mA$$

---

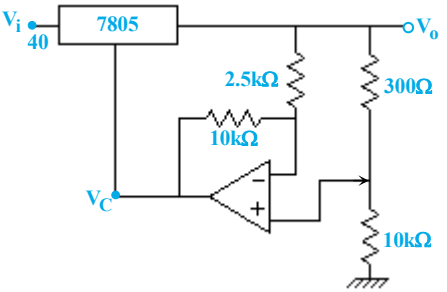
**۱۵ـ گزینه «۲»** ابتدا حالتی را در نظر می‌گیریم که پایه تنظیم پتانسیومتر به زمین متصل شده است.




$$V_c = -\frac{۱۰k\Omega}{۲/۵k\Omega} V_o \rightarrow V_c = ۴ - V_o \quad \Rightarrow V_o = ۱v$$

$$V_o - V_c = ۵v$$

سپس حالتی را در نظر می‌کیریم که پایه تنظیم پتانسیومتر به بالا مقاومت ۱۰kΩ وصل است در این حالت داریم:



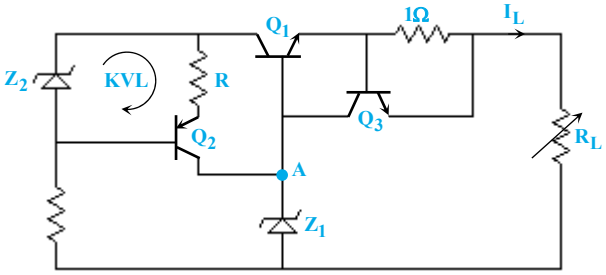

$$V_c = -\frac{۱۰k\Omega}{۲/۵k\Omega} V_o + (۱ + \frac{۱۰k\Omega}{۲/۵k\Omega}) \frac{۱۰k\Omega}{۱۰k\Omega + ۰/۳k\Omega} V_o$$

$$\left.\begin{array}{l} V_c = ۰/۸۵۴ V_o \\ V_o - V_c = ۵ \end{array}\right\} \Rightarrow V_o = ۳۴v$$

www.modaresanesharif.ac.ir

www.modaresanesharif.ac.ir






**۱۶ـ گزینه «۱»** با توجه به وجود محدودکننده جریان خروجی $(Q_3)$، ماکزیمم جریان خروجی با روشن شدن ترانزیستور $Q_3$ تعیین می‌شود و داریم:

$$I_{L_{max}} = \frac{V_{BE_3}}{1\Omega} = 600\,mA$$

برای تعیین مقاومت $R$ در نقطه $A$ KCL می‌نویسیم:

$$KCL:\ I_{C_2} = I_{Z_1} + I_{B_1} \quad (1)$$

از جریان عبوری از ترانزیستور $Q_3$ صرف‌نظر می‌کنیم، زیرا در مرز روشن شدن قرار می‌گیرد. با زیاد شدن جریان خروجی، جریان بیس ترانزیستور $Q_1$ زیاد می‌شود. در این صورت باید جریان عبوری از دیود زنر حداقل شود تا جریان $I_{C_2}$ ثابت بماند. بنابراین داریم:

$$I_{C_2} = I_{Z\,min} + \frac{I_{L_{max}}}{\beta} = 10 + \frac{600}{100} = 16\,mA$$

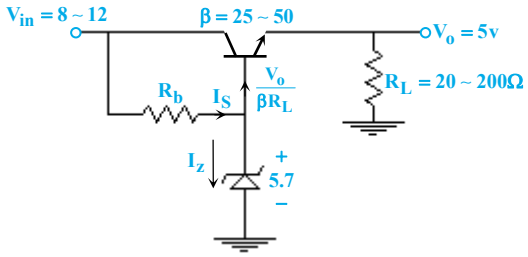
با نوشتن KVL در مسیر مشخص شده، مقاومت $R$ تعیین می‌شود:

$$KVL: RI_{C_2} + V_{EB_2} - V_{Z_2} = 0$$

$$R = \frac{V_{Z_2} - V_{EB_2}}{I_{C_2}} = \frac{2/2 - 0/6}{16\,mA} = 100\Omega$$

---

**۱۷ـ هیچ‌کدام از گزینه‌ها صحیح نیست.** با توجه به اینکه $r_z = 0$ می‌باشد، ولتاژ خروجی همواره برابر ۵ ولت است؛ اما برای حل دقیق سؤال به مقادیر $I_{z,min}$ و $I_{z,max}$ احتیاج می‌باشد.




$$\left.\begin{aligned} KCL(I): \frac{8 - 5/7}{R_{b,max}} &= I_{z,min} + \frac{5}{20 \times 25} \\ KCL(II): \frac{12 - 5/7}{R_{b,min}} &= I_{z,max} + \frac{5}{50 \times 200} \end{aligned}\right\} \Rightarrow R_{b,min} < R_b < R_{b,max}$$

چون مقادیر $I_{z,max}$ و $I_{z,min}$ در صورت سؤال داده نشده‌اند، لذا نمی‌توان سؤال را حل کرد و به جواب رسید.

---

**۱۸ـ گزینه «۱»** با اتصال کوتاه شدن ولتاژ خروجی جریان شاخه بار و شاخه شامل مقاومت‌های $R_3$ و $R_5$ صفر می‌شود و در عوض جریانی که به آن جریان اتصال کوتاه گفته می‌شود، به سمت زمین جاری می‌شود. مشابه سؤال بعد در این حالت نیز شرط روشن شدن $Q_3$ را بررسی می‌کنیم و جریان حداکثر در حالت اتصال کوتاه را به دست می‌آوریم:

$$V_{BE_3} = \frac{(R_4 \times I_L) \times R_7}{R_6 + R_7} \Rightarrow 0/7 = \frac{0/12 \times I_L \times 4/7}{5/7} \Rightarrow I_L \simeq 7\,mA$$

---

www.modaresanesharif.ac.ir