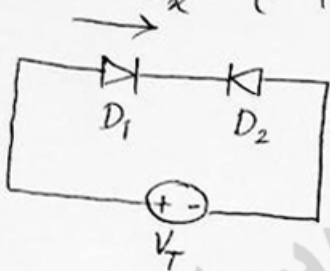


سوال ۶۱- در مدار زیر مساحت پیوند دیود  $D_2$  ده برابر مساحت پیوند دیود  $D_1$  است. مقدار جریان  $I_x$  را بر حسب جریان اشباع معکوس دیود  $D_2$  چقدر است؟ ( $\eta_1 = \eta_2 = 1$ )

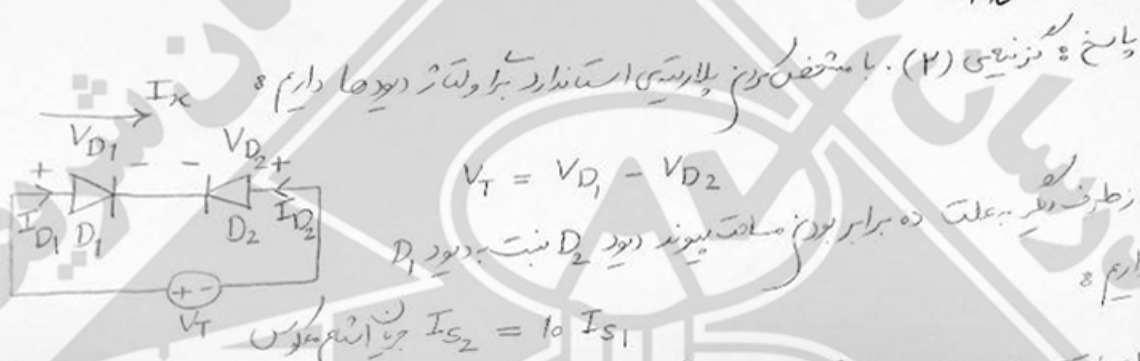


$$\frac{e-1}{e+1} \quad (1)$$

$$\frac{e-1}{e+10} \quad (2)$$

$$\frac{e}{e+1} \quad (3)$$

$$\frac{e}{e+10} \quad (4)$$



$$V_T = V_{D1} - V_{D2}$$

از طرف دیگر به علت ده برابر بودن مساحت پیوند دیود  $D_2$  نسبت به دیود  $D_1$  داریم:

$$I_{S2} = 10 I_{S1}$$

حال با توجه به اطلاعات داده شده جریان دیود  $D_1$  و  $D_2$  را بیان می‌کنیم:

$$I_{D1} = I_x = I_{S1} \left( e^{\frac{V_{D1}}{\eta_1 V_T}} - 1 \right) \quad \eta_1 = 1 \rightarrow I_{D1} = I_{S1} \left( e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} - 1 \right) = I_x$$

$$I_{D2} = -I_x = 10 I_{S1} \left( e^{\frac{V_{D2}}{\eta_2 V_T}} - 1 \right) \quad \eta_2 = 1 \rightarrow I_{D2} = 10 I_{S1} \left( e^{\frac{V_{D2}}{V_T}} - 1 \right) = -I_x$$

$$I_{D1} = -I_{D2} \Rightarrow \left( e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} - 1 \right) = -10 \left( e^{\frac{V_{D2}}{V_T}} - 1 \right) \Rightarrow \left[ e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} + 10 e^{\frac{V_{D2}}{V_T}} \right] = 11$$

$$\Rightarrow e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} \left( 1 + 10 e^{\frac{V_{D2} - V_{D1}}{V_T}} \right) = 11 \quad \frac{V_{D2} - V_{D1} = -V_T}{1 + 10 e^{-1} = 11 e^{-\frac{V_{D1}}{V_T}}}$$

$$\Rightarrow e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} = \frac{11}{1 + 10 e^{-1}}$$

در مرحله بعد جریان  $I_x$  را بیان می‌کنیم:

$$I_x = I_{S1} \left( e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} - 1 \right) = I_{S1} \left( \frac{11}{1 + 10 e^{-1}} - 1 \right) = I_{S1} \left( \frac{11 - 1 - 10 e^{-1}}{1 + 10 e^{-1}} \right)$$

$$I_x = \frac{I_{S2}}{10} \left( \frac{1 - e^{-1}}{1 + 10 e^{-1}} \right) \Rightarrow I_x = I_{S2} \left( \frac{e - 1}{e + 10} \right) \Rightarrow \boxed{\frac{I_x}{I_{S2}} = \frac{e - 1}{e + 10}}$$

سوال ۶۲- جریان یک ترانزیستور MOSFET برای  $V_{GS} = 0.5V$  برابر  $1 \mu A$  و برای  $V_{GS} = 0.6V$  برابر  $4 \mu A$  است. اگر ترانزیستور در ناحیه اشباع کاری باشد، مقایسه  $V_{th}$  و  $\mu_n C_{ox} (W/L)$  این ترانزیستور کدام است؟

(2)  $0.5V$  ،  $200 \frac{\mu A}{V^2}$

(1)  $0.5V$  ،  $100 \frac{\mu A}{V^2}$

(4)  $0.4V$  ،  $200 \frac{\mu A}{V^2}$

(3)  $0.4V$  ،  $100 \frac{\mu A}{V^2}$

پاسخ: گزینه (4). با توجه به رابطه جریان ترانزیستور در حالت اشباع جریان در دو حالت بیان می‌کنیم:

$$I_{D1} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) \cdot [V_{GS1} - V_{th}]^2 \Rightarrow 7 \times 10^{-6} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) \cdot (0.5 - V_{th})^2$$

$$I_{D2} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) \cdot [V_{GS2} - V_{th}]^2 \Rightarrow 4 \times 10^{-6} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) \cdot (0.6 - V_{th})^2$$

با سلسله نسبت  $\frac{I_{D2}}{I_{D1}}$  داریم:

$$\frac{I_{D2}}{I_{D1}} = 4 = \left( \frac{0.6 - V_{th}}{0.5 - V_{th}} \right)^2 \Rightarrow \frac{0.6 - V_{th}}{0.5 - V_{th}} = \pm 2 \Rightarrow \begin{cases} V_{th1} = 0.4V \\ V_{th2} = 0.54V \end{cases}$$

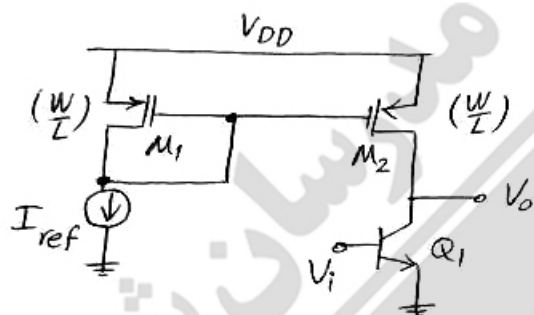
از همان ابتدا با توجه به گزینه‌ها هم می‌توانیم  $V_{th} = 0.4V$  را تشخیص دهیم چرا که باقی تنها گزینه از 0.5 ولت بزرگتر است. پس این که ترانزیستور روشن است. حل با داشتن  $V_{th} = 0.4V$  و با استفاده از یکی از جریان‌ها داریم:

$$I_{D1} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) \cdot (V_{GS1} - V_{th})^2 \Rightarrow 10^{-6} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) \cdot (0.5 - 0.4)^2$$

$$\Rightarrow \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) = \frac{2 \times 10^{-6}}{10^{-2}} = 200 \times 10^{-6} \Rightarrow \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) = 200 \frac{\mu A}{V^2}$$

این سوال بسیار راحت می‌باشد و تنها با مطالعه شرایط در ناحیه اشباع هم می‌توانید پاسخ دهید. اما اگر نتوانید پاسخ دهید، می‌توانید گفت تاکنون سوالی از MOSFET ها تا این حد آسان تاکنون مطرح نشده بود.

سوال ۴۳ - در مدار زیر با فرض عدم وابستگی مقومت خروجی ترانزیستور به  $V_{DS}$ ، با افزایش  $V_{GS}$  (ما به  $V_{GS}$  و  $V_{DS}$  چگونه تغییر می کنند؟



- (۱) تغییر نمی کنند.
- (۲) بسته به مقدار  $V_{GS}$  و  $V_{DS}$  می توانند افزایش یا کاهش یابند.
- (۳) کاهش می یابند.
- (۴) افزایش می یابند.

پاسخ: گزینه (۳). با توجه به آن ترانزیستور  $M_1$  و  $M_2$  کاملاً مشابه هستند و مقومت خروجی ترانزیستور مستقل از تغییرات  $V_{GS}$  هستند، پس مدار را می توان به صورت زیر نوشت:

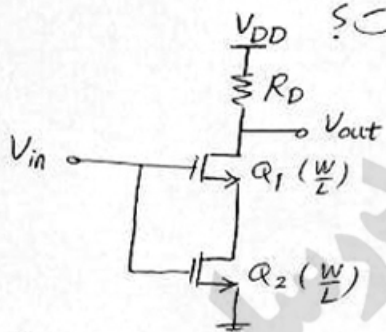
$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = g_{m1} \times (r_{o1} \parallel r_{o2}) = \left( \frac{I_{CQ1}}{V_T} \right) \times (r_{o1} \parallel r_{o2})$$

همانطور که گفتیم  $r_{o1}$ ،  $r_{o2}$  و  $I_{CQ1}$  با  $V_{GS}$  تغییراتی ندارند و از طرف دیگر  $V_T = \frac{KT}{q}$  هم با  $V_{GS}$  تغییر نمی کند. پس  $V_T$  نیز تغییر نمی کند و در نتیجه  $A_v$  هم تغییر نمی کند.

این سوال نیز در شماره ۱۵۹ کتاب درسی و در شماره ۱۵۹ کتاب آمده است.

در این سوال نیز در شماره ۱۵۹ کتاب درسی و در شماره ۱۵۹ کتاب آمده است.

فصل ۴ - مدار زیر ترانزیستور  $Q_1$  و  $Q_2$  میان بوده و ترانزیستور  $Q_1$  در ناحیه اشباع باشد.  $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$  آن برابر کدام است؟



$$A_v = \frac{-g_m R_D}{2} \quad (1)$$

$$A_v = \frac{-g_m R_D}{4} \quad (2)$$

$$A_v = -2 g_m R_D \quad (3)$$

$$A_v = -g_m R_D \quad (4)$$

$$g_m = \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right) (V_{in} - V_{th})$$

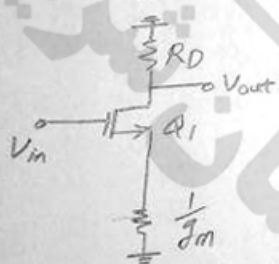
پاسخ: گزینه (۱). با توجه به اطلاعات مسئله،  $Q_1$  در ناحیه اشباع باشد؛ و پس باید توجه کرد که  $Q_2$  در ناحیه خطی است و از اشباع خارج شده و در ناحیه ترانزیستور قرار نگیرد چرا که:

با فرض شدن  $Q_1$  در ناحیه اشباع است.  $V_{GS1} < V_{th} \rightarrow V_{GS2} < V_{th}$  و در نتیجه  $Q_2$  از طرف دیگر در این رابطه قرار نمی‌گیرد و ترانزیستور در ناحیه ترانزیستور قرار می‌گیرد.

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right) [2(V_{GS} - V_{th}) \cdot V_{DS} - V_{DS}^2] \approx \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right) (V_{GS} - V_{th}) \cdot V_{DS}$$

پس در حالت ترانزیستور می‌توان ترانزیستور را با یک مقاومت با اندازه  $R_{DS} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right) (V_{GS} - V_{th})}$  جایگزین کرد.

در این سؤال چون مقدار  $R_D$  با  $R_{DS}$  برابر می‌باشد پس معادله  $Q_2$  برابر  $\frac{1}{g_m}$  می‌شود و لذا می‌توان گفت برابر می‌شود با:

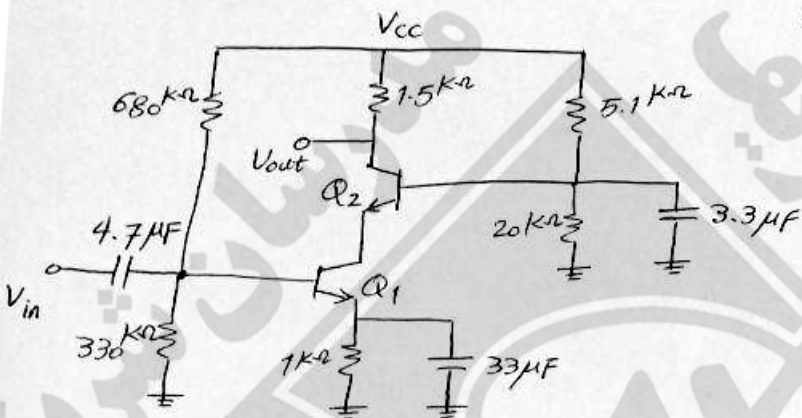


$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_D}{\frac{1}{g_m} + \frac{1}{g_m}} = \frac{-g_m R_D}{2}$$

در این سؤال ترانزیستور  $Q_1$  در ناحیه اشباع قرار دارد و ترانزیستور  $Q_2$  در ناحیه خطی قرار دارد و در مدار معادل جایگزین کنیم.

البته دانشجویان با توجه به این مدار می‌توانند با کمک معادله ترانزیستور در ناحیه اشباع که در کتاب مدارات بیان شده است مقدار مقاومت معادل را بدست آورند و در مدار معادل جایگزین کنند. سؤال مبتنی بر این است.

سوال ۴۵ - برای  $I_C = 1 \text{ mA}$  ،  $\beta = 100$  ،  $V_A = 25 \text{ mV}$  ، فرکانس قطع پایین مدار بر طبق شکل زیر تقریباً کدام است ؟ ( $V_A = \infty$ )



- (1) 200
- (2) 800
- (3) 12.5
- (4) 50

پایخ: گزینه (۱). معادله غالب ایجاد شده در این مدار توسط خازن  $33\mu\text{F}$  تعیین شده است.  $Q_1$  ایجاد می شود.

$$f_{-3dB, 33\mu F} = \frac{1}{2\pi \times \left[ 1k\Omega \parallel \frac{1}{g_{m1}} \right] \times 33 \times 10^{-6}} \xrightarrow[g_{m1} = 40 \text{ ms}]{g_{m1} = 40 I_{CQ1}} f_{-3dB} \approx 200 \text{ Hz}$$

وقت شود در این مدار خازن  $4.7\mu\text{F}$  یک صفر در فرکانس صفر به مدار اضافه می کند و همچنین معادله ایجاد می کند. خازن  $3.3\mu\text{F}$  نیز تقریباً با فرض بزرگ بودن  $\beta$  صفر و معادله  $Q_2$  ایجاد می کند. هر دو حذف می شود پس تنها خازن  $33\mu\text{F}$  در پایخ فرکانس مدار نقش دارد.

این سوال در دوره سؤالات راحت قرار می گیرد. نکته این سوال آنست که مشخص معادله غالب می کند در مثالهای ۱ و ۲ در سؤالات فصل هشتم کتاب مداران شریف آمده است؛ و نکته دیگر اینست که

تکین بودن صفر و معادله در یک خازن و شرایط آن نیز در نکته (۴) در سؤالات فصل هشتم و همچنین مثال (۵) از در سؤالات فصل هشتم کتاب مداران شریف آمده است. سؤالات تکمیلی ۹۵ و ۹۴ تا حد زیادی شبیه به این سوال است و می در مجموع این سوال خیلی راحت می باشد.



پیدا کردن  $M_4$  از نمودار

مثال ۶۶- با فرض شاخص ترانزیستور یک و خند ۱ میلی وین از سبب شدن کلید  $S_1$ ، ترانزیستور  $M_4$  از نمودار اشباع خارج می شود؟ ولت اولی خازن صفر است.

$$\mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) = 200 \frac{\mu A}{V^2}$$

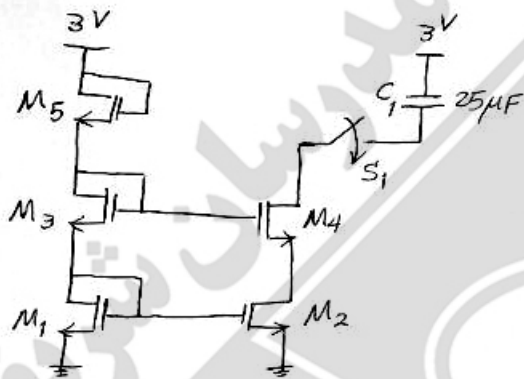
$$V_{th} = 0.5 V, \lambda = 0$$

(1) 2

(2) 2.5

(3) 1

(4) 1.5



پایخ ۱ ترانزیستور (۴). قبل از وصل شدن کلید  $S_1$  در حالی که ترانزیستور  $M_1, M_3, M_5$  و  $M_6$  در اشباع است و ترانزیستور  $M_2$  در اشباع نیست:

$$KVL: 3 = V_{GS1} + V_{GS3} + V_{GS5} \quad \frac{V_{GS1} = V_{GS3} = V_{GS5}}{V_{GS} = 1V}$$

$$I_{D1,3,5} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) \cdot (V_{GS} - V_{th})^2 = 100 \times 10^{-6} \times (1 - 0.5)^2 = 25 \mu A$$

حال: بررسی شرط اشباع بودن یا نبودن ترانزیستور  $M_4$  می داریم:

$$M_4 \text{ اشباع} \quad V_{GD4} < V_{th} \Rightarrow (V_{GS1} + V_{GS3}) - V_{D4} < 0.5 V$$

یعنی: بررسی کنیم ولت درین  $M_4$  کمتر از ۱.۵ ولت شود و ترانزیستور  $M_4$  وارد اشباع می شود  $V_{D4} > 1.5 V \Rightarrow$

در ابتدا کلید  $S_1$  بسته می شود و ولت درین  $M_4$  برابر همان تغذیه ۳ ولت می باشد و ولت اولی خازن  $C_1$  صفر می باشد. پس ولت درین  $M_4$  و با شارژ شدن خازن  $C_1$ ، ولت درین  $M_4$  کمتر می شود. درحالتی که ولت درین  $M_4$  به ۱.۵ ولت برسد، ترانزیستور  $M_4$  در مرز اشباع و ولت درین  $M_4$  قرار می گیرد و ولت درین  $M_4$  از اشباع خارج می شود و ولت درین  $M_4$  در اشباع باقی می ماند برابر با ولت درین  $M_4$  که درین  $M_4$  به انداز ۱.۵ ولت می باشد.

$$\Delta t = C \cdot \frac{\Delta V}{I} \Rightarrow \Delta t = \frac{25 \times 10^{-6} \times (1.5 - 0)}{25 \times 10^{-6}} = 1.5 s$$

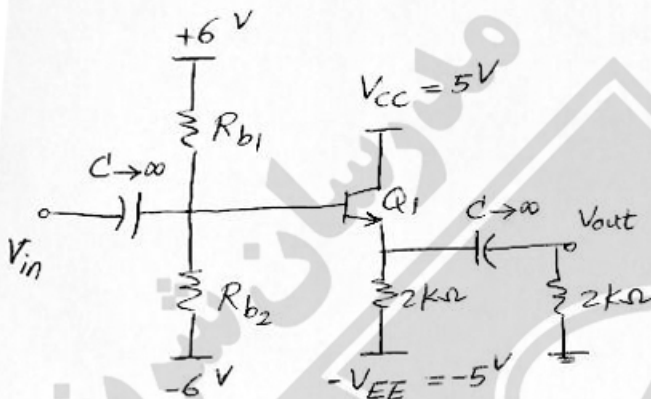
سوال ۷- در مدار کلاسیک مشترک زیر، چون بایس ترانزیستور  $Q_1$  برابر  $2.5 \text{ mA}$  است. با فرض بزرگ بودن  $\beta$  و  $C \rightarrow \infty$ ، مقاس خازن های مدار، محدوده تغییرات ولتاژ خروجی  $(V_{out})$  چند ولت است؟  
 $(V_{CE,sat} = 0.2 \text{ V}, V_{BE,on} = 0.7 \text{ V}, \beta = 150)$

7.3 (1)

9.8 (2)

2.3 (3)

4.8 (4)



پاسخ: گزینه (۱). برای محاسبه محدوده تغییرات ولتاژ خروجی، مقدار خروجی را در حالت DC، حد اکثر در حالت صاف می کنیم. برای این کار باروند تغییرات ولتاژ ورود همراه می شویم و خروجی را در حالت های حرکتی از نقطه قطع دامنه ترانزیستور  $Q_1$  صاف می کنیم. وقت شود چون این تحلیل بر اساس در نظر گرفتن ولتاژهای DC و AC بصورت توانمان می باشد. در ابتدا در حالت DC مقدار ولتاژ دوسر خازن خروجی را صاف می کنیم و پس از آن در رابطه تحلیل خود با خازن به جهت آنکه مقدار بزرگی دارد مثل صفر صانع ولتاژ رفتار می کنیم. در حالت DC ولتاژ امیته  $Q_1$  برابر می شود با:

$$V_{E_1} = -5 + 2I_{CQ} = -5 + 5 = 0 \Rightarrow V_C = 0$$

در ادامه روند افزایش ولتاژهای ورود را دنبال می کنیم. اگر ورودی خیلی زیاد شود در حالت حدی ترانزیستور  $Q_1$  وارد اشباع می گردد و در نتیجه خروجی به حد اکثر مقدار خود یعنی  $V_{O,max} = 5 - 0.2 = 4.8 \text{ V}$  می رسد. حال اگر ورودی را کاهش دهیم در حالت حدی ترانزیستور  $Q_1$  خاموش می گردد و ولتاژ مطابق مدار معادل زیر حد اقل ولتاژ افزایش می یابد تا صاف می کنیم:

$$V_{O,min} = -\frac{5}{4} \times 2 = -2.5 \text{ V}$$

پس محدوده تغییرات خروجی مطابق شکل زیر برابر 7.3 ولت می گردد.

$$V_{O,max} = 4.8 \text{ V}$$

$$V_{O,DC} = 0$$

$$V_{O,min} = -2.5$$

7.3 V

سوال ۶۸- در مدار زیر، ترانزیستورهای دریاچه‌ای با بایاس شده‌اند. مقدار بهره و نسبت  $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$  آن تقریباً برابر کدام است؟ منبع جریان ایده‌آل فرض شود.

$$M_3 = M_4, r_{o1,2} = \infty$$

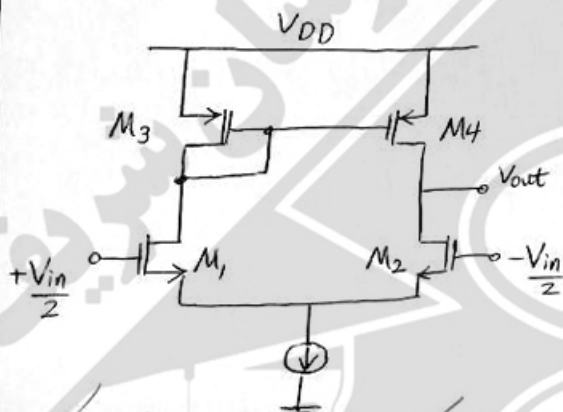
$$r_{o3,4} = 20 \text{ k}\Omega, g_{m1} = 1 \frac{\text{mA}}{\text{V}}, g_{m2} = 3 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

30 (1)

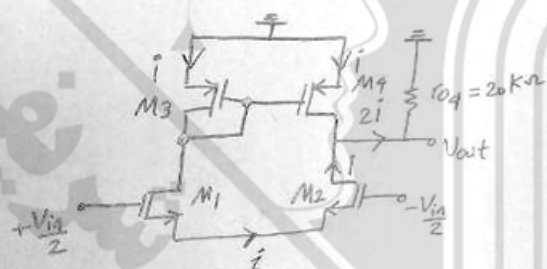
40 (2)

10 (3)

20 (4)



پایخ: ترانزیستور (۱) به علت عدم تقارن نمی‌توانیم از نیم مدار استفاده کنیم؛ لذا با بخش جریان مطابق شکل زیر به رقتی نیم مدار موازی می‌کنیم.



$$V_{out} = 2i \times 20 \text{ k}\Omega$$

$$i = \frac{V_{in}}{\frac{1}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{m2}}} = \frac{V_{in}}{1 + \frac{1}{3}} = \frac{3}{4} V_{in}$$

$$\Rightarrow V_{out} = 40 \cdot i = 40 \times \left(\frac{3}{4} V_{in}\right) \Rightarrow A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 30$$

تقریباً نیمه‌های تقاضای نامتوازن و با استفاده از بار فعال در بخش (۲) در بخش (۲) فعلی سوچم بررسی شده‌اند. همین‌طور دو مثال کاملاً مشابه نیز در مثال‌های (۸) و (۹) در بخش (۲) فعلی سوچم کتاب مدرسان شریف حل شده‌اند. تست‌های تکمیلی ۹۱، ۸۹ و ۸۵ نیز ساخته

شده‌اند. سوال دارند با این تفاوت که در آنجا از BJT استفاده شده است و در این سوال از MOS استفاده شده است. در مجموع این سوال آسان می‌باشد.



سوال ۴۹- در مدار زیر، همی ترانزیستور یک درناصیر اشباع بایس شده اند و منبع جریان  $I_b$  لایه آل است. مقدار بهره ی حلقه فیدبک  $(|A|)$  تقریباً کدام است؟

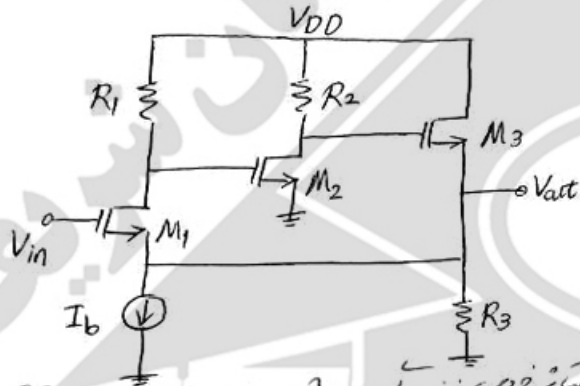
$$(g_{m1,2,3} = 10 \frac{mA}{V}, R_{1,2} = 1k\Omega, R_3 = 100\Omega, V_A = \infty)$$

$$\frac{200}{3} \quad (1)$$

$$\frac{100}{3} \quad (2)$$

$$25 \quad (3)$$

$$50 \quad (4)$$

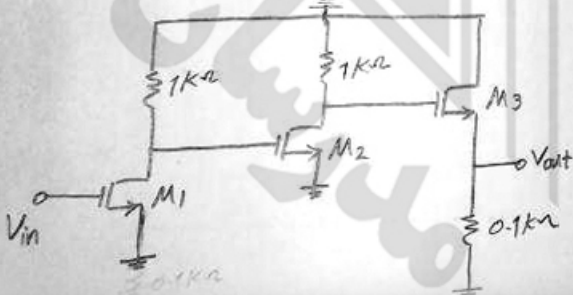


پایخ: ۴۹. ترانزیستور (۴). با توجه به شبدهی فیدبک از ولتاژ خروجی خود بردار می شود و بصورت سری با ولتاژ ورودی قرار می گیرد. لذا شبدهی فیدبک از نوع ولتاژ - سری می باشد. در ابتدا ضریب فیدبک و سپس از آن گین حلقه باز را حساب می کنیم.



$$\beta = \frac{V_f}{V_{out}} = 1$$

برای حساب گین حلقه باز در ابتدا شبدهی فیدبک را باز می کنیم؛ برای باز کردن شبدهی فیدبک و در نظر گرفتن اثر بار فیدبک در ورودی معادلت  $R_3$  را متحرک می کنیم و از دید خروجی، ورودی را اتصال باز می کنیم.



$$A_v = (1 \times 10) \times (10 \times 1) \times \frac{0.1}{0.1 + 0.1} = 50$$

$$|A| = 1 \times 50 = 50$$