تعریف: (V_P)

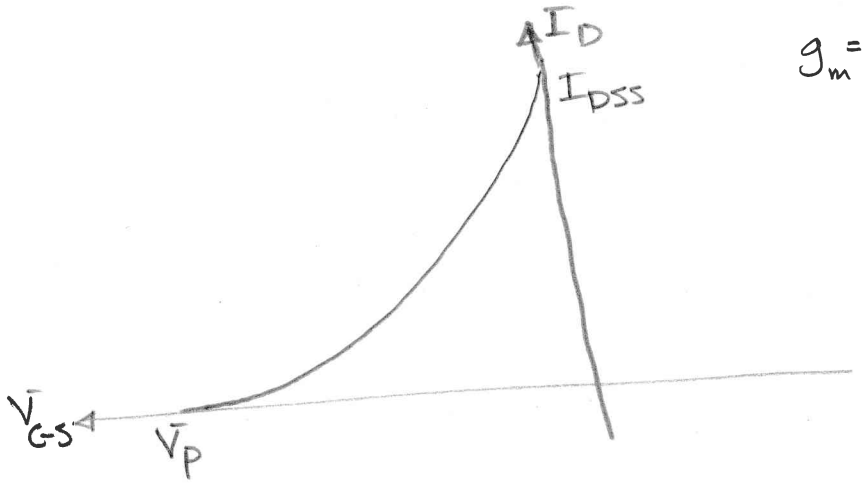
1. ولتاژ بحرانی یا Pinch off : مقدار V_{GS} که در آن به JFET اعمال شود باعث مسدود شدن کامل کانال می‌شود و در این حالت $I_D = 0$ می‌شود. لازم به ذکر است که ولتاژ بحرانی ولتاژ آستانه نیز نامیده می‌شود (ولتاژ تنگیدگی)

2. جریان Drain Source Saturation : I_{DSS} مقدار جریانی است که اگر دو شرط زیر برقرار باشد از کانال می‌گذرد و حداکثر مقدار مجاز جریان است.

$$\begin{cases} V_{GS} = 0 \\ |V_{DS}| = |V_P| \end{cases} \longrightarrow I_D = I_{DSS}$$

مشخصات JFET از نوع کانال n:

الف: منحنی مشخصه انتقالی: در این منحنی تغییرات I_D برحسب تغییرات V_{GS} رسم می‌گردد که شیب منحنی مشخصه مقدار V_P همان ولتاژ آستانه است و I_{DSS} همان حداکثر جریان عبوری از کانال است.



به صورت زیر است: $g_m = \left.\frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}\right|_{V_{DS}}$ مقدار ثابت

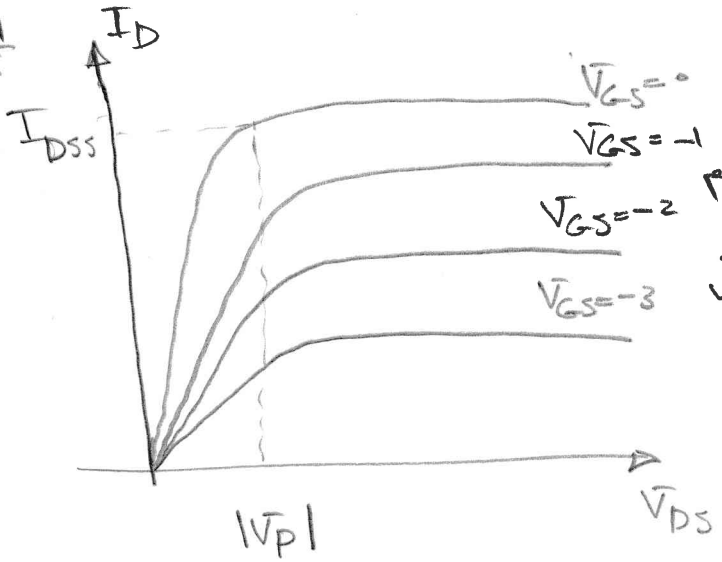
نکات مهم: در NJFET، $V_{GS} < 0$ ، $V_P < 0$ ، $V_{DS} > 0$ تا جریان از سمت Drain به Source جاری شود، جاهای الکترون الکترون‌ها می‌باشد

رابطه مشخصه انتقالی V_{GS} و V_P : علامت مربوطه محاسبه می‌شود

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

if $V_{GS} = 0 \longrightarrow I_D = I_{DSS}$ if $V_{GS} = V_P \longrightarrow I_D = 0$

ب) منحنی مشخصه خروجی :



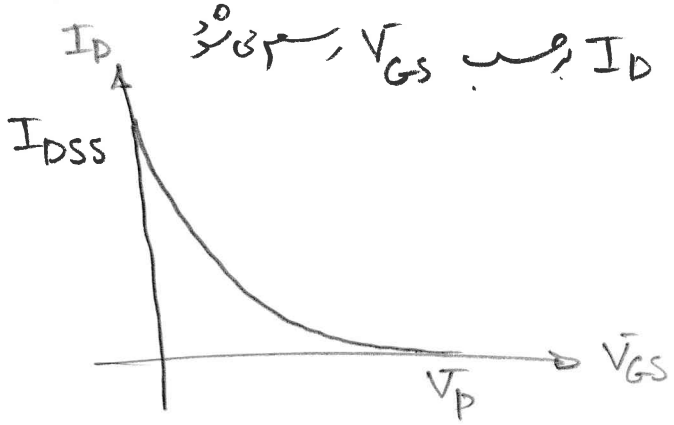
از تغییرات I_D برحسب تغییرات V_{DS} رسم شود منحنی مشخصه خروجی حاصل می‌شود که در این حالت V_{GS} ثابت بوده

$$\begin{cases} V_{DS} = |V_P| \\ V_{GS} = 0 \end{cases} \longrightarrow I_D = I_{DSS}$$

ج) منحنی مشخصه ورودی : با توجه به بایاس معکوس بودن اتصالهای P-N در JFET، مدار جریان ورودی یا Gate صفر است. لذا با توجه به عدم وجود جریان I_G منحنی مشخصه ورودی برای JFET تعریف نمی‌شود.

مشخصات JFET از نوع کانال P :

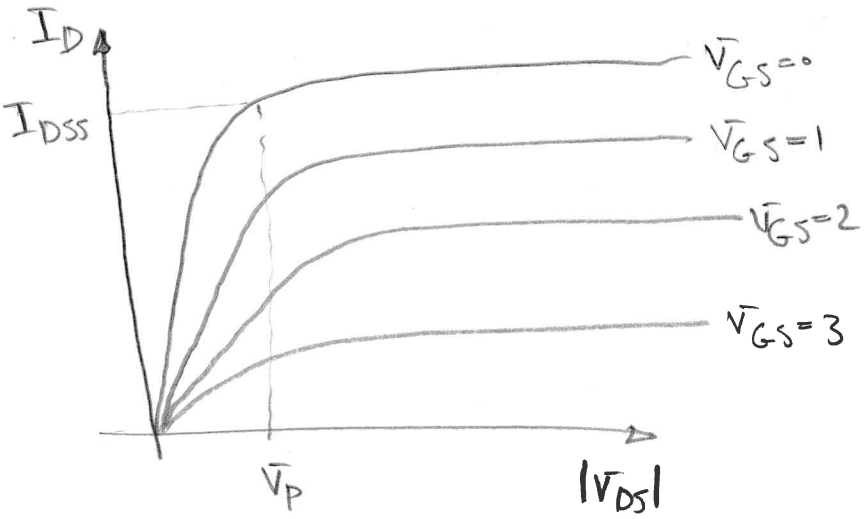
در این منحنی نیز مانند نوع N (کانال N) تغییرات I_D برحسب V_{GS} رسم می‌شود



نکات مهم در مورد PJFET عکس $V_{GS}>0$ ، $V_P>0$ ، $V_{DS}<0$ می‌باشد.

جریان از سمت Source به Drain جاری شده و اکثریت حامل‌ها الکترون هستند

لازم به ذکر است تساویه V_{GS} و V_P در این حالت با علامت مربوطه یعنی مثبت در مقاله ظاهر می‌شود



ب: ناحیه شبه خطی

نواحی کار JFET:

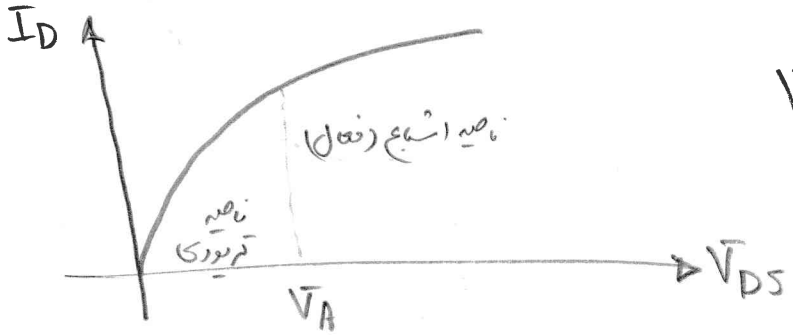
۱- ناحیه اشباع یا فعال: در این ناحیه JFET بعنوان تقویت کننده بکار گرفته می‌شود در این حالت V_{DS} به اندازه کافی بزرگ می‌باشد و با افزایش آن I_D تقریباً ثابت است.

شرط اشباع برای JFET، برای هر دو نوع کانال P و N بصورت زیر است.

$$|V_{DS}| \geq \left||V_P| - |V_{GS}|\right|$$

لازم به ذکر است که شرط فوق برقرار باشد JFET در ناحیه اشباع کار می‌کند

$$|V_{DS}| = \left||V_P| - |V_{GS}|\right|$$

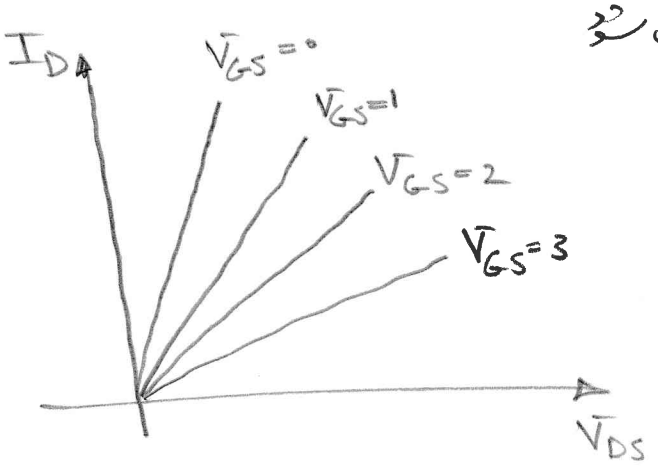


$$V_A = \left||V_P| - |V_{GS}|\right|$$

۲. ناحیه تریودی: در این ناحیه JFET به‌صورت یک مقاومت متغیر با ولتاژ کنترل‌شونده عمل می‌کند

بین پایه‌های Drain و Source با ولتاژ کنترل‌شونده V_{GS} بستگی دارد. لازم به ذکر است

که با افزایش V_{GS} مقاومت بین D و S زیاد می‌شود



$$r_{ds}=\frac{V_{DS}}{I_D} \quad \text{if } |V_{GS}| \uparrow \rightarrow r_{ds} \uparrow$$

همچنین اگر $V_{GS}=0$ باشد، r_{ds} کمترین مقدار خود را دارد

شرط کارکرد JFET در ناحیه تریودی به‌صورت زیر است:

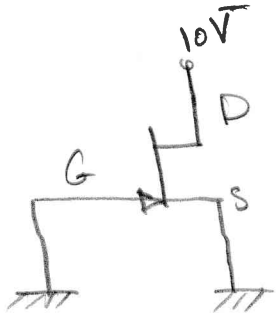
$$|V_{DS}| \ll |\,|V_P| - |V_{GS}|\,|$$

۳. ناحیه قطع: در ناحیه قطع کانال عبور جریان کاملا بسته شده است و در این حالت تغییرات V_{DS} بر

ایجاد یا تغییرات جریان نمی‌شود

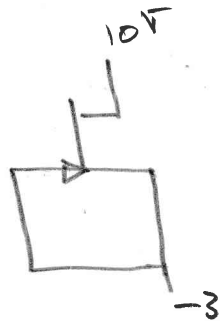
$$|V_{GS}| \gg |V_P| \longrightarrow I_D=0$$

مثال: برای JFET های زیر ناحیه کاری هر یک را بدست آورید. $|V_P|=4$



$$\begin{cases} V_{GS}=0 \\ V_{DS}=10V \end{cases} \qquad V_A=|\,|V_P|-|V_{GS}|\,|=4 \qquad |V_{DS}|>|V_A| \longrightarrow \text{اشباع}$$

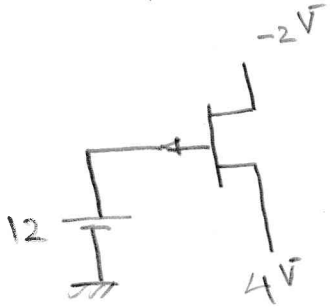
67
E



$V_{GS} = V_G - V_S = -3 - (-3) = 0$

$V_{DS} = V_D - V_S = 10 - (-3) = 13$

$|V_{DS}| > |V_P| - |V_{GS}| \rightarrow |13| > |4| \rightarrow$ اشباع

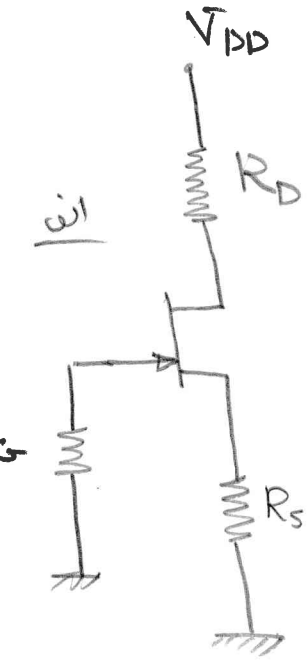


$\begin{cases} V_{DS} = -6 \\ V_{GS} = 8 \end{cases}$

$|V_{GS}| > |V_P| \rightarrow$ قطع

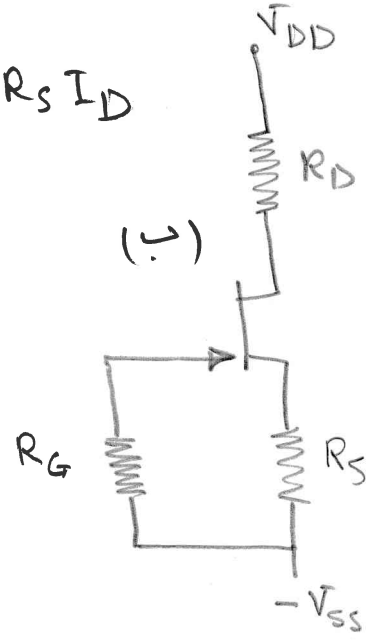
انواع مدارات بایاس ثابت JFET :

۱. بایاس ثابت سرخود :

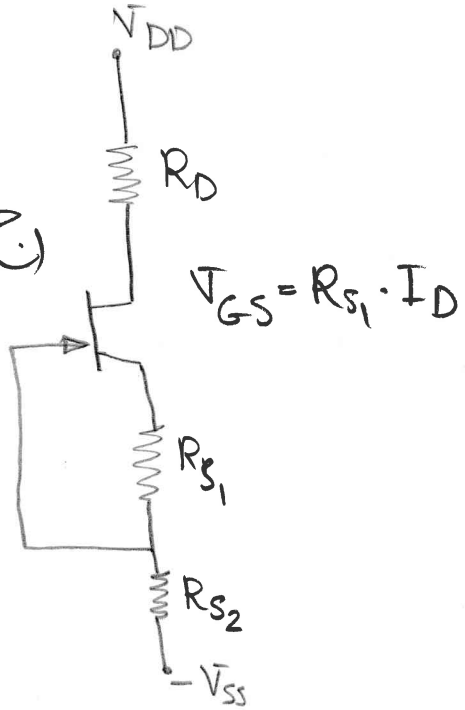


انف

$V_{GS} = R_S I_D$



(ب) $V_{GS} = R_S I_D$



(ج) $V_{GS} = R_{S_1} \cdot I_D$

مراحل تحلیل:

۱. ابتدا مقدار V_{GS} را بر حسب R_S و I_D بدست می‌آوریم. لازم به ذکر است که این روش برای تمامی مدارهایی که سری شده با بایاس ثابت برابر هستند. بطور مثال برای مدار الف داریم:

$$\begin{cases} V_G = 0 \\ V_S = R_S I_D \end{cases} \longrightarrow V_{GS} = -R_S I_D$$

2. حال مقدار V_{GS} را در معادله جریان I_D (معادله شاکلی) می‌گذاریم.

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{-I_D \cdot R_S}{V_P}\right)^2$$

حال با توجه به مشخص بودن مقادیر R_S و I_{DSS} و V_P از حل معادله درجه دوم مقادیر I_D بدست می‌آید حال از دو جواب بدست آمده هر کدام که شرط زیر را برقرار کند قابل قبول است.

$$\begin{cases} I_D < I_{DSS} \\ |V_{GS}| < |V_P| \end{cases}$$

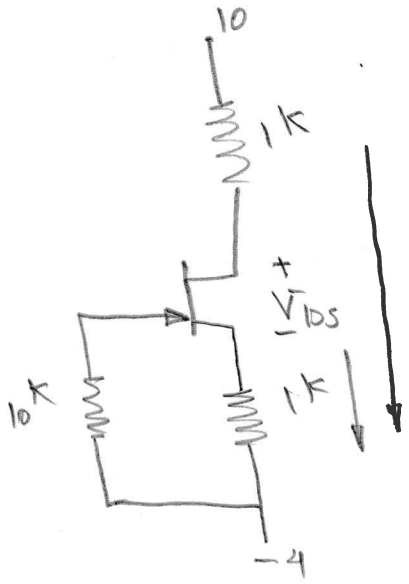
۳. حال با داشتن I_D مقادیر V_S و V_{DS} بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\begin{cases} V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_S + R_D) \\ V_S = R_S I_D \end{cases}$$

مثال: V_{DS} را بدست آورید

$I_{DSS} = 4\,mA$

$V = -2\,V$



$V_G = -4$

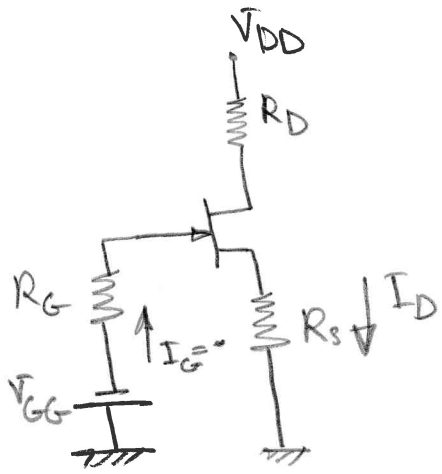
$V_S = 1K \cdot I_D - 4 \rightarrow V_{GS} = -1K \cdot I_D$

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 4\left(1 - \frac{-I_D}{-2}\right)^2$$

$$\begin{cases} I_{D_1} = 1\,mA \rightarrow V_{GS} = -1\,V \checkmark \\ I_{D_2} = 4\,mA \rightarrow V_{GS} = -4\,X \end{cases}$$

$$V_{DS} = V_{DD} + V_{SS} - I_D(R_S + R_D)10$$

$$\rightarrow V_{DS} = 12\,V$$



بایاسینگ خودکار:

۱. بدست آوردن V_{GS}

$I_G = 0 \rightarrow V_G = V_{GG}$ ، $V_S = R_S I_D$

$$V_{GS} = -V_{GG} - R_S I_D$$

۲. جایگذاری در معادله خطی: I_D را بدست می‌آوریم

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S)$$

محاسبه g_m و I_D در نواحی کاری مختلف

۱. اشباع

$$I_D = k(V_{GS} - V_P)^2$$

$$k = \frac{I_{DSS}}{V_P^2}$$

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

70/E

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

$$g_m = \left.\frac{\delta I_D}{\delta V_{GS}}\right|_{V_{DS}:\text{ثابت}} \Rightarrow g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) = g_{m_0}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

g_{m_0} : g_m حداکثر می‌باشد و مربوط به زمانی است که ولتاژ بایاس نباشد

$$g_m = \frac{2}{|V_P|}\sqrt{I_D \cdot I_{DSS}}$$

2. ناحیه تریودی:

$$\begin{cases} I_D = K\left(2(V_{GS} - V_P)V_{DS} - V_{DS}\right)^2 \\ K = \dfrac{I_{DSS}}{V_P^2} \end{cases}$$

$$I_D = I_{DSS}\left(\frac{V_{DS}}{V_P}\right)^2$$

$$g_m = 0$$

انواع مقاومت‌های موجود در FET :

الف: مقاومت دینامیکی:

$$r_{ds} = \frac{\delta V_{DS}}{\delta I_D} = \frac{V_P}{3I_{DSS}} * \frac{1}{1 - \sqrt{\frac{V_{GS}}{V_P}}}$$

$$\text{if } \xrightarrow{V_{GS} = 0} r_{ds} = \frac{V_P}{3I_{DSS}}$$

ب: مقاومت دینامیکی (وضعیت DC) :

$$R_{DC} = \frac{V_{DS}}{I_{DS}}$$

ضریب تقویت ولتاژ در FET:

$$\mu = \left.\frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}}\right|_{I_D = \text{ثابت}}$$

در یک ترانزیستور نسبت تغییرات V_{DS} به V_{GS} ضریب تقویت ولتاژ اندازه‌گیری می‌شود

مقاومت خروجی در FET: r_d مقاومت موجود بین Drain و Source است و دارای مقدار زیادی می‌باشد

همچنین بین μ، g_m، r_d رابطه زیر برقرار است

$$\mu = g_m \cdot r_d$$

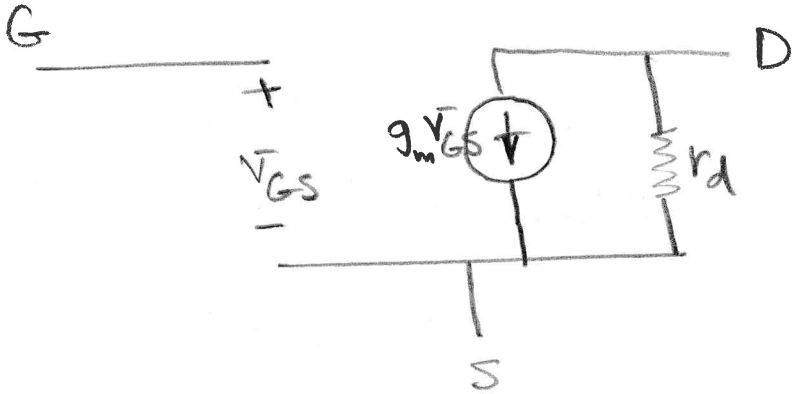
قانون تقسیم ولتاژ:

قانون انعکاس امپدانس در FET

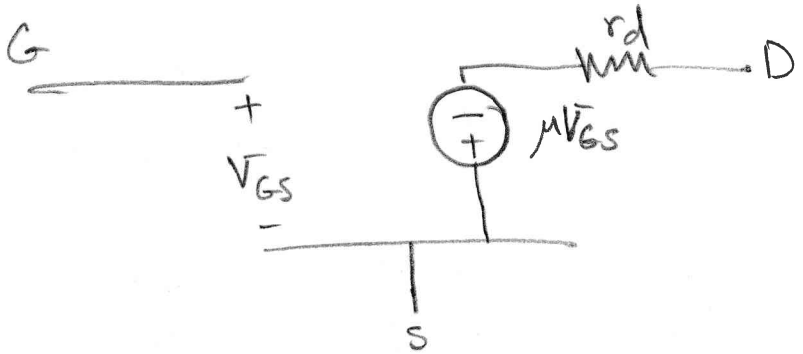
1. کلیه امپدانس‌های موجود در Source از دید Drain در $(1+\mu)$ ضرب می‌شوند
2. کلیه امپدانس‌های موجود در Drain از دید Source بر $(1+\mu)$ تقسیم می‌شوند

مدار معادل AC، FET:

الف) با استفاده از منبع جریان

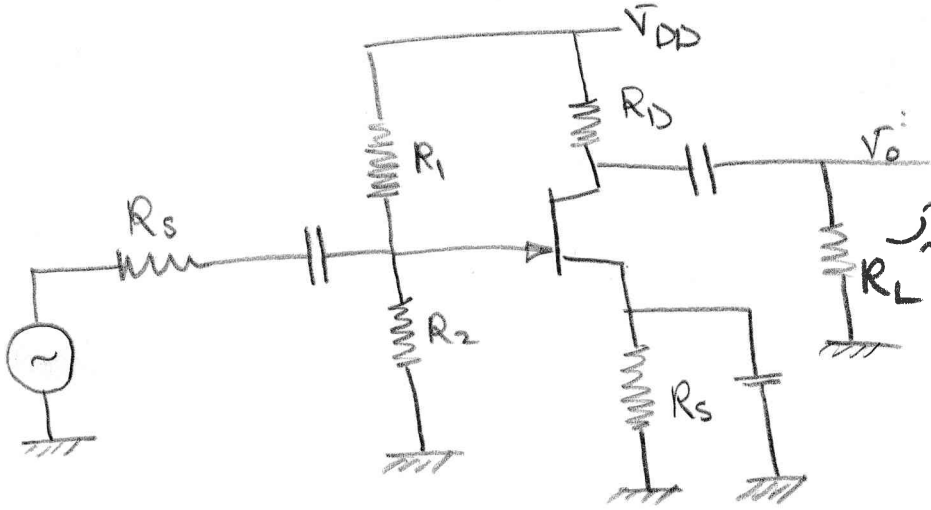


ب) با استفاده از منبع ولتاژ

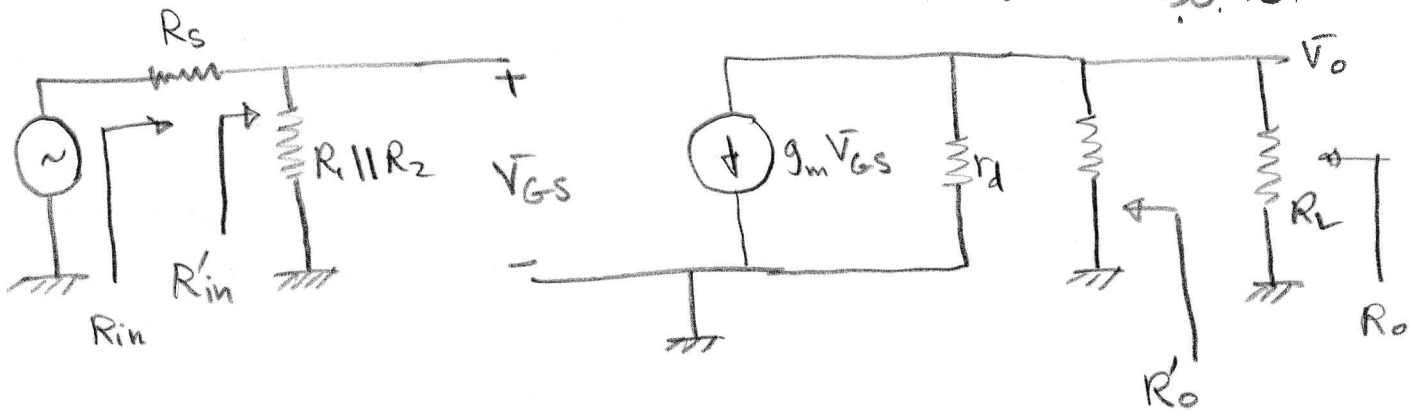


انواع تقویت کننده‌ها: FET

۱. مشترک Source



الف: با وجود خازن بای پس در Source:



$$R'_o = R_D \| r_d \simeq R_D$$

$$R_o = R_D \| R_L \| r_d \simeq R_D \| R_L \qquad R'_{in} = R_1 \| R_2$$

$$R_{in} = R_S + R'_{in}$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_G} = \frac{-g_m(\text{مقاومت دیده شده از فرولچی})}{1 + g_m(\text{مقاومت‌های Source})}$$

$$A_V = \frac{-g_m(R_L \| R_D \| r_d)}{1 + g_m}$$

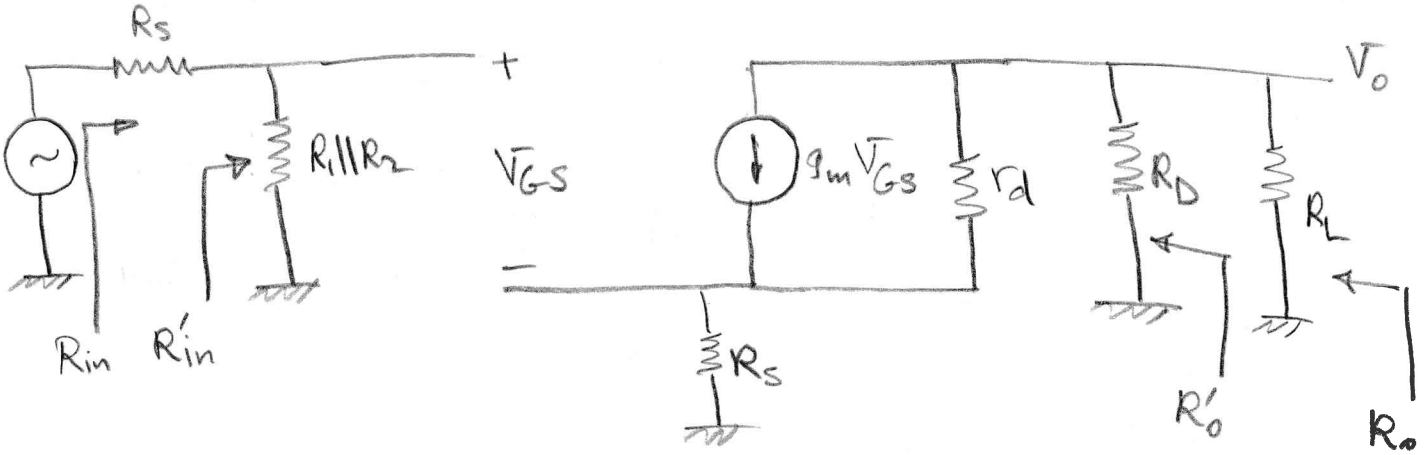
73
E

$$A_{V_S} = \frac{V_o}{V_G} \times \frac{V_G}{V_S}$$

$$\frac{V_G}{V_S} = \frac{R'_{in}}{R_{in} + R'_{in}}$$

چون $I_G = 0$ است ، A_I تعریف نمی شود

ب: عدم وجود خازن بای پس در Source :



$$R'_o = R_D \| (r_d + (1+\mu) R_S) \simeq R_D$$

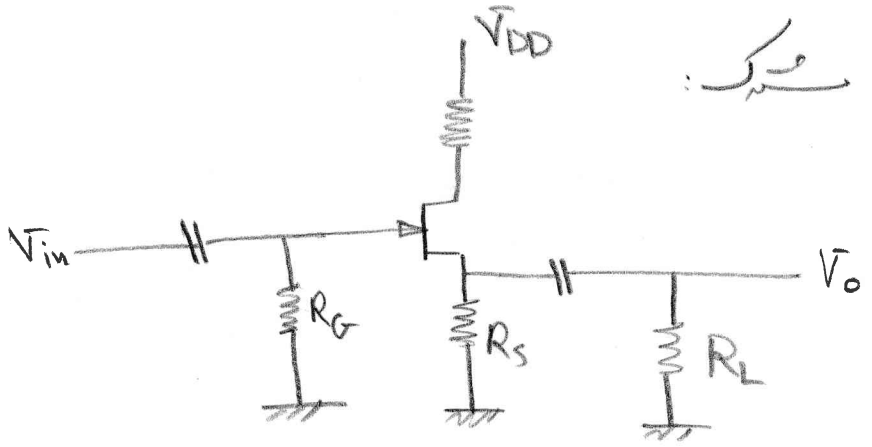
$$R_o = R_L \| R'_o \simeq R_D \| R_L \qquad R'_{in} = R_1 \| R_2 \qquad R_{in} = R_S + R'_{in}$$

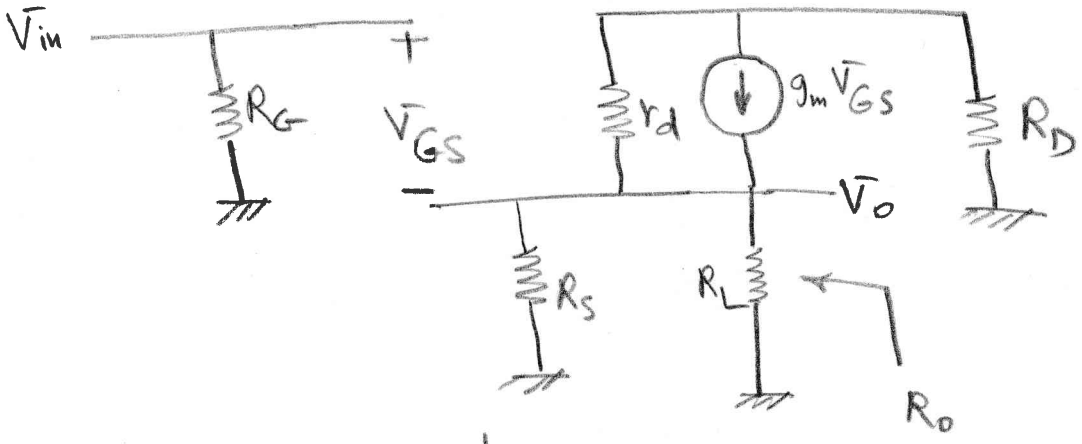
$$A_V = \frac{V_o}{V_G} = \frac{-g_m \left(\text{مقاومت سیم‌ه از خروجی} \right)}{1 + g_m \left(\text{مقاومت‌های Source} \right)}$$

$$A_V = \frac{-g_m (R_L \| R_D \| r_d)}{1 + g_m (R_S)} \qquad A_{V_S} = \frac{V_o}{V_G} \times \frac{V_G}{V_S}$$

$$\frac{V_G}{V_S} = \frac{R'_{in}}{R_{in} + R'_{in}}$$

2. تقویت کننده مشترک Drain :





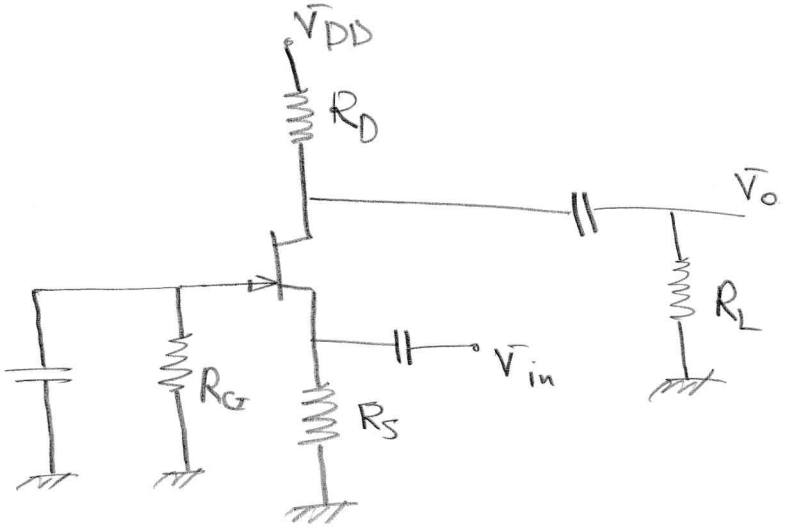
$$A_V = \frac{g_m (\text{مقاومت‌های سورس})}{1 + g_m (\text{مقاومت‌های سورس})}$$

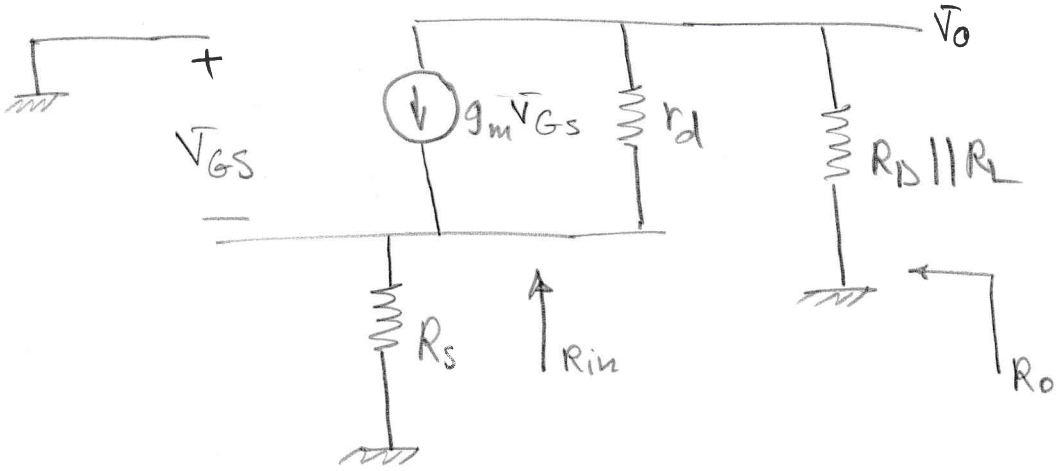
$$A_V = \frac{g_m (R_L \| R_S)}{1 + g_m (R_L \| R_S)} \rightarrow \underline{A_V < 1}$$

$$R_o = R_L \| R_S \| \left(\frac{r_d + R_D}{1+\mu} \right) \simeq R_L \| R_S \| \frac{1}{g_m}$$

$$\left[\frac{r_d + R_D}{1+\mu} \right] \simeq \left[\frac{r_d}{1+\mu} \right] \cong \frac{r_d}{g_m r_d}$$

۳ گیت مشترک:





$$R_{in} = R_S \| \frac{(r_d + R_L \| R_D)}{1+\mu} \qquad R_L \| R_D \ll r_d$$

$$R_{in} = R_S \| \frac{r_d}{1+\mu} \cong R_S \| \frac{r_d}{\mu} \simeq R_S \| \frac{1}{g_m}$$

$$R_o = R_D \| R_L \| r_d$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_{in}} = g_m \quad (\text{تقویت‌کننده فرودی})$$

$$A_V = g_m (R_L \| R_D)$$