

# ترانزیستور اثر میدان (FET) Field Effect Transistor

ترانزیستور معمولی (BJT)، یک عنصر دو قطبی کنترل شونده با جریان است که توسط جریان بیس، جریان کلکتور آن کنترل می شود.

ولی ترانزیستور اثر میدان یک عنصر تک قطبی کنترل شونده با ولتاژ است مقایسه کلی بین قطعات FET و BJT عبارتند از:

۱-FET دارای مقاومت ورودی خیلی بالا دارد.

۲-FET در هنگام استفاده کلیدی ولتاژ افست ندارد.

۳-FET در مقابل تشعشعات حساسیت بسیار کمی دارد.

۴-FET پارازیت کمتری روی سیگنال ایجاد می کند

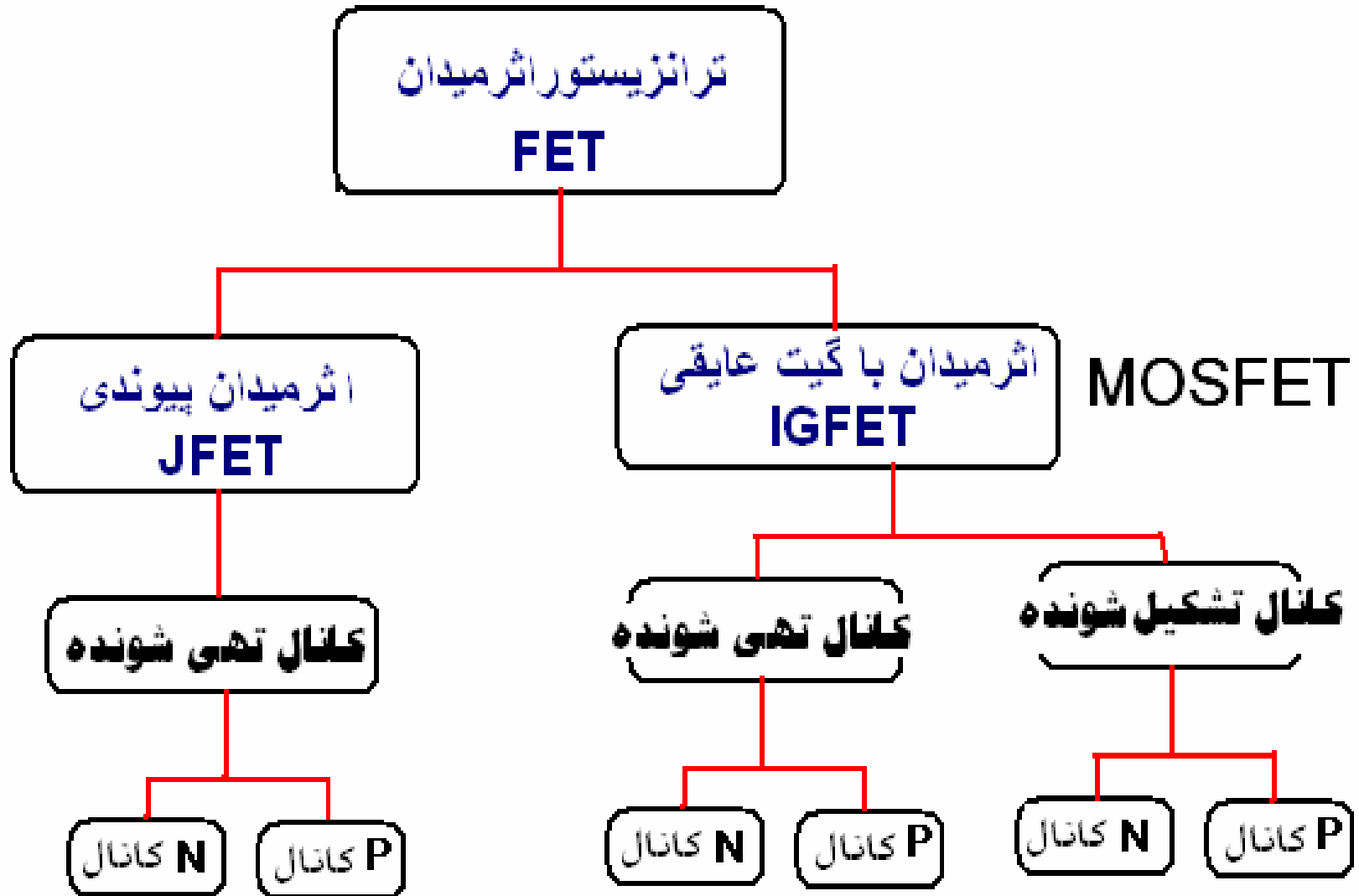
۵-ثبات گرمایی FET بیشتر از BJT است.

۶-FET از BJT کوچکتر است در ساخت مدارهای مجتمع (IC) استفاده بیشتری دارد.

۷-FET عرض باند تقویت کمتر نسبت به BJT دارد.

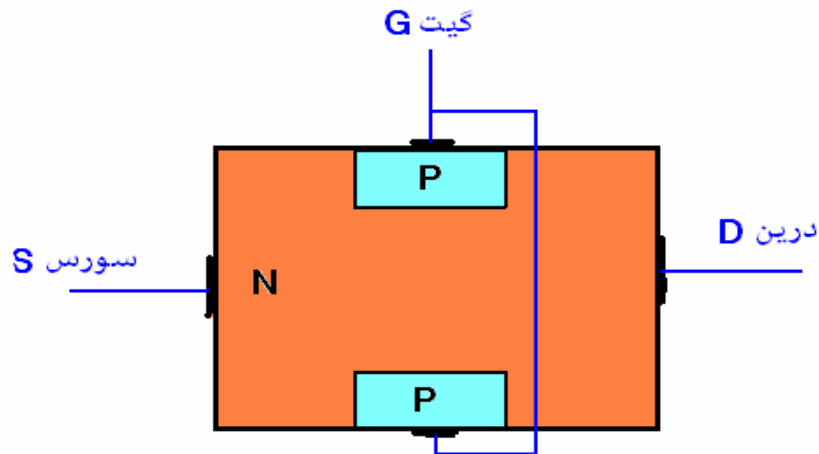
۸-آسیب پذیری FET با دست بیشتر است.

# تقسیم بندی ترانزیستور FET

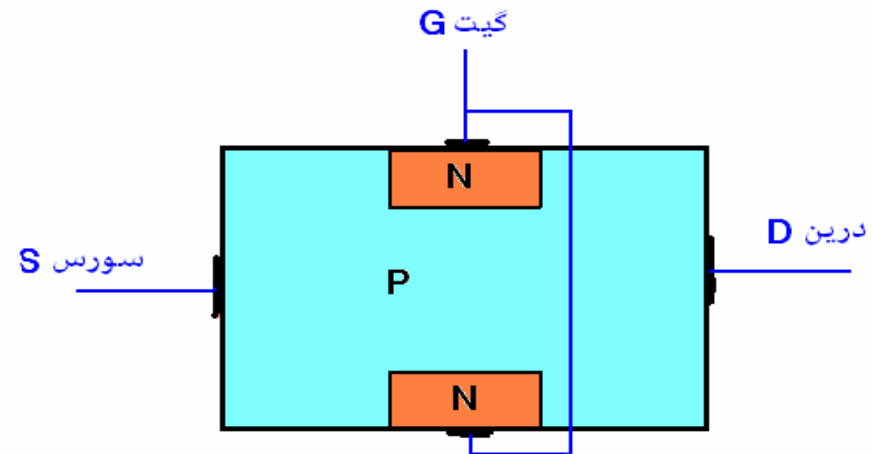
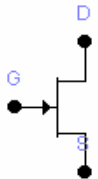


# ساختمان JFET

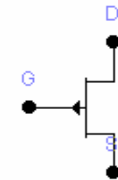
- این ترانزیستور از نیمه هادی پایه مثلاً نوع N که در آن یک جفت نیمه هادی نوع P از طرفین نفوذ داده شده است. که به آن ترانزیستور اثر میدان پیوندی N کانال گویند.
- اگر نیمه هادی پایه از نوع P باشد آنرا ترانزیستور P کانال گویند.



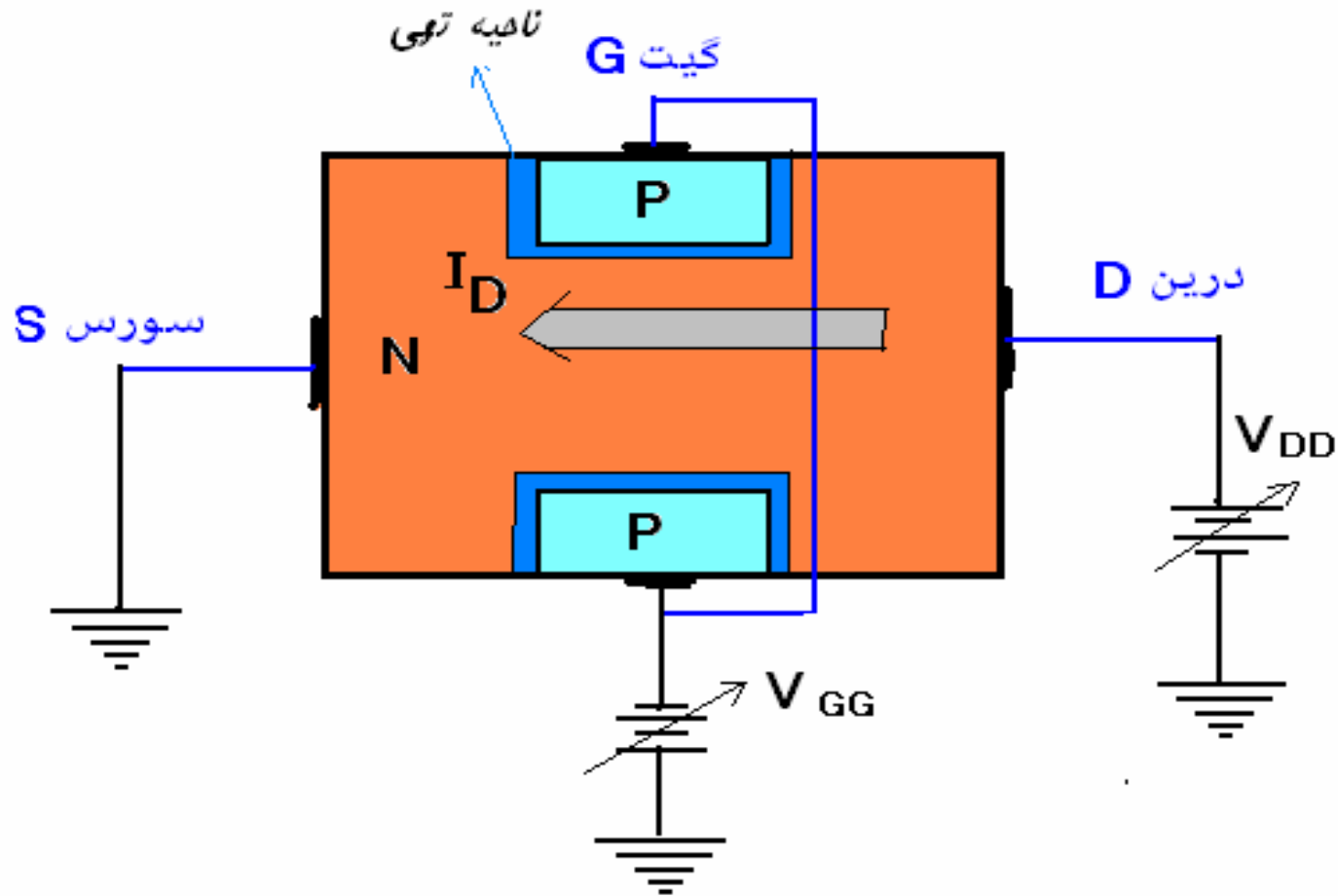
N- JFET کانال



P- JFET کانال



# اصول کار JFET



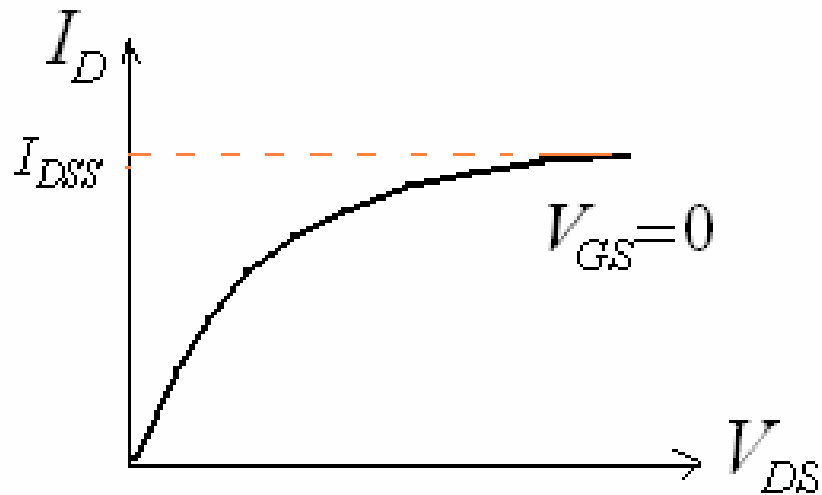
- اگر  $V_{GS}=0$  با افزایش ولتاژ  $V_{DS}$  جریان درین -سورس افزایش یافته تا به مقدار اشباع خود برسد ( $I_{DSS}$ )
- با کاهش  $V_{GS}$  عرض ناحیه تهی زیاد شده و باعث کاهش عرض کانال می گردد. تا اینکه کانال کاملاً مسدود گردد. ولتاژی که به ازای آن جریان درین -سورس صفر می گردد ولتاژ بحرانی یا (ناحیه قطع) ولتاژ ( $V_{GS}(off)$ ) یا  $V_P$  گویند.
- بطور خلاصه، پس می توان توسط  $V_{GS}$  جریان درین -سورس را بین صفر و جریان اشباع ( $I_{DSS}$ ) کنترل نمود.
- چون گیت -سورس در بایاس معکوس تغذیه می شود جریان گذرنده از گیت همواره صفر می باشد.

$$\text{if } V_{GS} = 0 \Rightarrow I_D = I_{DSS}$$

$$\text{if } V_{GS} = V_P \Rightarrow I_D = 0$$

$$I_G = 0$$

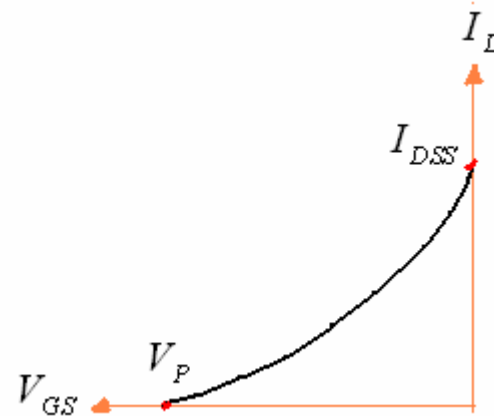
# مشخصه های JFET



مشخصه خروجی

مشخصه انتقالی: مشخصه ایی است که  $I_D$  بر حسب  $V_{GS}$  نشان می دهد.

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



از تقاطع خط بار DC با منحنی مشخصه خروجی نقطه کار ترانزیستور مشخص می گردد.

مثال: یک ترانزیستور JFET کانال N که ولتاژ قطع آن 4- ولت و جریان اشباع درین-سورس 12mA می باشد در شرایط زیر جریان  $I_D$  بدست آورید؟ و سپس ترسیم کنید.

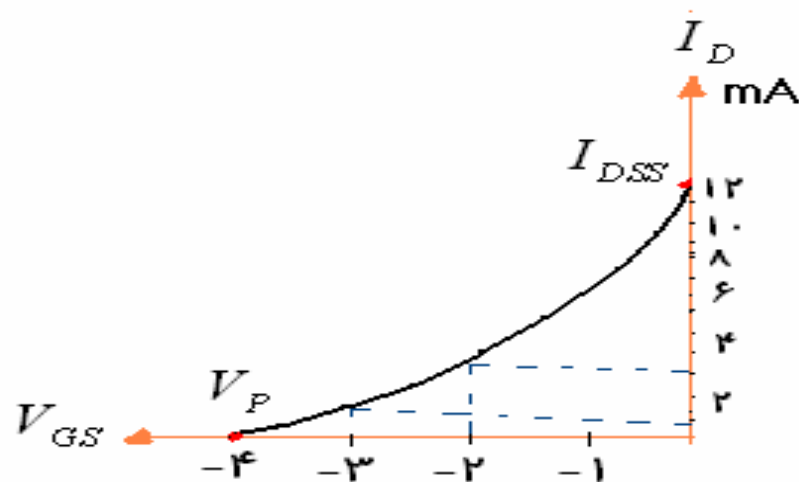
الف-  $V_{GS}=0$       ب-  $V_{GS}=-2$       ج-  $V_{GS}=-3$

$$I_{DSS} = 12mA, V_P = -4V$$

$$\text{if } V_{GS} = 0 \Rightarrow I_D = I_{DSS} = 12mA$$

$$\text{if } V_{GS} = -2V \Rightarrow I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 12 \left(1 - \frac{-2}{-4}\right)^2 = 3mA$$

$$\text{if } V_{GS} = -3V \Rightarrow I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 12 \left(1 - \frac{-3}{-4}\right)^2 = 0.75mA$$



مثال: جریان درین یک ترانزیستور JFET کانال P که ولتاژ قطع آن 8 ولت و جریان اشباع درین-سورس 10mA می باشد در شرایط زیر بدست آورید؟ و سپس ترسیم کنید.

ج-6- $V_{GS}=6$

ب-4- $V_{GS}=4$

الف-2- $V_{GS}=2$

$$I_{DSS} = 10 \text{ mA} , V_P = 8 \text{ v}$$

$$\text{if } V_{GS} = 0 \Rightarrow I_D = I_{DSS} = 10 \text{ mA}$$

$$\text{if } V_{GS} = 2 \text{ v} \Rightarrow I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 10 \left(1 - \frac{2}{8}\right)^2 = 5.566 \text{ mA}$$

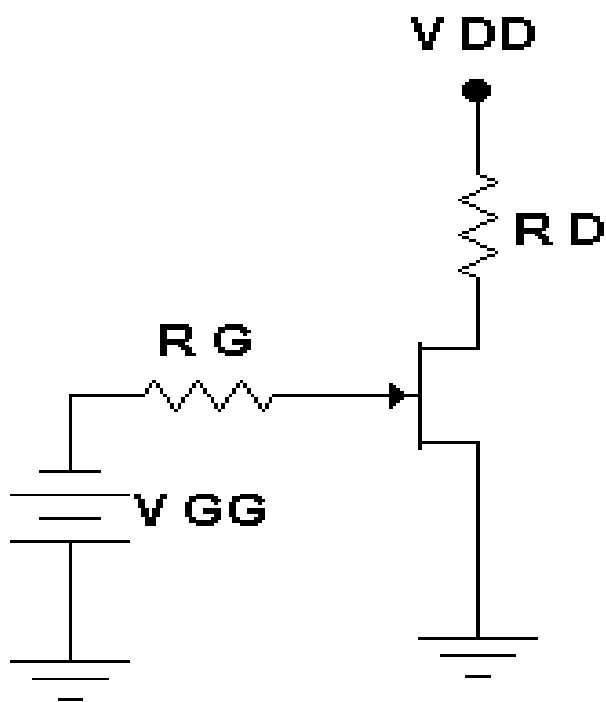
$$\text{if } V_{GS} = 4 \text{ v} \Rightarrow I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 10 \left(1 - \frac{4}{8}\right)^2 = 2.5 \text{ mA}$$

$$\text{if } V_{GS} = 6 \text{ v} \Rightarrow I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 10 \left(1 - \frac{6}{8}\right)^2 = 0.625 \text{ mA}$$



مشابه ترانزیستور BJT سه نوع روش تغذیه برای FET وجود دارد.

- تغذیه مستقیم - تغذیه اتوماتیک - تغذیه باتقسیم ولتاژ



$$I_G = 0$$

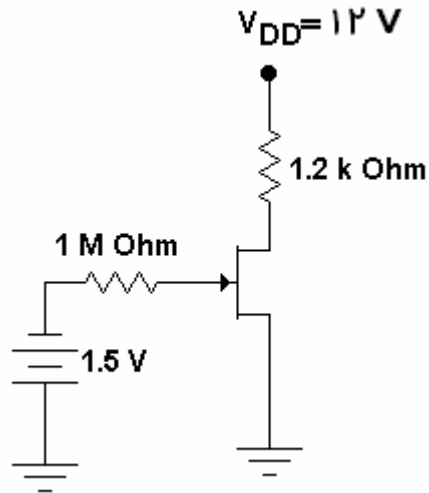
$$V_{GS} = -V_{GG}$$

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

$$-V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} = 0$$

$$\Rightarrow V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D$$

مثال: مشخصات نقطه کار ابدست آورید.  $v_p = -4V, I_{DSS} = 12mA$ .



$$I_G = 0$$

$$V_{GS} = -V_{GG} = -1.5V$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{-V_{GG}}{V_P}\right)^2 = 12 \left(1 - \frac{-1.5}{-4}\right)^2 = 4.69mA$$

$$-V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} = 0$$

$$\Rightarrow V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D = 12 - 1.2 \times 4.69 = 6.4V$$

$$V_S = 0, \quad V_{DS} = V_D = 6.4V$$

خط بار dc ترانزیستور: معادله خطی است  $I_D$  بر حسب  $V_{DS}$  نشان می دهد. اگر این خط را روی منحنی مشخصه خروجی ترسیم کنیم محل تقاطع با  $V_{GS}$  مورد نظر نقطه کار DC ابدست می آید.

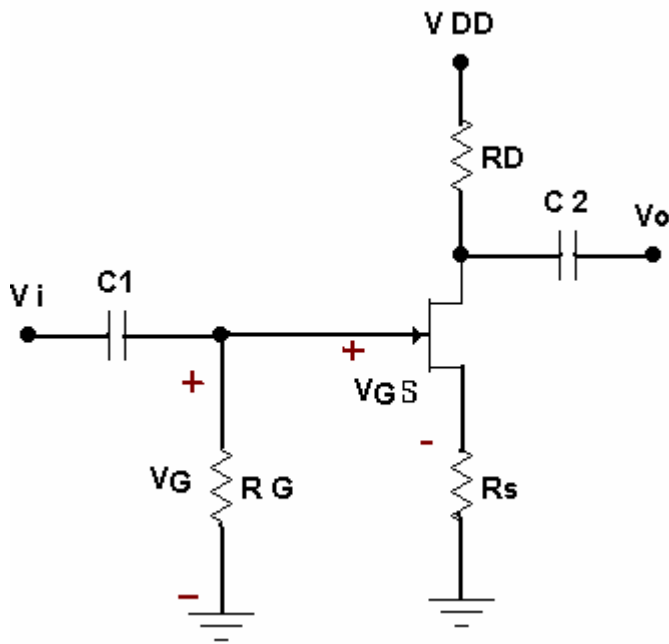
$$V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D \Rightarrow I_D = \left(-\frac{1}{R_D}\right) V_{DS} + \frac{V_{DD}}{R_D}$$

# بایاس سر خود یا خود تغذیه (self bias)

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - R_S I_D = -R_S I_D$$

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

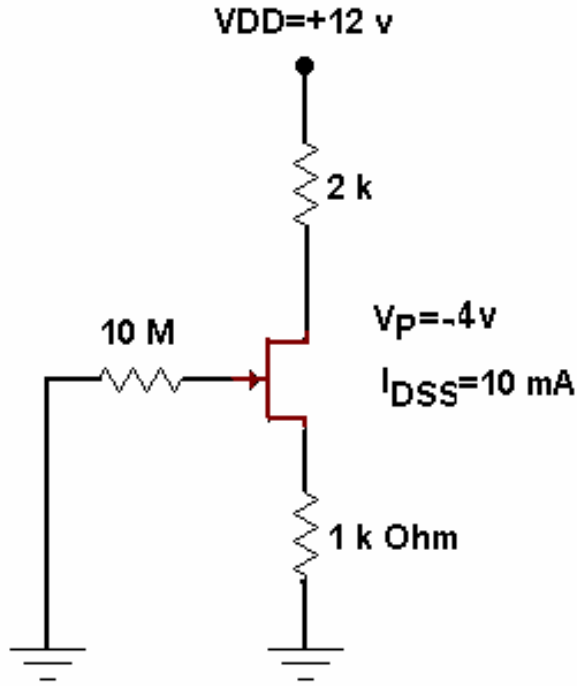
از حل معادله بالا  $I_D$  پیدامی شود.



$$kvl: -V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} + R_S I_D = 0$$

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

## مثال: مشخصات نقطه کار را پیدا کنید



$$V_{GS} = -1 \times I_D = -I_D$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 10 \left(1 - \frac{-I_D}{-4}\right)^2$$

$$\Rightarrow I_D^2 - 9.6I_D + 16 = 0 \Rightarrow \begin{cases} I_{D1} = 7.445\text{ mA} \\ I_{D2} = 2.145\text{ mA} \end{cases}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S)I_D = 12 - (2 + 1) \times 2.145 = 5.57\text{ V}$$

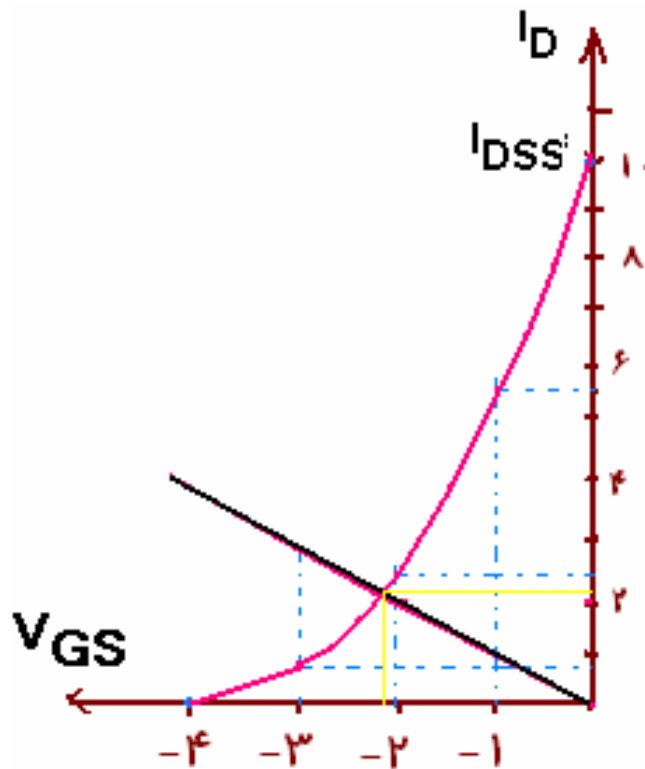
$$V_G = 0, V_S = R_S I_D = 1 \times 2.145 = 2.145\text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = -2.145\text{ V}$$

$$V_D = V_{DS} + V_S = 5.57 + 2.145 = 7.715\text{ V}$$

## محاسبه جریان درین بار رسم:

- ابتدا منحنی مشخصه انتقالی ترانزیستور را رسم کنید.
- معادله  $V_{GS}$  را روی آن ترسیم کنید.
- محل تقاطع جریان درین و  $V_{GS}$  محاسبه می شود.
- نقطه تقاطع روی محورهای تصویر کنید



$$I_{D1} = 2.145 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = -2.145 \text{ V}$$

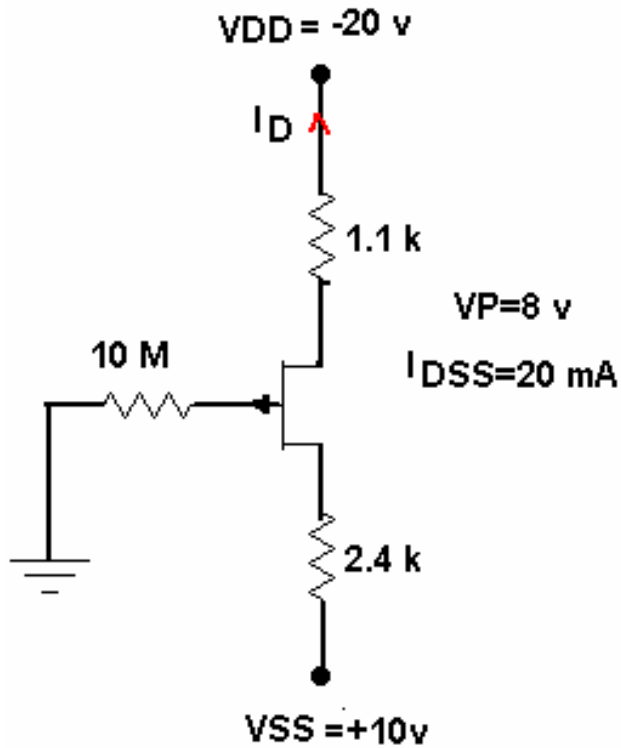
## نکات بسیار مهم

$$0 \leq I_D \leq I_{DSS}$$

$$|V_{GS}| \leq |V_P|$$

$$N \text{ canal} \Rightarrow V_{DS} \geq 0$$

$$P \text{ canal} \Rightarrow V_{DS} \leq 0$$



مثال: نقطه کار و ولتاژ پایه ها را بدست آورید؟

$$+V_{GS} - R_S \times I_D + V_{SS} \Rightarrow V_{GS} = 2.4I_D - 10$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 20 \left(1 - \frac{2.4I_D - 10}{8}\right)^2$$

$$\Rightarrow 5.76 I_D^2 - 83.2 I_D + 324 = 0 \Rightarrow \begin{cases} I_{D1} = 9.244 \text{ mA} \\ I_{D2} = 5.2 \text{ mA} \end{cases}$$

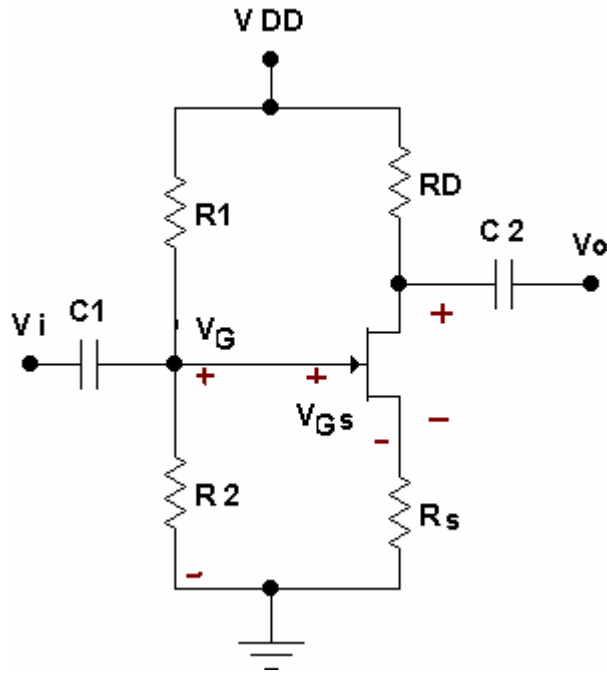
$$V_{GS} = 2.4I_D - 10 = 2.4 \times 5.2 - 10 = 2.48 \text{ v}$$

$$-V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} + R_S I_D + V_{SS} = 0$$

$$20 + 2.4 \times 5.2 + V_{DS} + 1.1 \times 5.2 + 10 = 0$$

$$V_{DS} = -11 \text{ v}$$

# مدار تغذیه FET با مقسم ولتاژ



$$V_G = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times V_{DD}$$

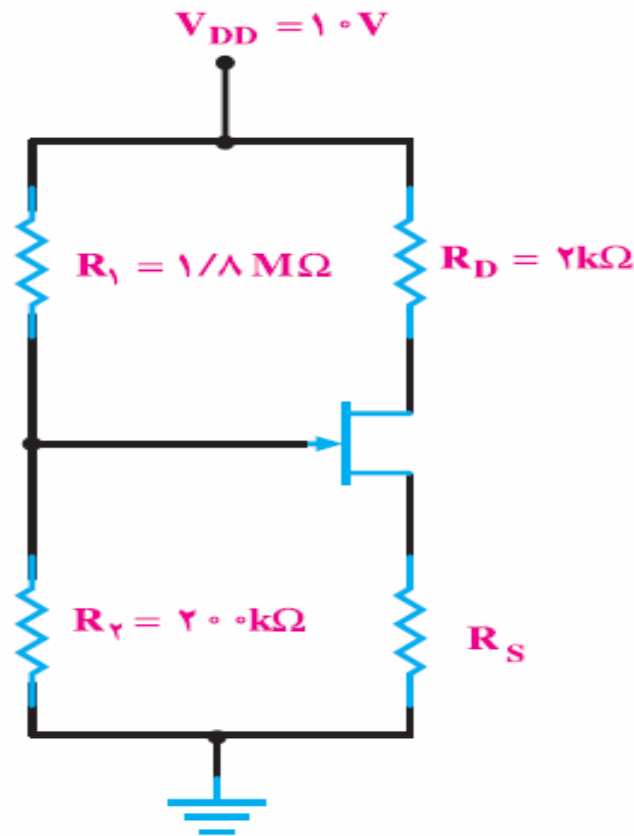
$$V_{GS} = V_G - R_S I_D \quad , \quad I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

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

$$kvl : -V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} + R_S I_D = 0$$

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

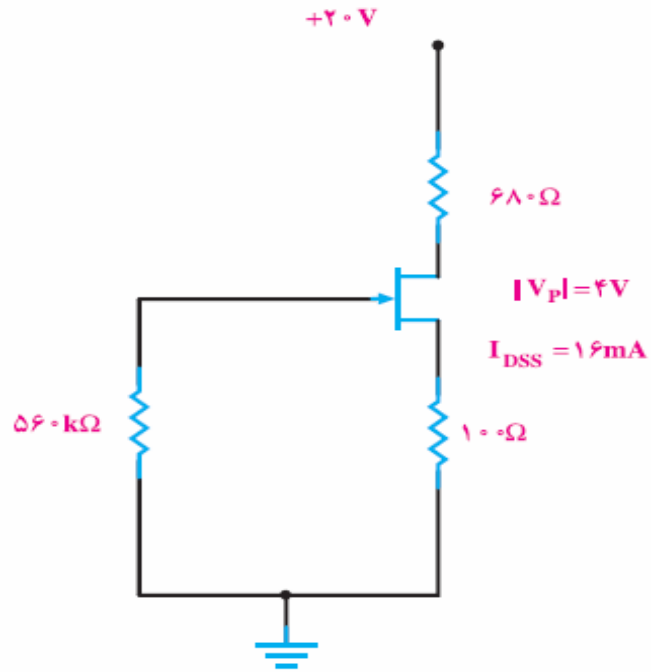
- ۱۳- اگر در شکل ۲۹-۳ با فرض  $I_{DSS} = 1 \text{ mA}$  و  $V_{GS(off)} = -5 \text{ V}$  باشد:
- الف- مقاومت  $R_S$  را طوری محاسبه کنید که  $|V_{GS}| = 3 \text{ V}$  شود.
- ب- مقدار ولتاژ  $V_{DS}$  چند ولت است؟



شکل ۲۹-۳

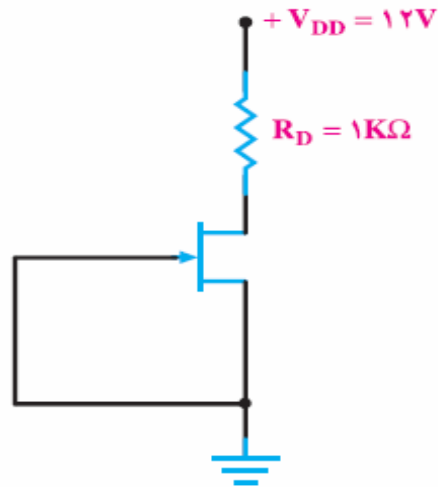


۱۴- نقطه‌ی کار ترانزیستور شکل ۳-۳۰ را به دست آورید.



شکل ۳-۳۰

۱۵- در شکل ۳-۳۱ با فرض  $V_P = -5V$  و  $I_{DSS} = 8mA$ ، توان تلف شده در ترانزیستور چند میلی‌وات است ( $P_Q = I_D \times V_{DS} = ?$ ) .



شکل ۳-۳۱