محمد اعرابیان

# جزوه درس الکترونیک کاربردی

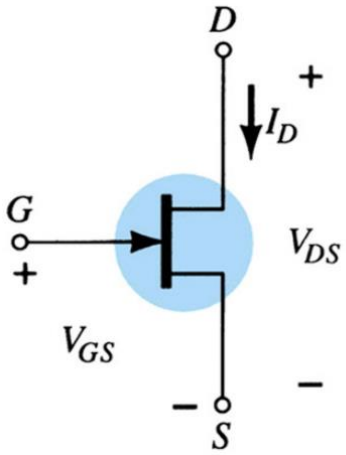
## جلسه سیزدهم

برای جزئیات بیشتر **اسکن کنید**

**نسخه ۱.۱** | تهیه شده در بهمن ۱۴۰۰

تمامی حقوق این جزوه برای **محمد اعرابیان** محفوظ است.

# تحلیل سیگنال کوچک ترانزیستور FET




مزایای FET:

- افزایش ولتاژ عالی
- امپدانس ورودی بالا
- مصرف کم
- محدوده فرکانس خوب

**هدایت انتقالی JFET** ($g_m$) : نسبت تغییرات جریان درین $\Delta I_C$ به تغییرات ولتاژ سورس $\Delta V_{GS}$ به ازای ولتاژ درین سورس ثابت را هدایت انتقالی دینامیکی می‌نامند و تابع نقطه کار ترانزیستور است. چون منحنی مشخصه انتقالی برای JFET غیر خطی است هدایت انتقالی در نقاط مختلف آن متفاوت است.

$$g_m = \left.\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{GS}}\right|_{V_{DS}= \text{مقدار ثابت}}$$

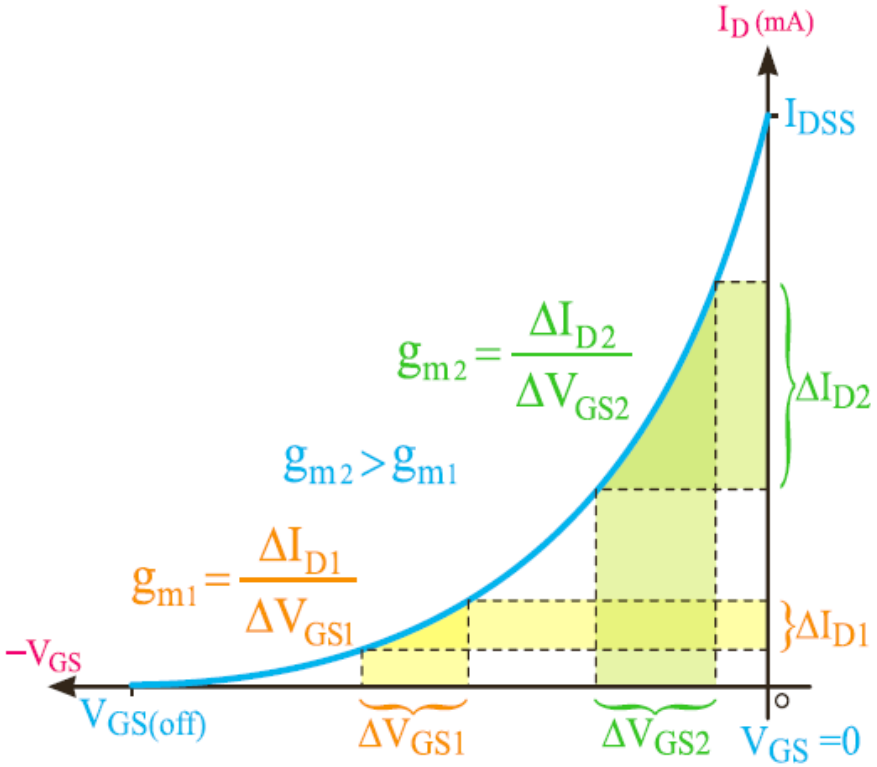
$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

برای $V_{GS} = 0 \Longrightarrow g_{m_0}$

$$g_{m_0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}$$

$$g_m = g_{m_0}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

$$g_m = g_{m_0}\sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}$$




| $I_D$ | $I_{DSS}$ | $\frac{I_{DSS}}{2}$ | $\frac{I_{DSS}}{2}$ | $0mA$ |
|---|---|---|---|---|
| $g_m$ | $g_{m_0}$ | $0.707g_{m_0}$ | $0.5g_{m_0}$ | 0 |

تحلیل سیگنال کوچک:

مقاومت ورودی ترانزیستور JFET در حد بسیار زیاد $(1000M\Omega)$ است. که می‌توان آن را بی‌نهایت فرض کرد.

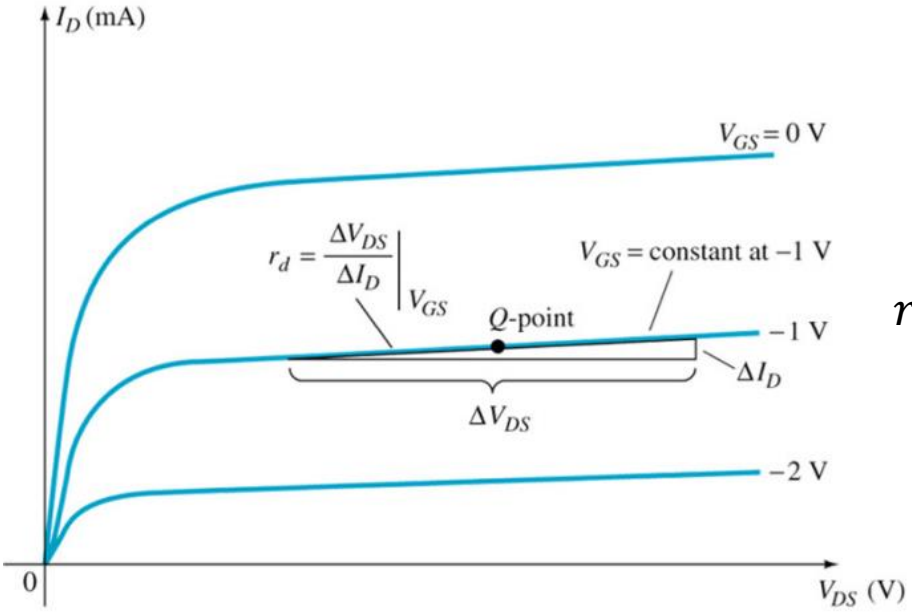
$$Z_{in} \approx 1000M\Omega \approx \infty$$

مقاومت خروجی ترانزیستور JFET شبیه به ترانزیستور BJT است، که برابر ۱ تقسیم بر $y_{os}$ می‌باشد.

واحد $y_{os}$، $\mu s$ است. مقاومت خروجی ترانزیستور JFET را با $r_d$ نمایش می‌دهند.

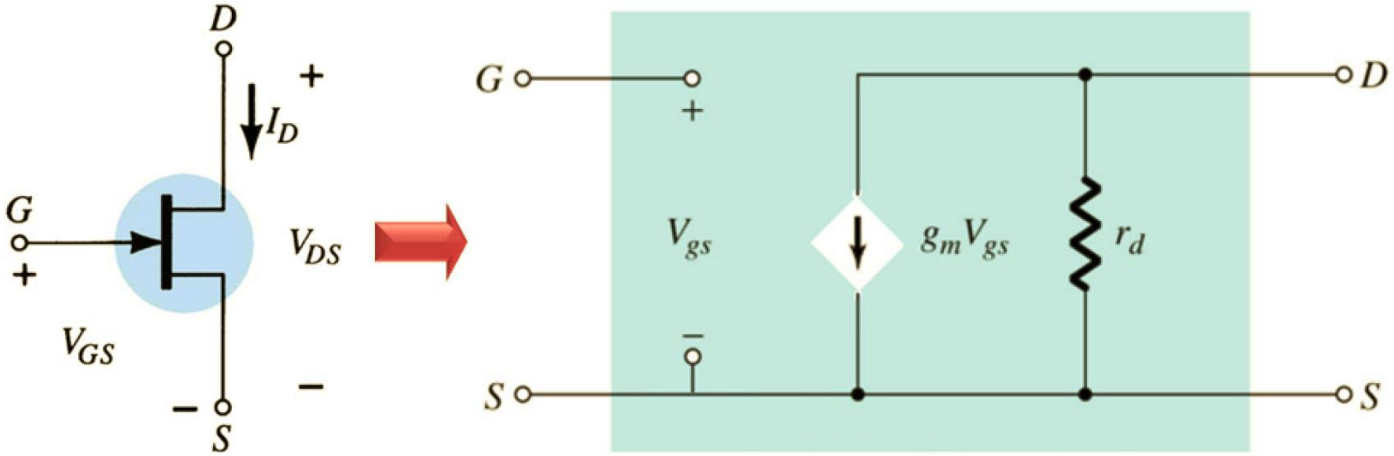
$$Z_o = r_d = \frac{1}{y_{os}}$$

که $r_d$، تغییرات ولتاژ درین سورس به تغییرات جریان درین می‌باشد.




$$r_d = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_C}\Big|_{V_{GS}=} \text{ مقدار ثابت}$$

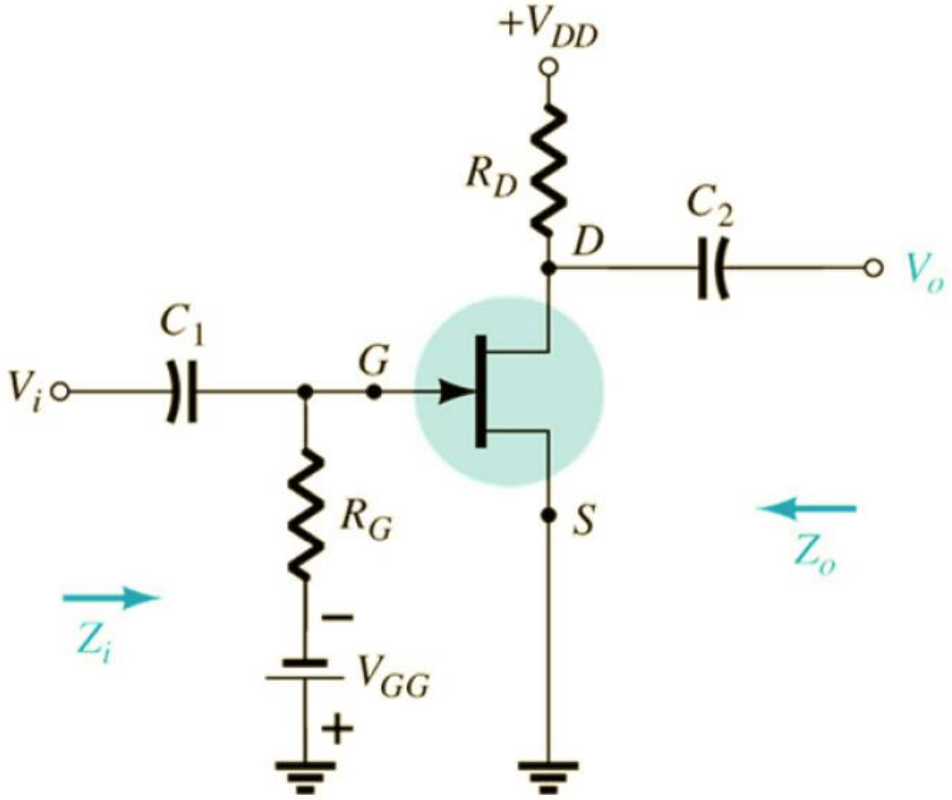
## مدل سیگنال کوچک AC ترانزیستور JFET



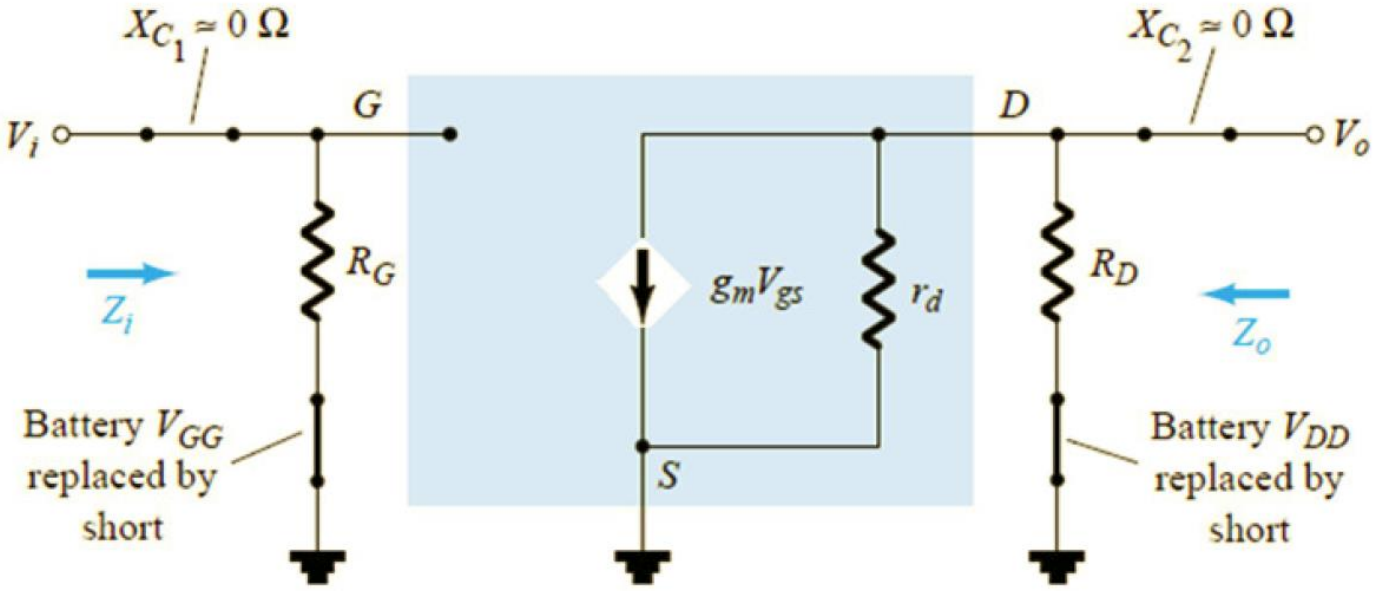
برای استفاده از ترانزیستور JFET باید به بایاسینگ (تغذیه) آرایش قرار گیری ترانزیستور در مدار توجه کرد برای ترانزیستور از بایاسینگ مستقیم، سرخود و مقسم ولتاژ استفاده می‌شود. آرایش ترانزیستور JFET نیز شبیه ترانزیستور BJT می‌باشد، که به سه صورت سورس مشترک (CS) ، درین مشترک (CD) و گیت مشترک (CG) انجام می‌شود.

## ۱) تقویت کننده سورس مشترک (CS) با بایاسینگ مستقیم

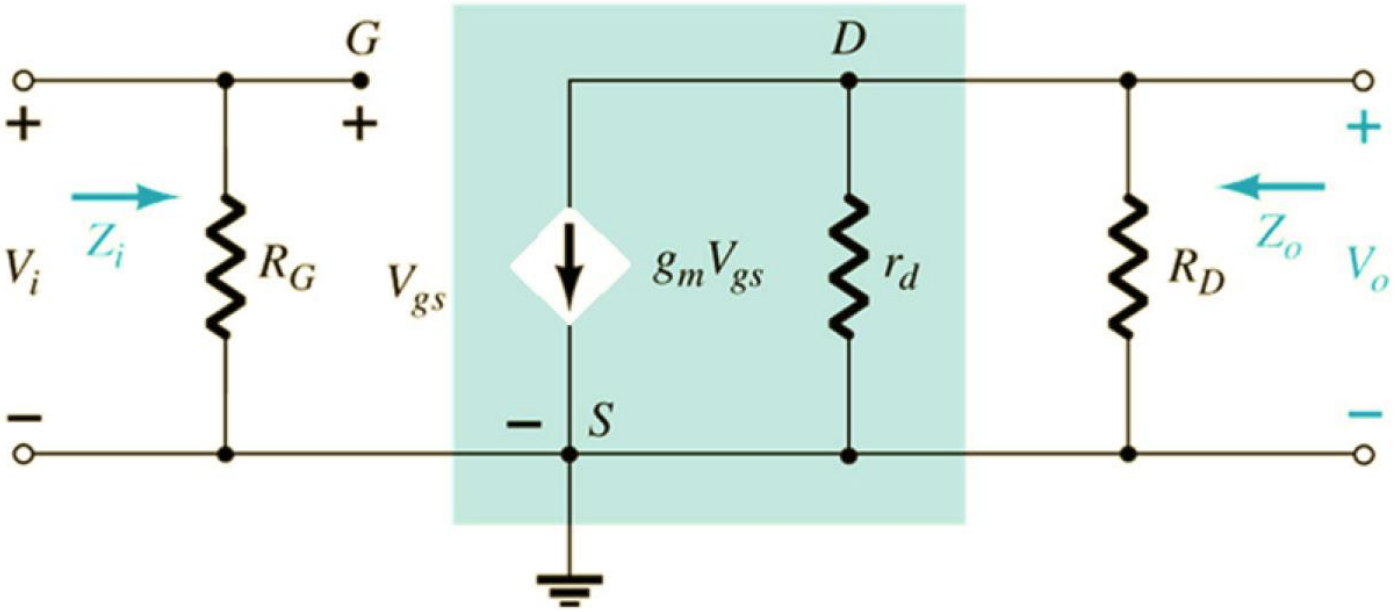
در بررسی سیگنال کوچک سه پارامتر امپدانس ورودی، امپدانس خروجی و بهره ولتاژ را محاسبه می‌کنیم.




## محاسبه $Z_i$ و $Z_o$ ترانزیستور JFET

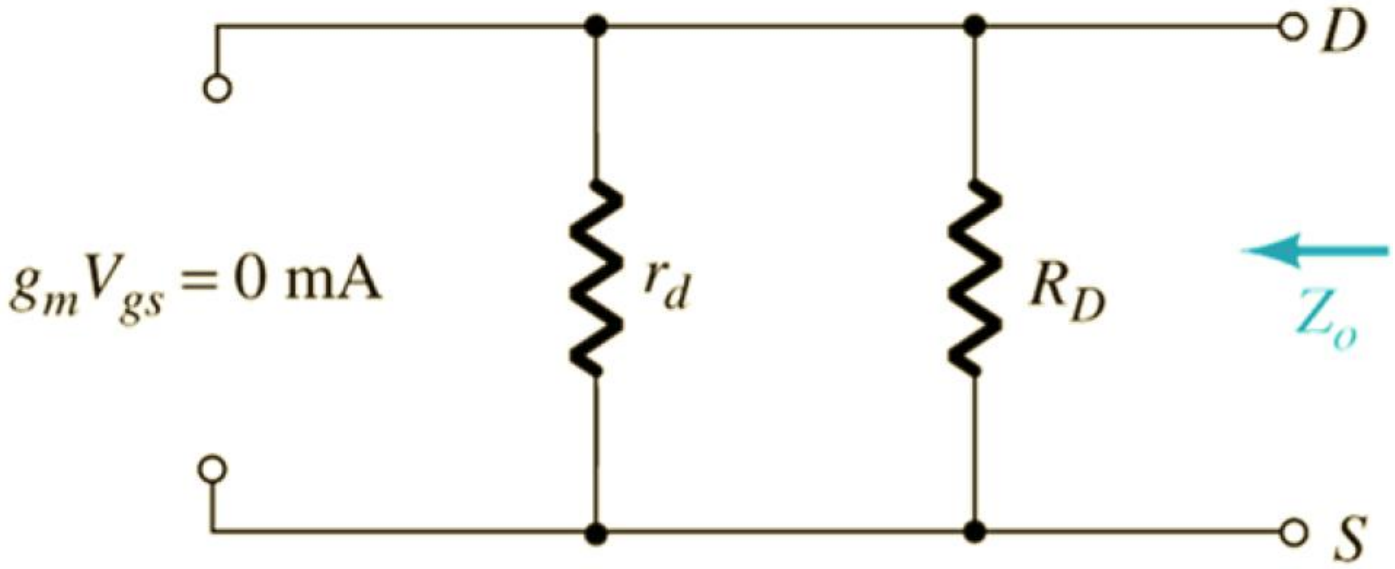


محاسبه امپدانس ورودی ترانزیستور JFET




$$Z_i = R_G$$

محاسبه امپدانس خروجی ترانزیستور JFET، یاد آوری منابع مستقل بی‌اثر هستند $V_i = 0$

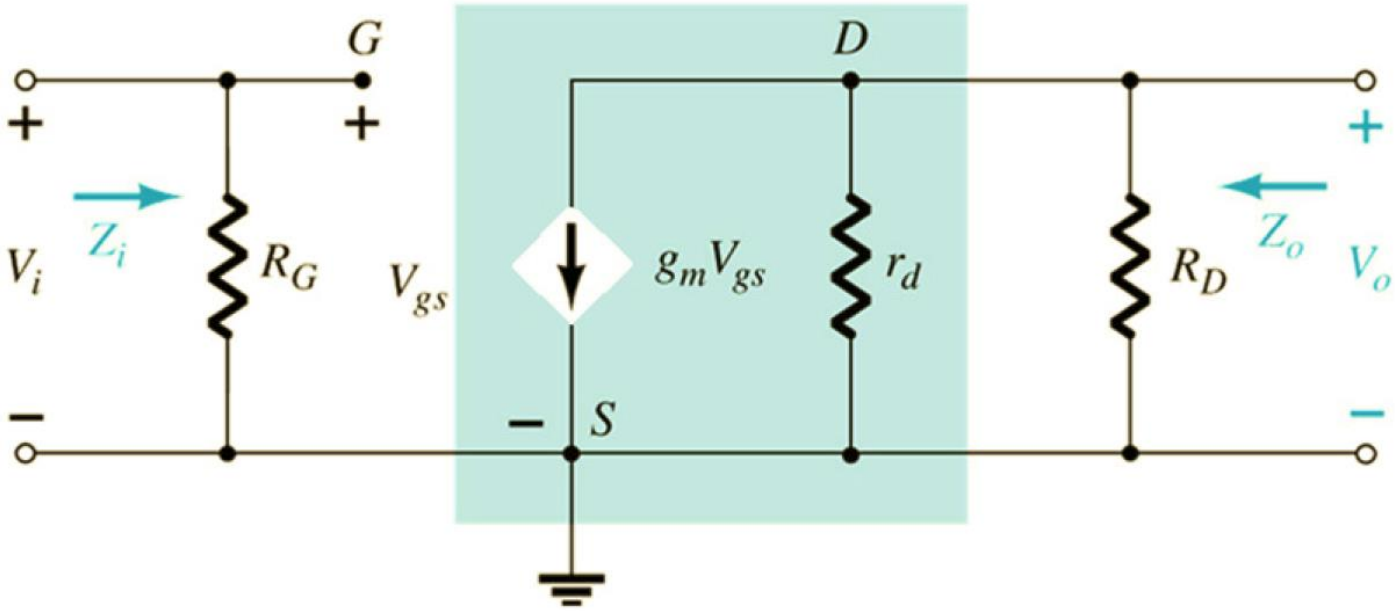



$$Z_o = R_D \parallel r_d$$

حال اگر خیلی بزرگتر از $R_D$ باشد $(r_d \geq 10R_D)$

$$Z_o = R_D$$

محاسبه بهره ولتاژ $A_v$



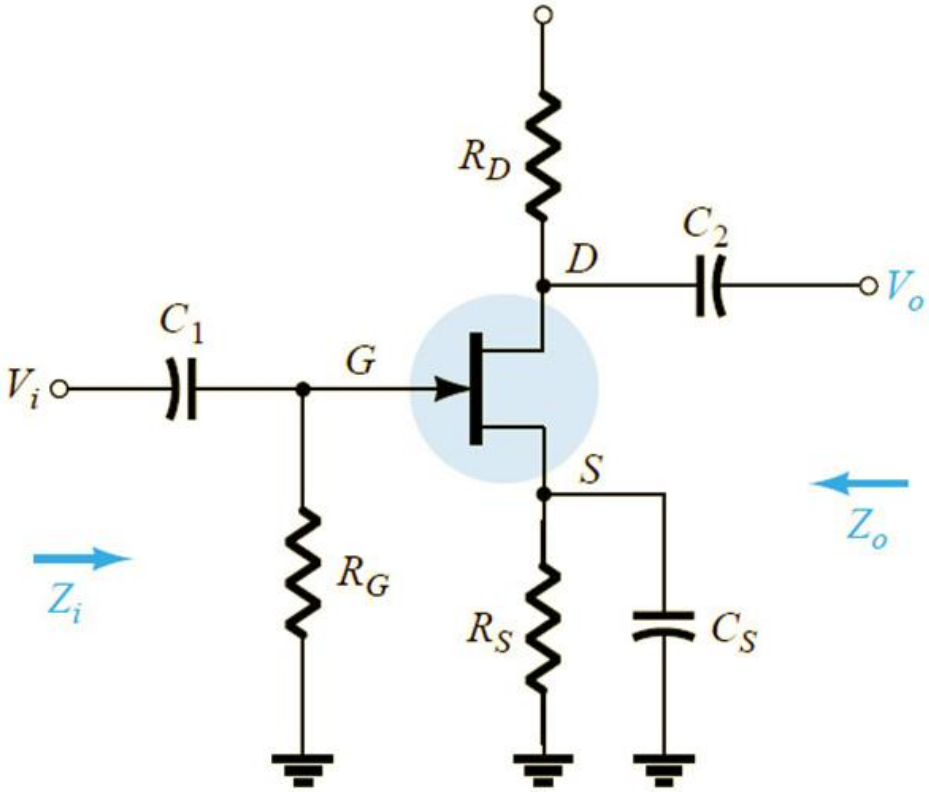

$$V_o \Longrightarrow kvl \Longrightarrow +V_o + I_D R_D = 0 \Longrightarrow +V_o + g_m V_{gs}(R_D \parallel r_d) = 0$$

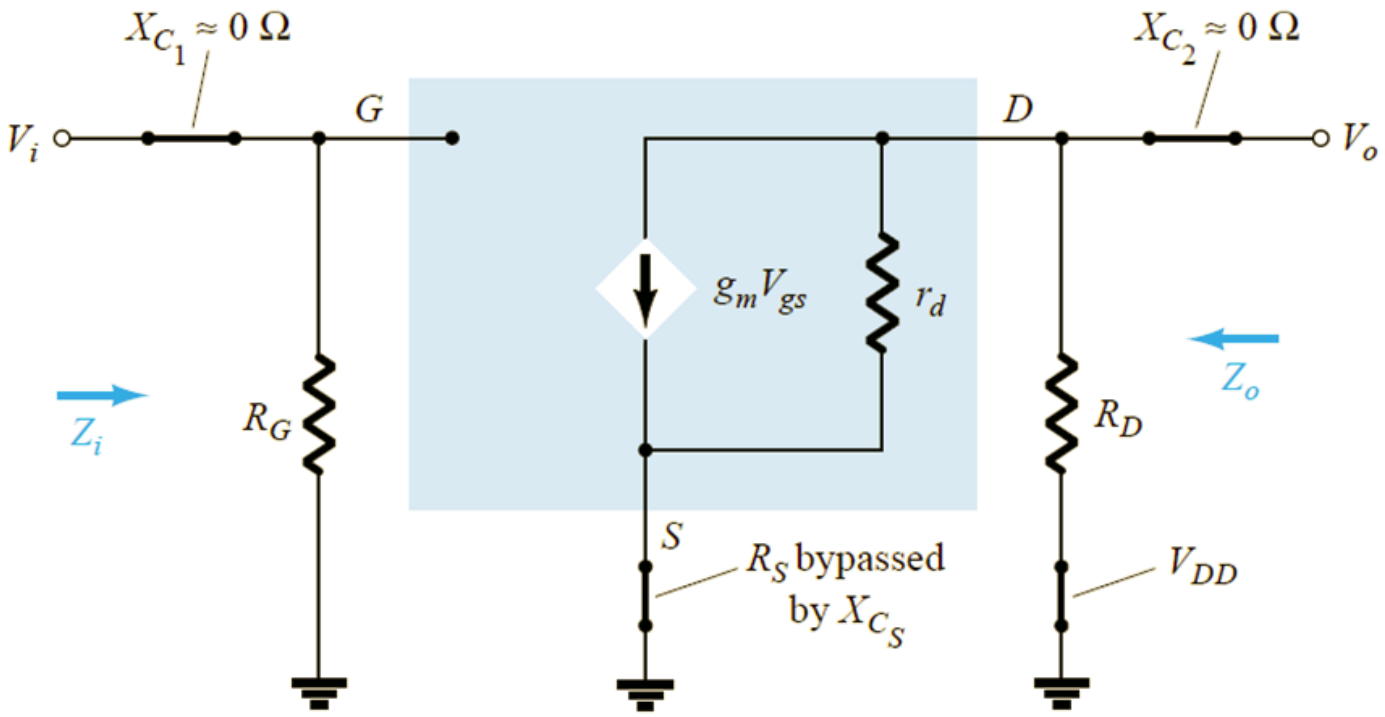
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \Longrightarrow \qquad V_o = -g_m V_{gs}(R_D \parallel r_d) \quad , \quad V_{gs} = V_i$$

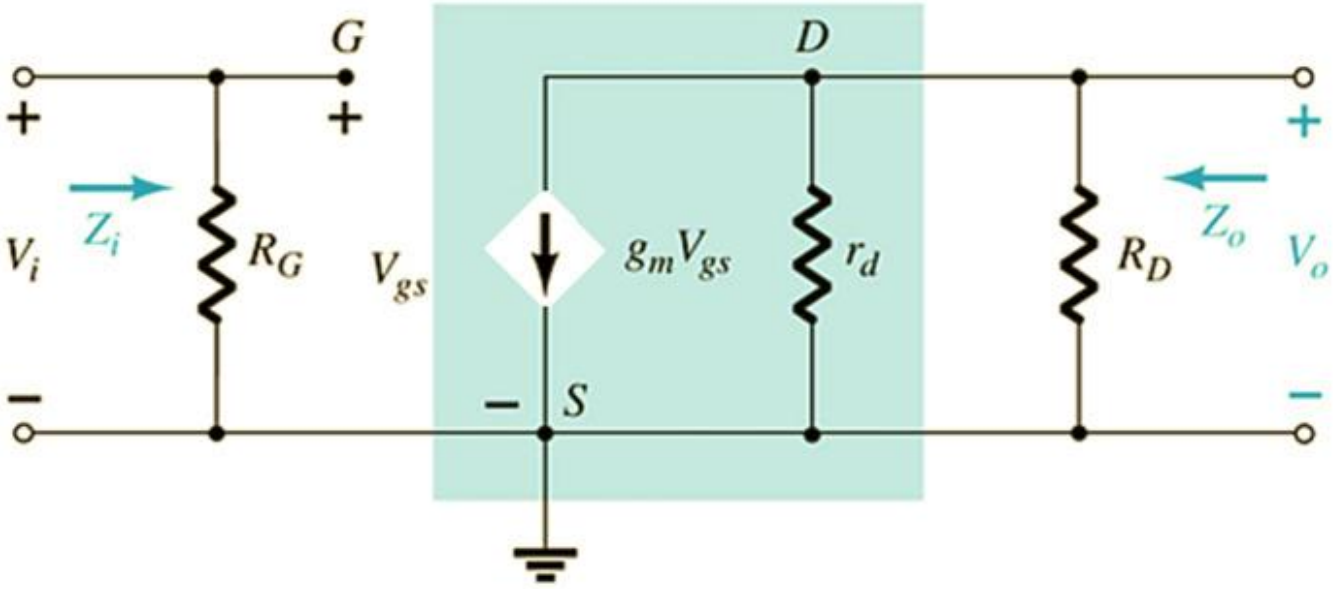
$$\Longrightarrow V_o = -g_m V_i(R_D \parallel r_d)$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \Longrightarrow \frac{-g_m V_i(R_D \parallel r_d)}{V_i} = -g_m(R_D \parallel r_d) = -g_m R_D$$

**۲) تقویت کننده سورس مشترک (CS) با بایاسینگ سرخود**






$$Z_i = R_G$$

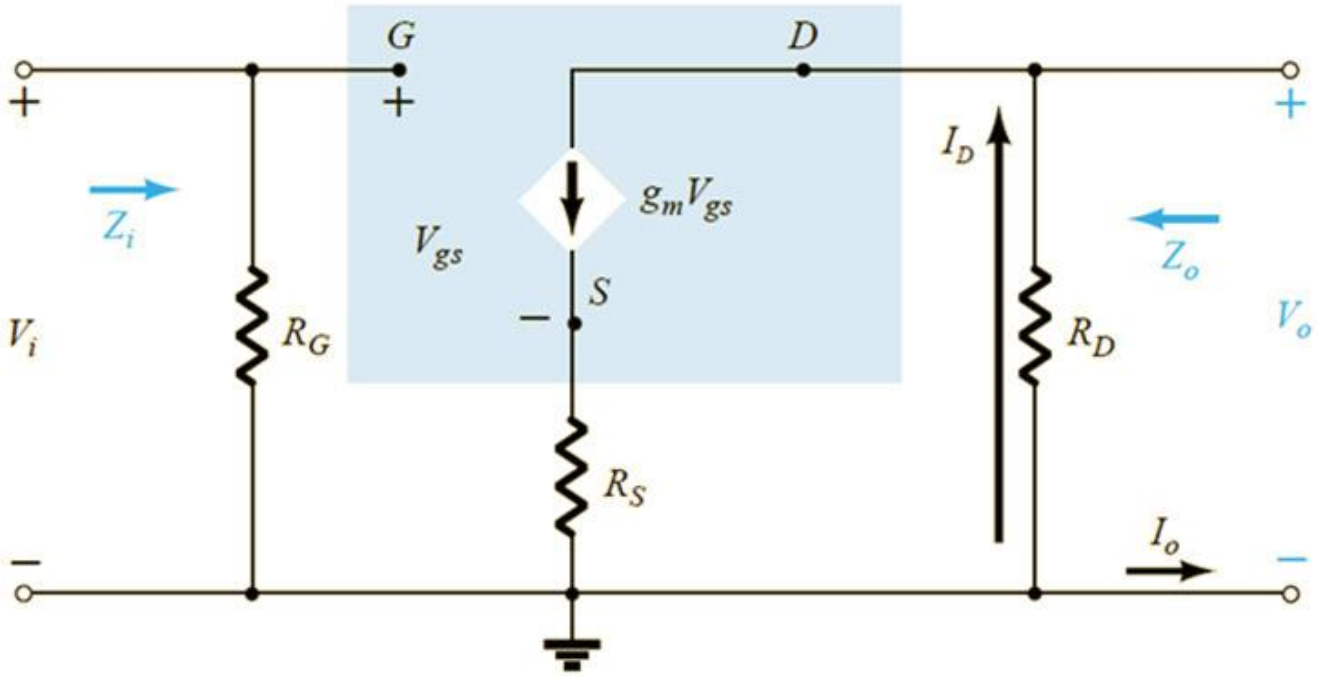
$$Z_o = R_D \parallel r_d$$

حال اگر خیلی بزرگتر از $R_D$ باشد $(r_d \geq 10R_D)$

$$Z_o = R_D$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \Rightarrow \frac{-g_m V_i (R_D \parallel r_d)}{V_i} = -g_m (R_D \parallel r_d) = -g_m R_D$$

مدل سیگنال کوچک بدون خازن $C_s$ و صرف نظر کردن از مقاومت $r_d$

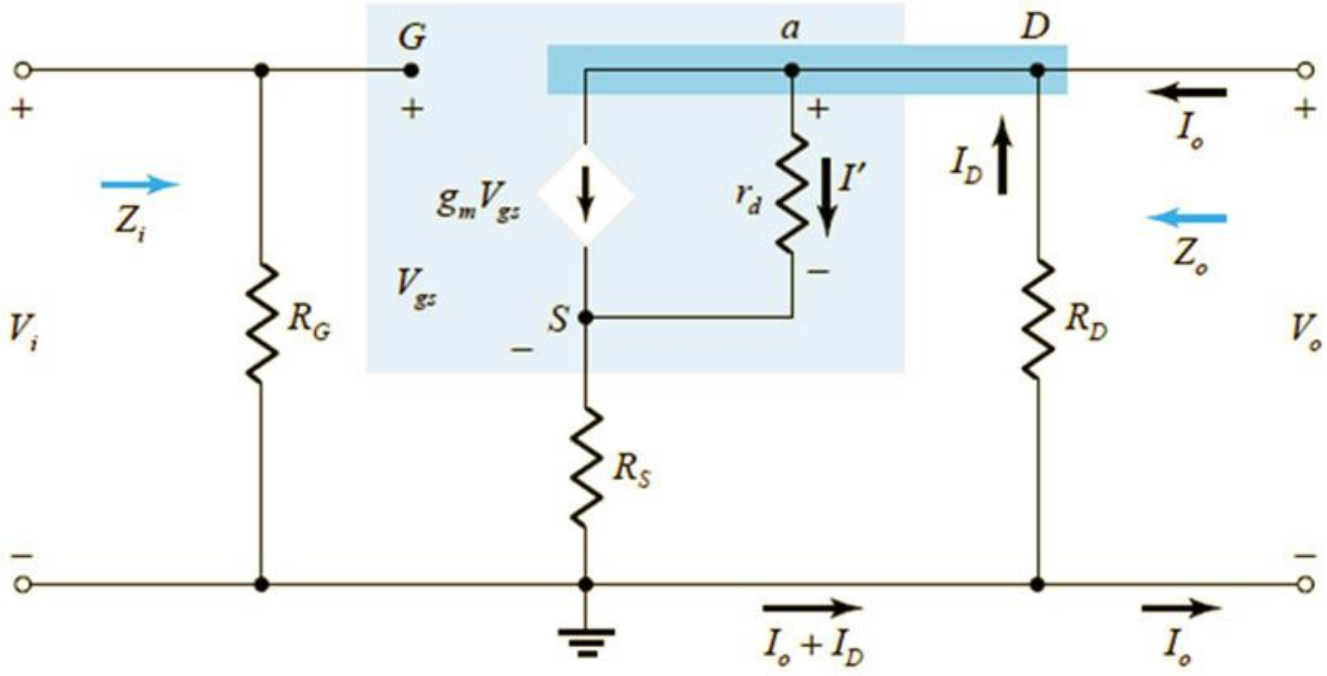



$$Z_i = R_G$$

$$Z_o = \frac{V_o}{I_o} = R_D$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \Longrightarrow \frac{-g_m V_i (R_D)}{V_i} = -g_m R_D$$

مدل سیگنال کوچک بدون خازن $C_s$ و در نظر کردن از مقاومت $r_d$




$$Z_i = R_G$$

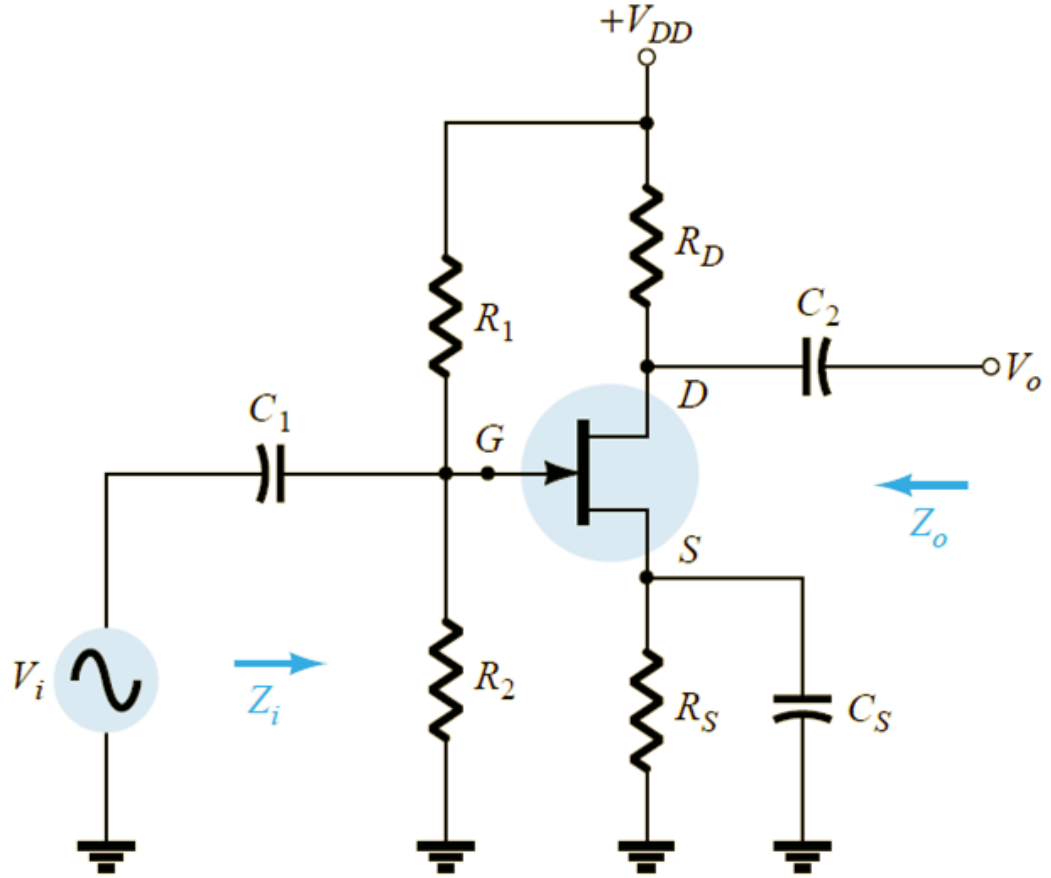
**یادآوری** $\frac{V_{gs}}{V_{gs}} = 1$

$$Z_o = \frac{\left(1 + (g_m R_S) + \frac{R_S}{r_d}\right)}{\left(1 + (g_m R_S) + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d}\right)} \times R_D$$

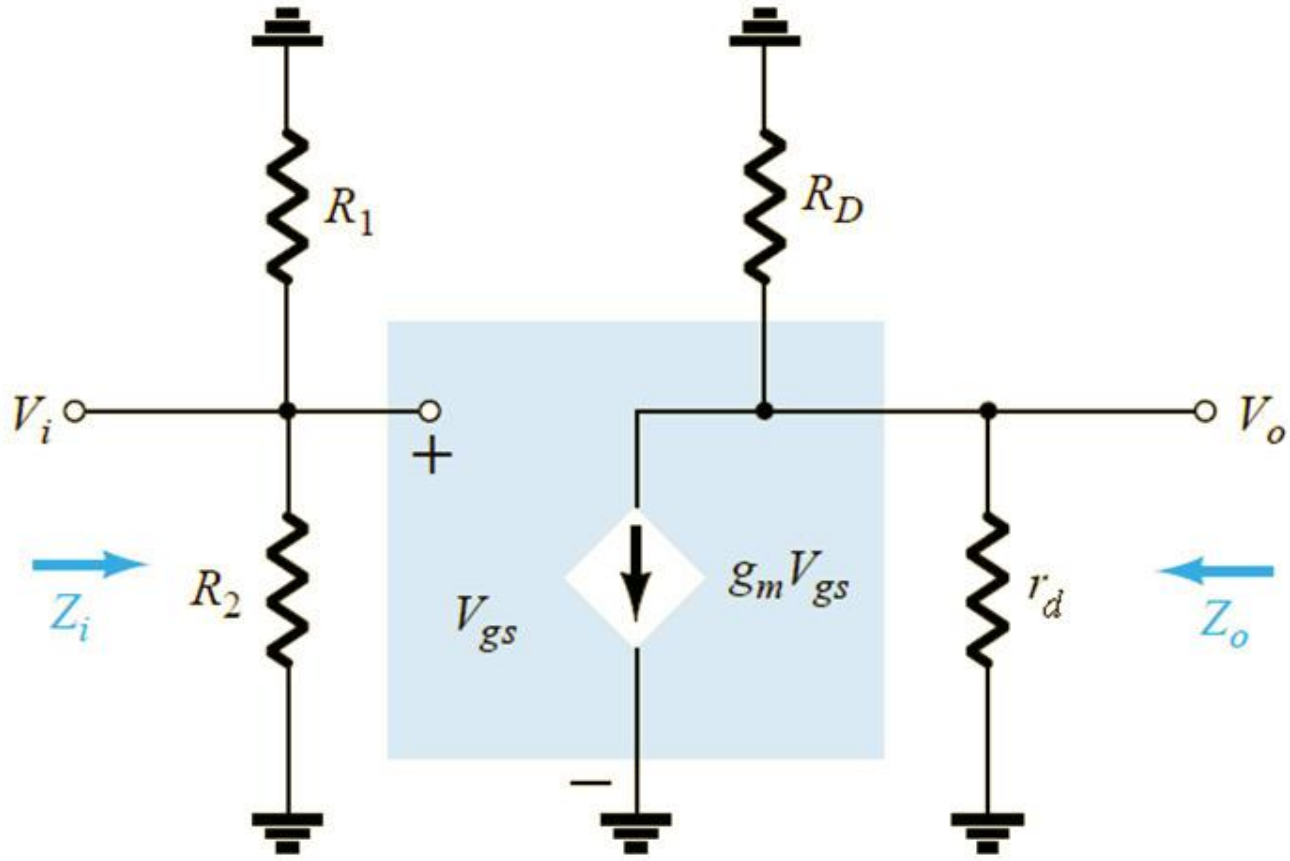
$$Z_o \approx R_D$$

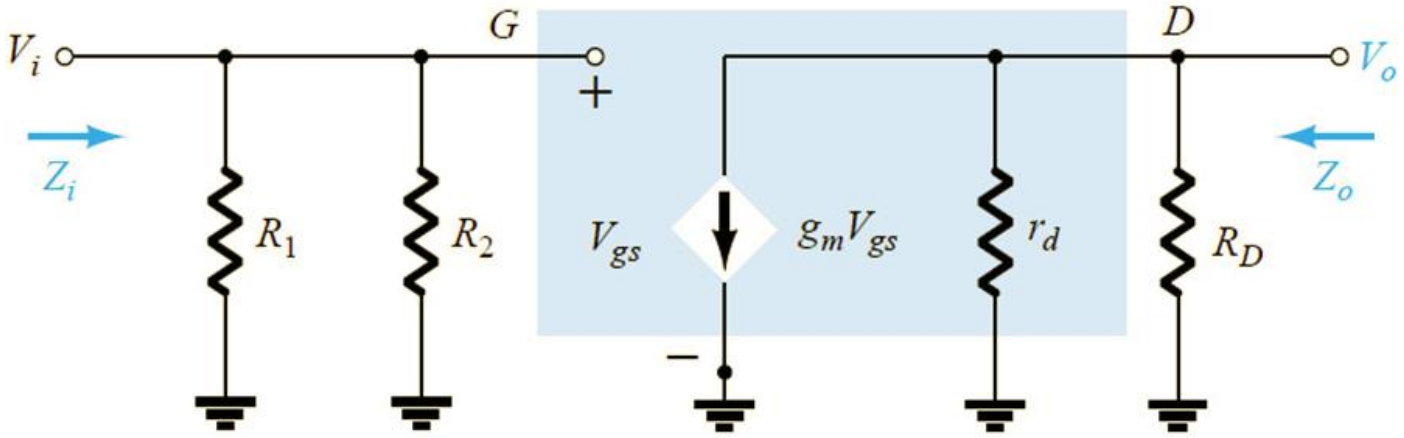
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \Longrightarrow \frac{-g_m(R_D)}{\left(1 + (g_m R_S) + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d}\right)} \approx \frac{-g_m R_D}{1 + (g_m R_S)}$$

## ۳) تقویت کننده سورس مشترک (CS) با بایاسینگ مقسم ولتاژ




## مدل سیگنال کوچک






$$Z_i = R_1 \parallel R_2$$

$$Z_o = R_D \parallel r_d$$

حال اگر خیلی بزرگتر از $R_D$ باشد $(r_d \geq 10R_D)$

$$Z_o = R_D$$

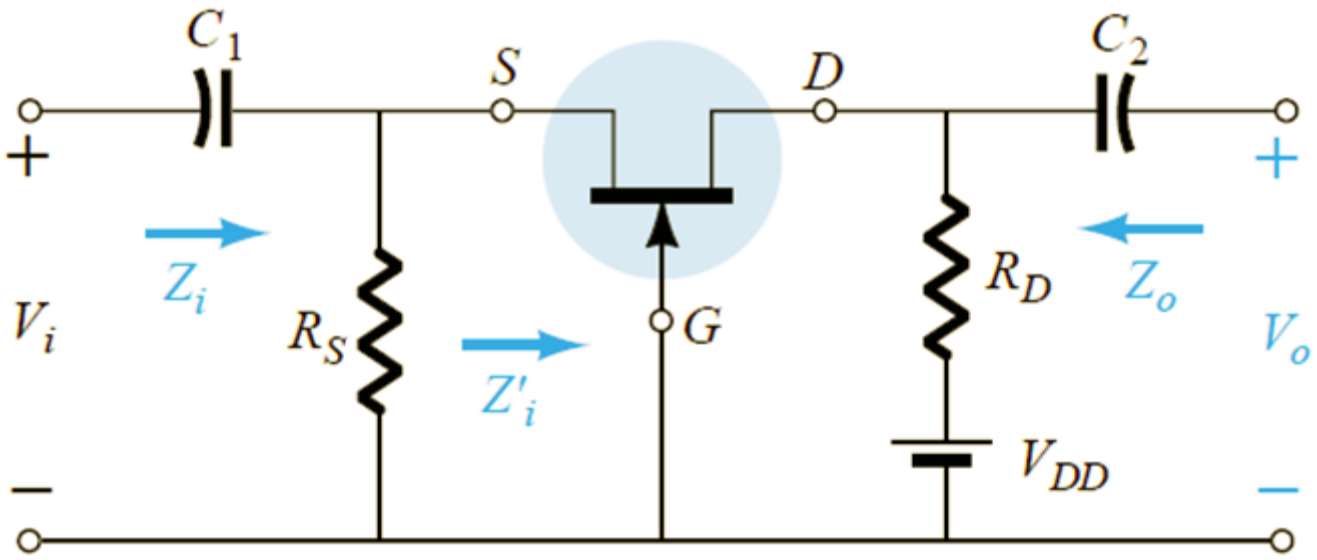
$$V_o \Longrightarrow kvl \Longrightarrow +V_o + I_D R_D = 0 \Longrightarrow +V_o + g_m V_{gs}(R_D \parallel r_d) = 0$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \Longrightarrow \qquad V_o = -g_m V_{gs}(R_D \parallel r_d) \quad , \quad V_{gs} = V_i$$

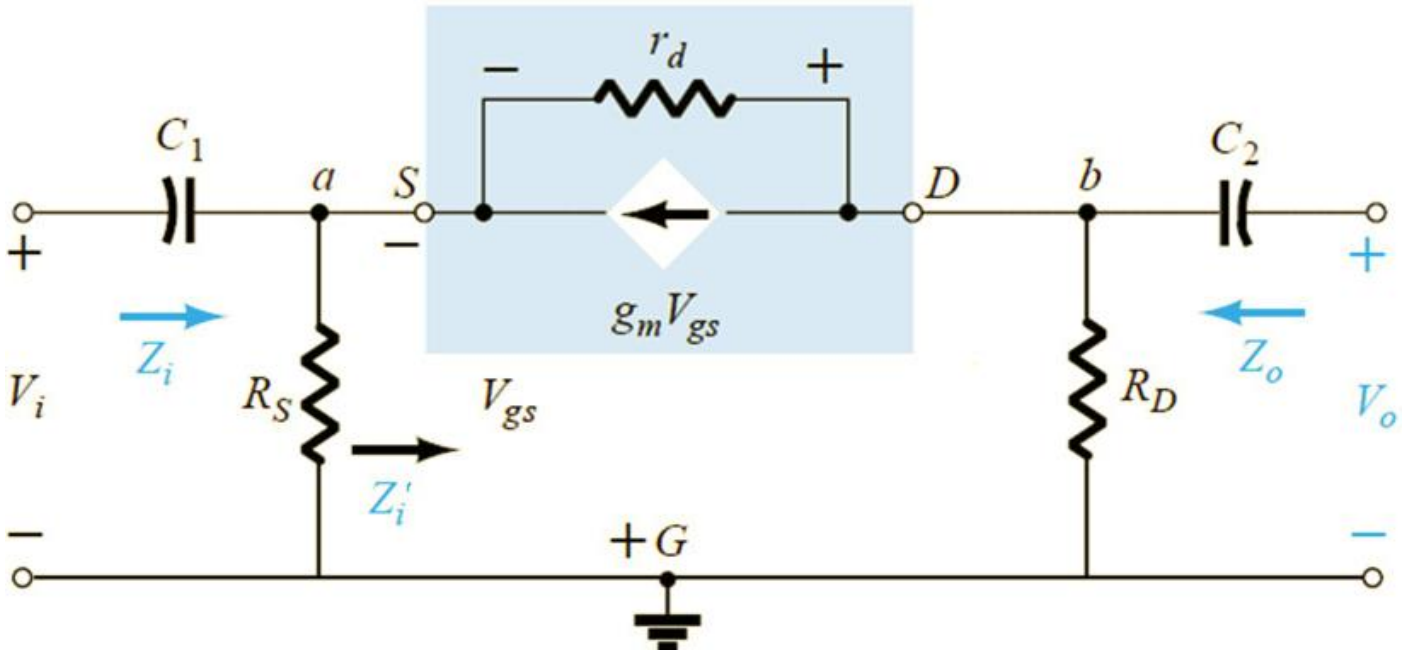
$$\Longrightarrow V_o = -g_m V_i(R_D \parallel r_d)$$

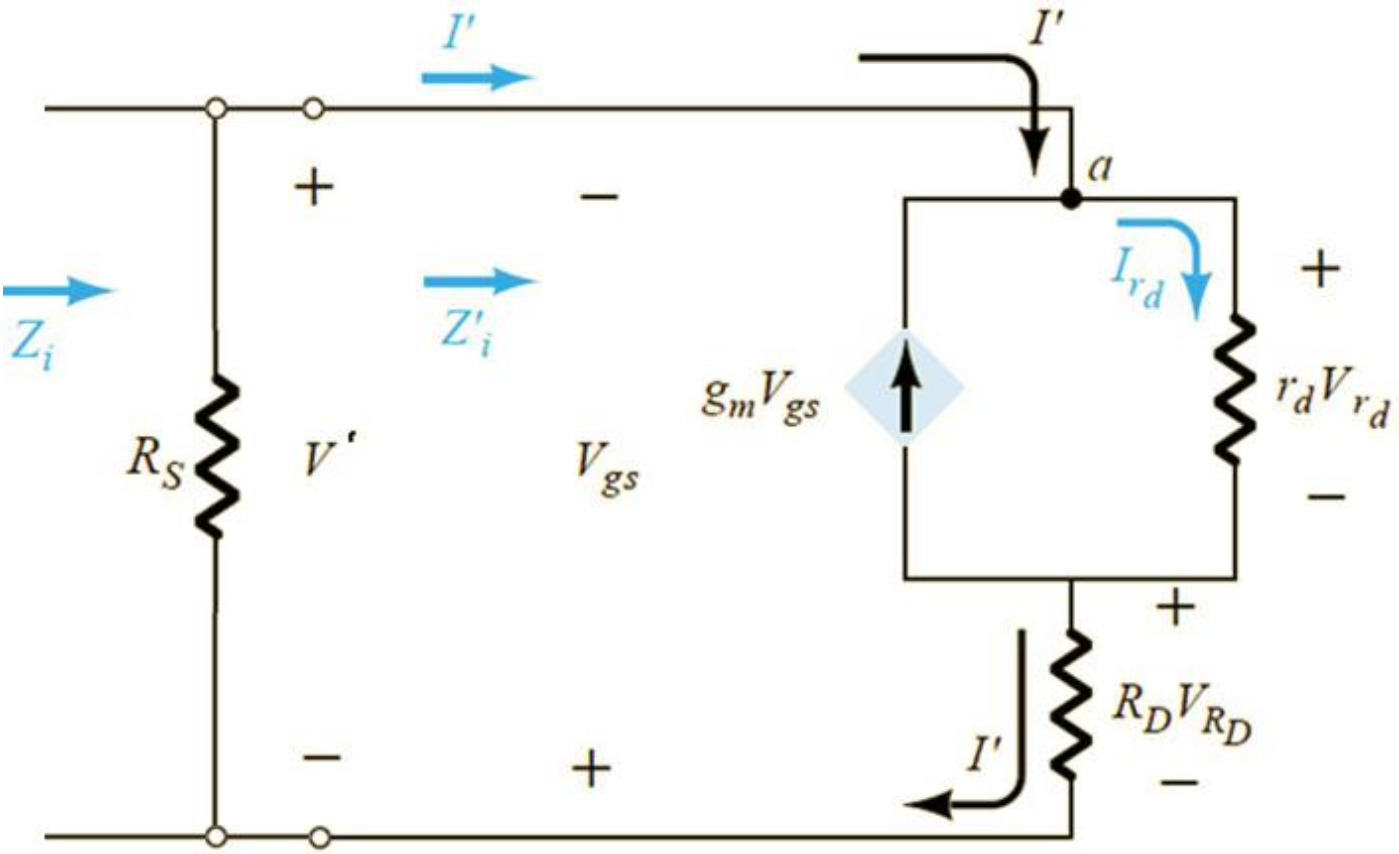
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \Longrightarrow \frac{-g_m V_i(R_D \parallel r_d)}{V_i} = -g_m(R_D \parallel r_d) = -g_m R_D$$

## ۴) تقویت کننده گیت مشترک (CG) با بایاسینگ سرخود




## مدل سیگنال کوچک






$$Z_i = R_S \parallel \frac{-V_{gs}}{I'}$$

با فرض خیلی بزرگ بودن مقاومت $r_d$ هیچ جریانی از آن عبور نمی‌کند

$$I' = -g_m V_{gs}$$

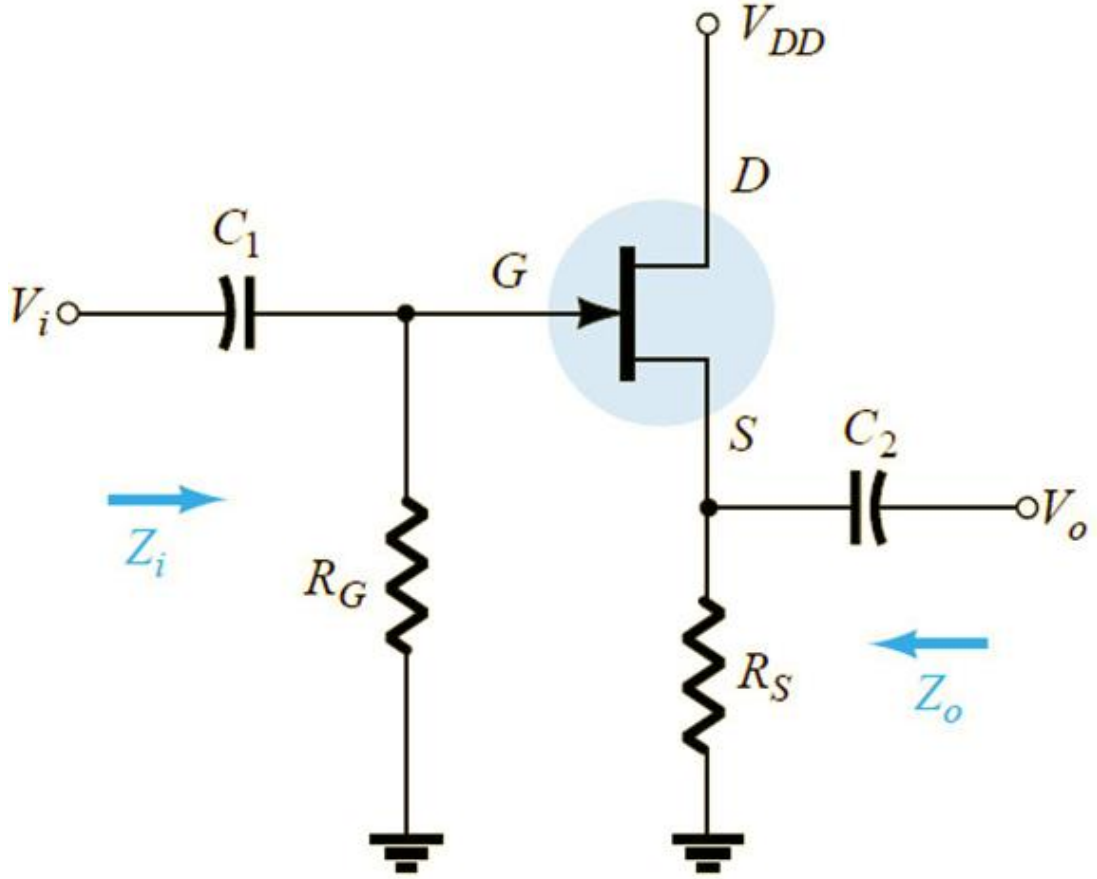
$$Z_i = R_S \parallel \frac{-V_{gs}}{-g_m V_{gs}} \Longrightarrow Z_i = R_S \parallel \frac{1}{g_m}$$

$$Z'_i \cong \frac{\left(1 + \frac{R_D}{r_d}\right)}{\left(g_m + \frac{1}{r_d}\right)}$$

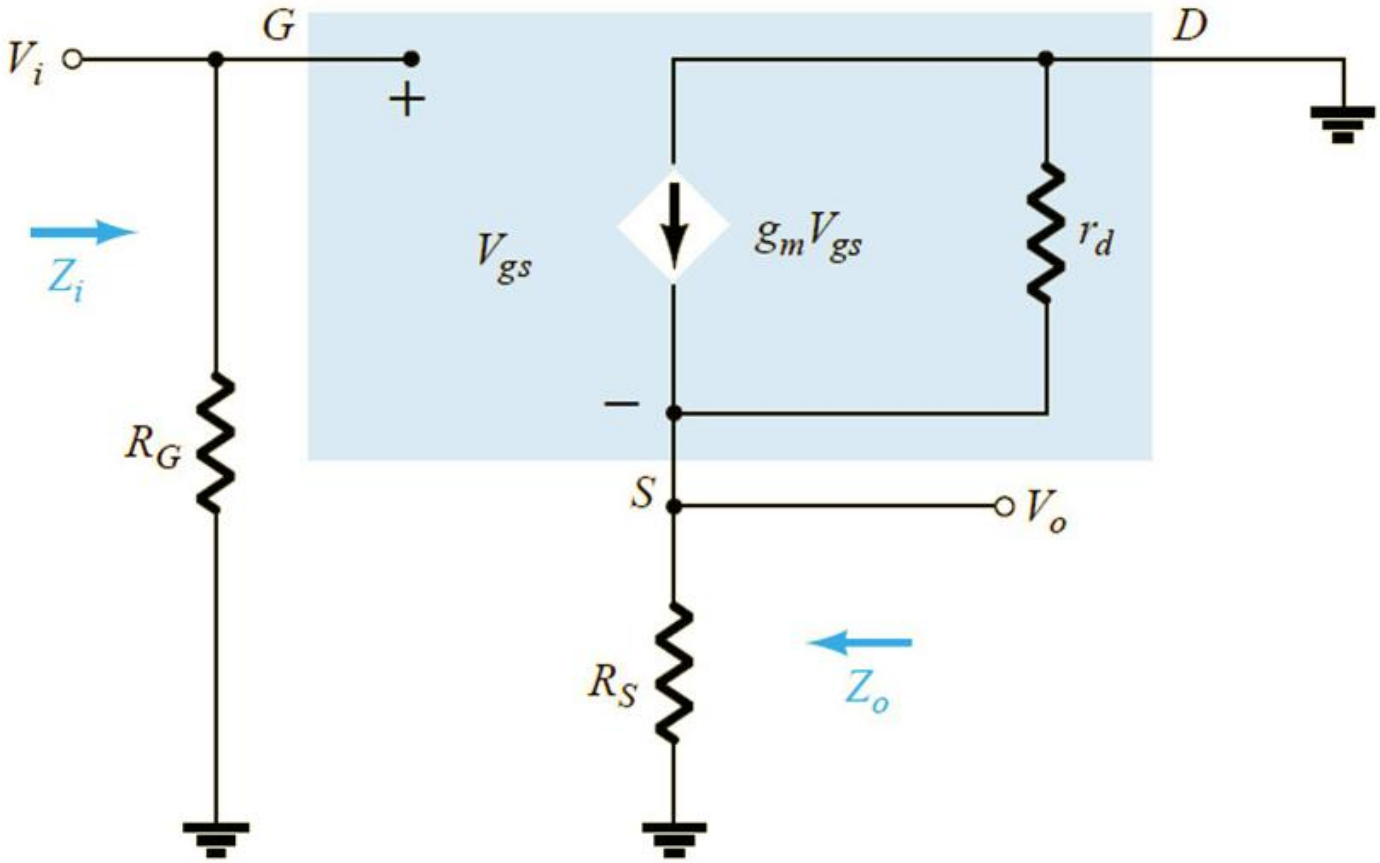
$$Z_o \cong R_D$$

$$A_V \cong g_m R_D$$

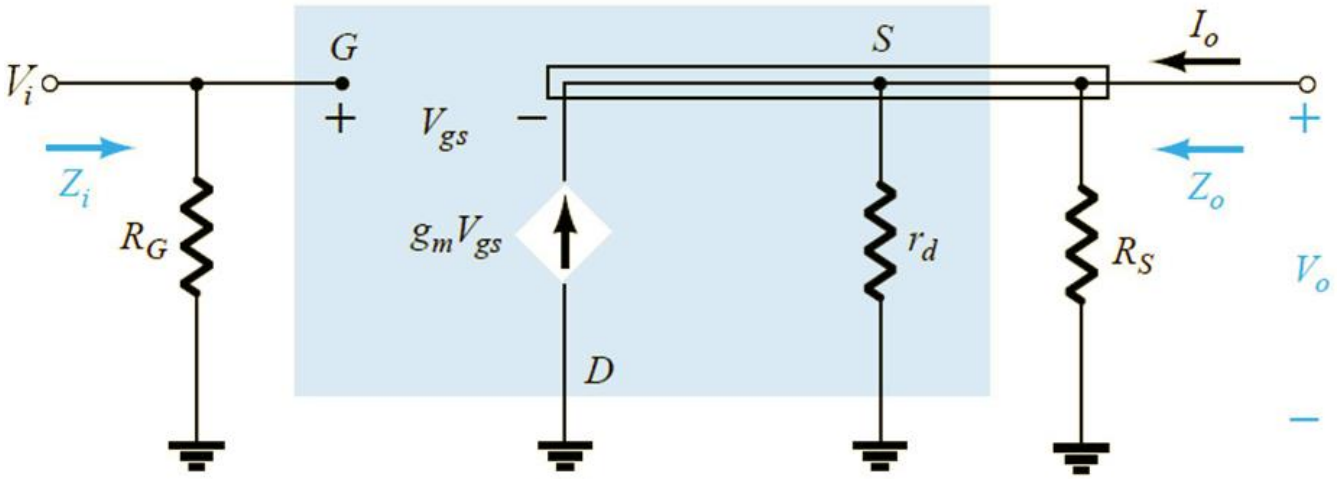
## ۵) تقویت کننده  درین مشترک (CD) با بایاسینگ سرخود



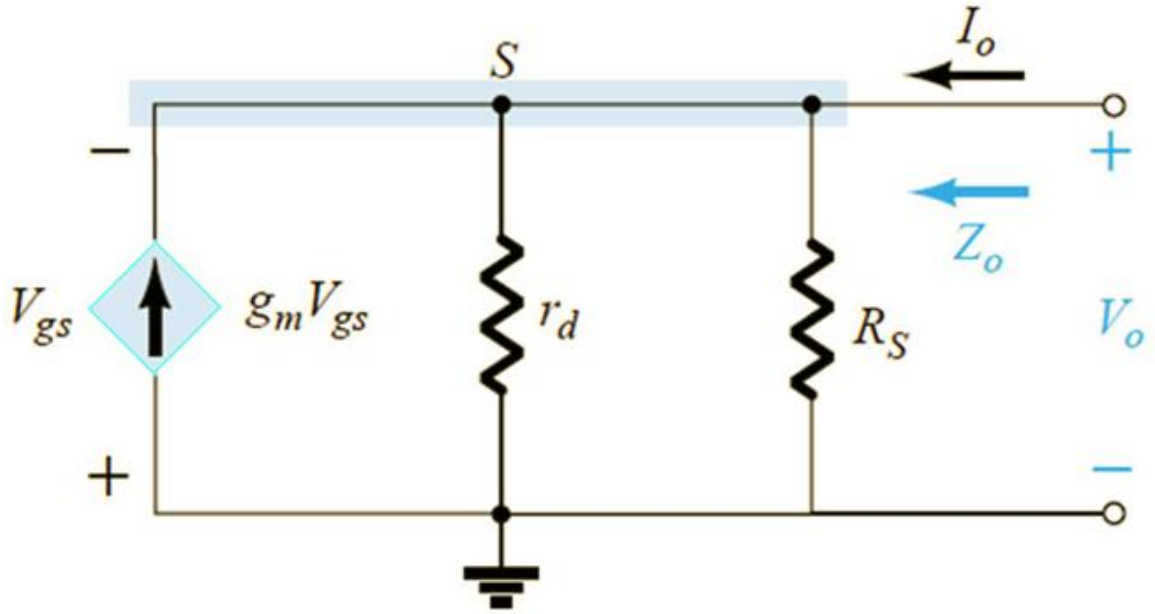

## مدل سیگنال کوچک



## تقویت کننده درین مشترک (CD) یا سورس فالوئر (Source-Follower)




$$Z_i = R_G$$




$$Z_o = R_S \parallel \frac{-V_{gs}}{I'}$$

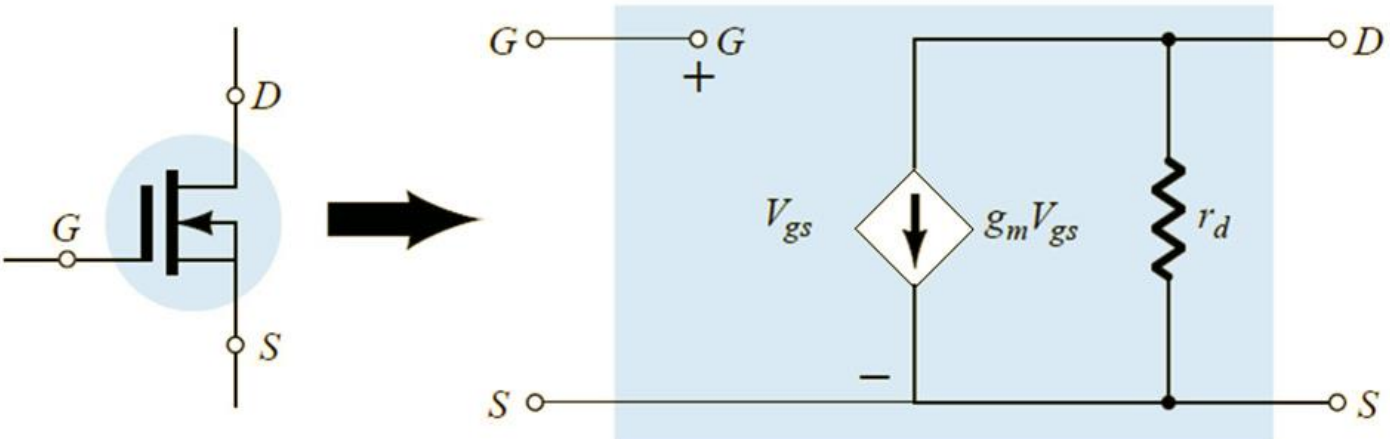
با فرض خیلی بزرگ بودن مقاومت $r_d$ هیچ جریانی از آن عبور نمی‌کند

$$I' = -g_m V_{gs}$$

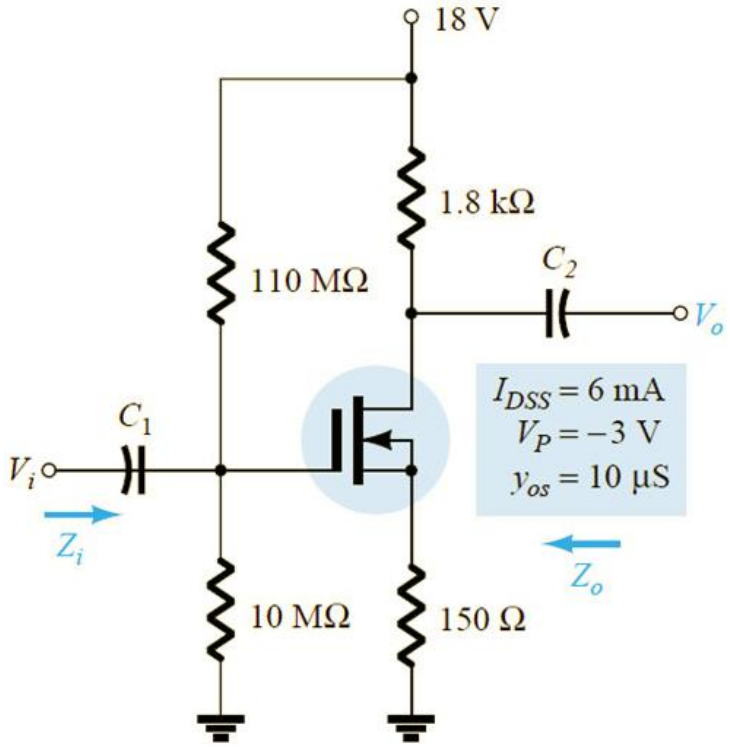
$$Z_i = R_S \parallel \frac{-V_{gs}}{-g_m V_{gs}} \Longrightarrow Z_i = R_S \parallel \frac{1}{g_m}$$

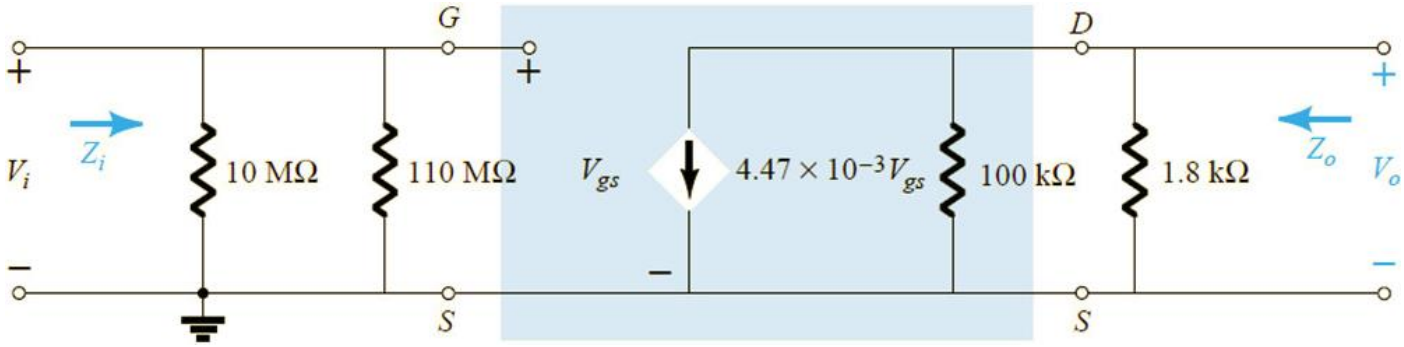
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \Longrightarrow \frac{g_m(R_S)}{\left(1 + (g_m R_S) + \frac{R_S}{r_d}\right)} \approx \frac{g_m R_S}{1 + (g_m R_S)}$$

## مدل سیگنال کوچک ترانزیستور D-MOSFET

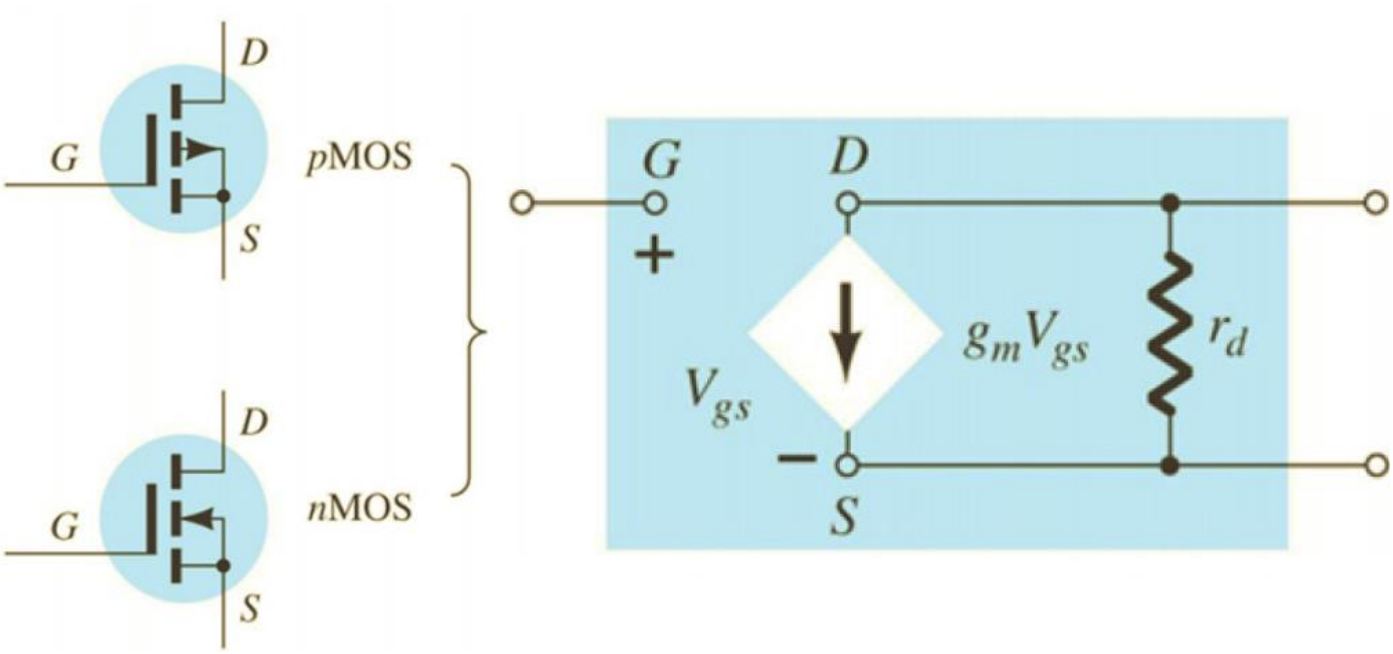



تمرین: در مدار زیر $I_{D_Q} = 7.6mA$ و $V_{GS_Q} = 0.36v$ نقطه کار ترانزیستور است، مقادیر تحلیل AC را محاسبه کنید.



## مدل سیگنال کوچک ترانزیستور E-MOSFET



**پایان جلسه سیزدهم**

روزگار خوشی را برای شما آرزومندم.

محمد اعرابیان