

الکٹرونیک ۱

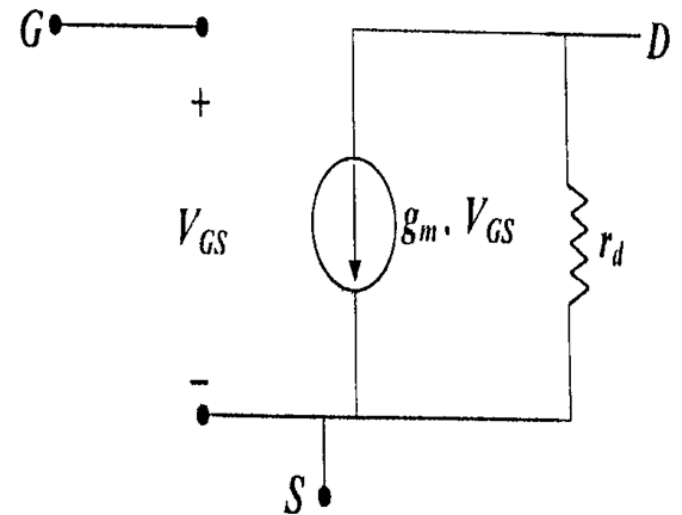
جلسہ ششم

مدرس : سجاد قراگوزلو حصاری

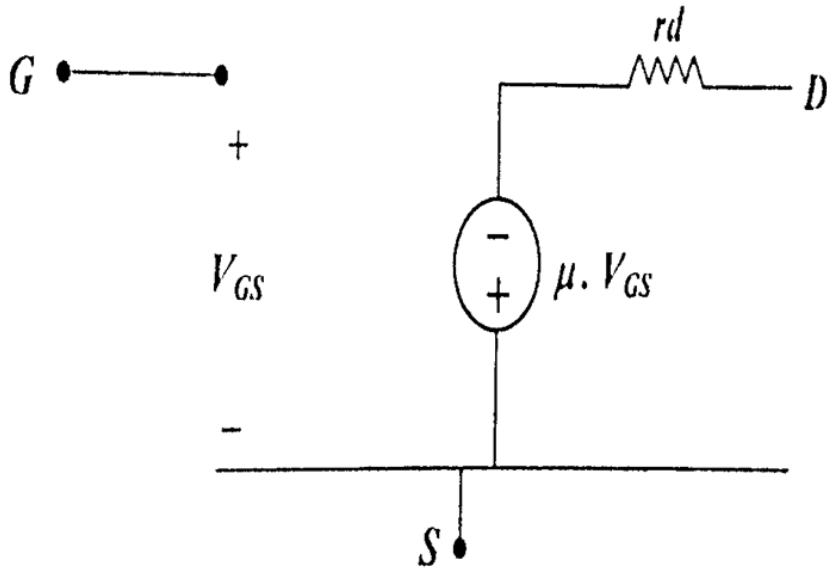
دانشکده فنی انقلاب اسلامی

مدار معادل ac . FET برای تحلیل در فرکانس‌های متوسط

الف) با استفاده از منبع جریان



ب) با استفاده از منبع ولتاژ

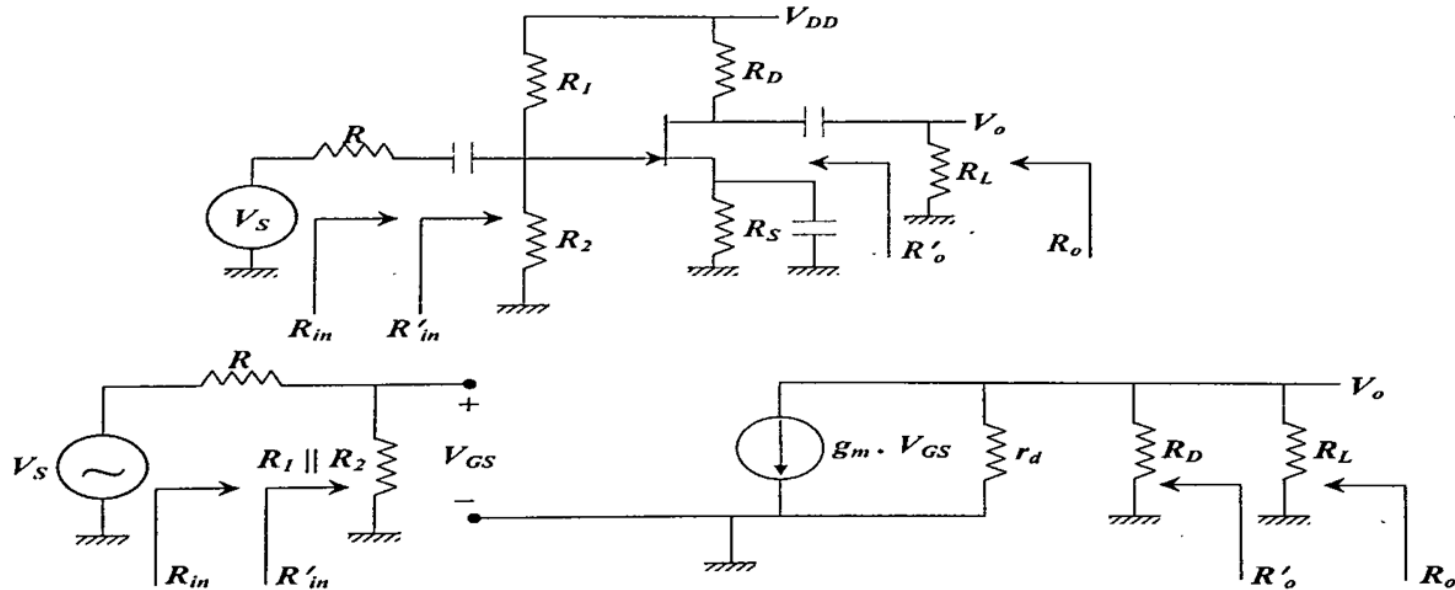


انواع تقویت کننده ها با FET

۱) سورس مشترک

الف) با وجود خازن بای پس در سورس
ب) بدون خازن بای پس در سورس

الف) سورس مشترک با وجود خازن بای پس در سورس



تحلیل :

$$R'_O = R_D \parallel r_d \approx R_D$$

$$R_O = R_D \parallel R_L \parallel r_d = R_D \parallel R_L$$

$$R'_{in} = R_1 \parallel R_2$$

$$R_{in} = R + R_1 \parallel R_2$$

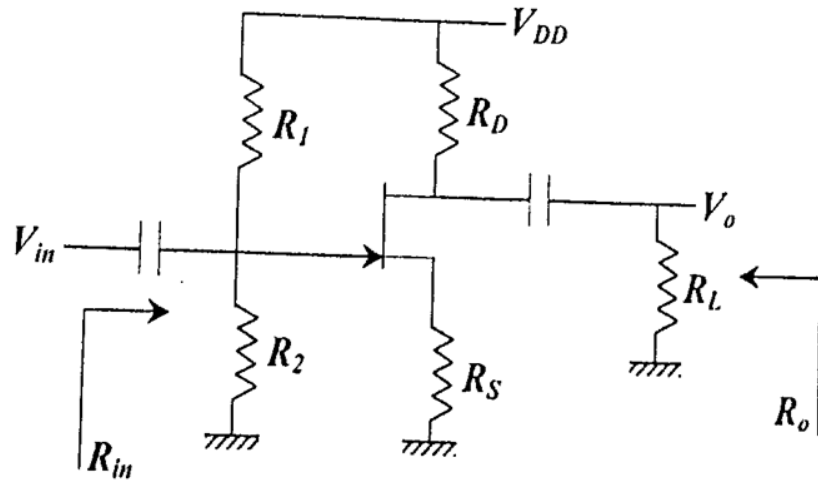
$$AV = \frac{V_O}{V_G} = \frac{-g_m (\text{مقاومت دیده شده از خروجی})}{1 + g_m (\text{مقاومت های سورس})}$$

$$\Rightarrow AV = \frac{-g_m (R_L \parallel R_D \parallel r_d)}{1 + g_m (0)} \Rightarrow AV = -g_m (R_L \parallel R_D)$$

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{V_O}{V_G} \times \frac{V_G}{V_S}, \quad \frac{V_G}{V_S} = \frac{R'_{in}}{R + R'_{in}} \Rightarrow \frac{V_O}{V_S} = \frac{R'_{in}}{R + R'_{in}} \times AV$$

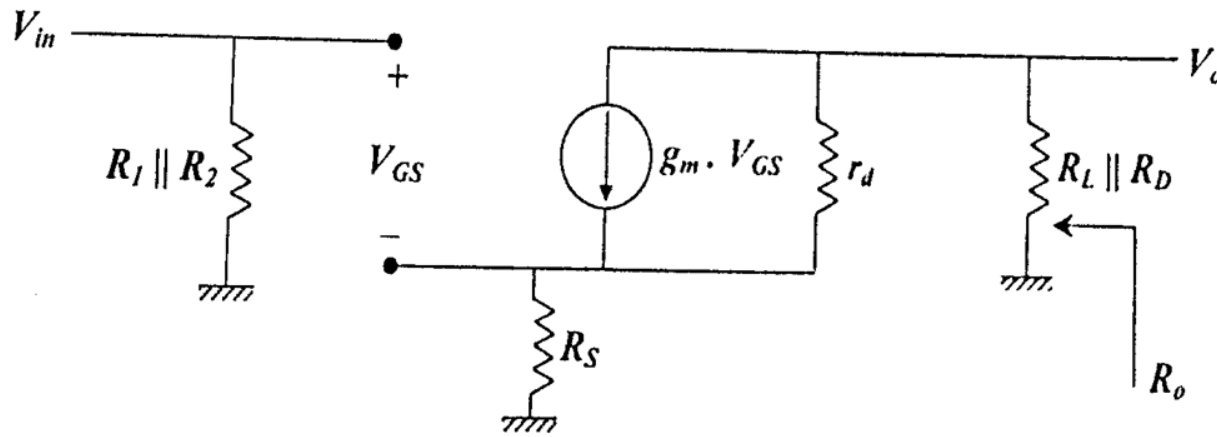
لازم به ذکر است در تقویت کننده سورس مشترک ، ورودی به گیت و خروجی از درین گرفته می شود و بین ورودی و خروجی به اندازه ۱۸۰ درجه اختلاف فاز وجود دارد. همچنین به علت صفر بودن جریان I_G در FET گین جریانی یا AI تعریف نمی شود.

ب) تقویت کننده سورس مشترک بدون خازن بای پس :



تحلیل :

مدار معادل ac به صورت زیر است :

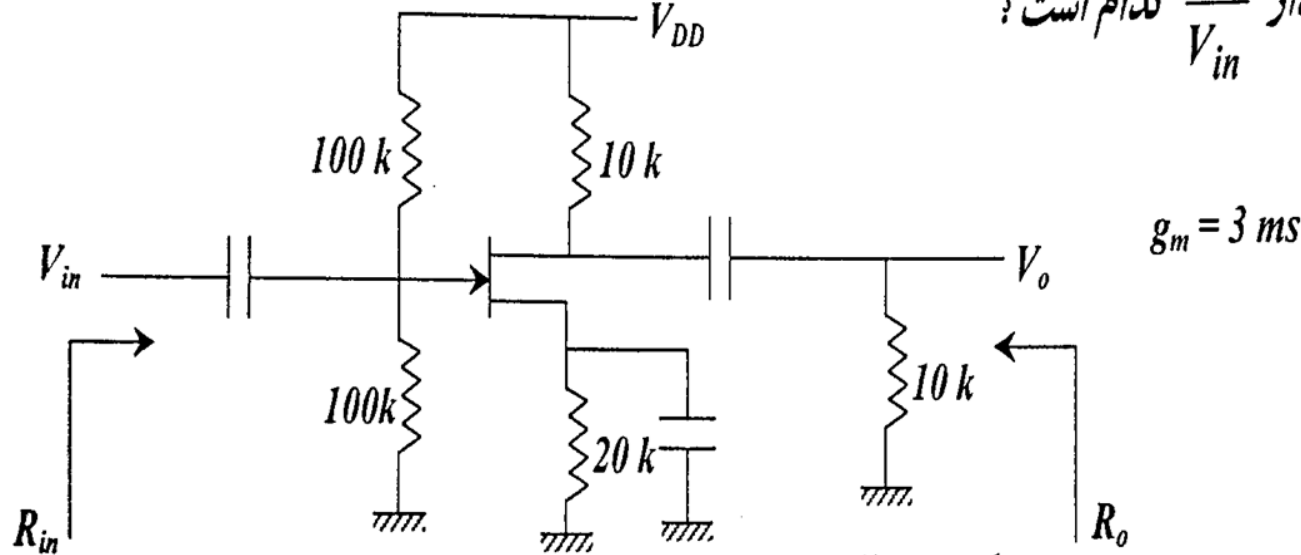


$$R_o = R_L \parallel R_D \parallel [r_d + (1 + \mu)(R_S)] \approx R_L \parallel R_D$$

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2, \quad AV = \frac{V_o}{V_G} = \frac{-g_m (\text{مقاومت های خروجی})}{1 + g_m (\text{مقاومت های سورس})} \Rightarrow AV = \frac{-g_m (R_L \parallel R_D)}{1 + g_m (R_S)}$$

لازم به ذکر است که وجود مقاومت در سورس باعث کاهش شدید گین ولتاژ می شود که این امر به علت وجود فیدبک جریان سری می باشد. همچنین در صورت عدم وجود r_d در صورت مسئله آن را ∞ فرض می کنیم.

مثال: در مدار روبرو مقدار $\frac{V_o}{V_{in}}$ کدام است؟



تقویت کننده از نوع سورس مشترک است لذا داریم:

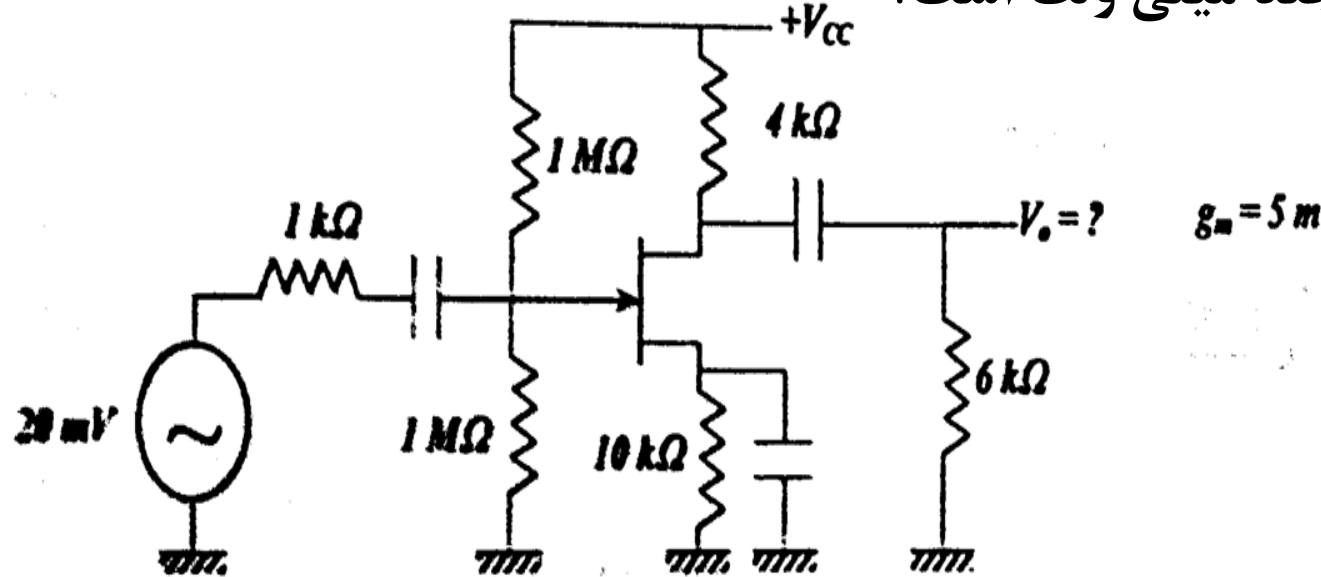
$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-g_m (\text{مقاومت دیده شده از خروجی})}{1 + g_m (\text{مقاومت موجود در سورس})} = \frac{-g_m (R_L \parallel R_D \parallel r_d)}{1 + g_m \times 0}$$

$$r_d = \infty \Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = -g_m (R_L \parallel R_D) = -3 \times (10k \parallel 10k) = -15$$

مقادیر R_{in} و R_o به ترتیب کدامند؟

$$R_{in} = 100k \parallel 100k = 50k, \quad R_o = R_L \parallel R_D \parallel r_d, \quad r_d = \infty \Rightarrow R_o = 10k \parallel 10k = 5k$$

مثال : V_o در شکل مقابل چند میلی ولت است؟



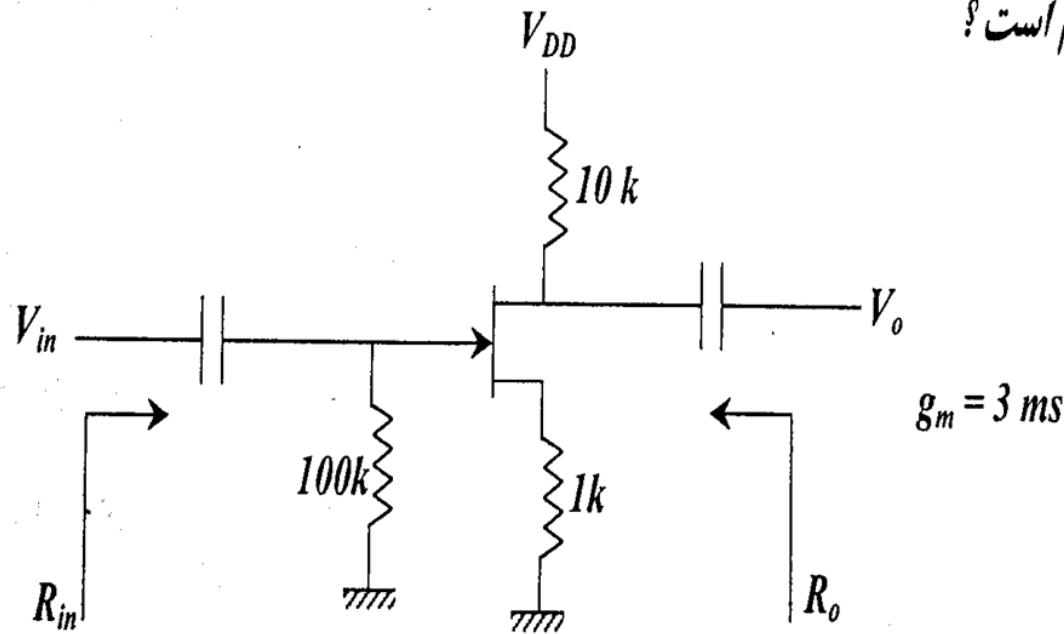
$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{V_o}{V_G} \times \frac{V_G}{V_{in}} = \frac{-g_m \text{ (مقاومت دیده شده از خروجی)}}{1 + g_m \text{ (مقاومت های سورس)}} \times \frac{Z'_{in}}{Z'_{in} + R_S}$$

$$R_S = 1 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{in} = 1 \text{ M} \parallel 1 \text{ M} = 500 \text{ k}\Omega \Rightarrow \left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{5 \times (4 \text{ k} \parallel 6 \text{ k})}{1 + 5 \times (0)} \times \frac{500 \text{ k}}{500 \text{ k} + 1 \text{ k}} \cong 12$$

$$V_o = 12 \cdot V_{in} = 12 \times 20 \text{ mV} = 240 \text{ mV}$$

مثال: در مدار زیر مقدار $\frac{V_o}{V_{in}}$ کدام است؟

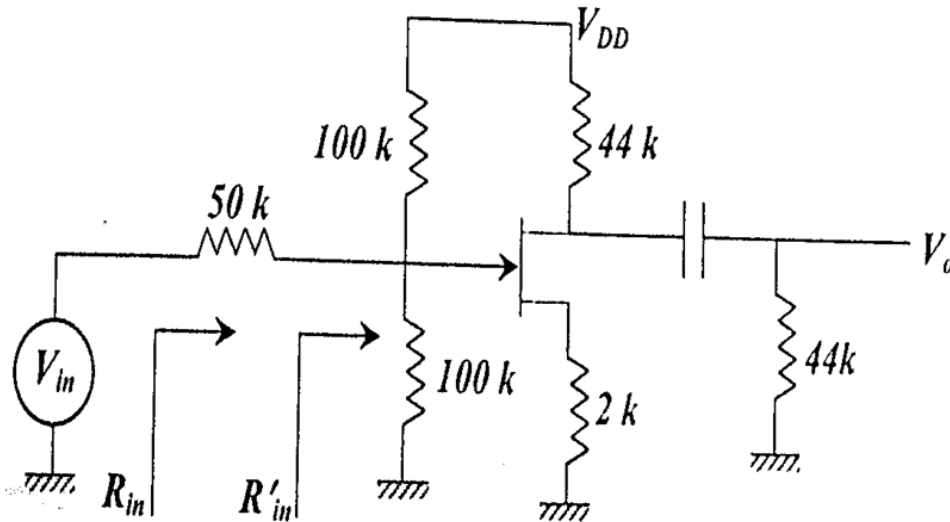


$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-g_m (R_D)}{1 + g_m \cdot R_s} = \frac{-3 \times 10}{1 + 3 \times 1k} = \frac{-30}{4} = -7.5$$

مقادیر R_{in} و R_o به ترتیب کدامند؟

$$R_{in} = 100k \quad , \quad R_o = R_D = 10k$$

مثال: در مدار زیر مقدار $\frac{V_o}{V_{in}}$ کدام است؟



$$g_m = 5 \text{ ms}$$

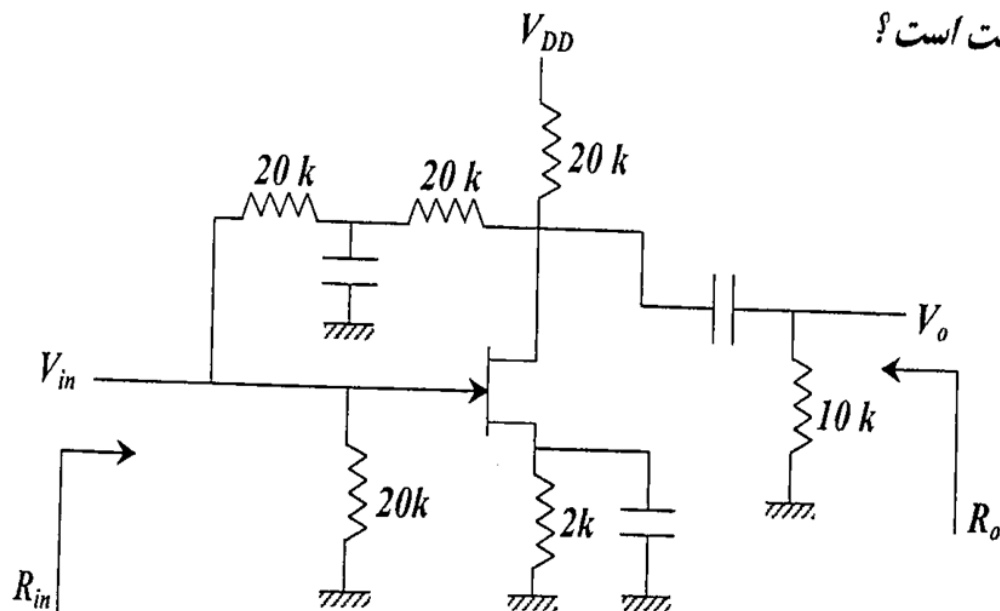
$$\frac{V_o}{V_G} = \frac{-g_m(R_L \parallel R_D)}{1 + g_m R_S} = \frac{-5 \times (44k \parallel 44k)}{1 + 5 \times 2} = -10$$

$$\frac{V_G}{V_{in}} = \frac{R'_{in}}{R_{ss} + R'_{in}} = \frac{100 \parallel 100}{50 + 100 \parallel 100} = \frac{1}{2}, \quad \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_o}{V_G} \times \frac{V_G}{V_{in}} = -10 \times \frac{1}{2} = -5$$

مقدار R_{in} کدام است؟

$$R_{in} = 100k \parallel [100k + \infty] = 100k$$

مثال: در مدار زیر مقدار $|V_o|$ چند میلی ولت است؟



$$V_{in} = 10 \text{ mV}$$

$$I_{DSS} = 16 \text{ mA}$$

$$I_D = 4 \text{ mA}$$

$$V_P = -2$$

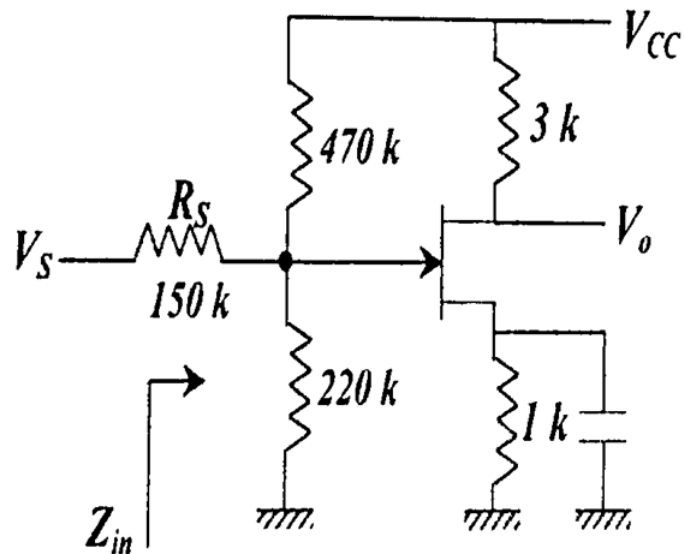
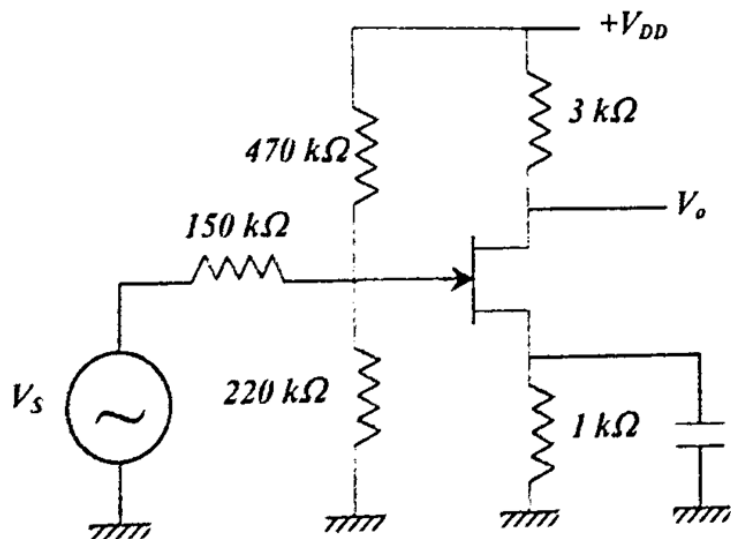
$$g_m = \frac{2}{|V_P|} \sqrt{I_D \cdot I_{DSS}} = \frac{2}{2} \sqrt{4 \times 16} = 8$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-g_m (20k \parallel 20k \parallel 10k)}{1 + g_m (20k)} = -g_m (5k) \Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = -8 \times 5 = -40, |V_o| = 40 \times V_{in} = 40 \times 10 = 400 \text{ mV}$$

مقادیر R_o و R_{in} به ترتیب کدامند؟

$$R_o = 10k \parallel 20k \parallel 20k = 5k, R_{in} = 20k \parallel 20k = 10k$$

مثال: در تقویت کننده مقابل رابطه V_o کدام است؟ $(V_s = 20 \sin 1000t \text{ (mV)}, g_m = 2 \text{ ms})$



مدار یک تقویت کننده سورس مشترک است لذا:

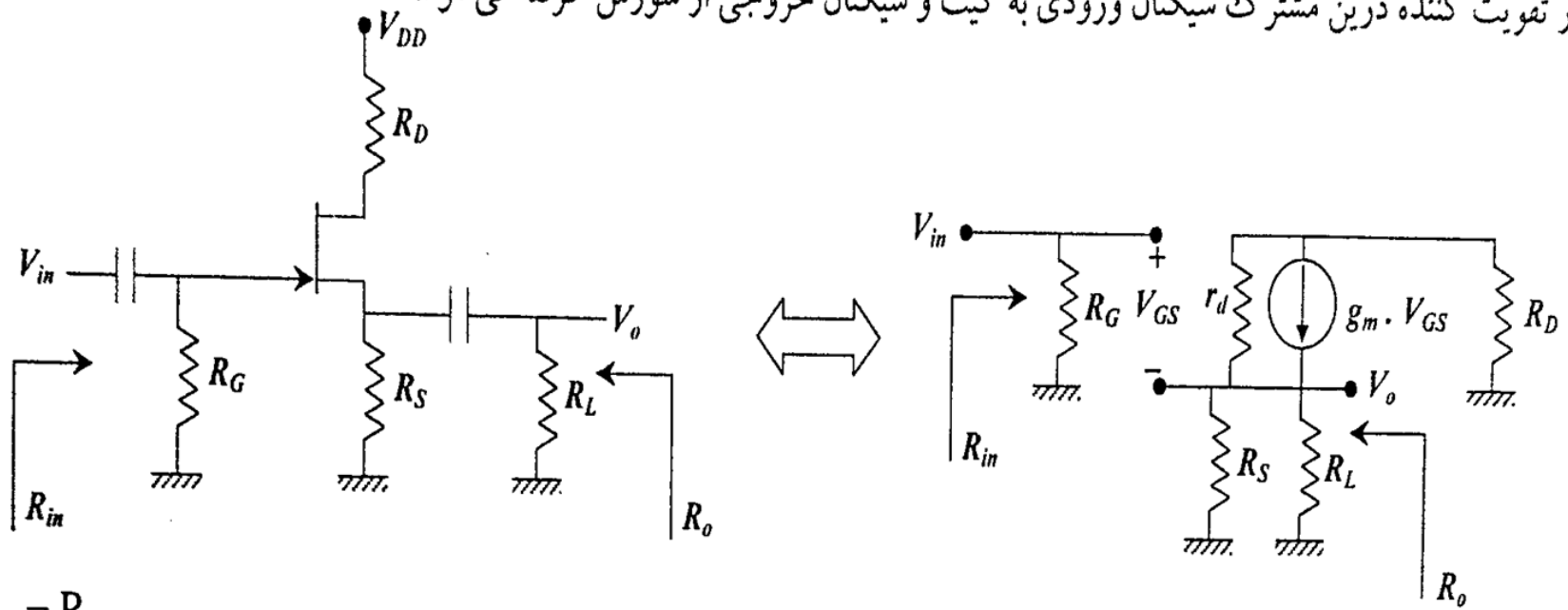
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_G} \times \frac{V_G}{V_s} \Rightarrow \frac{V_o}{V_s} = -g_m R_D \times \frac{Z_{in}}{R_s + Z_{in}}$$

$$Z_{in} = 470 \parallel 220 \approx 150 \text{ k} \Rightarrow \frac{V_o}{V_s} = -2 \times 3 \text{ k} \times \frac{150}{150 + 150} = -3$$

$$V_o = V_s \times (-3) = 20 \sin 1000t \text{ (mV)} \times (-3) = -60 \sin 1000t$$

(۲) تقویت درین مشترک :

در تقویت کننده درین مشترک سیگنال ورودی به گیت و سیگنال خروجی از سورس گرفته می شود.



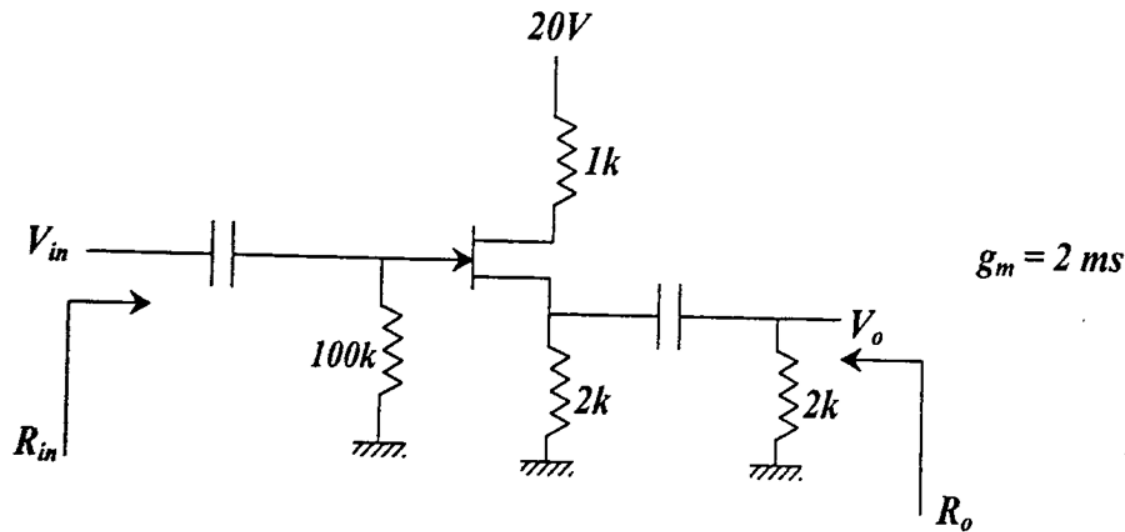
$$R_{in} = R_G$$

$$R_o = R_L \parallel R_S \parallel \left[\frac{r_d + R_D}{1 + \mu} \right], \left[\frac{r_d + R_D}{1 + \mu} \right] \approx \left[\frac{r_d}{\mu} \right] \approx \left[\frac{r_d}{g_m r_d} \right] = \frac{1}{g_m} \Rightarrow R_o = R_L \parallel R_S \parallel \frac{1}{g_m}$$

$$AV = \frac{V_o}{V_G} = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{g_m (\text{مقاومت های سورس})}{1 + g_m (\text{مقاومت های سورس})} = \frac{g_m (R_L \parallel R_S)}{1 + g_m (R_L \parallel R_S)} \Rightarrow AV < 1$$

لازم به ذکر است در تقویت کننده درین مشترک گین ولتاژ کمتر از یک است.

مثال: در مدار زیر $\frac{V_o}{V_{in}}$ کدام است؟



مدار از نوع تقویت کننده درین مشترک است لذا داریم:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{g_m (\text{مقاومت های سورس})}{1 + g_m (\text{مقاومت های سورس})} = \frac{g_m (2k \parallel 2k)}{1 + g_m (2k \parallel 2k)} = \frac{2 \times 1k}{1 + 2 \times 1k} = \frac{2}{3} = 0.66$$

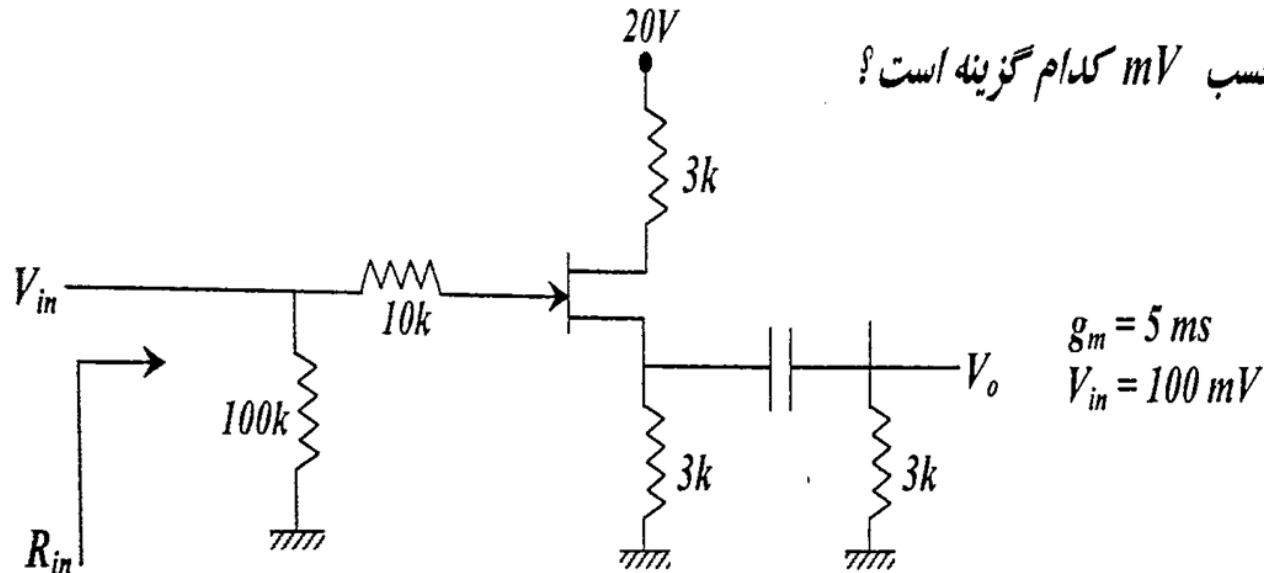
مقادیر R_{in} و R_o کدامند. ($r_d \gg R_D$)

$$R_{in} = 100k, \quad R_o = R_L \parallel R_S \parallel \left[\frac{r_d + R_D}{1 + \mu} \right]$$

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

$$g_{m,ms} = 2ms \Rightarrow \frac{1}{g_m} = 500\Omega \Rightarrow R_o = 0.5 \parallel 2 \parallel 2 \Rightarrow R_o = 333/3\Omega$$

مثال: در مدار زیر V_o بر حسب mV کدام گزینه است؟



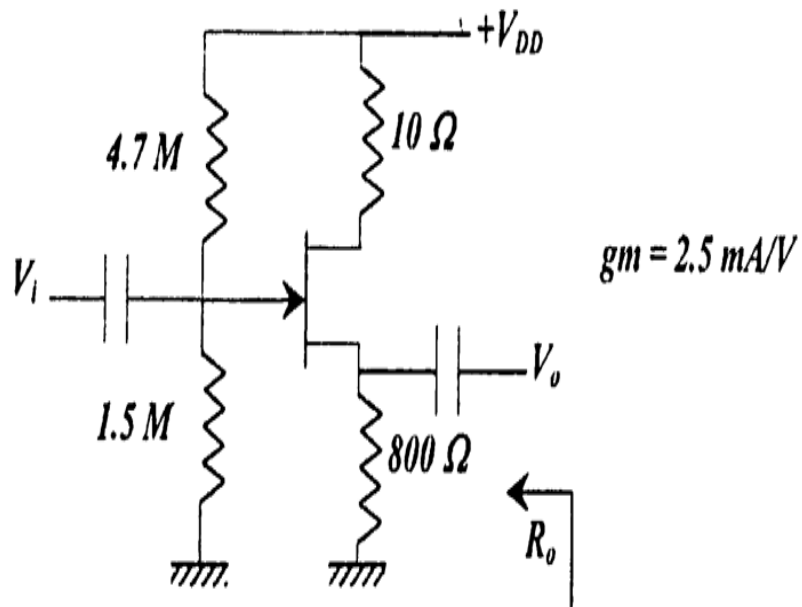
← مقاومت 10 k سری شده با Tr به علت صفر بودن جریان آن بدون تأثیر است.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{g_m (3k \parallel 3k)}{1 + g_m (3k \parallel 3k)} = \frac{5 \times (1/5k)}{1 + 5 \times (1/5k)} = 0.5, \quad V_o = 0.5 \times 100 \text{ mV} = 50 \text{ mV}$$

مقدار R_{in} کدام است؟

$$R_{in} = 100 \text{ k} \parallel [10 \text{ k} + \infty] = 100 \text{ k}$$

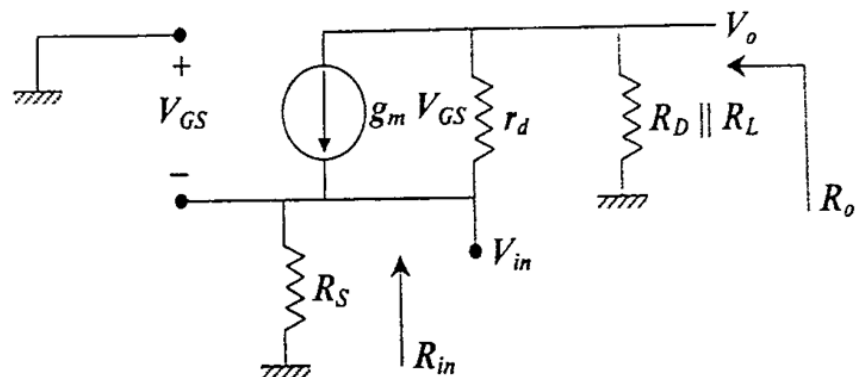
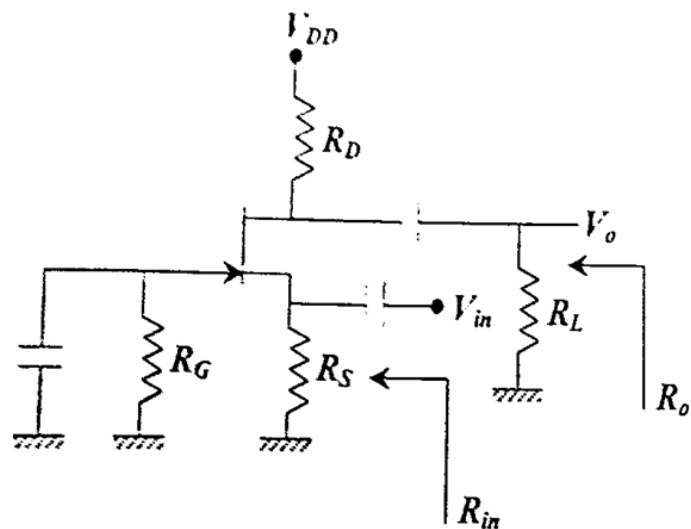
مثال: در شکل زیر R_o چند اهم است؟



$$R_o = R_S \parallel \left(\frac{R_D + r_d}{1 + \mu} \right)$$

$$\frac{R + r_d}{1 + \mu} \cong \frac{r_d}{1 + \mu} \cong \frac{r_d}{\mu} = \frac{r_d}{g_m \cdot r_d} = \frac{1}{g_m} \Rightarrow R_o \cong R_S \parallel \frac{1}{g_m} = 0.78 \parallel \frac{1}{2.5} = 0.266 \text{ k}\Omega$$

ج) تقویت کننده گیت مشترک :



$$R_{in} = R_S \parallel \frac{(r_d + R_D \parallel R_L)}{1 + \mu}, \quad R_D \parallel R_L \ll r_d$$

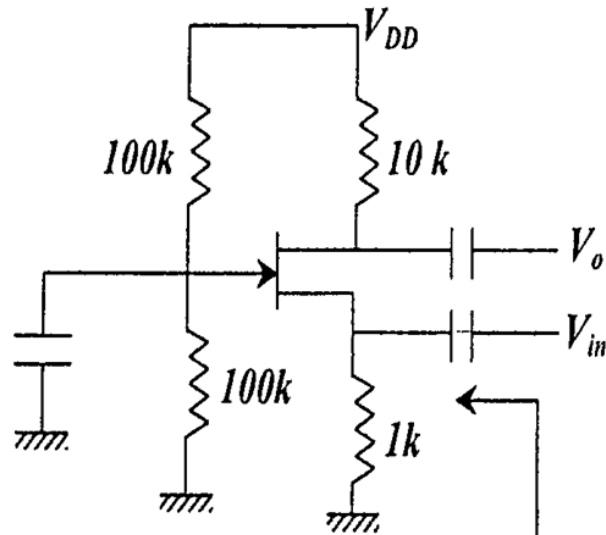
$$R_{in} = R_S \parallel \frac{r_d}{1 + \mu} \cong R_S \parallel \frac{r_d}{\mu} \cong R_S \parallel \frac{r_d}{g_m r_d} = R_S \parallel \frac{1}{g_m}, \quad R_o = R_D \parallel R_L \parallel r_d \approx R_D \parallel R_L$$

$$AV = \frac{V_o}{V_{in}} = +g_m (\text{مقاومت های خروجی}) \Rightarrow AV = g_m \cdot (R_D \parallel R_L)$$

نکته : مشخصات تقویت کننده های سورس مشترک و درین مشترک و گیت مشترک به ترتیب با مشخصات تقویت کننده های

امیتر مشترک و کلکتور مشترک و بیس مشترک مشابه است.

مثال: در مدار زیر کدام گزینه است؟ $\frac{V_o}{V_{in}}$



$$g_m = 3 \text{ ms}$$

تقویت کننده از نوع گیت مشترک است لذا داریم: R_{in}

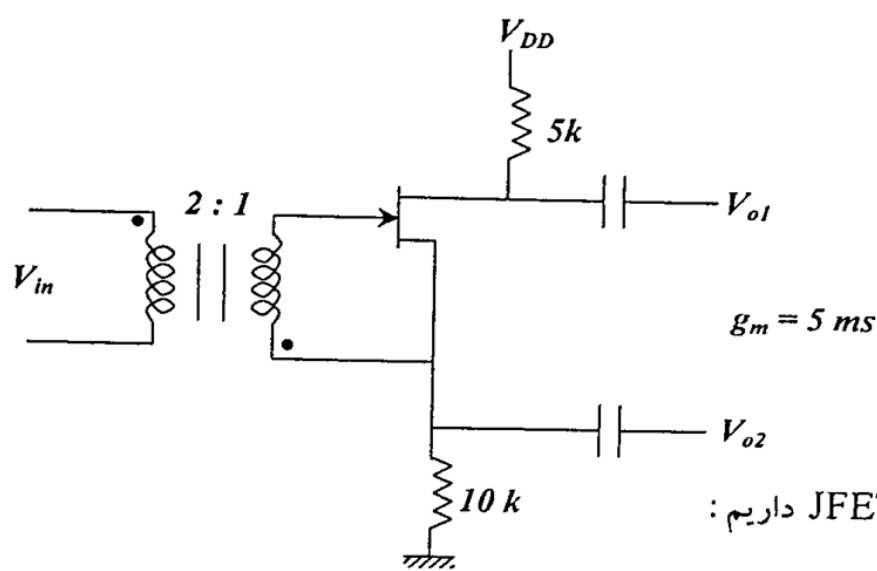
$$AV = \frac{V_o}{V_{in}} \approx g_m [R_D \parallel R_L] = g_m \cdot R_D \Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = 3 \times 10^3 = 30$$

با فرض وجود رابطه $r_d \gg 10 \cdot R_D$ مقدار R_{in} کدام گزینه است؟

$$R_{in} = R_s \parallel \left(\frac{r_d + R_D}{1 + \mu} \right)$$

$$\text{if } r_d \gg 10 \cdot R_D \Rightarrow \left(\frac{r_d + R_D}{1 + \mu} \right) \approx \frac{1}{g_m} \Rightarrow R_{in} = 1k \parallel \frac{1}{3 \times 10^{-3}} = 250 \Omega$$

مثال: در مدار زیر $\frac{V_{or}}{V_{in}}$ کدام است؟



با توجه به مدار معادل یک JFET داریم:

$$V_{o1} = -g_m V_{GS} \times 5k$$

$$V_{or} = g_m V_{GS} \times 10k$$

$$\frac{V_{or}}{V_{GS}} = \frac{g_m V_{GS} \times 10}{V_{GS}} = 5 \times 10 = 50$$

$$\frac{V_{GS}}{V_{in}} = -\frac{1}{2}$$

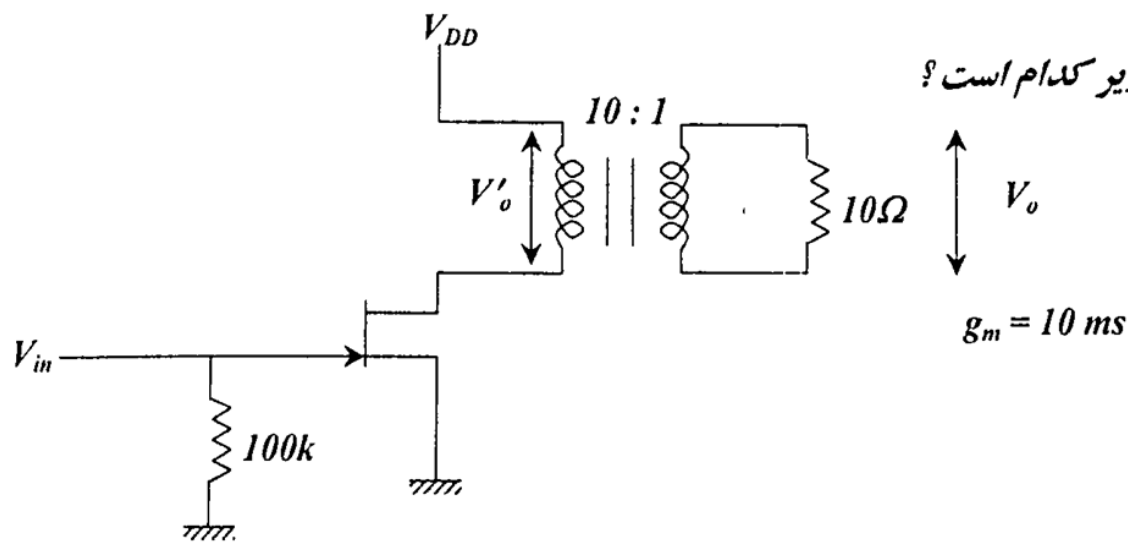
$$\frac{V_{or}}{V_{in}} = \frac{V_{or}}{V_{GS}} \times \frac{V_{GS}}{V_{in}} = 50 \times -\frac{1}{2} = -25$$

مقدار $\frac{V_{o1}}{V_{in}}$ کدام است؟

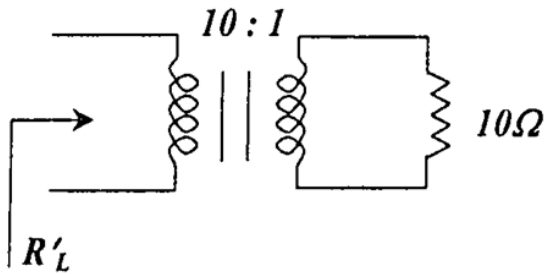
$$\frac{V_{o1}}{V_{GS}} = \frac{-g_m V_{GS} \times 5}{V_{GS}} = -5g_m = -5 \times 5 = -25$$

$$\frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{V_{o1}}{V_{GS}} \times \frac{V_{GS}}{V_{in}} = -25 \times -\frac{1}{2} = 12.5$$

مثال: شیب خط بار ac در مدار زیر کدام است؟



$$g_m = 10 \text{ ms}$$



$$R'_L = \left(\frac{1}{10}\right)^2 \times 10 = 1k$$

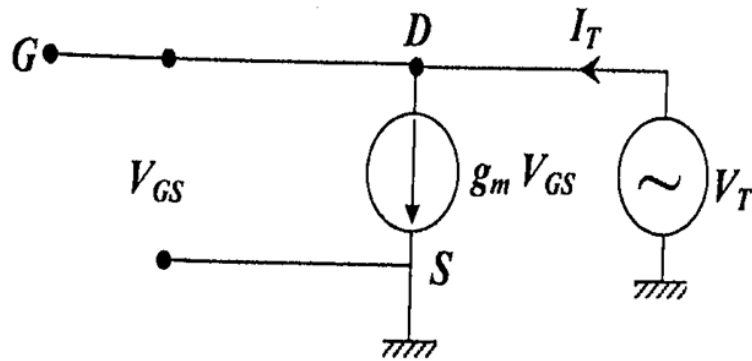
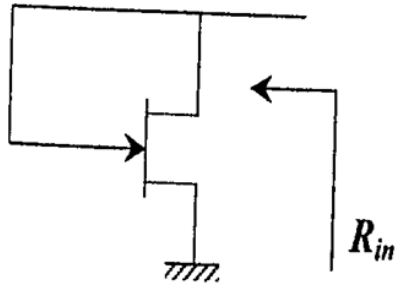
$$\text{شیب خط بار ac} = \frac{-1}{\text{مقاومت های ac خروجی}} = \frac{-1}{1k} = -1$$

اگر V_o ولتاژ دو سر مقاومت 10Ω باشد کدام است $\frac{V_o}{V_{in}}$ ؟

$$\frac{V'_o}{V_{in}} = \frac{-g_m \cdot R'_L}{1 + g_m(\infty)} = -g_m \cdot R'_L = -10 \times 1k = -10$$

$$\frac{V_o}{V'_o} = \frac{1}{10} \Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_o}{V'_o} \times \frac{V'_o}{V_{in}} = \frac{1}{10} \times -10 = -1$$

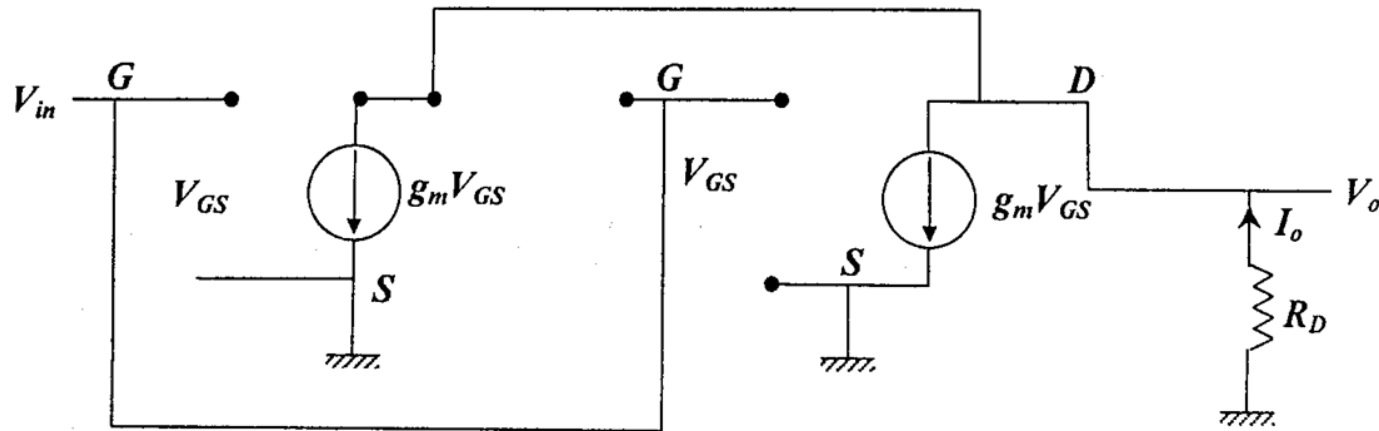
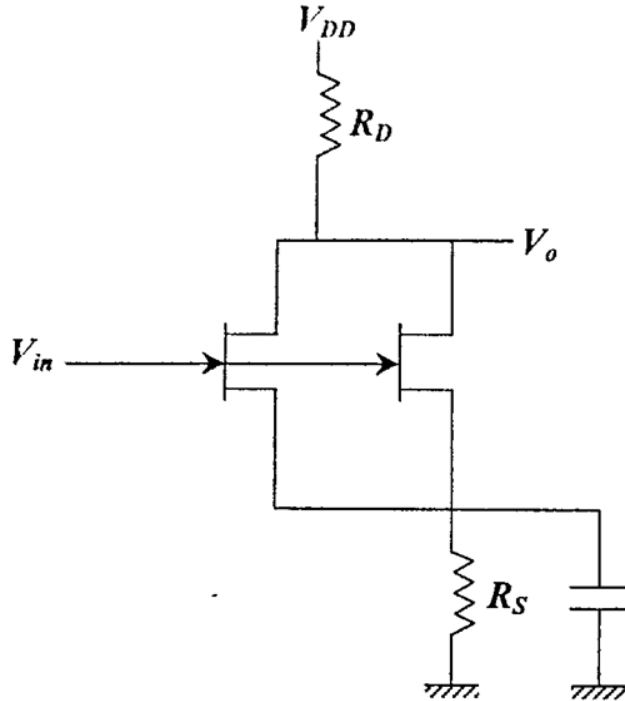
مثال: در مدار روبرو مقدار R_{in} کدام است؟



$$\frac{V_T}{I_T} = R_{in} \Rightarrow R_{in} = \frac{V_{GS}}{g_m \cdot V_{GS}} \Rightarrow R_{in} = \frac{1}{g_m}$$

$$R_o = \frac{1}{g_m}$$

مثال: در مدار زیر $\frac{V_o}{V_{in}}$ کدام است؟



$$V_{in} = V_{GS} \quad , \quad V_o = -I_o \cdot R_D \quad , \quad I_o = g_m V_{GS}$$

$$V_o = -g_m V_{GS} \cdot R_D \Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-g_m V_{GS} R_D}{V_{GS}} \Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = -g_m R_D$$