



# Amplificadores com Transistores de Efeito de campo

Prof. Alceu André Badin

# Introdução

---

- **FETs fornecem:**
  - Excelente ganho de tensão
  - Alta impedância de entrada
  - Baixo consumo de potência
  - Boa resposta de frequência

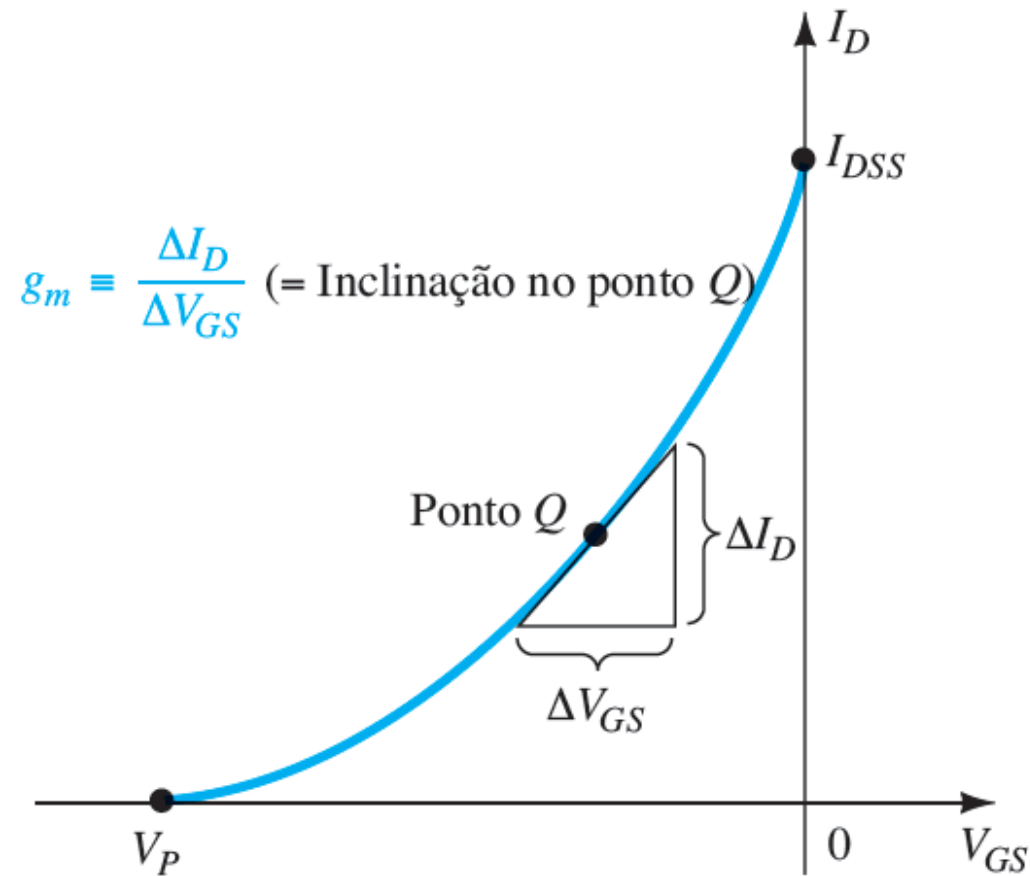
# Modelo de pequenos sinais do FET

---

- **Transcondutância:** a razão de uma mudança na  $I_D$  à correspondente mudança na  $V_{GS}$
- Transcondutância é denominada  $g_m$  e dada por:

$$g_m = \frac{dI_D}{dV_{GS}} = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

# Representação gráfica de $g_m$



# Determinação analítica de $g_m$

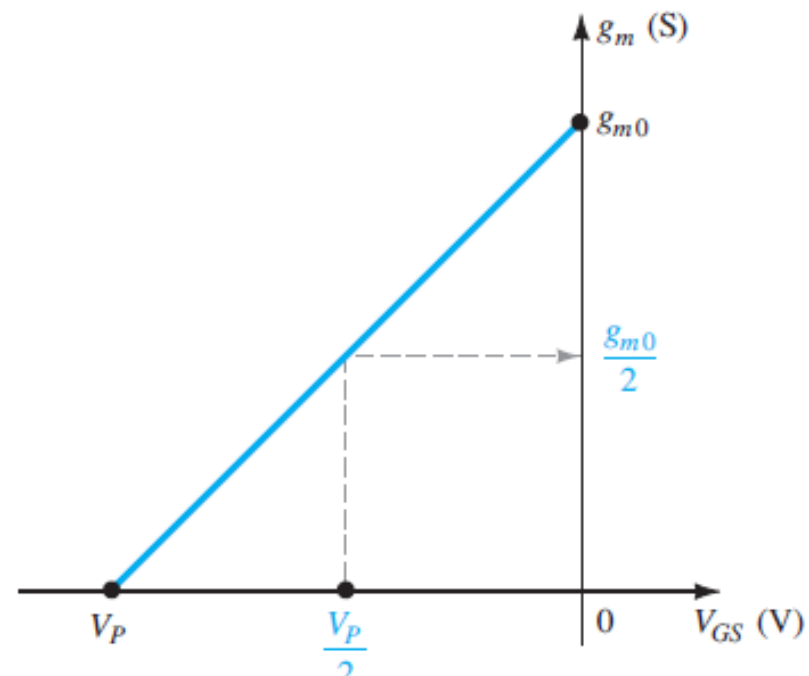
$$g_m = \frac{d}{dV_{GS}} \left( I_{DSS} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2 \right) \Rightarrow g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]$$

Para  $V_{GS} = 0 \text{ V}$

$$g_m = g_{m0} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right] = g_{m0} \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}$$

Sendo:

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}$$



# Impedância do FET

- Impedância de entrada:

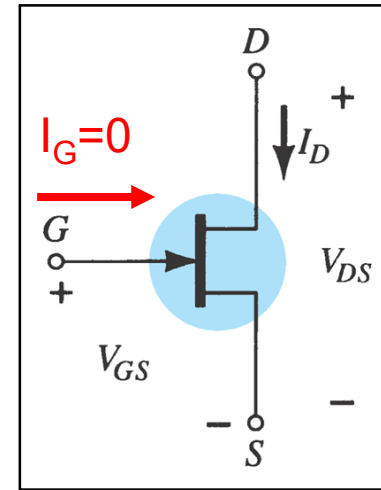
$$Z_i = \infty \Omega$$

- Impedância de saída:

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

onde

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

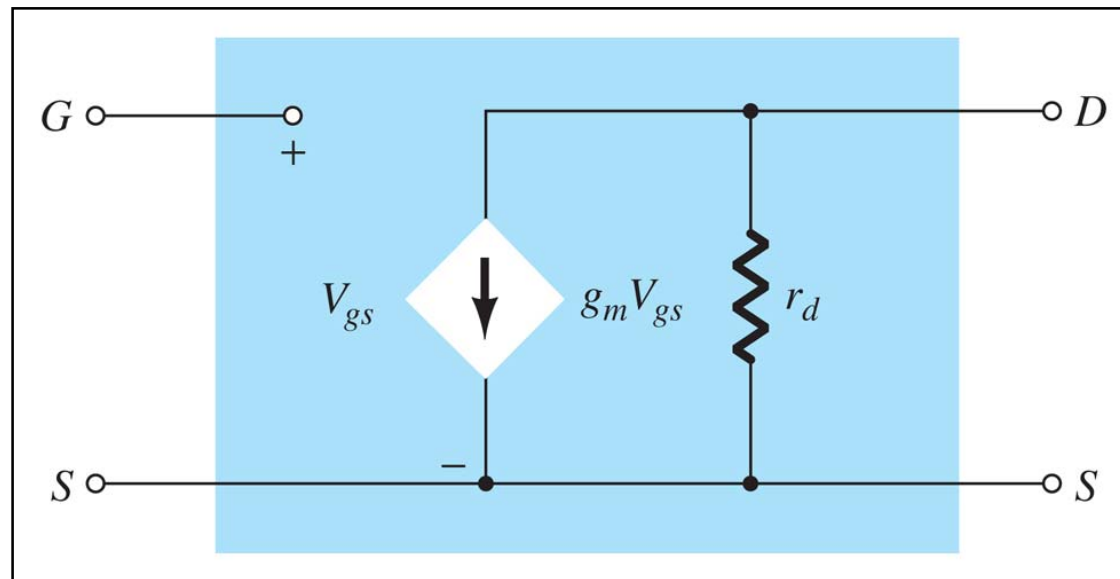


$y_{os}$  = parâmetro de admitância listado em folhas de dados do FET

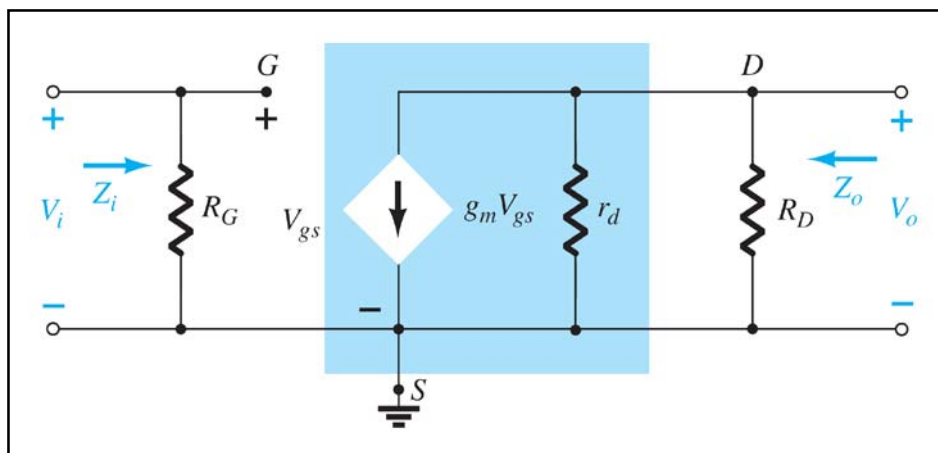
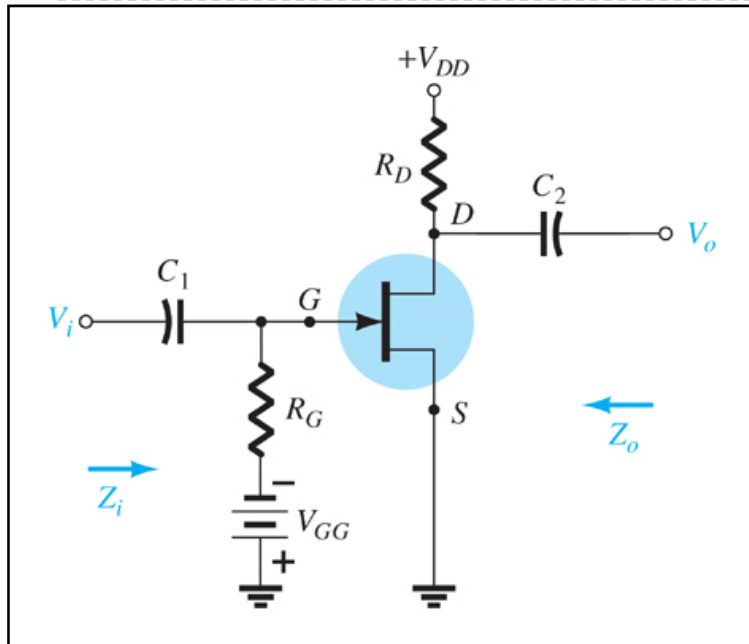
# Circuito equivalente CA do FET

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

$$r_d = \frac{1}{y_{os}} = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D}$$



# Polarização fixa com fonte-comum



## Definições:

Impedância de entrada:

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i}$$

Impedância de saída:

$$Z_o = \left. \frac{V_o}{I_o} \right|_{V_i = 0}$$

Ganho de tensão:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$



# Cálculos

- Impedância de entrada:

$$Z_i = R_G$$

- Impedância de saída:

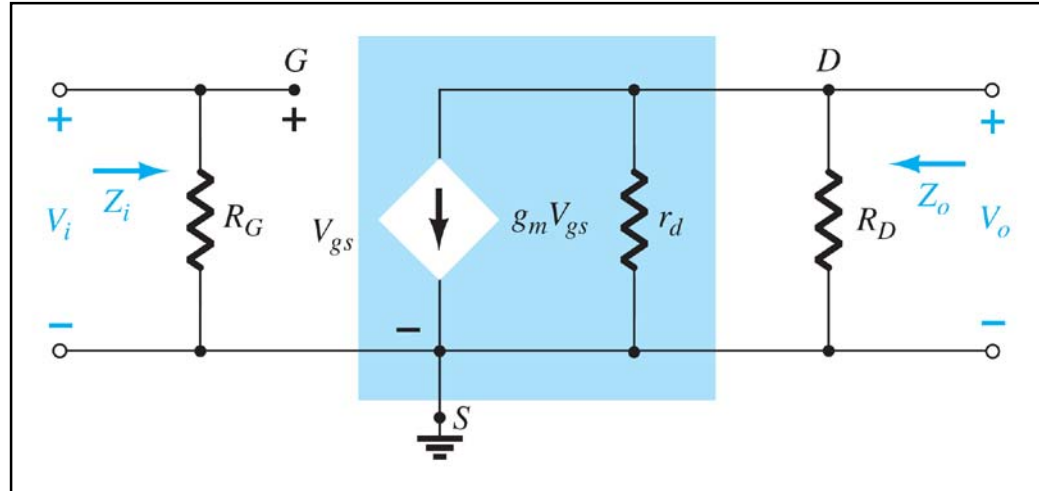
$$Z_o = R_D || r_d$$

$$Z_o \cong R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

- Ganho de tensão:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m (r_d || R_D)$$

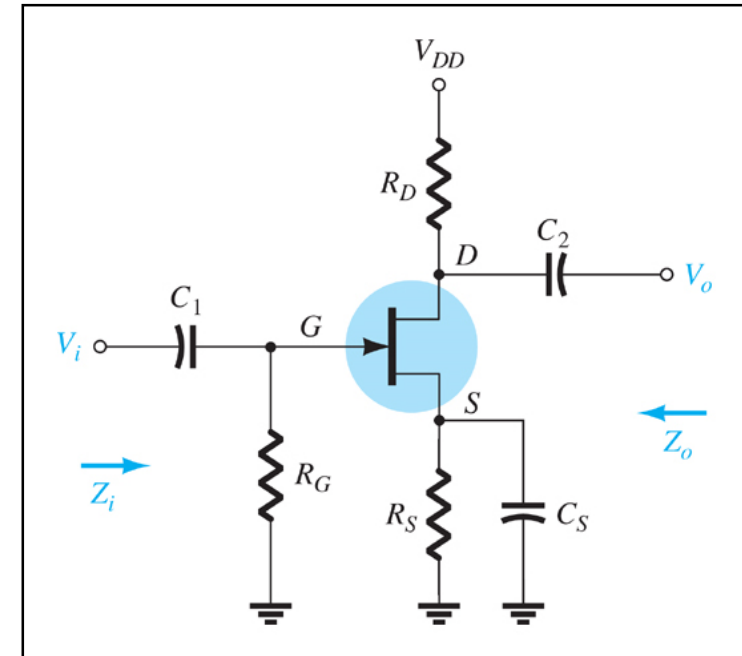
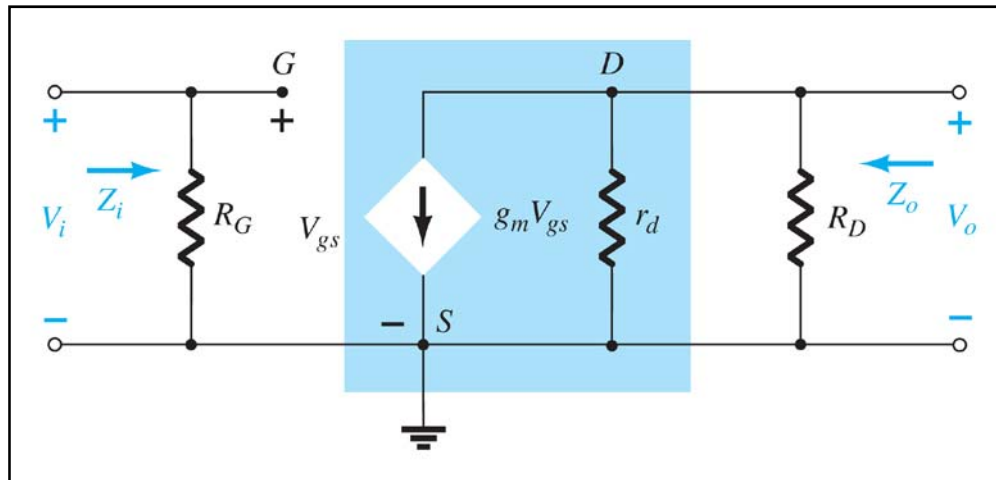
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$



- A entrada é aplicada à porta e a saída é no dreno.
- Há uma fase de deslocamento de  $180^\circ$  entre a entrada e a saída do circuito.

# Autopolarização com fonte-comum

- Esta é uma configuração de amplificador de fonte-comum, então a entrada é aplicada à porta e a saída é retirada do dreno.



- Há uma fase de deslocamento de  $180^\circ$  entre a entrada e a saída.

# Cálculos

- Impedância de entrada:

$$Z_i = R_G$$

- Impedância de saída:

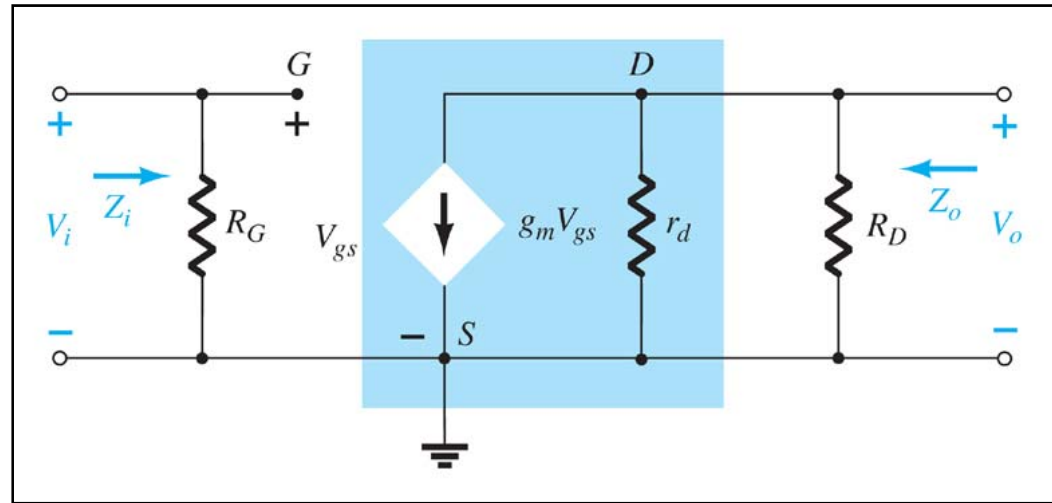
$$Z_o = r_d \parallel R_D$$

$$Z_o \cong R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

- Ganho de tensão:

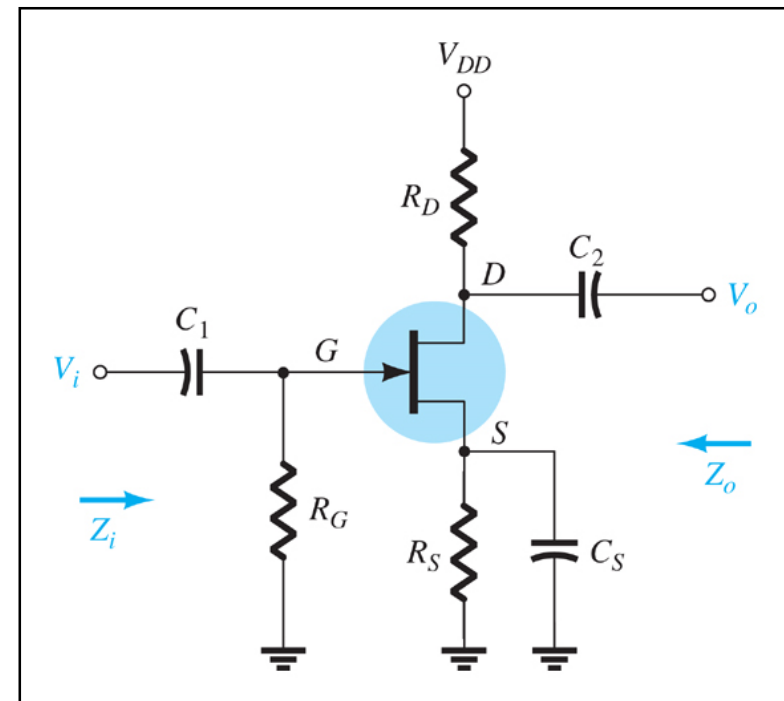
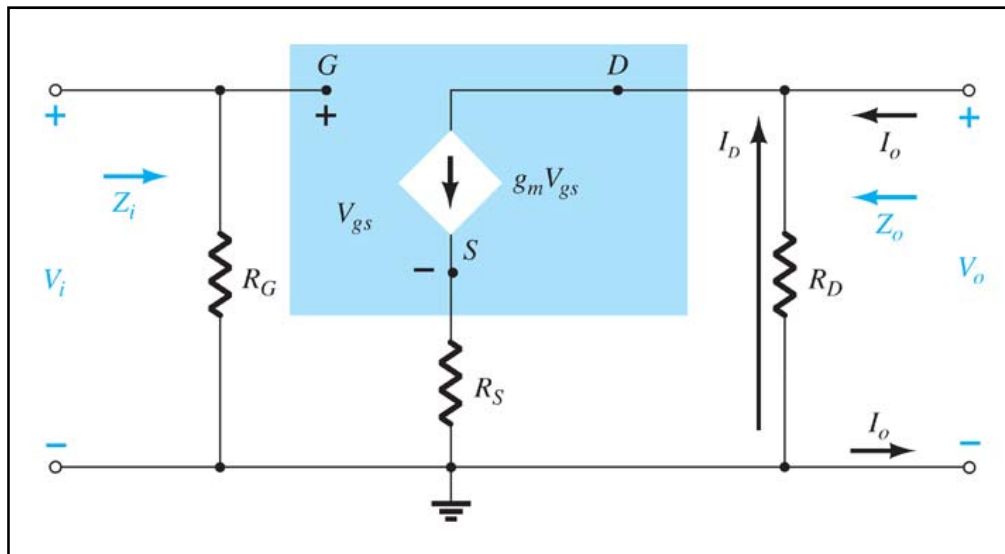
$$A_v = -g_m(r_d \parallel R_D)$$

$$A_v = -g_m R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$



# Autopolarização com fonte-comum

- Remover a  $C_s$  afeta o ganho do circuito.



# Cálculos

- Impedância de entrada:

$$Z_i = R_G$$

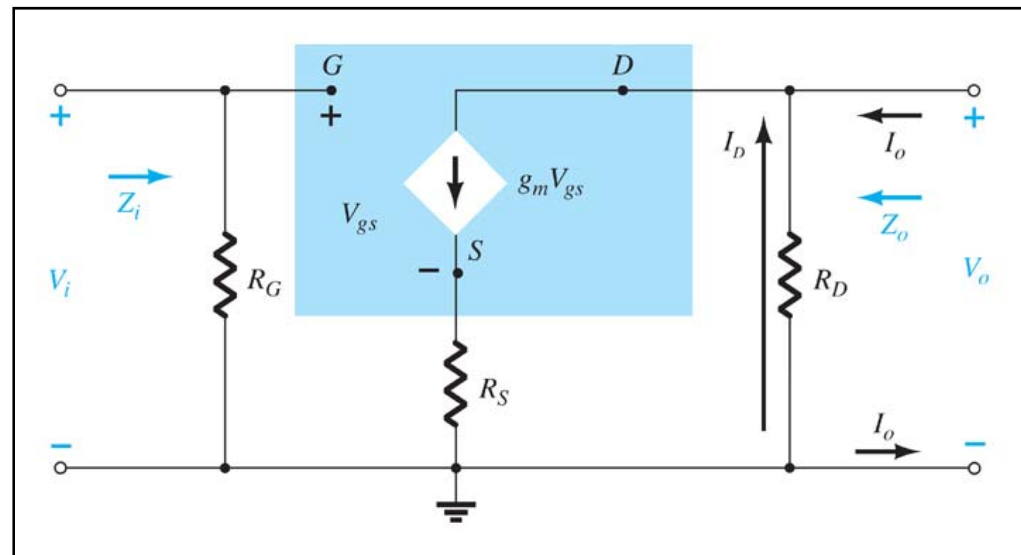
- Impedância de saída:

$$Z_o \cong R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

- Ganho de tensão:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}}$$

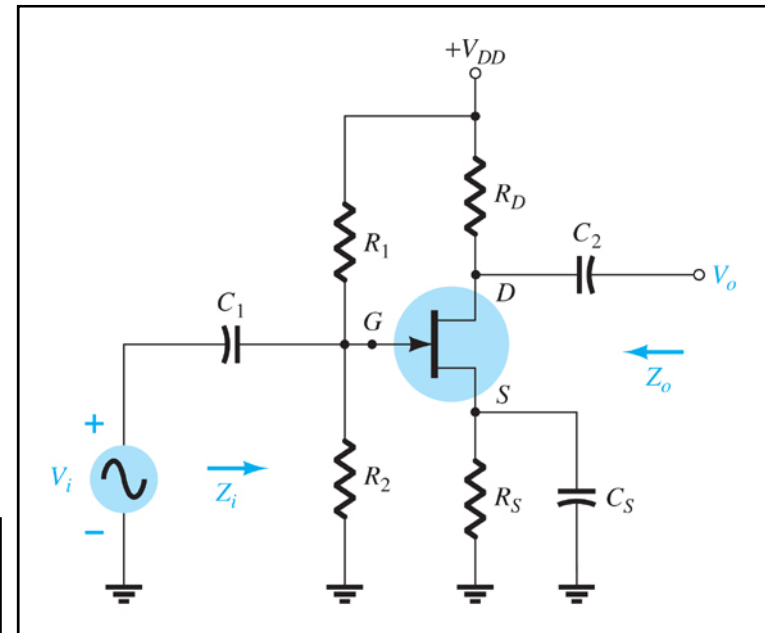
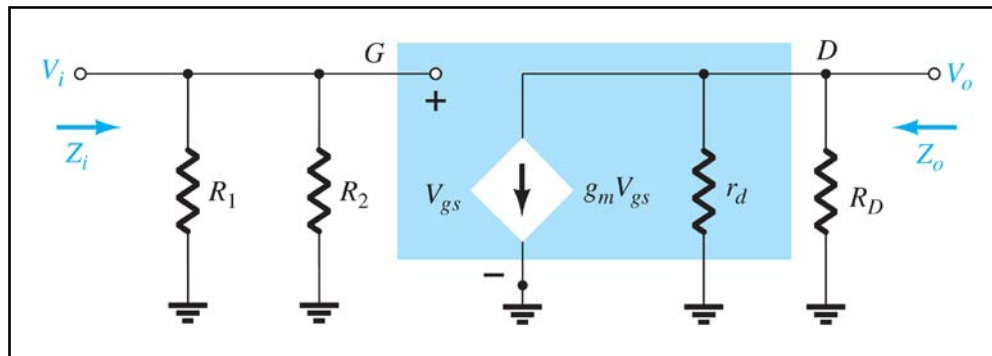
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} \Big|_{r_d \geq 10(R_D + R_S)}$$



# Common-Source (CS)

## Voltage-Divider Bias

- Está é uma configuração de amplificador de fonte-comum, então a entrada é aplicada à porta e a saída é retirada do dreno.



# Impedâncias

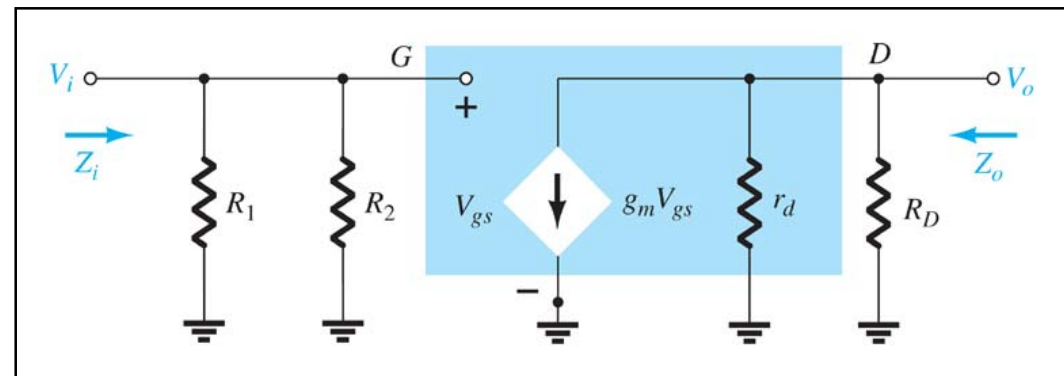
- Impedância de entrada:

$$Z_i = R_1 \parallel R_2$$

- Impedância de saída:

$$Z_o = r_d \parallel R_D$$

$$Z_o \cong R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$



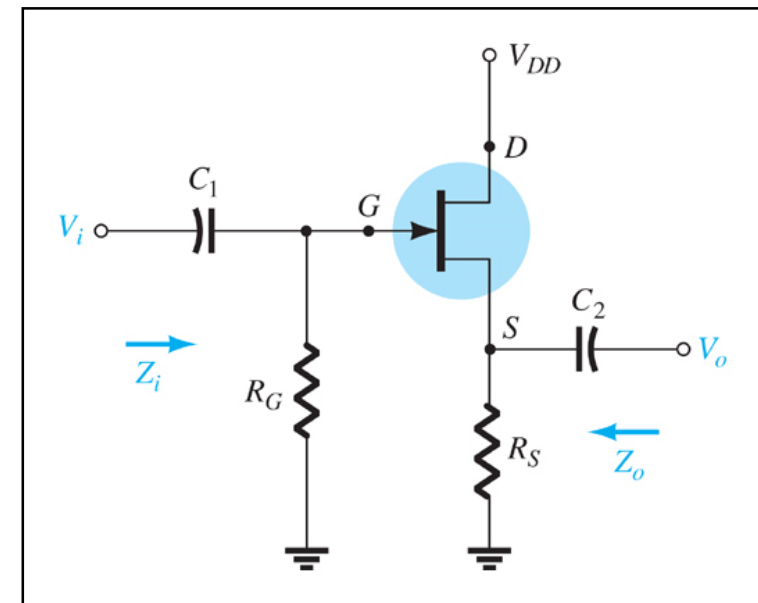
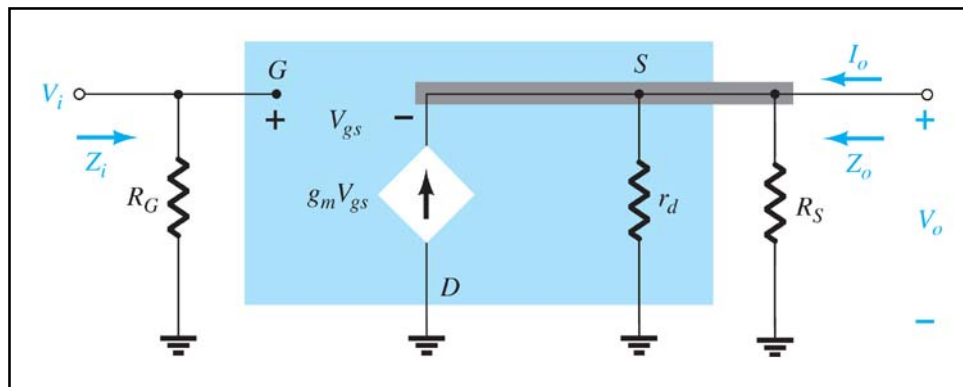
- Ganho de tensão:

$$A_v = -g_m (r_d \parallel R_D)$$

$$A_v = -g_m R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

# Seguidor de fonte (dreno-comum)

- Em uma configuração de amplificador dreno-comum, a entrada é aplicada à porta, mas a saída é retirada da fonte.
- Não há fase de deslocamento entre a entrada e a saída.





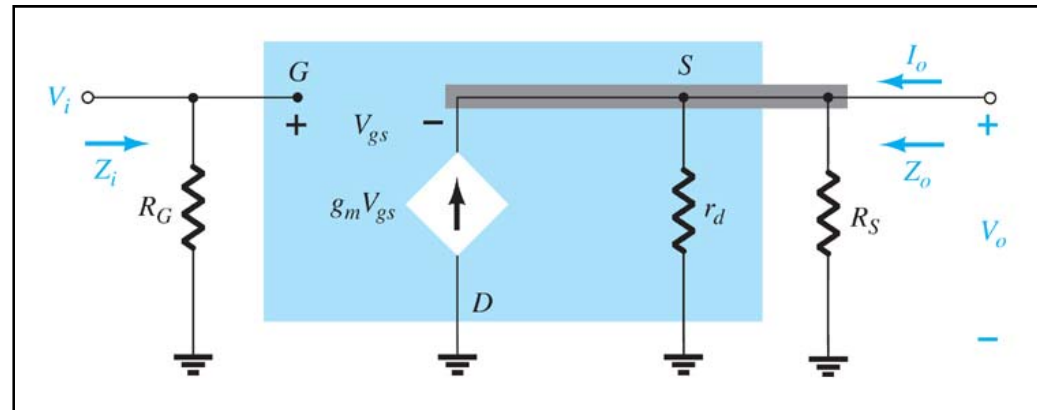
# Impedâncias

- Impedância de entrada:

$$Z_i = R_G$$

- Impedância de saída:

$$Z_o = r_d \parallel R_S \parallel \frac{1}{g_m}$$
$$Z_o \cong R_S \parallel \frac{1}{g_m} \Big|_{r_d \geq 10 R_S}$$

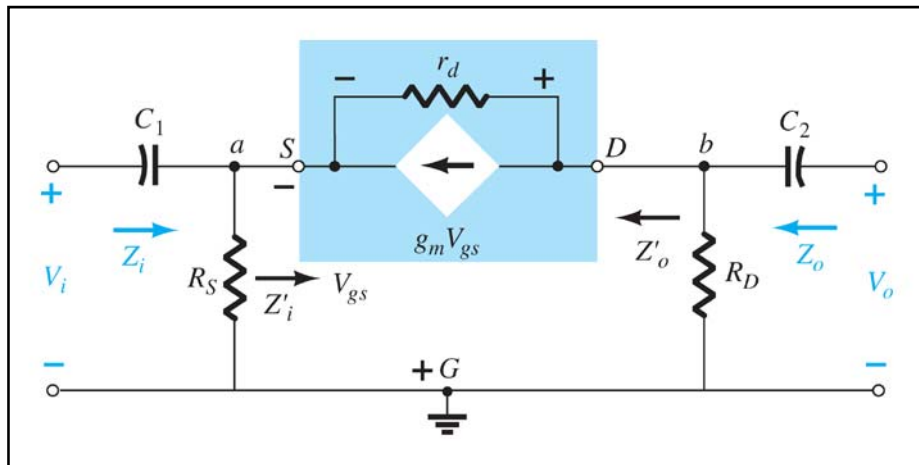
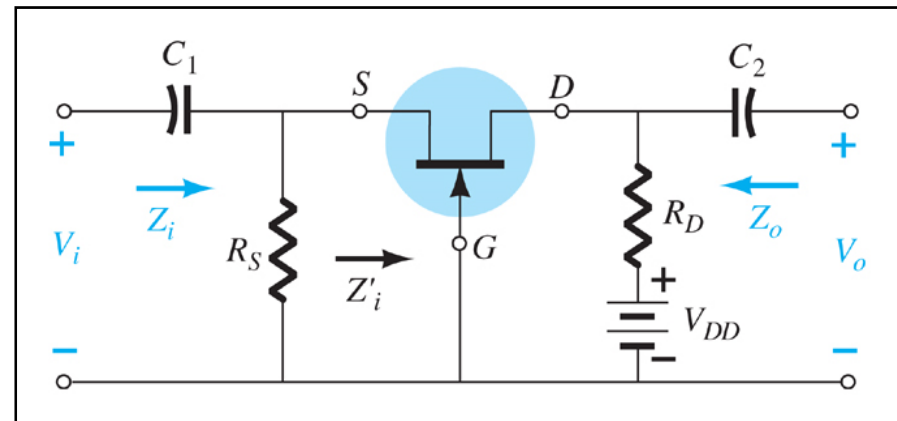


- Ganho de tensão:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{g_m (r_d \parallel R_S)}{1 + g_m (r_d \parallel R_S)}$$
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} \Big|_{r_d \geq 10 R_S}$$

# Circuito de porta-comum

- A entrada é aplicada à fonte e a saída é retirada do dreno.



- Não há fase de deslocamento entre a entrada e a saída.

# Cálculos

- Impedância de entrada:

$$Z_i = R_S \parallel \left[ \frac{r_d + R_D}{1 + g_m r_d} \right]$$

$$Z_i \cong R_S \parallel \frac{1}{g_m} \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

- Impedância de saída:

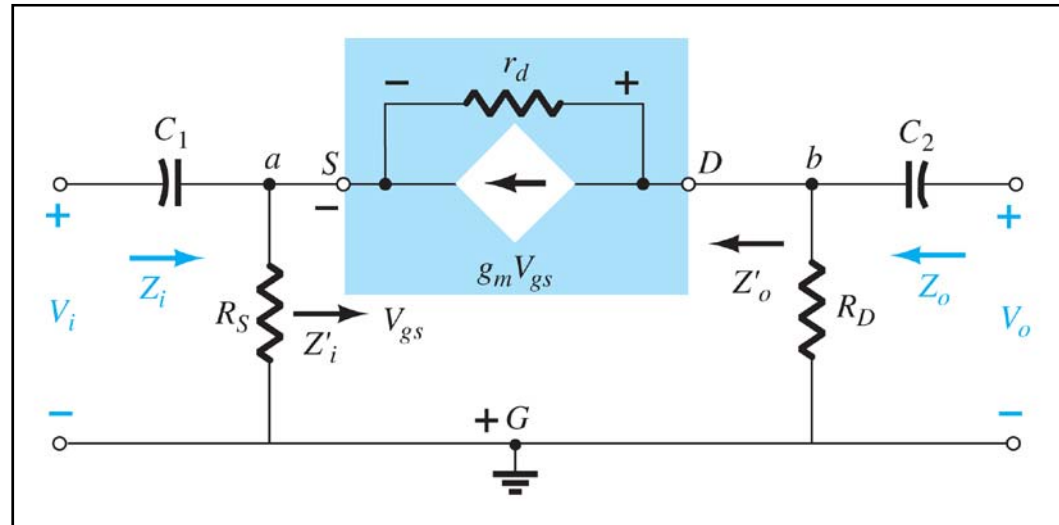
$$Z_o = R_D \parallel r_d$$

$$Z_o \cong R_D \Big|_{r_d \geq 10}$$

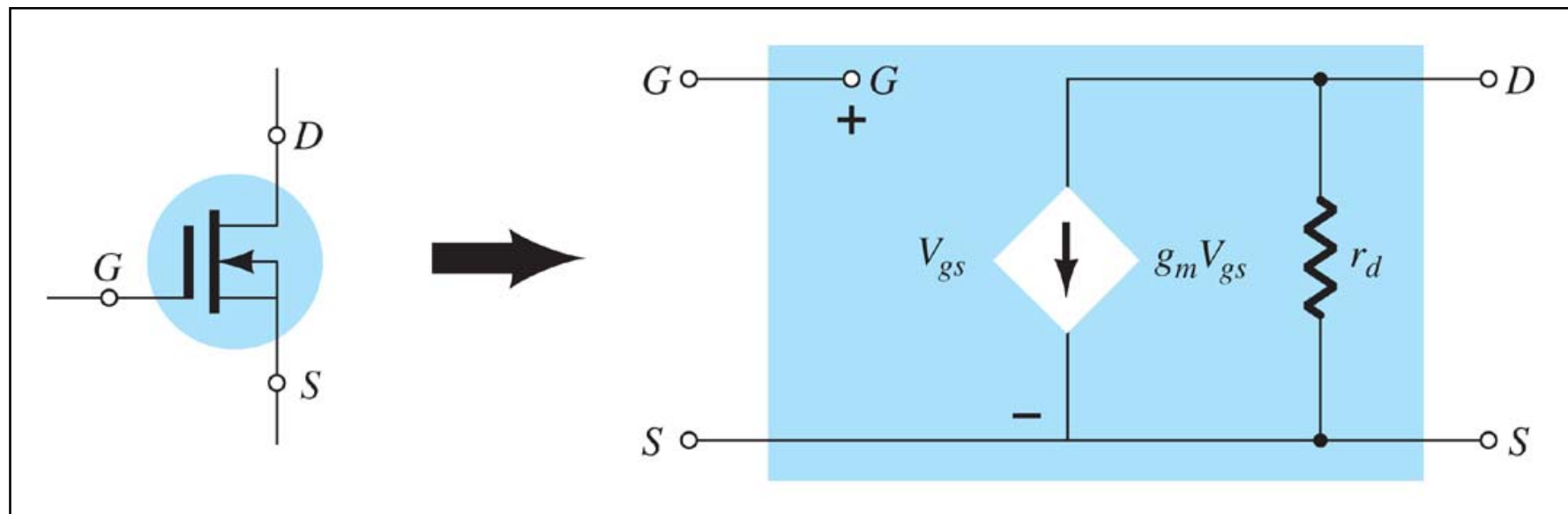
- Ganho de tensão:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\left[ g_m R_D + \frac{R_D}{r_d} \right]}{\left[ 1 + \frac{R_D}{r_d} \right]}$$

$$A_v = g_m R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

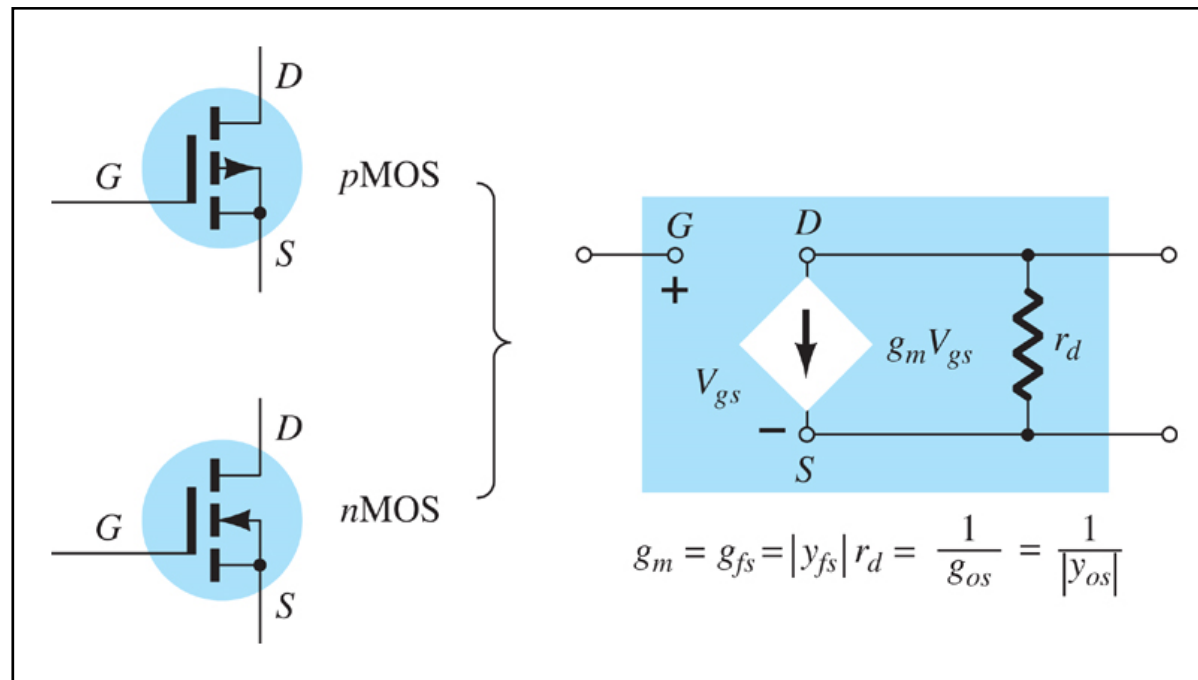


# Equivalente CA do MOSFET tipo depleção



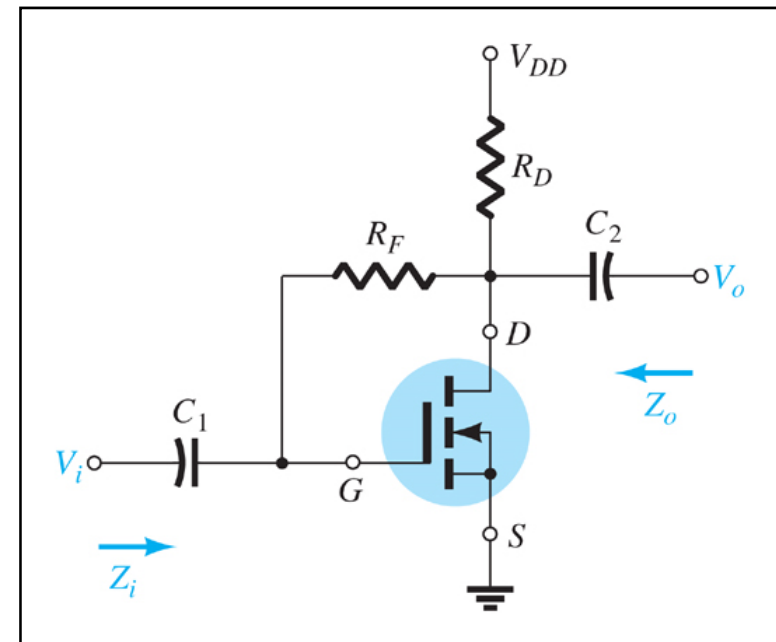
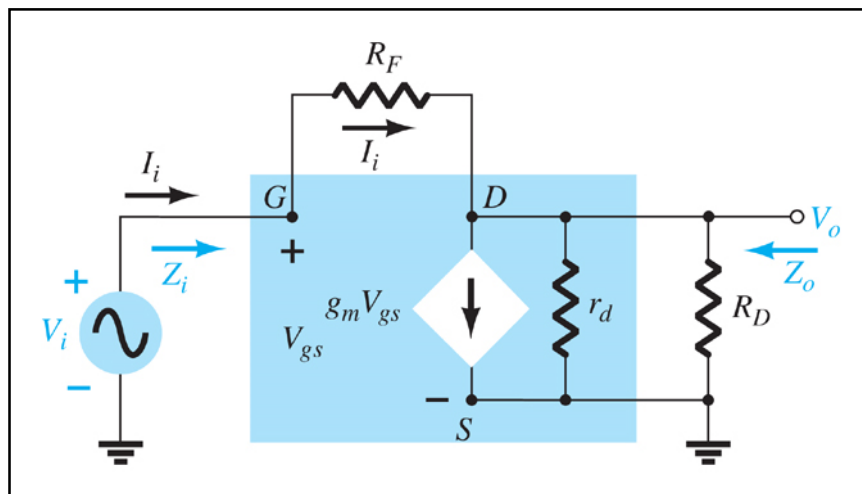
# Equivalente CA do MOSFET tipo intensificação

- $g_m$  e  $r_d$  podem ser encontrados na folha de dados do FET.



# Realimentação de dreno fonte-comum

- Há uma fase de deslocamento de  $180^\circ$  entre a entrada e a saída.



# Cálculos

- Impedância de entrada:

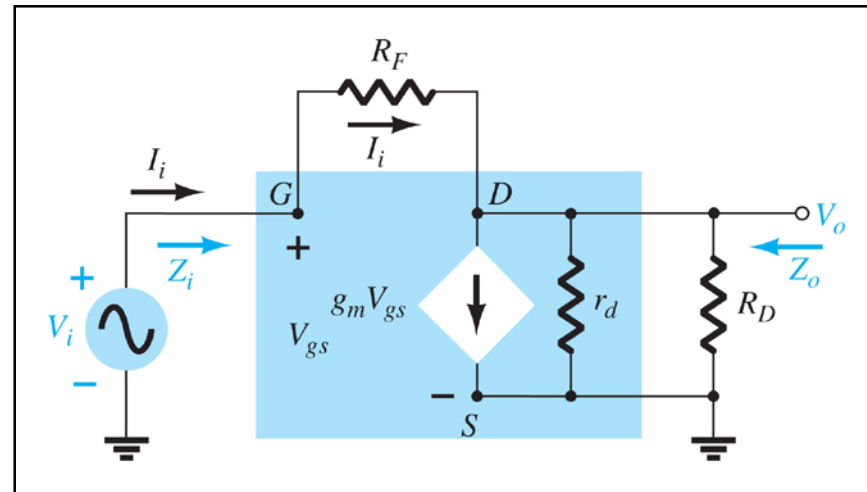
$$Z_i = \frac{R_F + r_d \parallel R_D}{1 + g_m(r_d \parallel R_D)}$$

$$Z_i \cong \frac{R_F}{1 + g_m R_D} \Big|_{R_F \gg r_d \parallel R_D, r_d \geq 10 R_D}$$

- Impedância de saída:

$$Z_o = R_F \parallel r_d \parallel R_D$$

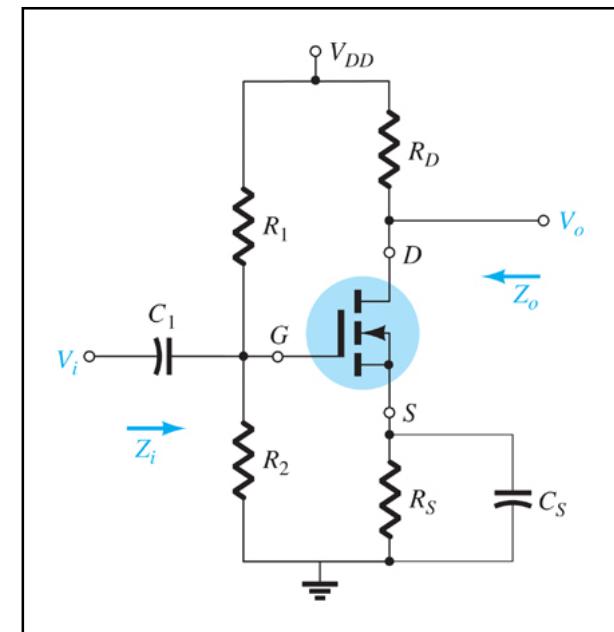
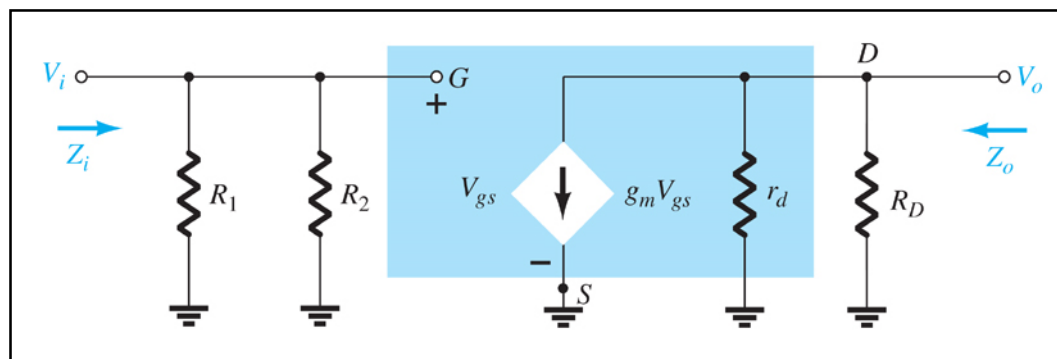
$$Z_o \cong R_D \Big|_{R_F \gg r_d \parallel R_D, r_d \geq 10 R_D}$$



- Ganho de tensão:  $A_v = -g_m(R_F \parallel r_d \parallel R_D)$   $A_v \cong -g_m R_D \Big|_{R_F \gg r_d \parallel R_D, r_d \geq 10 R_D}$

# Polarização com divisor de tensão fonte-comum

- A entrada é aplicada à porta e a saída é retirada do dreno.
- Há uma fase de tensão de deslocamento de  $180^\circ$  entre a entrada e a saída.





# Cálculos

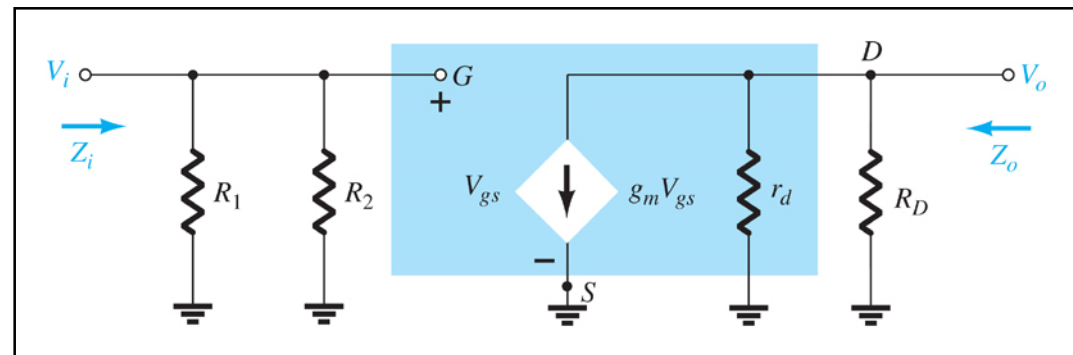
- Impedância de entrada:

$$Z_i = R_1 \parallel R_2$$

- Impedância de saída:

$$Z_o = r_d \parallel R_D$$

$$Z_o \cong R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

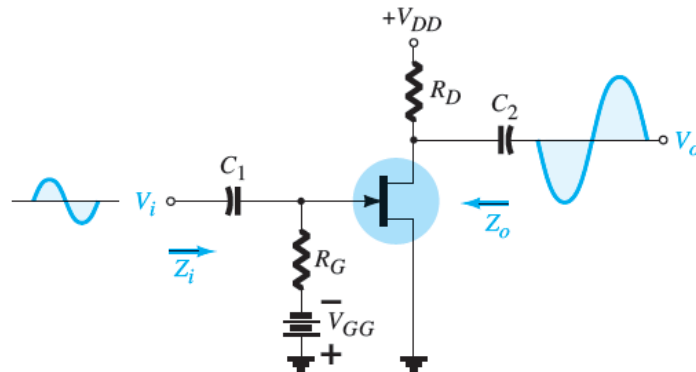


- Ganho de tensão:

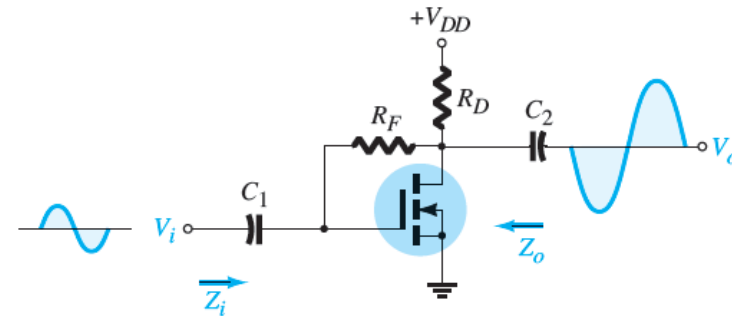
$$A_v = -g_m (r_d \parallel R_D) \quad A_v \cong -g_m R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

# Tabela-resumo

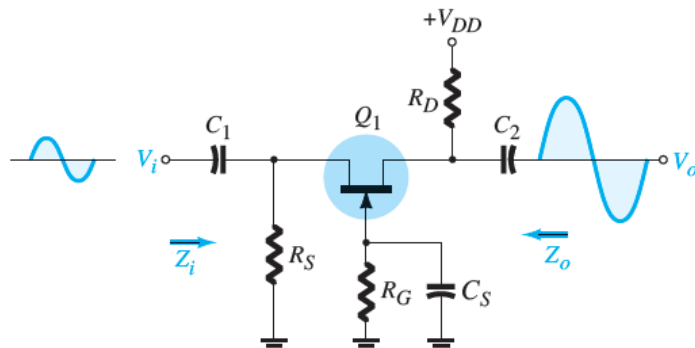
Polarização fixa  
[JFET ou D-MOSFET]



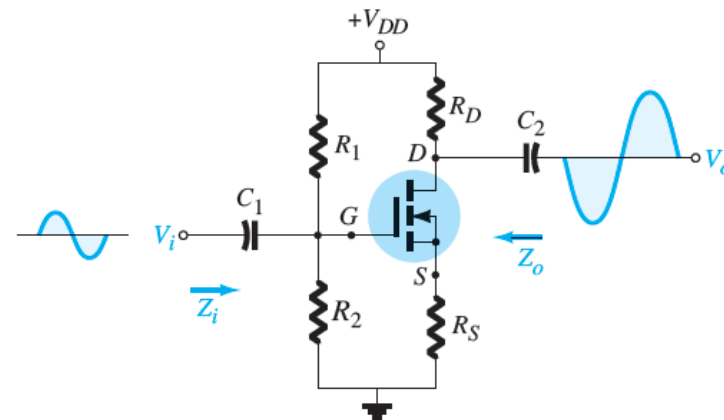
Polarização com realimentação de dreno E-MOSFET



Porta-comum  
[JFET ou D-MOSFET]

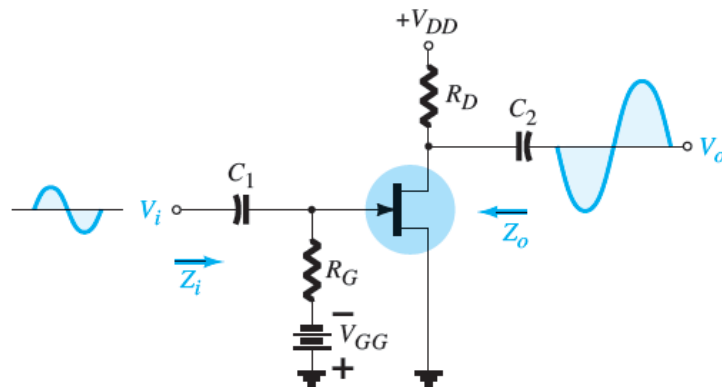


Polarização por divisor de tensão  
E-MOSFET

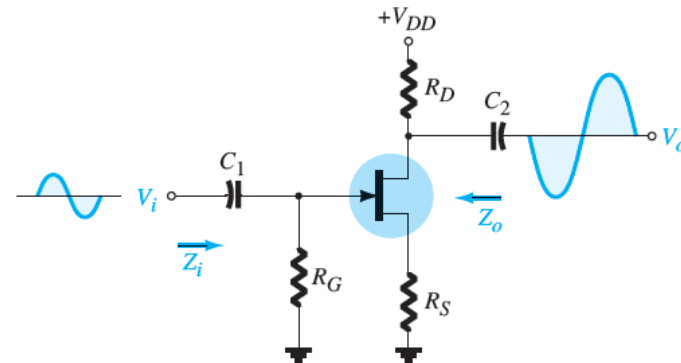


# Tabela-resumo

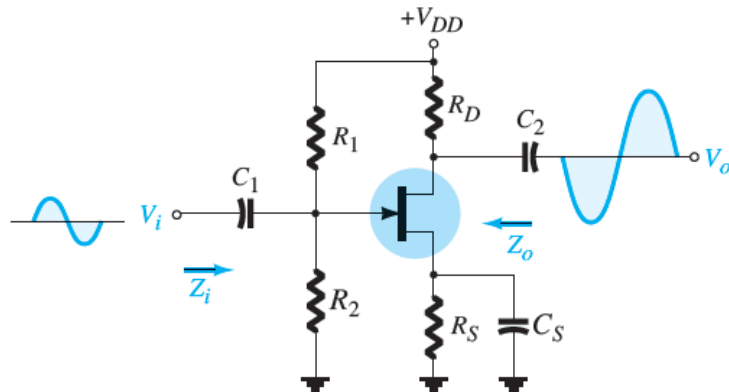
Polarização fixa  
[JFET ou D-MOSFET]



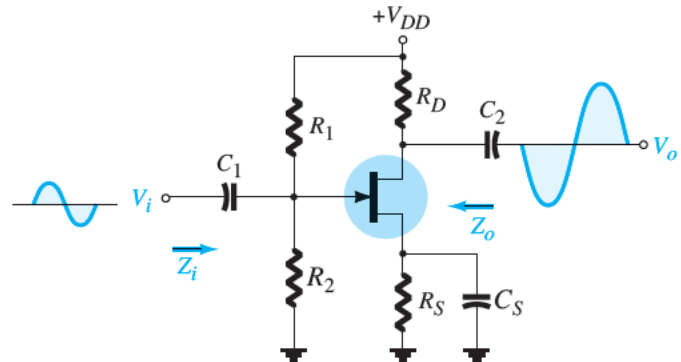
Autopolarização com  
 $R_S$  sem desvio  
[JFET ou D-MOSFET]



Polarização por divisor de tensão  
[JFET ou D-MOSFET]

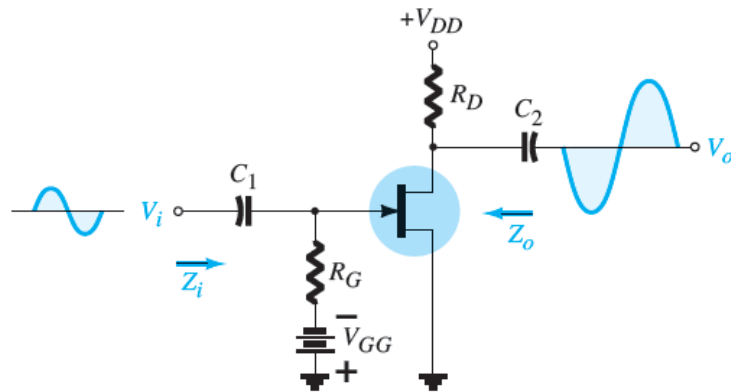


Polarização por divisor de tensão  
[JFET ou D-MOSFET]

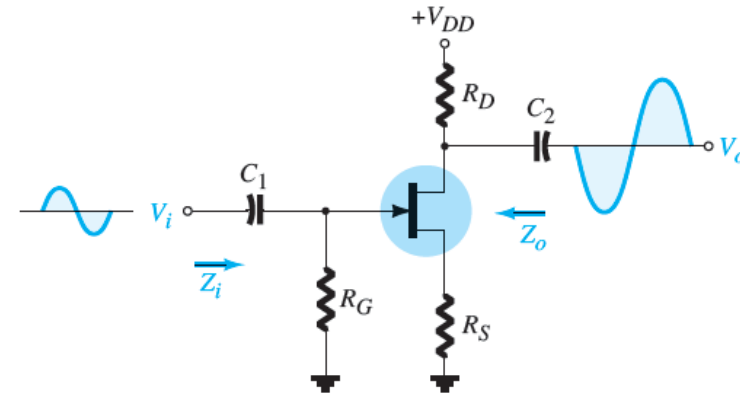


# Tabela-resumo

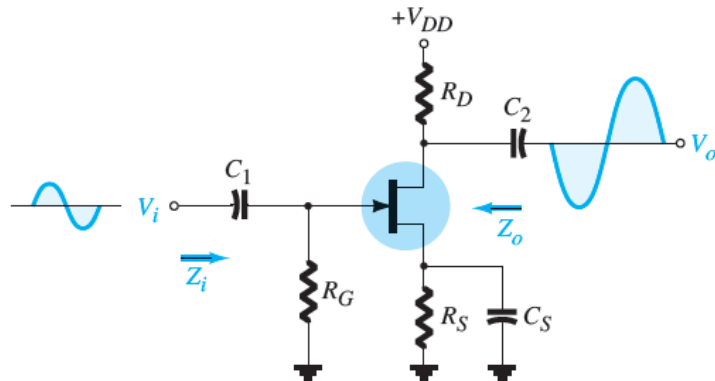
Polarização fixa  
[JFET ou D-MOSFET]



Autopolarização com  
 $R_S$  sem desvio  
[JFET ou D-MOSFET]



Autopolarização com  
 $R_S$  com desvio  
[JFET ou D-MOSFET]



Polarização por divisor de tensão  
[JFET ou D-MOSFET]

