



CAPITULO 7

Amplificadores Operacionais

Aulas 16/17

PSI 2306 –Eletrônica

Programação para a Segunda Prova

11 ^a	Encapsulamento do Amp Op, O Amp Op ideal, Análise de circuitos com Amp Ops ideais. Exemplo 2.2	Cap. 2 p. 38-46 (63-75)
12 ^a	Somador, Configuração não inversora, seguidor, amplificador de diferenças. Exercício 2.15	Sedra, Cap. 2 p. 46-53(75-85)
13 ^a	Amplificador de instrumentação, Funcionamento dos Amp Ops Não-Ideais. Exemplo 2.3 e 2.4	Sedra, Cap. 2 p. 53-59(85-93)
14 ^a	Operação dos Amp Ops em grande excursão de sinal, imperfeições cc, circuitos integrador e diferenciador Exemplo 2.6.	Sedra, Cap. 2 p. 59-73(94-113)
15 ^a	Fontes de corrente, espelhos de corrente e Circuitos guias de corrente. Exemplo 6.4. Exercício 6.8	Sedra, Cap. 6, p. 353-358 (562-571)
16 ^a	Amplificadores diferenciais com MOS: introdução, par diferencial, operação em pequenos sinais do par diferencial, ganho diferencial de tensão. Exercício 7.4	Sedra, Cap. 7 p. 429-436 (688-700)
17 ^a	ganho de modo comum, rejeição de modo comum. Exercício 7.5	Sedra, Cap. 7 p. 436-438 (700-704)
2^a. Semana de Provas		
Data:		

Amplificadores Diferenciais com Transistores MOS

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

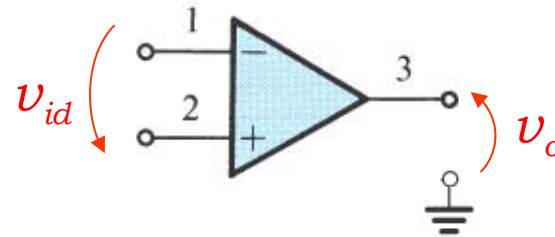
- Explicar como funcionam os circuitos internos de entrada dos AOs (circuitos diferenciais)
- Analisar circuitos diferenciais quando aplicam-se:
 - Sinais comuns às Entradas
 - Sinais diferenciais de grande amplitude às Entradas
 - Sinais diferenciais de pequena amplitude às Entradas
- Explicar analisar um par diferencial utilizando a técnica de separação em meios-circuitos
- Determinar o ganho de modo comum em amplificadores diferenciais
- Explicar as principais causas da existência de ganhos de modo comum não ideais (diferentes de zero)

Amplificadores Diferenciais e Operacionais

Ganho e Rejeição de Modo Comum

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- **Explicar analisar um par diferencial utilizando a técnica de separação em meios-circuitos**
- **Determinar o ganho de modo comum em amplificadores diferenciais**
- **Explicar as principais causas da existência de ganhos de modo comum não ideais (diferentes de zero)**



$$v_{id} = v_{+} - v_{-} = v_2 - v_1$$

$$v_o = A_d \cdot v_{id} = A_d (v_2 - v_1)$$

Como fazer o circuito de entrada do Amp Op???

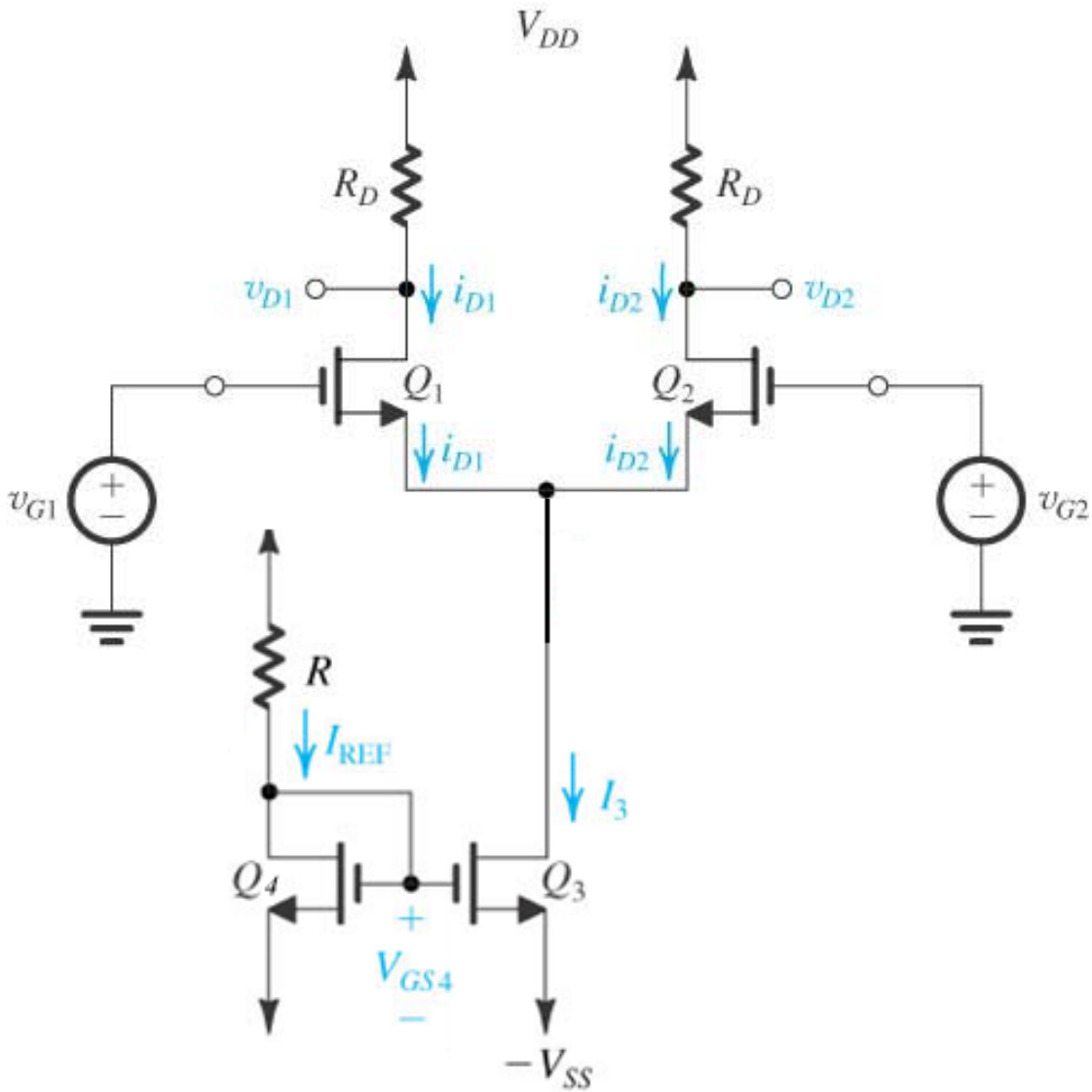
Queremos amplificar apenas as diferenças

Portanto algum tipo de amplificador de diferenças

só que construído com transistores (bipolares ou FETs)

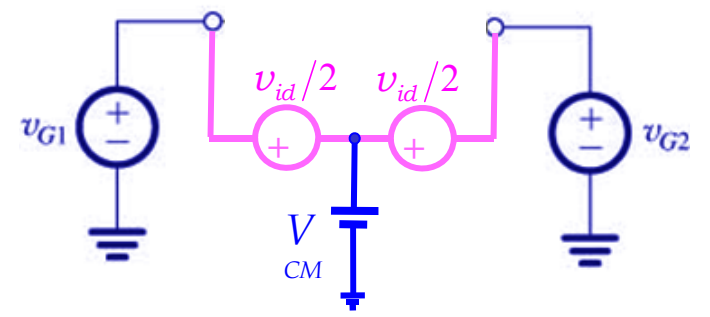
Denominamos esse circuito de **circuito diferencial**

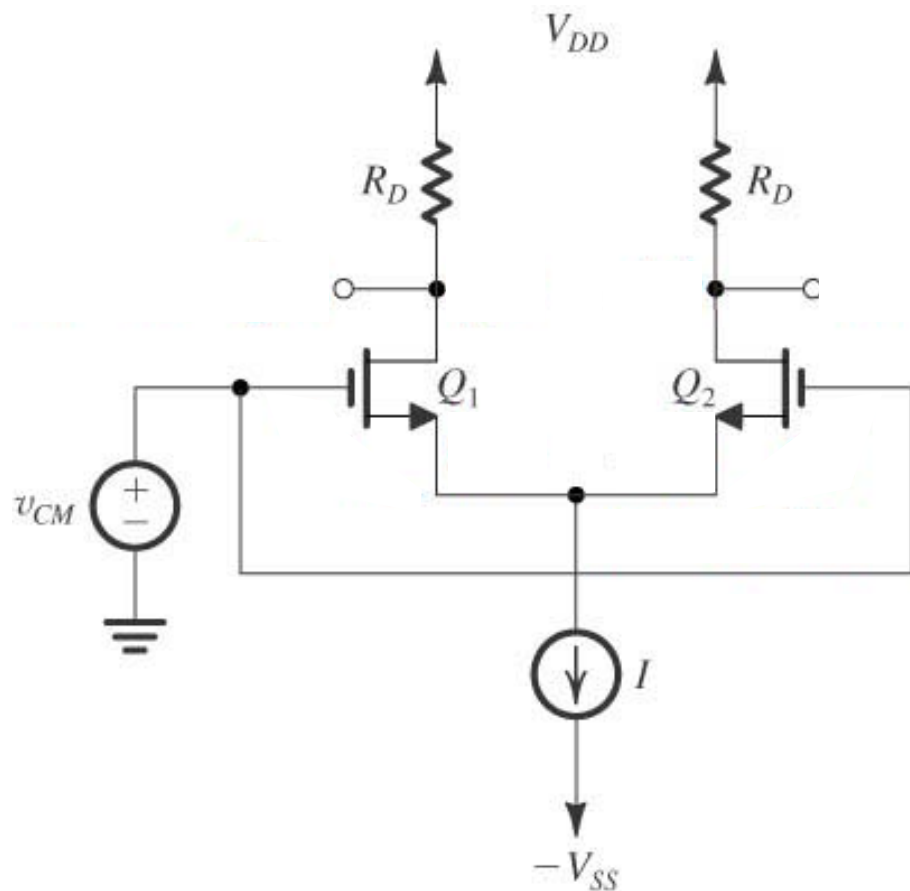
Amplificadores Diferenciais



$$v_{G1} = V_{CM} + v_{id} / 2$$

$$v_{G2} = V_{CM} - v_{id} / 2$$





Se Q saturado:

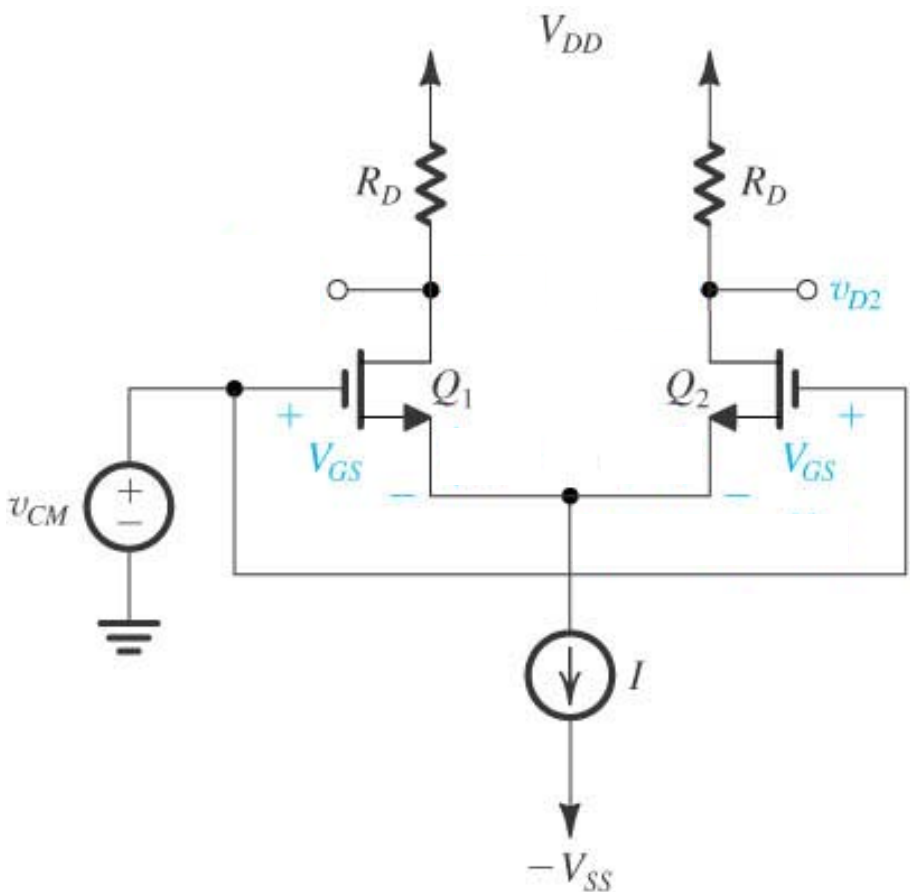
$$v_{DS} \geq v_{GS} - V_t$$

Lembre-se que:

$$V_{OV} \equiv \overline{V}_{GS} - V_t$$

$$i_D = \frac{1}{2} k'_n \left(\frac{W}{L} \right) (v_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{OV} = \overline{V}_{GS} - V_t = \sqrt{I_D / \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L}}$$



**Variando-se V_{CM} ,
o valor de $V_{D1} - V_{D2}$ continua zero!**

Quando se aplica um V_{CM} , queremos Q_1 e Q_2 em saturação:

$$\frac{I}{2} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (\bar{V}_{GS} - V_t)^2$$

Para garantir Q_1, Q_2 em saturação:

$$v_S(0) \leq v_{GS} - V_t \leq v_{DS} \quad (\text{NMOS})$$

$$\text{ou } 0 \leq v_G - V_t \leq v_D$$

Mas $v_{CM} = v_{GS} + v_S \rightarrow v_{CM} = v_G$ (óbvio!)

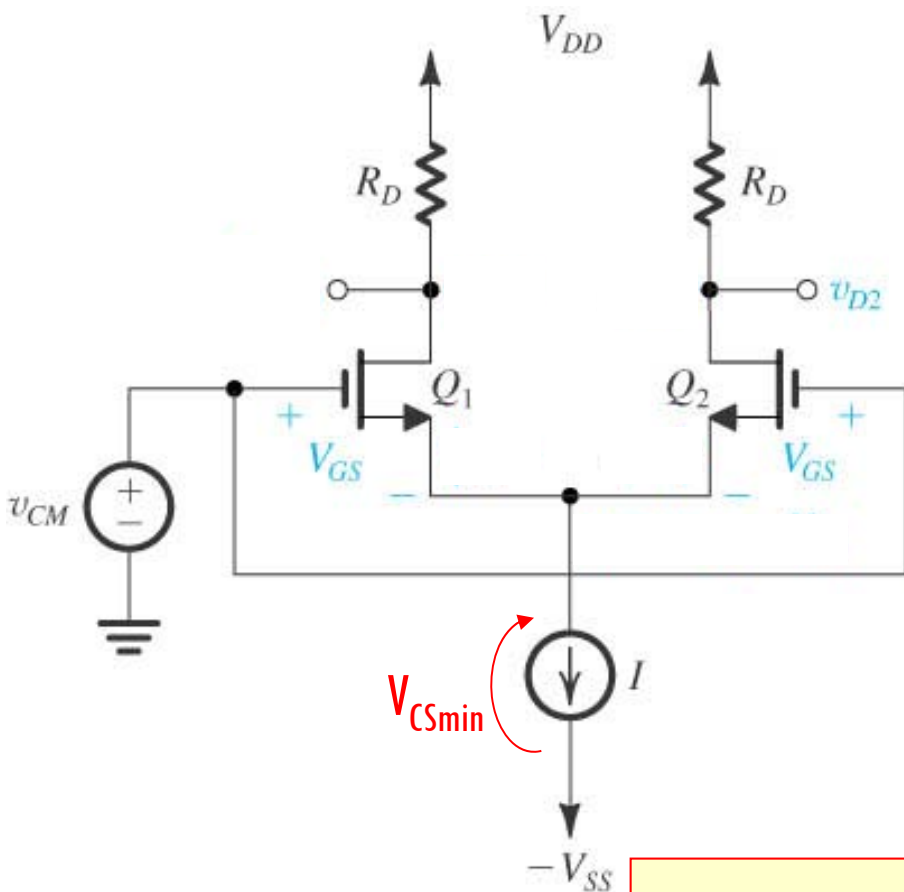
Logo $v_{CM} - V_t \leq v_D \rightarrow v_{CM} \leq v_D + V_t$

$$\text{Mas } v_D = V_{DD} - R_D \frac{I}{2}$$

Logo $v_{CM} \leq V_t + V_{DD} - R_D \frac{I}{2}$

$$v_{CMmax} = V_t + V_{DD} - \frac{I}{2} R_D$$

(senão entra na triodo)



Quando se aplica um V_{CM} , temos Q_1 e Q_2 em saturação:

$$\frac{I}{2} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (\bar{V}_{GS} - V_t)^2$$

Garantindo um V_{CS} mínimo para I operar adequadamente:

$$\downarrow v_{CM} = V_{GS} + \downarrow V_{CS} - V_{SS}$$

$$v_{CM\min} = -V_{SS} + V_{CS\min} + \bar{V}_{GS}$$

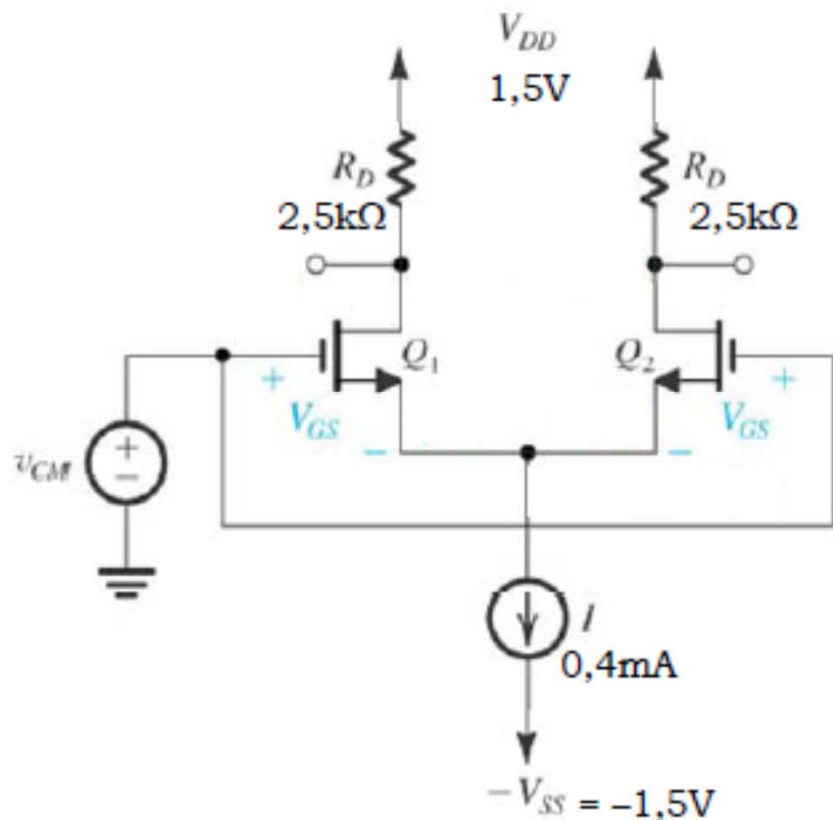
$$v_{CM\min} = -V_{SS} + V_{CS\min} + V_t + \underbrace{(\bar{V}_{GS} - V_t)}_{V_{OV}}$$

$$v_{CM\max} = V_t + V_{DD} - \frac{I}{2} R_D \quad (\text{senão entra na triodo})$$

$$v_{CM\min} = -V_{SS} + V_{CS\min} + V_t + (\bar{V}_{GS} - V_t) \quad (\text{senão } I \text{ não funciona})$$

Exercício 7.1: Para o Amplificador Diferencial com três v_{cm} s distintos aplicados e desprezando o efeito da modulação de canal (r_o), determine:

- V_{OV} ($=V_{GS} - V_t$) e V_{GS} para cada transistor
- para $v_{cm}=0$ determine v_S , i_{D1} , i_{D2} , v_{D1} e v_{D2}
- idem para $v_{cm} = +1$ V
- Idem para $v_{cm} = -0,2$ V
- qual o valor máximo de v_{cm} para o qual tanto Q_1/Q_2 ainda permanecem em saturação?
- Se a fonte de corrente I precisa de uma tensão mínima de 0,4V para operar adequadamente, qual o menor valor para V_S e conseqüentemente para v_{cm} ?



$$V_t = 0,5V$$

$$k_n'(W/L) = 4mA/V^2$$

$$\text{se } v_{DS} > v_{GS} - V_t > 0 \text{ (NMOS)}$$

$$I_D = \frac{1}{2} k_n' \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS} - V_t)^2$$

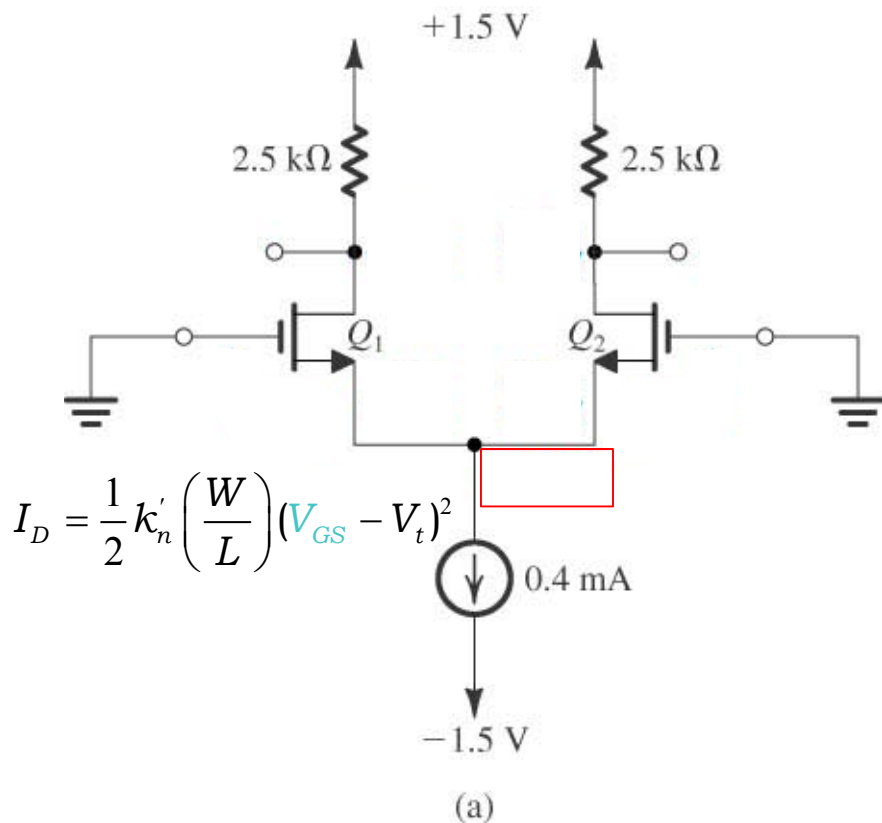
Amplificadores Diferenciais

$$V_t = 0,5V$$

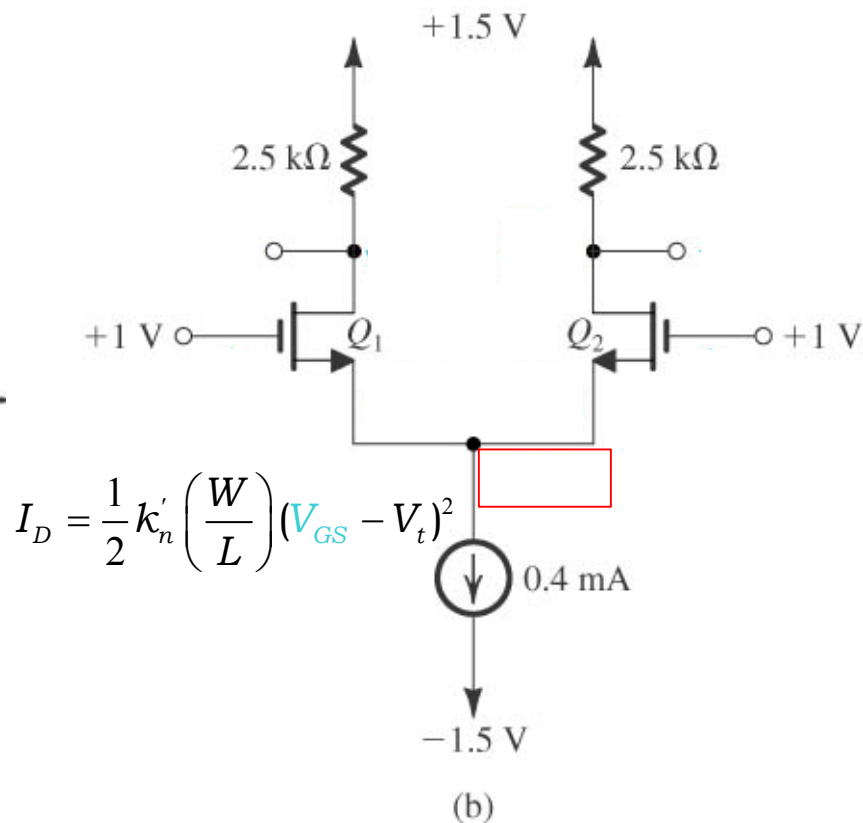
$$k_n'(W/L) = 4mA/V^2$$

se $v_{DS} > v_{GS} - V_t > 0$ (NMOS)

$$I_D = \frac{1}{2} k_n' \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_t)^2$$



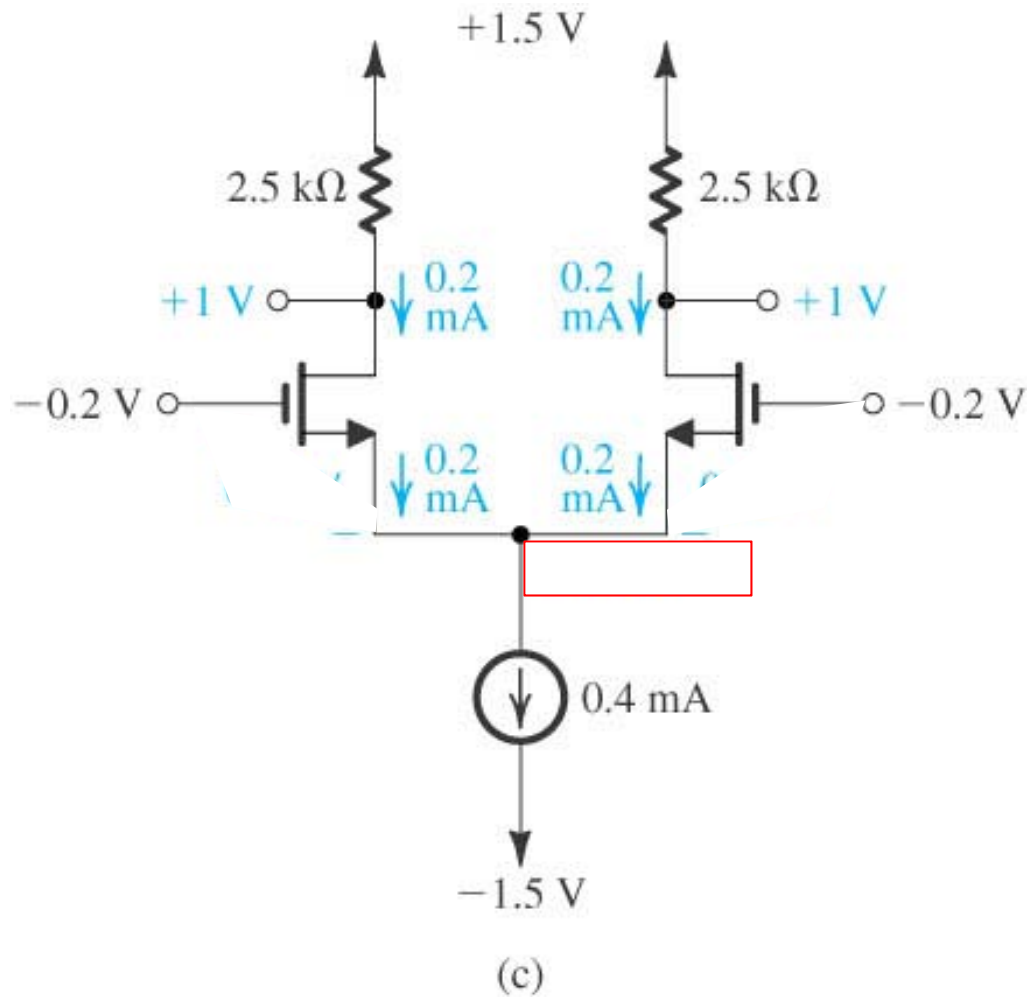
$$I_D = \frac{1}{2} k_n' \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_t)^2$$



$$I_D = \frac{1}{2} k_n' \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_t)^2$$

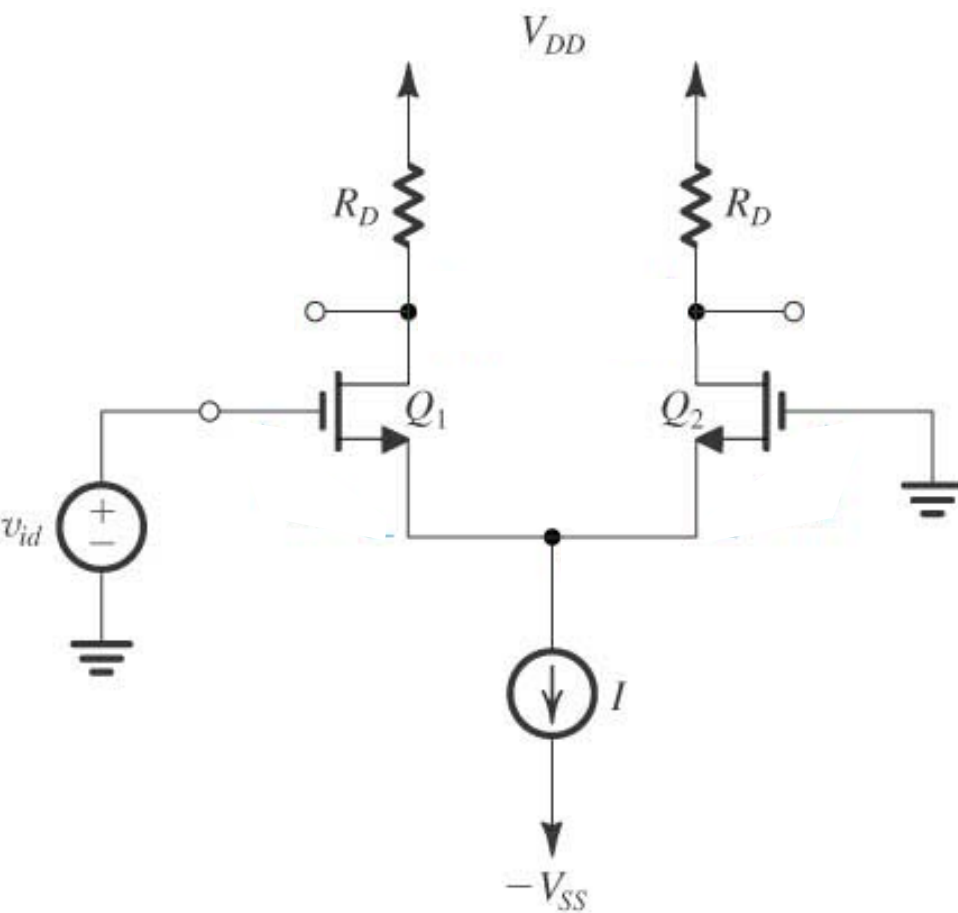
$$v_{CMmax} = V_t + V_{DD} - \frac{I}{2} R_D \quad (\text{senão entra na triodo}) = 0,5 + 1,5 - 0,2m \times 2,5k = 1,5V$$

$$v_{CMmin} = -V_{SS} + V_{CSmin} + V_t + (\bar{V}_{GS} - V_t) \quad (\text{senão I não funciona}) = -1,5 + 0,4 + 0,82 = -0,28V$$



Amplificadores Diferenciais

Operação com Tensão de Entrada Diferencial



Para Pequenos Sinais (v_{id} pequeno)

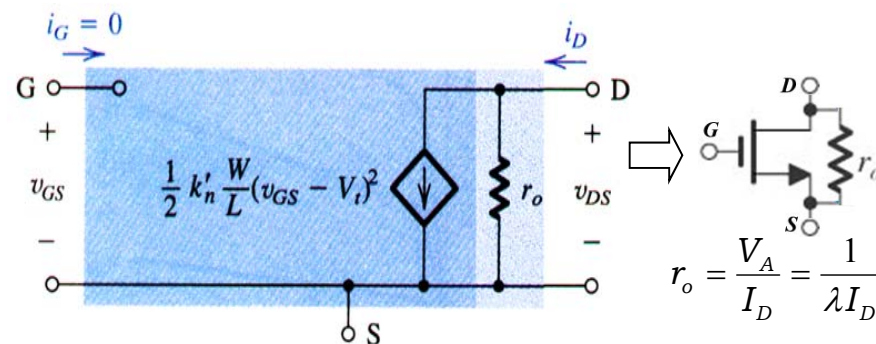
- $g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = k'_n \cdot \frac{W}{L} \cdot (\bar{V}_{GS} - V_t)$

Outras maneiras de expressar g_m

- $g_m = \frac{2I_D}{\bar{V}_{GS} - V_t} = \frac{I}{V_{OV}}$

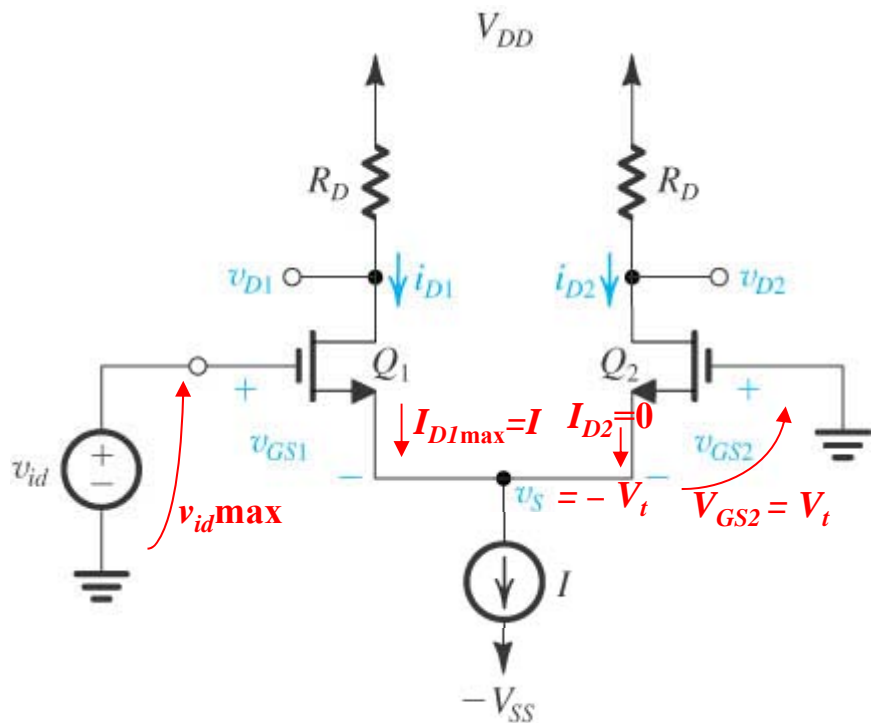
- $g_m = \sqrt{2k'_n} \cdot \sqrt{\frac{W}{L}} \cdot \sqrt{I_D} = \sqrt{I \times k'_n \frac{W}{L}}$

Modelo para Pequenos Sinais



Amplificadores Diferenciais

Operação com uma Tensão de Entrada Diferencial



$$v_{id} = v_{GS1} - v_{GS2}$$

$$\text{Se } v_{id} > 0; (v_{D2} - v_{D1}) > 0$$

Qual v_{id} faz I circular toda por um dos transistores?

Nessa situação $I_{D1} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (v_{GS1} - V_t)^2 = I$, ou,

ou $v_{GS1_{max}} = V_t + \sqrt{2I / k'_n (W / L)}$

Nessa condição $v_{id_{max}} = v_{GS1_{max}} + v_S$

$$v_{id_{max}} = v_{GS1_{max}} - V_t$$

$$v_{id_{max}} = V_t + \sqrt{2I / k'_n (W / L)} - V_t$$

$$v_{id_{max}} = \sqrt{2I / k'_n (W / L)}$$

como $\frac{I}{2} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (\bar{V}_{GS} - V_t)^2 \rightarrow v_{id_{max}} = \sqrt{2} (\bar{V}_{GS} - V_t)$

limites extremos

$$-\sqrt{2} (\bar{V}_{GS} - V_t) \leq v_{id} \leq \sqrt{2} (\bar{V}_{GS} - V_t) \quad 127$$

Como amplificador linear:

p/ peq.sinais $v_{gs} \ll 2V_{OV} \rightarrow v_{gs} \ll 2(\bar{V}_{GS} - V_t)$

$(v_{gs1} - v_{gs2}) / 2 \ll \bar{V}_{GS} - V_t \rightarrow v_{id} / 2 \ll \bar{V}_{GS} - V_t$

p/ peq.sinais: $+\Delta i = +g_m \Delta v_{gs} = +g_m \Delta v_{id}$

$+\Delta v_{id} \rightarrow +\Delta i \rightarrow i_D = I / 2 + \Delta i \rightarrow \Delta v_D = -\Delta i \cdot R_D$

$-\Delta v_{id} \rightarrow -\Delta i \rightarrow i_D = I / 2 - \Delta i \rightarrow \Delta v_D = +\Delta i \cdot R_D$

$$v_O = v_{D2} - v_{D1} = +2\Delta i \cdot R_D$$

Amplificadores Diferenciais

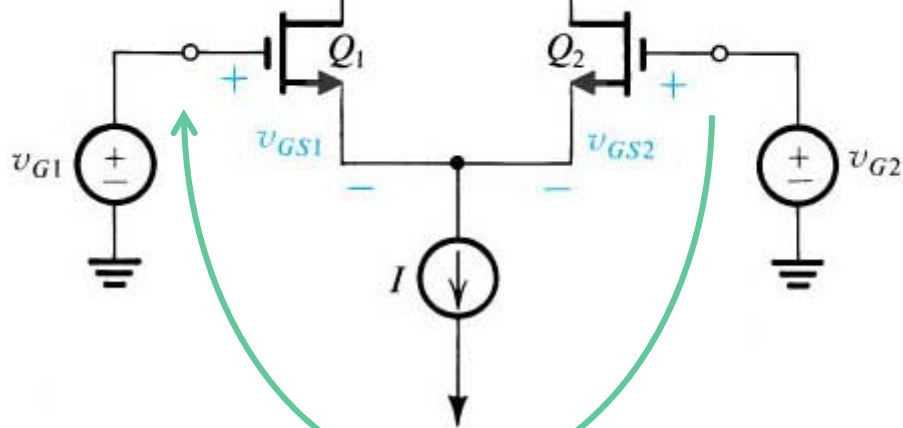
As curvas de transferência i_{D1} e i_{D2} em função de v_{id}

$$i_{D1} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (v_{GS1} - V_t)^2$$

$$i_{D2} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (v_{GS2} - V_t)^2$$

$$\sqrt{i_{D1}} = \sqrt{\frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L}} (v_{GS1} - V_t)$$

$$\sqrt{i_{D2}} = \sqrt{\frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L}} (v_{GS2} - V_t)$$



$$v_{GS1} - v_{GS2} = v_{G1} - v_{G2} = v_{id}$$

limites extremos

$$-\sqrt{2}(\bar{V}_{GS} - V_t) \leq v_{id} \leq \sqrt{2}(\bar{V}_{GS} - V_t)$$

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{i_{D1}} - \sqrt{i_{D2}} &= \sqrt{\frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L}} v_{id} \\ i_{D1} + i_{D2} &= I \end{aligned} \right\} \text{ sist. de equações}$$

$$i_{D1} = \frac{I}{2} \pm \sqrt{k'_n \frac{W}{L}} I \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id} / 2)^2}{I / k'_n \frac{W}{L}}}$$

$$i_{D1} = \frac{I}{2} + \sqrt{k'_n \frac{W}{L}} I \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id} / 2)^2}{I / k'_n \frac{W}{L}}}$$

$$i_{D2} = \frac{I}{2} - \sqrt{k'_n \frac{W}{L}} I \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id} / 2)^2}{I / k'_n \frac{W}{L}}}$$

$$V_{OV}^2 = (\bar{V}_{GS} - V_t)^2 = I / k'_n \frac{W}{L} \rightarrow k'_n \frac{W}{L} = \frac{I}{V_{OV}^2}$$

$$i_{D1} = \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{v_{id} / 2}{V_{OV}} \right)^2}$$

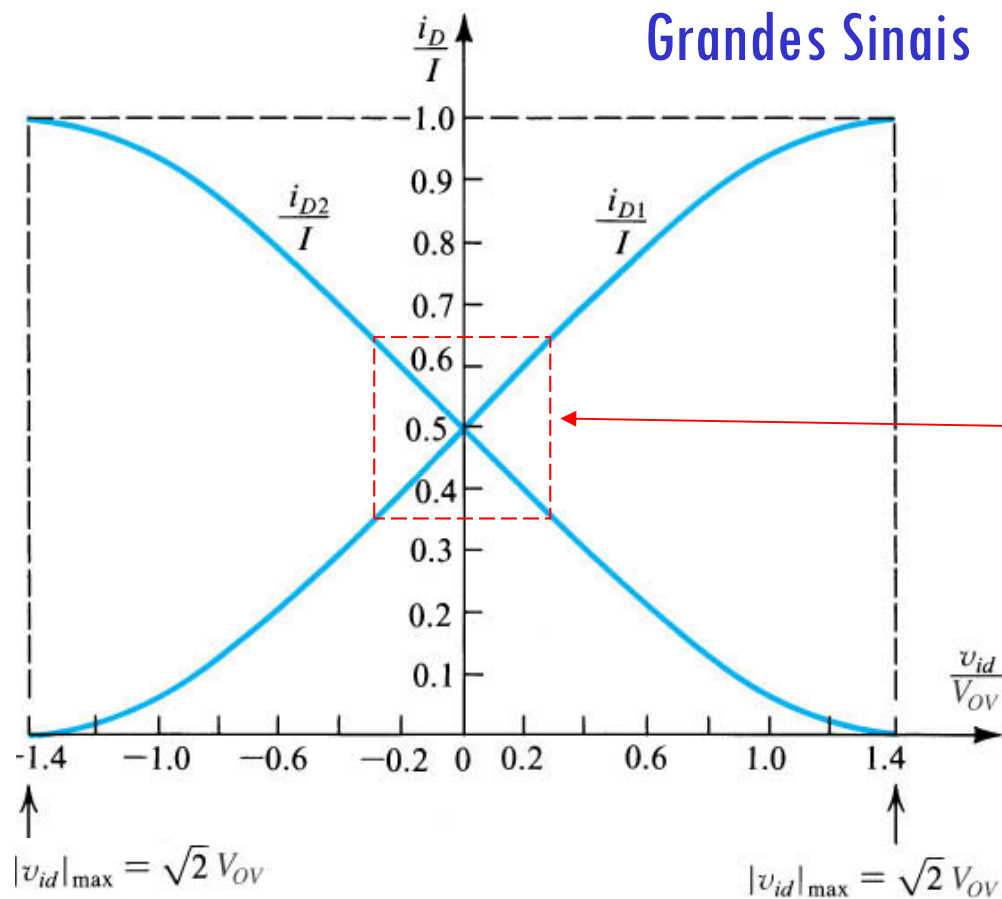
$$i_{D2} = \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{v_{id} / 2}{V_{OV}} \right)^2}$$

Amplificadores Diferenciais

$$\frac{i_{D2}}{I} = \frac{1}{2} - \left(\frac{1}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id}/2)^2}{V_{OV}^2}} \quad \frac{i_{D1}}{I} = \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id}/2)^2}{V_{OV}^2}}$$

limites extremos: $-\sqrt{2}(\bar{V}_{GS} - V_t) \leq v_{id} \leq \sqrt{2}(\bar{V}_{GS} - V_t)$

Grandes Sinais



se $\frac{v_{id}}{2} \ll V_{OV}$

Pequenos Sinais

$i_{D1} \cong \frac{I}{2} + \underbrace{\left(\frac{I}{V_{OV}} \right)}_{g_m} \underbrace{\left(\frac{v_{id}}{2} \right)}_{i_d}$

$i_{D2} \cong \frac{I}{2} - \underbrace{\left(\frac{I}{V_{OV}} \right)}_{g_m} \underbrace{\left(\frac{v_{id}}{2} \right)}_{i_d}$

Amplificadores Diferenciais

Grandes Sinais

$$\frac{v_{id}}{2} \ll V_{OV}$$

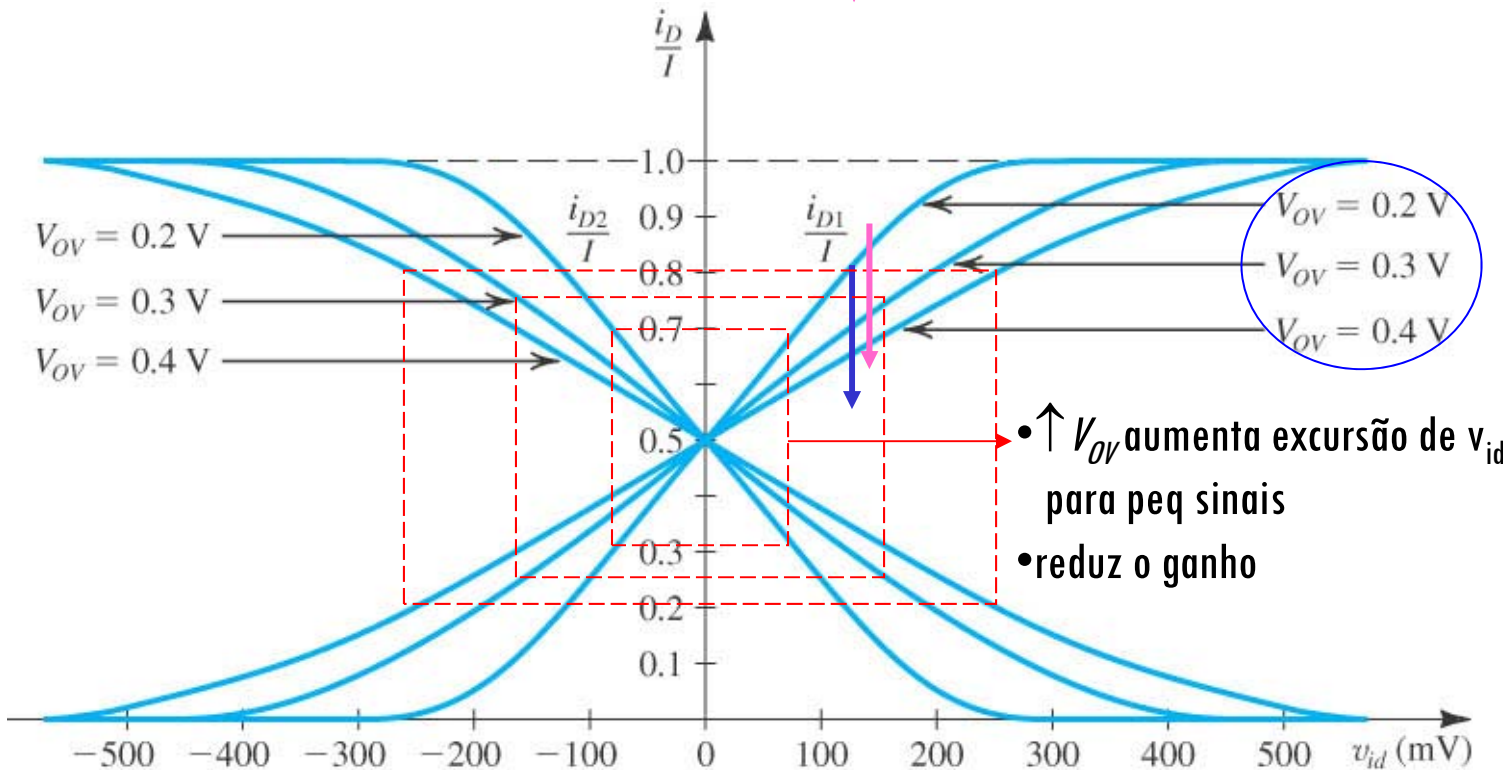
$$i_{D1} \cong \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$i_{D2} \cong \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = k'_n \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_t)$$

$$= 2I_D / V_{OV} (= \bar{V}_{GS} - V_t) = I / V_{OV}$$

$g_m \downarrow$

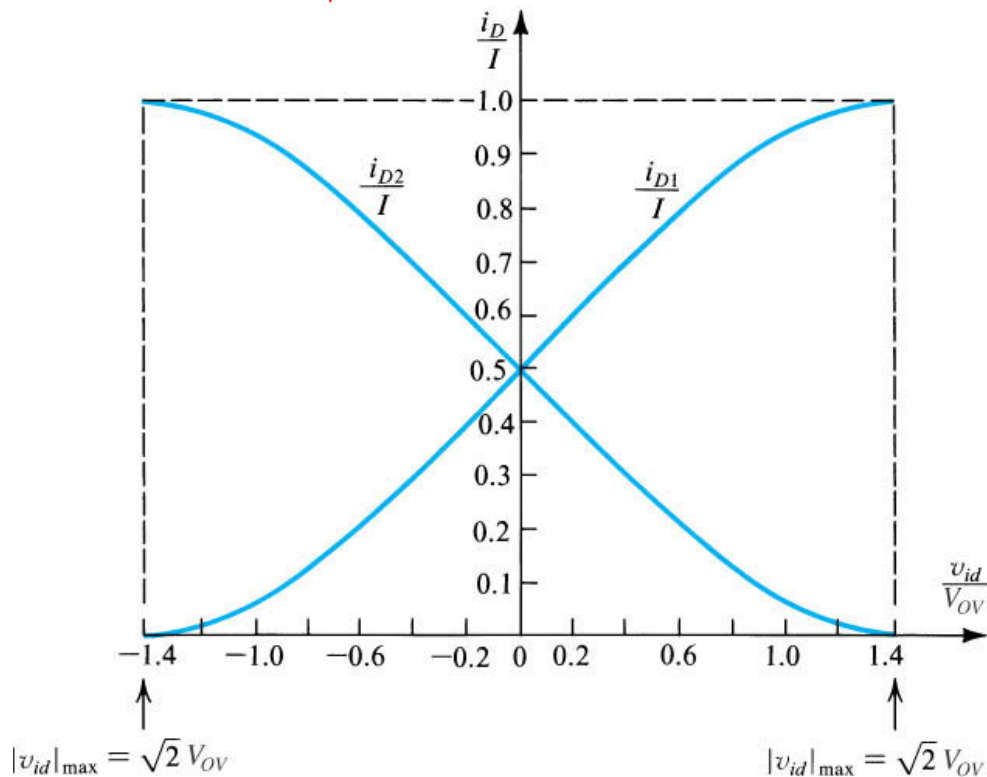


- $\uparrow V_{OV}$ aumenta excursão de v_{id} para peq sinais
- reduz o ganho

Amplificadores Diferenciais

Resumo

$$\frac{i_{D1}}{I} = \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{V_{OV}}\right)\left(\frac{v_{id}}{2}\right) \sqrt{1 - \left(\frac{v_{id}/2}{V_{OV}}\right)^2} \quad \frac{i_{D2}}{I} = \frac{1}{2} - \left(\frac{1}{V_{OV}}\right)\left(\frac{v_{id}}{2}\right) \sqrt{1 - \left(\frac{v_{id}/2}{V_{OV}}\right)^2}$$



$$\frac{v_{id}}{2} \ll V_{OV}$$

$$i_{D1} \cong \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}}\right)\left(\frac{v_{id}}{2}\right) i_d$$

$$i_{D2} \cong \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}}\right)\left(\frac{v_{id}}{2}\right)$$

$$i_d = \left(\frac{I}{V_{OV}}\right) \frac{v_{id}}{2}$$

$$g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = \frac{1}{2} k'_n \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{2I_D}{V_{OV}} = \frac{I}{V_{OV}}$$

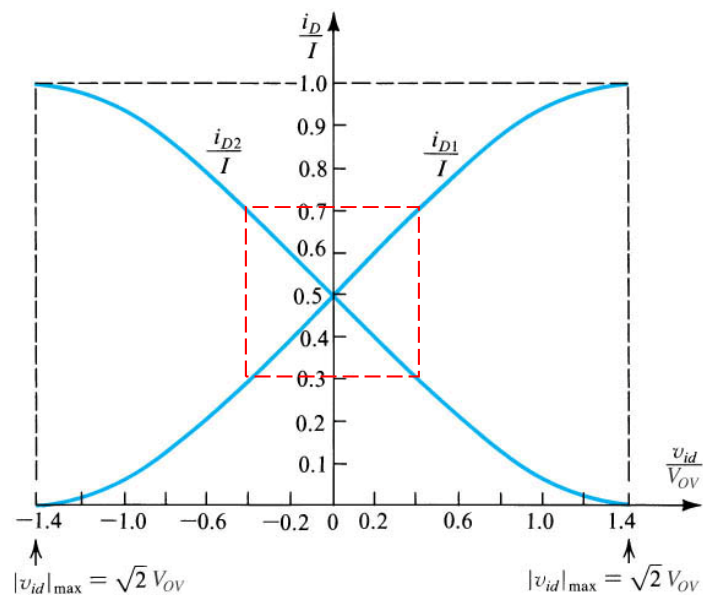
$$i_d = g_m \frac{v_{id}}{2}$$

limites extremos: $-\sqrt{2}(\bar{V}_{GS} - V_t) \leq v_{id} \leq \sqrt{2}(\bar{V}_{GS} - V_t)$

Grandes Sinais

$$\frac{i_{D1}}{I} = \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id}/2)^2}{V_{OV}^2}}$$

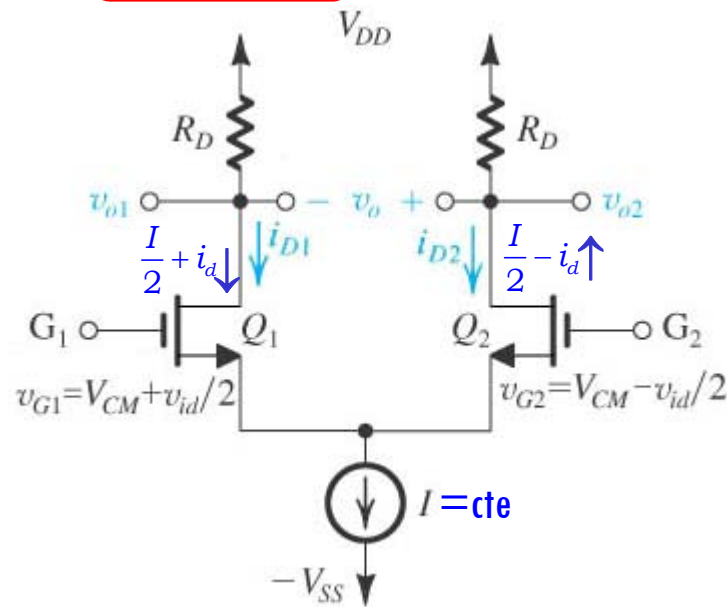
$$\frac{i_{D2}}{I} = \frac{1}{2} - \left(\frac{1}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id}/2)^2}{V_{OV}^2}}$$



Pequenos Sinais

$$i_{D1} \cong \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \quad i_{D2} \cong \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$\frac{v_{id}}{2} \ll V_{OV}$

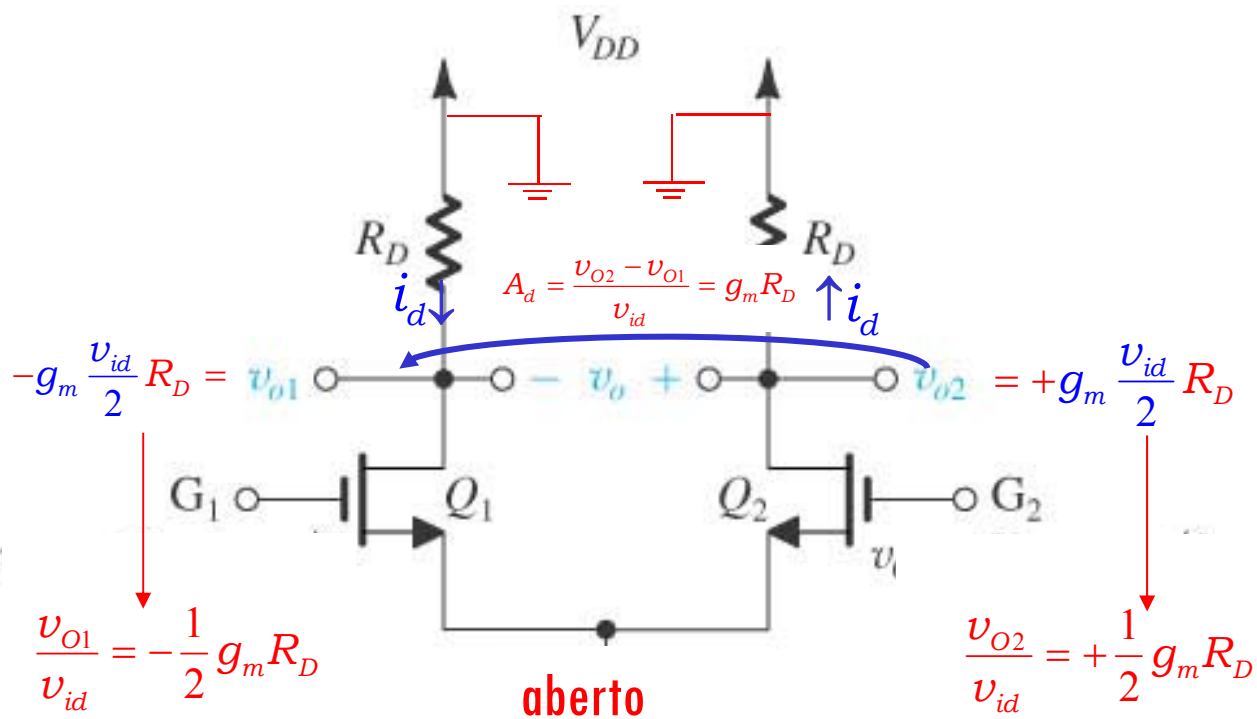


$$i_d = \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \frac{v_{id}}{2} \quad g_m = \frac{I}{V_{OV}}$$

$$i_d = g_m \frac{v_{id}}{2}$$

Amplificadores Diferenciais

Pequenos Sinais: Ganho Diferencial



Pequenos Sinais

$$\frac{v_{id}}{2} \ll V_{OV}$$

$$i_{D1} \cong \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$i_{D2} \cong \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = k'_n \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_t) = \frac{2I_D}{V_{OV}}$$

$$g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = \frac{2I_D}{V_{OV}} = \frac{2(I/2)}{V_{OV}} = \frac{I}{V_{OV}}$$

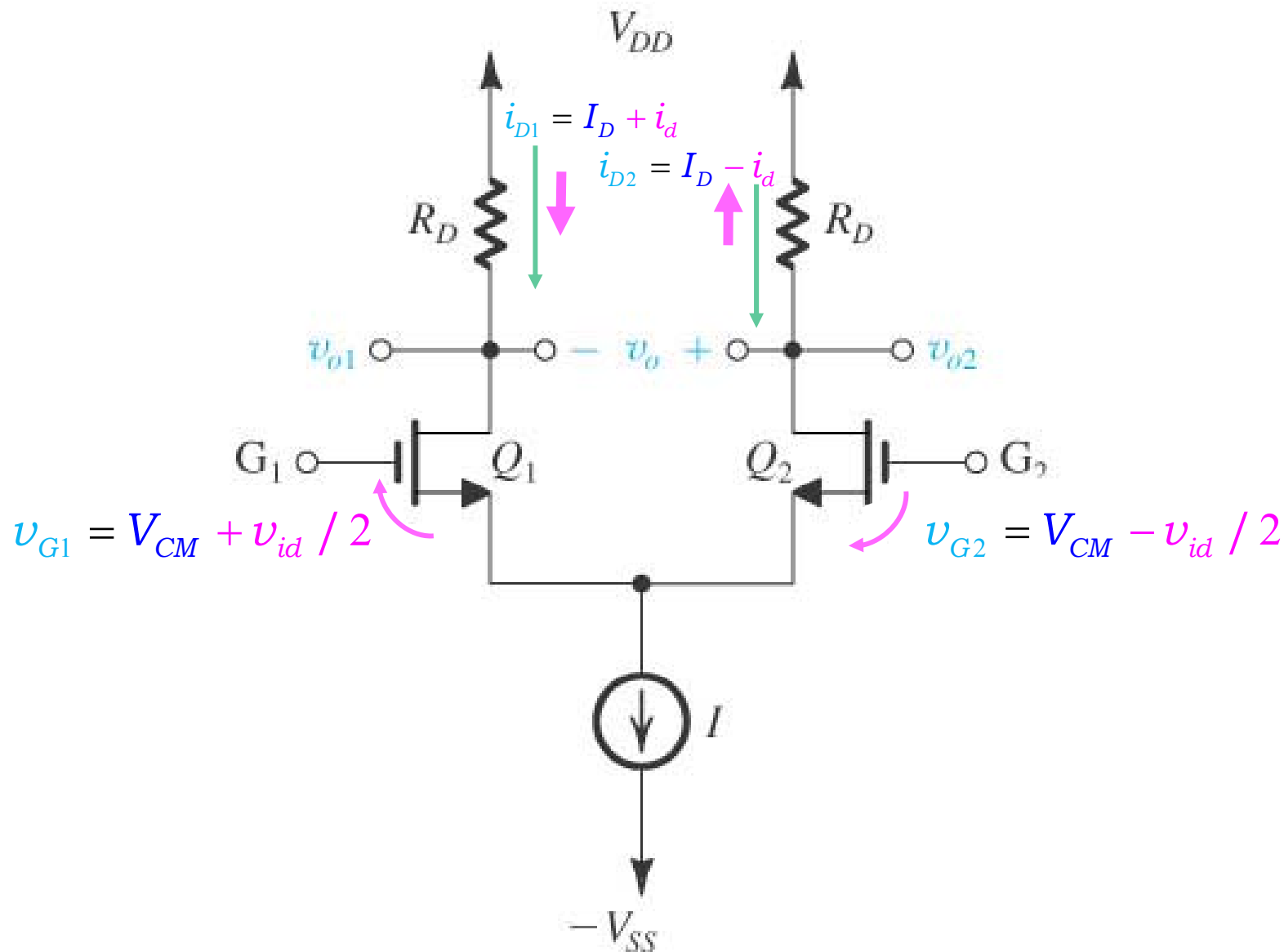
$$i_{D1} \cong \frac{I}{2} + g_m \left(\frac{v_{id}}{2} \right) i_d$$

$$i_{D2} \cong \frac{I}{2} - g_m \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$A_d = \frac{v_{O2} - v_{O1}}{v_{id}} = g_m R_D$$

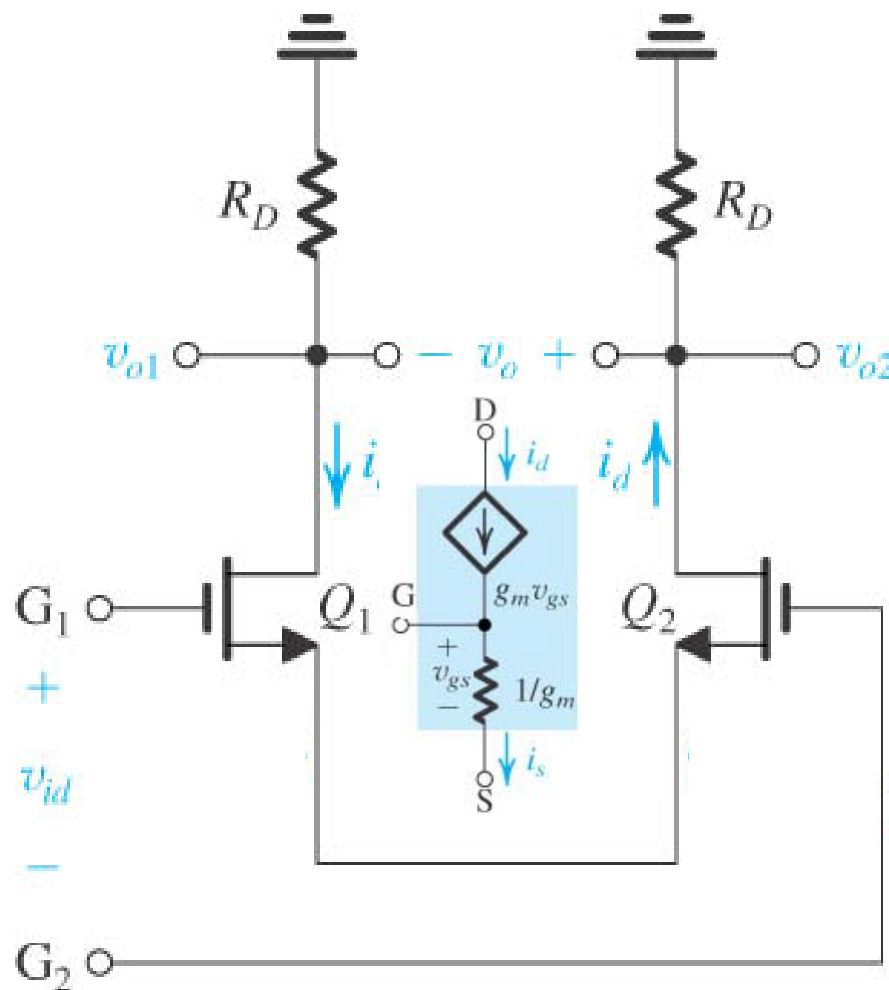
Amplificadores Diferenciais

Ganho Diferencial



Amplificadores Diferenciais

Ganho Diferencial – Dedução Alternativa



(c)

$$i_d = \frac{v_{id}}{2/g_m}$$

$$v_{o1} = -i_d R_D$$

$$v_{o2} = +i_d R_D$$

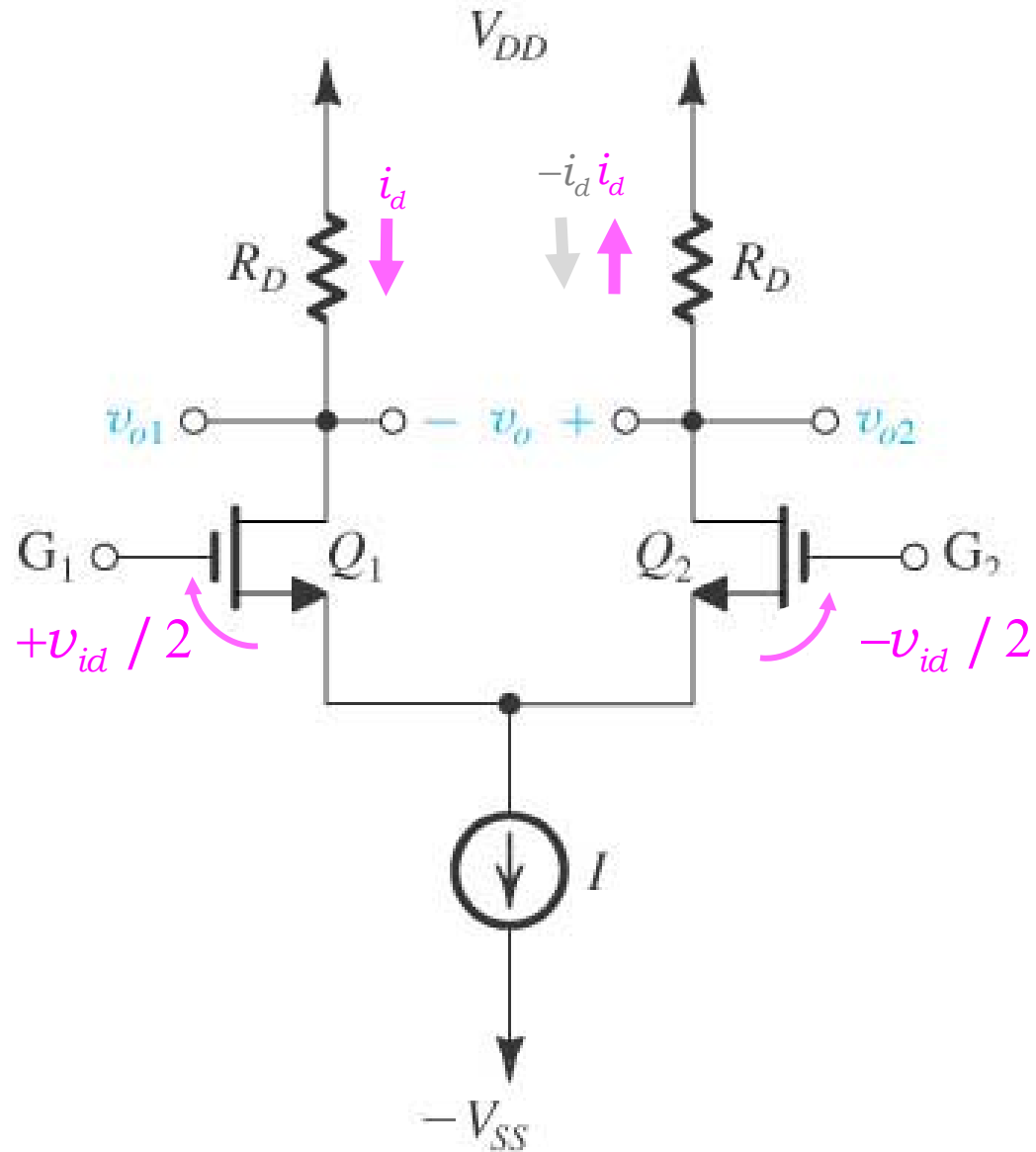
$$v_{o2} - v_{o1} = 2i_d R_D$$

$$v_o = 2 \cdot \frac{v_{id}}{2/g_m} \cdot R_D$$

$$\boxed{\frac{v_o}{v_{id}} = g_m R_D}$$

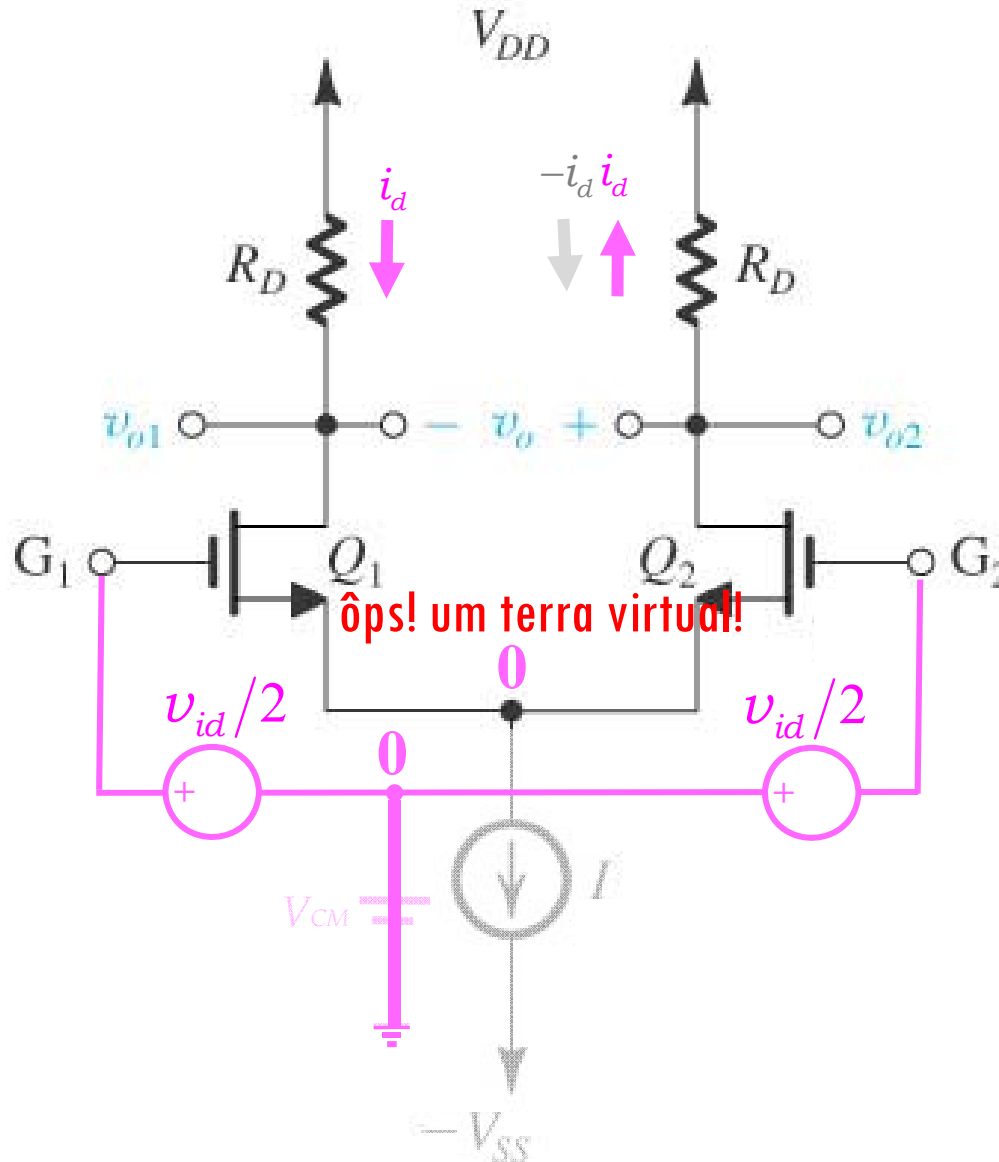
Amplificadores Diferenciais

Ganho Diferencial



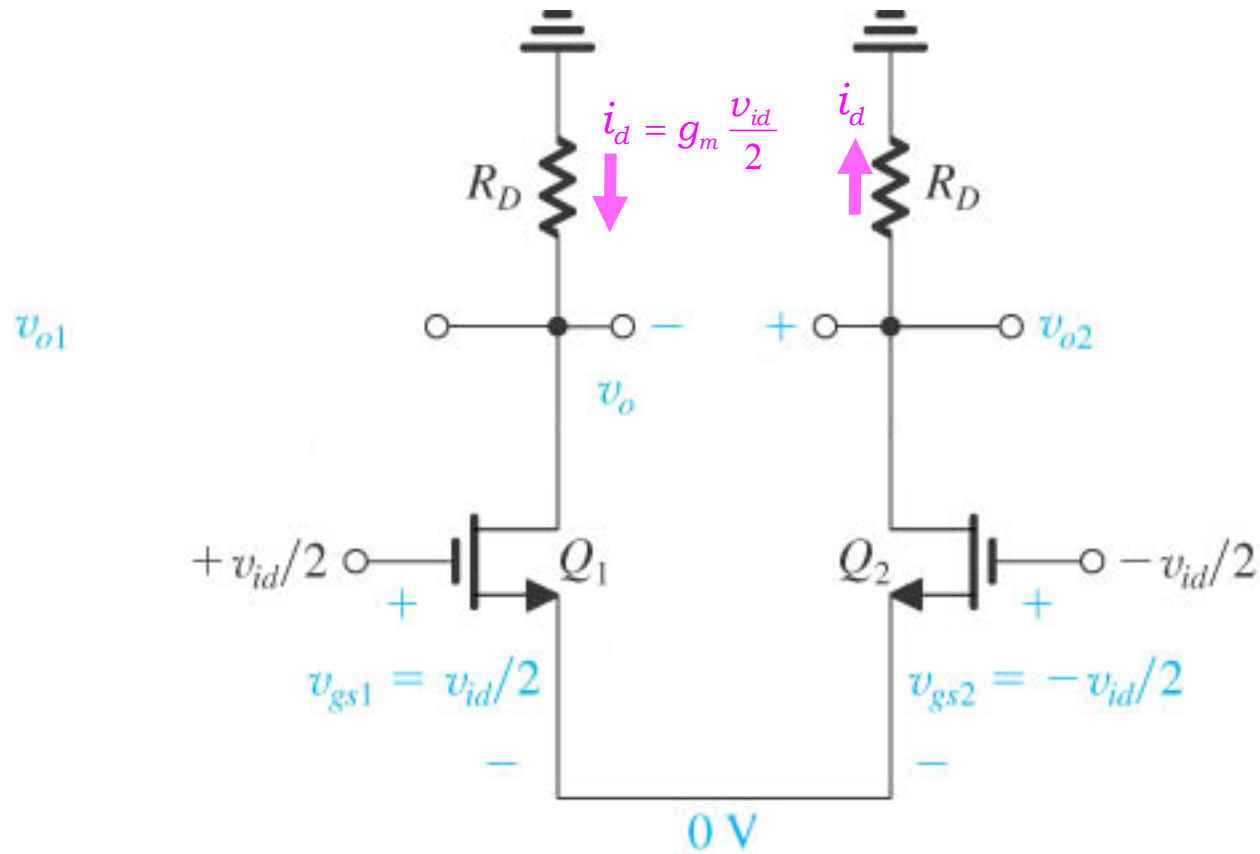
Amplificadores Diferenciais

Ganho Diferencial



Amplificadores Diferenciais

Ganho Diferencial



Amplificadores Diferenciais

Ganho Diferencial – Dedução Alternativa

Para Pequenos Sinais (v_{id} pequeno)

- $g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = k'_n \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_t)$

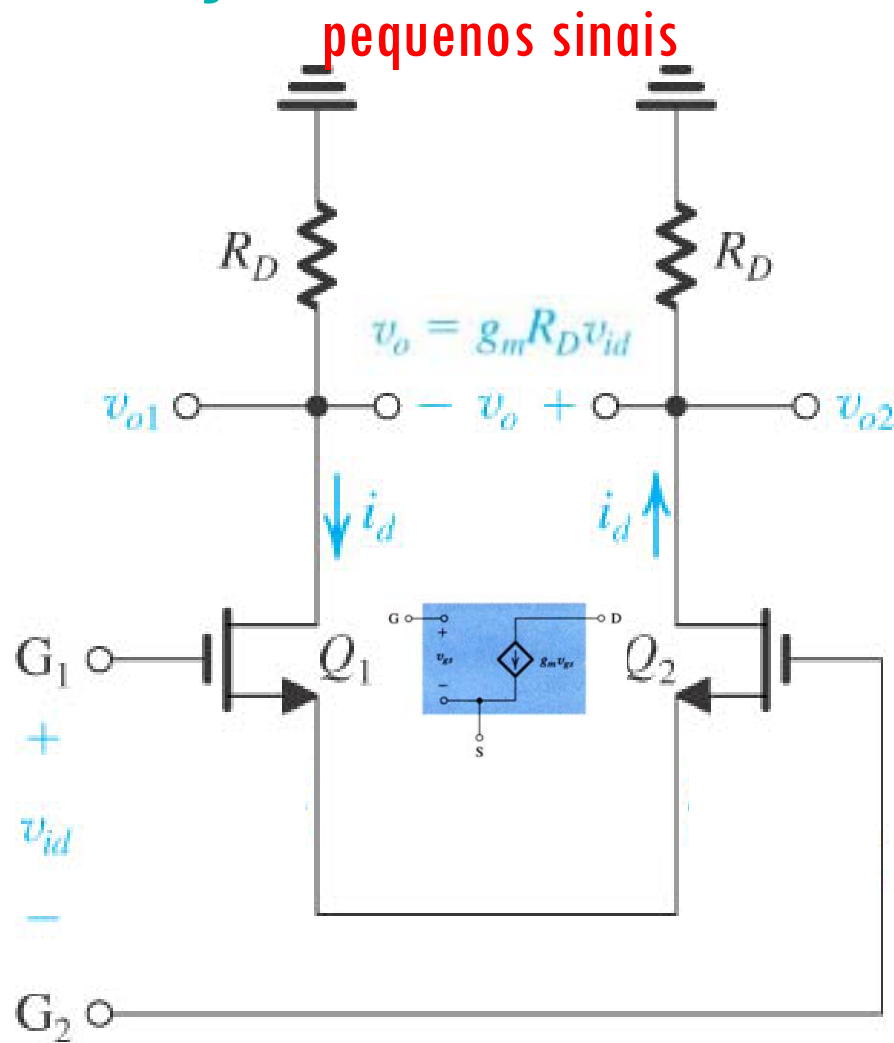
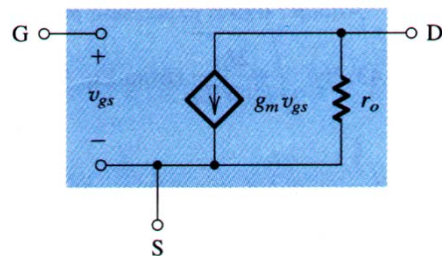
Outras maneiras de expressar g_m

- $g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_t}$ **Valores CC!!!**

- $g_m = \sqrt{2k'_n} \cdot \sqrt{\frac{W}{L}} \cdot \sqrt{I_D}$

$$r_o \cong \frac{V_A}{I_D}$$

Modelo para Pequenos Sinais



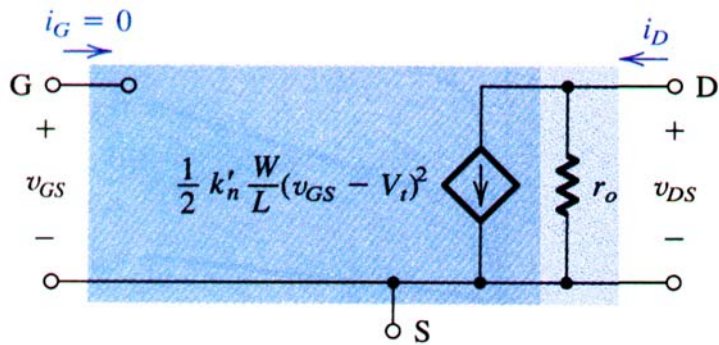
(c)

Amplificadores Diferenciais

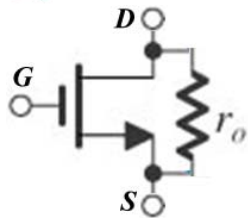
Efeito de r_o dos MOSFETs

No MOS considerando r_o :

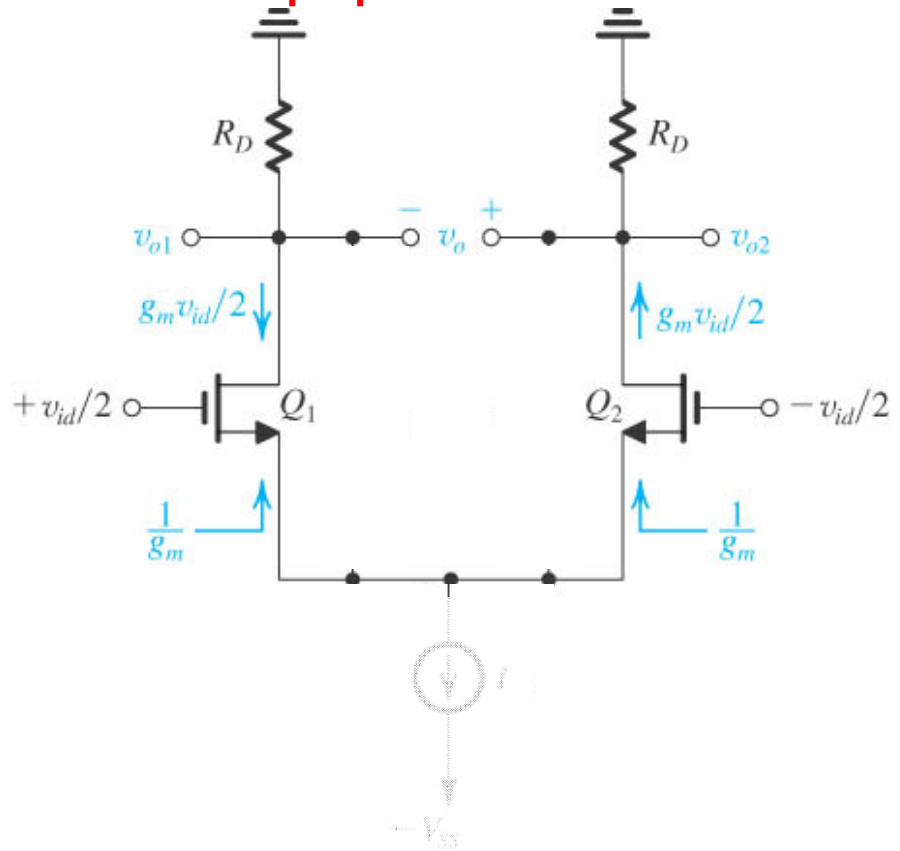
$$i_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (v_{GS} - V_t)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$



$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = \frac{1}{\lambda I_D}$$



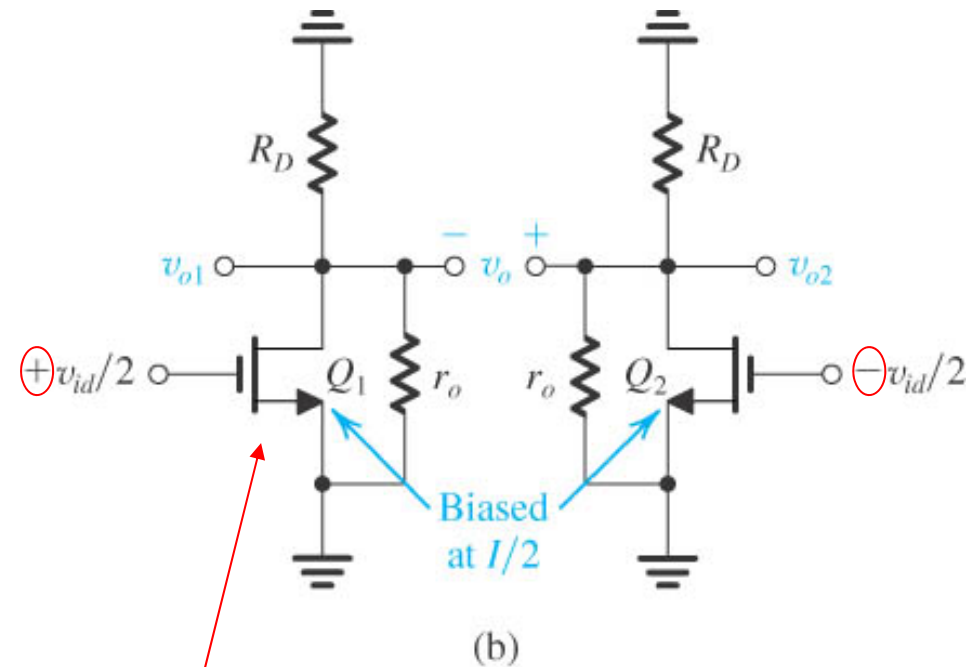
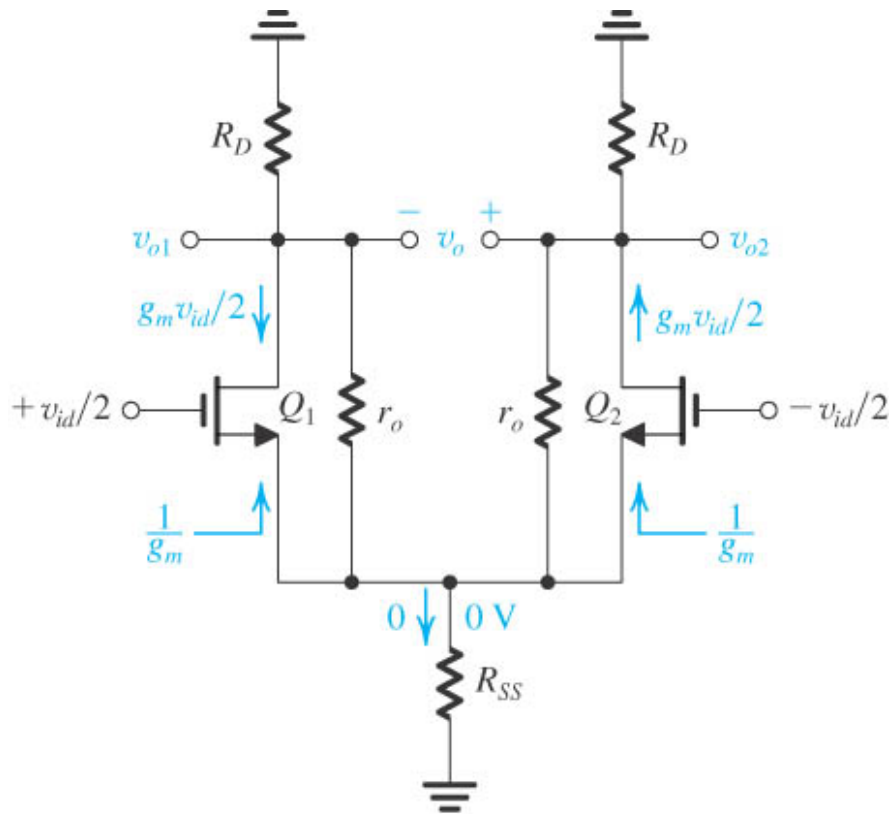
pequenos sinais



Amplificadores Diferenciais

Efeito de r_o dos MOSFETs

pequenos sinais



meio circuito diferencial!

$$v_{o1} = -g_m (R_D \parallel r_o) (v_{id} / 2)$$

$$v_{o2} = +g_m (R_D \parallel r_o) (v_{id} / 2)$$

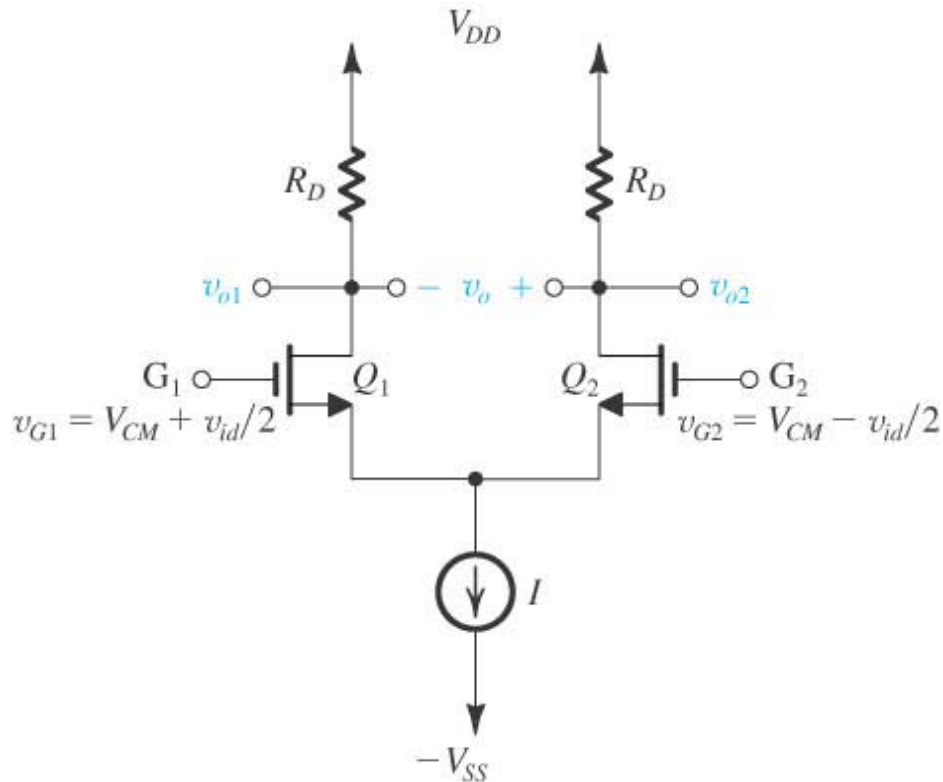
$$v_o = +g_m (R_D \parallel r_o) v_{id}$$

Amplificadores Diferenciais

Exercício 7.4

Exe 7.4: Um par diferencial MOS está operando com uma corrente total de 0,8mA, utilizando transistores com razão W/L de 100, $k_n' = 0,2 \text{ mA/V}^2$, $V_A = 20\text{V}$ e $R_D = 5\text{k}\Omega$.

Determine V_{OV} , g_m , r_o e A_d .



Está feito no vídeo!!!



CAPITULO 2

Amplificadores Operacionais

Aula 17

PSI 2306 –Eletrônica

Programação para a Segunda Prova

11 ^a	Encapsulamento do Amp Op, O Amp Op ideal, Análise de circuitos com Amp Ops ideais. Exemplo 2.2	Cap. 2 p. 38-46 (63-75)
12 ^a	Somador, Configuração não inversora, seguidor, amplificador de diferenças. Exercício 2.15	Sedra, Cap. 2 p. 46-53(75-85)
13 ^a	Amplificador de instrumentação, Funcionamento dos Amp Ops Não-Ideais. Exemplo 2.3 e 2.4	Sedra, Cap. 2 p. 53-59(85-93)
14 ^a	Operação dos Amp Ops em grande excursão de sinal, imperfeições cc, circuitos integrador e diferenciador Exemplo 2.6.	Sedra, Cap. 2 p. 59-73(94-113)
15 ^a	Fontes de corrente, espelhos de corrente e Circuitos guias de corrente. Exemplo 6.4. Exercício 6.8	Sedra, Cap. 6, p. 353-358 (562-571)
16 ^a	Amplificadores diferenciais com MOS: introdução, par diferencial, operação em pequenos sinais do par diferencial, ganho diferencial de tensão. Exercício 7.4	Sedra, Cap. 7 p. 429-436 (688-700)
17 ^a	ganho de modo comum, rejeição de modo comum. Exercício 7.5	Sedra, Cap. 7 p. 436-438 (700-704)
2^a. Semana de Provas		
Data:		

Amplificadores Diferenciais e Operacionais

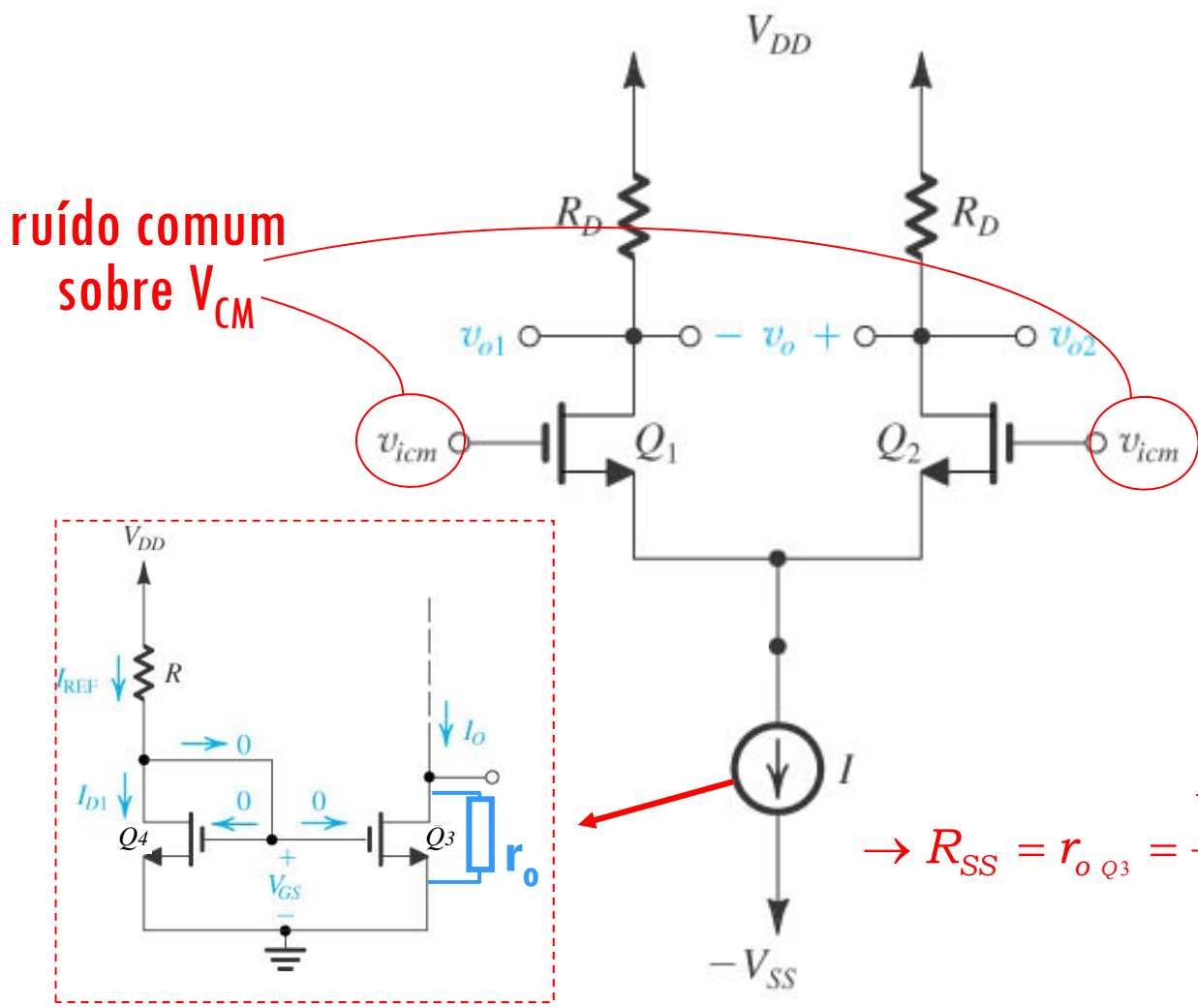
Ganho e Rejeição de Modo Comum

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- **Explicar analisar um par diferencial utilizando a técnica de separação em meios-circuitos**
- **Determinar o ganho de modo comum em amplificadores diferenciais**
- **Explicar as principais causas da existência de ganhos de modo comum não ideais (diferentes de zero)**

Circuitos Amplificadores Diferenciais

Ganho de Modo Comum e Relação de Rejeição de Modo Comum (CMRR)

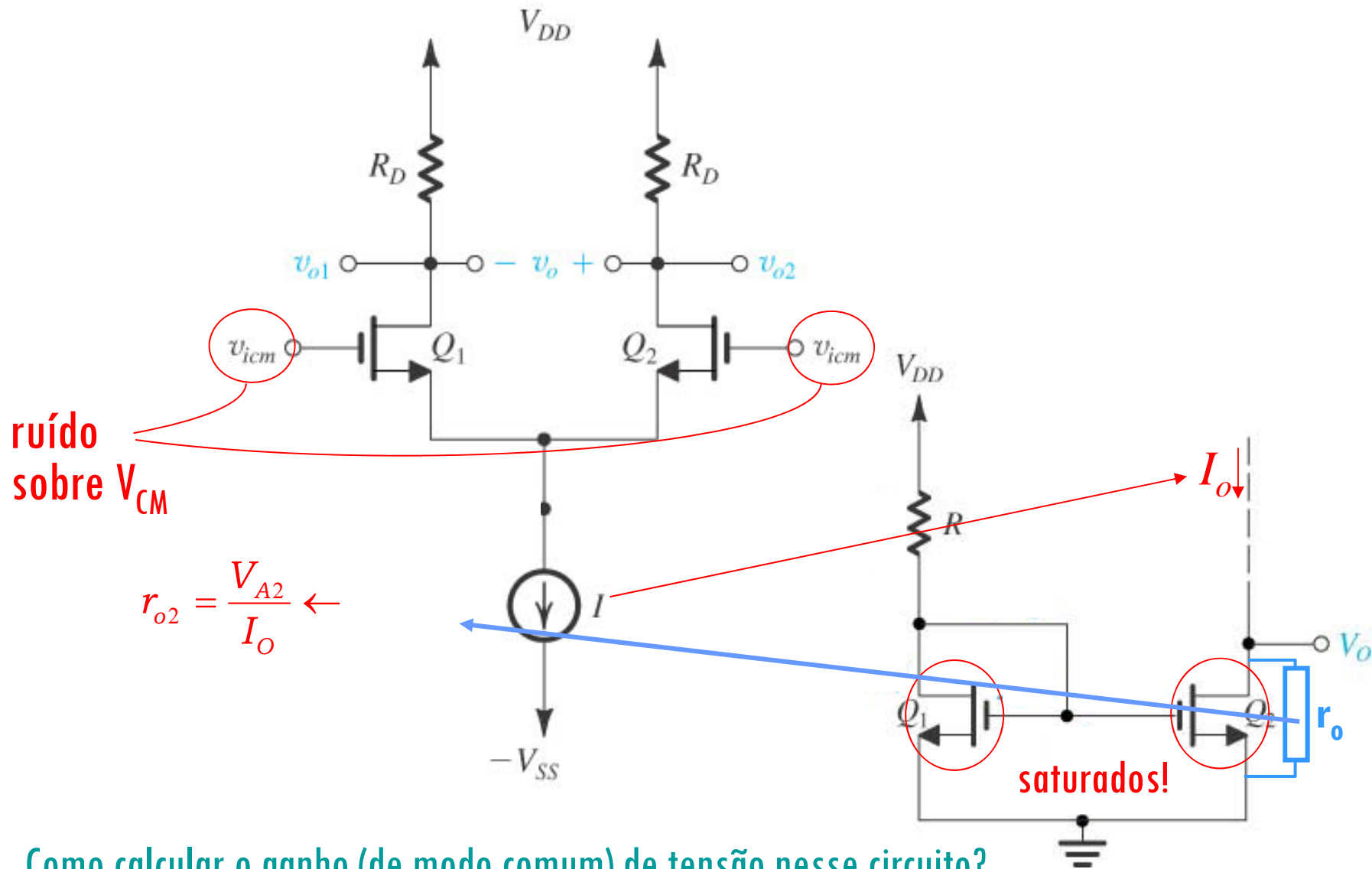


Como calcular o ganho (de modo comum) de tensão nesse circuito?
 Levar em conta as não idealidades! I , R_D e g_m !

$$A_{cm}^{do\ par\ dif} = \frac{v_{O2} - v_{O1}}{v_{icm}} = 0$$

Circuitos Amplificadores Diferenciais

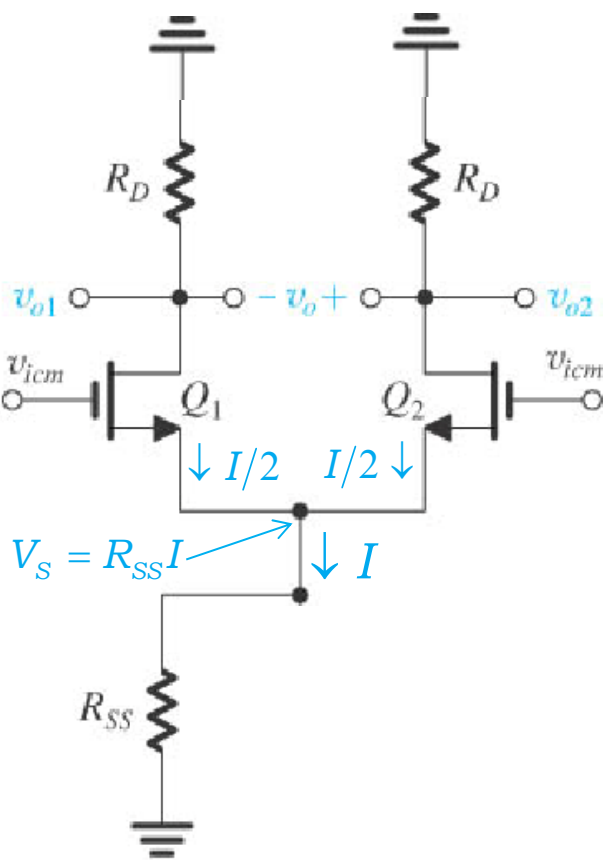
Ganho de Modo Comum e Relação de Rejeição de Modo Comum (CMRR)



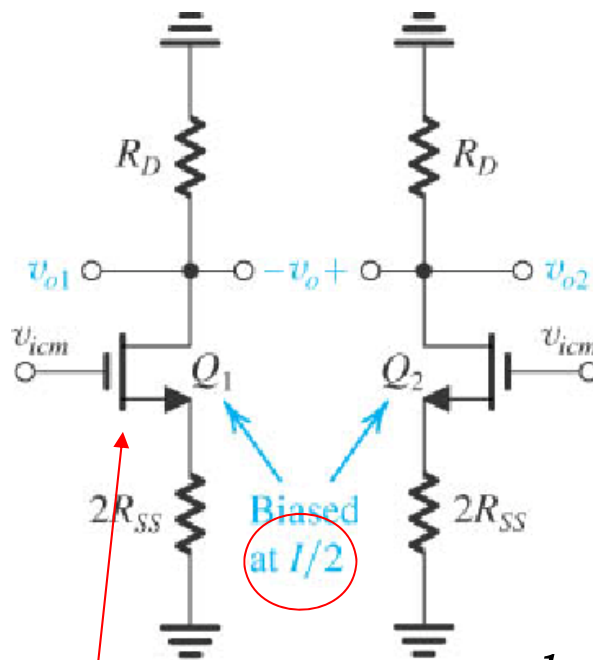
Como calcular o ganho (de modo comum) de tensão nesse circuito?
 Levando em conta as não idealidades! I , R_D e g_m

Circuitos Amplificadores Diferenciais

Ganho de Modo Comum e Relação de Rejeição de Modo Comum (CMRR) para a Saída entre Dreno Individual e Terra: Efeito de I não ideal



Circuito Equivalente:



“meio circuito” de modo comum!!
já vimos que:

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S}$$

$$\frac{v_{O1}}{v_{icm}} = \frac{v_{O2}}{v_{icm}} = -\frac{R_D}{\frac{1}{g_m} + 2R_{SS}}$$

Geralmente $R_{SS} \gg 1/g_m$

$$\therefore \frac{v_{O1}}{v_{icm}} = \frac{v_{O2}}{v_{icm}} = -\frac{R_D}{2R_{SS}}$$

$$A_{cm \text{ metade}} = -\frac{R_D}{2R_{SS}}$$

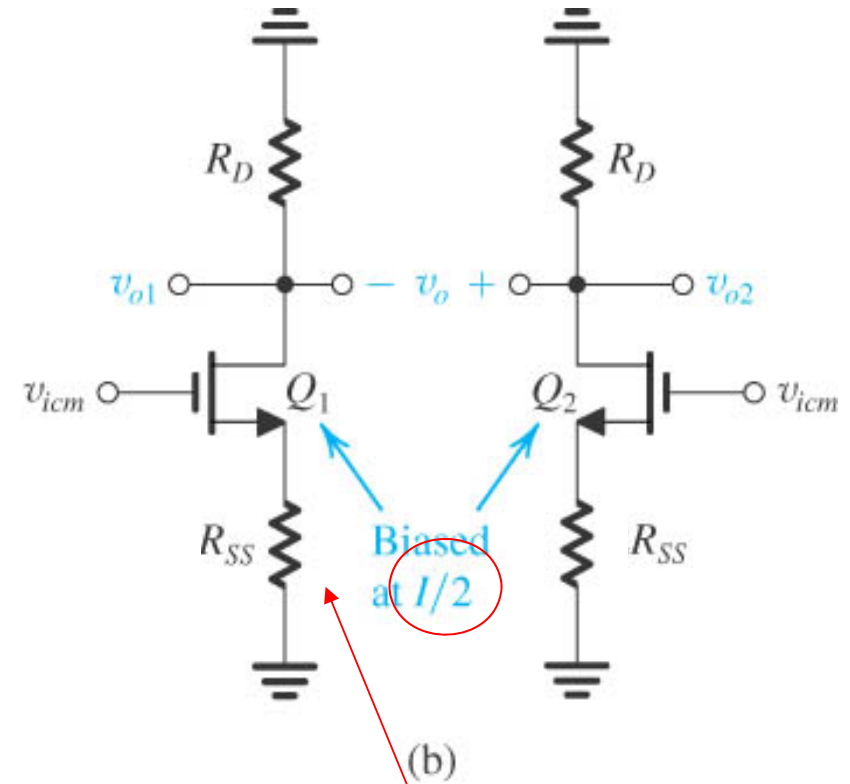
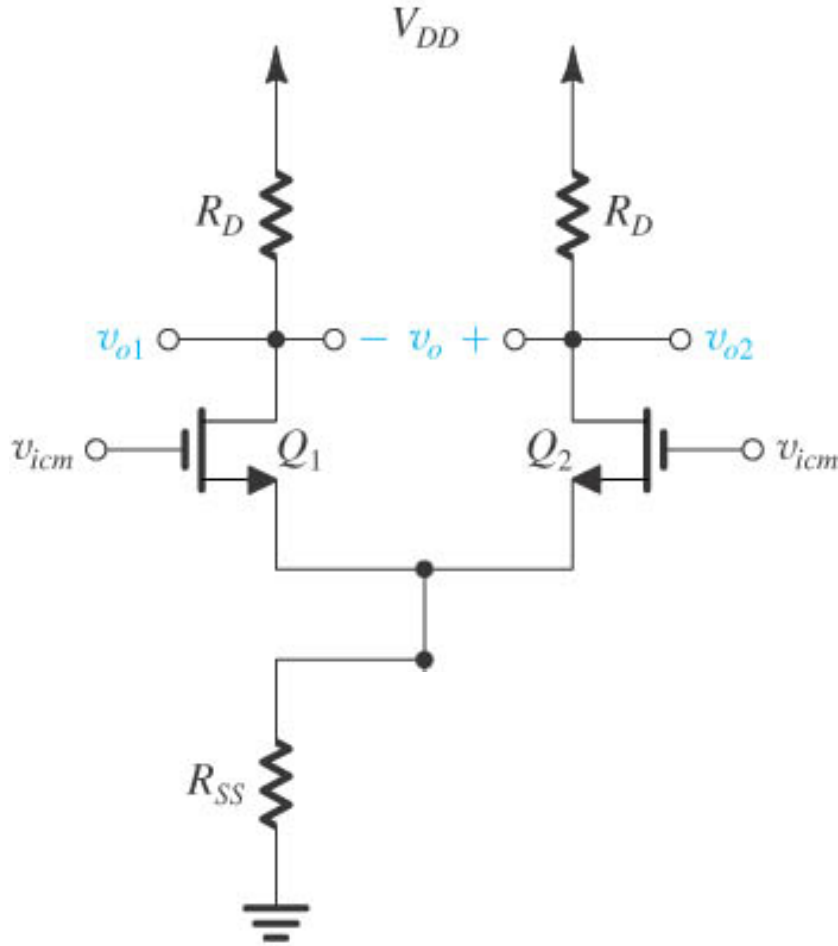
da aula passada $A_{id} \cong g_m R_D$

$$\therefore A_{id \text{ metade}} = \frac{1}{2} g_m R_D$$

$$\therefore CMRR \equiv \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = g_m R_{SS}$$

Circuitos Amplificadores Diferenciais

Ganho de Modo Comum e Relação de Rejeição de Modo Comum (CMRR) Efeito de I não ideal

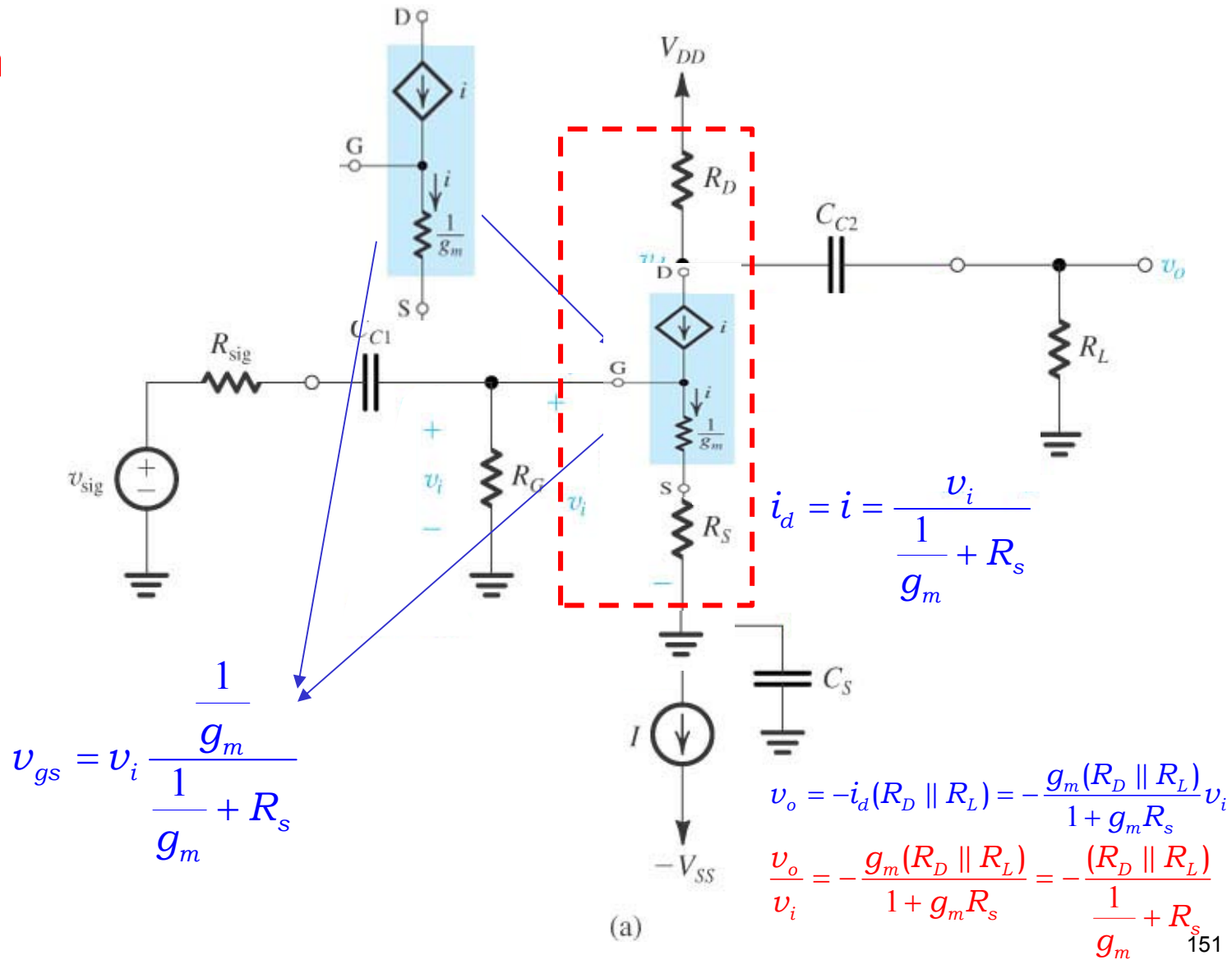
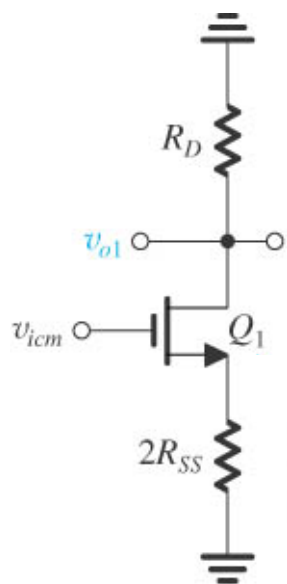


meio circuito de modo comum!!

Circuitos Amplificadores Diferenciais

Considerando R_{SS} : O Amplificador FC com Resistência de Fonte Efeito de I não ideal

meio circuito
de modo comum

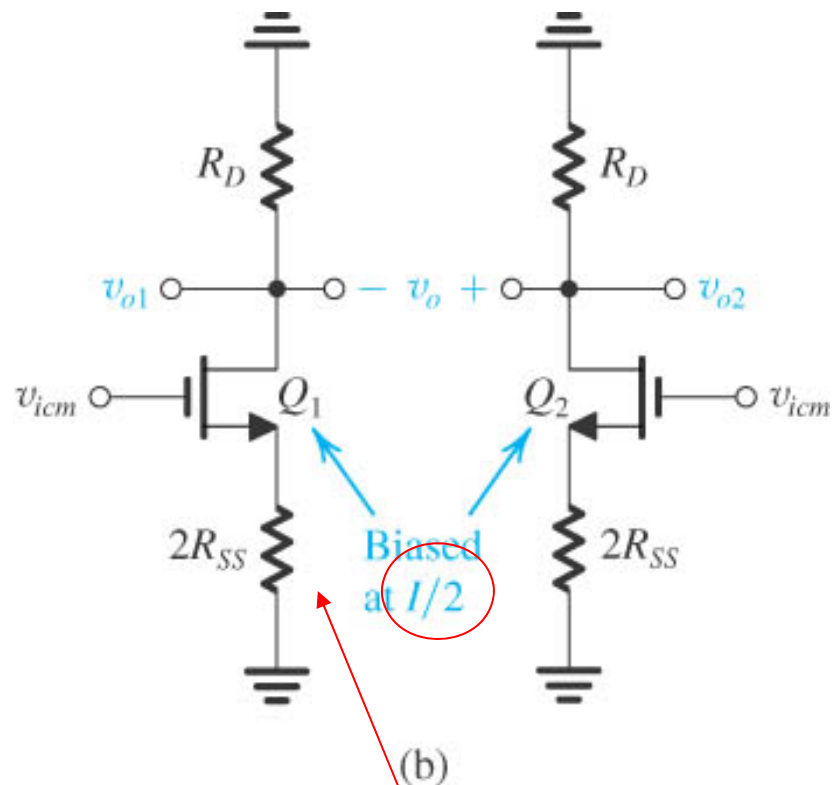


Circuitos Amplificadores Diferenciais

Ganho de Modo Comum e Relação de Rejeição de Modo Comum (CMRR)

Efeito de I não ideal considerando a Saída entre Dreno Individual e Terra (meio par diferencial)

Análise ca / pequenos sinais



Da comparação com Amp FC com R_s :

$$\frac{v_{O1}}{v_{icm}} = \frac{v_{O2}}{v_{icm}} = - \frac{R_D \parallel R_L}{\frac{1}{g_m} + 2R_{SS} (= R_S)}$$

Geralmente $R_{SS} \gg 1/g_m$

$$\therefore \frac{v_{O1}}{v_{icm}} = \frac{v_{O2}}{v_{icm}} = A_{cm \text{ meio-circuito}} = - \frac{R_D}{2R_{SS}}$$

Já vimos que (ganho A_d):

$$v_O = +g_m (R_D \parallel r_o) v_{id} \rightarrow A_d \cong g_m R_D$$

$$\therefore A_{d \text{ meio-circuito}} = \frac{1}{2} g_m R_D$$

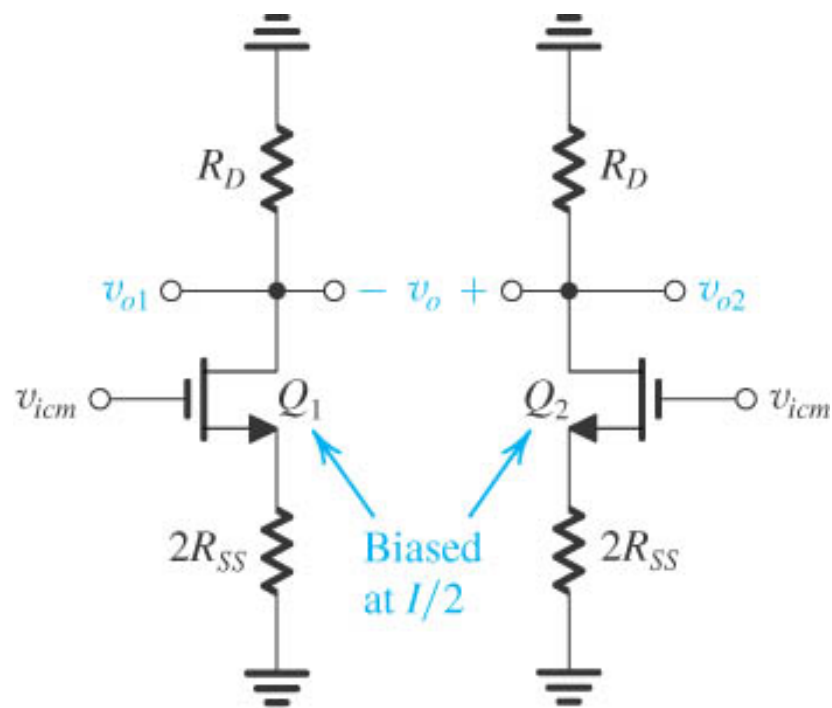
$$\therefore CMRR_{\text{meio-circuito}} \equiv \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = g_m R_{SS}$$

meio circuito de modo comum!!

Circuitos Amplificadores Diferenciais

Ganho de Modo Comum e Relação de Rejeição de Modo Comum (CMRR)

Para a Saída entre os Dois Drenos (par diferencial): Efeito de I não ideal



(b)

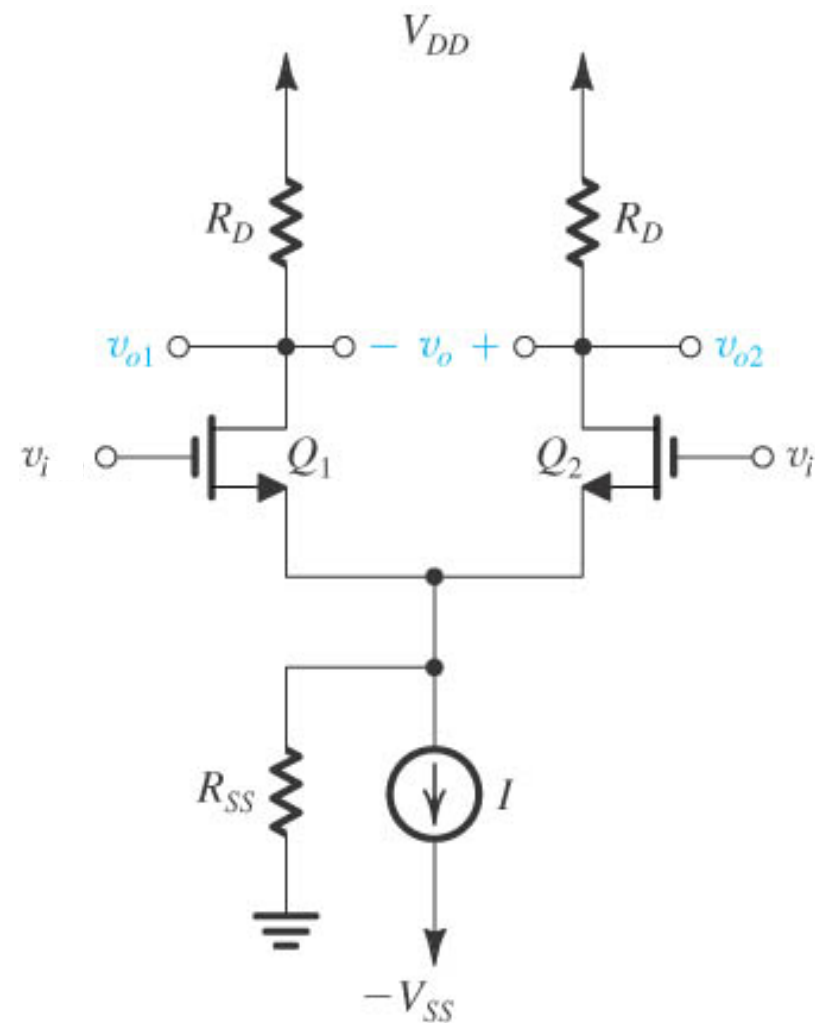
$$A_{cm}^{\text{do par dif}} = \frac{v_{O2} - v_{O1}}{v_{icm}} = 0$$

$$A_d^{\text{do par dif}} = \frac{v_{O2} - v_{O1}}{v_{id}} = g_m R_D$$

$$\therefore CMRR^{\text{do par diferencial se } I \text{ não ideal}} = \infty$$

Circuitos Amplificadores Diferenciais

Ganho de Modo Comum e Relação de Rejeição de Modo Comum (CMRR) Efeito de I não ideal



$$A_{cm, \text{meio-circuito}} = \frac{v_{O1}}{v_{icm}} = -\frac{R_D}{2R_{SS}}$$

$$A_{d, \text{meio-circuito}} = \frac{v_{O1}}{v_{id}} = \frac{1}{2} g_m R_D$$

$$CMRR_{\text{meio-circuito}} \equiv \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = g_m R_{SS}$$

$$A_{cm, \text{do par dif}} = \frac{v_{O2} - v_{O1}}{v_{icm}} = 0$$

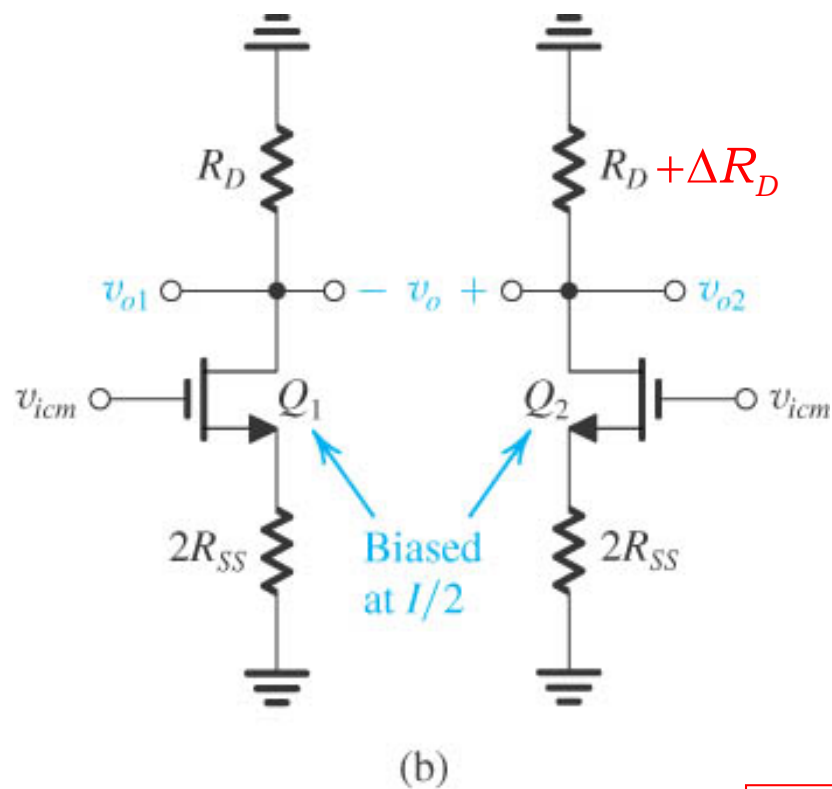
$$A_{d, \text{do par dif}} = \frac{v_{O2} - v_{O1}}{v_{id}} = g_m R_D$$

$$CMRR_{\text{do par diferencial se } I \text{ não ideal}} = \infty$$

Circuitos Amplificadores Diferenciais

Ganho de Modo Comum e Relação de Rejeição de Modo Comum (CMRR)

Efeito do descasamento de R_D : para a Saída entre os Dois Drenos (par diferencial)



Se $R_{SS} \gg 1/g_m$

$$v_{O1} = -\frac{R_D}{2R_{SS}} v_i \rightarrow v_{O1} = -\frac{R_D}{2R_{SS}} v_{icm}$$

$$v_{O2} = -\frac{R_D + \Delta R_D}{2R_{SS}} v_{icm}$$

$$A_{cm} = \frac{v_{O2} - v_{O1}}{v_{icm}} = -\frac{\Delta R_D}{2R_{SS}}$$

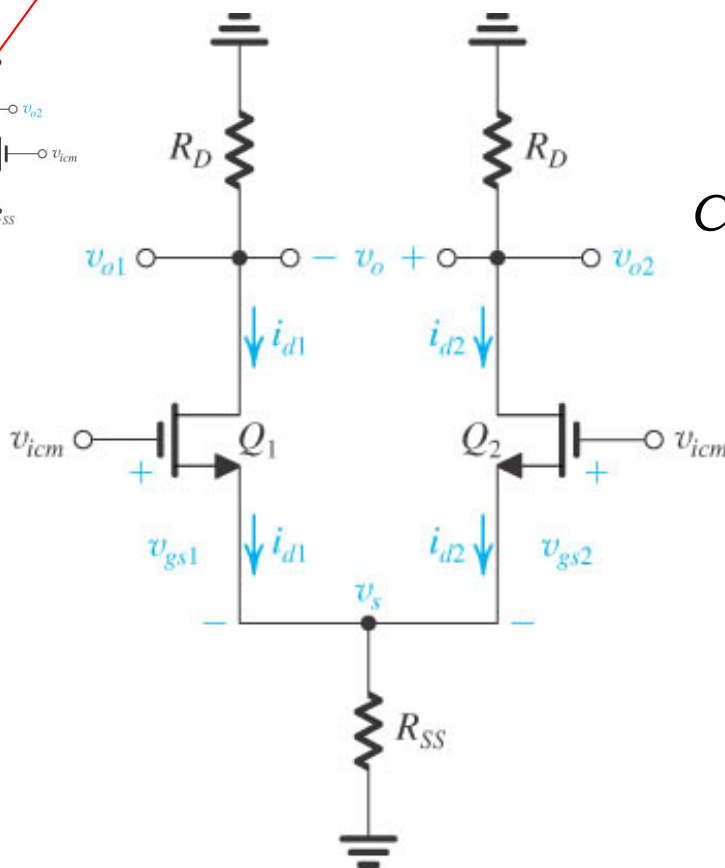
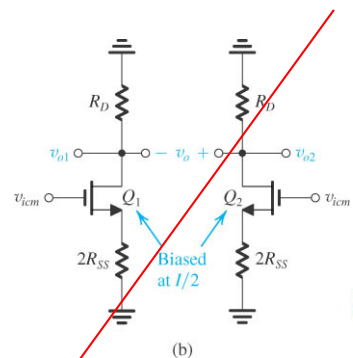
Considerando o efeito de ΔR_D desprezível em A_d :

$$A_d = \frac{v_{O2} - v_{O1}}{v_{id}} \cong -g_m R_D$$

$$\therefore CMRR_{\text{do par diferencial se há } \Delta R_D} = \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = \frac{(2g_m R_{SS})}{\frac{\Delta R_D}{R_D}}$$

Circuitos Amplificadores Diferenciais

Ganho de Modo Comum e Relação de Rejeição de Modo Comum (CMRR)
 Efeito do descasamento de g_m : para a Saída entre os Dois Drenos (par diferencial)



$$i_{d1} = g_{m1} v_{gs} \rightarrow \frac{i_{d1}}{i_{d2}} = \frac{g_{m1}}{g_{m2}}$$

$$i_{d2} = g_{m2} v_{gs}$$

Como $v_s = (i_{d1} + i_{d2})R_{SS} \rightarrow i_{d1} + i_{d2} = \frac{v_s}{R_{SS}}$

Como Q_1 e Q_2 seguidores
 e $R_{SS} \gg 1/g_m$:

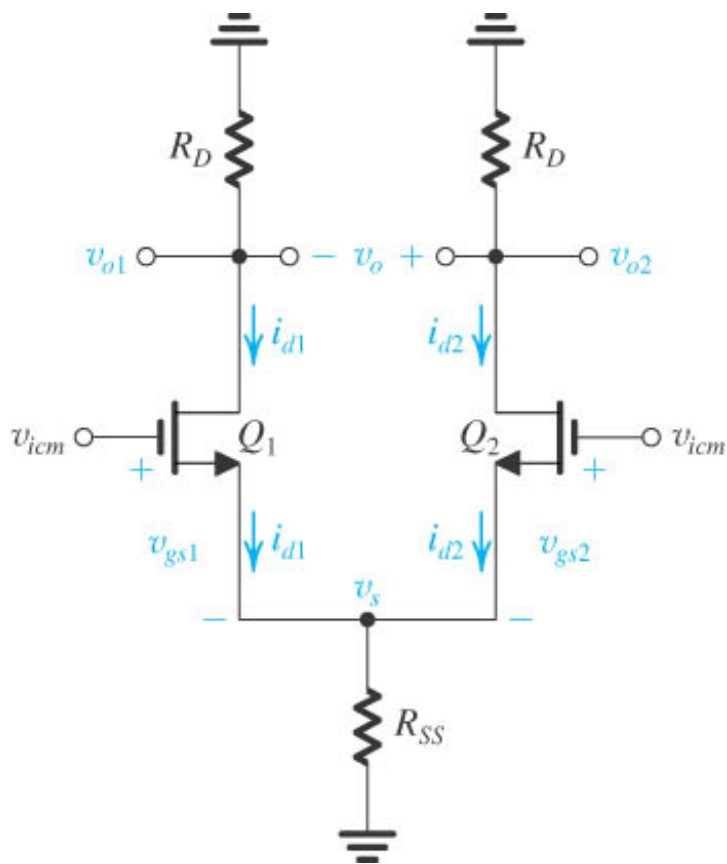
$$v_s \cong v_{icm} \rightarrow i_{d1} + i_{d2} \cong \frac{v_{icm}}{R_{SS}}$$

$$i_{d1} = \frac{g_{m1} v_{icm}}{(g_{m1} + g_{m2}) R_{SS}}$$

$$i_{d2} = \frac{g_{m2} v_{icm}}{(g_{m1} + g_{m2}) R_{SS}}$$

Circuitos Amplificadores Diferenciais

Ganho de Modo Comum e Relação de Rejeição de Modo Comum (CMRR)
 Efeito do descasamento de g_m : para a Saída entre os Dois Drenos (par diferencial)



$$i_{d1} = \frac{g_{m1} v_{icm}}{(g_{m1} + g_{m2}) R_{SS}} \rightarrow \begin{cases} \text{se } g_{m1} - g_{m2} = \Delta g_m \\ \text{e } g_{m1} + g_{m2} = 2g_m \end{cases}$$

$$i_{d2} = \frac{g_{m2} v_{icm}}{(g_{m1} + g_{m2}) R_{SS}}$$

$$i_{d1} = \frac{g_{m1} v_{icm}}{2g_m R_{SS}} \quad \text{e} \quad i_{d2} = \frac{g_{m2} v_{icm}}{2g_m R_{SS}}$$

$$v_{O2} - v_{O1} = -i_{d2} R_D + i_{d1} R_D = R_D \frac{\Delta g_m v_{icm}}{2g_m R_{SS}}$$

$$A_{cm} = \left(\frac{R_D}{2R_{SS}} \right) \left(\frac{\Delta g_m}{g_m} \right) \quad \text{e} \quad A_d \cong -g_m R_D$$

$$\therefore CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = 20 \log \left[\frac{(2g_m R_{SS})}{\frac{\Delta g_m}{g_m}} \right]$$