

Capítulo 9

Aula 28: O Amplificador MOSFET

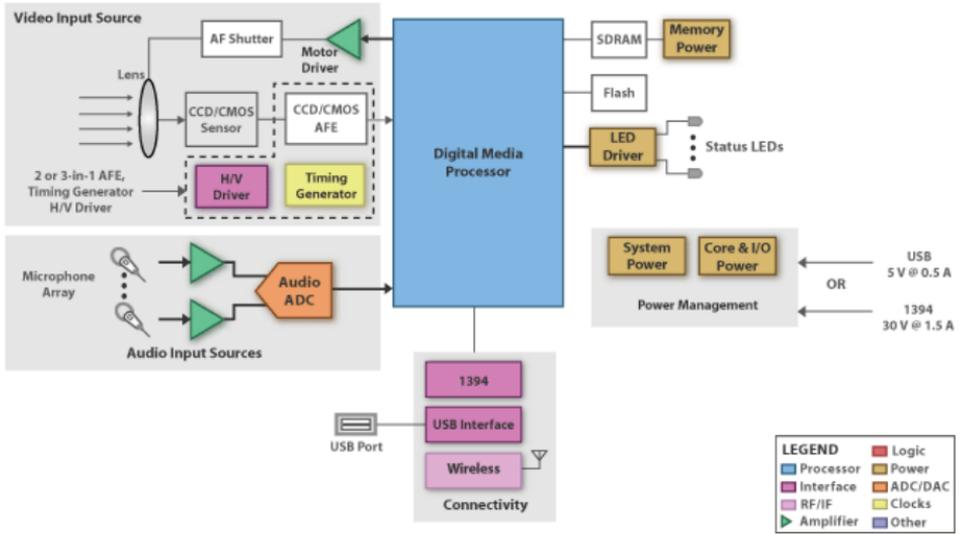
106

PSI3262: Fundamentos de Circuitos Eletrônicos Digitais e Analógicos

Aula(s)	Data(s)	Assunto	Capítulo
17	06/10/2015	Transientes de primeira ordem em circuitos lineares	10
18	07/10/2015		
19	13/10/2015		
20	14/10/2015	Transientes em circuitos de segunda ordem	12
21	20/10/2015		
22	21/10/2015		
23	27/10/2015	Energia e potência em circuitos em regime permanente senoidal	Cap. 10 de [4]
24	03/11/2015		
25	04/11/2015		
26	10/11/2015	Elementos de Armazenamento de Energia e Potência em Circuitos Digitais	9
27	11/11/2015		
28	17/11/2015	O amplificador MOSFET	7 e 8
29	18/11/2015		
30	24/11/2015	A abstração do amplificador operacional	15
31	25/11/2015	Prova 2	

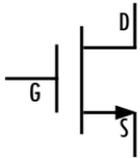
107

Um circuito eletrônico moderno



Relembrando as leis do MOSFET

Leis do Transistor (N)MOSFET



$$V_{GS} < V_T$$

C
O
R
T
E

$$\begin{aligned} & \text{Se } V_{GS} < V_T \\ & I_G = I_D = I_S = 0 \end{aligned}$$

lei ①

$$V_{GS} > V_T$$

T
R
I
D
O

$$\begin{aligned} & \text{Se } V_{GS} > V_T \text{ e } \\ & V_{DS} < V_{GS} - V_T \end{aligned} \quad \begin{cases} I_G \approx 0 \\ I_D = k'_n \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \end{cases}$$

lei ②

S
R
A
C
A
O

$$\begin{aligned} & \text{Se } V_{GS} > V_T \text{ e } \\ & V_{DS} > V_{GS} - V_T \end{aligned} \quad \begin{cases} I_G \approx 0 \\ I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_T)^2}{2} \end{cases}$$

lei ③

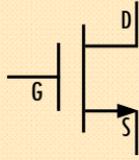
Relembrando as leis do MOSFET

Leis do Transistor (N)MOSFET

CORTE

lei ①

$$\begin{aligned} & \text{Se } V_{GS} < V_T \\ & I_G = I_D = I_S = 0 \end{aligned}$$



TRÍODO

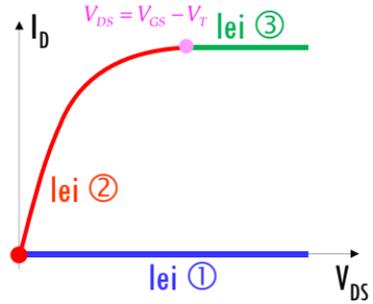
lei ②

$$\begin{aligned} & \text{Se } V_{GS} > V_T \text{ e } V_{DS} < V_{GS} - V_T \\ & \begin{cases} I_G \approx 0 \\ I_D = k'_n \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \end{cases} \end{aligned}$$

SACÇÃO

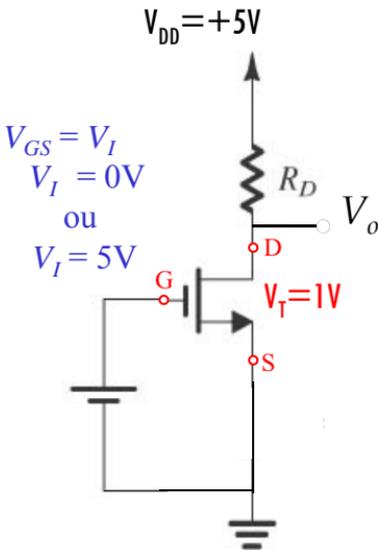
lei ③

$$\begin{aligned} & \text{Se } V_{GS} > V_T \text{ e } V_{DS} > V_{GS} - V_T \\ & \begin{cases} I_G \approx 0 \\ I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_T)^2}{2} \end{cases} \end{aligned}$$



Já vimos: Exercício 4 Revisitado: O que acontece se V_I for 0V? E se for 5V?

Leis do Transistor FET ($V_T = 1V$)



CORTE

$$\begin{aligned} & \text{Se } V_{GS} < V_T \\ & I_G = I_D = I_S = 0 \end{aligned}$$

$$V_{GS} = 0V$$

TRÍODO

$$\begin{aligned} & \text{Se } V_{GS} > V_T \text{ e } V_{DS} < V_{GS} - V_T \\ & \begin{cases} I_G \approx 0 \\ I_D = k'_n \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \end{cases} \end{aligned}$$

$$V_{GS} = 5V$$

SACÇÃO

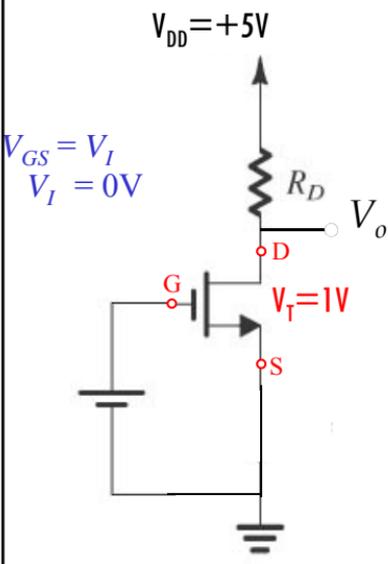
$$\begin{aligned} & \text{Se } V_{GS} > V_T \text{ e } V_{DS} > V_{GS} - V_T \\ & \begin{cases} I_G \approx 0 \\ I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_T)^2}{2} \end{cases} \end{aligned}$$

Já vimos: Exercício 4 Revisitado: O que acontece se V_I for 0V? E se for 5V?

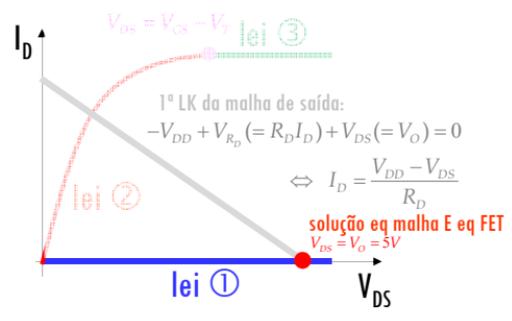
Leis do Transistor FET ($V_T = 1V$)

C
O
R
T
E

Se $V_{GS} < V_T$
 $I_G = I_D = I_S = 0$



$V_{GS} = 0V$



Já vimos: Exercício 4 Revisitado: O que acontece se V_I for 0V? E se for 5V?

Leis do Transistor FET ($V_T = 1V$)

T
R
I
O
D
O

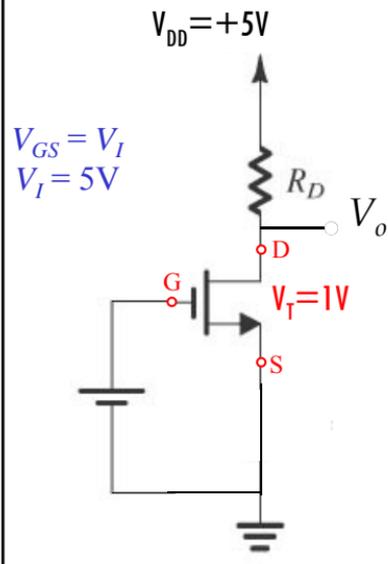
S
R
A
C
T
U
O

Se $V_{GS} > V_T$ e $V_{DS} < V_{GS} - V_T$
 $I_G \approx 0$

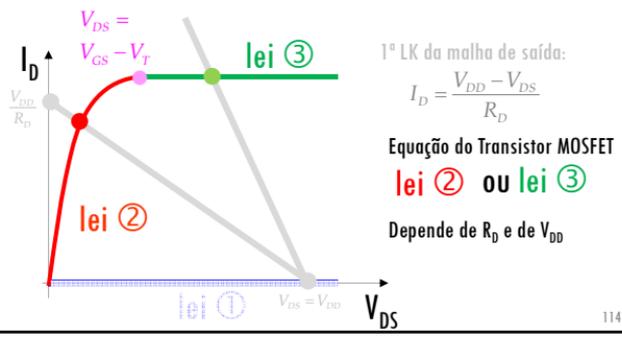
$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

Se $V_{GS} > V_T$ e $V_{DS} > V_{GS} - V_T$
 $I_G \approx 0$

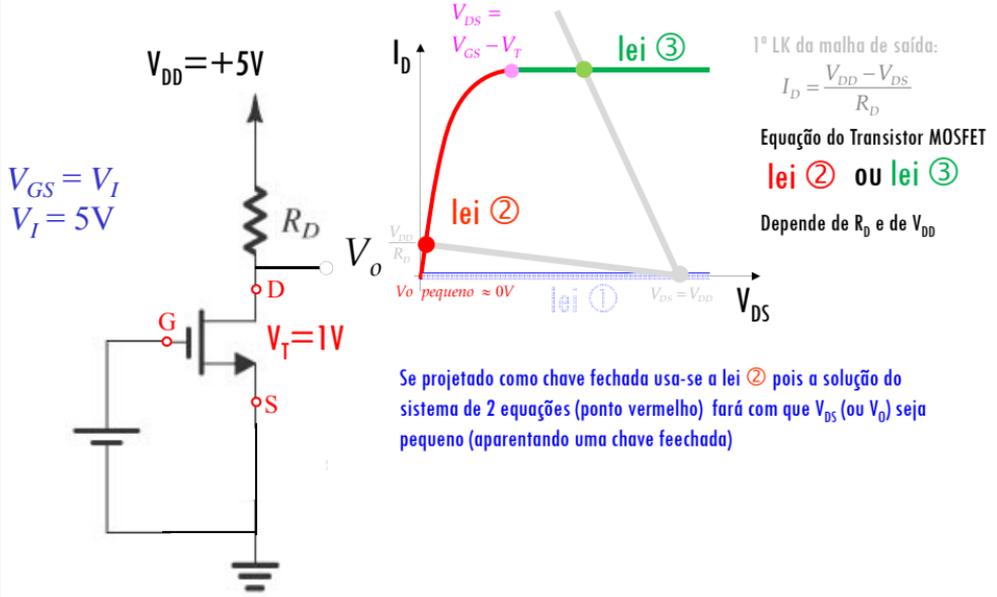
$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_T)^2}{2}$$



$V_{GS} = 5V$

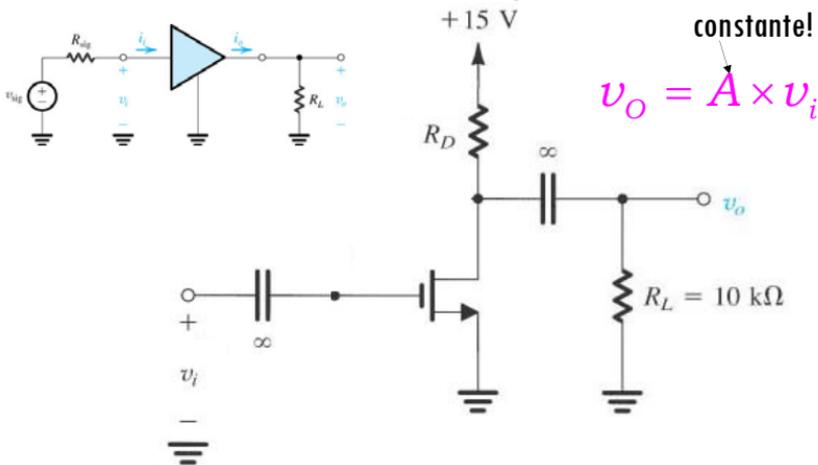


Já vimos: Exercício 4 Revisitado: O que acontece se V_I for 0V? E se for 5V?



E se na lei ③?

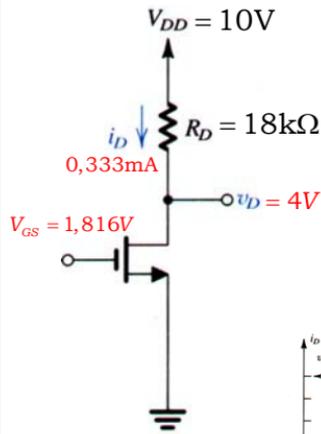
Um Circuito Amplificador



A = Ganho de Tensão

Um Circuito Amplificador com MOSFET

(se na lei ③, região de saturação)



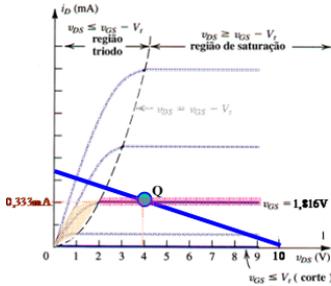
● Aplicando a lei das malhas:

$$V_{DD} = R_D \cdot I_D + V_{DS}$$

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D} \quad (1)$$

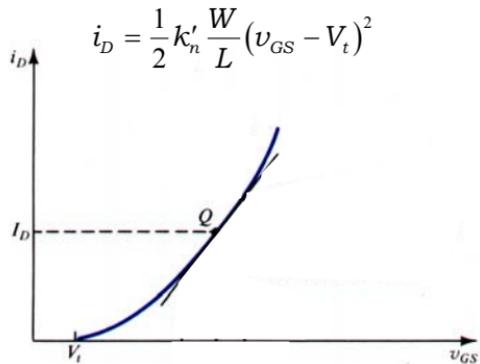
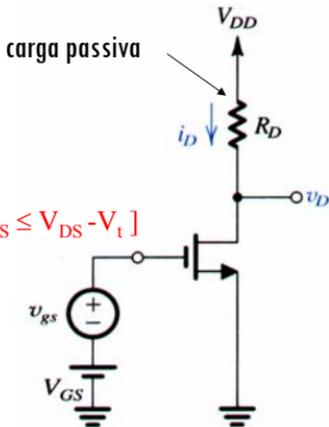
● Aplicando a lei do MOSFET na saturação ou triodo:

$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_t)^2}{2} \quad (2)$$



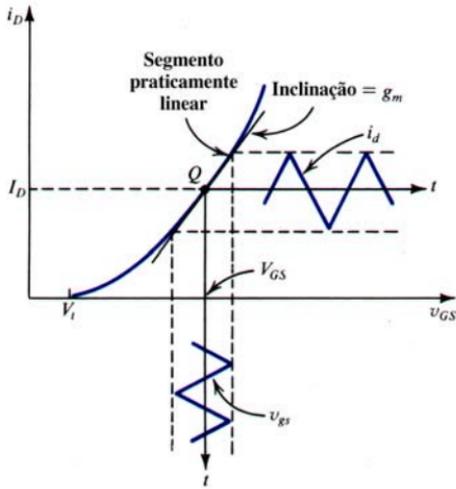
Note que: Um aumento em V_{GS} causa um aumento em I_D . Se tivermos um aumento linearmente proporcional teremos um amplificador!

Até onde a relação $i_D \times v_{GS}$ é linear
(ganho de tensão constante?)
(mesma pergunta e um outro olhar)



Até onde a relação $i_D \times v_{GS}$ é linear?

(mesma pergunta e um outro olhar)



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

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_{v_{GS}=V_{GS}}$$

inclinação (aproximação)

$$i_d = g_m v_{gs}$$

Até onde a relação $i_D \times v_{GS}$ é linear?

$$i_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{[(V_{GS} + v_{gs}) - V_t]^2}{2} \quad (\text{lei } \textcircled{3})$$

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

$$\frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} v_{gs}^2 \ll k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) v_{gs} \rightarrow v_{gs} \ll 2(V_{GS} - V_t)$$

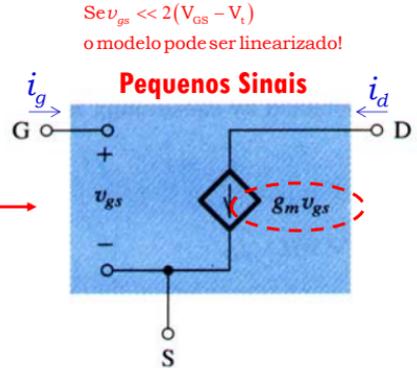
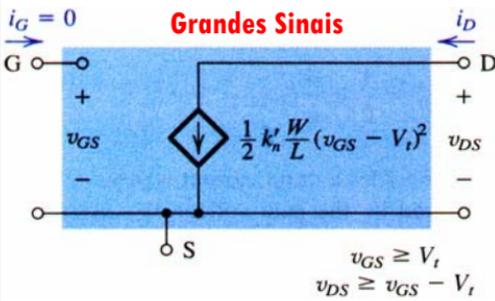
Pequenos Sinais! ~100mV

Modelos Equivalentes de Circuitos

Podemos representar $i_d = g_m v_{gs}$ por um circuito equivalente!

$$v_{GS} > V_t$$

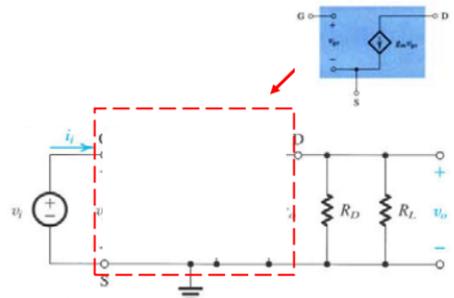
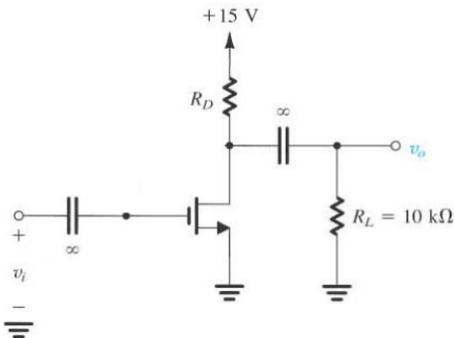
$$v_{DS} > v_{GS} - V_t$$



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

$$i_d = g_m v_{gs}$$

O Ganho de Tensão



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

$$v_d = -g_m v_{gs} (R_D // R_L)$$

Ganho de Tensão

$$A_V = \frac{v_d}{v_{gs}} = -g_m (R_D // R_L)$$