

# Trabalho - Modelo de Pequenos Sinais

Prof. Tiago Oliveira Weber

2017

## 1 Objetivos

### 1.1 Objetivo Geral

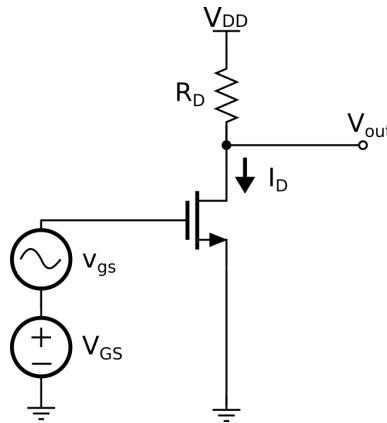
- Compreender a criação e utilização do modelo de pequenos sinais para análise de circuito do tipo fonte comum;

### 1.2 Objetivos Parciais

- Fazer simulações para obter a curva  $I_d$ - $V_{GS}$  do transistor;
- Estudar o circuito do tipo fonte comum;
- Obter a transcondutância ( $g_m$ ) do transistor para um determinado ponto de operação;
- Obter a resistência de saída ( $r_o$ ) do transistor para um determinado ponto de operação;
- Desenhar o modelo de pequenos sinais do circuito;
- Calcular e simular o ganho do circuito;
- Comparar resultados obtidos por cálculo manual e obtidos com simulador elétrico;
- Estudar os efeitos de variações dos parâmetros no ganho;

## 2 Descrição

O modelo de transistor utilizado para este trabalho é o modelo  $N\_1u$  (modelo de canal longo) e está disponível em [www.cmosedu.com](http://www.cmosedu.com) (arquivo *cmosedu\_models.txt*). Este trabalho envolverá o uso do simulador elétrico LTspice ou qualquer outro que seja capaz de trabalhar com o modelo utilizado. Para as análises, considere o circuito do tipo fonte comum (mostrado na figura a seguir).



A fonte de tensão entre a porta e a fonte em c.c. é chamada  $V_{GS}$  e a fonte de pequenos sinais entre a porta e a fonte é chamada  $v_{gs}$ . Para nossos testes, considere:

- $V_{DD} = 5V$ ;
- $R_D = 10k \Omega$ ;
- $v_{gs}$  seja descrita por uma função seno com offset = 0 e frequência de 1kHz.

### 2.1 Parte 1

A primeira análise a ser feita é do tipo "DC Sweep". Considere que:

- a fonte  $v_{gs}$  tenha amplitude zero
- O transistor tenha comprimento  $L$  (length) igual a  $1,5 \mu m$  e largura  $W$  (width) igual a  $3 \mu m$ .
- $V_{GS}$  varie de 0 até 5V

Os resultados a serem obtidos são:

- gráfico da curva  $I_d$  por  $V_{GS}$  para a varredura de  $V_{GS}$  simulada.
- gráfico da curva  $V_{out}$  por  $V_{GS}$  para a varredura de  $V_{GS}$  simulada.

Descreva o que está acontecendo em cada região do gráfico, identificando as regiões de operação do transistor.

## 2.2 Parte 2

Gere a curva de transcondutância ( $g_m$ ) do transistor em função da variação de  $V_{GS}$ .

Observação: para plotar a derivada de um sinal no LTSPICE em função da análise sendo realizada, plot o sinal de interesse, clique com o segundo botão do mouse e edite sua função para " $d(NOME\_DO\_SINAL)$ ". Exemplo:  $d(I_d(M1))$  para mostrar a derivada da corrente de dreno de um transistor M1.

Análise:

- Para qual  $V_{GS}$  há a maior transcondutância?
- Analisando a fórmula da transcondutância para região de saturação, isso condiz com a simulação?

## 2.3 Parte 3

Repita as partes 1 e 2 utilizando um valor modificado da largura do canal ( $W$ ) do transistor. O valor  $W$  (em micrometros) será igual aos dois últimos dígitos de sua matrícula divididos por 10, desde que este valor seja maior que  $3,5 \mu m$ . Caso seja menor, utilize  $3,5 \mu m$ .

## 2.4 Parte 4

Faça uma curva  $I_d$  por  $V_{DS}$  do transistor com as dimensões da parte 3 do trabalho e calcule a resistência incremental entre Dreno e Fonte do transistor. Utilize o  $V_{GS}$  simulado em que há a transcondutância máxima (encontrado na parte 3). Considere pontos em que o transistor esteja na região de saturação. Considere esta resistência de saída incremental como sendo  $\frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_{DS}}$ .

## 2.5 Parte 5

Discuta o que é o modelo de pequenos sinais, sua utilidade e como ele é elaborado. Após, desenhe o modelo de pequenos sinais para o circuito da

parte 3. Considerando que a polarização do transistor é feita utilizando o  $V_{GS}$  onde há maior transcondutância (encontrado anteriormente), substitua no modelo os valores de  $gm$  e  $r_o$  previamente encontrados (passos 3 e 4).

- Analisando o circuito em pequenos sinais, defina a fórmula do ganho e qual será seu valor;

## 2.6 Parte 6

Considere que a tensão de saída total é chamada de  $V_{out}$  e que seja composta de uma parte DC (aqui chamada  $V_{OUT}$ ) e uma parte AC (aqui chamada  $v_{out}$ ). Utilizando o mesmo ponto de operação da parte 5, faça a fonte senoidal  $v_{gs}$  ter uma amplitude de 50 mV e mostre o gráfico da saída  $v_{out}$  (apenas a parte alternada de  $V_{out}$ ). Qual é o ganho encontrado para pequenos sinais? Discuta os resultados.

O que ocorrerá se  $v_{gs}$  tiver uma amplitude de 500 mV? Mostre os resultados e discuta.

## 2.7 Parte 7

A partir dos resultados obtidos na parte 6 do trabalho, avalie o efeito no ganho ao variar os parâmetros descritos na tabela a seguir. Considere que os campos da tabela que tem "P6", devem ser preenchidos com os mesmos valores utilizados na parte 6 do trabalho. Os valores que dizem uma porcentagem são relativos aos valores da parte 6 do trabalho. Discuta os resultados avaliando o impacto da alteração de cada parâmetro no ganho. Considere  $v_{gs}$  com uma amplitude de 50 mV.

W	L	$R_D$	$V_{GS}$	Ganho
P6	P6	P6	P6	
10% maior	P6	P6	P6	
10% menor	P6	P6	P6	
P6	10% maior	P6	P6	
P6	10% menor	P6	P6	
P6	P6	10% maior	P6	
P6	P6	10% menor	P6	
P6	P6	P6	20% maior	
P6	P6	P6	20% menor	