

**Trabalho Prático nº 2**  
**CIRCUITOS AMPLIFICADORES, PORTAS LÓGICAS E CIRCUITOS**  
**DE ACCIONAMENTO COM MOSFETS**

(3 aulas)

**Antes de realizar o trabalho, já deve ter estudado:**

1. Montagens amplificadoras com MOSFETs:
  - a. Polarização DC de MOSFETs discretos e integrados.
  - b. O significado de  $g_m$  e  $g_{mb}$  e como determinar os seus valores.
  - c. Modelo equivalente para pequenos sinais
  - d. Cálculo do ganho em tensão nas montagens amplificadoras básicas: *source*-comum, *gate*-comum e *drain*-comum.
2. Portas lógicas:
  - a. O inversor CMOS.
  - b. As portas NAND e NOR.

**Depois de realizar o trabalho, deverá:**

1. Ter aprendido a polarizar um MOSFET em corrente contínua.
2. Ter verificado experimentalmente o funcionamento de montagens amplificadoras.
3. Ter verificado experimentalmente o funcionamento das portas lógicas básicas NOT, NAND e NOR.

**Elementos de estudo:**

1. J. G. Rocha, MOSFETs e Amplificadores Operacionais: Teoria e Aplicações, Netmove, Comunicação Global, Lda. Editora, 2005.
2. A. S. Sedra and K. C. Smith, Microelectronic Circuits, 5th edition, Oxford University Press, 2007.

## Introdução

Os MOSFETs podem ser usados tanto em circuitos amplificadores como em circuitos de comutação. No primeiro caso, devem ser polarizados na zona de saturação, enquanto no segundo, devem ser polarizados ou ao corte ou na região de tródo. Para as aplicações de comutação, os modelos complementares de canal n e p são de crucial importância para a implementação de redes de pull-up e de pull-down respectivamente.

## 1ª aula:

### Montagem amplificadora source-comum, com carga resistiva.

- Desenhe o modelo equivalente para pequenos sinais da montagem da figura 1.

- Explique como calcular o ganho em tensão da montagem.

- Calcule  $z_i$  e  $z_o$ .

- Monte o circuito e com  $V_i = 0V$  ajuste o potenciômetro até obter  $V_o = 0V$

- Aplique um sinal sinusoidal à entrada, sem obter distorção na saída, e meça o ganho da montagem.

- Explique como proceder para obter experimentalmente a impedância de saída do circuito

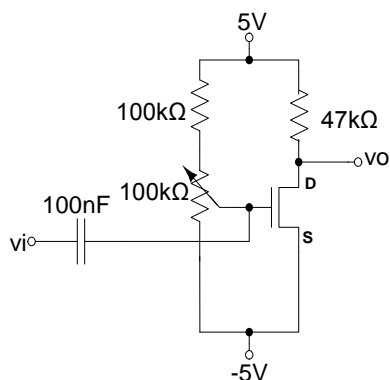


Figura 1

## 2ª aula:

### Montagem amplificadora source-comum, com carga ativa.

- Substitua a resistência do dreno da montagem da aula anterior por uma fonte de corrente (figura 2)

- Desenhe o modelo equivalente para pequenos sinais da montagem da figura 2a, em que a fonte de corrente é o circuito da figura 2b.

- Explique como calcular o ganho em tensão da montagem.

- Calcule  $z_i$  e  $z_o$ .

- Monte o circuito e ajuste o potenciômetro até obter  $V_o = 0V$ .

- Aplique um sinal sinusoidal à entrada, sem obter distorção na saída, e meça o ganho da montagem.

- Meça experimentalmente a impedância de saída do circuito

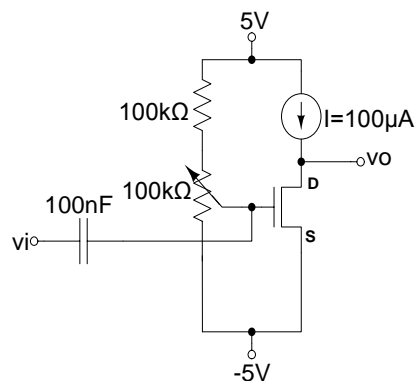


Figura 2a

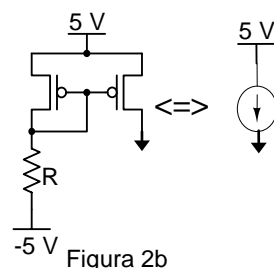


Figura 2b

### 3ª aula:

#### Circuitos digitais CMOS.

- Projecte e monte um circuito inversor (função lógica NOT), alimentado a 5 V.  
Faça variar a tensão de entrada entre 0 e 5 V e registre o valor da tensão de saída.
- Projecte e monte uma porta lógica NAND.  
Coloque uma das entradas a 0 V e faça variar a tensão da outra entre 0 e 5 V. Registre o valor da tensão de saída.  
Repita o procedimento, com uma das entradas a 5 V.
- Altere o circuito anterior para funcionar como NOR.  
Repita as experiências realizadas com a porta NAND.
- Explique como construiria portas lógicas AND, OR e XOR.

#### Circuitos pull-up, pull-down e ponte H

Considere o circuito de *pull-up* da figura 3(a).

- Monte o circuito, substituindo o motor por uma resistência de 5 k $\Omega$  com um voltímetro em paralelo. Recorde que no MOSFET do tipo p, a source deve ficar ligada à tensão mais positiva.
- Qual seria a tensão a aplicar à *gate* do MOSFET para que o motor rodasse?

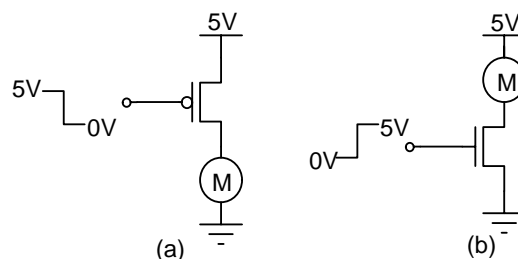


Figura 3

- Monte agora o circuito da figura 3(b) substituindo também o motor por uma resistência de 5 k $\Omega$  com um voltímetro em paralelo.
- Qual seria neste caso a tensão a aplicar à *gate* do MOSFET para que o motor rodasse?
- Se trocasse o MOSFET de canal p da figura 3(a) por outro de canal n, será que o circuito funcionava? Explique.

Considere o circuito em ponte H da figura 4. Recorde que as sources dos MOSFETs de canal p devem ficar ligadas a 5 V e as sources dos MOSFETs de canal n devem ficar ligadas à terra. Uma vez mais, substitua o motor por uma resistência de 5 k $\Omega$  com um voltímetro em paralelo.

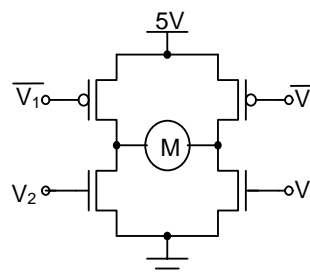


Figura 4

- Antes de montar o circuito, diga quais devem ser as tensões a aplicar às *gates* dos 4 MOSFETs para que o motor rodasse num e noutro sentido.
- Monte o circuito e verifique o seu funcionamento.
- Se trocasse os MOSFETs de canal p por outros de canal n, será que o circuito funcionava? Explique.