

### Estudo de circuitos lógicos CMOS

O trabalho é dividido em duas fases principais:

- na primeira fase realiza-se a conceção, desenvolvimento do circuito da função lógica e a respetiva simulação elétrica;
- na segunda fase comprova-se o seu funcionamento através da montagem experimental em laboratório de eletrónica.

Atenção à função booleana e à implementação atribuída a cada grupo.

$$Y = f(A, B, C)$$

Grupo	Função	Implementação			
		NAND	NOR	Inversor	
1	$\bar{A} \cdot B \cdot C$	1	1	máx 2	<b>NAND e NOR de 2 entradas. Inversores 0, 1 ou 2.</b>
2	$\bar{A} + B + C$	1	1	máx 2	
3	$\bar{A} \cdot B + C$	2		máx 2	Modelos e símbolos dos MOSFET PMOS e NMOS para simulação no Moodle.
4	$(\bar{A} + B) \cdot C$		2	máx 2	
5	$A \cdot B + C$	1	1	máx 2	Circuito integrado 4007 para os transístores MOSFET. <b>Utilizar no máximo 2 chips.</b>
6	$(A + B) \cdot C$	1	1	máx 2	
7	$A \cdot B \cdot C$	2		máx 2	Cada chip contém 3 PMOS e 3 NMOS. Verificar as restrições nas ligações a partir da estrutura interna do CI.
8	$A + B + C$		2	máx 2	
9	$\bar{A} + \bar{B} + \bar{C}$	1	1	máx 2	Aconselha-se a apresentação do esquema de ligações dos pinos dos CI ao docente antes de realizar a montagem em <i>breadboard</i> .
10	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$	1	1	máx 2	
11	$(\bar{A} + \bar{B}) \cdot \bar{C}$	2		máx 2	Trabalho experimental apenas creditado aos estudantes que apresentem o circuito em aulas de laboratório.
12	$\bar{A} \cdot \bar{B} + \bar{C}$		2	máx 2	
13	$(A + \bar{B}) \cdot \bar{C}$	1	1	máx 2	Durante as aulas de laboratório de eletrónica deste trabalho ocorrerá a <b>segunda avaliação do 1º Trabalho TPL1</b> , com ênfase especial nos equipamentos de medida osciloscópio e gerador de sinais.
14	$A \cdot \bar{B} + \bar{C}$	1	1	máx 2	
15	$A + \bar{B} + \bar{C}$	2		máx 2	
16	$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$		2	máx 2	

**1ª Fase - Tópicos de simulação**

- Simulação da funcionalidade primária pretendida para a função, com recurso a um gráfico englobante de todos os casos.
- Para um exemplo de um conjunto de valores de entrada  $ABC$ , efetuar uma simulação para obtenção do ponto de funcionamento em repouso das tensões  $V_{GS}$  e  $V_{DS}$ . Explicar o estado de funcionamento dos MOSFET e o valor à saída a partir daquele conjunto de tensões.
- Simulação dos tempos de propagação,  $t_{PLH}$  e  $t_{PHL}$ , dos sinais das entradas para a saída – da alteração de sinal à entrada até à alteração correspondente do sinal à saída (50% da excursão). Para esta análise, é necessário adaptar o período ou a frequência dos sinais digitais.
  - Verificação dos tempos de propagação a partir de cada uma das três entradas, com as outras com valores constantes.
  - Complementar a análise com transições múltiplas, simultâneas ou desfasadas, nos sinais das entradas. Poderá ocorrer *glitch* no sinal de saída.
  - Simulação adicional, para o caso de transição na entrada com os tempos de propagação maiores, com as outras entradas constantes, colocar uma capacidade de carga à saída de valor 100 pF.
  - Obtenção de uma estimativa para o valor de frequência de operação máxima, com e sem carga adicional capacitiva.
- Simulação das características de transferência de tensão VTC – margens de ruído e ponto de comutação.
  - Simular para vários pares de entrada/saída. Preferir exemplos semelhantes a VTC de inversor.
  - Caracterizar  $V_{IL}$   $V_{IH}$   $V_{OL}$   $V_{OH}$   $V_{SP}$   $NM_L$   $NM_H$ .
- Potência dissipada – potência média da fonte de alimentação com uma simulação temporal abrangente e o circuito a operar com uma frequência próxima da máxima. Neste ponto, sem carga adicional capacitiva.

Pode e deve discutir os circuitos com os seus docentes, de modo a avançar no estudo dos circuitos e aplicações.

**2ª Fase - Tópicos de medições em laboratório**

Confirmação de todos os pontos da simulação e exploração experimental:

- Verificação da funcionalidade, com medições DC para todos os 8 casos de *ABC*.
- Medição de tensões  $V_{GS}$  e  $V_{DS}$  para um caso de *ABC*.
- Montagens com um gerador de sinal digital. Medição dos tempos de propagação das três entradas para a saída.
- Medições de tempos de propagação com carga capacitiva e sinal digital.
- Estimativa da frequência máxima.
- Respostas temporais com sinal sinusoidal nas entradas.
- Características de transferência de tensão VTC.
- Uma montagem com dois geradores de sinal digital, um com frequência de 1 kHz e o outro com frequência 100 Hz.

Deve o grupo informar o docente dos circuitos e das medições propostos, de modo a não danificar os componentes e os equipamentos.

Atenção aos cuidados nos procedimentos experimentais com o CI 4007.

Nas aulas em laboratório de Eletrónica, deverá efetuar medições DC, com fonte DC e multímetro, e medições de sinais, com osciloscópio e gerador, incluindo medições com base de tempo e em modo X-Y. Selecione um conjunto de medições que determine apropriadas, para além das medições sugeridas neste enunciado.

Nas aulas práticas dedicadas ao trabalho, o grupo deverá apresentar a montagem do circuito em *breadboard*. O funcionamento do circuito deverá ser confirmado pelo docente na presença de todos os elementos do grupo.

Todas as medições em laboratório, incluindo valores e gráficos, devem ser apresentadas ao docente durante as aulas e devem ser incluídas no relatório, para uma avaliação adequada.

Alerta-se para o facto de se demonstrar os resultados obtidos ao docente, nas aulas, não dispensa a sua inclusão no relatório, e o caso contrário também.

A participação dos estudantes na realização deste trabalho, durante as aulas, e a sua interação com os docentes será objeto de avaliação. O trabalho é de grupo, mas a nota (classificação) é individual.

**Estrutura do relatório**

1. A conceção e o desenvolvimento do circuito.
2. As simulações necessárias e auxiliares para verificação do funcionamento do circuito, incluindo em anexo os ficheiros de simulação.
3. A explicação do funcionamento do circuito e a sua caracterização, com referência aos resultados de simulação e aos esquemas com MOSFET.
4. Comentários aos resultados de simulação.
5. As montagens e os resultados experimentais, com as medições realizadas em laboratório.
6. A comparação entre os valores de simulação e os valores experimentais.

Cotações em percentagem: (1+2) – 25%, (3+4) – 25%, (5+6) – 50%.

Para todos os tópicos são necessários comentários críticos aos resultados. Os valores e os gráficos resultados de simulação e de medições experimentais devem ser incluídos no relatório com a caracterização adequada das condições de realização.

**Ficheiros a entregar agrupados num ficheiro zip:**

- o documento principal, relatório em formato PDF
- os ficheiros de simulação – estes devem estar em conformidade de serem executados

A primeira página do documento deve apresentar unicamente a identificação de ISEL, curso, unidade curricular, trabalho, turma, grupo, estudantes que realizaram o trabalho e o relatório (número e nome) e data. No caso de o grupo incluir estudantes de cursos diferentes, indicar essa situação. No documento principal apenas devem constar as identificações dos estudantes que participaram em todas as fases do trabalho.

As páginas seguintes deverão conter a descrição dos vários tópicos das duas fases principais do projeto. Naturalmente, as simulações deverão anteceder a parte experimental, para a compreensão do funcionamento dos circuitos.

O relatório deverá incluir também as explicações para o funcionamento dos circuitos. Estas explicações devem envolver os transístores MOSFET dos circuitos. Por exemplo, se o circuito tem a funcionalidade X, não basta explicar a funcionalidade X, é necessário explicar porque é que o circuito tem a funcionalidade X.

O relatório deverá incluir o esquema das ligações com os CI 4007, incluindo os pinos de cada chip. Deverá ainda incluir a indicação dos procedimentos necessários para a obtenção de cada resultado prático experimental: ligação e configuração dos equipamentos de medida; visualização de gráficos; registo de valores; etc.

Este documento deverá incluir todos os resultados de simulação e todos os resultados experimentais, assim como as suas justificações e a indicação de como se obtiveram.

Os **ficheiros de simulação** a entregar obedecem aos critérios seguintes:

1. Ficheiros .asc e .plt prontos a executar com os resultados pretendidos.
2. Um par .asc / .plt para cada situação e caso estudados.
3. Ao abrir o ficheiro .asc e executar "run" deve ser visualizado o gráfico respetivo de forma automática.

Um relatório sem resultados experimentais resultará numa classificação de 0 valores nesta parte do trabalho.

Não existe um período de melhoria de nota para o TPL2. Está previsto um número suficiente de aulas em laboratório de Eletrónica para a compreensão de circuitos CMOS e para a realização do trabalho. As aulas e os períodos de dúvidas permitem também esclarecer as questões de simulação.

Verifique na página da UC no Moodle o prazo e o local de entrega do relatório e ficheiros anexos.