Logo

Description automatically generated

**Licenciatura em Engenharia Informática, Redes e Telecomunicações**

Circuitos digitais CMOS

(*2º Trabalho experimental e de simulação*)

Trabalho realizado por:

Nome: Daniel Santos Nº51701

Nome: Paulo Magalhães Nº51702

Docente: João Manuel Ferreira Martins

Eletrónica

2023 / 2024 inverno

22 de dezembro de 2023

# Objetivo

O objetivo deste trabalho é realizar a conceção e desenvolvimento do circuito da função lógica NOR(**A**, **B**), e a sua respetiva simulação elétrica. Por sua vez, ao realizar-mos os passos anteriores, irá ser comprovado o seu funcionamento através da montagem experimental em laboratório de eletrónica.

# Descrição do Circuito a Projetar

Foi nos abordado pelo docente que a realização da função lógica *NOR* teria de ser realizada através do uso exclusivo de *buffers* ou inversores *tri-state*, sem recurso ao uso de portas de transmissão, e apenas teríamos acesso a 2 *chips* CI 4007, que disponham de 3 *PMOS* e 3 *NMOS*, cada um. A abordagem que escolhemos tomar para o desenvolvimento consistiu do uso de uma rede *pull-up (PUN)* e *pull-down (PDN) e* o uso de um inversor para uma das entradas (**B**), onde usamos 2 inversores tri-state, de modo a podermos acomodar diversas entradas e caso o inversor esteja em alta impedância, não irá interferir com o resultado da operação.

Uma imagem com texto, diagrama, captura de ecrã, Tipo de letra

Descrição gerada automaticamente

Figura 1 – Circuito lógico CMOS com redes *pull-up* e *pull-down* da função NOR(A, B)

Ligações – 16 cabos (fios condutores)

14 – *VDD*, 7 - *GND*

*PUN*: *chip* 2: 13 – 2; *chip* 1: 12 – 2.

*PDN*: *chip* 1: 4 – *chip* 2: 8; *chip* 2: 4 – *chip* 1: 12.

Entradas: A (*chip* 2 – *gate* 6), B (*chip* 1 – *gate* 10)

Fonte DC – 2 cabos

Voltímetro – 2 cabos

# Resultados simulados em LTSPICE

## VGS e VDS

Uma imagem com texto, diagrama, Esquema, esquemático

Descrição gerada automaticamente

Figura 2 – circuito com as medições simuladas do VGS e VDS

## Tempos de propagação

Para ambas as medições seguintes usamos como entrada um sinal de onda quadrada com 𝑉𝐼𝑛𝑝𝑢𝑡,𝑚á𝑥 = 𝑉𝐷𝐷 = 5 𝑉 (𝐻𝐼𝐺𝐻) e 𝑉𝐼𝑛𝑝𝑢𝑡,𝑚í𝑛 = 𝑉𝐺𝑁𝐷 = 0 𝑉 (𝐿𝑂𝑊).

### (Tplh e Tphl) – sem condensador

Uma imagem com captura de ecrã, Software de multimédia, Software gráfico

Descrição gerada automaticamente

Figura 3 – tempos de propagação com a entrada B a oscilar

Uma imagem com captura de ecrã, Software de multimédia, Software gráfico

Descrição gerada automaticamente

Figura 3 – tempos de propagação com a entrada A a oscilar

### (Tplh e Tphl) – com condensador

Uma imagem com captura de ecrã, Software de multimédia, Software gráfico

Descrição gerada automaticamente

Figura 4 – tempos de propagação com a entrada B a oscilar

Uma imagem com captura de ecrã, Software de multimédia, Software gráfico, software

Descrição gerada automaticamente

Figura 5 – tempos de propagação com a entrada A a oscilar

### (Tplh e Tphl) – múltiplas

Uma imagem com captura de ecrã, Software de multimédia, software, Software gráfico

Descrição gerada automaticamente

Figura 6 – tempos de propagação com a entrada A e B a oscilar

### (Tplh e Tphl) – simultâneas

Uma imagem com captura de ecrã, Software de multimédia, Software gráfico, file

Descrição gerada automaticamente

Figura 7 – tempos de propagação com a entrada A e B a oscilar

### (Tplh e Tphl) – desfasadas

Uma imagem com captura de ecrã, Software de multimédia, Software gráfico, software

Descrição gerada automaticamente

Figura 8 – tempos de propagação com a entrada A e B a oscilar

## Potência dissipada

Uma imagem com captura de ecrã, Software de multimédia, software, Software gráfico

Descrição gerada automaticamente

Figura 9 – tempos de propagação com a entrada A e B a oscilar

## VTC

Uma imagem com captura de ecrã, file, Software gráfico, Software de multimédia

Descrição gerada automaticamente

Figura 10 –

## VTC –margem de ruído e ponto de comutação

Uma imagem com captura de ecrã, file, Gráfico

Descrição gerada automaticamente

Figura 11 –

# Medições experimentais realizadas em laboratório

## VGS e VDS

*CHIP* 1

MPB – VGS: -4,98V; VDS: 0V MP – VGS: 0V; VDS: 0V

MN – VGS: 0V; VDS: 0V MNB – VGS: 0V; VDS: 0V

*CHIP* 2

MPA – VGS: -4,95V; VDS: 0V MNA – VGS: 0V; VDS: 2V(ALTA-IMPEDÂNCIA(Z))

MPB – VGS: -4,87V; VDS: 0V MNB – VGS: 0V; VDS: 0V

Para a medição do *VGS* (tensão entre o *gate* e a *source*) e do *VDS* (tensão entre o *drain* e a *source*) foi necessário um multímetro e uma fonte de alimentação, onde foram mantidos os valores da tensão e da corrente nos 5V e 20mA, para todas as medições.

VGS: Colocamos o crocodilo com ponta positiva do multímetro na entrada (*gate*) de cada transístor, correspondendo estas às entradas A ou B (e a sua negação, se existir), e o crocodilo com ponta negativa foi ligado a um cabo à fonte do circuito (*VDD*), proveniente da fonte de alimentação, ou ligado a um cabo ao *ground* (*GND*), diferenciando esta ligação consoante o transistor (*NMOS* ou *PMOS*). Em alguns casos, onde o transistor não se encontra junto do *VDD* nem do *GND*, ou seja, existe um outro transitor no caminho, este liga à saída (*drain*) do outro transitor.

*VDS*: Neste caso, colocamos o crocodilo da ponta positiva no nó que tem por origem o output (Y) ou no nó que se encontra entre transístores, consoante o transístor que estivermos a medir, e o crocodilo com a ponta negativa irá para o *VDD* ou o *GND*, dependendo se for um transístor *PMOS* ou *NMOS*, e irá para um nó caso o caminho da ponta positiva para a negativa não seja direto (existe um transístor a meio).

## Tempos de propagação

## VTC

Para a medição do VTC, recorremos ao modo XY do osciloscópio, onde utilizámos 2 canais para fazermos as mesmas. No canal 1 (CH1), colocamos o lado positivo na entrada do sinal a variar, neste caso, a entrada A, e o lado negativo manteve-se ligado à massa (*GND)*. No canal 2 (CH2), o lado positivo colocou-se no *output* do circuito (a saída Y), e o lado negativo ligou-se à massa, tal como procedemos no canal 1. Em seguida, no osciloscópio, tivemos que alterar o modo do osciloscópio, que se encontrava em YT para todas as medições, e tivemos que colocá-la em XY, de maneira que o gráfico demonstrado no *display* seja a diferença dos dois sinais fornecidos ao osciloscópio. Ajustámos a janela gráfica de modo a ser visível com clareza a onda e tivemos também que alterar a frequência fornecida ao circuito, para que a mesma seja viável para podermos medir as tensões do VTC.

# Conclusões

Neste trabalho foi desenvolvida a função lógica NOR (A, B) no programa LTSPICE, onde demonstramos os resultados simulados das diversas medições propostas no enunciado, e por sua vez realizamos a montagem do circuito com os 2 *chips* CI 4007 fornecidos pelo docente, validando o seu funcionamento e as medições realizadas em simulação.