



TÉCNICO
LISBOA

ELETRÓNICA GERAL

2º TRABALHO DE LABORATÓRIO

CONVERSOR DIGITAL ANALÓGICO

1º SEMESTRE 2023/2024 (P1)

PEDRO VITOR E JOSÉ GERALD

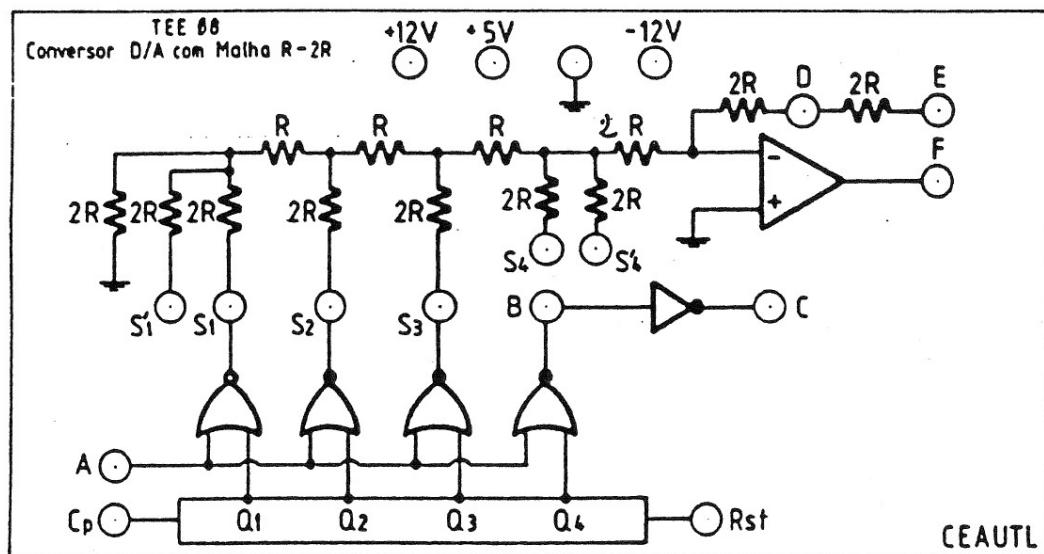
SETEMBRO 2023

1. Objetivos

Pretende-se neste trabalho proceder ao estudo de um conversor Digital-Analógico do tipo R-2R. Todas as medições e comentários devem ser registados no guia de trabalho.

2. Equipamento para Ensaio Laboratorial

- (i) Base de experimentação TEE
- (ii) Módulo experimental TEE-08
- (iii) Osciloscópio digital de 4 canais
- (iv) Gerador de funções



Contador = 4520 AMPOP = 741 Portas NOR = 4001 R=12 kΩ
Inversor = Porta NOR 4001 com entradas em curto-circuito

3. Procedimento Experimental

A montagem dos circuitos para ensaio é feita no módulo experimental por meio dos cabos apropriados de ligação que são fornecidos com a base de experimentação. A alimentação dos circuitos em ensaio é feita diretamente através da base de experimentação que fornece tensões DC de +12V, +5V, 0V (“ground”) e -12V. A entrada de sinais para alimentação do circuito, bem como a saída de sinais para observação e medida, é feita através dos micro-alvéolos no painel frontal que, por sua vez, se encontram ordenadamente ligados ao painel posterior da base de experimentação.

4. Estudo funcional do conversor D/A

4.1. Análise teórica

4.1.1 (T) Considerando o circuito da figura em que $S_i = b_i V_{REF}$ onde b_i representa o bit de ordem i e V_{REF} uma tensão de referência que no caso é $V_{REF} = 5V$, determine o valor de v_0 em função de $S_1 S_2 S_3 S_4$ e de $b_1 b_2 b_3 b_4$. Considere duas possibilidades: $R_f = 2R$ e $R_f = 4R$

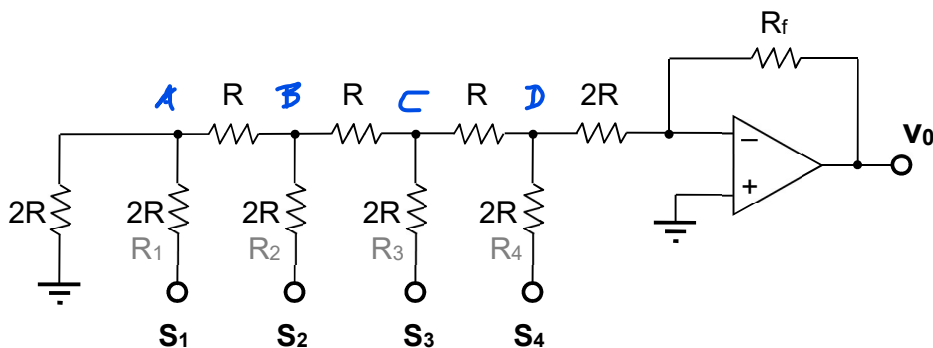


Figura 1: Esquema do circuito DAC a testar.

4.2. Montagem

Pretende-se que as entradas (S_1, S_2, S_3, S_4) do DAC sejam fornecidas diretamente pelas saídas das quatro gates NOR, sendo para tal necessário ligar o ponto B a S_4 . Os pontos

Rst e A devem ser ligados à massa para o contador poder contar e essa contagem poder ser transferida para o conversor D/A.

O valor de R_f (resistência de realimentação) poderá ser 2R ou 4R consoante se ligar o ponto D ou E à saída do Amplificador Operacional F.

Em resumo deverão ser realizadas as seguintes ligações:

A \leftrightarrow Rst \leftrightarrow Ground

B \leftrightarrow S₄

$$\left\{ \begin{array}{l} D \leftrightarrow F \Rightarrow R_f = 2R \\ E \leftrightarrow F \Rightarrow R_f = 4R \end{array} \right.$$

4.3. Procedimento Experimental

4.3.1 (E) Aplique uma onda quadrada positiva entre 0 e 5V, com frequência de 100 kHz, no ponto Cp (*clock*) do Contador.

4.3.2 (E) Com este sinal de *clock* preencha a tabela seguinte para os 2 valores de R_f possíveis ($R_f = 2R$ e $R_f = 4R$).

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	V ₀ ($R_f = 2R$)	V ₀ ($R_f = 4R$)

4.3.3 (E) Utilizando o osciloscópio represente a forma da onda observada na saída do circuito (V₀ no ponto F), em conjunto com o sinal de *clock* (Cp), considerando o valor de 2R e de 4R.

4.3.4 (E) Comente a variação da diferença de tensão de saída observada entre dois níveis consecutivos, para os dois valores de R_f considerados.

5. Influência das resistências de entrada

5.1. Análise teórica

5.1.1 (T) O valor nominal das resistências R_1 a R_4 é $2R$. Determine a influência da variação das resistências R_1 a R_4 nas características do conversor, considerando que varia uma resistência de cada vez.

5.1.2 (T) Calcule as alterações das características de conversão do circuito nas seguintes situações particulares:

- a) $R_1=R$ (em vez de $2R$)
- b) $R_2=R$ (em vez de $2R$)
- c) $R_3=R$ (em vez de $2R$)
- d) $R_4=R$ (em vez de $2R$)

5.2. Montagem

5.2.1 (E) Ainda com o ponto B ligado a S_4 e os pontos Rst e A à massa, e com $R_f=4R$, pretende-se observar o efeito das alterações das resistências de entrada.

Em resumo deverão ser realizadas as seguintes ligações:

$A \leftrightarrow Rst \leftrightarrow \text{Ground}$

$B \leftrightarrow S_4$

$E \leftrightarrow F \Rightarrow R_f=4R$

5.3. Procedimento experimental

5.3.1 (E) Aplique de novo no ponto Cp (clock) do contador a onda quadrada de frequência 100kHz e amplitude 5V, que utilizou atrás. Observe e registre a forma de onda da tensão de saída (V_0 no ponto F), em conjunto com o sinal de clock (Cp), nas seguintes situações:

$$a) R_1=R \quad S'_1 \leftrightarrow S_1$$

$$b) R_4=R \quad S'_4 \leftrightarrow S_4 \quad (\text{voltando a desligar } S'_1 \text{ de } S_1)$$

5.3.2 (E) Comente os resultados observados no que se refere à monotonicidade do conversor.

6. Tempo de estabelecimento

6.1. Análise teórica

6.1.1 (T) Considerando que o tempo de estabelecimento está relacionado com o “slew rate” (SR) do AMPOP e que para o circuito 741 o valor típico é $SR=0.5V/\mu s$, estime o valor do tempo de estabelecimento para $R_f=2R$ e assumindo que a saída tem a sua maior variação, correspondente à variação de $0 \rightarrow 1$ ($S_1S_2S_3S_4=0000$ para $S_1S_2S_3S_4=1111$) ou à variação de $1 \rightarrow 0$ ($S_1S_2S_3S_4=1111$ para $S_1S_2S_3S_4=0000$).

6.1. Montagem

6.1.1 (E) Com o ponto B ligado a S4 e $R_f=2R$, ligue o reset do contador (Rst) ao estado lógico “1” (5V). Deverão estar desligados S'_1 de S_1 e S'_4 de S_4 . O contador ficará em estado reset com todas as saídas a zero ($Q_1Q_2Q_3Q_4=0000$), e os bits de entrada do conversor valem:

$$\begin{cases} S_1S_2S_3S_4 = 1111 & \text{para } A = 0 \\ S_1S_2S_3S_4 = 0000 & \text{para } A = 1 \end{cases}$$

Em resumo deverão ser realizadas as seguintes ligações:

Rst \leftrightarrow 5V

B \leftrightarrow S₄

D \leftrightarrow F \Rightarrow R_f=2R

Cp pode ficar desligado

6.2. Procedimento experimental

6.2.1 (E) Aplique no ponto A uma onda quadrada de frequência 100kHz e amplitude 5V. Observe e registre a forma de onda da tensão de saída do conversor, em conjunto com o sinal aplicado a A.

6.2.2 (E) Com base na observação determine o tempo de estabelecimento (“*settling time*”) do conversor (t_s). (Nota: Pode eventualmente ter que baixar um pouco a frequência do sinal no ponto A)

7. Picos de tensão nas transições entre estados

7.1. Montagem

7.1.1 (E) Ligue o inversor à saída B do quarto NOR juntando o ponto C a S₄ e faça R_f=2R. O contador ficará em estado *reset* com todas as saídas a zero (Q₁Q₂Q₃Q₄=0000). Os bits de entrada do conversor valem:

$$\begin{cases} S_1S_2S_3S_4 = 1110 & \text{para } A = 0 \\ S_1S_2S_3S_4 = 0001 & \text{para } A = 1 \end{cases}$$

Em resumo deverão ser realizadas as seguintes ligações:

Rst \leftrightarrow 5V

C \leftrightarrow S₄ Desligando B de S₄

D \leftrightarrow F \Rightarrow R_f=2R

Cp pode ficar desligado

7.2. Procedimento experimental

7.2.1 (E) Aplique novamente no ponto A uma onda quadrada de frequência 100kHz e amplitude 5V. Observe e registre a forma de onda da tensão de saída do conversor, em conjunto com o sinal aplicado a A.

7.2.2 (E) Constate e registre a existência de picos de tensão espúrios (“*glitches*”) nas transições entre os estados 0001→1110. Comente os resultados observados.

8. Relatório

O relatório deste trabalho deve obrigatoriamente respeitar a sequência das secções e, no global, comparar sempre os resultados experimentais com os correspondentes teóricos justificando as diferenças observadas. Este é o aspeto mais importante e ao qual será dado mais valor.

Tal como qualquer relatório minimamente apresentável, este deve conter um **Índice**, uma **Introdução** sucinta (a explicar o que é o trabalho), o **corpo do relatório** (com o que se pede acima), **Conclusões** (globais da execução). Evite a descrição detalhada do funcionamento dos circuitos uma vez que este será explicada nas aulas teóricas.

Este relatório não pode exceder as **18** páginas não contando com a capa identificativa do trabalho e o índice. A capa deve conter a informação do nome do trabalho, grupo de laboratório que realizou o trabalho com os respetivos alunos intervenientes e data do mesmo. Os tópicos do trabalho estão classificados como **T** (teórico) ou **E** (experimental). Todos os tópicos **T** têm de ser estudados e resolvidos **antes** da aula de laboratório.