

# **ELECTRÓNICA GERAL**

**2º TRABALHO DE LABORATÓRIO**

## **CONVERSOR DIGITAL ANALÓGICO**

**1º SEMESTRE 2021/2022**

**PEDRO VITOR E JOSÉ GERALD**

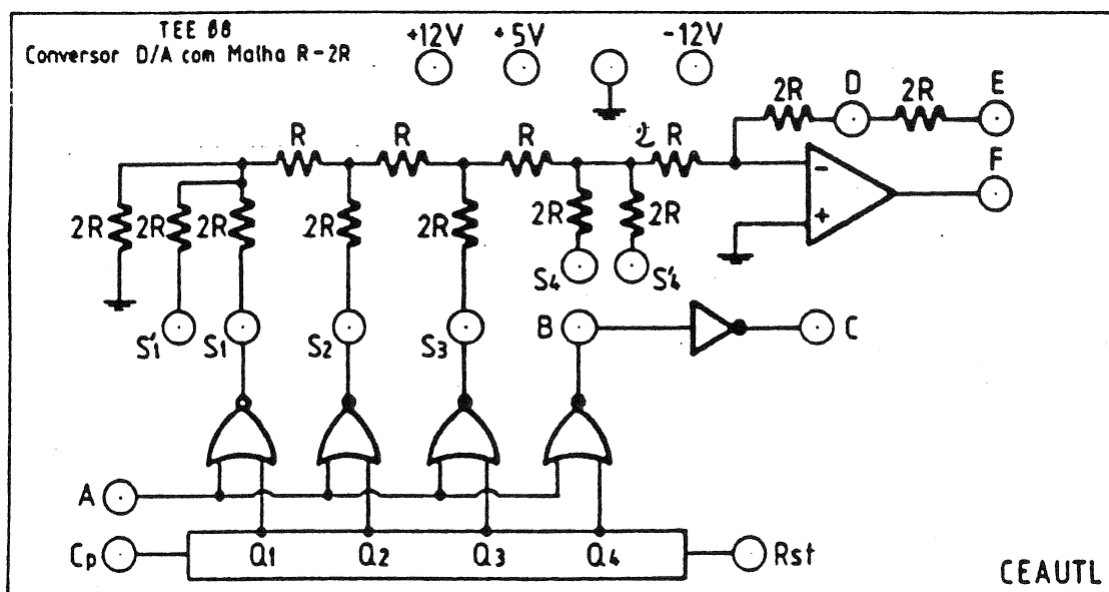
*SETEMBRO 2021*

## 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=12K $\Omega$   
Inversor = Porta NOR 4001 com entradas em curto-circuito

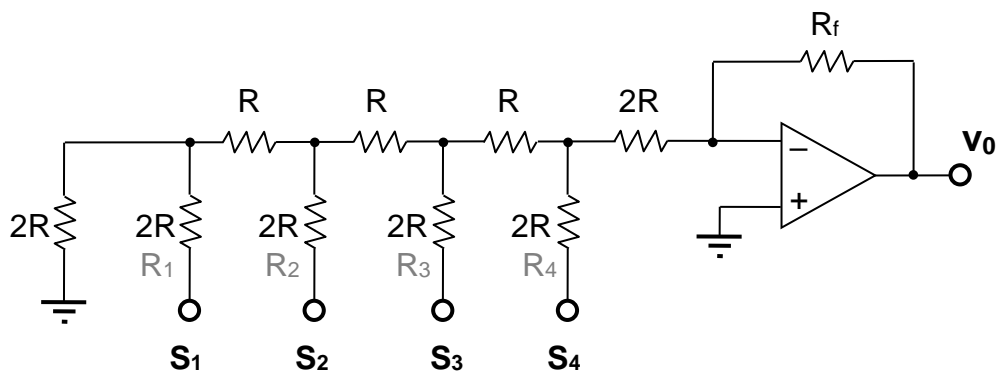
### 3. Procedimento Experimental

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** 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  $V_{REF} = 5V$ , 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:

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

$B \leftrightarrow S_4$

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

### 4.3. Procedimento Experimental

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

4.3.2 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 Utilizando o osciloscópio represente a forma da onda observada na saída do circuito ( $V_0$  no ponto F), em conjunto com o sinal de *clock* ( $C_p$ ), considerando o valor de  $2R$  e de  $4R$ .

4.3.4 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 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 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 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 Aplique de novo no ponto Cp (clock) do contador a onda quadrada de frequência 100kHz e amplitude 5V, que utilizou atrás. Observe e registe 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 Comente os resultados observados no que se refere à monotonicidade do conversor.

## 6. Tempo de estabelecimento

### 6.1. Análise teórica

6.1.1 Considerando que o tempo de estabelecimento está relacionado com o “*slew rate*” do AMPOP e que para o circuito 741 o valor típico  $SR=0.5V/\mu s$ , 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 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:

$R_{st} \leftrightarrow 5V$

$B \leftrightarrow S_4$

$D \leftrightarrow F \Rightarrow R_f = 2R$

$C_p$  pode ficar desligado

## 6.2. Procedimento experimental

**6.2.1** 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** 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** Ligue o inversor à saída B do quarto NOR juntando o ponto C a  $S_4$  e tome  $R_f = 2R$ . O contador ficará em estado *reset* com todas as saídas a zero ( $Q_1Q_2Q_3Q_4 = 0000$ ). 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:

$R_{st} \leftrightarrow 5V$

$C \leftrightarrow S_4$       Desligando B de  $S_4$

$D \leftrightarrow F \Rightarrow R_f = 2R$

$C_p$  pode ficar desligado

## 7.2. Procedimento experimental

7.2.1 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 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 apresentando as conclusões respetivas.

Tal como qualquer relatório minimamente apresentável, este deve apresentar um Índice, uma Introdução (a explicar o que é o relatório), o corpo do relatório (com o que se pede acima), Conclusões (globais da execução) e, eventualmente, Anexos.

Este relatório não deve exceder as 20 páginas não contando com a capa identificativa do trabalho. Esta deve conter a informação do nome do trabalho, grupo de laboratório que realizou o trabalho com os respetivos alunos intervenientes e data do mesmo.