



GUIA DE LABORATÓRIO  
Análise de Circuitos - LEE

**TRABALHO 1**  
**Leis de Kirchhoff, Equivalente de Thévenin e Princípio de Sobreposição**

## 1 Objectivos

Este trabalho de Laboratório tem os seguintes objectivos:

- i) familiarização com o equipamento de medida disponível e com as bases de experimentação laboratorial;
- ii) confirmação experimental de KVL;
- iii) confirmação experimental do Princípio da Sobreposição Linear.
- iv) confirmação experimental do equivalente de Thévenin.

## 2 Sumário

Este trabalho foi dimensionado de modo a ser **realizado numa sessão de laboratório de 2 horas**. O plano de trabalho consta de três partes, que se descrevem a seguir:

- ▶ Divisor de Tensão Resistivo;
- ▶ Princípio de Sobreposição numa Rede com dois Geradores;
- ▶ Equivalente de Thévenin;
- ▶ Exemplo de Circuito Linear: Conversor Digital-Analógico com malha R-2R;

Os resultados devem ser apresentados nas folhas em anexo, previstas para esse efeito.

## 3 Equipamento para Ensaio Laboratorial

- i) Base de experimentação com Fontes de Alimentação, Voltímetro Digital DC e Gerador de Sinais;
- ii) Osciloscópio de duplo traço;

### 3.1 Componentes a utilizar

A montagem dos circuitos em ensaio é feita numa placa “breadboard” sobre a base de experimentação. Os componentes a utilizar são descritos abaixo:

1 x 15 k $\Omega$ , 8 x 22 k $\Omega$ , 1x 33 k $\Omega$ , 1 x 150 k $\Omega$ , 4029 contador síncrono de 4-bits

### **3.2 Base de Experimentação**

A alimentação dos circuitos em ensaio é feita directamente através da base de experimentação que fornece tensões DC reguláveis de 0 V até +15 e -15 V, e fixa de +5 e -5 V. A entrada de sinais para excitação 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 a fichas do tipo BNC colocadas no painel traseiro da base de experimentação.

Um voltímetro digital DC permite medir tensões (diferenças de potencial) entre os nós de interesse. Neste modo DC é medido o valor médio da tensão (uma tensão alternada sem componente contínua dará indicação nula).

### **3.2 Osciloscópio**

Um osciloscópio permite essencialmente visualizar tensões variáveis no tempo. Possui normalmente dois ou mais canais, que podem ser utilizados separadamente mas com a mesma escala no eixo horizontal que corresponde ao tempo, isto é, com a mesma temporização, ou podem ser utilizados em conjunto, no chamado modo XY, em que um canal comanda o deslocamento horizontal e outro o vertical.

Este instrumento não deve ser utilizado para efectuar medições rigorosas. Quando forem utilizados os dois canais deve ter-se em atenção que as massas são comuns.

## **4 Plano de Trabalho**

### **4.1 Divisor de Tensão carregado**

O divisor de tensão resistivo é muito utilizado em circuitos electrónicos como forma de disponibilizar múltiplas tensões contínuas (DC) geradas como réplicas escaladas da mesma tensão de alimentação fixa. No entanto, há que ter o cuidado de dimensionar o divisor resistivo por forma a que o circuito que o carrega não altere significativamente o valor da tensão resultante.

Vamos analisar este efeito com mais detalhe. Para tal, com o auxílio da “breadboard” e da base de experimentação construa o circuito representado na Fig. 1. As resistências têm o valor de  $R_1 = 22\text{k}\Omega$  e  $R_2 = 33\text{k}\Omega$ . A fonte de tensão independente  $V_S$  é realizada recorrendo à fonte de alimentação fixa de 5 V disponível. Execute agora os seguintes passos do procedimento experimental, registando e tentando comentar e justificar todos os resultados obtidos no Anexo de Apresentação de resultados:

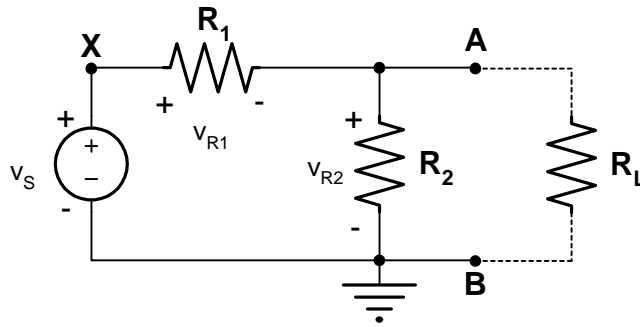


Fig. 1: Divisor resistivo e respectiva resistência de carga.

- i) Com  $R_L = \infty$ , meça com o voltímetro digital as tensões  $V_{R1}$ ,  $V_{R2}$  e  $V_S$ . Confirme que a lei KVL se verifica na malha formada pela fonte tensão e pelas resistências  $R_1$  e  $R_2$ . Comente os resultados obtidos quanto à precisão das igualdades obtidas.
- ii) Carregue agora o divisor de tensão, fazendo sucessivamente  $R_L=150 \text{ k}\Omega$  e  $R_L=15 \text{ k}\Omega$  e registre os valores obtidos para a tensão aos terminais A-B. Calcule os valores teóricos esperados nestas condições e comente os resultados. Tente obter uma regra simples para o dimensionamento do divisor resistivo de forma a que o erro resultante da aplicação da resistência de carga não seja superior a 10%.

#### 4.2 Princípio de Sobreposição aplicado a uma Rede com dois Geradores de Tensão

O Princípio de Sobreposição Linear é extremamente útil e permite obter a solução de um circuito com múltiplas excitações independentes como uma sobreposição de contribuições para as quais se consideram essas fontes de excitação de forma isolada.

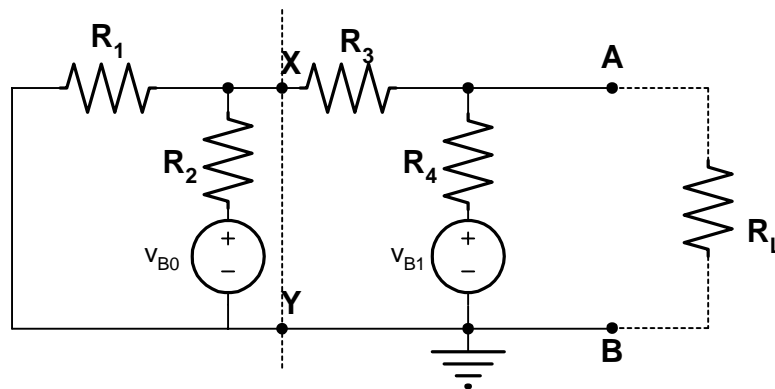


Fig. 2: Circuito com dois geradores de tensão.

Considere o circuito representado na Fig. 2 e faça  $R_1=R_2=R_4= 2\mathbf{R} = 22 \text{ k}\Omega$  e  $R_3= \mathbf{R}= 22 \text{ k}\Omega/2$  (paralelo de duas resistências iguais). Faça ainda  $V_{B0} = V_{B1} = +5\text{V}$ .

- i) Com a carga  $R_L$  desligada, meça e registre a tensão de saída aos terminais A-B.
- ii) Anule  $V_{B1}$  e meça e registre a contribuição de  $V_{B0}$  para a tensão de saída.
- iii) Anule  $V_{B0}$  e meça e registre a contribuição de  $V_{B1}$  para a tensão de saída.
- iv) Confirme que a tensão originalmente obtida é a soma das duas contribuições anteriores. Justifique e comente os resultados obtidos com cálculos teóricos.

### **4.3 Equivalente de Thévenin de uma Rede com dois Geradores de Tensão**

Os Equivalentes de Thévenin e de Norton constituem ferramentas de grande utilidade para facilitar a análise de redes lineares. Neste ponto iremos determinar experimentalmente o Equivalente de Thévenin para os terminais A-B da rede da Fig. 2 e confirmar a sua equivalência.

A tensão equivalente de Thévenin coincide com a que se obteve anteriormente para  $R_L = \infty$ . Para determinar experimentalmente a Resistência equivalente de Thévenin, e uma vez que no laboratório não estão disponibilizados amperímetros, procede-se como se indica a seguir:

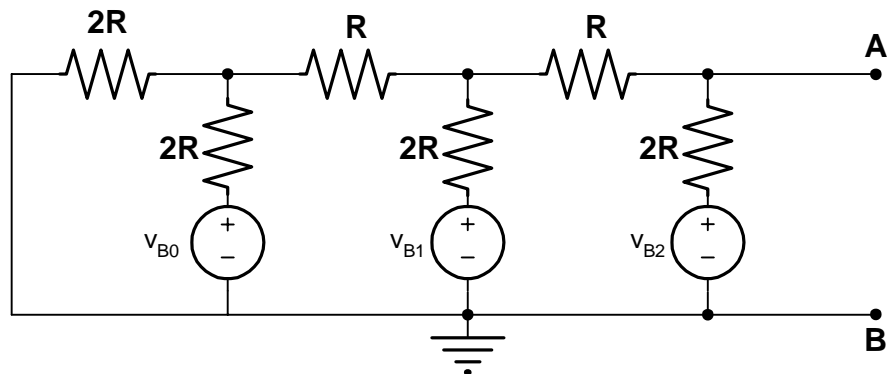
- i) Faça  $R_L = 33 \text{ k}\Omega$  (e  $V_{B0} = V_{B1} = +5\text{V}$ ) e meça a tensão de saída aos terminais A-B, registrando o resultado obtido.
- ii) Com base nos dois resultados anteriores, determine a Resistência equivalente de Thévenin. Comente o resultado tendo em conta o valor determinado por cálculo teórico.

Para confirmar a equivalência de ambos os circuitos, proceda do seguinte modo:

- iii) Faça  $R_L = 15 \text{ k}\Omega$  e meça a tensão de saída aos terminais A-B, registrando o resultado obtido.
- iv) Construa agora o circuito equivalente de Thévenin com base nos elementos que calculou anteriormente. A resistência de Thévenin pode ser realizada com duas resistências em paralelo. A tensão de Thévenin pode ser realizada com uma das fontes de alimentação ajustáveis.
- v) Carregue agora o equivalente de Thévenin com a mesma carga  $R_L = 15 \text{ k}\Omega$  e meça a tensão de saída aos terminais A-B, registrando o resultado obtido. Compare o resultado obtido com o que obteve em iii) e comente a validade do equivalente.

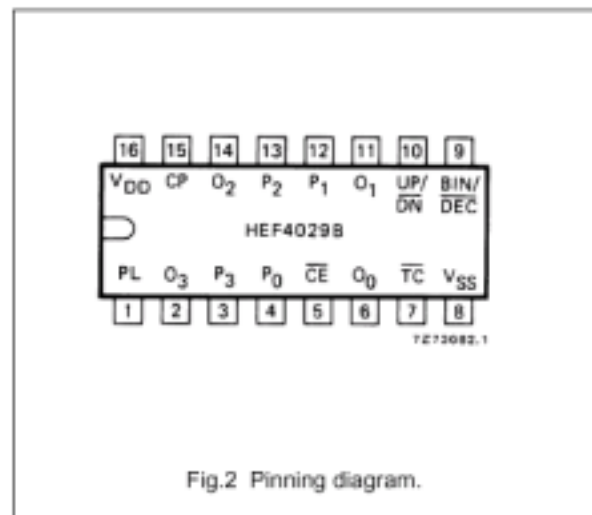
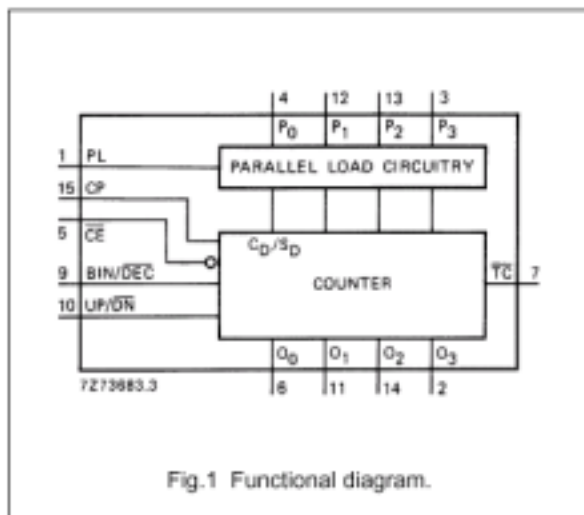
#### 4.4 Circuito de Aplicação: DAC de 3 bits

O circuito da Fig. 2 pode ser expandido a 3 fontes independentes e usado como conversor Digital-Analógico de 3-bits, tal como se representa na Fig. 3.



Ligue as tensões  $V_{B0}$ ,  $V_{B1}$  e  $V_{B2}$  às saídas dos interruptores que a base de experimentação possui para teste de circuitos digitais, com saídas entre 0V e 5V. **Não deve utilizar** os interruptores de 3 posições com saídas de -5V, 0V ou +5V. Prossiga com o seguinte procedimento:

- i) Percorrendo todas as combinações lógicas  $B_0B_1B_2 = "000"$  a  $B_0B_1B_2 = "111"$ , determine experimentalmente, código a código, a característica de transferência do DAC assim obtido.
- ii) Monte na placa o contador CMOS 4029 e observe no osciloscópio a saída do DAC quando este é excitado por um código de entrada cíclico. Registre e justifique as suas observações.



#### 4.5 Conclusões

Em traços gerais, summarize as conclusões que retira deste trabalho de laboratório.

|  |
|--|
| <p style="text-align: center;"><b>TRABALHO 1 – PARTE I</b><br/><b>Leis de Kirchhoff, Equivalente de Thévenin</b></p> |
|--|

**Registo de Resultados Experimentais**

*Identificação do Grupo*

**Turno:** \_\_\_\_\_ (manhã, tarde)

**Nº de Grupo** \_\_\_\_\_ (1, ..., 6)

*Elementos:*

Nº \_\_\_\_\_ **Nome:** \_\_\_\_\_

Nº \_\_\_\_\_ **Nome:** \_\_\_\_\_

*4.1 Divisor de Tensão Carregado*

i) Registo da medição de  $V_{R1}$ ,  $V_{R2}$  e  $V_S$

$V_{R1} =$  \_\_\_\_\_ V

$V_{R2} =$  \_\_\_\_\_ V

$V_S =$  \_\_\_\_\_ V

Confirmação de KVL:

Comentário ao resultado:

i) Registo da medição de  $V_{AB}$  para  $R_L = 150 \text{ k}\Omega$  e  $R_L = 15 \text{ k}\Omega$

$R_L = 150 \text{ k}\Omega$ :  $V_{AB} =$  \_\_\_\_\_ V

$R_L = 15 \text{ k}\Omega$ :  $V_{AB} =$  \_\_\_\_\_ V

Cálculo Teórico:

Comentário aos resultados e regra de dimensionamento:

#### ***4.2 Princípio de Sobreposição aplicado a uma Rede com dois Geradores de Tensão***

i) Registo da medição de  $V_{AB}$  com a contribuição das duas fontes:

$$V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

ii) Registo da medição de  $V_{AB}$  com a contribuição de  $V_{B0}$ :

$$V_{AB0} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

iii) Registo da medição de  $V_{AB}$  com a contribuição de  $V_{B1}$ :

$$V_{AB1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

iv) Confirmação do princípio de sobreposição:

Cálculo teórico de  $V_{AB}$ ,  $V_{AB0}$  e  $V_{AB1}$ :

Comentários:

### ***4.3 Equivalente de Thévenin de uma Rede com dois Geradores de Tensão***

i) Registo da medição de  $V_{AB}$  com  $R_L = 33 \text{ k}\Omega$

$$V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

ii) Cálculo da Resistência de Thévenin:

$$R_T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ k}\Omega$$

iii) Registo da medição de  $V_{AB}$  com  $R_L = 15 \text{ k}\Omega$ :

$$V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

iv) Registo dos valores de tensão e resistência equivalentes de Thévenin:

$$V_T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$R_T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ k}\Omega$$

v) Registo da medição de  $V_{AB}$  com  $R_L = 15 \text{ k}\Omega$  no equivalente de Thévenin:

$$V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

Comentário sobre a validade do equivalente:

#### 4.4 DAC de 3 bits com malha R-2R

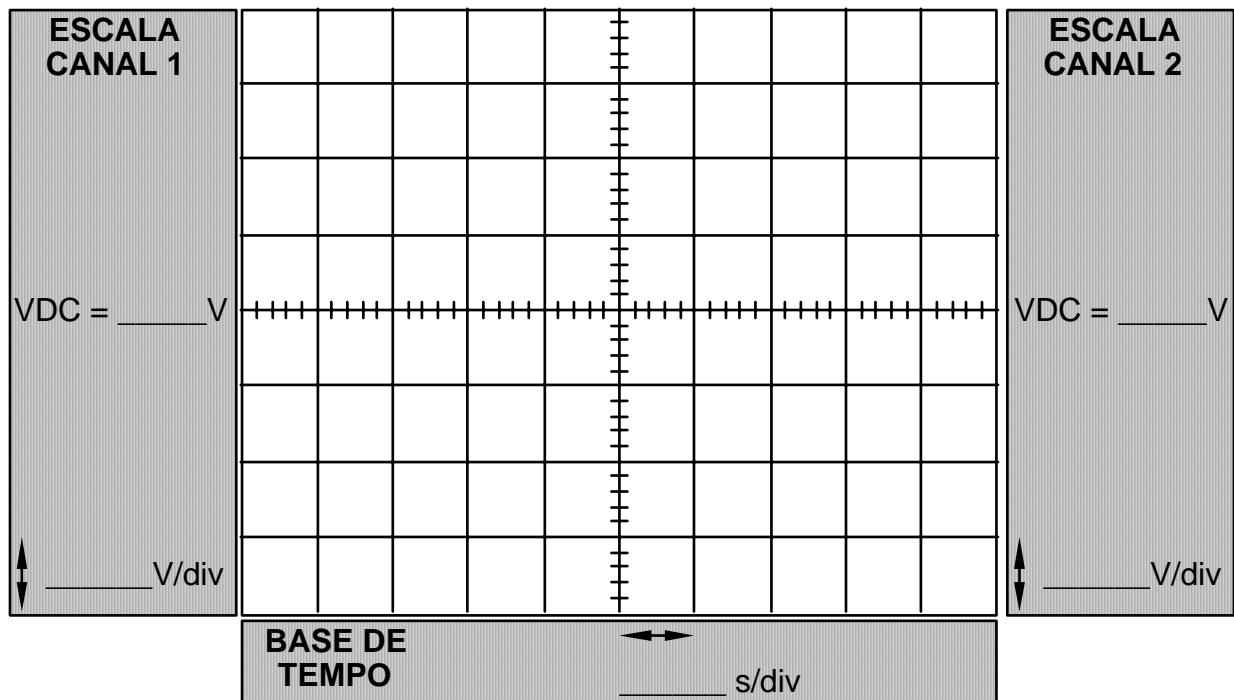
i)

Característica de Transferência obtida para o DAC de 3 bits:

| $V_{B2}$ (V) | $V_{B1}$ (V) | $V_{B0}$ (V) | $V_{AB}$ (V) |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0            | 0            | 0            |              |
| 0            | 0            | 5            |              |
| 0            | 5            | 0            |              |
| 0            | 5            | 5            |              |
| 5            | 0            | 0            |              |
| 5            | 0            | 5            |              |
| 5            | 5            | 0            |              |
| 5            | 5            | 5            |              |

Comentários:

ii) Registo da saída do DAC excitado pelo contador, quando a frequência de relógio é de 100kHz.



Comentários:

#### 4.5 Conclusões Gerais