

## Experimento 03: Análise de Circuitos Resistivos

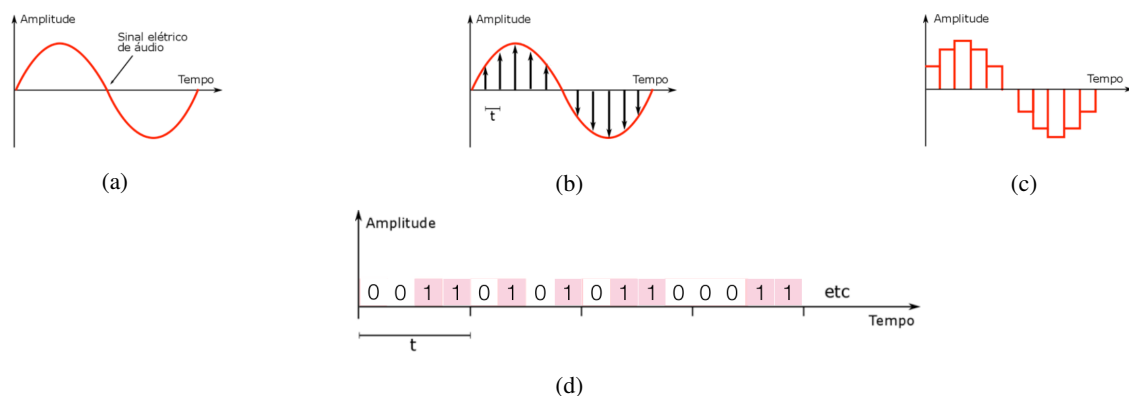
### 1) Objetivos

Demonstração prática do Princípio da superposição de sinais e do Teorema de Thévenin, com montagem em protoboard e realização de medidas de tensão e o cálculo da corrente em circuitos resistivos lineares. Comparação dos resultados teóricos com simulações de circuitos.

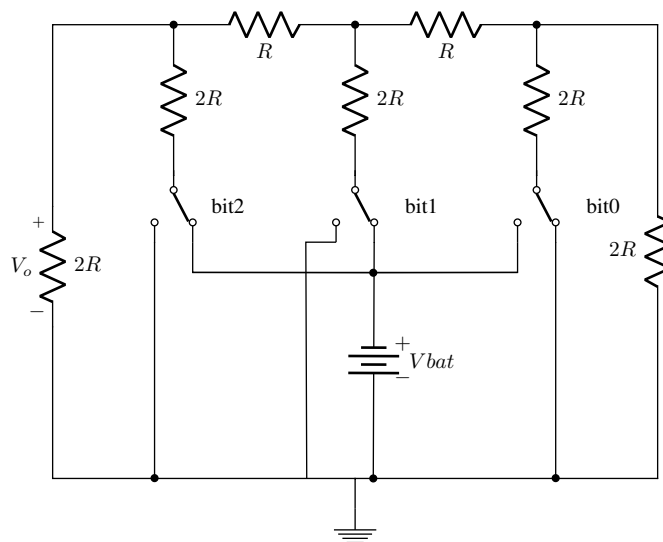
### 2) Estudo pré-laboratorial

#### 2.1) Princípio da Superposição e Conversores D/A

Os sinais elétricos podem ser descritos genericamente como estando nas formas analógica ou digital. Um sinal analógico é contínuo tanto no tempo quanto na amplitude. Como exemplo, pode-se citar um sinal de uma gravação de música na saída de um amplificador de áudio que alimenta um alto-falante. Por outro lado, um sinal digital, tipicamente representado por números binários, corresponde a uma representação por amostras do sinal analógico original. As amostras do sinal digital podem assumir valores discretos (isto é, um número finito de valores) e representam o sinal em instantes de tempo discretos (em instantes de tempo definidos). Assim, um número binário pode corresponder a um determinado valor de tensão em um determinado instante de tempo. A Fig. 2.1 ilustra o processo de digitalização de um sinal de áudio. Primeiramente, os valores de tensão do sinal analógico (Fig. 2.1a) são tomados a intervalos regulares de tempo, resultando no sinal amostrado (Fig. 2.1b). Depois, o sinal amostrado é quantizado (Fig. 2.1c), ou seja, cada valor de tensão do sinal amostrado será substituído por um dos  $2^n$  valores de tensão possíveis, onde  $n$  é o número de bits que irão representar cada amostra. Por fim, o sinal quantizado é convertido em uma sequência de bits, onde cada grupo de bits corresponde a um dos valores possíveis no processo de quantização (Fig. 2.1d). Um problema importante em engenharia eletrônica é o uso de um circuito para a conversão de um sinal da forma digital para a forma analógica. O circuito poderia ser usado, por exemplo, em um aparelho de CD. Um número binário (formado por zeros e uns) — correspondente a uma amostra do sinal original, gravado no CD — deve ser convertido para um valor de tensão, que vai representar uma aproximação do sinal analógico durante um intervalo de tempo definido. Um circuito para converter de digital para analógico é apresentado na Fig. 2.2. Cada um dos bits do número binário está associado a um conjunto formado por uma bateria e uma chave. Quando o valor do bit é igual a 1, a chave correspondente é conectada à bateria; quando o valor é igual a 0, a chave é conectada ao terra do circuito. A posição da chave é controlada pelo valor do bit. Desta forma, um número binário 000 faz aparecer uma tensão  $V_o = 0$  V, enquanto que o número 111 faz aparecer uma tensão  $V_o = 7/12$  V bat. No circuito, cada número binário entre 000 e 111 corresponde a um valor de tensão que vai representar uma amostra do sinal durante um intervalo de tempo determinado. Por exemplo, para obter uma forma de onda do tipo rampa na saída  $V_o$ , bastaria escrever em sequência as palavras binárias que vão de 000 a 111, em incrementos de 1. Um conversor D/A com mais bits pode ser obtido simplesmente acrescentando novos pares de resistores R-2R e novas chaves ao circuito.



**Figura 2.1:** Conversão analógico-digital (A/D): (a) sinal analógico; (b) discretização no tempo (amostragem); (c) discretização em amplitude (quantização); e (d) representação do sinal digital na forma de bits.

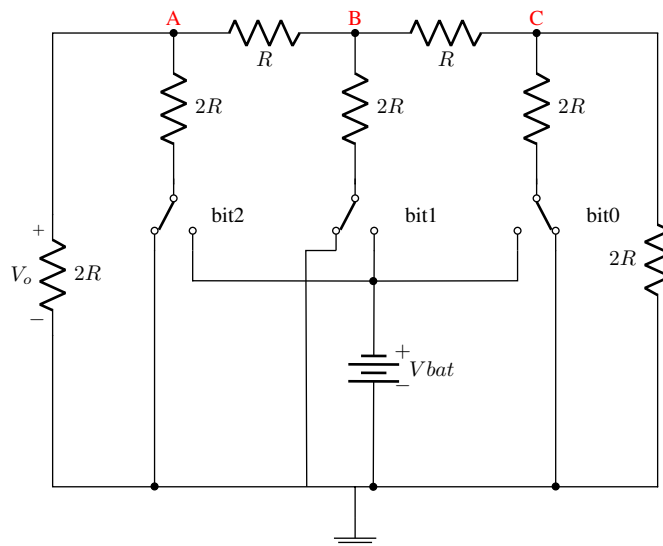


**Figura 2.2:** Conversor Digital-Analógico (D/A) tipo rede R-2R de 3 bits.

**2.1.1) Por meio de análise teórica do circuito da Fig. 2.2, encontre o valor da saída  $V_o$  para cada uma das 8 palavras binárias de 3 bits possíveis (000 a 111). Para tal, considere  $V_{bat} = 5\text{ V}$ .**

Dica: ao invés de resolver o circuito oito vezes, resolva apenas para as palavras binárias 000, 001, 010 e 100. A seguir, aplique o teorema da superposição para encontrar o resultado para as demais palavras binárias

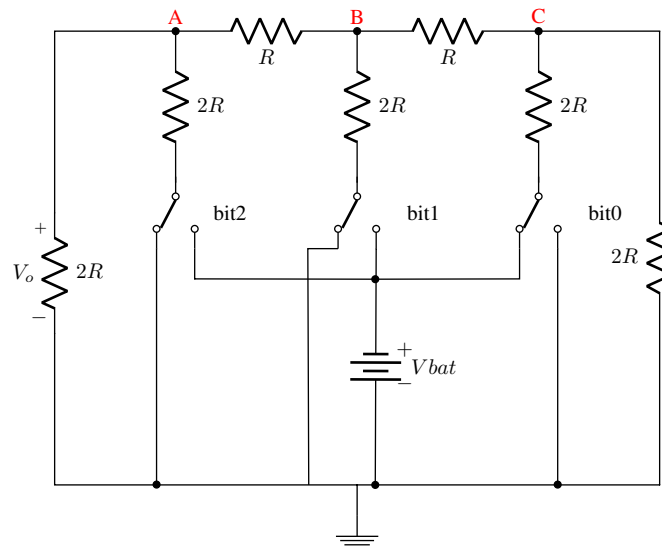
a) Para a palavra binária 000, tem-se o seguinte circuito:



**Figura 2.3:** Conversor Digital-Analógico (D/A) tipo rede R-2R de 3 bits.

Como não há participação da fonte (bateria), então o valor de  $V_o = V_{000} = 0\text{ V}$ .

b) Para a palavra binária 001, tem-se o seguinte resultado:



**Figura 2.4:** Conversor Digital-Analógico (D/A) tipo rede R-2R de 3 bits.

Aplicando a LKT, temos

$$\begin{cases} \frac{V_A - V_B}{R} + \frac{V_A}{2R} = 0 \\ \frac{V_B - V_A}{R} + \frac{V_B}{2R} + \frac{V_B - V_C}{R} = 0 \\ \frac{V_C - V_B}{R} + \frac{V_C - 5}{2R} + \frac{V_C}{2R} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 2V_A - V_B + 0V_C = 0 \\ -1V_A + 2,5V_B - 1V_C = 0 \\ 0V_A - 1V_b + 2V_C = 0 \end{cases}$$

Transpondo o sistema de equações obtido acima para uma matriz  $3 \times 3$ , temos

$$\begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2,5 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

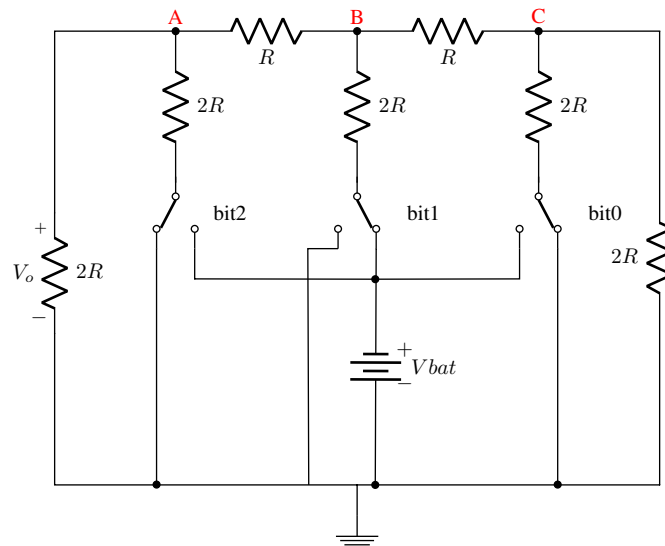
Resolvendo a matriz encontramos

$$\begin{cases} V_A = 0,4167 \\ V_B = 0,8333 \\ V_C = 1,6667 \end{cases}$$

Logo,

$$V_A = V_o = V_{001} = 0,4167V \quad (1)$$

c) Para a palavra binária 010, temos a seguinte configuração



**Figura 2.5:** Conversor Digital-Analógico (D/A) tipo rede R-2R de 3 bits.

Aplicando a LKT, temos

$$\begin{cases} \frac{V_A - V_B}{R} + \frac{V_A}{2R} + \frac{V_A}{2R} = 0 \\ \frac{V_B - V_A}{R} + \frac{V_B - 5}{2R} + \frac{V_B - V_C}{R} = 0 \\ \frac{V_C - V_B}{R} + \frac{V_C}{2R} + \frac{V_C}{2R} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 2V_A - 1V_B + 0V_C = 0 \\ -1V_A + 2,5V_B - 1V_C = 2,5 \\ 0V_A - 1V_B + 2V_C = 0 \end{cases}$$

Colocando em forma matricial, tem-se

$$\begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2,5 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2,5 \\ 0 \end{bmatrix}$$

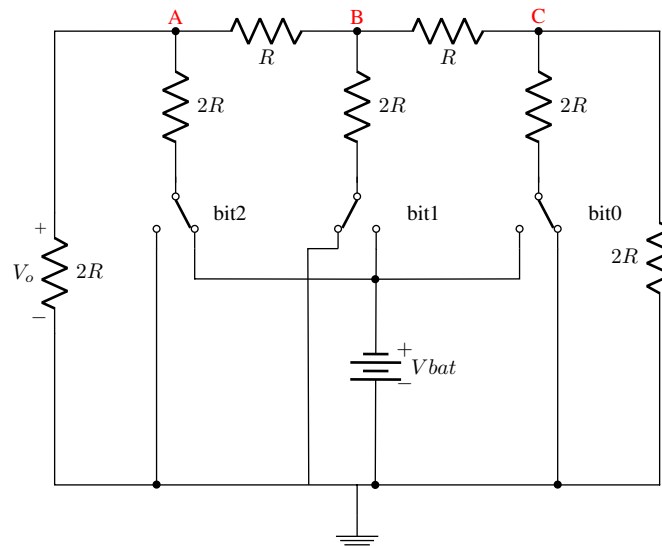
Resolvendo a matriz, obtem-se

$$\begin{cases} V_A = 0,8333V \\ V_B = 1,6667V \\ V_C = 0,8333V \end{cases}$$

Logo,

$$V_A = V_o = V_{010} = 0,8333V \quad (2)$$

**d)** Para a palavra 100, tem-se o seguinte circuito



**Figura 2.6:** Conversor Digital-Analógico (D/A) tipo rede R-2R de 3 bits.

Aplicando a LKT, tem-se

$$\begin{cases} \frac{V_A - V_B}{R} + \frac{V_A - 5}{2R} + \frac{V_A}{2R} = 0 \\ \frac{V_B - V_A}{R} + \frac{V_B}{2R} + \frac{V_B - V_C}{R} = 0 \\ \frac{V_C - V_B}{R} + \frac{V_C}{2R} + \frac{V_C}{2R} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 2V_A - 1V_B + 0V_C = 2,5 \\ -1V_A + 2,5V_B - 1V_C = 0 \\ 0V_A - 1V_B + 2V_C = 0 \end{cases}$$

Arranjando o sistema de equações de forma matricial, tem-se

$$\begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2,5 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Como resultado, obtém-se

$$\begin{cases} V_A = 1,6667V \\ V_B = 0,8333V \\ V_C = 0,4167V \end{cases}$$

Logo,

$$V_A = V_o = V_{100} = 1,6667V \quad (3)$$

e) Aplicando-se o teorema da superposição, se pode encontrar os valores em volts das demais palavras binárias. Assim

$$\begin{cases} V_{011} = V_{001} + V_{010} = 0,4167 + 0,8333 = 1,25V \\ V_{101} = V_{100} + V_{001} = 1,6667 + 0,4167 = 2,0834V \\ V_{110} = V_{010} + V_{100} = 0,8333 + 1,6667 = 2,5V \\ V_{111} = V_{001} + V_{010} + V_{100} = 0,4167 + 0,8333 + 1,6667 = 2,9167V \end{cases}$$

**b)** Verifique os resultados teóricos encontrados, simulando o circuito no Qucs 0.0.19. Obtenha os valores da saída  $V_o$  correspondentes a cada uma das entradas possíveis (000 a 111).

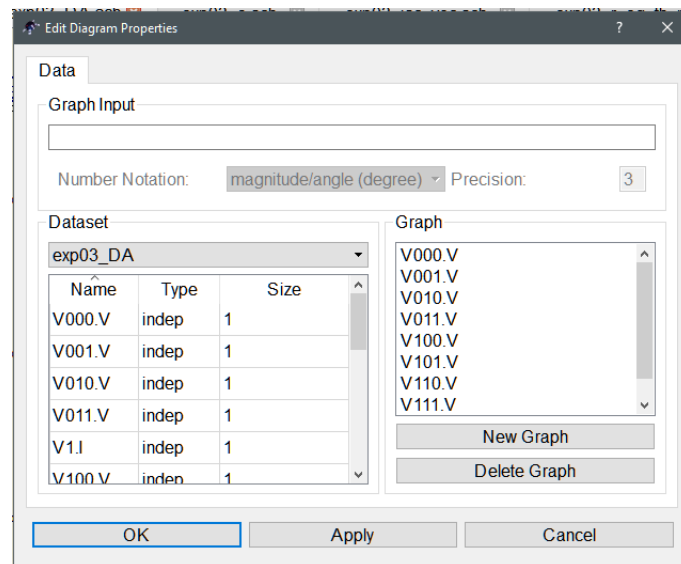


Figura 2.7:  $j++i$



Figura 2.8:  $j++i$

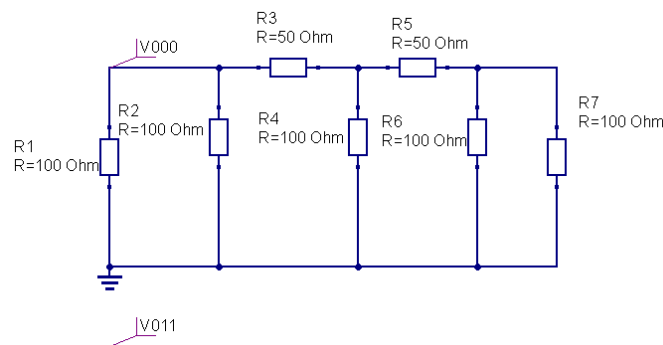


Figura 2.9:  $j++i$

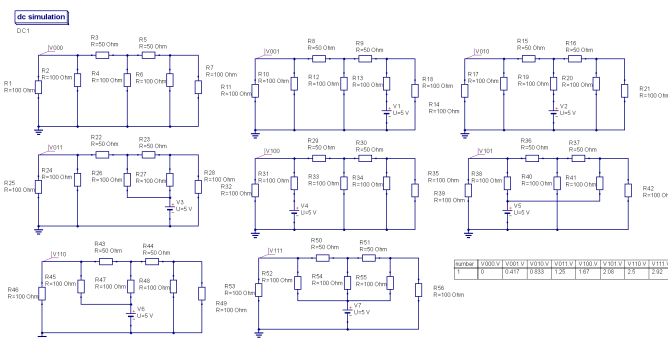


Figura 2.10:  $j++i$

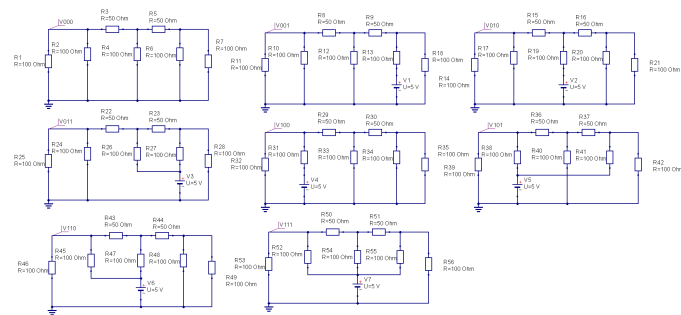


Figura 2.11:  $j++i$

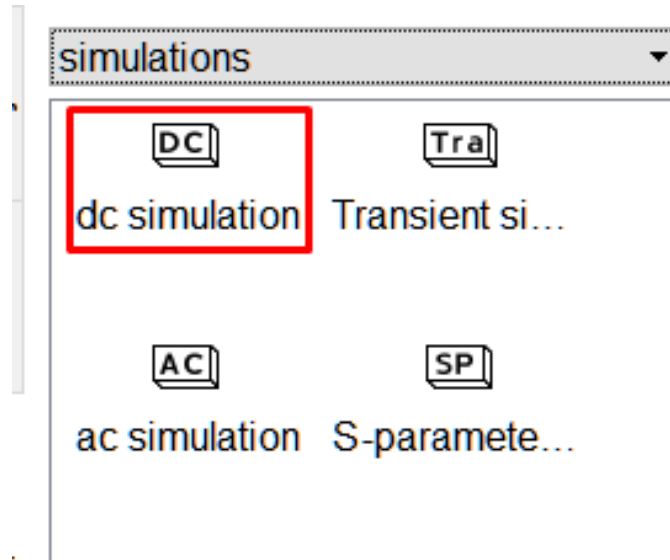


Figura 2.12:  $j++i$

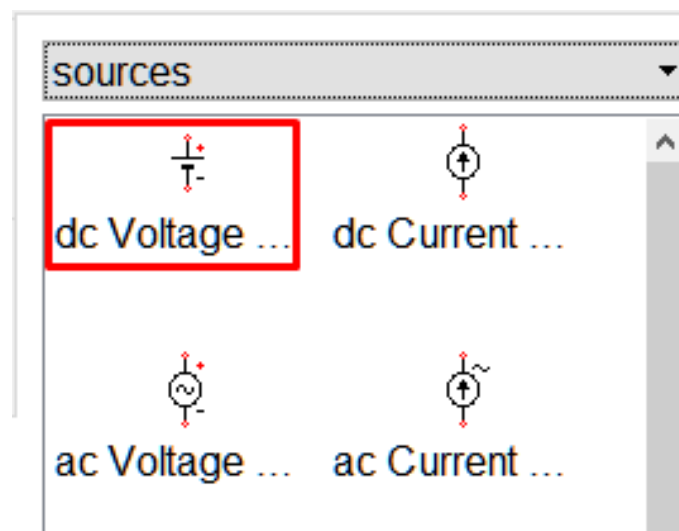


Figura 2.13:  $j++i$

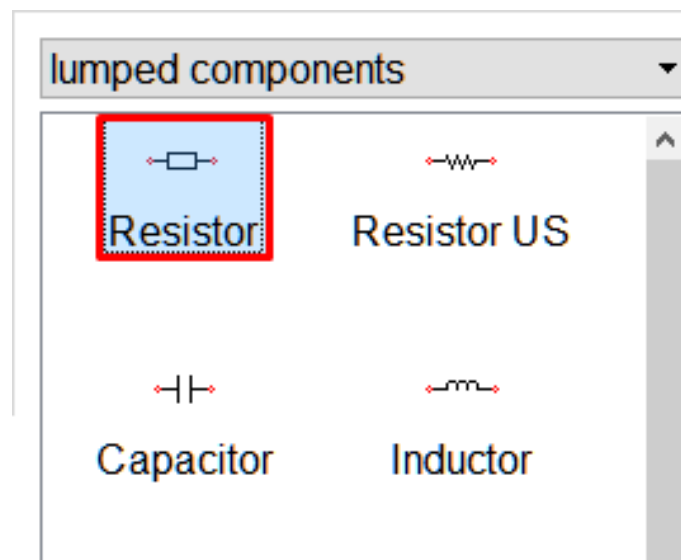


Figura 2.14:  $i_{++}i_c$