

Laboratório de Circuitos Elétricos 1 – 2014/1

Experiência N° 04: Princípio da Superposição

I - Objetivo

Esta experiência tem como objetivo a verificação experimental do princípio da superposição em circuitos lineares.

II - Introdução Teórica

II.1 - Linearidade e Princípio da Superposição

Os resistores, capacitores e indutores são caracterizados por relações entre duas variáveis, a tensão e a corrente, chamadas de grandezas elétricas. Usando uma notação geral, tais relações podem ser expressas como $y = f(x)$, onde x e y são variáveis e f é uma função relacionando essas duas variáveis. Um exemplo típico é a lei de Ohm ($v = Ri$), que tem uma forma $y = cx$, onde c é uma constante. Essa é uma relação linear.

Vamos considerar x como uma excitação (entrada) do sistema (circuito) e y como uma resposta (saída) a esta excitação. Uma relação linear apresenta algumas propriedades importantes. Se a excitação x é multiplicada por um fator escalar k qualquer, a saída y também é multiplicada por k .

Se o sistema tem uma resposta y_1 para a excitação x_1 e a resposta y_2 para a excitação x_2 , temos então que, para a excitação $x_1 + x_2$, a resposta será $y = y_1 + y_2$. Em outras palavras, temos que a saída associada a uma soma de entradas é igual a soma das saídas individuais associadas a essas entradas.

Suponha agora que a entrada é uma combinação linear das excitações x_1 e x_2 , com coeficientes escalares c_1 e c_2 . Neste caso, temos então a relação:

$$\text{entrada} = c_1x_1 + c_2x_2, \text{ então saída} = c_1y_1 + c_2y_2.$$

Este resultado, que é uma consequência da linearidade, é referido como o princípio da superposição.

II.2 - Aplicações

Nesta experiência você terá a oportunidade de aplicar os seus conhecimentos sobre superposição a um circuito prático muito importante: um conversor digital-analógico ou D/A. Você vai estudar o princípio de um conversor D/A baseado em rede resistiva R - $2R$. A seção a seguir apresenta uma introdução teórica sobre esse tipo de conversor.

Conversor Digital-Analógico (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 Figura 4.1 ilustra o processo de digitalização de um sinal genérico. Primeiramente, os valores de tensão do sinal analógico (Figura 4.1a) são tomados a intervalos regulares de tempo, resultando no sinal amostrado (Figura 4.1b). Posteriormente, o sinal amostrado é quantizado (Figura 4.1c), 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 serão utilizados para 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 (d).

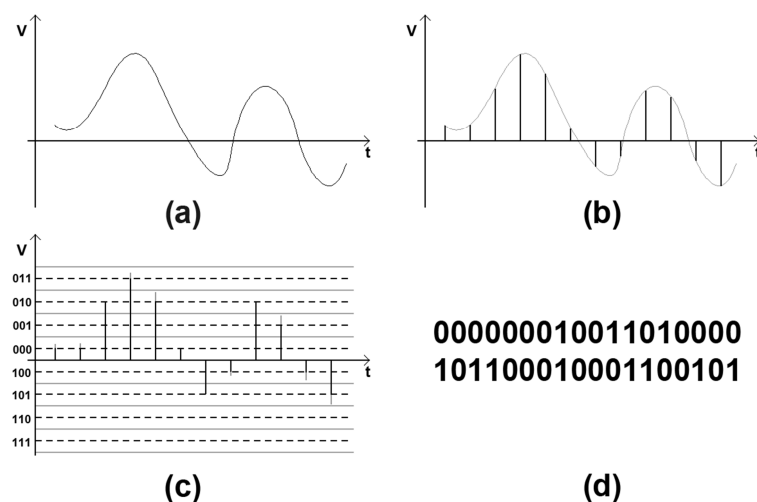


Figura 4.1 Conversão analógico-digital (A/D): (a) sinal analógico; (b) discretização no tempo (amostragem); (c) discretização em amplitude (quantização); e (d) representação do sinal digital na forma de bits.

Um problema importante em engenharia elétrica é a conversão de um tipo de sinal para o outro tipo. Esta experiência vai aplicar os conceitos básicos de circuitos elétricos a um circuito que pode ser usado para converter 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 Figura 4.2. 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 $v_o = (7/12)V_{bat}$.

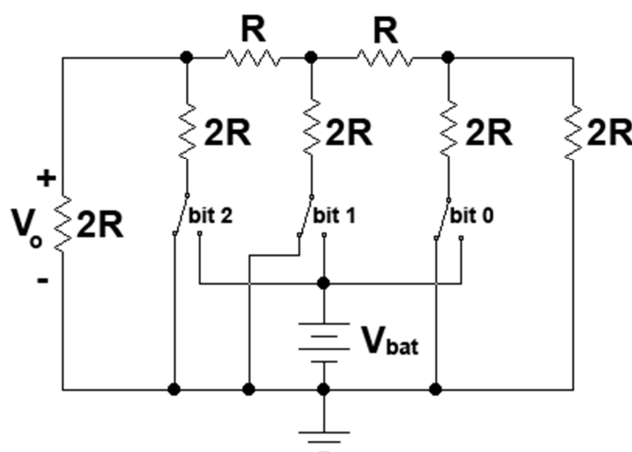


Figura 4.2 Conversor digital-analógico (D/A) de 3 bits.

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 é pode ser obtido simplesmente acrescentando novos pares de resistores R - $2R$ e novas chaves ao circuito.

III – Pré-relatório

Por meio de análise teórica do circuito da Figura 4.2, encontre o valor da saída V_o para cada uma das 8 palavras binárias de 3 bits possíveis (000 a 111). Para tal, considere $V_{bat} = x,yz$ V, onde x , y e z representam os três últimos dígitos do seu número de matrícula. Para um aluno com matrícula 12/3456789, por exemplo, seria usado $V_{bat} = 7,89$ V. Verifique os resultados teóricos encontrados, simulando o circuito em uma ferramenta computacional de sua escolha.

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.

Apresente também uma simulação do procedimento experimental descrito a seguir (não é necessário fazer os cálculos teóricos para o circuito da Figura 4.3). Em sua simulação, o princípio da superposição foi verificado na tensão do resistor de 2,2 k Ω ? E na corrente do resistor de 1 k Ω ? Explique.

IV - Procedimento Experimental

Monte o circuito apresentado na Figura 4.3 e execute os passos a seguir.

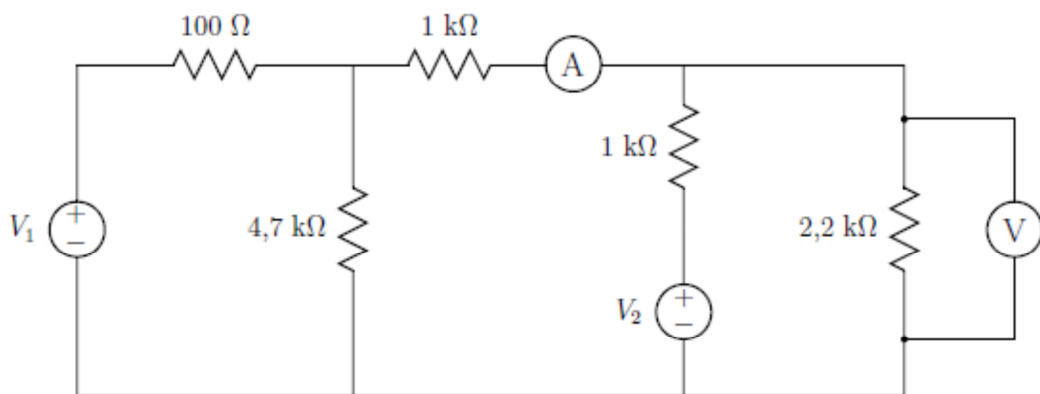


Figura 4.3 – Circuito com duas fontes.

- Ajuste as duas fontes de tensão para os seguintes valores: $V_1 = 6\text{ V}$ e $V_2 = 4\text{ V}$.
- Com as duas fontes de tensão ligadas, use o multímetro para medir a tensão no resistor de 2,2 k Ω . Faça também a leitura do amperímetro para medir a corrente no resistor de 1 k Ω indicado.
- Coloque a fonte de tensão V_1 em repouso ajustando sua tensão para 0 V. Mantendo a fonte de tensão V_2 ligada, meça a tensão no resistor de 2,2 k Ω e a corrente no resistor de 1 k Ω indicado.
- Coloque agora a fonte de tensão V_2 em repouso ajustando sua tensão para 0 V. Mantendo a fonte de tensão V_1 ligada, meça a tensão no resistor de 2,2 k Ω e a corrente no resistor de 1 k Ω indicado.

No experimento prático, o princípio da superposição foi verificado na tensão do resistor de 2,2 k Ω ? E na corrente do resistor de 1 k Ω ? Explique.

V - Relatório

Em seu relatório, escreva uma breve descrição dos procedimentos realizados. Liste os equipamentos utilizados, apresentando uma breve explicação sobre cada um, e anexe as tabelas a seguir. Sempre que possível, discuta os resultados observados, comparando os valores experimentais com os valores teóricos e simulados.

Laboratório de Circuitos Elétricos 1 - Experiência Nº 04: Princípio da Superposição - 2014/1**Turma:** _____ **Data:** _____

Alunos: _____ Matrícula: _____
_____ Matrícula: _____
_____ Matrícula: _____

	$V_1 = 6 \text{ V} ; V_2 = 4 \text{ V}$	$V_1 = 0 \text{ V} ; V_2 = 4 \text{ V}$	$V_1 = 6 \text{ V} ; V_2 = 0 \text{ V} ;$
tensão no resistor de $2,2 \text{ k}\Omega$			
corrente no resistor de $1 \text{ k}\Omega$ indicado			

Com base nos valores medidos com somente uma das fontes ligadas, quais seriam os valores esperados de tensão e corrente para o caso com as duas fontes ligadas? Calcule e comente possíveis discrepâncias com os valores medidos.