

O ENSINO EXPERIMENTAL NA ÁREA DE ELECTROMETRIA E INSTRUMENTAÇÃO – UM EXEMPLO CONCRETO: SISTEMAS DE 2ª ORDEM

F. RODRIGUES, N. CARDOSO

Departamento de Engenharia Electrotécnica e Automação, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1949-014, Lisboa, Portugal

Este artigo pretende, através dum exemplo concreto, sistemas de 2ª ordem, mostrar uma experiência de diferentes abordagens dum mesma questão, realizadas em diferentes momentos no desenvolvimento curricular dum curso de Engenharia Electrotécnica, tendo como objectivo transmitir aos alunos uma melhor concretização das respostas previstas teoricamente e, simultaneamente, pondo em evidência algumas aplicações concretas. Concomitantemente, constitui um exemplo de utilização de diferentes ferramentas, com aplicação útil em diferentes áreas.

1. Introdução

Procura-se, actualmente, que num curso de engenharia o ensino experimental surja, em termos curriculares, o mais cedo possível, quer pela motivação que poderá constituir, quer pelo facto de o carácter experimental que assume o ensino na área de Electrometria e Instrumentação poder servir de complemento a outras com uma componente teórica mais acentuada. Também nas restantes áreas (Electrónica, Máquinas Eléctricas, Automação, etc.) se torna necessário o conhecimento e a capacidade de utilização de equipamentos de medição.

O ensino experimental num curso de engenharia, em particular na área de Electrometria e Instrumentação, deverá envolver três componentes que deverão ser encaradas como complementares: 1 – ensaios em laboratório com equipamentos que evidenciem o que foi previsto teoricamente; 2 – utilização de *software* de cálculo com capacidade de representação gráfica, nomeadamente folhas de cálculo, para representar graficamente as equações que traduzem o comportamento dum dado sistema, em situações concretas, 3 – utilização de *software* de simulação que permita simular o comportamento dum dado sistema.

2. Um exemplo concreto: Estudo dum sistema de 2ª ordem

Os sistemas de 2ª ordem surgem em diferentes áreas no domínio da Engenharia Electrotécnica. Na Análise de Circuitos, por exemplo, através dos circuitos RLC, na Electrometria através dos sistemas de medida magnetoeléctricos, nos Sistemas de Controlo, através de sistemas físicos (mecânicos, térmicos, hidráulicos e outros) ou como forma simplificada de sistemas de ordem superior.

Evidencia-se assim o interesse do exemplo que se apresenta, bem para além da área em que, naturalmente, surge.

3. 1ª abordagem – Observação da resposta dum sistema magnetoeléctrico a um escalão de tensão

Com a montagem que se observa na figura 1a, e com um galvanómetro com um coeficiente de amortecimento próprio reduzido, consegue-se variar o amortecimento.

A resistência variável R_A proporciona os regimes de amortecimento intermédios entre as situações extremas, resistência de *shunt* nula (passagem do inversor S_2 da posição A para a posição B) e resistência de *shunt* infinita (abertura do interruptor S_3), atribuindo a esta resistência diferentes valores. Como a variação desta resistência altera a sensibilidade da montagem, para que os diferentes regimes observados se correspondam e tenham a mesma amplitude inicial, a fonte de alimentação DC utilizada deverá ser regulável.

Através da recolha das amplitudes do movimento, à esquerda e à direita, é possível construir uma tabela de valores que, conjuntamente com a obtenção do período das oscilações, permitirá o traçado dum registo gráfico idêntico ao que se apresenta na figura 1b.

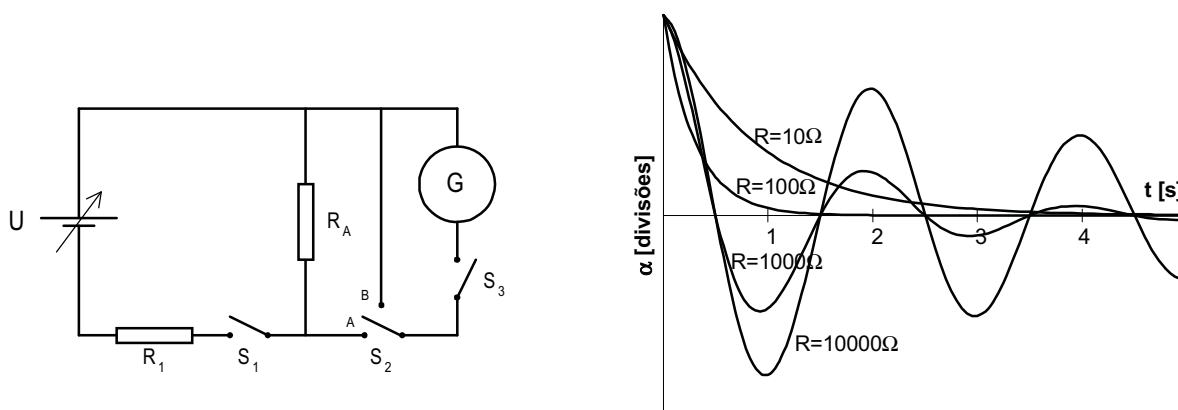


Figura 1a – Montagem para observação dos regimes de amortecimento num galvanómetro

Figura 1b – Representação gráfica dos regimes de amortecimento num galvanómetro

4. 2ª abordagem – Representação gráfica, numa folha de cálculo, da solução da equação diferencial que rege um sistema de 2ª ordem

Estabelecendo a equação diferencial que rege um sistema de 2ª ordem, concretizada para o sistema em causa, o aparelho de medição considerado na 1ª abordagem, através da função de transferência canónica

$$\frac{G_o}{G_i}(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

estando os parâmetros canónicos relacionados com os parâmetros mecânicos do sistema através das relações

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{e} \quad \zeta = \frac{a}{2\sqrt{mk}} \quad (2)$$

em que k é a constante do elemento resistente, m é a massa do elemento móvel e a o coeficiente de amortecimento do sistema.

Obtendo as respostas a uma solicitação do tipo escalão, para os diferentes regimes de amortecimento, e efectuando a correspondente representação gráfica, obter-se-á uma representação idêntica à que se apresenta na figura 2.

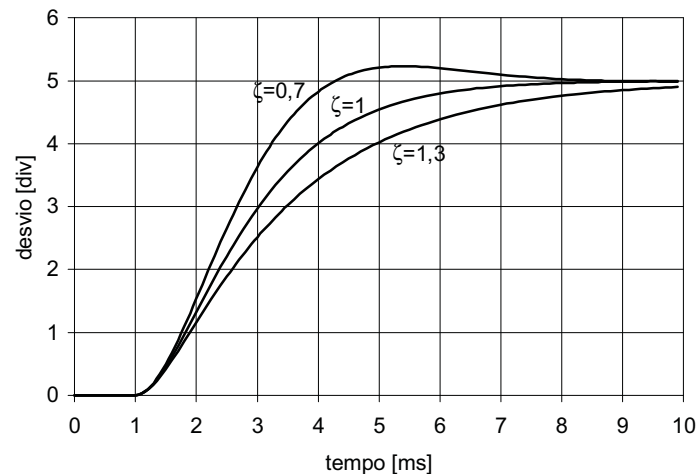


Figura 2 – Representação gráfica dos regimes de amortecimento num galvanómetro

5. 3ª abordagem – Obtenção da resposta, com software de simulação analógica, dum circuito RLC série

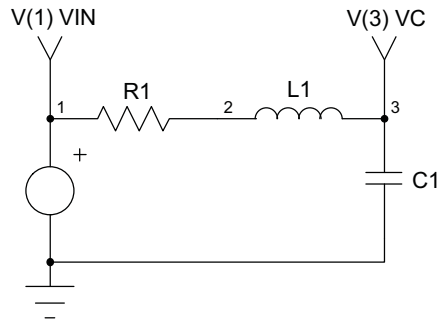
Em virtude de um circuito RLC série ser regido também por uma equação que em termos de função de transferência assume a forma da equação (1), em que os parâmetros canónicos estão relacionados com os parâmetros eléctricos do sistema através das relações

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{e} \quad \zeta = \frac{R}{2\omega_n L} \quad (3)$$

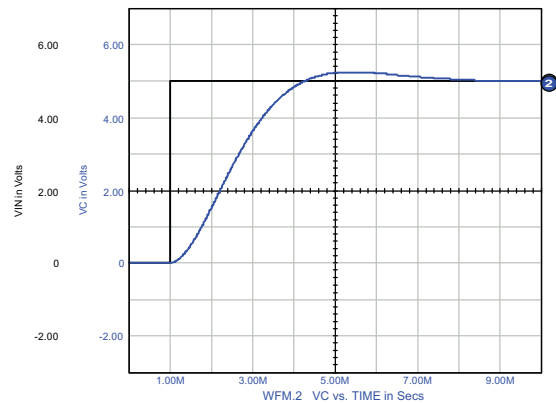
é possível, através de software de simulação analógica (*ICAPTM*), obter as respostas do circuito para diferentes regimes de amortecimento, como se apresenta na figura 3.

Nesta análise, por simulação, considerou-se como solicitação a tensão de entrada no circuito e como resposta a tensão aos terminais do condensador. Também, para que a mesma possa ser

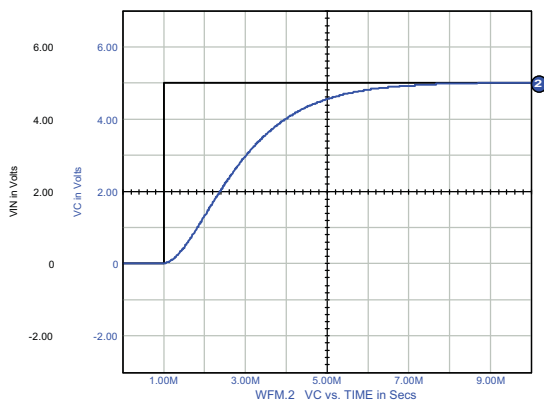
tomada como referência optou-se por apresentar, para qualquer uma das situações, a representação da entrada e da saída.



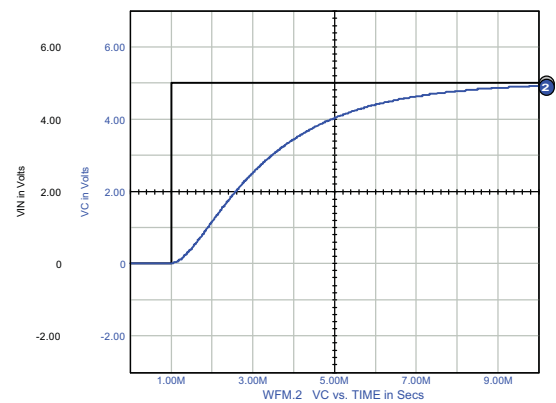
Circuito RLC



$R=140\Omega$ $L=100\text{mH}$ $C=10\mu\text{F}$ ($\xi=0,7$ $\omega_n = 1000\text{s}^{-1}$)



$R=200\Omega$ $L=1000\text{mH}$ $C=10\mu\text{F}$ ($\xi=1$ $\omega_n = 1000\text{s}^{-1}$)



$R=260\Omega$ $L=100\text{mH}$ $C=10\mu\text{F}$ ($\xi=1,3$ $\omega_n = 1000\text{s}^{-1}$)

Figura 3 – Simulação dum circuito RLC para diferentes regimes de amortecimento

6. Conclusões

O exemplo apresentado, de diferentes abordagens duma mesma questão, evidencia a concordância de resultados, validando-os, e sugere a aplicação desta metodologia noutras situações. Permite ao aluno a consolidação das matérias ao concluir sobre a vantagem de utilizar um dado sistema como modelo de outro, em função da ferramenta de análise disponível, estabelecendo as devidas equivalências entre parâmetros dum e doutro.

Referências

- [1] Ernest Doebelin, *Measurement Systems Application and Design*, McGraw-Hill Book Company (1990)
- [2] Ramón Pallás-Areny, John G. Webster, *Sensors and Signal Conditioning*, John Wiley & Sons, Inc. (1991)