

ELECTROTECNIA TEÓRICA

LEEC

IST

2º Semestre 2021/22 (Período P3)

4º TRABALHO LABORATORIAL

REGIMES TRANSITÓRIOS

Prof. V. Maló Machado

Prof.^a M^a Eduarda Pedro

ELECTROTECNIA TEÓRICA

CIRCUITOS RL E RLC-SÉRIE

REGIMES TRANSITÓRIOS

1. OBJECTIVO

Neste trabalho realiza-se o estudo de regimes transitórios decorrentes do fecho e abertura de interruptores.

Efetua-se o estudo da ligação de um circuito RL-série a um gerador de tensão alternada sinusoidal.

Efetua-se igualmente o estudo do regime livre do circuito RLC-série.

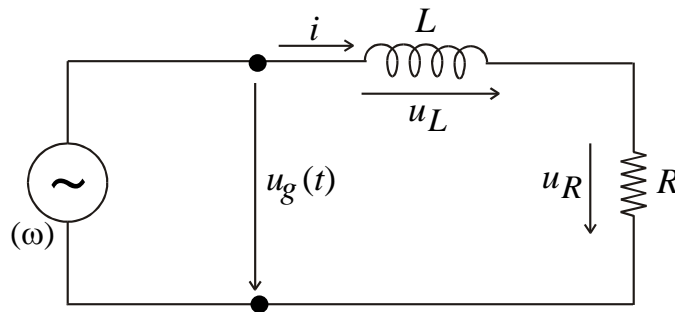
2. DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento deve ser entregue na aula de laboratório, antes da realização do trabalho, sem o que o mesmo não poderá ser realizado!

2.1 Circuito RL Série

Considere o circuito RL série representado na Fig. 1. O gerador impõe uma tensão alternada sinusoidal de frequência $f = 5 \text{ kHz}$ e valor eficaz $U_{ef} = 2 \text{ V}$.

$$u_g(t) = \begin{cases} 0 & , t < 0 \\ \sqrt{2} U_{ef} \cos(\omega t + \alpha), & t \geq 0 \end{cases}$$
$$\omega = 2\pi f, T = 1/f$$
$$L = 0,100 \text{ H}$$
$$R = 300 \Omega$$



– Fig. 1 –

- a) Obtenha o regime transitório relativo à corrente i para $t \geq 0$ (Fig. 1).
Para o efeito determine quer a solução do regime forçado (indique o valor da defasagem φ entre u_g e i) quer a solução do regime livre (indique o seu valor inicial para $\alpha = -\pi/2$, bem como a constante de tempo τ do circuito).
- b) Determine a expressão que permite calcular aproximadamente os instantes em que a corrente i tem extremos, supondo que estes extremos se dão quando $\cos(\omega t + \alpha - \varphi) = \pm 1$, e determine também a expressão que permite determinar o valor desses extremos para $\alpha = -\pi/2$.
- c) Utilizando a expressão da alínea anterior determine os cinco primeiros extremos, no caso de

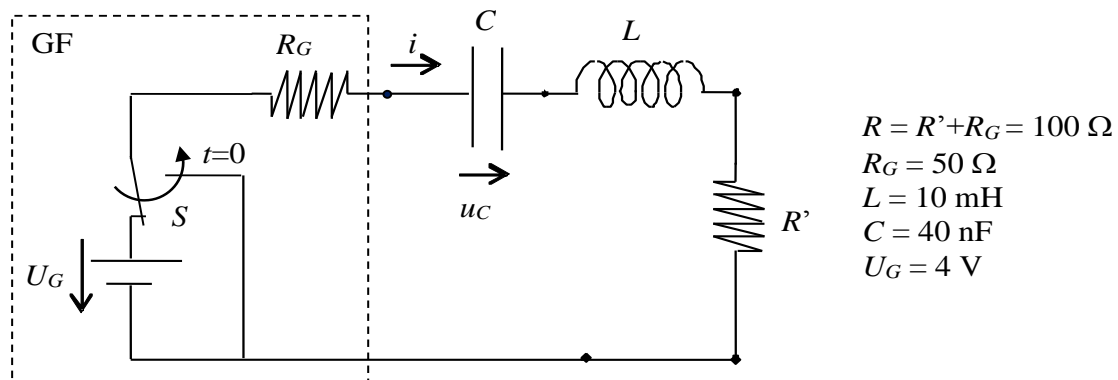
$\alpha = -\pi/2$. Para o primeiro extremo determine a solução exata, através de um processo numérico ⁽¹⁾. Verifique que a raiz exata é, neste caso, bastante próxima do valor aproximado.

- d) Considere agora que se desliga o gerador quando a tensão vai a passar por zero de valores negativos para positivos, supondo que o circuito está em regime forçado. Determine a solução para $i(t)$, calculando o valor inicial da corrente I_0 e a constante de tempo τ .
- e) Verifique que para $t = \tau$ se tem:

$$i(\tau) = \frac{I_0}{e}$$

2.2 Circuito RLC-SÉRIE

É dado o circuito representado na Fig. 2 em que o interruptor S é comutado no instante $t = 0$, após ter-se atingido o regime forçado correspondente ao estabelecimento da tensão estacionária no condensador. O circuito representado dentro do retângulo a tracejado descreve o comportamento do Gerador de Funções que irá ser usado no laboratório (Fig. 5).



– Fig. 2 –

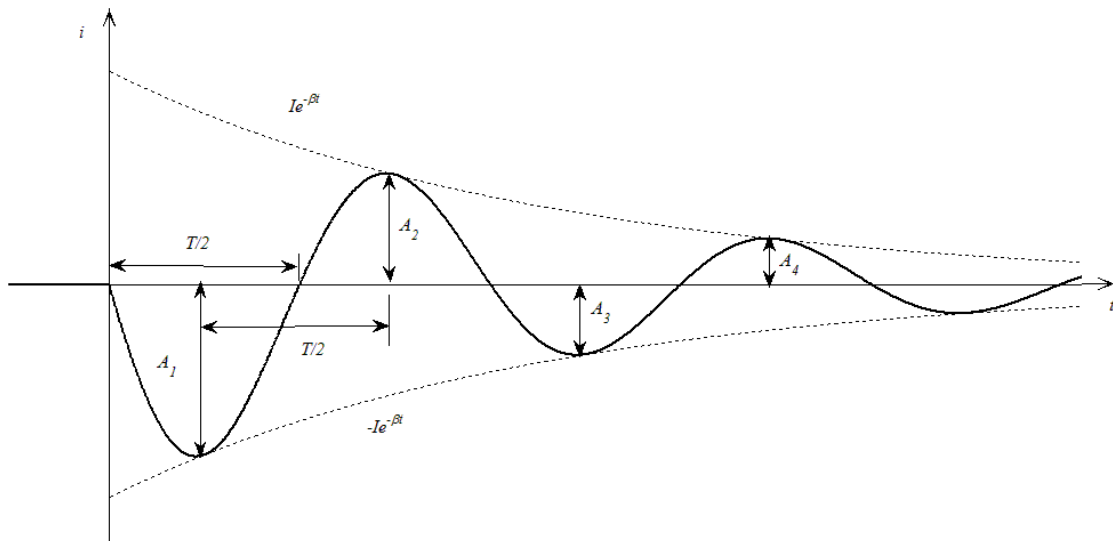
- a) Estabeleça a equação para a corrente i em valores instantâneos para $t \geq 0$ em função do coeficiente de amortecimento β e da frequência angular das oscilações não amortecidas ω_0 . Calcule ω_0 .

⁽¹⁾ Sendo a equação $f(x) = 0$ e x_n uma aproximação duma raiz, uma solução melhor x_{n+1} obtém-se através do processo iterativo $x_{n+1} = x_n - f(x_n)/f'(x_n)$ (método de *Newton-Raphson*). Pode-se considerar que o processo termina quando $|x_{n+1} - x_n| \leq \varepsilon$, tome $\varepsilon = 10^{-6}$.

- b) Estabeleça as condições iniciais para o regime que se obtém para $t \geq 0$. Caracterize o regime forçado para $t > 0$.
- c) Discuta os tipos de solução que pode obter para o regime livre com R variável.
- d) Para $R = 100 \, \Omega$, calcule o coeficiente de amortecimento β e verifique que a solução é do tipo oscilatório amortecido (Fig. 3). Calcule $\omega = 2\pi/T$ sendo T o período de isocronismo ($T/2$ é o intervalo de tempo entre dois extremos consecutivos ou entre dois zeros consecutivos). Verifique que:

$$A_1 / A_2 = A_2 / A_3 = \dots = (A_1 / A_n)^{1/(n-1)} = e^\lambda$$

- com λ , o decremento logarítmico, dado por $\lambda = \beta T/2$, e onde $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ são os valores absolutos dos extremos de ordem 1, 2, \dots , n de $i(t)$ – Fig. 3). Determine λ . Determine $i(t)$ e $u_c(t)$ tendo em conta as condições iniciais estabelecidas em b).
- e) Calcule $R_0 = R$ de modo que a solução do regime livre seja do tipo aperiódico limite (equação característica com uma raiz dupla). Determine $i(t)$. Determine igualmente o valor mínimo de i (i_{min}) e o instante em que ocorre (t_{min}).



– Fig. 3 –

3. LISTA DE MATERIAL (por bancada)

GF: Gerador de funções Agilent 33210A.

Gerador de resistência interna, $R_i = 50 \, \Omega$.

OSC: Osciloscópio digital 'TEKTRONIX TDS 220', 2 canais, 100 MHz.

IMP: Impressora

C: Caixa de capacidades calibradas de 0 a 0,1 μF com incremento de 100 pF.

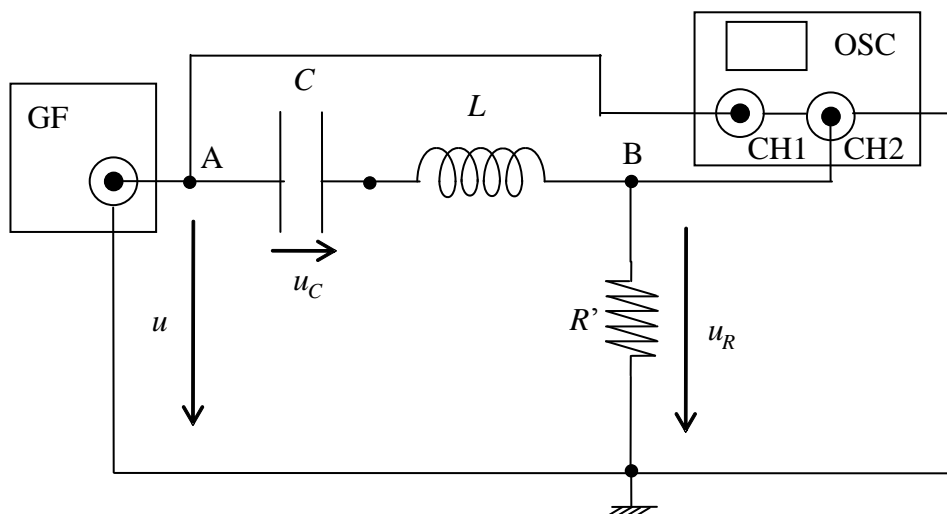
L: Caixa de indutâncias calibradas 'Lionmount' de 0 a 0,01 H com incremento de 1 mH.

R': Caixa de resistências calibradas 'Lloyd' de 0 a 1000 Ω com incremento de 0,1 Ω .

Observação: A lista de material acima descrita poderá não ser comum a todas as bancadas.

4. CIRCUITO RLC-SÉRIE

4.1 Esquema de Ligações



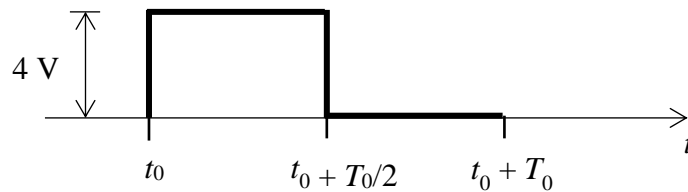
– Fig. 4 –

4.2 Condução do Trabalho

Monte o circuito da Fig. 4 de acordo com a lista de material do ponto 3. Escolha para o gerador a função de “onda quadrada” com período $T_0 = 20/\beta$, onde β tem o valor calculado em 2.2 d).

Ligue a saída do gerador ao canal 1 do osciloscópio com o circuito desligado. Ligue o gerador.

Ajuste a amplitude de saída de modo a obter a forma indicada na Fig. 5. Desligue o gerador.



– Fig. 5 –

- a) Selecione os valores de $R' = 50 \, \Omega$, $L = 10 \, \text{mH}$ e $C = 40 \, \text{nF}$. Ligue os pontos A e B, respectivamente ao canal 1 e canal 2 do osciloscópio de modo a visualizar $u(t)$ e $u_R(t)$. Ligue o gerador. Obtenha cópia em papel das curvas obtidas.

Para o semi-período em que a tensão aplicada é nula ($t_0 + T_0/2 < t < t_0 + T_0$, Fig. 6) obtenha os valores dos quatro primeiros extremos de $u_R(t)$ com a ajuda do cursor de tensão do osciloscópio. Determine o período de isocronismo, T , com a ajuda do cursor de tempo do osciloscópio. Registre os valores obtidos na tabela **R 5.2 a)**.

- b) Selecione o valor de R' de modo a que $R' + R_G = R_0$ obtido em **2.2 e)**. Com o auxílio dos cursores determine o instante t_{min} em que i é mínimo. Registre os valores obtidos na tabela **R 4.2 b)**. Varie o valor de R' de modo a visualizar os tipos de solução que pode obter para o regime livre.

5. RELATÓRIO

- a) Com base nos resultados obtidos em **4.2 a)**, calcule: o decremento logarítmico, λ ; o coeficiente de amortecimento, β e a frequência angular das oscilações não amortecidas ω_0 . Registe os resultados na tabela **R5-a)**. Compare com os valores obtidos no dimensionamento em **2.2 d)**. Comente as diferenças.
- b) Compare o resultado experimental obtido para t_{min} (em **4.2 b)**), com o previsto no dimensionamento em **2.2 e)**.

O relatório tem que ser entregue no final da aula de laboratório e consiste no preenchimento da ficha apresentada em Anexo, à qual devem juntar as curvas impressas.

REFERÊNCIAS

J. A. Brandão Faria, '*Electromagnetic Foundations of Electrical Engineering*', Wiley, 2008.
Cap. 7. Secção 7.4.

I.S.T., Fevereiro 2022

ANEXO

RELATÓRIO DO 4º TRABALHO LABORATORIAL

R5-a):

Valores medidos em 4.2 a)

u_{R_1} [V]	u_{R_2} [V]	u_{R_3} [V]	u_{R_4} [V]	T [ms]

Cálculo de λ , β e ω_0

λ	β [s ⁻¹]	ω_0 [rads ⁻¹]

Comentários: _____

R5-b):

Valores medidos em 4.2 b)

t_{min} [ms]

Número	Nome	Auto-Aval. [%]