

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Elétrica

SEL410 – Eletricidade e Magnetismo

Prof. José Marcos Alves

Medida de Impedância em Circuito RLC

Nome **xxxxxx** Nº USP **xxxxxx** E-mail : **xxxxxx**

Nome **xxxxxx** Nº USP **xxxxxx** E-mail : **xxxxxx**

Índice

| | | Pág. |
|----------|-----------------------------------|-------------|
| | Resumo | 9 |
| 5 | Introdução | 9 |
| 5.1 | Elementos eletrônicos passivos | 9 |
| 5.1.1 | Resistor | 9 |
| 5.1.2 | Capacitor | 10 |
| 5.1.3 | Indutor | 11 |
| 5.1.4 | Circuito RLC Série | 11 |
| 6 | Material e Método | 12 |
| 7 | Resultados | 13 |
| 8 | Discussão | 14 |
| 9 | Referências Bibliográficas | 15 |

Lista de Figuras

| | | Pág. |
|--------------|-------------------------------|-------------|
| 5.1.a | Resistor de carbono série E12 | 9 |
| 5.1.b | Simbologia do resistor | 9 |
| 5.1.c | Lei de Ohm | 10 |
| 5.1.d | Capacitor eletrolítico | 10 |
| 5.1.e | Simbologia do capacitor | 10 |
| 5.1.f | Indutor | 11 |
| 5.1.g | Simbologia do indutor | 11 |
| 5.1.h | Circuito RLC Série | 11 |
| 6.1 | Circuito RLC Série | 12 |

Lista de Tabelas

| | | Pág. |
|------------|--|-------------|
| 7.1 | Valores dos parâmetros dos componentes passivos do circuito | 14 |
| 7.2 | Valores calculados para o circuito da Figura 2.1 com os parâmetros da Tabela 7.1 | 14 |
| 7.3 | Tabela 7.3 – Valores medidos com o circuito da Figura 7.1 | 14 |

Resumo

Um circuito RLC série (circuito ressonante ou aceitador) com fonte de tensão AC (frequência variável) foi implementado em uma placa protótipo (protoboard) para se observar a resposta do circuito em relação a variação de frequência no sinal de entrada. Através de um osciloscópio determinou-se os sinais elétricos em cada elemento do circuito, bem como foi possível observar e medir a defasagem entre tensão e corrente. Alguns efeitos característicos puderam ser notados, como por exemplo o efeito de carga do circuito. Os valores aferidos foram muito próximos dos valores teóricos.

5.Introdução

O circuito RLC possui diversas aplicações na engenharia. É um circuito composto por três elementos passivos – resistor, indutor e capacitor – alimentados por uma fonte de tensão CA. Para entender melhor o funcionamento do circuito, bem como suas aplicações, façamos um breve estudo sobre cada elemento constituinte do mesmo.

1.1. Elementos eletrônicos passivos

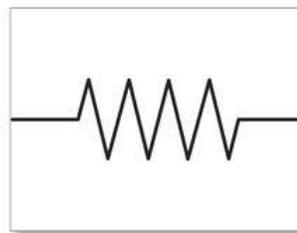
Elementos eletrônicos passivos, também conhecidos como componentes elétricos, são os elementos que não precisam ser alimentados para funcionar. No circuito RLC, temos três desses componentes. São eles:

1.1.1. Resistor

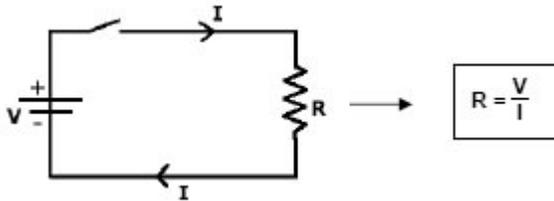
É um dispositivo elétrico extramamente utilizado na Engenharia Elétrica com duas finalidades: ora é usado para transformar energia elétrica em energia térmica (dissipação por Efeito Joule), ora é usado para limitar a corrente, segundo a lei de Ohm. O elemento e sua simbologia segue abaixo:



(Figura 5.1a resistor de carbono série E12)



(Figura 5.1b simbologia do resistor)



(Figura 5.1c Lei de Ohm)

1.1.2. Capacitor

O capacitor é um elemento que armazena energia num campo elétrico. É formado por duas placas paralelas com uma material dielétrico entre elas. Assim, os elétrons não podem passar diretamente de uma placa para a outra. Quando é aplicada uma tensão no capacitor através de um circuito, a corrente flui para uma das placas, carregando-a, enquanto flui da outra placa, carregando-a inversamente. Em outras palavras, quando a tensão que flui por um capacitor muda, ele é carregado ou descarregado. A fórmula da corrente no capacitor é dada por:

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt}; \text{ onde}$$

I é a corrente, Q é a carga, C é a capacitância (dada em Farad)

Quando uma tensão alternada é aplicada, cada mudança de tensão ocasiona carga ou descarga do capacitor, permitindo desta forma que a corrente flua.

Em regimes AC o capacitor apresentar um comportamento que limita a corrente (similar a uma resistência), e essa “resistência” é conhecido como **reatância capacitiva**, e a mesma varia conforme varia a frequência do sinal AC. A reatância capacitiva é dada por:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}; \text{ onde } X_C \text{ é a reatância, } f \text{ é a frequência do sinal AC, } C \text{ é a capacitância}$$

O elemento e sua simbologia segue abaixo:



(Figura 5.1d Capacitor Eletrolítico)



(Figura 5.1e Simbologia do Capacitor)

1.1.3. Indutor

O indutor é um elemento que armazena energia num campo magnético. É geralmente construído como uma bobina de material condutor, por exemplo, fio de cobre. Um núcleo de material ferromagnético aumenta a indutância concentrando as linhas de força de campo magnético que fluem pelo interior das espiras. O indutor oferece resistência à mudança de corrente (efeito explicado pela Lei de Faraday-Lenz) e a equação da tensão no indutor é dada a seguir:

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

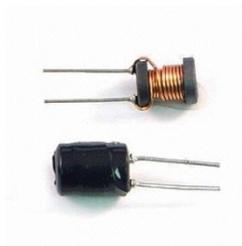
; onde $u(t)$ é a tensão no indutor, L é a indutância (dada em Henry) e $i(t)$ é a corrente

Em regimes AC o indutor apresentar um comportamento que limita a corrente (similar a uma resistência), e essa “resistência” é conhecido como **reatância indutiva**, e a mesma varia conforme varia a frequência do sinal AC. A reatância indutiva é dada por:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L;$$

onde X_L é a reatância indutiva

O elemento e sua simbologia seguem abaixo:



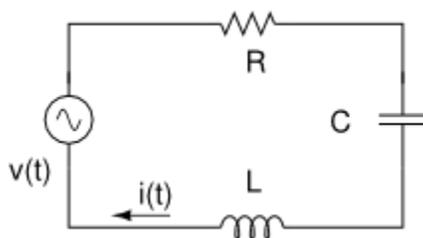
(Figura 5.1f Indutor)



(Figura 5.1g Simbologia do Indutor)

1.1.4. Circuito RLC Série

O circuito RLC Série é o circuito demonstrado abaixo:



(Figura 5.1h – Circuito RLC Série)

Aplicando a Lei de Kirchoff para tensões, temos que:

$v_R + v_L + v_C = v$, ou seja

$$Ri(t) + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau = v(t), \text{ finalmente:}$$

$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i(t) = \frac{1}{L} \frac{dv}{dt}$, que é uma EDO de 2ª ordem, por isso o circuito RLC é chamado de circuito de 2ª ordem.

A impedância Z do circuito é dada por:

$$Z = (R^2 + (X_L - X_C)^2)^{1/2}$$

E a defasagem entre tensão e corrente é dada por:

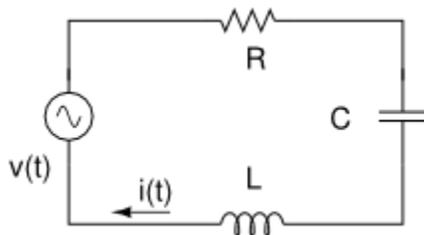
$$\Phi = \pm \arctg \frac{|X|}{R}, \text{ onde } |X| = X_L - X_C$$

Esse tipo de circuito é extremamente aplicado em sintonizadores de rádio. É conhecido por circuito ressonante e a ressonância ocorre quando a tensão está em fase com a corrente, logo, as Reatâncias têm o mesmo módulo. Isso implica que a frequência de ressonância f é dada pela seguinte relação:

$$f = 1/(2\pi(LC)^{1/2}) \quad \text{Eq. da frequência de ressonância}$$

2. Material e Método

O objetivo era implementar o circuito da figura abaixo em uma protoboard:



(Figura 6.1 – Circuito RLC Série)

Os valores teóricos dos parâmetros acima eram:

$$L = 1 \text{ mH}$$

$$C = 0,01 \text{ } \mu\text{F}$$

$$R = 1 \text{ k}\Omega$$

$$V(t) = 1 \cdot \sin(\omega t)$$

Foram utilizados os seguintes materiais para a prática:

- Protoboard
- Um resistor série E12 com o valor nominal de resistência $R = 1 \text{ k}\Omega$
- Osciloscópio Digital
- Multímetro Digital Minipa
- Capacitor com valor nominal de capacitância $C = 0,01 \text{ } \mu\text{F}$
- Indutor com valor nominal de indutância $L = 1 \text{ mH}$

O seguinte procedimento experimental foi realizado:

- Medição dos elementos passivos fornecidos para a prática utilizando uma ponte RLC
- Cálculo da frequência de ressonância (usando a equação vide 5.1.4)
- Implementação em Protoboard do circuito mostrado na Figura 6.1
- Alimentação dos bornes da protoboard usando a função Wave Gen do Osciloscópio – ajuste para tensão senoidal com $V_{pp} = 2 \text{ V}$ (tensão de pico-a-pico)
- Observação do sinal de entrada usando o Canal 1 do Osciloscópio
- Variação da frequência do sinal de entrada e usando o Canal 2, observou-se a mudança das tensões no resistor, capacitor e indutor
- Cálculo das impedâncias de cada elemento
- Cálculo das correntes em cada elemento (bem como a corrente máxima do circuito)

3. Resultados

Os resultados das medições feitas durante o procedimento experimental estão nas tabelas a seguir:

| | |
|-------------|--------------|
| R | 985 Ω |
| C | 9,95e-9 F |
| L | 0,001110 H |
| f° | 47890,2 Hz |

; onde f° é a frequência de ressonância do circuito

Tabela 7.1 – Valores dos parâmetros dos componentes passivos do circuito

Na tabela a seguir constam os valores teóricos da resposta do circuito em relação aos valores descritos na Tabela 7.1 segundo as equações mostradas em 5.1:

| Frequência (Hz) | R (Ω) | Xc (Ω) | Xl (Ω) | Ztotal (Ω) | Defasagem ($^\circ$) |
|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| 20000 | 985,00 | 799,77 | 139,49 | 1185,83 | -33,83 |
| 30000 | 985,00 | 533,18 | 209,23 | 1036,90 | -18,20 |
| 40000 | 985,00 | 399,88 | 278,97 | 992,39 | -6,99 |
| 50000 | 985,00 | 319,91 | 348,72 | 985,42 | 1,67 |
| 100000 | 985,00 | 159,95 | 697,44 | 1122,10 | 28,62 |

Tabela 7.2 – Valores calculados para o circuito da Figura 5.1h com os parâmetros da Tabela 7.1

Na tabela a seguir constam os valores medidos pelo osciloscópio:

| Frequência (Hz) | Xc (ohm) | Xl (ohm) | Zt (ohm) | Defas ($^\circ$) |
|-----------------|----------|----------|----------|--------------------|
| 20000 | 813,91 | 118,62 | 1201,30 | -34 |
| 30000 | 538,10 | 188,61 | 1039,58 | -20 |
| 40000 | 402,33 | 256,90 | 992,55 | -9 |
| 50000 | 317,88 | 325,22 | 978,80 | 0 |
| 100000 | 153,19 | 669,65 | 1097,90 | 26 |

Tabela 7.3 – Valores medidos com o circuito da Figura 7.1 (planilha retirada diretamente do Osciloscópio)

Na próxima tabela estão os valores de tensão e corrente nos elementos:

| Frequência (Hz) | E _{max} (V) | V _{resistor} | I _{max} (mA) | V _{capacito} | V _{indutor} (V) |
|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 20000,00 | 0,95 | 0,78 | 0,79 | 0,65 | 0,09 |
| 30000,00 | 0,94 | 0,89 | 0,90 | 0,49 | 0,17 |
| 40000,00 | 0,94 | 0,93 | 0,94 | 0,38 | 0,24 |
| 50000,00 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,30 | 0,31 |
| 100000,00 | 0,95 | 0,85 | 0,86 | 0,13 | 0,58 |

4. Discussão

Os valores experimentais das grandezas medidas foram próximos dos valores teóricos esperados. A experiência mostrou que para baixas frequência, o efeito capacitivo do circuito torna-se predominante, então, para frequências menores que a frequência de ressonância, a corrente torna-se adiantada em relação a tensão, portanto, a defasagem é negativa. Para frequências maiores que a frequência de ressonância, o efeito indutivo torna-se predominante em relação ao indutivo, atrasando a corrente. Foi possível reparar também que o circuito em frequências

próximas da frequência de ressonância tem a corrente quase em fase com a tensão, tornando o fator de potência bem próximo do unitário.

5. Referências Bibliográficas

[1] Boylestad, RL, Teorema de Thévenin. In: Introdução à Análise de Circuitos Elétricos, Pearson, Prentice Hall, 2004.

Imagens retiradas de [1] e do banco de imagens Picasa.