



Física Experimental III

<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=3894§ion=2>

Aula 12



Experimento 3 – Lei de Faraday





Objetivos do experimento

- Estudar aspectos fundamentais e aplicações da Lei de Faraday
 - Estudo de uma bobina em campo magnético oscilante
- Estudar circuitos elétricos oscilantes e algumas aplicações
 - Ressonância em um RLC

Impedância de um elemento

- Define-se a impedância complexa como sendo a razão entre a tensão e corrente complexas

$$\hat{Z} = \frac{\hat{V}}{\hat{i}}$$

- Ou seja:

$$\hat{Z} = \frac{\hat{V}}{\hat{i}} = \frac{V_P}{i_P} e^{j(\phi_V - \phi_i)}$$

$$\hat{Z} = Z_0 e^{j\phi_0}, \text{ com } Z_0 = \frac{V_P}{i_P}$$

Impedância de um elemento

$$\hat{Z} = Z_0 e^{j\phi_0}$$

- Z_0 é a impedância real do elemento

$$Z_0 = \frac{V_P}{i_P}$$

- ϕ_0 é a diferença de fase entre a tensão e corrente

Indutâncias de elementos simples

- Resistor ôhmico

$$\hat{Z} = R$$

- Capacitor ideal

$$\hat{Z} = \frac{1}{\omega C} e^{-j\frac{\pi}{2}} = -\frac{j}{\omega C}$$

- Indutor ideal

$$\hat{Z} = \omega L e^{j\frac{\pi}{2}} = j\omega L$$

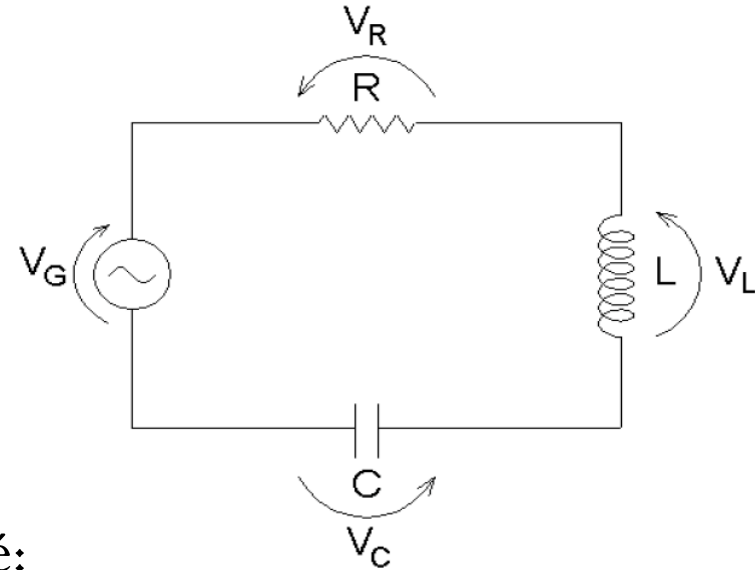
O FILTRO RLC

- circuito filtro RLC ao lado:

$$\hat{V}_G = V_G e^{j\omega t}$$

- A impedância total do circuito é:

$$\begin{aligned}\hat{Z} &= \hat{Z}_R + \hat{Z}_L + \hat{Z}_C = R + j\omega L - \frac{j}{\omega C} \\ &= R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)\end{aligned}$$



O FILTRO RLC

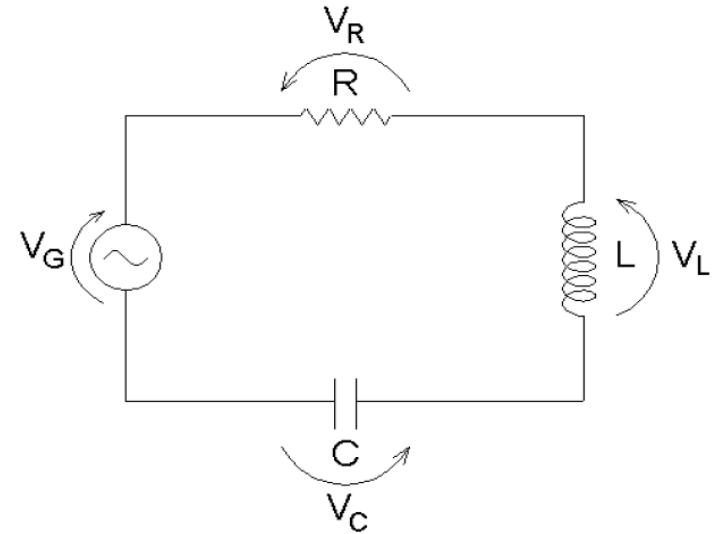
- Podemos escrever também que a impedância é:

$$\hat{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = Ze^{j\phi}$$

- Com:

$$Z = \sqrt{\hat{Z}^* \cdot \hat{Z}} = \sqrt{\left(R - j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)\right) \cdot \left(R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)\right)}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$



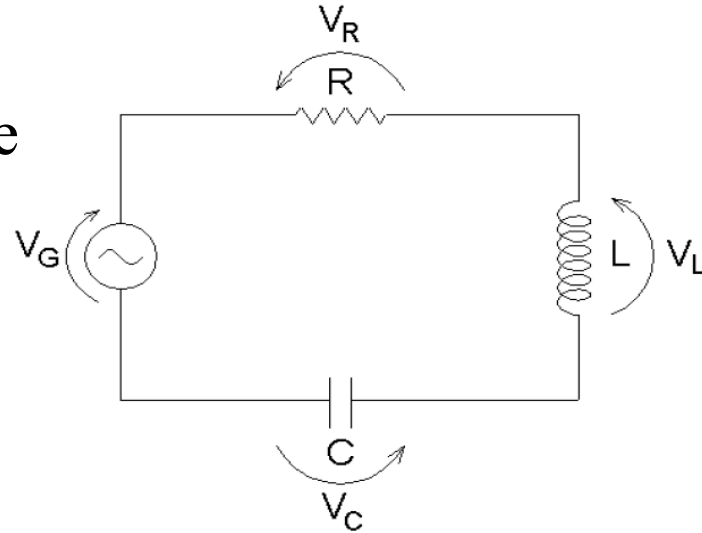
O FILTRO RLC

- Podemos escrever também que a impedância é:

$$\hat{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = Ze^{j\phi}$$

- Com:

$$\phi = \arctan\left(\frac{\text{Im}[\hat{Z}]}{\text{Re}[\hat{Z}]}\right) = \arctan\left(\omega \frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)$$



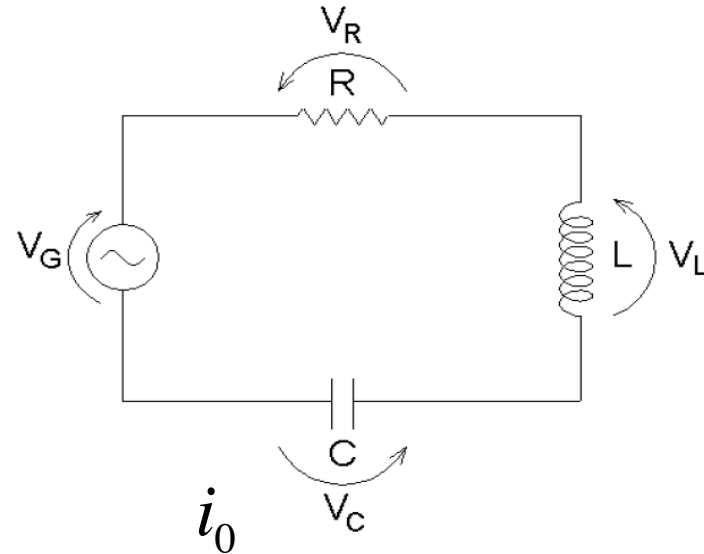
O FILTRO RLC

- Então, a corrente no circuito ao lado vale:

$$\hat{i} = \frac{\hat{V}}{\hat{Z}} = i_0 e^{j(\omega t - \phi_i)}$$

- Que vale:

$$\hat{i} = \frac{V_G e^{j\omega t}}{Z e^{j\phi}} = \frac{V_G}{Z} e^{j(\omega t - \phi)} = \frac{V_G}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} e^{j(\omega t - \phi)}$$



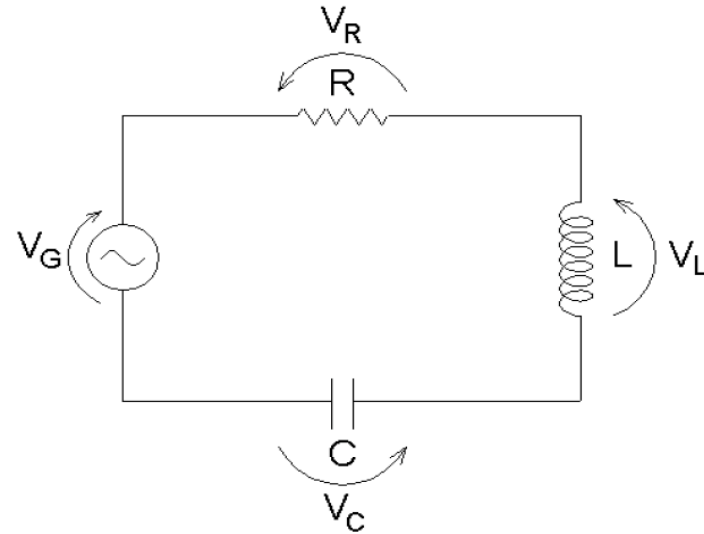
O FILTRO RLC

- Sabendo que a corrente é a mesma em cada elemento do circuito, podemos obter a tensão sobre cada um deles através de:

$$\hat{V}_X = \hat{i} \cdot \hat{Z}_X$$

- Para o resistor:

$$\hat{Z}_R = R \quad \hat{V}_R = Ri_0 e^{j(\omega t - \phi)}$$



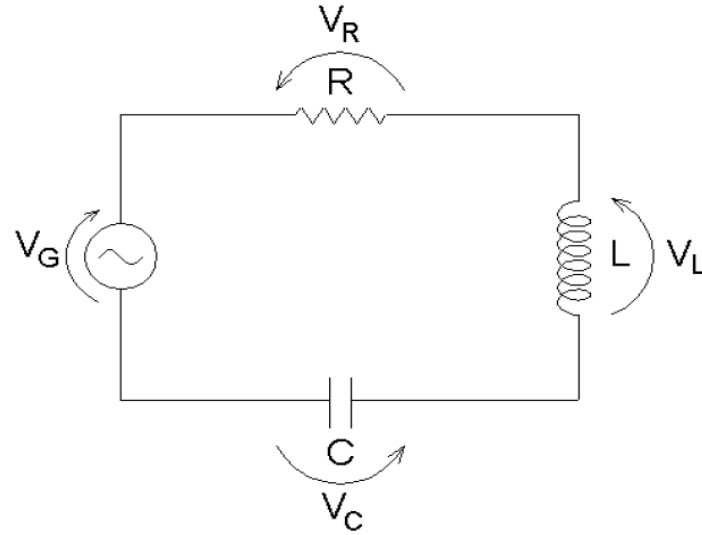
O FILTRO RLC

- Sabendo que a corrente é a mesma em cada elemento do circuito, podemos obter a tensão sobre cada um deles através de:

$$\hat{V}_X = \hat{i} \cdot \hat{Z}_X$$

- Para o indutor:

$$\hat{Z}_L = \omega L e^{j\frac{\pi}{2}} \quad \hat{V}_L = \omega L i_0 e^{j\left(\omega t - \phi + \frac{\pi}{2}\right)}$$



O FILTRO RLC

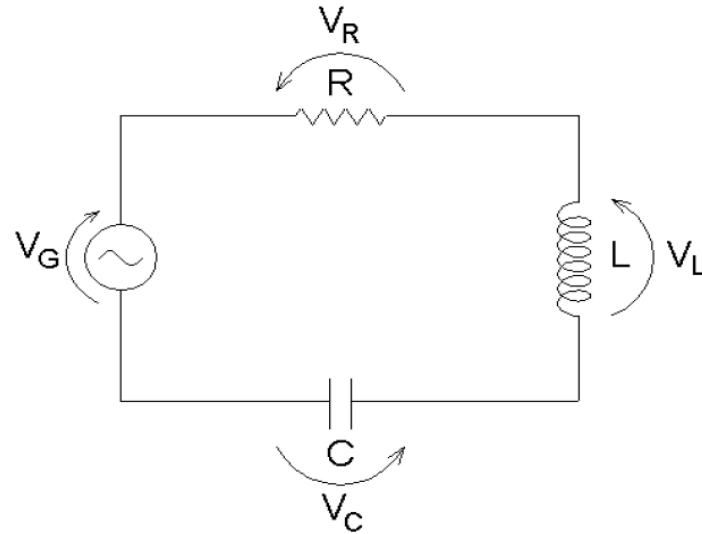
- Sabendo que a corrente é a mesma em cada elemento do circuito, podemos obter a tensão sobre cada um deles através de:

$$\hat{V}_X = \hat{i} \cdot \hat{Z}_X$$

- Para o capacitor:

$$\hat{Z}_C = \frac{1}{\omega C} e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

$$\hat{V}_C = \frac{i_0}{\omega C} e^{j\left(\omega t - \phi - \frac{\pi}{2}\right)}$$



Objetivos da semana

- Estudar circuito RLC em função da frequência da onda harmônica
 - Mas vamos estudar olhando qual elemento?
- Medir a corrente em função da frequência.
- Comparar/ajustar a previsões teóricas

Ressonância

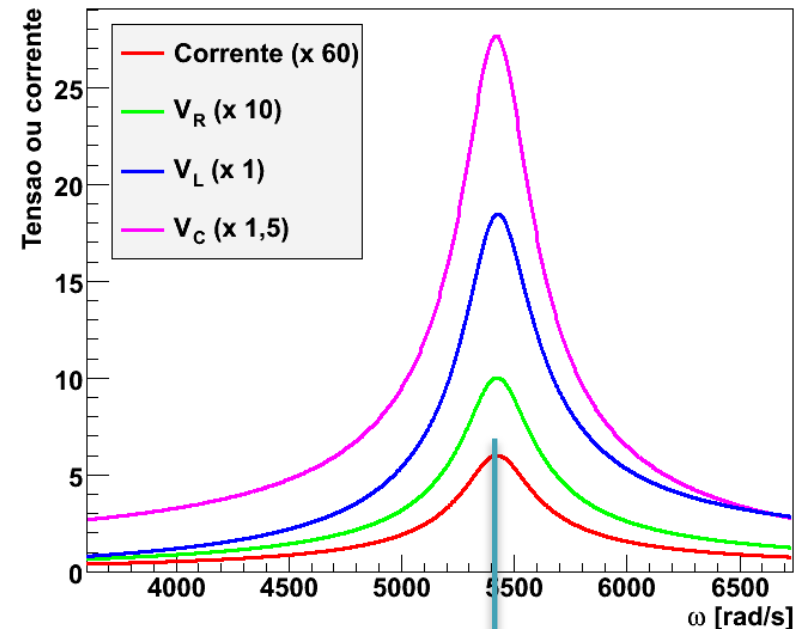
- Corrente apresenta um máximo em uma frequência bem definida (ressonância em energia)

$$\hat{i} = \frac{V_G}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} e^{j(\omega t - \phi)}$$

- Carga apresenta também um máximo (ressonância em carga)

$$\hat{V}_C = \frac{i_0}{\omega C} e^{j\left(\omega t - \phi - \frac{\pi}{2}\right)}$$

Tensoes e corrente em RLC



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Ressonância em carga ocorre em outra frequência

Fator de qualidade

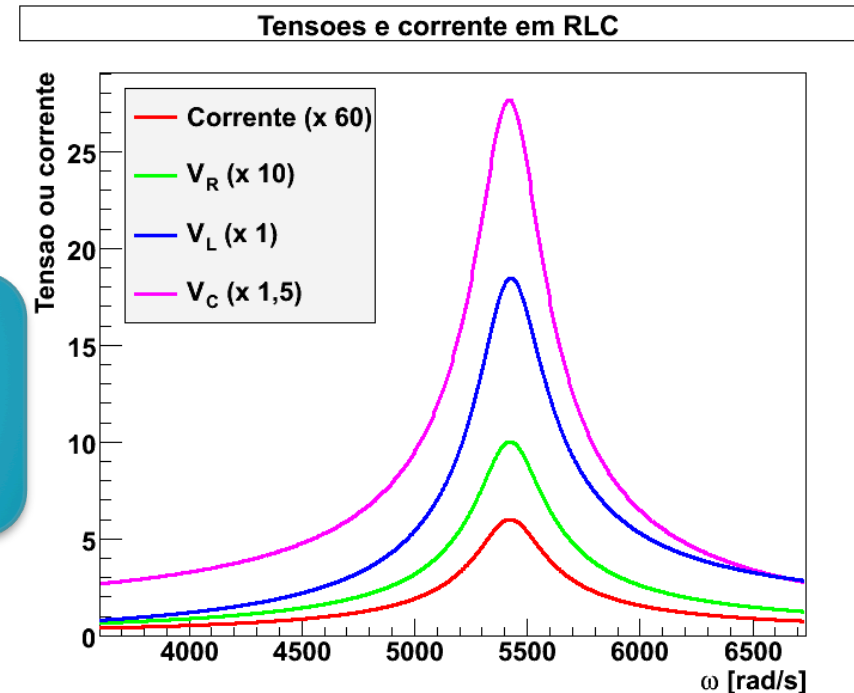
- Define-se o fator de qualidade como sendo, na curva de potência

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$$

$\Delta\omega$ é a largura do pico de ressonância na curva de **POTÊNCIA** à 1/2 da altura máxima

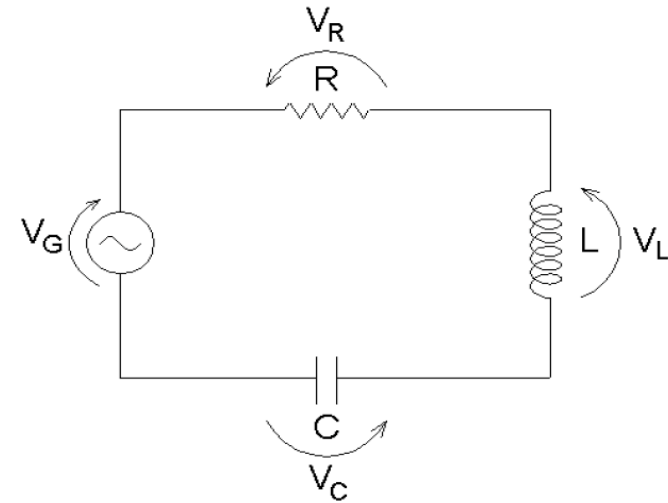
- Pode-se mostrar que

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = 2\pi \left(\frac{U}{\Delta U} \right) = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$



Atividades propostas

- Levantar a curvas de ressonância em energia do circuito RLC para DOIS valores de Q
 - $\omega_0 \sim 5000$ rad/s
 - $Q \sim 1$ e $Q \sim 10$.
 - Use a bobina de 1000 espiras como indutor
- **USE A SAÍDA TRASEIRA DO GERADOR!**



Atividades propostas

- Deduza as expressões para a frequência onde ocorre o máximo de corrente (ressonância em energia) e para a frequência onde ocorre o máximo de carga no capacitor (ressonância em carga)
- Deduza a expressão para o valor Q em função de R , L e C .
- Meça a curva de ressonância em energia para dois valores de resistores diferentes
 - Corrente $\times \omega$.
 - Superpor/ajustar curvas teóricas e comparar com os resultados experimentais.
 - O sistema real se comporta como a previsão teórica?
 - Obter o valor de Q experimental e comparar com o previsto teoricamente.
 - Sempre comparar os valores ajustados aos nominais.
- Na frequência de ressonância, meça a tensão no capacitor, resistor, indutor e gerador e as fases entre elas.
 - Discuta os resultados em relação ao esperado teoricamente.