


























Sumário

TABELA DOS SÍMBOLOS DOS ELEMENTOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS	3
Prática 6: Circuito RLC, Transientes e Ressonância	5
Objetivos	5
Introdução	5
Circuito LC	6
Circuito RLC	8
Experimentos	14
I. Transiente do circuito RL	14
Demonstração	14
II. Circuito RLC e ressonância	16
III. Transiente do circuito RLC	21
IV. Indutância mútua e ressonância (Como Demonstração)	27
Exercícios	32

TABELA DOS SÍMBOLOS DOS ELEMENTOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

	Fonte de Tensão		Gerador de Onda Quadrada
	Fonte de Tensão Variável		Gerador de Onda Senoidal
	Fonte de Tensão Alternada		Transformador
	Pilha		Lâmpada
	Pilha, Bateria		Resistor
	Terra		Potenciômetro
	Chave		LDR (Light Dependent Resistor)
	Chave de Contato (Push Button)		Diodo
	Amperímetro		LED (Light Emitting Diode)
	Voltímetro		Capacitor
	Ohmímetro		Supercapacitor
	Frequencímetro		Capacitor Eletrolítico
	Capacímetro		Indutor

Prática 6: Circuito RLC, Transientes e Ressonância

Objetivos

Analisar o comportamento de circuitos **RL**, **LC** e **RLC** e analogias eletromecânicas. Vamos investigar o efeito da ressonância do circuito **RLC** no regime de oscilação forçada (sob ação de uma tensão harmônica) e no regime de oscilação livre (transiente elétrico).

Introdução

Circuito RL

As Fig. 6.1(a) e (b), abaixo, mostram um circuito contendo um resistor (**R**) e um indutor (**L**) em série. A regra de Kirchhoff aplicada ao circuito leva a:

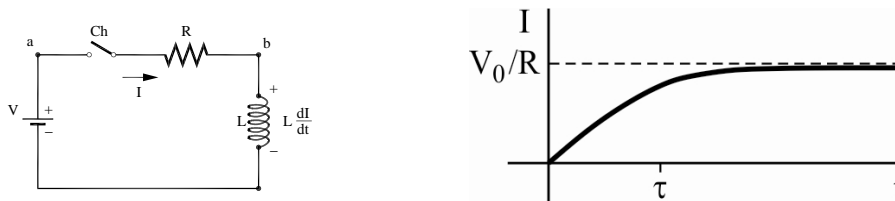
$$V = L \frac{dI}{dt} + RI \quad (1)$$

Cuja solução é:

$$I = (V_0/R) [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (2)$$

onde $\tau = L/R$.

Figura 0.1 - (a) Fonte ligada a uma chave, um resistor e uma bobina (circuito RL); (b) Gráfico da corrente por tempo no circuito

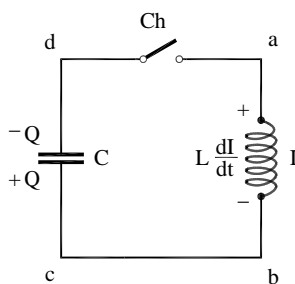


Fonte: Elaborada pelo Compilador

Circuito LC

A Fig. 6.2, ao lado, mostra um capacitor ligado a um indutor e a uma chave. Vamos supor inicialmente que a chave esteja aberta e que o capacitor tenha uma carga inicial Q_0 . Em $t=0$ a chave é fechada e a carga flui através do indutor. Para simplificar nossa análise, vamos desconsiderar qualquer resistência no circuito (isto será feito a seguir).

Figura 0.2 - Capacitor ligado a uma chave e um indutor (circuito LC).



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Escolheremos arbitrariamente a direção da corrente no circuito de modo que quando a carga na placa de baixo do capacitor for mais **+Q** a corrente é: **$I=dQ/dt$** . Com esta escolha a corrente será negativa logo depois da chave ser fechada (**$t=0$**).

Com a escolha do sentido positivo da corrente, a queda de potencial no indutor, de *a* até *b*, é **LdI/dt** . No capacitor, de *c* até *d*, há uma queda de potencial **Q/C** . Então, a regra de Kirchhoff aplicada ao circuito resulta em:

$L \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} = 0$. Como, **$I=dQ/dt$** temos:

$$\frac{d^2Q}{dt^2} + \omega_0^2 Q = 0 \quad (3)$$

com:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4)$$

Notem que esta equação tem a mesma forma da equação que descreve o sistema massa-mola (oscilador harmônico): $m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$. Sabemos que

este sistema oscila na sua frequência angular natural **$\omega^2=k/m$** , ou seja, $x(t) = A \cos(\omega_0 t + \delta)$. Analogamente, a solução da Eq. (3.b) pode ser escrita como:

$$Q(t) = A \cos(\omega_0 t - \delta) \quad (5)$$

Uma vez que **$I=dQ/dt$** (Fig.6.3), obtemos então:

$$I(t) = -\omega A \cdot \text{sen}(\omega t - \delta) \quad (6)$$

Figura 0.3 - Comportamento típico de $Q(t)$ e $I(t)$ em um circuito LC

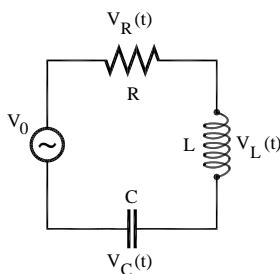


Fonte: Elaborada pelo Compilador

Circuito RLC

Analogamente ao caso do atrito na mecânica, o efeito do resistor está sempre presente, embora possa ser pequeno em alguns experimentos. Consideraremos a seguir um circuito **RLC** em série alimentado por uma fonte de tensão $V(t)$ (vide Fig.6.4).

Figura 0.4 - Fonte de onda senoidal ligada a um resistor, uma bobina e um capacitor (circuito RLC).



Fonte: Elaborada pelo Compilador

A lei de Kirchhoff aplicada a este circuito fornece a equação:

$$V(t) - L \frac{dI}{dt} - RI - \frac{Q}{C} = 0 \quad (7)$$

onde $I = dQ/dt$, logo:

$$V(t) = L \frac{d^2Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} \quad (8)$$

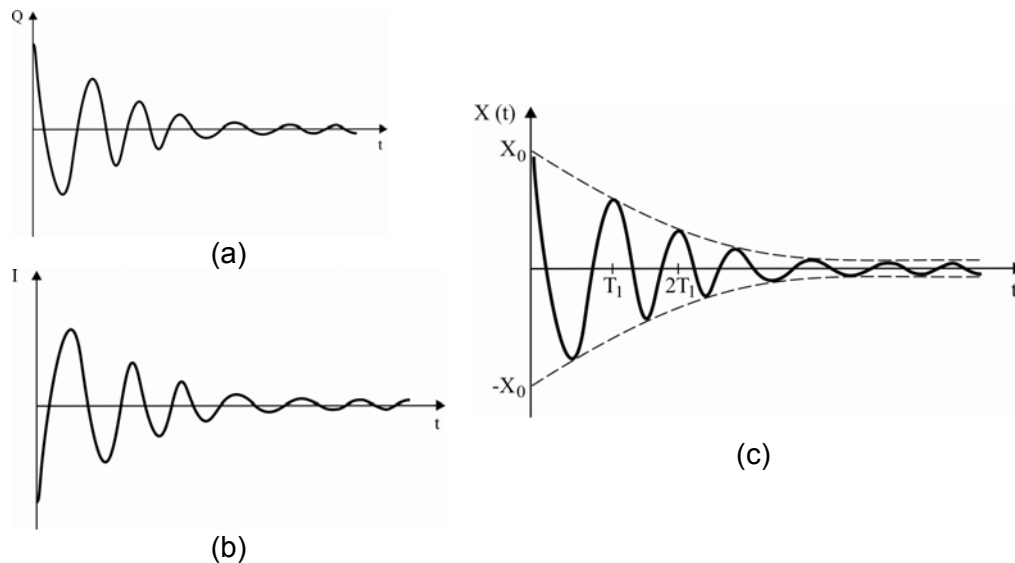
Consideremos inicialmente o caso em que $V(t)=V_0=0$ (constante no tempo) com mesma condição inicial discutida no caso **LC**: em $t=0$, $Q(0)=Q_0$, $V.I(t)=0$. Neste caso temos:

$$Q(t) = Q_0 e^{-\gamma t} \cos(\omega_1 t - \delta) \quad (9)$$

Com $\gamma=R/2L$ e $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2} = \omega_0 \sqrt{1 - (\gamma/\omega_0)^2}$

onde ω_0 é dado pela Eq.(4). Ou seja, $Q(t)$ pode ser considerado um cosseno cuja amplitude decai exponencialmente. Quando $R \rightarrow 0$ então $\gamma \rightarrow 0$ e $\omega_1 \rightarrow \omega_0$, o sistema se comporta como um circuito **LC** puro. Tal como comentado no caso do circuito **LC**, o valor de δ depende das condições iniciais do problema. No caso em que o capacitor está inicialmente carregado e a chave é fechada em $t=0$, temos $\delta=0$, tal como no caso **LC**. Este comportamento é análogo ao oscilador amortecido por um meio viscoso estudado no Lab. Física Geral II. Em particular a condição inicial considerada neste exemplo é análoga ao caso em que em $t=0$, o sistema massa-mola tem amplitude máxima (x_0) e velocidade nula (Fig.6.5), abaixo, onde a linha contínua corresponde à função $x(t) = x_0 \cdot e^{-\gamma t} \cdot \cos(\omega_1 t)$ e a envoltória tracejada corresponde ao decaimento exponencial $e^{-\gamma t}$.

Figura 0.5 - Comparação do sinal transiente de um circuito **RLC**:(a) carga no capacitor(**Q**) e (b) corrente (**I**) com um sistema massa-mola. (c) Comportamento do circuito **LC**



Fonte: Elaborada pelo Compilador

A Fig.6.5 ilustra um exemplo de oscilação **sub-amortecida** onde $\omega > \gamma$. Devemos notar que com o aumento de γ , ω_1 diminui e a amplitude de oscilação decai mais rápido. Ou seja, podemos dizer que o tempo característico $\tau = 1/\gamma$ diminui. Além disso, no caso $\omega_0 < \gamma$, $\omega_1^2 < 0$, ou seja, ω_1 torna-se um valor imaginário. Este caso é chamado de regime **super-amortecido** e não há oscilação. O caso $\omega_0 = \gamma$ é chamado de amortecimento **crítico**.

No Lab. de Fís.II estudamos o sistema massa mola no caso de oscilações livres, amortecidas e forçadas. No caso de oscilação forçada o sistema estava sujeito a uma força externa harmônica (senoidal ou cossenoidal), do tipo $F_{ex} = F_0 \cdot \text{sen}(\omega t)$. Analogamente, podemos estudar oscilações forçadas no circuito **RLC** usando uma fonte de tensão harmônica:

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = V_o \cdot \text{sen}(\omega t) \quad (10)$$

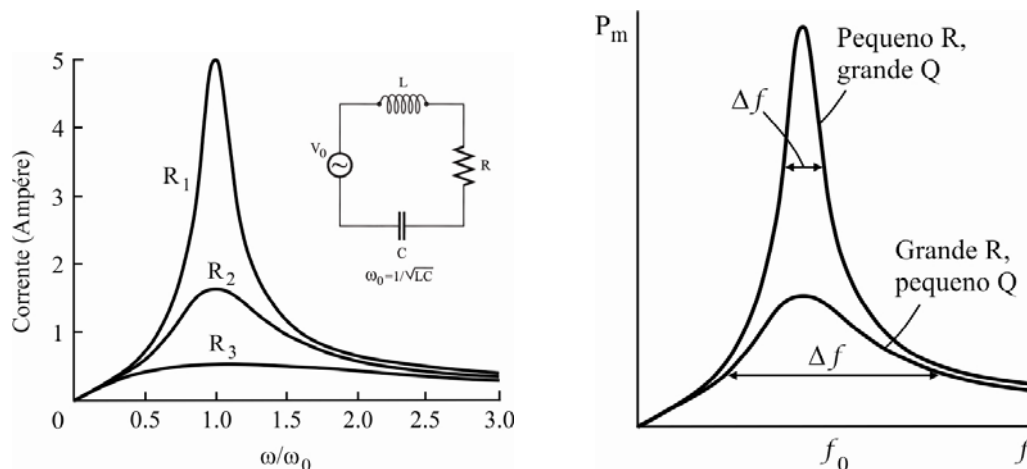
No estado estacionário, a solução da Eq.8 é dada por $Q(t) = Q_o \text{sen}(\omega t - \delta)$ e conseqüentemente $I(t) = I_o \cdot \cos(\omega t - \delta)$ onde $I_o = \omega \cdot Q_o$ com:

$$\omega Q_o = I_o = \frac{V_o}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - L\omega\right)^2}} \quad (11)$$

$$(\text{tg}\delta)^{-1} = \left(\frac{1}{\omega C} - L\omega\right) / R \quad (12)$$

A dependência com a frequência é ilustrada na Fig.6.6. Nota-se que a corrente é máxima na **frequência de ressonância**, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ (Eq.4). As curvas da Figura 6.6(a), foram calculadas com $V_o = 100\text{V}$, $L = 10^4\text{H}$ e $C = 10^{-8}\text{F}$, e três valores distintos de R ($R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 60\Omega$, $R_3 = 200\Omega$).

Figura 0.6 - (a) Gráfico da corrente por frequência (b) Gráfico da potência média por frequência do gerador.



Fonte: Elaborada pelo Compilador

A Fig.6.6(b) mostra a potência média fornecida pelo gerador ao circuito, em função da frequência do gerador, para dois valores diferentes de **R**, num circuito **RLC** em série. A potência média é máxima quando a frequência do gerador for igual à frequência de ressonância.

Quando a resistência for pequena (Fig.6.6(a)), a curva de ressonância é estreita; quando for grande, a curva é larga. Estas curvas podem ser caracterizadas pela largura de ressonância Δf , onde Δf também é chamado de $\frac{1}{2}$ largura.

Esta largura é a diferença das frequências em dois pontos da curva que correspondem a potência igual à metade da potencia máxima. Podemos definir o fator **Q** de um circuito **RLC** como:

$$Q = \frac{2\pi\omega}{|\Delta E|} = \omega_0 \frac{L}{R} \quad (13)$$

Quando a ressonância for razoavelmente aguda (isto é, quando for maior que cerca de 2 ou de 3), o fator Q pode ser aproximado por $Q=f_0/\Delta f$. Podemos assim, fazer uma analogia entre o circuito elétrico e um oscilador mecânico (sistema massa-mola):

Obs: Q é uma constante adimensional que não tem nenhuma relação com a carga do capacitor, que também denotamos com a letra Q .

<u>Parâmetros mecânicos</u>	<u>Parâmetros elétricos</u>
deslocamento, x	carga, Q
velocidade, $v = \frac{dx}{dt}$	corrente, $i = \frac{dQ}{dt}$
aceleração, $a = d^2x/dt^2$	variação da corrente: $\frac{di}{dt}$
massa, m	indutância, L
constante elástica da mola, k	inverso da capacitância, $\frac{1}{C}$
coeficiente de atrito, b	resistência, R
força de atrito, $-b\left(\frac{dx}{dt}\right)$	queda de tensão, Ri
frequência de ressonância, $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$	$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$
energia cinética, $\frac{1}{2}mv^2$	energia potencial, $\frac{1}{2}Li^2$
energia potencial, $\frac{1}{2}kx^2$	energia potencial, $\frac{1}{2}\left(\frac{1}{C}\right)q^2$

Experimentos

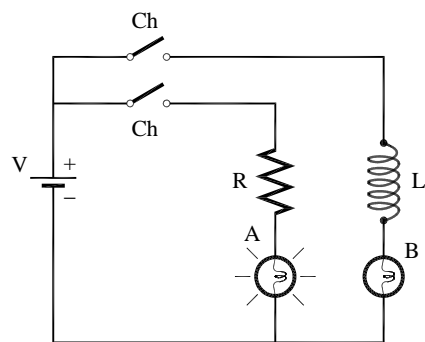
I. Transiente do circuito RL

O indutor oferece "resistência" a mudanças no valor da corrente. Para esclarecer melhor, consideremos um indutor ideal, que é constituído de fios cuja resistência ôhmica é muito baixa. Neste caso, se a corrente for constante, a diferença de potencial nos terminais do indutor será praticamente nula e podemos dizer que o **indutor ideal não oferece resistência à passagem da corrente constante**. Entretanto, se obrigarmos que haja uma variação no valor da corrente (por exemplo, ao ligar ou interromper o circuito) imediatamente irá aparecer uma diferença de potencial nos terminais do indutor, $V_L = -L \cdot di/dt$.

Demonstração

Experimento: Observem o circuito da Fig.6.7, no qual **A** e **B** representam duas lâmpadas de lanterna de automóvel (**12V**), onde **A** está conectada a um resistor **R** ($R \sim 14\Omega$) e **B** conectada a um indutor **L** de **1000** espiras com núcleo de ferro fechado. O circuito está conectado a uma fonte de **12V**.

Figura 0.7 – Duas lâmpadas **A** ligada em série a um resistor e uma chave e **B** em série a uma bobina e uma chave, ambas ligadas em paralelo entre si e a uma fonte ($V=12V$).



Fonte: Elaborada pelo Compilador

I.1 As lâmpadas **A** e **B** acendem simultaneamente?

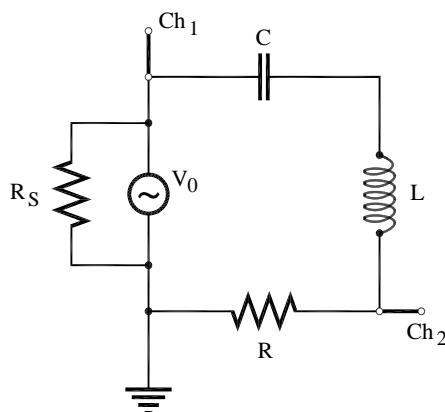
I.2 Retirem o núcleo de ferro do indutor repitam o experimento. Isto afeta o tempo de resposta de **B**? Discutam.

Obs: vide Fig. 6.1 (b) sobre o circuito **RL**

II. Circuito RLC e ressonância

Experimento: Montem o circuito **RLC** da Fig.6.8, com gerador de tensão alternada de frequência variável, indutor de **1000** espiras ($L \sim 47\text{mH}$) e capacitor $C=0,1\mu\text{F}$, $r=47\Omega$ e $R=100\Omega$, seguindo os seguintes passos:

Figura 0.8 - Circuito **RLC** conectado a um gerador de tensão alternada que está em paralelo a um resistor. Circuito com saída para dois canais do osciloscópio



Fonte: Elaborada pelo Compilador

a) Coloquem o “terra” do cabo coaxial (pino preto), entre r e R , como indicado na Fig.6.8.

Obs.:

- Não é preciso ligar o terra do outro cabo, pois são comuns.
- Notem que neste experimento estamos usando o multímetro digital **Politem POL-45** na função de frequencímetro (escala **KHz**)

- Um gerador ideal tem resistência interna zero, mas na prática nem sempre é possível obtê-lo. Neste experimento colocamos o resistor de 47Ω em paralelo com o gerador para diminuir sua resistência interna (tal como feito na prática 4).

b) Conectem o pino vermelho do cabo do canal 1 na junção do resistor de 47Ω com o capacitor de $0,1\mu\text{F}$. Conectem o pino vermelho do cabo do canal 2 na junção do resistor de 100Ω com o indutor L . Conectem, agora, um multímetro digital, ajustado na função de frequência, em paralelo com a fonte.

Obs.: É importante assegurar que os dois botões de varredura do osciloscópio estejam na posição horária máxima, pois fora dessa posição não há calibração.

c) Liguem o gerador e o osciloscópio e aguardem alguns segundos. Ajustem o osciloscópio através dos três botões rotativos graduados (**volts/div** e **time/div**, **position**), para visualizarem, simultaneamente, na tela os dois canais.

Atenção: O canal 1 só será utilizado para observar que o sinal do gerador deve variar somente na ressonância e bem próximo dela.

d) Conectem o multímetro digital com a chave na posição em **kHz** em paralelo ao gerador. Neste caso o multímetro funciona como um frequencímetro, fornecendo a frequência, f (em **kHz**), do sinal.

II.1 Variem continuamente a frequência do gerador, entre **1 a 10 kHz** e observem para qual frequência V_R é máxima. Esta é a frequência de ressonância ($f_0 = \omega_0 / 2\pi$) do circuito **RLC**.

II.2 Uma vez determinada f_0 , meçam a dependência de V_R/V_0 com a frequência. Façam uma tabela com no mínimo 15 pontos de V_R (potencial em $R = 100\Omega$), V_0 (potencial da fonte em $r = 47\Omega$), V_R/V_0 .

É mais fácil medir a amplitude pico a pico dos sinais no osciloscópio, por isso sugerimos colocar na tabela os valores de $2.V_0$ e $2.V_R$.

***Dica:** manter o mesmo valor de V_0 ao longo de todo experimento. É preciso ter cuidado nas frequências próximas a frequência de ressonância, pois a corrente aumenta e V_0 tende a diminuir.*

Tabela 0.1 - Dados experimentais da frequência f , potencial do resistor V_R e potencial da fonte V

f(kHz)	2.V ₀ (mV)	2.V _R (mV)	V _R /V ₀

II.3 Façam o gráfico de $(V_R/V_0) \times f$ (vide Fig.6.6). Ele está de acordo com o comportamento observado qualitativamente no item 1?

Obs: Para obter um bom gráfico, escolham várias frequências próximas a f_0 . Se julgarem necessário, acrescentem mais dados experimentais ao gráfico.

II.4 A largura de banda passante Δf é definida como o intervalo de frequência Δf no qual a amplitude cai por um fator **0,71** do valor de pico (a ressonância $f=f_0$). A partir do gráfico, determinem o valor de Δf obtido. Calcular o fator de qualidade $Q=f_0/\Delta f$

II.5 Substituíam o resistor $R=100\Omega$ por $R=470\Omega$. Repitam o item **II.1** para encontrar novamente o valor da frequência de ressonância do circuito. Comparem este resultado com o obtido na parte **II.1**. Houve alteração no valor da frequência de ressonância, f_0 ?

II.6 Coloquem novamente o resistor $R=100\Omega$ e investiguem o efeito de alterar o número de espiras da bobina de $N= 1000$ para 500 (o procedimento é análogo ao de **II.5**). Isto altera o valor de f_0 ? Caso afirmativo, qual seu novo valor?

II.7 Vocês podem concluir que a indutância L depende de N ? Caso afirmativo, neste experimento L aumentou ou diminuiu e qual o novo valor de L ?

II.8 Retornem a configuração original (1000 espiras, $R = 100 \Omega$) mas coloquem agora um núcleo de ferro dentro do indutor e encontrem o valor de f_0 . Houve variação em relação ao resultado anterior? Caso afirmativo, qual o novo valor de f_0 ? O núcleo de ferro altera a indutância do indutor? Caso afirmativo, L aumenta ou diminui e qual o novo valor de L ?

II.9 Detector de metais. Retirem o núcleo de ferro, retornando a configuração original do experimento II com o gerador na frequência de ressonância, f_0 . Vejam se a amplitude do sinal de V_R é alterada colocando-se um objeto metálico dentro da bobina (por exemplo, uma moeda). A bobina pode funcionar como um detector de metais?

III. Transiente do circuito RLC

A seguir vocês usarão o mesmo circuito RLC do experimento anterior, porém ele será excitado por um gerador de onda quadrada de baixa frequência. Vocês vão observar um sinal parecido com o de $x(t)$ da Figura 6.5.

III.1 Previsão: qual deve o valor do período, T_1 , de oscilação que vocês devem observar? Justifiquem sucintamente.

Experimento: O circuito é o mesmo da Fig. 6.8 ($R_s = 47 \Omega$, $R = 100\Omega$ e L de **1000** espiras.) porém com o gerador de sinais na função de onda quadrada. Ajustem a frequência do gerador para $f \sim 60 \text{ Hz}$.

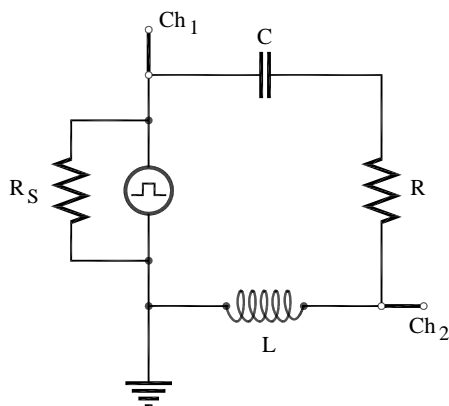
III.2 Conectem o osciloscópio de modo que vocês possam observar o sinal do gerador no canal 1 (**ch1**). Em seguida, observem no **ch2** o sinal transiente da oscilação amortecida,

Obs: *neste experimento é interessante usar o **trigger externo** (consulte um instrutor sobre isto).*

III.3 Analisando o efeito da resistência do valor de R . Para investigar isto, é interessante medir o sinal no indutor $V_L(t)$ ao invés do sinal do resistor. Note que o sinal de $V_L(t)$ é similar ao de $V_R(t)$. Usando os mesmos componentes do circuito anterior, meçam o valor do período T_1 do sinal de $V_L(t)$, usando o circuito da Fig.6.9 Discutam o resultado.

Obs: $V_R(t) \propto I(t)$ e $V_L(t) \propto dl(t)/dt$

Figura 0.9 - Circuito RLC conectado a um gerador de tensão alternada que está em paralelo a um resistor. Circuito com saída para dois canais do osciloscópio



Fonte: Elaborada pelo Compilador.

III.4. Meçam no osciloscópio o valor do tempo de amortecimento, τ_{exp} , do sinal de $V_L(t)$, com $R = 100 \Omega$.

Obs.: O valor de τ pode ser estimado observando no osciloscópio o tempo que a envoltória do sinal ($e^{-t/\tau}$) tal como feito na prática 4 (circuito **RC**).

Dica: lembrem-se que $\tau_{exp} \sim 0,91 \cdot t_{1/3}$ OU $\tau_{exp} \sim 1,44 \cdot t_{1/2}$

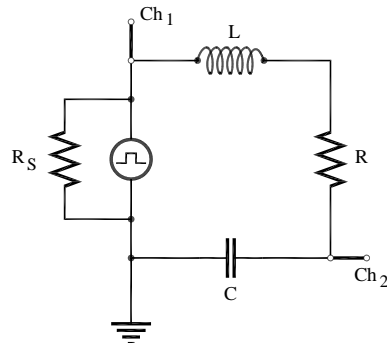
III.5. Meçam no osciloscópio o valor do tempo de amortecimento, τ_{exp} , no caso $R = 0$.

III.6 Substitua R por um potenciômetro de $1\text{K}\Omega$ ou $3.3\text{K}\Omega$ em série com $R = 470\Omega$. Observem como o sinal transiente varia quando a resistência total do circuito aumenta. Esbocem os transientes observados no espaço abaixo. Concluindo: o que ocorre com os transientes à medida que R aumenta?

Optativo (itens III.7-11)

III.7 Troquem as posições de L (**1000** espiras) e C no circuito para observar o comportamento de $V_C(t)$ no circuito **RLC**, tal como indicado na Fig.6.10.

Figura 0.10 - Circuito **RLC** conectado a um gerador de tensão alternada que está em paralelo a um resistor. Circuito com saída para dois canais do osciloscópio



Fonte: Elaborada pelo Compilador

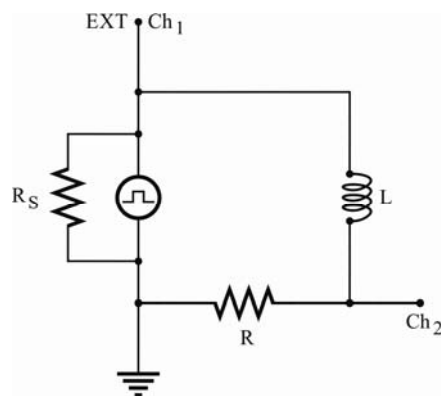
III.8 Meçam o valor do período de oscilação T_1 . Comparem este valor com o observado no experimento **III.3**.

III.9 Comparem os valores de $V_C (t \gg \tau)$ com os valores da tensão na fonte.

III.10 Esbocem o sinal observado e justifiquem seus resultados.

III.11 Observem e descrevam qualitativamente o que ocorre se o capacitor for retirado (ou colocado em curto-circuito), tal como indicado na Fig.6.11. Neste caso teremos um circuito RL. Adicionem ao circuito um resistor $R=100\Omega$. Observem o sinal de $V_R(t)$ e expliquem suas observações.

Figura 0.11 - Circuito **RL** conectado a um gerador de tensão alternada que está em paralelo a um resistor. Circuito com saída para dois canais do osciloscópio



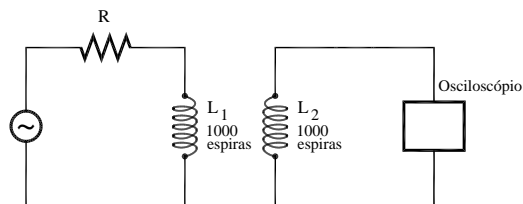
Fonte: Elaborada pelo Compilador

III.12 Pode-se investigar o que ocorre no comportamento transiente do circuito variando o valor de **C** e de **L** (trocando de **1000** para **500** espiras ou trocando a bobina) ou mesmo introduzindo metais (magnéticos ou não) no interior da bobina. Em todos os casos é interessante observar, pelo menos qualitativamente, comportamento de T_1 e τ_{exp} .

IV. Indutância mútua e ressonância (Como Demonstração)

Experimento: No circuito da Fig.6.12 temos um gerador de funções (no modo senoidal), um resistor (**R=100Ω**), duas bobinas (**L₁** e **L₂**) de **1000 espiras** e um osciloscópio. Ajustem o gerador para a amplitude máxima de saída e frequência na faixa de **1-10KHz**.

Figura 0.12 - Montagem experimental de dois circuitos sem conexão



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Observem no osciloscópio o sinal induzido em L_2 com amplitude V_2 (uma onda senoidal de mesma frequência que a do gerador). Mantendo fixa a posição de L_1 , aproximem, afastem e/ou girem o indutor L_2 .

IV.1 Estimem com o osciloscópio a tensão V_{L1} e V_{L2} (utilizando o canal 1 e 2, respectivamente). Comparem os valores das tensões na configuração, onde se observa o máximo sinal em V_{L2} ?

IV.2 Mantendo a frequência do gerador fixa, meçam a máxima distância possível entre L_1 e L_2 de tal forma que o sinal senoidal induzido em L_2 ainda

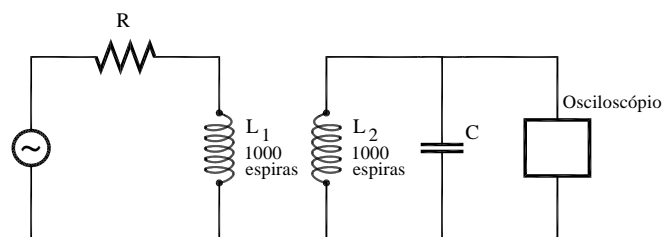
seja perceptível no osciloscópio, ou seja, o sinal deve ser maior que o ruído. Qual a origem do **ruído**?

Obs: Aumentem a sensibilidade do osciloscópio até encontrar a que seja mais adequada para a medida.

IV.3 Mantendo o osciloscópio conectado coloquem agora um capacitor **C=0,22 μ F** em paralelo com o indutor **L₂** como indicado na Fig.6.13. Variem o valor da frequência do gerador e observe a dependência do sinal **V_{L₂}** com **f**.

O comportamento é o mesmo que o observado no item 1? Por quê?

Figura 0.13 - Montagem experimental: dois circuitos sem conexão



Fonte: Elaborada pelo Compilador

IV.4 No circuito da Fig.6.13 mantenham a frequência fixa igual ao valor em que V_{L2} é máximo. Meçam a máxima distância possível entre L_1 e L_2 de tal forma que o sinal senoidal induzido ainda seja perceptível no osciloscópio.

IV.5 Previsão: registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas. Como o comportamento de V_{L2} versus f deve mudar se for introduzida uma barra de ferro dentro de L_1 tal como feito anteriormente.

IV.6 Experimento: Realizem os experimentos para verificar suas previsões do item **IV.5**. Comentem e discutam seus resultados.

Indutor de 1000 espiras s/ núcleo.....L~47mH
Indutor de 1000 espirasc/ núcleo.....L~250mH

Lista de materiais (prática 06)

- Imã
- Núcleo de ferro e bobinas: 250 espiras e 1000 espiras
- Resistores: 47Ω , 470Ω , 100Ω
- Potenciômetro de $1.0k\Omega$ e/ou $4.7k\Omega$
- Dois capacitores: $0.1\mu F$, $0.22\mu F$
- Núcleo de ferro e bobinas: 250 espiras e 1000 espiras
- Gerador de áudio
- Osciloscópio
- Placa de circuitos, cabos banana – banana, cabos coaxiais, etc.

Exercícios

1) A Eq.(11) expressa a dependência em frequência da amplitude da corrente, $I_0(\omega)$. Usando esta expressão, obtenha o valor de ω para o qual a corrente é máxima.

2) O gráfico da Fig.6.6 foi calculado considerando-se $V_0 = 100\text{V}$, $L = 10^{-4}\text{H}$ e $C = 10^{-8}\text{F}$. Calcule o valor de ω onde a corrente é máxima e sua respectiva corrente I_0 . Compare seus resultados com os mostrados na Fig. 6.6.

3) Calcule o valor da indutância da bobina de **1000** espiras, L , usando o valor da capacitância $C = 0.1\mu\text{F}$ e ω_0 medido no experimento II (ressonância do circuito **RLC**, Fig. 6.8)

Obs: lembre-se que $\omega_0 = 2\pi f_0$.

4) (a) Calcule o valor de $\tau_{\text{calc}} = 2L/R$, ω_1 e $T_1 = 2\pi/\omega_1$, relativos ao experimento II (transiente do circuito **RLC**, Fig.6.5) utilizando o valor de L calculado no problema anterior, no caso $R = 100\Omega$.

(b) Como estes valores se comparam com os resultados experimentais? Qual valor de R estaria de acordo com os dados experimentais? Vamos denominar este valor de resistência efetiva do circuito, R_{ef} . Explique a relação entre $R = 100\Omega$ e R_{ef} .

(c) No caso $R = 0$, então teríamos $\tau_{\text{calc}} \rightarrow \infty$. Isto está de acordo com o observado? Qual valor de R deve ser usado no cálculo?

(d) Determinem, aproximadamente, o valor de R em que a oscilação desaparece. Isto corresponde à condição de amortecimento crítico.

(e) provavelmente vocês não tiveram tempo para fazer os experimentos III 7-12. Entretanto, agora vocês podem prever o que aconteceria nestas situações.

-
- 5) a) Pode-se mostrar que o fator de qualidade do circuito é dado por $Q = \pi \cdot f_0 \cdot \tau$. Estimem o valor de Q obtido experimentalmente (Q_{exp}) usando o valor de τ_{exp} (Experimento III).
- b) também pode-se estimar o valor de Q a partir dos dados do experimento II, ou seja, $Q = f_0 / \Delta f$.
- 6) Uma bobina com a resistência de $0,8\Omega$ e auto indutância de $3,0\text{mH}$ é ligada a uma fonte de tensão com d.d.p. constante de 12V . Seja $t=0$ o instante da ligação, quando a corrente é nula. Encontre o valor da corrente $I(t)$ e a sua taxa de variação dI/dt em: (a) $t = 0$; (b) $t = 0,1\text{s}$; (c) $t = 0,5\text{s}$.
- 7) Calcule o tempo necessário para carregar um capacitor descarregado de $8,0\text{pF}$, num circuito **LC** no qual a tensão máxima é de $1,0\text{mV}$ e a corrente máxima é de 50mA .
- 8) (a) Qual a indutância necessária para construir um circuito **LC** que oscile com a frequência de 60Hz , tendo um capacitor de $80 \times 10^{-6}\text{F}$? (b) Qual o período de oscilação de um circuito **LC** constituído de uma bobina de 2mH e um capacitor de $20 \times 10^{-6}\text{F}$?
- 9) Um circuito contém um resistor de 240Ω , um capacitor de $3,8\mu\text{F}$, e um indutor de 550mH . Calcule a frequência de ressonância ω e os valores de ω_1 , γ e τ . Inicialmente o capacitor é ligado a uma fonte com $V_0 = 1\text{V}$ e depois, em $t = 0$ é ligado em série com **R** e **C**. Esboce os gráficos de $Q(t)$, $I(t)$, $V_C(t)$ e $V_L(t)$.