

Laboratório de Circuitos Elétricos 1 – 2014/2

Experiência N° 06: Capacitor e Indutor

I – Objetivo

Estudo das características elétricas de elementos lineares com armazenamento de energia: levantamento da característica $V \times I$ de capacitores e indutores.

II - Introdução Teórica

II.1 - Capacitores

Um capacitor é um elemento elétrico cuja equação constitutiva é dada pela lei de Faraday:

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \quad \forall t \geq 0$$

ou

$$v(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$$

onde C é a capacitância desse elemento.

A partir da descrição acima do comportamento do capacitor, podemos obter os gráficos mostrados na figura 2.1 como exemplos de sinais de tensão e corrente em um capacitor.

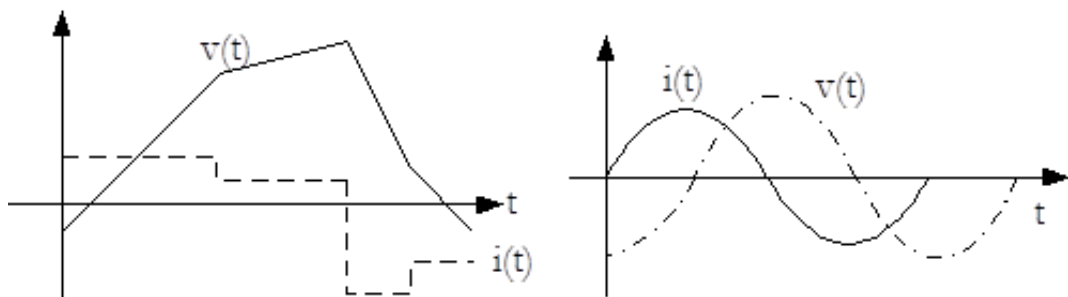


Fig. 2.1 – Exemplos de curvas de corrente e tensão em um capacitor.

Capacitores comercialmente disponíveis são especificados pelo dielétrico usado e por serem fixos ou variáveis. Os símbolos para capacitores fixos e variáveis são mostrados na figura 2.2. A linha curva do símbolo de capacitor representa a placa que é conectada ao ponto de menor potencial.



(a) (b)

Figura 2.2- Símbolo de capacitores: (a) fixo, (b) variável.

Existem vários tipos de capacitores: de cerâmica, de papel, de filme plástico, de mica, de vidro, eletrolítico, de ar, etc. Nesta introdução teórica serão apresentados apenas os capacitores de cerâmica e os capacitores eletrolíticos.

O capacitor de cerâmica consiste em um tubo ou disco de cerâmica de constante dielétrica na faixa de 10 a 10000. Uma fina camada de prata é aplicada a cada lado do dielétrico. Os terminais são caracterizados por baixas perdas, pequeno tamanho e uma conhecida característica de variação da capacitância com a temperatura.

Um capacitor eletrolítico consiste em duas placas separadas por um eletrólito e um dielétrico. Como mostrado na figura 2.3 (a), uma das placas é oxidada e este é o óxido com o qual é formado o dielétrico. O eletrólito é a placa negativa e também possui a capacidade de oxidar a placa positiva onde existir qualquer imperfeição no óxido dielétrico. A segunda placa metálica serve como um terminal negativo e providencia a superfície de contato para o eletrólito. Geralmente, capacitores eletrolíticos utilizam alumínio ou tântalo como metal de base. O óxido de tântalo possui quase o dobro da constante dielétrica do óxido de alumínio, resultando em maior capacitância por volume. O eletrólito pode ser na forma de líquido, pasta ou sólido.

O óxido dielétrico continua a agir com isolante apenas quando é aplicada a mesma polaridade que foi usada originalmente na formação do óxido. Assim, um capacitor com a configuração da figura 2.3 (a) não deve nunca ter sua polaridade invertida. Uma inversão de polaridade fará circular uma corrente considerável e conseqüentemente danificará o capacitor. Este capacitor eletrolítico é do tipo polarizado.

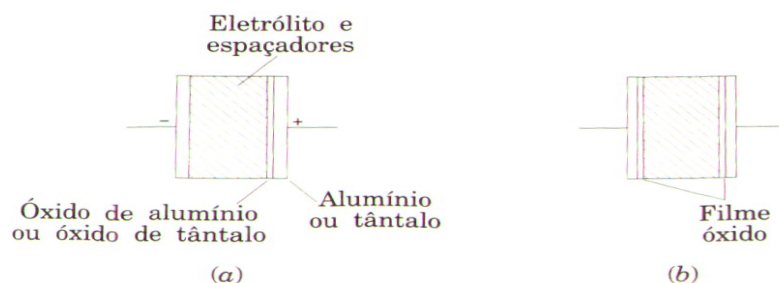


Figura 2.3 Capacitores eletrolíticos: (a) polarizado, (b) não polarizado.

Um capacitor eletrolítico não-polarizado é construído formando-se um filme óxido em ambas as placas, como na figura 2.3 (b). Este tipo de capacitor é usado onde existe a possibilidade de inversão de polaridade.

Capacitores eletrolíticos possuem altos valores de capacitância, na faixa de aproximadamente 1 μF até milhares de microfarads. As correntes de fuga são geralmente maiores que as dos demais tipos de capacitor. A corrente de fuga é uma característica dos capacitores reais (não ideais), e é definida no modelo do capacitor. O capacitor real pode ser modelado como um capacitor ideal em paralelo com um resistor de condutividade muito pequena – a corrente que passa por esse resistor é chamada de corrente de fuga.

Os valores de capacitância normalmente são estampados no capacitor, mas algumas vezes é usado um código de cores semelhante ao código de cores dos resistores.

É importante observar que os capacitores fixos podem ser feitos também com técnicas de filme fino. Neste processo, um material condutor é depositado em um substrato de cerâmica. Posteriormente, uma camada de dielétrico é aplicada, sendo seguida por outra camada condutora. Esses capacitores são geralmente usados em microcircuitos e, embora não existam limites para as dimensões, os capacitores superiores a 0,01 μF se tornam muito grandes, sendo preferível que sejam conectados separadamente, isto é, capacitores discretos externos à construção dos circuitos integrados. A faixa de tensão de operação dos capacitores de filme fino também é limitada, sendo que capacitores com tensão de ruptura de 10 a 20 V são facilmente produzidos.

II.2- Indutores

Um componente físico especificamente designado para ter indutância é chamado de indutor, choque ou bobina. Um indutor é um elemento elétrico cuja equação constitutiva é dada pela lei de Henry:

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad \forall t \geq 0$$

ou

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau$$

onde L é o valor da indutância do elemento.

A partir da descrição acima do comportamento do indutor, podemos obter os gráficos mostrados na figura 2.4 como exemplos de sinais de tensão e corrente no indutor.

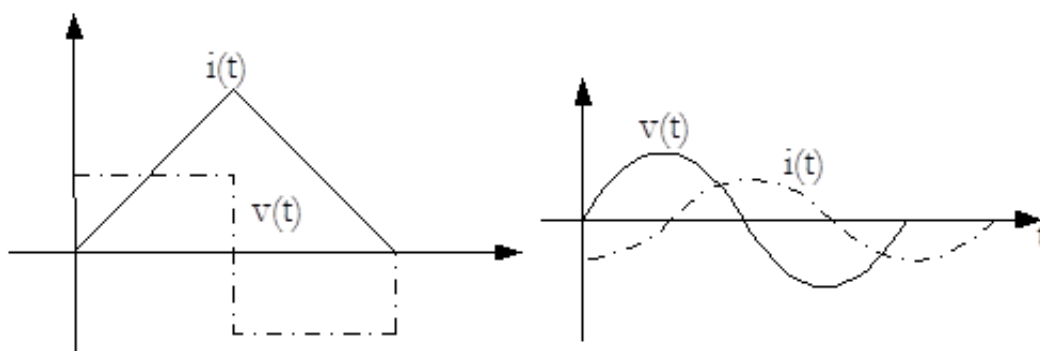


Fig. 2.4: Exemplos de curvas de corrente e tensão em um indutor.

Os indutores disponíveis comercialmente podem ser classificados de acordo com o tipo de núcleo e se o indutor é fixo ou variável.

Geralmente, bobinas com núcleo de cerâmica ou ar são usadas em rádios ou outras aplicações eletrônicas. A indutância destes tipos de indutor é geralmente da ordem de μH a mH .

Por outro lado, núcleos de ferro são usados em choques para fontes de alimentação e aplicações de áudio. Altas indutâncias podem ser obtidas, na faixa de henrys, mas as perdas no núcleo passam a ser significativas. Para se obter altas indutâncias para aplicações eletrônicas, são frequentemente usados núcleos de pó de ferro compactado ou ferrites. Alta permeabilidade magnética é obtida e as perdas são reduzidas. O núcleo de ferrite é geralmente utilizado na forma de um cilindro cuja posição pode ser variada dentro da bobina. Pela variação de sua posição, pode ser obtida a variação da indutância.

Deve ser observado também que qualquer indutor é feito de um fio que, por outro lado, possui resistência. Esta resistência é distribuída pela bobina e está em série com a indutância pura ou ideal da bobina. Quando a resistência da bobina é desprezada, a bobina se comporta como um indutor puro, ao contrário de quando a resistência é considerável e a bobina é substituída pelo indutor real.

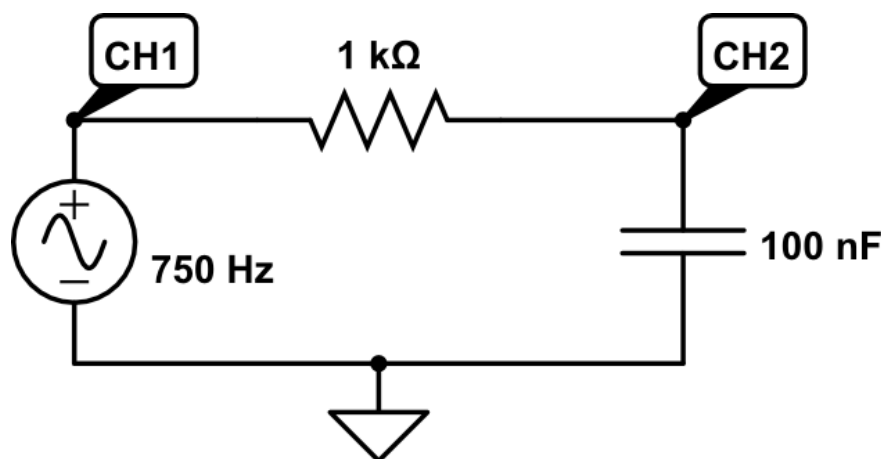
III - Equipamentos, Componentes e Ferramentas Utilizados

- Osciloscópio
- Multímetro
- Gerador de função
- Resistor: $1\text{ k}\Omega$
- Capacitor de $0,1\text{ }\mu\text{F}$
- Indutor de 1 mH

IV - Procedimento Experimental

a) Determinação da relação entre a corrente e a tensão em um capacitor:

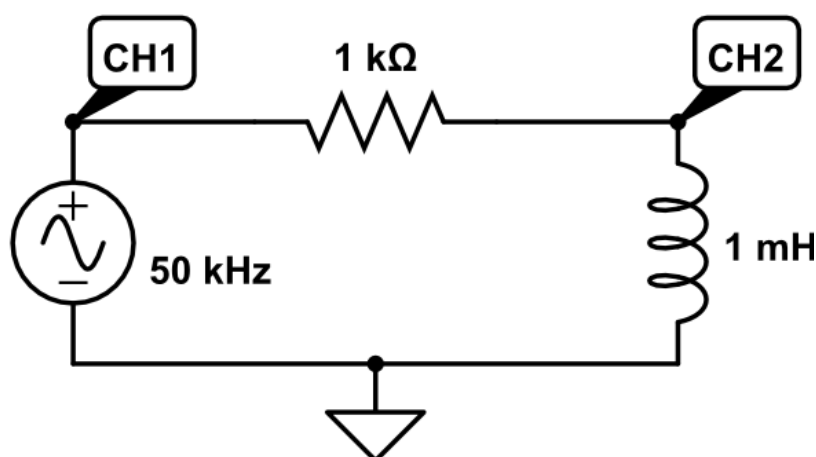
- Ligue o gerador de função e ajuste uma forma de onda **quadrada** de frequência 750 Hz com 1 V de amplitude (isto é, 2 Vpp) e valor médio (tensão DC ou *offset*) nulo.
- Ligue o resistor de 1 k Ω e o capacitor de 0,1 μ F em série aos terminais do gerador de função, conforme mostrado na figura a seguir. Ligue os terminais negativos do osciloscópio no ponto indicado pelo terra e os terminais positivos dos canais nos pontos indicados para o canal 1 (CH1) e canal 2 (CH2).



- No osciloscópio, o canal 1 corresponderá à tensão na fonte, enquanto que o canal 2 corresponderá à tensão no capacitor. A tensão no resistor pode ser visualizada usando a função MATH do osciloscópio para calcular $V_R = V_{CH1} - V_{CH2}$. Note que a corrente no capacitor (i_C) é igual à corrente no resistor (i_R), e tem exatamente a mesma forma de onda que a tensão no resistor, pois:
$$i_C(t) = i_R(t) = V_R(t) / R, \text{ em que } R = 1 \text{ k}\Omega.$$
- Esboce essas três formas de onda de tensão nos espaços correspondentes no anexo. Use a mesma escala de tensão para todos os canais, de forma a facilitar comparações.
- Mude a forma de onda do gerador de funções de quadrada para **senoidal**. Usando cursores, meça qual a defasagem (positiva ou negativa) da corrente com relação à tensão para: a fonte, o resistor e o capacitor. Lembre-se que a corrente do circuito é proporcional à tensão no resistor. Meça o valor eficaz de tensão (V_{RMS}) de cada uma das três formas de onda (tensão na fonte, tensão no resistor, tensão no capacitor).

b) Determinação da relação entre a corrente e a tensão em um indutor:

- Ligue o gerador de função e ajuste uma forma de onda **quadrada** de frequência 50 kHz com 1 V de amplitude (isto é, 2 Vpp) e valor médio (tensão DC ou *offset*) nulo.
- Ligue o resistor de 1 k Ω e o indutor de 1 mH em série aos terminais do gerador de função, conforme ilustrado na figura a seguir. Se for necessário, associe dois ou mais indutores para conseguir uma indutância próxima de 1 mH. Ligue os terminais negativos do osciloscópio no ponto indicado pelo terra e os terminais positivos dos canais nos pontos indicados para o canal 1 (CH1) e canal 2 (CH2).



- No osciloscópio, o canal 1 corresponderá à tensão na fonte, enquanto que o canal 2 corresponderá à tensão no indutor. A tensão no resistor pode ser visualizada usando a função MATH do osciloscópio para calcular $V_R = V_{CH1} - V_{CH2}$. Note que a corrente no indutor (i_L) é igual à corrente no resistor (i_R), e tem exatamente a mesma forma de onda que a tensão no resistor, pois $i_L(t) = i_R(t) = V_R(t) / R$, em que $R = 1 \text{ k}\Omega$.
- Esboce essas três formas de onda de tensão nos espaços correspondentes no anexo. Use a mesma escala de tensão para todos os canais, de forma a facilitar comparações.
- Mude a forma de onda do gerador de funções de quadrada para **senoidal**. Usando cursores, meça qual a defasagem (positiva ou negativa) da corrente com relação à tensão para: a fonte, o resistor e o indutor. Lembre-se que a corrente do circuito é proporcional à tensão no resistor. Meça o valor eficaz de tensão (V_{RMS}) de cada uma das três formas de onda (tensão na fonte, tensão no resistor, tensão no capacitor).

V – Pré-relatório

Simulação — Faça a simulação do procedimento experimental descrito nos itens IV.a) e IV.b) acima. Em sua simulação, os valores de amplitude do gerador e de resistência do resistor serão definidos de acordo com o seu número de matrícula, da seguinte forma. Suponha um estudante com número de matrícula 12/3456789. Nesse caso, os valores de amplitude seriam 1,067 V e 1089 Ω . Utilize essa lógica para substituir os dígitos sublinhados nos valores do exemplo pelos dígitos correspondentes do seu número de matrícula.

Para medir a forma de onda de tensão no resistor, utilize um terceiro “canal” de osciloscópio, em paralelo com o resistor. Atente-se para a questão da polaridade, de forma que esta fique consistente com a polaridade usada nos demais canais, de acordo com a convenção passiva de sinal. Alternativamente (ou adicionalmente), meça a forma de onda de corrente no resistor (ao invés da forma de onda de tensão), pois, em um resistor, tensão e corrente tem exatamente a mesma forma de onda, a menos de um escalar: $v(t) = R i(t)$.

Se não for possível medir o valor eficaz em seu simulador, meça o valor de tensão (amplitude ou pico-a-pico) com cursores e calcule o valor eficaz da seguinte forma: $V_{\text{RMS}} = V_{\text{AMPL}} / \sqrt{2} = V_{\text{pp}} / 2\sqrt{2}$.

Cálculos Teóricos — Não é necessário fazer os cálculos teóricos para as ondas senoidais. Para as ondas quadradas, modele a onda quadrada como um circuito que chaveia, a cada meio período, entre uma fonte DC de +1V e uma de -1V. Para facilitar as contas, suponha que, ao final de cada meio período, o circuito está em regime permanente DC.

VI - Relatório

Em seu relatório, não se esqueça de descrever o material utilizado e os procedimentos executados. Apresente e analise os valores medidos, explicando teoricamente os resultados experimentais e comparando-os com os valores simulados, bem como discutindo e justificando similaridades e discrepâncias. Ao longo de sua análise, não deixe de responder as seguintes perguntas:

- Com base em seus conhecimentos teóricos, compare qualitativamente a relação observada entre a tensão e a corrente em um capacitor com o que se esperava do ponto de vista teórico. Idem para o indutor.
- Como varia a corrente em um capacitor para uma tensão constante? E em um indutor?
- Como varia a tensão em um capacitor para uma corrente constante? E em um indutor?

Anexe os gráficos e tabelas das folhas a seguir e também os pré-relatórios dos membros do grupo (simulações).

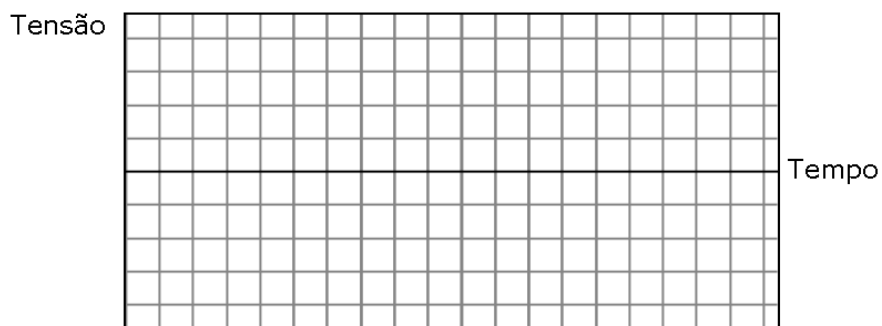
Laboratório de Circuitos Elétricos 1 - Experiência N° 06: Capacitor e Indutor - 2014/2

Turma: _____ Data: _____

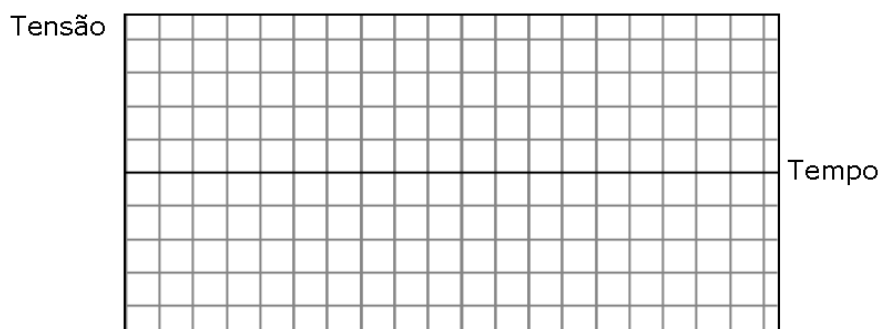
Alunos: _____ Matrícula: _____
 _____ Matrícula: _____
 _____ Matrícula: _____

Procedimento (a) – onda quadrada

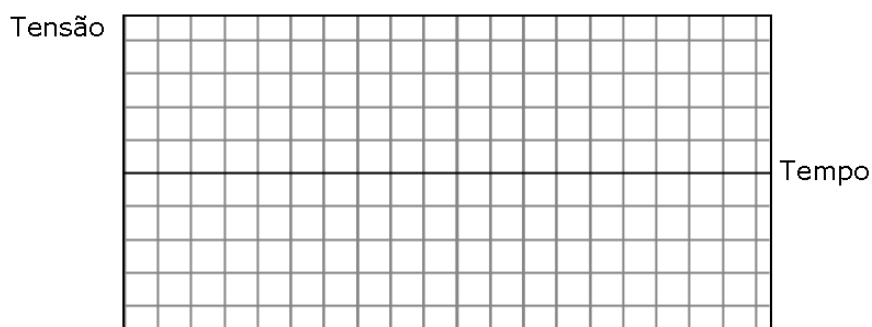
Tensão na fonte



Tensão no resistor



Tensão no capacitor

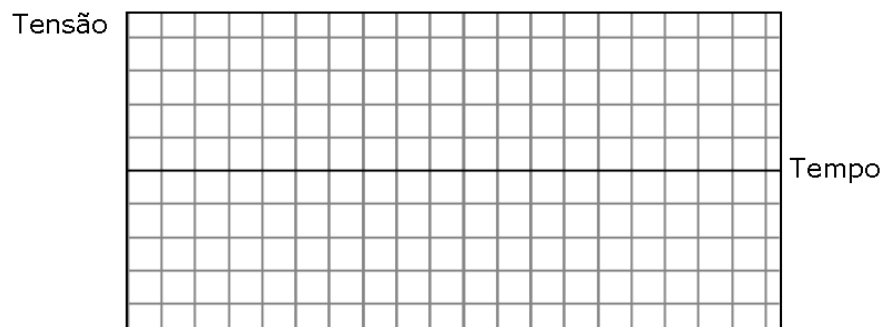


Procedimento (a) – onda senoidal

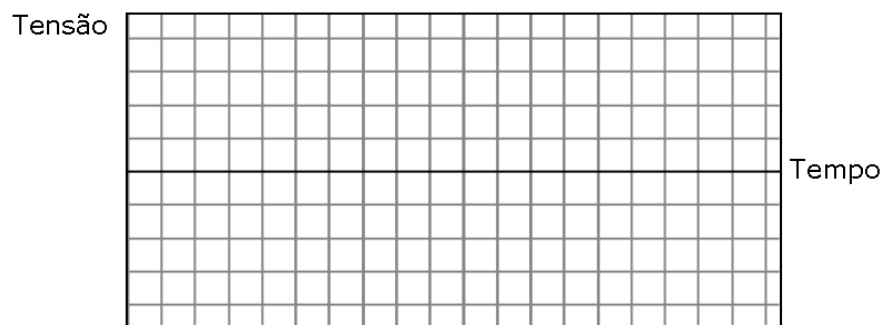
<u>Componente</u>	<u>Diferença de fase tensão-corrente (ΔT)</u>	<u>Diferença de fase tensão-corrente (Φ)</u>	<u>Valor pico-a-pico de tensão (V_{pp})</u>	<u>Valor eficaz de tensão (V_{RMS})</u>
<u>Fonte</u>				
<u>Resistor</u>				
<u>Capacitor</u>				

Procedimento (b) – onda quadrada

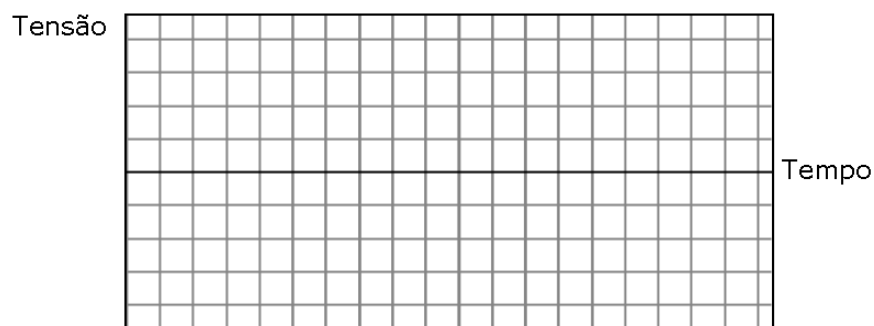
Tensão na fonte



Tensão no resistor



Tensão no indutor



Procedimento (b) – onda senoidal

<u>Componente</u>	<u>Diferença de fase tensão-corrente (ΔT)</u>	<u>Diferença de fase tensão-corrente (Φ)</u>	<u>Valor pico-a-pico de tensão (V_{pp})</u>	<u>Valor eficaz de tensão (V_{RMS})</u>
<u>Fonte</u>				
<u>Resistor</u>				
<u>Indutor</u>				