Correntes Alternadas

Parte 3 – Impedâncias

Aula 12

Prof. Henrique Barbosa
Edifício Basílio Jafet - Sala 100
Tel. 3091-6647
hbarbosa@if.usp.br

http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa

Tarefas da Semana (1)

- Mesma montagem da calibração da sonda em carretel
  - Usar $R_{auxiliar}$ de 1 a 10 ohms
  - Freqüência: ~3000Hz

- Medir a f.e.i. induzida na bobina em função da corrente no solenóide e fazer o gráfico
  - Calcular a indutância mútua
- Comparar com a previsão teórica e com os resultados dos colegas.

Indutância Mútua: solenóide x bobina sonda

- O fluxo de campo magnético (do solenóide) que atravessa a bobina é, dada a geometria, ϕ_{bS}:

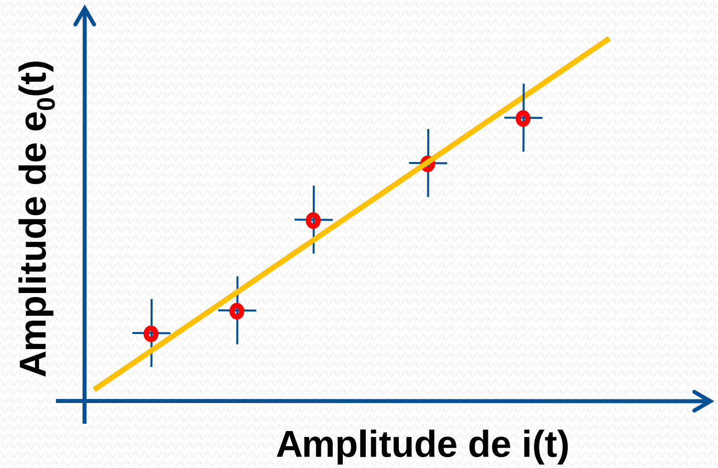
$$\Phi_{bS} = A_b N_b B_S = A_{eff} B_S$$

- A f.e.i. na bobina:

$$\varepsilon_{bS} = -\frac{d\Phi_{bS}}{dt} = -M_{bS}\frac{di_S}{dt}$$

$$\varepsilon_{bm} = \boxed{(N_b A_b \mu_0 n_s \omega)} i_{Sm}$$

$$\varepsilon_{bS} = -\boxed{A_{eff}\frac{\mu_0 N_S}{\sqrt{D_S^2 + L_S^2}}}\omega i_S$$



Termo na raiz

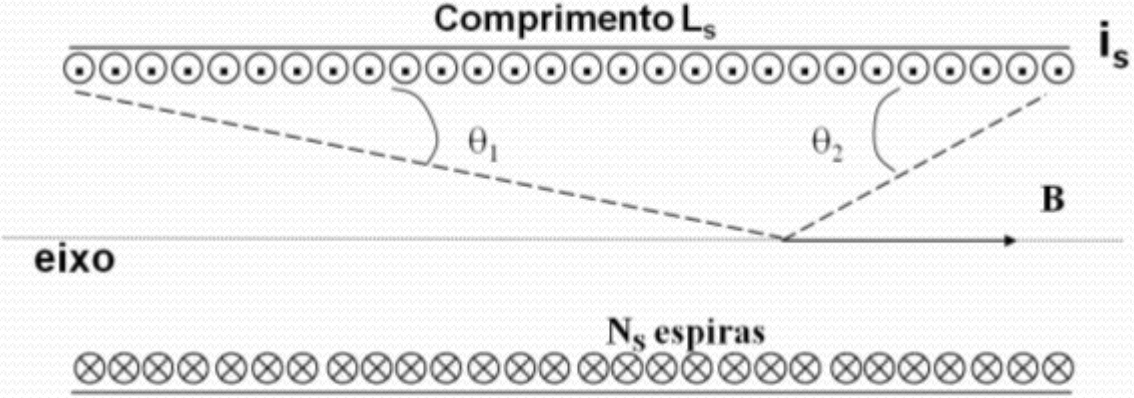
- O campo do solenóide era: $$B_{Sm} = \frac{\mu_0 N_S}{L_S}\left(\frac{\cos\theta_1 + \cos\theta_2}{2}\right) i_{Sm}$$

- Se a sonda estava no meio do solenóide, então:

$$\frac{\cos\theta_1 + \cos\theta_2}{2} = \cos\theta = \frac{L_S / 2}{\sqrt{(D_S / 2)^2 + (L_S / 2)^2}} = \frac{L_S}{\sqrt{D_S^2 + L_S^2}}$$

$$B_{Sm} = \frac{\mu_0 N_S}{\cancel{L_S}} \frac{\cancel{L_S}}{\sqrt{L_S{}^2 + N_S{}^2}} i_{Sm} \boxed{= \frac{\mu_0 N_S}{\sqrt{L_S{}^2 + N_S{}^2}} i_{Sm}}$$

$$\boxed{\varepsilon_{bS} = -A_{eff} \frac{\mu_0 N_S}{\sqrt{D_S^2 + L_S^2}} \omega i_S}$$



Fórmula teórica

- Um dos grupos deduziu a fórmula, pois eu só tinha feito para o solenóide infinito.

1 Indutância mútua e autoindutância

O campo magnético devido a um solenóide de comprimento l e N_S espiras, quando percorrido por uma corrente $i(t) = i_{SM} \sin \omega t$, é

$$B_S(t) = \frac{\mu_0 N_S}{l} \frac{\cos\theta_1 + \cos\theta_2}{2} i_{SM} \sin \omega t$$

de modo que a força eletromotriz induzida ϵ sobre uma bobina de área efetiva A_b será

$$\epsilon(t) = \frac{d\Phi}{dt} = A_b \frac{dB_S}{dt} = \omega \frac{\mu_0 N_S A_b}{l} \frac{\cos\theta_1 + \cos\theta_2}{2} i_{SM} \cos \omega t$$

Lembrando que a indutência mútua M é dada por $\epsilon = -M di/dt$, temos por comparação

$$M = \frac{\mu_0 N_S A_b}{l} \frac{\cos\theta_1 + \cos\theta_2}{2}$$

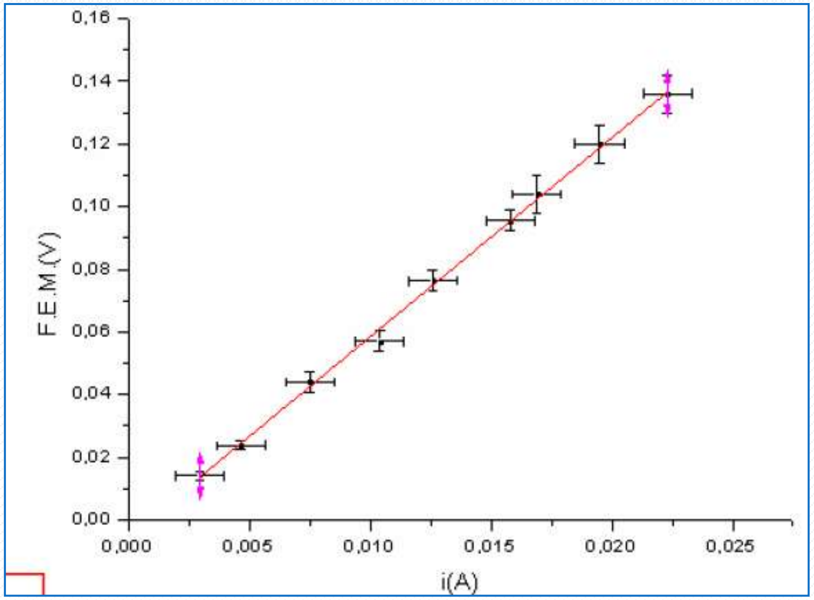
bom

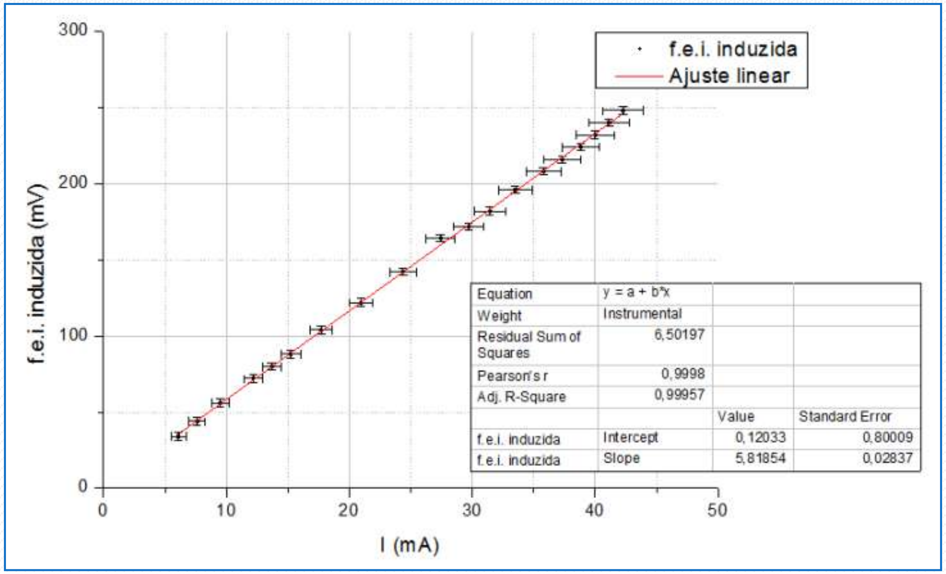
A autoindutância é analoga, bastando considerar como bobina o próprio solenóide. Resulta

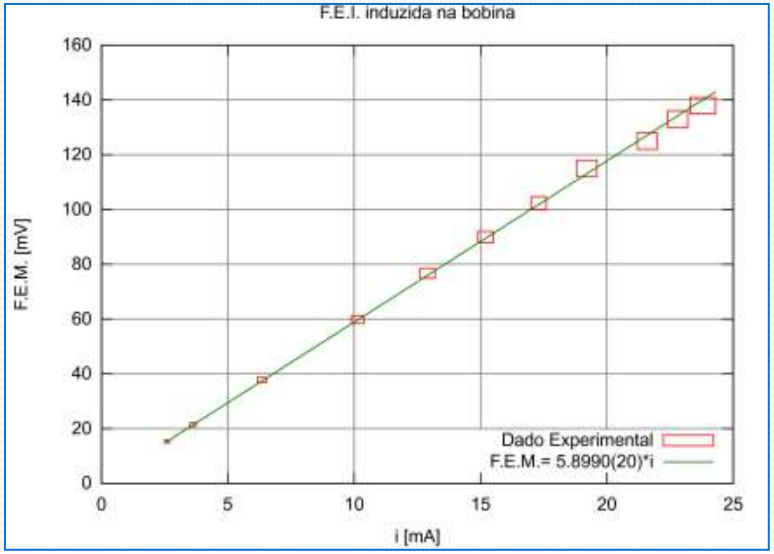
$$L = \frac{\mu_0 N_S A_S}{l} \frac{\cos\theta_1 + \cos\theta_2}{2}$$

lembrando que A_S depende de N_S (no caso do solenóide cilíndrico, $A_S = N_S \pi R^2$, sendo R seu raio).

Era mais direto com ε_b x $\omega*i_s$







Mútua (sonda + solenóide)

	Exp (mH)	Teórico (mH)
H1	**0.224 (8) 10^{-3}**	**11.3(4)**
H2	0.34 (2)	0.33 (2)
H3	0.325 (1)	0.318 (16)
H4	0.3125 (31)	0.317 (9)
H5	0.311 (2)	0.305 (6)
H6	0.303 (5)	(?)
H7	0.312 (1)	0.281 **(0.02)**
H8	0.31 (2)	0.33 (2)
H9	**0.5 (6)**	**0.5 (6)**
H10	0.308 (4)	0.308 (7)
H14	**0.0343 (20)**	**0.0289** (?)

Erro de cálculo
0.224mH e 0.257mH

Exp: 0.31 (3) mH
Teórico: 0.30 (3) mH

Aeff = 0.4(4) m^2

Erro nos dados
Erro de cálculo 0.257mH

Tarefas da Semana (2)

- Varie a corrente no solenóide e meça a f.e.i. nele induzida .
  - Faça o gráfico da f.e.i. pela corrente e obtenha o valor de L do solenóide.
  - Compare com o valor previsto teoricamente e com os valores dos colegas.

$$\varepsilon_{Sm} = L\omega i_{Sm}$$

  - Há diferença de fase? É o que você esperava? É o previsto teoricamente? Comente

Auto-indutância do solenóide

Para qualquer solenóide o fluxo é diretamente proporcional à corrente:

$$N\Phi_B = Li$$

E a lei de Faraday nos diz que:

$$\varepsilon = -\frac{d(N\phi)}{dt}$$

Portanto:

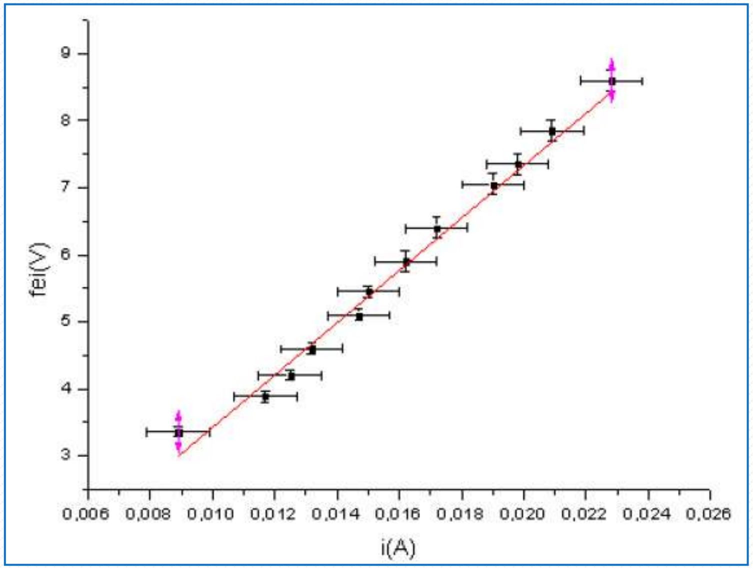
$$\varepsilon = -L\frac{di}{dt}$$

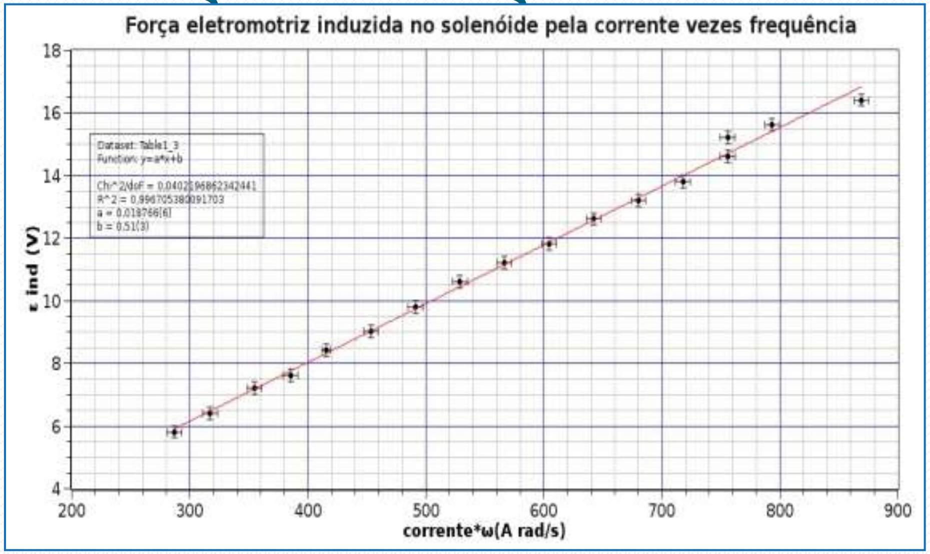
a indutância, é na verdade a auto-indutância!

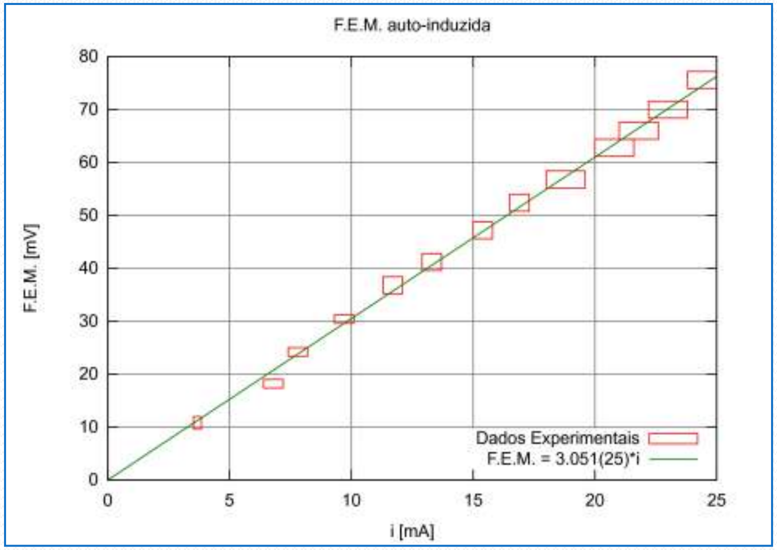
Se o solenóide for **ideal**, i.e., o fio não tiver resistência:

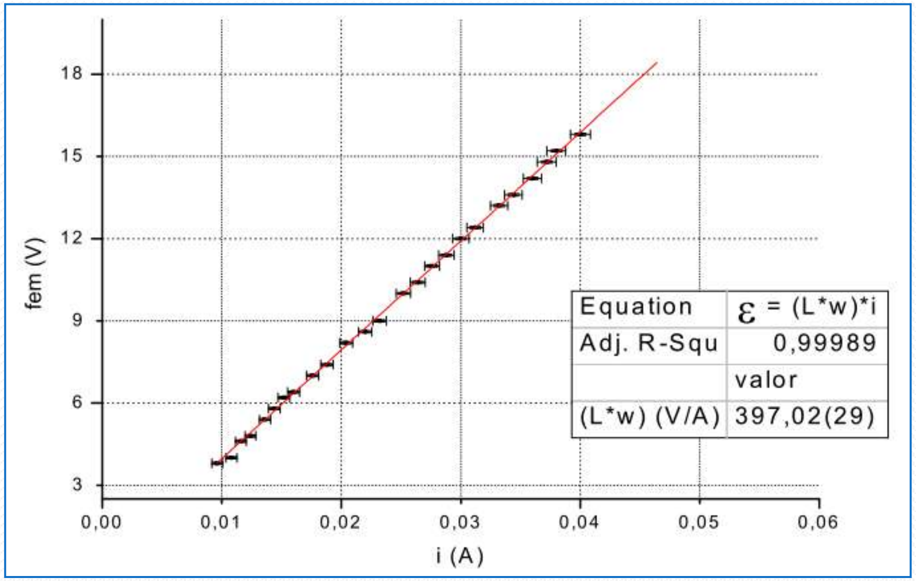
- A tensão nele é **nula** para corrente constante
- A tensão nele é **igual a f.e.m induzida** pela Lei de Faraday, para corrente alternada

Era mais direto com ε_s x ω*i_s









Auto (solenoide+solenoide)

	Exp (mH)	Teorico (mH)
H1	18.8 (1)	**177547.8 10^3 usou N**
H2	21 (2)	22 (1)
H3	21.0 (3)	23.4 (12)
H4	**0.1618 (47)**	**0.2231 (76)**
H5	21.9 (3)	23.5 (6)
H6	20.5 (4)	**(?)**
H7	19.2 (1)	22.3 (12)
H8	21 (1)	22 (1)
H9	22.92 (7)	23.3 (12)
H10	20.20 (35)	21.85 (49)
H14	0.0201 (14)	0.0223

Erro de conta

N=13.6 mH n=21mH

Erro de escala 16.18 mH

Erro de conta 21mH

Exp: 20.3 (19) mH

Teórico: 22.3 (10) mH

Erro nos dados

Não mostrou estimativa

Porque todos a média da sala está 9% abaixo do valor teórico?

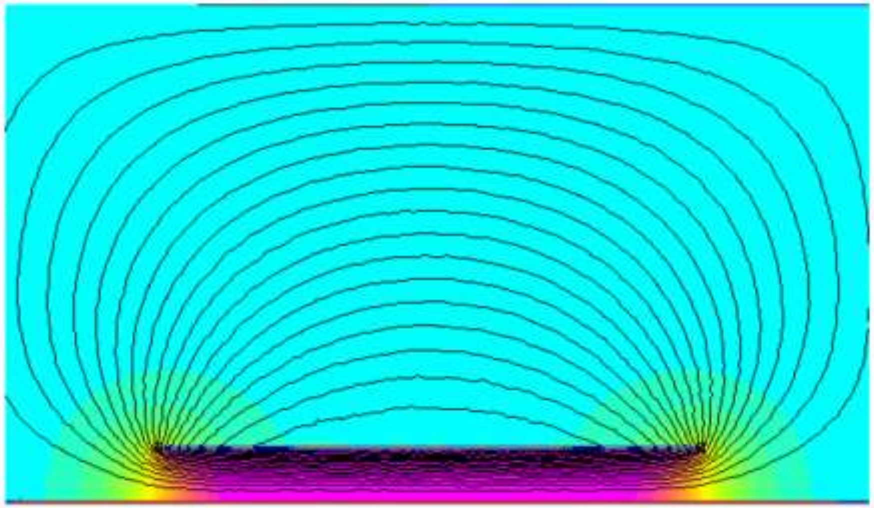
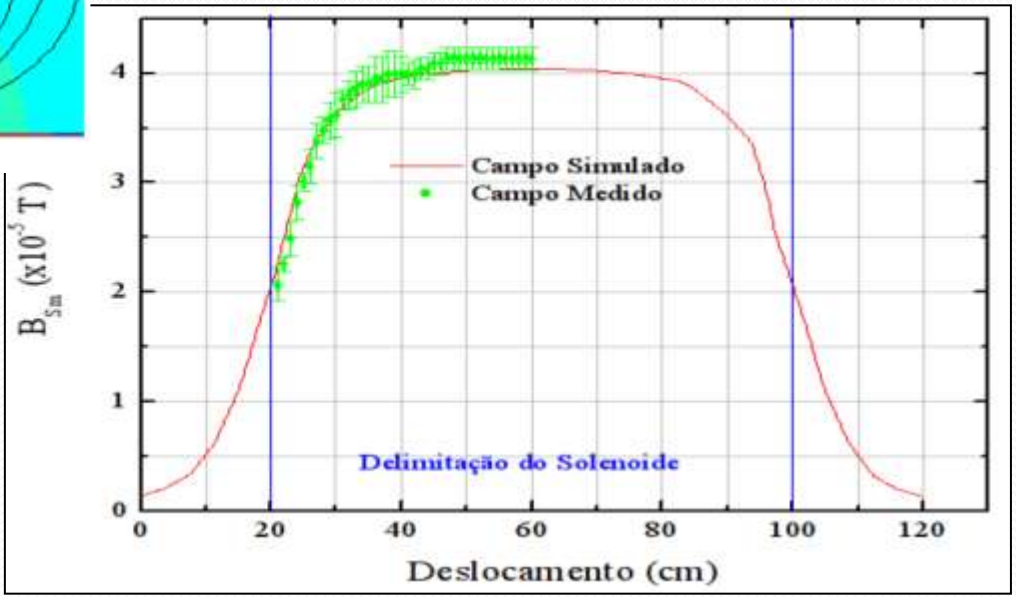


Figura 1. Simulação co campo magnético dentro do raio superior do solenoide

Porque o campo não é uniforme!!



Porque todos a média da sala está 9% abaixo do valor teórico?

- A correção é: $Corr = \left(\dfrac{\cos\theta_1 + \cos\theta_2}{2} \right) = \dfrac{1}{2}\left\{ \dfrac{x}{\sqrt{L^2 + x^2}} + \dfrac{L - x}{\sqrt{(L-x)^2 + R^2}} \right\}$

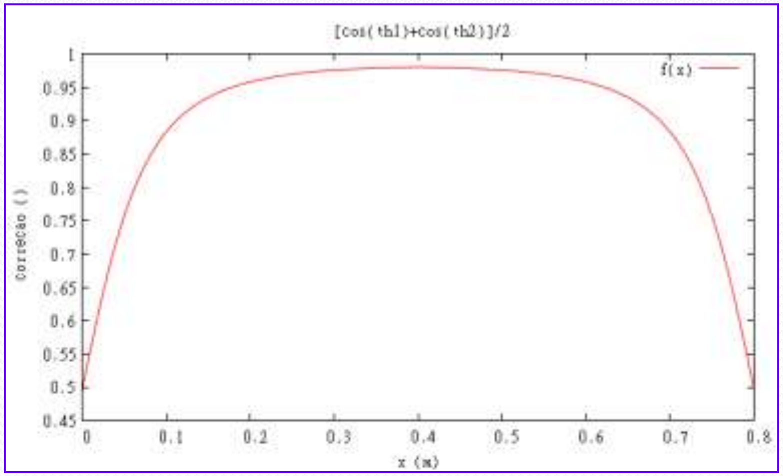
- Fazendo a integral de **x=0** até **x=L**, temos:

$$\int_0^L Corr(x)dx = \sqrt{L^2 + R^2} - R$$

Nota: B(x) também não é uniforme fora do eixo! Precisaríamos calcular….

- **L=80cm** e **R=8cm**, portanto:

$$média = \frac{1}{L}\int_0^L Corr(x)dx \sim \frac{72}{80} \sim 0.9$$



Auto (sonda + sonda) - FASE

	Exp (deg)
H1	
H2	102 (6)
H3	
H4	105 (7)
H5	91 (2)
H6	90.0 (3)
H7	87.7 (24)
H8	
H9	107 (4)
H10	96 (3)
H14	92.2 (18)

- A tensão no solenóide vem a f.e.m. induzida pelo próprio solenóide, assim:

$$\varepsilon = -L\frac{di}{dt}$$

- Se a corrente for:

$$i = i_0 \sin(\omega t)$$

- Então

$$\varepsilon = -L i_0 \omega \cos(\omega t)$$

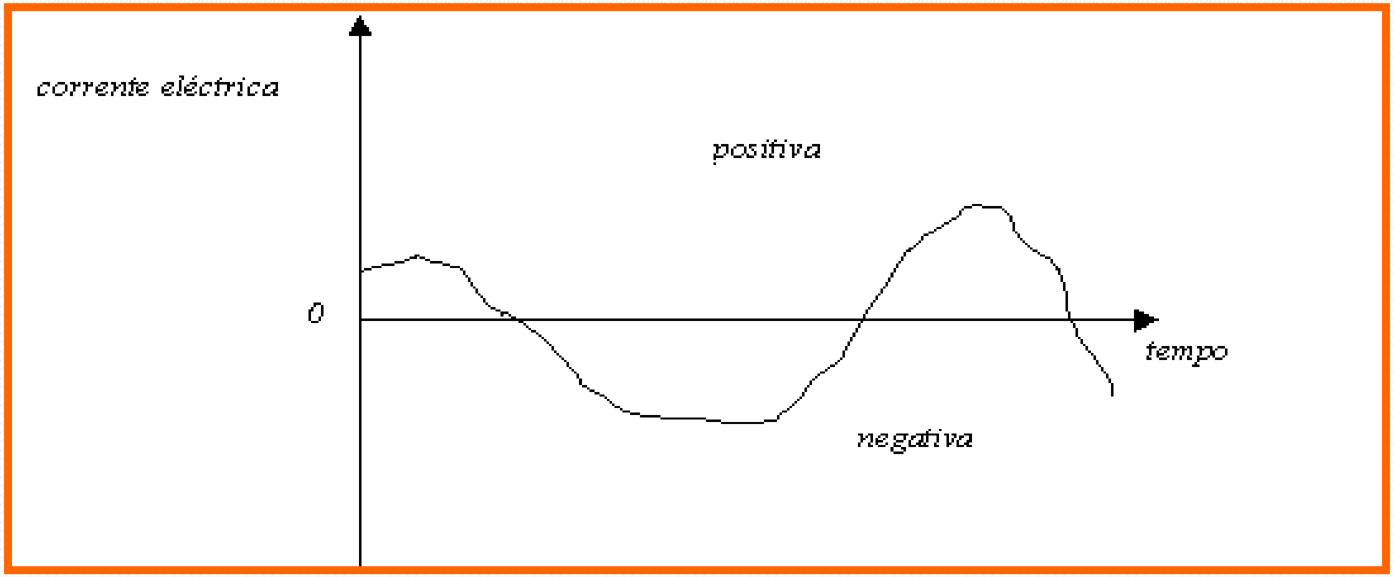
π/2

Correntes Alternadas e Faraday

1791-1867

Corrente alternada

- Tensão alternada: qualquer tensão que varia no tempo

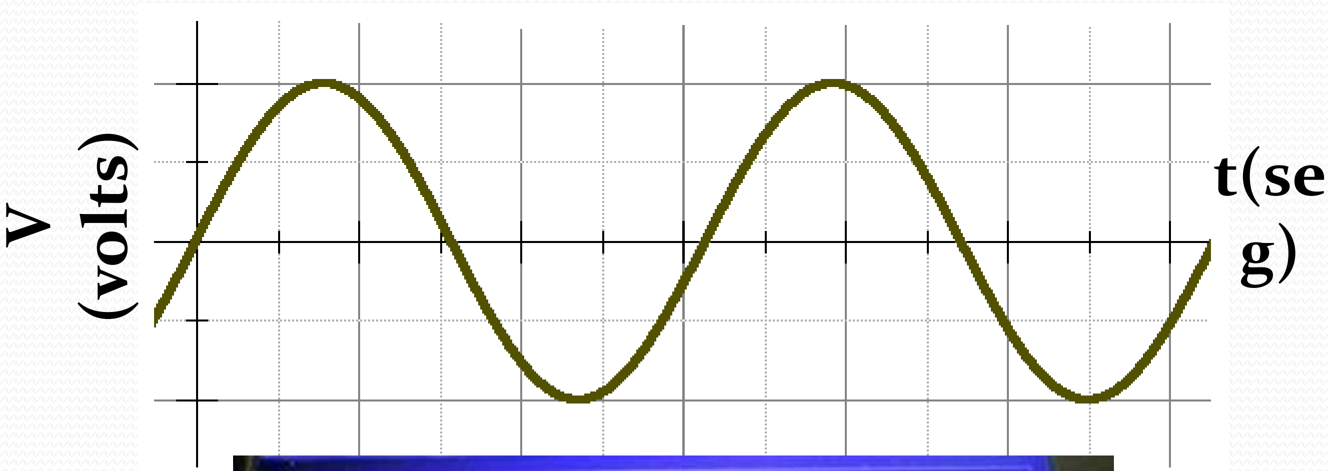


- Nesta experiência: tensões harmônicas simples

Importante: qualquer tensão dependente do tempo = superposição de tensões harmônicas simples

Tensão alternada

- Na grande maioria dos usos a tensão (ou corrente) é descrita por uma função harmônica simples:
  - por exemplo na sua casa, a D.D.P. fornecida é senoidal:

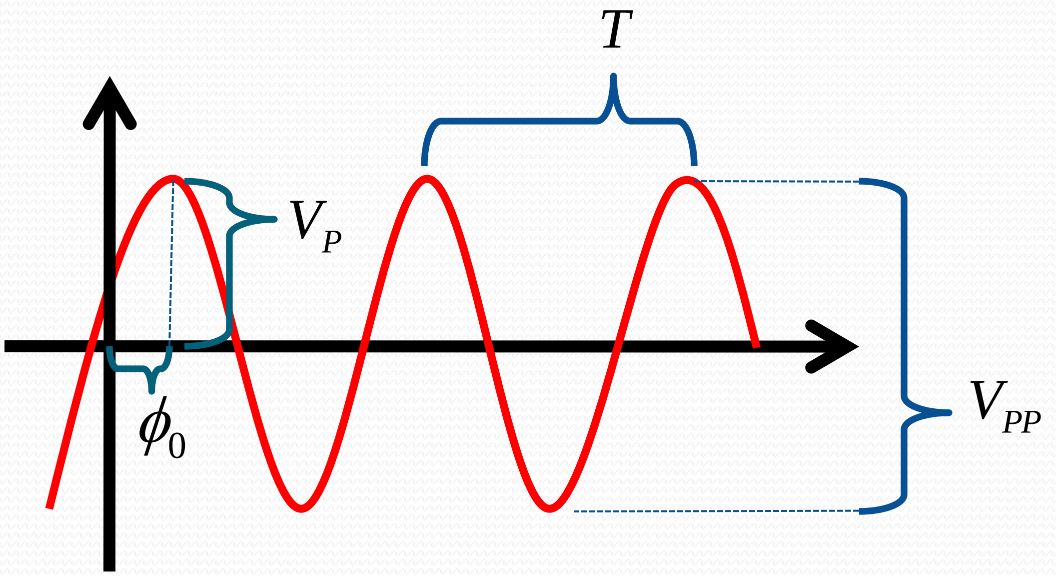


127V, 60Hz

Tensão harmônica

- Como descrever matematicamente uma tensão senoidal?
  - V_P é a tensão máxima ou tensão de pico ou amplitude
  - ω é a freqüência angular
  - ϕ_o é a fase da tensão alternada no instante **t=o**

$$V(t) = V_P \cos(\omega t + \phi_0)$$



$$\omega = 2\pi f \qquad T = \frac{1}{f}$$

$$V_{PP} = 2V_p$$

$$V_{ef} = \frac{V_P}{\sqrt{2}}$$

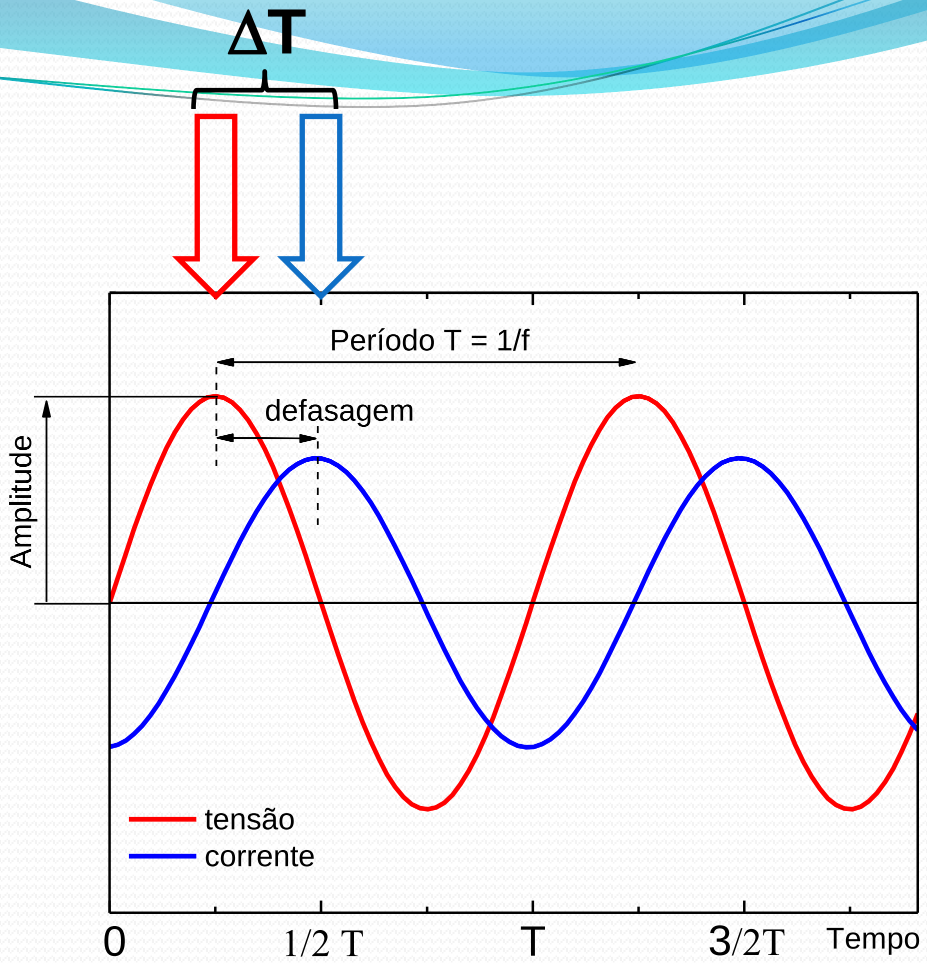
A fase

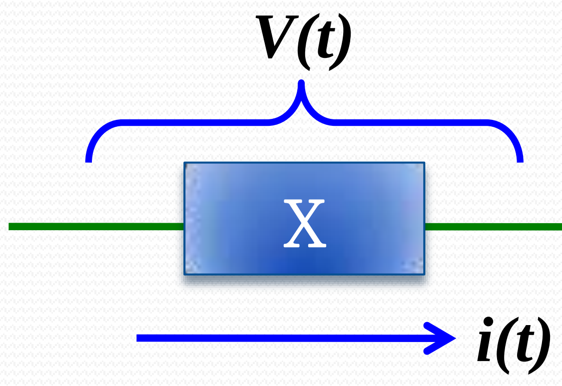
- Em um circuito de corrente alternada a tensão e corrente não estão necessariamente em fase:

$$V(t) = V_P \sin(\omega t + \phi_0)$$

$$i(t) = i_0 \sin(\omega t + \phi_1)$$

$$\phi = 2\pi \frac{\Delta T}{T} = \omega \cdot \Delta T$$

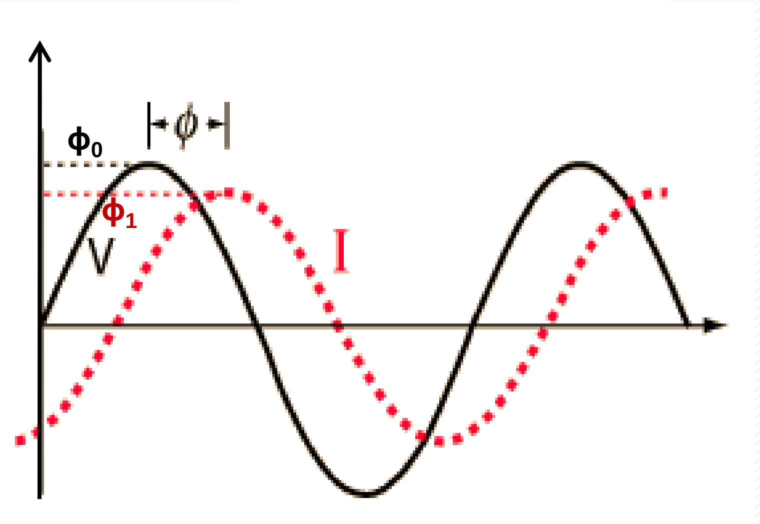




Diferença de fase

- Neste caso é mais importante saber a diferença de fase entre a corrente e a tensão do que os valores de ϕ_o e ϕ_1. Porque?

  - Fase é uma fração de um ciclo (ou período) expressa em graus
  - Entre o início e o fim de um período há uma diferença de fase de 360º.
  - Um período corresponde a 360º, ½ corresponde a 180º, etc...



A tensão é alternada, então a escala de tempo é, de certa maneira, arbitrária

Potência Dissipada - **Instantânea**

- Qual é a potência dissipada no elemento?

$$P(t) = V(t) \cdot i(t)$$

- Ela depende da diferença de fase entre corrente e tensão no elemento!

$$i(t) = i_P sen(\omega t)$$
$$V(t) = V_P sen(\omega t + \phi)$$

$$P(t) = V_P i_p sen(\omega t) sen(\omega t + \phi)$$

- Portanto há um termo variável e outro constante!

$$P(t) = \frac{V_P i_p}{2}\cos(\phi) - \frac{V_P i_p}{2}\cos(2\omega t + \phi)$$

Potência média: <u>mais útil</u>

- O valor médio da potência num período **T** é:

$$\overline{P} = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{V_p i_P}{2}\cos\phi dt - \overset{=0}{\cancel{\frac{1}{T}\int_0^T \frac{V_P i_P}{2}\cos(2\omega t + \phi)dt}}$$

- A segunda integral é nula, mas a primeira não:

$$P(t) = \frac{1}{2}V_P i_P \cos\phi = \frac{V_P}{\sqrt{2}}\frac{i_P}{\sqrt{2}}\cos\phi$$

- Chama-se de valor eficaz da tensão, $\mathbf{V_{ef}}$, o valor $\mathbf{V_P/\sqrt{2}}$ e valor eficaz da corrente, $\mathbf{i_{ef}}$, o valor $\mathbf{i_P/\sqrt{2}}$

$$P(t) = V_{ef}\, i_{ef} \cos\phi_0$$

Potência média

- Ela depende, além das tensões e correntes, também da defasagem!

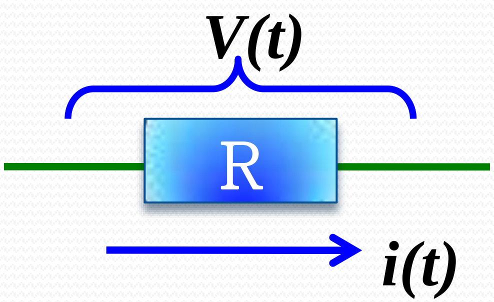
$$V(t) = V_P \cos(\omega t + \phi) \qquad i(t) = i_P \cos(\omega t)$$

$$P(t) = \frac{1}{2} V_P i_P \cos\phi$$

- Agora pode-se calcular a potência média, por ciclo, transferida ao elemento de circuito, seja ele, resistivo, capacitivo, indutivo ou misto.

Exemplo 1: Resistor ôhmico

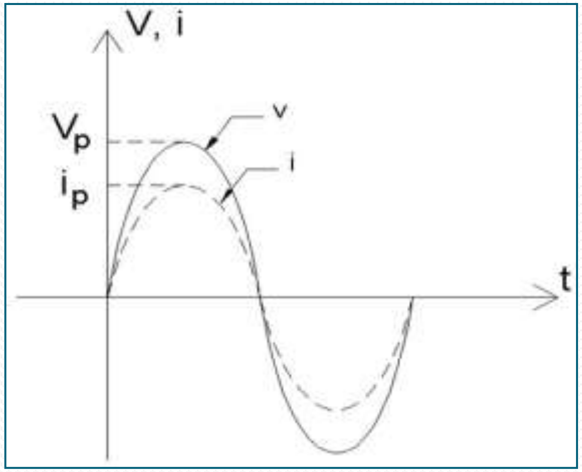
- A lei de Ohm diz que V =R i, onde R é uma constante se o resistor for ôhmico. Assim, se a tensão estiver variando, temos que:



$$V(t) = Ri(t)$$

$$V(t) = V_P sen(\omega t + \phi_0)$$

$$i(t) = \frac{V_P}{R} sen(\omega t + \phi_0)$$

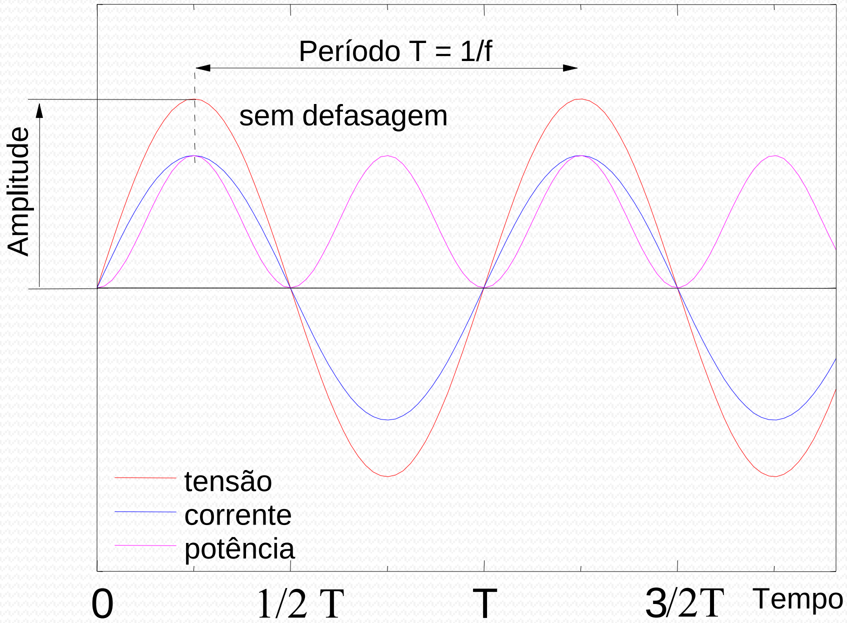


- Como as fases ϕ_o são iguais, então que a corrente e a tensão no resistor estão em fase!

Exemplo 1: Resistor ôhmico

- Para um **resistor ôhmico**, teremos então que:

$$P(t) = V(t) \cdot i(t) = V_p i_P sen^2(\omega t) \quad > 0, \text{ sempre}$$



•A potência varia no tempo mas é sempre positiva o que significa que o resistor sempre consome potência!

Exemplo 2: Capacitor Ideal

Em um capacitor ideal, a capacitância é dada pela razão entre carga acumulada e tensão elétrica, ou seja:

$$C = \frac{q(t)}{V(t)} \Rightarrow V(t) = \frac{q(t)}{C}$$

Além disso, carga e corrente estão relacionados

$$i(t) = \frac{d}{dt} q(t)$$

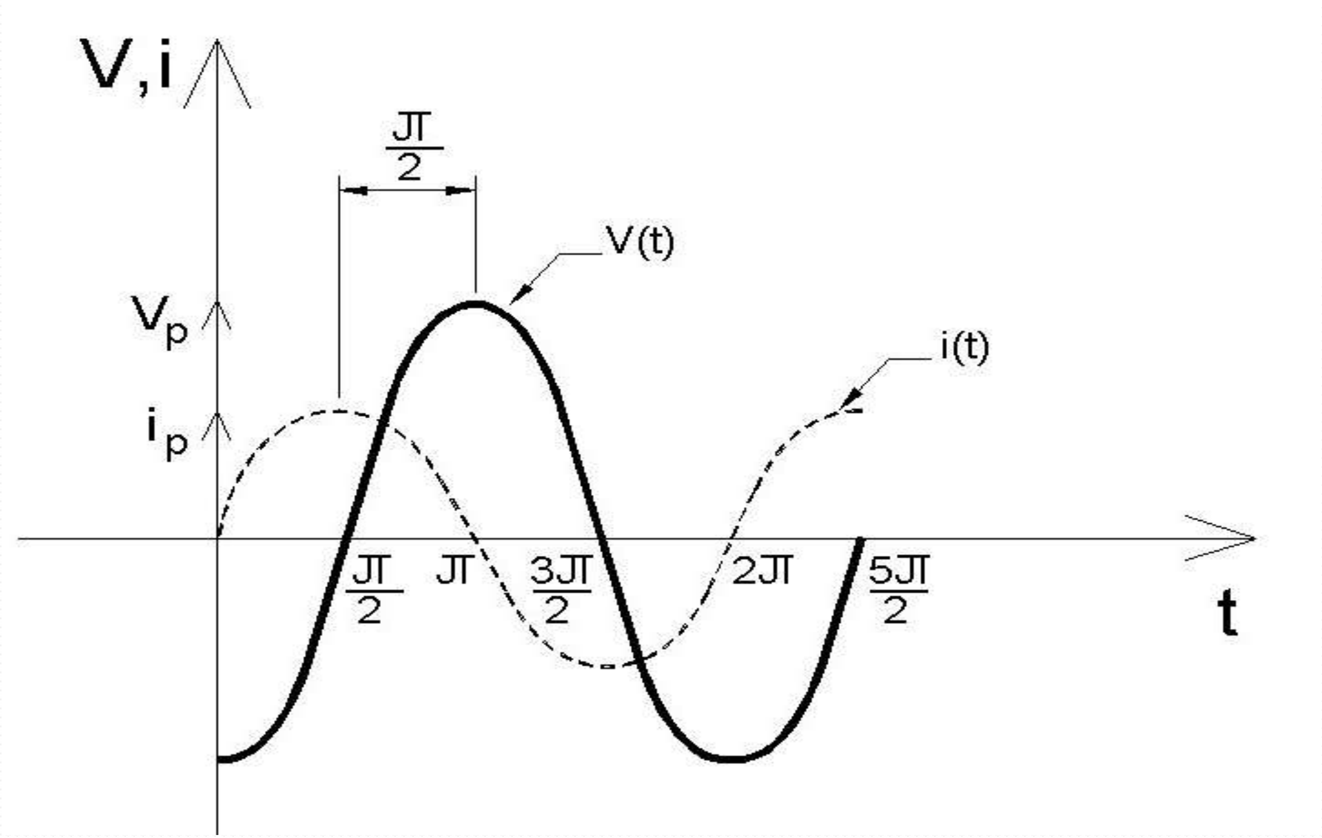
Portanto:

$$V(t) = \frac{q(t)}{C} = V_P \sin(\omega t) \;\; = V_P \cos(\omega t - \pi / 2)$$

$$i(t) = \omega C V_p \cos(\omega t)$$

A fase não é nula!

Exemplo 2: Capacitor Ideal



a corrente está adiantada de π/2 em relação à tensão aplicada ao capacitor (Atenção: a defasagem de π/2 é entre a corrente e a tensão diretamente sobre o capacitor e não quaisquer outras).

Exemplo 2: Capacitor Ideal

- A potência em um capacitor pode ser escrita como

$$P(t) = V(t) \cdot i(t)$$

$$P(t) = \left(V_p \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \right) \left(\omega C V_p \cos\left(\omega t\right) \right)$$

(-π/2)-(0) = -π/2

$$= \left(\frac{i_p}{\omega C} \sin\left(\omega t\right) \right) \left(i_p \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \right)$$

(0)-(π/2) = -π/2

- Atenção, a diferença de fase = **Fase Tensão – Fase Corrente**

Exemplo 3: Indutor ideal

- Em um indutor ideal, a tensão é dada por:

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

- Portanto, se a corrente no indutor é:

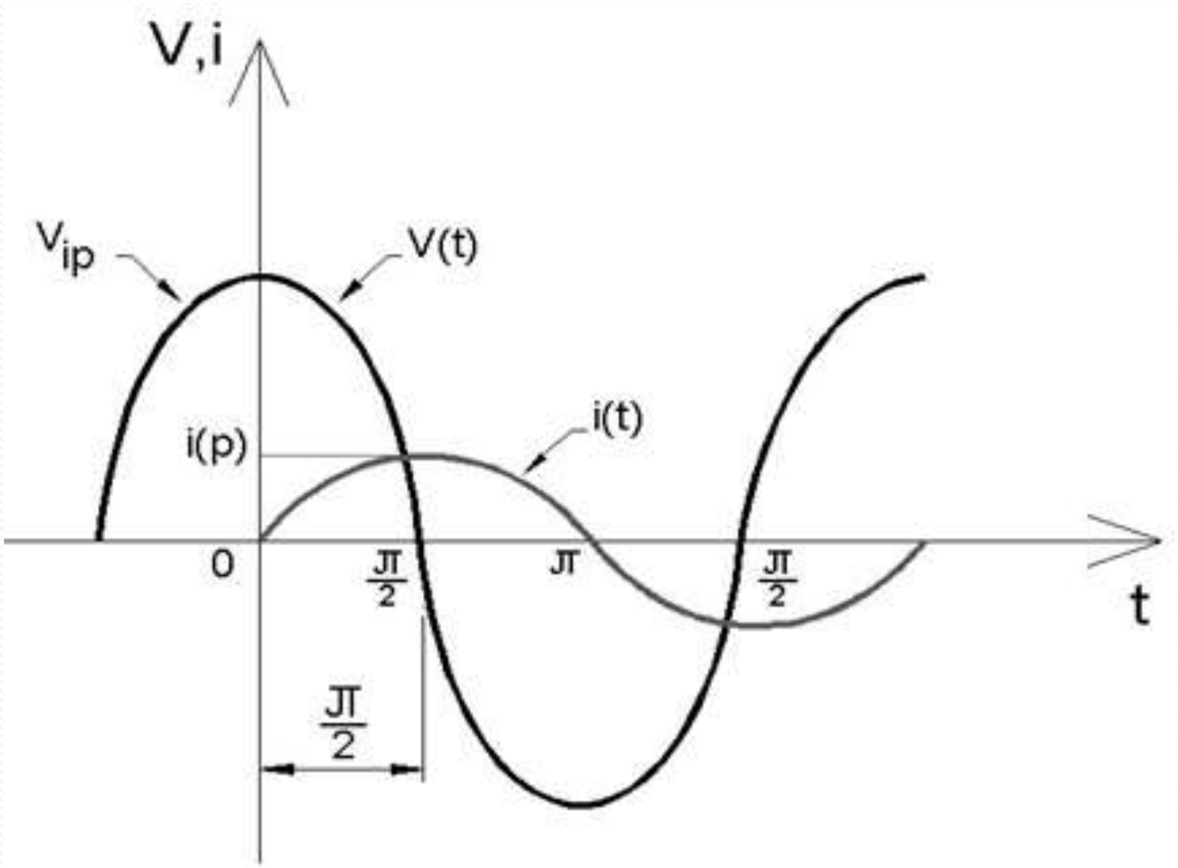
$$i(t) = i_P \cos(\omega t)$$

A fase não é nula!

- Então, temos:

$$V(t) = L\frac{di}{dt} = -L\omega i_P \sin(\omega t) = L\omega i_P \cos(\omega t + \pi / 2)$$

Exemplo 3: Indutor ideal



- a corrente está atrasada de $\pi/2$ em relação à tensão aplicada ao indutor (**Atenção**: a defasagem de $\pi/2$ é entre a corrente e a tensão diretamente sobre o indutor e **não quaisquer outras**).

Exemplo 3: Indutor Ideal

- A potência em um capacitor pode ser escrita como:

$$P(t) = V(t) \cdot i(t)$$

$$P(t) = \left(V_p \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \right)\left(\frac{V_p}{\omega L} \cos\left(\omega t\right) \right)$$

(π/2)-(0) = +π/2

$$= \left(\omega L i_p \sin(\omega t)\right)\left(i_p \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \right)$$

(0)-(-π/2) = +π/2

- Atenção, a diferença de fase = **Fase Tensão – Fase Corrente**

Potência - Revisão

Muito difícil acompanhar os sinais e as trocas de sin(x) por sin(90-x)... Vamos introduzir uma nova notação, mais genérica e mais simples!

- Para o resistor:

$$P(t) = Ri_P{}^2 sen^2(\omega t)$$

- Para o capacitor:

1/wC é como se fosse a "resistência" do capacitor!

$$P(t) = \frac{i_p{}^2}{\omega C}\sin(\omega t)\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Mas essa "resistência" introduz uma fase!

- Para o intudor:

wL é como se fosse a "resistência" do indutor!

$$P(t) = \omega L i_p{}^2 \sin(\omega t)\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Mas essa "resistência" introduz uma fase!

Números Complexos

$$\hat{C} = a + b\,j \qquad j = \sqrt{-1}$$

$$\hat{C} = C\,e^{j\alpha} \qquad e^{j\alpha} = \cos\alpha + j\,\mathrm{sen}\,\alpha$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$tg\alpha = \frac{b}{a}$$

$$\frac{d}{dt}\left(e^{j\omega t}\right) = j\omega\,e^{j\omega t}$$

$$\int e^{j\omega t}dt = \frac{1}{j\omega}e^{j\omega t}$$

Integrais e derivadas nesta notação são apenas multiplicações e divisões

Formalismo Complexo

- Este formalismo é construído de tal forma a facilitar todos os cálculos que envolvem tensões alternadas
- Vamos definir as tensões e correntes complexas como sendo:

$$\hat{V}(t) = V_0 e^{j(\omega t + \phi_0)}$$
$$\hat{i}(t) = i_0 e^{j(\omega t + \phi_1)}$$

$$\Rightarrow$$

$$V(t) = \mathrm{Re}\left(\hat{V}(t)\right) = V_0 \cos(\omega t + \phi_0)$$
$$i(t) = \mathrm{Re}\left(\hat{i}(t)\right) = i_0 \cos(\omega t + \phi_1)$$

Impedância Complexa e Real

A impedância complexa de um elemento X é definida como sendo a razão entre a tensão e corrente complexas neste elemento, ou seja:

$$\hat{Z} = \frac{\hat{V}(t)}{\hat{i}(t)}$$

Usando a definição das tensões e correntes complexas, deduzimos que:

$$\hat{Z} = \frac{V_0 e^{j(\omega t+\phi_0)}}{i_0 e^{j(\omega t+\phi_1)}} = \frac{V_0}{i_0} e^{j(\phi_0-\phi_1)} = Z_0 e^{j\phi}$$

Z_0 é a impedância REAL do elemento X

ϕ é a diferença de fase entre a tensão e corrente causada pelo elemento X

A impedância NÃO varia com o tempo. É uma grandeza característica do elemento X

Resistência e Reatância

- Da definição de impedância complexa:

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

- Podemos escrever também que:

$$\hat{Z} = Z_0 \cos(\phi) + jZ_0 \sin(\phi)$$

- Define-se resistência (R) de um bipolo como sendo:

$$R = Z_0 \cos(\phi)$$

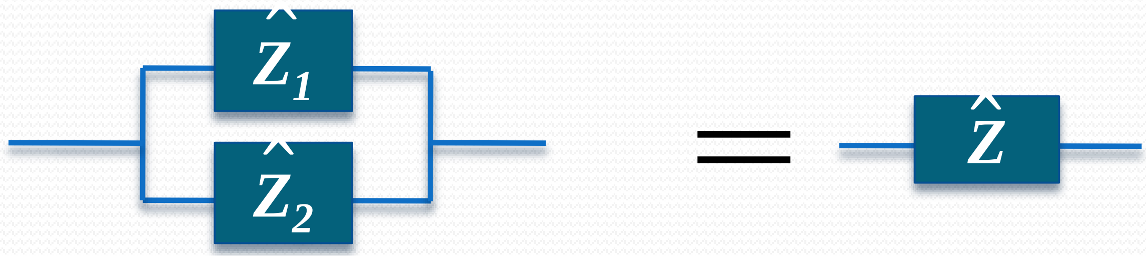
- E reatância deste bipolo (X)

$$X = Z_0 \sin(\phi)$$

Porque usar este formalismo?

- As grandes vantagens deste formalismo são:
  - Operações envolvendo tensão e corrente são simples
    - Multiplicações e divisões de exponenciais
  - Associações de bipolos tornam-se simples
    - Como resistores comuns, mas realizadas com grandezas complexas

$$\hat{Z} = \hat{Z}_1 + \hat{Z}_2$$

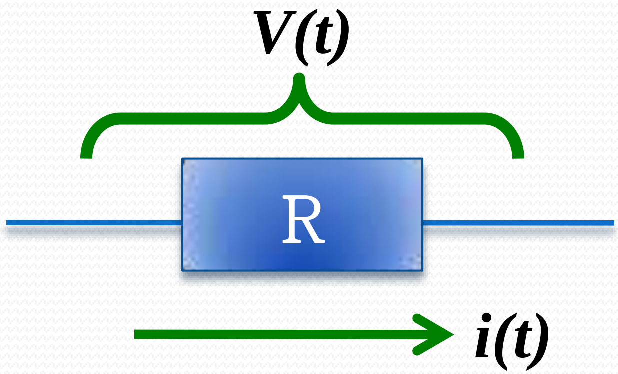


$$\frac{1}{\hat{Z}} = \frac{1}{\hat{Z}_1} + \frac{1}{\hat{Z}_2}$$

Exemplo 1: Resistor

- Seja uma tensão e corrente complexas, temos:

$$\hat{Z} = \frac{\hat{V}(t)}{\hat{i}(t)}$$



- Mas sabemos que ***R* = *V*/*i***, ou seja, a corrente e tensão estão sempre em fase. Assim:

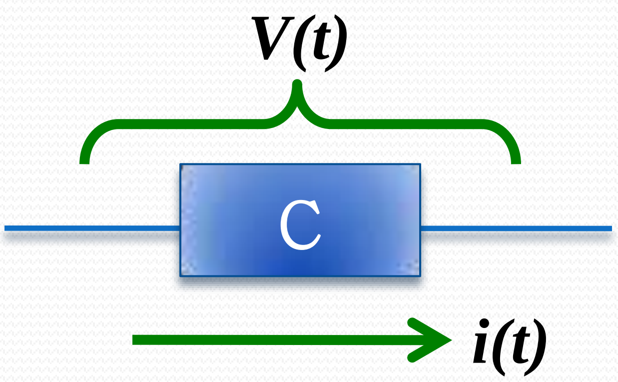
$$\hat{Z} = Z_0 e^{j\phi} = R \Rightarrow \begin{cases} Z_0 = R \\ \phi = 0 \end{cases}$$

Por conta disto que resistores Ôhmicos são muito utilizados em laboratório para medir correntes

Exemplo 2: Capacitor

- Sabemos (do começo da aula) que $V(t) = \frac{1}{C}\int i(t)dt$
- Se a corrente complexa for dada por: $\hat{i}(t) = i_0 e^{j\omega t}$
- Fica fácil demonstrar que $\hat{V}(t) = -\frac{j}{\omega C} i_0 e^{j\omega t}$
- A impedância de um capacitor vale:

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



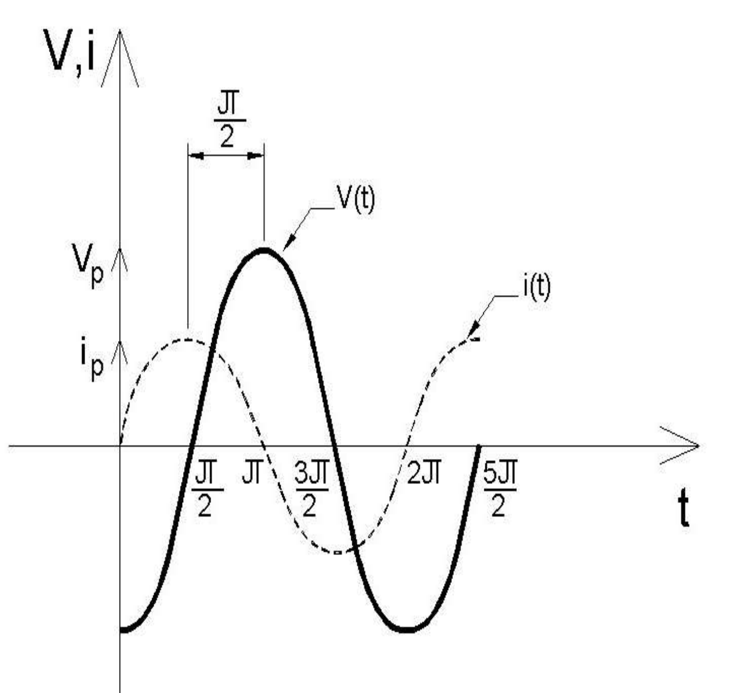
Exemplo 2: Capacitor

- Ou seja $\hat{Z} = -\dfrac{j}{\omega C}$

- Mas lembrando que: $\hat{Z} = Z_0 \cos(\phi) + jZ_0 \sin(\phi)$

- Comparando as duas expressões temos que:

$$Z_0 = \frac{1}{\omega C} \qquad \phi = -\frac{\pi}{2}$$

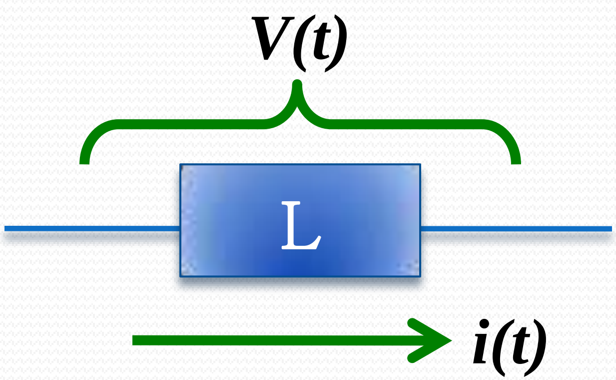


Conclui-se naturalmente que a tensão elétrica está defasada de π/2 em relação à corrente

Exemplo 3: indutor

- Sabemos que $V(t) = L\frac{d}{dt}i(t)$
- Se a corrente complexa for dada por: $\hat{i}(t) = i_0 e^{j\omega t}$
- Fica fácil demonstrar que $\hat{V}(t) = j\omega L i_0 e^{j\omega t}$
- A impedância de um capacitor vale:

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



Exemplo 3: Indutor

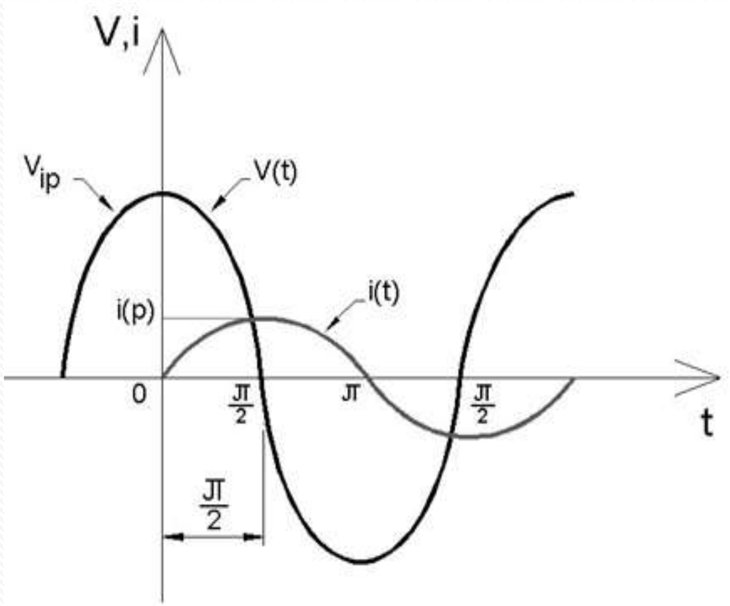
- Ou seja $\hat{Z} = j\omega L$

- Mas lembrando que: $\hat{Z} = Z_0 \cos(\phi) + jZ_0 \sin(\phi)$

- Comparando as duas expressões temos que:

$$Z_0 = \omega L \qquad \phi = +\frac{\pi}{2}$$

Conclui-se naturalmente que a tensão elétrica está adiantada de π/2 em relação à corrente



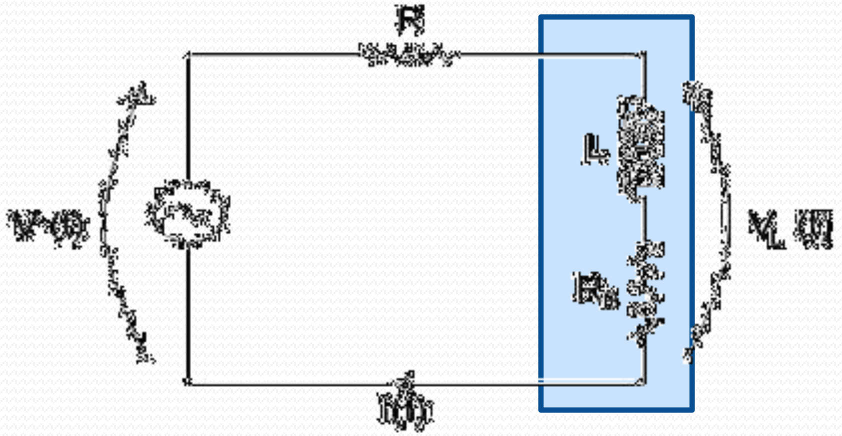
Mas o indutor é ideal?

- Bobinas são fios condutores muito longos enrolados, sua resistência elétrica é, em geral, significativa e não pode ser desprezada.
  - Raramente, o modelo de um indutor ideal pode ser usado para uma bobina comum.
  - As condições que temos: bobina, circuito e intervalo de freqüência disponíveis, não é possível adotar o modelo de indutor ideal.
  - Pelo menos a resistência da bobina deve ser levada em conta. Isso significa que o modelo adotado para a bobina, não é mais o de uma indutância pura, mas de uma indutância pura ligada, em série, a uma resistência ôhmica.

Indutor real: bobina

- **Indutor real: circuito, em série, de uma resistência e de uma indutância pura**
- A impedância complexa equivalente é a soma das impedâncias complexas de cada elemento. A impedância resistiva da bobina é $\mathbf{R_B}$ e a impedância complexa do indutor puro é $\mathbf{X_L}$:

$$\hat{Z} = j\omega L$$



- A impedância total:

$$\hat{Z} = R_B + j\omega L = Z_0 e^{j\varphi_0}$$

Impedância da bobina:

- O valor real da impedância da bobina:

$$Z_B = \sqrt{\hat{Z}\hat{Z}^*} = \sqrt{R_B{}^2 + \omega^2 L^2}$$

R_B =resistência da bobina

L= indutância da bobina

- E a defasagem entre a tensão da associação em série $\mathbf{R_B}$ **+ L** e a corrente que a percorre, vocês podem calcular:

$$\mathrm{tg}\varphi_0 = \frac{\omega L}{R_B} \quad \text{ou} \quad \varphi_0 = \mathrm{arctg}\left(\frac{\omega L}{R_B}\right)$$

Bobina não é indutor puro

- Isso vai ter consequências no comportamento de indutores reais no circuito.
  - uma delas é que a defasagem não é mais $\pi/2$:
    - ela depende da frequência, da indutância e da resistência da bobina

- Vocês podem prever o que acontece com a potência!

Tarefas da Semana (1)

- Medir a impedância do capacitor fornecido em função da freqüência
  - Fazer um gráfico da impedância por freqüência verificar se a relação teórica prevista é obedecida
  - Obter o valor da capacitância e comparar com os valores dos colegas
- Medir a impedância da bobina fornecida (1000 espiras) em função da freqüência
  - Fazer um gráfico da impedância por freqüência verificar se a relação teórica prevista é obedecida
  - obter o valor da indutância e comparar com os valores dos colegas e com o valor nominal

Tarefas da Semana (2)

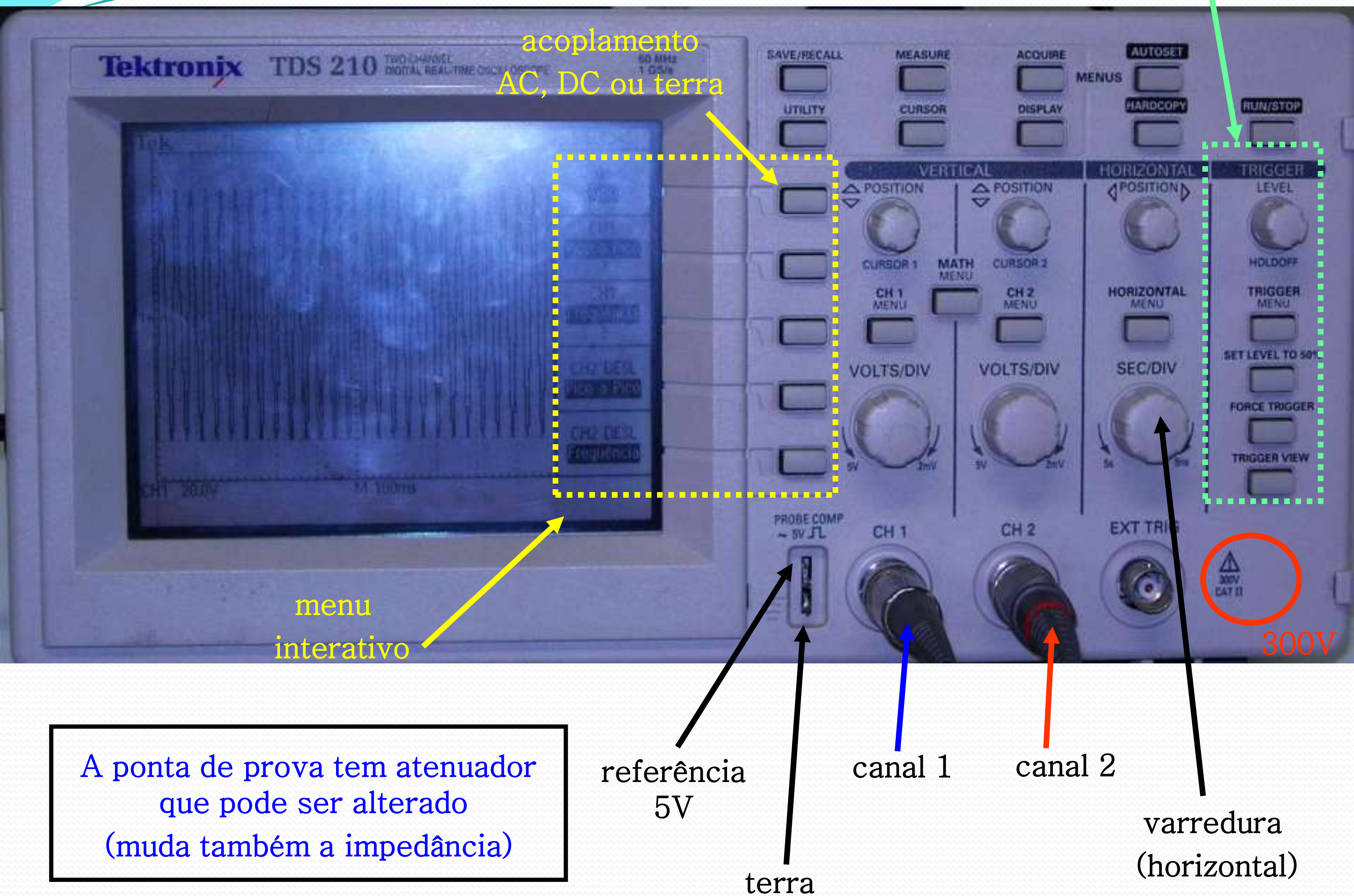
- Medir a diferença de fase entre a corrente e a tensão no capacitor e comparar com o valor previsto teoricamente.
  - Comparar também com os valores de seus colegas
- Medir a diferença de fase entre a corrente e a tensão no indutor e comparar com o valor previsto teoricamente
  - Compare com os valores obtidos por seus colegas

- Além do que foi medido e com as diferenças de fase medidas calcule:
  - A potência média transferida ao resistor, por ciclo.
  - A potência média transferida ao capacitor, por ciclo.
  - A potência média transferida ao indutor, por ciclo.

As medidas: circuitos

- Em ambos os casos o circuito consta de:
  - Gerador de áudio **com saída de baixa impedância**
  - Resistor de 47 Ω
  - Indutor de 1000 espiras
  - Capacitor de 1μF
  - Placa de circuito
  - Osciloscópio

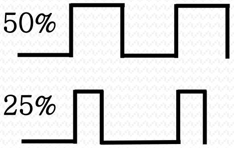
Osciloscópio



A ponta de prova tem atenuador
que pode ser alterado
(muda também a impedância)

Gerador de audio

Duty cycle
ADJust



Frequency
ADJust

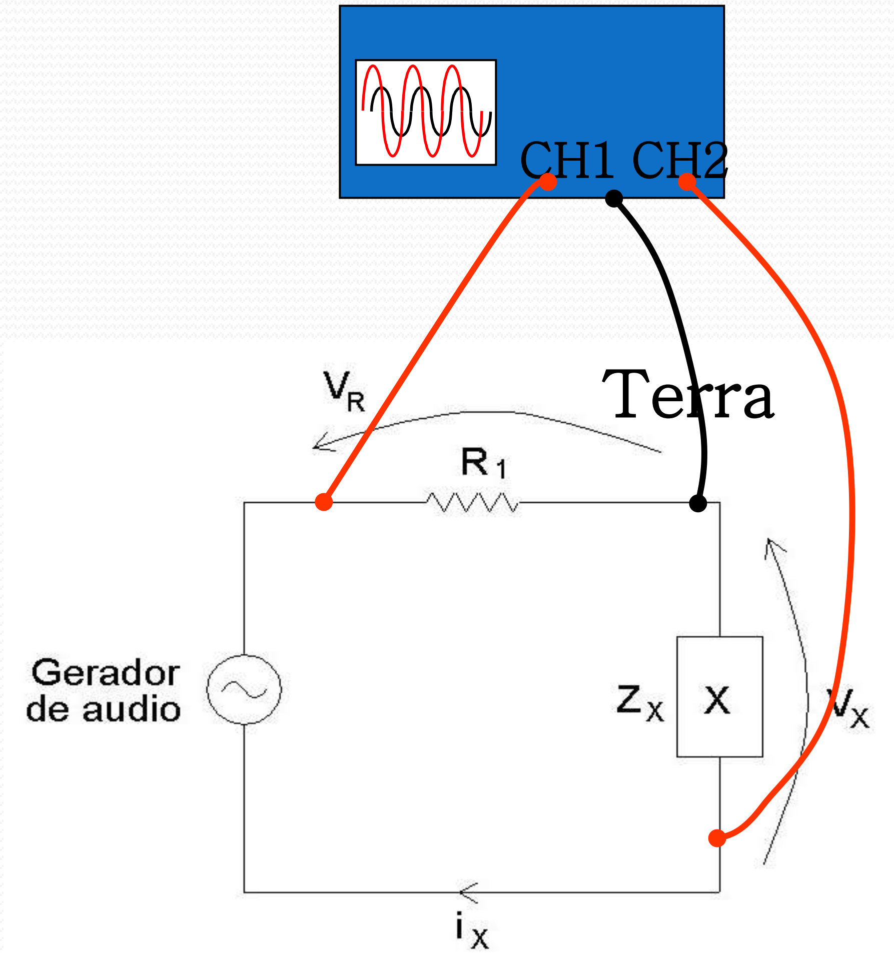
Amplitude
ADJust

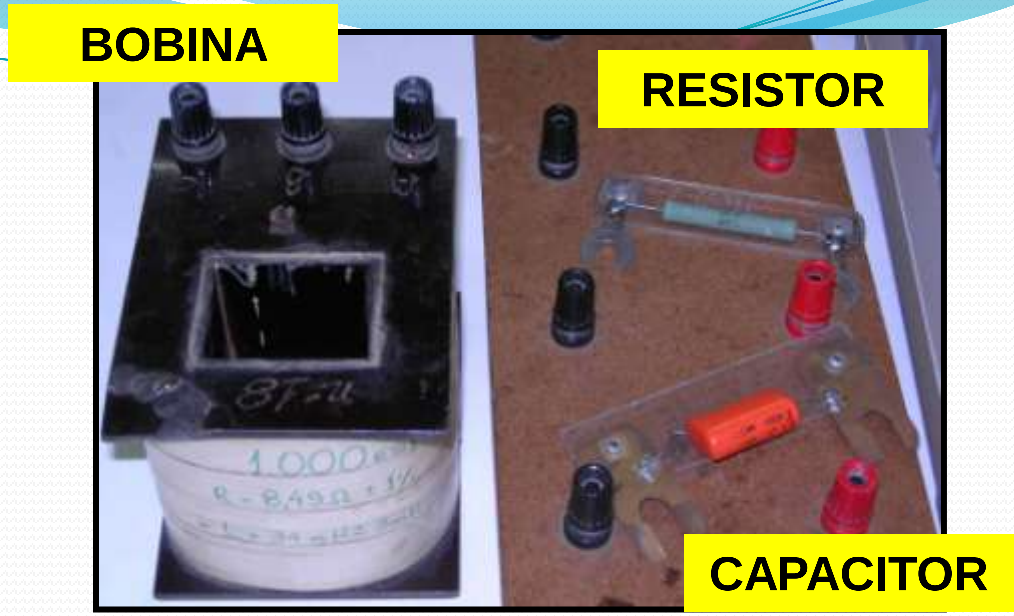
intervalo de
frequências

Executa
parâmetro

atenuador

Circuito





Instrumentos de medida:

- **Osciloscópio**
  - Canal 1: $-i_R = -V_R/R$ é a corrente no circuito
  - Canal 2: V_X
- Cuidado com ruídos
  - Estimar incertezas na tensão e corrente a partir do nível de ruído