

Correntes Alternadas

Parte 4 – Desafio

Aula 13

Prof. Henrique Barbosa
Edifício Basílio Jafet - Sala 100

Tel. 3091-6647

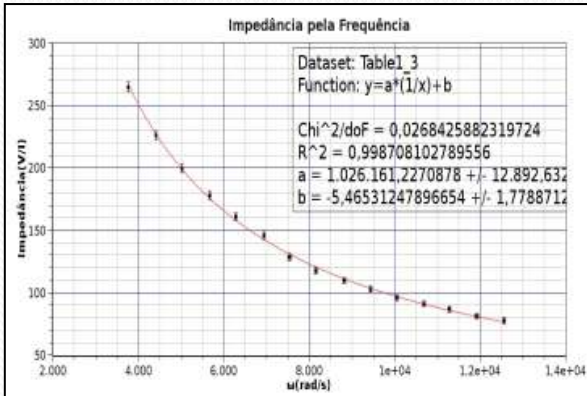
hbarbosa@if.usp.br

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

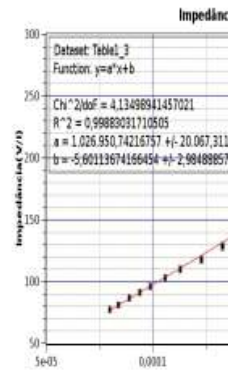
Tarefas da Semana (1)

- Medir a impedância do capacitor fornecido em função da frequência
 - Fazer um gráfico da impedância por frequência 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 frequência
 - Fazer um gráfico da impedância por frequência 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

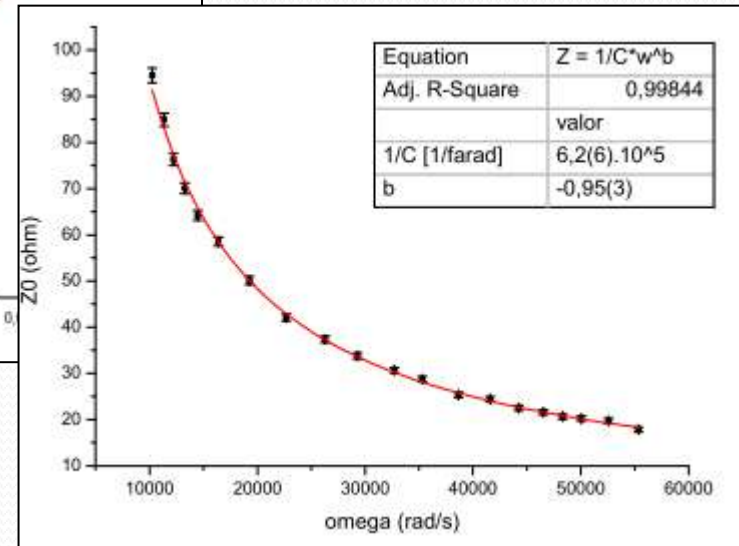
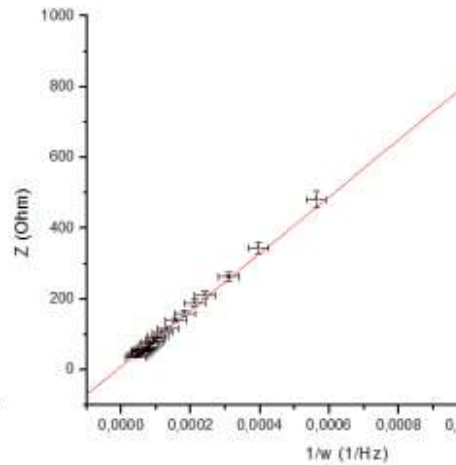
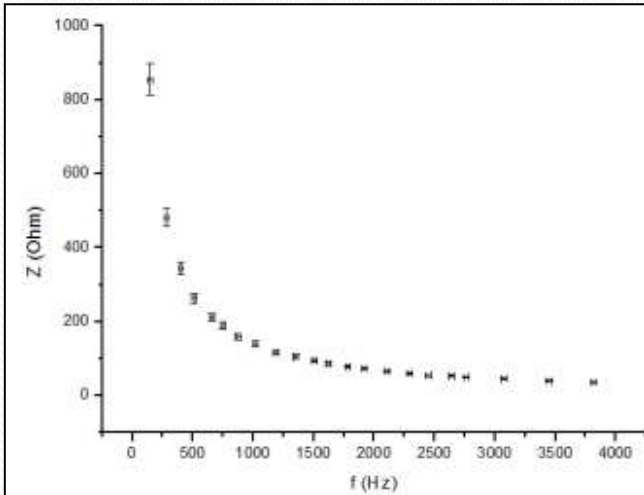
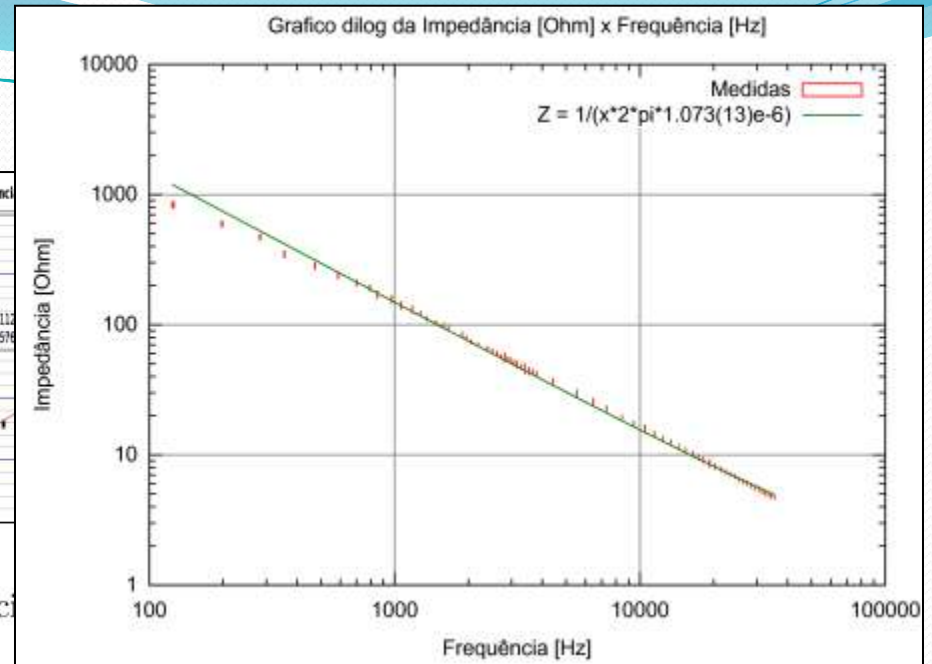
Capacitor



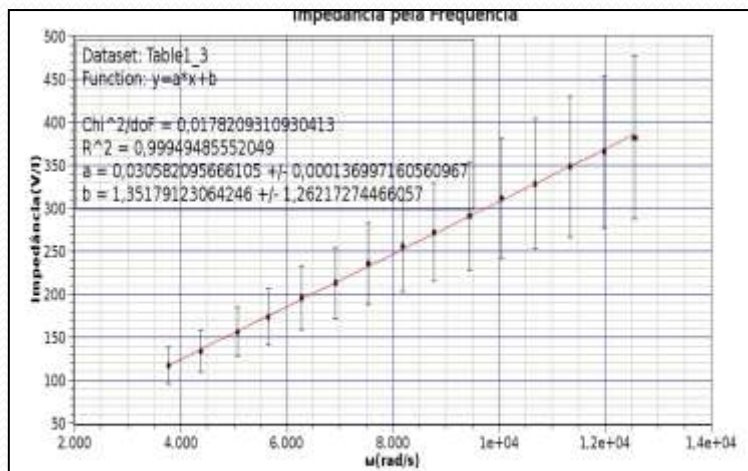
(a) Impedância pela frequência



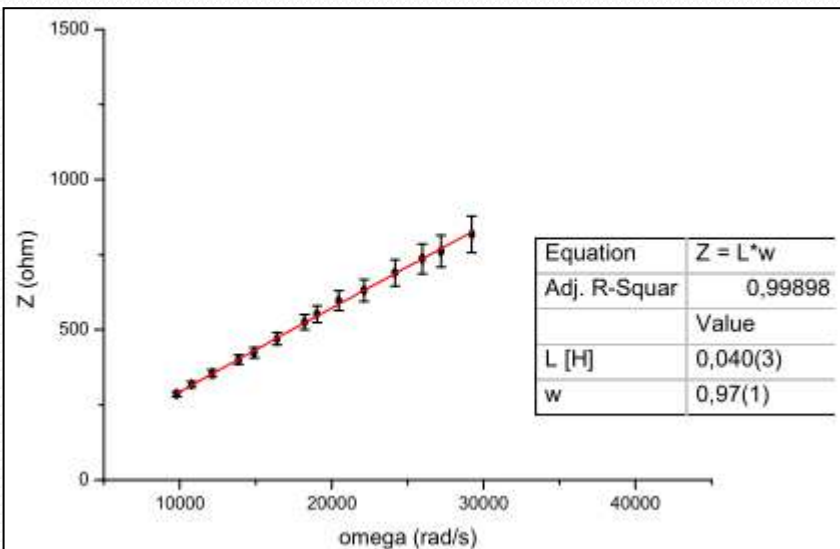
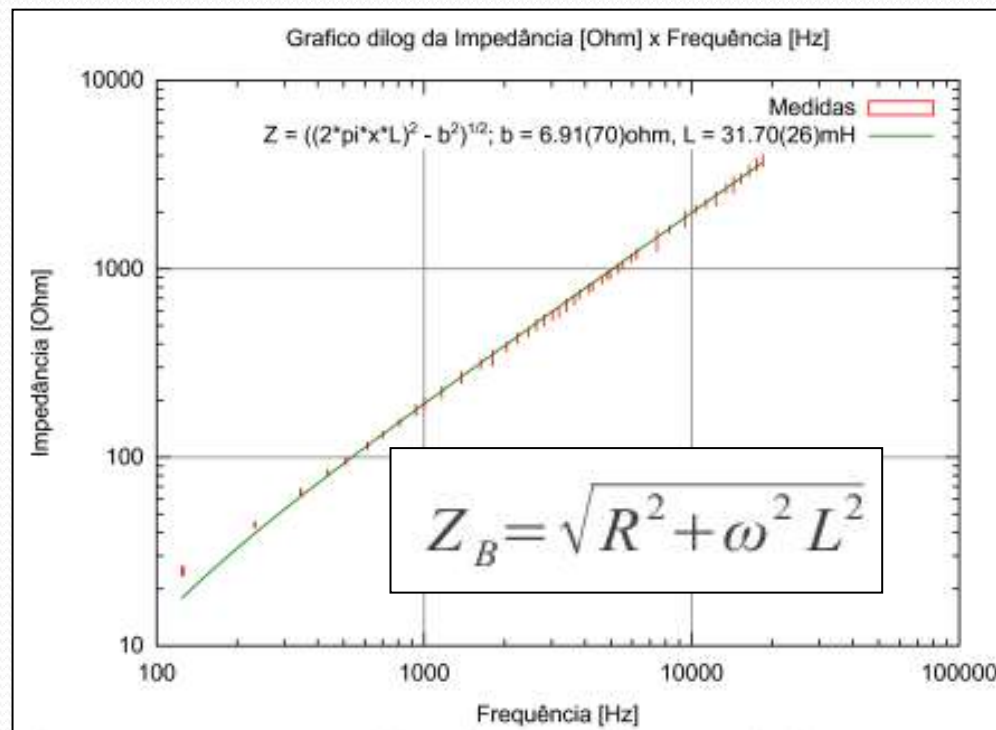
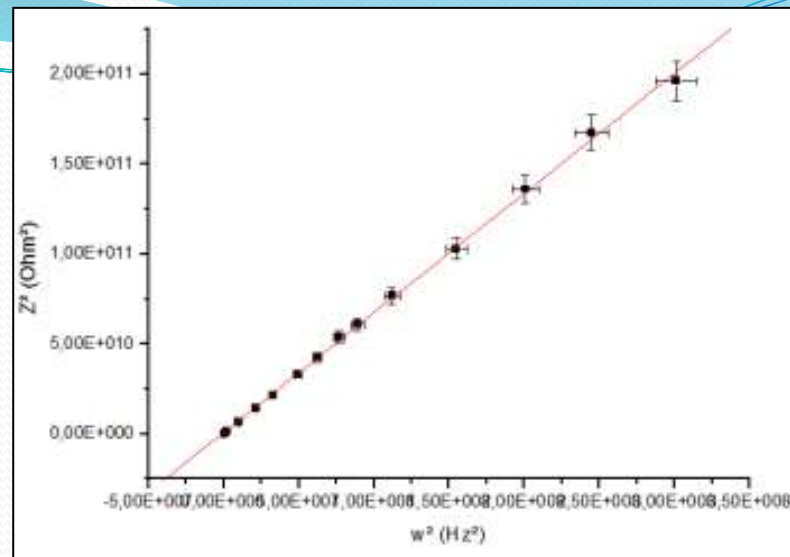
(b) Impedância frequência



Indutor



(a) Impedância pela frequência

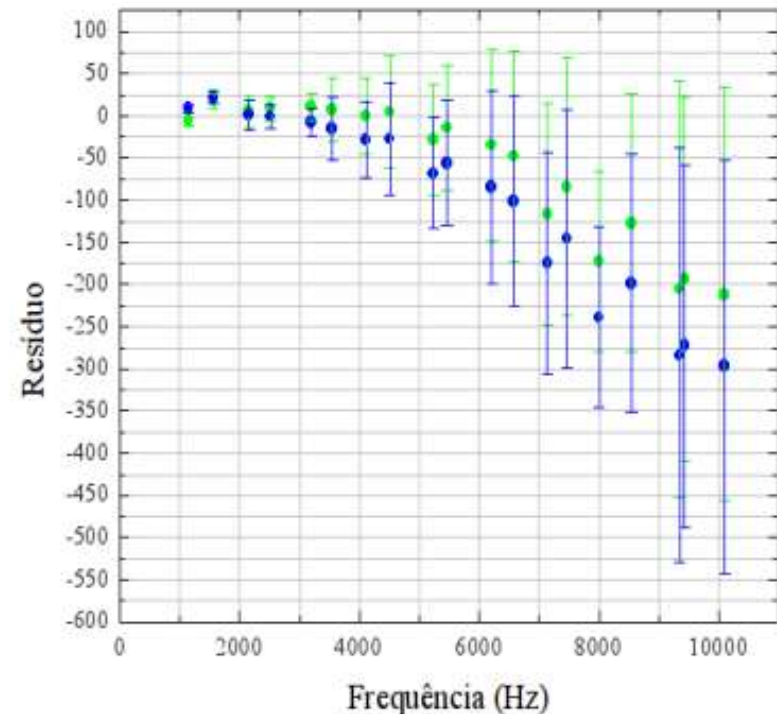
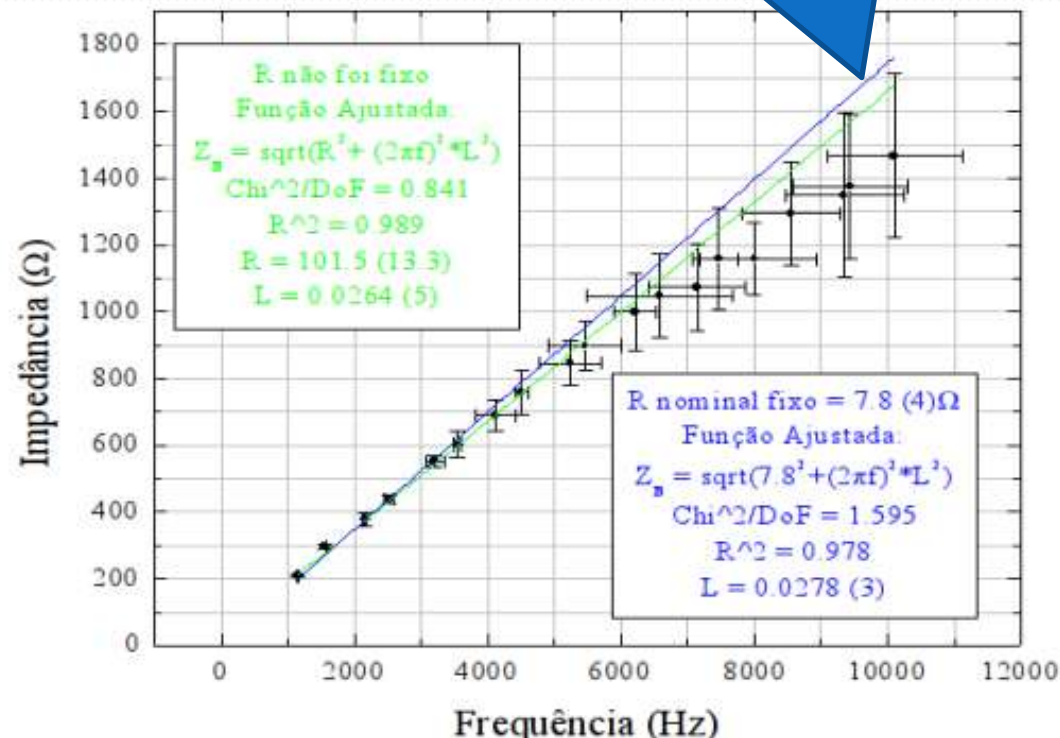


Possível problema

- Alguns grupos olharam os resíduos e havia uma tendência...

Talvez a tensão da fonte não ficou constante ao variar a tensão?

Algun grupo teve o cuidado de verificar isso?



Resultados da Sala

| | C μF | L mH | Nominal mH | RL Ω | Nominal Ω |
|----|--------------------|---------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| H1 | 0.97 (3) | 30.48 (173) | 29.9 (15) | 8.01 (391) | 7.7 (4) |
| H2 | 1.24 (8) | 25.8 (24) | 30.2(5%) | 7.68 (20) | 7.8 (5%) |
| H3 | 1.62 (2) | 40 (3) | 29.9 (2) | 0 | -- |
| H4 | 1.073 (13) | 31.70 (26) | 29.9 (14) | 6.91 (70) | 7.70 (38) |
| H5 | 1.17 (4) | 30.1 (5) | 29.7 | 0 | -- |
| H6 | 1.04 (2) | 30.1 (1) | 30.30 (15) | -58 (59) | 7.80 (4) |
| H7 | 0.993 (69) | 26.4 (5) | 29.7 (15) | 101.5 (13.3) | 7.8 (4) |
| H8 | 0.913 (45) | 33 (4) | | | |
| H9 | 0.8719 (21) | 30.2 (8) | 30.2 (151) | | |

1.12 (23) μF

30.9 (41) mH

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.

Fase do indutor

Segundo o modelo teórico para o indutor, a defasagem entre tensão e corrente que o percorre é dada pela expressão $\phi = \arctan(\omega L/R_b)$ – ou seja, ela depende da frequência angular da corrente, da indutância e da resistência da bobina. Os valores experimentais e teóricos são exibidos na tabela 1.

| Defasagem (°) | Sdefasagem (°) | Defasagem teórica (°) | Frequência (Hz) | Sfrequencia (Hz) |
|---------------|----------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| 77.23 | 1.23 | 77.04 | 178 | 5 |
| 80.09 | 1.28 | 79.94 | 231 | 5 |
| 82.37 | 1.31 | 82.25 | 301 | 5 |
| 84.38 | 1.34 | 84.29 | 410 | 5 |
| 85.10 | 1.36 | 85.03 | 471 | 5 |
| 85.65 | 1.36 | 85.58 | 530 | 5 |
| 86.05 | 1.37 | 85.99 | 584 | 5 |
| 86.51 | 1.38 | 86.46 | 662 | 5 |
| 86.73 | 1.38 | 86.68 | 707 | 5 |
| 87.17 | 1.39 | 87.12 | 815 | 5 |
| 87.53 | 1.39 | 87.49 | 935 | 5 |
| 87.70 | 1.40 | 87.66 | 1003 | 5 |
| 87.94 | 1.40 | 87.91 | 1122 | 5 |
| 88.77 | 1.41 | 88.75 | 1875 | 5 |
| 88.95 | 1.42 | 88.94 | 2210 | 5 |
| 89.13 | 1.42 | 89.12 | 2666 | 5 |
| 89.16 | 1.42 | 89.15 | 2762 | 5 |

qq dissipação de energia no indutor vem de sua parte resistiva!

Da mesma forma que ϕ , a potência média transferida ao indutor também depende da frequência angular ω . Já o resistor tem defasagem compatível com zero entre sua tensão e corrente. Os valores de potência (W) em função de ω (rad/s) para os dois casos são ilustrados nos gráficos a seguir, de acordo com a expressão para potência média fornecida $P(t) = (1/2) * V_p * I_p * \cos\phi$ (V_p e I_p são os valores de pico para voltagem e corrente).

Fases

- Não especifiquei ao pedir, mas a potência dissipada no resistor vai depender se ele estava ligado no indutor (R_L também dissipa) ou no capacitor (não havia outras resistências).

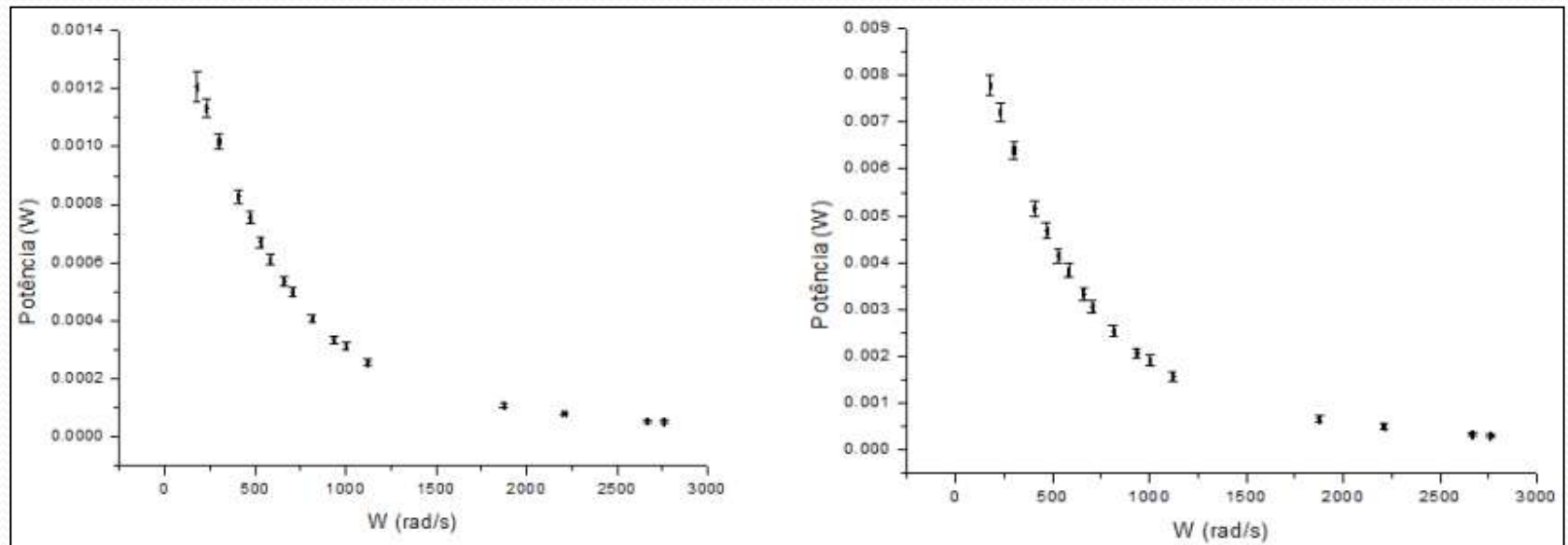
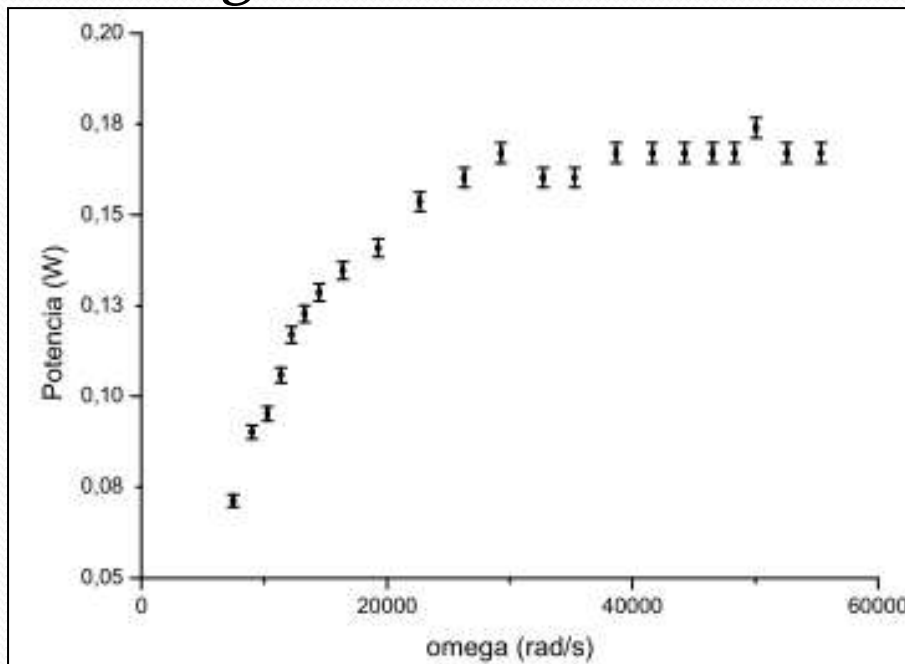


Figura 3. Potência (W) em função da frequência angular (rad/s) para o indutor (à direita) e para o resistor (à esquerda).

- Além disso, ao aumentar a freq, a impedância do indutor aumenta e portanto a corrente diminui, e então a potência total entregue pelo circuito ...

Potência dissipada

- Mas ao aumentar a freq, a impedância do capacitor diminui, aumentando a corrente, e portanto a dissipação de energia no resistor.



Mas o capacitor não dissipava potência, pois não tem uma parte resistiva!

A partir destes dados e da equação 3, foram calculadas a potência média por ciclo transferida ao resistor, ao capacitor e ao indutor. Foi obtido potência da bobina (a 2768(1) Hz) = 36.4(11)mW e potência capacitor (a 2769(1) Hz) = 34.3(10)mW.

$$P = \frac{1}{2} V_p i_p \cos(\varphi)$$

Resultados da Sala

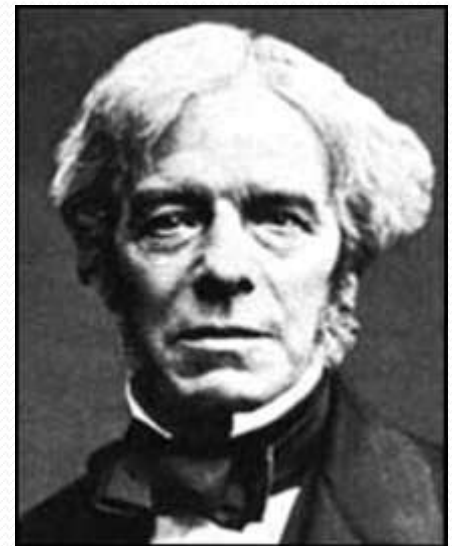
| | Capacitor | Nominal | Indutor | Nominal | Freq. |
|----|-------------|---------|--------------|-----------|--------------|
| H1 | -90.47 (56) | -90 | +91.03 (159) | 90 | |
| H2 | +89.3 (11) | +90 | -88.0 (33) | -90 | |
| H3 | -98 (3) | 90 | +90(5) | 90 | |
| H4 | +88.2 (20) | | -88.2 (20) | | 2768 Hz |
| H5 | +82.9 (37) | 90 | 105.96 (256) | 89.3 (63) | 3504 Hz |
| H6 | -89.1 (8) | -90 | Variável | Variável | |
| H7 | -94 (2) | -90 | 75.5 (55) | +90 | 1170 (24) Hz |
| H8 | 93.91 | | Variável | | |
| H9 | 89.0 (17) | 90 | | | |

O capacitor era -90

O indutor ideal era +90

O indutor real é variável

Faraday e Maxwell



1791-1867

O potencial elétrico

- Definição de potencial: para um deslocamento qualquer $d\mathbf{r}$ na posição, a variação dV no potencial é dada por:

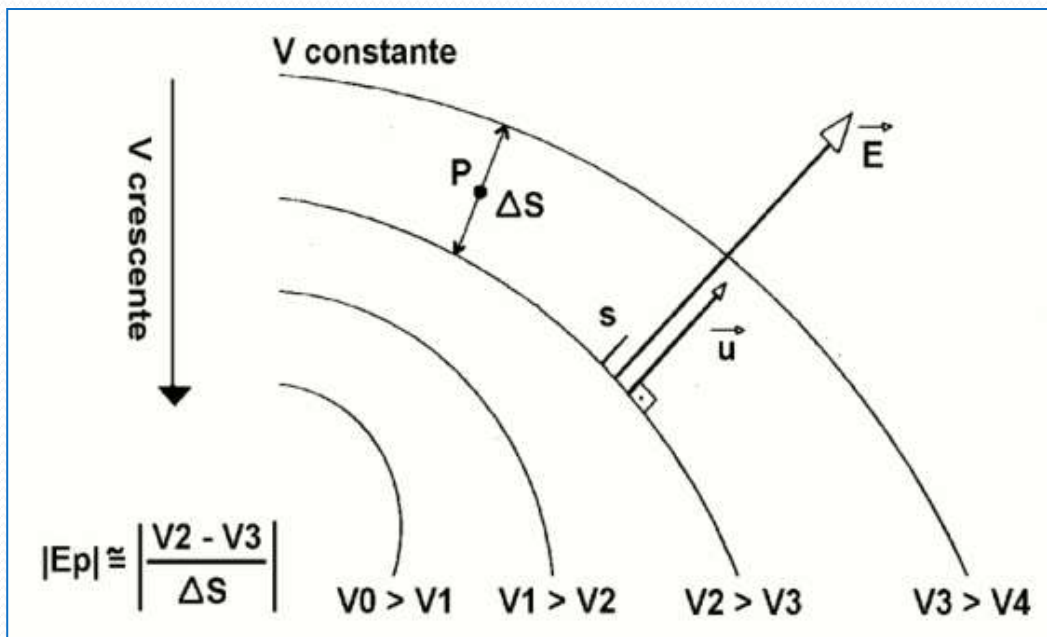
$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -E dr \cos \theta$$

θ é o ângulo entre o vetor campo elétrico \mathbf{E} e o vetor deslocamento $d\mathbf{r}$

- A máxima variação dV no potencial ocorre quando $d\mathbf{r}$ e \mathbf{E} são paralelos
- Quando $d\mathbf{r}$ e \mathbf{E} são perpendiculares entre si, $dV=0$, que significa que \mathbf{E} é perpendicular às superfícies equipotenciais.

O campo elétrico

- \mathbf{u} é um versor perpendicular à equipotencial e s é a coordenada na direção do sentido de \mathbf{u} :

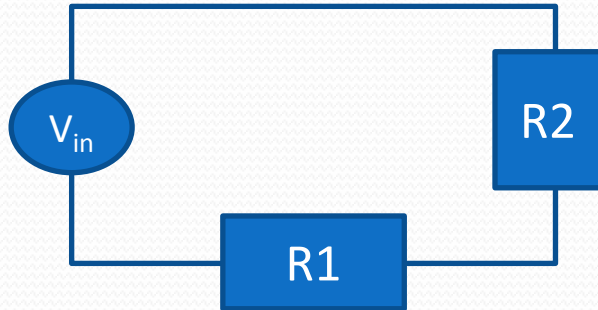


$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

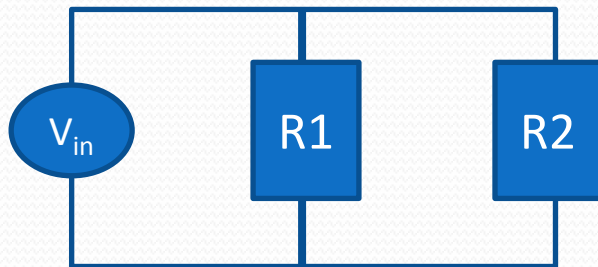
$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V$$

Circuitos simples (1)



$$i = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$$

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{in}$$

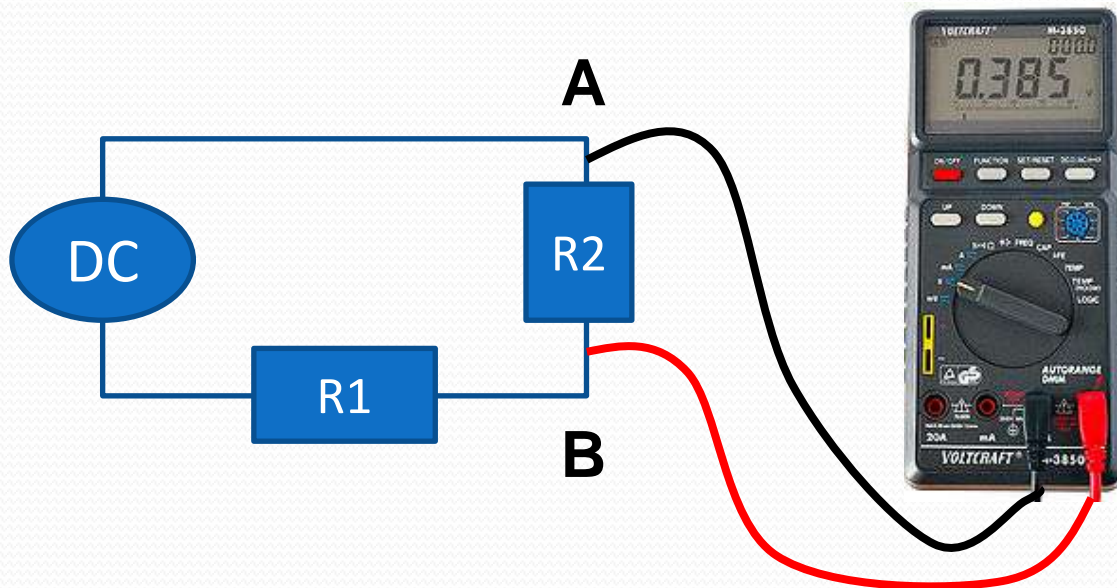


$$V_{in} = V_1 = V_2$$

$$i_1 = \frac{V_{in}}{R_1}$$

O que um voltímetro mede???

- Voltímetros (e osciloscópios) são, em geral, dispositivos ôhmicos de alta resistência.
 - medem a integral de linha do campo **elétrico através de si próprios**
 - se o campo é conservativo (a medida independe do caminho) e essa integral é a mesma que a integral através do elemento do circuito



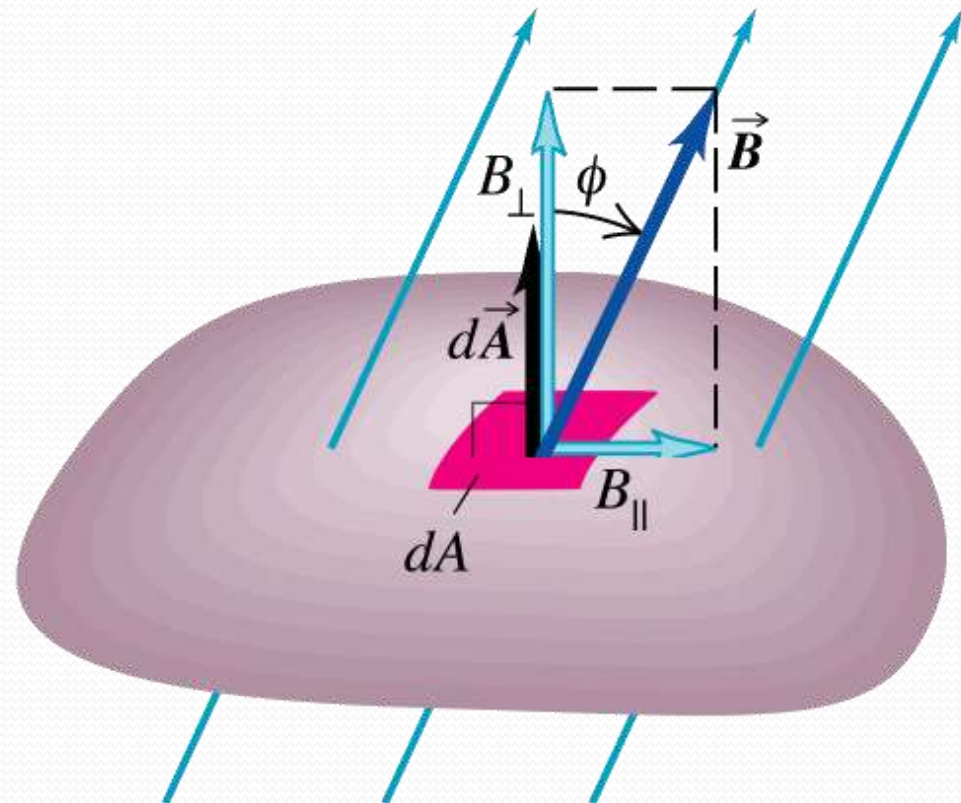
$$\int_{A\widehat{R}_2B} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_{A\widehat{Mult}B} \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Lei de Faraday

- Quando o fluxo do campo magnético está variando, aparece uma força eletromotriz induzida.

$$\mathcal{E} = - \left(\frac{d\Phi_B}{dt} \right)$$

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot \vec{n} da$$
$$\vec{n} da = d\vec{A}$$

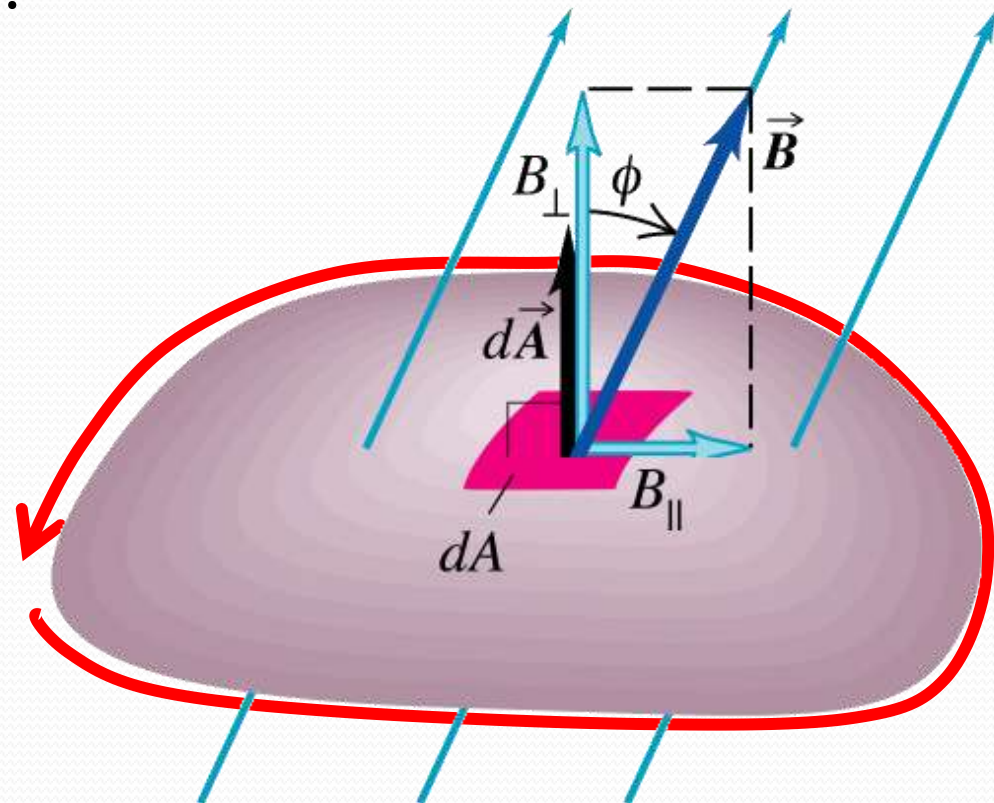


Lei de Faraday

- Ou seja, a integral do campo elétrico em um circuito fechado não é mais nulo!

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \left(\frac{d\Phi_B}{dt} \right)$$

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot \vec{n} da$$
$$\vec{n} da = d\vec{A}$$



Equações de Maxwell

And God Said

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

and then there was light.

diferencial

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q / \epsilon_0$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

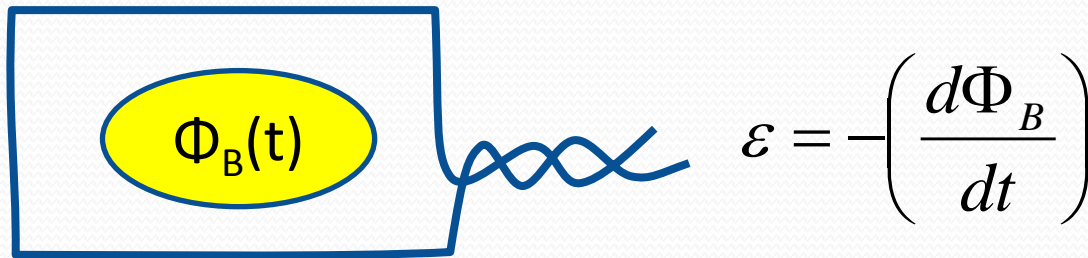
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = -d\Phi_B / dt$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 d\Phi_E / dt$$

integral

As equações não são simétricas porque não existe carga magnética!

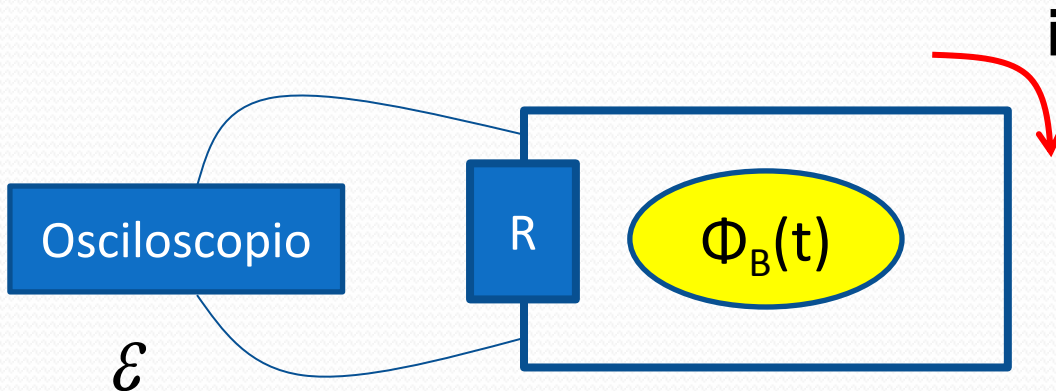
Circuito simples (2)



$$\mathcal{E} = - \left(\frac{d\Phi_B}{dt} \right)$$

$$i = 0$$

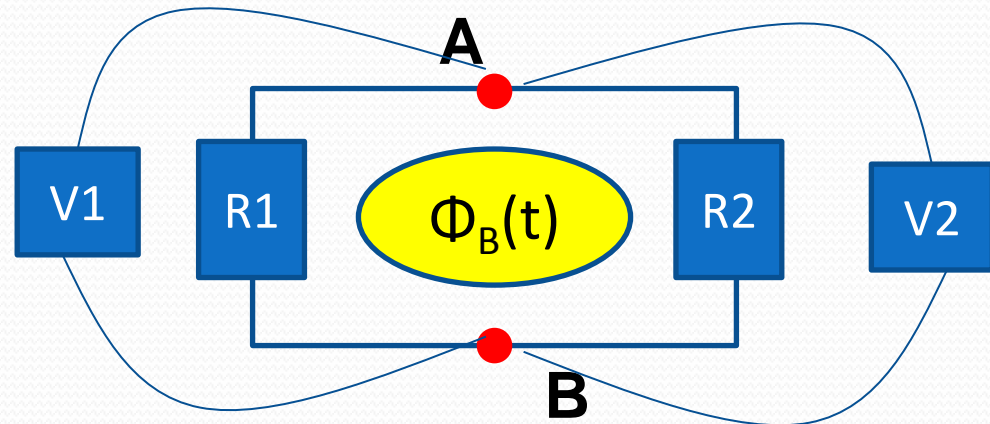
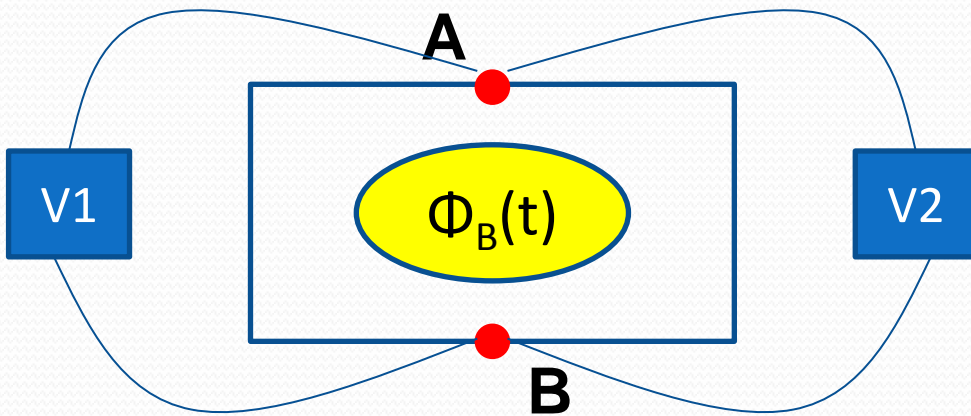
Pois o circuito
está aberto...



$$i = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

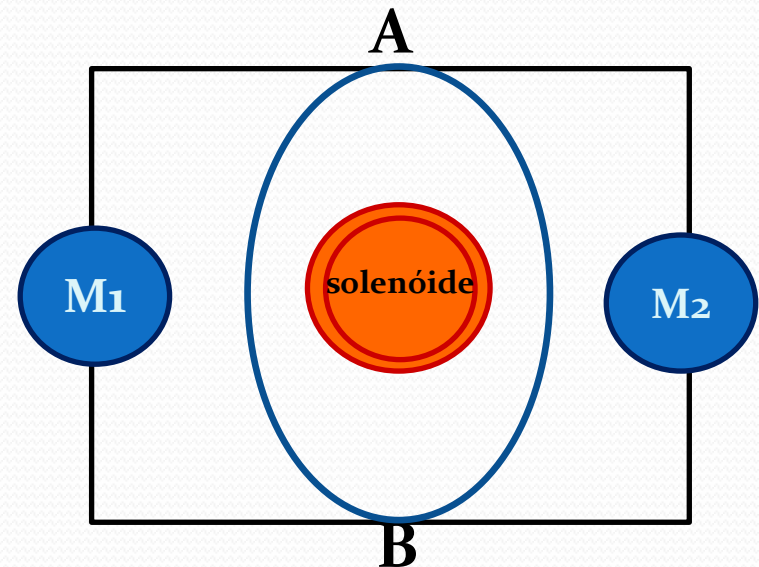
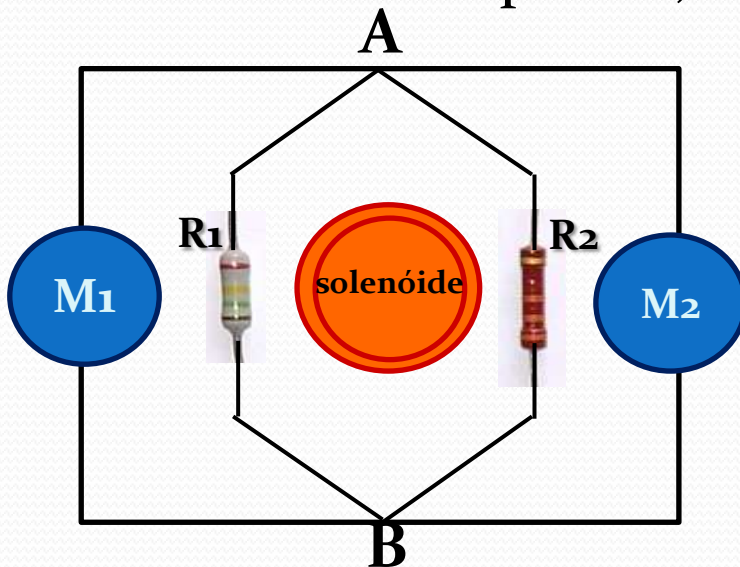
Pergunta:

- Qual a tensão medida entre A e B por cada um dos voltímetros abaixo?
 - Com o fluxo desligado e com ele ligado?



FEM numa espira por corrente num solenóide

- Vamos montar o experimento para estudar isso:
- O solenóide é percorrido por uma corrente variável no tempo do tipo senoidal.
- Em volta dele (poderia ser dentro também) é colocada:
 - uma espira simples, ou
 - uma espira com 2 resistências diferentes diametralmente opostas, R_1 e R_2 .

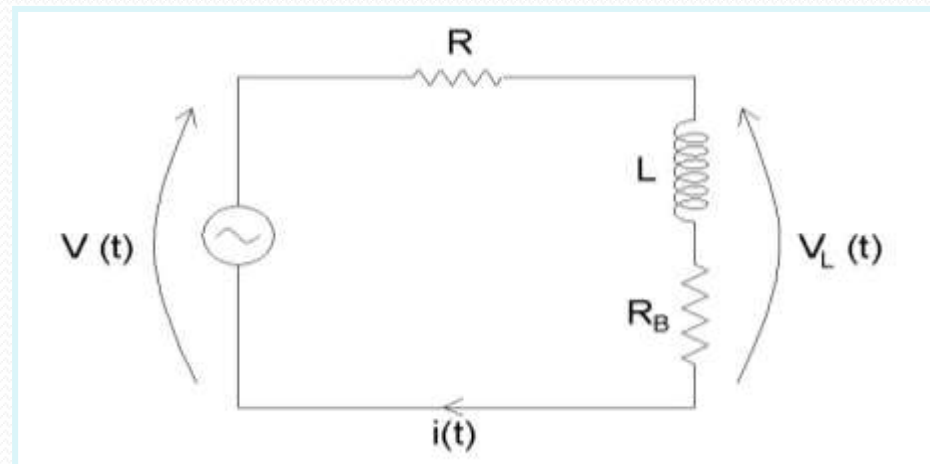


Montagem

- Solenóide em série com um resistor de 10Ω (para medir a corrente).
 - O solenóide está envolvido por uma espira que tem:
 - Apenas o próprio fio
 - 2 resistências, uma de 470 ohms e outra de 1000 ohms,
 - O solenóide é alimentado por um gerador de áudio (com o casador de impedância) com uma onda senoidal de $f \sim 3\text{kHz}$, amplitude máxima e acoplado a um transformador de (~ 12 , 14 ou 16 V) para aumentar a tensão de pico:
 - a ligação do transformador no gerador é tal que aumenta a tensão aplicada ao solenóide por um fator que depende de como ele foi construído: transformador levantador

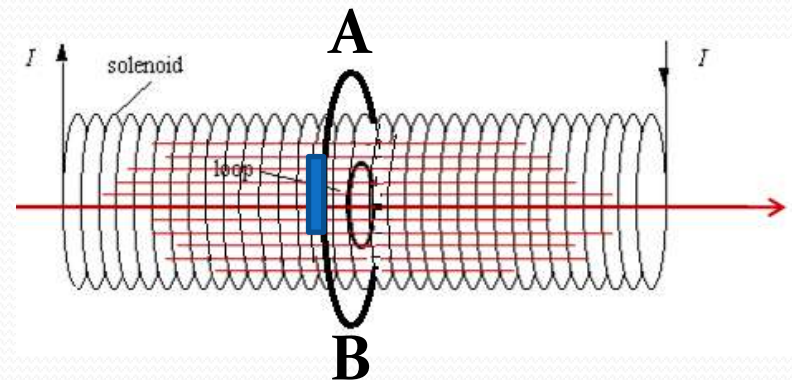
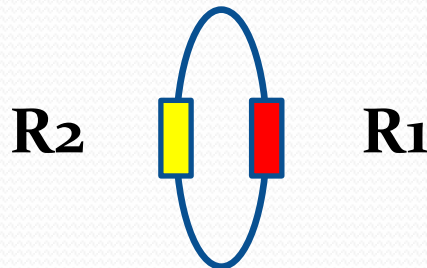
Montagem

- Meça a voltagem no gerador na saída do conjunto gerador de áudio + transformador levantador
 - ajuste a frequência
 - verifique que a tensão não está saturando (isso ocorre p/ alguns geradores com o botão de amplitude no máximo)
- Meça a corrente no resistor
- Verifique que está com as pontas de prova especiais que têm o fio terra comprido



Montagem

- Agora ligue as duas pontas de prova nos pontos A e B da espira:
 - As 2 pontas no ponto A
 - Os 2 terras no ponto B
- Coloque uma terceira ponta sobre o terra do casador de impedância e ligue essa ponta no trigger externo do osciloscópio:
 - Dessa maneira é possível diminuir o ruído



Tarefas da semana (1)

- Qual a forma e a frequência das tensões observadas em cada canal?
- Qual o valor de pico dessas tensões?
- Qual a diferença de fase entre as tensões medidas sobre R_1 e sobre R_2 ?
 - Compare com os valores de seus colegas
- **Que valores você esperaria obter e porque?**
 - Tente explicar o que observou com argumentos baseados no cálculo do campo elétrico e na Lei de Faraday.