

30/11/2023

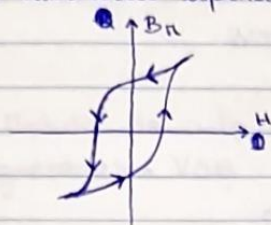
8 - Medida da magnetização com um magnetómetro de amostra vibrante

Objetivos

- Solidificar a utilização do amplificador "lock-in"
- Medir o ciclo histerético de amostras ferromagnéticas pela técnica VSM
- ~~Introduzir o~~ estudo dos materiais magnéticos e suas propriedades

Teoria

- Ciclo histerético esperado:



- Função de ~~Langevin~~ Langevin:

$$\boxed{\text{Langevin}} \quad L(x) = \coth(x) - 1/x$$

$$\boxed{\text{Langevin}}$$

- O ciclo estático tem a forma (aproximada):

$$\boxed{E(I) = a \left[\coth(c(I-b)) - \frac{1}{c(I-b)} \right]} \rightarrow \text{tem a forma da função de Langevin}$$

(eq. 1)

$$\boxed{H = \frac{N \mu_0 I}{L}}$$

(eq. 2)

$H \rightarrow$ campo magnético aplicado

$N \rightarrow$ número de espiras

$\mu_0 \rightarrow$ permeabilidade magnética

$L \rightarrow$ comprimento da bobina

$I \rightarrow$ corrente na bobina

~~Preparação~~

~~Preparação~~

Preparação

① a) Sinal sinusoidal

b) Gera-se um campo magnético variável

② Em ambos os quadros vai criar um campo magnético nas bobinas. No B, o osciloscópio permite observar o sinal de tensão na bobina L_2

③ No osciloscópio vamos observar a sobreposição entre os 2 sinais

④ ~~Permite~~ Permite que, no lock-in, ~~o~~ a frequência do sinal V_2 seja usada como referência \rightarrow o sinal de saída deste ~~se~~ corresponderá à banda (estreita) de frequências em torno da frequência de V_2

V50n

o lock-in "saber"

① Para ~~o lock-in~~ a frequência do sinal de interesse

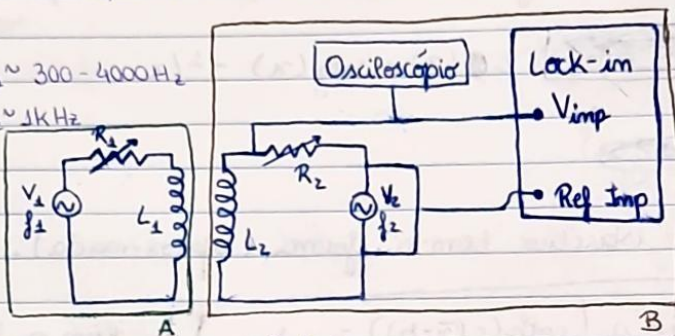
②

~~Montagem experimental~~ Montagem experimental / Procedimento

Parte A - Demonstração da técnica lock-in com circuitos indutivos acoplados

$V_1 \sim 1V, f_1 \sim 300-4000Hz$

$V_2 \sim 1V, f_2 \sim 1kHz$



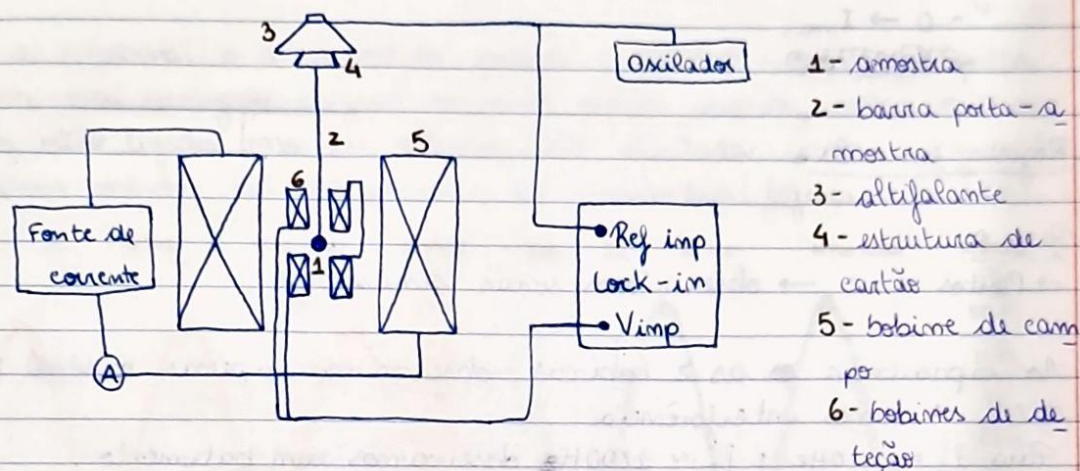
1) Montar o circuito A e confirmar as previsões ~~da~~ da preparação
- qual o sinal V_{L1} ?

- ~~Como montar o circuito B e confirmar as previsões da preparação~~

2) Desligar o circuito A, montar o circuito B ^(sem lock-in) e confirmar as previsões da preparação
- qual o sinal V_{L2} ?

- ✓ 3) ligar os 2 geradores com $f_1 \neq f_2$, aproximar as bobinas e confirmar as previsões da preparação
- qual o sinal obtido no osciloscópio?
- sugestão: $V_2 \ll V_1$
- ✓ 4) Adicionar o lock-in ao circuito B (podemos usar a saída TTL do gerador 2 como referência* - identificada como "Sync Out")
- 5) Variar f_1 e observar, ~~no osciloscópio~~, o que acontece a V_1 (temos nos ter-
minais de L_2). Observar o efeito no sinal do lock-in
(podemos ajustar R_1 e R_2 para ^{observar} maior interferência)
- o que acontece quando f_1 se aproxima de f_{L_2} (f_2)?

Parte B - Medida do ciclo histerético numa amostra ferromagnética com o magnetômetro VSM



- ✓ 1) Montar o circuito acima
- ✓ 2) Fixar a corrente I no valor máximo
- ⚠ **Cuidado** Não manter I_{max} por muito tempo (pode ocorrer aquecimento de 5)

3) No gerador de sinais (oscilador), ajustar f_{ref} ($\sim 120 \text{ Hz}$) e a amplitude de alimentação do altifalante para obter um sinal E apreciável nas bobinas de detecção

4) Verificar se o lock-in conseguiu identificar f_{ref} .

5) Ajustar ϕ_0 no lock-in para garantir quadratura entre o sinal a medir e o de referência (diferença de fase ~~entre~~ $\pi/2$)

6) Selecionar a sensibilidade adequada e selecionar o modo de visualização: (R, ϕ) ou (V_x, V_y)

7) Variar I e registar ~~R e ϕ~~ (R, ϕ) . Para medir o ciclo histerético, variar I da seguinte:

- ✓ - $I_{\text{max}} \rightarrow 0$
- ✓ - inverter a polaridade (trocar cabos da fonte)
- ✓ - $0 \rightarrow I_{\text{max}}$
- ✓ - $I_{\text{max}} \rightarrow 0$
- ✓ - inverter a polaridade
- ✓ - $0 \rightarrow I_{\text{max}}$
- ~~$0 \rightarrow I_{\text{max}}$~~

Registo em aula

Parte A

→ Pontes 1 e 2 → observámos sinais sinusoidais

As aproximações as 2 bobinas, observámos apenas o sinal de L2 → vimos interferência

Para $f_1 = 1000 \text{ Hz}$ e $f_2 \sim 1200 \text{ Hz}$ observámos um batimento.

Passando a medir o sinal do circuito B no lock-in, em (R, ϕ) , verificámos que, variando f_1 , apenas oscilam os valores de R e ϕ para f_1 próximo de f_2 (~~1000 Hz~~ $f_1 992 \text{ Hz} - 1008 \text{ Hz}$)

Análise de dados

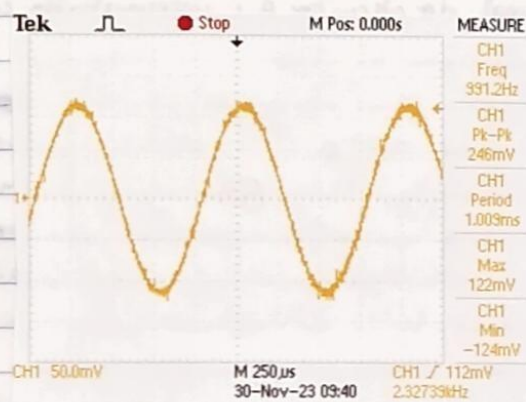
Parte A - Demonstração da técnica lock-in com circuitos indutivos acoplados
→ Circuito sem lock-in

Na figura 1, temos o circuito utilizado inicialmente, ainda antes de se aproximarem as bobinas. ~~aprox~~

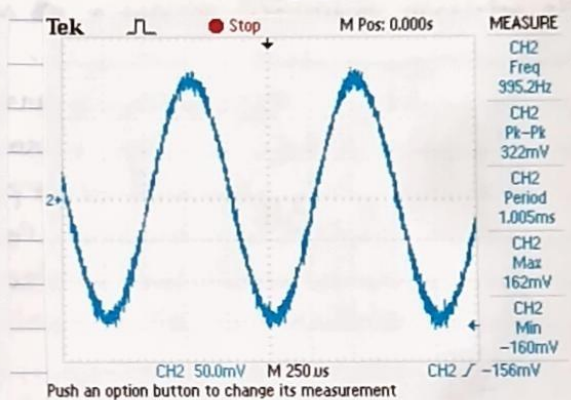


Figura 1: Montagem utilizada na parte A, sem lock-in, com as duas bobinas afastadas

Para as 2 bobinas, o sinal obtido quando o ~~circuito~~ circuito da outra bobina está desligado é igual ao sinal obtido quando ambos os circuitos estão ligados mas as bobinas estão afastadas, como na figura 1. Os sinais obtidos, tal como previsto, são sinusoidais (figuras 2a e 2b).



(a)



(b)

Figura 2: Sinal obtido no osciloscópio, quando as bobinas estão afastadas para as bobinas 1 (a) e 2 (b)

Aproximando as duas bobinas, observamos interferência entre os dois sinais \rightarrow isto acontece porque ocorre sobreposição dos campos magnéticos gerados pelas duas bobinas.

Para frequências próximas (com uma diferença de ~ 200 Hz), essa sobreposição entre os dois sinais dá origem a um batimento, como podemos observar na figura 3.

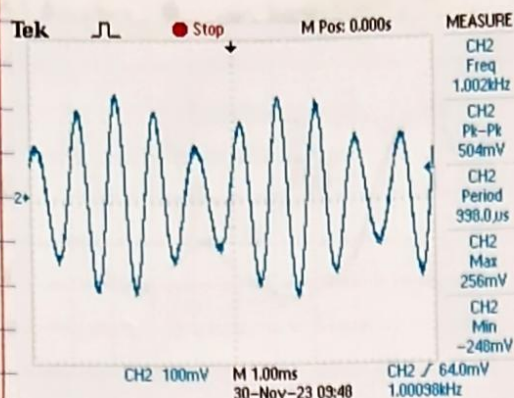


Figura 3: Sinal de tensão referente à bobina 2 quando as 2 bobinas estão encostadas e lhes são fornecidos sinais com frequências próximas

\rightarrow Circuito com lock-in

Para esta montagem, a fonte V_z foi ligada ao lock-in de forma a que a sua frequência servisse como referência. Desta forma, ao aproximarmos a bobina 1, com $f_1 \ll f_z$, da bobina 2, os valores de (R, ϕ) medidos no lock-in, referentes ao circuito B, não sofrem variações, já que o sinal do circuito A é interpretado como ruído e removido pelo lock-in.

Ao variarmos f_1 , observamos variações de (R, ϕ) para f_z entre 998 Hz e 1008 Hz, aproximadamente. Isto acontece porque os valores de f_1 e f_z não são demasiado próximos, e o lock-in deixa de ter capacidade de filtrar o sinal. Como o sinal de referência tem $f_z \sim 1000$ Hz, os sinais filtrados têm uma frequência 0,8% superior ou inferior à frequência de referência.

Parte B - Medida do ciclo esterético duma amostra ferromagnética com o magnetómetro VSM

Na figura 4, podemos ver o circuito utilizado nesta parte da experiência. Na figura 5 temos os dados obtidos.

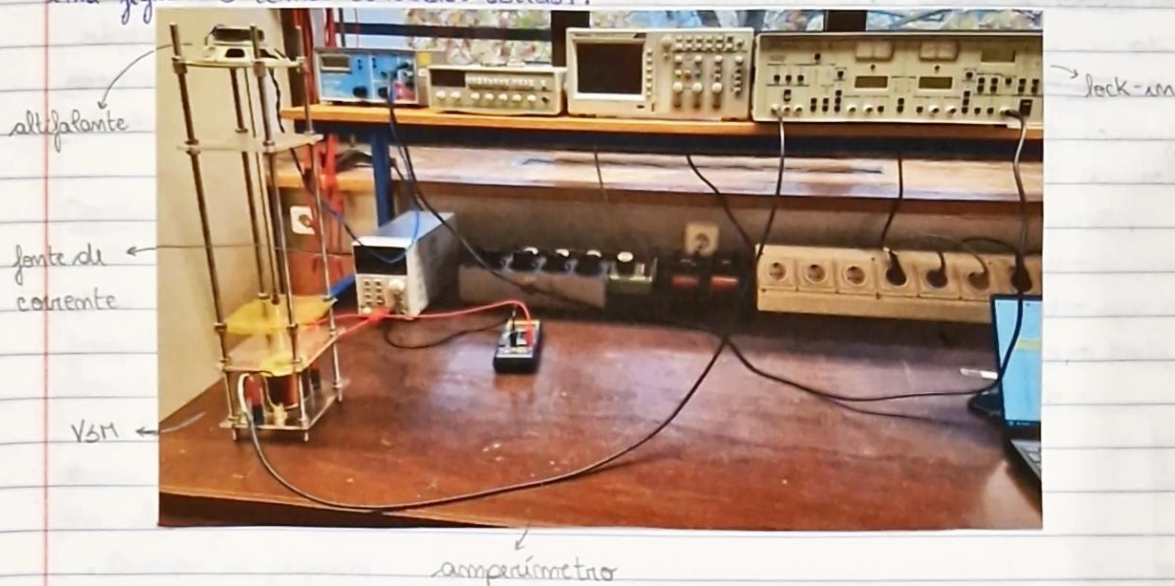


Figura 4: Montagem utilizada na parte B

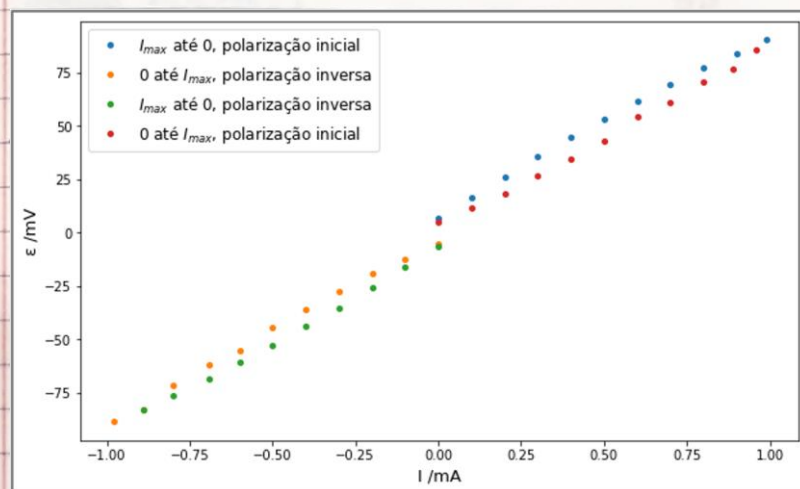


Figura 5: Representação gráfica dos valores obtidos ~~para~~ de $E(I)$ ~~em~~ para as 4 fases de variação da corrente descritas no procedimento

Como B é E e H é I , o gráfico de B (H) ~~em~~ terá a mesma forma que o gráfico de $E(I)$. Desta forma, seria de esperar que a representação gráfica da figura 5 tivesse a forma do ciclo histerético, mas o ciclo ~~em~~ obtido experimentalmente é mais estranho que o esperado. Para obtermos um ciclo

histerético mais próximo do teórico, teríamos de utilizar um magnetômetro de maiores dimensões, em que fosse mais evidente o efeito da histerese.

~~Para obtermos uma visualização mais concreta do ciclo histerético obtido experimentalmente, procedemos à realização dos ajustes, segundo a equação 1, dos 2 conjuntos de valores de $E(I)$, correspondentes à subida e à descida do valor de I (figura 6). Os parâmetros obtidos foram:~~

• Descida

$$-a = 194 \pm 27$$

$$-b = 0,029 \pm 0,007$$

$$-c = 1,6 \pm 0,3$$

$$-r^2 = 0,997$$

• Subida

$$-a = 193 \pm 32$$

$$-b = 0,037 \pm 0,007$$

$$-c = 1,6 \pm 0,3$$

$$-r^2 = 0,998$$

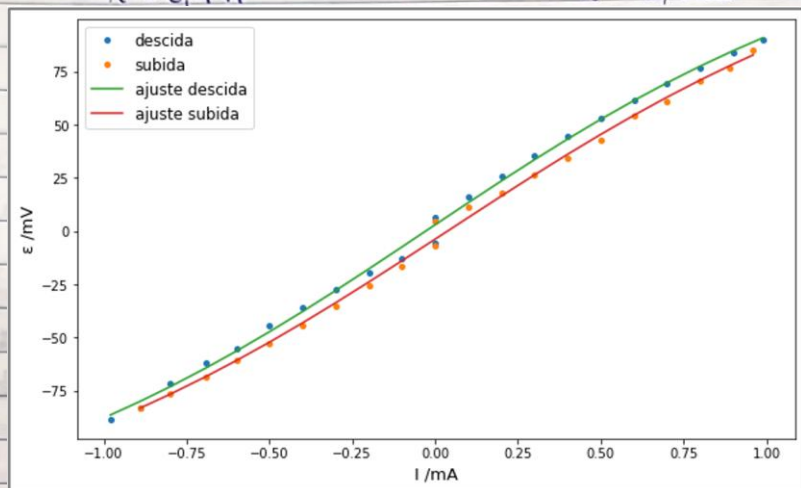
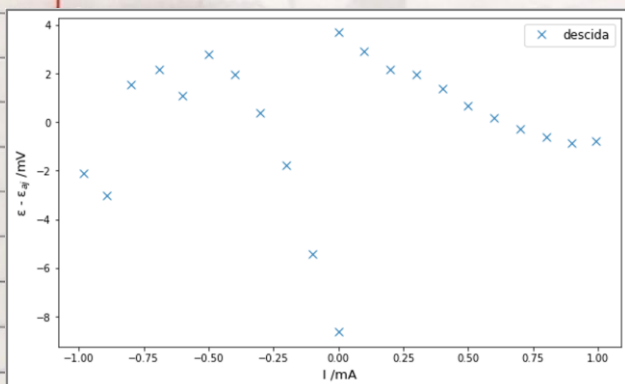
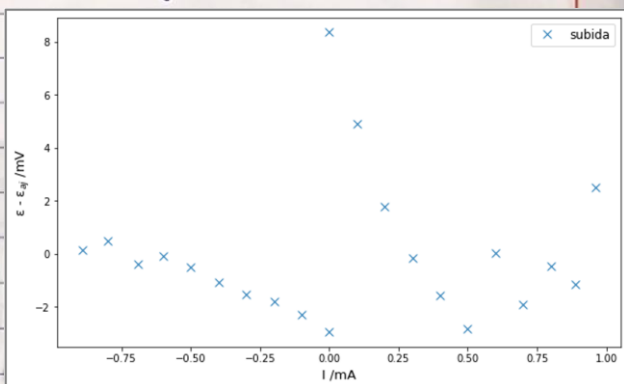


Figura 6: Representação gráfica dos valores de $E(I)$ para a subida e descida do valor da corrente e respectivos ajustes



(a)



(b)

Figura 7: Representação gráfica dos resíduos dos ajustes de $E(I)$ obtidos para a descida (a) e subida (b) do valor da corrente

Podemos ver que os resíduos dos ajustes realizados têm tendências semelhantes, estando apenas "invertidos", o que poderá indicar a presença de algum erro sistemático que não conseguimos identificar.

O valor máximo de corrente aplicada foi $I_{\max} = (0,99 \pm 0,01) \text{ A}$, correspondente a um campo magnético aplicado $H_{\max} = (49,5 \pm 0,2) \mu\text{T}$, calculado pela equação 2.

Conclusões

. Ao aproximarmos 2 bobinas, às quais fornecemos tensões variáveis com sinal sinusoidal, ocorreu sobreposição dos 2 sinais. Para o caso em que as frequências dos 2 sinais tinham valores próximos, originou-se um batimento

. O lock-in foi capaz de filtrar o ruído do sinal pretendido, para frequências do ruído com ~~de diferença~~ diferença superior a $\sim 0,8\%$ da frequência de referência

. Devido à pequena dimensão do magnetómetro, o ciclo estático obtido experimentalmente é mais "estruído" que o esperado (observa-se menos histerese)

Incerteza

$$\mu(H_{\max}) = \frac{N\mu_0}{L} \mu(I_{\max})$$