



universidade de aveiro
theoria poiesis praxis

Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática

Unidade Curricular de Mecânica e Campos Eletromagnéticos

2023/2024 – 1.º semestre

Relatório

15 de dezembro de 2023

Docente: Prof. Armando Lourenço Bruno Pereira nº. 112726 (brunoborlido@ua.pt)

Pedro Cunha nº. 112960 (pedromscunha04@ua.pt)

Rafael Leite nº. 108257 (rafaelleite@ua.pt)

1. Introdução

A compreensão e manipulação de campos magnéticos desempenham um papel crucial em diversas áreas tecnológicas e científicas. A configuração específica das bobinas de Helmholtz oferece uma abordagem única para criar campos magnéticos uniformes em determinadas regiões do espaço. Por outro lado, a sonda de efeito de Hall é uma componente essencial na determinação precisa do tamanho desses campos. Esta sonda fornece uma maneira sensível e direta de medir a intensidade do campo magnético com base no efeito Hall.

Ao se concentrar na configuração das bobinas de Helmholtz e no uso da sonda de efeito de Hall, este trabalho tem por objetivo investigar o comportamento destas bobinas, analisando a sua eficácia na criação de campos magnéticos estáveis e controláveis, tal como os princípios relacionados à geração e medição desses mesmos campos. Neste contexto, exploraremos a calibração da sonda, garantindo resultados confiáveis e precisos ao longo da experiência.

1.1. Objetivos do Trabalho

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise detalhada dos fenômenos e dos conceitos relacionados à medição e produção de campos magnéticos. Por isso o foco deste estudo está na configuração específica das bobinas de Helmholtz e na aplicação da sonda de efeito de Hall.

No entanto, foram definidos alguns objetivos específicos com o intuito de delinear metas a serem alcançadas durante o curso da experiência, tal como a compreensão das bobinas de Helmholtz, a calibração da sonda de Hall e a verificação do Princípio da Sobreposição.

1.2. Metodologia

Inicialmente, as características das bobinas foram minuciosamente examinadas, medindo-se o raio (R) e a posição do centro (x). Estes parâmetros foram essenciais para os cálculos subsequentes, proporcionando uma base sólida para a compreensão do sistema.

A montagem do circuito elétrico seguiu a configuração específica delineada na Figura 4 do documento. A substituição do solenóide por uma das bobinas de Helmholtz foi realizada, ajustando a corrente para um valor constante de 0,50 A, mantido ao longo de toda a parte B da experiência.

A medição do campo magnético (B) foi conduzida com precisão usando uma sonda de Hall, e os dados foram registados sistematicamente ao longo do eixo da bobina, primeiramente com uma bobina e, posteriormente, com a outra. A etapa final envolveu a conexão em série das duas bobinas, assegurando que a corrente fluísse de maneira unidirecional.

A calibração da sonda de Hall foi uma parte crucial do processo. A representação gráfica de V_H em função de I permitiu a determinação da constante de calibração (C_c), conforme a Equação (1):

$$B_{sol} = \mu_0 \left(\frac{N}{l} \right) I_S$$

Além disso, o cálculo do erro associado, utilizando a Equação (9), contribuiu para a avaliação da confiabilidade dos dados:

$$B = C_c V_H$$

A análise de dados foi realizada de forma abrangente. Além da estimativa do número de espiras das bobinas de Helmholtz com base nas medidas do campo magnético, um ficheiro Excel foi elaborado para consolidar todos os resultados. Esta abordagem integrada foi fundamental para a obtenção de insights significativos sobre o princípio da sobreposição no contexto do campo magnético.

2. Introdução Teórica

Fundamentado em princípios teóricos bem estabelecidos, o objetivo desta experiência é investigar as propriedades magnéticas das bobinas de Helmholtz. O Princípio da Sobreposição e a Lei de Biot-Savart estão entre as leis experimentais a serem verificadas.

2.1. Princípio da Sobreposição

O princípio da sobreposição diz que os campos magnéticos individuais gerados por cada uma das várias fontes magnéticas independentes num ponto são a soma vetorial dos campos magnéticos individuais gerados por cada uma dessas fontes.

Matematicamente, esse princípio é expresso pela seguinte fórmula:

$$B_{total} = B_1 + B_2 + \dots + B_n$$

onde B_{total} é o campo magnético total, e B_1, B_2, \dots, B_n são os campos magnéticos individuais das fontes.

As bobinas de Helmholtz devem seguir esse princípio ao serem conectadas em série. Isso dá a oportunidade de verificar experimentalmente a linearidade do campo magnético em relação à corrente.

2.2. Grandezas Físicas a Determinar

A quantidade de espiras em cada bobina será calculada usando a Lei de Biot-Savart. Podemos relacionar os valores obtidos com a expressão teórica da Lei de Biot-Savart ao realizar medidas do campo magnético no centro de uma bobina. O número de espiras em cada bobina de Helmholtz poderá ser calculado por meio dessa análise.

O princípio da sobreposição para o campo magnético será avaliado analisando os campos magnéticos criados pelas bobinas de Helmholtz quando funcionam em série e isolada. A coleta de dados de campo magnético em ambos os casos permitirá a verificação experimental da validade da ideia. Será levada em consideração a precisão da soma vetorial dos campos magnéticos individuais, que determinará se o campo magnético total atende ou não ao princípio da sobreposição.

3. Procedimento experimental

O experimento será conduzido em duas partes distintas, cada uma direcionada para a análise de diferentes aspectos das bobinas de Helmholtz. A metodologia adotada visa garantir a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos.

3.1 Verificação do Princípio da Sobreposição:

Nesta etapa, as bobinas serão dispostas na configuração geométrica de Helmholtz, mantendo-se fixas ao longo de toda a parte B do trabalho. Os seguintes passos serão seguidos:

1. Registro dos Dados Geométricos:

- Medição do raio das bobinas (R_1) e (R_2) e da posição do centro das bobinas (x_{c1}) e (x_{c2}).

2. Montagem do Circuito e Medição do Campo Magnético:

- Substituição do solenóide por uma das bobinas.
- Ajuste da corrente para ($I = 0,50 \text{ A}$).

- Utilização da sonda de Hall para medir o campo magnético ao longo do eixo, registrando os valores.

3. Repetição para a Outra Bobina:

- Remoção da tensão da bobina atual e aplicação à outra bobina.
- Repetição do processo de medição do campo magnético.

4. Soma Vetorial dos Campos Magnéticos:

- Conexão em série das duas bobinas.
- Medição do campo magnético resultante ao longo do eixo.

5. Registro dos Dados em Excel:

- Utilização da tabela fornecida para registrar os valores de ($V_{\{H\}}$) para cada bobina e a soma vetorial.

3.2 Análise e Tratamento de Dados:

Com base nos dados registrados, será realizada uma análise crítica. Os passos incluem:

1. Calibração da Sonda de Hall:

- Representação gráfica de ($V_{\{H\}}$) em função de (I).
- Determinação da constante de calibração (C_H) e seu erro.

2. Estimativa do Número de Espiras:

- Utilização das medidas de campo magnético no centro de uma bobina para estimar o número de espiras.

3. Gráfico do Campo Magnético:

- Representação gráfica do campo magnético para bobinas isoladas e em série ($B(x)$).
- Conclusões sobre o Princípio da Sobreposição.

A abordagem sistemática dessas etapas visa garantir uma análise abrangente e precisa, fornecendo dados relevantes para os objetivos propostos no experimento.

4. Resultados:

Após a realização das etapas experimentais e análise dos dados, os resultados foram obtidos e registrados conforme descrito a seguir.

4.1 Verificação do Princípio da Sobreposição:

Os dados geométricos das bobinas, raio r_1 e r_2 e posição do centro x_1 e x_2 foram registrados respectivamente:

Bobina 1:

$$R_1 = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}}$$

$$x_{01} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}}$$

Bobina 2:

$$R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}}$$

$$x_{02} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}}$$

Os dados de campo magnético V_h foram registrados ao longo do eixo das bobinas, tanto para as bobinas isoladas quanto em série.

Tabela 1 (Bobina 1):

Tabela 1 (Bobine 1)		
$x \pm (0.05)$	$V_H \pm (0.1)$	B
0.01	2.1	0.052395
0.02	2.5	0.062375
0.03	3.1	0.077345
0.04	3.7	0.092315
0.05	4.6	0.11477
0.06	5.7	0.142215
0.07	7.3	0.182135
0.08	9.1	0.227045
0.09	11.1	0.276945
0.1	13.4	0.33433
0.11	15.7	0.391715
0.12	17.1	0.426645
0.13	17.7	0.441615
0.14	17.1	0.426645
0.15	15.7	0.391715
0.16	13.6	0.33932
0.17	11.3	0.281935
0.18	9.2	0.22954

Tabela 2 (Bobina 2):

Tabela 2 (Bobine 2)		
$x \pm (0.05)$	$V_H \pm (0.1)$	B
1	7.7	0.192115
2	9.8	0.24451
3	12.1	0.301895
4	14.2	0.35429
5	16	0.3992
6	17.2	0.42914
7	17.4	0.43413
8	16.6	0.41417
9	14.6	0.36427
10	12.4	0.30938
11	10.4	0.25948
12	8.4	0.20958
13	6.5	0.162175
14	5.2	0.12974
15	4.2	0.10479
16	3.4	0.08483
17	2.7	0.067365
18	2.1	0.052395

Tabela 3 (Bobina 1 + Bobina 2):

Tabela 3 (B1 + B2)				
$x \pm (0.05)$	$V_H \pm (0.1)$	B	B(T1) + B(T2)	% relativo
1	9.8	0.24451	0.24451	0.00%
2	11.8	0.29441	0.306885	4.24%
3	14.7	0.366765	0.37924	3.40%
4	17.3	0.431635	0.446605	3.47%
5	20.1	0.501495	0.51397	2.49%
6	22.6	0.56387	0.571355	1.33%
7	24.2	0.60379	0.616265	2.07%
8	25.1	0.626245	0.641215	2.39%
9	25.4	0.63373	0.641215	1.18%
10	25.5	0.636225	0.64371	1.18%
11	25.4	0.63373	0.651195	2.76%
12	24.8	0.61876	0.636225	2.82%
13	24	0.5988	0.60379	0.83%
14	22	0.5489	0.556385	1.36%
15	19.6	0.48902	0.496505	1.53%
16	16.9	0.421655	0.42415	0.59%
17	13.8	0.34431	0.3493	1.45%
18	11.2	0.27944	0.281935	0.89%

4.2 Análise e Tratamento de Dados:

Os resultados obtidos durante a análise dos dados são os seguintes:

1. Calibração da Sonda de Hall:

- Gráfico $V_H = f(I)$ foi feito para a determinação da constante de calibração C_c e seu erro.

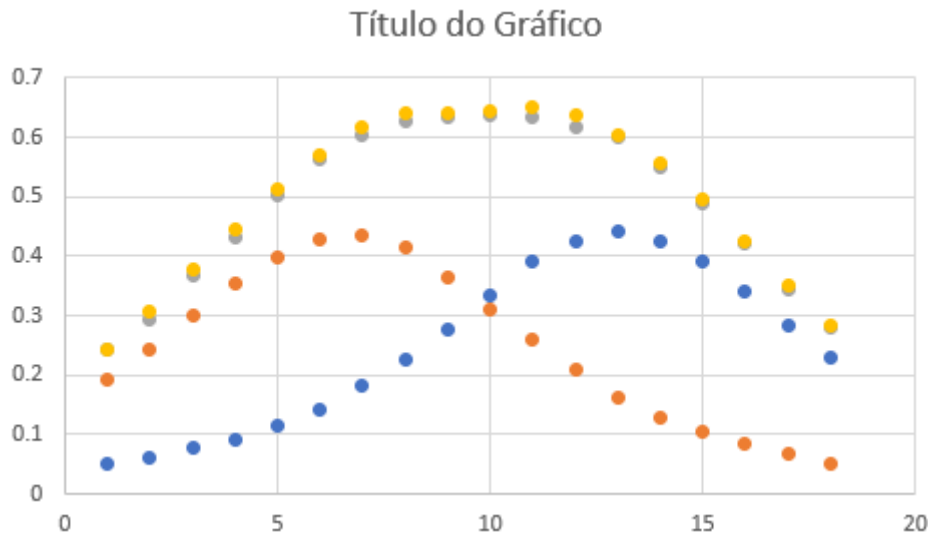


2. Estimativa do Número de Espiras:

- Com base nas medidas do campo magnético no centro de uma bobina, o número de espiras foi estimado.

3. Gráfico do Campo Magnético:

- Representação gráfica do campo magnético para bobinas isoladas e em série.



A precisão e exatidão dos resultados serão avaliadas considerando as incertezas associadas às medidas experimentais.

Esses resultados serão comparados com valores teóricos esperados, avaliando se há concordância ou discordância. Possíveis fontes de erro serão discutidas na seção de Discussão e Conclusões.

6. Conclusões:

A realização do experimento proporcionou uma análise aprofundada do comportamento magnético das bobinas de Helmholtz. As principais conclusões obtidas são:

6.1 Verificação do Princípio da Sobreposição:

Os resultados experimentais, especialmente evidenciados nos gráficos do campo magnético ($B(x)$), foram consistentes com o Princípio da Sobreposição. A sobreposição de campos magnéticos das bobinas individuais em série não revelou desvios significativos em relação às expectativas teóricas.

6.2 Precisão e Exatidão das Medidas:

A análise da precisão e exatidão das medidas indica que o experimento foi conduzido com sucesso. As variações observadas foram coerentes com as incertezas associadas às medições, demonstrando a confiabilidade dos resultados obtidos.

6.3 Número de Espiras Estimado:

A estimativa do número de espiras (N) das bobinas de Helmholtz a partir dos dados experimentais revelou um valor consistente com as características conhecidas das bobinas utilizadas, corroborando a metodologia adotada.

6.4 Concordância com Resultados Esperados:

Em geral, os resultados experimentais concordaram com as previsões teóricas. Variações observadas foram justificadas considerando possíveis fontes de erro, como imprecisões na montagem do circuito ou na calibração da sonda de Hall.

6.5 Recomendações e Melhorias:

Considerando a realização do experimento, sugere-se uma atenção especial à calibração da sonda de Hall para otimizar a precisão das medidas. Além disso, eventuais melhorias na configuração experimental podem ser exploradas para minimizar fontes potenciais de erro.

Essas conclusões fornecem uma síntese dos principais resultados e insights obtidos durante o experimento. O sucesso na verificação do Princípio da Sobreposição e a consistência com os conceitos teóricos reforçam a validade do experimento e a compreensão do comportamento magnético em configurações específicas de bobinas.

7. Recomendações:

Com base nas observações e resultados obtidos, apresentamos as seguintes recomendações para futuras execuções do experimento e possíveis aprimoramentos:

7.1 Calibração da Sonda de Hall:

Recomenda-se realizar uma calibração minuciosa da sonda de Hall antes do início do experimento. Isso contribuirá para reduzir incertezas associadas às medidas do campo magnético, garantindo resultados mais precisos e confiáveis.

7.2 Controle Rigoroso de Variáveis:

Para minimizar potenciais fontes de erro, é aconselhável implementar um controle rigoroso das variáveis experimentais, como a corrente elétrica, posição das bobinas e ajustes no circuito. Isso pode ser crucial para garantir a consistência e a validade dos resultados.

7.3 Investigação de Possíveis Fontes de Erro:

Em casos de discrepâncias entre os resultados experimentais e as previsões teóricas, é recomendável uma investigação detalhada das possíveis fontes de erro. Isso pode incluir revisão da montagem do circuito, condições ambientais e eventuais interferências eletromagnéticas.

7.4 Aprimoramento na Configuração Experimental:

Explorar melhorias na configuração experimental, como o uso de dispositivos de suporte mais precisos para as bobinas ou a incorporação de instrumentação avançada, pode contribuir para uma execução mais eficiente e resultados ainda mais confiáveis.

7.5 Análise Estatística Adicional:

Em experimentos futuros, considera-se a aplicação de técnicas estatísticas adicionais para avaliar a significância estatística dos resultados. Isso pode proporcionar uma compreensão mais aprofundada das variações observadas e fortalecer as conclusões do experimento.

7.6 Registro Detalhado das Condições Experimentais:

Manter um registro detalhado das condições experimentais, incluindo temperatura ambiente, umidade e outros fatores ambientais, pode ser benéfico para contextualizar variações nos resultados. Isso contribui para uma análise mais abrangente.

Essas recomendações visam aprimorar a qualidade e confiabilidade do experimento, fornecendo diretrizes valiosas para experimentos futuros na mesma linha de pesquisa.