

T7 - Bobinas de Helmholtz. Lei de Faraday e Momento Torsor Aplicado a Espiras Móveis Omersas num Campo Magnético Uniforme

André Cruz - a92833; Beatriz Demétrio - a92839; Carlos Ferreira - a92846

13 de abril de 2021

1 Verificação da Lei de Faraday

Nesta parte, com recurso ao simulador **FEMM** foi criado um problema magnetostático onde se representou um modelo para as bobinas de helmholtz. Para isso, definiu-se uma secção de todo o conjunto em si (sendo que se trata de um problema axisimétrico, havendo por isso uma simetria em relação a um eixo, no caso o eixo das bobinas).

Usou-se dois blocos de 2 cm para definir as espiras, às quais foram atribuídas o material **18 awg**, os circuitos série **coil1** e **coil2** (com 1 A de corrente cada) e um total de **154** espiras por espira da bobine. Foi também criada a espira **target coil** através de um bloco de lado $0,2\text{ cm}$, feita de **alumínio**, com apenas 1 espira e cerca de 0 A de corrente.

Sendo que não é possível analisar o sistema no programa até ao ∞ , definiu-se o domínio através de uma condição fronteira aberta, de raio $R = 50\text{ cm}$ e 7 layers (o que afeta a precisão dos resultados).

O sistema encontra-se, assim, definido, o qual se encontra representado (em conjunto com a respetiva malha) pela figura 1:

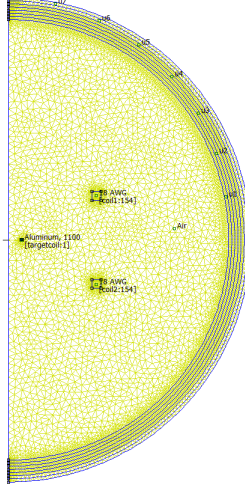


Figure 1: Simulação do modelo para as bobines de helmoltz e respetiva malha

Antes da visualização dos resultados, definiu-se o problema como *axisimétrico*, unidades *cm* e frequência $f = 1000 \text{ Hz}$.

Foram obtidos valores para 3 raios da target coil, onde serão visualizados os **valores do campo entre as bobines** (CM) e a **força eletromotriz** $\underline{\varepsilon}$ (fem) induzida na *target coil*.

Relativamente ao primeiro valor, sabe-se que este pode ser dado pela expressão (1):

$$\left| \vec{B}_{ext} \right| = 6,93 \times 10^{-4} i \quad (1)$$

Já o segundo valor obtém-se pela expressão (2) :

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = 6,93 \times 10^{-4} i w \text{ sen}(wt) A \quad (2)$$

onde A corresponde à área da bobina (no caso da *target coil*) e $w = 2\pi f$ a frequência angular.

Através do simulador, estes valores serão obtidos para posterior comparação..

- Raio da target coil = 3 cm

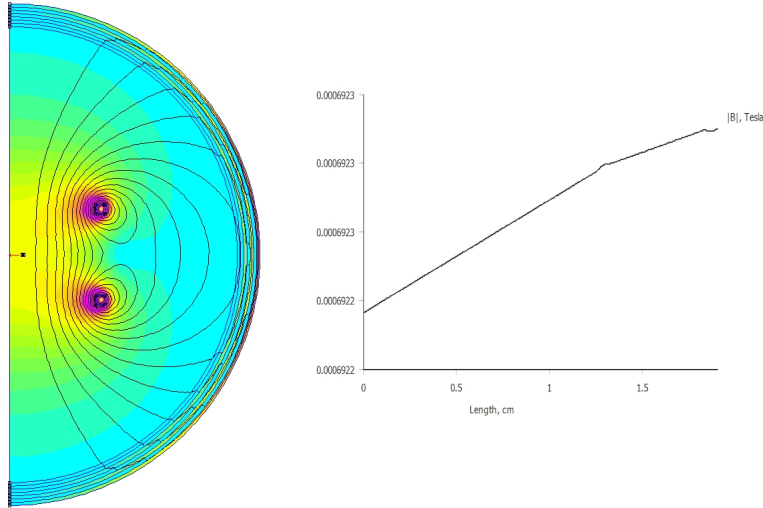


Figure 2: Variação do fluxo do Campo Magnético e Gráfico do campo entre as bobinas em função da distância para $R_{target\ coil} = 3\text{ cm}$

Mais uma vez, o valor obtido no simulador do *CM* corresponde ao previsto pela equação 1.

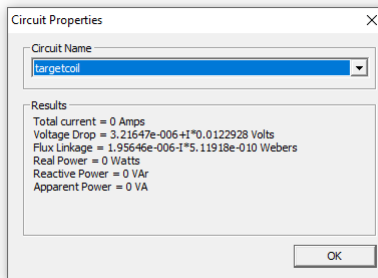


Figure 3: Obtenção da *fem* (parte imaginária de *Voltage Drop*) para $R_{target\ coil} = 3\text{ cm}$

Os valores da *fem* serão comparados com os obtidos no fim da apresentação de todos os resultados.

- Raio da target coil = 2 cm

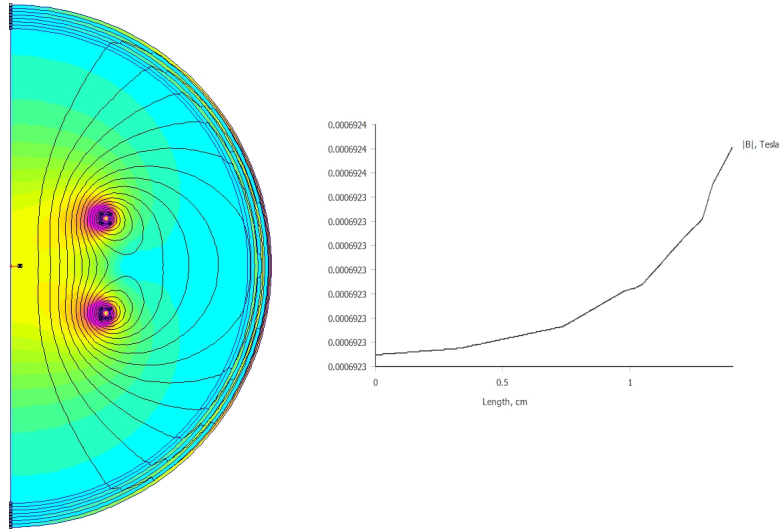


Figure 4: Variação do fluxo do Campo Magnético e Gráfico do campo entre as bobinas em função da distância para $R_{target\ coil} = 2\ cm$

Repare que a variação do valor do CM não se torna relevante, permitindo comprovar que o valor obtido no simulador corresponde ao previsto pela equação 1.

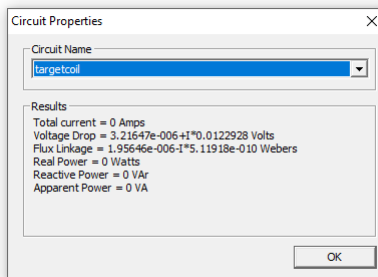


Figure 5: Obtenção da fem (parte imaginária de *Voltage Drop*) para $R_{target\ coil} = 2\ cm$

- Raio da target coil = 1 cm

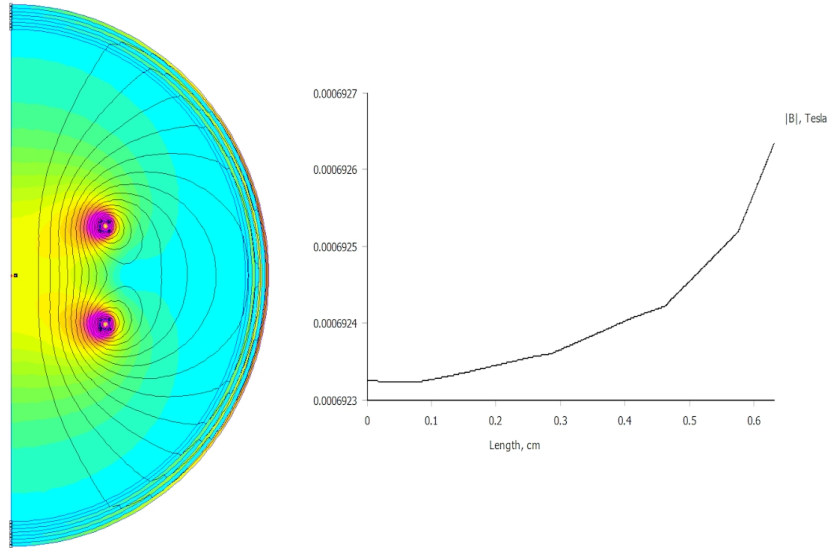


Figure 6: Variação do fluxo do Campo Magnético e Gráfico do campo entre as bobinas em função da distância para $R_{target\ coil} = 1\ cm$

Apesar de este ser o caso em que a variação dos valores do CM ser maior, esta ainda se torna irrelevante tendo em conta a zona do valor onde varia, permitindo comprovar que o valor obtido no simulador corresponde ao previsto pela equação 1.

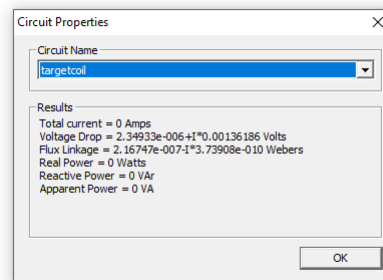


Figure 7: Obtenção da fem (parte imaginária de *Voltage Drop*) para $R_{target\ coil} = 1\ cm$

- **Comparação dos valores da força eletromotriz induzida na target coil**

Recolhendo todos os valores da *fem* obtidos no simulador e calculando os valores teóricos através da equação (2), pode-se assim proceder à sua comparação.

$R_{target\ coil} (cm)$	$\varepsilon_{teórico} (V)$	$\varepsilon_{experimental} (V)$
3	$1,231 \times 10^{-2}$	$1,229 \times 10^{-2}$
2	$5,472 \times 10^{-3}$	$5,461 \times 10^{-3}$
1	$1,368 \times 10^{-3}$	$1,362 \times 10^{-3}$

Table 1: Valores teóricos e obtidos experimentalmente da *fem* para diferentes raios da *target coil*

Tal como previsto, comprova-se que a força eletromotriz apresenta valores cada vez menores à medida que a target coil se afasta das bobines de Helmholtz, além de que os valores calculados pela equação (2) correspondem aos obtidos experimentalmente, pelo que podemos considerar assim a veracidade da equação (2).

2 Momento tissor de uma espira rectangular

Nesta segunda parte, com o auxilio do simulador FEMM foi criado um problema magnetostático onde se representou um modelo de uma espira rectangular. Com o auxilio do simulador obtivemos os seguintes resultados:

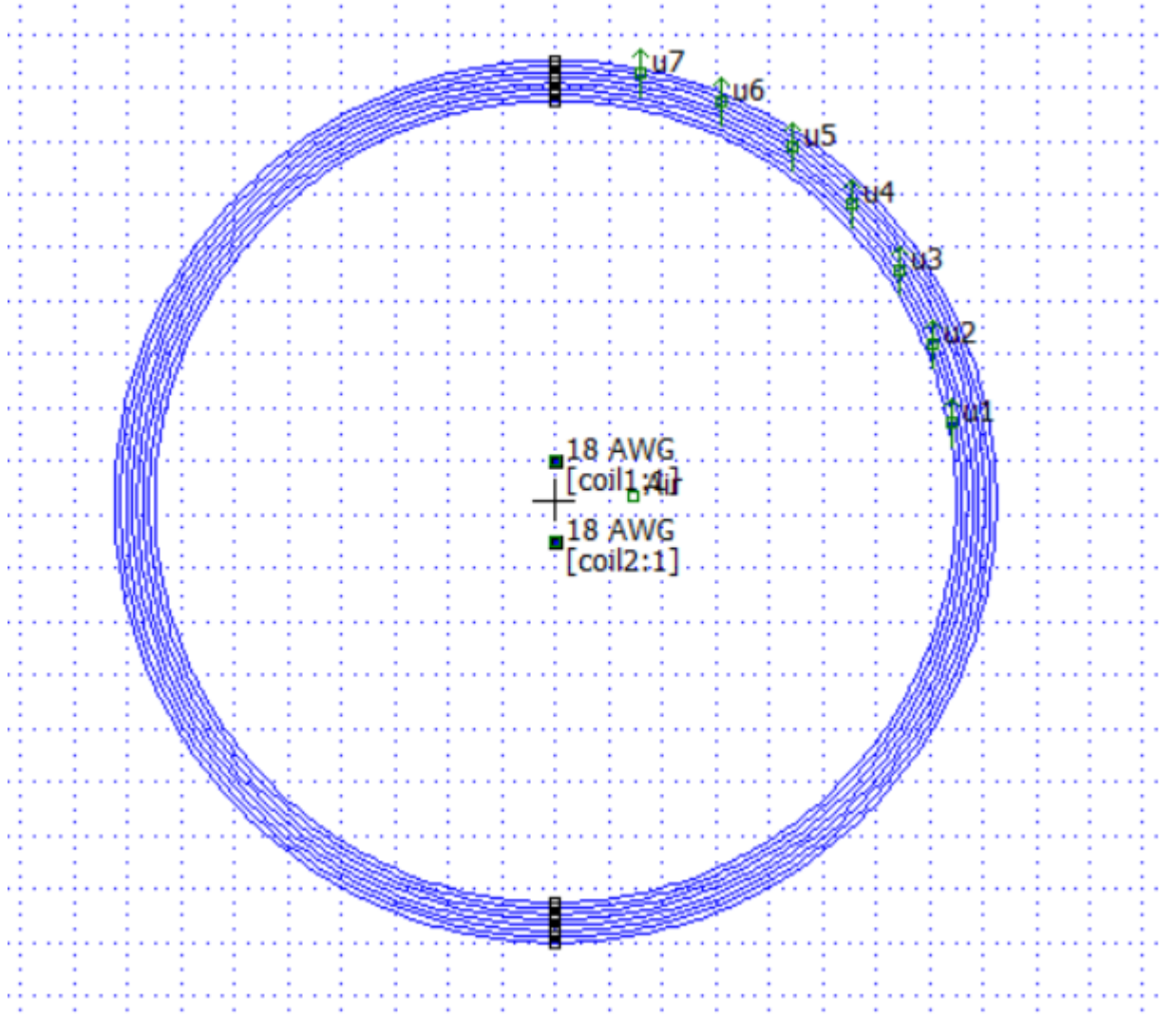


Figure 8: Simulação do modelo de uma espira retangular

Parte A

Nesta parte, utilizou-se inicialmente $\theta = 90^\circ$, que corresponde ao plano da espira paralelo ao campo \vec{B}_{ext} , e a corrente nas espiras $i' = 3,00A$. Com isto, variando o campo magnético multiplicando a coercividade pela intensidade de corrente desejada na bobine de Helmholtz, determinou-se a força numa das espiras e determinou-se o momento binário produzido na mesma espira:

- inicialmente temos que : $\theta = 90^\circ$; $i' = 3,00A$; $N = 7$; $A = 0,28m^2$

- utilizando o simulador obteve-se o seguinte:

i (A)	F (μN)	τ (Nm)
1	(124, 2; 2, 012) \Rightarrow 124, 22	$-3,73 \times 10^{-6}$
3	(373, 7; 2, 012) \Rightarrow 373, 71	$-11,21 \times 10^{-6}$
5	(623, 2; 2, 012) \Rightarrow 623, 20	$-18,69 \times 10^{-6}$
7	(872, 6; 2, 012) \Rightarrow 872, 60	$-26,18 \times 10^{-6}$
9	(1122; 2, 012) \Rightarrow 1122, 00	$-33,66 \times 10^{-6}$

Table 2: Tabela correspondente à parte A

Concluimos que com o aumento da corrente nas espiras de fora, verificamos que existe também um aumento da força em cada uma das espiras e também do momento binário.

Parte B

Com intuito de verificar a dependência do momento torsor aplicado à(s) espira(s) no seno do ângulo entre \vec{m} e \vec{B}_{ext} , fixou-se o valor da corrente $i = 2A$ nas bobinas de Helmholtz e o valor $i' = 3A$ da espira, variando o ângulo da espira, permitindo assim a obtenção da força na espira e o momento do binário.

- inicialmente : $i = 2A$; $i' = 3A$
- utilizando o simulador obteve-se o seguinte:

θ ($^\circ$)	F (μN)	τ (Nm)
0	(-0, 503; -247, 5) \Rightarrow 247, 50	$0,015 \times 10^{-6}$
30	(124, 2; -214, 0) \Rightarrow 247, 43	$-3,727 \times 10^{-6}$
45	(175, 9; -174, 4) \Rightarrow 247, 70	$-5,277 \times 10^{-6}$
60	(215, 5; -122, 7) \Rightarrow 247, 98	$-6,466 \times 10^{-6}$
90	(248, 9; 2.012) \Rightarrow 248, 91	$-7,469 \times 10^{-6}$

Table 3: Tabela correspondente à parte B

Com esta tabela verificou-se que mesmo variando o ângulo, nos deparamos com uma homogeneidade com os valores da força, ao contrário do valor de τ , que vai diminuindo com o aumento do ângulo.

Parte C

Para finalizar, verificou-se a dependência de $|\vec{\tau}|$ com o momento do binário magnético das espiras, \vec{m} , fazendo-se variar o n^o de voltas da espiras e a dimensão desta.

- inicialmente : $\theta = 90^\circ$; $i' = 1A$; $i = 1A$
- utilizando o simulador obteve-se o seguinte:

N	$Diâmetro\ (m)$	$F\ (\mu N)$	$\tau\ (Nm)$
3	0,30	$(41,52; 0,235) \Rightarrow 41,52$	$-1,246 \times 10^{-6}$
2	0,30	$(41,52; 0,226) \Rightarrow 41,52$	$-1,246 \times 10^{-6}$
1	0,30	$(41,58; 0,200) \Rightarrow 41,58$	$-1,247 \times 10^{-6}$
1	0,12	$(41,60; 0,210) \Rightarrow 41,60$	$-1,248 \times 10^{-6}$
1	0,09	$(41,59; 0,212) \Rightarrow 41,59$	$-1,248 \times 10^{-6}$

Table 4: Tabela correspondente à parte C

Com esta tabela verificou-se que mesmo variando o número de espiras e o diâmetro, nos deparamos com uma homogeneidade com os valores da força assim como o valor de τ .