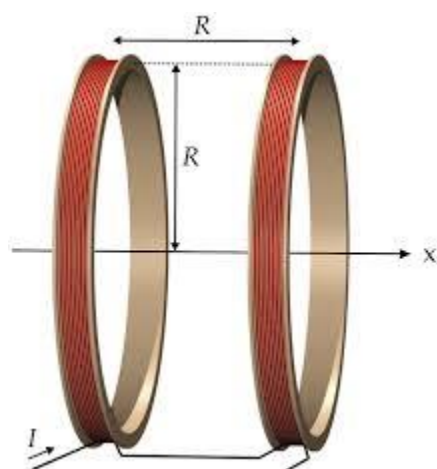


Ćwiczenie FEMM – przykład analizy pola magnetycznego na przykładzie cewek Helmholtza

Budowa modelu

Cewki Helmholtza (cewki Helmholtza- Gaugaina) to układ cewek, wewnątrz którego istnieje duży obszar o (w przybliżeniu) stałym wektorze indukcji pola magnetycznego (rysunek poniżej).

Są one używane do wytwarzania jednorodnego pola magnetycznego i kompensacji pola zewnętrznego (głównie ziemskiego). Nazwane na cześć niemieckiego fizyka Hermanna von Helmholtza. Układ stanowią dwie identyczne równoległe cewki. W każdej z tych cewek płynie taki sam prąd, w tym samym kierunku. Cewki znajdują się w odległości równej promieniowi każdej z nich. Taki układ pozwala uzyskać jednorodne pole magnetyczne w stosunkowo dużej objętości.



Indukcja magnetyczna na osi symetrii w środku cewki wynosi:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 n I}{R}$$

Gdzie n to liczba zwojów każdej z cewek; I prąd płynący w uzwojeniu.

Budowa modelu

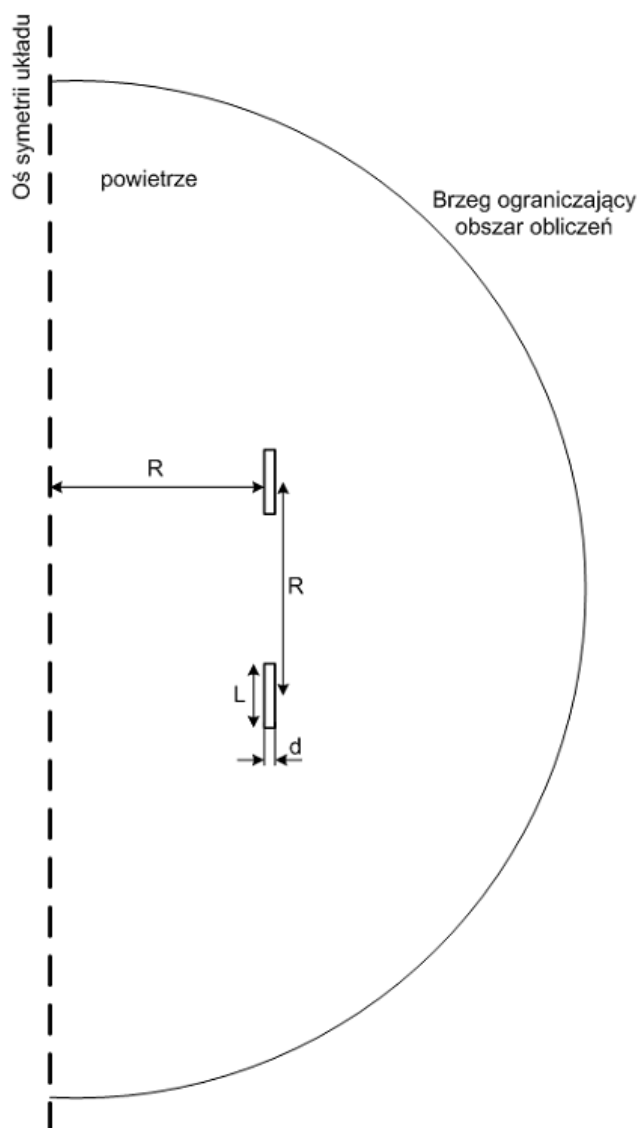
1. Parametry

Parametr	Wartość parametru
Promień uzwojenia R	25 cm
Liczba zwojów n	100
Natężenie prądu w uzwojeniu I	2A
Szerokość uzwojenia cewki L	3 cm
Wysokość uzwojenia cewki	1 cm

Budowa obiektu badawczego wymaga zastosowania geometrii osiowo symetrycznej o budowie przedstawionej na rysunku 2

W programie FEMM przy modelach osiowo symetrycznych oś r jest osią poziomą, model więc ograniczony jest do $r \geq 0$. Prąd dodatni wpływa do płaszczyzny z schematem modelu.

Rys. 2 Schemat modelu



Po uruchomieniu programu FEMM należy utworzyć nowy „problem”.

Pojawi się okno wyboru problemu do rozwiązania, należy wybrać magnetostatykę.

Następnym krokiem jest definicja parametrów zadania dostępna w menu **PROBLEM**.

Należy zdefiniować typ zadania jako osiowosymetryczny, zdefiniować jednostkę długości (cm) oraz częstotliwość prądu (0 Hz).

Definiujemy obszar obliczeń:

Lp.	Brzeg	Wartość
1	Dół	-50 cm
2	Lewy	0 cm
3	Góra	50 cm
4	Prawy	50 cm

Należy teraz narysować cewki. Należy zdefiniować narożne punkty definiujące każde z uzwojeń. Ze względu na symetryczne położenie względem osi $z=0$ wystarczy narysować jedną z cewek a następnie korzystając z funkcji **LUSTRO** utworzyć drugą.

Poniżej współrzędne wierzchołków prostokąta odpowiadające pierwszej cewce:

Narożnik	Współrzędne
1	(24.5,-11.25)
2	(25.5,-11.25)
3	(24.5,-13.75)
4	(25.5,-13.75)

Dla polecenia LUSTRO należy wybrać punkty o współrzędnych (r,z) (0,0) i (50,0).

Z biblioteki predefiniowanych materiałów należy wybrać powietrze oraz **Copper AWG Magnet Wire** uzwojenie **18 AWG**.

Należy także zdefiniować obwód elektryczny związany z cewkami. Z menu **Properties** należy wybrać polecenie **Circuits** i w oknie które się pojawi wybrać opcję **Add Property**.

Następnie należy podać nazwę właściwości (np. Cewka) oraz ponieważ definiowany obiekt jest uzwojeniem należy aktywować opcję **Series** i podać wartość natężenia prądu.

Następnie należy przypisać odpowiednie parametry materiałowe odpowiednim elementom modelu.

Ostatni etap to zdefiniowanie warunków brzegowych. Z menu **Properties** należy wybrać polecenie **Boundary**, następnie kliknąć na przycisk **Add Property**. W oknie nowego warunku brzegowego należy podać nazwę definiowanego warunku, z typu warunków brzegowych (**BC Type**) należy wybrać **Mixed**. Konieczne będzie zdefiniowanie dwóch parametrów **c0** i **c1**. Współczynniki te występują w równaniu opisującym potencjał magnetyczny na brzegu obszaru.

Dla analizowanego przykładu A jest magnetycznym potencjałem wektorowym (jedna składowa, pozostałe wynoszą

0), μ_r określa przenikalność względną obszaru, μ_0 przenikalność magnetyczną próżni, a n reprezentuje kierunek normalny do brzegu. W przypadku warunków zadania współczynniki wynoszą:

$$C_0 = 1/(\mu_0 \mu_r R)$$

$$C_1 = 0$$

W okienkach należy wpisać odpowiednio: $1/(\mu_0 * 0.5 * \text{meters})$ i 0. Utworzony warunek brzegowy należy przypisać do zewnętrznego brzegu obszaru (łuku).

Następnie należy zapisać projekt oraz uruchomić generator siatki oraz w kolejności należy przejść do analizy wyników.

ZADANIA:

1. Określić wartość indukcji na osi symetrii cewki w jej środku i porównać wynik z wynikiem uzyskanym analitycznie.
2. Dokonać analizy zmian indukcji w zależności od odległości od cewki na jej osi symetrii. Wynik w postaci wykresu określającego zależność przedstawić w pliku word (należy dokonać eksportu wykresu w formie pliku graficznego).
3. Obliczyć błąd względny pomiędzy wartością analityczną i uzyskaną w wyniku analizy programem FEMM, wynik zamieścić w pliku word.
4. Jako drugi w pliku word zamieścić rozkład indukcji wraz z liniami pola magnetycznego w analizowanym obszarze.

5. Określić wartość błędu pomiędzy wartością indukcji B na osi cewki w zależności od odległości x od jej środka (na osi symetrii cewki). Do obliczeń analitycznych posłużyć się następującą zależnością:

$$B_x = \frac{\mu_o I}{2} \frac{r^2}{(r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

którą należy przemnożyć przez n – liczbę zwojów cewki; x – odległość od środka cewki, r – promień cewki

