

I. Cel ćwiczenia

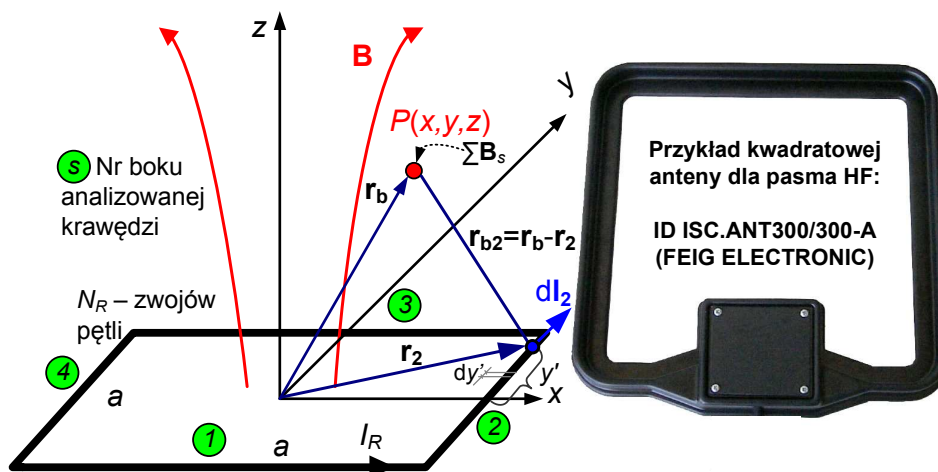
Celem ćwiczenia projektowego jest samodzielne rozwiązanie zadanego problemu w środowisku programu Scilab. Oceniane będą: a) umiejętność posługiwania się narzędziem programowym, b) sposób rozwiązania problemu, c) uzyskane wyniki, d) wizualizacja danych, e) wnioski.

II. Zagadnienie pola magnetycznego w otoczeniu pętli antenowej układu czytnika/programatora indukcyjnie sprzężonego systemu RFID

Opracowanie prawidłowego modelu bilateralnego oddziaływania obiektów przy dynamicznej zmianie ich wzajemnej orientacji w przestrzeni ma zwykle kluczowy wpływ na późniejsze, poprawne funkcjonowanie układu w środowisku rzeczywistym [1, 2]. Tego typu dwustronna interakcja elementów jest również podstawą działania systemów radiowej identyfikacji obiektów RFID (*Radio Frequency IDentification*), a głównym parametrem determinującym jakość oddziaływania pomiędzy czytnikiem/programatorem (RWD – *Read/Write Device*) i elektronicznym identyfikatorem (*transponder*) jest obszar poprawnej pracy (*Interrogation Zone*) [3].

W znacznej grupie aplikacji użytkowych stosowane są systemy indukcyjnie sprzężone (*inductive coupling*), funkcjonujące w zakresie fal średnich i krótkich. W paśmie LF wykorzystywana jest częstotliwość od 100 kHz do 135 kHz (typowo: $f_0=125$ kHz). Systemy indukcyjnie sprzężone pasma HF funkcjonują z częstotliwością roboczą $f_0=13,56$ MHz. W indukcyjnie sprzężonych systemach RFID wykorzystywany jest obszar pola bliskiego (*near field*), gdzie występuje niejednorodne pole magnetyczne oraz silne sprzężenie pomiędzy antenami układu komunikacyjnego, zbudowanego z czytnika/programatora i identyfikatorów. Niejednorodne pole magnetyczne jest nośnikiem energii i stanowi medium dla transmisji danych.

Elementarnym parametrem charakteryzującym obszar poprawnej pracy i maksymalną odległość (zasięg) funkcjonowania indukcyjnie sprzężonych systemów RFID, jest minimalna wartość natężenia pola magnetycznego H_{min} (lub minimalna wartość indukcji magnetycznej B_{min}), dla której następuje poprawna transmisja danych pomiędzy układem RWD i identyfikatorem. Porównując ten parametr z wartością natężenia pola wytworzonego w określonym punkcie $P(x,y,z)$ przez antenę układu RWD, można wyznaczyć trójwymiarowy obszar poprawnej pracy indukcyjnie sprzężonego systemu RFID w odniesieniu do prawidłowego zasilania pasywnych identyfikatorów radiowych.



Rys. 1. Model i przykład kwadratowej pętli antenowej układu RWD

Podczas dalszych rozważań rozpatrywany będzie przypadek kwadratowej anteny RWD systemu RFID pasma HF, której pętla posiada N_R zwojów i długość boku a (Rys. 1). Podczas analizy jej działania można założyć, że prąd pętli (I_R) jest stały wzdłuż całej drogi przepływu. Oznacza to, że natężenie prądu jest stałe (w rozumieniu jego rozciągniętego rozkładu) na każdym odcinku tej pętli [4]. Założenie to pozwala na stosowanie praw

magnetostatyki (prawa Biota-Savarta uzupełnione o zasadę superpozycji), które pozwalają na zsumowanie w punkcie P wektorów indukcji magnetycznej pochodzących od poszczególnych fragmentów s anteny.

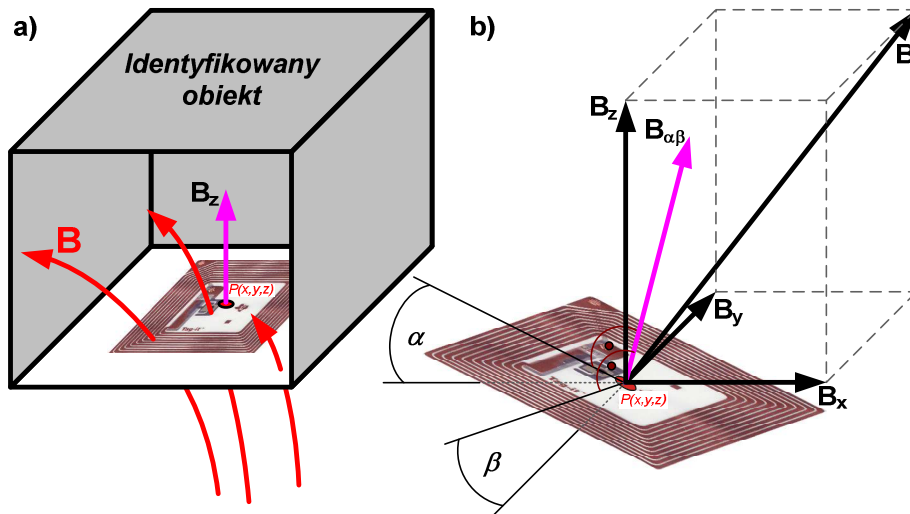
Mając na uwadze powyższe założenia, niejednorodne pole magnetyczne wokół kwadratowej pętli antenowej można przedstawić w postaci trzech równań, za pomocą których możliwe jest numeryczne wyznaczenie wartości poszczególnych składowych B_x , B_y i B_z indukcji magnetycznej w dowolnym punkcie przestrzeni o współrzędnych (x,y,z) :

$$B_x = \frac{\mu_0 I_R N_R}{4\pi} \left[\int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{z}{\left[\left(x - \frac{a}{2} \right)^2 + (y - y')^2 + z^2 \right]^{3/2}} dy' + \int_{\frac{a}{2}}^{-\frac{a}{2}} \frac{z}{\left[\left(x + \frac{a}{2} \right)^2 + (y - y')^2 + z^2 \right]^{3/2}} dy' \right] \quad (1)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I_R N_R}{4\pi} \left[\int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{-z}{\left[(x - x')^2 + \left(y + \frac{a}{2} \right)^2 + z^2 \right]^{3/2}} dx' + \int_{\frac{a}{2}}^{-\frac{a}{2}} \frac{-z}{\left[(x - x')^2 + \left(y - \frac{a}{2} \right)^2 + z^2 \right]^{3/2}} dx' \right] \quad (2)$$

$$B_z = \frac{\mu_0 I_R N_R}{4\pi} \left[\int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{y + \frac{a}{2}}{\left[(x - x')^2 + \left(y + \frac{a}{2} \right)^2 + z^2 \right]^{3/2}} dx' + \int_{\frac{a}{2}}^{-\frac{a}{2}} \frac{-x + \frac{a}{2}}{\left[\left(x - \frac{a}{2} \right)^2 + (y - y')^2 + z^2 \right]^{3/2}} dy' \right. \\ \left. + \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{y - \frac{a}{2}}{\left[(x - x')^2 + \left(y - \frac{a}{2} \right)^2 + z^2 \right]^{3/2}} dx' + \int_{\frac{a}{2}}^{-\frac{a}{2}} \frac{-x - \frac{a}{2}}{\left[\left(x + \frac{a}{2} \right)^2 + (y - y')^2 + z^2 \right]^{3/2}} dy' \right] \quad (3)$$

Korzystając z zależności (1)-(3) możliwe jest także wyznaczenie kierunku i zwrotu wektora indukcji magnetycznej \mathbf{B} . Niejednorodność pola wskazuje na problem poprawnej orientacji identyfikatora RFID względem poszczególnych składowych \mathbf{B}_x , \mathbf{B}_y i \mathbf{B}_z wektora indukcji magnetycznej, podczas realizacji procesu rozpoznawania elektronicznie oznakowanego obiektu (Rys. 2).



Rys. 2. Orientacja identyfikatora RFID: a) równoległego względem anteny układu RWD, b) odchylonego o kąty α i β

W wielu typowych zastosowaniach systemów RFID niejednokrotnie wystarczy rozważanie tylko równoległego ułożenia identyfikatora (jego anteny) względem pętli RWD (Rys. 2-a). Taka konfiguracja pozwala na ograniczenie rozważań dotyczących spełnienia warunku B_{min} tylko do składowej \mathbf{B}_z wektora indukcji magnetycznej w punkcie $P(x,y,z)$. Analizowany przypadek jest jednak odpowiedni tylko dla statycznych procesów automatycznej identyfikacji obiektów, gdzie w czasie odczytywania lub zapisywania informacji do wewnętrznej pamięci identyfikatora nie następuje zmiana jego lokalizacji i/lub orientacji.

W bardziej ogólnym przypadku identyfikator może przyjmować różną lokalizację i orientację w przestrzeni, jak np. produkt wrzucany do koszyka podczas zakupów w sklepie samoobsługowym. Z praktycznego punktu widzenia rozwiązanie takiego problemu ma szansę zapewnić w przyszłości prawidłowe szacowanie efektywności funkcjonowania systemów RFID.

Zagadnienie dowolnej orientacji identyfikatora względem trzech osi x - y - z można sprowadzić do odchylenia o kąty α i β od płaszczyzny jego anteny, która początkowo była ułożona równolegle względem pętli antenowej układu RWD (Rys. 2-b). Zgodnie z zaproponowanym modelem, odchylenie o kąt α następuje w płaszczyźnie z - x , natomiast odchylenie o kąt β w płaszczyźnie α - y . Wartość składowej prostopadłej wektora indukcji magnetycznej dla identyfikatora odchylonego o kąty α i β ($B_{\alpha\beta}$) można wyznaczyć korzystając z zasady superpozycji:

$$B_{\alpha\beta} = B_z \cos(\alpha) \cos(\beta) + B_x \sin(\alpha) \cos(\beta) + B_y \sin(\beta) \quad (4)$$

Dokonując odpowiednich przekształceń z wykorzystaniem równania materiałowego:

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (5)$$

z zależności (1)-(4) można także wyznaczyć poszczególne składowe \mathbf{H}_x , \mathbf{H}_y , \mathbf{H}_z i $\mathbf{H}_{\alpha\beta}$ wektora natężenia pola magnetycznego.

III. Charakterystyka problemu do rozwiązania

W systemie RFID funkcjonuje układ czytnika/programatora z wbudowanym multiplekserem, do którego podłączone są cztery jednakowe anteny (Rys. 3). W danej chwili (zadana pozycja multipleksera) prąd płynie przez jedną antenę i tylko wokół jej pętli wytwarzane jest pole magnetyczne, które umożliwia prowadzenie procesu komunikacji, pod warunkiem spełnienia minimalnych warunków zasilania identyfikatorów. Składowe prostopadłe wektora natężenia pola magnetycznego ($H_{\alpha\beta}$) pochodzące od poszczególnych anten, symbolicznie zaznaczono w punktach losowej lokalizacji i orientacji identyfikatorów.

Po pojedynczym losowaniu lokalizacji i orientacji n -identyfikatorów, j -ty identyfikator posiada następujące współrzędne odnoszące się do poszczególnych anten układu RWD:

$$P_j(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}, \alpha_{i,j}, \beta_{i,j}) \quad (6)$$

gdzie $i=1..4$ (i – numer anteny i jej układu współrzędnych), $j=1..n$.

W ustalonej notacji przykładowy zapis $P_2(x_{1,2}, y_{1,2}, z_{1,2}, \alpha_{1,2}, \beta_{1,2})$ oznacza współrzędną drugiego identyfikatora, która jest rozważana dla pierwszej anteny układu RWD.

UWAGA

Po dokonaniu losowania lokalizacji i orientacji n -identyfikatorów, współrzędne j -tego identyfikatora w układzie drugiej ($x_{2,j}, y_{2,j}, z_{2,j}, \alpha_{2,j}, \beta_{2,j}$), trzeciej ($x_{3,j}, y_{3,j}, z_{3,j}, \alpha_{3,j}, \beta_{3,j}$) i czwartej anteny ($x_{4,j}, y_{4,j}, z_{4,j}, \alpha_{4,j}, \beta_{4,j}$) można bezpośrednio wyliczyć na podstawie parametrów układu pierwszej anteny ($x_{1,j}, y_{1,j}, z_{1,j}, \alpha_{1,j}, \beta_{1,j}$). Przykładowo, współrzędne j -tego identyfikatora w układzie drugiej anteny można obliczyć na podstawie zależności:

$$\begin{pmatrix} x_{2,j} \\ y_{2,j} \\ z_{2,j} \\ \alpha_{2,j} \\ \beta_{2,j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_{1D} - z_{1,j} \\ y_{1,j} \\ z_{1D} + x_{1,j} \\ 90^\circ + \alpha_{1,j} \\ \beta_{1,j} \end{pmatrix} \quad (7)$$

W trakcie poszukiwania rozwiązania zadanego problemu, pozostałe zależności dla trzeciej ($x_{3,j}, y_{3,j}, z_{3,j}, \alpha_{3,j}, \beta_{3,j}$) i czwartej anteny ($x_{4,j}, y_{4,j}, z_{4,j}, \alpha_{4,j}, \beta_{4,j}$) należy wyznaczyć samodzielnie.

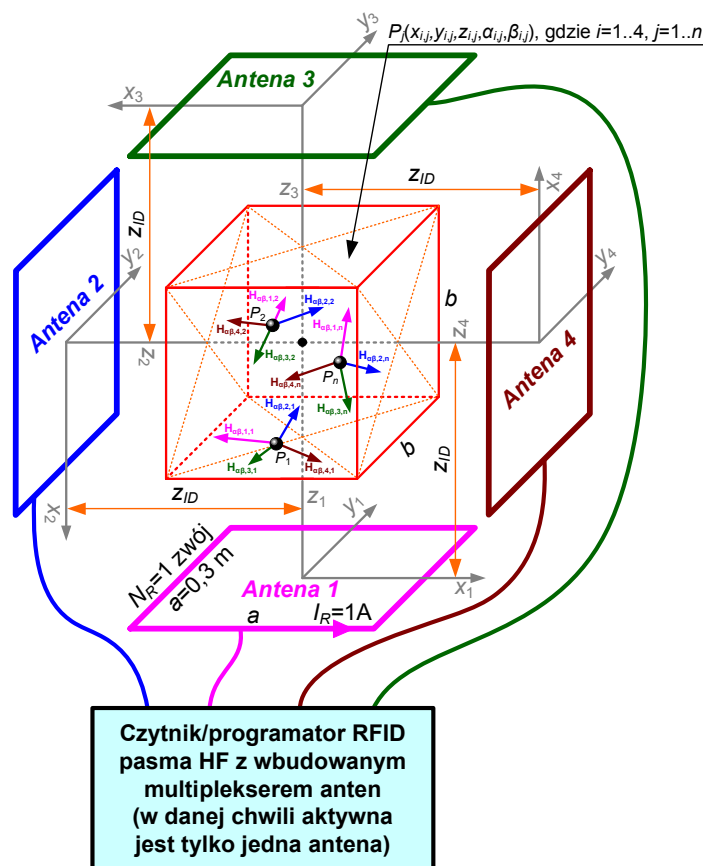
Wewnątrz sześcianu o boku b , ulokowanego w odległości z_{ID} od początku danego układu współrzędnych (odległość taka sama w przypadku wszystkich anten i ich układów współrzędnych), **należy zbadać możliwość występowania prawidłowej identyfikacji dla różnych parametrów procesu RFID** (dane wejściowe poniżej). W tym kontekście należy mieć na uwadze fakt, że prawidłowa identyfikacja j -tego identyfikatora oznacza spełnienie poniższego warunku przynajmniej dla jednej z multipleksowanych anten układu RWD:

$$|H_{\alpha\beta,i,j}| \geq H_{min}, \text{ gdzie } i=1..4 \quad (8)$$

Niespełnienie tego warunku oznacza, że j -ty identyfikator nie zostanie wykryty w systemie RFID (brak identyfikacji). Sprawność identyfikacji w wielokrotnym systemie RFID definiowana jest za pomocą równania:

$$\eta = \frac{k}{n \cdot m} \cdot 100\% \quad (9)$$

gdzie: k – liczba prawidłowych identyfikacji, m – liczba losowań współrzędnych n -identyfikatorów.



Rys. 3. Graficzna prezentacja problemu do rozwiązania

Przedmiotowe obliczenia stanowią cząstkowe poszukiwanie obszaru poprawnej pracy wielokrotnego systemu RFID w odniesieniu do prawidłowego zasilania wielu, dowolnie zorientowanych i dowolnie rozlokowanych identyfikatorów.

Dane wejściowe

Podczas prac badawczych należy rozważyć 8 przypadków dla następujących danych:

- parametry jednakowych, kwadratowych anten czytnika/programatora: $N_R=1$ zwoj, $I_R=1$ A, $a=0,3$ m;
- minimalna wartość natężenia pola magnetycznego dla identyfikatorów: $H_{min}=98$ dB μ A/m (0,0794 A/m);
- liczba identyfikatorów: $n=10$;
- wysokość: $z_{ID}=0,2$ m, $0,3$ m;
- długości boku sześcianu: $b=2 \cdot z_{ID}$, $b=z_{ID}$
- liczba losowań współrzędnych n -identyfikatorów wewnątrz sześcianu o boku b : $m=100$, 1000 .

Wskazówki do rozwiązania problemu

W przygotowanym programie m. in. należy przygotować funkcje ułatwiające obliczenia:

- $H_x(N_R, I_R, a, x, y, z)$, $H_y(N_R, I_R, a, x, y, z)$, $H_z(N_R, I_R, a, x, y, z)$, $H_{\alpha\beta}(N_R, I_R, a, x, y, z, \alpha, \beta)$, których wynikiem będzie wartość poszczególnych składowych natężenia pola magnetycznego w punkcie o współrzędnych (x, y, z) ;
- $MPLX(N_R, I_R, a, H_{min}, n, m, z_{ID}, b)$, której wynikiem będzie sprawność (9) wyliczona dla parametrów jej wywołania (**UWAGA: w rozwiązaniu zagadnienia należy podać sprawność cząstkowa, pochodząca z poszczególnych anten i całkowita, która jest ich sumą**);
- i inne (w miarę własnego uznania i potrzeb).

IV. Sprawozdanie z ćwiczenia laboratoryjnego

Sprawozdanie należy przygotować w pliku *.docx (*.doc) na podstawie formatki *mn_formatka.doc*, przy wykorzystaniu zawartych w niej zasad i stylów. Sprawozdania należy przesłać na adres pjanko@prz.edu.pl, **do dnia 09.06.2015**. Odbiór każdego sprawozdania zostanie potwierdzony wiadomością zwrotną. Sprawozdania powinny być opisane: nazwą roku, datą wykonania projektu, numerem grupy laboratoryjnej, numerem zespołu ćwiczącego (1-4) i jego składem osobowym.

Literatura podstawowa

- [1] Marrocco G., Di Giampaolo E., Aliberti R.: Estimation of UHF RFID Reading Regions in Real Environments, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 51, No. 6, 2009, pp. 44-57.
- [2] Mannings R.: Ubiquitous Positioning. Artech House, 2008.
- [3] Finkenzeller K.: RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. 3-rd Ed., Wiley, 2010.
- [4] Griffiths D. J.: Podstawy elektrodynamiki. PWN, 2009.

Literatura uzupełniająca

- [5] Jankowski-Mihułowicz P., Kalita W., Węglarski M., Jamróz T.: Stanowisko pomiarowe parametrów procesu automatycznej identyfikacji RFID w warunkach dynamicznej zmiany lokalizacji obiektu w przestrzeni, Pomiar Automatyka Kontrola, Vol. 57, No. 12, s. 1473-1476, 2011.
- [6] Jankowski-Mihułowicz P.: Synteza anteny czytnika/programatora indukcyjnie sprzężonego systemu RFID dalekiego zasięgu funkcjonującego w paśmie HF. SIGMA NOT, Elektronika, nr 8, s. 73-77, 2010.
- [7] Jankowski-Mihułowicz P., Kalita W.: Application of Monte Carlo Method for Determining the Interrogation Zone in Anticollision Radio Frequency Identification Systems, RFID/Book 1, Cristina Turcu (Ed.), ISBN 978-953-307-356-9, INTECH, 2011.