

Piotr JANKOWSKI-MIHUŁOWICZ<sup>2</sup>  
Damian KAWALEC<sup>1</sup>

## SYNTEZA MIKROPASKOWEJ ANTENY CZYTNIKA/PROGRAMATORA RFID PASMA UHF

W systemach radiowej identyfikacji obiektów RFID wykorzystuje się wiele rozwiązań konstrukcyjnych anten. Często stosowanymi konstrukcjami anten czytników/programatorów pasma UHF są rozwiązania mikropaskowe. Przyczyną intensywnego rozwoju techniki mikropaskowej są duże możliwości opracowywania konstrukcji o dowolnych kształtach i parametrach, rozwój aplikacji wspomagających ich projektowanie oraz stosunkowo niewielki koszt wykonania takich anten. Szybki rozwój techniki mikropaskowej wspomógł także pojawienie się dobrej jakości mikrofalowych materiałów dielektrycznych, które wykorzystywane są do wykonywania drukowanych struktur antenowych na laminatach pokrytych warstwą miedzi. Dla przedmiotowych konstrukcji, materiały te charakteryzują trzy podstawowe parametry: grubość, stała dielektryczna oraz współczynnik strat. Kolejnym czynnikiem, który przyczynił się do rozwoju anten mikropaskowych, było pojawienie się dedykowanych aplikacji komputerowych, w których wykorzystywana jest metoda: elementów skończonych FEM, różnic skończonych FDTD oraz momentów MoM. Wykorzystanie takich aplikacji, w znacznym stopniu wspomaga proces projektowania anten, ponieważ istnieje możliwość szybkiego przeprowadzenia analizy numerycznej wykonanych konstrukcji pod kątem podstawowych parametrów charakteryzujących dany układ. Możliwość łatwego nanoszenia poprawek konstrukcyjnych bez konieczności wykonywania rzeczywistych układów obniża koszty ich prototypowania. W artykule zaprezentowano proces syntezy użytecznej konstrukcji anteny czytnika/programatora pasma UHF, która funkcjonuje zgodnie z wymogami elektronicznego kodu produktu (protokół ISO/IEC 18000-6c). Bazując na przygotowanym modelu numerycznym, w artykule wskazano także parametry mające istotny wpływ na prawidłowe funkcjonowanie przedmiotowej anteny w zadanym systemie radiokomunikacyjnym.

**Słowa kluczowe:** antena mikropaskowa, parametry anten, RFID, system radiokomunikacyjny

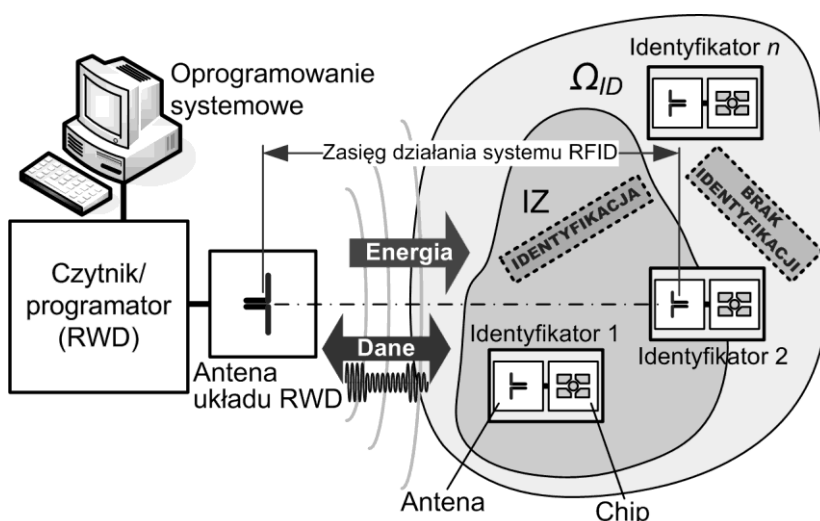
<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Damian Kawalec, Politechnika Rzeszowska, Zakład Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 854-47-08, dam.kaw@prz.edu.pl.

<sup>2</sup> Piotr Jankowski-Mihułowicz, Politechnika Rzeszowska, Zakład Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 854-47-08, pjanko@prz.edu.pl, <http://pjanko.sd.prz.edu.pl>.

## 1. Wstęp

W każdym obszarze aktywności społeczno-gospodarczej można zauważyć różne rozwiązania techniczne automatycznej identyfikacji obiektów. Są one implementowane w złożonych systemach sprzętowo-programowych, które znajdują zastosowanie w przemyśle, handlu, nauce, medycynie i wielu innych dziedzinach [3, 4, 11, 12, 17]. W związku z dużą różnorodnością środowisk, gdzie stosowane są tego typu systemy, a także rosnącymi wymaganiami dotyczącymi ich bezpieczeństwa, niezawodności i autentyczności przesyłanych danych, ostatnie lata przyniosły znaczący rozwój zautomatyzowanych procesów.

Jednym z nowoczesnych rozwiązań tego typu jest technika radiowej identyfikacji RFID (*Radio Frequency IDentification*). W zakresie sprzętowym, system RFID składa się z układu czytnika/programatora (*Read/Write Device*), jego anteny oraz co najmniej jednego elektronicznego identyfikatora (*transponder*), który jest przeznaczony do znakowania obiektu (Rys. 1).



Rys. 1. Uogólniony schemat blokowy systemu RFID pasma UHF

Fig. 1. Generalized block diagram of UHF RFID system

Komunikacja w systemie RFID jest zależna od liczby identyfikatorów, które pozostając w obszarze poprawnej pracy IZ (*Interrogation Zone*) mogą wymieniać dane z układem czytnika/programatora [8]. W przypadku systemu pojedynczego (*single system*) komunikacja może być realizowana tylko z jednym identyfikatorem RFID. W przypadku systemu identyfikacji wielokrotnej (*anti-collision system*), proces komunikacji prowadzony jest jednocześnie z wieloma identyfikatorami, a w procesie tym wykorzystuje się algorytmy wielodostępu do kanału radiowego, które zapewniają możliwość jednoczesnego (auto-

matycznego) rozróżnienia wielu obiektów oznaczonych elektronicznymi identyfikatorami. W obu wymienionych przypadkach znakowane obiekty są lokowane w obszarze  $\Omega_{ID}$  (Rys. 1). Nie ma jednak pewności, że wszystkie te obiekty zostaną rozpoznane podczas zautomatyzowanego procesu identyfikacji, który dodatkowo może być realizowany w sposób statyczny (stała lokalizacja i orientacja obiektów/identyfikatorów w przestrzeni) lub dynamiczny (zmienna lokalizacja i/lub orientacja obiektów/identyfikatorów w przestrzeni) [9].

Obszar poprawnej pracy jest najbardziej użytecznym parametrem, który warunkuje możliwości szerokiego zastosowania systemów RFID w zautomatyzowanych procesach [8, 10]. W parametrze tym kompleksowo uwzględniane są właściwości energetyczne i komunikacyjne systemu RFID, co stanowi bazę wiedzy o podstawowych parametrach jego składowych urządzeń. Wyznaczanie obszaru poprawnej pracy, a także jego użytecznych parametrów aplikacyjnych, takich jak np. zasięg działania (*read/write range*) systemu RFID (Rys. 1), jest uwarunkowane wieloma czynnikami, które determinują konstrukcję składowych urządzeń systemu RFID.

Pasma częstotliwości jest kluczowym czynnikiem, na podstawie którego można rozróżnić funkcjonowanie systemu RFID i konstrukcję jego urządzeń. Pierwszą grupę stanowią 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 125 kHz). Systemy indukcyjnie sprzężone pasma HF funkcjonują z częstotliwością nośnej 13,56 MHz. Działanie urządzeń techniki RFID jest odmiennie w drugiej grupie – systemów propagacyjnych (*radiative coupling*) [5], funkcjonujących – w zależności od regionu świata - w zakresie częstotliwości 860-960 MHz w paśmie UHF, a także z wybranymi częstotliwościami pasm 2,45 GHz i 5,8 GHz.

W przedmiotowym artykule szczególną uwagę zwrócono na proces syntezy użytecznej anteny układu czytnika/programatora pasma UHF, której parametry w głównej mierze determinują obszar poprawnej pracy, a także zasięg działania systemu radiowej identyfikacji elektronicznie znakowanych obiektów. W artykule omówiono założenia projektowe, wybór jednej z konstrukcji mikropaskowych, możliwej do realizacji w technologii PCB (*Printed Circuit Board*), a także dostępny dla niej model analityczny i przygotowany na jego podstawie – model numeryczny dla programu HyperLynx 3D EM firmy Mentor Graphics. Praca została podsumowana prezentacją praktycznej realizacji anteny oraz omówieniem uzyskanych wyników obliczeń i pomiarów, które zrealizowano przy wykorzystaniu wyposażenia specjalistycznego laboratorium techniki RFID, zlokalizowanego w Zakładzie Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych (ZSEiT) Wydziału Elektrotechniki i Informatyki (WEiI) Politechniki Rzeszowskiej (PRz).

## 2. Synteza anteny czytnika/programatora

### 2.1. Założenia projektowe

W propagacyjnym systemie RFID pasma UHF, podobnie jak w typowych systemach radiokomunikacyjnych, wymagane jest podłączenie – dopasowanej impedancyjnie i falowo – anteny do niesymetrycznego,  $50 \Omega$  wejścia układu czytnika/programatora. Istotą działania tych systemów jest uzyskiwanie maksymalnie dużych odległości (zasięg działania od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów), dla których możliwe będzie przeprowadzenie komunikacji radiowej pomiędzy identyfikatorem/identyfikatorami (odpowiednio w systemach pojedynczych i wielokrotnych) oraz układem RWD. Takie funkcjonowanie anteny i układu czytnika/programatora wymusza zwrócenie szczególnej uwagi na energetyczne uwarunkowania działania propagacyjnych systemów RFID, z uwzględnieniem problemu zgodności urządzeń z wymaganiami kompatybilności elektromagnetycznej (EMC). W wersji europejskiej zgodność ta jest zapewniana poprzez spełnienie wymagań unormowania ETSI EN 302 208 (2 W ERP – *effective radiated power* – w paśmie od 865,6 MHz do 867,6 MHz), natomiast w wersji amerykańskiej – FCC Part 15.247 (1 W mocy wyjściowej nadajnika z anteną o maksymalnym zysku 6 dBi, czyli 4 W EIRP – *effective isotropic radiated power* – w paśmie 902-928 MHz). Ze względu na lokalizację, podczas procesu syntezy przedmiotowej anteny zakładana jest zgodność z unormowaniami europejskimi.

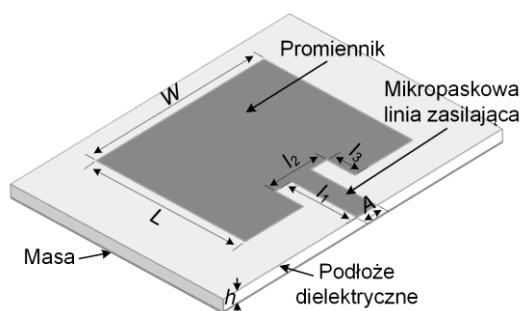
W przedmiotowym przypadku przyjęto założenie, że projektowana antena powinna zapewniać możliwość prawidłowej komunikacji radiowej przy wykorzystaniu najbardziej popularnego protokołu pasma UHF – ISO/IEC 18000-6c (zgodnego z wymaganiami elektronicznego kodu produktu: EPC Class 1 Gen 2 [7]), który w przyszłości będzie np. powszechnie wykorzystywany podczas identyfikacji produktów szybko rotujących FMCG (*Fast Moving Consumer Goods*) w światowych łańcuchach dostaw [6]. Projektowana antena powinna posiadać kierunkową charakterystykę promieniowania, niewielkie rozmiary geometryczne oraz współczynnik fali stojącej  $SWR=1:1,3$  w wymaganym paśmie pracy (865,6 MHz do 867,6 MHz).

### 2.2. Konstrukcja anteny

Anteny mikropaskowe charakteryzuje wiele użytecznych cech. Możliwość dokładnego odwzorowania ich kształtu za pomocą obwodu drukowanego, duża powtarzalność wykonania oraz łatwa integracja z układami elektronicznymi sprawiają, że konstrukcje te są proste, tanie i łatwe w wytwarzaniu. Dodatkowo, cienka, planarna struktura oraz niewielka masa pojedynczej anteny umożliwiają konstruowanie złożonych układów antenowych [13, 14, 16].

Z uwagi na wiele zalet, anteny mikropaskowe znalazły szerokie zastosowanie m. in. w komputerowych sieciach bezprzewodowych, telefonii komórkowej, systemach radarowych, a także w technice RFID. Atrakcyjność tego typu konstrukcji sprawia, że są one obiektem wielu badań, w których często poszukuje się szerokiego, częstotliwościowego pasma pracy projektowanej anteny [15].

Typowa antena mikropaskowa składa się z metalicznych elementów, wyfrezowanych lub wytrawionych w cienkiej warstwie przewodzącej (zazwyczaj miedzi). Promiennik i masa (ekran) znajdują się po przeciwnych stronach warstwy dielektrycznej, która usztywnia całą konstrukcję anteny (Rys. 2). W najprostszym przypadku element promieniujący może być bezpośrednio zasilany z prostopadłe umieszczonej względem niego, niesymetrycznej linii współosiowej, która jest doprowadzana do anteny od strony masy [1]. W innym rozwiązaniu, promiennik może być pobudzany za pomocą bliskiego pola elektromagnetycznego, wytworzonego przez galwanicznie odseparowaną linię mikropaskową, która może być lokowana w różnych miejscach – obok promiennika lub pod nim [1, 18]. Dla przedmiotowych działań syntezy anteny czytnika/programatora pasma UHF wybrano bezpośrednie zasilanie promiennika za pomocą linii mikropaskowej (Rys. 2), co docelowo umożliwi wykonanie całej konstrukcji w jednym procesie technologicznym.



Rys. 2. Typowa konstrukcja anteny mikropaskowej

Fig. 2. The basic construction of microstrip antenna

Przed opracowaniem właściwego modelu numerycznego projektowanej anteny konieczne było wykonanie wstępnych obliczeń jej parametrów geometrycznych. Działania te miały na celu uzyskanie przybliżonego kształtu anteny, który zapewni zgodność konstrukcji z przyjętymi dla niej założeniami. Do realizacji tych obliczeń, w środowisku Mathcad opracowano program, w którym zaimplementowano empiryczne zależności charakteryzujące wybraną konstrukcję anteny mikropaskowej [1, 2].

Rozmiary poszczególnych krawędzi anteny zależą przede wszystkim od częstotliwości rezonansowej  $f_0$  oraz względnej przenikalności elektrycznej  $\epsilon_r$  warstwy dielektrycznej laminatu miedziowanego, na którym zostanie ona wyko-

nana. Dla typowych anten panelowych zasilanych linią mikropaskową, wstępną długość boku  $W$  promiennika można wyznaczyć z zależności:

$$W = \frac{\lambda_0}{2} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

gdzie:  $\lambda_0$  oznacza długość fali dla częstotliwości  $f_0$ .

W paśmie UHF, nawet niewielka zmiana długości boku  $W$  (od dziesiątych części mm do kilku mm) znacząco wpływa na dopasowanie impedancyjne anteny. Na podstawie tego parametru, a także grubości  $h$  warstwy dielektrycznej laminatu, wyznaczana jest skuteczna przenikalność elektryczna  $\epsilon_{reff}$ :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Wartość powyższego parametru jest konieczna do obliczenia skutecznej długości fali:

$$\lambda = \frac{c}{f_0 \cdot \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3)$$

gdzie:  $c$  oznacza prędkość światła.

W idealnym przypadku długość boku  $L$  zależy przede wszystkim od częstotliwości  $f_0$  i skutecznej przenikalności elektrycznej  $\epsilon_{reff}$ , a jej wartość jest wyznaczana z zależności:

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_0 \cdot \sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

Zależność (4) jest słuszna tylko wtedy, gdy grubość laminatu jest znacznie mniejsza od długości fali dla częstotliwości z jaką powinna pracować antena ( $h \ll \lambda_0$ ). Dla większych częstotliwości (np. zakładane  $f_0=866$  MHz), zmiana długości  $L$  o ok. 0,4 mm powoduje przesunięcie  $f_0$  o 1 MHz. Mogłoby to sprawić, że częstotliwość rezonansowa wykonanej anteny znajdzie się poza założonym zakresem pracy systemu RFID w paśmie UHF (865,6-867,6 MHz). Z tego powodu konieczne jest obliczenie poprawki  $\Delta L$  dla długości boku promiennika:

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\varepsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left( \frac{W}{h} + 0,262 \right)}{(\varepsilon_{\text{reff}} - 0,258) \left( \frac{W}{h} + 0,813 \right)} \quad (5)$$

Kompletna zależność, za pomocą której można wyznaczyć długość boku  $L$  promiennika, przyjmuje następującą postać:

$$L = \frac{c}{f_0 \cdot \sqrt{\varepsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L = \frac{\lambda}{2} - 2\Delta L \quad (6)$$

Projekt mikropaskowej linii zasilającej o impedancji charakterystycznej  $Z_C$  (zakładane 50  $\Omega$ ) rozpoczyna wyznaczenie zmiennych pomocniczych  $a$  i  $b$ :

$$a = \frac{Z_C}{60} \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} \left( 0,23 + \frac{0,11}{\varepsilon_r} \right) \quad (7)$$

$$b = \frac{60\pi^2}{Z_C \sqrt{\varepsilon_r}} \quad (8)$$

Jeżeli parametr  $a > 1,52$ , to szerokość linii zasilającej oblicza się z równania:

$$A = \frac{8e^a}{e^{2a} - 2} \cdot h \quad (9)$$

natomiast, gdy  $a \leq 1,52$ , słuszna jest zależność:

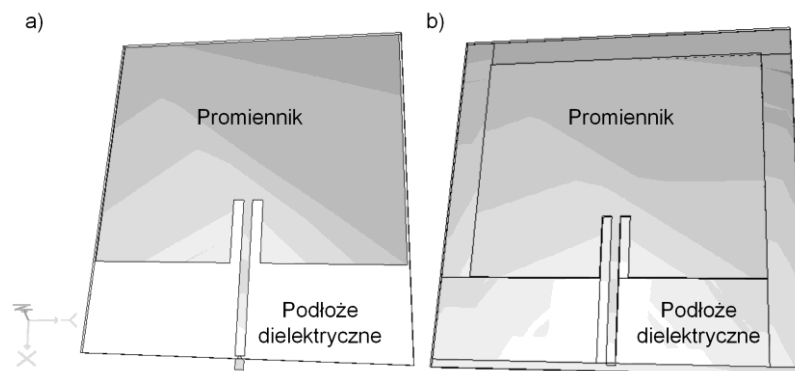
$$A = \frac{2}{\pi} \left\{ b - 1 - \ln(2b - 1) + \frac{\varepsilon_r - 1}{2\varepsilon_r} \left[ \ln(b - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\varepsilon_r} \right] \right\} \cdot h \quad (10)$$

Zysk energetyczny dobrze dopasowanej pojedynczej anteny panelowej, wykonanej w technice mikropaskowej na stratnym podłożu, może osiągnąć wartość ponad 6 dBi.

### 2.3. Model anteny

Na podstawie zaprezentowanych zależności, w kolejnym etapie procesu konieczne było przygotowanie odpowiednich modeli anteny dla programu HyperLynx 3D EM firmy Mentor Graphics. Przedmiotowe oprogramowanie, bazujące na metodzie momentów, jest szeroko wykorzystywane do obliczeń numerycznych struktur RF, anten i ich układów, obwodów mikrofalowych, filtrów oraz wielu innych układów mała i wielkoczęstotliwościowych. Zaimplementowane w nim algorytmy są skuteczne w analizie anten modelowanych jako płaskie struktury metaliczne, separowane warstwami dielektrycznymi.

Ze względu na dokładność odwzorowania struktury geometrycznej projektowanego układu, model anteny można przedstawić w postaci: a) „*infinite*” z nieskończoną masą i nieskończonym dielektrykiem, b) „*finite ground*” z ograniczoną masą i nieskończonym dielektrykiem i c) „*finite substrate*” z ograniczoną masą i dielektrykiem. Wymienione w kolejności trzy typy modelu charakteryzuje coraz bardziej skomplikowana struktura geometryczna. Ich przygotowanie umożliwiło w finale osiągnięcie ostatecznych rozmiarów geometrycznych i parametrów dla projektowanej anteny.



Rys. 3. Opracowane modele anteny: a) typ „*infinite*”, b) typ „*finite substrate*”

Fig. 3. Developed antenna models: a) „*infinite*” type, b) „*finite substrate*” type

Opracowany model typu „*infinite*” posiadał tylko jedną warstwę, która reprezentowała promiennik umieszczony na podłożu dielektrycznym (Rys. 3-a). Dielektryk oraz masa nie miały określonego rozmiaru, więc nie było potrzeby ich dodatkowego definiowania.

W opracowanym modelu typu „*finite ground*” zdefiniowano drugą warstwę metaliczną, która reprezentowała geometrycznie ograniczoną masę anteny. Wadą tego modelu była konieczność wzajemnego dopasowania siatek numerycznych promiennika i masy, co wymagało podzielenia tych warstw na odpowied-

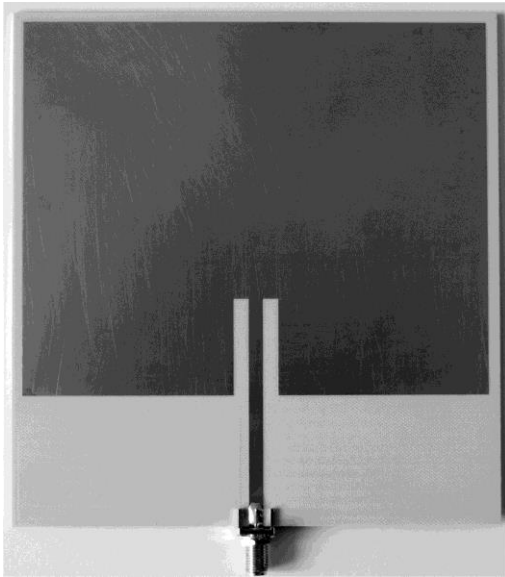


nie fragmenty. Niedopasowanie linii siatek często może prowadzić do rozbieżności wyników obliczeń i późniejszych pomiarów realizowanych dla wykonanej na podstawie modelu anteny.

Z uwagi na wymienione problemy, podczas obliczeń zdecydowano się na wykorzystanie tylko modelu „*infinite*”, a także typu „*finite substrate*”, w którym dodatkowo zdefiniowano ograniczoną geometrycznie masę i warstwę dielektryka (Rys. 3-b).

## 2.4. Wyniki obliczeń i pomiarów anteny

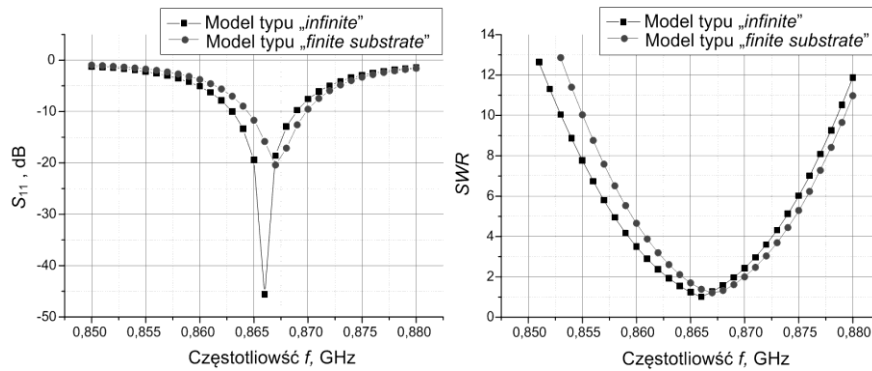
Przeprowadzone obliczenia numeryczne opracowanych modeli umożliwiły osiągnięcie końcowych parametrów konstrukcyjnych (Rys. 2):  $W=123,8$  mm,  $L=99,8$  mm,  $A=3,7$  mm,  $l_1=60$  mm,  $l_2=12$  mm,  $l_3=25,8$  mm, które zapewniają spełnienie założeń przyjętych dla projektowanej anteny układu czytnika/programatora RFID pasma UHF. Na podstawie uzyskanych danych dokonano praktycznej realizacji przedmiotowej anteny (Rys. 4).



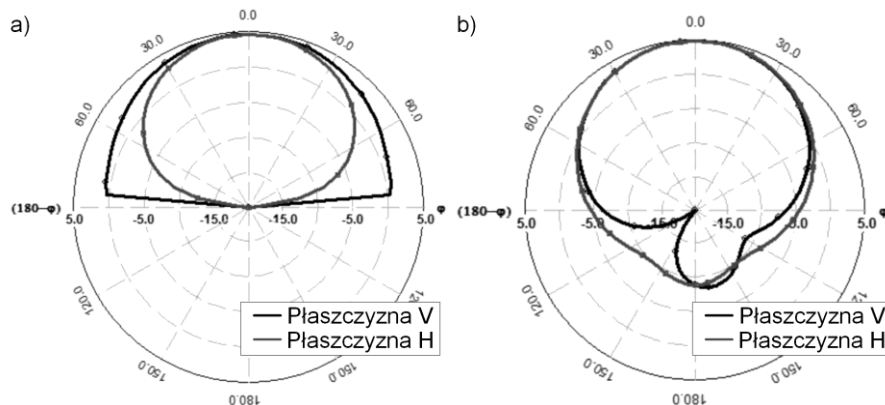
Rys. 4. Praktyczna implementacja anteny

Fig. 4. Practical implementation of antenna

Antenę wykonano z dwustronnie miedzianego laminatu ISOLA IS-680-300 (grubość warstwy dielektrycznej  $h=1,547$  mm, grubość warstwy miedzi  $18 \mu\text{m}$ ,  $\epsilon_r=3$ ,  $\text{tg}\delta=0,003$ ). Z uwagi na brak informacji o parametrach warstwy dielektrycznej dla założonej częstotliwości rezonansowej, podczas obliczeń modeli przyjęto wartości katalogowe, specyfikowane dla  $f=2$  GHz.

Rys. 5. Wyniki obliczeń  $S_{11}$  i  $SWR$ Fig. 5. Calculation results of  $S_{11}$  and  $SWR$ 

Na rysunku 5 zestawiono porównawcze wyniki obliczeń strat odbicia ( $S_{11}$ ) oraz współczynnika fali stojącej ( $SWR$ ), natomiast na rysunku 6 zaprezentowano diagramy kierunkowe charakterystyki promieniowania dla obu opracowanych modeli anteny. Dla typu „infinite” uzyskano  $S_{11}=-45$  dB ( $SWR=1,02$ ), kierunkowość  $D=6,93$  dBi oraz całkowity zysk energetyczny  $G=4,58$  dBi, natomiast w przypadku modelu „finite substrate”:  $S_{11}=-18,08$  dB ( $SWR=1,28$ ),  $D=6,68$  dBi,  $G=4,94$  dBi. Obliczenia wykonano dla częstotliwości rezonansowej  $f_0=866$  MHz.

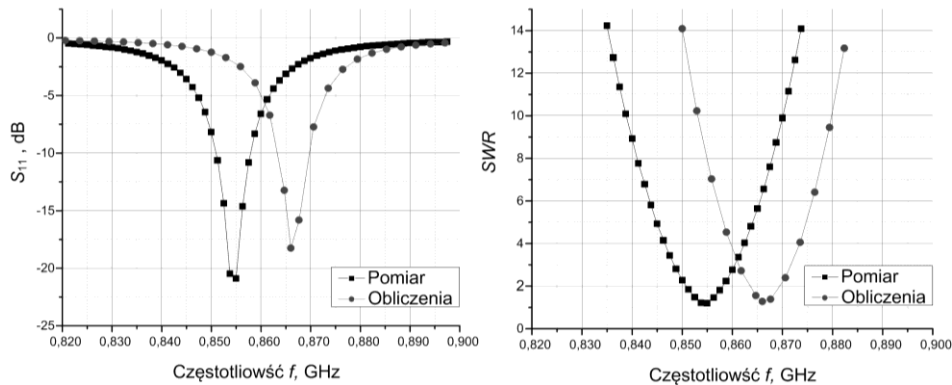


Rys. 6. Diagram charakterystyki promieniowania anteny dla częstotliwości 866 MHz: a) model typu „infinite”, b) model typu „finite substrate”

Fig. 6. Diagrams of radiation pattern for antenna at 866 MHz: a) „infinite” type, b) „finite substrate” type

Wyniki obliczeń obu modeli przygotowanych dla anteny mikropaskowej, różniły się głównie poziomem dopasowania impedancyjnego. Przeprowadzone obliczenia porównawcze (dla ustalonej geometrii anteny) nie wykazywały znaczących różnic w częstotliwości rezonansowej  $f_0$ . Wobec tego, w przypadku przedmiotowej konstrukcji anteny, model typu „*infinite*” można stosować w celu poszukiwania właściwej częstotliwości  $f_0$ , natomiast jeżeli wymagane jest dokładne sprawdzenie charakterystyki promieniowania, impedancji wejściowej, zysku energetycznego i innych parametrów, wówczas można przeprowadzić analizę numeryczną wykorzystując opracowany model typu „*finite substrate*”. Wyniki obliczeń modelu typu „*finite substrate*” charakteryzuje największa ich zbieżność z rzeczywistością, ale także konieczność wykonania bardziej czasochłonnych obliczeń numerycznych, które można wykonywać przy wykorzystaniu dostępnych zasobów typowego komputera klasy PC.

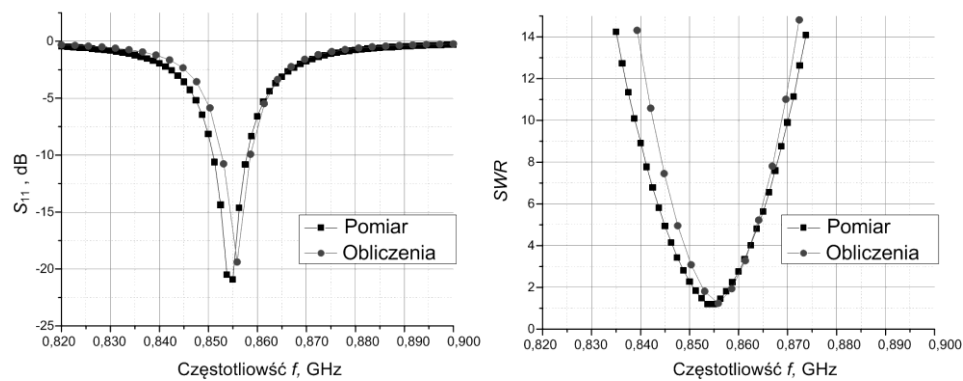
Pomiary parametrów opracowanej anteny wykonano przy wykorzystaniu wyposażenia laboratorium techniki RFID ZSEiT PRz. Podczas ich realizacji wykorzystano wektorowy analizator obwodów LA Techniques LA19-13-02 i dedykowany do przyrządu zestaw kalibracyjny DW96635. Na rysunku 7 zestawiono porównawcze wyniki strat odbicia oraz współczynnika fali stojącej. Porównania tego dokonano na podstawie wyników obliczeń modelu typu „*finite substrate*” dla wstępnie przyjętej, katalogowej wartości względnej przenikalności elektrycznej warstwy dielektrycznej laminatu ( $\epsilon_r=3$ ,  $f=2$  GHz).



Rys. 7. Wyniki obliczeń i pomiarów  $S_{11}$  i  $SWR$  anteny („*finite substrate*”,  $\epsilon_r=3$ )

Fig. 7. Calculation and measurement results of  $S_{11}$  and  $SWR$  for antenna („*finite substrate*”,  $\epsilon_r=3$ )

W rozpatrywanym przypadku, zmierzona częstotliwość rezonansowa ( $f_0=855$  MHz,  $S_{11}=-20,8$  dB, oraz  $SWR=1,2$ ) jest o około 11 MHz mniejsza niż uzyskana z obliczeń modelu. Rozbieżność ta jest spowodowana nieznaną rzeczywistą wartością względnej przenikalności elektrycznej warstwy dielektrycznej wykorzystanego laminatu dla częstotliwości rezonansowej.



Rys. 8. Wyniki obliczeń i pomiarów  $S_{11}$  i  $SWR$  anteny („*finite substrate*”,  $\epsilon_r=3,08$ )

Fig. 8. Calculation and measurement results of  $S_{11}$  and  $SWR$  for antenna („*finite substrate*”,  $\epsilon_r=3,08$ )

Tylko nieznaczna korekta w modelu wartości przenikalności powoduje uzyskanie zbieżności wyników obliczeń i pomiarów (Rys. 8). Przeprowadzoną korektę uzasadnia konieczność rozpatrywania mniejszej częstotliwości pracy projektowanej anteny w porównaniu do danych katalogowych wykorzystanego materiału. Dla skorygowanej wartości  $\epsilon_r=3,08$ , w wyniku obliczeń modelu „*finite substrate*” uzyskano:  $f_0=855$  MHz i  $S_{11}=-19,32$  dB ( $SWR=1,24$ ).

### 3. Podsumowanie

Dla użytkownika systemu RFID istotne jest prawidłowe i niezawodne działanie zautomatyzowanego procesu identyfikacji. Wymagane jest rozpoznawanie wszystkich znakowanych obiektów znajdujących się w określonej przestrzeni. Warunek ten jest możliwy do spełnienia tylko poprzez prawidłowo wykonany projekt systemu RFID. Czynności te można wykonać na podstawie pełnej wiedzy o składowych urządzeniach, dla których możliwe będzie szacowanie obszaru poprawnej pracy i jego podstawowych parametrów (np. bardzo użytecznego zasięgu działania). Jednym z tych urządzeń jest antena czytnika/programatora, od której – w głównej mierze – zależą przestrzenne granice obszaru poprawnej pracy systemu RFID. Niepełne lub niewłaściwe specyfikowanie jej parametrów może skutkować zmniejszeniem rozmiaru obszaru poprawnej pracy (zmniejszeniem zasięgu działania systemu). Omówione przesłanki stanowiły podstawę do zaprezentowania procesu syntezy użytecznej, mikropaskowej konstrukcji anteny układu czytnika/programatora funkcjonującego w paśmie UHF zgodnie z wymaganiami elektronicznego kodu produktu (EPC Class 1 Gen 2, ISO/IEC 18000-6c). W artykule szczególną uwagę zwrócono na prawidłowe przygotowanie modelu numerycznego projektowanej struktury promieniującej,

ponieważ proces ten jest kluczowy dla sprawnej realizacji prac rozwojowo-wdrożeniowych, prowadzonych współcześnie w obszarze projektowania anten.

## Podziękowania

Część przedmiotowych prac została zrealizowana w ramach projektu pt. „Synteza autonomicznego identyfikatora półpasywnego, dedykowanego do pracy w wielokrotnych, dynamicznych systemach RFID”, finansowanego przez NCBR w ramach I PBS (nr PBS1/A3/3/2012). W pracach badawczych wykorzystano także aparaturę zakupioną w wyniku realizacji projektów: a) „Rozbudowa infrastruktury naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej”, nr POPW.01.03.00-18-012/09, współfinansowanego ze środków UE w ramach PO RPW 2007-2013, Priorytet I, Nowoczesna Gospodarka, Działanie 1.3, Wspieranie Innowacji; b) "Budowa, rozbudowa i modernizacja bazy naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej", nr UDA-RPPK.01.03.00-18-003/10-00, współfinansowanego ze środków UE w ramach RPO WP 2007-2013.

## Literatura

- [1] Balanis C.: Antenna Theory, 3-rd Ed., Wiley, 2005.
- [2] Bhartia P., Garg R., Bahl Inder, Ittipiboon A.: Microstrip antenna design handbook, Artech House, 2001.
- [3] Brown D.: RFID Implementation, McGraw-Hill, 2007.
- [4] Chen J. C., Cheng C. H., PoTsang Huang B., Wang K. J., Huang C. J., Ting T. C.: Warehouse management with lean and RFID application: a case study, Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. May, 2013.
- [5] Dobkin D.: The RF in RFID - Passive UHF RFID in Practice, Elsevier-Newnes, 2007.
- [6] Dolgui A., Proth J. M.: Supply Chain Engineering, Useful Methods and Techniques, Springer, 2010.
- [7] EPCglobal Inc.: Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860-960 MHz, Ver. 1.2.0, 2008.
- [8] Finkenzeller K.: RFID Handbook, 3-rd Ed., Willey, 2010.
- [9] Jankowski-Miśkiewicz P., Kalita W., Pawłowicz B.: Problem of dynamic change of tags location in anticollision RFID systems, Microelectronics Reliability, Vol. 48, Issue 6, pp. 911-918, 2008.
- [10] Jankowski-Miśkiewicz P., Kalita W.: Obszar poprawnej pracy – podstawowy parametr aplikacyjny systemów RFID, Elektronika, nr 8, str. 67-72, 2010.
- [11] Jones E., Chung C.: RFID in Logistics - A Practical Introduction, CRC, 2008.
- [12] Kochendörfer P.: Entering a secure future, Global Identification, Vol. Oct., pp. 24-26, 2012.
- [13] Lu J. H., Wang S. F.: Planar Broadband Circularly Polarized Antenna With Square Slot for UHF RFID Reader, IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 61, Issue 1, pp. 45-53, 2013.

- [14] Medeiros C. R., Costa J. R., Fernandes C. A.: RFID Reader Antennas for Tag Detection in Self-Confined Volumes at UHF, *IEEE Antennas Propag. Mag.*, Vol. 53, Issue 2, pp. 39-50, 2011.
- [15] Pergoń M., Zieniutycz W., Sorokosz Ł.: Antena mikropaskowa o poszerzonym paśmie pracy, *Wydawnictwo SIGMA NOT, Elektornika*, nr 11, s.130-133, 2010.
- [16] Sim C., Chi C. J.: A Slot Loaded Circularly Polarized Patch Antenna for UHF RFID Reader, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 60, Issue 10, pp. 4516-4521, 2012.
- [17] Wheeler M.: Automating processes with RFID, *Global Identification*, Vol. Feb., pp. 10-13, 2013.
- [18] Wincza K.: Planarne i konforemne zintegrowane układy antenowe z macierzą Butlera jako siecią formowania wielu wiązek. *Analiza, projektowanie i badania eksperymentalne*, pp.110-125, Wrocław, 2007.

## THE SYNTHESIS OF A MICROSTRIP ANTENNA OF READ/WRITE DEVICES FOR UHF BANDWIDTH

### Summary

In radio frequency identification systems a variety of antenna design solutions are being used. Due to the low costs of production and small dimensions, microstrip solutions are frequently used as an antenna design of read/write devices for UHF band. The reason for the intensive development of microstrip technology is the opportunity to develop structures of any shape and parameters, the development of applications supporting their design and the relatively low cost of implementation of such antennas. The rapid development of microstrip technology has promoted the emergence of high-quality microwave dielectric materials, which are used to make printed antenna structures on laminates coated copper. The materials of these structures are characterized by three basic parameters: thickness, dielectric constant and loss factor. Another element that contributed to the development of microstrip antennas, was the emergence of dedicated computer applications in which the numerical method is used (such as finite-element method, finite difference time domain and moments method). The use of such applications supports the process of designing antennas, because there is the possibility to quickly perform numerical analysis on executed construction taking into consideration parameters that characterize the system. The ability to adjust the construction without the need for real systems, lowers the cost of prototyping. The synthesis of an antenna design of read/write devices for UHF band that operates in accordance with the requirements of the electronic product code (protocol ISO/IEC 18000-6c) has been presented in this paper. Based on the prepared model, the parameters which affect the proper functioning of the presented antenna in a given radio communication system have also been identified.

**Keywords:** microstrip antenna, antenna parameters, RFID, radio communication system

DOI: 10.7862/re.2013.9

*Tekst złożono w redakcji:* październik 2013

*Przyjęto do druku:* grudzień 2013