

doi:10.15199/48.2018.12.20

Projekt i charakterystyki wielopoziomowej anteny PIFA dla systemu GPS oraz Bluetooth

Streszczenie. W artykule zostały przedstawione wyniki komputerowego projektowania i symulacji wielopoziomowej anteny PIFA dla systemu GPS oraz Bluetooth. Dzięki dołączeniu dodatkowych elementów promieniujących do klasycznej struktury anteny PIFA uzyskano pracę w trzech zakresach częstotliwości. W artykule przedstawiono charakterystyki częstotliwościowe impedancji anteny, WFS oraz charakterystyki promieniowania we wszystkich pasmach pracy anteny.

Abstract. The paper presents results of a computer design and simulation of a tri-band multilayer PIFA antenna for GPS and Bluetooth applications. The antenna design algorithm is described. An additional radiator has been appended to obtain the tri-band performance. Frequency characteristics of the antenna impedance, voltage SWR and radiation patterns are shown. (Design and characteristics of multilayer PIFA antenna for GPS and Bluetooth systems).

Słowa kluczowe: antena PIFA, antena wielopoziomowa.

Keywords: PIFA antenna, multilayer antenna.

Wstęp

Obecnie powszechnie korzysta się z różnych urządzeń bezprzewodowych, w tym z urządzeń przenośnych, pracujących w różnych systemach radiokomunikacyjnych. Istotnym elementem takich urządzeń jest antena. Właściwie zaprojektowana antena odgrywa szczególnie istotną rolę m.in. z punktu widzenia eliminacji szeregu problemów związanych z kompatybilnością elektromagnetyczną. Wymagania stawiane antenom pracującym w różnych urządzeniach zależą od szeregu czynników. W każdym przypadku pożądane jest uzyskanie satysfakcjonującego dopasowania anteny w określonych pasmach jej pracy. Natomiast wymiary anteny, kształt charakterystyki promieniowania oraz wartość maksymalnego zysku energetycznego są również istotne, ale zależą w dużej mierze od specyfiki określonego urządzenia. Opis wymagań stawianych urządzeniom przenośnym i antenom w nich zaimplementowanym oraz liczne przykłady konstrukcji takich anten można znaleźć w [1-3].

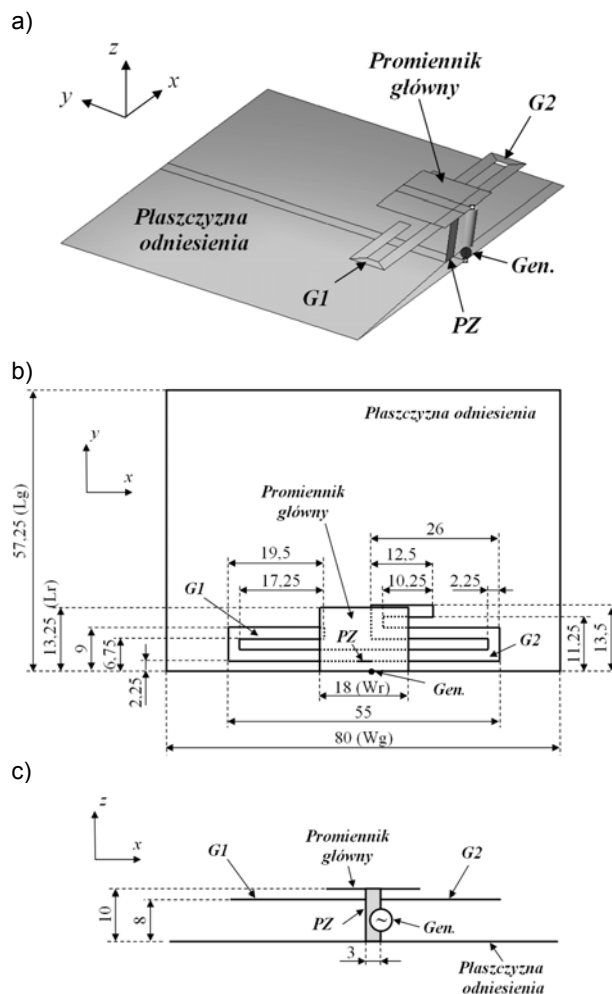
Urządzenia mobilne działające w różnych systemach bezprzewodowych wymagają wykorzystania anten pracujących w różnych pasmach częstotliwości. Możliwe są dwa podejścia do tego problemu: zastosowanie anten wielopasmowych, pracujących w kilku odrębnych pasmach częstotliwości lub zastosowanie anten szerokopasmowych czy ultraszerokopasmowych, których jedno szerokie pasmo pracy pokrywa zakresy częstotliwości wykorzystywanych przez dane urządzenie systemów.

Konstruktorzy radzą sobie z problemem projektowania anten wielopasmowych wykorzystując różne techniki. W literaturze można znaleźć wiele przykładów różnych konstrukcji takich anten. Sporą część stanowią tu anteny PIFA (Planar Inverted F Antena) i ich różne modyfikacje. Wśród opisywanych anten wyróżnić można projekty anten wielopasmowych mikropasmowych [4], ceramicznych anten PIFA dla systemów ultraszerokopasmowych UWB [5], wielopasmowych i wielopoziomowych anten PIFA [6,7] oraz wielopasmowych anten PIFA z dodatkowymi promieniującymi elementami pasożytniczymi [8, 9].

W niniejszym artykule przedstawiono projekt anteny PIFA o zmodyfikowanej strukturze, pracującej w trzech pasmach częstotliwości: dwóch pasmach systemu GPS (1,23 GHz i 1,575 GHz) i w paśmie systemu Bluetooth (2,4 GHz). Dodatkowe pasma pracy klasycznej struktury anteny PIFA zostały uzyskane w wyniku zastosowania osobnych elementów promieniujących. Więcej szczegółów dotyczących przedstawionej anteny można znaleźć w [10].

Struktura analizowanej anteny

Prezentowana w artykule antena jest anteną PIFA. Pracę w trzech pasmach uzyskano dzięki zastosowaniu dwóch promienników. Za pracę w jednym z pasm odpowiada promiennik główny o kształcie litego prostokąta, natomiast w pozostałych pasmach – drugi promiennik, składający się z dwóch gałęzi o dwóch różnych fizycznych długościach, odpowiadających dwóm długościom fali.



Rys.1. Widok ogólny anteny (a) oraz rzut w płaszczyźnie x-y (b) i rzut w płaszczyźnie x-z (c) (wymiarzy w mm)

Budowa anteny zaprezentowana jest na rys.1. (rys.1,a przedstawia widok ogólny, natomiast rys.1,b-c – rzuty w płaszczyznach odpowiednio x-y oraz x-z). Płaszczyzna odniesienia ma wymiary 57,25 x 80 mm ($L_g \times W_g$) i zawiera się w płaszczyźnie x-y prezentowanego układu współrzędnych. Promiennik główny składa się z płyty w kształcie prostokąta o wymiarach 13,25 x 18 mm ($L_r \times W_r$). Został on umieszczony na wysokości 10 mm nad płaszczyzną odniesienia. Drugi promiennik, zlokalizowany 2 mm poniżej pierwszego i równoległy do niego, ma obrys o kształcie prostokątnej płyty o wymiarach 11,25 x 55 mm. W płycie tej wycięte są szczeliny dzielące ją na dwie gałęzie: G_1 i G_2 . Sumaryczne długości gałęzi wynoszą odpowiednio 47,75 oraz 70 mm, szerokość obu gałęzi równa jest 2,25 mm.

Płaszczyzna odniesienia jest równoległa do obu promienników. W rzucie w płaszczyźnie x-y dolne krawędzie płaszczyzny odniesienia oraz głównego promiennika nakładają się na siebie (środki ich krawędzi pokrywają się). Dolna krawędź drugiego, niższego promiennika odsunięta jest o 2,25 mm w głąb płaszczyzny odniesienia, wzdłuż osi y. Pasek zwierający PZ zawarty jest w płaszczyźnie x-z, ma 3 mm szerokości i łączy płaszczyznę odniesienia bezpośrednio z krawędzią niższego promiennika oraz z górnym promiennikiem w odległości 2,25 mm od jego dolnej krawędzi (wzdłuż osi y). Pasek zasilania (z generatorem Gen) umieszczony jest w płaszczyźnie x-z, jeden jego koniec dołączony jest do dolnej krawędzi płaszczyzny odniesienia, a drugi do dolnej krawędzi głównego promiennika, 1,5 mm od ich środków.

Metodyka projektowania

Głównym założeniem przyjętym podczas projektowania prezentowanej anteny było nieprzekraczanie przez parametr WFS wartości 2 w trzech kolejnych pasmach pracy anteny. Drugie założenie dotyczyło charakterystyki promieniowania – należało zadbać, by w każdym paśmie pracy jej kształt był zbliżony do dookólnego. Użytkownik danego urządzenia przenośnego, w którym antena docelowo może być zaimplementowana, nie powinien odczuwać zmiany w jakości transmisji w zależności od tego, w jakim położeniu trzymane jest urządzenie. Po trzecie, starano się, by wymiary anteny były możliwie niewielkie.

Na początku procesu projektowania założono wymiary płaszczyzny odniesienia równe 55 x 80 mm. Zdecydowano, że wymiary głównego promiennika będą dostosowane do pracy w paśmie systemu Bluetooth. Aby wyznaczyć początkowe wymiary głównego promiennika, posłużono się zależnością, która wiąże sumę szerokości i długości promiennika z wartością częstotliwości środkowej danego pasma pracy: suma tych wymiarów powinna być zbliżona do $\frac{1}{4}$ długości fali odpowiadającej danej częstotliwości [1] (daje to 31,25 mm dla fali o częstotliwości 2,4 GHz). W analogiczny sposób wyznaczono wstępne długości gałęzi G_1 i G_2 , odpowiedzialnych za pracę w obu zakresach systemu GPS (długości gałęzi odpowiadają $\frac{1}{4}$ długości fali – odpowiednio 61 i 47 mm dla fali o częstotliwości 1,23 GHz i 1,575 GHz). Kształt i wymiary szczelin dobrano tak, by wytworzyły w płycie drugiego promiennika gałęzie o obliczonych wcześniej długościach.

W końcowej fazie projektowania zmieniano wymiary poszczególnych elementów anteny tak, aby spełniała ona wymienione wyżej założenia projektowe. Ostateczne wymiary prezentowanej anteny zostały przedstawione na rys.1,b-c.

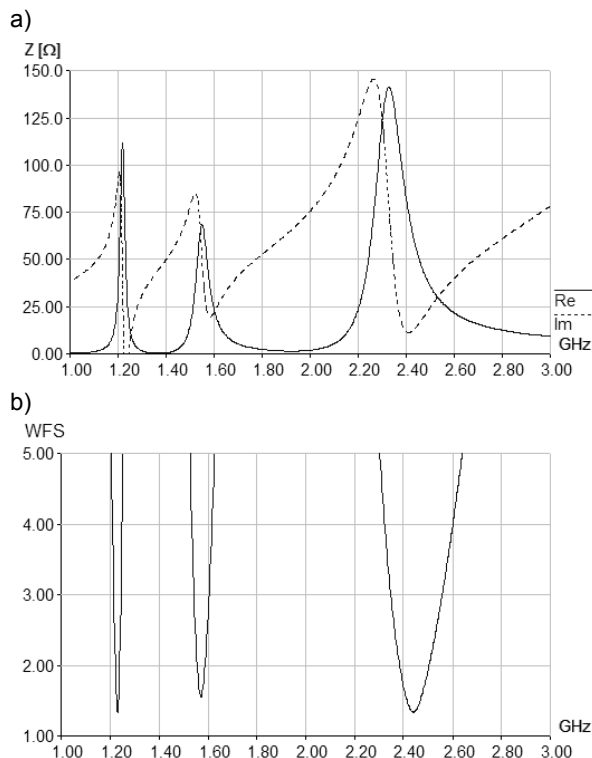
Wyniki symulacji komputerowej

Obliczenia modelu komputerowego analizowanej anteny zostały wykonane w programie WIPL-D Electromagnetic Solver, wykorzystującym metodę momentów (MoM). Model

komputerowy anteny jest złożony z szeregu metalowych płyt w kształcie czworokąta, o wierzchołkach położonych w odpowiednio zdefiniowanych węzłach. Płyty te połączone są ze sobą w taki sposób, że dwie sąsiednie stykają się ze sobą jedną wspólną całą krawędzią, co jest widoczne na rys.1,a. Pełny model komputerowy anteny zawiera 22 płyty, zdefiniowane za pomocą 44 węzłów. Obliczenia charakterystyk częstotliwościowych parametrów anteny wykonano w paśmie częstotliwości 1-3 GHz. Dla przyjętego zakresu częstotliwości analizy modelu komputerowego anteny liczba niewiadomych w wykorzystywanej metodzie obliczeniowej MoM równa jest 97. Jest to liczba niewielka, jednak w użytym do obliczeń programie pozwala na uzyskanie stosunkowo dokładnych wyników w przypadku analizy struktur pozbawionych elementów dielektrycznych. Parametry generatora użytego jako źródło wzbudzenia typowo ustawiono na $E_g = 1$ V i $R_g = 50$ Ω . Symulację komputerową przeprowadzono dla modelu anteny umieszczonego w wolnej przestrzeni.

Obliczone charakterystyki częstotliwościowe impedancji wejściowej i WFS anteny, w odniesieniu do wartości impedancji 50 Ω , zostały pokazane na rys.2. W kolejnych pasmach pracy anteny część rzeczywista impedancji wejściowej przyjmuje wartości zbliżone do 50 Ω , natomiast część urojona przyjmuje wartości dodatnie, rzędu kilkudziesięciu Ω . Przekładając to na charakterystykę WFS anteny widoczne jest, że we wszystkich pasmach pracy uzyskano dopasowanie zgodne z przyjętymi założeniami projektowymi. Wartość WFS nie przekracza 2 w kolejnych zakresach częstotliwości pracy anteny: 1222 - 1238 MHz (minimalna wartość $WFS_{min1} = 1,33$ na częstotliwości 1230 MHz), 1556 - 1588 MHz ($WFS_{min2} = 1,55$ na częstotliwości 1574 MHz), 2,383 - 2,5 GHz ($WFS_{min3} = 1,33$ na częstotliwości 2,44 GHz).

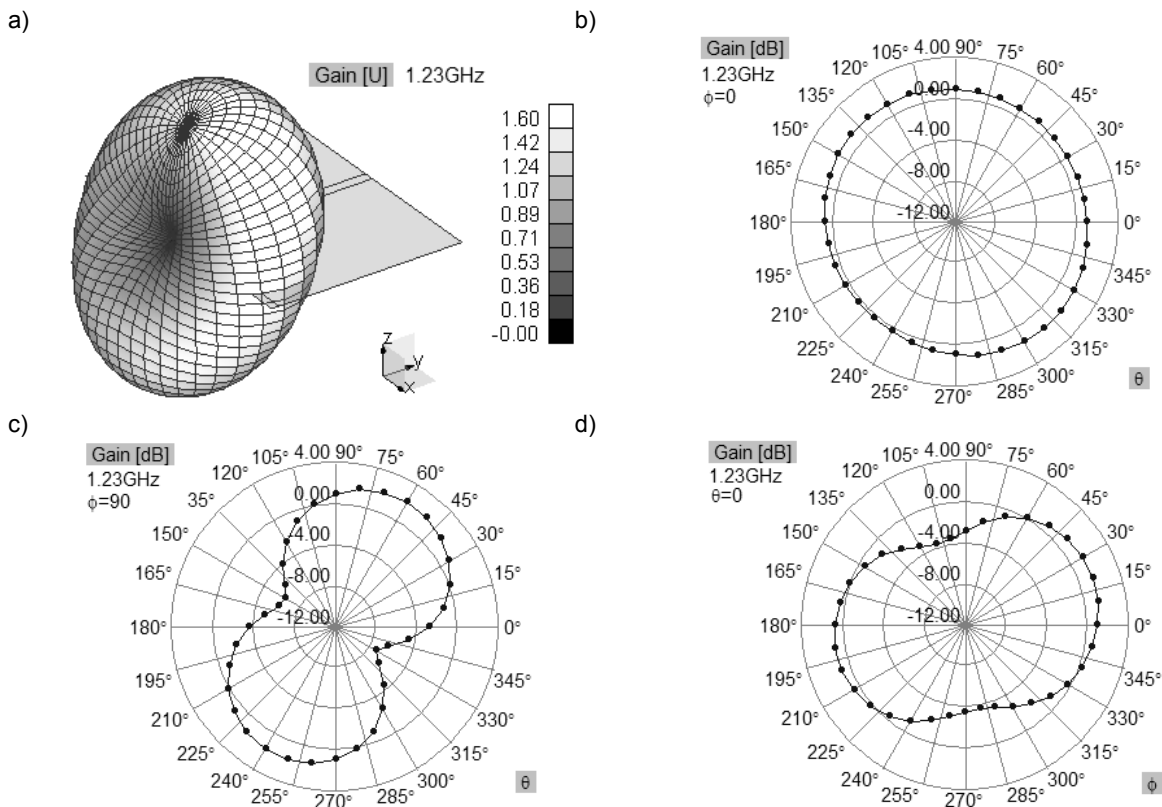
Na rys.3-5 zostały przedstawione charakterystyki promieniowania anteny wyznaczone dla częstotliwości bliskich częstotliwościom środkowym kolejnych pasm pracy anteny: 1,23 GHz, 1,575 GHz oraz 2,48 GHz.



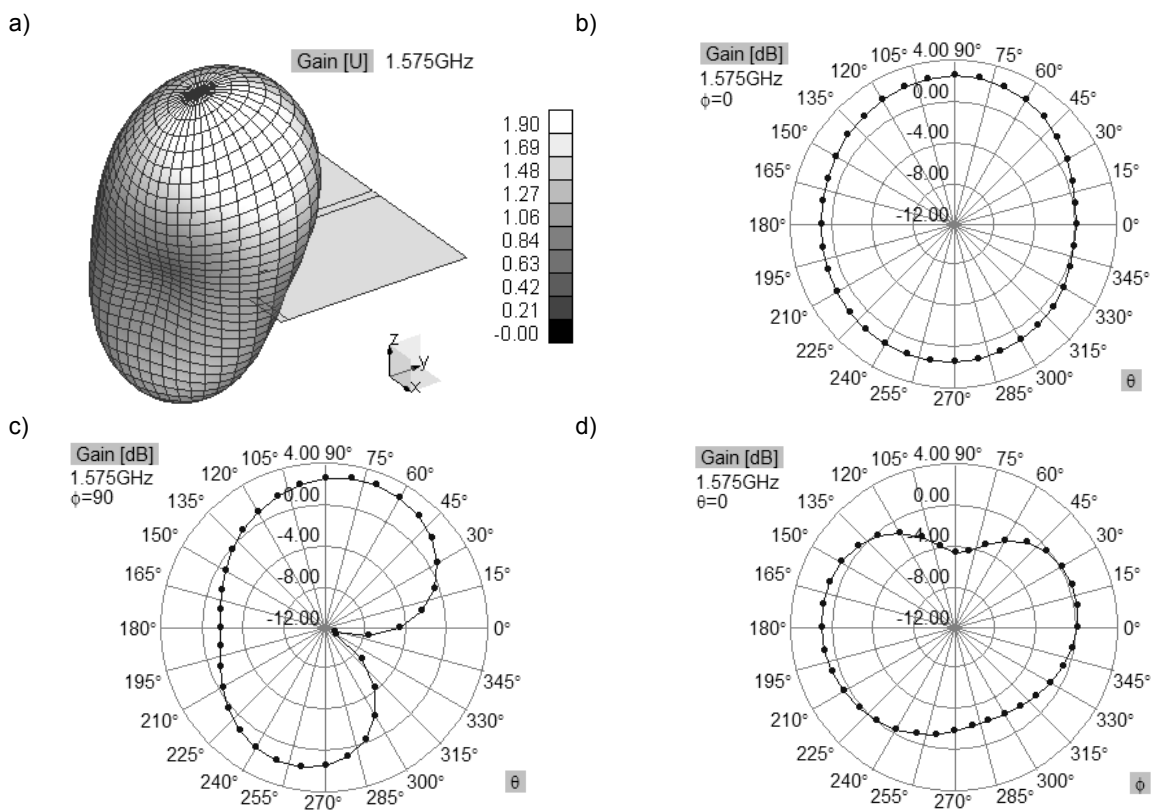
Rys.2. Charakterystyki częstotliwościowe impedancji anteny (a) oraz WFS (b)

Na rys.3-5 zostały przedstawione charakterystyki zysku energetycznego anteny: przestrzenne w skali liniowej (rysunki a) oraz trzy główne przekroje ortogonalnego układu współrzędnych w skali logarymicznej (rysunki b-d). Kształt

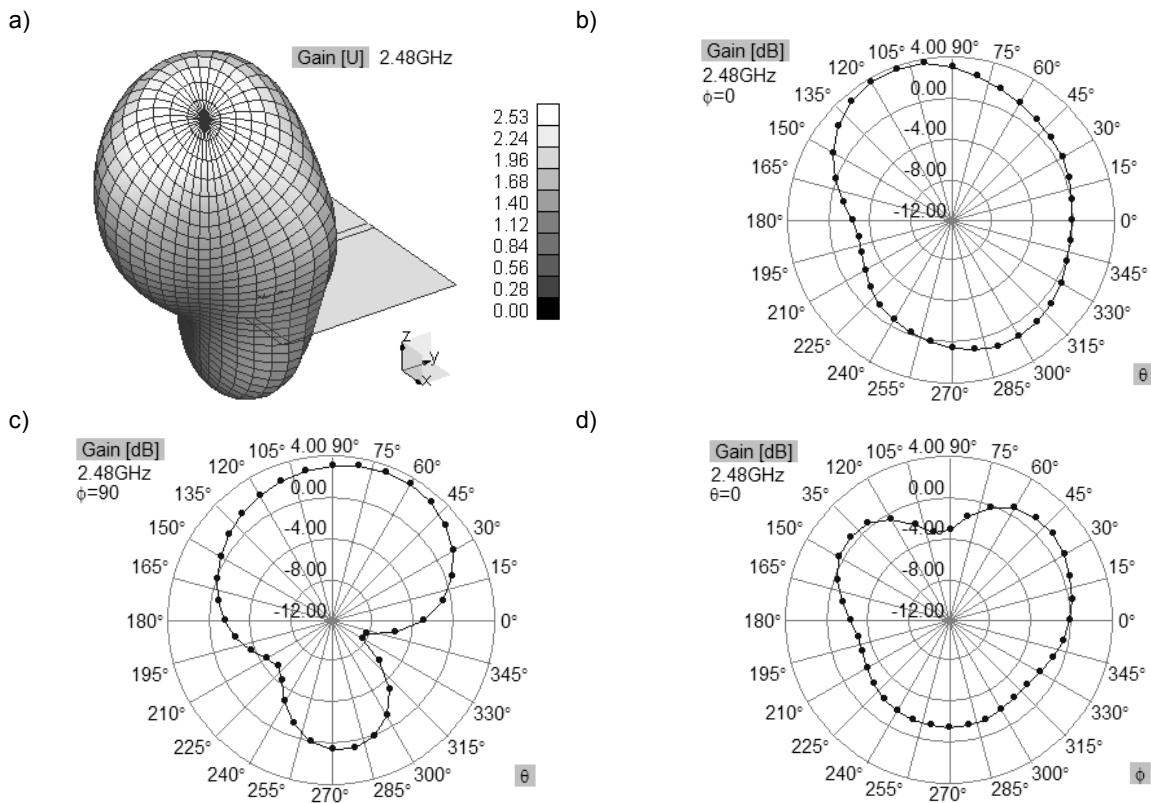
zaprezentowanych charakterystyk promieniowania jest zbliżony do charakterystyk dookólnych. Maksymalne wartości zysku energetycznego dla kolejnych częstotliwości równe są odpowiednio: 2,04 dB, 2,79 dB i 4,03 dB.



Rys.3. Charakterystyki zysku energetycznego anteny na częstotliwości 1,23 GHz: charakterystyka przestrzenna w skali liniowej (a), przekroje w skali logarymicznej w płaszczyźnie x-z (b), w płaszczyźnie y-z (c) oraz w płaszczyźnie x-y (d)



Rys.4. Charakterystyki zysku energetycznego anteny na częstotliwości 1,575 GHz: charakterystyka przestrzenna w skali liniowej (a), przekroje w skali logarymicznej w płaszczyźnie x-z (b), w płaszczyźnie y-z (c) oraz w płaszczyźnie x-y (d)



Rys.5. Charakterystyki zysku energetycznego anteny na częstotliwości 2,48 GHz: charakterystyka przestrzenna w skali liniowej (a), przekroje w skali logarytmicznej w płaszczyźnie x-z (b), w płaszczyźnie y-z (c) oraz w płaszczyźnie x-y (d)

W każdym przypadku kierunek maksymalnego promieniowania jest zbliżony do kierunku prostopadłego do płaszczyzny anteny (dodatni kierunek osi z). Dla innych kierunków wartości zysku energetycznego są o kilka dB niższe, co jest typowe dla tego typu konstrukcji anten stosowanych w urządzeniach przenośnych. Z powodu niewielkiej szerokości kolejnych rozpatrywanych pasm pracy, kształty charakterystyk i wartości maksymalnego zysku energetycznego w poszczególnych pasmach praktycznie się nie zmieniają.

Wnioski

W artykule przedstawiono projekt wielopoziomowej anteny PIFA dla systemu GPS i Bluetooth. Pracę w trzech osobnych pasmach częstotliwości uzyskano dzięki zastosowaniu elementów promieniujących umieszczonych na dodatkowym poziomie w klasycznej strukturze anteny PIFA. Antena charakteryzuje się dobrym dopasowaniem w kolejnych pasmach pracy i charakterystykami promieniowania zbliżonymi do dookólnych. Uzyskano typowe, dla podobnych konstrukcji anten, wartości maksymalnego zysku energetycznego. Dzięki trzem osobnym pasmom pracy anteny urządzenie, w którym jest ona zaimplementowana, jest dodatkowo zabezpieczone przed nadmiernym wpływem odbieranych sygnałów o częstotliwościach spoza rozważanych pasm pracy.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WE/1/2015 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

Autorzy: dr inż. Marek Garbaruk, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Katedra Telekomunikacji i Aparatury Elektronicznej, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: m.garbaruk@pb.edu.pl, mgr inż. Marta Mieczysłowska, Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny, Katedra Telekomunikacji Morskiej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, E-mail: m.mieczynska@we.am.gdynia.pl.

LITERATURA

- [1] Zhang Z., Antenna Design for Mobile Devices, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 2011
- [2] Waterhouse R. (editor), Printed Antennas for Wireless Communication, John Wiley & Sons Ltd, 2007
- [3] Fujimoto K. (editor), Mobile Antenna Systems Handbook. Third Edition, Artech House, Inc., 2008
- [4] Rahman A., Hossain M., Iqbal I.S., Sobhan S., Design and Performance Analysis of A Dual-band Microstrip Patch Antenna for Mobile WiMAX, WLAN, Wi-Fi and Bluetooth Applications, 2014 International Conference On Informatics, Electronics & Vision, May 23-24, 2014
- [5] Kearney D., John M., Ammann M.J., Miniature Ceramic Dual-PIFA Antenna to Support Band Group 1 UWB Functionality in Mobile Handset, IEEE Trans. on Antennas and Propagation., Vol. 59, No. 1, January 2011, pp. 336-339
- [6] Luhaib S.W., Quboa K.M., Abaoy B.M., Design and Simulation Dual-Band PIFA Antenna for GSM Systems, 9th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, March 20-23, 2012
- [7] Hossa R., Byndas A., Kabacik P., Białkowski M.E., Investigations into performances of single layer and stacked configurations of multiband PIFA antenna, XV International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, May 17-19, 2004, pp. 517 – 520
- [8] Redzwan F.N.M., Ali M.T., Tan M.N., Miswadi N.F., Design of Tri-band Planar Inverted F Antenna (PIFA) with Parasitic Elements for UMTS2100, LTE and WiMAX Mobile Applications, IEEE 2015 Intern. Conf. on Computer, Comm., and Control Technology, April 21 – 23, 2015, pp. 550-554
- [9] Garbaruk M., Mieczysłowska M., Design and characteristics of dual-band antenna with parasitic elements for Wi-Fi applications, Przegląd Elektrotechniczny, No 12/2017, pp. 6-9
- [10] Mieczysłowska M., Wspomagane komputerowo modelowanie i analiza anten terminali przenośnych systemów radiokomunikacyjnych, praca magisterska, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, 2016