

doi:10.15199/48.2021.12.25

Dwuzakresowa antena mikropaskowa dla systemu 5G

Streszczenie. Wprowadzenie standardu 5G telefonii bezprzewodowej wymusza poszukiwanie nowych anten lub układów antenowych aby sprostać wymogom transmisyjnym tego standardu. W pracy przedstawiona została dwuzakresowa antena mikropaskowa przeznaczona dla systemu 5G. Antena może pracować jednocześnie w dwóch pasmach częstotliwości 3,5 i 26 GHz przewidzianych dla tego systemu. W zaproponowanej geometrii uzyskano antenę, która może pracować nie tylko w zadanych dwóch pasmach ale również w wielu innych pasmach częstotliwości. Zaproponowana konstrukcja anteny może być zaadoptowana do tworzenia anten w dowolnych pasmach częstotliwości.

Abstract. The introduction of the standard 5G of the wireless telephony extorts the search of new antennas or antenna systems to come up to broadcasting requirements of this standard. In the work the dual-band microstrip antenna intended for of the system 5G has been presented. The antenna can work simultaneously in two frequency ranges 3,5 and 26 GHz provided for this standard. In proposed geometry one obtained the antenna which can work not only in given two bands but also in many other wavebands. Proposed construction of the antenna can be used in design of antennas with any wavebands. (**The dual-band microstrip antenna for the system 5G**).

Słowa kluczowe: antena mikropaskowa, system 5G, telekomunikacja.

Keywords: microstrip antenna, system 5G, telecommunication.

Wstęp

Obecnie technologie komunikacji bezprzewodowej rozwijają się bardzo szybko, ze względu na rosnącą liczbę użytkowników urządzeń bezprzewodowych. Technologia 5G jest piątą generacją ruchomych sieci telekomunikacyjnych i stanowi rozwinięcie czwartej generacji 4G LTE. Istotą powstania oraz zastosowania technologii 5G jest sprostanie dużemu wzrostowi liczby połączeń oraz transmisji danych wykorzystywanych w dzisiejszym społeczeństwie. Głównym motywem 5G jest połączenie milionów urządzeń razem. Piąta generacja technologii mobilnej oferuje nie tylko wyższą wydajność, ale również niezawodność. Standard piątej generacji telefonii bezprzewodowej jest standardem wprowadzonym w ostatnich latach, można przyjąć, że wprowadzenie tego standardu to rok 2020. Analizując historię wprowadzania kolejnych standardów łatwo zauważyć że poszczególne standardy były wprowadzane w kolejnych dekadach. Technologia standardu 5G odpowiada na zapotrzebowanie dużych prędkości transmisji danych (koniecznej np. do oglądania na terminalach mobilnych filmów on-line w wysokiej rozdzielczości) a także przygotowujący infrastrukturę do wprowadzenia rozwiązań technicznych opartych na koncepcji internetu rzeczy (nazywanego też internetem przedmiotów) (Internet of Things – IoT). W standardzie 5G należy spodziewać się następujących parametrów łączności bezprzewodowych:

- prędkość przesyłu danych – do 20 Gb/s
- opóźnienia < 4 ms (niezbędne dla stabilnej łączności w ruchu przy dużych prędkościach)
- obsługa do 1 mln urządzeń na terenie o powierzchni 1 km².

Każdy z poprzednich standardów używał bardziej lub mniej odmiennych częstotliwości. Niskie częstotliwości (pasma 800 MHz oraz 900 MHz) pozwalały na realizację łączności na większych obszarach, ale cierpiały na tym między innymi przepustowość. W przypadku zwiększania częstotliwości – zależność była analogicznie odwrotna. Częstotliwości, które przewidywane są dla systemu 5G to kolejno: 700 MHz, 3.5 GHz oraz 26 GHz.

Częstotliwość 700 MHz zapewnia dobry zasięg sieci oraz dobrą przenikalność przez ściany budynków. Częstotliwości z zakresu 3.4 GHz – 3.8 GHz powinna zapewnić większą przepustowość niż 4G LTE, a także znaczne zwiększenie prędkości przesyłania danych. Częstotliwości z zakresu 24.25 GHz – 27.5 GHz (umownie

26 GHz) jest najwyższą częstotliwością zastosowaną dotychczas w sieciach komórkowych. Do zalet tak dużej częstotliwości należy o wiele większa przepustowość niż w paśmie 3.4 GHz – 3.8 GHz, której prędkość porównywalna będzie do tych uzyskiwanych w światłowodach. Wadą natomiast jest niska zdolność przenikania przez przeszkody architektoniczne takie jak np. ściany budynków oraz zasięg.

Połączenie tych trzech częstotliwości umożliwi pełne korzystanie z dobrodziejstw sieci 5G. Zapewnią one wysokie prędkości przesyłania danych pomiędzy wieloma urządzeniami w tym samym czasie.

Dla zaprojektowanej anteny wybrane zostały częstotliwości 3.5 GHz oraz 26 GHz. Powodem tego wyboru było to, że w tych częstotliwościach standard przejawia największy rozwój dotyczący zwiększonego przesyłu danych oraz znaczne zmniejszenie opóźnień. Częstotliwość najniższa przewidziana jest do pokrycia sygnałem większego obszaru, co może być użyte dla konfiguracji obecnych standardów telefonii komórkowej lub dla służb państwowych.

Powstanie anten mikropaskowych datuje się na wiek XIX, ale ze względu na trudności w ich projektowaniu i tworzeniu, nie były zbyt często wykorzystywane. Wraz z postępem technologicznym anteny te zaczęły pojawiać się coraz częściej. Struktura prostej anteny mikropaskowej nie jest skomplikowana. W najłatwiejszym przypadku są to trzy części: promiennik, warstwa dielektryczna oraz powierzchnia izolująca. Taka struktura przy odpowiednim rezonansowym pobudzeniu może pracować jako antena nadawczo-odbiorcza. Istnieje wiele typów tych anten, które zależnie od oczekiwanych właściwości są odpowiednio konstruowane przez konstruktorów. Obecnie, dzięki komputerowym symulacjom można uzyskiwać anteny mikropaskowe o bardzo złożonej geometrii, które mogą być dedykowane do określonej aplikacji i dla zadanej częstotliwości. Symulacje komputerowe umożliwiają również uzyskanie dużej miniaturyzacji takich anten bez uszczerbku na sprawności transmisji danych, przez co mogą być umieszczane w coraz mniejszych urządzeniach elektronicznych.

Anteny mikropaskowe, ze względu na swoje rezonansowe własności, są przewidziane do pracy w jednej częstotliwości. W takim przypadku do pracy na 2 częstotliwościach koniecznym byłoby zaprojektowanie 2 odrębnych anten, różniących się geometrią i pobudzeniem.

Dotychczas bezkrytycznie przyjmowano, że anteny telefonii komórkowej montowane na stacjach bazowych mogą mieć duże rozmiary, jednakże w standardzie 5G planowane są anteny massive MIMO, które do uzyskania wąskich charakterystyk muszą być układami antenowymi składającymi się z wielu elementów antenowych (kilkadziesiąt a nawet kilka set elementów). W takim przypadku miniaturyzacja elementów antenowych jest potrzebą chwili. W przypadku terminali, jest oczywistością, że anteny zintegrowane z elektroniką muszą być miniaturyzowane, ale bez uszczerbku na sprawności transmisji danych.

W pracy przedstawiono antenę, która umożliwi pracę na dwóch częstotliwościach jednocześnie. Proponowane rozmiary anteny są racjonalnie małe, a to, że będzie jednocześnie obsługiwać dwie częstotliwości dodatkowo nobilituje takie rozwiązanie.

Referencyjna antena mikropaskowa

Istotnym elementem w antenie mikropaskowej jest odpowiednio ukształtowany promiennik (łata promieniująca) wykonany z materiału przewodzącego, umieszczony na powierzchni dielektrycznej. Warstwa dielektryczna, po przeciwnej stronie promiennika, pokryta jest materiałem przewodzącym, pełniącym rolę ekranu. Integralną częścią anteny jest pobudzenie. W pracy zastosowano pobudzenie linią mikropaskową. Antena mikropaskowa w takiej klasycznej geometrii charakteryzuje się wąskim pasmem pracy, choć po stronie użytkowej należy zaznaczyć łatwość wykonania, niskie koszty wykonania oraz łatwiejsza współpraca z układami elektronicznymi.

Przy projektowaniu anteny mikropaskowej kluczowa jest konieczność uzyskania zadanej częstotliwości na jakiej dana antena ma pracować. Kolejnym elementem niezbędnym do zaprojektowania anteny jest rodzaj laminatu. W niniejszej pracy zastosowano laminat RT/duroid 5880. Dobierając odpowiednio geometrię promiennika, tj. wysokość promiennika W (1) i długość promiennika L (2) można wstępnie (analitycznie) oszacować na jakiej częstotliwości będzie pracowała antena przy tej geometrii [1].

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

gdzie:

λ_0 - długość fali dla częstotliwości f_0

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

gdzie:

c - prędkość światła,

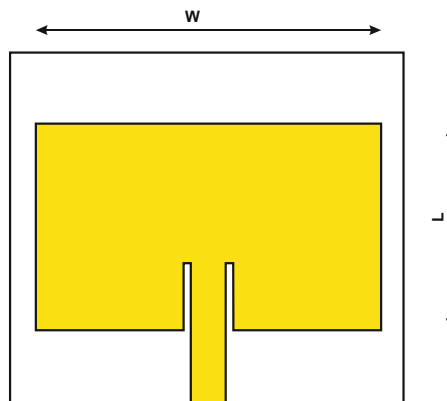
ϵ_{reff} - skuteczna przenikalność elektryczna,

$$(3) \quad \epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

Skuteczna przenikalność elektryczna (3) umożliwia wyznaczenie skutecznej długości fali (4), niezbędnej do wyznaczenia długości (L) promiennika.

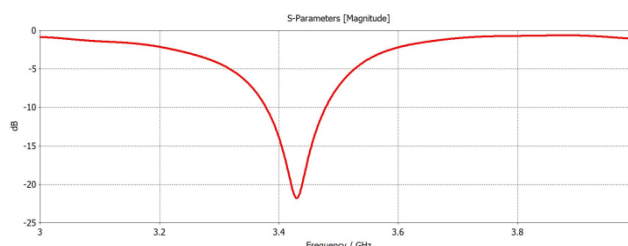
$$(4) \quad \lambda = \frac{c}{f_0 \cdot \sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

Bazując na powyższych zależnościach analitycznych zaprojektowano geometrię anteny, którą potraktowano jako antenę referencyjną. Do zaprojektowania anteny użyto laminat RT/duroid 5880. Przenikalność dielektryka wynosiła 2,2 a grubość 1.57 mm. Dodatkowo w celu poprawienia dopasowania zastosowano wycięcia przy linii doprowadzającej. Geometria anteny została przedstawiona na rys.1.



Rys.1. Promiennik anteny referencyjnej zasilany linią mikropaskową

Wykres współczynnika odbicia S_{11} dla anteny referencyjnej przedstawiono na rys.2.

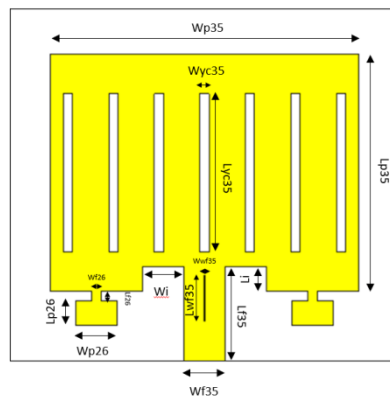


Rys.2. Współczynnik odbicia S_{11} anteny referencyjnej.

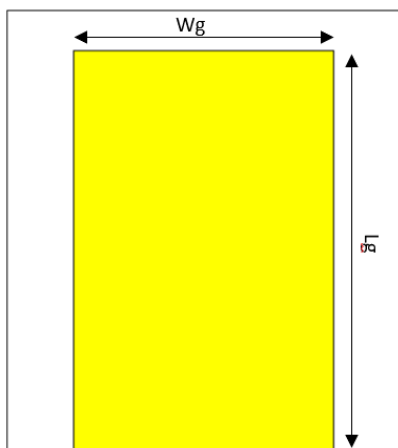
Antena referencyjna charakteryzuje się jednym pasmem pracy w pobliżu częstotliwości 3.4 GHz. Dla częstotliwości rezonansowej uzyskano dopasowanie na poziomie $S_{11} = -21$ dB. Dla częstotliwości wyższych wartości współczynnika odbicia są zbyt duże (nieakceptowalne).

Dwuzakresowa antena mikropaskowa

W celu realizacji założenia polegającego na zaprojektowaniu anteny pracującej na 2 częstotliwościach połączono ze sobą 3 promienniki, a mianowicie – jeden dla 3.5 GHz (stanowiący największą część promiennika), oraz dwa dla częstotliwości 26 GHz. Mimo wszystko takie podejście nie prowadziło do pożądanego rezultatu z powodu pasożytniczych modów wzbudzanych w takiej strukturze. W celu wyeliminowania pasożytniczych modów zastosowano wycięcia w promienniku. W efekcie promiennik odpowiadający za częstotliwość 3.5 GHz składa się z głównej części z wycięciami, oraz dwie części umożliwiające uzyskanie dopasowania na częstotliwości 26 GHz. Zaproponowaną geometrię anteny przedstawiono na rys. 3 oraz 4.



Rys.3. Promiennik anteny dwuzakresowej



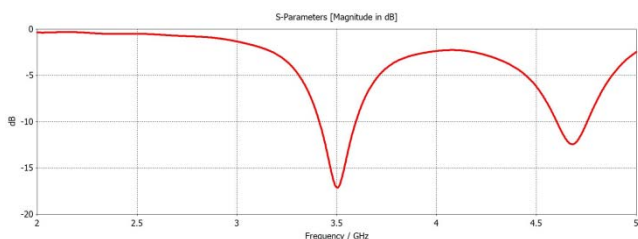
Rys.4. Ekran anteny dwuzakresowej

Wymiary anteny wraz ze specyfikacją wymiarów szczelin przedstawiono w tabeli 1.

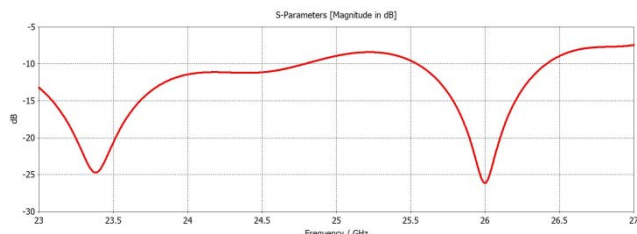
Tabela 1. Specyfikacja parametrów anteny

Skrót	Wartość [mm]	Opis
W	49,56	Szerokość warstwy dielektrycznej
L	41,86	Długość warstwy dielektrycznej
Wp35	33,860	Szerokość promiennika dla 3,5 GHz
Lp35	26,160	Długość promiennika dla 3,5 GHz
Wp26	4,500	Szerokość promiennika dla 26 GHz
Lp26	2,731	Długość promiennika dla 26 GHz
Lf35	7,850	Długość głównej linii zasilającej
Wf35	4,58374	Szerokość głównej linii zasilającej
Lf26	1,000	Długość pomocniczej linii zasilającej
Wf26	1,000	Szerokość pomocniczej linii zasilającej
Wi	4,500	Szerokość wcięcia w strukturę głównego promiennika
Li	2,731	Długość wcięcia w strukturę głównego promiennika
Wwf35	0,100	Szerokość wcięcia w głównej linii zasilającej
Lwf35	5,000	Długość wcięcia w głównej linii zasilającej
Wyc35	1,000	Szerokość linii wyciętych w strukturze głównej promiennika
Lyc35	17,4456	Długość linii wyciętych w strukturze głównej promiennika
dh	1,570	Wysokość warstwy dielektryka
ph	0,035	Wysokość promiennika oraz ekranu
Wg	23,86	Szerokość powierzchni ekranu
Lg	36,86	Długość powierzchni ekranu

Symulacje parametrów elektrycznych anteny przeprowadzono przy pomocy programu CST Studio Suite. Długości i szerokości wcięć dobrano indywidualnie optymalizując geometrię promiennika. W efekcie otrzymano antenę pracującą w wielu zakresach częstotliwości, w tym w założonych 2 pasmach częstotliwości. Wykresy współczynnika odbicia (S_{11}), dla tych czytelności, przedstawiono na 2 oddzielnych rysunkach, a mianowicie na rys. 5 oraz 6.



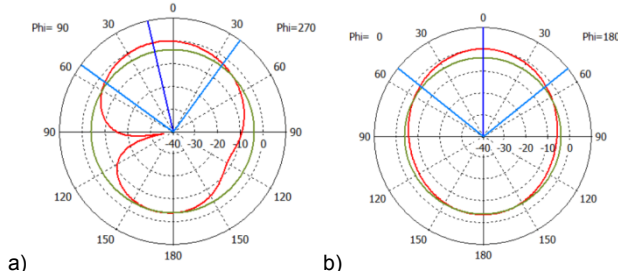
Rys.5. Współczynnik odbicia S_{11} dla częstotliwości 3.5 GHz



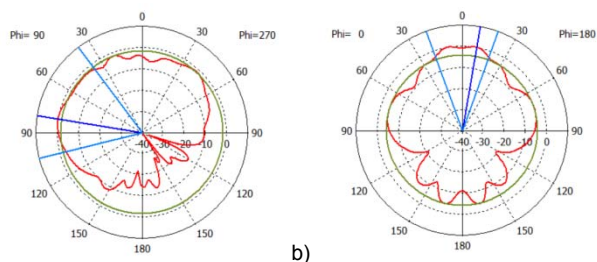
Rys.6. Współczynnik odbicia S_{11} dla częstotliwości 26 GHz

Przedstawione na rys. 5 oraz 6 wartości współczynnika odbicia dokumentują, że antena może jednocześnie pracować w 2 założonych pasmach częstotliwości, tj. 3.5 oraz 26 GHz. W przypadku częstotliwości 3.5 GHz otrzymano wartość $S_{11} = -16$ dB. Z kolei dla częstotliwości 26 GHz uzyskany wynik $S_{11} = -26$ dB. Łatwo zauważyć, że zaproponowana geometria anteny pozwala na uzyskanie anteny wielorezonansowej, co w przypadku anten mikropaskowych jest interesującym rozwiązaniem. Zaproponowane wcięcia w promienniku anteny pozwalają na uzyskanie określonych modów z możliwością konstruktywnego wyeliminowania pasożytniczych rozkładów pola. Zaproponowana geometria anteny może być z powodzeniem wykorzystana do zaprojektowania anteny pracującej w różnych pasmach częstotliwości wykorzystywanych w łączności bezprzewodowej i w takim przypadku nie trzeba konstruować oddzielnych anten do realizacji łączności.

Istotnym parametrem anteny mikropaskowej jest jej charakterystyka promieniowania. Ze względu na możliwe zmiany kształtu charakterystyki w zależności od częstotliwości wskazanym jest określić kształt charakterystyki promieniowania dla założonych dwóch częstotliwości. Analizując kształty charakterystyki promieniowania anteny (tj. szerokość na poziomie - 3 dB) należy mieć na uwadze określoną aplikację anteny, a mianowicie czy charakterystyka promieniowania powinna być szeroka (tj. dookólna) czy raczej wąska (tj. sektorowa). Ze względu na możliwość wykorzystania tej anteny w terminalach telefonii komórkowej, jak również w układach antenowych charakterystyka promieniowania powinna być w miarę szeroka dzięki temu będzie możliwa realizacja łączności w szerokim zakresie kierunków przestrzennych. W przypadku układów antenowych dookólne promieniowanie anteny umożliwia uzyskanie wysokiej skuteczności efektu interferencyjnego nakładania pola elektromagnetycznego od poszczególnych elementów układu. Umożliwia to uzyskanie zamierzonego kształtu charakterystyki promieniowania a nawet dynamicznych zmian kierunków promieniowania poprzez modyfikację fazy sygnałów doprowadzonych do anten. Charakterystyki promieniowania anteny przedstawiono dla płaszczyzny E oraz H dla częstotliwości 3.5 oraz 26 GHz, na rys 7 oraz 8.



Rys.7. Unormowana charakterystyka promieniowania dla częstotliwości 3.5 GHz dla: a) płaszczyzny E, b) płaszczyzny H



Rys.8. Unormowana charakterystyka promieniowania dla częstotliwości 26 GHz dla: a) płaszczyzny E, b) płaszczyzny H

Na rys. 7 i 8 przedstawiono charakterystyki promieniowania dla dwóch częstotliwości, rozważanych w pracy, tj. 3.5 i 26 GHz. Uzyskane kierunkowe zyski energetyczne nie są duże i antena wykazuje raczej dookólne własności promieniowania. Dla niektórych aplikacji taka własność anteny jest wskazana, a zwłaszcza gdy zachodzi konieczność realizacji łączności w niezdefiniowanym kierunku.

Podsumowanie

W pracy przedstawiona została dwuzakresowa antena mikropaskowa przeznaczona dla systemu 5G telefonii bezprzewodowej. Antena została opracowana do pracy w 2 zakresach częstotliwości, a mianowicie 3.5 i 26 GHz. Częstotliwości te pozwolą na poprawną komunikację zarówno na terenach mniejszych (26 GHz) jak i w warunkach aglomeracji miejskich (3.5 GHz). Promiennik anteny składa się z 3 części, przy czym w celu eliminacji pasożytniczych modów, w jednej części promiennika zrobiono szereg wycięć, które ukierunkowują płynące prądy powierzchniowe. Ilość i geometrię wycięć dobrano w wyniku optymalizacji współczynnika odbicia. W efekcie uzyskano antenę która może pracować nie tylko w zadanych dwóch

pasmach ale również w wielu innych pasmach częstotliwości. Zaproponowana konstrukcja anteny może być zaadoptowana do tworzenia anten w dowolnych pasmach częstotliwości. Charakterystyka promieniowania zaproponowanej dwuzakresowej anteny jest raczej szeroka co w wielu przypadkach jest nawet wymagane dla dobrej jakości połączenia komunikacyjnego. Dla częstotliwości 3.5 GHz charakterystyka na poziomie -3 dB ma rozwartość 90.5° w płaszczyźnie E i 102.5° w płaszczyźnie H. Z kolei dla częstotliwości 26 GHz charakterystyka ma rozwartość 67.5° w płaszczyźnie E i 40° w płaszczyźnie H.

Zaproponowana w tej pracy antena może posłużyć do wielu rozwiązań, które są lub będą wykorzystywane w nowowprowadzanym systemie 5G.

Autorzy: prof. dr hab. inż. Roman Kubacki, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: roman.kubacki@wat.edu.pl; inż. Piotr Wiśniowski, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Email: piotr.wisniowski@student.wat.edu.pl; dr hab. inż. Marek Kuchta, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Email: marek.kuchta@wat.edu.pl;

LITERATURA

- [1]. R. Bancroft, *Microstrip and Printed Antenna Design*, New York 2009.
- [2] Kubacki R., *Anteny mikrofalowe; technika i środowisko*, Warszawa, WKŁ, 2008.
- [3]. Szóstka J., *Fale i anteny*, Warszawa, WKŁ, 2001.
- [4]. Ministerstwo Cyfryzacji, *Pole elektromagnetyczne a człowiek*, Warszawa 2019.
- [5]. Moaiz T., Islam M., *Design and fabrication of a micro-strip antenna for wi-max applications*, Blekinge Institute of Technology, 2008.