

Anteny w urządzeniach przenośnych (1)

Antena monopolowa, anteny MIFA oraz IFA dla modułów Bluetooth

Współcześnie chętniej niż kiedykolwiek wcześniej sięgamy do urządzeń bezprzewodowych. Przekonała się do nich nawet większość z tych osób, które wszystkim opowiadały jak to „łatwo się włamać” oraz mówiły o szkodliwości promieniowania anten. Dawny użytkownik komputera PC był przyzwyczajony do tego, że aby uzyskać dostęp do Internetu musiał gdzieś przyłączyć jakiś przewód. Teraz oczekujemy od twórców urządzeń i technologii dostępu, że zapewnią nam łączność w każdym miejscu na świecie, co wiąże się z koniecznością rozwoju systemów bezprzewodowych. Kluczowymi zagadnieniami w każdym systemie radiowym są antena nadawczo – odbiorcza oraz płytka drukowana toru radiowego.

Rodzaj zastosowanej anteny wpływa na wiele aspektów funkcjonowania urządzenia, jak chociażby jego wymiary, energooszczędność, możliwość przenoszenia i wygoda użytkowania. O ile konstruując tor radiowy można posłużyć się gotowymi modułami, których aplikacja jest względnie łatwa, o tyle opracowanie anteny – o ile nie jest używana gotowa, zewnętrzna lub nie mamy sprawdzonej recepty jej wykonania – wymaga znajomości tematu oraz zbudowania i sprawdzenia (zmierzenia parametrów) kilku–kilkunastu prototypów. Czasami udaje się od razu trafić we właściwe rozwiązanie, jednak przeważnie samodzielna budowa anteny, zwłaszcza wielopasmowej o dobrych parametrach, bez gotowego planu to nie lada wyzwanie. I chociaż współcześnie dąży się do zminimalizowania wysiłku konstruktora oferując mu anteny gotowe do zamontowania i użycia, to nie zawsze ich zastosowanie jest uzasadnione ekonomicznie i konieczne, ponieważ czasami wystarczy „zwykły” kawałek ścieżki na płycie drukowanej.

Antena jest przewodnikiem prądu elektrycznego wystawionym w przestrzeń. Jeśli długość tego eksponowanego odcinka jest wielokrotnością długości fali sygnału, to staje się on anteną. Warunek, o którym mowa jest nazywany rezonans anteny. Energia sygnału dostarczanego do anteny może być dzięki niemu wypromieniowana z maksymalną sprawnością. Jeśli antena nie jest w rezonansie, to mówi się o niedopasowaniu i występują zjawiska, które mogą doprowadzić do uszkodzenia nadajnika i pogorszenia czułości odbiornika. Typowo, im większa jest moc nadajnika, tym łatwiej doprowadzić do uszkodzenia na skutek błędnego doboru anteny lub komponentów instalacji antenowej.

Energia sygnału dostarczonego do anteny jest wysyłana w przestrzeń w postaci promieniowania elektromagnetycznego o takiej samej częstotliwości, jak częstotliwość sygnału zasilającego antenę. Jeśli antena jest wykonana i dopasowana poprawnie, tej emisji towarzyszą harmoniczne o minimalnym poziomie, a cały system ma dobrą sprawność energetyczną. Jeśli tak nie jest, to nasz nadajnik może zaburzać pracę sąsiednich kanałów lub nawet transmisję w innych pasmach. Dlatego właściwe wykonanie i dopasowanie anteny jest kluczowym zagadnieniem, którego nie wolno lekceważyć, jeśli nasze urządzenie ma uzyskać świadectwo kompatybilności elektromagnetycznej i certyfikat CE.

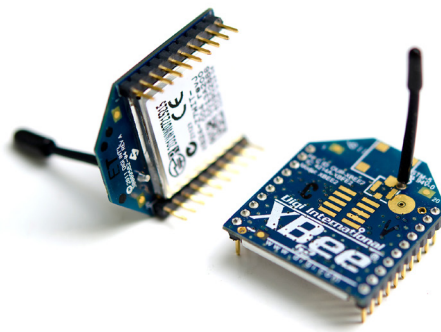
Parametry anteny w dużej mierze zależą od jej geometrii, a z kolei z kształtem anteny silnie związane są jej rodzaj, wymiary (długość

w porównaniu do długości fali) oraz sposób zasilania (dostarczenia sygnału do anteny). Zwykle nieduże urządzenia komunikujące się za pomocą fal radiowych (interfejsu Bluetooth lub Wi-Fi) mają wbudowane anteny ćwierćfalowe ($l/4$), monopolowe, które jako poziom odniesienia traktują powierzchnię masy na płycie drukowanej. Do takiej anteny sygnał jest dostarczany pojedynczym przewodem (nie jak do dipola – dwoma), a masa stanowi tzw. ścieżkę powrotu. Dla większości anten tego typu kluczowe są następujące parametry: długość anteny w porównaniu z długością fali, sposób jej zasilania, kształt i wymiary powierzchni masy oraz ścieżki powrotu.

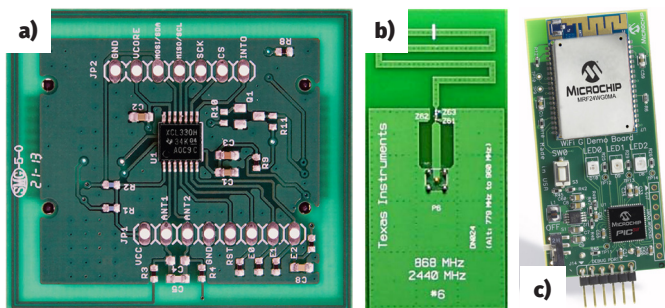
Rodzaje anten

W urządzeniach o małej mocy wykorzystujących do komunikacji fale radiowe najczęściej są stosowane następujące typy anten:

- 1. Odcinek przewodu.** Anteny tego typu to po prostu kawałek przewodu o długości zależnej od długości fali (**fotografia 1**). Taka antena świetnie sprawdza się w urządzeniach automatyki domowej pracujących w paśmie 433 MHz lub 866 MHz. Najczęściej w niedrogich modułach komunikacyjnych na płycie jest umieszczony punkt lutowniczy lub rzadziej złącze służące do przymocowania odcinka przewodu w izolacji o długości zbliżonej do $\lambda/4$. Typowo, taka antena jest zasilana przez stopień o impedancji



Fotografia 1. Antena wykonana w postaci odcinka przewodu – tu na płycie z modułem Xbee firmy DigKey. W literaturze anglojęzycznej nazywana wire antenna

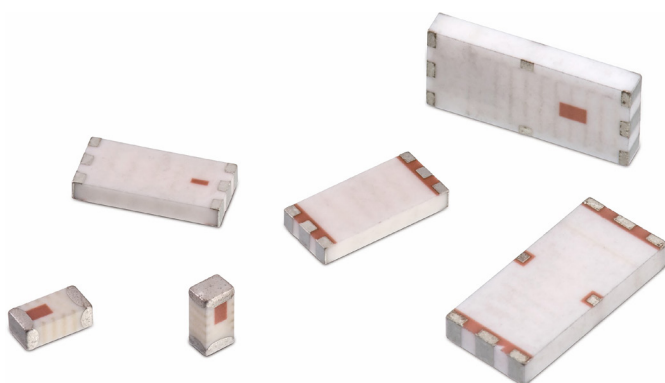


Fotografia 2. Antena wykonana w formie odcinka ścieżki na płytce drukowanej: a) pętla dookoła płytki (antena zasilana różnicowo), b) odcinek przewodu (z pojedynczym punktem zasilania), c) antena typu IFA

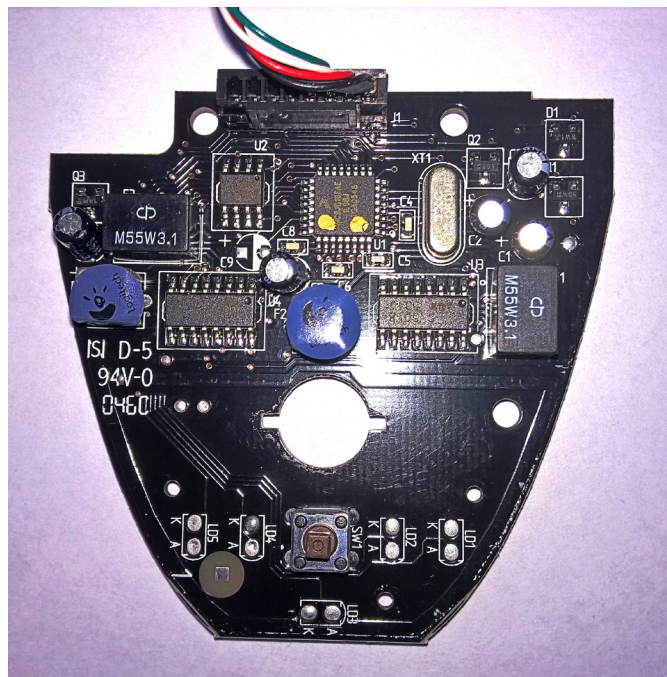
50 Ω . Co ciekawe, pomimo bardzo prostej budowy, antena tego typu ma doskonałe parametry i umożliwia uzyskanie sporego zasięgu, a to ze względu na swoją długość oraz jej nieograniczoną np. płytką drukowaną ekspozycję w przestrzeni. Pozwala to na dookólne, skuteczne wypromieniowanie energii sygnału zasilającego antenę. Przewód tworzący antenę może być zwykłym, prostym odcinkiem przewodu (najczęściej w izolacji) lub może być uformowany w spiralę lub pętlę. Takie anteny świetnie sprawdzają się zwłaszcza w roli anten odbiorczych, ale bez przeszkód mogą być też stosowane jako anteny nadawcze. Antenę wykonaną z drutu łatwo dostraja się do systemu po prostu zmieniając jego długość.

2. Ścieżka na płytce drukowanej. Tylko pozornie ten rodzaj anteny nie odbiega od wykonanych w postaci odcinka przewodu. Pozornie, ponieważ trzeba zauważyć, że wykonanie anteny w formie ścieżki na płytce drukowanej umożliwia uzyskanie dużej powtarzalności, a przy tym możliwość układania ścieżki lub ścieżek w dowolny kształt (**fotografia 2**). Daje to możliwość wpływania na właściwości tak wykonanej anteny oraz uzyskania powtarzalnych, łatwych do skontrolowania parametrów. Łatwo też zauważyć, że o ile odcinek przewodu można w zasadzie w dowolny sposób wystawić w przestrzeń, o tyle umieszczenie anteny na płytce drukowanej w pewien sposób ją ogranicza i orientuje w przestrzeni. Dlatego też zwykle te anteny w porównaniu z wykonanymi z przewodu mają gorsze parametry, wymagają stosunkowo dużej przestrzeni na płytce drukowanej i umożliwiają uzyskanie mniejszego zasięgu. Mają za to powtarzalne parametry, są odporne na uszkodzenia mechaniczne i przy tym bardzo tania. Dlatego chętnie są stosowane w urządzeniach elektroniki konsumenckiej.

3. **Anteny SMD.** Anteny tego typu są w literaturze i w katalogach nazywane *chip antenna*, a ich spolszczona nazwa to antena chipowa. Najczęściej są to anteny wykonane w postaci ścieżki na płytce drukowanej, która za bazę może mieć specjalny



Fotografia 3. Antena będąca gotowym komponentem SMD do wzlutowania na płytkę drukowaną



Fotografia 4. Odbiornik bezprzewodowej klawiatury i myszy z anteną w postaci ścieżki drukowanej

materiał ceramiczny, zamknięte w obudowie łatwej do przylutowania. Te anteny są bardzo chętnie stosowane w urządzeniach o niewielkich wymiarach, takich jak dla przykładu przystawki do transmisji danych dołączone do portu USB lub w roli urządzeń wspierających, a pewnych sytuacjach zastępujących, anteny zewnętrzne. Przykładowe anteny w obudowach ceramicznych o różnych wielkościach, gotowe do zamontowania na płytce drukowanej pokazano na **fotografii 3**.

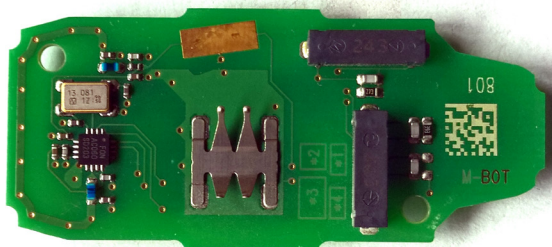
Oczywiście, oprócz wymienionych są stosowane liczne anteny zewnętrzne, o rozmaitych kształtach, jednak w tym artykule skupiamy się na aplikacjach o małej mocy, wykorzystujących do komunikacji pasmo ISM, choć zahaczmy też o odbiorniki GPS, ponieważ są one mocno związane z technologią IoT, a pominiemy omawianie anten przeznaczonych do komunikacji na duże odległości.

Dobór anteny do urządzenia IoT

Na to, którą antenę zastosujemy w urządzeniu, ma wpływ wiele czynników. Wśród nich bodaj największą rolę odgrywają: rodzaj aplikacji, dostępna wielkość płytki drukowanej, planowany koszt urządzenia, zasięg i prędkość transmisji, właściwości kierunkowe anteny.

Mysz komputerowa lub klawiatura wyposażona w interfejs Bluetooth zwykle będą pracowały w bezpośrednim otoczeniu komputera. Z drugiej strony trudno określić, gdzie będzie ustawiony ten komputer. Istotne jest też to, że takie urządzenia zostaną kupione tym chętniej, im będą miały niższą cenę. Biorąc pod uwagę tylko te czynniki łatwo określić, że decydując się na skonstruowanie takich gadżetów będziemy potrzebowali anten zapewniających komunikację na odległość co najwyżej kilku metrów wewnątrz pomieszczenia, o charakterystyce dookólnej, zapewniających raczej niedużą prędkość transmisji danych, tanich, wytwarzanych masowo, o powtarzalnych parametrach i niekoniecznie o miniaturowych wymiarach. Dla wygody użytkownika, antena do myszy lub klawiatury powinna być umieszczona wewnątrz obudowy urządzenia. Mając takie założenia z dużą dozą prawdopodobieństwa można powiedzieć, że do tej aplikacji najlepsze będą anteny wykonane w postaci ścieżki na płytce drukowanej (**fotografia 4**).

Inaczej będzie w aplikacjach typu odbiornik bezprzewodowego kluczyka samochodowego, który wymaga określenia miejsca, gdzie znajduje się źródło sygnału, aby będąc wewnątrz auta mieć możliwość jego uruchomienia, a na zewnątrz – otwarcia bagażnika, drzwi.



Fotografia 5. Wnętrze kluczyka bezprzewodowego KeyFree firmy Ford - widok od spodu

okien itp. Od takiej anteny lub zespołu anten będą wymagane właściwości kierunkowe po to, aby można było z dużą dozą prawdopodobieństwa określić miejsce, z którego dochodzi sygnał z nadajnika wbudowanego w kluczyk, a więc i miejsca, gdzie przypuszczalnie w otoczeniu auta znajduje się osoba – posiadacz kluczyka. W takiej aplikacji będą wymagane dwa rodzaje anten: dookólna, miniaturowa, wbudowana w kluczyk oraz kierunkowa (lub kierunkowe) zamontowane w pojeździe. Przykład kluczyka dostępnego w opcji KeyFree firmy Ford pokazano na **fotografii 5**.

Na początku artykułu wspomniano o tym, że długość anteny jest podwielokrotnością długości fali i że typowo w urządzeniach przenośnych są stosowane anteny ćwierćfalowe ($\lambda/4$). Łatwo domyślić się, że antena jest tym mniejsza, im krótsza jest fala nośna, a więc wymiary geometryczne anteny maleją ze wzrostem częstotliwości. Pomijając inne parametry anteny i aspekt energooszczędności urządzenia, już na samym wstępie – dobierając moduł komunikacyjny lub jedynie pasmo, w którym będą się komunikowały urządzenia – należy uwzględnić fakt, że dokonany wybór będzie miał znaczący wpływ na wymiary anteny, wielkość płytki drukowanej i ostatecznie na samo urządzenie oraz jego ergonomię. Dlatego nie wolno nie uwzględnić tego aspektu już na etapie tworzenia założeń projektowych.

Podstawowe parametry anten

Dla ułatwienia lektury dalszej części artykułu oraz porównania różnych typów anten, omówmy pokrótce parametry charakteryzujące praktycznie każdą antenę, niezależnie od jej wymiarów. Będziemy przy tym dążyć do podania niezbędnego minimum wiedzy odsyłając osoby zainteresowane jej poszerzeniem do materiałów źródłowych i literatury.

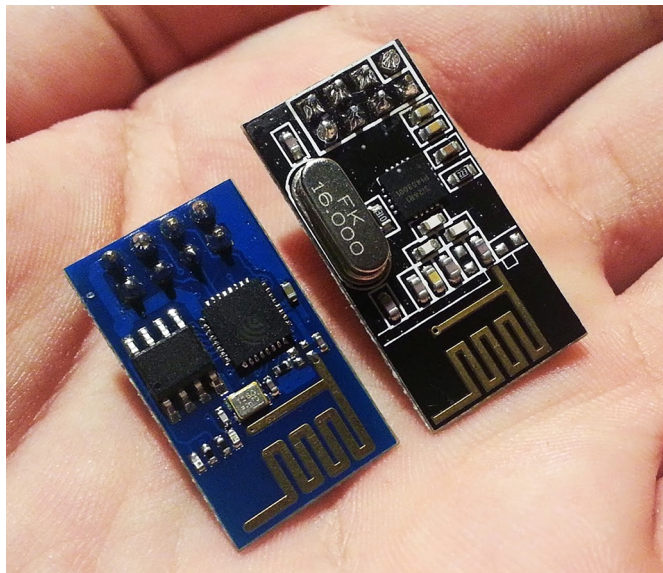
Wcześniej pokrótce omówiono związek wymiarów anteny z długością fali oraz wspomniano o impedancji i dopasowaniu. Teraz zajmijmy się również innymi właściwościami anteny, których znajomość pozwoli nam na chociażby zgrubną ocenę rozwiązania.

Strata odbiciowa (*Return Loss*) to parametr informujący o tym, jak dobrze impedancja anteny jest dopasowana do impedancji linii transmisyjnej zasilającej antenę. Typowo, impedancja linii transmisyjnej (niekoniecznie nadawczej) wynosi 50Ω i jest równa impedancji anteny również wynoszącej 50Ω . Warto jednak pamiętać, że mimo iż jest to najbardziej rozpowszechniony standard przemysłowy, to nie jest on regułą w każdej aplikacji.

Stratę odbiciową wyznacza się jako stosunek mocy dostarczonej do anteny do mocy odbitej. Wielkość tę podaje się w skali logarytmicznej i wyznacza z wyrażenia:

$$RL [dB] = 10 \log \left(\frac{P_{dostarczona}}{P_{odbita}} \right)$$

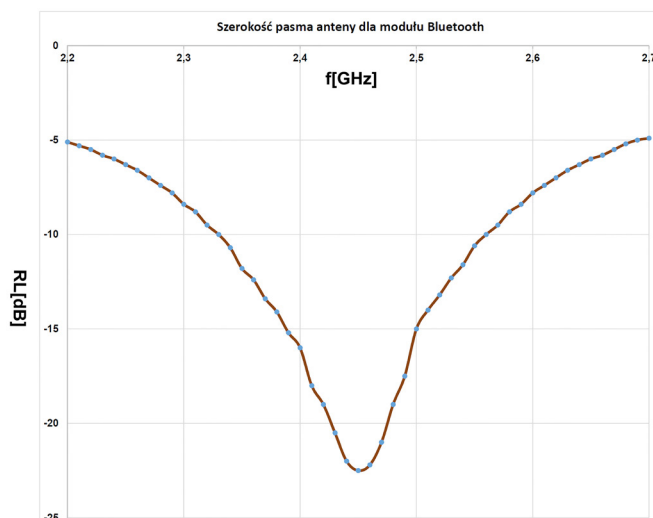
Jeśli współczynnik RL (niekiedy w literaturze oznaczany S_{11}) jest równy lub zbliżony do nieskończoności, to uznaje się, że antena jest doskonale dopasowana do linii transmisyjnej. W praktyce uzyskanie takich wartości jest nierealne i uznaje się, że jeśli współczynnik



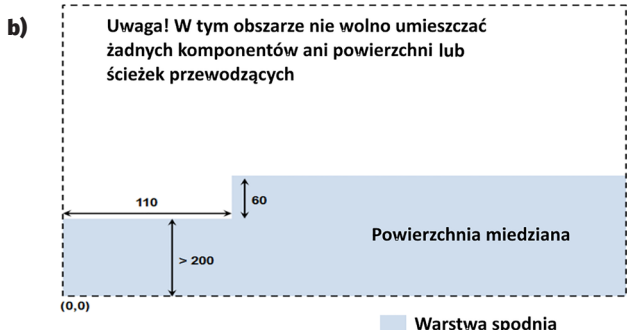
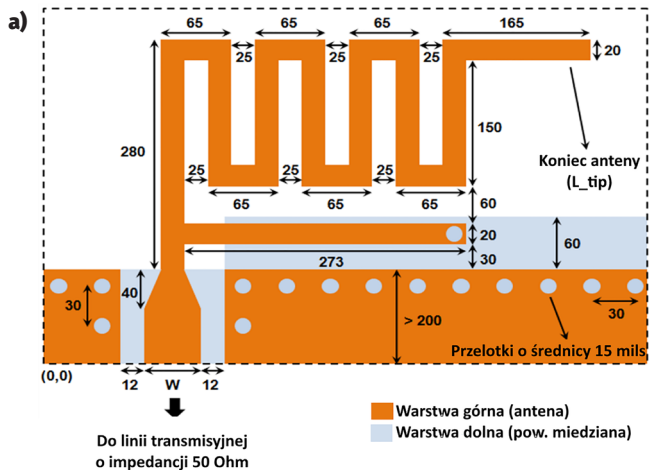
RL jest większy od 10 dB, to jest to wystarczające do poprawnego funkcjonowania systemu. Trzeba pamiętać, że impedancja anteny jest zależna od częstotliwości sygnału. Dlatego też strata odbiciowa będzie różna dla różnych częstotliwości i najniższa przy częstotliwości rezonansowej.

Szerokość pasma przenoszenia wskazuje na odpowiedź częstotliwościową anteny. Określa ona, jak dobrze antena jest dopasowana do impedancji linii transmisyjnej w całym zakresie interesujących nas częstotliwości. Na przykład, dla modułu Bluetooth będzie to impedancja 50Ω w paśmie od 2,4 GHz do 2,48 GHz (BLE). Na **rysunku 6** pokazano przykładową charakterystykę $RL=f(F)$ anteny dookólnej przeznaczonej dla modułów Bluetooth. Przyjmując kryterium akceptowalności współczynnika RL można określić, że pasmo rozciąga się od 2,33 MHz do 2,56 MHz ($RL=10$ dB), więc ma szerokość 200 MHz.

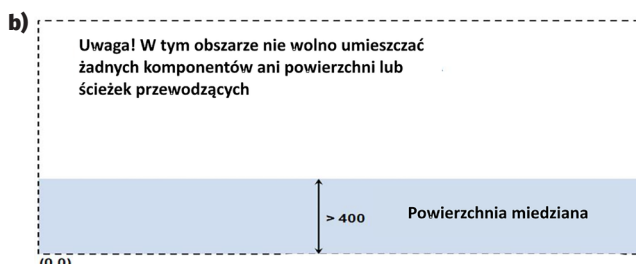
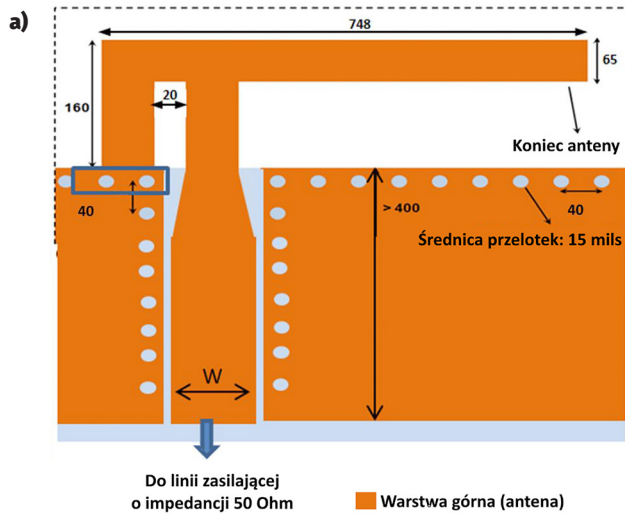
Duże znaczenie dla wielu aplikacji będzie miała **charakterystyka promieniowania** anteny. Jest to parametr informujący nas o właściwościach kierunkowych anteny i w wypadku nadajnika informujący o tym, jaka część mocy dostarczonej do anteny została wypromieniowana w badanym kierunku, natomiast w wypadku odbiornika, w którym kierunku zysk energetyczny z anteny jest największy. Ze względu na ten parametr wyróżnia się anteny dookólne i kierunkowe. Pamiętajmy, że jedynie modelowa antena izotropowa ma jednakową charakterystykę promieniowania w każdym kierunku. W praktyce większość anten, nawet tych najprostszych, wykonanych



Rysunek 6. Przykładowa charakterystykę $RL=f(F)$ anteny dookólnej przeznaczonej dla modułów Bluetooth



Rysunek 7. Antena MIFA opracowana przez firmę Cypress dla potrzeb komunikacji Bluetooth: a) warstwa górna, b) warstwa spodnia. Wszystkie wymiary podano w mils [3]



Rysunek 8. Antena IFA opracowana przez firmę Cypress dla potrzeb komunikacji Bluetooth: a) warstwa górna, b) warstwa spodnia. Wszystkie wymiary podano w mils [3]

REKLAMA

Europejski producent wysokiej jakości anten wewnętrznych i zewnętrznych

Możliwość doboru długości przewodu, rodzaju przewodu oraz złącza jakim będzie zakończony



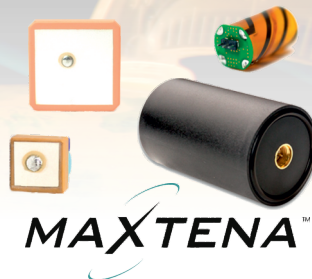
2J
antenna conceptor

Duży wybór produktów w zależności od obudowy, częstotliwości, montażu i zastosowania



Amerykański producent anten do komunikacji satelitarnej (GNSS, Iridium)

Anteny dookólne, wewnętrzne i zewnętrzne, aktywne oraz pasywne. Również na pasma L2, GPS i Glonass oraz do dwukierunkowej komunikacji (Iridium)
Ceramiczne anteny do GNSS (od 10x10mm do 25x25mm)



Microdis
Innovation & Reliability

Wi-Fi BT Classic+BLE BLE BT Classic WM-Bus GSM/UMTS/LTE GPS/GNSS

www.microdis.net

Find us on

www.facebook.com/Microdis.Electronics/
Microdis Electronics Sp. z o.o.
Tel. 71 3010 400 e-mail: Poland@microdis.net



Tabela 1. Zależność szerokości ścieżki „W” (rys. 7a) od grubości laminatu FR4

Grubość laminatu [mils]	Szerokość ścieżki „W” [mils]
60	65
50	59
40	52
30	44
20	33

Tabela 2. Wymiary końca anteny (L_tip na rys. 7) w zależności od grubości laminatu FR4

Grubość laminatu [mils]	Długość L_tip końca anteny [mils]
62	Brak L_tip, pozostaje odcinek pionowy skrócony ze 150 mils do 115 mils
47	125
31	165
16	353

w postaci odcinka przewodu, będzie miała charakterystykę nieidealną i pewne kierunki będą uprzywilejowane.

Wzmocnienie anteny określa jak mocne jest promieniowanie w interesującym nas kierunku w porównaniu do modelowej anteny izotropowej, która promieniuje tę samą porcję mocy równomiernie we wszystkich kierunkach. Jednostką wzmocnienia anteny jest dBi – „i” oznacza odniesienie do anteny izotropowej.

Typowe anteny dla modułów Bluetooth

Do współpracy z modułami Bluetooth opracowano między innymi dwie niezawodne, tanie anteny wykonywane w formie nadruku (ścieżki) na płytce drukowanej. Są to anteny oznaczone skrótami IFA oraz MIFA – łatwe do wykonania i sprawdzone w wielu zastosowaniach. Pasma przenoszenia jest dopasowane do częstotliwości wykorzystywanych przez Bluetooth, a jego szerokość wynosi od 150 MHz do 200 MHz. Antena typu **MIFA** (*Meandered Inverted-F Antenna*) jest rekomendowana do aplikacji, które wymagają niewielkich płytek drukowanych, takich jak mysz bezprzewodowa z interfejsem Bluetooth, sterownik prezentacji, kontroler rzutnika itp. Antena typu **IFA** (*Inverted-F Antenna*) jest stosowana w aplikacjach, w których antena musi być tania, a przy tym miniaturowa, takich jak monitor pracy serca i inne urządzenia przenoszone przez użytkownika. Anteny modelowe wykonano na laminacie dwustronnym FR4.

Antena typu MIFA

Większość aplikacji BLE jest zaopatrzona w antenę MIFA. Jest ona również szeroko stosowana w urządzeniach interfejsu użytkownika (klasy HID), ponieważ zajmuje niewielką powierzchnię na płytce drukowanej. Jako przykład zaprezentujemy antenę opracowaną przez firmę Cypress o wymiarach 7,2 mm×11,1 mm – pokazano ją na **rysunku 7**. W **tabeli 1** umieszczono zależność szerokości ścieżki zasilającej antenę („W”) od grubości laminatu typu FR4 (tj. od odległości pomiędzy warstwą spodnią i górną – bez uwzględnienia grubości warstwy miedzi).

Warstwa górna zawiera antenę, natomiast spodnia – umieszczona tuż pod anteną – miedzianą powierzchnię odniesienia zwartą z masą układu. Najlepiej, aby powierzchnia miedziana nie ograniczała się jedynie do obszaru wymaganego przez antenę, ale żeby obficie wypełniała całą spodnią warstwę płytki drukowanej.

Przy niedużej długości ścieżki łączącej antenę z układem nadawczo/odbiorczym (poniżej 1 cm), wymaganie odnośnie do szerokości „W” może być złagodzone. W takiej sytuacji ścieżka tworząca antenę i ścieżka łącząca ją z transceiverem mogą mieć tę samą szerokość, co ułatwia zaprojektowanie płytki drukowanej. Niestety, jeśli długość tej ścieżki przekracza 1 cm, to połączenie należy zaprojektować zgodnie z parametrami podanymi w tab. 1.

Zależnie od grubości laminatu, na którym wykonano antenę, zmianie ulega również jej długość. W **tabeli 2** umieszczono zależność długości końcówki anteny MIFA (L_tip) od typowych grubości laminatu FR4.

Wyznaczanie długości fali

Na pewno każdy elektronik – konstruktor wie, że długość fali elektromagnetycznej wyznacza się dzieląc prędkość fali równą prędkości światła przez częstotliwość fali. Podstawiając obie wielkości uzyskuje się równość:

$$\lambda [m] = \frac{2,99792458 \cdot 10^8 [m/s]}{f [GHz]}$$

Upraszczając, jeśli częstotliwość wyrazimy w MHz, co jest bardziej „naturalne” i łatwiejsze do policzenia w pamięci, uzyskujemy nieskomplikowany, szacunkowy wzór, należący do grupy tzw. inżynierskich (to jest – pomagających w szacowaniu pewnych wielkości):

$$\lambda [m] = \frac{300}{f [Hz]}$$

Używając go łatwo zgrubnie oszacować, że fala o częstotliwości 2,4 GHz ma długość 12,5 cm, a 868 MHz – 34,5 cm. Czasami takie szacunki są zupełnie wystarczające do dobrania anteny w postaci odcinka przewodu np. o długości l/4, l/2 lub l dla układu eksperymentalnego. Dla ułatwienia, w tabeli podano długości fal dla wybranych częstotliwości nośnych.

Tabela. Długości fal dla wybranych częstotliwości nośnych

Częstotliwość fali	l	l/4
2,4 GHz	12,5 cm	3,1 cm
955 MHz	31,4 cm	7,8 cm
915 MHz	32,8 cm	8,2 cm
868 MHz	34,5 cm	8,6 cm
433 MHz	69,2 cm	17,3 cm
169 MHz	1,774 m	44,3 cm
27 MHz	11,103 m	2,776 m

Można przy tym łatwo zauważyć, że wymiary geometryczne anteny będą tym większe, im mniejsza jest częstotliwość nośna sygnału. W typowo stosowanych przez elektroników modułów komunikacyjnych, w najmniejsze anteny będą wyposażone moduły Wi-Fi oraz Bluetooth pracujące w paśmie 2,4 GHz.

Antena typu IFA

Antena typu IFA jest rekomendowana do aplikacji, w których ze względu na specyfikę wymiary anteny muszą być bardzo ograniczone. Z tego powodu ta antena znajduje zastosowanie głównie w urządzeniach przenośnych, miniaturowych.

Obszar zajmowany przez antenę na płytce drukowanej FR4 o grubości 1,6 mm ma wymiary 20,5 mm×4 mm. Wygląd omawianej anteny pokazano na **rysunku 8**. Podobnie jak w antenie MIFA, szerokość ścieżki zasilającej „W” jest zależna od grubości laminatu. Wymagana szerokość „W” dla laminatu FR4 jest identyczna, jak dla anten MIFA (tab. 1). Podobnie jak poprzednio, przy długości ścieżki zasilającej poniżej 10 mm, jej szerokość może być taka sama, jak ścieżki tworzącej antenę.

Podsumowanie

Kolejnym typem anteny, która jest szeroko stosowana w sprzęcie powszechnego użytku, zwłaszcza wtedy, gdy miejsca na antenę w obudowie urządzenia jest naprawdę niewiele, jest antena czipowa w obudowie SMD. Ze względu na ich ogromną i stale rosnącą popularność, ich omówieniem zajmiemy się w kolejnej części artykułu.

Mam nadzieję, że podane gotowe wymiary anten pomogą konstruktorom planującym wykorzystanie modułów Bluetooth lub wykonującym projekt interfejsu radiowego urządzenia. W kolejnych artykułach zaprezentujemy anteny czipowe, projekty anten Wi-Fi i innych, które ułatwią pracę i rozważania konstruktorowi aplikacji IoT.

Jacek Bogusz, EP

Bibliografia:

- „RF430CL330H Practical Antenna Design Guide” Kostas Aslanidis, Eddie LaCost, Texas Instruments – Application Report, <http://goo.gl/jc0L4P>
- „Antenna Selection Guide” Richard Wallace, Texas Instruments – Application Note AN058., <http://goo.gl/Vpuyzj>
- „Antenna Design and RF Layout Guidelines” Tapan Pattanayak, Guhapriyan Thanikachalam, Cypress – Application Note AN91445