

# Zalecenia projektowe dla tanich systemów, bezprzewodowej transmisji danych cyfrowych, część 1



## Wprowadzenie: pasma LPRD

Wdrażanie systemów bezprzewodowej transmisji danych jest łatwiejsze dzięki dostępnym od niedawna jednokładowym transceiverom w.c.z., wykorzystującym do transmisji danych pasma przeznaczone dla urządzeń radiowych małej mocy LPRD (*Low Power Radio Device*). Pasma 433MHz oraz 868MHz (nie wymagają licencji lub homologacji) mogą być wykorzystywane przez projektantów systemów elektronicznych w Europie już od kilku lat. Koncepcja takich systemów była wcześniej ściśle strzeżona przez projektantów układów w.c.z. Obecnie wiele firm dystrybucyjnych ma w swojej ofercie tego rodzaju elementy, począwszy od prostych nadajników z modulacją *On/Off Keying*, aż po zaawansowane, wielokanałowe terminale nadawczo-odbiorcze GMSK.

## Transmisja danych bez licencji: gdzie, co i jak?

Na rys. 1 przedstawiono stosowane w Europie pasma LPRD, których ogromną zaletą jest możliwość stosowania urządzeń bez specjalnych licencji. Jedynym wymogiem upoważniającym do korzystania z tych urządzeń jest gwarancja producenta systemu bezprzewodowego zapewniająca, że jego produkt nie łamie przepisów dotyczących tych pasm. Owe przepisy zawarte są w dokumencie *CEPT/ERC recommendation 70-03*. CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) jest instytucją, która w krajach europejskich wydaje prawne regulacje w tej dziedzinie. Większość dostępnych na rynku scalonych układów nadawczo-odbiorczych odpowiada tym przepisom, oczywiście pod warunkiem,

że są użyte zgodnie z zaleceniami katalogowymi (tzn. stosuje się właściwą impedancję anteny i zewnętrzne elementy zgodnie ze specyfikacją). Jednakże jest kilka ważnych parametrów, które pozostają pod kontrolą użytkownika:

### Przeznaczenie

Pasma 868MHz dzieli się na podpasma, z których pewne częstotliwości przeznaczone są do zastosowań alarmowych. Nie mogą na nich pracować urządzenia nie należące do tej kategorii.

### Moc wyjściowa

Maksymalna dopuszczalna moc wyjściowa różni się dla poszczególnych częstotliwości (kanałów).

### Szerokość pasma w kanale

Niektóre podpasma wolno stosować tylko w bardzo wąskopasmowych kanałach, podczas gdy inne mają dowolną szerokość.

### Roboczy cykl transmisji

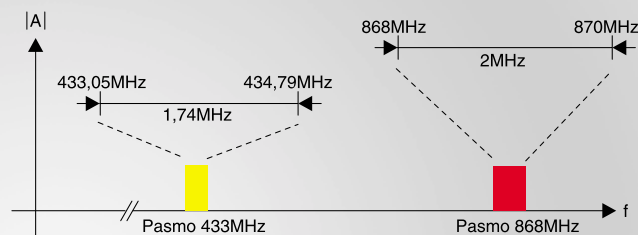
W celu zmniejszenia ryzyka kolizji kilku urządzeń używających tej samej częstotliwości, określono maksymalny dopuszczalny cykl roboczy transmisji. Oznacza się procentowo czas transmisji w stosunku do godziny. Maksymalny dopuszczalny czas transmisji w ciągu godziny, w przypadku pasma 433MHz, wynosi 6 minut. Stanowi on sumę wszystkich okresów transmisji w ciągu godziny (tab. 1).

Mimo, że dostępność gotowych elementów znacznie upraszcza projektowanie systemów bezprzewodowych, od

*W artykule omawiamy podstawowe zagadnienia związane z konstruowaniem i praktycznym wykorzystywaniem łącz bezprzewodowych. Zostaną przedstawione ich typowe niedogodności wraz z praktycznymi wskazówkami, które wyjaśniają ograniczenia tego sposobu transmisji, mające wpływ na jej zasięg.*

*Zawarto także kilka porad przydatnych w ocenie parametrów katalogowych układów w.c.z., które należy brać pod uwagę przy porównywaniu specyfikacji różnych produktów.*

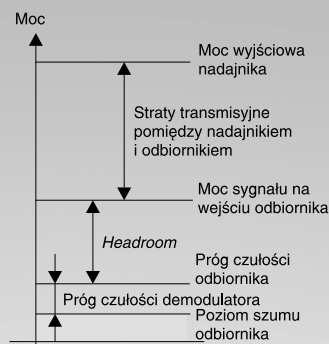
*Sprawdzenie bowiem kilku podstawowych parametrów układu może oszczędzić nam wiele czasu i frustracji, jeśli szybko ocenimy, że dany układ nie odpowiada naszym wymaganiom.*



Rys. 1.



Rys. 2.



Rys. 3.

projektanta wymagana jest jednak podstawowa wiedza w zakresie związanych z transmisją radiową parametrów, które mają wpływ na całą pracę systemu.

### Połączenie bezprzewodowe - podstawy

Na system połączenia bezprzewodowego składają się: nadajnik z anteną, droga transmisji oraz odbiornik z anteną. Dla tych elementów systemu ważnymi parametrami są: moc wyjściowa nadajnika oraz czułość odbiornika. Na rys. 2 pokazano schemat blokowy typowego toru transmisyjnego.

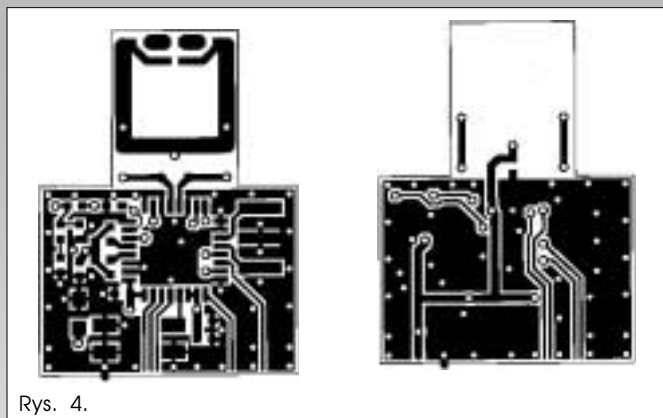
Istotnym parametrem odbiornika jest jego czułość, która oznacza minimalną wartość mocy, przy której otrzymane na wyjściu dane cechuje zadowalający współczynnik błędów w bitach (BER - Bit Error Rate, zwykle na poziomie  $10^{-3}$ ). Różnicę między mocą otrzymanego sygnału a czułością określa się jako bezpieczny margines transmisji (*headroom*). Jest on zredukowany przez kilka czynników, takich jak: długość drogi transmisji, skuteczność anteny, częstotliwość

nośna oraz fizyczne cechy przeszkód na drodze transmisji.

Czułość i moc wyjściową określoną w specyfikacji katalogowej układów w.cz. podaje się dla charakterystycznej impedancji obciążenia, co jest optymalnym rozwiązaniem dla wejściowego wzmacniacza niskoszumnego (LNA) i wzmacniacza mocy wyjściowej. Oznacza to, że impedancja użytej anteny musi być równa obciążeniu określonemu w specyfikacji katalogowej, w przeciwnym razie pojawia się niezgodność i zmniejszenie bezpiecznego marginesu transmisji. Na rys. 3 pokazano rozkład mocy sygnału przekazywanego pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem.

### Antena: niech cię usłyszą

Antena przekształca moc wyjściową nadajnika w energię elektromagnetyczną, która jest emitowana z anteny zależnie od jej charakterystyki promieniowania. W przypadku pasm LPRD maksymalną moc wyjściową określa się parametrem *poziom mocy sygnału emitowanego przez antenę (EIRP - Effective Isotropic Radiated Power)*. Izotropowy element promieniujący, to hipotetyczna bezstratna antena wytwarzająca jednakowe promieniowanie we wszystkich kierunkach. Oznacza to, że nie można zwiększać zasięgu transmisji używając anteny kierunkowej. Jeśli zysk anteny przekracza 1 (0dB) w jakimś kierunku, moc wyjściowa musi być odpowiednio zmniejszona. Na przykład, w niskim zakresie pasma 868MHz maksymalny, dozwolony poziom mocy sygnału



Rys. 4.

emitowanego przez antenę wynosi 25mW (14dBm). Gdyby użyć anteny kierunkowej o zysku 10dB na danym kierunku, nadajnik umieszczony na tym kierunku odebrałby sygnał na poziomie 24dBm. Wobec tego, aby spełnić wymogi ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*), moc wyjściową należałoby obniżyć do 4dBm. Zaznaczyć trzeba, że tego rodzaju antenę stosować można w odbiornikach nie ryzykując złamania przepisów.

Obliczenie zysku anteny i charakterystyki promieniowania jest w rzeczywistości zadaniem dość skomplikowanym. Co więcej, na uzyskane wyniki ogromny wpływ mają otaczające antenę elementy. Umieszczenie jej w pobliżu powierzchni przewodzących prawdopodobnie zmniejszyłoby charakterystykę promieniowania i zmniejszyłoby jej wydajność, co jest jednak nieuniknione w większości praktycznych zastosowań.

### Zysk energetyczny anteny: skorelowanie oczekiwań z rozmiarem i częstotliwością...

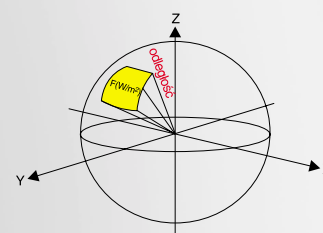
W bilansie energetycznym toru transmisyjnego najważniejszym parametrem anteny jest zysk energetyczny (*kierunkowy*) anteny (*antenna gain - G<sub>ant</sub>*). Interpretuje się go jako zdolność anteny do przekształcania mocy wyjściowej w emitowaną energię. Zysk kierunkowy anteny jest w zasadzie proporcjonalny do jej fizycznego rozmiaru, bowiem podstawową zależnością w teorii anten jest:

$$G_{ant} = \frac{4 \cdot \pi \cdot A_e}{\lambda^2}$$

gdzie  $A_e$  oznacza powierzchnię skuteczną anteny, zaś  $\lambda$  to długość fali sygnału częstotliwości nośnej. W przypadku pasma LPRD 433MHz, długość fali wynosi w przybliżeniu 0,69m oraz około 0,35m dla pasma 868MHz.

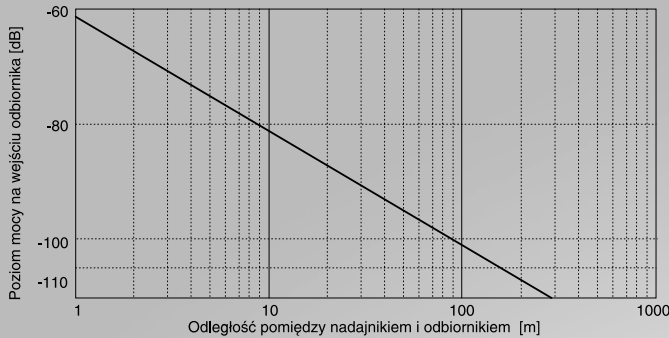
Inaczej rzecz biorąc, w celu uzyskania zysku anteny na poziomie 1 (0dB) dla pasma 433MHz, jej konieczna powierzchnia skuteczna musi być równa 0,038m<sup>2</sup> (0,19m x 0,19m), zaś dla pasma 868 MHz - 0,001m<sup>2</sup> (0,1m x 0,1m). Ponieważ w większości zastosowań tak duża antena okazuje się całkowicie niepraktyczna, ograniczyć się trzeba zwykle do znacznie mniejszej anteny. Oznacza to, że w rzeczywistości antena wykazuje straty w całkowitym bilansie transmitowanej energii.

Anteną powszechnie stosowaną w urządzeniach radiowych małej mocy, która jest mała i tania w wykonaniu jest antena pętlowa. Tego rodzaju anteny mogą być wytrawione bezpośrednio na płytce drukowanej nie powodując wzrostu kosztów poza niewielkim zwiększeniem powierzchni płytki. Na rys. 4 pokazano płytkę drukowaną układu nadawczo-odbiorczego LPRD (z układem nRF903) dla pasma 868MHz z anteną



Rys. 5.

Tab. 1. Wykaz pasm oraz warunki korzystania z nich			
Zakres częstotliwości [MHz]	Moc wyjściowa [mW]	Szerokość kanału [kHz]	Współczynnik zajętości [%]
433,050...434,790	<10	Opcjonalnie	Wysoki <10%
868,000...868,600	<25	Opcjonalnie	Mały <1%
868,600...868,700	<10	25kHz	Bardzo mały <0,1%
868,700...869,200	<25	Opcjonalnie	Bardzo mały <0,1%
869,200...869,250	<10	25kHz	Bardzo mały <0,1%
869,250...869,300	<10	25kHz	Bardzo mały <0,1%
869,400...869,650	<500	25kHz	Bardzo mały <0,1%
869,650...869,700	<25	25kHz	Wysoki <10%
869,700...870,000	<5	Opcjonalnie	Bardzo duży, do 100%



Rys. 6.

o wymiarach 9,5x9,5mm. Ma ona typowy zysk około -20...-25dB.

Rozważmy model nadajnika pokazany na rys. 2, emitującego jednakową energię we wszystkich kierunkach (czyli zakładając, że zasila on antenę izotropową). W odległości  $r$  od anteny gęstość strumienia przenikającego powierzchnię kuli (rys. 5) jest dana wzorem:

$$F = \frac{P_{out} \cdot G_{ant\_TX}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad [W/m^2]$$

Świadczy to o tym, że gęstość mocy zmniejsza się z odwrotnością kwadratu odległości, jeśli energia rozchodzi się na większym obszarze. Można udowodnić, że ilość otrzymanej przez odbiornik (rys. 3) energii wyraża się wzorem:

$$P_{rec} = \frac{P_{out\_TX} \cdot G_{ant\_TX} \cdot G_{ant\_RX}}{Path\_loss} = \frac{P_{out\_TX} \cdot G_{ant\_TX} \cdot G_{ant\_RX}}{\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda}\right)^2} \quad [W]$$

W równaniu tym należy zauważyć, że o tym, co określa się jako *straty transmisyjne (path loss)*, decyduje: odległość pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem oraz częstotliwość transmisji. Aby odbiornik mógł demodulować sygnał, to moc otrzymanego sygnału musi być równa lub wyższa od mocy określającej granicę czułości. Na rys. 6 przedstawiono zależność spadku mocy sygnału docierającego do odbiornika w funkcji odległości pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem. Jak łatwo zauważyć, czterokrotne (o 6dB) zwiększenie

mocy wyjściowej (lub czułości odbiornika) powoduje podwojenie rzeczywistego zasięgu.

**Propagacja energii elektromagnetycznej: co może się nie udać?**

Margines bezpiecznej transmisji (*headroom*) zmniejsza się wraz ze wzrostem zasięgu. W związku z tym zwiększa się prawdopodobieństwo utraty komunikacji ze względu na zjawisko *wielodrożności (multipath phenomenon)* i przeszkody w otoczeniu. W przypadku łączności w paśmie 868 MHz (jak zilustrowano na rys. 6), margines ten jest mniejszy niż 15dB dla zasięgu 10m. Oznacza to utratę możliwości komunikacji, jeśli dodatkowe tłumienie sygnału na drodze transmisji przekracza 15dB. Powodowane jest ono właśnie zjawiskiem wielodrożności i przeszkodami w otoczeniu.

Nieidealna droga transmisji powoduje zanikanie sygnału w odbiorniku, jeśli dociera wieloma drogami do anteny odbiorczej. Ponieważ różne drogi propagacji mają różne długości, połączone sygnały docierają do odbiornika w niezgodnych okresach, czego wynikiem jest osłabienie otrzymanego sygnału w domenie czasu powodując zakłócenia w odczycie zakodowanego znaku (rys. 7). Długości fal w pasmach 434MHz i 868MHz wynoszą odpowiednio 0,69

metra i 0,35 metra, wobec czego zanikanie sygnału może wahać się w krótkich odcinkach czasu, jeśli jedno lub oba urządzenia radiowe są w ruchu. Pamiętać należy również, że zanikanie sygnału mogą powodować poruszające się w pobliżu przedmioty (ludzie, meble, maszyny) pomimo spoczynku urządzeń radiowych.

Zjawisko wielodrożności powodowane jest przez odbicia, dyfrakcję i rozpraszanie sygnału. Odbicie powstaje, gdy transmitowana energia „odskakuje“ od powierzchni przedmiotu, który jest stosunkowo duży w porównaniu z długością fali nośnej (np. ściany, budynki, podłoga itp.). Dyfrakcja oznacza ugięcie fali na ostrych, nieregularnych krawędziach obiektów stojących na drodze transmisji. Z kolei rozproszenie odpowiada dyspersji energii spowodowanej przez przedmioty stosunkowo małe wobec długości rozchodzącej się fali.

Ważnym czynnikiem, z którym należy się liczyć (albo raczej być na niego przygotowanym), jest strata powodowana przez przeszkody znajdujące się w otoczeniu, takie jak podłogi, ściany, budynki i okna. Wielkość straty zależy w znacznej mierze od fizycznych cech tych obiektów. Na przykład, ściany żelbetonowe przyczyniają się do większych strat niż drewniane czy gipsowe. W porównaniu ze zwykłymi oknami, ogromną przeszkodą dla sygnału stanowią przy-

**Tab. 2. Typowe wartości strat powodowanych przez typowe obiekty**

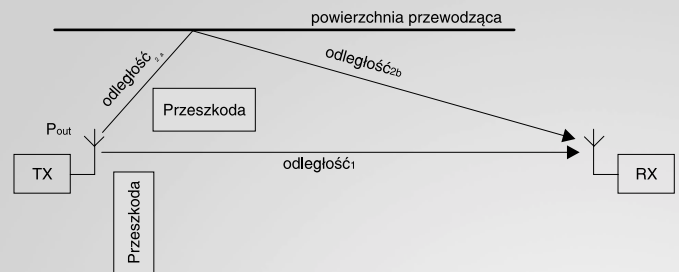
Obiekt	Wartość strat [dB]
Ściana wewnętrzna	10...15
Ściana zewnętrzna	2...38
Podłoga	12...27
Okno	2...30

ciemniane okna z pokryciem warstwą metalizacji. W tab. 2 przedstawiono typowe wartości strat transmisji w pasmach 433MHz i 868MHz.

Wyobraźmy sobie system pracujący w paśmie 868 MHz, o mocy wyjściowej 10 dBm, sprawności anteny (zysku) - 20 dB oraz czułości - 105 dBm (rys. 2). Układ ten dysponuje teoretycznie zasięgiem ponad 100 metrów, jednak w typowych zastosowaniach, obciążonych wyżej wymienionymi niedogodnościami, rzeczywisty zasięg spada do zaledwie kilku metrów. To powód, dla którego należy z dystansem podchodzić do określeń w rodzaju „zasięg aż po horyzont“. Trzeba również pamiętać, że margines transmisji (*headroom*) zmienia się także w czasie w związku ze zjawiskiem wielodrożności.

**Frank Karlsen, Nordic VLSI**

Artykuł publikujemy za zgodą autora i firmy Nordic VLSI. Za pomoc w przygotowaniu publikacji dziękujemy Panu Witoldowi Baryckiemu z firmy Eurodis, która jest dystrybutorem firmy Nordic w Polsce.



Rys. 7.