

Zalecenia projektowe dla tanich systemów bezprzewodowej transmisji danych cyfrowych, część 2



Parametry systemu radiowego: co trzeba wiedzieć?

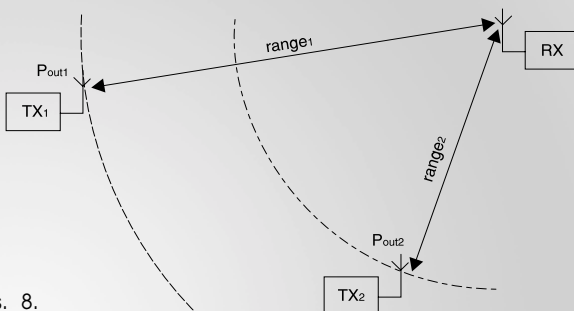
Przy projektowaniu systemu radiowego do transmisji danych należy znać kilka podstawowych parametrów. Dzięki temu projektant lepiej uświadomi sobie czynniki wpływające na pracę takiego łącza oraz na jego niezawodność. Omówiono dotychczas takie główne parametry systemu jak moc wyjściowa nadajnika i czułość odbiornika. Do pozostałych należą:

- zakres dynamiczny odbiornika,
- tłumienie niepożądanych sygnałów w kanale,
- selektywność sąsiednich kanałów,
- stabilność częstotliwości wzorcowej,
- blokowanie odbiornika,
- tłumienie odbicia lustrzanego,
- parametry modulacji.

Są to wszystkie ważne parametry, które wprawdzie nie wpływają bezpośrednio na jakość połączenia, ale są ściśle związane z niezawodnością transmisji w systemie o wielu nadajnikach. Kluczowe pytanie brzmi: „Jak zachowa się system, jeśli w środowisko jego pracy wyemituje energię „obcy” nadajnik”?

Zakres dynamiczny (dynamic range) określa maksymalną zmianę mocy wejściowej odbiornika, przy której sygnał zostanie prawidłowo zdemodulowany. Innymi słowy, poziom danego sygnału może wahać się od granicy czułości do sumy granicy czułości i zakresu dynamicznego.

Tłumienie niepożądanych sygnałów w kanale (CCR - co-channel rejection) charakteryzuje zdolność odbiornika do demodulacji właściwego sygnału bez przekroczenia



Rys. 8.

pewnego poziomu jego zniekształcenia spowodowanego obecnością innego, niepożądanego sygnału, jeśli oba sygnały używają nastawionej częstotliwości odbiornika. Parametr ten podaje się w dB. Poziom 10dB oznacza, że jeśli właściwy sygnał ma poziom o co najmniej 10dB wyższy niż sygnał niepożądany, to jego demodulacja zostanie przeprowadzona prawidłowo (współczynnik błędów w bitach poniżej 10^{-3}). Jeśli tego parametru nie podano w specyfikacji katalogowej, można przyjąć jego wartość na około 12...14dB (typowy próg demodulatora FSK).

Na rys. 8 przedstawiono typowy model systemu transmisyjnego. Rozważmy układ zawierający wiele nadajników używających tej samej częstotliwości. W jakiej odległości powinien znajdować się niepożądany nadajnik, aby dany odbiornik zdemodulo-

W drugiej części artykułu omawiamy najważniejsze parametry układów stosowanych w torach radiowych, które mają istotne znaczenie dla jakości i niezawodności transmisji danych.

wał właściwy sygnał? Zależności między odebranymi mocami są następujące:

$$\frac{P_{out1} \cdot G_{ant1} \cdot G_{ant-RX}}{Path_loss_1} \geq \frac{P_{out2} \cdot G_{ant2} \cdot G_{ant-RX}}{Path_loss_2} \cdot CCR \quad [W]$$

a w decybelach:

$$P_{out1} + G_{ant1} + G_{ant-RX} - Path_loss_1 \geq P_{out2} + G_{ant2} + G_{ant-RX} - Path_loss_2 + CCR$$

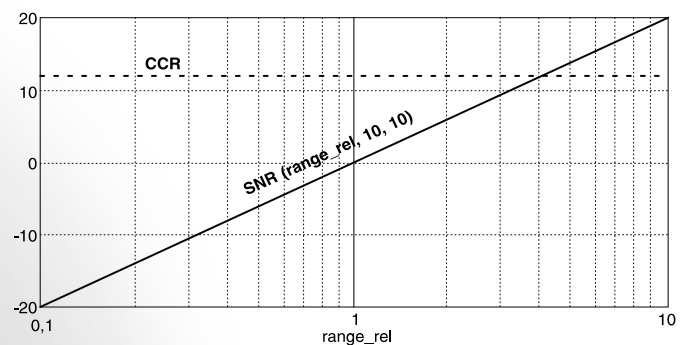
Przyjmując, że oba nadajniki mają takie same anteny:

$$P_{out1} - 20 \cdot \log(range_1) \geq P_{out2} - 20 \cdot \log(range_2) + CCR$$

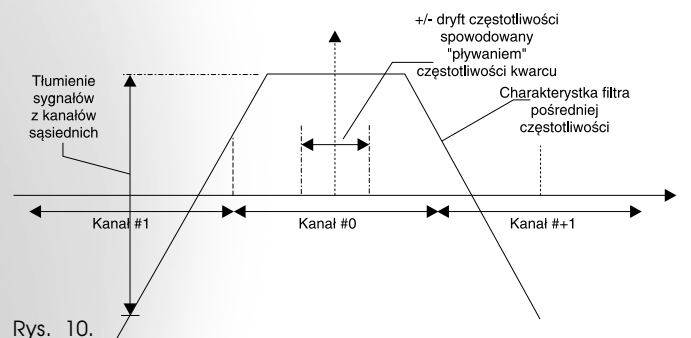
skąd po redukcji:

$$P_{out1} - P_{out2} + 20 \cdot \log\left(\frac{range_2}{range_1}\right) \geq CCR$$

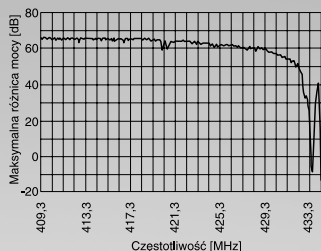
Wyrażenie to ilustruje ważną relację w środowisku



Rys. 9.



Rys. 10.



Rys. 11.

wielu nadajników. Ustalając eliminację obcych sygnałów w kanale na poziomie 12dB oraz przyjmując, że nadajniki mają identyczną moc wyjściową i zysk kierunkowy anteny, otrzymuje się zależność między tłumiennością a odległością pokazaną na rys. 9. Aby odbiornik prawidłowo demodulował sygnał właściwy TX₁ bez interferencji ze strony sygnału TX₂, to stosunek range₂ do range₁ musi być co najmniej czterokrotny.

Selektywność sąsiednich kanałów (ACS - adjacent channel selectivity) odbiornika definiowana jest przez ETSI jako zdolność do demodulacji otrzymanego sygnału na granicy czułości, przy składowej sinusoidalnej (rys. 10). To znaczy, że jeśli parametr ACS w systemie kanałowym 25kHz przyjmuje wartość 30dB, demodulacja właściwego sygnału na poziomie granicy czułości może zachodzić przy składowej sinusoidalnej o mocy wyższej o 30 dB niż moc odbieranego sygnału o częstotliwości sąsiedniego kanału.

Stabilność częstotliwości wzorcowej (reference frequency stability) ma wpływ na selektywność sąsiednich kanałów. Odchylenie od idealnej częstotliwości wzorcowej spowoduje odpowiednie odchylenie transmitowanej częstotliwości oraz przesunięcie częstotliwości pośredniej (IF) w odbiorniku. Objawi się to przesunięciem środkowej częstotliwości filtra pośredniej częstotliwości (rys. 10).

Blokowanie odbiornika (blocking performance) to parametr służący do opisanie zdolności odbiorników do poprawnego działania, mimo wpływu silnie interferującego sygnału RF. Jest on blisko związany z selektywnością sąsiednich kanałów, lecz dotyczy interferencji sygnału du-

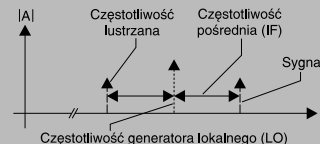
żej mocy z pasma leżącego względnie blisko częstotliwości właściwego sygnału (zwykle 10...200MHz od używanego kanału). Na przykład wpływ sygnału GSM o częstotliwości nośnej 900MHz na urządzenie pracujące w paśmie 868MHz.

Definiuje się wiele parametrów związanych z *tłumieniem*, spośród których większość opisuje liniowość i zysk energetyczny w pierwszych stadiach odbioru sygnału. Wyobraźmy sobie urządzenie zakłócające dużej mocy powodujące nasycenie wejściowego wzmacniacza. „Nałożony” na sygnał tego urządzenia sygnał właściwy nie jest zauważalny dla odbiornika, ponieważ z powodu nasycenia wzmacniacza wejściowego przez sygnał interferujący traci się informację o fazie i/lub amplitudzie sygnału właściwego. Na skutek nieodłącznej nielineowości wzmacniaczy i mieszacza odbiornika, rzeczywisty wpływ tego zjawiska na demodulację zależy zarówno od częstotliwości jak i amplitudy sygnału interferującego. Zwykle przeciwdziała się blokowaniu przez użycie między odbiornikiem i anteną wąskopasmowych filtrów SAW. Niestety, jest to drogie rozwiązanie. Antena i obwód dopasowujący mają ograniczone pasmo przepustowe, zwykle jednak zbyt szerokie, aby osiągnąć pożądaną efekt. Dobrze rozwiązanie tego problemu polega na zidentyfikowaniu wszelkich potencjalnych źródeł interferencji dużej mocy, które mogą występować w konkretnym zastosowaniu oraz sprawdzenie parametrów odbiornika pod względem blokowania danych częstotliwości. Na przykład, w przypadku pasma 433 MHz, potencjalnie zakłócającym może być system komunikacji Tetra (410...430MHz), którego maksymalna moc wyjściowa wynosi 25W (44dBm). Dużo informacji daje pomiar czułości w funkcji przesunięcia częstotliwości źródła interferencji. Na rys. 11 przedstawiono wyniki takiego pomiaru dla jednokanałowego transceivera nRF401. Krzywa

pokazuje różnicę między mocą źródła interferencji, a odebrany sygnałem, przy standardowym poziomie czułości (0 dB). Środkowa częstotliwość odbiornika ustawiona jest na 433,92MHz. Jak łatwo zobaczyć, transmisja nie zostanie przerwana, jeśli interferujący sygnał 420MHz nie będzie miał poziomu wyższego o 65dB niż sygnał właściwy. Przy czułości -110dBm, sygnał zakłócający nie może przekroczyć poziomu -45dBm na wejściu anteny. Dla środkowej częstotliwości sygnał urządzenia interferującego musi mieć poziom niższy o 9dB od właściwego, co odpowiada parametrowi eliminacji „obcych” sygnałów w kanale.

Tłumienie odbicia lustrzanego (MIA - mirror image attenuation) określa, w jakim stopniu tłumiona jest częstotliwość odbicia lustrzanego w odbiornikach superheterodynowych (odbiornikach z częstotliwością pośrednią). Odbiorniki superheterodynowe stosuje się często ze względu na dużą selektywność, lecz podczas ich stosowania trzeba uważać, aby uniknąć interferencji z odbiciem lustrzanym. We wszystkich odbiornikach heterodynowych występuje częstotliwość odbicia lustrzanego na danym kanale, co może powodować wewnętrzne interferencje (rys. 12).

Odbicie lustrzane, znajdujące się poniżej częstotliwości generatora lokalnego, pojawia się również na częstotliwości pośredniej obok sygnału właściwego. W związku z tym, aby uniknąć zakłóceń lub utraty czułości, częstotliwość odbicia lustrzanego musi być wytłumiona. W tym celu stosowano zwykle zewnętrzny filtr na wejściu anteny, zaś od niedawna wykorzystuje się specjalne metody filtracji w torze odbiorczym. Ponieważ odbicie lustrzane pojawia się po zmieszaniu sygnałów wewnątrz pasma filtra częstotliwości pośredniej, to maksymalna, zapewniająca demodulację różnica mocy

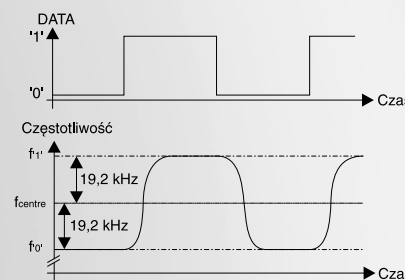


Rys. 12.

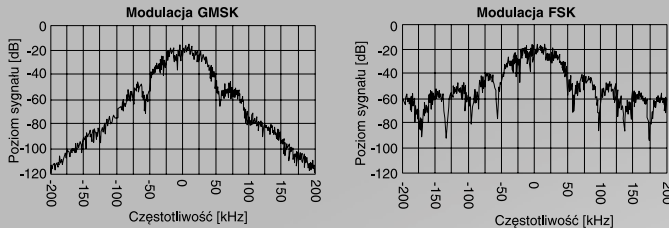
między obydwoema sygnałami jest określana różnicą poziomów tłumienia odbicia lustrzanego oraz tłumienia „obcych” sygnałów w kanale. To znaczy: jeśli poziom tłumienia odbicia lustrzanego wynosi 35dB, zaś poziom tłumienia obcych sygnałów w kanale 12dB, to w porównaniu z sygnałem właściwym moc sygnału odbicia lustrzanego nie może przekraczać 23 dB (35dB-12dB).

Przy wyborze odpowiedniego, dla konkretnego systemu, układu nadawczo-odbiorczego należy również rozważyć *metodę modulacji*. Do niedawna, w niewymagających licencji pasmach LPRD stosowane były metody kluczowania amplitudy (ASK, znane także jako kluczowanie dwupozycyjne - *on-off keying, OOK*). Mimo tego, że są to rozwiązania proste o umiarkowanych kosztach, ich wadą jest duża zawadność w przypadku interferencji wewnątrz pasma. W systemach ASK/OOK odpowiednikiem znaku „1” jest sygnał częstotliwości nośnej, zaś znaku „0” - jego brak. Nie trzeba więc przekonywać, że w zależności od czułości odbiornika, obecność w kanale choćby bardzo słabego niepożądanego sygnału może zostać zinterpretowana jako znak „1”. Kluczowanie częstotliwości z przesuwem (FSK) jest zupełnie odmiennym podejściem, w którym każdemu z dwóch znaków logicznych odpowiadają wartości częstotliwości:

$$- \text{DATA}_{FSK} = „1” \rightarrow f_{-1} = f_{\text{centre}} + \langle \text{DELTA} \rangle f,$$



Rys. 13.



Rys. 14.

- $DATA_{FSK} = „0“$
 $\rightarrow f_{0} = f_{centr.} - \langle \Delta \rangle > f.$

Modulacje GMSK i FSK, to rozszerzone wersje kluczowania częstotliwości z przesunięciem stosowane w celu optymalizacji szerokości pasma, to znaczy zapewnienia maksymalnej liczby bitów/Hz transmitowanych w kanale. W kluczowaniu z przesuwem częstotliwości z filtracją Gaussa (GFSK), przed modulacją przebiegu nośnego dane są filtrowane przez filtr Gaussa. Na rys. 13 zilustrowano zasadę jego działania. Efektem zastosowania tego filtru jest węższe spektrum mocy modulowanego sygnału, co z kolei pozwala na zwiększenie szybkości transmisji w tym samym kanale. Kluczowanie przesuwu z minimalną filtracją Gaussa (GMSK) oznacza kluczowanie, w którym szybkość transmisji zwiększa czterokrotna dewiacja częstotliwości. Przykładowe widma transmisji z modulacjami GMSK i FSK pokazano na rys. 14.

Interpretacja danych katalogowych układów RF

Mimo, że celem specyfikacji danych katalogowych jest prezentacja parametrów układów, nie zawsze tak jest. Duża konkurencja na rynku doprowadziła do wypracowania bardzo pomysłowych sposobów przedstawienia definicji parametrów, tak aby wydawały się „lepsze” niż w rzeczywistości. Kluczowym wymogiem dla projektanta systemu jest zatem znajomość pracy układu, dzięki czemu jest on w stanie dokonać porównania między różnymi opcjami. Duża liczba sprzedawców elementów systemów bezprzewodowych zmusza do ostrożnej oceny parametrów zawartych w specyfikacjach katalogowych. Przyda się

więc umiejętność rozszyfrowywania „sprytnie” napisanych specyfikacji. Jeśli nie zostały podane warunki pomiaru jednego lub kilku ważnych parametrów, może mieć to swoje uzasadnienie. Sprawdzenie kilku podstawowych parametrów może oszczędzić nam wiele czasu i frustracji, jeśli zdamy sobie od razu sprawę, że dany układ nie odpowiada wymogom naszego systemu.

Wobec tego sprawdzić należy:

Szybkość transmisji danych

Parametr ten powinien przedstawiać rzeczywistą szybkość, z jaką dane są przesyłane torem radiowym. Niektóre systemy przy transmisji danych z maksymalną szybkością używają kodowania Manchester (rys. 15).

Pojęcia takie jak szybkość transmisji danych (*datarate*, *chiprate*), szybkość transmisji w bodach (*baudrate*) oznaczają ilość informacji, jaka może być przesyłana w układzie RF w jednostce czasu. Należy upewnić się co do sposobu, w jaki producent układów definiuje ten parametr. **Czułość (sensitivity)**

W obliczeniach szybkości transmisji czułość jest ważnym parametrem. W przypadku systemów, w których występuje wiele szybkości przesyłania danych i szerokości pasma filtru częstotliwości pośredniej, czułość powinna być podana przy maksymalnej (lub żądanej) szybkości przesyłania danych. Czułość w zasadzie spada wraz z szerokością pasma filtra częstotliwości pośredniej.

Selektywność sąsiednich kanałów (ACS)

Należy upewnić się, że parametr ten określono dla sąsiedniego kanału, a nie dla kanału znajdującego się dalej od kanału, na którym odbierany jest sygnał. Parametr

ten wyznaczony dla bardziej odległych częstotliwości jest zwykle lepszy niż w rzeczywistości.

Niektórzy sprzedawcy podają parametr tłumienia sygnału z sąsiednich kanałów (*adjacent channel attenuation* - ACA), co nie oznacza tego samego, co selektywność sąsiednich kanałów (ACS). ACA określa jedynie tłumienie sygnału w danym odstępnie od używanego kanału, nie zaś dopuszczalną moc tego sygnału, przy której demodulacja nie zostaje przerwana. Zwykle parametr ACS ma mniejszą wartość niż ACA.

Pobór mocy

Sprawdzić trzeba, czy pobór mocy podano dla pasma częstotliwości, w którym urządzenie ma pracować, a także jaki jest pobór prądu stałego w każdym trybie pracy. Często, w celu przyciągnięcia uwagi nabywcy, podaje się pobór mocy w cyklu nadawanie-odbior o określonym przez producenta współczynniku wypełnienia.

Wymagania w stosunku do zastosowanych podzespołów

Dotyczą one przede wszystkim parametrów oscylatora wzorcowego. Jego stałość częstotliwości jest określana maksymalnym dopuszczalnym odchyleniem (w ppm) od wartości częstotliwości nominalnej. Należy upewnić się, czy wartość katalogowa określona jest dla danej szerokości pasma w kanale i dewiacji częstotliwości.

W przypadku niektórych układów nadawczo-odbiorczych obniża się wymagania w stosunku do jakości kwarcu. Odbiornik „śledzi” odbierany sygnał „dopasowując” się tak, aby odnaleźć transmitowany sygnał.

Chociaż podejście takie zapewni dobrą komunikację

między dwoma urządzeniami, dryft częstotliwości nadajnika musi zgadzać się z odstępem kanałów w systemie. To znaczy, że użycie kwarcu ± 30 ppm w systemie 868MHz z 25kHz odstępem między kanałami ustali w najgorszym przypadku dryft częstotliwości nadajnika na 26kHz. Należy pamiętać, że koszt oscylatora kwarcowego jest proporcjonalny do zakresu temperatury, w którym gwarantowane są jego parametry.

Czas przełączania (switching time)

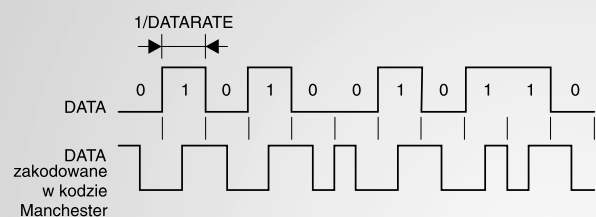
W specyfikacji katalogowej powinien być podany czas przełączania między różnymi trybami pracy (to znaczy między trybem transmisji a odbioru, stanem wyłączenia a trybem odbioru itp.). Trzeba też doliczyć czas na „rozgrzewkę” lub wstępne sekwencje. Niektóre z odbiorników, w celu uruchomienia lub synchronizacji demodulatora, potrzebują długich sekwencji synchronizujących, np. „10101010...“.

Podsumowanie

Intencją autora było przybliżenie problematyki stosowania gotowych, zintegrowanych układów RF. Zazwyczaj pierwszy krok ku poszerzeniu wiedzy jest związany z umiejętnością formułowania właściwych pytań. Autor ma nadzieję, że udało mu się choć w pewnym stopniu uchylić drzwi prowadzące do fascynującego świata bezprzewodowej komunikacji.

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. 15.