

Charakterystyka urządzeń wielkich częstotliwości (1)

Zagadnienia wstępne

Przyrządy pomiarowe wielkich częstotliwości opisuje wiele parametrów charakteryzujących ich działanie. Ponieważ technologia bezprzewodowa nieustannie się zmienia, inżynierowie muszą regularnie projektować oraz testować nowe elementy wielkich częstotliwości i urządzenia, których tworzenie może wykraczać poza ich dotychczasowe doświadczenia. Poniższy, trzyczęściowy artykuł został napisany w celu przybliżenia podstawowych oraz bardziej zaawansowanych parametrów urządzeń w.cz., a dokładniej głównych parametrów generatora oraz analizatora sygnałów. W części 1 opisano zagadnienia, takie jak zakres częstotliwości, pasmo chwilowe, prędkość strojenia, szum fazowy oraz napięciowy współczynnik fali stojącej. W częściach 2 oraz 3 omówiono punkt kompresji jednodocybelowej, zniekształcenia intermodulacyjne trzeciego rzędu, zakres dynamiczny oraz rozdzielczość pasma.

W artykule skupimy się na następujących zagadnieniach dotyczących generowania oraz analizy sygnałów wielkiej częstotliwości:

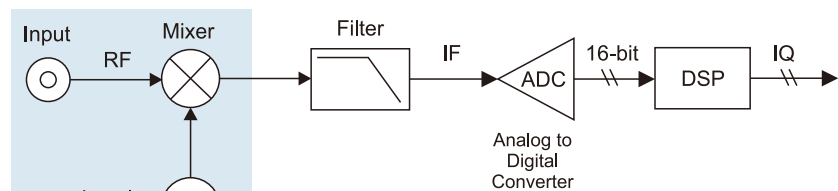
- zakres częstotliwości,
- pasmo chwilowe,
- prędkość przestrajania,
- szумы fazowe,
- napięciowy współczynnik fali stojącej (VSWR).

Zakres częstotliwości

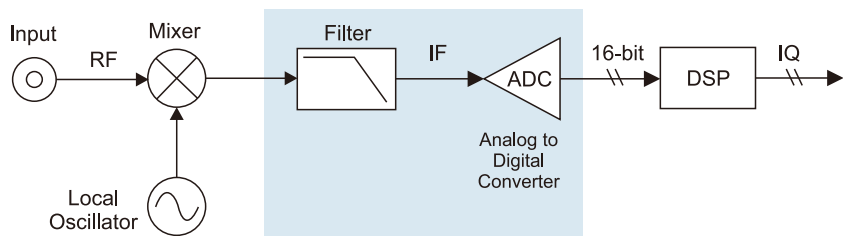
Zakres częstotliwości jest prawdopodobnie najważniejszym parametrem przyrządów pomiarowych w.cz. Dla przykładu, system testujący komunikację w standardzie WiFi wymaga pracy na częstotliwościach do 2,5 GHz, a przyrząd przeprowadzający analizę urządzenia pracującego na 900 MHz musi być zdolny do pracy na takiej częstotliwości.

Na maksymalny zakres częstotliwości przyrządu może wpływać wiele komponentów, włączając w to mieszacze, filtry wejściowe oraz oscylatory lokalne (LO). Mimo tego, konfiguracja urządzenia do pracy na danej częstotliwości odbywa się głównie poprzez dostrajanie LO. Chociaż niektóre narzędzia wykorzystują wiele LO połączonych szeregowo, na **rysunku 1** zaprezentowano nieskomplikowany schemat zawierający tylko jeden oscylator. Sygnał z LO jest mieszany z wejściowym sygnałem w.cz., co pomaga przekonwertować go do sygnału o częstotliwości pośredniej (IF). Ta sama technika syntezy jest wykorzystywana także w generatorach sygnału w.cz.

Synteza częstotliwości jest realizowana za pomocą generatora sterowanego napięciem (VCO) albo YIG (z rezonatorem ferrimagnetycznym). W przeszłości urządzenia w.cz. wykorzystywały układ bazowany na YIG. Jest on oscylatorem sterowanym prądowo, mającym niewielki szum fazowy oraz szeroki zakres częstotliwości (20 GHz i wyższych). Niestety, to rozwiązanie pochłania zbyt duże ilości energii oraz jest zbyt kosztowne. Dodatkowo, przestrajanie YIG z jednej częstotliwości na drugą wymaga dłuższego czasu, niż w przypadku zastosowania innych metod. W związku z powyższym, rozwiązanie oparte o VCO stało się zdecydowanie bardziej po-



Rysunek 1. Zakres częstotliwości jest zdefiniowany przez lokalny oscylator (LO)



Rysunek 2. Pasma chwilowe jest zależne od filtra oraz przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC)

Dodatkowe informacje:
National Instruments Poland Sp. z o.o.
Salzburg Center
ul. Grójecka 5, 02-025 Warszawa
tel: +48 22 328 90 10, faks: +48 22 331 96 40
e-mail: ni.poland@ni.com, <http://poland.ni.com>
Infolinia: 800 889 897

pularne. Zakres częstotliwości jego pracy jest co prawda mniejszy, ale za to czas strojenia jest znacznie krótszy.

Pasma chwilowe

Termin *pasmo chwilowe* opisuje maksymalną, ciągłą szerokość pasma sygnału w.cz., którą urządzenie może wygenerować bądź pobrać. Na przykład, wektorowy generator sygnałów może generować sygnał o częstotliwości środkowej 2,45 GHz, a pasmo chwilowe może być szerokie jedynie na 20 MHz. Oznacza to, że urządzenie może pobierać w trybie ciągłym 20 MHz pasma sygnału w.cz. bez przestrajania oscylatora.

Pasma chwilowe jest w znacznej mierze zdefiniowane poprzez analogowe elementy wejściowe i wyjściowe systemu. Aby dobrze zrozumieć znaczenie pasma chwilowego warto poznać podstawową architekturę urządzeń w.cz. Obecna technologia nie jest w stanie próbować sygnałów operujących na częstotliwości rzędu gigaherców. Aby ominąć ten problem wykorzystuje się połączenie kilku urządzeń (oscylatory lokalne, mieszacze oraz filtry), które umożliwia

Tabela 1. Czas strojenia oscylatora lokalnego typu YIG	
Dokładność	Czas ustalania
1% zadanego skoku	Maksymalnie 10 ms
0,01% zadanego skoku	Maksymalnie 20 ms
1 ppm zadanego skoku	Maksymalnie 30 ms

przeniesienie sygnału do częstotliwości pośredniej lub podstawowej. **Rysunek 2** przedstawia bardzo uproszczony schemat wektorowego analizatora sygnałów. Jak pokazano, wektorowy analizator sygnału konwertuje część widma sygnału w.c.z. do niższych częstotliwości, które są obsługiwane przez przetwornik A/C. Pasma chwilowe urządzeń w.c.z. jest zależne od dwóch głównych elementów:

- zastosowanych filtrów,
- częstotliwości próbkowania oraz pasma przetwornika ADC.

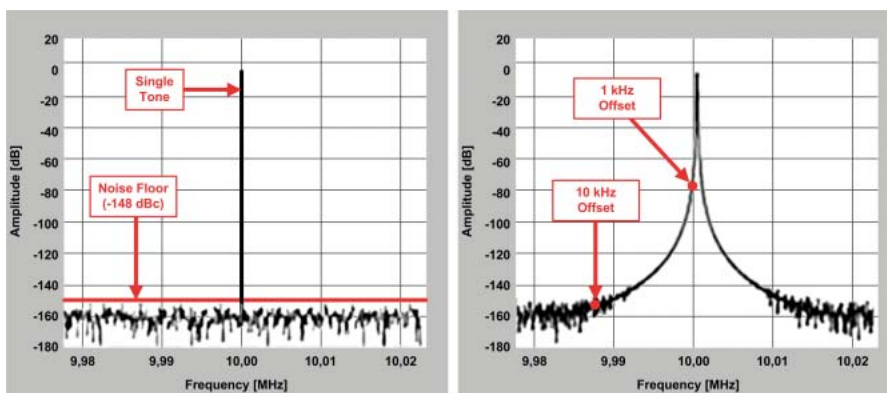
Znaczenie pasma chwilowego urządzenia jest względne i zależy od wymagań poszczególnych aplikacji. Przykładowo, generowanie wąskiego pasma sygnału FM wymaga jedynie 200 kHz przepustowości, natomiast generowanie oraz analiza sygnału takiego, jak np. IEEE 802.11g (WiFi), już co najmniej 20 MHz. Inne aplikacje, jak na przykład testowanie maski widma, mogą być wykonywane zdecydowanie szybciej, jeśli pasmo chwilowe jest znacząco większe od częstotliwości badanego sygnału. W przypadku, gdyby test ten wymagał szerszego pasma chwilowego niż może zapewnić wykorzystywany sprzęt, konieczne jest przestrajanie częstotliwości środkowej pasma w celu pobierania informacji sekcja po sekcji.

Prędkość przestrajania

Prędkość przestrajania definiuje czas niezbędny dla LO do przejścia z jednej częstotliwości środkowej na drugą z określoną dokładnością. Jest on bezpośrednio zależny od czasu regulacji LO.

W standardowych systemach, podczas zmiany częstotliwości pracy, zazwyczaj występuje nieznaczne przesterowanie, po czym po pewnym czasie częstotliwość stabilizuje się na wartości zadanej. W większości przypadków czas strojenia jest funkcją zmiany częstotliwości. Im większa zmiana, tym więcej czasu zajmuje ustabilizowanie się na nowej wartości. **Tabela 1** przedstawia czas strojenia dla oscylatora opartego na rezonatorze YIG.

Prędkość przestrajania jest wyjątkowo ważnym parametrem, szczególnie w aplikacjach takich jak zautomatyzowane testy produkcyjne urządzeń 802.11g. Ponieważ standard ten definiuje funkcjonowanie urządzenia na jednym z 14 kanałów pracujących w częstotliwości między 2.4 GHz a 2.48 GHz, przyrządy pomiarowe w.c.z. przeprowadzające test muszą wykonywać operacje w szerokim zakresie częstotliwości. Im szybciej syg-



Rysunek 3. Porównanie idealnej oraz zakłóconej częstotliwości nośnej

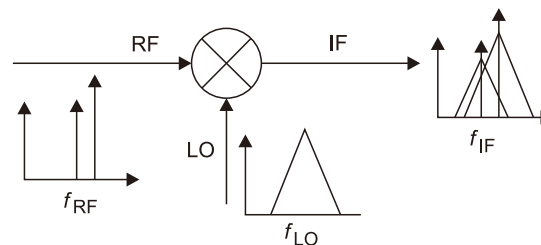
nał zostanie przełączony z jednej stacji na inną, tym szybciej proces weryfikacji urządzenia jest przeprowadzany.

Szum fazowy

Szum fazowy opisuje krótkoterminową stabilność częstotliwości urządzenia w.c.z. Jest on spowodowany przez niewielkie, chwilowe odchyłki fazy LO i skutkuje pojawieniem się sygnału na częstotliwościach sąsiadujących z nośną.

Skutki szumu fazowego można w prosty sposób przedstawić analizując konkretny sygnał w domenie częstotliwości. **Rysunek 3** prezentuje dwie symulowane częstotliwości nośne – idealną oraz zakłóconą szumem fazowym. Lewy wykres ilustruje generację pojedynczego tonu, co w idealnym przypadku można zaobserwować jako pojedynczy pik na precyzyjnie określonej częstotliwości. Inny wynik przedstawiono na prawym wykresie, gdzie szum fazowy spowodował rozszerzenie się sygnału na sąsiednie częstotliwości.

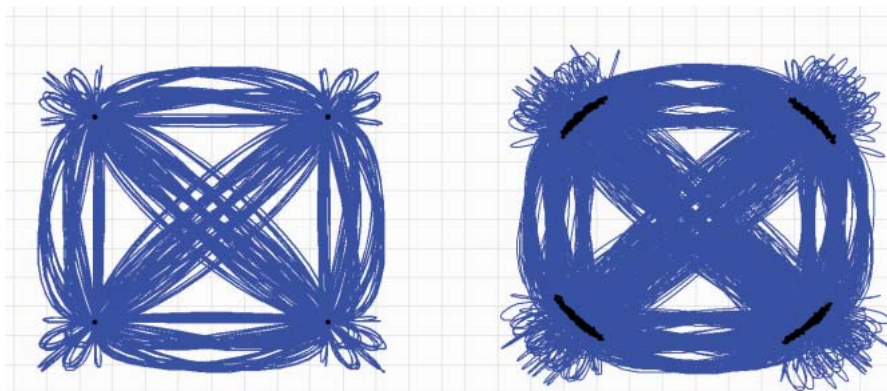
Szum fazowy określa się poprzez pomiar amplitudy sygnału na częstotliwościach znajdujących się na różnych odległościach od nośnej. Wykres znajdujący się po prawej stronie na rys. 3, prezentuje pomiar szumu fazowego na poziomie -95 dBc odległego o 1 kHz od nośnej oraz -146 dBc, odległego o 10 kHz.



Rysunek 4. Szum fazowy występujący na LO zostaje przeniesiony na sygnał częstotliwości pośredniej

Znaczenie szumu fazowego zależy w dużym stopniu od aplikacji docelowej. Wysokie wymagania stawiane są przy detekcji pobocznych sygnałów niskiej mocy, o częstotliwości bliskiej do sygnału zadanego. Przy wykorzystaniu LO o znacznym poziomie szumu fazowego, zakłócenia te są wzmacniane w wynikowym sygnale częstotliwości pośredniej, co zaprezentowano na **rysunku 4**. W tym szczególnym przypadku, szumy fazowe obu sygnałów nakładają się na siebie, co znacznie utrudnia identyfikację danego sygnału pobocznego.

Wizualizacja demodulacji, za pomocą diagramów konstelacji, stanowi alternatywny sposób prezentacji wpływu szumu fazowego. Sygnał zawierający znaczący szum fazowy charakteryzuje się niewielkimi, okresowymi rotacjami diagramu konstelacji. Na **rysunku 5** porównano sygnał idealny (lewy diagram), modulowany za pomocą kwadraturowego kluczowania fazy (4-PSK) z czterema symbolami oznaczonymi czarnymi krop-



Rysunek 5. Diagram konstelacji prezentujący rotację w przypadku obecności szumu fazowego

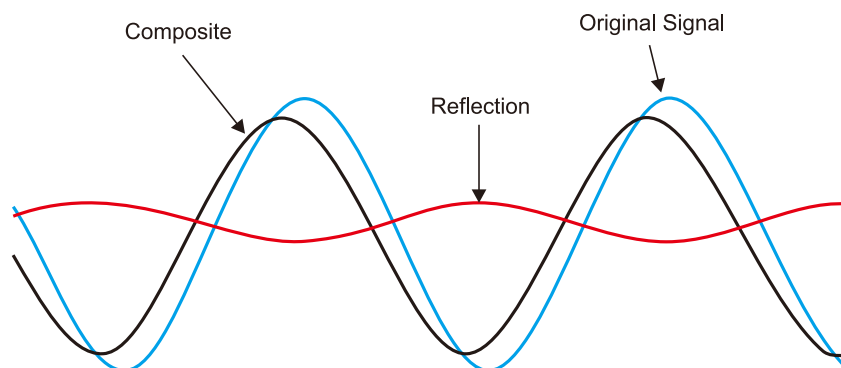
kami z sygnałem zawierającym szum fazowy (po prawej stronie). Szum fazowy wpływa na realne pomiary zniekształcając wartość EVM (*Error Vector Magnitude*) oraz zwiększając współczynnik BER (*Bit Error Rate*).

Napięciowy współczynnik fali stojącej (VSWR)

Napięciowy współczynnik fali stojącej (VSWR) jest ściśle powiązany z teorią linii długich, a jego znaczenie wzrasta wraz ze wzrostem zakresu częstotliwości pracy urządzenia. W skrócie, parametr ten mierzy odbicia sygnału występujące na skutek niedopasowań impedancji na linii transmisyjnej.

W idealnym świecie impedancja przyrządów pomiarowych w.c.z. (zazwyczaj jest to 50 Ω), jest zgodna z impedancją przewodów oraz testowanych urządzeń. Niestety, liczne niedoskonałości, jak na przykład niesymetryczne ścieżki czy różnice w wykonaniu poszczególnych elementów, wprowadzają zmiany w impedancji ścieżki, wynikiem czego powstają odbicia wpływające na amplitudę oraz dokładność fazy sygnału.

Na amplitudę sygnału odbitego wpływają zarówno właściwości wykorzystanych materiałów, jak i częstotliwość pracy. Niedopasowanie impedancji na linii transmisyjnej skutkuje bezpośrednio pogorszeniem VSWR, który okazuje się bardziej problematyczny na wyższych częstotliwościach. Przykładowo, VSWR o wartości 1:1 oznacza idealnie dopasowany system, a VSWR o poziomie 1,1:0,9 oznacza, że do 10% wartości amplitudy zostaje odbite w linii transmisyjnej.



Rysunek 6. Wpływ VSWR na amplitudę i fazę sygnału

Ponieważ VSWR zależy także od właściwości materiału, jego wartość może być wyliczona na podstawie współczynnika odbicia Γ zgodnie z poniższym równaniem:

VSWR istotnie wpływa na testowany sygnał, ponieważ powoduje zniekształcenie jego amplitudy oraz fazy. Co więcej, w zależności od fazy odbicia VSWR, wynikowa amplituda może być większa lub mniejsza niż oryginalna. Rysunek 6 prezentuje wpływ odbić VSWR na kształt sygnału.

Odbicie o fazie przesuniętej w stosunku do oryginalnej powoduje efekt tłumienia, w wyniku czego sygnał wynikowy ma amplitudę mniejszą od oryginalnej. W większości przypadków VSWR jest redukowany przez zastosowanie wewnętrznych lub zewnętrznych tłumików, a zatem zwiększenie poziomu referencyjnego urządzenia redukuje VSWR poprzez wewnętrzne tłumienie.

VSWR jest ważnym parametrem, gdyż w znacznym stopniu wpływa na amplitudę

sygnału. Niektóre aplikacje, jak na przykład charakterystyka filtru w.c.z., wymagają możliwie największej dokładności amplitudowej. Jako, że filtr w.c.z. jest charakteryzowany za pomocą pomiaru strat w amplitudzie sygnału wymuszającego, dokładność tego pomiaru dla sygnału wymuszającego oraz analizowanego urządzenia jest krytyczna.

Wnioski

Specyfikacja urządzeń wielkich częstotliwości, część 1 prezentuje podstawowe informacje dotyczące istotnych parametrów urządzeń w.c.z. Należy podkreślić, że wiele z opisanych wartości dotyczy wszystkich urządzeń w.c.z., a zatem są powszechnie wykorzystywane w trakcie procesu projektowania. Kolejny artykuł z tej trzyczęściowej serii skupia się na charakterystyce właściwości generatorów w.c.z., łącznie z tolerancją częstotliwości, liniowością, wyjściem mocy, poziomem 1 dB kompresji oraz intermodulacją trzeciego rzędu.

ZAJRZYJ NA TE STRONY

ZAJRZYJ NA TE STRONY

sklep. **FERYSTER**.pl
info@feryster.pl

GAMMA
www.gamma.pl
info@gamma.pl
PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE

WO BIT
www.wobit.com.pl
silniki.pl
silniki.com
enkodery.pl

P **www.piekarz.pl**
Hurtownia części elektronicznych
firma@piekarz.pl tel. 022-835-50-37 fax 022-213-92-82

RENEX
NARZĘDZIA DLA ELEKTRONIKÓW
www.renex.com.pl

HUMA Co. **www.humasklep.pl**