

Charakterystyka urządzeń wielkich częstotliwości (3)

Analizatory sygnałów

Urządzenia wykorzystywane podczas testów RF są skomplikowanymi przyrządami pomiarowymi charakteryzującymi się wieloma parametrami. Artykuł stanowi trzecią i ostatnią część cyklu szczegółowo analizującego specyfikację sprzętu RF. W części pierwszej zaprezentowano podstawowe zagadnienia związane z sygnałami wielkich częstotliwości, w części drugiej opisano parametry istotne dla generatorów ciągłych fal RF oraz wektorowych generatorów sygnałów. Poniższa, ostatnia część jest poświęcona charakterystyce specyfikacji analizatorów sygnałów wielkich częstotliwości.

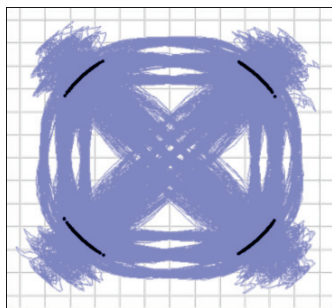
Ponieważ istnieją dwa podstawowe typy tych urządzeń (wektorowy analizator sygnałów oraz analizator widma), w pierwszej kolejności zostaną opisane różnice pomiędzy nimi. Kolejnym zagadnieniem będzie opis parametrów związanych z pomiarem widma, do których można zaliczyć zakres dynamiczny, metody uśredniania oraz pozorny średni poziom szumu (DANF).

1. Typy analizatorów sygnałów RF

Inżynierowie wykonujący pomiary sygnałów wielkich częstotliwości, są najczęściej zainteresowani takimi parametrami, jak ich amplituda, częstotliwość oraz faza. W zależności od analiz, które planuje się wykonać na pobranych danych, można w tym celu wykorzystać zarówno analizator widma, jak i wektorowy analizator sygnałów (VSA – *Vector Signal Analyzer*)¹.

Analizator widma jest używany jedynie do pomiarów mocy w dziedzinie częstotliwości, a wartości wynikowe zazwyczaj są prezentowane na wykresie oddającym tę zależność. Analizator wektorowy potrafi wykonać te same pomiary jednocześnie mając dodatkowe możliwości. Mowa tu o detekcji fazy sygnału. Oznacza to funkcję pomiaru sygnału RF w domenie czasu, a co za tym idzie, na tej podstawie jest możliwe stworzenie diagramu konstelacji, jak pokazano to na **rysunku 1**.

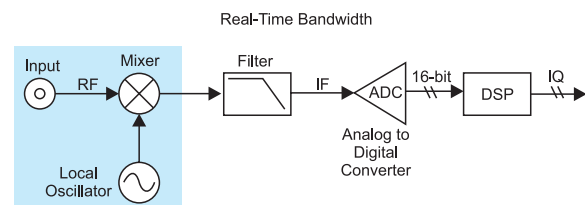
Analizatory widma oraz wektorowe analizatory sygnałów zwykle wykorzystują różne rozwiązania sprzętowe. Typowy analizator widma jest zbudowany z podstawowych elementów w tym: regulowany oscylator lokalny (LO), mieszacz, filtr środkowoprzepustowy oraz miernik mocy. Aby wykonać pomiar widma, analizator ustawia częstotliwość pracy LO na odpowiednią wartość, a następnie wykonuje pomiar mocy sygnału w danym paśmie. Zmieniając w ten sposób częstotliwość sygnału testującego,



Rysunek 1. Diagram konstelacji

Dodatkowe informacje:

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



Rysunek 2. Schemat blokowy typowego analizatora widma

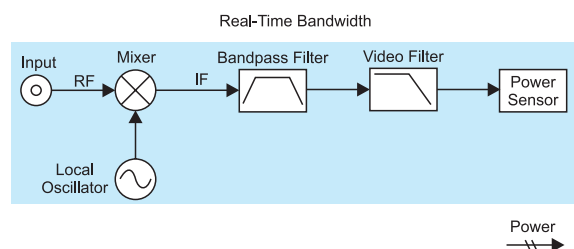
typowe analizatory widma (ich schemat przedstawia **rysunek 2**) zapewniają pomiar mocy w szerokim zakresie częstotliwości.

Niektóre urządzenia nadal pracują w tym tzw. trybie przemiatania, jednak wiele współczesnych analizatorów widma jest zaprojektowanych w sposób podobny do analizatorów wektorowych. Typowa architektura VSA wykorzystuje strojony LO, którego sygnał jest mieszany z sygnałem RF w celu uzyskania szerokopasmowej częstotliwości pośredniej IF (*intermediate frequency*). Dane w dziedzinie częstotliwości są uzyskiwane dzięki wykonaniu szybkiej transformaty Fouriera sygnału pośredniego, zamiast przemiatania częstotliwości. FFT zapewnia informacje dotyczące mocy dla danej częstotliwości sygnału w szerokim paśmie podczas pojedynczego pomiaru. Architektura wektorowego analizatora sygnałów jest zbliżona do architektury wektorowego generatora sygnałów.

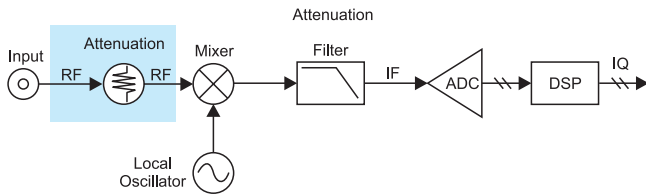
Przedstawiony na **rysunku 3** przetwornik analogowo – cyfrowy jest w stanie uchwycić szersze widmo danych, co umożliwia wykonanie pomiaru fazy sygnału RF o dużej dokładności oraz wykonanie pomiarów widma za pomocą prostych obliczeń FFT.

2. Tłumienie oraz poziom odniesienia

Analizatory sygnału RF zostały zaprojektowane z myślą o pomiarze wielu typów sygnałów RF w jak największym zakresie dynamicznym. Jednym ze sposobów na uzyskanie szerszego zakresu dynamicznego jest wykorzystanie tłumienia w celu dopasowania amplitudy sygnału mierzonego do poziomu idealnego z punktu widzenia posiadanego urządzenia. Projektanci VSA dążą do uzyskania dużej liczby dostępnych poziomów referencji lub tłumienia sygnałów (wartości te są specyfikowane w decybelach). Zazwyczaj użytkownik ustawia poziom odniesienia



Rysunek 3. Przetwornik analogowo – cyfrowy



Rysunek 4. Umieszczenie elementów tłumiących i wzmacniających

niewiele ponad maksymalny, oczekiwany poziom mocy sygnału mierzonego, a przyrząd pomiarowy doбира wówczas automatycznie odpowiednie wzmocnienie lub tłumienie. Elementy wzmacniające i tłumiące są fizycznie umieszczane w urządzeniu jak najbliżej wejścia, tak by otrzymać odpowiedni poziom mocy sygnału na mieszaczu oraz osiągnąć maksymalny zakres dynamiczny analizowanego sygnału (rysunek 4).

Programowane tłumienia i wzmocnienia są istotne, gdyż umożliwiają pomiar sygnałów o zróżnicowanym poziomie mocy. Na przykład, po podłączeniu do analizatora RF anteny szerokopasmowej, możliwe będzie zaobserwowanie w przestrzeni bezprzewodowej wielu sygnałów o różnych poziomach mocy. Większość stacji radiowych FM nadaje z amplitudą sięgającą maksymalnie ok. -50 dBm. Z drugiej strony, odnalezienie sygnału GSM o mocy powyżej -70 dBm jest mało prawdopodobne, chyba, że odbiornik znajduje się blisko stacji bazowej. W skrajnych wypadkach, sygnały GPS w pasmie 1,57 GHz mogą pracować na poziomie niższym niż -157 dBm.

Podczas wyboru analizatora widma RF koniecznie należy sprawdzić zakres wzmocnienia urządzenia. Jego wartość maksymalna połączona z zakresem dynamicznym definiuje minimalny poziom sygnału, który analizator jest w stanie odebrać. Opcjonalne przedwzmacniacze, umieszczone przed wejściem VSA, pozwalają na analizę sygnałów o bardzo niskim poziomie mocy.

3. Zakres dynamiczny

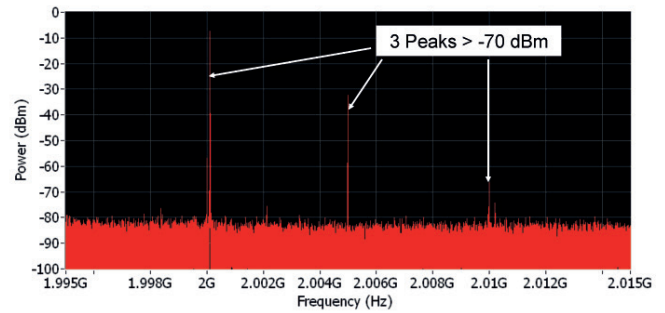
Zakres dynamiczny określa maksymalną oraz minimalną amplitudę sygnału, które można zmierzyć w tym samym momencie tym samym urządzeniem. Jedynym czynnikiem wpływającym na ograniczenie zakresu od góry, jest tłumienie wprowadzone do systemu. Z drugiej strony, wartość minimalna zależy od wielu czynników, m.in. od szumu wprowadzanego przez wzmacniacz, zakłóceń, składowych harmonicznych oraz wycieków lokalnego oscylatora (tzw. „LO leakage”). Innymi słowy, zakres dynamiczny jest różnicą między mocą najsilniejszego sygnału a mocą największych zakłóceń, szumów, czy produktów zniekształceń nieliniowych. Parametr ten definiowany jest w decybelach. Oczywiście pożądanym jest, aby ten parametr był jak największy.

Zakłócenia oraz szumy mogą być wprowadzane niemal na każdym odcinku ścieżki, którą przebiega sygnał. Nieliniowa charakterystyka elementów, takich jak mieszacze i wzmacniacze, może skutkować pojawieniem się nieliniowych zniekształceń sygnału. Każdy z nich może wprowadzić dodatkowe składowe widoczne w dziedzinie częstotliwości. Na zakres dynamiczny wpływa również przetwornik A/C – im większa jego rozdzielczość, tym lepszy zakres dynamiczny.

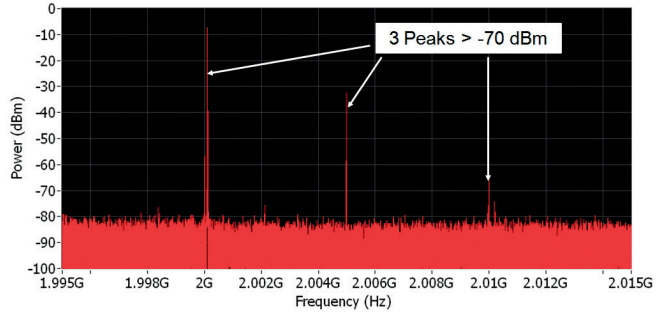
Jest on ważnym parametrem w przypadku pomiaru sygnałów o niskich amplitudach. Zyskuje on dodatkowo na znaczeniu, gdy pomiary są wykonywane w sąsiedztwie sygnału o dużej mocy. Zakres dynamiczny określa minimalny sygnał, który może być odebrany względem maksymalnego (o najwyższej mocy), gdyż poziom odniesienia pomiaru nie może być ustawiony poniżej poziomu najsilniejszego sygnału. Zagadnienie to jest przedstawione na rysunku 5, gdzie widoczny jest sygnał o małej mocy w sąsiedztwie sygnału silniejszego (GSM). Aby zmierzyć najmniejszy sygnał, przedstawiony na ilustracji poniżej, analizator powinien dysponować zakresem dynamicznym na poziomie co najmniej 60 dB.

4. Metody uśredniania

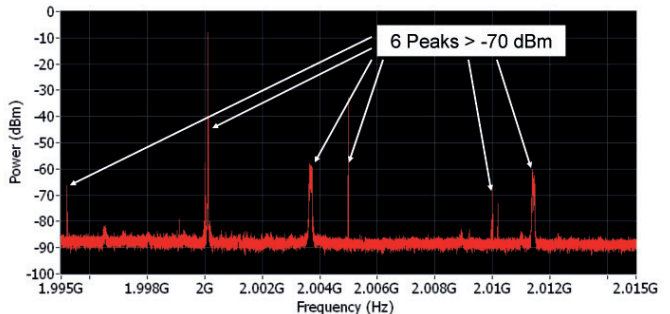
Uwaga: Uśrednianie może negatywnie wpływać na dokładność pomiarów stosunku nośnej do szumu. Dzięki wykorzystaniu metod



Rysunek 5. Sygnał o małej mocy w sąsiedztwie sygnału silniejszego (GSM)



Rysunek 6. Pomiar pasma sygnału FM



Rysunek 7. Pomiar pasma sygnału FM

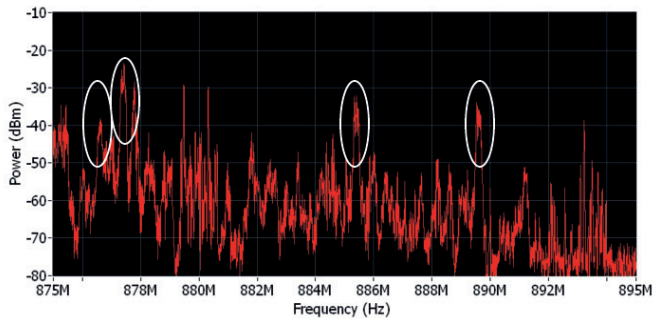
uśredniania, możliwe jest zredukowanie poziomu szumów, co zwiększa dokładność pomiaru sygnałów o niskiej mocy. Uśredniając kilka kolejnych okresów sygnału, eliminuje się przypadkowe zakłócenia oraz szum biały, a jego kolejne realizacje zbiegają się do faktycznej wartości. W dalszej części tego dokumentu zostaną omówione dwie metody zaawansowanego uśredniania: za pomocą uśrednień wartości skutecznej (RMS) sygnału oraz pomiarów wartości ekstremalnych (peak-hold).

Uśrednianie RMS

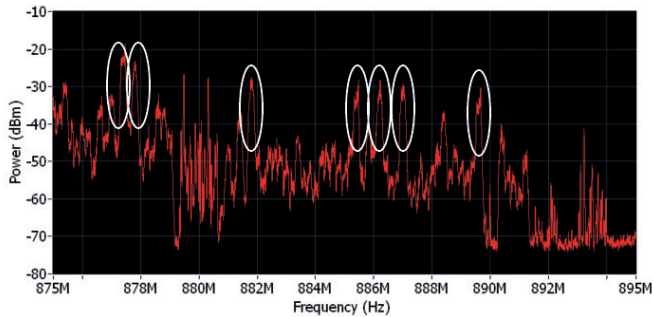
Dzięki wykorzystaniu uśredniania wartości skutecznej, urządzenia są w stanie wykryć sygnały o niskim poziomie mocy. Proces ten umożliwia wyeliminowanie okresowych składowych szumu, pozostawiając jedynie podstawowy sygnał. Aby otrzymać uśrednioną wartość RMS, oraz by uśrednić moc lub energię sygnału, oblicza się średnią ważoną sumy kwadratów indywidualnych pomiarów. Rysunki 6 oraz 7 prezentują odpowiednio pasmo FM zmierzone bez zastosowania omawianej metody oraz przy jej wykorzystaniu, demonstrując większą dokładność detekcji sygnałów o małej amplitudzie.

Uśrednianie pomiaru wartości szczytowych

Uśrednianie pomiaru wartości szczytowych polega na zachowywaniu pomiarów wartości szczytowych każdej częstotliwości w czasie kolejnych pomiarów FFT. Metoda ta powoduje wzrost poziomu szumów, gdyż prezentuje najwyższą zarejestrowaną wartość spośród wielu kolejno wykonanych pomiarów. Warto zauważyć, że metoda ta pokazuje na jednym wykresie wartości szczytowe kolejnych, następujących po sobie w czasie wykresów widmowych, dzięki czemu można wykryć



Rysunek 8. Analiza pasma 885 MHz ze zmienną liczbą uśrednień



Rysunek 9. Analiza pasma 885 MHz ze zmienną liczbą uśrednień

zmianę częstotliwości obserwowanych sygnałów. Rysunki 8 oraz 9 przedstawiają analizę pasma 885 MHz wykorzystywanego w telefonii komórkowej, wraz ze zmienną liczbą zastosowanych uśrednień, ilustrującą działanie opisanej metody.

5. Średni poziom szumów

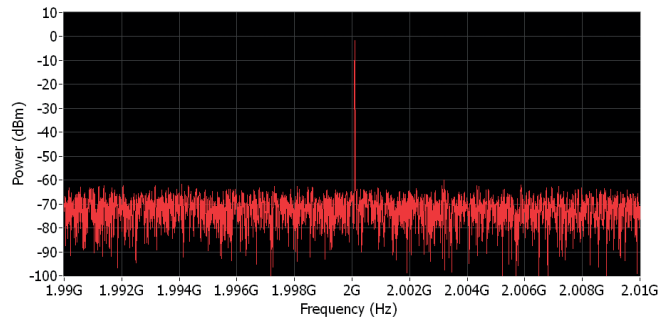
Pozorny (prezentowany użytkownikowi) poziom szumów (DANF – Displayed Average Noise Floor) analizatora sygnałów wielkiej częstotliwości zależy nie tylko od zakłóceń wprowadzanych przez sam system RF, jak wspomniano w punkcie 4 (Metody uśredniania). Na ten parametr wpływa w znacznym stopniu m.in. wybór sposobu uśredniania danych. Innym, bardzo ważnym czynnikiem jest rozdzielczość pasma (RBW – Resolution BandWidth) – obecny rozdział szczegółowo omawia ten aspekt. Aby zilustrować to zagadnienie, dokonano akwizycji pasma o szerokości 20 MHz zawierającego sygnał generowany na wybranej częstotliwości. Rysunki 10 oraz 11 wyraźnie pokazują, że zmniejszenie rozdzielczości pasma w rzeczywistości obniża prezentowany poziom szumów urządzenia.

Jak widać, wskazanie pozornego średniego poziomu szumu (DANF) urządzenia w dużym stopniu zależy od rozdzielczości wykorzystywanego pasma. Parametr ten jest na tyle istotny, że na jego podstawie można wskazać najmniejszy wykrywalny sygnał przez dany przyrząd pomiarowy. Warunki pomiaru tego sygnału są zazwyczaj określane wraz z aktualnym poziomem DANF, jako że jest on zależny od wielu ustawień urządzenia pomiarowego. Typowy opis specyfikacji DANF może przyjąć następującą formę:

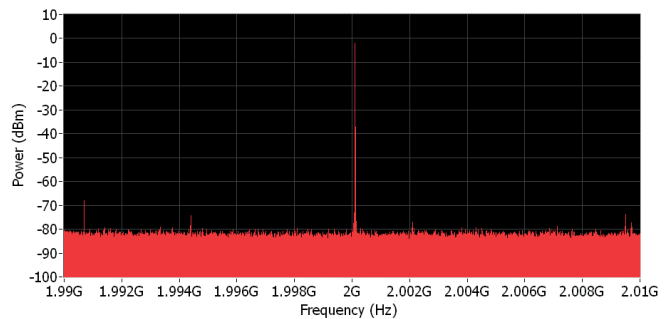
-115 dBm pomiędzy 1 GHz, a 2.7 GHz, RBW równe 1 kHz, 0 dB tłumienia na wejściu przy 25° C.

Poziom szumu jest często standaryzowany do wspólnego poziomu RBW (zazwyczaj 1 Hz), jako że pozorny poziom szumu rośnie wraz ze wzrostem szerokości RBW.

Porównując DANF w urządzeniach różnych producentów należy zwrócić szczególną uwagę, czy oba pomiary zostały znormalizowane do takiej samej szerokości pasma. Najłatwiejszą techniką rzetelnej weryfikacji jest wykorzystanie wspólnego RBW o wartości 1 Hz.



Rysunek 10. Zmniejszenie rozdzielczości pasma obniża prezentowany poziom szumów urządzenia



Rysunek 11. Zmniejszenie rozdzielczości pasma obniża prezentowany poziom szumów urządzenia

W tym celu należy odjąć $10 \log(RBW)$ od podanego poziomu szumów. Na przykład, urządzenie, dla którego poziom szumu równy jest -115 dBm dla RBW=1 kHz, przy RBW=1 Hz wykaże odpowiednio poziom szumu równy -145 dBm. Zatem dopiero po standaryzacji rozdzielczości pasma do tej samej wartości i wykonaniu odpowiednich przeliczeń zależnych parametrów, można prawidłowo porównać możliwości danych przyrządów pomiarowych.

Wiele tradycyjnych analizatorów widma normalizuje pomiary do pasma wideo 6 MHz. Za pomocą prostych obliczeń matematycznych można dokonać konwersji z pomiarów znormalizowanych do 1 Hz na 6 MHz. Wystarczy dodać do nich wartość $10 \log(6 \text{ MHz})$, czyli 67,8. Przykładowo wartość -145 dBm, znormalizowana do poziomu 1 Hz wyniesie: $-145 \text{ dBm} + 68 \text{ dBm} = -77 \text{ dBm}$.

Zawsze należy się upewnić, że w trakcie porównywania różnych narzędzi lub wykonywania pomiarów szumu testowanych urządzeń (DUT), wykorzystywane jest to samo pasmo oraz poziom mocy.

6. Podsumowanie

Bez względu na to, czy są Państwo specjalistami w dziedzinie RF czy nowicjuszami starającymi się zrozumieć zasady wykonywania pomiarów sygnałów wielkich częstotliwości, mamy nadzieję, że informacje zawarte we wszystkich częściach tej serii artykułów, okazały się przydatne. Część pierwsza przedstawiła podstawowe parametry urządzeń RF. Część druga oraz trzecia skupiły się na analizie specyfikacji odpowiednio generatorów oraz analizatorów sygnałów RF.

Zachęcamy do wykorzystania tych informacji w przyszłości, jako referencje oraz wsparcie podczas analizy specyfikacji dowolnych urządzeń RF.

1 Wektorowy analizator sieci może być także wykorzystany do przeprowadzania omawianej analizy. Urządzenie to nie jest uwzględnione w niniejszym artykule, jednak więcej informacji na jego temat można odnaleźć na stronie Vector Network Analysis Webcast Series