

Pomiary reflektancji

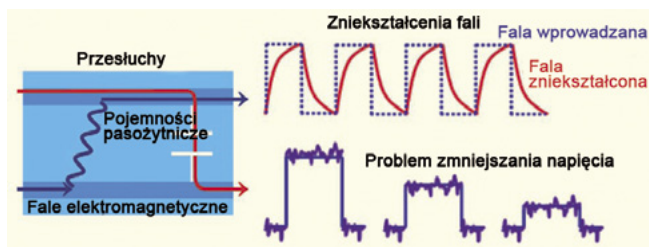
Pomiary wektorowym analizatorem sieci vs. pomiary oscyloskopem

Nowoczesne systemy komunikacji cyfrowej wymagają znacznie większych przepływności niż jeszcze kilka lat temu. Standardem stały się już interfejsy pozwalające na transfer kilku gigabitów na sekundę. Za przykład może posłużyć USB 3.0, który umożliwia przesył do 5 Gb/s. Niestety, wzrost szybkości transmisji danych prowadzi także do zwiększenia wagi zjawisk fizycznych występujących w kablu, których nie wolno ignorować. Odbicia i straty sygnału w przewodzie powodują zniekształcenia, które mogą uniemożliwić poprawną komunikację.

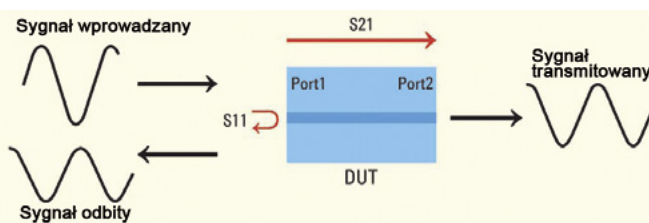
Kluczowe okazują się zniekształcenia w dziedzinie czasu, gdyż wraz ze wzrostem częstotliwości taktowania komunikacji maleje margines błędu synchronizacji. Trudności sprawiają też zewnętrzne fale elektromagnetyczne i interferencje wynikające np. ze sprzęgania się wysokoczęstotliwościowych sygnałów przez pojemności. Problem rośnie wraz ze zmniejszaniem się wymiarów układów scalonych, nie wspominając już o trendzie do ograniczania napięcia zasilania, który zmniejsza stosunek SNR układów oraz obniża ich odporność na szумы (rysunek 1).

Problem konstruktora

Mimo tych wszystkich problemów, konstruktorzy nie mają wcale więcej czasu na rozwijanie swoich projektów. W rzeczywistości



Rysunek 1. Niekorzystne zjawiska występujące w nowoczesnych układach przewodowej transmisji danych



Rysunek 2. Sygnały: nadany, odbity i transmitowany, oznaczone zgodnie z macierzą rozproszenia

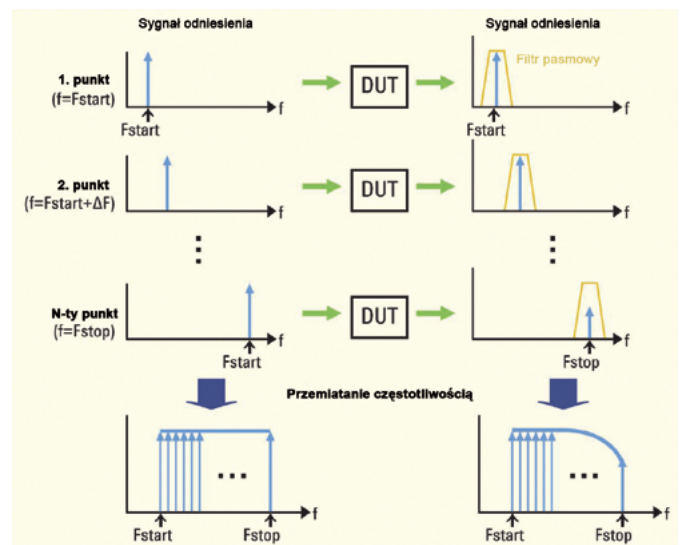
Dodatkowe informacje:

Artykuł został udostępniony przez Farnell we współpracy z Agilent Technologies. Więcej informacji o nowych produktach jest dostępne na stronie internetowej Farnell www.farnell.com/pl oraz na portalu społecznościowym dla projektantów elektroniki www.element14.com

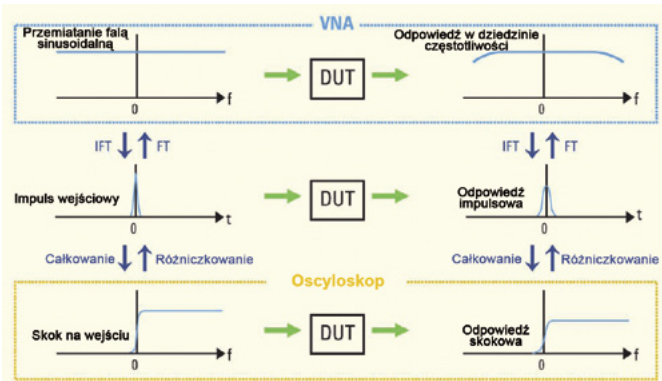
jest wręcz przeciwnie – przydzielony im czas na prace jest również ograniczony. Dlatego, by spełnić założenia projektowe i pokonać wszystkie z wymienionych trudności, konieczne jest posłużenie się precyzyjnymi, zaawansowanymi urządzeniami pomiarowymi. Aparatura ta musi jednak spełnić kilka ważnych wymagań:

1. Musi mieć duży zakres dynamiczny pracy w szerokim przedziale częstotliwości.
2. Musi umożliwiać dokładną synchronizację pobudzeń.
3. Musi cechować się dużą wydajnością przetwarzania danych oraz szybką ich wizualizacją.

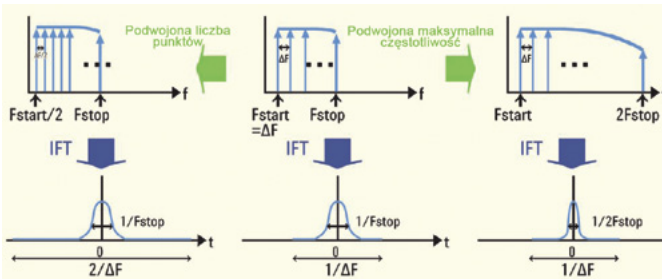
Jednym ze sposobów osiągnięcia szerokiego zakresu dynamicznego w aparaturze pomiarowej jest minimalizacja jej szumów własnych. Wtedy to staje się możliwe mierzenie sygnałów o bardzo niskich poziomach charakterystycznych np. dla przesłuchów. Za pomocą takiego narzędzia należy przede wszystkim przebadać komponenty pracujące na największych częstotliwościach, gdyż to one najczęściej powodują błędy w komunikacji. Natomiast precyzyjna synchronizacja w przypadku badania przesunięć czasowych na wielu liniach sygnałowych pobudzeń umożliwia wykonywanie dokładnych pomiarów. Bardzo ważna jest także duża szybkość wykonywania pomiarów, przy czym dotyczy to nie tylko samego próbkowania, ale też przetwarzania wyników. Konieczne jest, by uzyskiwane rezultaty były jak najszybciej prezentowane na wyświetlaczu przyrządu.



Rysunek 3. Badanie urządzenia za pomocą VNA poprzez przemiatanie sygnałem sinusoidalnym o zmiennej częstotliwości



Rysunek 4. Zależności pomiędzy odpowiedzią skokową i impulsową uzyskaną za pomocą odwrotnej transformaty Fouriera



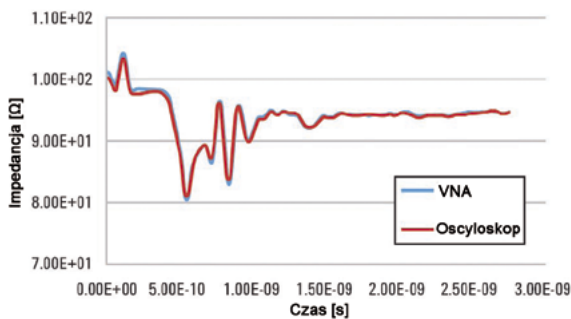
Rysunek 5. Zależność pomiędzy parametrami sygnału zobrazonego w dziedzinie czasu (rozdzielczość czasowa i długość przebiegu) oraz cechami opisującymi widmo sygnału (maksymalna częstotliwość i rozdzielczość częstotliwościowa)

Problemy z oscyloskopami

Jak dotąd, na najbardziej powszechną konfigurację stanowiska testowego do badania przewodów i linii sygnałowych na płytach drukowanych składał się reflektometr zbudowany w oparciu o oscyloskop. Jednakże ze względu na względnie duże szумы własne oscyloskopów, uzyskanie dużego zakresu dynamicznego pracy przy wysokich częstotliwościach jest bardzo trudne. Jednym ze stosowanych zabiegów jest uśrednianie, które obniża szum, ale ogranicza szybkość pomiarów. Problematyczny może być też jitter pomiędzy różnymi źródłami sygnału używanymi do pomiaru zniekształceń czasowych. Ostatnim z ważnych problemów jest trudność w implementacji układów chroniących przed wyładowaniami elektrostatycznymi w oscyloskopach, w efekcie czego reflektometry zbudowane w oparciu o przyrządy tego typu są wrażliwe na ESD (wyładowania elektrostatyczne).

Reflektometr z analizatora VNA

Wszystkich opisanych dotąd problemów, jakie występują w wypadku korzystania z reflektometrów zbudowanych w oparciu



Rysunek 6. Wyniki pomiarów wykonanych za pomocą analizatora VNA (Agilent E5071C) i oscyloskopu TDR (Agilent 86100C). W przypadku pomiaru oscyloskopowego zastosowano uśrednianie z 16 powtórzeń

o oscyloskopy, da się uniknąć, stosując wektorowy analizator sieci (VNA – Vector Network Analyzer). VNA to przyrząd mierzący odpowiedź częstotliwościową badanego urządzenia. Pozwala na pomiar fali transmitowanej (S21) lub odbitej (S11) i odniesienie ich do fali wprowadzanej na wejście (rysunek 2). Badanie jest przeprowadzane poprzez wprowadzanie na wejście testowanego urządzenia sygnału sinusoidalnego o różnej częstotliwości (przemiatanie). W celu zwiększenia dokładności tych pomiarów, na wejściu odbiornika jest wbudowany filtr pasmowy, który odcina szумы i inne zakłócenia, tym samym zwiększając dokładność wykonywanego pomiaru (rysunek 3).

Konwersja na dziedzinę czasu

Odpowiedź uzyskana w dziedzinie częstotliwości może być w całkiem prosty sposób przekształcona na odpowiedź impulsową. W tym celu wyniki pomiarów fali transmitowanej i odbitej z użyciem VNA należy poddać odwrotnej transformacie Fouriera (rysunek 4). Scałkowanie odpowiedzi impulsowej prowadzi natomiast do uzyskania odpowiedzi skokowej, czyli takiej samej, jak obserwowana za pomocą reflektometru zbudowanego w oparciu o oscyloskop. Ponieważ proces całkowania numerycznego jest czasochłonny, w praktyce stosuje się splot w połączeniu z transformatą Fouriera. Konkretnie rzecz ujmując, obliczana jest transformata fourierowska sygnału wejściowego, a następnie wynik jest splatany z odpowiedzią częstotliwościową badanego urządzenia. Następnie oblicza się odwrotną transformatę Fouriera. Możliwość zastosowania takiego toku postępowania wynika z faktu, że całkowanie danego sygnału w dziedzinie czasu odpowiada splataniu jego widma, a więc oba prowadzą do uzyskania odpowiedzi skokowej.

Parametry przetwarzania

Precyzję tak uzyskanej odpowiedzi skokowej można łatwo obliczyć. Gęstość próbek sygnału w dziedzinie czasu uzyskana po dokonaniu odwrotnej transformaty Fouriera odpowiada odwrotności maksymalnej częstotliwości, dla jakiej wyrażone było widmo. Długość uzyskanego przebiegu jest natomiast równa odwrotności odstępów wyrażonych w hercach, pomiędzy kolejnymi próbkami widma, na których wykonywana była odwrotna transformata Fouriera. Zostało to zilustrowane na rysunku 5. Przykładowo, jeśli widmo sygnału zostało zmierzone w zakresie do 10 GHz, rozdzielczość przetransformowanego sygnału w czasie wynosi 100 ps. Mogłoby się wydawać, że czas trwania obliczonego sygnału można zwiększać w nieskończoność poprzez zmniejszanie skoku częstotliwości próbek widma, ale w praktyce nie jest to możliwe. Próbki te muszą być bowiem równomiernie rozmieszczone w całej dziedzinie częstotliwości, w związku z czym są ograniczone przez minimalną częstotliwość pracy analizatora. W wypadku nowoczesnych VNA ograniczenie to wynosi 100 kHz, co odpowiada 10 μs długości sygnału w dziedzinie czasu. Wartość ta jest w zupełności wystarczająca do pomiarów nowoczesnych układów z użyciem reflektometrów.

Przykład

Dla zilustrowania możliwości opisanych w artykule przebadano kabel firmy Hosiden. W tym celu użyto dwóch przyrządów: analizatora Agilent E5071C ENA wyposażonego w opcjonalny reflektometr oraz oscyloskopu z reflektometrem Agilent DCA 86100C TDR. Wyniki pomiarów impedancji badanego przewodu zostały przedstawione na rysunku 6. Jak widać, różnica pomiędzy uzyskanymi rezultatami nie przekracza 0,4 Ω, co odpowiada mniej więcej 0,4% wartości mierzonej.

Marcin Karbowniczek, EP
marcin.karbowniczek@ep.com.pl