

# Pomiary oscyloskopowe: okiem praktyka, część 9

*W kolejnej części praktycznego poradnika dla użytkowników oscyloskopów cyfrowych skupiamy się na pomiarach automatycznych, w których sporą liczbę są obecnie wyposażane także ich najtańsze modele. Wiarygodność i dokładność uzyskiwanych wyników dość często (nadal!) zależy od użytkownika, warto więc zapoznać się z poradami doświadczonego praktyka, jakim jest autor cyklu.*



## Pomiary automatyczne

Nieocenionym ułatwieniem pracy z oscyloskopem cyfrowym są pomiary automatyczne. Pozwalają na bezpośredni odczyt mierzonych wielkości. Pomiar parametrów czasowych i amplitudowych sygnału jest już standardowym wyposażeniem, nawet w najprostszych przyrządach. Coraz popularniejsze jest wyposażanie oscyloskopu w programy dedykowane konkretnej aplikacji. Często za pomocą jednego przycisku uruchomić można skomplikowane testy. Takie ułatwienia wymagają jednak krytycznej oceny uzyskanego wyniku.

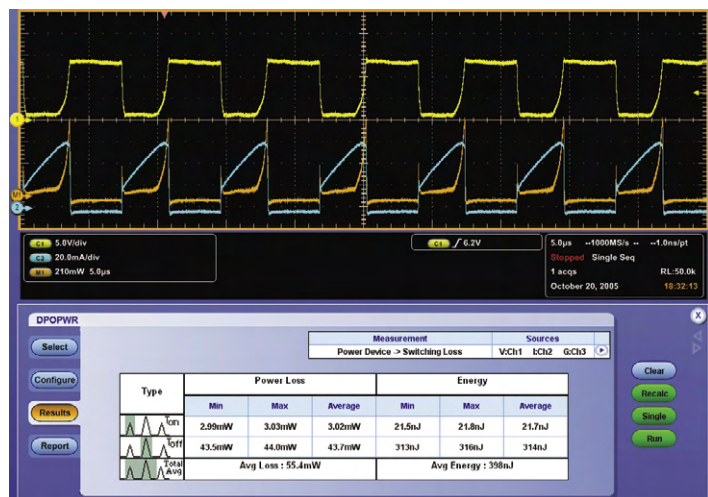
Oscyloskopy analogowe pozwalały na ekranie lampy obserwować głównie przebieg sygnału badanego. Bardziej zaawansowane konstrukcje wyposażano w wyświetlanie aktualnej skali. Aby cokolwiek zmierzyć, należało najpierw uzyskać stabilny obraz. W tym celu trzeba było zmienić ustawienia wielu elementów regulacyjnych. Wartość mierzona była obliczana na podstawie wykreślonego przebiegu i ustawień skali. Dodatkowo należało określić jednostkę otrzymanego wyniku. Taki pomiar wymagał na każdym etapie świadomego udziału użytkownika.

Jednak nie wszystkie pomiary są na tyle elementarne, aby można je wykonać w ten sposób. Na **rys. 44** przedstawiono aplikację pomiarów

mocy, uruchomioną w oscyloskopie DPO7000. Przebiegi żółty i niebieski są efektem pomiaru odpowiednio napięcia i prądu w tranzystorze kluczującym zasilacza impulsowego. Przebieg pomarańczowy reprezentuje zmiany mocy wydzielanej w obwodzie. Jest on generowany automatycznie przez przyrząd na podstawie danych pomiarowych. Ponadto, w tabeli poniżej ekranu widoczne są wyniki pomiaru strat mocy (i energii) przy włączaniu i wyłączaniu tranzystora. Podane są wartości minimalne, maksymalne i średnie dla jednego cyklu włączenia i wyłączenia oraz uśredniony wynik dla całego przebiegu. Ręczne obliczenie tych wartości na podstawie przebiegów z oscyloskopu analogowego jest bardzo czasochłonne. Za pomocą pomiarów automatycznych wynik uzyskujemy prawie natychmiast. Dodatkowo, wyświetlany jest on z uwzględnieniem odpowiednich jednostek.

Ułatwienie to odbywa się jednak kosztem naszego świadomego wkładu w proces pomiaru.

W najprostszej wersji automatyka pomiarów obejmuje zestaw najbardziej popularnych wielkości. Użytkownik ma możliwość wyboru przebiegu źródłowego oraz rodzaju pomiaru. Sposób obliczania wyświetlanego przez przyrząd wyniku często pozostaje niewiadomą. Szczegóły tworzonych przez informatyków aplikacji do automatyzacji pomiarów nie zawsze mają uzasadnienie czy sens fizyczny. Dla przykładu, jeden ze współczesnych oscyloskopów średniej klasy wyposażono w automatyczny pomiar fazy pomiędzy dwoma przebiega-



Rys. 44.

**ZAJRZYJ NA TE STRONY**

**LARO** [www.laro.com.pl](http://www.laro.com.pl)  
CZĘŚCI ELEKTRONICZNE

**TONSIL** sklep internetowy  
zestawy hi-fi głośniki [www.e-tonsil.pl](http://www.e-tonsil.pl)

**cyfronika** [www.cyfronika.com.pl](http://www.cyfronika.com.pl)  
elektronika dla wszystkich  
sklep internetowy  
wszystko dla elektroniki  
**okinoity**

sklep **INDUCTORS**.pl

**P** HURTOWNIA CZĘŚCI ELEKTRONICZNYCH  
firma@piekarz.pl  
Warszawa, ul. Przy Agorze 28 lok. U1  
☎ 022 835 50 37  
[www.piekarz.pl](http://www.piekarz.pl) Warszawa, ul. Wolumen 53, lok. 66  
☎ 022 663 76 01

**MERSERWIS** aparatura kontrolno pomiarowa,  
elementy automatyki, serwis  
ul. Gen. Wł. Andersa 10  
00-201 Warszawa  
fax/tel:+48 22 831 42 56 [www.merserwis.pl](http://www.merserwis.pl)

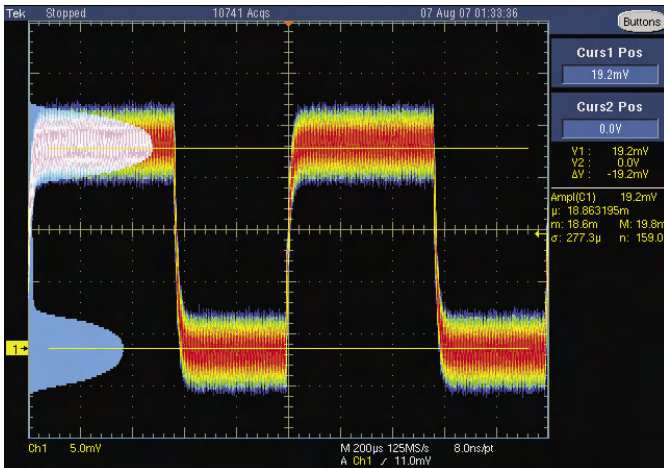
**MS Elektronik** Oferta czynnych i biernych  
Dystrybutor Elementów Elektronicznych  
Tel. (58) 629 24 69  
Faks: (58) 629 32 00  
E-mail: info@mselektronik.com.pl  
[www.mselektronik.com.pl](http://www.mselektronik.com.pl)

WIĘCEJ NIŻ PROFESJONALNA DYSTRYBUCJA  
**M ARTHE** [www.marthe.pl](http://www.marthe.pl)  
UKŁADY SCALONE WINBOND, WARYSTORY  
TERMISTORY, KOMPUTERY PRZEMYSŁOWE

**IC** nadajemy kształt elektronice [www.lcel.com.pl](http://www.lcel.com.pl)  
ELEKTRONIK  
• klawiatury • obudowy • materiały • wsparcie  
• płyty czołowe • akcesoria • pomocnicze • technologiczne

[www.UNIPROD.com.pl](http://www.UNIPROD.com.pl)  
magazyn ponad 700.000 pozycji on-line  
MAXIM BURR-BROWN

**CONRAD** Elektronika do domu,  
biura, warsztatu, ogrodu  
oraz dla hobbystów!  
Zamów darmowy katalog na [www.conrad.pl](http://www.conrad.pl)  
lub pod numerem telefonu 022 627 80 80

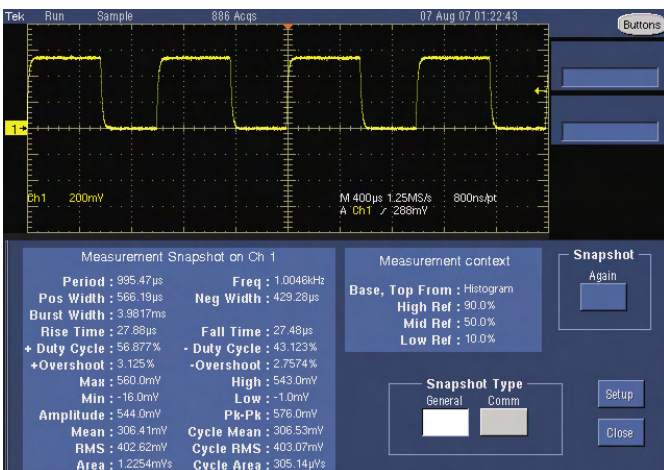


Rys. 45.

mi. Wynik podawany jest z rozdzielczością trzech miejsc po przecinku, nawet wówczas, gdy rekord akwizycji ograniczony jest do zaledwie 500 próbek. Założmy, że w takich warunkach rejestrujemy dwa pełne okresy przebiegów. Na jeden okres (360°) przypadnie 250 punktów. Odległości pomiędzy kolejnymi dwoma próbkami rekordu odpowiada prawie 1,5°. Nie bez znaczenia będzie też dokładność wyzwalania. Oferowana rozdzielczość wyniku jest mocno przesadzona. W jednym z obecnie produkowanych oscyloskopów skalę pionową dla analizy widmowej, możemy zmieniać nawet od 10<sup>-24</sup> do 10<sup>18</sup> dB! Pomijając dziwny zapis jednostek np. μdBm czy GdB, fizyczny sens jest conajmniej tajemni-

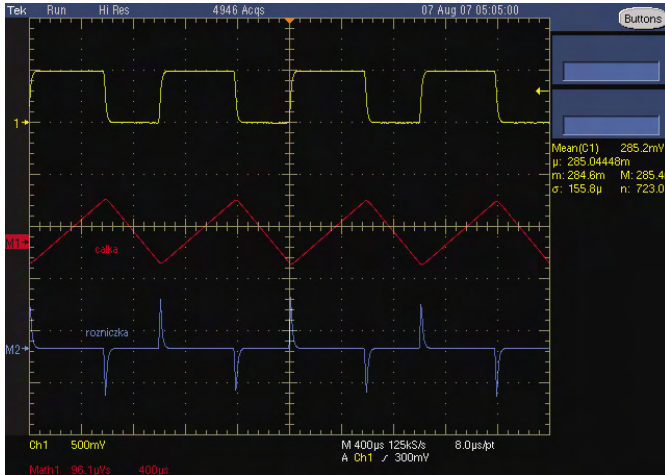
czy. Podobnie jak ustalenie skali poziomej na np. 200 GHz/dz.

Założmy, że chcemy zmierzyć amplitudę zaszumionego sygnału. Włączenie pomiaru automatycznego da nam oczywiście jakiś wynik. Pozostaje jednak pytanie jak został obliczony. Najprawdopodobniej jako różnica pomiędzy górnym a dolnym poziomem odniesienia. Z kolei poziomy odniesienia dla pomiarów automatycznych wyznaczane bywają różnie. W oscyloskopach wyższej klasy użytkownik ma nawet możliwość ich samodzielnego zdefiniowania. Dokumentacja oscyloskopów z dolnej półki, najczęściej nie zawiera, niestety, żadnych informacji na ten temat. Spójrzmy na rys. 45. Przedstawia



Rys. 46.





Rys. 47.



Rys. 48.

on wynik pomiaru amplitudy zasumowanego przebiegu prostokątnego. Pomiar wykonano oscyloskopem Tektronix TDS5032B. Wartość zmierzonej w sposób automatyczny amplitudy wynosi 19,2 mV. Na tym samym ekranie przedstawiony jest pionowy histogram rekordu akwizycji. W miejscach maksymalnych wartości histogramu umieszczono dwa kursory. Różnica poziomów pomiędzy kursorami wynosi także 19,2 mV. Nie jest to przypadek, gdyż domyślnie, dolny i górny poziom odniesienia dla pomiarów amplitudowych, wyznaczany tu jest na podstawie histogramu. Dla prostych przyrządów mamy jedynie informację o ilości dostępnych pomiarów, nie zaś o sposobie ich realizacji.

Niektóre oscyloskopy oferują możliwość szybkiego wykonania całej serii pomiarów, które mogą odnosić się do danego przebiegu. Jako przykład, na rys. 46 przedstawiono rezultat wciśnięcia przycisku *snapshot* w oscyloskopie serii TDS5000. W polu *Measurement context* znajduje się informacja, że poziomy odniesienia dla pomiarów amplitudowych (*base i top*) wyznaczono metodą histogramową. Pomiar czasów narostu i opadania zboczy wykonano pomiędzy 10% a 90% wartości ustalonej przebiegu (*poziomy odniesienia High*

*Ref i LowRef*). Niestety, nie każdy oscyloskop pozwoli uzyskać taką informację, a tym bardziej zadawać sposób wyznaczania poziomów odniesienia.

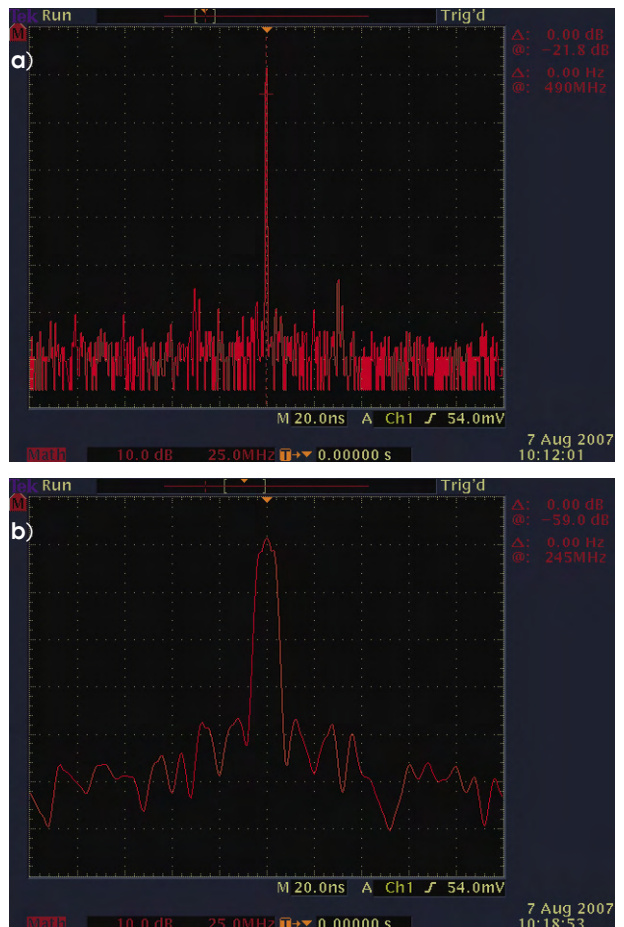
Częstym ograniczeniem pomiarów automatycznych jest to, jak wiele z nich może być wykonanych jednocześnie. Łatwo sprawdzić w dokumentacji, że dostępnych jest więcej pomiarów niż może być wykonywanych w tym samym czasie. Dodatkowo, więcej włączonych po-

miarów oznacza także zmniejszenie ilości wykonywanych rejestracji przebiegu. Wynika to stąd, że pomiary nie są realizowane przez dedykowany hardware ale programowo. Ograniczeniem jest dopuszczalne obciążenie systemu operacyjnego, zwłaszcza, jeśli wiąże się to z przeliczaniem dużej ilości próbek. Włączenie wielu pomiarów automatycznych w oscyloskopie z długim rekordem akwizycji, znacząco spowalnia reakcję przyrządu na zmianę nastaw.

Bardziej zaawansowanym rodzajem pomiarów automatycznych są operacje matematyczne na przebiegach. W ich wyniku można wygenerować dodatkowe tzw. przebiegi matematyczne. Podstawowy zestaw przebiegów matematycznych obejmuje dodawanie i odejmowanie, czasem także mnożenie i dzielenie. Przykład zasto-

sowania przebiegów matematycznych przedstawiono na rys. 47. Przebieg prostokątny zarejestrowany w kanale pierwszym (kolor żółty) poddany został operacji całkowania (kolor czerwony) oraz różniczkowania (kolor niebieski). Zarejestrowany przebieg można poddać dalszej analizie w programach kalkulacyjnych takich jak np. Mathcad, niemniej edytory wyrażen matematycznych, dostępne w oscyloskopach wyższych klas, pozwalają zdefiniować nawet bardzo skomplikowane działania na przebiegach.

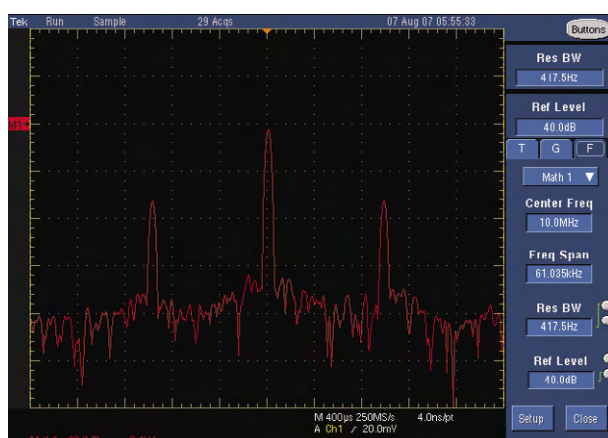
Do niedawna analiza widmowa w oscyloskopie cyfrowym była dodatkową opcją. Obecnie raczej trudno spotkać się z brakiem FFT w zestawie standardowych funkcji przyrządu. Funkcjonalność analizy widmowej w oscyloskopie cyfrowym jest jednak mocno ograniczona. Nie należy się spodziewać, że kupując oscyloskop wyposażony w tę funkcję, otrzymamy, niejako przy okazji, dodatkowy przyrząd: analizator widma. Możliwości pomiarowe są jak dotąd w obu przypadkach nieporównywalne. Stosowane w oscyloskopach



Rys. 49.



Rys. 50.



Rys. 51.

przetworniki analogowo-cyfrowe są 8-bitowe. Analizatory widma, nawet niespecjalnie wyrafinowane, wyposażone są w przetworniki najmniej 12-bitowe. To poważne ograniczenie dynamiki mierzonych sygnałów. Stosowanie uśredniania w celu zwiększenia rozdzielczości znacząco wydłuża czas pomiaru, a przy okazji filtruje badany sygnał.

Dostępne dla użytkownika elementy regulacyjne to zazwyczaj jedynie typ okna i podziałka skali. Na rys. 48 przedstawiono bardziej zaawansowane nastawy dotyczące analizy widmowej w oscyloskopie klasy TDS5000. Implementacja FFT w konkretnych modelach różni się znacząco. Danymi wejściowymi dla algorytmu FFT są próbki zapisane w rekordzie akwizycji. Długość rekordu określa możliwą do uzyskania rozdzielczość w dziedzinie częstotliwości. Na rys. 49 przedstawione jest widmo tego samego sygnału, zmierzone tym samym oscyloskopem, dla rekordu 10.000 (a) oraz 500 (b) próbek. Dla takiej samej długości rekordu akwizycji, długość wyjściowego rekordu FFT też bywa niejednakowa.

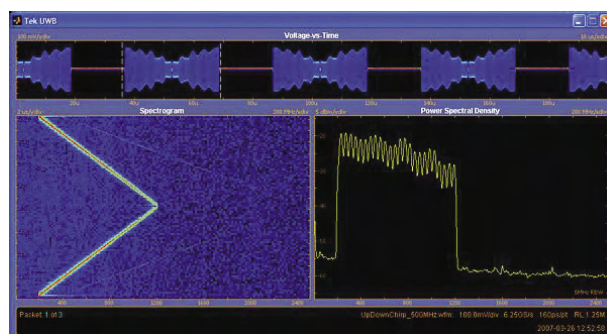
Ponadto, nie zawsze jest on dostępny w postaci danych. Zdarza się, że nawet średniej klasy oscyloskopy oferują FFT jedynie jako obraz na ekranie.

Analiza widmowa pozwoli np. szybko ustalić źródło zakłóceń w badanym prototypie. Spójrzmy na rys. 50. Na podstawie przebiegu w dziedzinie czasu trudno ocenić, co może powodować szumy w układzie. Widoczna poniżej analiza w dziedzinie częstotliwości pozwala zidentyfikować częstotliwość źródła zakłóceń. W tym konkretnym przypadku łatwo było znaleźć winowajcę, którym okazała się pracująca właśnie z częstotliwością 250 kHz przetwornica DC/DC. Niestety bardziej wyszukane pomiary za pomocą oscyloskopowej funkcji FFT nie są już tak

proste, pomiaru był nieporównywalnie dłuższy niż w przypadku nawet prostego analizatora widma. Zmiana częstotliwości sygnału modulującego na np. 1 kHz nie pozwoli już niestety ustawić na tyle wąskiej rozdzielczości częstotliwości RBW, aby wstęgi boczne nie zlewały się z nośną. O przeprowadzeniu takiego pomiaru za pomocą FFT w najtańszych modelach można raczej zapomnieć.

Ciekawą odmianą analizy widmowej jest aplikacja UWB, dostępna dla niektórych oscyloskopów firmy Tektronix. Pozwala ona wykonywać FFT na tyle szybko, że możliwa jest praca w czasie rzeczywistym. Nie jest oczywiście tak zaawansowana jak specjalizowane analizatory widma czasu rzeczywistego, ale od zwykłej funkcji FFT prostych oscyloskopów cyfrowych dzieli ją cała epoka. Przykład zastosowania jest widoczny na rys. 52. Zmiany sygnału w dziedzinie czasu widoczne są w górnym okienku. Poniżej, z lewej strony widzimy jak zmienia się w czasie częstotliwość zaznaczonego fragmentu sygnału. Kształt aktualnego widma widoczny jest po stronie prawej.

**Andrzej Kamieniecki**



Rys. 52.

proste, o ile w ogóle możliwe. Widmo sygnału o częstotliwości 10 MHz, modulowanego amplitudowo sygnałem 15 kHz jest widoczne na rys. 51. Pomiar wykonano oscyloskopem TDS5032B. Rozróżnienie nośnej od wstępnych było jeszcze możliwe, choć czas

R E K L A M A

**RFID**  
**TRANSPONDERY**  
**STEROWNIKI**  
**CZYTNIKI**

[www.mikrokontrola.pl](http://www.mikrokontrola.pl)  
**mikrokontrola**

ul. Wólczyńska 55, 01-908 Warszawa, tel.: 0-22/ 865 55 45  
 fax: 0-22/ 865 55 44, e-mail: biuro@mikrokontrola.pl