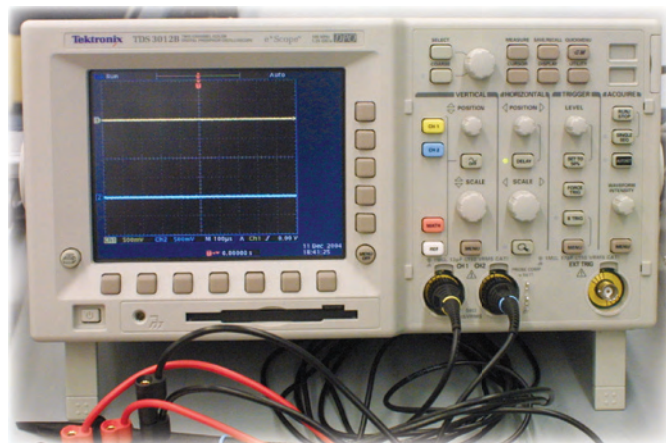


# Pomiary oscyloskopowe: okiem praktyka, część 1

Oscyloskop jest jednym z najbardziej uniwersalnych przyrządów pomiarowych. Wykorzystywany jest zarówno w najbardziej zaawansowanych projektach badawczych jak i warsztatach amatorskich. Oczywiście różnice w parametrach, a także i cenach przyrządów stosowanych podczas pomiarów bywają ogromne. Pasma najbardziej wyczynowych współczesnych oscyloskopów niebawem przekracza granicę 20 GHz, a szybkość próbkowania w czasie rzeczywistym rzędu 40 miliardów próbek na sekundę, stosowana jest już od dawna. Parametry oscyloskopu, jakim dysponuje amator, prawdopodobnie jeszcze długo nie zbliżą się do tych wartości.



Planując zakup oscyloskopu, można zatem skupić się na przyrządach z pasmem do kilkudziesię-

ciu, może kilkuset MHz i próbkowaniem rzędu pojedynczych GS/s. Szybko okaże się, że różnorod-

ność oferowanych w tym przedziale przyrządów nie jest wcale mała. Na co więc jeszcze zwrócić

uwagę? Materiały reklamowe często nie pomagają w podjęciu decyzji. Mam nadzieję, że przedstawione

Szybciej i łatwiej mierząc oscyloskopem z nowej rodziny  
**TDS1000B/2000B**

**Tektronix**<sup>®</sup>  
Enabling Innovation

PRZYRZĄDY  
POMIAROWE

POMIARY RF

POMIARY  
CZĘSTOTLIWOŚCI

POMIARY TV

TELEKOMUNIKACJA

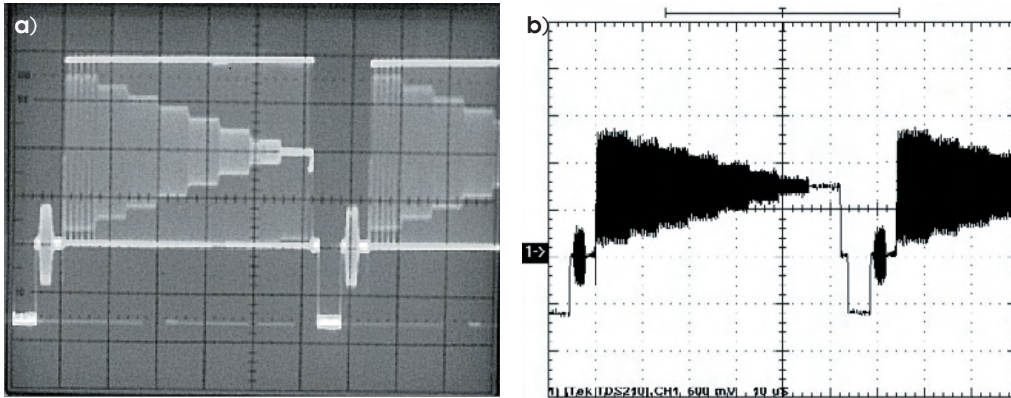


- pasmo do 200MHz
- próbkowanie do 2GS/s (w każdym kanale)
- modele 2 lub 4 kanałowe
- USB interfejs do zapisu przebiegów w pamięci flash
- łatwa dokumentacja i analiza przebiegów za pomocą oprogramowania NI SignalExpress lub OpenChoice
- USB Plug&Play
- dożywotnia gwarancja\*

**TESPOL**<sup>®</sup>  
Sp. z o.o.

\* warunki [www.tektronix.com/lifetimewarranty](http://www.tektronix.com/lifetimewarranty) lub [www.tespol.com.pl/dozywotniagwarancja](http://www.tespol.com.pl/dozywotniagwarancja) \*

Siedziba Firmy: 54-413 Wrocław, ul. Klecińska 125, tel. 071 783 63 60, fax 071 783 63 61  
Biuro Handlowe: 03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 74, tel. 022 675 75 42, fax 022 675 54 47, [tespol@tespol.com.pl](mailto:tespol@tespol.com.pl), [www.tespol.com.pl](http://www.tespol.com.pl)  
Dostępne również w sieci sprzedaży: Gdańsk - Bialł, tel. 058 322 11 91, Poznań - Merzet, tel. 061 866 86 14, Warszawa - Merserwis, tel. 022 831 42 56



Rys. 1. Wyniki pomiaru tego samego sygnału za pomocą oscyloskopu analogowego a) i cyfrowego b)

w dalszej części zestawienie najbardziej podstawowych parametrów, okaże się pomocne podczas porównywania danych katalogowych.

**Analogowy czy cyfrowy**

Oscyloskopy analogowe swoje najlepsze lata mają już za sobą. Dostępne na rynku nowe oscyloskopy analogowe to w większości produkty firm dalekowschodnich. Znaczącą grupę stanowią też egzemplarze używane uznanych marek, niestety, są to modele od lat nieprodukowane. Potentaci branży pomiarowej nie rozwijają już tego typu konstrukcji, a górna „półka” jest przeznaczona dla urządzeń cyfrowych. Współczesne oscyloskopy, poza przedstawieniem przebiegu na ekranie, realizują szereg mniej lub bardziej skomplikowanych funkcji bazujących na przetwarzaniu zarejestrowanego przebiegu. Takie działania handlowe jak wykupienie firmy Hamag (produkującej między innymi oscyloskopy analogowe) przez Rohde&Schwarz bynajmniej nie zapowiadają powrotu przyrządów analogowych. Nie oznacza to jednak, że wartość muzealna jest jedynym walorem oscyloskopu analogowego. Porównanie z prostymi mo-

delami cyfrowymi może wypaść korzystnie w wielu przypadkach.

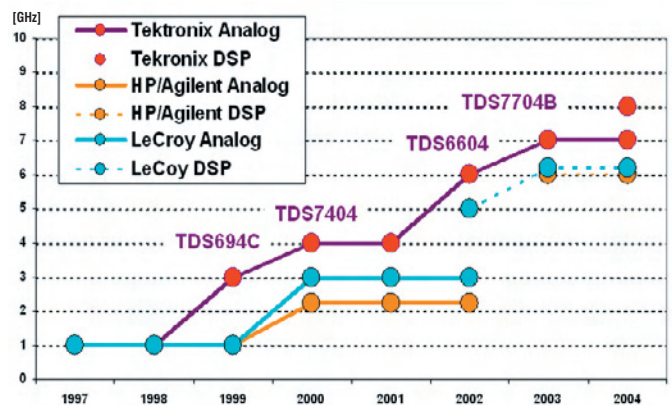
Głównym elementem oscyloskopu analogowego jest lampa oscyloskopowa, z której budowy bezpośrednio wynika zasada działania całego przyrządu. Obraz powstaje pod wpływem pobudzenia luminoforu pokrywającego ekran strumieniem elektronów. Zanim elektrony dotrą do ekranu, są odchylane pomiędzy płytkami odchylającymi. O wielkości i kierunku odchylenia decyduje wartość i polaryzacja przyłożonego do płytek napięcia. Płytki poziome odchylają strumień elektronów liniowo wzdłuż osi poziomej (oś czasu). Sygnał badany jest doprowadzany do płytek odchylających pionowych. W oscyloskopie cyfrowym sygnał badany jest najpierw próbkowany, wartości poszczególnych próbek zapisywane w pamięci i dopiero na tej podstawie generowany jest widoczny na ekranie obraz.

Zasady działania obu rodzajów przyrządów pozwalają określić ich zalety i wady. Oscyloskop analogowy odzwierciedla kształt badanego sygnału bezpośrednio na ekranie. Kolejne cykle wykreślenia przebiegu mogą zachodzić o wiele częściej niż ma to miejsce w przy-

padku wielu przyrządów cyfrowych. Częstsze wykreślanie oznacza zaś tyle, że więcej fragmentów sygnału będzie przez przyrząd rejestrowanych. Zwiększa to prawdopodobieństwo zaobserwowania przypadkowych zakłóceń. Dodatkowo intensywność świecenia luminoforu proporcjonalna jest do czasu jego pobudzenia przez strumień elektronów. Dlatego – podczas kolejnych wykreśleń przebiegu – częściej występujące elementy będą jaśniejsze od tych występujących rzadziej. Intensywność świecenia niesie dodatkową informację o badanym sygnale. Wyposażone w wyświetlacz ciekłokrystaliczny oscyloskopy cyfrowe gubią tę informację, często wyświetlając wszystkie elementy przebiegu z jed-

nakową intensywnością. W przyrządach cyfrowych stosowane są oczywiście różne techniki zarówno zwiększenia liczby cykli rejestracji, jak i gradacji koloru poświaty ekranu. Są to jednak funkcje występujące w modelach z przedziału cenowego niedostępnego dla przeciętnego elektronika amatora. Przynajmniej na razie. Na rys. 1 przedstawiono ten sam modulowany sygnał oglądany na ekranie oscyloskopu analogowego i cyfrowego.

W oscyloskopie analogowym kształt przebiegu pamiętany jest tylko na ekranie i tylko tak długo, jak pozwoli poświata luminoforu. W przypadku obserwacji przebiegów jednorazowych ta cecha przyrządu analogowego jest szczególnie dokuczliwa. Jeśli obraz nie zostanie w porę utrwalony, np. za pomocą aparatu fotograficznego, to wynik pomiaru zostanie bezpowrotnie utracony. Co prawda spotkać można jeszcze tzw. lampy pamiętające, ale w dalszym ciągu utrwalony przebieg to tylko obraz, nie konkretne wartości użyteczne w dalszej analizie przebiegu. W tym zakresie oscyloskop cyfrowy oferuje dowolnie długi czas obserwacji zarejestrowanych sygnałów,



Rys. 2. Przykłady częstotliwości próbkowania uzyskiwanych przez oscyloskopy różnych producentów w latach 1998...2004

# napędy i sterowanie

dla fachowców  
dostępny w prenumeracie

systemy napędowe  
automatyka przemysłowa  
energoelektronika  
aparatura kontrolno-pomiarowa  
systemy zasilające  
układy zabezpieczeń  
hydraulika  
pneumatyka

zarówno powtarzalnych jak i jednorazowych oraz łatwą archiwizację pomiaru (najczęściej w postaci zarówno obrazu jak i wartości poszczególnych próbek).

Do wad oscyloskopu cyfrowego zaliczyć można często występujące, do kuczliwe opóźnienie reakcji na zmianę nastaw. Wynika ono z konieczności wcześniejszego zgromadzenia i przetworzenia odpowiedniej ilości danych. W przyrządzie analogowym reakcja jest natychmiastowa. Jeśli oscyloskop cyfrowy pracuje z próbkowaniem w czasie ekwiwalentnym, to do wypełnienia rekordu wymagana liczbą próbek potrzebuje wielu wyzwoleń. Liczba próbek w rekordzie może wymagać dodatkowego procesu interpolacji i dopiero wtedy może zostać wygenerowany obraz. W oscyloskopie analogowym każde pojedyncze wyzwolenie to kolejny proces wykreślenia przebiegu.

Do niedawna domeną oscyloskopów cyfrowych było wyświetlanie nastaw i wyników pomiarów automatycznych. Obecnie spotykane jest to także w przyrządach analogowych. Takie funkcje jak analiza widmowa nie są jednak dostępne w oscyloskopie analogowym, podczas gdy w cyfrowym jest to już standard, nawet w przypadku najtańszych modeli.

## Pasmo

Pasmo oscyloskopu określa się zazwyczaj jako częstotliwość, przy której następuje spadek charakterystyki amplitudowej o trzy decybele. Można to łatwo sprawdzić podłączając do wejścia przyrządu sygnał sinusoidalny o małej częstotliwości. Zwiększając jego częstotliwość amplitu-

da obserwowanego przebiegu będzie malała. Częstotliwość, przy której zmaleje ona do wartości 0,707 wartości początkowej ( $20\log(0,707)=-3$ ), wyznaczy pasmo przyrządu. W oscyloskopie cyfrowym z funkcją analizy widmowej oraz włączoną nieskończoną powłoką można w ten sposób wykreślić na ekranie przyrządu kształt charakterystyki częstotliwościowej.

Dla przyrządów cyfrowych znaczenie tego parametru nie jest tak jednoznaczne jak dla analogowych. Podstawowym pasmem, zdefiniowanym dla oscyloskopu cyfrowego, jest 3-decybelowe pasmo analogowych obwodów wejściowych. Współczesny oscyloskop cyfrowy może jednak pracować w szerszym paśmie. Przetwarzanie sygnałów w dziedzinie cyfrowej pozwala poszerzyć pasmo pracy przyrządu poza zakres przenoszenia jego obwodów wejściowych. Mówi się wówczas o paśmie cyfrowym (*Digital Bandwidth, DSP Bandwidth, Enhanced Bandwidth, Bandwidth+*). Zanim w oscyloskopach zaczęto stosować cyfrowe przetwarzanie sygnałów, podjęciem pasma kryło się po prostu analogowe pasmo toru sygnałowego. Obecnie rozgranicza się dwa parametry (pasmo analogowe i cyfrowe), lub podaje wartość pasma cyfrowego. Jednak dotyczy to raczej przyrządów o paśmie przenoszenia kilku, kilkunastu GHz. Szerokość pasma jest jednym z ważniejszych punktów materiałów reklamowych. Częściowo odzwierciedla to możliwości technologiczne producenta. Na rys. 2 pokazano jak kształtowała się maksymalna wartość tego parametru na przestrzeni ostatnich lat.

Poza szerokością pasma ważny też może okazać się kształt charakterystyki częstotliwościowej. Jak widać

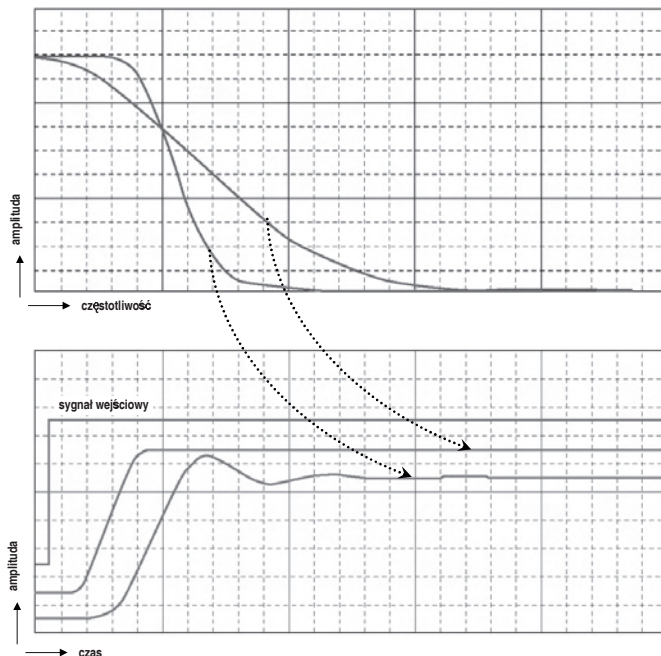
na rys. 3 przyrządy o tym samym paśmie w różnym stopniu mogą wpływać na tłumienie wyższych harmonicznych sygnału. W szczególnym przypadku może to spowodować nawet to, że zobrazowanie narastającego zbocza będzie dokładniejsze w przyrządzie o nominalnie węższym paśmie.

Oscyloskop cyfrowy rejestruje jedynie skończoną liczbę próbek sygnału mierzonego. Aby wyświetlany na ekranie przebieg mógł być jednoznacznie i dokładnie przedstawiony, liczba próbek musi być wystarczająca. Dla sygnału sinusoidalnego definiuje się tak zwane użyteczne pasmo pamiętania (*USB, Useful Storage Bandwidth*):

$$USB = \frac{f_{S\max}}{p}$$

Parametr ten określa maksymalną częstotliwość sygnału sinusoidalnego, który przy próbkowaniu z częstotliwością  $f_{S\max}$  zapewni pobranie  $p$  próbek w ciągu jednego okresu. Liczba próbek, która jest wystarczająca do odtworzenia przebiegu, nie jest określona jednoznacznie i zależy zarówno od typu jak i algorytmu zastosowanej interpolacji. Dla oscyloskopów firmy Tektronix przyjmuje się np.  $p=25$  dla przebiegów bez interpolacji,  $p=10$  dla interpolacji liniowej i  $p=2,5$  dla interpolacji  $\sin(x)/x$ .

Oscyloskop cyfrowy może pracować z próbkowaniem w czasie rzeczywistym lub w tak zwanym czasie ekwiwalentnym. Różnica polega na tym, że próbko-



Rys. 3. Charakterystyka filtracji w torze wejściowym oscyloskopu wpływa na sposób odwzorowania kształtu mierzonych przebiegów

Tab. 1. Wymagane pasmo oscyloskopu dla pomiaru czasu narostu z zadaniem błędem

Rodzina układów	Typowy czas narastania $t_r$	Wymagane pasmo $\approx 0,35/t_r$	Wymagane pasmo dla błędu 3%	Wymagane pasmo dla błędu 1,5%
TTL	5 ns	70 MHz	231 MHz	350 MHz
CMOS	1,5 ns	230 MHz	767 MHz	1,15 GHz
ECL	500 ps	700 MHz	2,33 GHz	3,5 GHz
GaAs	200 ps	1,75 GHz	5,8 GHz	8,75 GHz

wanie w czasie rzeczywistym odbywa się z tak dużą częstotliwością, że podczas jednego cyklu rejestracji gromadzone są wszystkie próbki w rekordzie. Przy próbkowaniu w czasie ekwiwalentnym przetwornik analogowo-cyfrowy nie jest dostatecznie szybki, a odstęp pomiędzy kolejnymi próbkami jest na tyle duży, że w jednym cyklu rejestracji wypełniana jest tylko część rekordu. Brakujące próbki pobierane są w kolejnych

cyklach aż do całkowitego wypełnienia rekordu. Niepowtarzalne przebiegi jednorazowe muszą być spróbowane w pojedynczym cyklu. Konieczne jest więc rozróżnienie maksymalnych częstotliwości sygnału, które mogą być próbkowane w obu trybach. Próbkowanie w czasie ekwiwalentnym stosowane jest wyłącznie do sygnałów powtarzalnych, a więc przy jednorazowym wyzwoleniu pasmo przyrządu ograniczone będzie

próbkowaniem w czasie rzeczywistym. Określa się je jako *Single Shot Bandwidth* lub *Real Time Bandwidth*. Analogicznie dla sygnałów powtarzalnych określane jest pasmo *Equivalent Time Bandwidth*. Warto tu pamiętać, że częstotliwość próbkowania, a więc także i pasmo oscyloskopu cyfrowego, zmienia się wraz ze zmianą podstawy czasu. Dla przykładu oscyloskop o paśmie 500 MHz, maksymalnej częstotliwości próbkowania 5 GS/s i rekordzie o długości 10 tys próbek, dla podstawy czasu 10 s/cm będzie gromadził 100 próbek w ciągu sekundy. Choć może wydać się to zaskakujące, pasmo pomiarowe dla takich nastaw wyniesie nie więcej jak 50 Hz.

Na granicy pasma pomiarowego, przy 3-decybelowym spadku charakterystyki amplitudowej, błąd pomiaru amplitudy wynosi ~30%. Przyjętą w technice pomiarowej zasadą jest stosowanie oscyloskopu o paśmie pięciokrotnie szerszym od maksymalnej częstotliwości mierzonego sygnału. Pozwala to wykonać pomiar z uwzględnieniem częstotliwości podstawowej oraz do piątej harmonicznej, czyli z błędem na poziomie 2%. Aby mieć właściwe wyobrażenie o wymaganym paśmie przyjrzyjmy się tab. 1. Zawiera ona zestawienie typowych czasów narastania dla kilku rodzin scalonych układów cyfrowych wraz z wymaganym pasmem oscyloskopu przy danym błędzie pomiaru.

**Andrzej Kamieniecki, Tespól**



**Cała  
prawda o...**

**rs232.ep.com.pl**