

Pomiary oscyloskopowe: okiem praktyka, część 2

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. Pasmo najbardziej wyczynowych współczesnych oscyloskopów niebawem przekroczy granicę 20 GHz, a szybkość próbkowania w czasie rzeczywistym rzędu 40 miliardów próbek na sekundę, stosowana jest już od dawna.

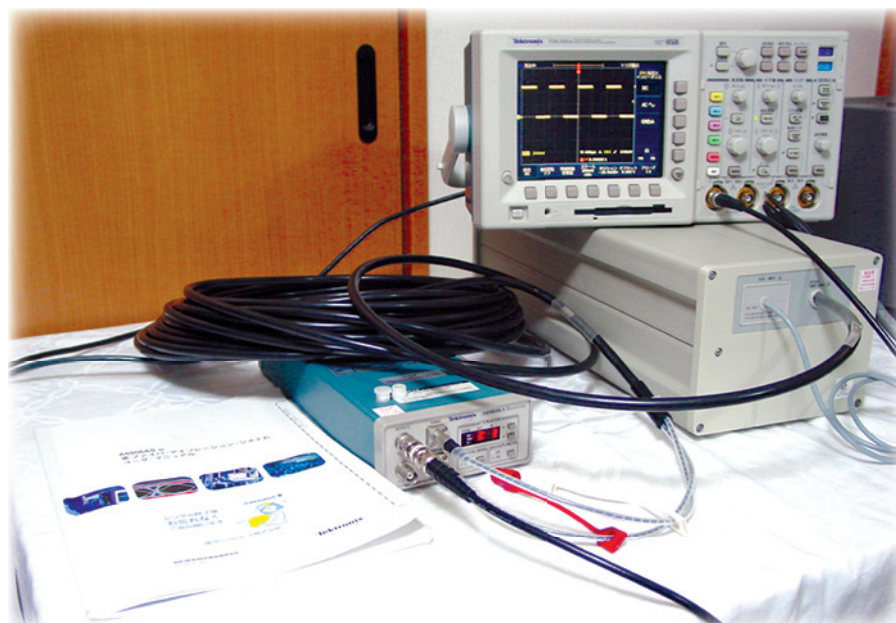
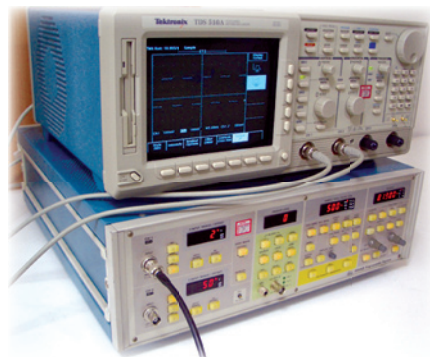
Czas narostu

Jest to parametr określający wydłużenie rzeczywistego czasu narastania zbocza sygnału badanego wprowadzane przez oscyloskop. W uproszczeniu jest on powiązany z pasmem przyrządu zależnością:

$$t_n = \frac{k}{BW}$$

gdzie t_n jest czasem narostu w [s] a BW szerokością pasma w [Hz]. Najczęściej podawaną wartością współczynnika k jest 0,35. Dla oscyloskopów cyfrowych o szerokim paśmie $k=0,45$ lub nawet więcej. Z czego to wynika? Przyjrzyjmy się temu bliżej.

Założmy, że dolnoprzepustową charakterystykę przenoszenia toru



sygnałowego oscyloskopu przybliżymy jednobiegunową transmitancją (rys. 4):

$$H(s) = \frac{H_0}{1 + \frac{s}{\omega_g}}$$

W dziedzinie czasu, odpowiedź obwodu o transmitancji $H(s)$ na pobudzenie skokiem jednostkowym $1(t)$ możemy wyznaczyć poprzez odwrotną transformatę Laplace'a:

$$h(t) = \mathcal{L}^{-1} \left[\frac{1}{s} \cdot H(s) \right]$$

dla założonej transmitancji otrzymamy:

$$h(t) = 1 \cdot H_0 (1 - e^{-t\omega_g})$$

Czas narostu zdefiniujemy jako różnicę pomiędzy chwilami, w których sygnał osiąga 10% i 90% wartości ustalonej:

$$t_n = t_{0,9} - t_{0,1}$$

zatem:

$$h(t_{0,9}) = H_0 (1 - e^{-t_{0,9} \cdot \omega_g}) = 0,9 \cdot H_0$$

skąd możemy wyznaczyć:

$$t_{0,9} = -\frac{\ln 0,1}{\omega_g}$$

wyznaczając podobnie $t_{0,1}$ i wstawiając:

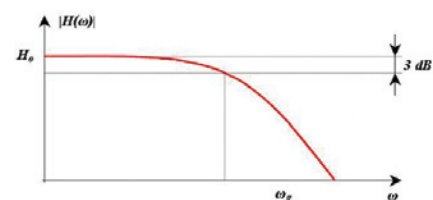
$$BW = \frac{\omega_g}{2\pi}$$

otrzymamy ostatecznie:

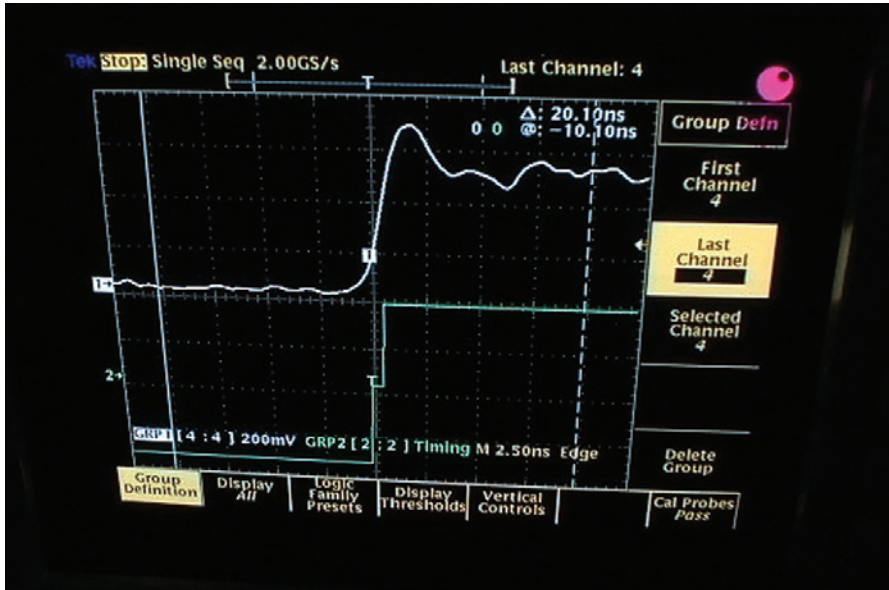
$$t_n = \frac{\ln 0,9 - \ln 0,1}{\omega_g} = \frac{\ln 9}{2\pi \cdot BW} \approx \frac{0,35}{BW}$$

Powyższa zależność oznacza, że jeżeli do wejścia oscyloskopu o paśmie BW doprowadzimy zbocze sygnału o zerowym czasie narostu, to na ekranie zaobserwujemy zbocze o czasie narastania t_n różnym od zera. Dokładna obserwacja zbocza o czasie narostu dowolnie krótkim wymagałaby oscyloskopu o paśmie nieskończonym.

Żeby tor sygnałowy oscyloskopu nie zniekształcał badanego sygnału, to między innymi, wszystkie skład-



Rys. 4. Przebieg jednobiegunowej charakterystyki przenoszenia



Tab. 2. Błąd pomiaru czasu narostu zbocza

Czas narostu dla oscyloskopu	Błąd pomiaru czasu narastania
t_b^*	41%
$2 \times t_b$	12%
$3 \times t_b$	5%
$5 \times t_b$	2%
$7 \times t_b$	1%

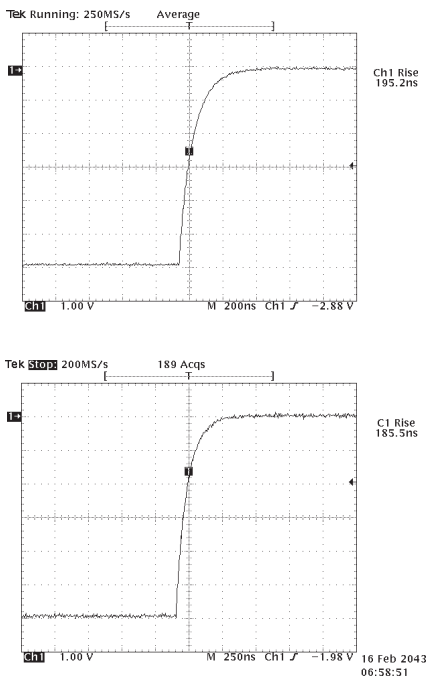
* t_b jest czasem narastania sygnału mierzonego

niki widmowe sygnału powinny być propagowane z jednakowym opóźnieniem. Stałe opóźnienie grupowe w paśmie przenoszenia prowadzi do charakterystyki amplitudowej typu krzywej Gaussa. Stąd w przypadku oscyloskopów analogowych mówi się, że są to obwody typu *Gaussian response*. Dla takiej charakterystyki teoretyczna wartość współczynnika k wynosi 0,339 jakkolwiek powszechnie stosuje się 0,35.

Przeciwdziałanie zjawisku aliasingu w oscyloskopach cyfrowych może wymagać stosowania filtrów wyższych rzędów. Dla bardziej stromo opadającej charakterystyki amplitudowej $k=0,45$ lub nawet więcej. Jest to jednak powodem powstawania oscylacji w odpowiedzi na szybki skok sygnału. Dla k z przedziału 0,3 do 0,42 oscylacje te nie przekraczają 2% amplitudy sygnału.

pasmem widać w postaci rozmycia zbyt stromych zboczy. Względnie mały błąd zapewnia zastosowanie przyrządu z pasmem obejmującym częstotliwość podstawową sygnału oraz co najmniej piątą harmoniczną.

Oscyloskop o bardziej stromo opadającej charakterystyce będzie w mniejszym stopniu tłumił składowe widmowe sygnału, leżące w paśmie przyrządu (porównaj rys. 1). Pomiar czasu narastania zbocza będzie więc bardziej dokładny. Spójrzmy na **rys. 5**. Przedstawia on wynik pomiaru zbocza narastającego dwoma oscyloskopami o tym samym paśmie ale o różnej wartości parametru k . Dla $k=0,45$ wynik jest dokładniejszy. Jednak jeśli istotne składniki widmowe badanego sy-



Rys. 5. Pomiar czasu narastania zbocza sygnału, którego istotne składniki widmowe obejmuje pasmo oscyloskopu; a) oscyloskop 500 MHz $k=0,4$; b) oscyloskop 500 MHz $k=0,45$

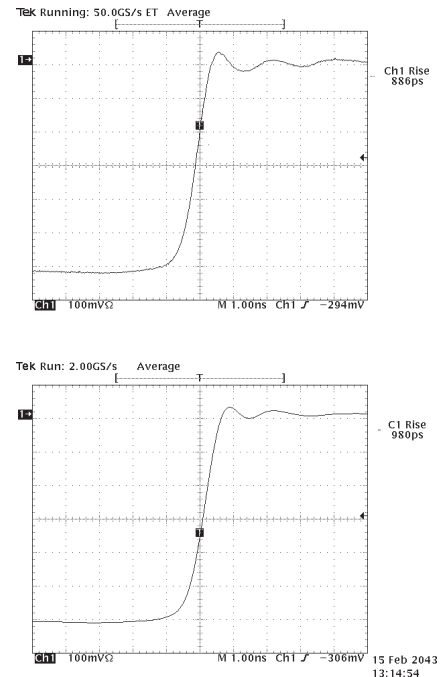
Jeżeli obwód składa się z kaskadowego połączenia i dolnoprzepustowych, jednobiegunowych bloków, z których każdy charakteryzuje się czasem narostu t_{ni} , to czas narastania odpowiedzi na skok napięcia określić można z przybliżonej zależności:

$$t = \sqrt{t_{n1}^2 + t_{n2}^2 + \dots + t_{ni}^2}$$

zatem w przypadku obwodu złożonego ze źródła sygnału, sondy pomiarowej i oscyloskopu, czas narostu zbocza obserwowany na ekranie jest równy:

$$t_{mierzony} = \sqrt{t_{źródła}^2 + t_{sondy}^2 + t_{oscyloskopu}^2}$$

Oczywiście można to pominąć, gdy czas narostu oscyloskopu jest mały w porównaniu z mierzonym. Jeśli czas narostu badanego zbocza i samego przyrządu są równe, obserwowany wynik obarczony jest błędem rzędu ~41%. Wartości błędów pomiaru czasu narostu, wynikające z ograniczonego pasma, zestawione są w **tab. 2**. Na ekranie oscyloskopu błąd powodowany ograniczonym



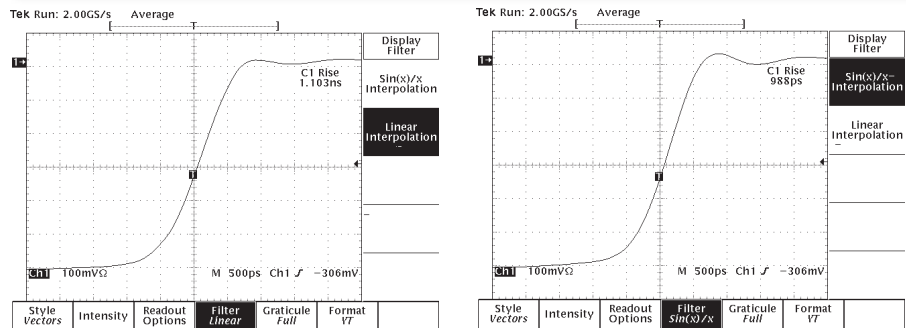
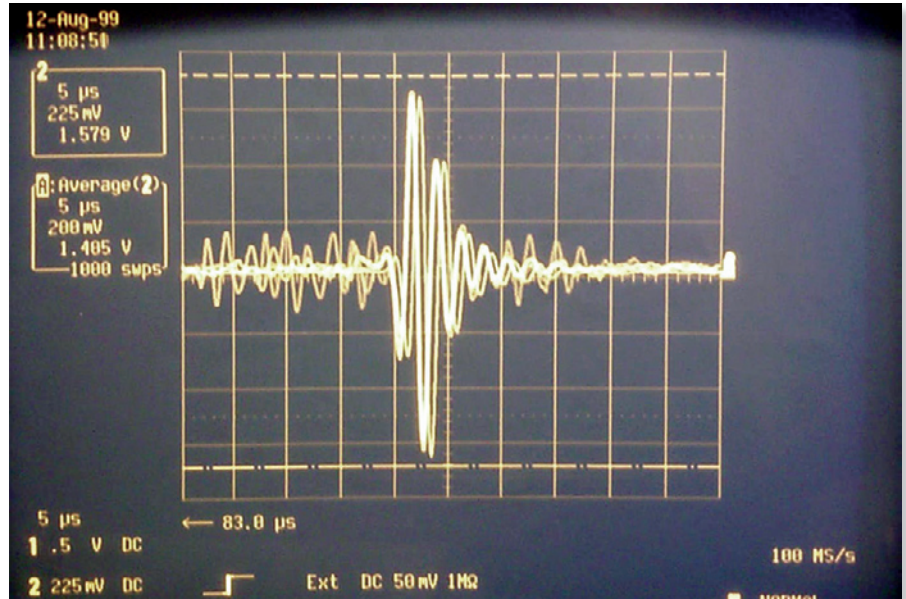
Rys. 6. Pomiar czasu narastania zbocza sygnału, którego istotne składniki widmowe leżą poza pasmem przyrządu; a) oscyloskop 500 MHz $k=0,4$; b) oscyloskop 500 MHz $k=0,45$

gnału leżą poza pasmem przyrządu, większa wartość k oznacza ich większe tłumienie. Teraz sytuacja jest odwrotna i dokładniejszy wynik uzyskamy mierząc oscyloskopem o łagodniej opadającej charakterystyce. Przedstawia to **rys. 6**. Pasma BW wymagane do zmierzenia czasu narostu t_n możemy oszacować jako:

$$BW = \frac{1}{2 \cdot t_n}$$

Do zmierzenia czasu narastania zbrocza rzędu 800 ps, jak na **rys. 6**, wymagane jest pasmo ponad 600 MHz. Oba zastosowane oscyloskopy mają jednak pasmo o 100 MHz mniejsze. Dlatego pomiar przyrządem o parametrze $k=0,45$ jest mniej dokładny (odwrotnie jak dla zbroczy wolniej narastających).

Przyrządy cyfrowe najczęściej posiadają funkcję pomiarów automatycznych, wyświetlającą wartość czasu narostu bezpośrednio na ekranie. Jak można się przekonać należy być ostrożnym przy korzystaniu z tego udogodnienia. Dla przykładu, do wejścia jednego z dostępnych na naszym rynku oscyloskopów, o paśmie 2 GS/s, został podłączony sygnał o bardzo krótkim czasie narostu równym 250 ps. Przy próbkowaniu w czasie rzeczywistym i włączonym tylko jednym kanale odczytany wynik to 1,04 ns. Włączenie drugiego kanału spowodowało zmianę odczytu na 1,40 ns. Dodatkowe uruchomienie funkcji poświaty analogowej zmieniło odczytywaną war-



Rys. 7. Pomiar czasu narastania tego samego zbrocza dla dwóch różnych interpolacji a) liniowej b) $\sin(x)/x$

tość na 1,37 ns a włączenie próbkowania w czasie ekwiwalentnym na 0,89 ns. Wynik zmienia się jak widać w dosyć dużych granicach, w zależności od liczby włączonych kanałów i wykorzystanych funkcji.

Znaczący wpływ na dokładność

pomiaru czasu narastania zbrocza ma rodzaj zastosowanej interpolacji. Dokładniejsze rezultaty uzyskamy w przypadku interpolacji $\sin(x)/x$. Widoczne jest to na **rys. 7**.

Andrzej Kamieniecki, Tepsol

WYKRYWACZE METALI



Cena: 390 zł

CS150
Dyskryminator audio
VU meter
Wodoszczelna sonda (20 cm)



Cena: 190 zł

CS10MD
Wykrywacz "ręczny"
Idealny dla policjantów i ochroniarzy.



Cena: 700 zł

CS200
Wyswietlacz LCD
Wskaźnik głębokości
Dyskryminator
Wodoszczelna sonda (20 cm)

Zamówienia przyjmuje Dział Handlowy AVT

01-939 Warszawa, ul. Burleska 9, tel. 022 568 99 50, fax 022 568 99 55, e-mail: handlowy@avt.pl, www.sklep.avt.pl