

# Oscyloskopy z pamięcią cyfrową, część 2

Oscyloskopy z pamięcią cyfrową (OPC) zdominowały ostatnio światowy rynek oscyloskopów. Stały się one podstawowymi przyrządami pomiarowymi w technice cyfrowej, w telekomunikacji, w laboratoriach badawczych do rejestracji szybkich zjawisk jednorazowych. Przedstawiamy drugą część artykułu gruntownie wyjaśniającego budowę i zasadę działania OPC.

## Inne rodzaje próbkowania w OPC

Do próbkowania sygnałów powtarzalnych można stosować sposób znany z oscyloskopów samplingowych, w którym z każdego kolejnego okresu przebiegu wejściowego jest pobierana jedna próbka, a każda kolejna próbka jest przesunięta w czasie w stosunku do miejsca pobrania próbki w poprzednim okresie (rysunek 6b). Do tego procesu warunkiem koniecznym jest pełna powtarzalność sygnału wejściowego i bardzo stabilny układ wyzwalania, gdyż według niego są wyznaczane w kolejnych okresach sygnału miejsca pobierania próbek. Taki sposób próbkowania jest nazywany próbkowaniem sekwencyjnym (ang. sequential sampling). Zbliżonym do niego jest próbkowanie sekwencyjne typu przypadkowego (ang. random sequential sampling), w którym próbki są pobierane w sposób przypadkowy w stosunku do punktu wyzwalania (rysunek 6c). W ten sposób uzyskuje się również zapamiętywanie odcinków przebiegu przed punktem wyzwalania (ang. pretrigger).

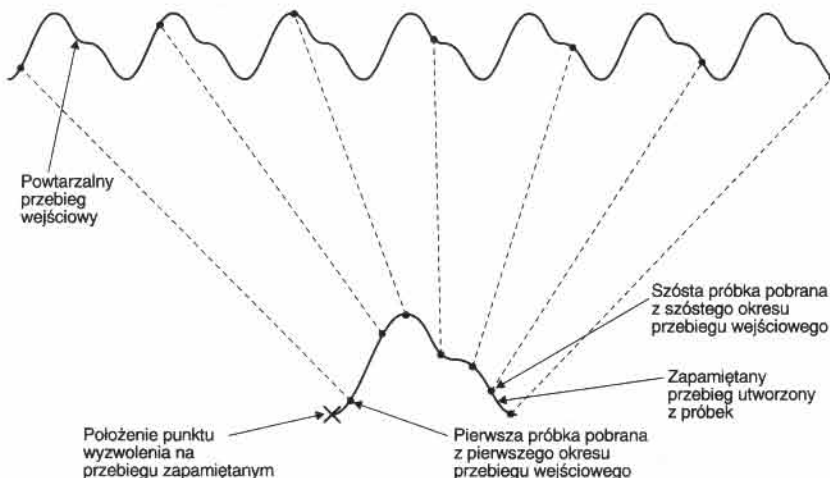
W celu skrócenia czasu pobierania próbek z przebiegu, a pobiera się ich zwykle od 1000 do 10000 przy próbkowaniu typu sekwencyjnego, co może trwać w zależności od częstotliwości sygnału wejściowego nawet do kilkunastu sekund, stosuje się próbkowanie sekwencyjne wielokrotne (ang. multiply sequential sampling). Polega ono na pobieraniu w czasie jednego cyklu podstawy czasu kilku próbek, przez co znacznie skraca się czas pobrania pełnej liczby próbek (rysunek 6d).

Próbkowanie sekwencyjne stosuje się tylko do zapamiętywania powtarzalnych przebiegów o wysokich częstotliwościach, sięga-

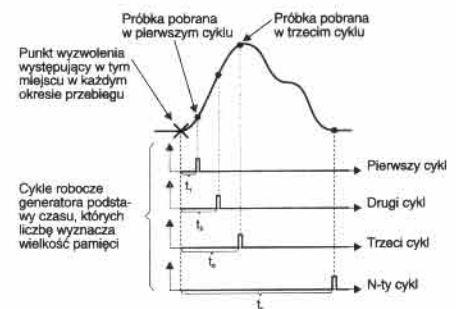
jących nawet kilkudziesięciu GHz (np. w oscyloskopie typu DSA803 firmy Tektronix pasmo osiąga wartość 40GHz). Obecnie prawie w każdym profesjonalnym OPC stosuje się próbkowanie sekwencyjne. Tryb ten włącza się automatycznie, gdy obsługujący wybiera najszybsze współczynniki czas/cm. Wtedy nie można już uzyskać wyższej częstotliwości bezpośredniego próbkowania przetwornika A-C, które może być stosowane zarówno dla przebiegów jednorazowych jak i powtarzalnych. Włączone w ten sposób próbkowanie sekwencyjne może być stosowane tylko dla przebiegów powtarzalnych. Ten rodzaj pracy nazywa się próbkowaniem w czasie ekwiwalentnym (ang. equivalent time sampling), zaś uzyskiwane w tym rodzaju pracy ekwiwalentne częstotliwości próbkowania (ang. equivalent sample rate) osiągają wartości od kilku do kilkudziesięciu gigapróbek na cm rozciagu. Należy mieć jednak na uwadze, że ta wysoka pozorna częstotliwość próbkowania nie jest rzeczywistą częstotliwością z jaką próbkuje się przebieg, lecz wynika tylko z przeliczenia matematycznego. W tym miejscu należy objaśnić, że w OPC celem odróżnienia szerokości pasma analogowego okresowego w MHz, częstotliwość próbkowania określa się w kilo lub megaprobkach na sekundę - Mp/s (ang. mega-samples per second, Ms/s).

## Blok pamięci w OPC

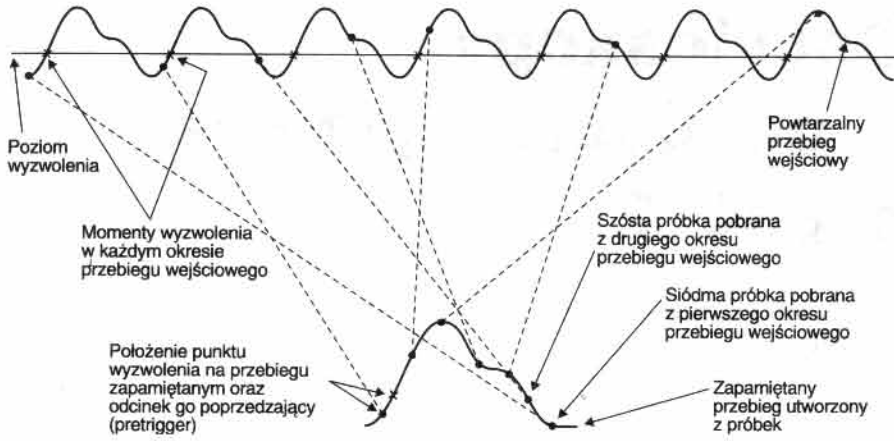
We współczesnych OPC, na każdy kanał wejściowy przypada zazwyczaj osobny przetwornik A-C i blok szybkiej pamięci RAM do zapamiętywania w czasie rzeczywistym sygnałów przetwarzanych na postać cyfrową (rysunek 7). Pamięci te mają taką organizację, że „szerokość” bloku pamięci



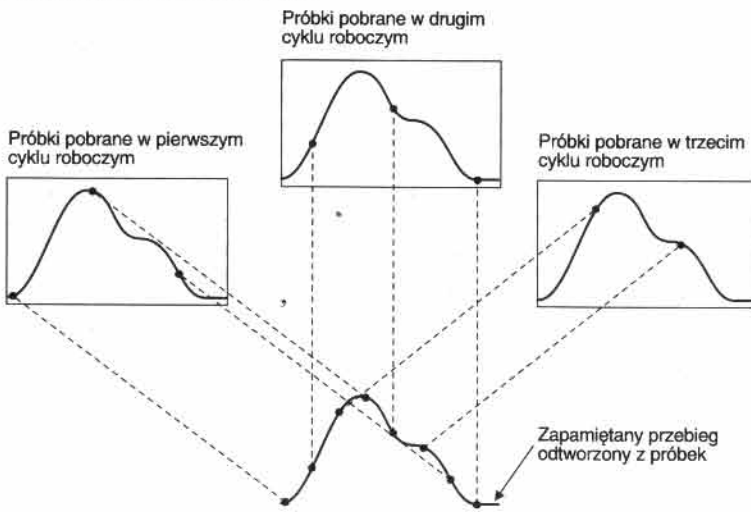
Rys. 6b. Proces powstawania zapamiętanego przebiegu przy próbkowaniu sekwencyjnym.



Rys. 6c. Wykres czasowy procesu pobierania próbek przy próbkowaniu typu sekwencyjnym. Czasy próbkowania  $t_1$  do  $t_n$  są systematycznie zwiększane w każdym cyklu w miarę wzrostu liczby próbek.



Rys. 6d. Proces powstawania zapamiętanego przebiegu przy próbkowaniu sekwencyjnym typu przypadkowego.



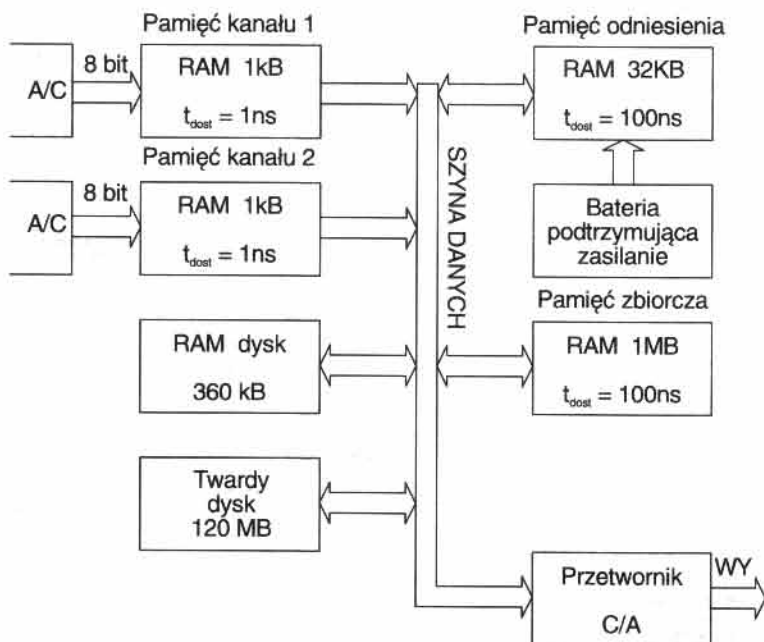
Rys. 6e. Proces powstawania zapamiętywanego przebiegu przy próbkowaniu sekwencyjnym wielokrotnym typu przypadkowego.

w kanale odpowiada liczbie bitów przetwornika A-C i jest niezmienna, natomiast „długość” bloku pamięci odpowiada liczbie próbek, jaka przypada na całą długość ekranu. Można ją zmieniać dzieląc na mniejsze odcinki, aby np. zapamiętać większą liczbę przebiegów. Wielkość pamięci w OPC to drugi nadzwyczaj istotny jego parametr, mający bezpośredni wpływ na wiele własności tego przyrządu.

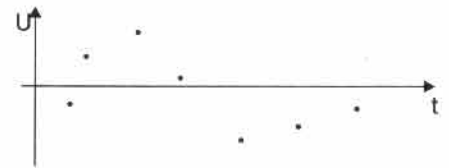
Im „dłuższa” jest pamięć, tym dłuższy odcinek przebiegu możemy zapamiętać przy zadanej częstotliwości próbkowania. Prowadzi to do wzrostu rozdzielczości przyrządu w funkcji czasu, gdyż więcej szczegółów przebiegu można zapamiętać, rośnie również dokładność pomiarów amplitudy. Stała długość pamięci w OPC powoduje konieczność zmiany częstotliwości próbkowania dla każdej z nastaw współczynnika czasu. Gdyby tak nie było, to przechodząc do coraz wolniejszych nastaw OPC zapamiętywałby coraz krótsze odcinki przebiegu; pamięć wypełniałaby się coraz szybciej, przez co pozostałych próbek przebiegu próbkowanego ze stałą wysoką częstotliwością nie można byłoby zapamiętać. W tabeli 1 podano częstotliwości próbkowania przypadające na każdy zakres współczynnika czasu dla typowego OPC.

Przy najwyższych współczynnikach czasu (rzędu dziesiątek nanosekund/cm) przy próbkowaniu bezpośrednim, a więc z dużą częstotliwością, występują ograniczenia w możliwej do uzyskania maksymalnej długości pamięci, zazwyczaj znacznie krótszej niż dla współczynników czasu rzędu mili- lub mikrosekund/cm. Związane jest to z obecnym poziomem rozwoju i wysoką ceną szybkich pamięci typu RAM o pojemności rzędu 1...4kB i czasami dostępu rzędu 0,5ns lub mniej.

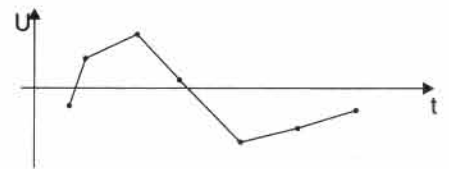
I tak, gdy OPC ma pamięć o długości 10kiłobajtów (KB) dla wolnych współ-



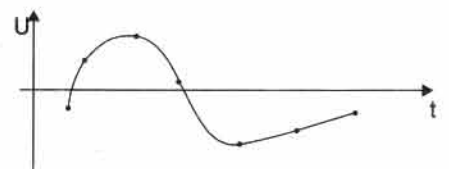
Rys. 7. Blok pamięci w OPC.



a) Obraz bez interpolacji



b) Obraz przy interpolacji liniowej

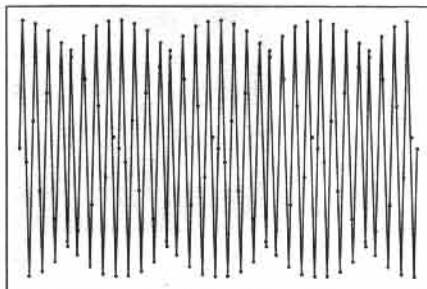
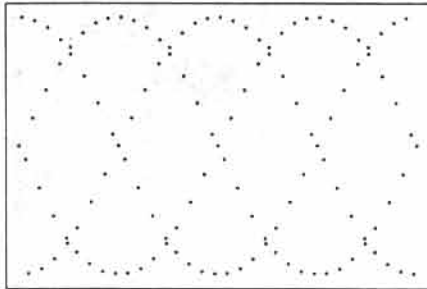


c) Obraz przy interpolacji sinusoidalnej

Rys. 8. Rodzaje interpolacji i ich wpływ na obraz przebiegu na ekranie OPC.

Tabela 1. Rozdzielczość w bitach i odpowiadająca mu wartość najmniejszej rozróżnialnej części i względny maksymalny błąd kwantyzacji =  $0,5x(2^n-1)$  i procentowa wielkość odpowiadająca jednemu poziomowi kwantyzacji.

Liczba bitów n	Względna rozdzielczość	Maks. względny błąd (%)	Wielkość jasnego poziomu (%)
6	1/63	0,79	1,563
7	1/127	0,40	0,781
8	1/255	0,20	0,391
9	1/511	0,10	0,195
10	1/1023	0,05	0,098
11	1/2047	0,025	0,049
12	1/4095	0,012	0,024



Rys. 9. Przeistaczenie percepcyjne dla obrazu przebiegu złożonego z punktów (rysunek górny) i ten sam przebieg złożony z wektorów łączonych poszczególne punkty (rysunek dolny).

czynników czasu, to dla szybkich współczynników czasu bezpośrednio dostępne dla zapamiętywanego przebiegu może być tylko 0,5...1kB. Na ogół firmy nie podają tego parametru w prospektach i trzeba się go doszukiwać, a podawana jest duża pojemność pamięci bez zaznaczenia, że dotyczy to niskich częstotliwości próbkowania.

OPC może zapamiętywać dużą liczbę przebiegów w dodatkowych pamięciach wewnętrznych, które są wprawdzie wolniejsze, ale mają dużą pojemność. Spotyka się też OPC wyposażone w twarde dyski o pojemności ponad 100MB, w których można zapisywać i przechowywać nawet kilkanaście tysięcy przebiegów (np. oscyloskopy z serii DATASYS firmy Gould, rys. 2 i rys. 30 oraz oscyloskop Pro 50 firmy Nicolet).

Powszechnym stało się wyposażenie OPC wyższej klasy w napędy dyskietek 1,4MB lub kart RAM w standardzie PC MCIA. W ten sposób można szybko i wygodnie przenosić zapamiętane przebiegi zapisane w systemie DOS do dalszej analizy w komputerach klasy PC. W takie napędy są wy-

posażone przyrządy na rys. 2a, c i e.

OPC mają również wydzielone bloki pamięci, zwane pamięciami odniesienia, w których są przechowywane uprzednio zapamiętane przebiegi używane do pomiarów porównawczych jako wzorcowe lub przebiegi będące wynikiem pomiarów pośrednich i potrzebne później do końcowych analiz (rysunek 7). Pamięci odniesienia mają dodatkowe baterie podtrzymujące zawarte w nich informacje nawet przez kilka lat, zaś zapis i kasowanie wymagają specjalnych procedur, aby nie nastąpiło przypadkowe skasowanie ważnych przebiegów.

### Przetwornik C-A i interpolatory

W OPC są stosowane standardowe układy przetworników C-A, przetwarzające przebiegi odczytywane z różnych rodzajów pamięci wewnętrznych ze stałą, niską częstotliwością. Układ interpolatora, dołączony do wyjścia przetwornika

C-A, łączy poszczególne odtworzone próbki odcinkami prostej przy interpolacji liniowej lub odcinkami krzywej typu „sinx/x” przy interpolacji sinusoidalnej (rysunki 8a i 8b).

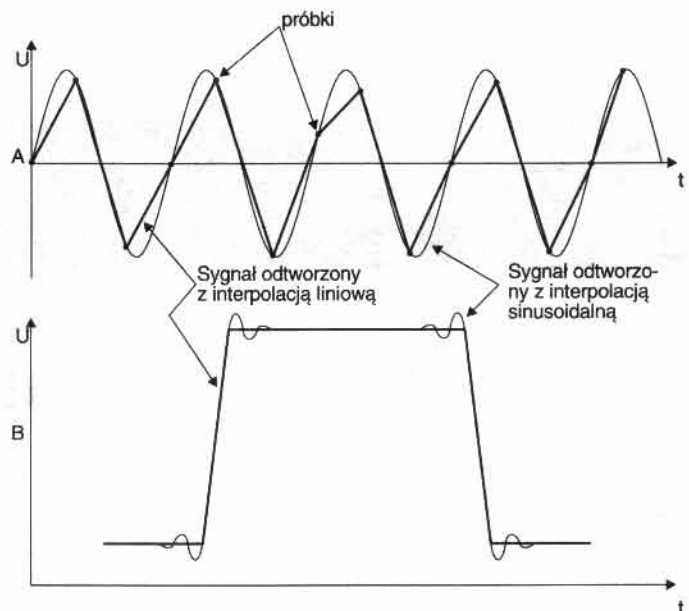
Odczytywanie przebiegu złożonego jedynie z punktów prowadzi do powstawania błędów przetwarzania wynikających z tego, że operator ulega rodzajowi złudzenia optycznego, powstającego przy obserwacji obrazu złożonego z dużej ilości punktów (rysunek 9). Oko ludzkie ma naturalną tendencję do łączenia ze sobą blisko leżących punktów i traktowania ich jako odcinka linii. W rzeczywistości blisko leżące na ekranie dwa punkty nie muszą być wcale dwiema kolejnymi pobranymi i odtworzonymi próbkami.

Dlatego proces interpolacji, dzięki któremu są łączone zawsze dwie kolejne próbki, pozwala uniknąć złudzeń optycznych prowadzących do błędów. Dzięki stosowaniu interpolacji uzyskuje się również szersze efektywne pasmo zapamiętywanych częstotliwości z mniejszej liczby zapamiętywanych próbek.

Wadą interpolacji jest to, że interpolację liniową należy stosować do przebiegów o charakterze impulsowym, zaś interpolację sinusoidalną - do przebiegów sinusoidalno-podobnych, gdyż w przeciwnym razie w odtworzonym przebiegu pojawiają się składowe, które w rzeczywistości w nim nie występują (rysunek 10).

Marek Dras

Cd. w EP 6/95



Rys. 10. Niewłaściwe zastosowanie rodzaju interpolacji

A. Zastosowanie interpolacji liniowej do przebiegu sinusoidalno - podobnego powoduje zmianę kształtu przebiegu

B. Zastosowanie interpolacji sinusoidalnej do przebiegu prostokątnego powoduje pojawienie się fałszywych składowych nałożonych na przebieg.

Jednocześnie oba przebiegi z niewłaściwą interpolacją są pokazane na tle przebiegów z właściwą interpolacją.