

Oscyloskopy z pamięcią cyfrową (zwane dalej OPC) są to elektroniczne przyrządy pomiarowe, które pobierają próbki z sygnałów wejściowych, zapamiętują je w wewnętrznej pamięci, a następnie odtwarzają je na ekranie. W literaturze angielskiej spotyka się je pod nazwami *Digital Storage Oscilloscopes*, *Digital Oscilloscopes* lub *Digitizing Oscilloscopes*, przy czym ta ostatnia nazwa dotyczy modeli najbardziej rozbudowanych.

Oscyloskopy z pamięcią cyfrową, część 1

Pierwszy OPC - Explorer 1 - został wyprodukowany przez firmę Nicolet (USA) w roku 1972. Pierwszym analogowo-cyfrowym OPC powszechnego zastosowania, produkowanym w dużych ilościach od roku 1975, był model OS4000 angielskiej firmy Gould Advance. W początkowym okresie swojego rozwoju, na przełomie lat 70 i 80, OPC bardzo powoli zdobywały rynek oraz zwolenników. Przyczyną tego była nowa metoda pomiaru, ograniczone wówczas możliwości dokonywania szybkiego przetwarzania analogowo-cyfrowego (A-C) i brak szybkich scalonych układów pamięci RAM. Ówczesne OPC miały szereg wad, z czego największymi były ograniczone do kilku MHz

pasmo zapamiętywania sygnałów i błędy przetwarzania.

Gwałtowny rozwój techniki cyfrowej spowodował również przyspieszenie rozwoju cyfrowych technik pomiarowych, przetwarzania A-C i cyfrowego przetwarzania sygnałów (CPS) oraz rozwoju technologii wytwarzania pamięci RAM o dużych pojemnościach i krótkim czasie dostępu [1], [2], [3]. Ponieważ technika oscyloskopowa od wielu lat jest najszybciej rozwijającym się działem metrologii elektrycznej, dlatego rozwój OPC niejako wyznacza pewne granice możliwości dokonywania pomiarów, zwłaszcza w technice impulsowej. OPC mimo, że różnią się w budowie i w zasadzie działania od oscyloskopów analogowych, dają generalnie ten sam rodzaj wyników końcowych pomiarów - stabilny obraz przebiegów na ekranie. Jednakże dodatkowo oscyloskopy cyfrowe mają cały szereg własności nie spotykanych w oscyloskopach analogowych.

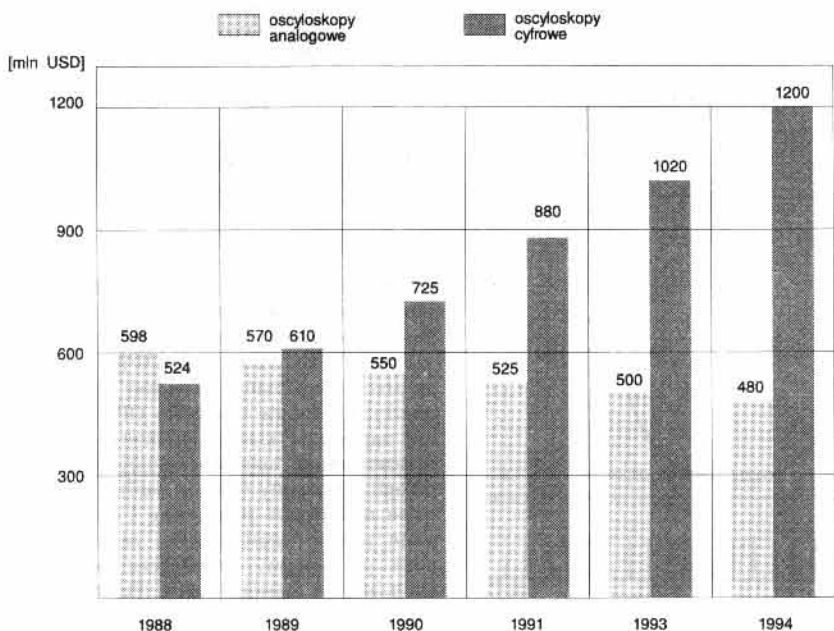
Rynek OPC

Obecnie OPC zdominowały światowy rynek oscyloskopów. Stały się one podstawowymi przyrządami pomiarowymi w technice cyfrowej, w telekomunikacji i przy badaniu oraz rejestracji szybkich zjawisk jednorazowych (o czasach trwania od ułamków nanosekund do pojedynczych sekund) w fizyce, mechanice i biologii. OPC stał się również podstawowym przyrządem w analogowej technice pomiarowej sygnałów elektrycznych. Generalnie trzeba stwierdzić, że OPC - zwane również oscyloskopami cyfrowymi - stanowią obecnie wartościowo większość sprzedawanych oscyloskopów na świecie (rysunek 1, [4]).

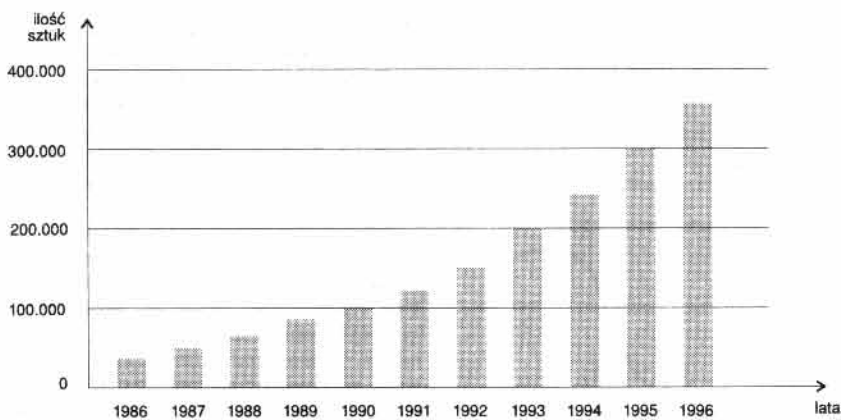
Wszystkie wiodące światowe firmy oscyloskopowe produkują aktualnie przede wszystkim oscyloskopy cyfrowe lub analogowo-cyfrowe. Od roku 1988 wartość sprzedaży OPC przewyższa sprzedaż oscyloskopów analogowych. Oscyloskopy mają największy, bo aż około 20% udział w wartości całego rynku elektronicznych przyrządów pomiarowych. Należy zauważyć, że liczba sprzedanych OPC rośnie jeszcze szybciej (rys. 2), gdyż ich ceny ustawicznie maleją. Obserwuje się coroczną obniżkę cen przyrządów o kilka %, a ceny nowych typów przyrządów w danej klasie mają z reguły ceny niższe od swych poprzedników.

W chwili obecnej główny rozwój OPC dokonuje się dwufazowo: w zakresie przyrządów wysokiej klasy o dużych częstotliwościach próbkowania i rozbudowanym CPS oraz w zakresie prostych, przenośnych wielofunkcyjnych OPC w obudowach zbliżonych do multimetrów.

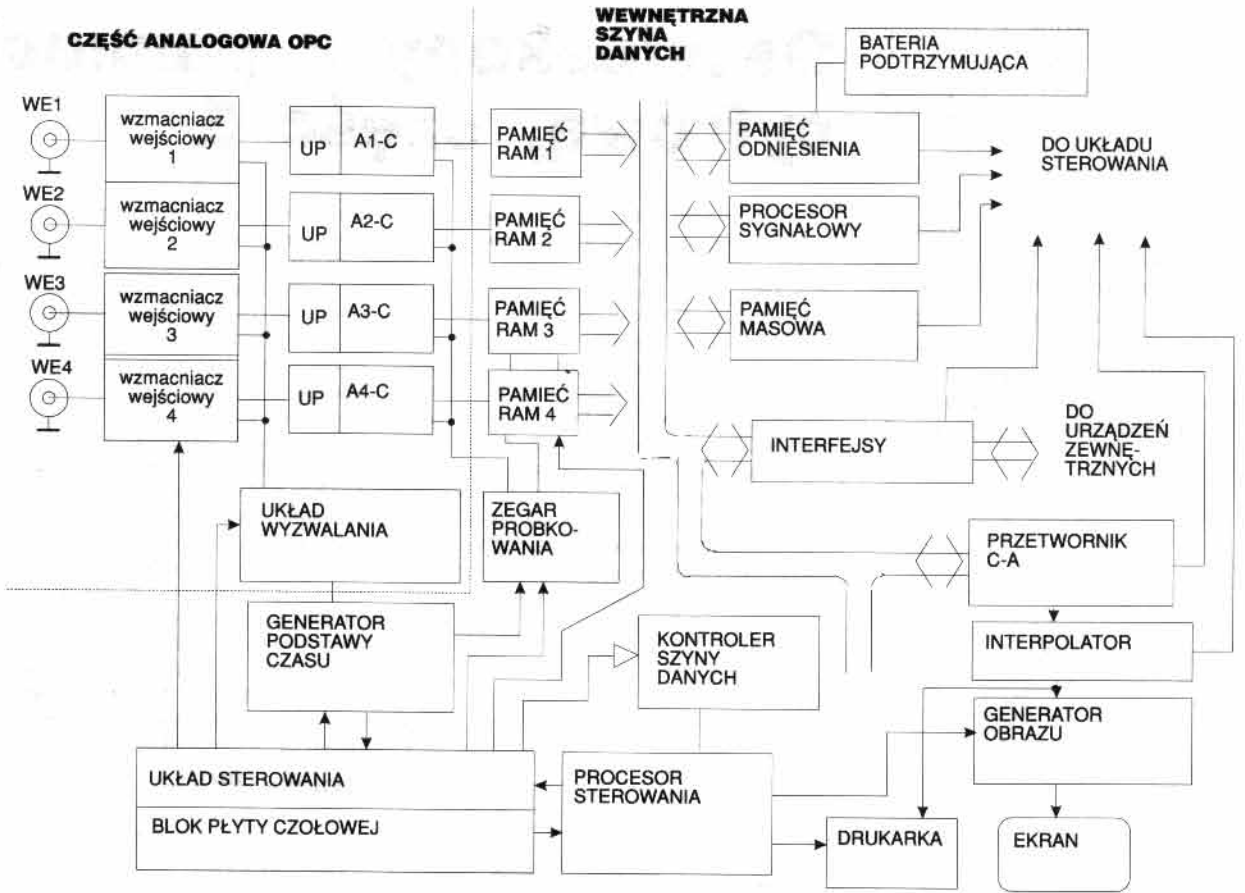
Wiodącą i jednocześnie największą firmą oscyloskopową świata jest Tektronix (USA). Produkuje wszystkie rodzaje OPC: od prostych do najbardziej rozbudowanych o najwyższych parametrach. Dzięki stale rozwijającym najnowocześniejszym technologiom



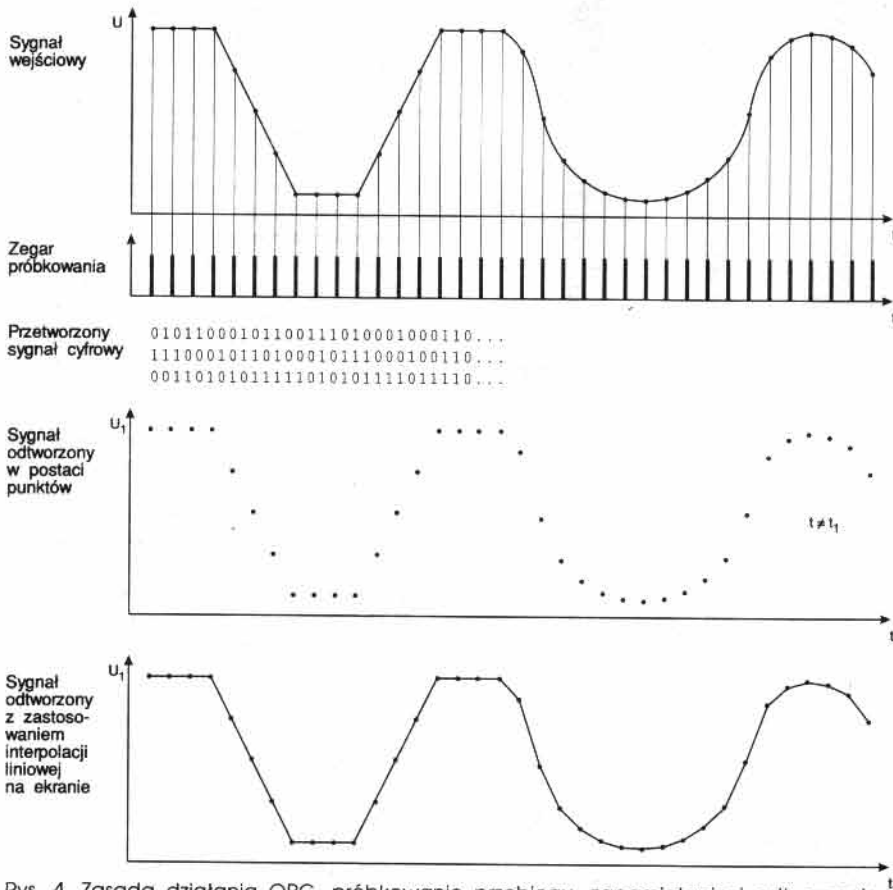
Rys. 1. Wielkość sprzedaży oscyloskopów analogowych i OPC na świecie w latach 1988 - 1994.



Rys. 2. Wielkość sprzedaży oraz prognoza sprzedaży (w ilościach sztuk) na świecie w latach 1986 - 1996 dla wszystkich rodzajów oscyloskopów cyfrowych wg Market Intelligence Research company USA.



Rys. 3. Schemat blokowy współczesnego OPC.



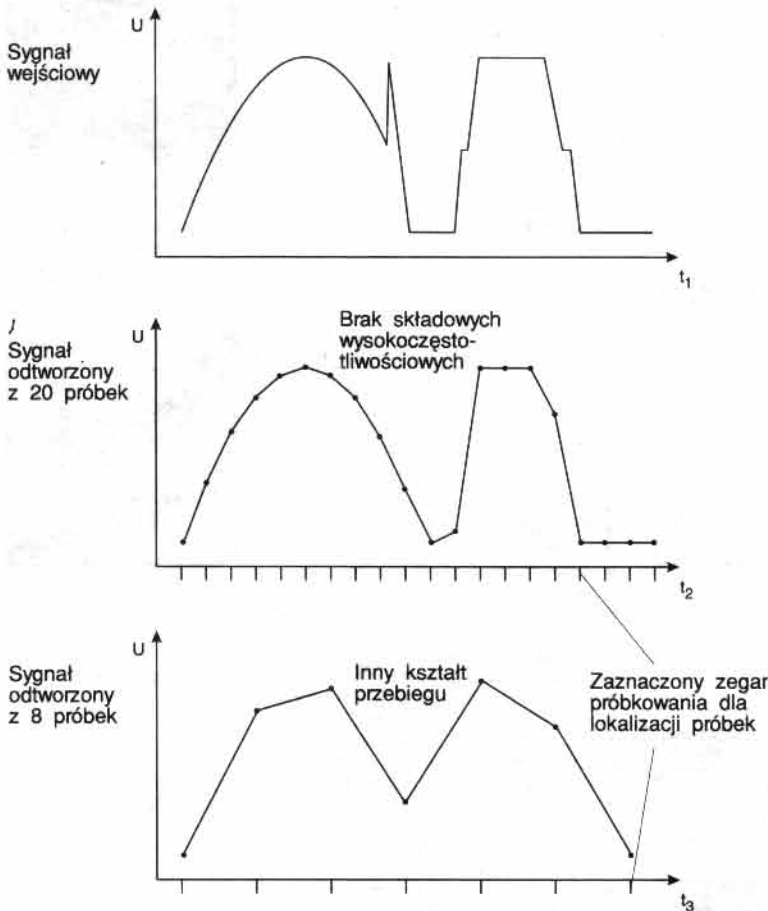
Rys. 4. Zasada działania OPC, próbkowanie przebiegu, zapamiętanie i odtwarzanie przebiegu w OPC.

i najdłuższej tradycji w produkcji oscyloskopów jakość wyrobów tej firmy jest bardzo dobra, a ceny mają opinię wysokich.

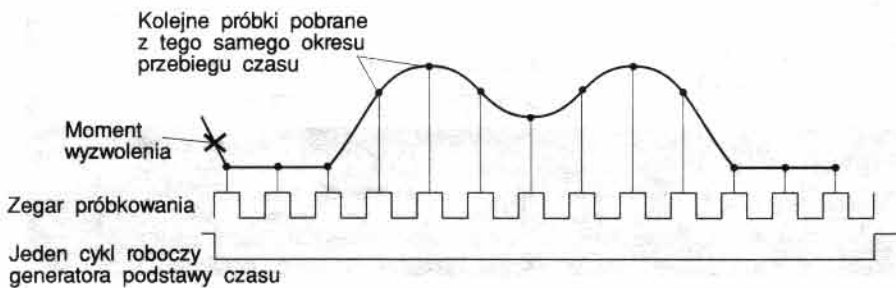
Firma Hewlett-Packard (USA) jest uznawana przez specjalistów za Numer Drugi w tej branży. Produkuje ona tylko OPC wysokiej lub najwyższej klasy, charakteryzujące się zastosowaniem najnowocześniejszych technologii. Przyrządy te mają bardzo rozbudowane możliwości pomiarowe i bardzo szerokie pasmo; częstotliwości zapamiętywanych przebiegów, a zwłaszcza powtarzalnych, sięgają dziesiątek GHz. Poziomą jakość wyrobów jest zbliżony do Tektronixa, ale ceny są uważane za bardzo wysokie, nawet wyższe niż u lidera branży.

Firma Le Croy (USA) przeżywa w ostatnich latach szybki rozwój w dziedzinie OPC starając się dorównać obu wcześniej wymienionym firmom. Jej wyroby charakteryzują się bardzo nowoczesną technologią i wysoką jakością. Firma znana jest ze stosowania w swych OPC pamięci o dużych pojemnościach i rozbudowanych możliwościach CPS. Ceny oscyloskopów firmy Le Croy uchodzą za wysokie.

Firma Fluke (USA), która przejęła „działkę” przyrządów pomiarowych firmy Philips (Holandia), jest uważana za producenta nr 4 na świecie. OPC przez nią produkowane są dedykowane szerokiemu gronu użytkowników. Firma produkuje głównie rozbudowane oscyloskopy analogowo-cyfrowe i małe, ręczne, uniwersalne OPC powszechnego zastosowania. Wyroby te charakteryzuje bardzo wysoka jakość i perfekcja wykonania, jednocześnie przy bardzo wysokich para-



Rys. 5. Powstawanie błędów przeistaczania wraz ze zmniejszaniem się liczby próbek pobranych z przebiegu wejściowego. Dolny przebieg jest fałszywym (przeistoczonym) obrazem sygnału wejściowego



Rys. 6a. Próbkowanie w czasie rzeczywistym, gdzie w ciągu jednego cyklu roboczego zostaje pobrany komplet próbek, z których zostanie potem odtworzony przebieg.

metrach technicznych. Ceny Fluke są uważane za średnio wysokie.

Firma Gould (Anglia) jest uznawana za producenta nr 5. Swoją tradycyjną politykę rozwojowo-produkcyjną oparła na zaspokajaniu możliwie szerokiego zakresu wymagań użytkowników z różnych dziedzin. Produkuje oscyloskopy o parametrach porównywalnych z wyrobami firmy Tektronix lub Hewlett Packard, ale oferowanych po znacznie niższej cenie. Jest znana z produkcji oscyloskopów o dużej liczbie kanałów i wysokich częstotliwościach próbkowania, wyposażonych w wewnętrzne drukarki do szybkiego uzyskiwania wydruku zawartości ekranu. Jej OPC mają rozbudowane możliwości CPS. Jakość i niezawodność wyrobów firmy Gould są bardzo wysokie.

Wszystkie przedstawione powyżej firmy

utrzymują charakterystyczne wzornictwo swoich OPC, dzięki czemu są one łatwo rozpoznawalne i odróżniające się od innych (rysunek 7 na str 23).

Zasada działania OPC

Pełne zrozumienie zasady działania OPC wymaga wiedzy o działaniu oscyloskopu analogowego, którą Czytelnik wyniósł ze szkoły lub może uzupełnić z literatury [6]. Podstawową różnicą, jaka występuje między pamiętającym oscyloskopem analogowym i OPC, jest sposób zapamiętywania przebiegów. OPC zapamiętuje przebiegi w cyfrowej pamięci półprzewodnikowej, natomiast pamiętający oscyloskop analogowy zapamiętuje przebiegi na ekranie lampy oscyloskopowej.

Zasada działania OPC opiera się na twier-

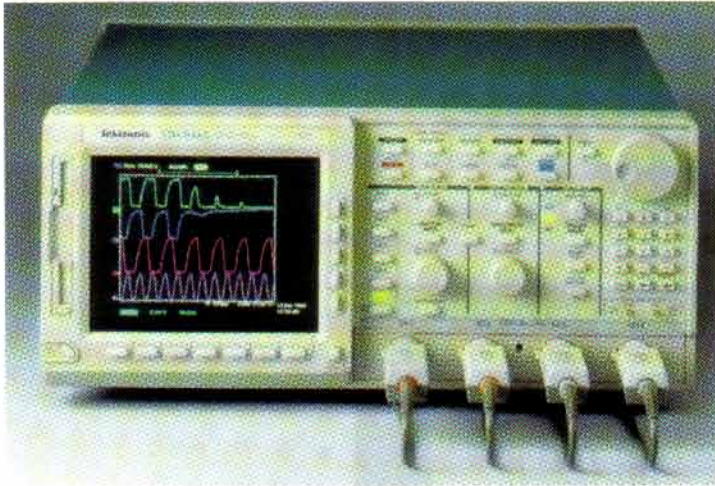
dzeniu Nyquista z teorii informacji, które mówi, że gdy z przebiegu powtarzalnego pobierze się więcej niż dwie próbki sygnału w ciągu jego jednego okresu, to jest możliwe pełne odtworzenie tego przebiegu [9].

Sygnały wejściowe, dołączone do wejść OPC, po wzmocnieniu przez wzmacniacze wejściowe są poddawane próbkowaniu. Powstałe w ten sposób próbki są przetwarzane na postać cyfrową przez przetwornik A-C (rysunek 3). Częstotliwość próbkowania jest zadawana przez zegar próbkowania (rysunek 4) będący częścią generatora podstawy czasu. Częstotliwość ta zależy od nastawy współczynnika rozciągu generatora podstawy czasu (czas/cm). Przetworzone na postać cyfrową sygnały są następnie przesyłane do pamięci RAM, gdzie ciągły przebieg wejściowy ma postać odpowiednio zakodowanego binarnego ciągu sygnałów.

Przebiegi w pamięci RAM można przechowywać dowolnie długo, zapewniając jedynie warunek podtrzymania napięcia zasilania układu pamięci. Gdy zachodzi potrzeba przedstawienia na ekranie OPC uprzednio zapamiętanego przebiegu, następuje odczytanie zawartości pamięci RAM i przesłanie tych sygnałów cyfrowych do przetwornika cyfrowo-analogowego (C-A), na którego wyjściu uzyskuje się ciąg dyskretnych poziomów, każdy o amplitudzie odpowiadającej wielkości uprzednio pobranej próbki z sygnału wejściowego. Aby odtworzony z pamięci sygnał był na ekranie łatwiejszy do zinterpretowania, a przede wszystkim ciągły, jest poddawany procesowi interpolacji, w którym poszczególne poziomy napięć, zamiast tworzyć przebieg złożony z punktów, są z sobą łączone odcinkami prostej i tak przedstawiane na ekranie. Możliwe jest też oglądanie przebiegu bez interpolatora, ale przebieg jest wtedy utworzony tylko z punktów i najczęściej jest on trudny do odczytania; z drugiej jednak strony użytkownik uzyskuje przez to informację, w których częściach przebiegu znajdują się pobrane punkty i ile ich tam jest.

Częstotliwość odtwarzania przebiegów jest stała, niezależna od częstotliwości próbkowania oraz częstotliwości sygnału wejściowego i zadawana jest przez układ sterujący pracą całego OPC (rysunek 3). Sygnał z interpolatora jest podawany do generatora obrazu, który zapewnia odpowiednie wystrojenie lampy kineskopowej. Ze względu na to, że zapamiętane, przetwarzane i przedstawiane na ekranie w OPC przebiegi mają niską częstotliwość, powszechnie stosuje się lampy kineskopowe (często kolorowe) ze względu na duże wymiary ekranu i niższą cenę niż lampy oscyloskopowe. Te ostatnie stosuje się w oscyloskopach analogowo-cyfrowych, gdyż muszą one w nich zobrazowywać na ekranie również przebiegi o wysokiej częstotliwości.

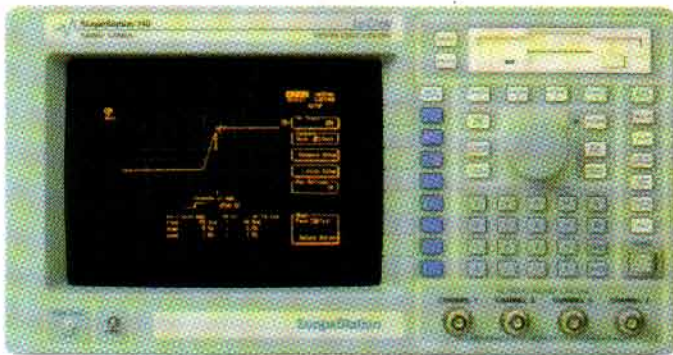
Wszystkie nastawy w OPC dokonuje się z płyty czołowej poprzez cyfrowe układy wykonawcze w poszczególnych blokach funkcjonalnych lub poprzez interfejsy: równoległy (GPIB) lub szeregowy (RS). Procesor i układ sterowania zapewniają prawidłowość pracy poszczególnych bloków OPC. Wewnętrzna szyna danych łączy szybkie pamięci RAM z układami pamięci odniesie-



a) TDS644A Tektronix



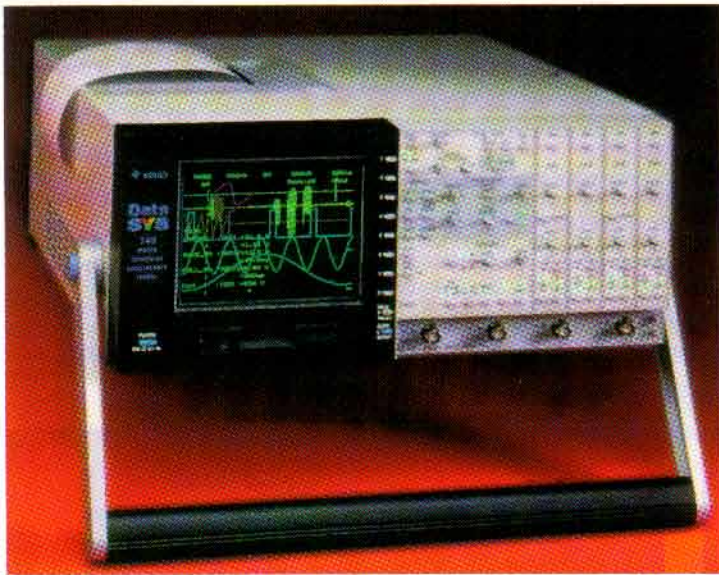
b) 54100D Hewlett-Packard



c) 140 LeCroy



d) PM3380A Fluke



e) DATA SYS 760

Rys. 7. Współczesne OPC. Modele a, b i e mają kolorowe ekrany, modele a, c i e mają wbudowane napędy dysków, model e ma drukarkę.

nia cyfrowego przetwarzania sygnałów i układem interfejsu do komunikacji z urządzeniami zewnętrznymi. Drukarka wewnętrzna drukuje sygnały pochodzące z wyjścia interpolatora i dodatkowe opisy z procesora sterowania wytwarzane na ekranie wraz z przebiegami. Należy zwrócić uwagę, że część analogowa w układzie przedstawionym na rys. 3 zajmuje tylko jego niewielką część. W oscyloskopie analogowo-cyfrowym

część analogowa jest znacznie większa. Częstotliwość próbkowania i bezpośrednio z nią związana ilość próbek pobieranych w ciągu okresu sygnału wejściowego jest najważniejszym parametrem OPC. Gdy z przebiegu wejściowego zostanie pobrana zbyt mała liczba próbek, to po odtworzeniu go z pamięci na ekranie uzyska się przebieg znacznie odkształcony (rysunek 5), zaś w skrajnym przypadku uzyska się tylko li-

nię prostą. Zbyt mała ilość pobranych próbek z przebiegu wejściowego jest przyczyną powstawania tzw. błędów przeistaczania (ang. aliasing), które są największą wadą OPC. Ponieważ OPC ma w każdym zakresie współczynnika czasu (czas/cm) inną częstotliwość próbkowania, dlatego należy zawsze liczyć się z możliwością powstania błędów przeistaczania; błąd może powstać nawet przy badaniu sygnałów o niskiej częstotliwości, gdy w wyniku ustawionego zbyt niskiego (wolnego) współczynnika czas/cm z przebiegu pobrana zostanie zbyt mała liczba próbek, by potem dokładnie go odtworzyć. Najbardziej dotkliwie zaznacza się wpływ błędów przeistaczania na najszybszych zakresach współczynnika czas/cm, gdy przetwornik A-C próbkuje ze swoją maksymalną częstotliwością, a sygnał wejściowy ma tak wysoką częstotliwość, że pobrana liczba próbek nie wystarcza, by go potem dokładnie odtworzyć (a zwłaszcza jego składowe o wyższych częstotliwościach). Stąd w technice OPC stale dąży się do osiągania możliwie wysokich częstotliwości próbkowania, koniecznych do zapamiętywania szybkich przebiegów jednorazowych.

Opisany powyżej sposób próbkowania nazywa się próbkowaniem bezpośrednim lub próbkowaniem w czasie rzeczywistym (rysunek 6a). Polega ono na pobraniu w czasie jednego cyklu roboczego podstawy czasu maksymalnie dużej liczby próbek.

Marek Dras

Cd. w EP 5/95