

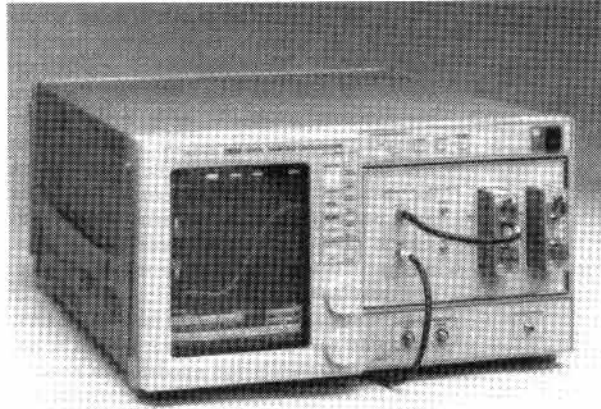
Oto czwarta część artykułu gruntownie wyjaśniającego budowę i działanie oscyloskopów z przetwarzaniem cyfrowym (OPC), coraz skuteczniej konkurujących z oscyloskopami analogowymi.

Oscyloskopy z pamięcią cyfrową, część 4

Ekran w OPC

Ekran spełnia ważną rolę organu bezpośrednio komunikującego się z użytkownikiem, który oczekuje uzyskania wyników pomiarów w postaci wykresu kształtu przebiegu, naniesionego na skalę pomiarową. Dodatkowo OPC przedstawia na ekranie wartość nastaw współczynników odchylenia, parametrów układu wyzwalania, zaznaczony punkt wyzwalania, ruchome kursory poziome i pionowe służące do pomiaru napięcia i czasu oraz cyfrowe wyniki pomiarów dokonanych przez OPC na przebiegach wyjściowych, rys. 21. Stąd widać, że użytkownik musi jednocześnie odczytywać z ekranu wiele informacji przedstawionych graficznie i alfanumerycznie. Stąd naturalna tendencja by oscyloskopy miały możliwie duże użyteczne pole pomiarowe. Ponieważ w OPC rzeczywista częstotliwość z jaką są zobrazowywane przebiegi wejściowe odtwarzane z pamięci półprzewodnikowej jest niska, stąd powszechne są w nich lampy kineskopowe z odchyleniem magnetycznym. Mają one zazwyczaj pole pomiarowe większe niż w klasycznej lampie oscyloskopowej, jaką spotyka się obecnie tylko w oscyloskopach analogowo-cyfrowych. Stosuje się też kineskopy kolorowe. Zastosowanie kolorów korzystnie zwiększa ilość informacji jaka jest przedstawiana na ekranie, bez zwiększania liczby znaków alfanumerycznych i wykresów przebiegów.

W związku z rozwojem telewizji o wysokiej rozdzielczości zaczęły się pojawiać ciekłokrystaliczne pola odczytowe (LCD) o roz-



Rys. 21. OPC z ekranem dotykowym mający bardzo małą ilość organów na płycie czołowej. Rozjaśnione pola na dole ekranu z opisem funkcji po dotknięciu uruchamiają realizację tej funkcji.

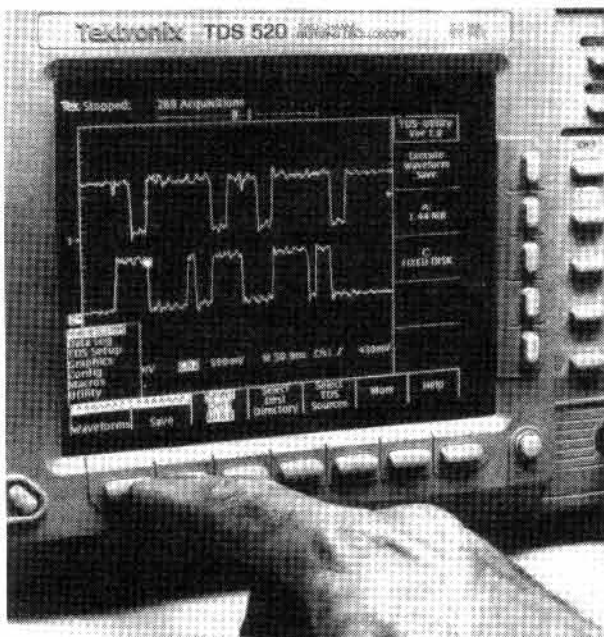
dzielczości VGA lub lepszej i takie ciekłokrystaliczne kolorowe pola odczytowe zastosowała firma Gould w oscyloskopach z serii DATASYS, rys.2.,21,[15]. Firma Tektronix w swoich oscyloskopach z rodziny TDS54 stosuje kineskopy monochromatyczne i nakładane na jego ekran sterowane ciekłokrystaliczne układy polaryzacyjne, które powodują takie skręcanie kąta polaryzacji światła emitowanego z ekranu, że użytkownik widzi obraz w kolorach [10,15]. Oba rozwiązania są tańsze niż monitor kolorowy i dają porównywalną jakość obrazu. Ponieważ użytkownicy obsługując OPC praktycznie bez przerwy patrzą się na ekran, nawet przy dokonywaniu zmian nastaw parametrów, firma Tektronix w jednym z najbardziej roz-

budowanych oscyloskopów z rodziny 11000 wprowadziła ekran dotykowy, rys. 21. W tym oscyloskopie użytkownik, dotykając odpowiednio opisanych i podświetlonych pól na ekranie, dokonuje pełnej obsługi przyrządu, co pozwoliło ograniczyć ilość zewnętrznych elementów regulacyjnych. Niektóre firmy oferują OPC, które można dołączyć bezpośrednio z monitorem VGA od komputera osobistego i wygodnie obserwować, również w kolorach, obraz przebiegów na dużym ekranie (oscyloskop typu 500 firmy Gould).

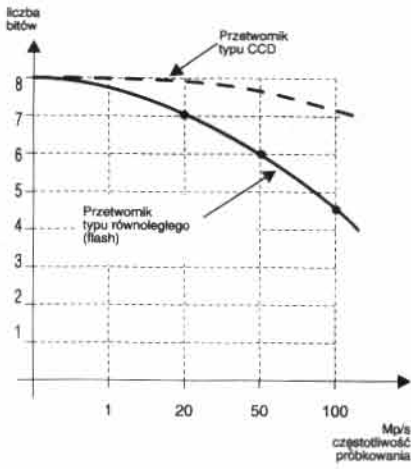
Płyta czołowa OPC

Ponieważ przy posługiwaniu się OPC zachodzi potrzeba wielu nastaw, zmiany procedur i programu pomiarów oraz rodzajów pracy, stąd koniecznym jest łatwy dostęp do poszczególnych organów regulacji. Jednakże ich ilość jest zazwyczaj tak duża, że współczesne oscyloskopy musiałyby mieć bardzo dużą ilość pokręteł i przycisków do regulacji, co znowu by utrudniło obsługę. Problem ten jest rozwiązywany różnie przez różne firmy. Firma Hewlett-Packard na ogół stosuje klawiaturę typu kalkulatorowego. Charakteryzuje się ona małą liczbą organów regulacji, lecz by dokonać zmian nastawów należy wciskać, czasami kilkakrotnie odpowiednie klawisze w zadanej sekwencji. Firma Tektronix stosuje dedykowane do danej funkcji pokrętła i klawisze, przy czym w celu zmniejszenia ich ilości, te same organy regulacji są przeznaczone do obsługi wszystkich kanałów wejściowych i odpowiednio przełączane. Firma Gould stosuje dedykowane do danej operacji klawisze, przy czym mają one działanie podobne do potencjometru, gdyż mocniejsze wciśnięcie klawisza powoduje szybsze zmiany parametru.

We wszystkich firmach produkujących profesjonalne OPC, programowanie ich pracy dokonywane jest również przy pomocy rzędu klawiszy, okalających ekran i dedy-



Rys. 22. Ekran w OPC z rzędami klawiszy otaczającymi ekran i dedykowanymi im polami opisowymi programów. Wybrany rodzaj działania jest podświetlany.



Rys. 23. Dokładność przetwarzania w zależności od typu przetwornika.

kowanych im połam odczytowym, z opisami wybieranych sekwencji programowych, rys. 22.

Parametry OPC

Oprócz wspomnianych uprzednio częstotliwości próbkowania i wielkości pamięci przypadającej na jeden kanał wejściowy OPC charakteryzują następujące parametry.

1. Maksymalne użyteczne pasmo zapamiętywanych sygnałów niepowtarzalnych zależy od częstotliwości próbkowania, ilości próbek pobranych w ciągu okresu sygnału i rodzaju zastosowanej interpolacji. Przyjęto następującą definicję pasma odnoszącą się do przebiegów sinusoidalnych, o amplitudzie równej całej wysokości ekranu (8 działek). Dla przebiegów odwzorzonych na ekranie z samych punktów, bez jakiegokolwiek interpolacji, równa jest maksymalnej częstotliwości próbkowania podzielonej przez 25.

Jest to najczęściej używana definicja użytecznej szerokości pasma zapamiętywanych sygnałów, ze względu na najczęściej stosowany rodzaj interpolacji.

Zastosowanie interpolacji zmienia definicję pasma użytkowego.

Stąd też, gdy przykładowo OPC ma maksymalną częstotliwość próbkowania, wynoszącą 200Mp/s, to można nim zapamiętać przebiegi niepowtarzalne o maksymalnej częstotliwości wynoszącej tylko 20MHz, przy zastosowaniu interpolacji liniowej i o częstotliwości 80MHz przy prawidłowym zastosowaniu interpolacji sinusoidalnej.

Maksymalne pasmo częstotliwości zapamiętywanych sygnałów powtarzalnych przy zastosowaniu próbkowania sekwencyjnego, wyznaczone jest szerokością pasma analogowego układu dzielników i wzmacniaczy wejściowych OPC i nie zależy od częstotliwości próbkowania, która przy tym rodzaju próbkowania jest niska i wynosi zazwyczaj kilka Mp/s, a pasmo zapamiętywanych przebiegów sięga gigaherców.

Z powyższych zależności widać, że pasmo zmienia się i jest różne dla każdej nastawy współczynnika czas/cm, gdyż wtedy zmienia się właśnie częstotliwość próbkowania, tab. 2. Dla najszybszych współczynników czas/cm jest ono najwyższe i wynosi przykładowo dziesiątki MHz a dla współczynników rzędu sekund/cm wynosi zaledwie kilka herców. Należy to mieć zawsze na uwadze przy dokonywaniu pomiarów przy pomocy OPC na wolnych współczynnikach czasu, gdyż wtedy nie są zapamiętywane składowe sygnały o wysokich częstotliwościach.

2. Użyteczny własny czas narastania OPC zależy od rozkładu pobranych próbek w odcinku narastającym lub opadającym mierzonego przebiegu impulsowego. Zdefiniowany jest jako czas T_r o wartości od 0,8 do 1,6 okresu próbkowania T_p .

$$T_r = (0,8 - 1,6) \times T_p$$

i tak jest określony dla interpolacji liniowej.

Należy pamiętać, że w odróżnieniu od czasu narastania w oscyloskopach analogowych [6], użyteczny czas narastania nie może być zastosowany do pomiaru rzeczywistego czasu narastania sygnałów a jedynie do określania przedstawionego na ekranie czasu narastania obrazu przebiegu wynikłego z częstotliwości próbkowania i ustalonego współczynnika czasu. Te dwa różnie zdefiniowane czasy narastania odzwierciedlają ważną różnicę między OPC i oscyloskopem analogowym.

3. Rozdzielczość OPC.

Jest to efektywna możliwość rozróżniania i zapamiętywania małych zmian i fragmentów sygnałów wejściowych. Wyznaczona jest przez rozdzielczość przetwornika A-C i określona w bitach. W tabeli 1 podano liczby bitów i odpowiadające im wielkości rozróżnianych fragmentów sygnałów wejściowych, jakie mogą być uzyskane przy przetworzeniu ich przez przetwornik A-C o takiej liczbie bitów. Rozdzielczość przetworników A-C maleje wraz ze wzrostem częstotliwości próbkowania. Zmiany te są

Tabela 2. Błąd przetwarzania w zależności od zastosowanej interpolacji.

Liczba próbek	Maksymalny błąd pomiaru	
	interpolacja liniowa	interpolacja sinusoidalna
2,5	40%	14%
4	28%	2%
5	12%	<1%
8	8%	<1%
10	5%	<1%
20	1,5%	<1%

zależne od rodzaju przetwornika A-C, rys. 23. Najczęściej spotykanym standardem rozdzielczości w OPC jest 8 bitów. Najwyższe spotykane wartości rozdzielczości 14 bitów spotyka się w OPC najwyższej klasy. Mogą one zapamiętywać przebiegi z tak dużą rozdzielczością, jednak przy niskiej maksymalnej częstotliwości próbkowania rzędu kilku MHz.

4. Dokładność pomiarów napięcia w OPC.

Na całkowitą dokładność pomiarów składa się kilka czynników: dokładność kalibracji wzmacniaczy, liniowość dynamiki wzmacniaczy i przetworników A-C, wielkość szumów własnych układu i rozdzielczość przetwornika A-C. W idealnym układzie, gdyby błędy wnoszone przez poszczególne układy były zerowe to dokładność pomiaru napięcia byłaby równa rozdzielczości przetwornika A-C. W praktycznych układach OPC dokładność ta jest podobna do oscyloskopów analogowych i wynosi, w najlepszym przypadku od 1 do 3%. Dokładność pomiarów napięcia zależy też bardzo silnie od ilości pobranych próbek i od wierności odwzorzonych z nich przebiegów oraz zastosowanej interpolacji i powstających przy tym błędów przeistaczania - rys. 5a, tabela 3. Na błąd pomiaru amplitudy ma również wpływ szerokość pasma i kształt charakterystyki częstotliwościowej układu dzielników i analogowych wzmacniaczy wejściowych. Należy pamiętać, że pomiar amplitudy sygnału o częstotliwości odpowiadającej wartości szerokości pasma (-3dB) obciążony jest z definicji błędem - 29%. Stąd widać jak wiele czynników należy brać pod uwagę przy ocenie dokładności pomiaru amplitudy przy pomocy OPC [11]. Na pewną poprawę dokładności pomiarów ma wpływ stosowanie ekspansji amplitudy zapamiętywanych przebiegów. Rozciągając w pionie zapamiętane przebiegi można zmniejszyć wpływ małej rozdzielczości ekranu i uzyskiwać dokładniejsze pomiary drobnych fragmentów przebiegu, a przez to pełniej wykorzystać rozdzielczość przetwornika A-C.

Dokładność pomiarów czasu w OPC

W OPC niezależnie od rodzaju użytej interpolacji dokładność wyznacza dokładność kalibracji podstawy czasu a graniczną rozdzielczość pomiaru czasu wyznacza minimalny odcinek czasu między kolejnymi próbkami. Przez powszechne stosowanie ekspansji cyfrowej i interpolacji wypełniającej odcinki między próbkami w OPC uzys-

Tabela 2. Zależność nastaw współczynników czasu, częstotliwości i szerokości pasma zapamiętywanych przebiegów jednorazowych przy interpolacji liniowej i sinusoidalnej

Nastawy czas/cm	Częstotliwość próbkowania próbek/s	Pasmo zap. przebiegów interp. lin.	Pasmo zap. przebiegów interp. sin.
1s/cm	10p	1Hz	2,5Hz
10ms/cm	1kp	100Hz	250Hz
1ms/cm	10kp	1kHz	2,5kHz
0,1ms/cm	100kp	10kHz	25kHz
10µs/cm	1Mp	100kHz	250kHz
1µs/cm	10Mp	1MHz	2,5MHz
0,1µs/cm	100Mp	10MHz	25MHz

kuje się znacznie większą dokładność pomiarów czasu niż w oscyloskopie analogowym i wynosi ona od 0,1 do 0,001%, a rozdzielczość rzędu pikosekund. Również przy pomiarze czasów narastania, im więcej próbek znajdzie się w odcinku narastającym tym dokładniej się go zmierzy. Przy jednej próbce w tym odcinku błąd wynosi 36%, przy dwu próbkach 8%, a przy trzech 5%.[11]. Zastosowanie ekspansji cyfrowej w osi czasu daje o wiele lepsze wyniki niż w osi Y. Przebiegi w osi X mogą być rozciągane do 1000 razy w sposób kalibrowany, uzyskując w ten sposób możliwość dokładniejszej obserwacji i zmierzenia każdego fragmentu obrazu przebiegu, **rys. 23a**. Stosując rodzaj rozciągu zwany „zoom” na ekranie widać równocześnie cały zapamiętany przebieg jak i rozciągnięty na całą szerokość ekranu wybrany odcinek przebiegu,

który może być płynnie przesuwany w lewo i w prawo. Na przebiegu, ten ruchomy rozciągnięty odcinek jest zaznaczony przez rozjaśnienie.

Marek Dras

Cd. w EP 8/95

Rys. 23a. Obraz z zastosowaniem rozciągu typu „zoom”. Rozciągnięte 50 razy odcinki w stosunku do przebiegów podstawowych to przebiegi pierwszy i trzeci od góry. Odcinek rozjaśniony na czwartym centymetrze rozciągu informuje, która część przebiegu została rozciągnięta. Przesuwając ten rozjaśniony odcinek w lewo lub w prawo można płynnie analizować fragmenty przebiegów.

