

Oscyloskopy analogowe i cyfrowe budowa, działanie i zastosowanie

Dla www.elektroda.pl opracował Leszek K. (lechoo)

© 1999 - 2007

Spis treści

	Strona
1. Wstęp	1
2. Budowa i zasada działania oscyloskopu analogowego	2
2.1. Tor odchyłania pionowego Y (VERTICAL)	4
2.2. Tor odchyłania poziomego X (HORIZONTAL)	8
2.3. Układ wyzwalania (TRIGGERING)	9
2.4. Sonda pomiarowa	12
2.5. Oscyloskop Hung Chang HC 5502	13
3. Oscyloskopy z pamięcią cyfrową	18
3.1. Rynek OPC	19
3.2. Zasada działania OPC	20
3.2.1. Próbkowanie sygnału	23
3.2.2. Blok pamięci w OPC	26
3.2.3. Przetwornik C/A i interpolatory	27
3.2.4. Układy wyzwalania w OPC	29
3.2.5. Rodzaje pracy OPC	30
3.2.6. Zapamiętywanie przebiegów	33
3.3. Płyta czołowa OPC	34
3.3.1. Ekran oscyloskopu	34
3.4. Parametry OPC	35
3.4.1. Dokładność pomiarów czasu w OPC	36
3.4.2. Parametry obwodów wejściowych OPC	37
3.4.3. Układy próbkująco-pamiętające i przetworniki A/C	37
3.5. Procesory w OPC	38
3.6. Programowalność pracy OPC	39
3.7. Interfejsy	39
3.8. Drukarki	40
4. Zalety i wady oscyloskopów cyfrowych i analogowych	41
5. Literatura	42

1. Wstęp

Przyrządy pomiarowe stosowane w elektronice służą zwykle do pomiaru wybranego parametru wielkości mierzonej fizycznej. Może to być np. wartość skuteczna napięcia (woltomierz), rezystancja (omomierz), moc czynna (watomierz), częstotliwość (częstościomierz). Listę tę można znacznie rozszerzyć, włączając do niej przyrządy specjalizowane, służące np. do pomiaru zniekształceń nieliniowych lub parametrów modulacji.

Wspólną cechą tych przyrządów jest to, że po wykonaniu pomiaru otrzymuje się liczbę (mianowaną lub nie) odpowiadającą – z pewnym błędem – wartości zmierzonej. Dlatego też, w porównaniu z takimi miernikami, oscyloskop elektroniczny jest przyrządem wyjątkowym. Wyjątkowym przede wszystkim z dwóch powodów:

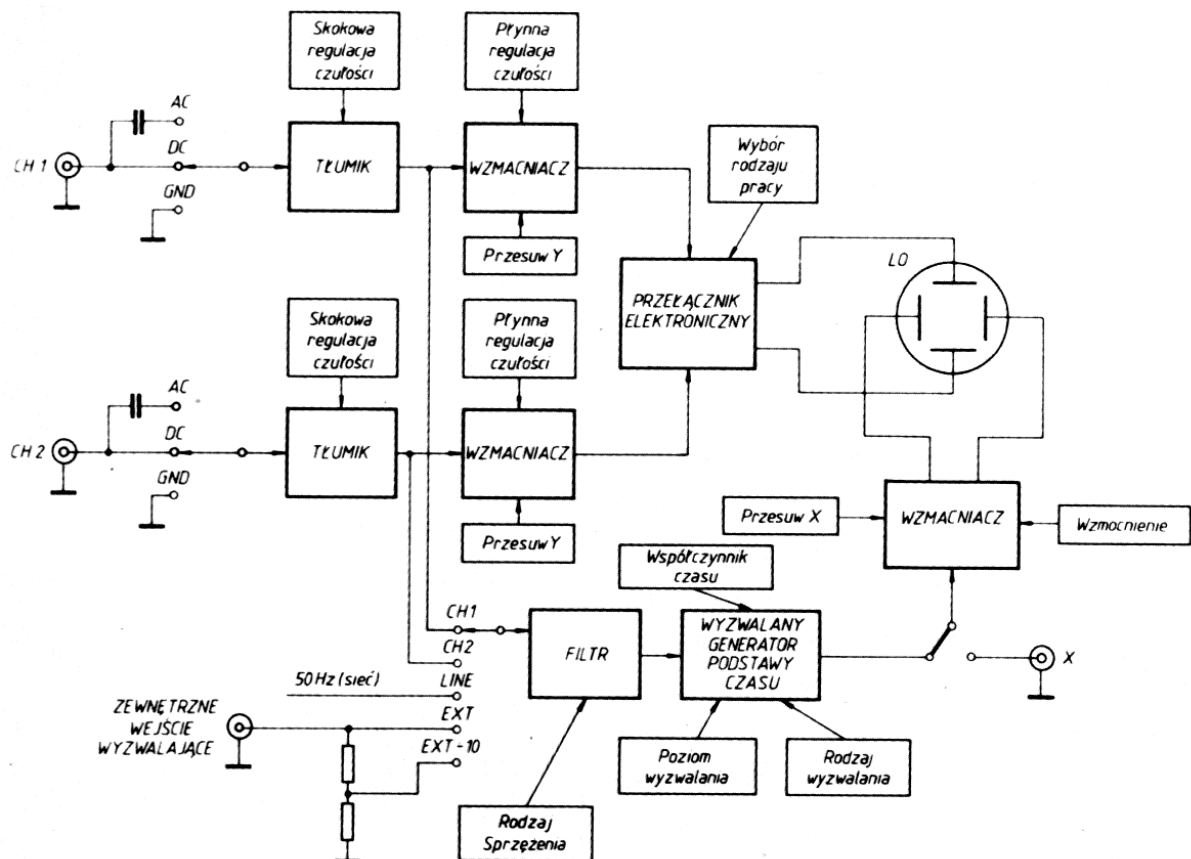
- Oscyloskop ma ekran, na którym można zobaczyć to, co się mierzy; typowym zastosowaniem oscyloskopu jest obserwacja przebiegów czasowych sygnałów napięciowych.
- Oscyloskop jest niezwykle uniwersalny, ponieważ można nim mierzyć każdy parametr, który da się określić na podstawie obserwowanego kształtu. Zwykle jest to wartość składowej stałej, amplituda, częstotliwość i czas.

Szczególnie istotną cechą oscyloskopu jest możliwość obserwacji wielkości mierzonej. Zdobyta w ten sposób informacja jest bardzo ważna dla zrozumienia badanej sytuacji, a bardzo często wiedzy tej nie można nabyć w inny sposób. O tym, jak ważna jest możliwość obserwacji wielkości mierzonych, najlepiej świadczy popularność oscyloskopu – jest to podstawowe narzędzie pracy elektroników.

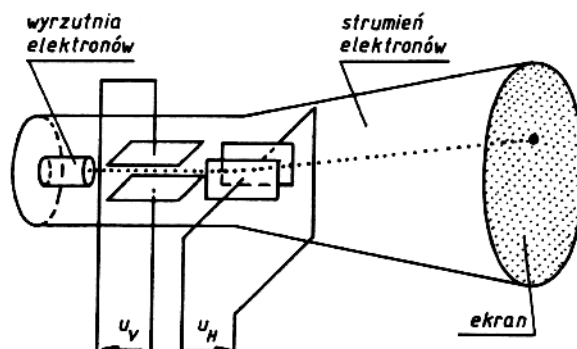
Ta wielka popularność oscyloskopu powoduje, że na rynku występuje wiele różnorodnych ich typów. Oferowane przez różnych producentów oscyloskopy różnią się zarówno parametrami, jak i zasadą działania. Coraz większą popularność zdobywają oscyloskopy cyfrowe, znane także pod nazwą oscyloskopów z pamięcią cyfrową (w skrócie OPC), które niemal całkowicie wyparły egzotyczne oscyloskopy z lampą pamiętającą. OPC zostaną dokładniej opisane w drugiej części pracy. Bogate jest także produkowane wyposażenie dodatkowe do oscyloskopów, jak sondy, wkładki i przystawki umożliwiające zastosowanie oscyloskopu do pomiaru prawie wszystkiego.

2. Budowa i zasada działania oscyloskopu analogowego

Opis oscyloskopu zostanie przedstawiony na przykładzie typowego modelu. Na rys. 1 zamieszczono schemat blokowy oscyloskopu, a na rys. 3 – wygląd płyty czołowej. Ten przykładowy oscyloskop zawiera wszystkie podstawowe funkcje występujące w realnie istniejących przyrządach. Ze względu na to, że bardzo często napisy na płycie czołowej oscyloskopu są w języku angielskim, w tekście podano obok polskich również angielskie nazwy przełączników oraz pokręteł.



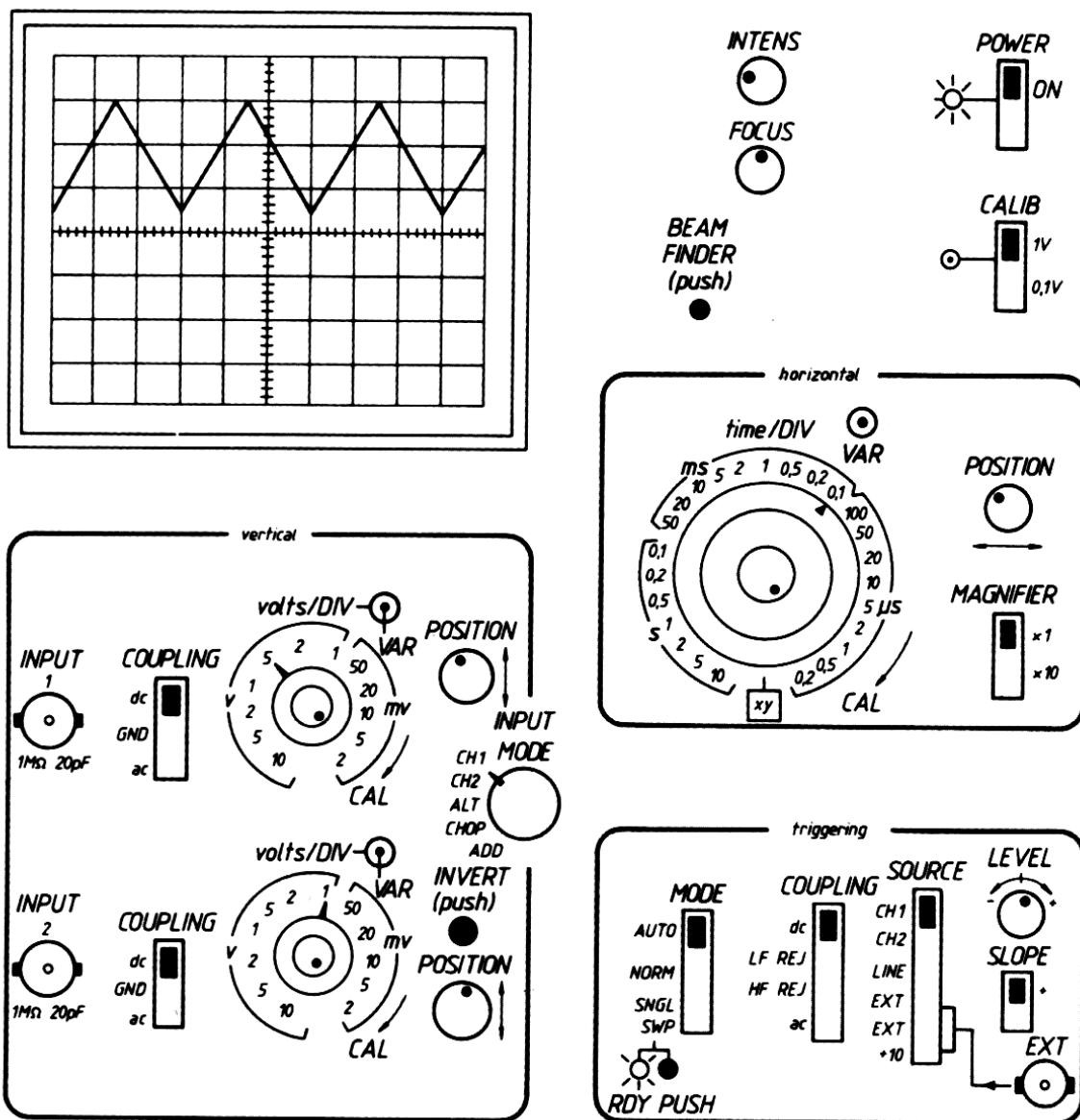
Rys. 1. Schemat blokowy przykładowego oscyloskopu z zaznaczonymi funkcjami najważniejszych przełączników i pokręteł umieszczonych na płycie czołowej



Rys. 2. Uproszczony schemat budowy lampy oscyloskopowej

Podstawowym elementem oscyloskopu jest lampa oscyloskopowa LO. Jej uproszczoną budowę obrazuje rys. 2. Zasada działania lampy oscyloskopowej jest następująca: umieszczona w próżni szczelnej rurze wyrzutnia elektronów emituje zogniskowany strumień elektronów, który, uderzając w pokryty luminoforem ekran, wywołuje powstanie świecącej plamki.

Pozycję plamki na ekranie określają napięcia u_H i u_V ¹⁾ doprowadzone do płytek odchylających strumień elektronów. Przesunięcia plamki są liniowo zależne od chwilowych wartości napięć przyłożonych do płytek odchylających.



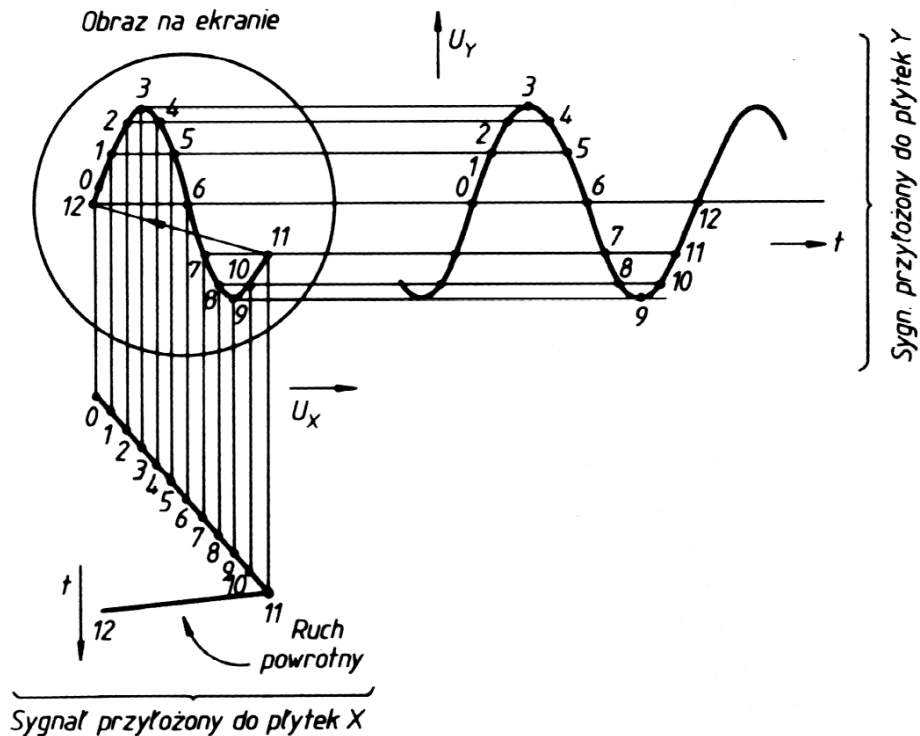
Rys. 3. Widok płyty czołowej przykładowego oscyloskopu

Na schemacie blokowym oscyloskopu pominięto układy zasilania lampy, w których są umieszczone elementy regulacji jasności (INTENSITY) i ostrości (FOCUS), a przedstawiono tylko płytki odchyłania pionowego i poziomego. Gdy do płytek odchyłania pionowego jest przyłożone napięcie badane, a do płytek odchyłania poziomego napięcie liniowo zmienne w czasie (tzw. napięcie podstawy czasu), na ekranie można zaobserwować przebieg czasowy napięcia badanego (rys. 4). Realizacja tej prostej idei wymaga jednak zastosowania dość skomplikowanej elektroniki. Przyczynami tego są:

1. Konieczność wysterowania płytek odchylających napięciami o odpowiednich poziomach, niezależnie od poziomów napięć wejściowych.

¹⁾ Indeksy H i V pochodzą od angielskich słów: *horizontal* – poziomy i *vertical* – pionowy

2. Konieczność synchronizacji napięcia podstawy czasu z przebiegiem mierzonym; ponieważ czas świecenia luminoforu jest skończony, zatem aby obejrzeć wyraźny obraz – przebieg mierzony i napięcie podstawy czasu muszą być okresowe i zsynchronizowane.
3. Konieczność stosowania rozwiązań układowych o stabilnych i dobrze określonych parametrach, oscyloskop jest bowiem przyrządem pomiarowym.
4. Stosowanie rozwiązań układowych, zwiększających wygodę obsługi i możliwości oscyloskopu.



Rys. 4. Zasada wytwarzania na ekranie obrazu o kształcie odpowiadającym przebiegowi czasowemu napięcia badanego. Chwilowe położenie punktu świecącego na ekranie odpowiada chwilowym wartościom napięć odchyłających

W dalszej części rozdziału omówione zostaną kolejne układy oscyloskopu analogowego oraz występujące w nich przełączniki i regulatory. Będzie to zarazem opis prawidłowego sposobu posługiwania się tym uniwersalnym przyrządem.

2.1. Tor odchyłania pionowego Y (VERTICAL)

W typowych rozwiązaniach współczesne oscyloskopy mają dwa wejścia pomiarowe (oznaczane np. A i B lub CH1 i CH2), co umożliwia jednoczesne oglądanie na ekranie dwóch przebiegów. Zwykle sygnały pomiarowe (a także wyzwalające) są doprowadzone do oscyloskopu za pomocą złączy BNC. Przy każdym gnieździe wejściowym jest umieszczony przełącznik umożliwiający wybranie rodzaju sprzężenia sygnału badanego z układem wejściowym oscyloskopu. W pozycji DC tego przełącznika sygnał jest sprzężony stałoprądowo i na ekranie oscyloskopu oglądamy całkowity sygnał wejściowy, tzn. sumę składowej stałej i zmiennej. W przypadku, gdy jest to niepożądane, np. podczas pomiaru sygnału o małej amplitudzie składowej zmiennej, lecz z dużą składową stałą, można ustawić sprzężenie zmienoprądowe AC i na ekranie widać wówczas tylko składową zmienną. W pozycji GND (ang. *ground* – ziemia, masa) wejście oscyloskopu jest uziemione, co umożliwia stwierdzenie jakie położenie plamki na ekranie odpowiada napięciu wejściowemu 0 V. Istotne jest to, że w poło-

zeniu tym sygnał wejściowy nie jest zwierany do masy, ale odłączony od uziemionego wejścia oscyloskopu (patrz: obwód wejściowy na schemacie blokowym).

Impedancja wejść pomiarowych oscyloskopu wynika z równoległego połączenia rezystancji wejściowej o standardowej wartości 1 MΩ i pojemności wejściowej o wartości ok. 20 pF. Niestety, wartość pojemności wejściowej nie jest stała i w różnych oscyloskopach może mieć różne wartości. Może to być kłopotliwe, ponieważ powoduje trudności przy stosowaniu sond pomiarowych od innego oscyloskopu. Będzie to omówione dokładniej w dalszej części pracy. Wartości rezystancji i pojemności wejściowej są zwykle podane na płycie czołowej w pobliżu wejściowych gniazd BNC.

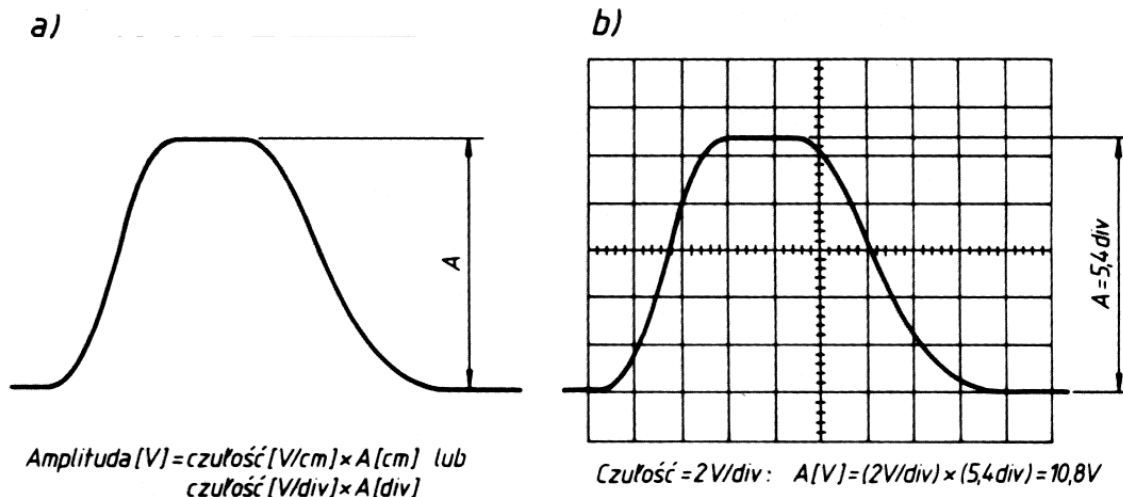
Najważniejszym przełącznikiem związanym z torem odchyłania pionowego Y jest indywidualny dla każdego kanału przełącznik ustawiania czułości (VOLTS/DIV). Czułość oscyloskopu (lub inaczej współczynnik odchyłania pionowego) jest równa przyrostowi napięcia wejściowego wywołującego przesunięcie plamki świetlnej na ekranie o 1 cm. Czułość jest wyrażana w V/cm. Dla ułatwienia pomiaru odległości na ekranie, oscyloskopy są wyposażone w specjalną siatkę współrzędnych. Często się zdarza, że siatka współrzędnych umieszczona na ekranie ma jednostkę różną od 1 cm (typowo 0,8 cm). Wówczas tę jednostkę nazywa się działką (w skrócie dz) i czułość jest wyrażana w voltach na działkę – V/dz. Po angielsku słowo działka brzmi *division* i jest zapisywane w skrócie jako div. Powszechnie więc spotyka się oznaczenie: V/div. Przy tak podawanej czułości, odległości na ekranie nie mierzy się w cm, lecz w działkach, tj. zgodnie z naniesioną na ekran skalą.

Ze względu na dużą liczbę pozycji przełącznik wyboru czułości jest zwykle przełącznikiem obrotowym. Przyjęło się, że czułość oscyloskopu jest ustawiana według ciągu 1-2-5, i tak np. typowe wartości czułości wynoszą: 2 mV/div, 5 mV/div, 10 mV/div, 20 mV/div, 50 mV/div, 0,1 V/div, 0,2 V/div, 0,5 V/div, 1 V/div, 2 V/div, 5 V/div, 10 V/div.

Z określenia czułości wynika, że sygnał sinusoidalny o amplitudzie 2 mV i dla czułości równej 2 mV/div ma na ekranie tę samą wielkość i kształt co sygnał sinusoidalny o amplitudzie 10 V przy czułości 10 V/div. Stosunek wzmocnień toru pomiarowego w obu skrajnych przypadkach wynosi zatem:

$$\frac{10V / cm}{2mV / cm} = 5000$$

Ponieważ trudno jest skonstruować wzmacniacz, który miałby jednakowe właściwości przenoszenia sygnałów przy tak dużych różnicach wartości wzmocnienia, stosuje się wzmacniacz o największym wymaganym wzmocnieniu poprzedzony regulowanym tłumikiem. I tak, pokrętko zmiany czułości ustawia właśnie odpowiednie tłumienie. W osi przełącznika czułości znajduje się ponadto pokrętko potencjometru umożliwiającego płynną regulację czułości (VARIABLE, VAR). Funkcja ta jest przydatna, gdy chcemy ustawić pewną konkretną wielkość (wysokość) obrazu na ekranie. Potrzeba ta zachodzi, np. przy pomiarze czasu narastania impulsu. **WAŻNE JEST**, aby pamiętać o ustawieniu tego pokrętła w pozycji zapewniającej właściwą kalibrację czułości. Pozycja ta jest oznakowana na płycie czołowej (CAL) i typowo jest to prawe skrajne położenie pokrętła. W lepszych oscyloskopach brak kalibracji jest sygnalizowany świeceniem lampki ostrzegawczej. Niewłaściwe ustawienie tego pokrętła powoduje znaczne błędy podczas pomiaru. Dobrym nawykiem jest unikanie nadużywania tego pokrętła oraz ustawianie go we właściwej pozycji natychmiast, gdy jest to możliwe. Ponieważ zmiana wzmocnienia w tym przypadku jest stosunkowo mała, regulację wykonuje się w układzie wzmacniacza.



Rys. 5. Pomiar napięcia oscyloskopem
a) zasada pomiaru napięcia, b) pomiar napięcia z wykorzystaniem siatki współrzędnych i pokręta przesuwu w kierunku pionowym

Znając czułość oscyloskopu dla danego kanału, można zmierzyć parametry napięciowe sygnału wejściowego. Pomiar polega na zmierzeniu odległości między interesującymi nas punktami przebiegu, a następnie przeliczeniu odległości na napięcie (rys. 5a). Jeżeli np. mamy ustawioną czułość 2 V/div i zmierzylśmy amplitudę impulsu (na ekranie) równą $5,4 \text{ div}$, to rzeczywista amplituda impulsu na wejściu oscyloskopu wynosi (rys. 5b) $(5,4 \text{ div}) \cdot (2 \text{ V/div}) = 10,8 \text{ V}$.

Każdy kanał pomiarowy jest wyposażony w pokrętło służące do przesuwania obrazu na ekranie w kierunku pionowym (POSITION). Funkcja ta jest bardzo przydatna przy pomiarze napięcia, gdyż umożliwia ustawienie jednego z punktów, których odległość się mierzymy na wybranej pozycji, na siatce współrzędnych, przez co pomiar jest łatwiejszy do wykonania. Pokrętło to stosuje się także do ustawienia w wybranym miejscu na ekranie poziomu zero, po uprzednim przełączeniu przełącznika wyboru rodzaju sprzężenia na pozycję GND. Po tak wykonanej kalibracji łatwo jest wykonywać pomiary przy stałoprądowym (DC) sprzężeniu sygnału badanego.

Ponieważ w oscyloskopach stosuje się zwykle lampy oscyloskopowe jednostrumieniowe (z jednym zestawem płytek odchylających), więc dla uzyskania na ekranie obrazu dwóch przebiegów jest konieczny przełącznik, który zapewni, że przebiegi z obu kanałów będą wyświetlane na zmianę. Stosuje się przy tym dwa sposoby przełączania kanałów:

1. Praca przemienna (ALTERNATE, ALT). Ten sposób polega na tym, że przełączanie kanałów następuje w czasie ruchu powrotnego plamki. Tak więc sygnał każdego kanału wyświetlany jest przez cały czas trwania podstawy czasu, ale co drugi jej okres.
2. Praca „siekana” (CHOPPED, CHOP). W tym trybie pracy przełączanie kanałów następuje ze stałą częstotliwością, niezależną od podstawy czasu. Częstotliwość przełączania jest zwykle rzędu $0,1 \div 1 \text{ MHz}$.

Wadą pracy przemienną jest migotanie obrazu występujące przy małych częstotliwościach podstawy czasu, dlatego też w tym zakresie częstotliwości lepiej używać trybu pracy „siekaną”. Z kolei przy większych częstotliwościach podstawy czasu mogą wystąpić zniekształcenia obrazu (przerwy w obrazach przebiegów) spowodowane bliskością dwóch częstotliwości: podstawy czasu i przełączania. W tym zakresie lepiej jest więc używać trybu pracy przemienną.

Czasami, podczas jednoczesnego oglądania dwóch przebiegów, wskutek koincydencji kilku przyczyn, może wystąpić pozorne (tzn. tylko na ekranie) przesunięcie fazowe oglądanych przebiegów. Gdy występują wątpliwości, czy oglądany obraz jest poprawny, warto go obejrzeć w obu trybach pracy przełącznika. Można w ten sposób uniknąć popełnienia błędu – w przypadku, gdy oba obrazy są jednakowe, uznajemy je za poprawne.

Z elektronicznym przełącznikiem kanałów jest związany przełącznik wyboru rodzaju pracy:

- oglądamy tylko przebieg kanału 1 (A, CH1),
- oglądamy tylko przebieg kanału 2 (B, CH2),
- praca przemienna (ALT),
- praca „siekana” (CHOP),
- oglądamy sumę kanałów 1 i 2 (A+B, ADD).

Dwie pierwsze funkcje sprowadzają oscyloskop do jednokanałowego. Dwie kolejna zostały omówione wcześniej. Komentarza wymaga więc tylko funkcja ostatnia.

W tym rodzaju pracy oglądamy na ekranie tylko jeden przebieg będący zwykłą sumą algebraiczną napięć wejściowych przełącznika kanałów. Dla tego rodzaju pracy obraz na ekranie może być przesuwany w pionie pokrętłem przesuwu dowolnego kanału. Obecność tej funkcji pociąga za sobą istnienie dodatkowego przełącznika dwupozycyjnego (związanego tylko z jednym kanałem, np. CH2), który służy do odwrócenia fazy sygnału badanego (INVERT, INV). Algebraicznie, odwrócenie fazy jest równoważne pomnożeniu sygnału przez -1 . Tak więc wybór rodzaju pracy ADD i jednoczesne włączenie funkcji INVERT umożliwia oglądanie różnicy sygnałów wejściowych oscyloskopu CH1–CH2. Czyni to z oscyloskopu uniwersalny wzmacniacz różnicowy ze wszystkimi jego zaletami.

W nowszych oscyloskopach w torze Y często stosuje się linię opóźniającą (kilkadziesiąt μ s), która powoduje, że generator podstawy czasu (parz: układ wyzwalań) zostanie wyzwolony, zanim początkowy fragment sygnału obserwowanego „dotrze” do płytek odchyłania pionowego. Umożliwia to obserwację przebiegu tuż przed momentem wyzwolenia. Omawiany układ nie został zamieszczony na schemacie blokowym (rys. 1), a w rzeczywistości znajduje się za przełącznikiem elektronicznym.

Na koniec opisu omówiony zostanie jeszcze ważny parametr toru Y oscyloskopu, a mianowicie – pasmo przenoszenia. Można chyba bez większego ryzyka powiedzieć, że jest to podstawowy parametr oscyloskopu uniwersalnego. Ogólnie zasada jest taka, że im szersze jest pasmo oscyloskopu, tym szybsze przebiegi można nim mierzyć. Pomiar przebiegów sinusoidalnych o częstotliwości większej niż pasmo oscyloskopu powoduje, że na ekranie obserwujemy amplitudę mniejszą niż rzeczywista. Tak więc pomiary napięć nie mają w tym przypadku sensu, gdyż obarczone są nieznany błądem. W przypadku zbyt szybkich przebiegów impulsowych zniekształceniu ulega ich kształt (parametry amplitudy i czasu).

W praktyce spotyka się oscyloskopy o paśmie od kilkudziesięciu do ponad tysiąca MHz. Oscyloskopy szybkie (tzn. o szerokim paśmie przenoszenia) są często wyposażone w ogranicznik pasma. Włączenie ogranicznika zmniejsza pasmo przenoszenia (np. ze 100 do 20 MHz), co przy oglądaniu stosunkowo wolnych przebiegów nie zniekształca jego kształtu, natomiast zmniejsza na ekranie szumy i zniekształcenia (obraz jest rysowany cieńszą linią).

2.2. Tor odchyłania poziomego X (HORIZONTAL)

Zadaniem toru odchyłania poziomego jest wygenerowanie właściwego sygnału podstawy czasu. Przebieg podstawy czasu jest generowany wewnątrz oscyloskopu i synchronizowany sygnałem mierzonym lub sygnałem zewnętrznym. Podstawa czasu jest przebiegiem piłokształtnym o narastaniu liniowym w czasie (podczas którego plamka przesuwa się na ekranie w prawo i jest rysowany obraz sygnału mierzonego) oraz bardzo szybkim opadaniu (następuje tu wygaszenie plamki i jej powrót na lewą stronę ekranu).

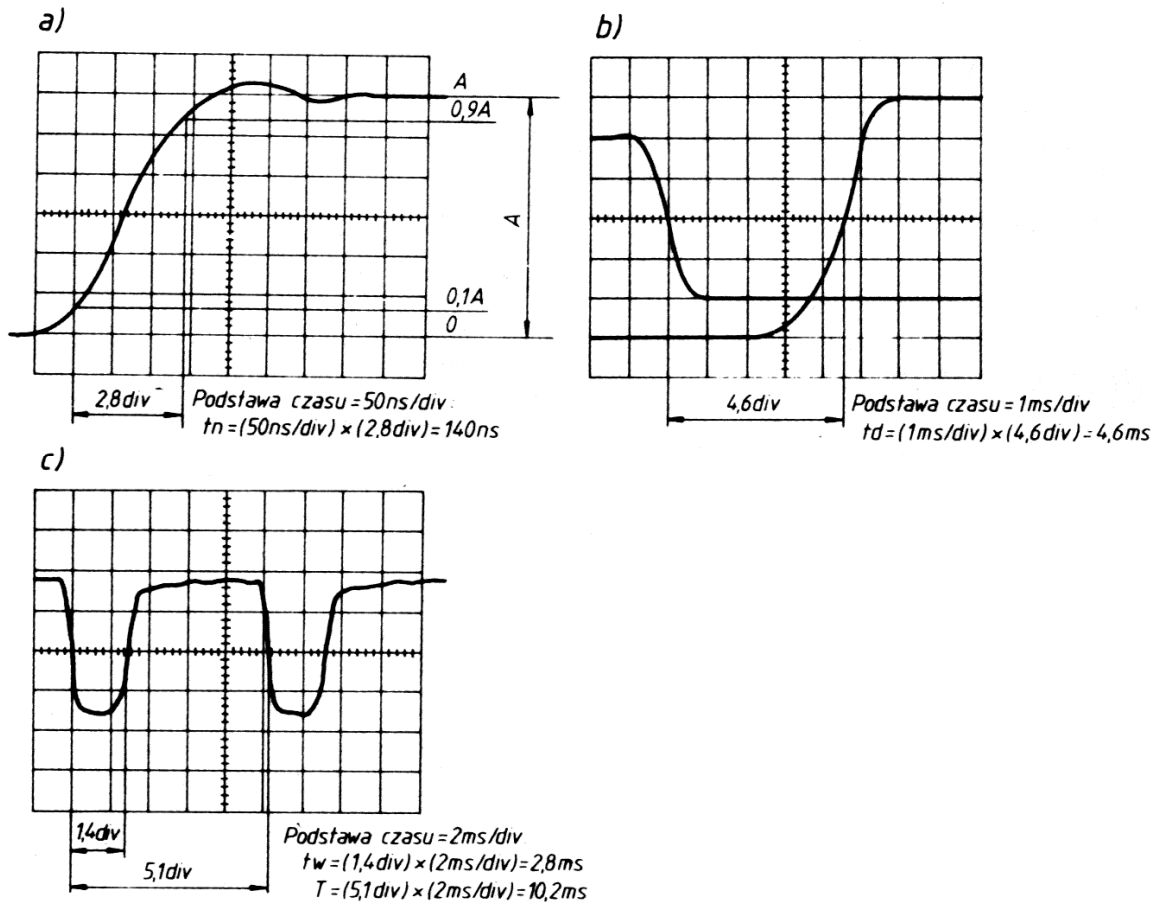
Szybkość liniowego narastania napięcia podstawy czasu jest ustawiana obrotowym przełącznikiem skali czasu (TIME/DIV) umieszczonym na płycie czołowej oscyloskopu. Przełącznik jest wyskalowany w s/div (w szczególnym przypadku w s/cm), a dostępne wartości współczynników tworzą ciąg 1-2-5. W typowym oscyloskopie skala podstawy czasu jest następująca: 0,2 μ s/div, 0,5 μ s/div, 1 μ s/div, 2 μ s/div, 5 μ s/div, 10 μ s/div, 20 μ s/div, 50 μ s/div, 100 μ s/div, 0,2 ms/div, 0,5 ms/div, 1 ms/div, 2 ms/div, 5 ms/div, 10 ms/div, 20 ms/div, 50 ms/div, 0,1 s/div, 0,2 s/div, 0,5 s/div, 1 s/div, 2 s/div, 5 s/div, 10 s/div.

Ponadto przełącznik skali czasu ma pozycję oznaczaną zwykle XY, dla której generator podstawy czasu jest odłączony, natomiast płytki odchyłania poziomego są sterowane sygnałem zewnętrznym z wejścia X. Czasem wejście X jest oddzielne (ma wówczas oddzielnie wyspecyfikowaną czułość), a czasem jest to wejście kanału CH2 toru Y. Tryb pracy XY wykorzystuje się np. w przypadku zdejmowania charakterystyk elementów elektronicznych (diod, tranzystorów itd.). Również w tym trybie można uzyskać na ekranie figury Lissajous – ładne, choć praktycznie mało przydatne.

Podobnie jak w przypadku czułości, również współczynnik czasu można zmieniać w sposób płynny potencjometrem umieszczonym koncentrycznie w osi przełącznika skali czasu (VARIABLE, VAR). Podczas pomiaru czasu lub częstotliwości ten potencjometr musi znajdować się w pozycji kalibrację współczynników czasu (porównaj uwagi dotyczące płynnej regulacji czułości). Obok przełącznika skali czasu jest zwykle umieszczony dodatkowy przełącznik dwupozycyjny (MAGNIFIER, $\times 10$ MAG), którego położenia na ogół są oznaczone jako $\times 1$ i $\times 10$. Ten przełącznik ustawiony w pozycji $\times 10$ zwiększa 10-krotnie wzmocnienie wzmacniacza odchyłania poziomego. W efekcie obraz na ekranie jest 10-krotnie rozciągnięty w kierunku poziomym i 10-krotnie maleje współczynnik czasu, np. z 0,2 μ s/div na 20 ns/div.

Podobnie jak w torze odchyłania pionowego, tak również w torze odchyłania poziomego znajduje się pokrętko przesuwu plamki (POSITION). Przesuw w kierunku X jest używany podczas pomiaru parametrów czasowych przebiegów. Służy wówczas do ustawienia punktu odniesienia, od którego jest mierzony czas w wygodnym miejscu na siatce współrzędnych. Podczas pomiarów czasu wykorzystuje się również przesuw w kierunku Y i nie kalibrowaną pracę toru Y. Wszystko to ma na celu ustawienie pomiarów odległości na ekranie zgodnie z definicją czasów.

Na rys. 6 przedstawiono sposób pomiaru: czasu narastania t_n (rys. 6a), opóźnienia między impulsami t_d (rys. 6b) oraz czasu trwania impulsu t_w i okresu T (rys. 6c). Czas narastania mierzy się między punktami odpowiadającymi 10% i 90% amplitudy, a czasy opóźnienia i trwania – na poziomie 50% amplitudy. Przesuw w kierunku X jest również używany do znalezienia interesującego fragmentu przebiegu przy włączonym wzmocnieniu $\times 10$ w torze X – w tym przypadku na ekranie widać tylko około 1/10 całego przebiegu.



Rys. 6. Pomiar parametrów czasu

a) pomiar czasu narastania, b) pomiar czasu opóźnienia dwóch impulsów, c) pomiar czasu trwania i okresu

2.3. Układ wyzwalania (TRIGGERING)

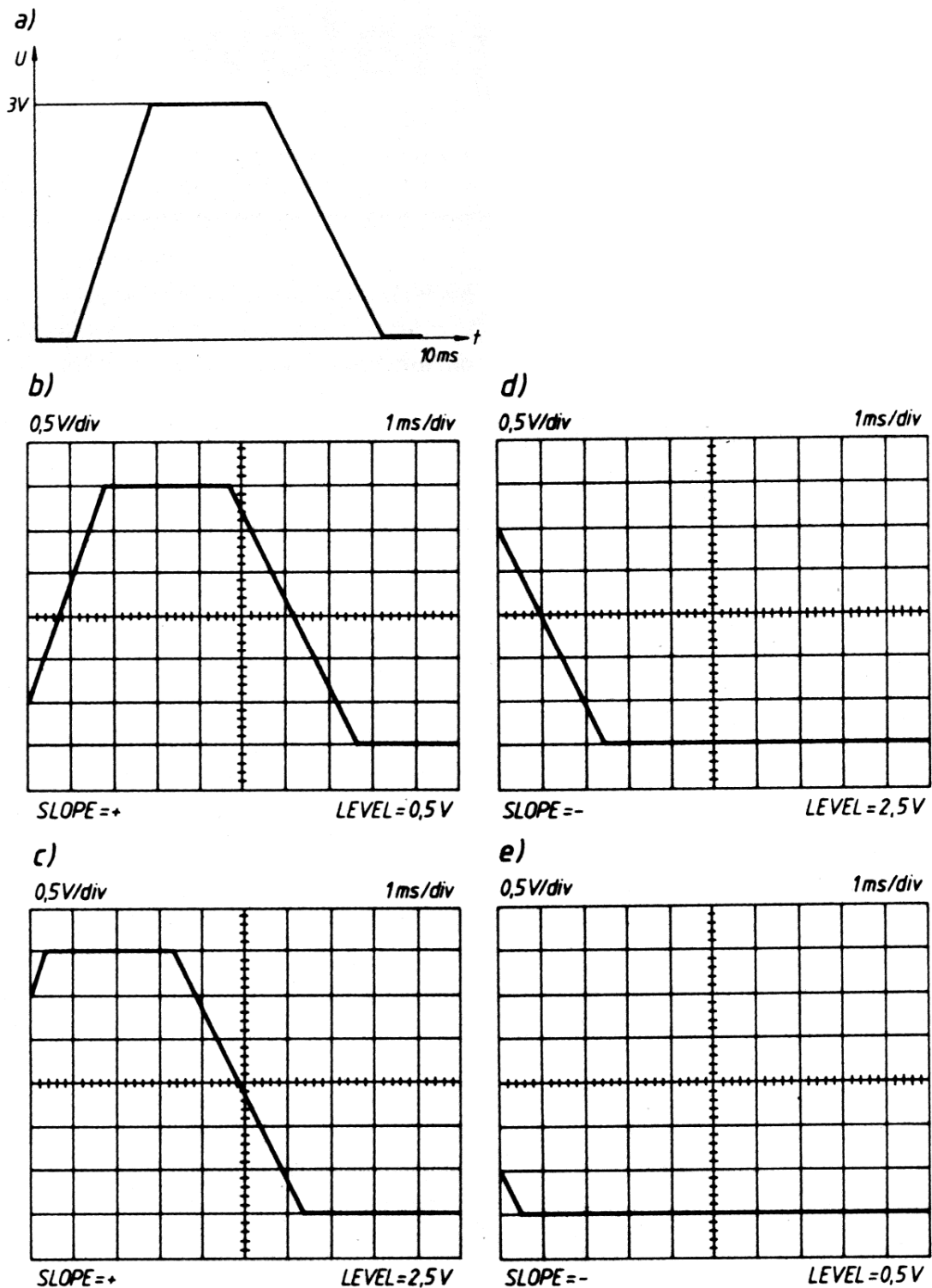
Układ wyzwalania służy do właściwej synchronizacji podstawy czasu i w dużej mierze decyduje o wygodzie korzystania z oscyloskopu. W przypadku braku synchronizacji mierzony sygnał jest w każdym cyklu podstawy czasu wyświetlany w innym miejscu ekranu i w takiej sytuacji na ekranie najczęściej widać szeroki rozświetlony pas o wysokości odpowiadającej wartości międzyszczytowej mierzonego sygnału. Oczywiście obraz taki jest zupełnie nieprzydatny. Do uzyskania wyraźnego i stabilnego obrazu na ekranie jest ważne, aby sygnał podstawy czasu rozpoczynał się zawsze w tym samym „punkcie” sygnału mierzonego. I to właśnie zapewnia układ wyzwalania.

Dla uzyskania właściwej synchronizacji należy w odpowiedni sposób ustawić kilka przełączników (zgrupowanych zwykle obok siebie i często wspólnie oznaczonych: TRIGGERING – wyzwalanie).

1. Należy zdecydować się, jakim sygnałem będziemy synchronizować (wyzwalać) generator podstawy czasu. Do tego celu służy przełącznik wyboru źródła wyzwalania (TRIG SOURCE, SOURCE). Możliwe są tu zwykle następujące przypadki:

- Źródłem sygnału wyzwalającego jest kanał 1 (A, CH1) lub kanał 2 (B, CH2).
- Źródłem sygnału wyzwalającego jest sieć zasilająca (50 Hz, LINE). Ten sposób wyzwalania stosuje się przy sprawdzaniu, czy obserwowane szумы lub zakłócenia po-

chodzą od sieci zasilającej. Jeśli tak, to przy takim wyzwalaniu uzyska się stabilny obraz tych zakłóceń.



Rys. 7. Wpływ zmiany zbocza poziomu wyzwalania na oglądany obraz na ekranie (źródło wyzwalania: przebieg mierzony)

a) impuls mierzony, b), c), d), e) obraz na ekranie dla różnych pozycji przełącznika SLOPE (zbocze) i pokrętki LEVEL (poziom)

- Sygnał wyzwalający jest dołączony z zewnątrz do wejścia wyzwalającego (EXT TRIG). Ten sposób jest dobry, gdy chcemy obejrzeć kilka sygnałów po kolei i jedno-

częście poznać ich wzajemne położenie w czasie lub gdy sygnał mierzony jest bardzo zakłócony i wyzwianie wewnętrzne jest utrudnione. W tym trybie pracy sygnał zewnętrzny stanowi czasowy punkt odniesienia dla naszej obserwacji. Oczywiście należy go wybrać sensownie, tzn. tak, aby miał ten sam okres co obserwowane sygnały. Np. w przypadku badania złożonego wzmacniacza można do wyzwiania użyć impulsu odniesienia z generatora sterującego wzmacniacz. Ponieważ zewnętrzne sygnały wyzwalające mogą mieć różne amplitudy, przewidziano dwie możliwości: wyzwianie bezpośrednie (EXT) i sygnałem 10-krotnie stłumionym ($EXT \div 10$).

2. Podstawa czasu jest wyzwalana zboczem wybranego sygnału. Dwupozycyjnym przełącznikiem wyboru zbocza (SLOPE) użytkownik może wybrać do wyzwiania zbocze narastające lub opadające. Oznaczenia tego przełącznika to „+” dla zbocza narastającego i „-” dla zbocza opadającego.
3. Każde zbocze trwa skończony czas, poza tym termin ten oznacza zarówno szybkie, jak i wolne zmiany napięcia. W ogólnym przypadku jedynie określenie zbocza jest niewystarczające do właściwego ustalenia momentu wyzwolenia podstawy czasu. Oscyloskopy są więc wyposażone w pokrętkę ustawiania poziomu (LEVEL), którego przekroczenie (od wartości mniejszych do większych dla zbocza narastającego i odwrotnie dla zbocza opadającego) uruchomi podstawę czasu. W ten sposób można precyzyjnie ustawić moment wyzwiania, co jest istotne zwłaszcza dla wolnych zboczy sygnału wyzwalającego (rys. 7).
4. Następnie należy wybrać rodzaj sprzężenia sygnału wyzwalanego z generatorem podstawy czasu. Służący do tego przełącznik wyboru rodzaju sprzężenia (COUPLING) ma zwykle cztery pozycje odpowiadające:
 - sprzężeniu stałoprądowemu (DC) – do układu wyzwalającego jest doprowadzany całkowity sygnał wyzwalający, tzn. zarówno składowa stała, jak i składowa zmienna;
 - sprzężeniu zmiennoprądowemu (AC) – do układu wyzwalającego jest doprowadzona tylko składowa zmienna sygnału wyzwalającego;
 - tłumieniu małych częstotliwości (LF REJ) – sygnał wyzwalający jest doprowadzony do układu wyzwalającego przez filtr górnoprzepustowy;
 - tłumieniu dużych częstotliwości (HF REJ) – sygnał wyzwalający jest doprowadzony do układu wyzwalającego przez filtr dolnoprzepustowy.

Jako podstawowy rodzaj sprzężenia można przyjąć sprzężenie DC. W przypadku, gdy poziom składowej stałej sygnału wyzwalającego zmienia się, stosuje się sprzężenie AC. Gdy sygnał wyzwalający jest obarczony szumami lub złożony ze składowych o różnych częstotliwościach (np. sygnał akustyczny z nałożonymi zakłóceniami pochodzącymi od 100 MHz przebiegu zegarowego), wybór sprzężenia HF REJ lub LF REJ umożliwi uzyskanie żądanej synchronizacji (odpowiednio sygnału akustycznego lub zakłóceń).

5. Na zakończenie wreszcie wybiera się rodzaj pracy układu podstawy czasu (MODE, SWEEP MODE). Zwykle ten przełącznik ma trzy pozycje odpowiadające następującym trybom pracy generatora podstawy czasu:
 - Praca ciągła (AUTO). Generator podstawy czasu pracuje zawsze niezależnie od tego, czy oscyloskop jest wyzwalany, czy nie. W czasie, gdy działa układ wyzwiania, generator podstawy czasu jest synchronizowany przebiegiem wyzwalającym, w przeciwnym wypadku pracuje z własną częstotliwością. Ten tryb pracy charakteryzuje się tym, że na ekranie zawsze coś jest: pozioma linia lub przebieg wejściowy (zsynchronizowany).

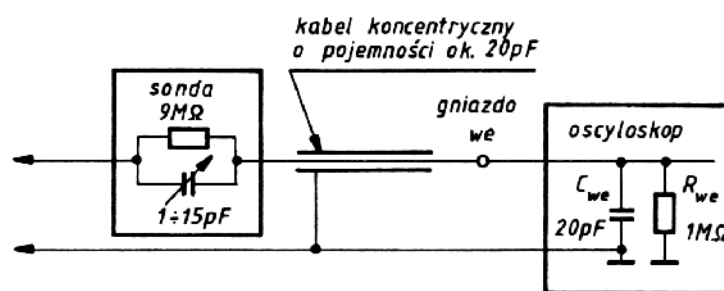
nizowany lub nie). Dlatego wygodnie jest go używać do pomiarów stałoprądowych (poziomów napięć stałych).

- Praca wyzwalana (NORMAL, NORM). W tym trybie pracy generator podstawy czasu pracuje tylko wtedy, gdy jest wyzwalany, a dokładniej: wygenerowanie każdego cyklu podstawy czasu wymaga oddzielnego impulsu wyzwalającego. Ten tryb pracy charakteryzuje się tym, że przy braku wyzwalania ekran jest ciemny. Wygodnie jest go używać do obserwacji impulsów o małej powtarzalności – brak ciągłej świecącej linii zwiększa możliwość rozróżniania sygnału.
- Praca jednokrotna (SNGL SWP, SINGLE). W tym trybie pracy sygnał podstawy generowany jest tylko raz. Następne wyzwolenie generatora wymaga ręcznego skasowania układu. W tym celu umieszczony jest w pobliżu przełącznika przycisk (PUSH) oraz lampka sygnalizacyjna (READY, RDY). Naciśnięcie przycisku kasuje układy wyzwalania, tzn. jest on gotowy do kolejnego jednorazowego wyzwolenia. Ten stan jest sygnalizowany świeceniem lampki READY. Jednokrotny tryb pracy jest stosowany do wykrywania rzadkich zdarzeń lub oglądania pierwszego z serii chaotycznych (nieokresowych) impulsów – kolejne są niewyświetlane.

Niestety, mimo tych udogodnień, oglądanie rzadkich i jednocześnie krótkich impulsów jest przy użyciu zwykłego analogowego oscyloskopu niemożliwe. W takich przypadkach stosuje się oscylloskopy z lampą pamiętającą lub (obecnie częściej) oscylloskopy z pamięcią cyfrową.

2.4. Sonda pomiarowa

Przy dokonywaniu pomiarów sygnałów ze źródeł o rezystancji wejściowej porównywalnej z rezystancją wejściową oscyloskopu lub sygnałów wielkiej częstotliwości, błąd pomiaru może być znaczny. Zastosowanie odpowiedniej sondy pomiarowej pozwala zwiększyć rezystancję wejściową 10, 100, a nawet 1000 razy (i odpowiednio zmniejszyć pojemność wejściową). Schemat zastępczy wejścia oscyloskopu z dołączoną sondą bierną RC10× poznano na rys. 8.



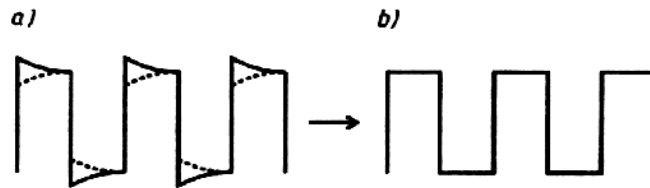
Rys. 8. Schemat zastępczy wejścia oscyloskopu z sondą pomiarową

Impedancja sondy połączona szeregowo z impedancją wejściową oscyloskopu (wraz z impedancją kabla koncentrycznego) tworzą dzielnik napięcia. Zastosowanie sondy 10× powoduje dziesięciokrotne stłumienie sygnału na wejściu oscyloskopu. Wyznaczone na podstawie oscyloskopu wartości napięć, wynikające z aktualnych nastaw współczynnika odchyłania pionowego (V/div), należy więc pomnożyć przez 10.

Współczynnik podziału napięcia przez dzielnik impedancyjny utworzony przez sondę i wejście oscyloskopu nie może zależeć od częstotliwości. W układzie jak na rys. 8, dla małych częstotliwości (również dla składowych stałych) kondensatory można potraktować jako rozwarcie. Współczynnik podziału napięcia wynika wyłącznie z wartości rezystancji rezystorów.

Ze wzrostem częstotliwości maleje impedancja kondensatorów. Dla odpowiednio dużych wartości częstotliwości o współczynniku podziału napięcia decyduje dzielnik pojemnościowy. Najprostszym rozwiązaniem zapewniającym niezależność współczynnika podziału napięcia od częstotliwości jest zastosowanie regulowanej pojemności sondy.

Dostrajanie pojemności sondy do pojemności wejściowej oscyloskopu, nazywane kompensacją pojemności sondy, najłatwiej wykonać obserwując sygnał prostokątny. Oscylogramy nieprawidłowe przedstawione są na rys. 9a. Na rysunku 9b pokazano oscylogram uzyskany po prawidłowym skalibrowaniu sondy.



Rys. 9. Oscylogramy sygnału prostokątnego uzyskane przy zastosowaniu:
a) sondy nie skalibrowanej, b) sondy prawidłowo skalibrowanej

Kompensację sondy należy przeprowadzić po każdorazowej zmianie współpracującego z nią oscyloskopu. Specjalnie w tym celu większość oscyloskopów wyposażonych jest w generator sygnału prostokątnego. Wystarczy podłączyć sondę do wejścia tego generatora, oznaczonego na płycie czołowej CAL 1V, i obserwując (odpowiednio powiększony) oscylogram w razie potrzeby dokonać regulacji (przy użyciu niewielkiego wkrętaka).

2.5. Oscyloskop Hung Chang HC 5502

Poniżej opisane zostały elementy regulacyjne, gniazda i wskaźniki popularnego oscyloskopu HC 5502. Typ ten nie został wybrany przypadkowo. Jest to obecnie najpopularniejszy oscyloskop dwukanałowy powszechnie stosowany w szkolnictwie i serwisach, a także wśród elektroników – amatorów. Jak łatwo zauważyć, analizując poniższy opis, znajdziemy w tym konkretnym modelu wszystkie opisane wcześniej elementy.

I. PŁYTA CZOŁOWA (rys. 10)

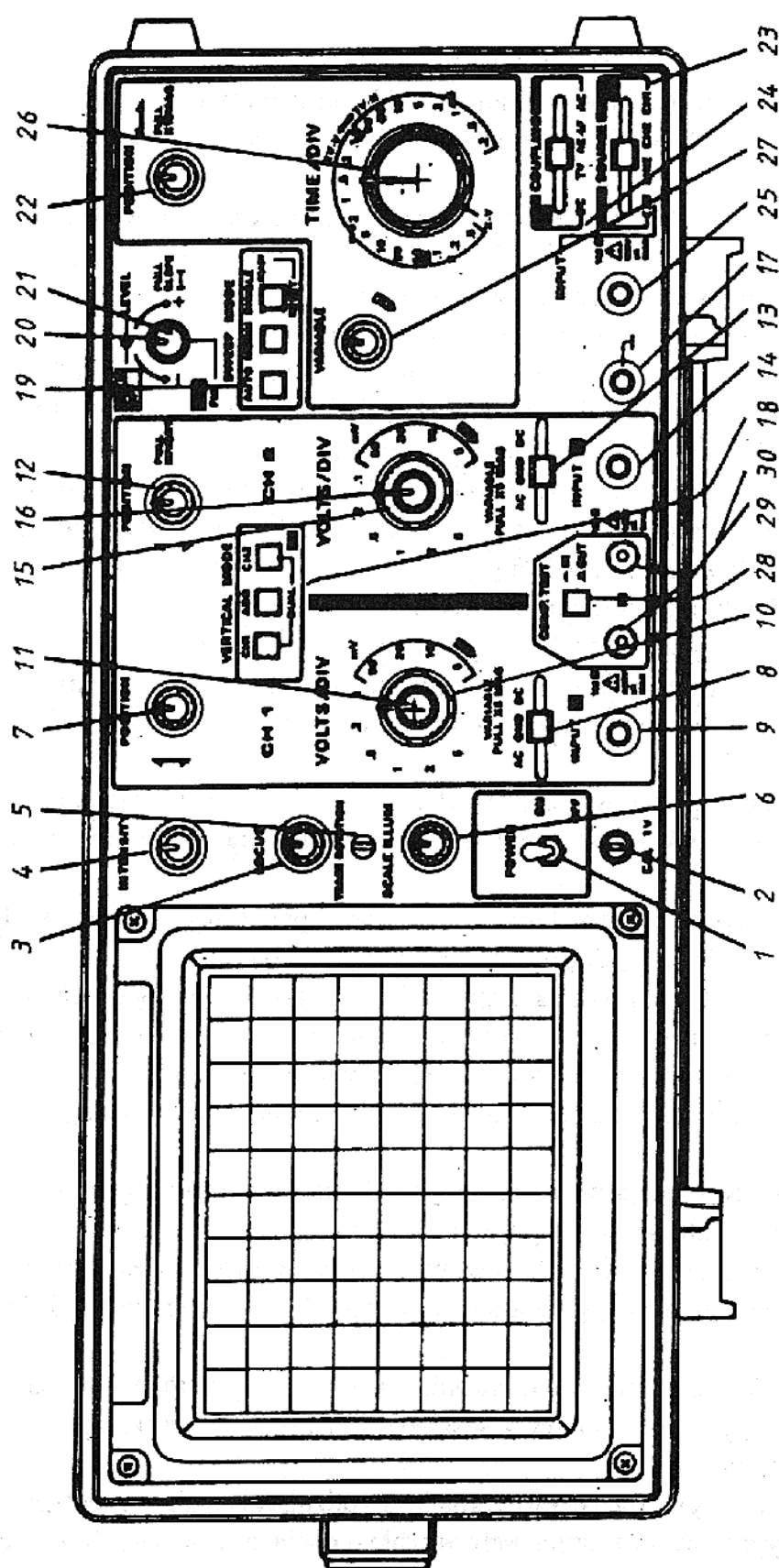
- 1 POWER - Włącznik sieciowy: ON - włączony, OFF - wyłączony.
- 2 CAL 1 V - Wyjście sygnału prostokątnego 1 V_{p-p} służącego do korekcji pojemności wejściowej sondy.
- 3 FOCUS - Regulacja ostrości
- 4 INTENSITY - Regulacja jasności
- 5 TRACE ROTATION - Ustawianie (za pomocą małego wkrętaka) linii rysowanej na ekranie przez generator podstawy czasu równoległe do linii poziomych skali ekranu. Regulacja taka może okazać się konieczna po przestawieniu oscyloskopu w inne miejsce.
- 6 SCALE ILLUM - Regulacja oświetlenia skali ekranu.
- 7 POSITION - Przesuwanie na ekranie w kierunku pionowym obrazu sygnału w kanale 1.
- 8 AC-GND-DC - Przełącznik rodzaju sprzężenia sygnału wejściowego doprowadzonego do kanału 1 ze wzmacniaczem toru odchyłania pionowego. AC: Sprzężenie pojemnościowe - poprzez kondensator. Składowa stała sygnału wejściowego jest tłumiona. GND: Wejście wzmacniacza toru odchyłania pionowego jest dołączone do masy, co umożliwia ustawienie na ekranie zerowego poziomu odniesienia (za pomocą 7). DC: Sprzężenia galwaniczne - obserwacja sygnału ze składową stałą.

- 9 CH1 INPUT & X - Gniazdo wejściowe kanału 1 lub w trybie pracy X-Y gniazdo wejściowe toru X (odchylania poziomego).
- 10 VOLTS/DIV - Skokowa regulacja czułości wzmocnienia toru odchylania pionowego we kanale 1. Pokrętło VAR musi być w skrajnej prawej pozycji CAL, aby czułość odchylania pionowego była równa wartości ustawionej za pomocą przełącznika skokowego
- 11 VARIABLE, PULL X5 MAG - Płynna regulacja czułości odchylania pionowego w kanale 1. Wyciągnięcie pokrętła powoduje pięciokrotne zwiększenie wzmocnienia (czułości).
- 12 POSITION PULL INVERT - Przesuwanie na ekranie w kierunku pionowym obrazu sygnału w kanale 2. Wyciągnięcie pokrętła powoduje zmianę biegunowości obrazu sygnału w kanale 2 (ujemne wzmocnienie).
- 13 AC-GND-DC - To samo co 8 dla kanału 2.
- 14 CH INPUT & Y - Gniazdo wejściowe kanału 2 lub w trybie pracy X-Y gniazdo wejściowe toru Y (odchylania pionowego)
- 15 VOLTS/DIV - To samo co 10 dla kanału 2.
- 16 VARIABLE, PULL X5 MAG - To samo co 11 dla kanału 2.
- 17 Gniazdo uziemiające, umożliwia połączenie masy układu testowanego z masą oscyloskopu.
- 18 VERTICAL MODE - Wybór kanału (poprzez wciśnięcie odpowiedniego przycisku)
CH1: Na ekranie pojawia się obraz sygnału w kanale 1. CH2: Na ekranie pojawia się obraz sygnału w kanale 2.
ADD: Na ekranie jest wyświetlana algebraiczna suma sygnałów doprowadzonych do wejść kanałów 1 i 2. Wciśnięcie ADD i wyciągnięcie pokrętła INVERT 12 powoduje wyświetlenie różnicy sygnałów.
DUAL: Wciśnięcie obu przycisków CH1 i CH2 powoduje pracę dwukanałową. Dla czułości generatora podstawy czasu od 0,5 s/dz do 1 ms/dz podstawa czasu jest siekana (CHOP) z częstotliwością ok. 250 kHz, a od 0,5 ms/dz do 0,2 μ s/dz podstawa czasu działa naprzemiennie (ALT).
- 19 SWEEP MODE - Wybór rodzaju wyzwalania podstawy czasu. AUTO: Samobieżna podstawa czasu (działa nawet przy braku sygnału wyzwalającego). Poziom wyzwalania zmienia się tylko przy zmianie pozycji pokrętła LEVEL.
NORM: Wyzwalana podstawa czasu. Podstawa czasu jest wyzwalana tylko wtedy, gdy sygnał wejściowy osiągnie poziom napięcia ustawiony pokrętłem LEVEL.
SINGLE: Jednorazowe wyzwolenie generatora podstawy czasu. Wskaźnik READY pozostaje zapalony, dopóki pomiar nie jest zakończony.
- 20 HOLD OFF - Regulacja odstępu czasu między zakończeniem przebiegu podstawy czasu a momentem, w którym wyzwolenie może nastąpić ponownie. W skrajnym lewym położeniu pokrętła (ustawienie typowe dla większości pomiarów) linia widoczna na ekranie jest najjaśniejsza, tzn. odstęp jest najmniejszy.
- 21 TRIG LEVEL - Regulacja poziomu wyzwalania (poziomu napięcia sygnału wyzwalającego, przy którym następuje wyzwalanie).
- 22 POSITION, PULL X10 MAG - Ustawianie pozycji obrazu na ekranie w poziomie. Wyciągnięcie pokrętła powoduje dziesięciokrotne rozciągnięcie obrazu w poziomie.
- 23 SOURCE - Przełącznik źródła synchronizacji (źródła sygnału wyzwalającego). Dla CH1 i CH2 sygnał wyzwalający jest wytwarzany z sygnału doprowadzonego do odpowiedniego kanału.
LINE: Wyzwalanie sygnałem sieciowym. Ten rodzaj wyzwalania jest przydatny do obserwacji sygnałów pozostających w zależnościach czasowych z częstotliwością źródła zasilania (sieci energetycznej).
EXT: Sygnał wyzwalający doprowadzony ze źródła zewnętrznego.

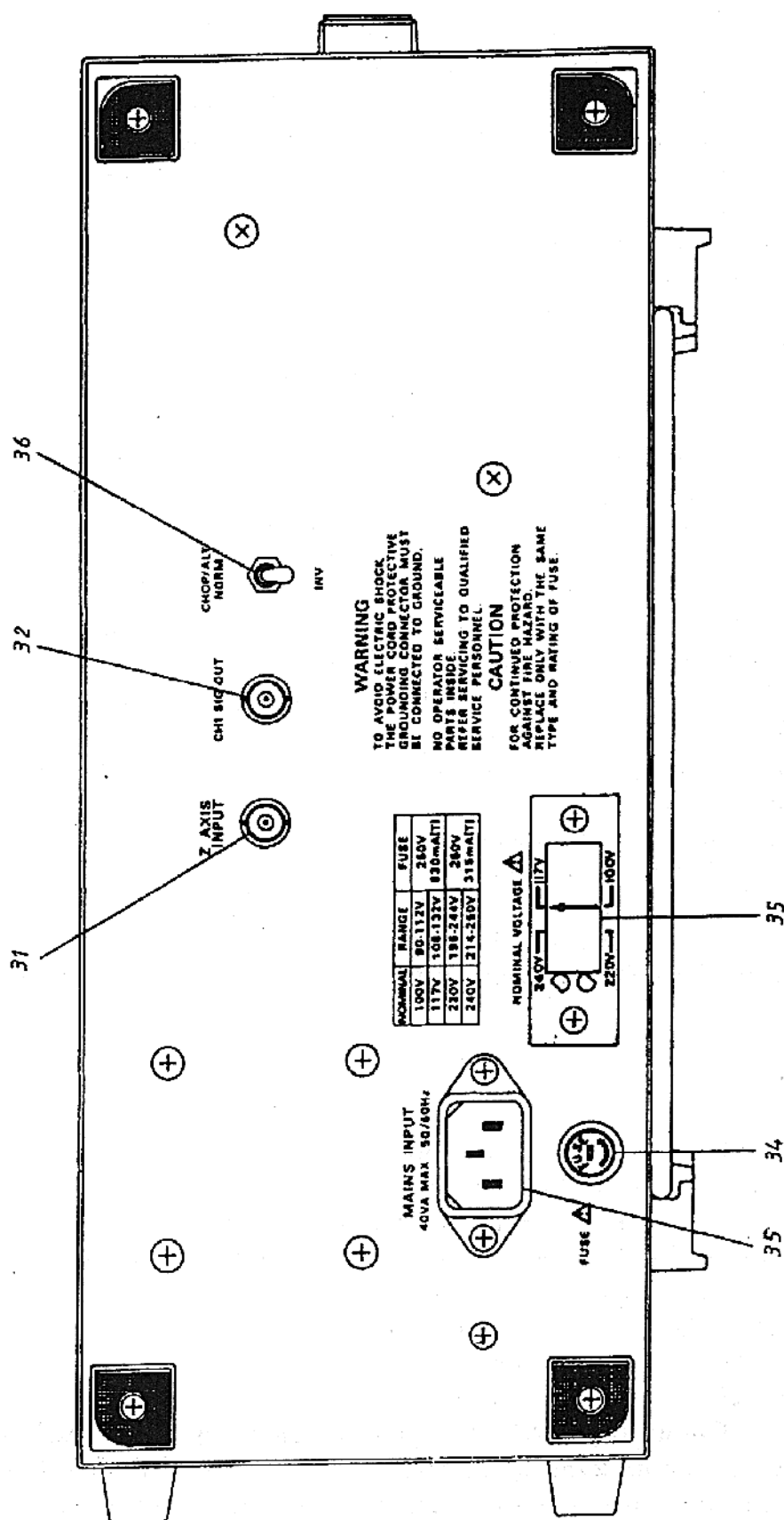
- 24 COUPLING - Przełącznik rodzaju synchronizacji (wybór sposobu sprzężenia źródła sygnału wyzwalającego z układem wyzwalania).
DC: Sprzężenie galwaniczne. Nie ma ograniczenia zakresu częstotliwości sygnału wyzwalającego od dołu, co umożliwia synchronizację sygnałami o małej częstotliwości. Ten rodzaj sprzężenia może być używany do wyzwalania większością sygnałów.
AC: Sprzężenie pojemnościowe. Składowe sygnału wyzwalającego o częstotliwości poniżej 10 Hz są tłumione. Sprzężenie używane do wyzwalania sygnałem nałożonym na składową wolnozmienną.
AC-LF: Sprzężenie pojemnościowe. Składowe o częstotliwości powyżej 50 kHz są tłumione. Ten rodzaj sprzężenia może być użyty do wyeliminowania z sygnału wyzwalającego zakłóceń radiowych lub szumu o wysokiej częstotliwości.
TV: Synchronizacja sygnałami TV i wideo. Przełącznikiem TIME/DIV (26) ustawia się wyzwalanie impulsami synchronizacji poziomej (TV-H) lub impulsami synchronizacji pionowej (TV-V) sygnału wizji.
- 25 EXT INPUT - Gniazdo wejściowe zewnętrznego sygnału wyzwalającego.
- 26 TIME/DIV - Przełącznik częstotliwości generatora podstawy czasu. Wybór jednej z 20 skalibrowanych czułości podstawy czasu. W skrajnym lewym położeniu przełączenie w tryb pracy X-Y. W trybie X-Y sygnał doprowadzony do kanału 1 (CH1 lub X) steruje wzmacniaczem odchylenia poziomego.
- 27 VARIABLE - Płynna regulacja częstotliwości generatora podstawy czasu. W skrajnym prawym położeniu CAL częstotliwość generatora podstawy czasu jest zgodna z wartością ustawioną za pomocą przełącznika skokowego TIME/DIV. Dla najwolniejszego ustawienia przełącznika TIME/DIV (0,5 s/dz) ustawienie pokrętła w skrajnym lewym położeniu umożliwia rozszerzenie czułości podstawy czasu do ok. 1,25 s/dz.
- 28 COMP TEST - Przełącznik badania podzespołów.
- 29 COMP TEST IN - Badanie podzespołów - przewody doprowadzające.
- 30 COMP TEST IN - Badanie podzespołów - przewody doprowadzające.

II. PLYTA TYLNA (rys. 11)

- 31 Z AXIS INPUT - Gniazdo wejściowe dodatkowej, zewnętrznej modulacji sygnałów w osi Z. Umożliwia modulację jasności sygnałów zarówno przy pracy z wewnętrznym generatorem podstawy czasu, jak i w trybie X-Y.
- 32 CH1 SIG OUT - Gniazdo wyjściowe sygnału będącego znormalizowaną reprezentacją sygnału doprowadzonego do kanału 1.
- 33 NOMINAL VOLTAGE - Wybór napięcia zasilającego.
- 34 FUSE - Gniazdo bezpiecznika sieciowego.
- 35 MAINS INPUT - Gniazdo kabla sieciowego.
- 36 CHOP/ALT - w pozycji NORM wybór rodzaju pracy CHOP/ALT (siekana/naprzemienna) jest uzależniony od położenia przełącznika TIME/DIV, a w pozycji INV praca wyłącznie ALT (naprzemienna), niezależnie od pozycji przełącznika TIME/DIV.



Rys. 10. Płyta czołowa oscyloskopu HC 5502



Rys. 11. Płyta tylna oscyloskopu HC 5502

3. Oscyloskopy z pamięcią cyfrową

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.

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. 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.

3.1. 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 wartościową większość sprzedawanych oscyloskopów na świecie.

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 zaznaczyć, że liczba sprzedanych OPC rośnie obecnie jeszcze szybciej, 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 multimetru.

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

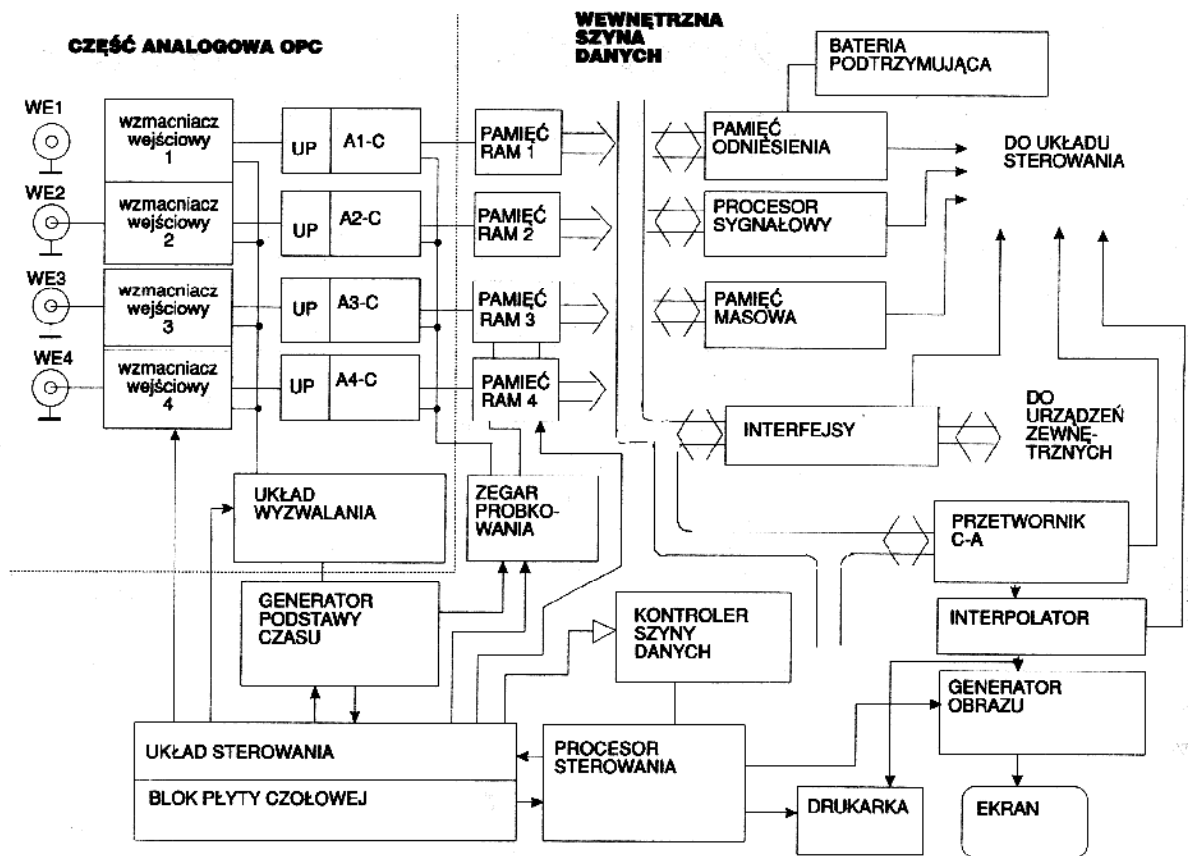
tości ekranu. Jej OPC mają rozbudowane możliwości CPS. Jakość i niezawodność wyrobów firmy Gould są bardzo wysokie.

Wszystkie przedstawione powyżej firmy utrzymują charakterystyczne wzornictwo swoich OPC, dzięki czemu są one łatwo rozpoznawalne i odróżniające się od innych.

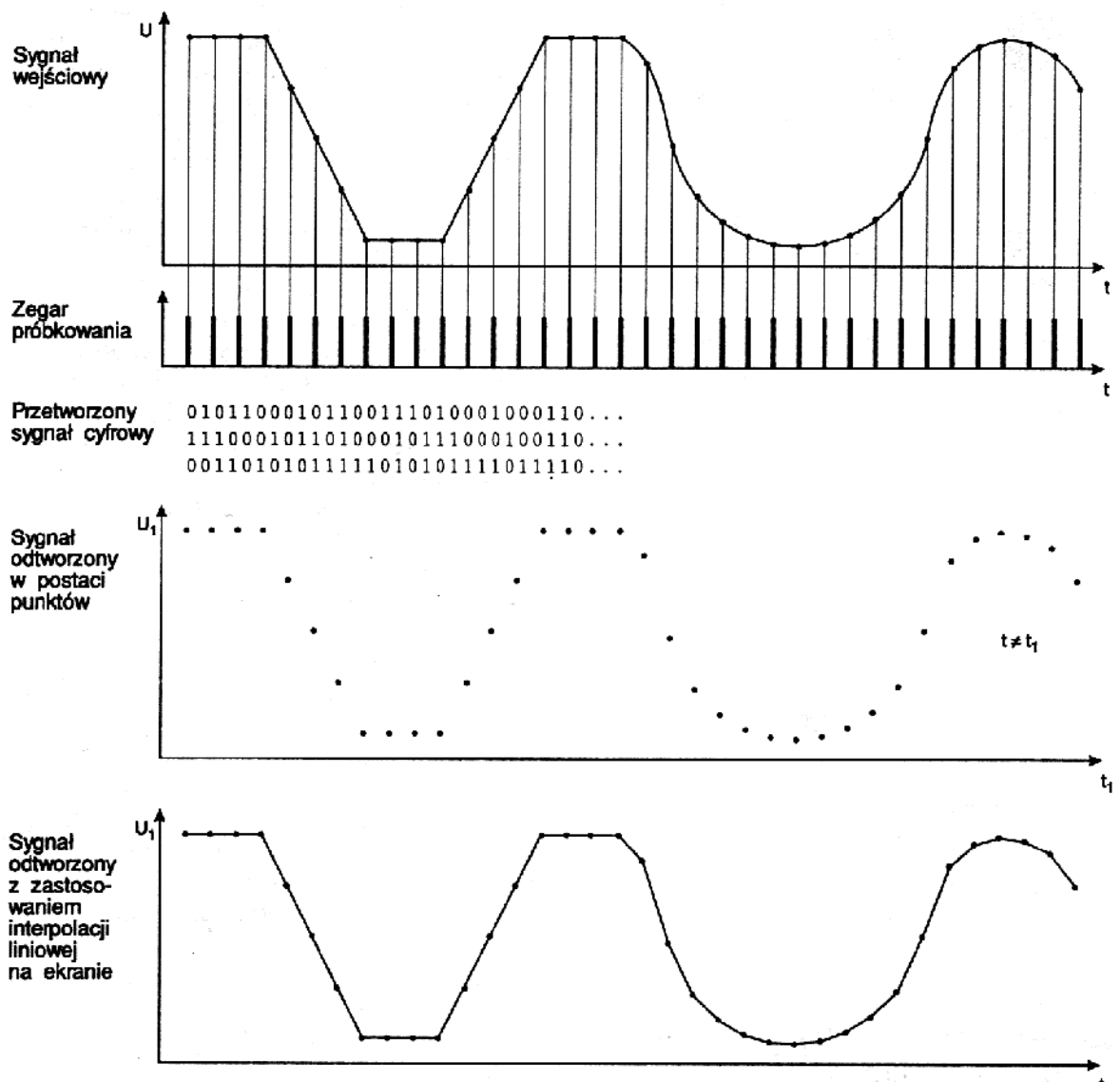
3.2. Zasada działania OPC

Pełne zrozumienie zasady działania OPC wymaga wiedzy o działaniu oscyloskopu analogowego, którą Czytelnik wyniósł ze szkoły lub może uzupełnić z literatury. Podstawowa różnica, 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 twierdzeniu 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.

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 (rys. 12). Częstotliwość próbkowania jest zadawana przez zegar próbkowania (rys. 13) 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.



Rys. 12. Schemat blokowy współczesnego OPC



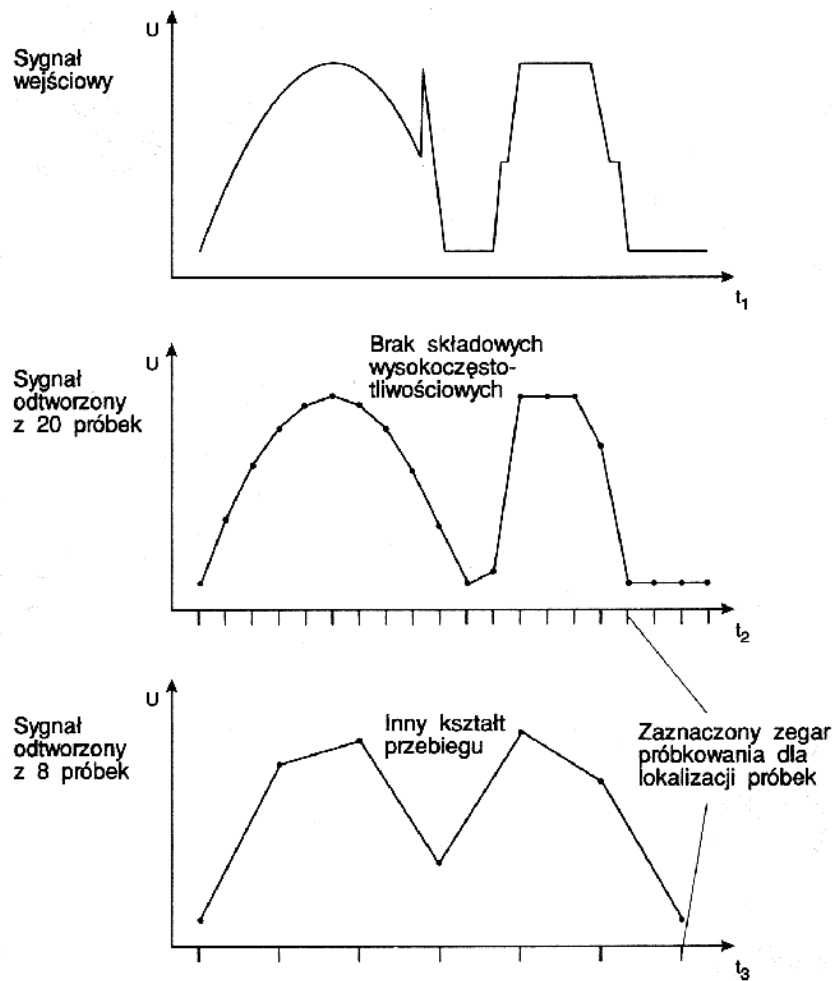
Rys. 13. Zasada działania OPC: próbkowanie, zapamiętywanie i odtwarzanie przebiegu w OPC

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 (rys. 12). Sygnał z interpolatora jest podawany do generatora obrazu, który zapewnia odpowiednie wysterylowanie lampy kineskopowej. Ze względu na to, że zapamiętane, prze-

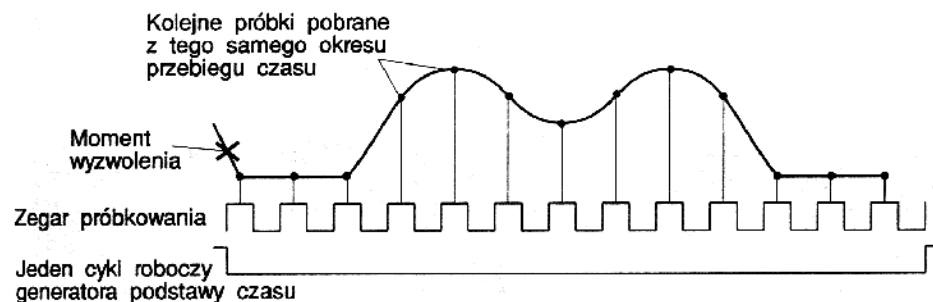
tworzane i przedstawiane na ekranie w OPC przebiegi mają niską częstotliwość, powszechnie stosuje się lampy kineskopowe (często kolorowe) ze względu na duże wymiary ekranu i niższą cenę niż lampy oscyloskopowe. Te ostatnie stosuje się w oscyloskopach analogowo-cyfrowych, gdyż muszą one w nich zobrazowywać 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 odniesienia 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. 12 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 (rys. 14), zaś w skrajnym przypadku uzyska się tylko linię 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 błędu przeistaczania; błąd może powstać nawet przy badaniu sygnałów o niskiej częstotliwości, gdy w wyniku ustawionego zbyt niskiego (wolnego) współczynnika czasu/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 czasu/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 osiągnięcia możliwie wysokich częstotliwości próbkowania, koniecznych do zapamiętywania szybkich przebiegów jednorazowych.



Rys. 14. Powstawanie błędów przeistaczania wraz ze zmniejszaniem się liczby próbek pobieranych z przebiegu wejściowego. Dolny przebieg jest fałszywym (przeistoczonym) obrazem sygnału wejściowego

Opisany powyżej sposób próbkowania nazywa się próbkowaniem bezpośrednim lub próbkowaniem w czasie rzeczywistym (rys. 15). Polega ono na pobraniu w czasie jednego cyklu roboczego podstawy czasu maksymalnie dużej liczby próbek.

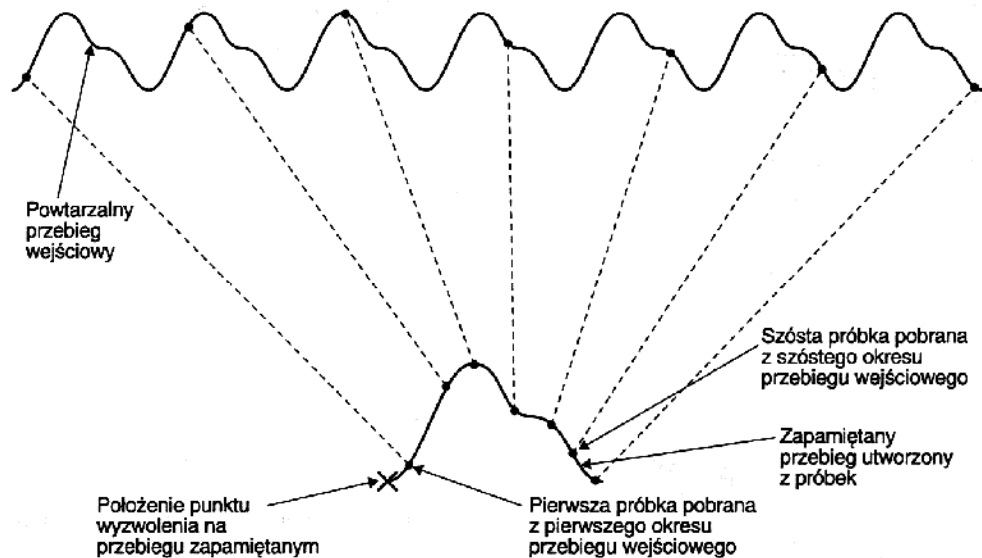


Rys. 15. Próbkowanie w czasie rzeczywistym, gdzie w ciągu jednego cyklu roboczego zostaje pobrany komplet próbek, z których zostanie potem odtworzony przebieg

3.2.1. Próbkowanie sygnału

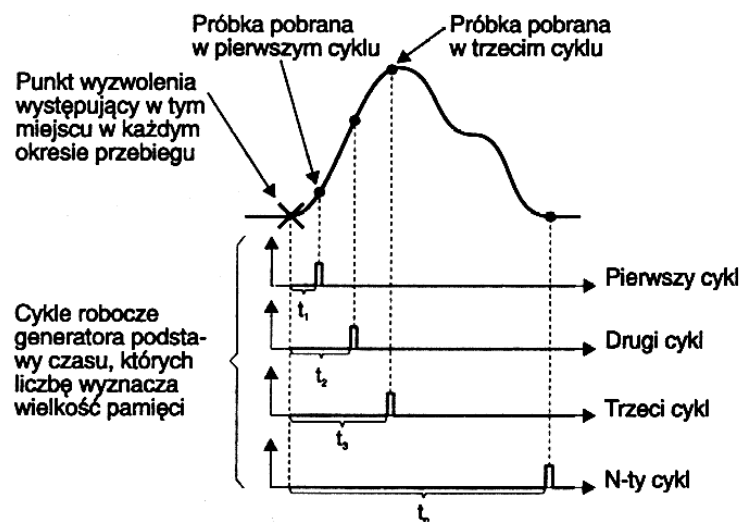
Do próbkowania sygnałów powtarzalnych można stosować sposób znany z oscyloskopów samplingowych, w którym z każdego kolejnego okresu przebiegu wejściowego jest pobierana jedna próbka, a każda kolejna próbka jest przesunięta w czasie w stosunku do miejsca pobrania próbki w poprzednim okresie (rys. 16). Do tego procesu warunkiem koniecznym jest peł-

na powtarzalność sygnału wejściowego i bardzo stabilny układ wyzwalania, gdyż według niego są wyznaczane w kolejnych okresach sygnału miejsca pobierania próbek



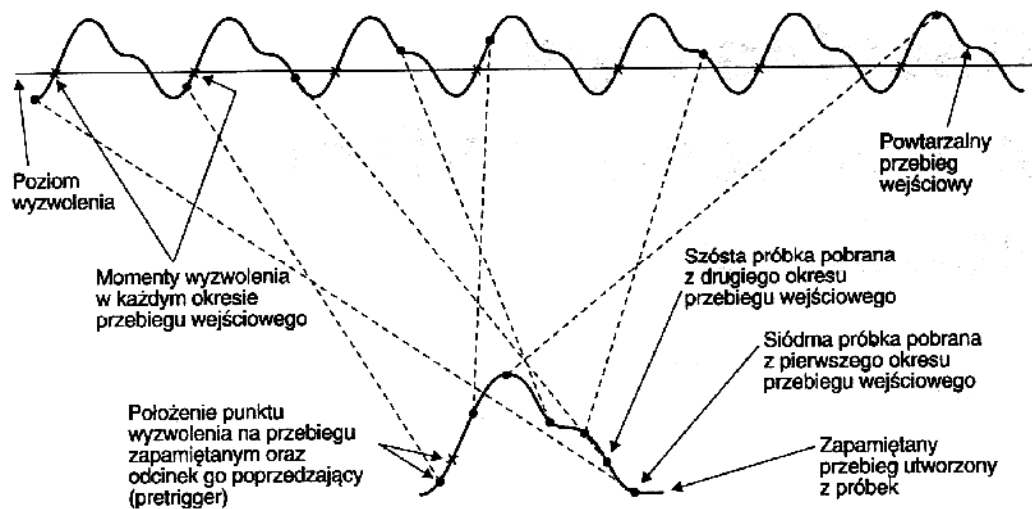
Rys. 16. Proces powstawania zapamiętanego przebiegu przy próbkowaniu sekwencyjnym

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 wyzwolenia (rys. 17). W ten sposób uzyskuje się również zapamiętywanie odcinków przebiegu przed punktem wyzwolenia (ang. *pretrigger*).

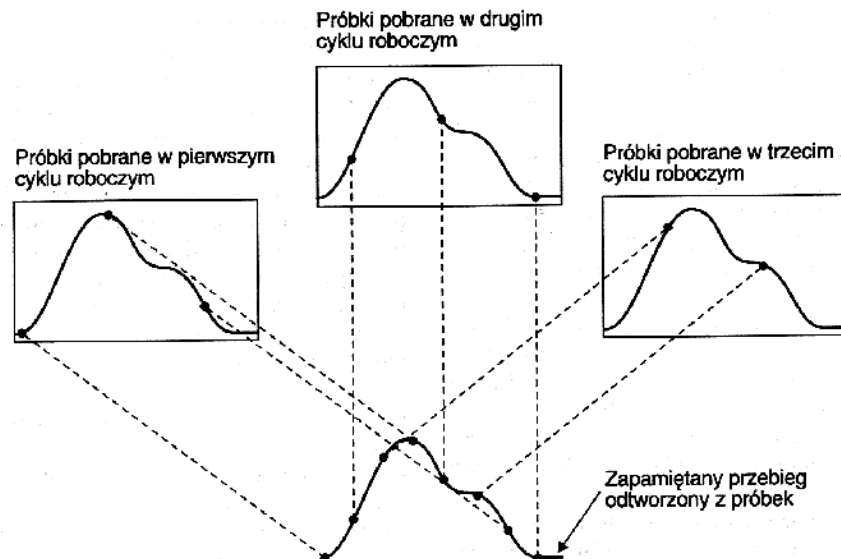


Rys. 17. Wykres czasowy procesu pobierania próbek przy próbkowaniu sekwencyjnym.
Czasy t_1 do t_n są systematycznie zwiększane w każdym cyklu w miarę wzrostu liczby próbek

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 (rys. 18).



Rys. 18. Proces powstawania zapamiętanego przebiegu przy próbkowaniu sekwencyjnym typu przypadkowego



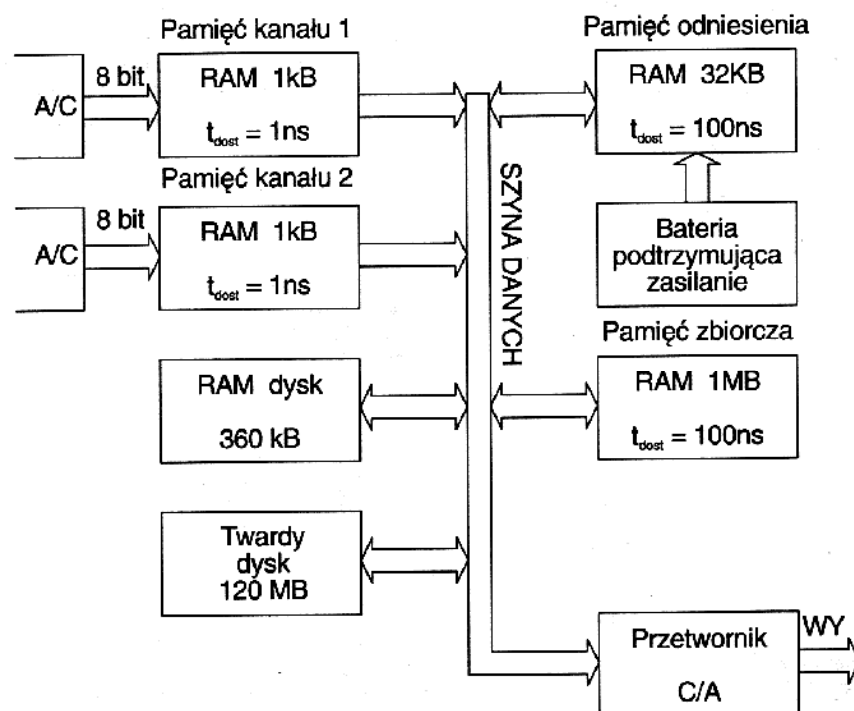
Rys. 19. Proces powstawania zapamiętanego przebiegu przy próbkowaniu sekwencyjnym wielokrotnym typu przypadkowego

Próbkowanie sekwencyjne stosuje się tylko do zapamiętywania powtarzalnych przebiegów o wysokich częstotliwościach, sięgających 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 rozciągu. 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 wyjaśnić, 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).

3.3.2. 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 (rys. 20). Pamięci te mają taką organizację, że „szerokość” bloku pamięci 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.



Rys. 20. Blok pamięci w OPC

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 zapełniałaby się coraz szybciej, przez co pozostałych próbek przebiegu próbkowanego ze stałą wysoką częstotliwością nie można byłoby zapamiętać. 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 0,5 ns lub mniej.

I tak, gdy OPC ma pamięć o długości 10 kilobajtów (kilobajtów, KB) dla wolnych współczynników czasu, to dla szybkich współczynników czasu bezpośrednio dostępne dla zapamię-

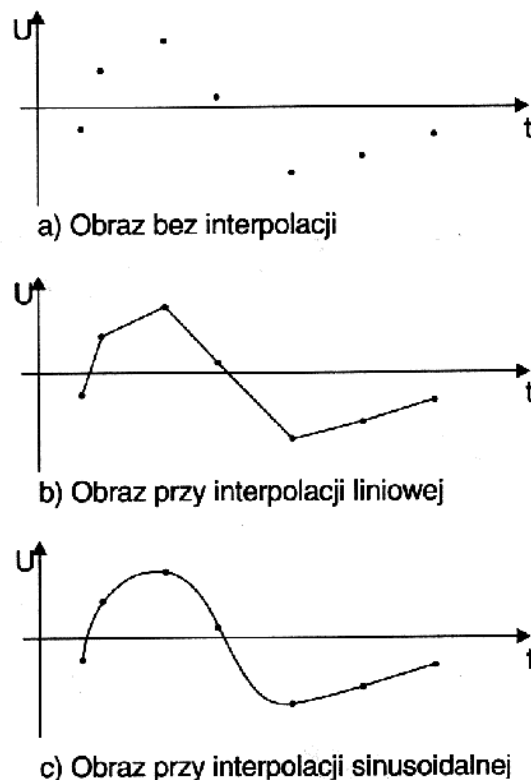
tywanego przebiegu może być tylko 0,5...1 kB. Na ogół firmy nie podają tego parametru w prospektach i trzeba się go doszukiwać, a podawana jest duża pojemność pamięci bez zaznaczenia, że dotyczy to niskich częstotliwości próbkowania.

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 100 MB, w których można zapisywać i przechowywać nawet kilkanaście tysięcy przebiegów.

Powszechnym stało się wyposażenie OPC wyższej klasy w napędy dyskietek 1,4MB lub kart RAM w standardzie PCMCIA. W ten sposób można szybko i wygodnie przenosić zapamiętane przebiegi zapisane w systemie DOS do dalszej analizy w komputerach klasy PC. 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 (rys. 20). 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.

3.2.3. Przetwornik C/A i interpolatory

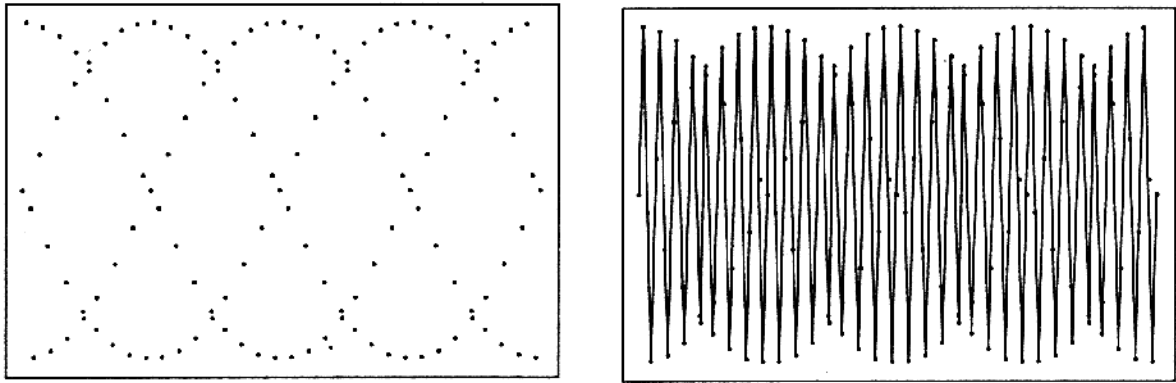
W OPC są stosowane standardowe układy przetworników C/A, przetwarzające przebiegi odczytywane z różnych rodzajów pamięci wewnętrznych ze stałą, niską częstotliwością. Układ interpolatora, dołączony do wyjścia przetwornika C/A, łączy poszczególne odtworzone próbki odcinkami prostej przy interpolacji liniowej lub odcinkami krzywej typu „sinx/x” przy interpolacji sinusoidalnej (rysunki 21a, 21b).



Rys. 21. Rodzaje interpolacji i ich wpływ na obraz przebiegu na ekranie OPC

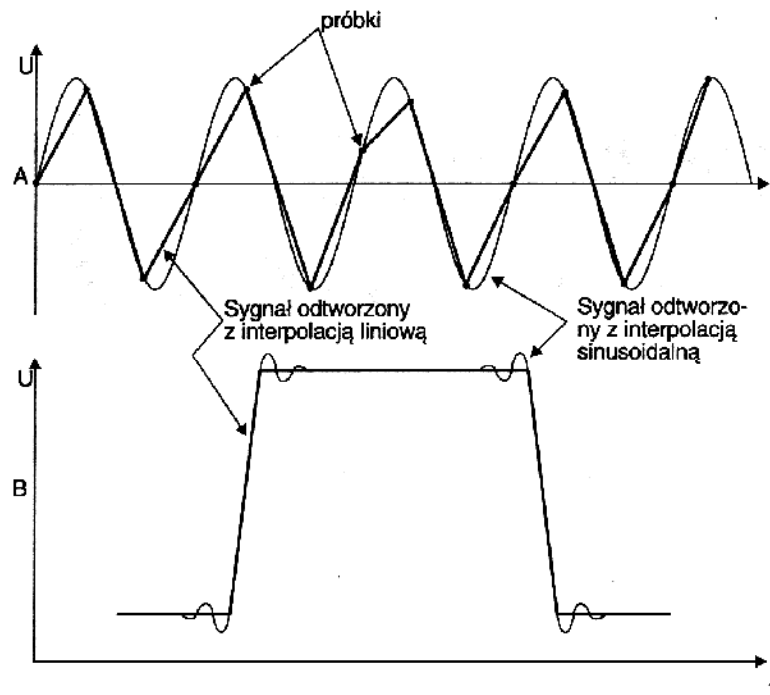
Odczytywanie przebiegu złożonego jedynie z punktów prowadzi do powstawania błędów przetwarzania wynikających z tego, że operator ulega rodzajowi złudzenia optycznego, po-

wstającego przy obserwacji obrazu złożonego z dużej ilości punktów (rys. 22). 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.



Rys. 22. Przeistaczanie percepcyjne dla obrazu przebiegu złożonego z punktów (rysunek lewy) i ten sam przebieg złożony z wektorów łączących poszczególne punkty (rysunek prawy).

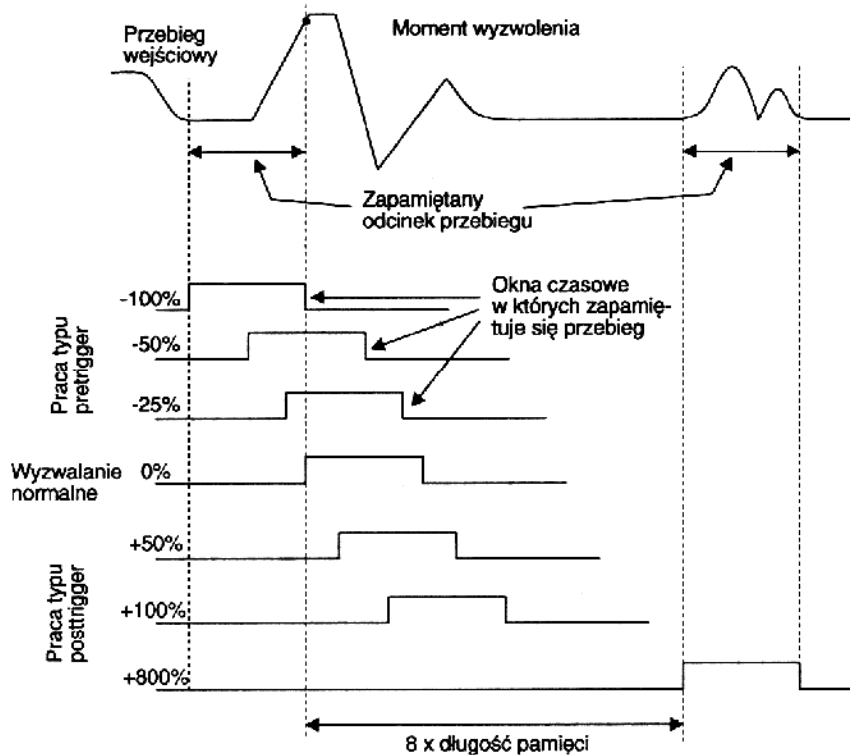
Wadą interpolacji jest to, że interpolację liniową należy stosować do przebiegów o charakterze impulsowym, zaś interpolację sinusoidalną do przebiegów sinusoidalno-podobnych, gdyż w przeciwnym razie w odtworzonym przebiegu pojawiają się składowe, które w rzeczywistości w nim nie występują (rys. 23).



Rys. 23. Niewłaściwe zastosowanie rodzaju interpolacji
A. Zastosowanie interpolacji liniowej do przebiegu sinusoidalno-podobnego
B. Zastosowanie interpolacji sinusoidalnej do przebiegu prostokątnego

3.2.4. Układy wyzwalania w OPC

Układy wyzwalania w OPC są o wiele bardziej rozbudowane niż w oscyloskopie analogowym, chociaż ustawianie większości parametrów odbywa się podobnie i ich wpływ na oglądany przebieg jest taki sam. Dotyczy to poziomu wyzwalania, wyboru polaryzacji, rodzaju sprzężenia.



Rys. 24. Zapamiętywanie przebiegów w różnych momentach czasowych w stosunku do momentu wyzwolenia. Procentowa wartość określa, w jakiej proporcji czasowej w stosunku do momentu wyzwolenia rozpocznie się zapamiętywanie przebiegu

Zadaniem układu wyzwalania jest wybranie i stabilizacja momentu wyzwolenia. Stabilność w OPC jest o wiele ważniejsza niż w oscyloskopie analogowym. Wpływa ona na dokładność pomiarów czasu i napięcia, umożliwia dokonywanie programowanych pomiarów parametrów sygnałów oraz zapewnia wyzwolenie OPC i zapamiętanie przebiegów o nieznanym charakterze i pojawiających się przypadkowo. W OPC moment, w którym nastąpiło wyzwolenie generatora podstawy czasu, nie musi być przedstawiony na ekranie, ponieważ przetwornik A/C w OPC próbkuje zazwyczaj bez przerwy sygnały wejściowe, a do pamięci są zapisywane tylko te fragmenty przebiegu, jakie poprzez układ wyzwolenia, generator podstawy czasu i układ sterowania są wyznaczone do zapamiętania. Sygnały wejściowe mogą być zapamiętywane w dowolnej proporcji przed i po momencie wyzwolenia (rys. 24). Gdy chce się zapamiętać część przebiegu przed momentem wyzwolenia, to należy wybrać moment wyzwolenia zwany przedwyzwalaniem (ang. *pretrigger*). Moment wyzwolenia nie jest momentem rozpoczęcia rejestracji, jest tylko punktem odniesienia. Podobnie, gdy trzeba zarejestrować odcinek przebiegu po momencie wyzwolenia, należy wybrać rodzaj pracy zwany powyzwalaniem (ang. *posttrigger*) lub opóźnieniem (ang. *delay*). Na ekranie OPC punkt wyzwolenia jest zaznaczony literą T lub punktem; dodatkowo, w postaci cyfr, jest podawana procentowa wielkość czasu przedwyzwalania w stosunku do całego ekranu i w jednostkach czasu wielkość wybranego opóźnienia, gdy jest załączony rodzaj pracy z powyzwalaniem.

OPC ma wiele rodzajów wyzwalania. Są to:

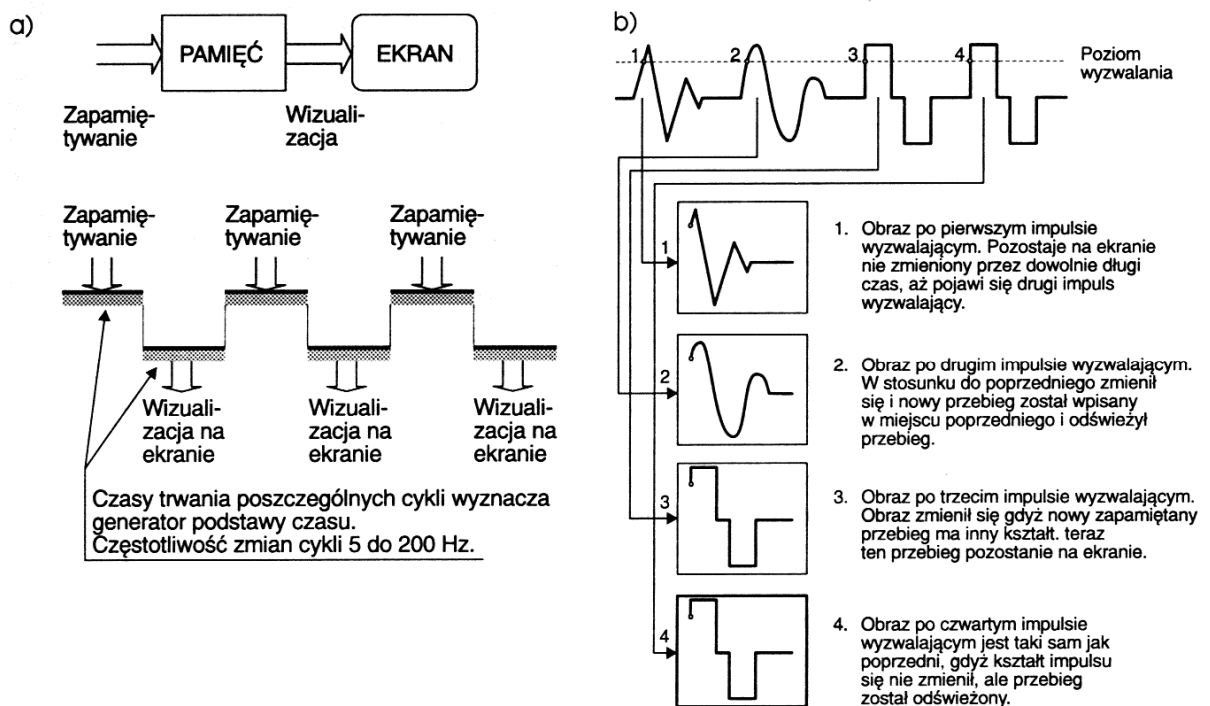
- wyzwalania dwuzbozowe, z regulowanym oknem wyzwalania (ang. *trigger level window bislope trigger*), w którym ustawia się dwa poziomy wyzwalania i odstęp między nimi. Sygnał o dowolnej polaryzacji spowoduje wyzwolenie niezależnie od tego, który poziom zostanie wyzwolony,
- wyzwalanie sygnałem o mniejszej amplitudzie w szeregu impulsów o różnych amplitudach jest szczególnie przydatne w technice impulsowej,
- wyzwalanie impulsami nałożonymi na przebiegi trójfazowe lub zaniki napięcia któreś z faz ma zastosowanie w badaniu urządzeń energetycznych,
- wyzwalanie z oknem histerezy ma zastosowanie przy uzyskiwaniu stabilnego wyzwalania sygnałami obciążonymi szumami,
- wyzwalanie słowem logicznym, utworzonym ze stanów logicznych sygnałów w kilku kanałach. Momentem wyzwolenia jest punkt, gdy w tym samym czasie stany logiczne sygnałów w kilku kanałach osiągną zadane poziomy. Możliwe jest też wyzwalanie funkcją logiczną sumy negacji lub iloczynu stanów logicznych w poszczególnych kanałach.

3.2.5. Rodzaje pracy OPC

Rodzaje pracy w OPC są wyznaczone przez układ sterowania i generator podstawy czasu.

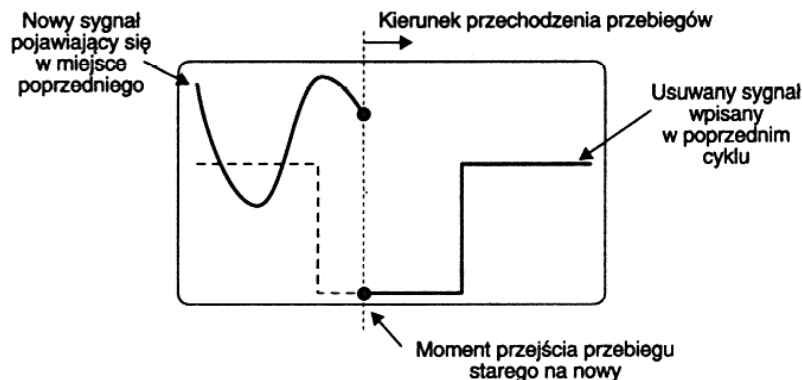
Praca z odświeżaniem przebiegu (ang. *refreshed mode*).

Jest to podstawowy dla OPC rodzaj pracy (rys. 25a). W tym rodzaju pracy na ekranie jest widoczny bez przerwy przebieg wejściowy. Jeżeli przebieg ten zmienia się, na ekranie równocześnie pojawią się również te zmiany (rys. 25b). Obraz ten jest podobny do obrazu w oscyloskopie analogowym, jednak z tą różnicą, że jest on obrazem sygnału już odtworzonego z pamięci a nie bezpośrednim obrazem sygnału wejściowego. Zapamiętanie na stałe przebiegu na ekranie uzyskuje się przez wciśnięcie przycisku opisanego jako „pamiętanie” (ang. *store*).



Rys. 25. Cykle pracy z odnawianiem przebiegu

Przy pracy normalnie wyzwalanej, z chwilą zaprzestania wyzwalania ostatni wyzwalający przebieg pozostaje na stałe na ekranie. Gdy po pewnym czasie pojawi się nowy sygnał wyzwalający i wyzwoi generator podstawy czasu, wówczas to on będzie widoczny na ekranie, na którym został odświeżony przebieg (rys. 26). Przy wyzwalaniu jednorazowym, z chwilą zaistnienia warunków wymaganych dla wyzwolenia podstawy czasu, wykonuje ona tylko jeden cykl roboczy i sygnał, który w tym cyklu został przetworzony, pozostaje na stałe w pamięci. Jest to najczęściej stosowany rodzaj pracy przy zapamiętywaniu pojedynczych impulsów. Zaletą pracy z odświeżaniem jest wytwarzanie nie migającego obrazu przebiegów, bez rozbłysków i rozmyć przebiegu. Praca z odświeżaniem jest stosowana zarówno dla wolnozmennych przebiegów jak i przy dużych szybkościach rozciągów generatora podstawy czasu.

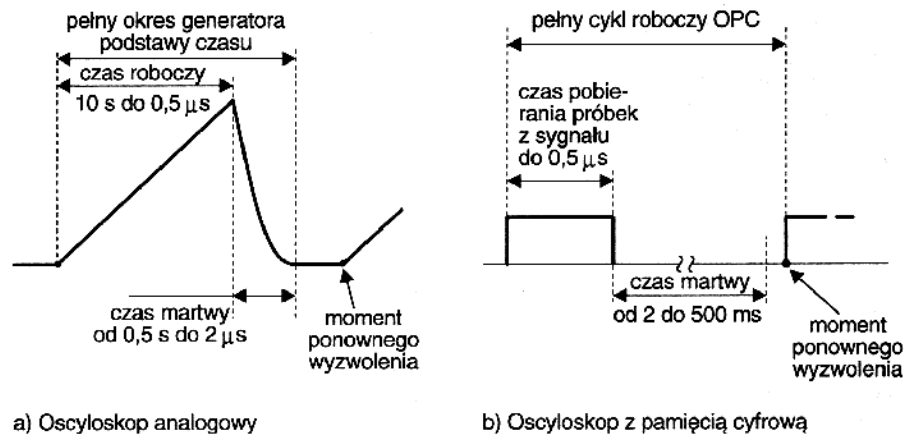


Rys. 26. Moment przechodzenia starego przebiegu w nowy w OPC przy rodzaju pracy z odnawianiem, widoczny wyraźnie przy wolnych rozciągach podstawy czasu, np. 1 s/cm

Praca bieżąca (ang. *roll mode*)

Drugim rodzajem pracy OPC jest praca bieżąca. Ekran oscyloskopu spełnia wtedy rolę obrazu z rejestratora taśmowego z ruchem obrazu (taśmy papieru) od prawej do lewej krawędzi ekranu. Stosuje się go przy wolnych współczynnikach czasu. Charakterystyczną cechą pracy bieżącej jest ciągle przesuwanie się na ekranie przetworzonego i zapamiętanego przebiegu. W tym rodzaju pracy zazwyczaj jest odłączony układ wyzwalania, a obraz na ekranie można zatrzymać ręcznie, jak opisano poprzednio. Czas obserwacji odcinka ruchomego obrazu na ekranie zależy od nastawy współczynnika czasu. Ten rodzaj pracy jest zalecany dla wolnych współczynników czasu (od ułamków sekund/cm do minut/cm).

OPC przy pracy bieżącej ma tę zaletę, że każdy fragment przebiegu wejściowego jest poddany ciągłemu przetwarzaniu A/C i zobrazowaniu na ekranie, stąd żadna jego część nie jest utracona dla pomiaru. Przy pracy z odświeżaniem i przy innych rodzajach pracy, większa część przebiegów wejściowych jest utracona dla pomiaru, gdyż maksymalna częstotliwość dokonywania cykli pomiarowych i zmiany obrazu na ekranie w OPC nie przekracza 200Hz. Praktycznie OPC jest w stanie w tych rodzajach pracy zarejestrować tylko 0,001...5% długości przebiegu (rys. 27). Pozostała część przebiegu jest utracona dla pomiaru. Jest to jedna z najpoważniejszych wad OPC. Ostatnio, jesienią 1994 roku, zanotowano znaczny postęp w tej dziedzinie. Firma Tektronix wypuściła nowy oscyloskop z serii TDS700, który dokonuje pomiarów i przedstawia je na ekranie z częstotliwością 440kHz [7]. W tym oscyloskopie można zarejestrować do 50% długości mierzonych przebiegów przy pracy z odświeżaniem.



Rys. 27. Porównanie czasów martwych w oscyloskopach analogowym i cyfrowym

Praca z obwiednią (ang. *envelope mode*)

Przy pracy z obwiednią OPC próbkuje przebieg wejściowy z maksymalną szybkością. Jednak do pamięci są wpisywane tylko wielkości minimalne i maksymalne przetworzonych sygnałów. OPC kumuluje je, po czym odtwarza z nich na ekranie przebieg wejściowy. Ten rodzaj pracy umożliwia wyłapywanie wąskich impulsów nałożonych na przebiegi wolnozmiennne, ponadto umożliwia zarejestrowanie przypadkowych zmian amplitudy lub częstotliwości sygnałów i zmiany głębokości modulacji sygnałów.

Podobny do wyżej opisanego jest rodzaj pracy z zapamiętywaniem minimów i maksimów. Stosowany jest głównie do zapamiętywania przebiegów jednorazowych. Do pamięci są wpisywane wielkości minimalne i maksymalne próbek, ale bez ich akumulacji i z nich odtwarza się przebieg. Obie metody są oparte o odpowiednie algorytmy obróbki sygnałów.

Praca z wyłapywaniem przebiegów szpilkowych (ang. *glitch detection*)

Ten rodzaj pracy polega na analogowym zapamiętywaniu w specjalizowanych układach analogowych, działających podobnie jak szybkie woltomierze impulsowe, krótkotrwałych impulsów jednorazowych, a następnie na przetworzeniu je przez przetwornik A/C i zapamiętaniu ich w pamięci RAM. Układy te umożliwiają wyłapywanie i zapamiętywanie przypadkowych zakłóceń impulsowych o szerokości do 2 ns.

Praca z uśrednianiem (ang. *averaging mode*).

Ten rodzaj pracy polega na kolejnym zapamiętywaniu i przedstawianiu na ekranie przebiegu, który jest średnią arytmetyczną pewnej ustalonej liczby przebiegów wejściowych. Ten rodzaj pracy jest stosowany w przypadku zapamiętywania przebiegów obciążonych szumami, a przez uśrednianie zostają one z niego usunięte. Dzięki temu wzrasta również rozdzielczość napięciowa OPC.

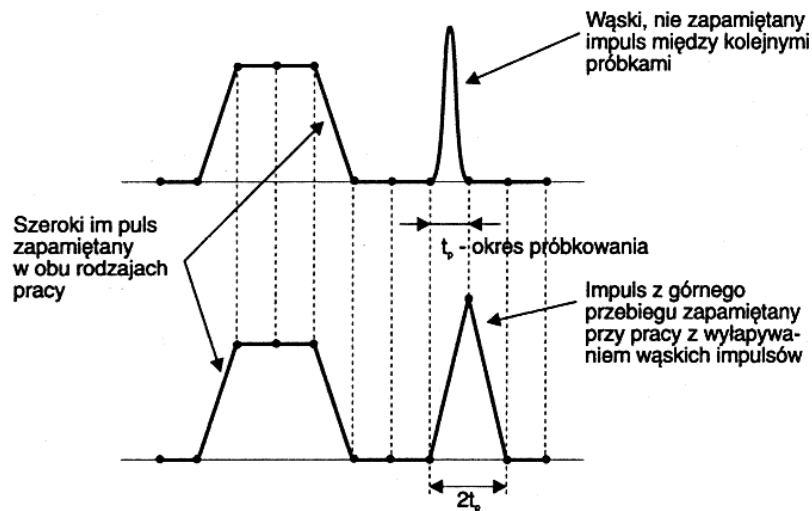
Praca z odchyłką (ang. *save on delta*)

Ten rodzaj pracy polega na zapamiętywaniu jedynie tych przebiegów, których amplituda wykracza poza ustalone przez użytkownika granice, zaznaczone w postaci pola wyznaczającego dopuszczalny zakres zmian kształtu sygnału. Przebiegi o amplitudach wykraczających poza ten obszar są automatycznie zapamiętywane; mogą to być czynności dokonywane automatycznie i połączone z wydrukiem takiego przebiegu.

Praca z wyłapywaniem wąskich impulsów (ang. *glitch detection*)

Ten rodzaj pracy polega na zapamiętywaniu wąskich, przypadkowo pojawiających się impulsów, i to zarówno pojawiających się w ciągu impulsów, jak i nałożonych na przebiegi

wolniejsze. Wykrywane i zapamiętywane są impulsy pojawiające się między punktami pobierania próbek w sygnale (rys. 28a) i dlatego nie mogą być przetworzone przez przetwornik A/C i zapamiętane. W układach wyłapujących takie wąskie impulsy stosuje się układy szybkich woltomierzy szczytowych lub szybko przełączanych pojemnościowych układów pamiętających. W rezultacie ich działania zapamiętanie impulsu jest dokonywane z zachowaniem jego amplitudy, ale jego minimalna szerokość jest równa okresowi czasu między dwoma kolejnymi próbkami (rys. 28a).



Rys. 28. Praca z wyłapywaniem impulsów

Wyłapywanie impulsów jest jednym z najbardziej użytecznych rodzajów pracy, zwłaszcza przy badaniu układów cyfrowych. W połączeniu z pracą układu wyzwalającego z czuwaniem i wyzwalaniem dwuzboczowym, OPC w tym rodzaju pracy może zapamiętywać przypadkowe impulsy, niemożliwe do zarejestrowania w innych rodzajach pracy. Stosując rodzaj pracy z wyłapywaniem impulsów do zapamiętywania sygnałów ciągłych, uzyskuje się szersze pasmo zapamiętywanych przebiegów (rys. 28b).

Praca z czuwaniem (ang. *babysitting mode*)

OPC przy pracy z czuwaniem pracuje na zasadzie permanentnego kontrolera, który bez przerwy bada sygnał wejściowy. OPC zapamiętuje na stałe ten odcinek przebiegu, który jest w tym momencie na ekranie, gdy pojawią się warunki zgodne z zadanymi przez układ wyzwalania. Pracę z czuwaniem stosuje się wraz z pracą z odświeżaniem lub z pracą biegnącą. Przy pracy z czuwaniem OPC może automatycznie po zapamiętaniu przebiegu powracać do stanu początkowego i oczekiwać na następny impuls wyzwalający.

3.2.6. Zapamiętywanie przebiegów

W OPC zapamiętywanie przebiegów może być dokonywane ręcznie. Przez przyciśnięcie w dowolnym momencie przycisku „zapamiętanie” obraz na ekranie zostanie zapamiętany aż do ponownego wciśnięcia przycisku. Do zapamiętywania przebiegów jednorazowych OPC przygotowuje się przez ustawienie odpowiedniego poziomu wyzwalania przy pracy normalnie wyzwalanej oraz przejście do pracy z jednorazowym rozciąganiem. Wtedy może być zapamiętany tylko jeden przebieg.

W niektórych OPC jest możliwość wielokrotnego zapisu przebiegów jednorazowych. Po zapamiętaniu pierwszego przebiegu, oscyloskop automatycznie powraca do stanu gotowości do ponownego wyzwolenia, a zapamiętany przebieg zostaje przesłany z bloku szybkiej pa-

mięci do pamięci masowej, by zwolnić miejsce dla następnego przebiegu. Wszystkie uprzednio zapamiętane przebiegi w OPC mogą być przesuwane w obu osiach na ekranie i może być zmieniana ich amplituda. Możliwe jest równoczesne oglądanie przebiegów wejściowych aktualnie dołączonych do wejścia i przebiegów zapamiętanych uprzednio, nasuwanie jednego przebiegu na drugi i rozciąganie w osi czasu.

3.3. 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 nastaw 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 dedykowanych im polom odczytowym, z opisami wybieranych sekwencji programowych.

3.3.1. Ekran oscyloskopu

Ekran spełnia ważną rolę organu bezpośrednio komunikującego się z użytkownikiem, który oczekuje uzyskania wyników pomiarów w postaci wykresu kształtu przebiegu, nanieśionego na skalę pomiarową. Dodatkowo OPC przedstawia na ekranie wartość nastaw współczynników odchyłania, 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. Stąd wynika, 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 odchyłaniem 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 rozdzielczości VGA (640x480 punktów) lub lepszej i takie ciekłokrystaliczne kolorowe pole odczytowe zastosowała firma Gould w oscyloskopach z serii DATASYS. Firma Tektronix w swoich oscyloskopach z rodziny TDS54 stosuje kineskop monochromatyczny 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. 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

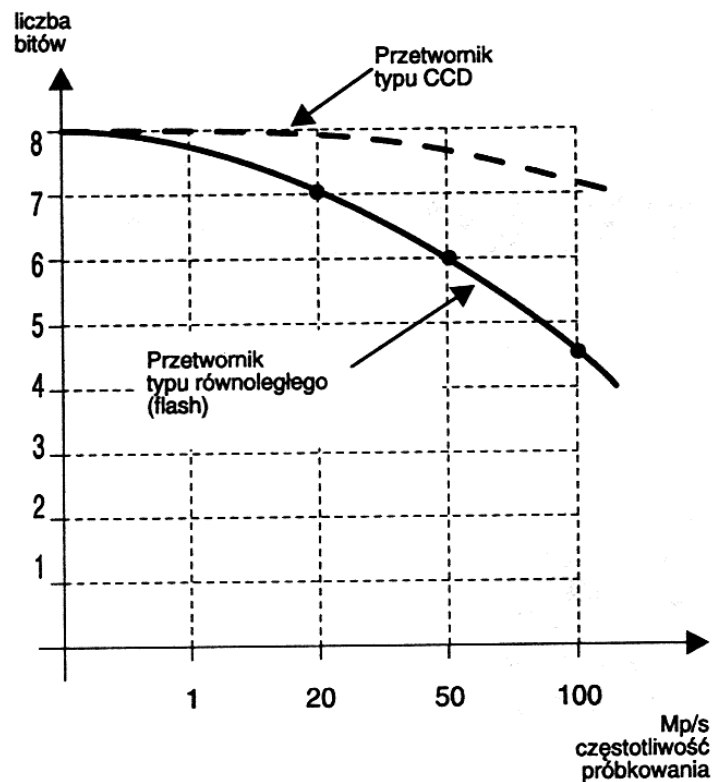
w jednym z najbardziej rozbudowanych oscyloskopów z rodziny 11000 wprowadziła ekran dotykowy. W tym oscyloskopie użytkownik, dotykając odpowiednio opisanych i podświetlonych pól na ekranie, dokonuje pełnej obsługi przyrządu, co pozwoliło ograniczyć ilość zewnętrznych elementów regulacyjnych. Niektóre 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).

3.4. 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 odtworzonych 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 50 MHz 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 czasu/cm, gdyż wtedy zmienia się właśnie częstotliwość próbkowania. Dla najszybszych współczynników czasu/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 sygnałów 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 i tak jest określony dla interpolacji liniowej. Należy pamiętać, że w odróżnieniu od czasu narastania w oscyloskopach analogowych, 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 ustawionego 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. Rozdzielczość przetworników A/C maleje wraz ze wzrostem częstotliwości próbkowania. Zmiany te są zależne od rodzaju przetwornika A/C (rys. 29). 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.



Rys. 29. Dokładność przetwarzania w zależności od typu przetwornika

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 oscylloskopów analogowych i wynosi, w najlepszym przypadku od 1 do 3%. Dokładność pomiarów napięcia zależy też bardzo silnie od ilości pobranych próbek i od wierności odtworzonych z nich przebiegów oraz zastosowanej interpolacji i powstających przy tym błędów przeistaczania (rys. 14). 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) obarczony jest z definicji błędem 29%. Stąd widać jak wiele czynników należy brać pod uwagę przy ocenie dokładności pomiaru amplitudy przy pomocy OPC. Na pewną poprawę dokładności pomiarów ma wpływ stosowanie ekspansji amplitudy zapamiętanych 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.

3.4.1. 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

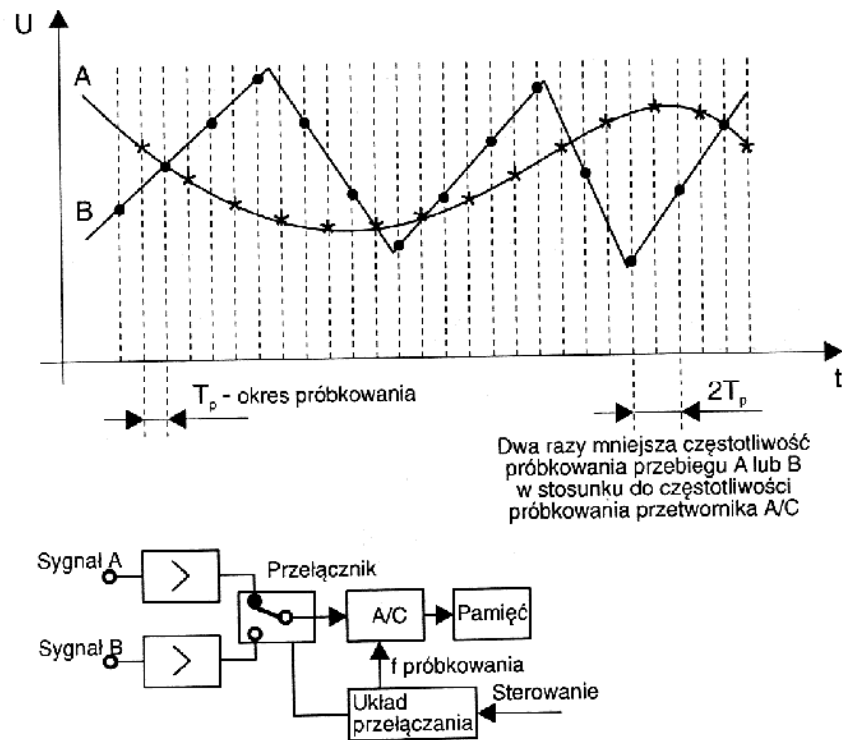
czasu między kolejnymi próbkami. Przez powszechne stosowanie ekspansji cyfrowej i interpolacji wypełniającej odcinki między próbkami w OPC uzyskuje się znacznie większą dokładność pomiarów czasu niż w oscyloskopie analogowym i wynosi ona od 0,1 do 0,001%, a rozdzielczość rzędu pikosekund. Również przy 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%. 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. 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.

3.4.2. Parametry obwodów wejściowych OPC

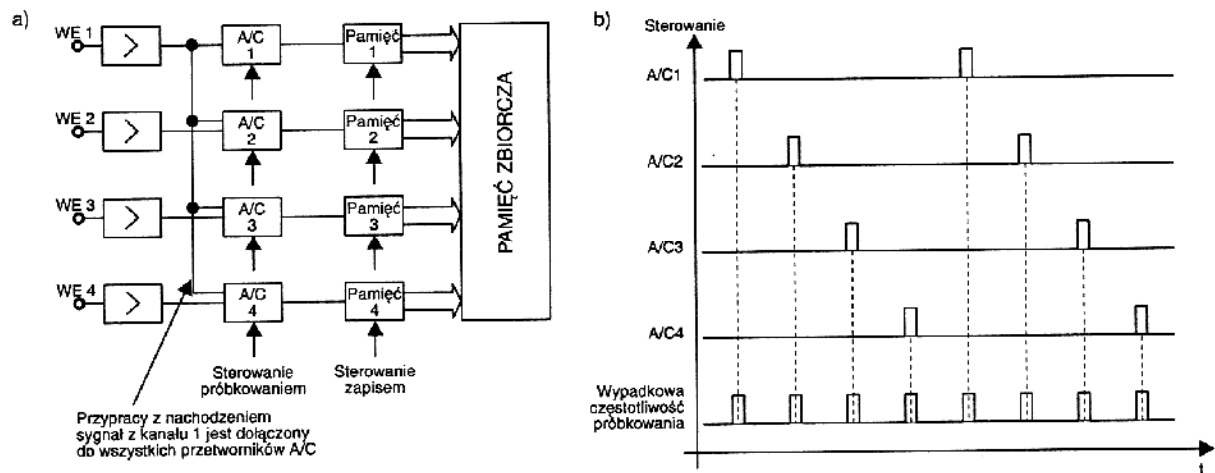
Ponieważ obwody wejściowe w OPC są analogowe więc mają takie same parametry jak oscyloskopy analogowe: impedancja wejściowa wynosi 1 M Ω lub 50 Ω , zakresy współczynników czasu są zmieniane w sekwencji 1- 2 - 5 od pojedynczych mV do V. Szerokość pasma analogowego obwodów wejściowych zazwyczaj jest o wiele większa niż użyteczne pasmo zapamiętywanych częstotliwości i im jest ono większe tym mniejsze są wnoszone przez nie zniekształcenia amplitudowe i fazowe, ważne zwłaszcza przy zapamiętywaniu przebiegów w wielu kanałach równocześnie.

3.4.3. Układy próbkująco-pamiętające i przetworniki A/C

We współczesnych OPC zazwyczaj na jeden kanał wejściowy przypada jeden przetwornik A/C. W niektórych oscyloskopach przetwornik jest poprzedzony układem próbkująco-pamiętającym. Układy te zarówno spotyka się w oscyloskopach mających niskie jak i bardzo wysokie częstotliwości próbkowania, przy czym ich działanie jest różne. W OPC o wysokiej rozdzielczości 12 bitów z próbkowaniem sekwencyjnym istnienie układu próbkującego jest konieczne i wymagana jest duża dokładność działania tego układu. W tanich oscyloskopach analogowo-cyfrowych na dwa kanały przypada jeden przetwornik A/C (rys. 30). Powoduje to niekorzystne ograniczenie użytecznej szerokości zapamiętywanych obu przebiegów, gdyż przetwornik na przemian próbkuje, raz przebieg z pierwszego kanału a raz z drugiego. Stąd rzeczywista częstotliwość próbkowania przypadająca na każdy kanał jest dwa razy mniejsza niż w przypadku gdy próbkowany jest tylko przebieg z jednego kanału. We współczesnych OPC stosuje się próbkowanie z nakładaniem (ang. *interleaving*). Jest ono stosowane przypadku gdy w oscyloskopie czterokanałowym chcemy zapamiętywać przebiegi tylko z jednego kanału (rys. 31). Wtedy przebieg jest kolejno próbkowany przez poszczególne przetworniki A/C i dzięki temu możliwe jest uzyskanie czterokrotnie wyższych maksymalnych częstotliwości próbkowania, a więc i pasma zapamiętywanych przebiegów, niż wynosi maksymalna częstotliwość próbkowania każdego z przetworników A/C z osobna. Przebieg jest po zapamiętaniu składany z próbek z poszczególnych szybkich pamięci typu RAM.



Rys. 30. Próbkowanie dwóch sygnałów przy pomocy jednego przetwornika A/C

Rys. 31. Zasada próbkowania z nachodzeniem
a) schemat blokowy układu, b) wykresy czasowe

3.5. Procesory w OPC

Do sterowania poszczególnymi rodzajami pracy OPC stosuje się standardowe procesory 16 lub 32 bitowe, w zależności od stopnia rozbudowy przyrządu. Natomiast do dokonywania szybkich operacji matematycznych, pomiarów parametrów zapamiętywanych przebiegów i cyfrowego przetwarzania sygnałów, które to operacje dokonywane są w czasie rzędu ułamka sekundy i przedstawiane na ekranie w czasie rzeczywistym, niezauważalnym dla obsługującego, wymagane jest stosowanie specjalizowanych, rozbudowanych układów procesorowych, o dużych możliwościach i szybkościach dokonywania obliczeń. Niektóre firmy stosują gotowe procesory a inne stosują własne układy wieloprocessorowe, np. firma Tektronix procesor typu Tri Star. Dzięki temu OPC mogą dokonywać szybkiej transformaty Fouriera, uśrednia-

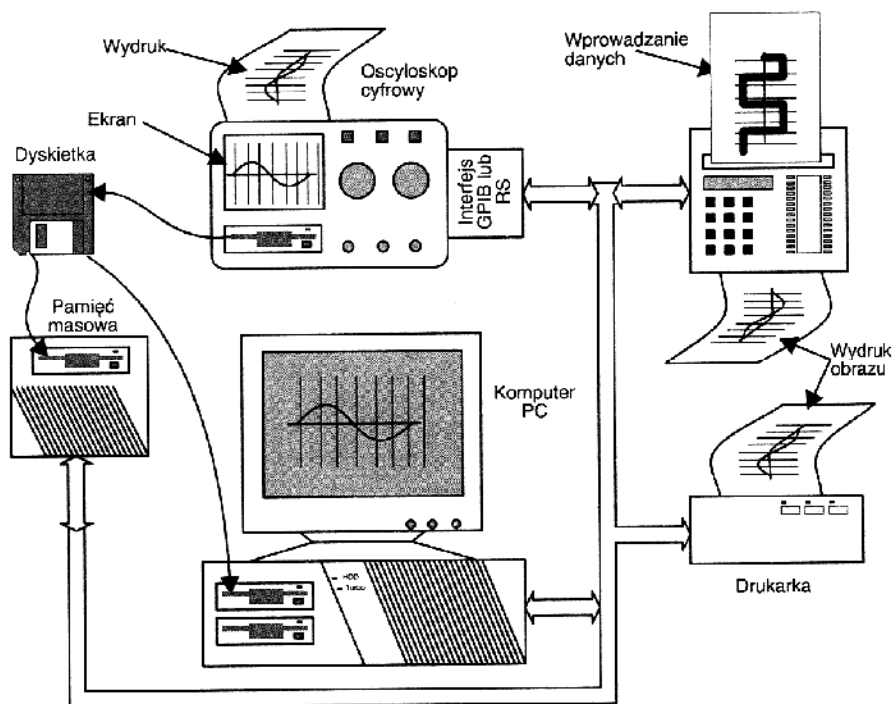
nia, histogramów i trendów przebiegów, filtracji cyfrowej i innych zaawansowanych procedur cyfrowej obróbki sygnałów.

3.6. Programowalność pracy OPC

Rodzaje pracy tak złożonych przyrządów, jakimi są OPC jak i procedury pomiarowe mogą być zadawane poprzez programowanie. Poszczególne procedury programowe mogą zawierać nawet kilkaset kroków. W oscyloskopie można zapamiętywać zarówno nastawy parametrów jak i poszczególne programy, by potem szybko je przywoływać do dokonania pomiarów. Mając do dyspozycji taką bibliotekę procedur i programów zawartą w samym przyrządzie, jego obsługa staje się łatwa, mimo bardzo skomplikowanej budowy przyrządu. Również włączanie i przygotowanie OPC do pracy nie wymaga żmudnego jak w oscyloskopie analogowym lokalizowania linii przebiegu, gdyż może to być dokonywane automatycznie. Służy do tego przycisk automatycznego ustawienia, oznaczony zazwyczaj jako „*auto set up*”, którego przyciśnięcie powoduje, że oscyloskop samoczynnie tak dobiera swoje wartości nastaw, na ekranie przedstawiany jest przebieg o amplitudzie mieszczącej się w wielkości pola odczytowego ekranu i widoczne jest jego dwa lub trzy okresy, a warunki wyzwalania ustawiają się na najbardziej optymalnych nastawach. Jest to jeden z najbardziej przyjaznych dla użytkownika rodzajów pracy OPC.

3.7. Interfejsy

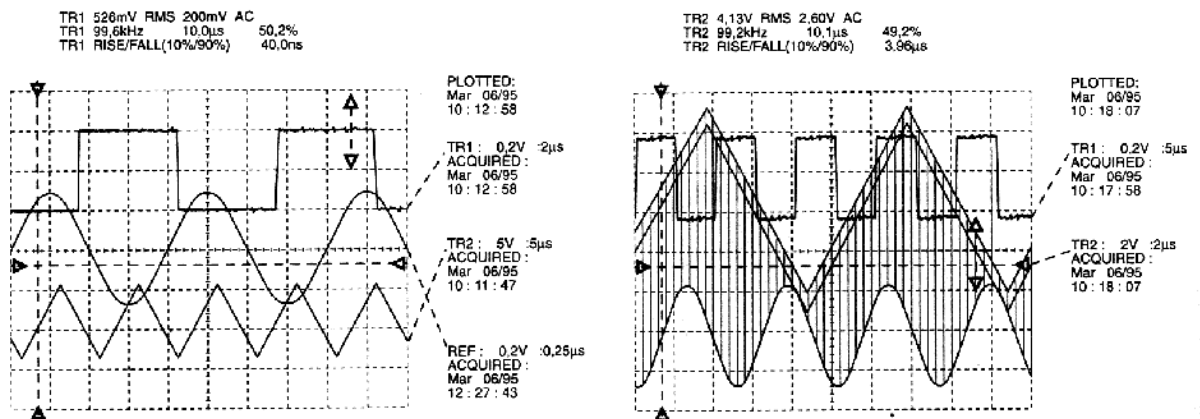
Ponieważ wszystkie nastawy parametrów oraz zapamiętywanie i przechowywanie przebiegów ustala się poprzez układy cyfrowe, stąd istnieje możliwość zarówno sterowania pracą OPC jak i przesyłania zapamiętywanych przebiegów poprzez standardowe magistrale interfejsowe szeregowo typu RS lub równoległe typu IEEE488. Umożliwiany jest w ten standardowy sposób współpraca OPC z urządzeniami zewnętrznymi takimi jak komputery PC, drukarki przebiegów, pamięci masowe czy faksy do przesyłania zapamiętanych przebiegów poprzez linie telekomunikacyjne (rys. 32).



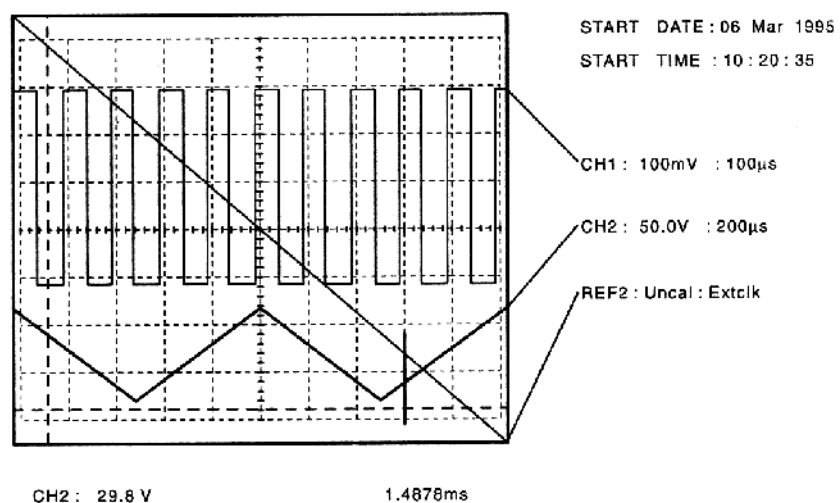
Rys. 32. Sposoby komunikowania się OPC z urządzeniami zewnętrznymi i użytkownikiem

3.8. Drukarki

Ponieważ ilość informacji przedstawiona na ekranie OPC jest znana, użytkownik w celach dokumentacyjnych może przerysować zawartość ekranu, co jest bardzo czasochłonne i istnieje możliwość dokonania pomyłek. Może zrobić zdjęcie ekranu co jest drogie i pracochłonne lub przesłać zawartość obrazu do zewnętrznej drukarki poprzez interfejs co jest czasochłonne i wymaga posiadania interfejsu, komputera i drukarki. Obecnie spotyka się coraz częściej w OPC wewnętrzne drukarki termiczne lub kolorowe plotery. Prekursorem w tej dziedzinie jest firma Gould, która wyposaża wszystkie swoje oscyloskopy w wewnętrzne drukarki. Wydruki zawierają całość informacji przedstawionych na ekranie, datę, czas i dodatkowe komentarze (rys. 33). Firma Gould oferuje również oscyloskopy typu rejestrującego (ang. *recording oscilloscope*), które drukują w sposób ciągły zmieniające się sygnały i opisy z ekranu. Na taśmie papieru są drukowane przez szybką drukarkę termiczną równocześnie z przebiegami znaczniki czasowe opisujące oś czasu. Długość wydruków może sięgać 10 m uzyskiwanych w ciągu jednej minuty. Stworzenie tak dokładnej i pełnej dokumentacji w tak krótkim czasie w inny sposób jest praktycznie niemożliwe.



Rys. 33. Wydruki z wewnętrznego plotera w OPC. U góry wydruku znajdują się wyniki cyfrowe pomiarów napięcia, częstotliwości i czasu narastania, z boku data i czas oraz opisy nastaw parametrów dla każdego z przebiegów



Rys. 34. Wydruk z drukarki termicznej w OPC z dodatkowymi opisami nastaw parametrów, a u dołu z wynikami pomiarów kursorami widocznymi jako pionowe i poziome linie przerywane i krótki pionowy odcinek na dolnym przebiegu

4. Zalety i wady oscyloskopów cyfrowych i analogowych

W poniższej tabeli przedstawiono zalety i wady oscyloskopów cyfrowych w stosunku do przyrządów analogowych. Należy pamiętać, że niektóre wady takie jak ciągle niska częstotliwość zapamiętywanych przebiegów jednorazowych oraz częstotliwość powtarzania pomiarów w OPC są szybko poprawione w miarę rozwoju techniki cyfrowej i należy je oceniać relatywnie do stawianych zadań pomiarowych.

Oscyloskop analogowy	Oscyloskop cyfrowy
ZALETY	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Dokładność pomiaru napięcia $\leq 1,5\%$ 2. Dokładność pomiaru czasu $\leq 1\%$ 3. Stała szerokość pasma 4. Stała rozdzielczość w osi X i w osi Y 5. Możliwość modulacji jasności przebiegów 6. Adaptowanie jasności obrazu w zależności od repetycji przebiegów (dla lampy z powielaczem mikrokanalikowym) 7. Niższa cena niż OPC o podobnych parametrach 8. Duża częstotliwość powtarzania pomiarów i zmian treści obrazu 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dokładność pomiaru napięcia $\leq 1\%$ 2. Dokładność pomiaru czasu $\leq 0,001\%$ (z ekspansją cyfrową) 3. Stała programowana jasność obrazu 4. Zdolność do ciągłego zapamiętywania przebiegów 5. Możliwość zapamiętywania przebiegów jednorazowych i przypadkowych 6. Możliwość rejestracji przebiegów o bardzo długim czasie trwania 7. Możliwość porównywania na ekranie aktualnych przebiegów z zapamiętanym uprzednio i automatyczne ich selekcjonowanie 8. Łatwość przetwarzania zapamiętanych przebiegów i przesyłanie do urządzeń peryferyjnych 9. Możliwość rejestracji często powtarzających się przebiegów na tle rzadziej powtarzalnych 10. Możliwość kontrolowanej rejestracji części przebiegów przed momentem wyzwolenia
WADY	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ograniczone bądź żadne możliwości oglądania przebiegu przed momentem wyzwolenia 2. Jasność przebiegów na ekranie zależna od częstotliwości przebiegów 3. Możliwość przetwarzania sygnałów ograniczona tylko do przebiegów powtarzalnych 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ograniczona częstotliwość próbkowania 2. Duże i bardzo duże błędy przeistaczania uniemożliwiające pomiary 3. Mała częstotliwość powtarzania cyklu pomiarowego i treści obrazu, duża część przebiegu nie może być zapamiętana 4. Konieczność zwracania uwagi na częstotliwość próbkowania i mierzonych sygnałów w celu uniknięcia błędów przeistaczania 5. Zmienne pasmo zapamiętywanych przebiegów zależne od nastaw współczynnika czasu

5. Literatura

1. J. Rydzewski – *Oscyloskop elektroniczny* WKŁ 1982
2. K. Jędrejewski – *Laboratorium podstaw miernictwa* OWPW 1997
3. Pomiary oscyloskopem – *Radioelektronik* nr 9, 10/1994
4. Współczesne oscyloskopy cyfrowe – *Radioelektronik* nr 9..12/1993
5. Przegląd szybkich oscyloskopów – *Radioelektronik* nr 9/1992
6. Oscyloskopy z pamięcią cyfrową – *Radioelektronik* nr 9, 10/1988
7. Oscyloskopy pamiętające – *Elektronizacja* nr 12/1987, 1/1988
8. Oscyloskopy z pamięcią cyfrową – stan obecny i perspektywy – *Elektronizacja* nr 2/1988
9. Oscyloskopy z pamięcią cyfrową – *Elektronika Praktyczna* nr 4..8/1995
10. Katalogi firm *Tektronix, Gould, Hewlett Packard, Le Croy, Philips, Iwatsu*