

PODSTAWY DZIAŁANIA OSCYLOSKOPÓW CYFROWYCH (1)

Przedstawiono zasady pomiaru przebiegów elektrycznych w oscyloskopach cyfrowych.

Zalety oscyloskopów cyfrowych powodują, że są one coraz powszechniej stosowane. W oscyloskopie cyfrowym badany sygnał jest próbkowany za pomocą szybkiego przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC). W równych odstępach czasu przetwornik a/c mierzy poziom napięcia wejściowego i przetwarza go na postać cyfrową. Ta wartość cyfrowa jest następnie zapamiętywana w szybkiej dedykowanej pamięci. Im krótsze są odstępy między kolejnymi próbkami, czyli większa częstotliwość próbkowania, tym szybsze sygnały mogą być rejestrowane. Zwiększanie liczby bitów przetwornika a/c powoduje poprawę dokładności pomiaru – zwiększa się czułość na małe zmiany sygnału. Wreszcie, zwiększanie pojemności pamięci umożliwia wydłużenie czasu rejestracji przebiegu.

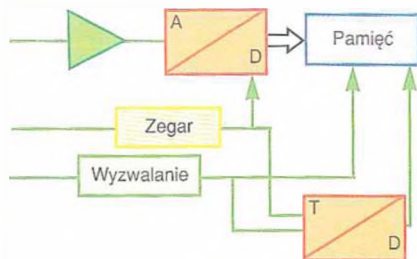
Zalety techniki cyfrowej są w tych zastosowaniach niezwykle istotne. Sygnały cechujące się sporadycznie występującymi zdarzeniami mogą być zarejestrowane i następnie łatwo przeanalizowane. Złożone i trudne problemy można szybko zidentyfikować dzięki obserwacji przebiegu tuż przed wystąpieniem błędu czy zakłócenia (tzw. *pre-trigger data*). Zarejestrowane przebiegi mogą być rozciągnięte w czasie, co umożliwi odkrycie niezauważalnych szczegółów takich, jak szybkie zakłócenia, szpilki, przerzuty impulsów czy też szum. Niektóre oscyloskopy cechują się możliwością:

- Monitorowania parametrów takich, jak fluktuacje amplitudy, niestabilność położenia zboczy (jitter), czas narastania itd. oraz pozwalają wyświetlić wartości skrajne tych parametrów.
- Wyświetlenia histogramów zarejestrowanych parametrów w celu lepszego scharakteryzowania sygnału.
- Wyświetlenia sygnału na pełnym ekranie.
- Zapisania i odczytania sygnału przy

użyciu standardowych komputerowych urządzeń pamięciowych (karty pamięciowe PC, przenośne dyski twarde).

Wybór oscyloskopu cyfrowego

W celu dokonania właściwego wyboru oscyloskopu cyfrowego do swoich potrzeb, użytkownik musi rozumieć podstawowe parametry tego urządzenia. W przypadku oscyloskopu analogowego zasadniczymi parametrami są: pasmo, czułość i dokładność. Oscyloskop cyfrowy jest ponadto charakteryzowany przez częstotliwość próbkowania, pojemność (zwaną w tych zastosowaniach długością lub głębokością) pamięci, rozdzielczość (liczba bitów przetwornika a/c), a także listą narzędzi diagnostycznych przydatnych podczas analizy rozmaitych problemów. Niektóre oscylo-



Rys.1. Schemat blokowy digitalizatora RIS.
A/D – przetwornik a/c, T/D – przetwornik czas-cyfra

skopy są optymalizowane dla rejestracji przebiegów jednokrotnych, podczas gdy inne rejestrują tylko sygnały powtarzalne. Oscyloskop cyfrowy ogólnego przeznaczenia pracuje z sygnałami zarówno powtarzalnymi, jak i jednokrotnymi.

Znajomość mierzonych przebiegów

Oprócz znajomości parametrów oscyloskopu cyfrowego użytkownik musi również znać właściwości sygnałów, jakie będzie mierzył oraz rodzaj pomiarów, jakie będzie wykonywał. Znajomość odpowiedzi na poniżej podane pytania pomoże dokonać właściwego wyboru i pozwoli zaoszczędzić zarówno czas, jak i pieniądze.

1. Jakie jest pasmo sygnału?

2. Jak małe, w stosunku do wartości międzyszczytowej sygnału, są detale, które należy zmierzyć?

3. Jaka jest wymagana dokładność pomiaru napięcia i czasu?

4. Jak długi fragment sygnału należy zarejestrować?

5. Jakiego rodzaju wyzwalanie należy zastosować?

6. Jak często ma być odświeżany ekran wyświetlający mierzony sygnał i wyniki jego analizy?

7. Jakie są wymagane narzędzia diagnostyczne?

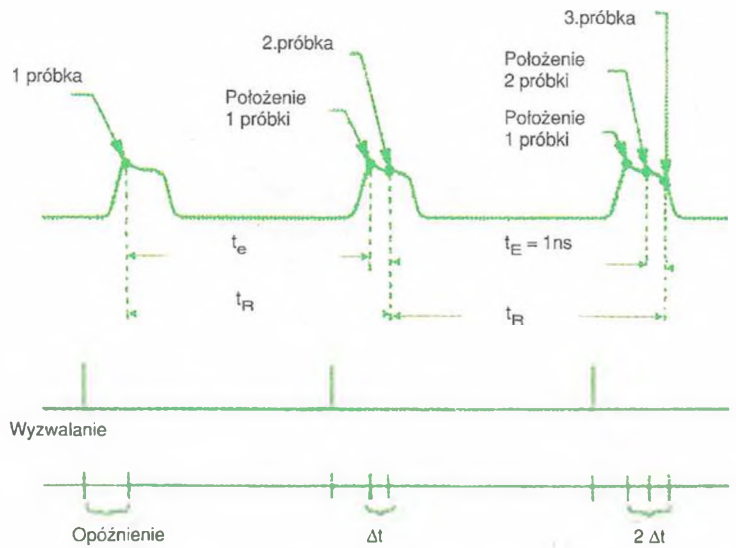
Rejestrowanie szybkich stanów nieustalonych i zakłóceń

W większości oscyloskopów analogowych istnieje duża trudność zaobserwowania szybkich stanów przejściowych lub krótkich zakłóceń. Wiele oscyloskopów cyfrowych jest natomiast przystosowanych do rejestracji tego typu procesów. Ogólnie biorąc stosuje się trzy rodzaje konstrukcji oscyloskopów różniące się sposobem pobierania próbek i budową układu służącego do tego celu, zwanego digitalizatorem (*digitizer*) lub kwantyzatorem. Są to oscyloskopy: z digitalizatorem procesów przejściowych (*transient digitizer*), z digitalizatorem z losowo zmienianym momentem wyzwalania (*random interleaved sampling – RIS*) lub z digitalizatorem próbkującym. Dwa pierwsze rozwiązania umożliwiają rejestrację stanów nieustalonych, trzecie – nie. Wszystkie trzy typy digitalizatorów mogą rejestrować sygnały powtarzalne; ale tylko dwa pierwsze rejestrują sygnał zanim pojawi się impuls wyzwalający (jest to tzw. *funkcja pre-trigger*). Digitalizator procesów przejściowych zawiera przetwornik a/c i pamięć mierzonego przebiegu. Po wystartowaniu pomiaru przetwornik cyklicznie przetwarza sygnał mierzony i kolejne próbki są zapisywane do pamięci. Po zapełnieniu całej pamięci kolejne próbki są wpisywane do pamięci od początku zastępując poprzednie wartości próbek. Po wystąpieniu impulsu wyzwalającego pamięć rejestruje jeszcze tylko wybraną przez użytkownika liczbę próbek, a gdy to nastąpi przetwornik a/c przestaje pracować. Jeżeli użytkownik ustali wartość

pre-trigger równą 100%, to przetwarzanie jest stopowane, gdy tylko pojawi się impuls wyzwalający. Pamięć zawiera wyłącznie próbki zebrane do chwili pojawienia się sygnału wyzwalającego. Ustalenie wartości *post-trigger* równej 100% powoduje, że po pojawieniu się impulsu wyzwalającego każda komórka pamięci jest zapisana jeszcze jedną próbką i dopiero wtedy pomiar się kończy. Pamięć zawiera wówczas tylko próbki zebrane po pojawieniu się sygnału wyzwalającego.

Digitalizator typu RIS, oprócz poprzednio wymienionych elementów, ma dodatkowe układy, dzięki którym moment wyzwalania jest opóźniony w stosunku do impulsu wyzwalającego, przy czym to opóźnienie nie jest stałe, lecz zmienia się w sposób losowy (rys.1). Każdy impuls wyzwalający powoduje zarejestrowanie serii próbek. Ze względu na różne wartości opóźnienia kolejne serie próbek są w funkcji czasu przeplatające się, co w rezultacie daje ich "zaęszczenie" i w efekcie dokładniejsze odwzorowanie przebiegu mierzonego niż w przypadku digitalizatora procesów przejściowych. Losowe opóźnienie jest realizowane w układzie z dodatkowym generatorem zegarowym i przetwornikiem czas-cyfra (TDC – *time-to-digital converter*). Ponieważ impulsy wyzwalające i zegarowe są asynchroniczne, więc czas od przybycia impulsu wyzwalającego do najbliższego impulsu zegarowego jest za każdym razem inny – zmienia się losowo. Przetwornik czas-cyfra mierzy to opóźnienie i odpowiednio steruje zbieraniem próbek. Podobnie jak digitalizator procesów przejściowych, również digitalizator RIS ma funkcję *pre-trigger*.

Digitalizatory próbkujące składają się z głowicy próbkującej, przetwornika a/c, pamięci oraz układu sterującego. Głowica próbkująca zapamiętuje napięcie wejściowe na czas przetwarzania go przez przetwornik. Digitalizatory próbkujące zapamiętują tylko jedną próbkę na każdy impuls wyzwalający. Po każdym impulsie wyzwalającym układ sterujący opóźnia chwilę pobrania próbki o pewną wartość. Na przykład w digitalizatorze o efektywnej częstotliwości próbkowania równej 1 GS/s (*gigasamples/second* czyli gigaprobek na sekundę) pierwsza próbka jest pobierana w chwili wystąpienia impulsu wyzwalającego, druga próbka jest opóźniona w stosunku do impulsu wyzwalającego o 1 ns, trzecia o 2 ns itd. Ponieważ próbki są opóźnione w stosunku do impulsu wyzwalającego, więc nie można tu wprowadzić funkcji *pre-trigger*. Opisany powyżej sposób działania digitalizatora próbkującego jest zilustrowany na rys. 2.



Rys. 2.
Zasada działania digitalizatora próbkującego
 t_R – rzeczywisty,
 t_E – równoważny – czas między próbkami

Szerokość pasma i częstotliwość próbkowania

Szerokość pasma jest ważnym parametrem oscyloskopów cyfrowych, podobnie jak w przypadku oscyloskopów analogowych. Pasma jest określone przez filtry i wzmacniacz wejściowy. Szybkie zbocza impulsów oraz zakłócenia szpilkowe zawierają składowe o wielkich częstotliwościach. Dlatego w celu ich dokładnej rejestracji jest wymagane odpowiednie pasmo przenoszenia toru wejściowego tak, aby te składowe zostały przeniesione bez zniekształceń.

Jaka szerokość pasma jest wystarczająca? Niewątpliwie szerokość pasma oscyloskopu cyfrowego powinna być szersza niż pasma częstotliwości zajmowanego przez sygnał. W pierwszej kolejności należy więc oszacować pasmo sygnału. W przybliżeniu (zakładając pojedynczą stałą czasu) pasmo sygnału impulsowego BS wynosi:

$$B_s = \frac{0,35}{t_r}$$

przy czym t_r oznacza czas narastania (od 10% do 90%) najszybszego zbocza.

Na przykład sygnał o czasie narastania zbocza równym 1 ns ma pasmo 350 MHz.

Pasma częstotliwości oscyloskopu cyfrowego rozciąga się zwykle od zera (prąd stały) do częstotliwości, przy której całkowite wzmocnienie toru pomiarowego maleje o 3 dB (29%) w stosunku do wartości dla częstotliwości średnich. Jeżeli więc sygnał mierzony będzie miał pasmo szersze od pasma przyrządu, to sygnał zostanie zniekształcony i wynik pomiaru będzie zafalszowany. Jasne staje się więc, że aby przyrząd nie spowałniał mierzonego sygnału, jego pasmo musi być szersze od pasma sygnału.

Wpływ częstotliwości próbkowania na użyteczne pasmo

Zbyt mała częstotliwość próbkowania może pogorszyć użyteczne pasmo przyrządu. Dla uzyskania właściwego próbkowania na jeden okres składowej o największej częstotliwości widma sygnału powinny przypadać 4 próbki. Podczas pomiarów precyzyjnych tych próbek powinno być nawet 10 na jeden okres. Dlatego też w przypadku niepowtarzalnych przebiegów należy brać pod uwagę parametr określający częstotliwość próbkowania pojedynczych impulsów. Dla sygnałów okresowych efektywna częstotliwość próbkowania jest zwykle dużo większa. Np. rzeczywista częstotliwość próbkowania oscyloskopu WavePro firmy LeCroy wynosi 16 GS/s, a w trybie RIS (sygnały okresowe) jest równa 50 GS/s.

Warto tu podkreślić, że wymaganie czterech próbek na 1 okres składowej o największej częstotliwości nie stoi w sprzeczności z twierdzeniem o próbkowaniu i kryterium Nyquista, które wymaga tylko dwóch próbek. W rzeczywistości występują bowiem szumy, a pasmo sygnału nie kończy się gwałtownie na pewnej częstotliwości. Warunek czterech próbek jest więc kompromisem między twierdzeniem matematycznym, a warunkami rzeczywistymi. Drugim warunkiem praktycznym jest żądanie, aby na szybkie zbocze impulsu wypadły co najmniej dwie próbki. W przeciwnym razie na ekranie może się pojawić przerzut, którego w rzeczywistości nie ma.

Opracował **Mieczysław Kręciejewski**

LITERATURA

LeCroy: Test and Measurement Product Catalog, 2001

Dziękujemy firmie Elsinco, przedstawicielowi firmy LeCroy za udostępnienie materiałów i udzielenie zgody na reprodukcję ilustracji.

PODSTAWY DZIAŁANIA OSCYLOSKOPÓW CYFROWYCH (2)

Wpływ długości pamięci na użyteczne pasmo

Długa pamięć oscyloskopu pozwala zachować dużą częstotliwość próbkowania dla najszybszej nawet podstawy czasu. Długość pamięci (liczba pamiętanych próbek) określa maksymalną częstotliwość próbkowania zgodnie ze wzorem:

$$SR = \frac{N}{PC \cdot LD}$$

w którym:

SR – częstotliwość próbkowania

N – długość pamięci

PC – wartość podstawy czasu

LD – liczba działek na ekranie.

Np. w oscyloskopie o LD = 10 działkach na ekranie i długości pamięci N = 50 000 próbek, dla podstawy czasu PC = 5 μs/działkę częstotliwość próbkowania może być SR = 1 GS/s i wyświetlany przebieg wypełni cały ekran. Przy większej częstotliwości próbkowania zmierzony przebieg wypełniłby tylko część ekranu (co jest niedopuszczalne). Zatem przy zwiększaniu podstawy czasu (tzn. zwiększaniu czasu na działkę) oscyloskop musi zredukować częstotliwość próbkowania, aby zarejestrowany przebieg wypełnił cały ekran. Ale zmniejszenie częstotliwości zbierania próbek powoduje w efekcie ograniczenie pasma pomiarowego. A zatem stosowanie długich

pamięci pozwala zachować szerokie pasmo dla nawet najszybszych podstaw czasu, co zwiększa dokładność pomiaru i pozwala obserwować więcej szczegółów.

Zalety stosowania długich pamięci

Poniżej wymieniono szereg zalet wynikających z długiej pamięci oscyloskopu cyfrowego.

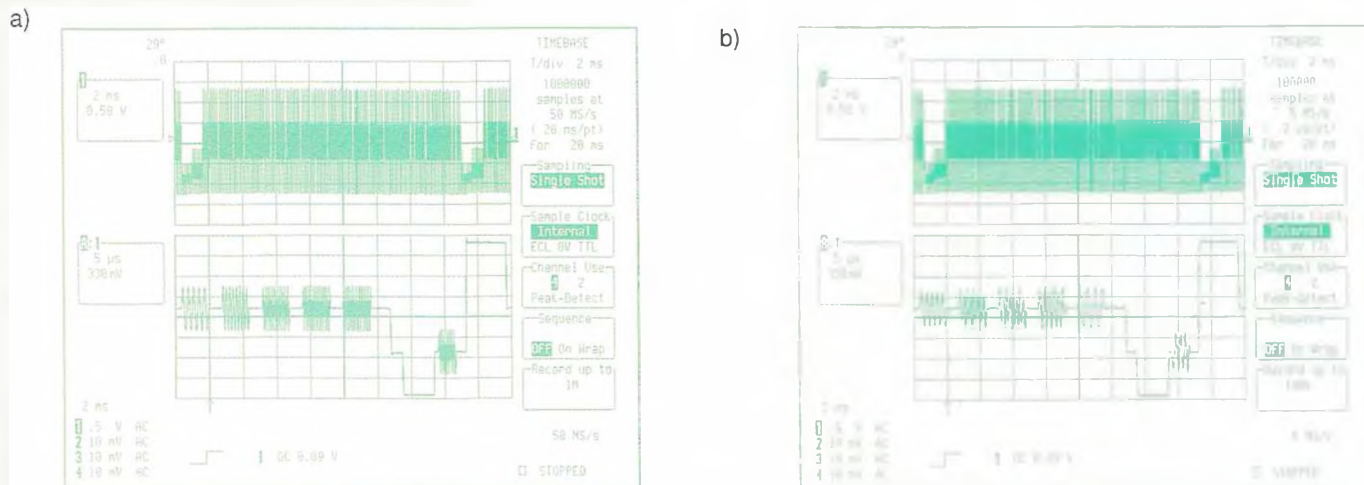
1. Możliwość obserwacji szczegółów dzięki możliwej dużej częstotliwości próbkowania.
2. Możliwość rejestracji impulsów szpilkowych bez zniekształcania przebiegu.
3. Lepsza rozdzielczość czasowa (częstotliwościowa przy wyświetlaniu widma sygnału).
4. Pewna rejestracja zdarzeń, których położenie w czasie jest nieprzewidywalne.
5. Brak czasu martwego podczas rejestracji różnych zdarzeń – rejestracja bez podziału pamięci. (Czas martwy jest opóźnieniem między zakończeniem rejestracji jednego zdarzenia a możliwością rozpoczęcia nowego pomiaru. W czasie martwym oscyloskop cyfrowy wykonuje operacje związane z przetwarzaniem i wyświetlaniem zarejestrowanego sygnału).
6. Możliwość uzyskania małego czasu martwego (typ. 25÷30 μs) podczas podziału długiej pamięci na części przeznaczone

do rejestracji różnych niezależnie rejestrowanych zdarzeń.

Rejestracja szczegółów

Na rys. 3 przedstawiono fragment sygnału wizyjnego o czasie trwania 20 ms zarejestrowany przez dwa różne oscyloskopy cyfrowe: jeden z pamięcią o długości równej 1 mln próbek (rys. 3a) i drugi z pamięcią o długości 100 tys. próbek (rys. 3b). Wyższą jakość oscyloskopu z dłuższą pamięcią najlepiej widać porównując powiększone (rozciągnięte) fragmenty przebiegów znajdujące się w dolnej części ekranu. Częstotliwość próbkowania oscyloskopu z krótszą pamięcią wynosi (z powodów opisanych wcześniej) tylko 5 MS/s i jest zbyt mała, aby dokładnie zarejestrować szybkie i krótkie oscylacje.

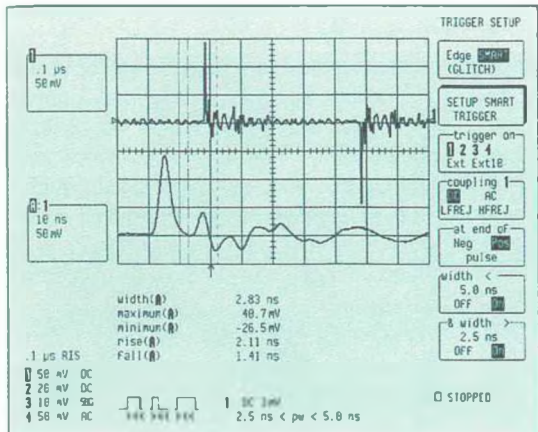
Na tym przykładzie zilustrowano, jak długość pamięci – przez zmianę częstotliwości próbkowania – wpływa na dokładność pomiaru. Oba oscyloskopy rejestrują odcinek przebiegu o tym samym czasie trwania równym 20 ms (10 działek; podstawa czasu równa 2 ms/dz.). Oscyloskop z krótszą pamięcią próbuje z częstotliwością 5 MS/s (100 000/20 ms), podczas gdy ten z dłuższą pamięcią ma częstotliwość próbkowania 50 MS/s (1 000 000/20 ms). Częstotliwość próbkowania jest więc, aż do maksymalnej (granicznej) częstotliwości



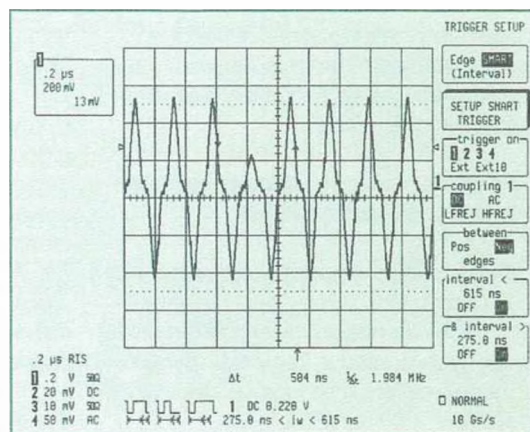
Rys. 3. Fragment sygnału wideo o czasie 20 ms zmierzony oscyloskopem cyfrowym

a – z pamięcią 1 000 000 próbek i częstotliwością próbkowania 50 MS/s

b – z pamięcią 100 000 próbek i częstotliwością próbkowania 5 MS/s



Rys. 4. Selekttywne wyzwalanie szpilką o szerokości 2,83 ns. Oscyloskop został ustawiony w tryb wyzwalania impulsami o szerokości od 2,5 do 5 ns



Rys. 5. Wyzwalanie następujące w przypadku wystąpienia brakującego bitu. Brakujący bit jest interpretowany jako impuls szerszy od okresu ciągu impulsów lub jako przerwa szersza od okresu ciągu impulsów

ści próbkowania danego oscyloskopu cyfrowego, funkcją długości pamięci. Nawet, jeśli dwa oscyloskopy cyfrowe mają równą maksymalną częstotliwość próbkowania, to ten z dłuższą pamięcią może zarejestrować więcej punktów na ekranie (próbek) i w efekcie dawać szersze pasmo użyteczne podczas rejestracji długich sygnałów.

Wyzwalanie

Sposoby wyzwalania oscyloskopu cyfrowego są istotnym czynnikiem decydującym o jego przydatności i uniwersalności. Przykładki takie, jak pojedyncze (krótkie) zakłócenia, występowanie brakujących bitów, jitter czasowy, błędy w systemach mikroprocesorowych, zawieszanie się systemu czy też konflikty na magistrali są bardzo trudne lub wręcz niemożliwe do przebadania konwencjonalnym oscyloskopem. Często zdarza się, że tanie oscyloskopy cyfrowe są wyposażone w standardowy system wyzwalania, a dopiero wersje drogie zawierają rozbudowany układ wyzwalania. Inne podejście do tej sprawy proponuje na przykład firma LeCroy, która we wszystkich swoich oscyloskopach stosuje przełącznik umożliwiający wybór między wyzwalaniem standardowym i rozbudowanym (nazwa firmowa: SMART trigger). SMART trigger zapewnia użytkownikowi dostęp do wielu złożonych trybów wyzwalania opartych na połączeniu dwóch metod:

1. możliwości dokonania wyboru stanu logicznego źródła sygnału wyzwalającego (CH1, CH2, CH3, CH4, EXT, EXT/5, EXT/10),
 2. zastosowania programowanego licznika służącego do zliczania zdarzeń od 1 do 10^9 lub czasu w zakresie od $<2,5$ ns do 20 s z krokiem równym 1% podstawy czasu.
- Kombinacja tych dwóch sposobów daje tak wiele możliwości, że może spowodować

utrudnienia w używaniu oscyloskopu. Dlatego też bardzo starannie zaprojektowano wyzwalanie SMART i sposób jego obsługi. Po wyborze tej funkcji na ekranie pojawia się przyjazne użytkownikowi menu zapewniające łatwość użytkowania bez straty uniwersalności. Zastosowano również graficzny system informacji o warunkach wyzwalania. SMART trigger składa się z kilku trybów wyzwalania.

1. Ustalone źródło wyzwalania z regulacją czasu martwego (*hold-off*). Użytkownik ustala źródło sygnału wyzwalającego, rodzaj sprzężenia sygnału, poziom i zbocze. Regulacja czasu martwego powoduje, że kolejne wyzwolenie procesu rejestracji nastąpi dopiero po upływie ustawionego czasu. Jest to typowy rodzaj wyzwalania stosowany w oscyloskopach analogowych. W oscyloskopach cyfrowych dochodzi dodatkowo możliwość ustalenia liczby zdarzeń, po wystąpieniu których nastąpi wyzwolenie kolejnego procesu rejestracji. Np. obserwacja sygnału wyjściowego generatora ciągu pseudolosowego jest znacznie ułatwiona przy zastosowaniu tego typu wyzwalania. Jeżeli generator wytwarza 4095 stanów, to ustawienie licznika zdarzeń na wartość 4094 da na ekranie stabilny obraz.

2. Ustalone źródło wyzwalania z selektywnym wyzwalaniem szerokością impulsu. Jest to nowy tryb wyzwalania charakterystyczny dla oscyloskopów cyfrowych. Istnieją tu dwie możliwości związane z:

- szerokością impulsu (*pulse width*), czyli odstępem czasu między kolejnymi dwoma różnymi zboczami, np. narastającym i opadającym.
- odstępem między impulsami (*interval width*), czyli odstępem czasu między kolejnymi dwoma takimi samymi zboczami, np. narastającymi.

Po wybraniu rodzaju pracy (*pulse* lub *interval*) ustala się, że wyzwolenie nastąpi impulsami o parametrach czasowych dłuż-

szych lub krótszych od wartości zadanej, np. impulsami o czasie trwania krótszym niż 10 ns. Możliwe jest również zadawanie warunków typu od – do; np. na rys.4 przedstawiono wyzwalanie selektywne impulsami o szerokościach od 2,5 ns do 5 ns. Z kolei wybór metody "interval" z warunkiem "dłuższy niż" pozwala rejestrować sytuacje, gdy występują brakujące kody. Przykład tego typu pomiaru jest przedstawiony na rys.5.

3. Wyzwalanie szpilkami, słabymi sygnałami i zboczami o niepożądanych czasach narastania. Tego typu wyzwalanie stosuje się do diagnozowania szybkich układów cyfrowych.

4. Wyzwalanie zanikiem ciągu sygnałów (*dropout trigger*). Wyzwalanie rejestracji następuje, gdy ciąg pewnych sygnałów zaniknie. Taka sytuacja zdarza się np. w sytuacji zawieszenia systemu cyfrowego.

Wyświetlanie przebiegów

Oscyloskopy analogowe odświeżają ekran z częstotliwością nawet miliona razy na sekundę. W przypadku oscyloskopów cyfrowych odświeżanie ekranu jest znacznie rzadsze, przy czym występują tu duże różnice w zależności od modelu. Częste odświeżanie ekranu daje efekt podobny do tego w oscyloskopie analogowym – użytkownik ma wrażenie "żywego" obrazu na ekranie. Powolne odświeżanie jest natomiast irytujące, gdyż prowadzi do braku natychmiastowej reakcji obrazu na ekranie na dokonane regulacje bądź inne zmiany w układzie. W efekcie może dojść nawet do przeoczenia pewnych zjawisk. Szybkość odświeżania ekranu jest zależna od wielu czynników, np. architektury układu, typu i szybkości procesora, efektywności zastosowanych algorytmów analizy i wyświetlania. Praktyczna metoda sprawdzenia szybkości odświeżania ekranu polega na regu-

lacji pokręta przesuwu góra-dół (podczas rejestracji przebiegu o średniej długości) i zaobserwowaniu jak szybko obraz na ekranie reaguje na tę regulację.

Algorytm wyświetlania zarejestrowanego przebiegu

Szybkość odświeżania ekranu można zwiększyć przez zastosowanie dedykowanego procesora obsługującego ekran oraz efektywnych procedur kompresji danych. Np. jeżeli na ekranie można wyświetlić w poziomie 2000 punktów, a w pamięci sygnału znajduje się 50 000 próbek, to można wyświetlić tylko 1 punkt na 25 zebranych próbek. Naturalnym sposobem jest obliczenie wartości średniej 25 kolejnych próbek i wyświetlenie tej wartości jako jeden punkt na ekranie. Sposób jest szybki, ale mało dokładny – na ekranie giną szybkie szpilkowe zakłócenia. Innym sposobem jest zastosowanie interpolacji $\sin(x)/x$, jest to jednak procedura czasochłonna i spowalnia odświeżanie ekranu. Ogólnie, im dokładniejszy algorytm tym więcej czasu wymaga wykonywanie obliczeń. Dlatego też firmy (np. LeCroy) stosują opracowane przez siebie algorytmy i bardzo wydajne procesory dążąc do kompromisu między czasem odświeżania ekranu i dokładnością wyświetlania.

Zastosowanie mikroprocesorów

Mikroprocesory są stosowane powszechnie w oscyloskopach cyfrowych. Ich zadaniem jest sterowanie przesyłem danych, ekranem, portami komunikacyjnymi, wewnętrzną pamięcią. Są używane do obsługi nastaw wykonywanych przez użytkownika za pomocą elementów regulacyjnych na panelu czołowym, a niekiedy także do kontrolowania akwizycji danych i funkcji wyzwalania. Ich

wydajność wpływa znacząco na czas odświeżania ekranu. Dlatego też często stosuje się szybkie procesory 32-bitowe oraz dedykowane procesory DSP. Celem jest osiągnięcie wyświetlania zebranych przebiegów w czasie rzeczywistym nawet przy stosowaniu złożonych algorytmów przetwarzania sygnałów (np. FFT). Rozwiązania oscyloskopów cyfrowych opartych na mikroprocesorach 8-bitowych niewątpliwie są tańsze, lecz kosztem spowolnienia działania przyrządu.

Analiza przebiegów

Jedną z największych zalet oscyloskopów cyfrowych jest możliwość dokonania analizy zebranych danych. Te dane mogą być analizowane w zewnętrznym komputerze lub przez procesor wewnętrzny oscyloskopu. Większość współczesnych oscyloskopów cyfrowych umożliwia dokonania szerokiej analizy sygnałów. Konstruowane są również przyrządy specjalizowane do konkretnych zastosowań (np. do badania elementów dużej mocy, sygnałów optycznych, analizy jitteru).

Jednym z istotnych elementów analizy jest określanie parametrów impulsów, takich jak czasy narastania, opadania i trwania, przerzuty, wartości szczytowe, międzyszczytowe, minimalne, maksymalne, średnie i skuteczne, częstotliwość i okres. Ponadto zastosowanie kursorów umożliwia ręczne dokonywanie pomiarów. Dzięki wbudowanym funkcjom matematycznym użytkownik może pominąć etap obliczeń i uzyskać gotowy wynik np. moc na podstawie pomiaru prądu i napięcia.

Oscyloskop cyfrowy umożliwia oszacowanie zmiany parametrów sygnałów przez zapamiętywanie wartości maksymalnych i minimalnych np. amplitudy, czy położenia

zbrocza. Funkcja *persistence* polegająca na pamiętaniu na ekranie ostatnich n przebiegów (wartość n jest wybierana przez użytkownika) umożliwia ponadto oszacowanie, jak często te ekstrema występują. Na rys.6 przedstawiono ekran oscyloskopu podczas testowania łącza optycznego z wykorzystaniem funkcji *persistence*. Widoczny w środku ekranu sześciokąt stanowi maskę, przez którą nie powinien przechodzić żaden sygnał. Nakładanie się na ekranie kolejnych przebiegów umożliwia stwierdzenie, czy ten warunek jest spełniony.

Zmiana dziedziny obserwacji przebiegu z czasowej na częstotliwościową odbywa się za pomocą szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Użyteczność tej funkcji jest znaczna, gdyż nie wszystkie cechy sygnału jest łatwo zaobserwować w dziedzinie czasu. Technika tę stosuje się np. do obserwacji składowych widma sygnałów stosowanych w komunikacji lub monitorowania stabilności generatorów.

Wyniki omówionych wyżej operacji matematycznych mogą być pamiętane i stanowić podstawę statystycznej analizy sygnału. Taką analizę może dostarczyć informacji o trendach zmian pewnych parametrów lub w postaci histogramu przedstawić rozrzut tych parametrów.

Testowanie automatyczne

Oscyloskopy cyfrowe są wyposażone w interfejs pomiarowy GPIB (IEE488), co pozwala na automatyzację pomiarów i wykorzystanie przyrządu do celów automatycznego testowania. Niektóre oscyloskopy mają również interfejs do sieci Ethernet. Zewnętrzny komputer może zarówno sterować wykonywaniem pomiarów, jak i analizować otrzymane z oscyloskopu dane. Podział zadań jest tu zależny od możliwości oscyloskopu.

Pamięć sygnałów i nastaw

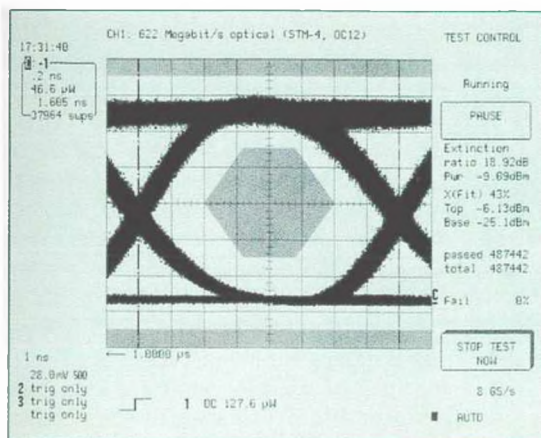
Niektóre oscyloskopy cyfrowe mają wbudowaną pamięć masową do przechowywania i odtwarzania zarejestrowanych przebiegów, a także konfiguracji pomiarowej (nastaw). Ta pamięć może być również wykorzystana do bezpośredniego nagrywania aktualnie mierzonych danych. Stosowanymi pamięciami są zwykle dyskietki, karty pamięci RAM lub twarde dyski. Format zapisu jest kompatybilny ze stosowanym w systemie DOS. Dlatego też producenci oscyloskopów opracowują często programy umożliwiające odtwarzanie i analizowanie zarejestrowanych przebiegów na standardowych komputerach PC. Do rejestracji mierzonych przebiegów można również stosować interfejsy GPIB oraz Ethernet.

Opracował **Mieczysław Kręciejewski**

LITERATURA

LeCroy: Test and Measurement Product Catalog, 2001

Dziękujemy firmie Elsinco, przedstawicielowi firmy LeCroy za udostępnienie materiałów i udzielenie zgody na reprodukcję ilustracji.



Rys. 6. Tryb *persistence* zastosowany do badania, czy sygnał spełnia zadane warunki, tzn. nie pojawia się w obszarze maski