

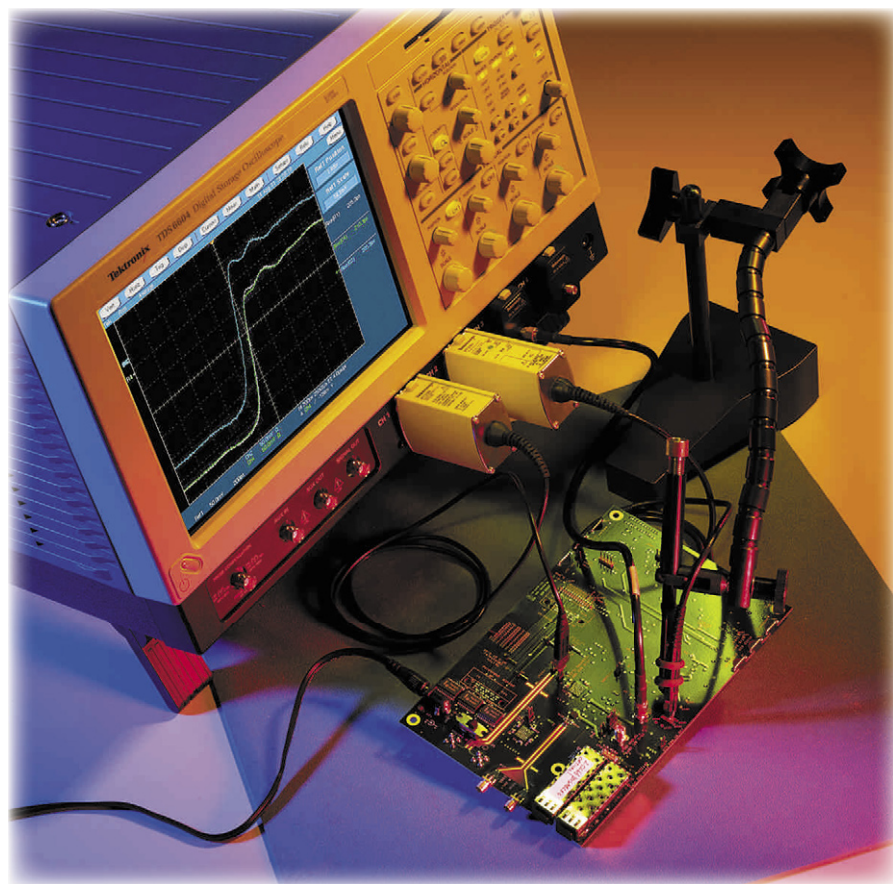
Pomiary oscyloskopowe: okiem praktyka, część 5

Ten odcinek cyklu poświęcamy omówieniu podstawowych zagadnień związanych z wyzwalaniem podstawy czasu oscyloskopu. Możliwości współczesnych oscyloskopów cyfrowych są coraz większe, a układy wyzwalania za nimi nadążają, dlatego warto wiedzieć „co, jak i dlaczego” w nich się dzieje.

Wzwalanie

Chociaż obecnie trudno sobie wyobrazić użyteczność oscyloskopu pozbawionego wyzwalania, to jednak pierwsze oscyloskopy nie posiadały tej tak podstawowej dziś funkcji. Początkowo podstawa czasu synchronizowana była z okresowym sygnałem badanym, ale rosnąca złożoność sygnałów sprawiała, że uzyskanie stabilnego obrazu stawało się niemożliwe. Nie bez znaczenia była też potrzeba obserwacji nieokresowych zjawisk losowych. Wyzwalaną podstawę czasu wykorzystywano np. w marynarce USA już podczas drugiej wojny światowej, jednak w produktach komercyjnych pojawiła się dopiero po jej zakończeniu, wraz z pierwszym modelem 511 firmy Tektronix.

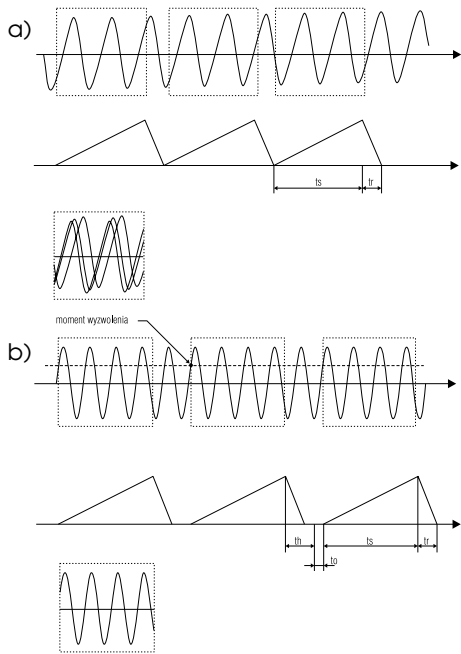
Układ wyzwalania śledzi badany sygnał i, jeśli spełnia on zadane warunki, generuje impuls wyzwalający. W efekcie, w oscyloskopie analogowym uruchamia się generator podstawy czasu, a plamka jest na ekranie odchylana wzdłuż poziomej osi. Oscyloskop cyfrowy po wyzwoleniu rejestruje ustaloną ilość próbek (*posttrigger*), po czym kończy proces pojedynczej akwizycji. Dzięki wyzwalanej podstawie czasu kolejne cykle rejestracji mają wspólny punkt odniesienia, a obraz złożony z kreślonych przebiegów może być stabilny. Wspólny punkt odniesienia definiowany jest przez użytkownika przez zadanie warunku wyzwalania. Odnosi się to do wystąpienia



w mierzonym sygnale jakiegoś predefiniowanego zdarzenia, np. osiągnięcia przez narastające zbocze określonego poziomu.

W oscyloskopie analogowym chwili wyzwolenia odpowiada zawzyczał lewa krawędź ekranu. Wynika to stąd, że sygnał jest rejestrowany dopiero po spełnieniu warunku wyzwalania. Jedyny sposób rejestracji sygnału przez oscyloskop analogowy stanowi bezpośrednio rysowanie przebiegu na ekranie lampy. W połączeniu z przypadkowym charakterem wystąpienia wyzwolenia, powoduje to niemożliwość rejestracji sygnału przed wyzwoleniem. Częściowym rozwiązaniem jest linia opóźniająca. Ta część sygnału, która spowodowała wyzwolenie, pojawi się na wyjściu linii z opóźnieniem i generator podstawy czasu zdąży już rozpocząć odchylenie plamki w osi

poziomej. Tak można obserwować zdarzenie, które spowodowało wyzwolenie, ale nie ma możliwości płynnej regulacji opóźnienia linii. W oscyloskopie cyfrowym rejestracja sygnału odbywa się pośrednio poprzez pamięć przyrządu. Próbkę dostarczane przez przetwornik analogowo-cyfrowy mogą być ciągle wpisywane do bufora kołowego. Dzięki temu informacja o mierzonym sygnale gromadzona jest cały czas i w przypadkowym momencie wyzwolenia bufor zawiera próbki zapisane także przed wyzwoleniem. Dlatego położenie punktu odniesienia kolejnych rejestracji w rekordzie akwizycji może zmieniać się w szerokim zakresie. Typowo punkt wyzwolenia jest umieszczany w połowie rekordu, stwarzając warunki do np. wygodnej obserwacji zbczy przebiegu umieszczonych na środku ekranu.



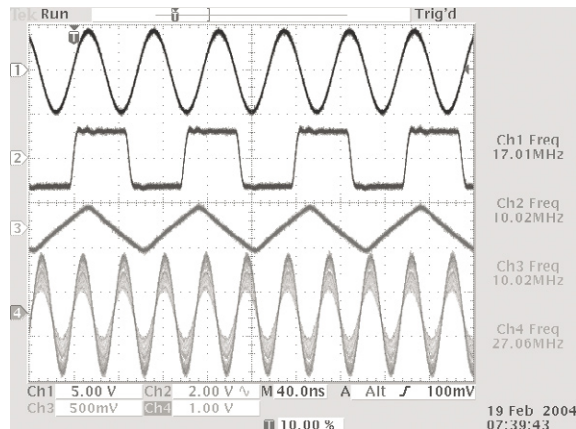
Rys. 15. Wpływ wyzwalania podstawy czasu na uzyskanie stabilnego obrazu

Czułość wyzwalania podawana w katalogu określa, jaką minimalną amplitudę powinien mieć sygnał wyzwalający, aby wyzwalanie było stabilne. Czułość maleje wraz ze wzrostem częstotliwości. Dodatkowo, pasmo poprawnej pracy obwodu wyzwalania może być mniejsze od szerokości pasma przyrządu. Oczywiście nie dotyczy to oscyloskopów klasy amatorskiej z pasmem kilkuset MHz, ale przyrządów z górnej półki, gdzie może to być ograniczone względami technologicznymi. Innym ważnym parametrem podawanym w katalogu jest szum fazowy wyzwalania i on także dotyczy oscyloskopów co najmniej średniej klasy. Dla przyrządów dostępnych dla amatorów najczęściej określa się głównie funkcjonalność obwodu wyzwalającego, podając dostępne rodzaje wyzwalania.

Źródłem wyzwalania jest najczęściej jeden z kanałów pomiarowych, ale stosuje się też dodatkowe wejścia służące wyłącznie do wyzwalania przyrządu. Sprzężenie wejścia wyzwalającego z obwodem wyzwalania może być z pominięciem (AC) lub nie (DC) składowej stałej. Bardzo użyteczne bywa też stosowanie filtrów dolno- (*HF Reject*) i górno-przepustowych (*LF Reject*) pozwalających usunąć z sygnału wyzwalającego składniki mogące powodować wyzwalanie w niepożądanych mo-

mentach. Przy obserwacji sygnałów w kilku kanałach równocześnie zazwyczaj źródło wyzwalania jest wspólne dla nich wszystkich. Czasami stosowane jest także przełączanie źródła wyzwalania, jak na rys. 16. Poniżej ekranu widoczny jest napis „A ALT” oznaczający, że główny obwód wyzwalania A pracuje w trybie przełączanym (*alternate*). Zadany poziom wyzwalania jest sprawdzany dla każdego z sygnałów, które kreślone są bez zachowania informacji o ich wzajemnych relacjach czasowych. Jakże to ma zastosowanie? Załóżmy, że chcemy obserwować cztery wyjścia generatora, na których generowane są paczki impulsów. Jeśli dodatkowo występują one losowo, a przesunięcia czasowe pomiędzy nimi są o wiele dłuższe od ich szerokości, to jednoczesna obserwacja impulsów na wszystkich wyjściach generatora stałaby się niemożliwa. Gdy jednak zastosujemy przełączane źródło wyzwalania, to przebieg w każdym kanale będzie wykreślany w momencie wystąpienia interesującej nas paczki, niezależnie od sygnałów w pozostałych kanałach. Użyteczna bywa też funkcja ustalająca jako źródło wyzwalania kanał o najniższym numerze, w jakim obecny jest sygnał. To przydatne zwłaszcza dla pomiarów wielu punktów testowych z wykorzystaniem kilku kanałów.

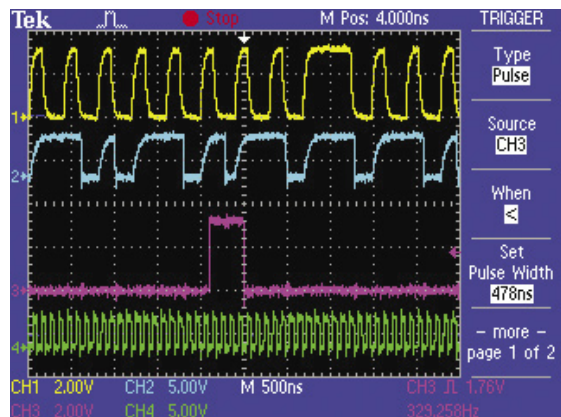
Cykl wyzwolenia i rejestracji przebiegu może być jednorazowy (*Single Sweep*) lub powtarzalny. W drugim przypadku będzie uruchomiony wyłącznie po sygnale wyzwolenia (*Norm*) lub także przy jego braku (*Auto*). Jeżeli brak jest sygnału wyzwalania, to ekran oscyloskopu pracującego w trybie *Norm* pozostanie wygaszony. Podczas pracy w trybie automatycznym proces rejestracji jest uruchamiany po pewnym czasie, nawet przy braku wyzwalania. Dzięki temu, przy braku sygnału na wejściu na ekranie widoczna jest pozioma linia informująca o położeniu poziomu od-



Rys. 16. Przełączanie źródła wyzwalania (każdy z kanałów jest źródłem wyzwalania sam dla siebie)

niesienia. Jeżeli na danym wejściu obecny jest sygnał, ale nie spełnia on zadanego warunku wyzwalania, to w trybie automatycznym obraz na ekranie staje się niestabilny.

W oscyloskopie analogowym najpowszechniejszym rodzajem wyzwalania jest wyzwalanie poziomem sygnału. Poziom sygnału użytego jako źródło wyzwalania jest wtedy porównywany przez komparator z poziomem zadanym przez użytkownika. Użyteczną modyfikacją tego rodzaju wyzwalania, wprowadzoną przez Tektronix, stanowi automatyczne określanie zakresu, w jakim użytkownik może zmieniać zadawany poziom (*Auto p-p*). Jest on równy wartości międzyszczytowej sygnału wyzwalającego. Potencjometr, za pomocą którego określa się żądany poziom wyzwalania, połączony jest wtedy z detektorem wartości szczytowej. W takich warunkach, niezależnie od ustawienia potencjometru, uzyskujemy stabilny obraz, unikając zadania poziomu wyższego od amplitudy sygnału źródłowego.



Rys. 17. Wyzwalanie szerokością impulsu

MCD electronics

MCD Electronics
34-300 Żywiec ul. Lelewela 26
tel/fax: 33/861 60 35
e-mail: smt@mcd.com.pl
www.mcd.com.pl

MONTAŻ SMT (ZGODNE Z ROHS):

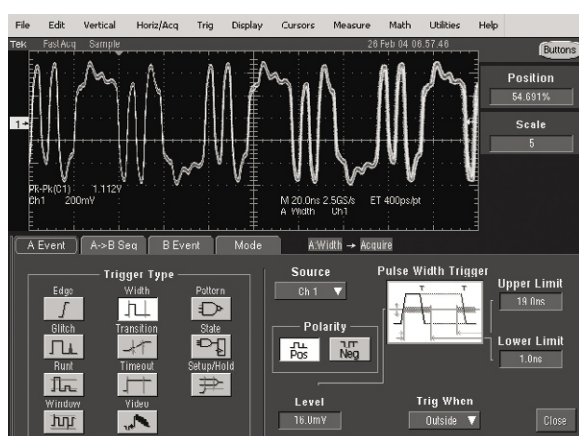
- na paście
- na kleju

PROJEKTOWANIE I KONSTRUOWANIE:

- systemów zabezpieczeń budynków, głównie oświetlenia awaryjnego,
- sterowników embedded do urządzeń medycznych,
- podzespołów elektronicznych dla branży motoryzacyjnej, głównie sterowników programowalnych i ich otoczenia,

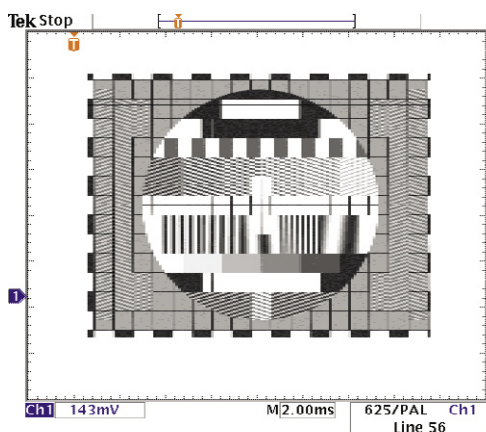
PONADTO:

- montaż mieszany: przewlekany i SMT
- lutowanie na fali lutowniczej



Rys. 18. Stabilny obraz uzyskany dzięki wyzwalaniu szerokością impulsu. Dla wyzwalania zboczem przebiegi rejestrowane w kolejnych cyklach akwizycji będą wzajemnie poprzesuwane tworząc obraz nieczytelny

Rosnąca złożoność sygnałów powoduje, że proste wyzwalanie zboczem jest niewystarczające. O funkcjonalności oscyloskopu w dużej



Rys. 19. Wyzwalanie sygnałem wizyjnym w oscyloskopach TDS3000 rozszerzone jest o wyświetlanie treści obrazu

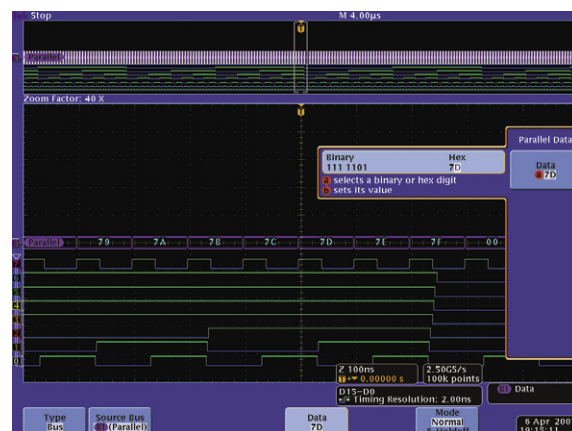
mierze decyduje różnorodność rodzajów wyzwalania. Obecnie niemal standard stanowi wyzwalanie szerokością impulsu. Na rys. 17 widoczny jest przykład takiego sposobu wyzwalania. W tym przypadku daje to możliwość zarejestrowania przebiegów w kanałach 1, 2 i 4 podczas wystąpienia w kanale 3 impulsu o szerokości krótszej niż 478 ns. Warto pamiętać, że jeśli częstotliwość występowania określonych impulsów w kanale 3 jest mniejsza od częstotliwości powtarzania automatycznej podstawy czasu (zazwyczaj kilka do kilkudziesięciu kHz), to w trybie Auto zarejestrowane będą przebiegi występujące także przy braku odpowiednio wąskich impulsów w kanale 3. Sygnały takie, jak np. widoczny na rys. 18, trudno byłoby obserwować stosując wyzwalanie zboczem, podczas gdy wyzwalanie szerokością impulsu pozwala uzyskać stabilny obraz.

Szerokie możliwości w zakresie definiowania warunku wyzwalania oferują oscyloskopy cyfrowe. Przyrządy analogowe, niestety, znacznie im ustępują. Do najczęściej spotykanych rodzajów wyzwalania należą:

- **wyzwalanie zboczem (edge)**. Wyzwolenie

następuje w momencie, kiedy poziom sygnału wyzwalającego przekracza określony próg. Możliwe jest wyzwolenie po przekroczeniu tego progu w dół (wyzwalanie na zboczu opadającym) lub w górę (wyzwalanie na zboczu narastającym), niekiedy też na obu zboczach. Jest to najpowszechniej stosowany rodzaj wyzwalania, dostępny w każdym oscyloskopie

- **wyzwalanie impulsem (pulse)**. Obejmuje ono zestaw parametrów opisujących impuls, których spełnienie (bądź nie) spowoduje wyzwolenie oscyloskopu. Do najczęściej spotykanych rodzajów wyzwalania impulsem należą:
- **wyzwalanie impulsem zakłócającym (glitch)**. Wyzwolenie następuje, jeśli w sygnale wyzwalającym wykryte zostaną szpilkowe impulsy zakłócające węższe od zdefiniowanej wartości oraz o zadanej polaryzacji.



Rys. 20. Przykład wyzwalania wartością danej magistrali równoległej w oscyloskopie sygnałów mieszanych MSO4000

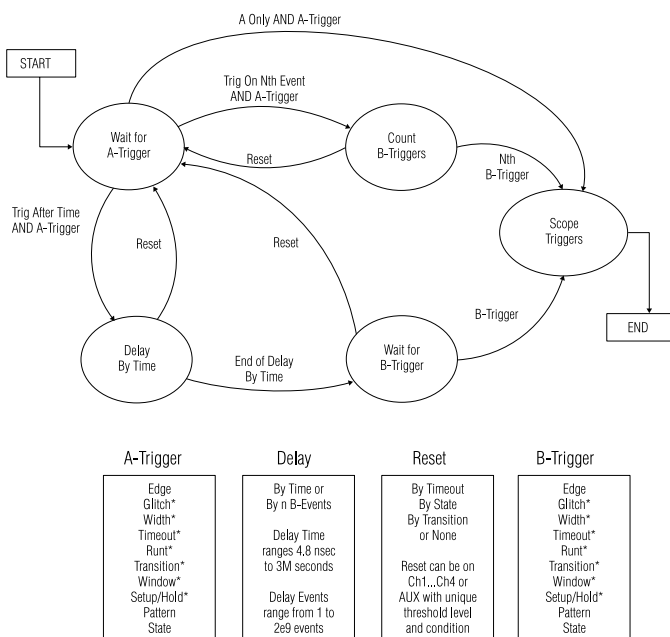


Rys. 21. Pinpoint: wyzwalanie określone sekwencją zdarzeń wraz z warunkiem ją kasującym

- **wyzwalanie impulsem niepełnym (runt)**. Użytkownik określa dwa napięciowe poziomy progowe (dolny i górny), które przekracza normalny impuls występujący w sygnale wyzwalającym. Jeżeli któryś z impulsów pomiędzy podwójnym przekroczeniem dolnego progu nie przekroczy progu górnego, oznacza to że jest niepełny (np. zbyt niski) i spowoduje wyzwalenie.
- **wyzwalanie szybkością narastania (slew rate, transition time)**. Jeśli czas narostu zbrocza jest krótszy (dłuższy bądź równy) od zadanego, to nastąpi wyzwalenie. Szybkość narastania definiuje się poprzez podanie odcinka czasu, w którym poziom sygnału powinien zmienić swą wartość od

- zadanej dolnej do górnej wartości progowej.
- **wyzwalanie czasem granicznym (time-out)**. Wyzwolenie oscyloskopu następuje, jeżeli w sygnale wyzwalającym nie zostanie wykryty żaden impuls w zadanym przedziale czasu.
- **wyzwalanie szerokością impulsu (pulse width)**. Aby nastąpiło wyzwalenie, występujący w sygnale wyzwalającym impuls musi mieć szerokość krótszą (dłuższą lub równą) od zadanej. Szerokość impulsu mierzona jest na ustalonym przez użytkownika poziomie napięcia.
- **wyzwalanie sygnałem wizyjnym (video)**. Wyzwolenie następuje określonym polem lub linią sygnału wizyjnego. W zależności od konkretnej realizacji obsługiwane mogą być różne standardy: SECAM, PAL, NTSC. Niektóre oscyloskopy oferują w tym zakresie szereg dodatkowych możliwości. Przykład stanowi TDS3000, na ekranie którego można uzyskać podgląd obrazu (rys. 19).

Jeden z ciekawszych przykładów zaawansowanego wyzwalania widoczny jest na rys. 20. Przedstawia on wynik rejestracji stanów logicznych na magistrali równoległej przez oscyloskop sygnałów mieszanych Tektronix MSO-4000. Jak widać, wyzwalenie następuje w momencie, gdy na magistrali wystąpi wartość 7D hex. Oczywiście w momencie wystąpienia zadanej wartości na magistrali cyfrowej mogą też być rejestrowane sygnały analogowe.



* These trigger types can be further qualified by 2 logic signals

Rys. 22. Automat stanów wyzwalania Pinpoint

Jednym z kroków w tym kierunku jest wyzwalanie sekwencyjne. Składa się ono z dwóch obwodów wyzwalających. Spełnienie warunku określonego dla pierwszego z nich uzbraja oscyloskop oraz przygotowuje drugi układ wyzwalający. Po zadanym opóźnieniu (odmierzonym w jednostkach czasu lub liczbą wystąpień zdefiniowanego zdarzenia), drugi z obwodów wyzwalają oscyloskop. Umożliwia to określenie tak złożonych warunków wyzwalania, jak np. wyzwalenie i zarejestrowanie sygnału po tym, jak upłynie zadany czas od wystąpienia określonej liczby impulsów. Impulsy te z kolei mogą być odliczane po tym, jak w innym sygnale wystąpiło jakieś predefiniowane zdarzenie, np. jego wartość przekroczyła określony poziom. Użyteczność wyzwalania tego typu docenia się zwłaszcza podczas pomiarów w urządzeniach cyfrowych.

Najbardziej zaawansowanym obwodem wyzwalania tego typu jest wyzwalanie Pinpoint stosowane w przyrządach firmy Tektronix. Składa się ono z dwóch identycznych obwodów wyposażonych w tak samo bogaty zestaw definicji zdarzeń wyzwalających. Wprowadzona też została zdolność kasowania sekwencji w określonych warunkach. Dzięki temu możliwości opisu momentu wyzwalenia są ogromne. Myślę, że warto odnotować na marginesie następującą ciekawostkę: na początku lat siedemdziesiątych stopień technologicznego zaawansowania oscyloskopów analogowych serii 7000 reklamowany był przez Tektronix stwierdzeniem, że zastosowano układy scalone zawierające ponad 1440 emiterów. Obecnie, gdy wyzwalanie Pinpoint stosowane jest m.in. w oscyloskopach cyfrowych TDS7000, reklama głosi, że oferuje ono ponad 1440 kombinacji opisu zdarzeń wyzwalających.

Przykład zastosowania wyzwalania Pinpoint widoczny jest na rys. 21. Zadana sekwencja wyzwalająca obejmuje tu przekroczenie przez sygnał w kanale 1 poziomu 24 mV (zbrocze narastające) i odliczeniu 3 impulsów przecinających poziom -308 mV. Oczywiście sygnał zostanie zarejestrowany tylko wówczas, gdy nie będzie spełniony warunek zerowania sekwencji.

Andrzej Kamieniecki, Tespoł