

Oscyloskop MDO4054-3

Połączenie dziedzin

Niewątpliwie do najbardziej zaawansowanych przyrządów pomiarowych należą oscyloskopy cyfrowe. Ich pasma analogowe są mierzone w dziesiątkach GHz, a częstotliwości próbkowania nawet w setkach GSa/s. Ponadto, do pomiarów widma są stosowane przeznaczone specjalnie do tego celu analizatory. Oba typy przyrządów stanowią nieodzowne wyposażenie laboratoriów zajmujących się pomiarami telekomunikacyjnymi i badaniami EMC. Organizację takich stanowisk pomiarowych można jednak usprawnić, m.in. dzięki innowacyjnym rozwiązaniom wprowadzonym przez Tektroniksa.

„Dwa w jednym”, to obecnie często stosowany slogan reklamowy, który zaistniał kilka lat temu, bodajże podczas kampanii promocyjnej jednego z szamponów. Łączenie funkcji kilku wyrobów w jednym jest często stosowanym zabiegiem, niezależnie od charakteru i przeznaczenia produktu końcowego. Przykładem są telefony komórkowe, które dawno już przestały być tylko telefonami. Multiplikacja funkcji nie zawsze jednak wynika wyłącznie z chęci uatrakcyjnienia wyrobu w celu podniesienia wyników sprzedaży. Czasami jest to odpowiedź na autentyczne potrzeby użytkowników. Nie zawsze jednak, szczególnie w przypadku skomplikowanej aparatury elektronicznej, realizacja takiego zamysłu jest łatwa, a nawet możliwa. Nie oznacza to, że nie warto podejmować odpowiednich prób. Idee

Dodatkowe informacje:

Redakcja Elektroniki Praktycznej dziękuje firmie **Tespol Sp. z o.o.**, ul. Klecińska 125, 54-413 Wrocław, tel. 71 783 63 60, faks 71 783 63 61, www.tespol.com.pl za udostępnienie oscyloskopu Tektronix MDO4054 do testów.

taką wcieliła ostatnio w życie firma Tektronix, opracowując nową rodzinę oscyloskopów, której ze względu na specyficzne właściwości nadano nazwę MDO – Mixed Domain Oscilloscopes.

MDO – pomiary w dziedzinie czasu i częstotliwości

Nowa rodzina oscyloskopów firmy Tektronix opatrzona akronimem MDO stanowi połączenie dobrze znanych oscyloskopów MSO (Mixed Signal Oscilloscopes) i analizatorów widma. Oznacza to, że jednym przyrządem można teraz mierzyć sygnały analogowe i cyfrowe w dziedzinie czasu, a także sygnały RF w dziedzinie częstotliwości. Nowy oscyloskop ma przy tym własność DPO (Digital Phosphor), a więc oscylogramy tworzone na jego wyświetlaczu LCD, dzięki dynamicznie zmienianym poziomom intensywności, przypominają te, które były wyświetlane na lampach CRT. Intensywność świecenia niesie dodatkową informację o charakterze badanego przebiegu. Jest to swego rodzaju trzeci wymiar, którego często brakuje użytkownikom niektórych oscyloskopów cyfrowych.

W redakcji EP mieliśmy możliwość testowania jednego z najnowszych wyrobów Tektronixa, oscyloskopu MDO4054-3. Jest to przyrząd dysponujący czterema kanałami analogowymi o paśmie 500 MHz i częstotliwości próbkowania 2,5 GSa/s, 16 kanałami cyfrowymi wyposażonymi w bardzo szybki układ akwizycji, pracujący z rozdzielczością czasową 60,6 ps oraz jednym kanałem RF pracującym w paśmie od 50 kHz do 3 GHz. Wejścia oscyloskopu są przystosowane do współpracy ze standardowymi, pa-

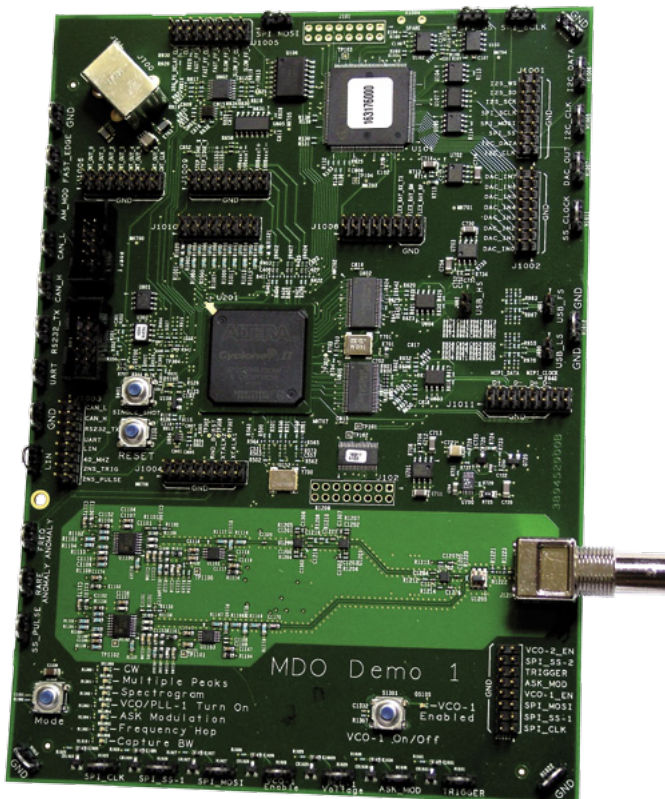


Fotografia 1. Wtyk sondy logicznej

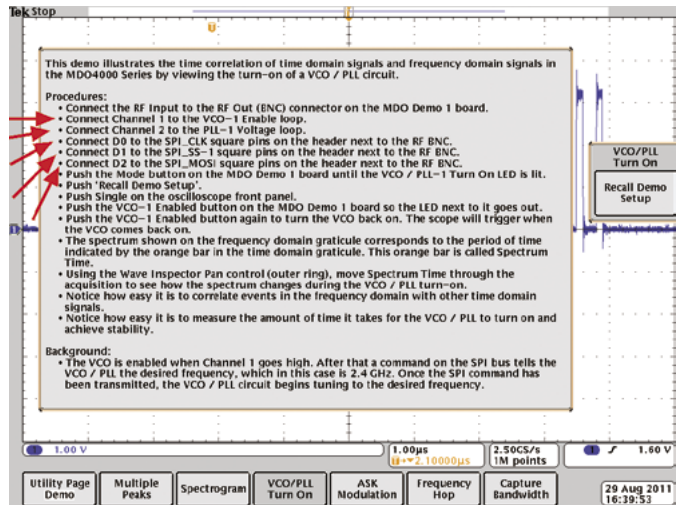
swynymi sondami pomiarowymi Tektronixa, np. TPP0500, pracującymi w paśmie 500 lub 1000 MHz. Mają one specjalny interfejs firmowy TekVPI (*Tektronix Versatile Probe Interface*), dzięki któremu są dołączane bezpośrednio do gniazd oscyloskopu. Konstrukcja sondy tego typu umożliwia po uruchomieniu odpowiedniej procedury kalibracyjnej przeprowadzenie programowej kompensacji. Jako wejście RF zastosowano gniazdo typu *N-connector*, do którego można w razie konieczności dołączać adapter BNC. Sondy kanałów cyfrowych zorganizowanych w dwie 8-bitowe magistrale są dołączane jednym, zintegrowanym wtykiem P6616 (fotografia 1). Z bogatej oferty Tektronixa można wybrać najbardziej odpowiedni rodzaj końcówek przewodów pomiarowych. Wśród nich na uwagę zasługują specjalne igły pomiarowe mające teleskopowe zakończenia. Dzięki zastosowaniu rozwiązania mechanicznego, końcówka taka zapewnia dobry kontakt elektryczny z wyprowadzeniami subminiaturowych układów, jednocześnie zapewniając wystarczającą siłę nacisku.

MDO Demo 1 – poznajemy oscyloskop MDO4054-3

Oscyloskop klasy MDO4054-3 jest na tyle skomplikowanym przyrządem pomiarowym, że wymaga pewnego czasu do nauczenia się obsługi wszystkich jego funkcji. W wielu wypadkach niezastąpiony staje się przycisk *Autoset*, pomagający w miarę optymalnie dobrać nastawy przyrządu. Nie rozwiązuje on jednak wszystkich problemów, szczególnie dotyczących zrozumienia zasady wybranego pomiaru. Aby ułatwić użytkownikom naukę obsługi oscyloskopu, Tektronix oferuje specjalną, bardzo zresztą zaawansowaną technicznie i systematycznie rozwijaną wraz z kolejnymi modelami oscyloskopów płytkę demonstracyjną MDO Demo 1 (fotografia 2). Zawarto na niej szereg przebiegów przykładowych, wyprowadzonych na wyodrębnione końcówki pomiarowe. Możliwość komunikowania



Fotografia 2. Płytkę demonstracyjną MDO Demo 1



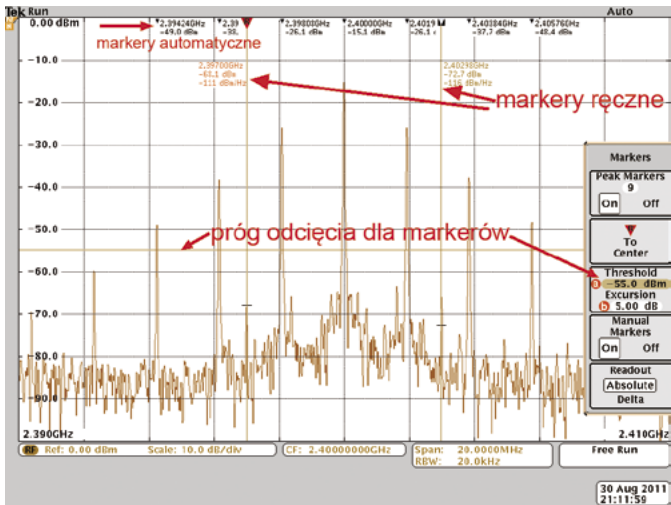
Rysunek 3. Instrukcja wyświetlana przed uruchomieniem procedury demonstracyjnej

się sterownika płytki z oscyloskopem przez port USB pozwala także na wykonanie kilku eksperymentów z wykorzystaniem zaszytych w oprogramowaniu firmowym procedur demonstracyjnych. Posłużą one również do opisu oscyloskopu, gdyż bardzo dobrze prezentują jego możliwości.

Zaczynamy od pomiarów RF, gdyż to one właśnie decydują o zalecanych konstrukcjach oscyloskopów Tektronixa. Przed pomiarami należy zastawić układ pomiarowy, co w wypadku płytki *MDO Demo 1* nie jest zadaniem specjalnie trudnym. Wystarczy połączyć wyjście RF płytki w wejściu RF oscyloskopu oraz zapewnić wzajemną komunikację, łącząc oba urządzenia kablem USB, konieczność z zastosowaniem dwóch wtyków USB, co wynika z dużego poboru prądu przez płytkę. Aby zainicjować procedurę demonstracyjną należy nacisnąć przycisk *Utility* i wybrać opcję *Demo*. W dolnej części ekranu zostają wyświetlone nazwy sześciu pomiarów demonstracyjnych, które można przeprowadzić z użyciem płytki *MDO Demo 1*. Są one wybierane odpowiednimi przyciskami funkcyjnymi znajdującymi się pod ekranem, i uruchamiane przyciskiem *Recall Demo Setup*. Wcześniej należy jeszcze wybrać sygnał RF generowany specjalnie dla danego rodzaju pomiaru. Służy do tego przycisk *Mode* umiejscowiony w jednym z narożników płytki demonstracyjnej. Przeprowadzenie niektórych eksperymentów wiąże się z koniecznością wykonania kilku dodatkowych połączeń. Użytkownik jest o tym informowany stosownym komunikatem po uruchomieniu procedury pomiarowej w oscyloskopie (rysunek 3).

„Multiple Peaks”. Naciśnięcie przycisku *Recall Demo Setup* powoduje skonfigurowanie płytki demonstracyjnej oraz dobranie optymalnych nastaw oscyloskopu dla danego rodzaju pomiaru. W eksperymencie „Multiple peaks” na wyjściu RF jest generowany przebieg wysokiej częstotliwości, w którego widmie można zaobserwować kilka prążków symetrycznie rozłożonych wokół częstotliwości 2,4 GHz (rysunek 4). Po rozpoczęciu pomiaru oscyloskop jest automatycznie przełączany całkowicie w tryb analizatora widma. Ręczne załączanie i wyłączenie sekcji RF jest jednak możliwe w każdej chwili po naciśnięciu przycisku *RF* na płycie czołowej przyrządu. Pod ekranem ukazują się wówczas dodatkowe opcje związane z pomiarami w trybie analizatora widma. Na zrzucie ekranowym z rysunku 4 widoczne są markery ustawiane automatycznie nad wykrytymi pikami widma. Piki te muszą mieć jednak wysokość wyższą od ustawionej wartości progowej. Możliwe jest ponadto umieszczenie dwóch kursorów ekranowych przestawianych ręcznie przez użytkownika.

„Spectrogram”. W tym eksperymencie jest demonstrowana spotykana w każdym analizatorze widma funkcja tworzenia spektrogramów. Sygnał RF generowany na płytce demonstracyjnej zawiera kilka składowych o częstotliwościach rozłożonych symetrycznie wokół częstotliwości 2,4 GHz. Z kolei składowe te są synchronicznie odstranjane w górę i w dół, co można doskonale zaobserwować na spektrogramie. Na rysunku 5 przedstawiono 3 zrzuty ekranowe wykonane w różnych fazach tworzenia wykresu. Im częściej w czasie takiego pomiaru jest rejestrowana dana

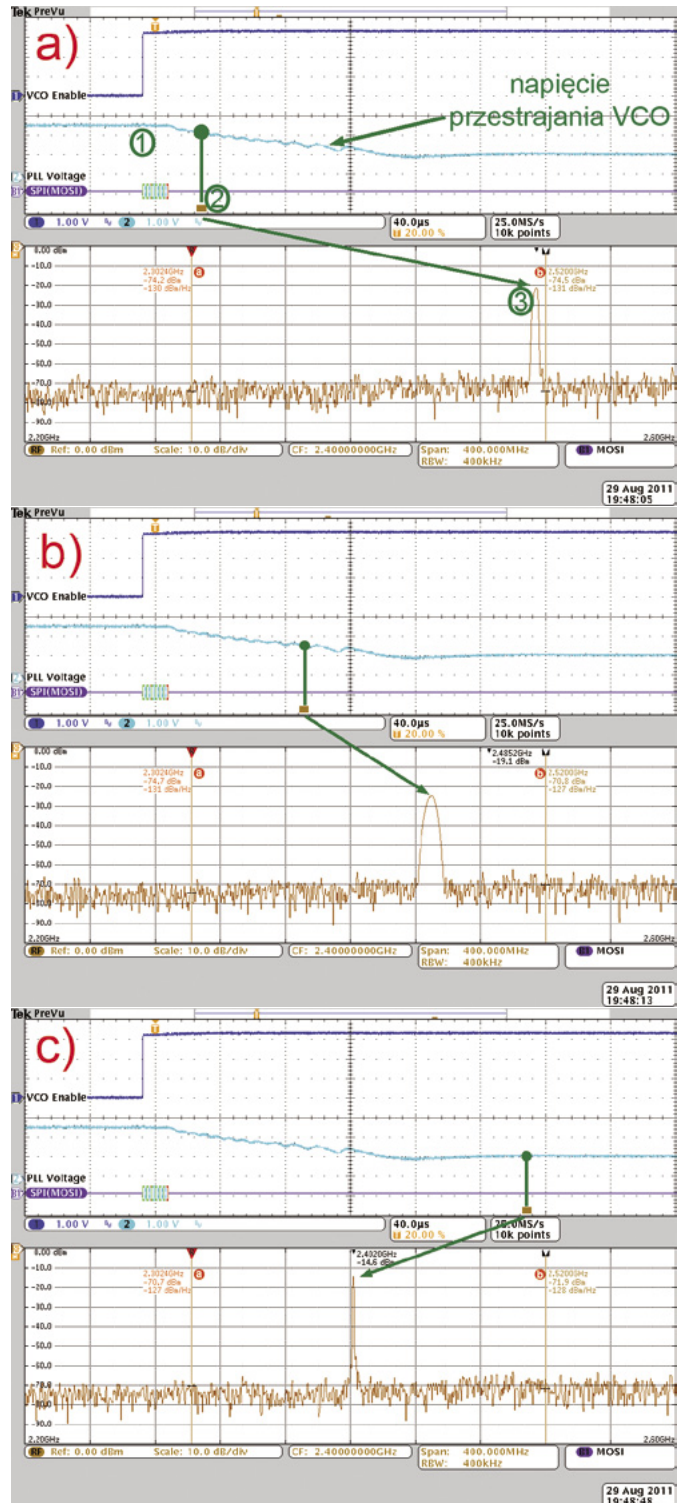


Rysunek 4. Widmo uzyskiwane w eksperymencie „Multiple Peaks”

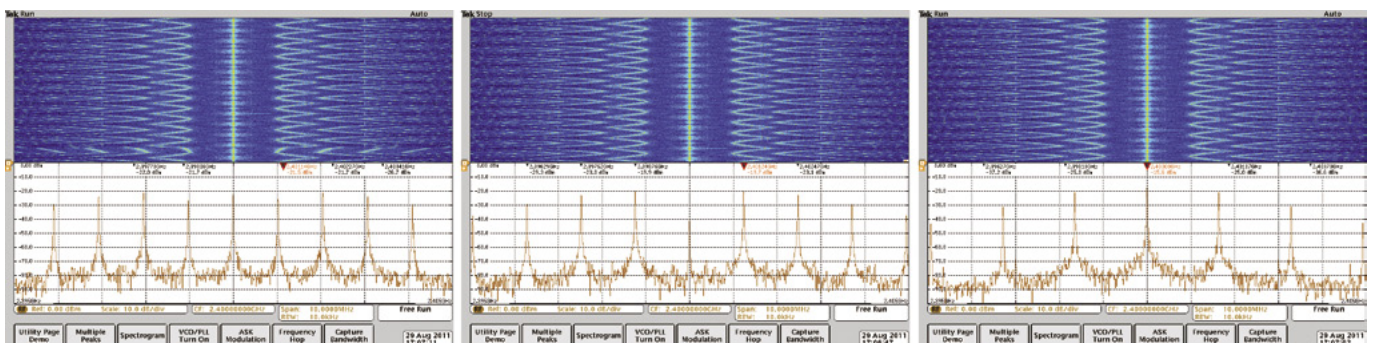
częstotliwość, tym jaśniej jest rysowany odpowiadający jej punkt. Ze spektrogramu z rysunku 5 wyraźnie można wywnioskować, że częstotliwość środkowa prawie nie ulegała zmianie, widoczny jest również charakter odstrajania prążków bocznych.

„VCO/PLL Turn On”. To może mało efektywny wizualnie pomiar, ale doskonale pokazujący zalety oscyloskopu MDO. W tym trybie przyrząd mierzy zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości. Możliwe jest przy tym obserwowanie wzajemnych relacji pomiędzy tymi pomiarami. Przed rozpoczęciem eksperymentu należy wykonać kilka dodatkowych połączeń. Są one potrzebne do prawidłowej korelacji poszczególnych zdarzeń. Zasada eksperymentu jest prosta. Użytkownik przełącza ręcznie specjalnym przyciskiem generator VCO/PLL wytwarzający przebieg RF. Na wykresie czasowym, wyświetlanym równocześnie z widmem częstotliwościowym, można wyraźnie zaobserwować moment przełączenia generatora (punkt 1 na wykresie z **rysunku 6a**). Warunkiem jest jednak jednorazowe wyzwolenie podstawy czasu. Następnie pokręćłem *Wave Inspector*, realizującym opatentowaną przez Tektronixa funkcję lupy czasowej, znajdującym się na panelu czołowym oscyloskopu, należy ustawić podgląd w pozycji odpowiadającej na przykład punktowi 2 na rysunku 6a. Wykres widma zostanie skorelowany ze wskazaną chwilą czasową, i w efekcie obserwujemy prążek (pkt. 3) odpowiadający częstotliwości generowanej przez układ VCO/PLL strojony napięciem występującym w tym samym momencie na wejściu sterującym. Na rysunkach 6b i 6c przedstawiono te same zależności dla innych chwil.

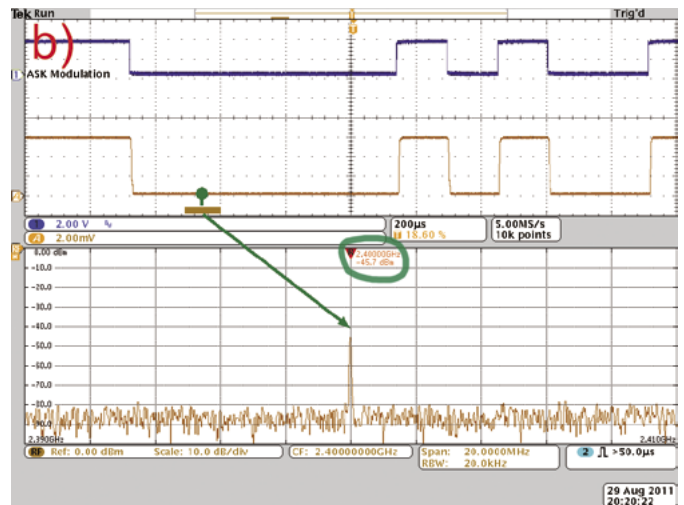
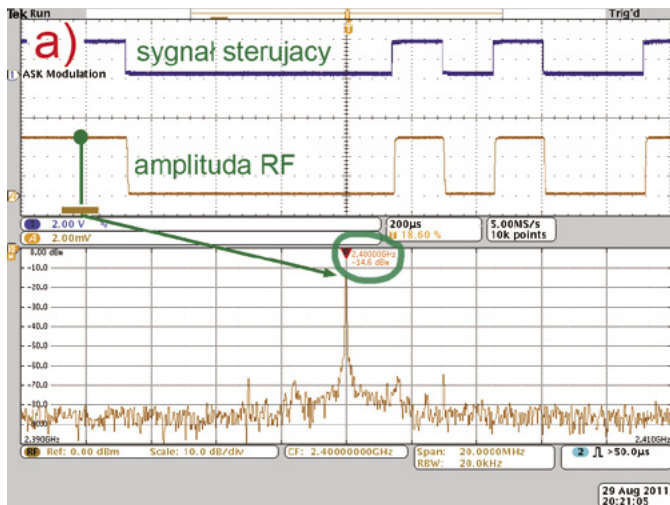
„ASK Modulation”. To prosty eksperyment demonstrujący możliwość dokonywania jednoczesnego pomiaru widma sygnału RF, obserwowania zmian poziomu tego sygnału w czasie i skorelowanych z tymi zdarzeniami sygnałów analogowych. Wykorzystano do tego celu prosty modulator ASK, który z zasady działania zmienia poziom sygnału RF w zależności od cyfrowego sygnału sterującego. Na ekranie można włączyć wykres zmian poziomu sygnału RF w funkcji czasu. Na **rysunku 7** jest to oscylogram znajdujący się nad wykresem widma, opatrzony znacznikiem w postaci



Rysunek 6. Obserwacja współzależności między oscylogramami stworzonymi w dziedzinie czasu i częstotliwości (opis w tekście)



Rysunek 5. Trzy przechwyte losowo fazy tworzenia spektrogramu



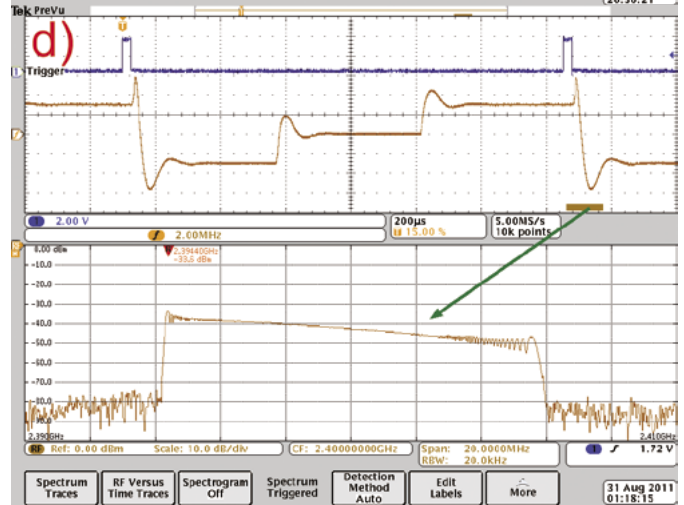
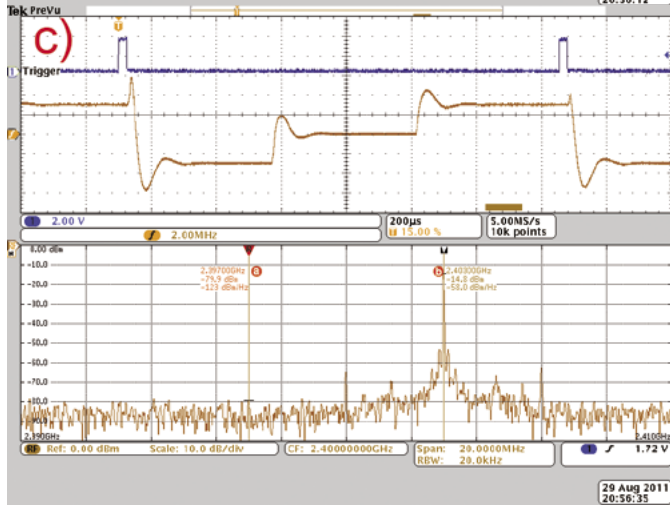
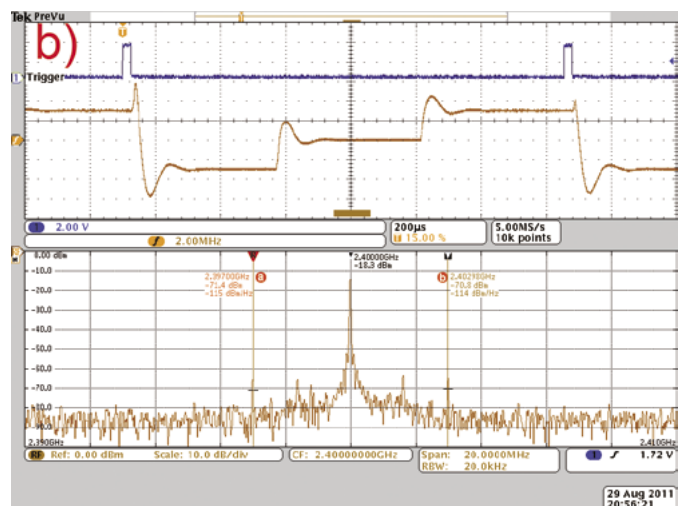
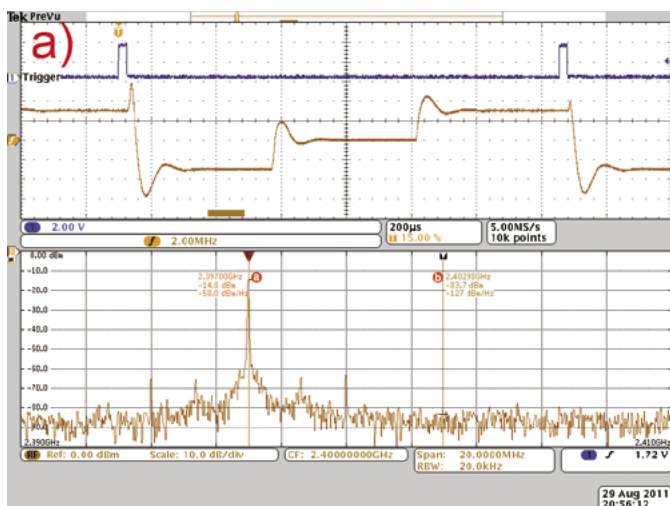
Rysunek 7. Obserwacja zmian amplitudy przebiegu RF w funkcji czasu z jednoczesnym podglądem widma

stylizowanej literki A. Należy przy tym dodać, że w analogiczny sposób można również włączyć wykresy zmian częstotliwości i fazy sygnału RF. Odpowiednio ustawiając pokrętkę *Wave Inspector* można obserwować zmiany wysokości prążka nośnej w widmie. Wyraźnie przy tym nie przesuwają się on w osi częstotliwości, co wynika z zasady działania modulacji ASK. Na rysunku 7a i 7b przedstawiono dwa zrzuty ekranowe dla charakterystycznych momentów tego pomiaru.

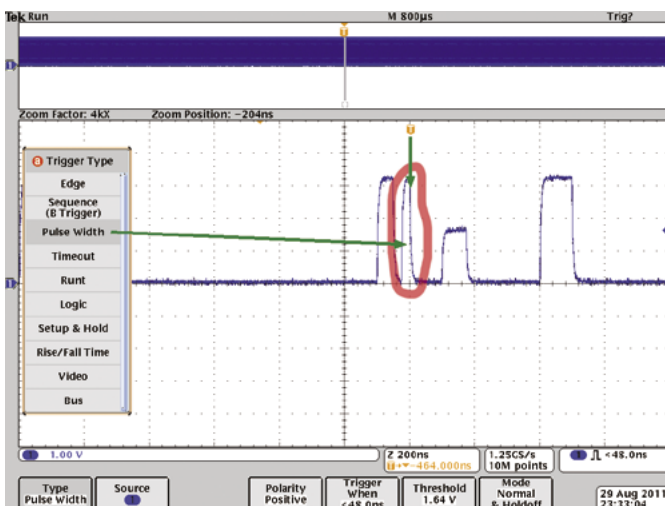
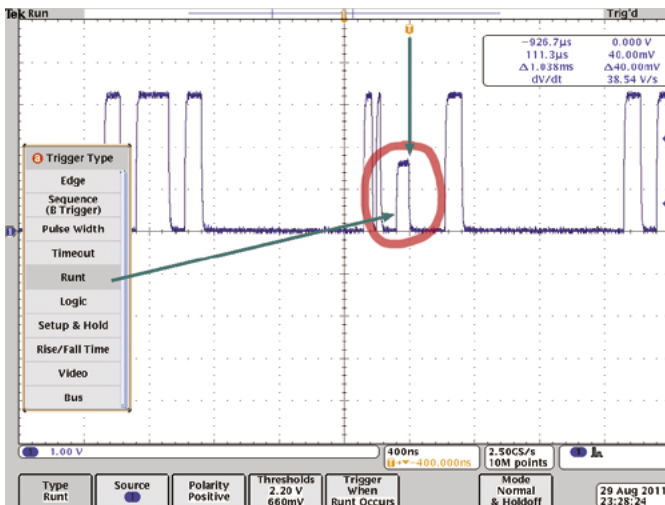
„Frequency Hop”. Ten eksperyment jest podobny do przedstawionego wcześniej pomiaru z wykorzystaniem układu VCO/PLL. Różni się jednak skokową, nie płynną zmianą częstotliwości nośnej (3 wartości). Ma to swoje odbicie w widmie, szczególnie w momentach przełączania genera-

tora. Na rysunku 8a, b, c przedstawiono wykresy dla stanów ustalonych, natomiast na wykresie z rysunku 8d widoczne jest znaczne rozszerzenie widma w chwili przełączania generatora. Jednocześnie, na ekranie można obserwować zależność zmian częstotliwości RF w funkcji czasu. Widoczne są na tym wykresie wyraźne wahnięcia częstotliwości w momentach przełączania.

„Capture Bandwidth” to pomiar, który nie wnosi wiele nowego dla rozszerzenia wiedzy o możliwościach oscyloskopu MDO4054-3. Demonstruje po raz kolejny, w jaki sposób można łączyć pomiary w dziedzinie czasu i częstotliwości, podkreślając przy tym dość osobliwą cechę przyrządu, jaką jest obserwowanie szerokopasmowego sygnału z ustawio-



Rysunek 8. Obserwacja zmian częstotliwości przebiegu RF w funkcji czasu z jednoczesnym podglądem widma



Rysunek 9. Wyzwalanie „trudnych” przebiegów w trybie a) *Runt*, b) *Pulse Width*

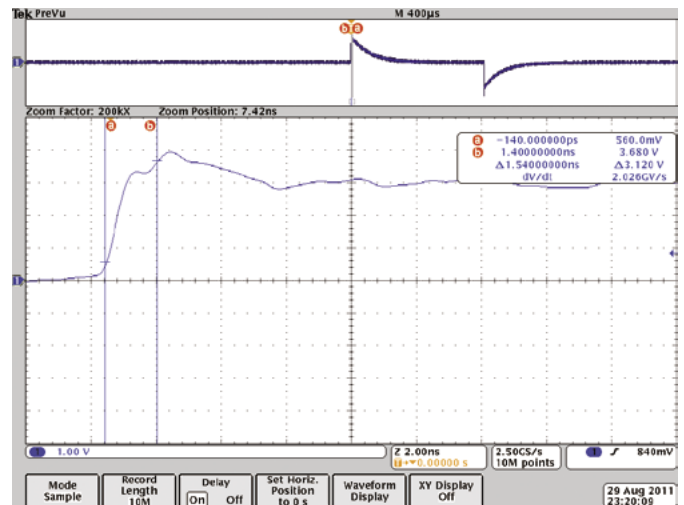
nym wąskim pasmem przechwytywania. W tym przypadku zakres skanowania częstotliwości (*Span*) jest równy 3 GHz przy paśmie przechwytywania równym 10 MHz. Generator na płytce demonstracyjnej pod wpływem impulsu sterującego przełącza cyklicznie częstotliwości nośnej pomiędzy 900 MHz a 2,4 GHz.

Oscyloskop MDO4054-3 jako... oscyloskop

Oprócz opisanych wyżej sygnałów RF, na płytce MDO Demo 1 zawarto też kilka przykładowych przebiegów demonstrujących możliwości oscyloskopu MDO4054-3. Trzeba pamiętać, że jest to jednak podstawowa funkcja tego przyrządu.

Ze względu na cechy użytkowe i parametry techniczne oscyloskopu MDO4054-3, można go zakwalifikować do urządzeń najbardziej zaawansowanych. Bogaty zestaw opcji układu wyzwalania pozwala wykrywać artefakty przebiegów trudne do wychwycenia popularnymi oscyloskopami cyfrowymi. Opcje te przedstawiono na **rysunku 9**. Na rysunku 9a widoczny jest efekt działania wyzwalania zakłóceniem typu *runt*. W generowanym ciągu impulsów losowo pojawia się impuls o zmniejszonej amplitudzie. Po odpowiednio zdefiniowanych wartościach progowych i zadbaniu o to, by układ akwizycji pracował w trybie *Normal*, zatrzymanie takiej sytuacji jest banalnie proste. Na podobnej zasadzie przechwycono impuls, którego szerokość jest mniejsza od oczekiwanej. Wykorzystano do tego opcję *Pulse Width* po wcześniejszym zdefiniowaniu tego parametru. Należy przy tym zaznaczyć, że szerokość impulsu w badanym przypadku była równa zaledwie 26 ns.

O możliwościach pomiaru oscyloskopem MDO4054-3 impulsów charakteryzujących się bardzo stromymi zboczami można się przekonać obserwując przykładowy impuls wyprowadzony na jeden z pinów płytki



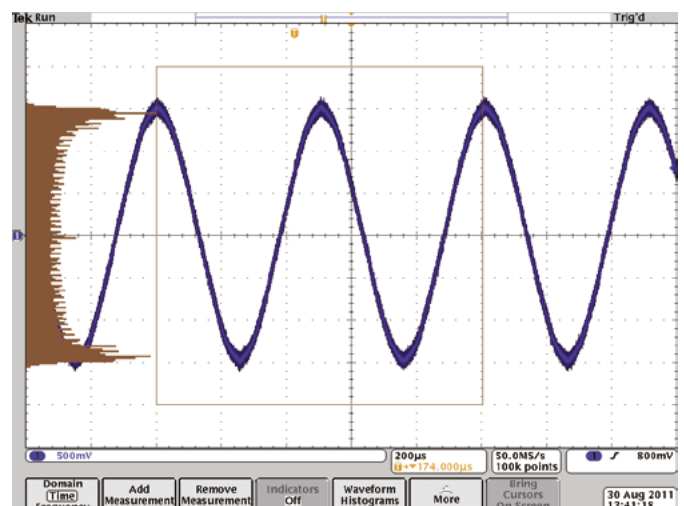
Rysunek 10. Pomiar impulsu o bardzo krótkim czasie narastania (ok. 1,5 ns)

MDO Demo 1. Czas narastania jest rzędu 1,5 ns, co można zaobserwować na oscylogramie z **rysunku 10**.

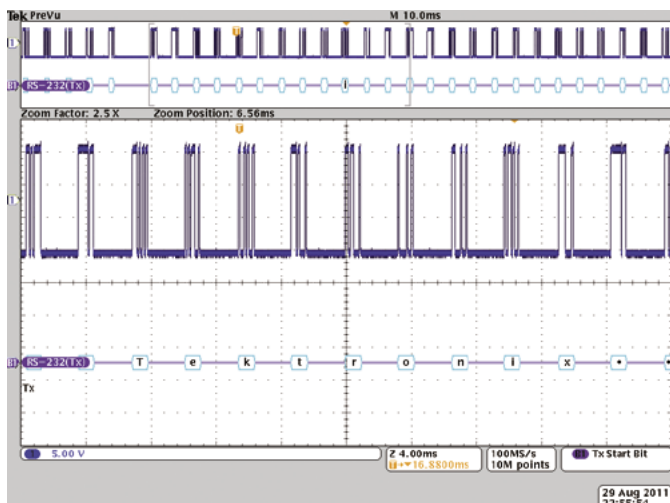
Oscyloskop MDO4054-3 wykonuje większość pomiarów, jakie spotykamy w podobnych przyrządach. Należą do nich: obliczenia matematyczne z możliwością wpisywania własnych formuł zawierających złożone operacje i funkcje matematyczne, FFT, obliczenia statystyczne (tworzenie histogramów – **rysunek 11**), analiza protokołów komunikacyjnych. Na **rysunku 12** przedstawiono zdekodowany komunikat wysłany interfejsem RS232. Po włączeniu interpretacji odebranych danych jako ciągu znaków ASCII można przekonać się, że przesłano m.in. słowo „Tektronix”. Na podobnej zasadzie, również przy wykorzystaniu kanałów cyfrowych, można analizować protokoły I²C, ISP, CAN, LIN, FlexRay, Audio, USB, Ethernet, MIL-STD-1553.

Mocną stroną oscyloskopu MDO4054-3 jest wspomniana już wcześniej lupa czasowa z pokrętelem *Wave Inspector*. Przy pracy z rekordem o długości 20 Mpróbek narzędzie to daje spore możliwości powiększania przechwyconych przebiegów. Prędkość przeglądania okna *Zoom* jest proporcjonalna do wychylenia większego pierścienia *Wave Inspector*, przy tym zachowana jest duża precyzja, nawet dla największych powiększeń. Charakterystyczne punkty oscylogramu mogą być zaznaczone specjalnymi markerami, co stwarza później możliwość szybkiego przeskakiwania pomiędzy nimi.

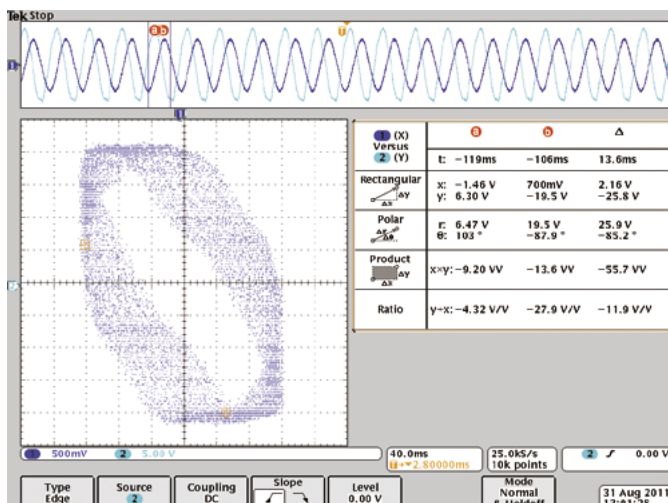
Część parametrów pracy oscyloskopu wymaga wprowadzenia pewnych wartości liczbowych. Można to wykonać przy użyciu przeznaczonych do tego pokręteł, jeśli jednak sytuacja wymaga „przekręcenia” liczby



Rysunek 11. Histogram wartości chwilowych przebiegu analogowego



Rysunek 12. Odczytanie komunikatu przesyłanego interfejsem RS232 przy zastosowaniu funkcji analizatora protokołów



Rysunek 13. Oscylogram wykonany w trybie XY

Tabela 1. Najważniejsze parametry techniczne oscyloskopu MDO4054-3

Liczba kanałów	4 analogowe 16 cyfrowych 1 RF
Impedancja	Kanały analogowe: 1 MΩ/50 Ω, 13 pF Kanały cyfrowe: 100 kΩ/3 pF
Pasma analogowe oscyloskopu	500 MHz
Zakres częstotliwości sygnału RF	50 kHz...3 GHz
Częstotliwość próbkowania	2,5 GSa/s w każdym kanale
Długość rekordu	max 20 Mpróbk w każdym kanale (1000, 10 k, 100 k, 1 M, 10 M, 20 M)
Ograniczenie pasma	Bez ograniczenia, 20 MHz lub 250 MHz
Szybkość odświeżania ekranu	>50000 przebiegów/s
Tryby pracy układu akwizycji	Sample, Peak Detect, Hi Res, Envelope, Average
Tryby wyzwalania	Edge, Sequence (B Trigger), Pulse Width, Timeout, Runt, Logic, Setup&Hold, Rise/Fall Time, Video, Bus
Pomiary automatyczne (w zakresie pełnego rekordu, ekranu, pomiędzy kursorami)	Frequency, Period, Rise Time, Fall Time, Delay, Phase, Positive Pulse Width, Negative Pulse Width, Positive Duty Cycle, Negative Duty Cycle, Burst Width, Peak-to-Peak, Amplitude, Max, Min, Low, Positive Overshoot, Negative Overshoot, Mean, Cycle Mean, Cycle RMS, Positive Pulse Count, Negative Pulse Count, Rising Edge Count, Falling Edge Count, Area, Cycle Area, Histogram
Liczba przebiegów referencyjnych	4
Zapis w zewnętrznej pamięci Flash	Zrzuty ekranowe, przebiegi, nastawy
Gniazda dodatkowe	Auxiliary Output, EXT REF IN, XGA Out, LAN (Ethernet), Device (USB 2.0 High speed), Host (USB 2.0 high speed)
Czas osiągnięcia gotowości do pracy po włączeniu	1 min 21 s
Napięcie zasilania	110...240 V/50...60 Hz 115 V/400 Hz
Pobór mocy	225 W
Masa	5 kg
Wymiary	229×439×147 mm

o kilka rzędów wielkości, to zadanie takie może okazać się dość uciążliwe. Spotykane są wprawdzie rozwiązania z dynamicznie zmieniającymi przyrostami liczby, ale w oscyloskopie MDO4054-3 wybrano znacznie wygodniejszy sposób. Dowolną liczbę można najszybciej wprowadzić wykorzystując klawiaturę dostępną na panelu czołowym. Po nastawieniu potrzebnej wartości wybiera się jednostkę, np.: ns, μs, ms, s, itp., co rozwiązuje problem przechodzenia z małych liczb do wielkich.

W pomiarach oscyloskopowych bardzo przydatne są kursory ekranowe. W opisywanym oscyloskopie dostępne są dwa kursory pionowe lub poziome, które mogą być „przyklejone” (ale nie muszą) do przebiegu. Są one obsługiwane dwoma niezależnymi pokrętkami. Niestety przełączanie regulacji nie jest wygodne, gdyż odbywa się tylko poprzez menu uruchamiane po dłuższym przytrzymaniu przycisku *Cursor*. Szkoda też, że odległość między pionowymi kursorami nie jest podawana jednocześnie w jednostkach czasu i odpowiadającej jej częstotliwości. To spora niewygodność podczas pomiarów. Aby przeliczyć czas na częstotliwość trzeba przechodzić przez menu kursorów. Innym rozwiązaniem jest włączenie odpowiedniego pomiaru automatycznego, ale to tylko półśrodek. Za to w trybie XY, po włączeniu kursorów są podawane automatycznie wyliczane parametry związane z przebiegami (rysunek 13).

Swego rodzaju funkcją dodatkową oscyloskopu MDO4054-3 jest analiza jakości mocy uruchamiana przyciskiem *Test*. Kolejne opcje inicjują takie pomiary jak: kompleksowa ocena jakości mocy (wartości napięć, prądów, wszystkich rodzajów mocy, współczynniki kształtu, przesunięcia fazyowe), detekcja zaników zasilania, harmoniczne, tętnienia, modulacja, obszar bezpiecznej pracy. Do przeprowadzenia takich pomiarów potrzebna jest zarówno informacja o napięciu, jak i o prądzie. Należy więc zadbać o doprowadzenie odpowiednio przetworzonych sygnałów. Najważniejsze parametry oscyloskopu MDO4054-3 zestawiono w tabeli 1.

Świetlana przyszłość

Oscyloskopy rodziny MDO4000 wprowadzają nową jakość w dziedzinie pomiarów RF. Blok analizatora widma na razie prawdopodobnie nie zaspokoi wszystkich wymagań inżynierów zajmujących się pomiarami radiowymi. Liczba dostępnych, zaawansowanych funkcji pomiarowych jest wyraźnie mniejsza niż w typowych analizatorach widma, ale też przyjęte rozwiązania należy traktować prawdopodobnie jako innowacyjne, z nadzieją na dalszy ich rozwój. Interesująca będzie odpowiedź firm konkurencyjnych. Ciekawe czy pomysł połączenia analizatora widma i wysokiej klasy oscyloskopu znajdzie uznanie i będzie kopiowany przez innych producentów? Niewątpliwą zaletą takiego połączenia jest możliwość obserwacji wzajemnych zależności pomiędzy zdarzeniami rejestrowanymi w dziedzinie czasu i częstotliwości.

Jarosław Doliński, EP
jaroslaw.dolinski@ep.com.pl