

Oscyloskop USB TiePie HS5

Pomiary z rozdzielczością 12, 14, a nawet 16 bitów

Oscyloskopy USB TiePie odznaczają się licznymi cechami spośród wielu podobnych urządzeń innych producentów.

Ich największą zaletą jest precyzja i stabilność parametrów.

Oprogramowanie przeznaczone dla urządzeń TiePie jest przystosowane do budowania stanowisk pomiarowych o możliwościach trudnych do uzyskania innymi metodami.

Mimo kolosalnego postępu w produkcji stacjonarnych oscyloskopów cyfrowych, nie słabnie zainteresowanie przyrządami USB. Znaczna część pomysłów implementowanych w urządzeniach desktop jest przenoszona do tzw. przystawek. Jest tak na przykład z generatorami arbitralnymi integrowanymi z oscyloskopami, ale „małe” oscyloskopy coraz częściej dorównują „dużym” także parametrami technicznymi. Jednym z najnowszych urządzeń holenderskiej firmy TiePie, znanej czytelnikom EP ze znakomitych przyrządów pomiarowych przedstawianych już wielokrotnie na naszych łamach, jest oscyloskop USB – HS5. Hasło reklamowe producenta głosi, że jest to najlepszy przyrząd tego typu na świecie i w tym wypadku nie jest ono dalekie od prawdy. Podstawowe parametry oscyloskopu HS5 przedstawiono w **tabeli 1**. Oferowane są cztery wersje różniące się częstotliwością próbkowania i parametrami zintegrowanego generatora arbitralnego. W redakcji był testowany model HS5-530XM, a więc najsilniejszy w rodzinie.

Liczy się precyzja

Większość przyrządów TiePie znajduje zastosowanie w nietypowych pomiarach wymagających dużo większej precyzji, niż zapewniają to typowe oscyloskopy stacjonarne. W oscyloskopie HS5 zastosowano przetwornik, który przy prędkości próbkowania 500 MSa/s pracuje w normalnym trybie z rozdzielczością 14 bitów. Rozdzielczość ta może być jednak zwiększona nawet do 16 bitów, a w innych sytuacjach zmniejszona do 12 bitów. Przypomnijmy, że większość oscyloskopów stacjonarnych ma instalowany przetwornik 8-, najwyżej 9-bitowy. Maksymalna częstotliwość mierzonego sygnału dla takiego przetwornika jest teoretycznie



równa 250 MHz i taką częstotliwość przenosi wzmacniacz w torze pomiarowym. Należy jednak mieć świadomość tego, że w skrajnym przypadku oddawana będzie poprawnie tylko częstotliwość podstawowa mierzonego przebiegu, kształt natomiast będzie całkowicie zniekształcony. Trudno bowiem spodziewać się lepszego rezultatu, jeśli na jeden okres przebiegu przypadają zaledwie dwie próbki.

Decydując się na zastosowanie przetwornika o tak wysokiej rozdzielczości konstruktorzy oscyloskopu stanęli wobec trudnego zadania, którym było opracowanie toru pomiarowego o bardzo niskich szumach. I trzeba przyznać, że cel ten został osiągnięty w stopniu nie budzącym żadnych zastrzeżeń. Na **rysunku 1** przedstawiono oscylogram wykonany ze zwartą sondą 1:1, dla zakresu pomiarowego $-1...+1$ mV. Odpowiada to czułości 250 μ V/dz.

Precyzja oscyloskopu nie ogranicza się jedynie do skali napięć. Równie istotna w wielu pomiarach jest skala czasu. W pamięci oscyloskopu może być zachowanych 64 Mpróbek

dla jednego kanału. Tak długim rekordem charakteryzują się tylko najdroższe oscyloskopy stacjonarne. Parametr ten ma szczególne znaczenie dla obliczeń transformaty Fouriera. Oscyloskop HS5 odznacza się poza tym bardzo dużą szybkością obliczeń. Zaimplementowany w nim algorytm FFT wykonuje obliczenie uwzględniające milion punktów w ciągu jednej sekundy. Analiza FFT może być bardzo dobrym narzędziem do pomiaru sygnałów o dużych częstotliwościach i bardzo małych poziomach napięć. Przykładowo, pomiar sygnału sinusoidalnego o amplitudzie 20 μ V i częstotliwości 2 MHz byłby dość trudny do wykonania przy



Rysunek 1. Szumy własne oscyloskopu HS5

Tabela 1. Podstawowe parametry techniczne oscyloskopu HS5-530XM

Oscyloskop	
Liczba kanałów pomiarowych	2
Częstotliwość próbkowania	500 MSa/s
Rozdzielczość	12, 14, 16 bitów
Maksymalna szybkość rejestracji danych w trybie streaking	20 MSa/s (12/14 bitów, jeden kanał) 10 MSa/s (12/14 bitów, dwa kanały) 6,25 MSa/s (16 bitów)
Źródło częstotliwości taktowania	TCXO
Dokładność	$\pm 0,0001\%$
Stabilność	± 1 ppm w zakresie 0...65°C
Starzenie się podstawy czasu	± 1 ppm na rok
Pamięć	32 Mpróbki (jeden kanał) 64 Mpróbki (dla CH1 przy wyłączonym CH2)
Dokładność DC	0,25% (typowo 0,1%) ± 1 LSB pełnego zakresu
Zakresy wejściowe	± 200 mV... ± 80 V
Impedancja wejściowa	1 M Ω /25 pF
Maksymalne napięcie wejściowe	200 V (DC+ACpeak<10 kHz)
Maksymalne napięcie wejściowe z sondą 1:10	600 V (DC+ACpeak<10 kHz)
3 dB pasmo analogowe	50% częstotliwości próbkowania dla 75% pełnego zakresu wejściowego
Częstotliwość 3 dB dla sprzężenia AC	$\pm 1,5$ Hz
Wyzwalanie	CH1, CH2, cyfrowe zewnętrzne, AND, OR
Tryby wyzwalania	zbroczem narastającym, zbroczem opadającym, wewnątrz okna, na zewnątrz okna
Generator arbitralny	
Typy przebiegów	sinus, prostokąt, trójkąt, szum, DC, przebieg arbitralny
Zakres częstotliwości	1 μ Hz...30 MHz
Rozdzielczość	14 bitów
Czas narastania/opadania przebiegu prostokątnego	8 ns
Jitter (RMS)	<50 ps
Pasma przebiegu szumowego	30 MHz (14 bitów)
Długość rekordu	1...256 kSa (standard) 1...64 MSa (wersja XM)
Liniiowość	<0,01%
Zakres napięć wyjściowych	-12...+12 V
Liczba paczek (burst)	1...65535
Rodzaje sygnałów w paczkach	sinus, prostokąt, trójkąt, szum, przebieg arbitralny
Inne	
Zasilanie	USB lub zewnętrzne
Napięcie zasilające/pobór prądu	5 V _{DC} /2000 mA max
Wymiary	25×170×140 mm
Ciężar	430 g
Zakres częstotliwości pracy	0...55°C

zastosowaniu nawet dobrego multimetru. Wykorzystując do tego analizę FFT dostępną w oscyloskopie zagadnienie to przestaje być problemem. Taki pomiar przedstawiono na **rysunku 2**.

Aż trudno uwierzyć

Kontynuując wątek dokładności i precyzji pomiarów należy jeszcze wspomnieć o czasie. Jakby nie było, oscyloskop dokonuje pomiarów napięcia w funkcji czasu, więc intuicyjnie wyczuwamy, że jest to bardzo ważny parametr. I znowu należą się ukłony w stronę konstruktorów oscyloskopu HS5, chociaż w tym przypadku ich zapewnienia podawane w dokumentacji nie są łatwe do zweryfikowania. Z danych technicznych wynika, że stabilność (krótkoterminowa)

podstawy czasu jest utrzymywana na poziomie 1 ppm, ale nawet roczne starzenie nie wywołuje zmian większych niż 1 ppm. Mówiąc językiem sportowym, jest to rekord świata. Wszystko dzięki niezwykle stabilnemu TCXO zastosowanemu w konstrukcji przyrządu.

Obsługa oscyloskopu przez „Multi Channel”

Konstruktorzy TiePie przyjęli bardzo trafną, jak się okazuje w praktyce, koncepcję obsługi wszystkich swoich przyrządów USB za pomocą jednego programu – „Multi Channel”. I choć użytkownik początkowo może mieć pewien problem ze zrozumieniem idei, to szybko okazuje się, że wszystko jest przemyślane do najdrobniejszych szczegółów.

Kłopotliwy może być na przykład brak typowego pokrętki podstawy czasu – decydują tu nawyki zdobyte podczas pracy z typowymi oscyloskopami. Zamiast niego nastawiane są dwa parametry odpowiadające za wygląd oscylogramu na ekranie. Są to: szybkość próbkowania i długość rekordu.

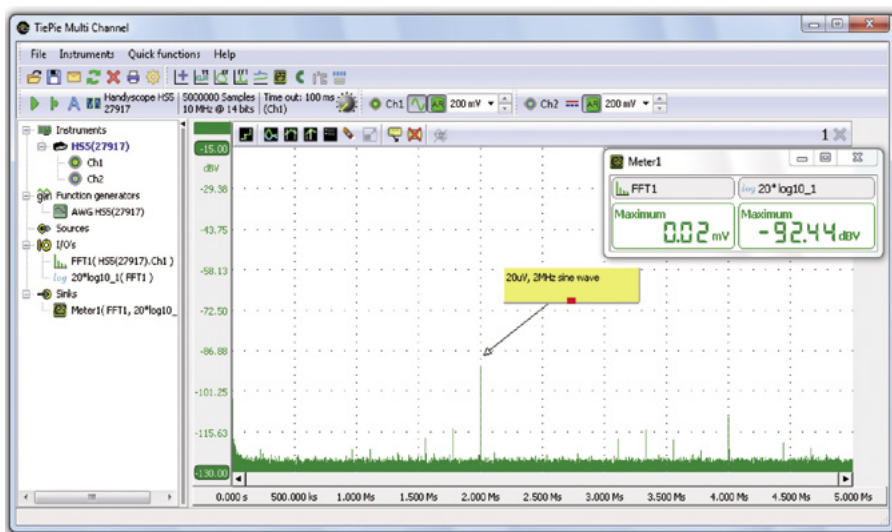
Podstawową cechą i zaletą zarazem programu „Multi Channel” jest możliwość tworzenia wieloprzyrządowego stanowiska pomiarowego, w którym wykorzystywane są nie tylko urządzenia rzeczywiste, ale też wirtualne. Użytkownik może zatem zestawiać na przykład wielokanałowy oscyloskop z generatorem arbitralnym wytwarzającym przebieg o niemal dowolnym kształcie. Słowo „wielokanałowy” należy rozumieć bardzo dosłownie. Oznacza to, że liczba kanałów zależy praktycznie wyłącznie od liczby posiadanych przystawek USB (każda z nich ma zwykle co najmniej 2 kanały). Możliwość definiowania wirtualnych bloków całkujących, różniczkujących, mnożących, dzielących, itp. jest niezastąpionym narzędziem w pracach o charakterze badawczym. Argumentami w obliczeniach matematycznych są zarówno rzeczywiste kanały pomiarowe, jak i wyniki wcześniej wykonanych obliczeń. Zdążyliśmy już przywyknąć do precyzji oscyloskopu HS5 i w tym wypadku ujawnia się ona po raz kolejny. Przykładowo, na **rysunku 3** przedstawiono przejście od sygnału rzeczywistego, przez scałkowanie go, a następnie zróżniczkowanie przebiegu scałkowanego. Jak widać, wynik końcowy takich operacji nie odbiega od oryginału.

Wszystkie składniki stanowiska pomiarowego – rzeczywiste i wirtualne – są widoczne w drzewie przyrządów widocznym w lewej części okna roboczego. Umieszczanie argumentów bloków matematycznych może być dokonywane metodą przeciągania poszczególnych pozycji powyższego drzewa, a także poprzez ręczne wpisanie odpowiedniej formuły.

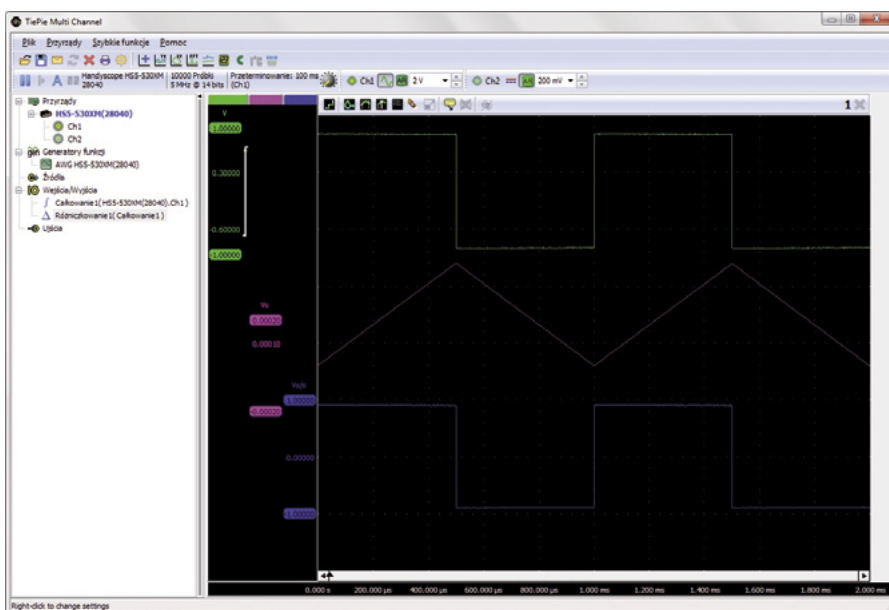
Program „Multi Channel” był już wielokrotnie opisywany w EP, do bardziej szczegółowych informacji odsyłamy więc do starszych numerów naszego miesięcznika, na przykład 11/2011.

Generator arbitralny i programowy

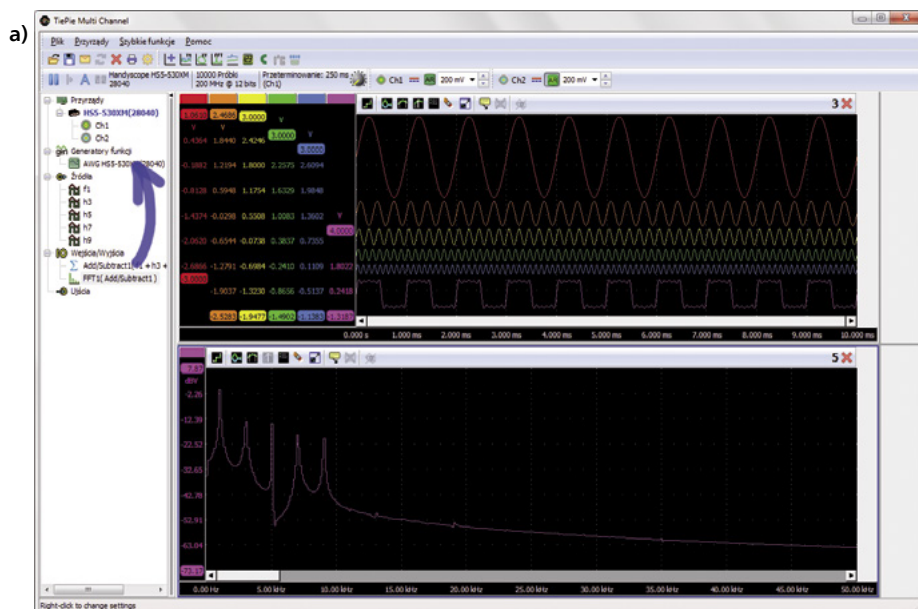
Wiemy już, że oscyloskop TiePie HS5 spełnia wymagania nowoczesnego przyrządu. Jednym z takich kryteriów jest integracja w jednej obudowie z oscyloskopem generatorem arbitralnego. W przypadku HS5 obsługiwanego przez program „Multi Channel” posunięto się nawet nieco dalej, gdyż oprócz generatora sprzętowego jest też dostępny generator programowy. Różnica polega na tym, że rzeczywisty sygnał elektryczny ze sprzętowego generatora arbitralnego jest wyprowadzony na gniazdo BNC,



Rysunek 2. Pomiar wysokoczęstotliwościowych sygnałów o bardzo małych poziomach z użyciem analizy FFT



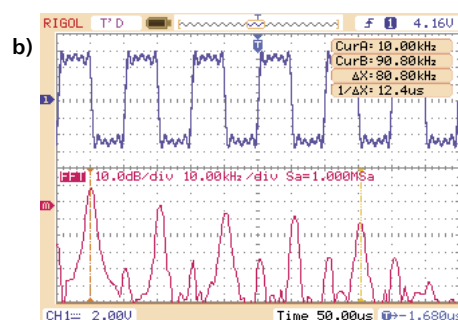
Rysunek 3. Weryfikacja dokładności obliczeń przez obliczenie funkcji odwrotnej

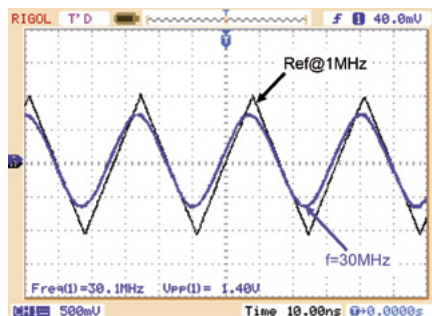


Rysunek 4. Zastosowanie źródeł wirtualnych do uzyskania sygnału rzeczywistego w generatorze arbitralnym, a) tworzenie sygnału wirtualnego i wpisanie go do generatora AWG, b) weryfikacja sygnału rzeczywistego na zewnętrznym oscyloskopie

natomiast generator programowy wytwarza wyłącznie wirtualny przebieg wykorzystywany do pewnych symulacji i operacji obliczeniowych. Nie oznacza to jednak, że eksperymenty takie zaczynają się i kończą tylko na ekranie komputera. Uzyskany na drodze czysto obliczeniowej przebieg wirtualny może być bowiem wpisany do generatora arbitralnego i w ten sposób staje się sygnałem fizycznym. Samo wpisanie przebiegu do generatora polega na zwykłym przeciągnięciu pozycji sumatora do generatora AWG (rysunek 4a). Operację taką zilustrowano eksperymentem praktycznym. Rozpoczyna go zdefiniowanie pięciu wirtualnych przebiegów sinusoidalnych pochodzących z generatorów programowych. Ich napięcia i częstotliwości odpowiadają składowej podstawowej i czterem harmonicznym przebiegu prostokątnego o wypełnieniu 50%. W kolejnym kroku zastosowano blok sumatora, na wyjściu którego powstał przebieg zbliżony do prostokątnego, bo zawierający tylko 4 harmoniczne. Wreszcie nadszedł moment najbardziej interesujący, czyli przeciągnięcie bloku sumatora do bloku generatora. W tym samym momencie przebieg wyjściowy generatora arbitralnego był oglądany na zewnętrznym oscyloskopie i jak widać na rysunku 4b jest on bardzo zbliżony do prostokąta wyliczonego.

Generator arbitralny dostępny w oscyloskopie HS5 charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami technicznymi. Sygnał jest w nim wytwarzany unikatową techniką CDS opracowaną przez TiePie. Zniekształcenia przebiegu sinusoidalnego o amplitudzie 20 V_{pp} są na poziomie zaledwie 0,008%, a częstotliwość takiego przebiegu zawiera się w przedziale od 1 μHz (okres równy ok. 11,6 dnia) do 30 MHz. Tak długi okres najwolniejszego przebiegu nie musi niepokoić z uwagi na bardzo dobrą stałość częstotliwości wzorcowej. Możliwe jest także generowanie paczek impulsów o jednym z dostępnych kształtów. Jeśli zostanie do tego wybrany przebieg standardowy (sinus, trójkąt, prostokąt), to paczka będzie się składała z jednego okresu. Jeśli jednak zostanie wybrany przebieg arbitralny, to jako paczkę należy rozumieć całą zawartość pamięci generatora.





Rysunek 5. Kształt przebiegu trójkątnego przy częstotliwości 30 MHz w porównaniu z przebiegiem dla 1 MHz

Dużą zaletą AWG oscyloskopu HS5 jest generowanie przebiegu trójkątnego o częstotliwości do 30 MHz. Jest to cecha, którą szczycą się konstruktorzy TiePie, gdyż osiągnięcia innych producentów w tym zakresie pozostają daleko w tyle. Maksymalne częstotliwości przebiegów trójkątnych większości generatorów arbitralnych, nawet dobrej klasy, nie przekraczają zwykle kilkuset kHz. W praktyce, z tymi 30 megahercami jest trochę przesady, gdyż na wyjściu faktycznie jest wyraźny przebieg, ale podobieństwo do trójkąta jest lekko iluzoryczne (rysunek 5).

Do istotnych wad generatora należy zaliczyć brak funkcji przemiatania i modulacji sygnału wyjściowego. Przydałoby się też więcej przebiegów wbudowanych.

Dodatkowe narzędzia pomiarowe

Program „Multi Channel” zawiera kilka typowych narzędzi pomiarowych. Wśród nich jest wielofunkcyjny miernik cyfrowy (rysunek 6), dostępne są też pomiary kursorowe, bez których chyba nie ma chyba ani jednego oscyloskopu cyfrowego. Funkcje multimetru są konfigurowane indywidualnie, odpowiadają one mniej więcej tzw. pomiarom automatycznym spotykanym w oscyloskopach stacjonarnych. Poszczególne parametry są przedstawiane na wskaźnikach przypominających wyświetlacze 7-segmentowe mierników cyfrowych, ale istnieje też

możliwość nadania dowolnemu z nich postaci wskaźnika analogowego.

Pewną niedogodnością jest brak kursorów poziomych. Wprowadza wartości napięć są podawane dla punktów odpowiadających położeniom kursorów pionowych, ale nie jest to wygodna metoda pomiaru.

Tryby pomiarowe

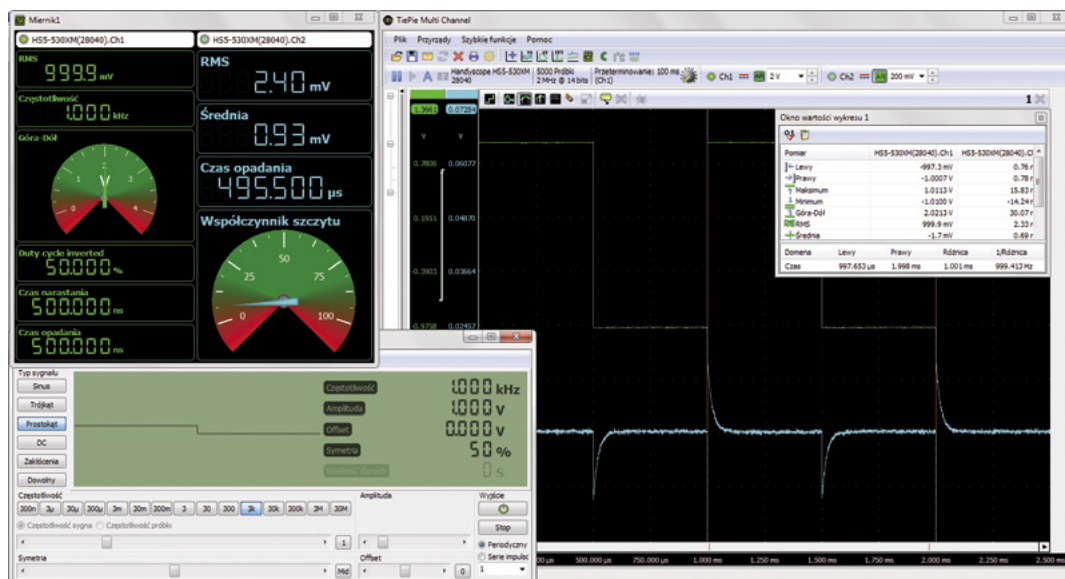
W górnej części każdego okna roboczego oscyloskopu HS5 widoczne są ikonki wyboru trybu pracy. Pierwsza z nich służy do włączania interpolacji liniowej. Następna umożliwia uruchomienie pracy w trybie X-Y, w którym kreślone są krzywe Lissajous. Jako argumenty X i Y mogą być wykorzystane rzeczywiste przebiegi z kanałów oscyloskopu, ze źródeł i wejść/wyjść (rysunek 7). Oscyloskop HS5 może też pracować w trybie tzw. rejestratora przebiegów przejściowych zwykle wykorzystywanego do obserwacji bardzo wolno zmieniających się sygnałów. W tym trybie bufor danych nie jest limitowany wiel-

kością pamięci dostępnej w przystawce lecz pamięcią komputera.

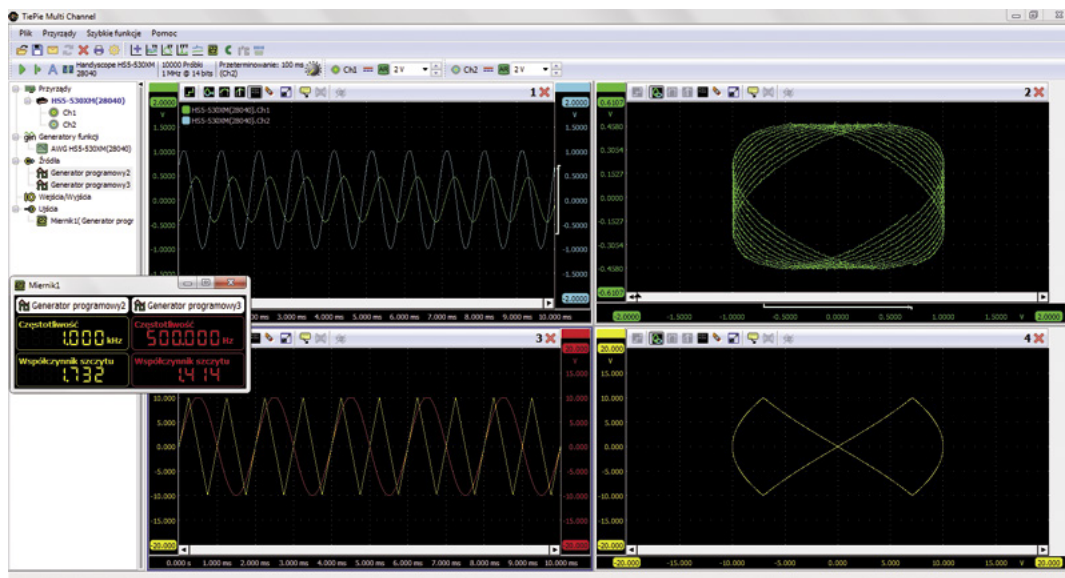
Dla fizyka, biologa i elektronika

Współczesne metody prowadzenia prac badawczych, niezależnie od dziedziny naukowej, oparte są na eksperymentach wykorzystujących skomplikowane narzędzia techniczne. Można powiedzieć, że dziś bez elektroniki nie poradzi sobie fizyk, konstruktor mostów a nawet biolog. Oscyloskop HS5 jest idealnym narzędziem dla takich właśnie badaczy i konstruktorów. Przyrząd ten doskonale łączy świat wirtualny z rzeczywistym, charakteryzując się przy tym spektakularną dokładnością i stabilnością parametrów. Nie zajmuje dużo miejsca na biurku i nie zużywa dużo mocy. Dysponując kilkoma oscyloskopami TiePie można budować jeden wirtualny przyrząd dysponujący wieloma rzeczywistymi kanałami pomiarowymi, jakiego nie znajdziemy w wersji stacjonarnej.

Jarosław Doliński, EP



Rysunek 6. Narzędzia pomiarowe programu „Multi Channel”



Rysunek 7. Pomiary w trybie X-Y