

Analog Discovery 2

nieziemskie laboratorium pomiarowe

Niemal równocześnie z upowszechnieniem się stacjonarnych oscyloskopów cyfrowych pojawiła się nowa klasa przyrządów przenośnych wymagających połączenia z komputerem. Tendencja ta nabrała znacznego tempa, gdy port USB wyparł jego poprzednika RS232. Współczesna technologia pozwala na wykonanie kolejnego kroku – połączenia wielu funkcji przyrządów w jednym.



Fotografia. 1. Efektowna obudowa Analog Discovery 2

Najważniejsze dane techniczne Analog Discovery 2:

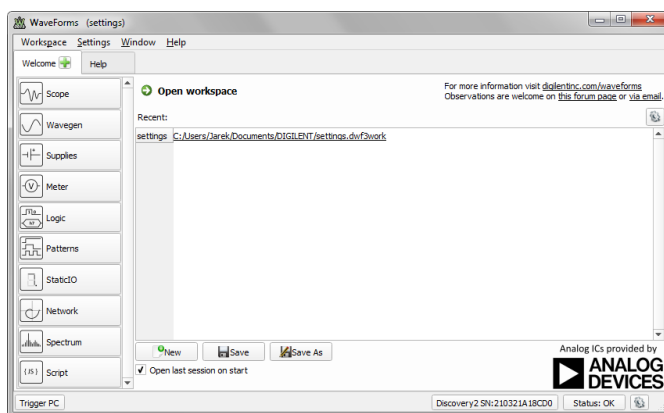
- 2-kanalowy oscyloskop USB z wejściami różnicowymi, próbkowanie 14-bitowe z szybkością 100 MSa/s, pasmo analogowe z adapterem BNC powyżej 30 MHz.
- 2-kanalowy generator arbitralny generujący napięcia o amplitudzie ± 5 V z rozdzielczością 14-bitową w paśmie powyżej 20 MHz (z adapterem BNC) z szybkością 100 MSa/s.
- Stereofoniczny wzmacniacz audio, do którego mogą być dołączane zewnętrzne słuchawki lub głośnik umożliwiające odtwarzanie sygnałów z generatora arbitralnego.
- 16-kanalowy analizator stanów logicznych w standardzie 3,3 V CMOS próbujący z szybkością 100 MSa/s.
- Analizator protokołów: SPI, I²C, UART, równoległy.
- 16-kanalowy generator przebiegów cyfrowych (3,3 V, 100 MSa/s).
- 16-kanalowy port I/O z wirtualnymi przyciskami, przełącznikami, diodami LED, wskaźnikiem paskowym.
- Dwa wejścia/wyjścia zewnętrznego wyzwalania do łączenia wielu przyrządów (3,3 V CMOS).
- Dwukanałowy woltomierz (AC, DC, ± 25 V).
- Analizator obwodów służący do pomiarów charakterystyk częstotliwościowych, tworzone są wykresy Bode, Nyquist i Nichols, zakres przemiatania częstotliwości od 1 Hz do 10 MHz.
- Analizator widma wykorzystywany do określania parametrów widmowych (podłoga szumowa, SFDR, SNR, THD itp.).
- Dwa programowane zasilacze (-5..0..+5 V) o mocy 250 mW każdy lub 500 mW mocy łącznej przy zasilaniu Analog Discovery 2 z gniazda USB i 700 mW/2,1 W przy zasilaniu zewnętrznym (w zestawie nie ma zasilacza).

Pomysł łączenia funkcji wielu różnych przyrządów pomiarowych znanych głównie jako samodzielne urządzenia stacjonarne nie jest nowy. Podstawową przeszkodą w realizacji tej idei zawsze była bariera technologiczna. Projektanci musieli wybierać jedno z dwóch alternatywnych rozwiązań: urządzenie małe, ale o słabych parametrach, lub urządzenie o względnie dobrych parametrach, za to duże.

Potrzeba, jak wiadomo, jest matką wynalazków. Potwierdza to historia pewnych dwóch profesorów prowadzących zajęcia z elektroniki na jednej z amerykańskich uczelni. Uznali oni, nie pierwsi zresztą, że studenci łatwiej przyswajają wiedzę, jeśli wykonują odpowiednio opracowane ćwiczenia praktyczne. Do laboratorium potrzebne więc było owym profesorom łatwe w obsłudze urządzenie, najlepiej spełniające funkcje wielu przyrządów pomiarowych, nie zajmujące dużo miejsca na stole, a przede wszystkim tanie. Warunkiem koniecznym były jednak ponadprzeciętne parametry techniczne, pozwalające realizować szereg ciekawych i zróżnicowanych tematycznie eksperymentów. Na rynku nie było jednak żadnego wyrobu spełniającego ostre kryteria, więc przyrząd skonstruowano własnym sumptem. Wynik prac przerósł chyba oczekiwania samych konstruktorów, więc postanowiono założyć firmę Digilent, która zajęła się sprzedażą urządzenia. Tak oto powstało małe laboratorium pomiarowe, dosłownie mieszczące się na dłoni, charakteryzujące się parametrami, jakich wcześniej nie udało się chyba uzyskać nikomu. Urządzenie o nazwie „Analog Discovery” jest sprzedawane od roku 2012, a pod koniec roku 2015 Digilent zaoferował nową, ulepszoną wersję „Analog Discovery 2”. Sukces projektu w dużej mierze gwarantują dostawcy podzespołów, na których oparto konstrukcję. Są to: Xilinx, Analog Devices i Cypress Semiconductor.

Prześwietlamy „Analog Discovery 2”

Prześwietlanie będzie w przenośni, ale też w pewnym stopniu dosłownie. Projektanci zadbali, aby urządzenie było niesamowite pod każdym względem. Oprócz rewelacyjnych, jak dla przyrządów tej



Rysunek 2. Główne okno aplikacji WaveForms zarządzającej urządzeniem Analog Discovery 2

klasy parametrów technicznych, wrażenie robi także niezwykle efektowna obudowa niczym kosmiczny obiekt z filmów fantastycznych. Przejroczysty plastik pozwala zajrzeć do wnętrza małego pudełka (**fotografia 1**), lecz autorzy nie mają bynajmniej niczego do ukrycia. Wręcz przeciwnie, udostępniają dokumentację, schematy ideowe, a nawet obliczenia wykonane dla poszczególnych bloków funkcjonalnych. Cóż zatem mieści się w środku?

Po uruchomieniu programu „WaveForms” obsługującego Analog Discovery 2 na ekranie komputera zostaje wyświetlone okno pełniące rolę centrum zarządzania (**rysunek 2**). Jest to miejsce, z którego są włączane i wyłączane wszystkie dostępne urządzenia pomiarowe. Można w nim również zapisywać używane konfiguracje. Zamknięcie tego okna kończy pracę z Analog Discovery 2. Najważniejsze dane techniczne zestawu podano w ramce.

Oscyloskop

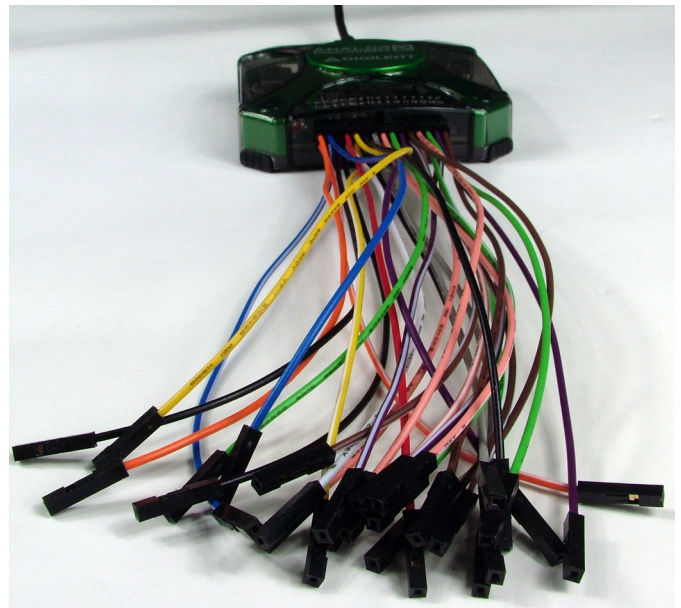
Podstawowym przyrządem pomiarowym Analog Discovery 2 jest 2-kanalowy oscyloskop cyfrowy. Sygnały pomiarowe są do niego doprowadzane zwykłymi kabelkami dołączanymi do uniwersalnego gniazda wieloprzewodowego (**fotografia 3**). Taki rodzaj połączeń nie gwarantuje oczywiście podawanych w specyfikacji parametrów częstotliwościowych. Jest to możliwe dopiero po zastosowaniu specjalnego adaptera z gniazdami BNC, do którego są dołączane sondy BNC (koszt kompletu ok. 40 USD).

Jedną z ważniejszych zalet oscyloskopu Analog Discovery 2 jest możliwość ustawiania dowolnej podstawy czasu. Nie musi być więc wybierana wyłącznie z sekwencji 1-2-5, chociaż ta jest przyjęta jako domyślna. Jest to cecha bardzo przydatna w wielu pomiarach. Ta sama zasada dotyczy ustawiania czułości kanałów pomiarowych. Co więcej, zarówno podstawa czasu, jak i czułość mogą być „płynnie” zmieniane przez rozciąganie/zwężanie jednostek osi pionowej i poziomej za pomocą myszki. Drugą, bardzo praktyczną cechą oscyloskopu jest zastosowanie w nim odseparowanych od siebie wejść różnicowych. Wiemy ile kosztują sondy różnicowe, gdy chcemy je dokupić do zwykłego oscyloskopu. Tu pomiary różnicowe mamy za darmo. Z pewnością rozwiązanie takie zawdzięczamy wysokiej jakości podzespołom Analog Devices. Nie bez powodu logo tej firmy zostało umieszczone na obudowie. Pomiary różnicowe pozwalają bardzo łatwo mierzyć prądy w obwodach, albo napięcia między dowolnymi punktami bez konieczności uwzględniania wspólnego poziomu odniesienia (masy). W klasycznym oscyloskopie bez sondy różnicowej pomiar taki wymaga użycia dwóch kanałów i zastosowania operacji matematycznego odejmowania.

Mocną stroną oscyloskopu Analog Discovery 2 są też dodatkowe funkcje pomiarowe, takie jak analiza FFT, histogramy (**rysunek 4**), wykresy XY, przebiegi referencyjne, wirtualne kanały matematyczne użytkownika wykorzystujące złożone operacje matematyczne. Wyrażenia takie są pisane w postaci skryptów Javy. Na uwagę zasługuje możliwość jednoczesnego korzystania z wielu kursorów X i Y. Pokazują one wartości bezwzględne (czasu, napięcia), albo względne odległości od danego kursora do kursora referencyjnego (**rysunek 5**).

Generator arbitralny

Nie sposób wyobrazić sobie pomiarów elektronicznych bez choćby najprostszego generatora funkcyjnego. Generator dostępny w zestawie Analog Discovery 2 z czystym sumieniem można określić jako rewelacyjny w swojej klasie, chociaż nad stroną software’ową można jeszcze trochę popracować. Wszyscy użytkownicy będą z pewnością zachwyceni możliwościami i wygodą

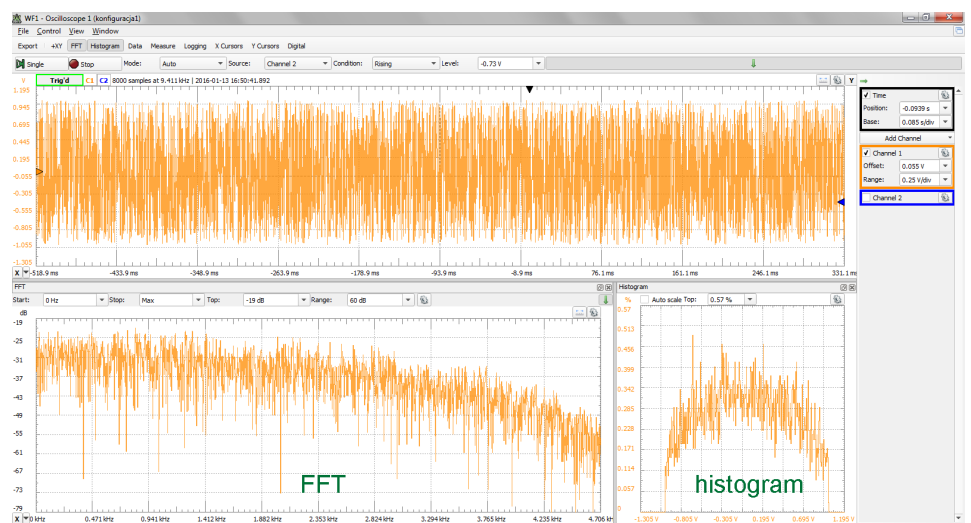


Fotografia 3. Standardowe wejścia pomiarowe Analog Discovery 2

obsługi. Generowanie własnych przebiegów arbitralnych oprócz predefiniowanych przebiegów standardowych (sinus, prostokąt, piła, szum itp.) jest jedną z najważniejszych cech przyrządu. Obsługa generatora za pośrednictwem komputera jest dużą zaletą, szczególnie podczas edycji przebiegów. Docenią to nawet użytkownicy uznający wyższą edycję przyrządów stacjonarnych nad przystawkami komputerowymi. O walorach użytkowych generatora Analog Discovery 2 decyduje przede wszystkim możliwość łatwego tworzenia przebiegów we wbudowanym edytorze formuł matematycznych (**rysunek 6**) oraz wymiana danych między edytorem przebiegów a innymi programami komputerowymi (Excel, Mathcad itp.), czy oscyloskopem.

Generator przebiegów cyfrowych

Kolejne dwa komponenty zestawu Analog Discovery 2 są przeznaczone dla elektroników zajmujących się techniką cyfrową. Pierwszym z nich jest generator przebiegów cyfrowych – przyrząd bardzo przydatny podczas testowania układów logicznych (kombinacyjnych, sekwencyjnych – asynchronicznych i synchronicznych, wszelkiego rodzaju liczników, multiplekserów, dekodów itp.). Generator może wytwarzać do 16 przebiegów traktowanych jako niezależne linie logiczne lub wielobitowe szyny organizujące w określony sposób linie cyfrowe. Ciekawym rozwiązaniem są linie cyfrowe będące wyprowadzeniami wirtualnej pamięci ROM. Są w niej zapisywane definiowane przez użytkownika



Rysunek 4. Okno oscyloskopu z aktywnymi funkcjami dodatkowymi (pomiar FFT i histogram)

stany logiczne, które po wybraniu danej komórki liniami adresowymi pojawiają się na wyjściach (rysunek 7).

Użytkownik decyduje o typie wyjść poszczególnych linii generatora: wysoka impedancja, otwarty dren, otwarte źródło oraz *Push-Pull*. Przygotowując przebiegi można korzystać z predefiniowanych sekwencji wzorcowych takich jak licznik binarny, licznik Gray'a, licznik Johnsona, płynące „0”, płynące „1”, przebieg losowy, zegarowy itd.

Generator jest taktowany przebiegiem o częstotliwości maksymalnej 100 MHz, co oznacza że najszybszy przebieg cyfrowy (fala prostokątna o wypełnieniu 1/2) może mieć częstotliwość 50 MHz. Obowiązuje zasada, że dla sekwencji składających się z N stanów czas trwania każdego jest równy odwrotności częstotliwości zadanej nastawnikiem podzielonej przez N. Należy mieć na uwadze, że kształt przebiegu taktowanego z częstotliwością 100 MHz daleko odbiega od idealnego prostokąta. Zaletą wszystkich przyrządów zestawu Analog Discovery 2 jest duża rozdzielczość zadawania poszczególnych parametrów. Trzeba jednak pamiętać, że rozdzielczość częstotliwości taktowania w generatorze przebiegów cyfrowych drastycznie spada w górnej części zakresu. Przykładowo, kolejne wartości jakie mogą być wprowadzane „od góry” to: 100, 50, 33,33, 25, 20, 16,67, 14,286, 12,5 megaherców itd.

Analizator stanów logicznych

Drugim przyrządem wykorzystywanym do badania układów cyfrowych jest analizator stanów logicznych. Generator przebiegów cyfrowych i analizator stanów logicznych dzielą między sobą zasoby urządzenia Analog Discovery 2. W sumie dostępnych jest 16 linii cyfrowych, które w dowolnym stosunku i porządku mogą być przypisane do każdego przyrządu. Wejścia analizatora są zgodne ze standardem 3,3 V CMOS.

Jedną z ważniejszych cech użytkowych każdego analizatora stanów logicznych są tryby wyzwiania. Niestety, jest to dość słaby punkt urządzenia. Warunek wyzwiania jest określany kombinacją stanów wejściowych i typem zbocza (opadające, narastające lub dowolne). Możliwe jest łączenie obu tych opcji w jednym warunku wyzwiania. Zdecydowanie brakuje sekwencji stanów na wejściach, ale usprawiedliwieniem jest trudność realizacji takiej koncepcji. W bardziej złożonych pomiarach należy więc szukać innych metod i źródeł wyzwiania. Mogą być do tego wykorzystywane wszystkie komponenty zestawu Analog Discovery 2 włączenie z wejściem wyzwiania sygnałem zewnętrznym.

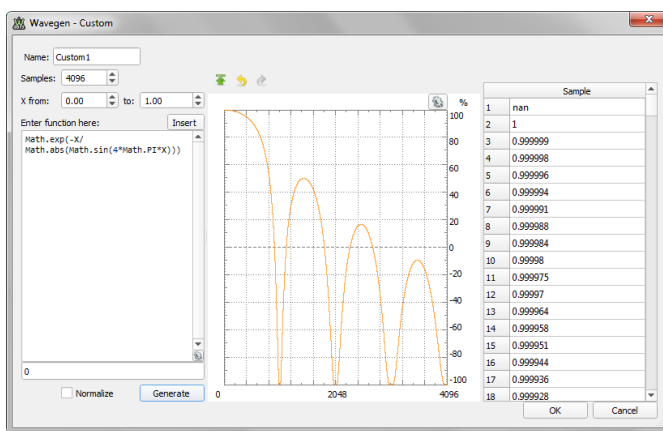
Oprócz zwykłej analizy stanów logicznych funkcje przyrządów tego typu są zwykle rozszerzane o badanie protokołów komunikacyjnych. Jest tak również w przypadku analizatora Analog Discovery 2. Funkcje analizy protokołu równoległego, UART, SPI i I²C są wliczone w cenę urządzenia (rysunek 8). Niestety, urządzenie potrafi badać tylko wymienione protokoły.

Zasilacz

W poprzedniej wersji Analog Discovery konstruktorzy umieścili podwójny zasilacz dostarczający napięcie +5 V i -5 V. Była w tym pewna niekonsekwencja, gdyż część cyfrowa pracowała w technice 3,3 V. W wersji Analog Discovery 2 niedopatrzenie to poprawiono, co więcej dano możliwość regulacji napięć obu zasilaczy. Teraz bez obawy można zasilac układy cyfrowe pracujące



Rysunek 5. Kursory ekranowe oscyloskopu

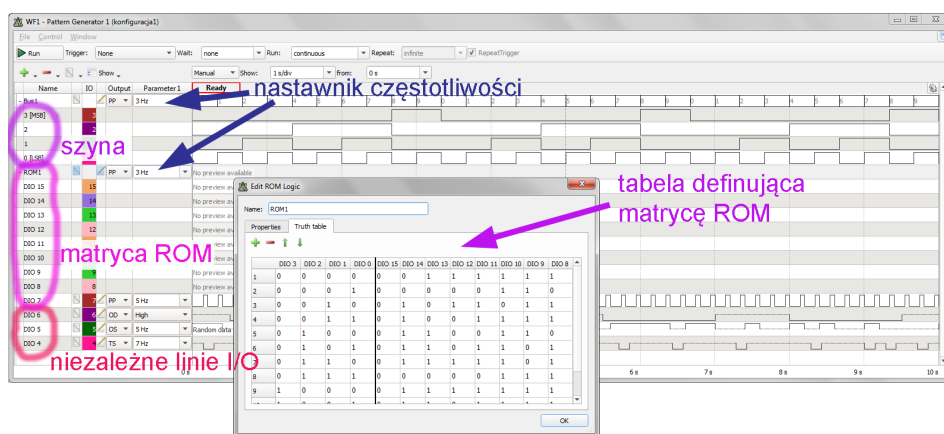


Rysunek 6. Definiowanie przebiegów arbitralnych za pomocą skryptów

w technice 3,3 V. Zasilacze mają wspólną masę, jeden dostarcza napięcia dodatniego, drugi ujemnego. Standardowa łączna moc zasilaczy (500 mW) przy zasilaniu zestawu z portu USB komputera może być zwiększona do 2,1 W po dołączeniu zasilacza zewnętrznego. Warunkiem jest oczywiście odpowiednio duża wydajność prądowa zasilacza zewnętrznego.

Statyczne porty we/wy

Walory edukacyjne zestawu Analog Discovery 2 są bezsporne, można więc spodziewać się, że będzie on wykorzystywany do wielu ciekawych pomiarów i eksperymentów. Często w czasie takich prac konieczne jest ręczne zadawanie stanów logicznych oraz wizualna



Rysunek 7. Generowanie przebiegów cyfrowych z wykorzystaniem matrycy ROM

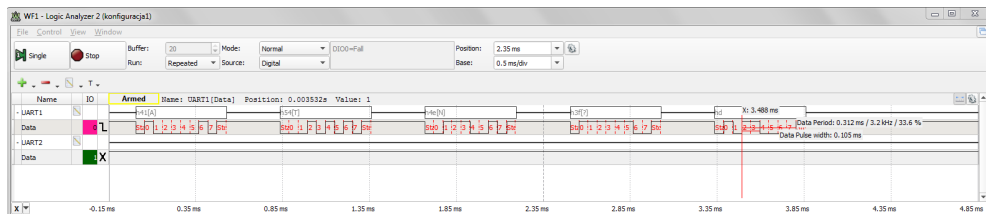
kontrola stanów wyjść układu badanego. Wykorzystywane są do tego porty cyfrowe zestawu obsługujące wirtualne 2- i 3-pozycyjne przełączniki, przyciski, wskaźniki 7-segmentowe i paskowe, diody LED (rysunek 9). Grafika, jak widać jest staranna, choć nie tak urzekająca jak w poprzedniej wersji oprogramowania.

Analizator obwodów

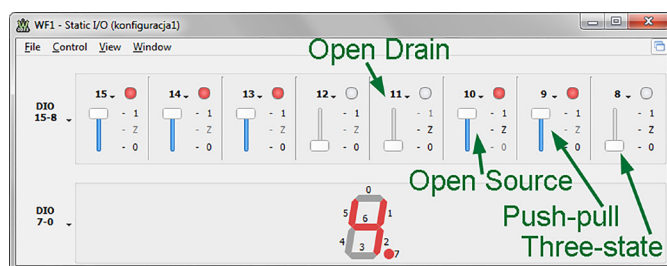
Kolejny przyrząd pomiarowy – analizator obwodów (*Network Analyzer*) – jest niewątpliwie tym rodzajem wirtualnego przyrządu, który wyróżnia Analog Discovery 2 spośród innych podobnych urządzeń. Nazwa urządzenia może być nieco myląca, więc od razu studzimy emocje. Nie, nie jest to urządzenie do pomiarów radiowych, lecz wirtualny przyrząd do badania charakterystyk częstotliwościowych czwórników (*Bode plote*). Podstawowy wykres wyznacza więc zależność napięcia wyjściowego czwórnika od częstotliwości przy pobudzeniu sygnałem sinusoidalnym o stałej amplitudzie. Jednocześnie nanoszony jest wykres przesunięcia fazowego w funkcji częstotliwości (rysunek 10). Mając te dane czystą formalnością pozostaje już tylko wyznaczenie transmitancji badanego czwórnika i wykreślenie jej na wykresie Nicolsona ($Ku[dB]=f(\phi)$) i Nyquista (wykres transmitancji na płaszczyźnie zmiennej zespolonej) – rysunek 11. Wykres Nyquista jest przydatny np. do badania stabilności układów.

Analizator widma

W większości oscyloskopów USB pomiar widma odbywa się wyłącznie w oknie FFT oscyloskopu. Konstruktorzy Analog Discovery 2 postanowili jednak wyodrębnić ten pomiar i opracowali niezależny przyrząd wirtualny wzorowany częściowo pod względem funkcjonalnym na analizatorach stosowanych w pomiarach radiowych. Istotna różnica między pomiarem widma funkcją FFT oscyloskopu a wirtualnym analizatorem widma polega na metodzie ustawiania parametrów. W oscyloskopie kierujemy się głównie kształtem przebiegu czasowego wyświetlanego na ekranie. Pod tym kątem dobierana jest podstawa czasu. Jeżeli chcemy uzyskać pomiar widma w oknie FFT w szerokim zakresie, konieczne jest maksymalne zwężenie skali czasu (wybranie szybkiej podstawy). Wówczas jednak wykres czasowy jest tak gęsty, że staje się zupełnie nieczytelny. W analizatorze widma podejście jest odwrotne. W tym przypadku to wygląd wyświetlanego widma decyduje o doborze parametrów. Nie mówimy zatem o podstawie czasu a o zakresie częstotliwości. Z wyboru tego parametru wynika pośrednio rozdzielczość częstotliwościowa. Analizator widma Analog Discovery 2 dysponuje pięcioma standardowymi zakresami: 1 kHz, 10 kHz,

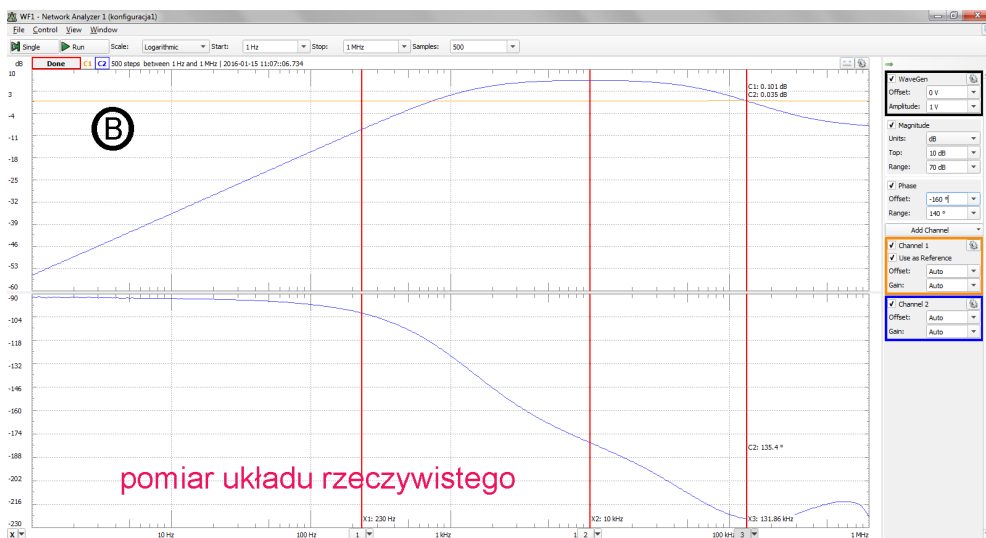
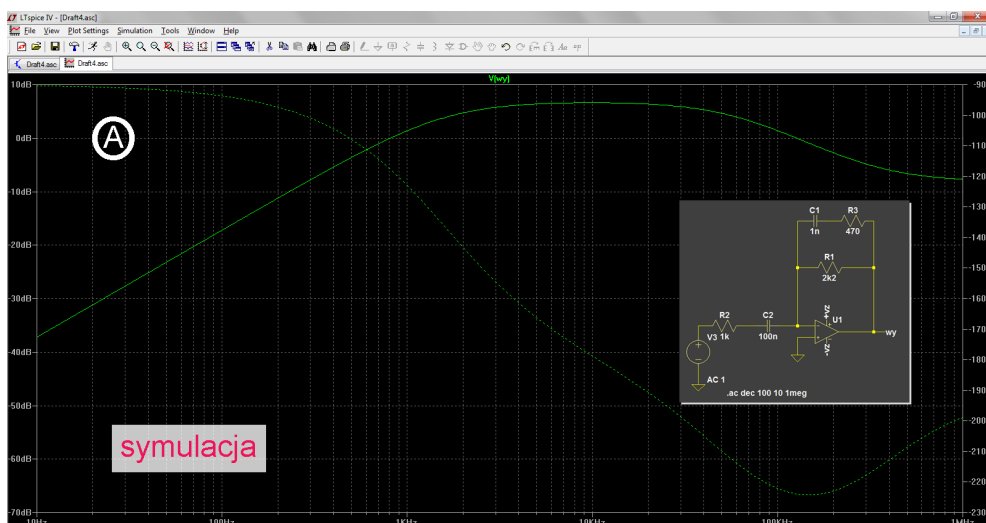


Rysunek 8. Analizator stanów logicznych pracujący w trybie analizatora protokołów komunikacyjnych (na rysunku UART)

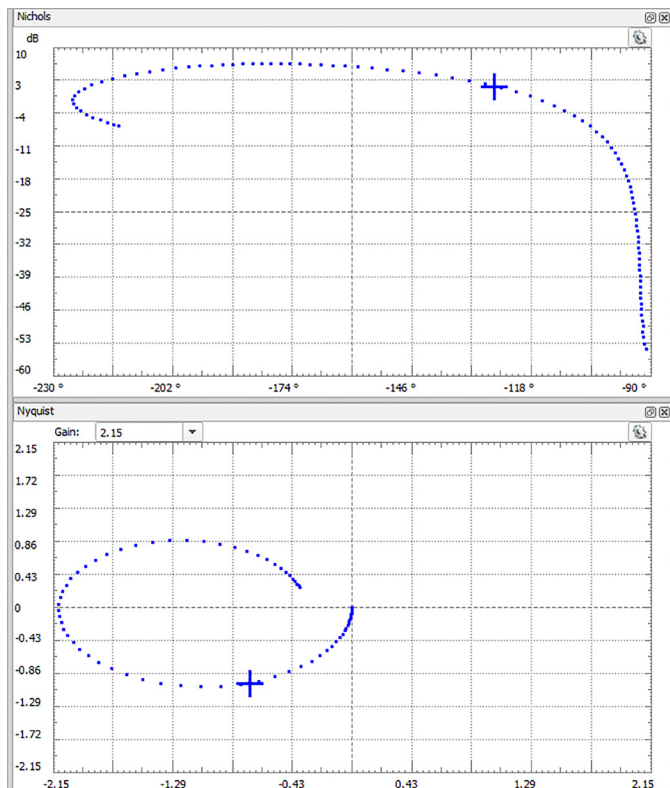


Rysunek 9. Statyczne porty wejścia/wyjścia

100 kHz, 1 MHz i 10 MHz. Odpowiadają im rozdzielczości: 1,221 Hz, 12,21 Hz, 122,1 Hz, 1,221 kHz, 12,21 kHz. Bardzo przydatną opcją jest wybór zakresu automatycznego. Wówczas faktyczny zakres pomiarowy i częstotliwość próbkowania jest dobierana odpowiednio do zadeklarowanej częstotliwości maksymalnej (rysunek 12). Odpowiednikiem okna



Rysunek 10. Pomiar charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza z zastosowaniem analizatora obwodów Analog Discovery 2, a) symulacja programowa układu, b) pomiar układu rzeczywistego



Rysunek 11. Wykresy Nicholasa i Nyquista uzupełniające charakterystyki częstotliwościowe

FFT w oscyloskopie jest okno podglądu czasowego w analizatorze. Jest ono przydatne choćby po to, by sprawdzić czy w czasie pomiaru widma nie doszło do przesterowania badanego układu – wiadomo jakie skutki widmowe niesie taka sytuacja.

Jak widać, analizator widma zestawu Analog Discovery 2 opracowano na wzór analizatorów widma stosowanych w technice radiowej. Szkoda tylko, że w tej wersji urządzenia zrezygnowano z markerów typowych dla prawdziwych analizatorów ekranowych i tzw. *Hot Track*ów.

Cyfrowy miernik uniwersalny

Jest to miernik mierzący wielkości elektryczne związane z 1 i 2 kanałem urządzenia. Typowo są to napięcia, ale po zastosowaniu odpowiedniego interfejsu można mierzyć dowolne wielkości fizyczne. Wyniki są wyświetlane w postaci liczbowej w wyodrębnionym oknie programu. W zasadzie stanowią one powielenie pomiarów automatycznych dostępnych w oscyloskopie z dodatkową możliwością kreślenia zmian (trendów) na prostym wykresie (rysunek 13). Parametrami wykresów jest częstość odświeżania, liczba próbek, długość wyświetlanej historii. Dodatkowo w czasie pomiaru wyznaczane mogą być minimalne i maksymalne wartości zmierzone.

Pomiary z użyciem skryptów

Opisane urządzenia są wirtualnymi odpowiednikami przyrządów rzeczywistych. Całość jest jeszcze uzupełniona o pomiary z użyciem skryptów, dając użytkownikowi dodatkowe, niemałe możliwości

automatyzacji pomiarów. Wymagana jest jednak przynajmniej minimalna znajomość Javy, gdyż w tym języku są one pisane. W miarę upływu czasu z pewnością gotowymi i sprawdzonymi skryptami będą dzielić się między sobą użytkownicy Analog Discovery 2 poprzez różne fora tematyczne. Jednym z nich jest firmowe <https://goo.gl/qlvFty>.

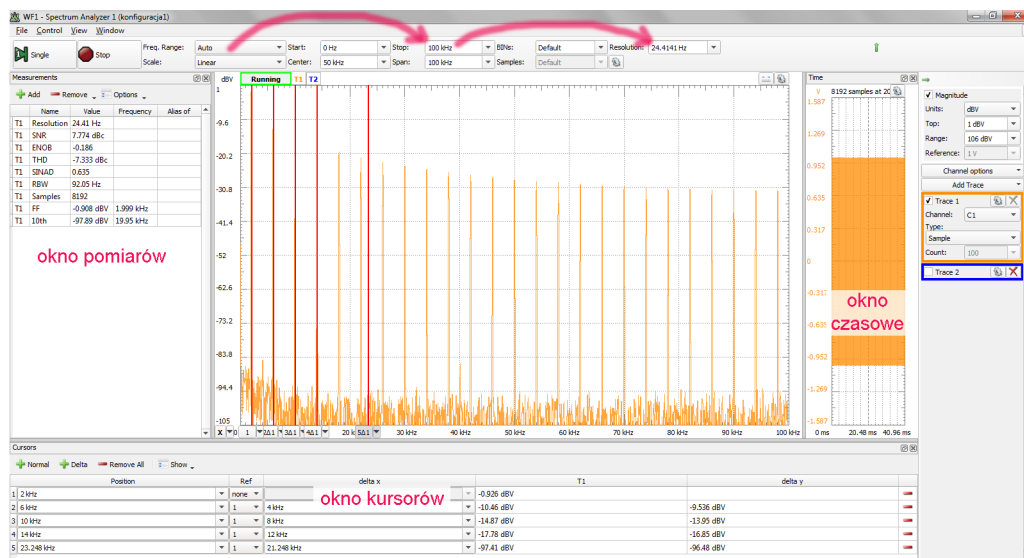
Spostrzeżenia

Trzeba powiedzieć otwarcie – Analog Discovery 2 raczej trudno nazwać urządzeniem dla profesjonalistów. Parametry techniczne, chociaż wyżyłowane do maksimum dla tej klasy urządzeń i naprawdę robiące wrażenie, są zbyt słabe do bardzo poważnych zastosowań. Z pewnością jednak można powiedzieć o tym wyrobie, że jest urządzeniem profesjonalnym. Analog Discovery 2 został zaprojektowany w oparciu o najlepsze podzespoły z maksymalnym wykorzystaniem ich parametrów technicznych i cech funkcjonalnych. W rezultacie użytkownik dostaje urządzenie wszechstronne, łatwe w obsłudze i relatywnie tanie.

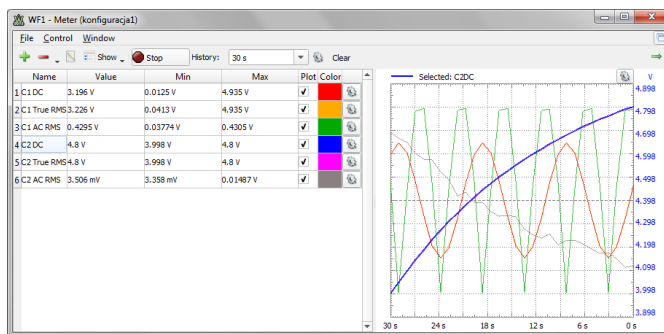
Jakby na przekór powyższym słowom, trzeba jednak zauważyć, że nawet w najbardziej skomplikowanych projektach występują prostsze bloki funkcjonalne, do uruchamiania których nie trzeba wytaczać ciężkich armat w postaci oscyloskopów i generatorów za dziesiątki czy nawet tysiące euro. W takim zakresie prac nawet profesjonalści powinni być zadowoleni z posiadania urządzenia Analog Discovery 2.

Na zakończenie trzeba jeszcze wspomnieć o zmianach dokonanych w oprogramowaniu WaveForms obsługującego Analog Discovery 2. Nie wszystkie zmiany w stosunku do poprzedniej wersji poszły chyba w dobrym kierunku. Jest to wyrób bardzo świeży, i jak to często bywa można znaleźć jeszcze sporo drobnych błędów, które miejmy nadzieję będą systematycznie eliminowane.

Jarostaw Doliński, EP



Rysunek 12. Okno analizatora widma



Rysunek 13. Okno uniwersalnego miernika cyfrowego