

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie zasad projektowania i konstrukcji wirtualnych przyrządów pomiarowych.

## 2. Wprowadzenie teoretyczne

Od kilku lat zaznacza się wyraźny trend do tworzenia przyrządów pomiarowych o jak największej uniwersalności i elastyczności. Trend ten znalazł swoje odzwierciedlenie w konstruowaniu tzw. wirtualnych przyrządów pomiarowych. Przyrządy wirtualne stanowią kombinację odpowiednio oprogramowanego komputera ogólnego przeznaczenia z przyrządami systemowymi lub urządzeniami pomiarowymi nowej generacji (np. karty typu "plug-in"). Słowo "wirtualny" (ang. virtual) dotyczy czegoś nieistniejącego w danej formie w rzeczywistości, ale spełniającego daną funkcję w punkcie widzenia użytkownika, na ogół z wykorzystaniem innych niż tradycyjne środków. Pojęcie przyrządu wirtualnego pojawiło się równoległe z powstaniem nowych narzędzi programowych do komputerowego wspomagania projektowania systemów pomiarowych [3,4], umożliwiających obsługę systemu lub przyrządu pomiarowego poprzez graficzny interfejs użytkownika.

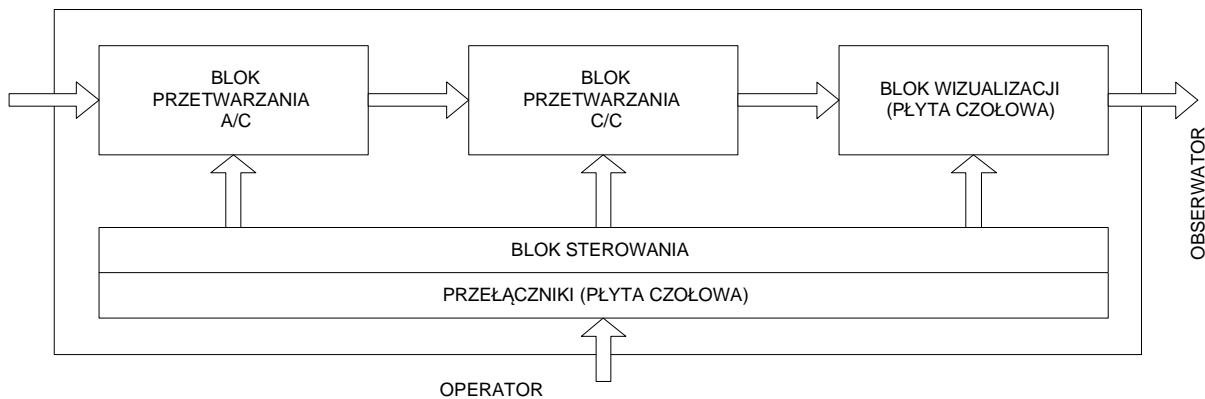
Przyrządy wirtualne stanowią nową jakość w metrologii. Należy zaznaczyć, że brak jest obecnie powszechnie uznanych, jednoznacznych kryteriów pozwalających uznać dane urządzenie pomiarowe za przyrząd wirtualny. Szczególnie brak jest rozróżnienia między częścią programową przyrządu a graficznym interfejsem użytkownika przyrządu czy systemu. Trudno jest również ściśle zdefiniować sam przyrząd wirtualny. Można przyjąć definicję [10], którą przedstawiono poniżej:

"Przyrząd wirtualny to rodzaj inteligentnego przyrządu pomiarowego, powstałego w wyniku sprzężenia pewnego sprzętu nowej generacji z komputerem osobistym ogólnego przeznaczenia i przyjaznym dla użytkownika oprogramowaniem, które umożliwia użytkownikowi współpracę z komputerem na zasadach takich, jakby obsługiwał tradycyjny przyrząd pomiarowy."

Powyższa definicja sugeruje dużą różnorodność i odmiennność przyrządów wirtualnych szczególnie jeśli by przeanalizować ich architekturę. Na pewnym poziomie abstrakcji można, przyrządy wirtualne sklasyfikować i przyporządkować do następujących grup:

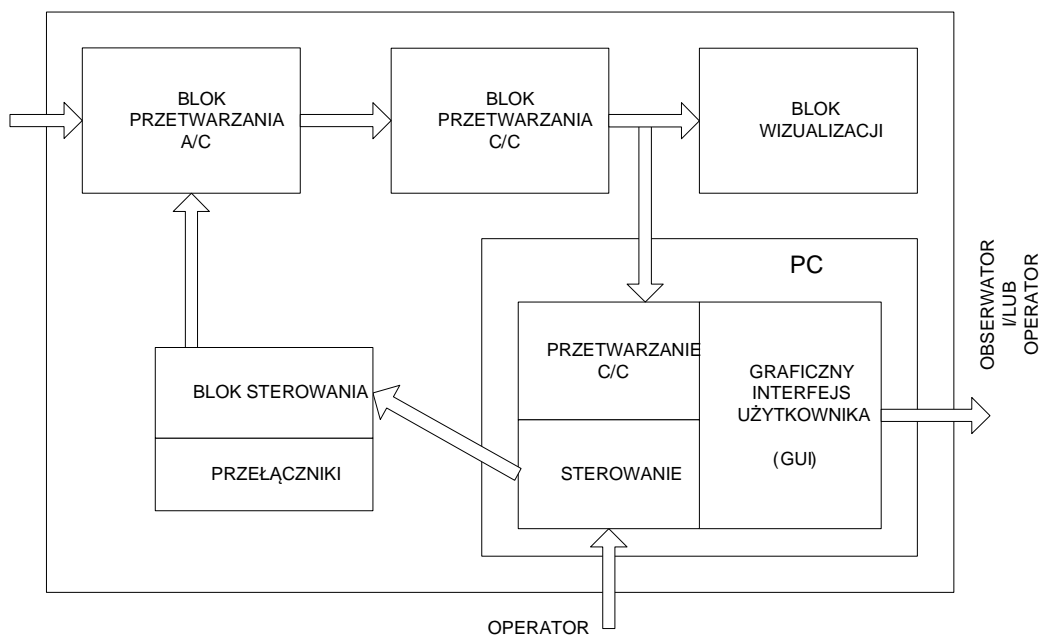
- przyrządy autonomiczne sterowane poprzez interfejs przyrządowy (GPIB, RS-232, RS-485, Ethernet) z poziomu aplikacji, wykonującej funkcje pomiarowe uruchomionej na komputerze ogólnego przeznaczenia,
- komputer ogólnego przeznaczenia, wyposażony w kartę akwizycji danych sterowaną z poziomu aplikacji wykonującej funkcje pomiarowe, uruchomionej na tym komputerze,
- aplikacja realizująca funkcje pomiarowe uruchomiona na komputerze. Dane pomiarowe pobierane są z plików, baz danych; za pomocą dedykowanych interfejsów z komputerów zdalnych; generowane w sposób sztuczny (symulacja). Przetwarzanie danych odbywa się pod kontrolą uruchomionej aplikacji. Prezentacja danych może odbywać się zarówno na ekranie komputera lokalnego, jak i na komputerach „zdalnie” komunikujących się ze stacją lokalną [10].

Tradycyjny cyfrowy przyrząd pomiarowy stanowi zamkniętą całość z określonymi możliwościami wprowadzania i wyprowadzania danych, z ustalonym sposobem komunikacji z użytkownikiem poprzez pokrętła, przyciski, wyświetlacze. Wnętrze takiego przyrządu stanowią specjalizowane obwody, takie jak: obwody kondycjonowania sygnału, konwertery A/C, wewnętrzna magistrala danych, mikroprocesory, pamięci, które przekształcają rzeczywiste sygnały, analizują je i prezentują wyniki dla użytkownika. Producent definiuje wszystkie funkcje przyrządu, a użytkownik nie może ich zmienić. Schemat blokowy takiego przyrządu jest przedstawiony na rys.1.



Rys.1 Struktura tradycyjnego przyrządu pomiarowego

Przyrząd wirtualny, realizując analogiczne funkcje jak przyrząd tradycyjny, ma zupełnie odmienną budowę (rys.2). Składa się on z komputera (najczęściej klasy PC) oraz z jednego lub wielu pomiarowych bloków sprzętowych, takich jak: pakiety akwizycji danych, tj. karty zbierania danych wraz z oprogramowaniem, moduły z interfejsem VXI, przyrządy z interfejsem IEC-625, i inne. Każdy z tych elementów jest dołączony do komputera albo jako karta typu "plug-in" wstawiona bezpośrednio do komputera, albo jako urządzenie zewnętrzne poprzez interfejs. Przyrząd wirtualny może być projektowany i budowany zarówno przez producenta firmowego, jak i przez użytkownika, który definiuje jego przeznaczenie i funkcje konstruując odpowiednie oprogramowanie. Oprogramowanie to integruje komputer i pomiarowe bloki sprzętowe tworząc z nich przyrząd; jest ono zatem nieodłączną częścią przyrządu wirtualnego.



Rys.2 Struktura wirtualnego przyrządu pomiarowego

W typowym torze pomiarowym przyrządu wirtualnego można wyróżnić 3 główne elementy funkcjonalne:

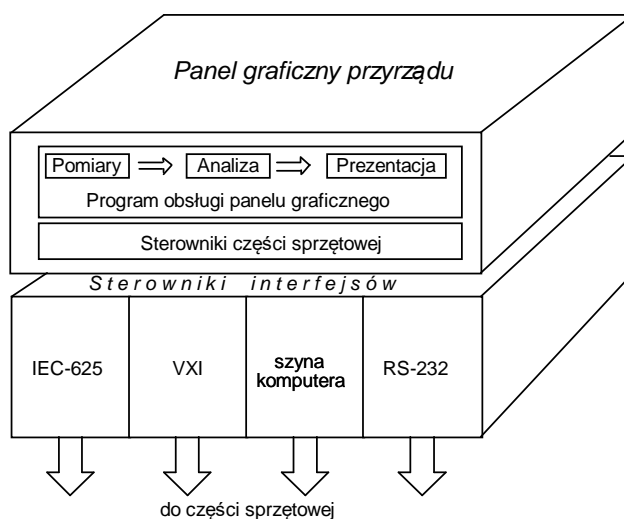
- blok akwizycji danych pomiarowych,
- blok analizy i przetwarzania zebranych danych pomiarowych,
- blok interfejsu użytkownika (sterowanie przyrządem i prezentacja wyników).

Cechą charakterystyczną wirtualnego przyrządu pomiarowego jest jego otwarta architektura. Otwartość architektury oznacza m.in. dostęp do magistrali interfejsu łączącego komputer z częścią sprzętową. W przypadku wewnętrznych, sprzętowych bloków funkcjonalnych magistralą tą jest magistrala mikroprocesorowa komputera, a w przypadku bloków zewnętrznych - najczęściej magistrala jednego ze standardowych interfejsów pomiarowych (IEC-625, VXI, RS-232, RS-485, Fieldbus). Nową jakość stanowi możliwość połączenia komputera z częścią pomiarową przyrządu poprzez sieć komputerową Internet. Inną istotną cechą przyrządu wirtualnego jest funkcjonalna elastyczność; oznacza to, że jeden sprzętowy blok funkcjonalny (lub ich zbiór) umożliwia stworzenie szerokiego zbioru różnych przyrządów wirtualnych

realizujących bardzo różnorodne funkcje. Redukcja części sprzętowej przyrządu wirtualnego zarówno zmniejsza jego koszt, jak i skraca czas jego projektowania i dalszych modyfikacji.

Bardzo ważną rolę w projektowaniu wirtualnych przyrządów pomiarowych odgrywa oprogramowanie. Od rodzaju i jakości oprogramowania zależy sposób przeprowadzenia analizy danych, ich prezentacji, jak również czas potrzebny do stworzenia konkretnego przyrządu. Oprogramowanie decyduje o możliwościach współpracy z innymi programami i o możliwości pracy w sieci komputerowej. Narzędzia do projektowania przyrządów wirtualnych można podzielić na: podstawowe (klasyczne języki wysokiego poziomu jak Basic, Pascal, C++ lub języki typu Visual Basic) i zaawansowane (zintegrowane środowiska programowe) [7]. Obecnie powszechnie wykorzystywane są narzędzia zaawansowane. Łączą one w sobie funkcje sterowania pracą systemu, gromadzenia i przetwarzania danych pomiarowych oraz prezentacji wyników, a także oferują języki programowania wyższego rzędu (w tym graficzne), edytor i uruchamiacz (ang. debugger). Najnowsze rozwiązania zawierają również wbudowane mechanizmy sterowania częścią pomiarową przyrządu poprzez sieć komputerową. Do najpopularniejszych przedstawicieli zintegrowanych środowisk programowych należą produkty firm: National Instruments (LabWindows® for DOS, LabWindows®/CVI, LabVIEW®), Hewlett-Packard (HP VEE®), Keithley (TestPoint®). Projektowanie zarówno paneli, jak i programów ich obsługi realizowane jest tu poprzez wybór z bogatego menu tekstowego lub graficznego odpowiednich opcji, a z nich wymaganych funkcji lub symboli graficznych.

Struktura oprogramowania wirtualnego przyrządu pomiarowego jest przedstawiona na rys.3. Panel graficzny na ekranie komputera odwzorowuje płytę czołową przyrządu wirtualnego. Panel ten zawiera zbiór symboli graficznych, służących do obsługi przyrządu, takich jak: przełączniki, pola znakowe lub numeryczne, wskaźniki, pola wykresów i inne. Sterownik części sprzętowej (sterownik przyrządu) odwzorowuje funkcje przyrządu. Stanowi go zbiór funkcji wykorzystywanych przy komunikacji z przyrządem (takich jak: programowanie nastaw, wyzwalanie pomiaru, odbiór wyników, wyświetlanie wyników itp.). Sterowniki interfejsów zawierają programy obsługi magistral interfejsów standardowych (np. IEC-625, VXI, RS-232) lub / i niestandardowych (np. szyna komputera, do której dołączona jest karta zbierania danych). Sterowniki interfejsów są wykorzystywane przez sterowniki części sprzętowej, a te z kolei - przez program obsługi panelu graficznego.



Rys.3 Struktura oprogramowania wirtualnego przyrządu pomiarowego

Poniżej zasygnalizowano ogólny sposób postępowania przy projektowaniu przyrządu wirtualnego z wykorzystaniem zintegrowanych środowisk programowych.

Poszczególnymi etapami są:

- określenie funkcji i parametrów przyrządu wirtualnego,
- dobór części sprzętowej,
- analiza sterownika (lub sterowników) części sprzętowej lub projekt własny sterownika,
- projekt panelu graficznego:
  - wybór rodzajów obiektów graficznych (przełączniki, wyświetlacze, itp.),
  - rozmieszczenie obiektów na panelu,
  - ustalenie wymiarów obiektów,
  - ustalenie kolorów obiektów, koloru tła, kroju liter, itp.,
- projekt oprogramowania przyrządu wirtualnego:
  - opracowanie algorytmu obsługi przyrządu wirtualnego (zależnie od środowiska - graficznego lub tekstowego),

- uzupełnienie algorytmu o procedury obsługi zdarzeń,
- uruchomienie oprogramowania.

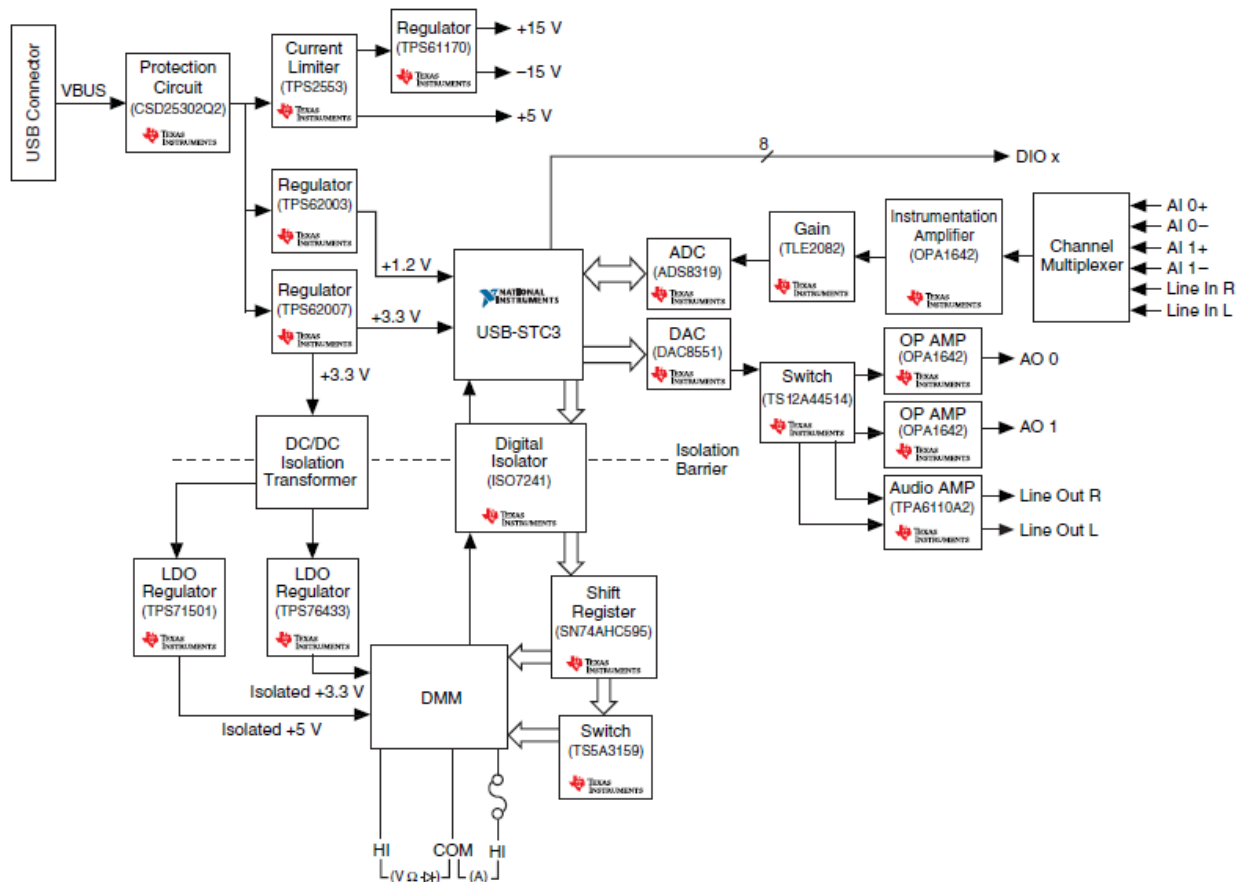
Opisując strukturę tradycyjnego przyrządu pomiarowego wymieniono, jako jeden z elementów składowych, blok kondycjonowania sygnałów. Również przy budowie przyrządów wirtualnych jest to bardzo ważny element toru przetwarzania sygnałów pomiarowych (szczególnie przy wykorzystaniu uniwersalnych kart zbierania danych). Sygnały elektryczne generowane przez badany układ (czy przetworniki pomiarowe) muszą być doprowadzone do formy akceptowalnej przez kartę. Najczęściej stosowaną formą dopasowania jest wzmocnienie bądź tłumienie sygnału. Z oczywistych względów wartość sygnału nie może być większa od maksymalnej wartości wejściowej dopuszczalnej dla karty. Z drugiej strony, w celu jak najlepszego wykorzystania możliwości karty, maksymalna wartość sygnału powinna być w przybliżeniu równa maksymalnej wartości napięcia wejściowego przetwornika A/C. Wzmocnienie bądź tłumienie sygnału osiąga się przez zastosowanie odpowiednich rodzajów wzmacniaczy. Dodatkowo przez umieszczenie wzmacniacza blisko układu badanego można zmniejszyć wpływ napięć zakłócających indukowanych w przewodach. Ma to przede wszystkim znaczenie w przypadku sygnałów pomiarowych o niewielkich wartościach. Następnym argumentem przemawiającym za zastosowaniem układów dopasowujących jest możliwość izolacji sygnałów generowanych przez układ badany od komputera, co podwyższa bezpieczeństwo użytkowania systemu. Układ dopasowujący jest używany również do eliminacji niepożądanych sygnałów. Ma to miejsce np. przy eliminacji zakłóceń o wysokich częstotliwościach mogących spowodować błędne odczyty. Można to osiągnąć przez zastosowanie filtrów dolnoprzepustowych.

### **3. Charakterystyka narzędzi sprzętowych i programowych wykorzystanych do budowy przyrządów wirtualnych**

Wirtualne przyrządy pomiarowe wykorzystywane w ćwiczeniu zostały zbudowane przy pomocy komputera typu PC rozszerzonego o wielofunkcyjną kartę zbierania danych myDAQ. Przetwarzanie danych i prezentacja wyników jest realizowana przez oprogramowanie stworzone przy użyciu pakietu narzędziowego LabVIEW firmy National Instruments.

#### **3.1. Uniwersalna karta zbierania danych NI myDAQ**

Karta NI myDAQ (rys. 4) ma cztery multipleksowane wejścia różnicowe (dwa wejścia ogólnego przeznaczenia i dwa kanały audio), jeden 16 bitowy przetwornik A/C, jeden 16 bitowy przetwornik C/A stanowiący wyjście napięciowe, osiem linii cyfrowych wejść/wyjść kompatybilnych z poziomami napięć TTL i jeden 32 bitowy kanał częstotliwościowo/czasowy. Kartę łączy z komputerem magistrala USB. Wejścia analogowe karty są użyteczne przy rejestracji danych. Zakres napięć wejściowych wynosi  $\pm 10V$  lub  $\pm 2V$  (od  $-2$  do  $+2V$  dla wejść audio). Przez wyjścia analogowe można generować różne przebiegi napięć oraz sygnały kontrolujące proces pomiarowy lub pracę urządzenia zewnętrznego. Zakres napięć wyjść analogowych można skonfigurować jako  $\pm 10V$  lub  $\pm 2V$  ( $\pm 2V$  dla wyjść audio). Cyfrowych linii wejścia/wyjścia można użyć do przełączania przyrządów zewnętrznych, do wczytywania statusu tych przyrządów lub do generowania przerwań. Częstotliwościowo/czasowe kanały służą do synchronizacji zdarzeń, generowania impulsów o określonej długości trwania, pomiarów częstotliwości i czasu. Wczytywanie danych pomiarowych do pamięci komputera może się odbywać w trzech trybach: ciągłego pozyskiwania danych z jednego kanału, wielokanałowego pozyskiwania danych z ciągłym wczytywaniem danych oraz wielokanałowego pozyskiwania danych z wczytywaniem danych tylko w określonych odstępach czasu. W tym ostatnim trybie dane są pobierane ze wszystkich aktywnych kanałów przez określony czas, po którym następuje zaprogramowana przerwa i powtórzenie całego cyklu. Dane mogą być pobierane z dowolnej liczby kanałów (1 lub 2). Karta NI myDAQ wyposażona jest w elementarny układ triggera rozpoczynający rejestrację sygnału natychmiast po otrzymaniu rozkazu programowego (tryb Immediate), bez śledzenia/kontroli wartości/zbocza sygnału rejestrowanego.

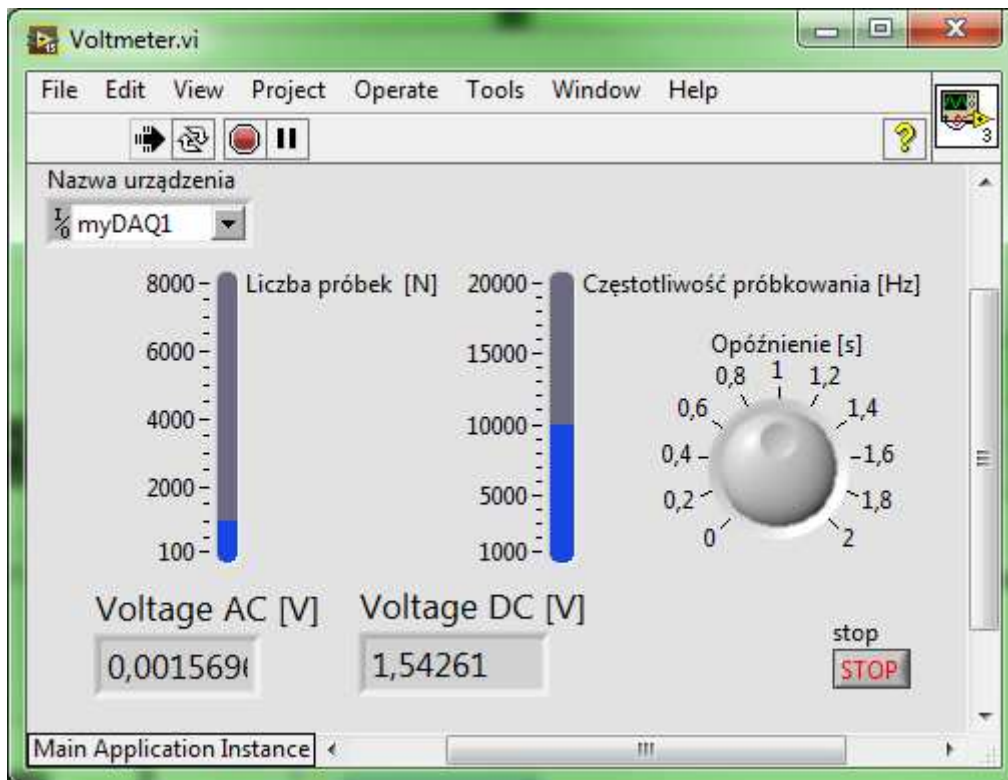


Rys.4 Schemat blokowy uniwersalnej karty zbierania danych myDAQ [11]

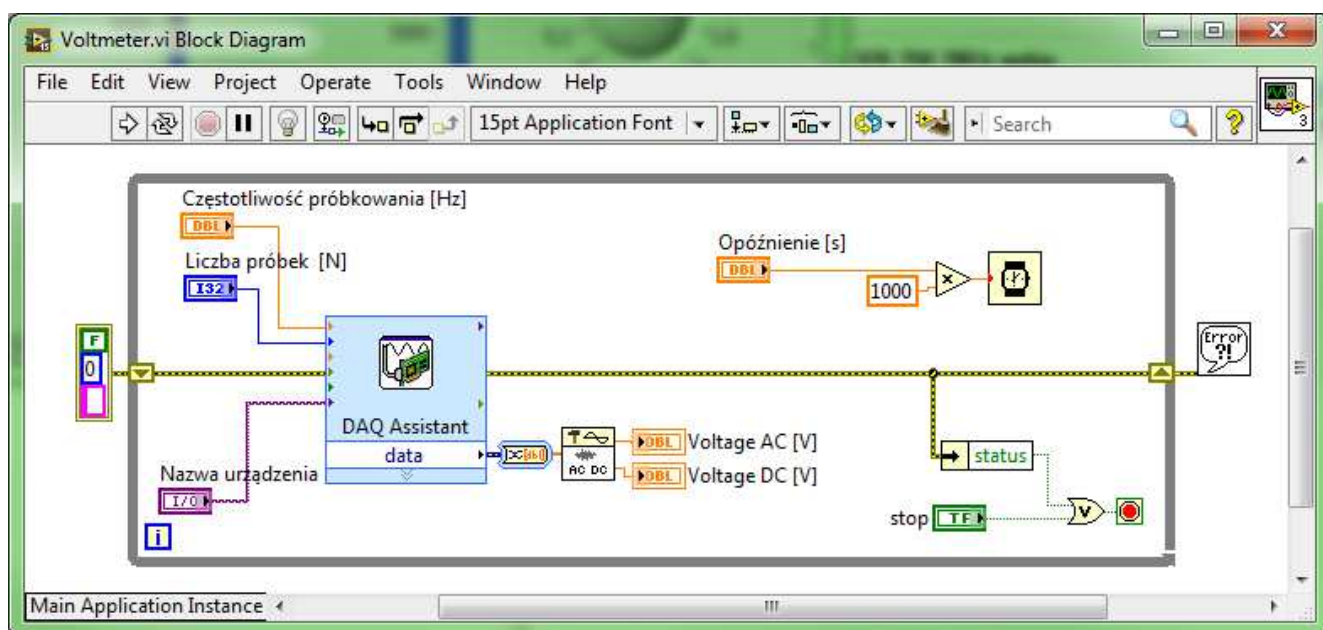
### 3.2. Środowisko programistyczne LabVIEW

LabVIEW stanowi graficzne środowisko programistyczne, zawierające wszystkie potrzebne narzędzia do akwizycji danych, ich analizy i prezentacji. Wykorzystując graficzny język programowania, zwany językiem “G”, można konstruować przyrządy wirtualne tworząc schematy blokowe (łącznie komponenty znajdujące się na panelu z wbudowanymi funkcjami), które system kompiluje na kod maszynowy komputera. Programowanie w środowisku LabVIEW odbiega od tradycyjnej metody edycji kodu źródłowego programu. Nie trzeba tu znać żadnego klasycznego języka programowania (jak C czy Basic), jednak pomocna jest znajomość podstawowych pojęć programowania, takich jak organizacja pętli programowych czy typów i struktur danych. LabVIEW oferuje całą gamę bibliotek funkcji i podprogramów pomocnych w rozwiązywaniu większości zadań. Program zawiera również wyspecjalizowane biblioteki do kontroli urządzeń przez interfejs IEC-625 lub RS-232, akwizycji danych, ich analizy i prezentacji.

Edycja projektu odbywa się zasadniczo w dwóch oknach. W pierwszym z nich (rys. 5) tworzy się graficzny interfejs aplikacji (panel), w drugim (rys. 6) buduje się logiczną strukturę (schemat blokowy) programu. Do każdego z okien jest przypisana odpowiednia paleta elementów. W przypadku interfejsu graficznego są to przyciski, pokręta, wyświetlacze itp. Strukturę logiczną aplikacji tworzy się jako schemat blokowy składający się z połączonych ze sobą poszczególnych elementów funkcjonalnych takich jak operatory matematyczne, instrukcje warunkowe, pętle, bloki przetwarzania sygnałów czy obsługi sprzętu.



Rys. 5 Okno interfejsu aplikacji



Rys. 6 Okno struktury programu

Edycja interfejsu aplikacji polega na umieszczaniu na panelu (szare tło) elementów z palety **Controls**. Jeżeli po przejściu do okna edycji interfejsu paleta **Controls** jest niewidoczna można ją uaktywnić wciskając prawy klawisz myszy na obszarze wspomnianego okna.

Konstrukcja programu odbywa się w analogiczny sposób w oknie edycji schematu (białe tło) przy wykorzystaniu elementów z palety **Functions**. Każdy obiekt interfejsu ma swój odpowiednik na schemacie blokowym programu. Łączenie bloków odbywa się przy pomocy narzędzia z palety narzędzi (**Tools palette**). Jeżeli paleta **Tools** jest niewidoczna można ją uaktywnić wybierając z menu **Window** opcję **Show Tools Palette** (w nowszych wersjach wersji jest to menu **View -> Tools palette**). Wciskając prawy klawisz myszy na dowolnym obiekcie schematu bądź interfejsu uaktywniamy menu kontekstowe, które pozwala na zmianę parametrów obiektu takich jak np. zakres i typ danych, wygląd itp. Dla większości elementów dostępny jest jego opis (opcja **Help** w menu kontekstowym).

## Paleta narzędzi



Paleta narzędzi służy do edycji zarówno schematu blokowego jak i interfejsu graficznego aplikacji.

Znaczenie ważniejszych elementów:

- służy do automatycznego wyboru/proponowania narzędzi obsługi.

- służy do zmiany wartości ustawionych na elementach sterujących (również do zaznaczania tekstu w nich zawartego)

- służy do zaznaczania przesuwania i zmiany rozmiaru obiektów

- służy do edycji tekstu oraz tworzenia niezależnych etykiet

- służy do tworzenia połączeń między poszczególnymi elementami schematu blokowego.

## Uruchamianie i testowanie aplikacji

Do uruchamiania i testowania aplikacji służy zestaw przycisków:

Znaczenie ważniejszych z nich:

- uruchamianie jednokrotne, - uruchamianie wielokrotne, - stop, - pauza.

## Menu kontekstowe

Dla każdego obiektu aplikacji jest dostępne menu kontekstowe uaktywniane prawym przyciskiem myszy. Zawiera ono przydatne opcje pozwalające na zmianę właściwości obiektu.

Ważniejsze opcje menu:

*Visible Items* – dotyczy obiektów interfejsu użytkownika, pozwala na modyfikowanie wyglądu obiektu przez włączanie/wyłączanie poszczególnych jego elementów.

*Create -> Control* – tworzy element interfejsu użytkownika sterujący danym wejściem bloku.

*Create -> Constant* – tworzy wartość stałą podawaną na dane wejście bloku.

*Create -> Indicator* – tworzy wskaźnik/wyświetlacz/graf przypisany do danego wyjścia bloku.

*Representation* – pozwala na ustawienie typu danych związanego z danym obiektem

*Data Range* – pozwala na określenie zakresu oraz typu danych, a także wartości domyślnych przypisanych do danego obiektu (wykorzystując opcję można ustawić np. zakres regulacji pokrętki).

## 4. Przyrządy wirtualne wykorzystywane w ćwiczeniu

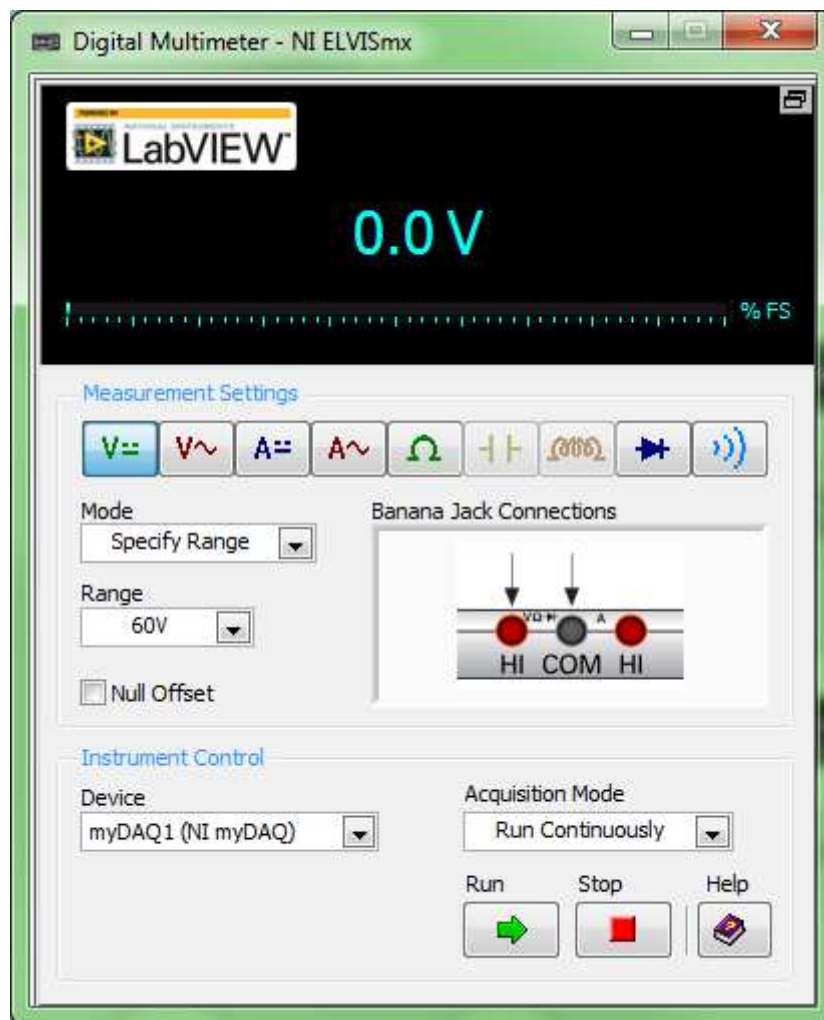
Przyrządy wirtualne mogą, ale nie muszą być wzorowane na przyrządach autonomicznych. Dzięki „elastycznej” konstrukcji można dostosować właściwości przyrządu do realizowanych zadań pomiarowych. W ćwiczeniu są wykorzystywane cztery przyrządy o funkcjonalności odpowiadającej klasycznym urządzeniom stosowanym w układach pomiarowych (woltomierz, oscyloskop, generator, analizator widmowy) oraz przyrząd określony jako rejestrator charakterystyk prądowo-napięciowych. Szczegółowe dane dotyczące poniższych przyrządów znajdują się dedykowanych instrukcjach (załączonych do materiałów).

### 4.1. Woltomierz

Właściwości przyrządu:

- pomiar napięć stałych w zakresie do 60V (DC) i zmiennych w zakresie od 20 V (AC)
- wybór nazwy karty DAQ (w przypadku wielu urządzeń)





Rys.7 Widok płyty czołowej wirtualnego woltomierza cyfrowego

Na rysunku 7 przedstawiono płytę czołową przyrządu. Woltomierz jest obsługiwany przy użyciu myszki.

Elementy panelu:

Wyświetlacz - zawiera wynik pomiaru,

**Measurement settings** - wybór rodzaju i parametrów pomiaru,

**Mode** - wybór zakresu ręczny/automatyczny.

**Range** - wybór zakresu pomiarowego,

**Null Offset** - aktywacji funkcji korekcji wyniku pomiarowego.

**Banana Jack Connections** - Schemat połączeń przyrządu pomiarowego.

**Instrument Control** - wybór urządzenia **Device**, tryb pracy ciągły/jednokrotny **Acquisition Mode**.

**Run/Stop** - przyciski rozpoczynający i kończący pracę przyrządu.

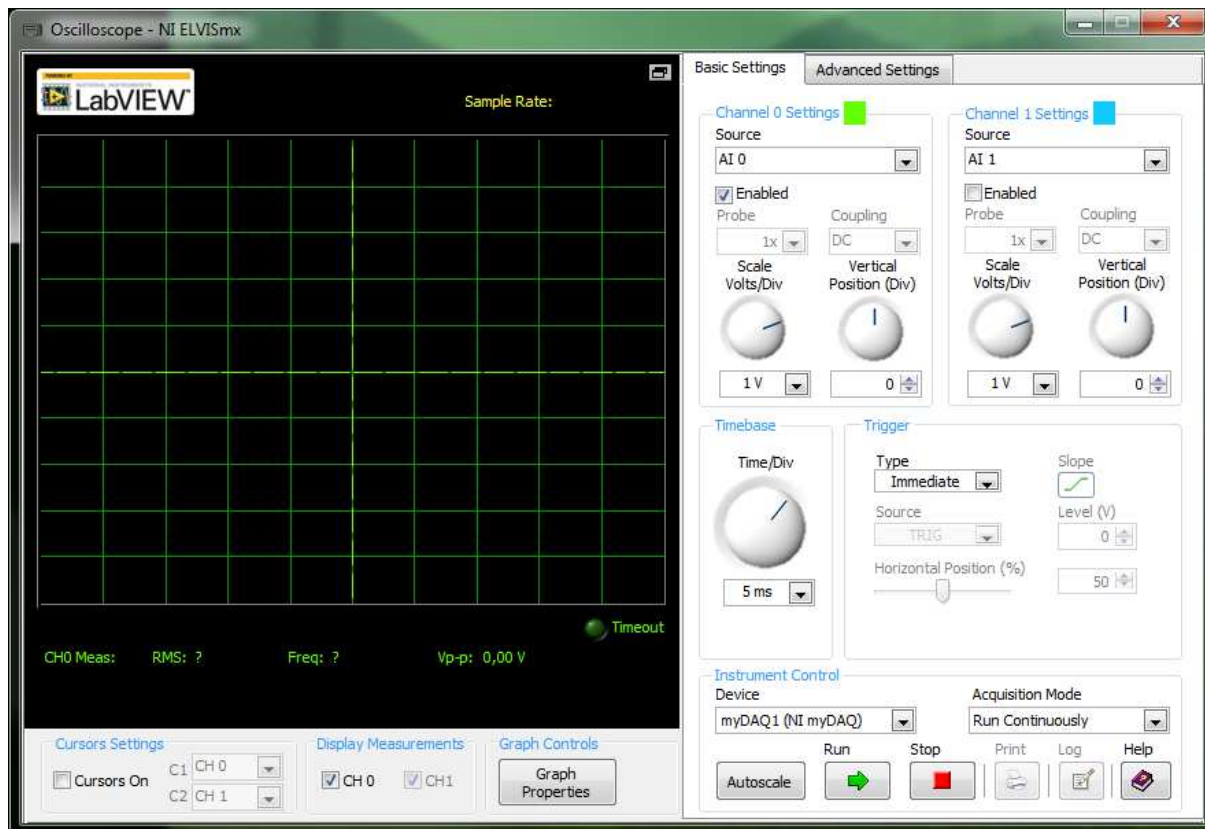
**Help** - pomoc.

## 4.2. Oscyloskop dwukanałowy

Właściwości przyrządu:

- zakres poziomu mierzonych sygnałów od  $-10V$  do  $10V$ ,
- praca dwukanałowa,
- regulacja podstawy czasu w zakresie od  $5\mu s$  do  $200ms$
- zmiana trybu oraz poziomu wyzwalania,
- wybór nazwy karty DAQ oraz kanału wejściowego (dostępne 2 kanały – ai0 i ai1).





Rys. 8 Płyta czołowa oscyloskopu wirtualnego

Elementy panelu **Basic Settings**:

Bloki **Channel 0(1) Settings**

**Enabled** – włącznik kanału

**Vertical Position** (Div) – przesunięcie w pionie położenia sygnału z wejścia 0(1)

**Scale Volts/div** - regulacja wzmocnienia kanału (liczba V lub mV na działkę)

Blok **Timebase** zawiera pokrętkę i przełącznik regulacji podstawy czasu (liczba s lub ms na działkę).

Blok **Trigger** zawiera elementy odpowiedzialne za ustawienia wyzwalania oscyloskopu:

*Immediate* – wyzwalanie analogowe realizowane programowo

*Digital* – wyzwalanie przy pomocy sygnału TTL dołączonego do wejścia 'trigger' karty DAQ (nieдоступne)

*Edge* – wyzwalanie analogowe konfigurowane w zakresie zbocza narastającego/opadającego (**Slope**), poziomu sygnału wejściowego (**Level**), źródła sygnału wyzwalającego (**Source**) i pozycji w czasie triggera (**Horizontal Position**).

Blok **Cursors Setting** - aktywacja kursorów.

**Measurement Display** - wyświetlanie wybranych kanałów.

**Graph Controls** - Ustawienia sposobu wyświetlania przebiegów.

**Instrument Control** - wybór urządzenia **Device**, tryb pracy ciągły/jednokrotny **Acquisition Mode**.

**Autoscale** - wybór automatycznego skalowania przebiegów.

**Run/Stop** - przyciski rozpoczynający i kończący pracę przyrządu.

**Print** - wydruk ekranu.

**Log** - zapis próbek zarejestrowanych sygnałów do pliku.

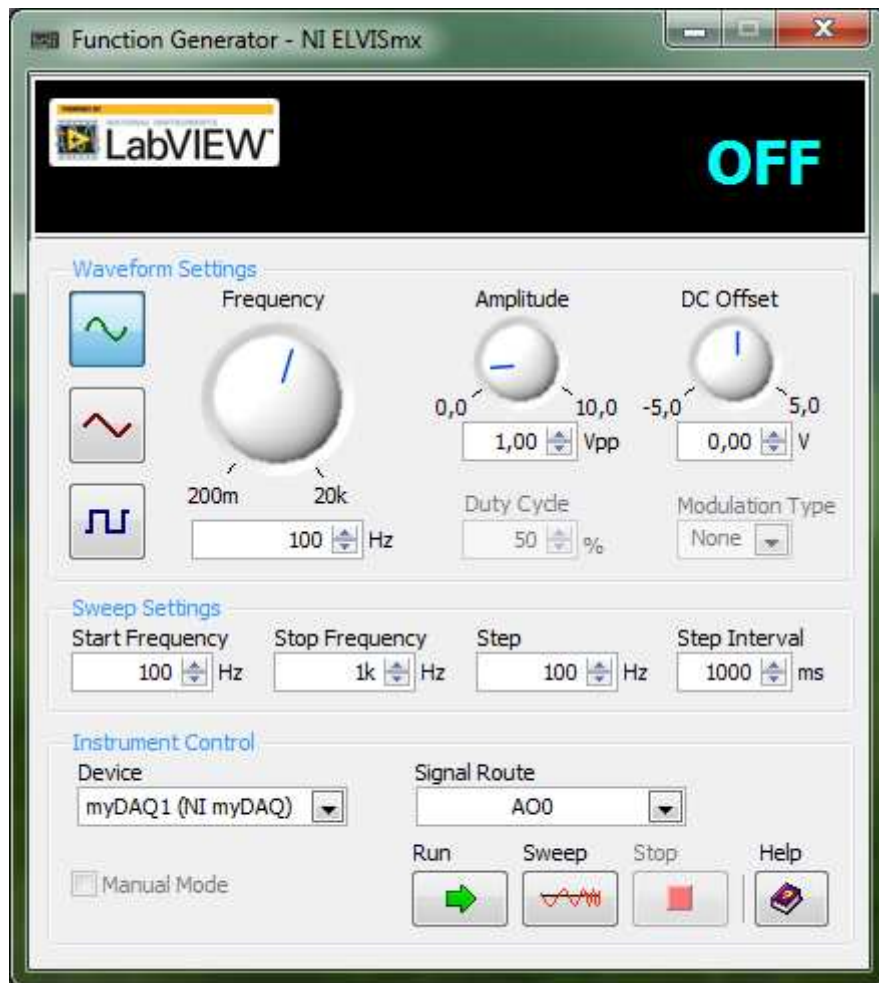
**Help** - pomoc.

### 4.3. Generator funkcyjny

Właściwości przyrządu:

- rodzaje generowanych przebiegów: sinus, prostokąt, piła, trójkąt,
- regulacja amplitudy w zakresie 0-5V,
- regulacja poziomu składowej stałej (maksymalna wartość zależy od ustawionej amplitudy),
- regulacja częstotliwości od 0,1Hz do 1kHz,

- regulacja współczynnika wypełnienia przebiegu prostokątnego,
- wybór numeru karty DAQ oraz kanału wyjściowego (dostępne 2 kanały – 0 i 1).



Rys. 9 Płyta wirtualnego czołowa generatora funkcyjnego

Elementy panelu:

**Waveform Settings** – wybór kształtu, częstotliwości, amplitudy, współczynnika wypełnienia i składowej stałej generowanego przebiegu.

**Sweep settings** – wybór częstotliwości początkowej i końcowej, częstotliwości i czasu trwania pojedynczego kroku dla trybu "przemiatania" częstotliwości

**Instrument Control** - wybór urządzenia **Device**, wybór wyjścia urządzenia **Signal Route**.

**Run/Stop** - przyciski rozpoczynający i kończący pracę przyrządu.

**Sweep** - praca w trybie "przemiatania" częstotliwości.

**Help** - pomoc.

#### 4.4. Analizator widma

Wirtualny analizator widma jest zbudowany z wykorzystaniem komputera PC wyposażonego w uniwersalną kartę zbierania danych (w tym przypadku myDAQ firmy National Instruments) oraz zestaw oprogramowania użytkowego. Oprogramowanie steruje funkcjami karty zbierania danych oraz realizuje interfejs do komunikacji z użytkownikiem w postaci panelu zobrazowanego na ekranie monitora. Panel jest odpowiednikiem płyty czołowej przyrządu z elementami regulacyjnymi obsługiwanymi za pomocą myszy.

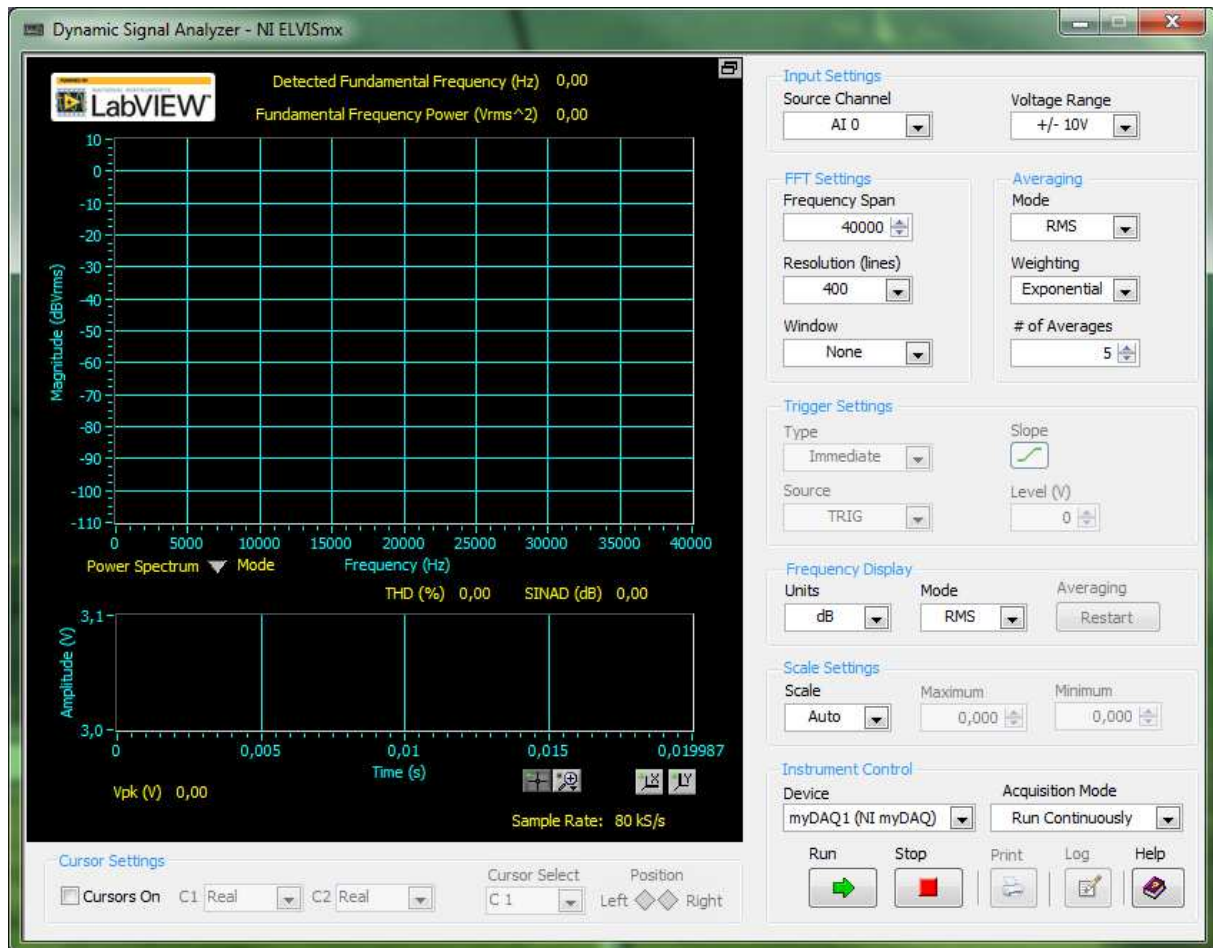
Na rysunku 16 przedstawiono widok panelu (płyty czołowej) analizatora z zaznaczeniem kilku istotnych elementów.

Opracowany przyrząd wirtualny umożliwia m.in.:

- zobrazowanie sygnału w dziedzinie czasu i częstotliwości
- dobór parametrów akwizycji sygnału (częstotliwości próbkowania i liczby próbek)
- regulację wzmocnienia w osi pionowej
- pomiary parametrów amplitudowych sygnału
- pomiar zawartości harmoniczných

- wybór okna czasowego
- zobrazowanie widma w skali liniowej lub logarytmicznej
- wybór zbocza, poziomu i szerokości okna wyzwalania
- powiększenie wybranego fragmentu przebiegu (zoom)

Przyrząd pracuje w trybie on-line tzn. proces próbkowania i analizy sygnału jest realizowany na bieżąco od chwili „naciśnięcia” przycisku **Run**.



Rys. 16. Wirtualny analizator widma

Elementy panelu:

**Input Settings** - Ustawienie wejścia **Input Signal** i zakresu **Range**.

**FFT settings** - Zakres częstotliwości widma **Frequency Span**, rozdzielczość **Resolution**, okno **Window**.

**Averagging** - tryb uśredniania **Mode**, wybór wag **Weighting**, liczba uśrednień **# of Averages**.

**Trigger settings** - ustawienia triggera (nieaktywne w ćwiczeniu dla myDAQ)

**Frequency display** - wybór skali liniowej/logarytmicznej **Units** i wyświetlanych wartości: skutecznych/amplitud **Mode**. **Averaging Restart** wymagany jeżeli zmiana skali nastąpiła dla włączonego trybu uśredniania.

**Scale Settings** - wybór skali tryb ręczny/automatyczny **Scale** i odpowiednio **Maximum** i **Minimum**.

Blok **Cursors Setting** - aktywacja kursorów.

**Instrument Control** - wybór urządzenia **Device**, tryb pracy ciągły/jednokrotny **Acquisition Mode**.

**Autoscale** - wybór automatycznego skalowania przebiegów.

**Run/Stop** - przyciski rozpoczynający i kończący pracę przyrządu.

**Print** - wydruk ekranu.

**Log** - zapis próbek zarejestrowanych sygnałów do pliku.

**Help** - pomoc.

#### 4.5. Rejestrator charakterystyk $I=f(U)$

Właściwości:

- rejestracja charakterystyk prądowo-napięciowych w zakresie napięć wejściowych od  $-3$  do  $3V$  (UWAGA: maksymalny prąd dla wyjść karty DAQ wynosi  $20\text{ mA}$ )
- zmiana początkowego i końcowego napięcia wejściowego
- zmiana liczby punktów charakterystyki oraz szybkości rejestracji
- wybór numeru karty DAQ oraz kanałów wejściowego i wyjściowego (dostępne po 2 kanały – 0 i 1)

Elementy panelu:

**Nazwa urządzenia** – nazwa karty zbierania danych (w ćwiczeniu dostępna tylko jedna)

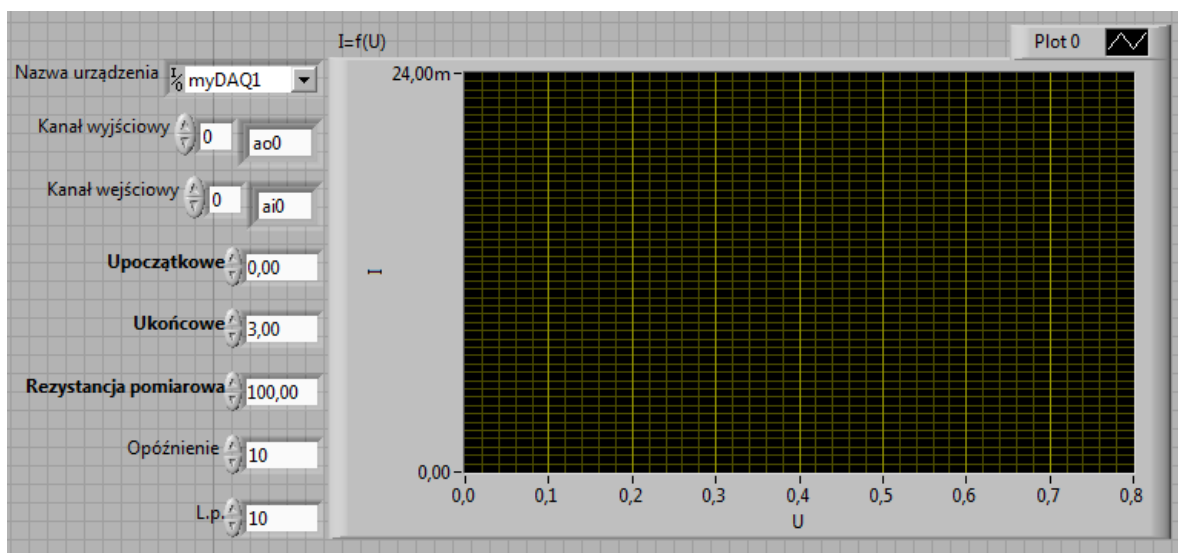
**Kanał Wejściowy** – numer kanału wejściowego (dostępne 0 lub 1)

**Kanał Wyjściowy** – numer kanału wyjściowego (dostępne 0 lub 1)

**Upoczątkowe** – napięcie wejściowe, od którego zacznie się rejestracja charakterystyki

**Ukońcowe** – napięcie wejściowe, na którym skończy się rejestracja charakterystyki

UWAGA: Regulacja napięć początkowego i końcowego dotyczy napięcia zasilania dwójnika pomiarowego. Uwzględniając spadek napięcia na rezystorze pomiarowym napięcie na badanym elemencie będzie niższe. Na osi poziomej wykresu znajduje się napięcie panujące na obiekcie badanym.



Rys. 10 Płyta czołowa rejestratora

**Rezystancja pomiarowa** – w polu tym należy podać wartość rezystora pomiarowego, jaki został połączony szeregowo z elementem badanym. Parametr ten służy do wyznaczenia prądu oraz napięcia na badanym elemencie.

**Opóźnienie** – opóźnienie między ustawieniem żądanej wartości napięcia wyjściowego a pomiarem napięcia na rezystorze.

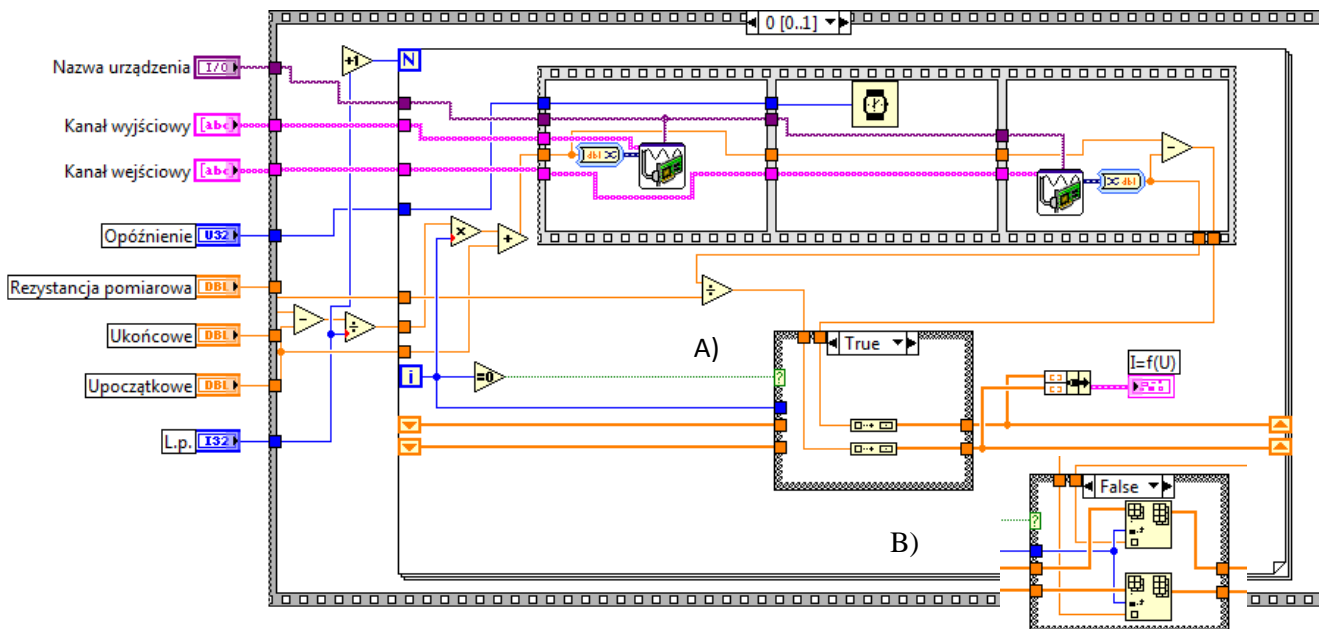
**L.p.** – liczba punktów charakterystyki.

Zasada działania przyrządu:

Pomiary odbywają się w pętli **for** wykonywanej **N**-razy. Każde przejście pętli związane jest z zarejestrowaniem jednego punktu charakterystyki  $I=f(U)$ . Liczba przejść pętli jest zadawana przez element **L.p.** panelu przyrządu. Sekwencja pomiarowa (Rys. 11a,b,c) odpowiada za wystawienie na wyjściu karty DAQ żądanej wartości napięcia (a), odczekania pewnego czasu potrzebnego na ustabilizowanie sygnału (b) oraz pomiaru napięcia na rezystorze włączonym szeregowo z obiektem badanym. Wartości napięcia wejściowego, rezystancji pomiarowej oraz napięcia zmierzonego na rezystorze służą do wyznaczenia rzeczywistego napięcia oraz prądu dla obiektu badanego. Jeżeli wykonywany jest pierwszy pomiar, struktura decyzyjna (d,e) tworzy parę jednoelementowych wektorów napięcia i prądu (e) które w kolejnych krokach uzupełniane są o kolejne punkty pomiarowe (d). Wspomniane wektory są łączone i wyświetlane na wykresie typu x,y (**XY Graph**).

Wartość napięcia w każdym kroku pętli wyznaczana jest ze wzoru  $U_z = i \cdot (U_{\text{końcowe}} - U_{\text{początkowe}}) / N$  (patrz Rys. 11), gdzie **i** jest licznikiem pętli. Napięcie i prąd dla obiektu badanego wyznaczane są:  $U = U_z - U_r$ ,  $I = U_r / R$ , gdzie  $U_r$  - napięcie na rezystorze pomiarowym, **R** – wartość rezystora pomiarowego.



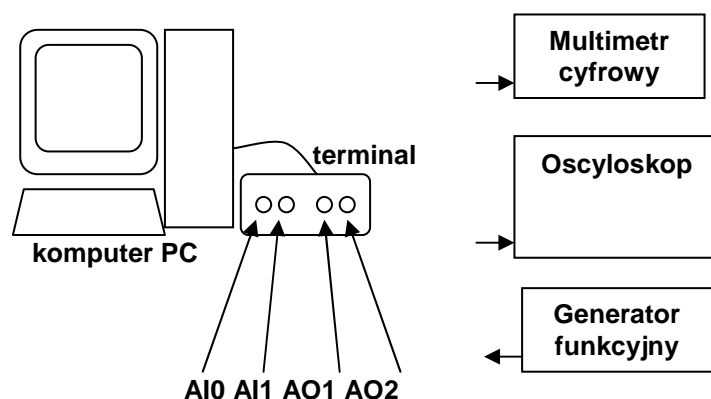


Rys. 11. Schemat blokowy rejestratora. a,b – sprawdzanie czy rejestrowany jest pierwszy punkt pomiarowy czy kolejne.

## 5. Przebieg ćwiczenia

### 5.1. Uwagi wstępne

Zestaw pomiarowy składa się z komputera z dołączoną poprzez USB kartą myDAQ, multimetru cyfrowego, generatora funkcyjnego i oscyloskopu (rys. 12). Wszystkie urządzenia pomiarowe są dołączane do gniazd BNC na terminalu. Do gniazd oznaczonych **AI0** i **AI1** podłączono wejścia kanałów 0 i 1 karty, a do gniazd oznaczonych jako **AO0** i **AO1** analogowe kanały wyjściowe karty, odpowiednio 0 i 1.

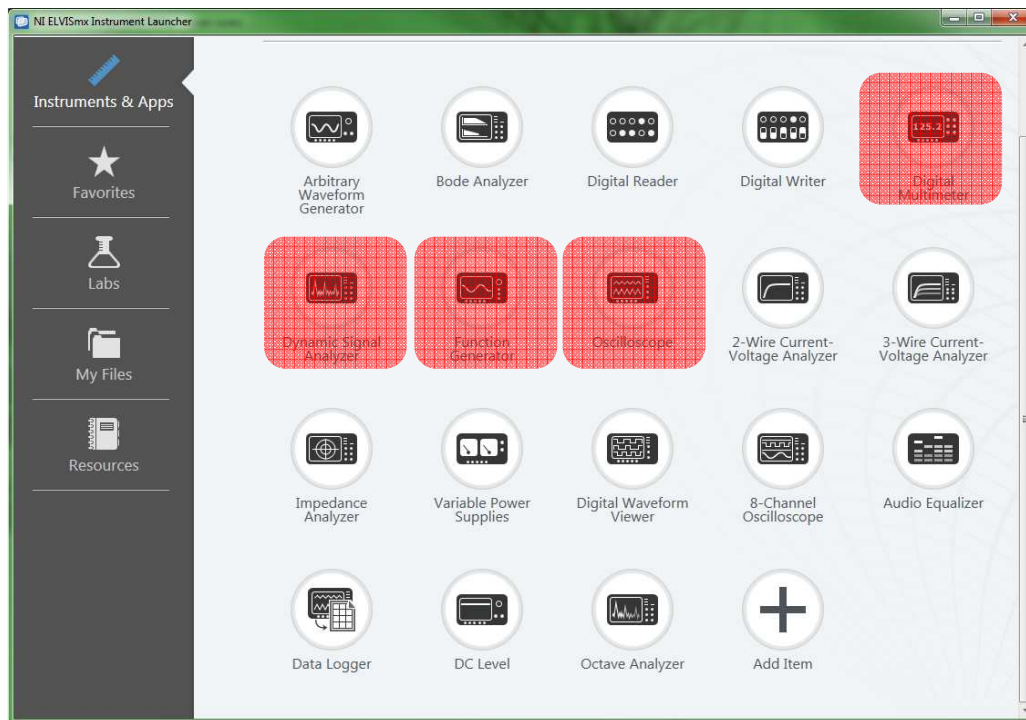


Rys. 12 Zestaw pomiarowy.

**UWAGA:** Wartość chwilowa napięcia podawanego na wejście karty DAQ nie powinna wykraczać poza zakres  $-5 \div 5V$ .

W celu uruchomienia przykładowych przyrządów wirtualnych należy postępować dokładnie wg następujących zasad:

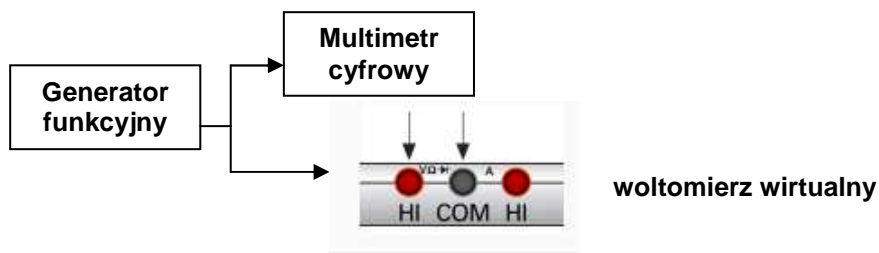
1. Na pulpicie utwórz własny podkatalog oznaczony jako **zes\_y**, gdzie **xx** jest numerem grupy, a **y** numerem zespołu (np. **c:\Users\lab412\Desktop\zes\_02**)
2. skopiuj do tego katalogu plik **dioda.vi** z katalogu **D:\lvexamples**
3. uruchom środowisko LabVIEW (ikona na Pulpicie)
4. w oknie dialogowym środowiska LabVIEW wybierz *Open VI* a następnie otwórz plik **dioda.vi** (koniecznie z własnej lokalizacji)
5. Jeżeli program uruchomieniowy dla przyrządów nie rozpoczął działania automatycznie przejdź do i uruchom: **Start>Wszystkie programy>National Instruments>NI ELVISmx for NI ELVIS & NI myDAQ>NI ELVISmx Instrument Launcher**. Wyświetli się aplikacja uruchomieniowa:



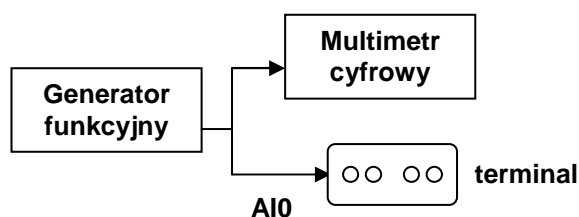
6. Z dostępnego zestawu wybierz: *Digital Multimeter*, *Oscilloscope*, *Function generator*, *Dynamic Signal Analyser*.

## 5.2. Badanie przykładowych przyrządów wirtualnych

a) Woltomierz (*Digital Multimeter*)



Rys. 13a Układ pomiarowy badania woltomierza wirtualnego "dedykowanego".

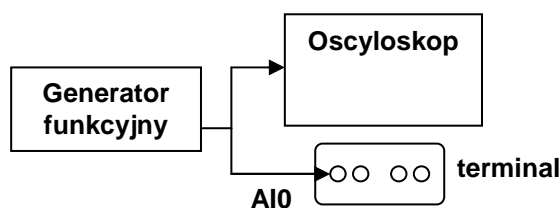


Rys. 13b Układ pomiarowy badania woltomierza wirtualnego "samodzielnej konstrukcji".

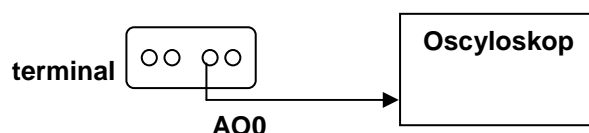
- zapoznaj się z funkcjami i obsługą przyrządu (wg punktu 4.1).
- podłącz zewnętrzny generator funkcyjny zgodnie z rysunkiem 13.
- zmierz wartości napięcia dla różnych kształtów przebiegu badanego (tryb AC), wyniki porównaj ze wskazaniami woltomierza autonomicznego. Czy badany przyrząd wskazuje prawdziwą wartość skuteczną badanego sygnału?
- zbadaj jaki wpływ na wskazania wirtualnego woltomierza ma częstotliwość mierzonego sygnału (charakterystyka  $U_{sk}(f)$ ); ustaw amplitudę napięcia wejściowego na 1V, brak składowej stałej; zwróć uwagę na zachowanie przyrządu dla częstotliwości sygnału 5kHz i jej wielokrotności (warto porównać dedykowany woltomierz myDAQ oraz skonstruowany samodzielnie).
- rozbuduj woltomierz o rejestrator historii zmierzonych wartości napięcia (opcjonalnie).
- rozbuduj przyrząd o wyświetlacze maksymalnej i minimalnej wartości pomiaru (opcjonalnie).

b) Oscyloskop dwukanałowy (**Oscilloscope**)

- zapoznaj się z funkcjami i obsługą przyrządu (wg punktu 4.2).
- podłącz zewnętrzny generator funkcyjny jednocześnie do wejścia **A10** oraz do wejścia oscyloskopu autonomicznego (rys 14).
- sprawdź działanie przycisków i pokręteł w blokach **Scale Volts/Div, Time/Div, Trigger**
- zaobserwuj kształt przebiegów dla różnych częstotliwości napięcia wejściowego.
- nastaw podstawę czasu 1ms i porównaj obrazy uzyskiwane dla kilku przebiegów o częstotliwościach  $f$  i  $50000-f$  (np. 100Hz i 49900Hz).



Rys. 14 Układ pomiarowy badania oscyloskopu wirtualnego.

c) Generator funkcyjny (**Function Generator**)

Rys. 15 Układ pomiarowy badania wirtualnego generatora funkcyjnego.

- zapoznaj się z funkcjami i obsługą przyrządu (wg punktu 4.3),
- podłącz zewnętrzny oscyloskop do wyjścia **A00** (rys 15),
- sprawdź zakres częstotliwości generowanych sygnałów,
- zaobserwuj wpływ częstotliwości na kształt przebiegów wyjściowych,
- zakończ pracę przyrządu przyciskiem **Stop** znajdującym się na panelu.

## 5.3. Wirtualny analizator widma

## 5.3.1 Wstępne ustalenie parametrów pracy analizatora i generatora

- Wybrać kanał (**Source**), do którego jest doprowadzony sygnał z generatora.
- Ustawić czułość na 1V / Div.
- Ustawić liczbę próbek sygnału (**Frequency Span**), wynoszącą 100000.
- Ustawić rozdzielczość (resolution), wynoszącą 1000.
- Wybrać okno prostokątne.
- Ustawić częstotliwość generowanego sygnału (*sin*) na wartość 500Hz.
- Ustawić amplitudę generowanego sygnału na wartość 4.000 Vpp.
- Uaktywnić pracę analizatora (**Run**).

## 5.3.2 Interpretacja wyników



- Dla podanego na wejście sygnału sinusoidalnego o ustawionych w poprzednim punkcie parametrach amplitudowo-częstotliwościowych zinterpretować uzyskane widmo w skali liniowej oraz w skali logarytmicznej (przełącznik **Scale Settings**). W celu ułatwienia obserwacji przebiegów czasowych oraz ich widm można posłużyć się kursorami i skojarzonymi z nimi opcjami powiększenia.
- Powtórzyć to samo badanie dla sygnałów: prostokątnego bipolarnego o współczynniku wypełnienia wynoszącym 50% oraz trójkątnego symetrycznego.

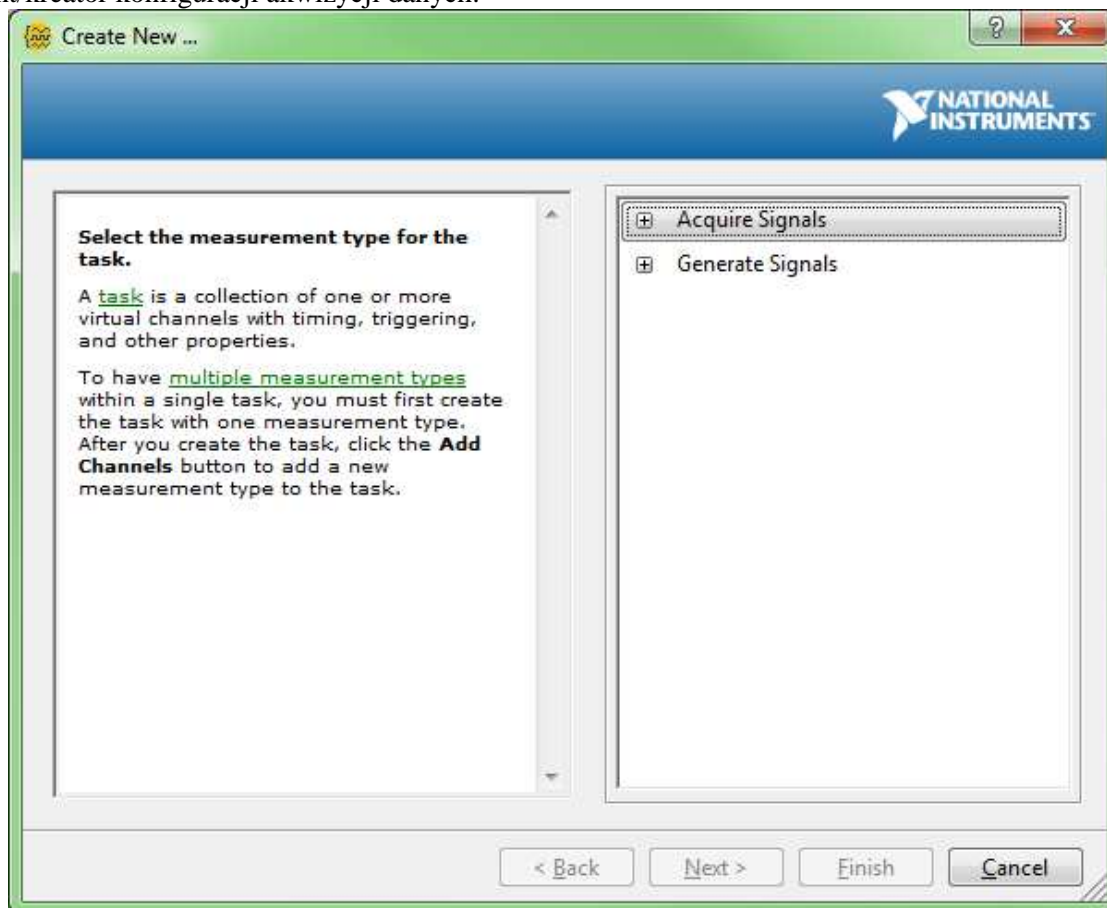


- Pozostając przy skali logarytmicznej ponownie podać na wejście analizatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości np. 503Hz. Wyjaśnić obserwowane zjawisko w dziedzinie częstotliwości.
- Pozostając przy tym samym sygnale i jego parametrach wybrać okno czasowe inne niż prostokątne np. okno *Hanninga* i zinterpretować uzyskane wyniki. Określić wpływ pozostałych okien na kształt widma.
- Wybrać zakres częstotliwości na osi poziomej widma rozciągający się w zakresie od zera do częstotliwości próbkowania ( $FreqSpan=fp$ ). Przy ustalonej częstotliwości próbkowania ( $fsamp$ ) oraz liczbie próbek ( $NumberSamples$ ) zwiększać częstotliwość sygnału badanego (sygnał sinusoidalny) powyżej częstotliwości wynoszącej  $fsamp/2$ . Zinterpretować obserwowane zjawisko.

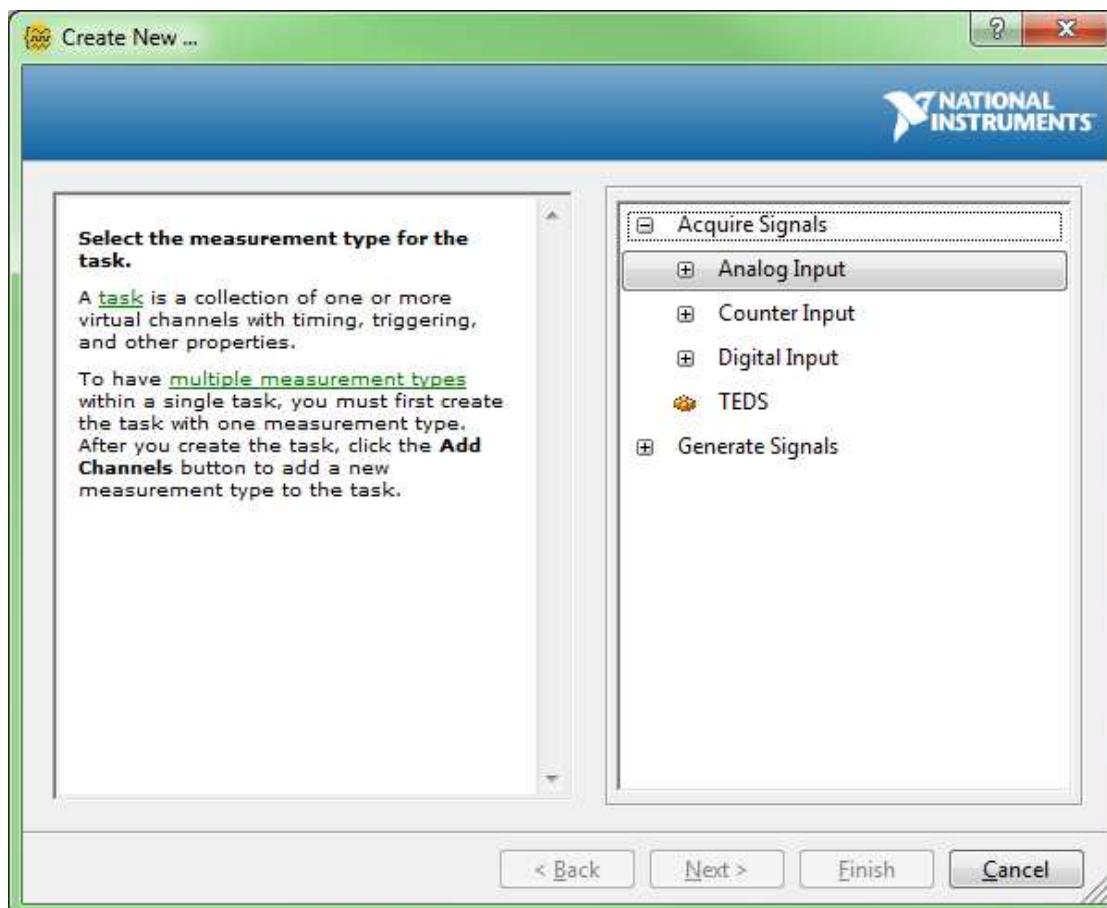
Ustawić liczbę próbek na wartość wynoszącą 1024. Zaobserwować wartość współczynnika zawartości harmonicznych dla sygnałów sinusoidalnego prostokątnego i trójkątnego. Skonfrontować uzyskane wyniki z wartościami teoretycznymi (definicja THD). Zaobserwować zmiany współczynnika THD w zależności od liczby harmonicznych branych pod uwagę. Z dokładnością do której harmonicznej można obliczyć współczynnik THD przy ustalonych parametrach pracy analizatora oraz sygnału badanego.

## 5.4. Konstruowanie własnego woltomierza wirtualnego

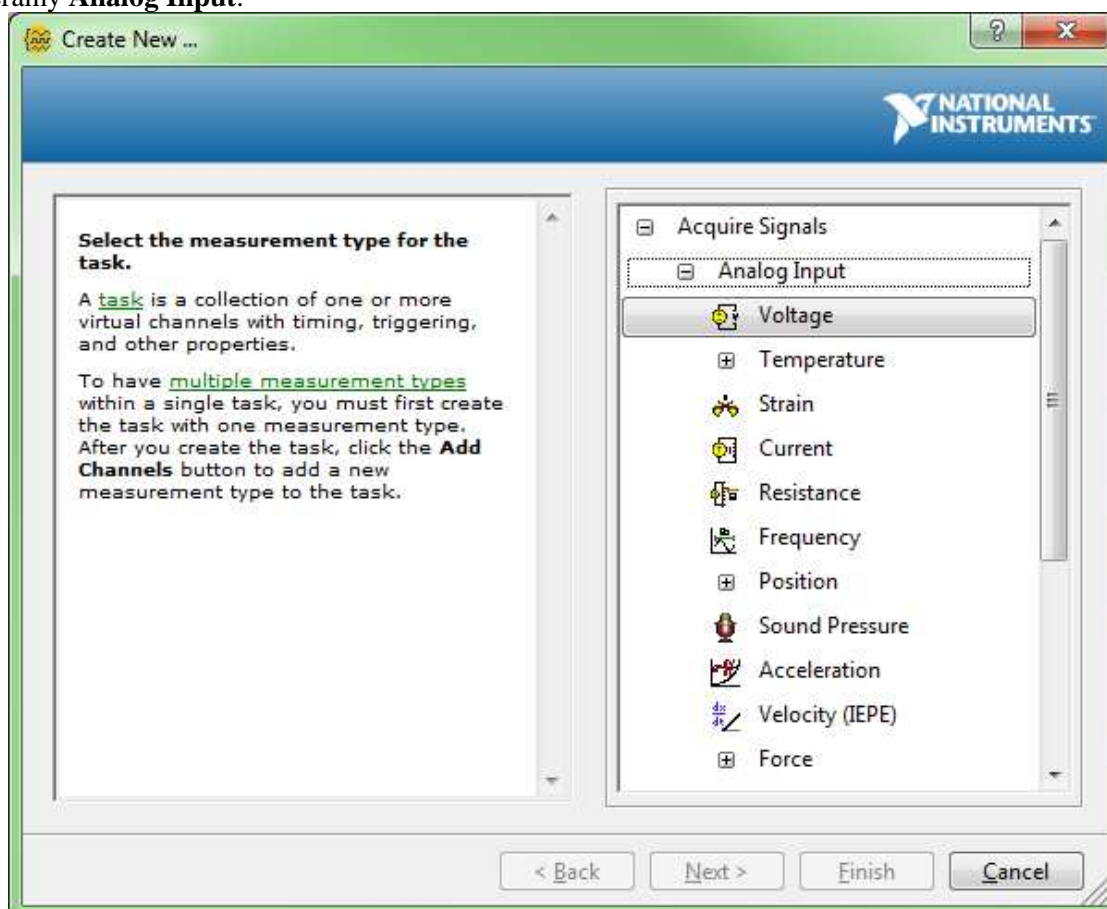
- W oknie dialogowym (pojawiającym się po uruchomieniu środowiska LabVIEW) wybrać przycisk **New VI**.
- Przejść do okna edycji schematu blokowego (białe tło).
- Z palety **Functions** wybrać **Structures** -> **While Loop**, a następnie zaznaczyć w oknie prostokąt symbolizujący obszar pętli (wszystkie elementy znajdujące się wewnątrz obszaru będą wykonywały się w pętli !).
- Uaktywnić menu kontekstowe wciskając prawy klawisz myszy na symbolu  i z dostępnych opcji wybrać **Stop If True** (symbol powinien zmienić się na .
- Dla wspomnianego symbolu uaktywnić menu kontekstowe ponownie i wybrać opcję **Create Control**, co spowoduje pojawienie się (w obu oknach – interfejsu oraz schematu blokowego) symbolu przycisku **Stop** kończącego działanie pętli.
- Z palety **Functions** wybrać element: **Express** -> **Input** -> **DAQ Assist** i umieścić go wewnątrz utworzonej uprzednio pętli głównej. Odpowiada on za odczytywanie sygnału z wejścia karty DAQ. Pojawi się asystent/kreator konfiguracji akwizycji danych:



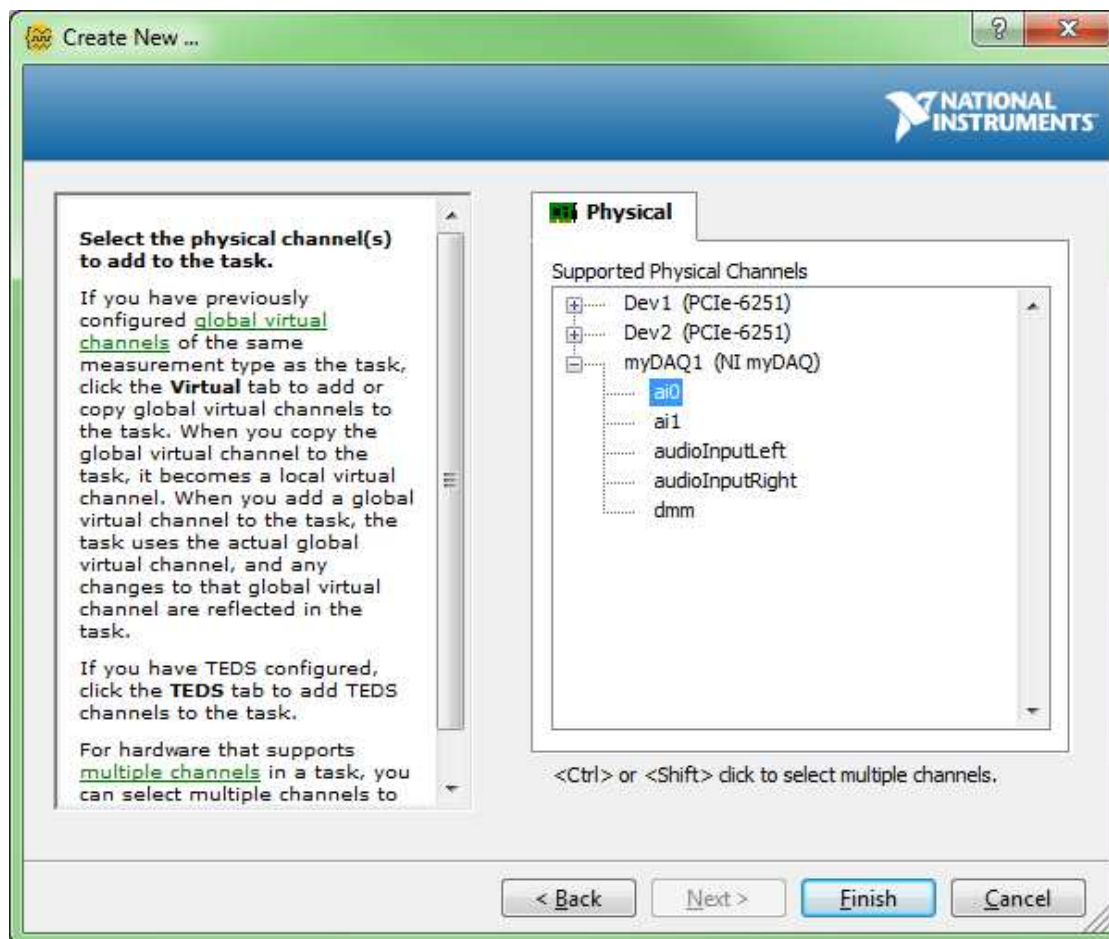
W pierwszym oknie rozwijamy **Acquire Signals**. Pojawi się poniższa lista:



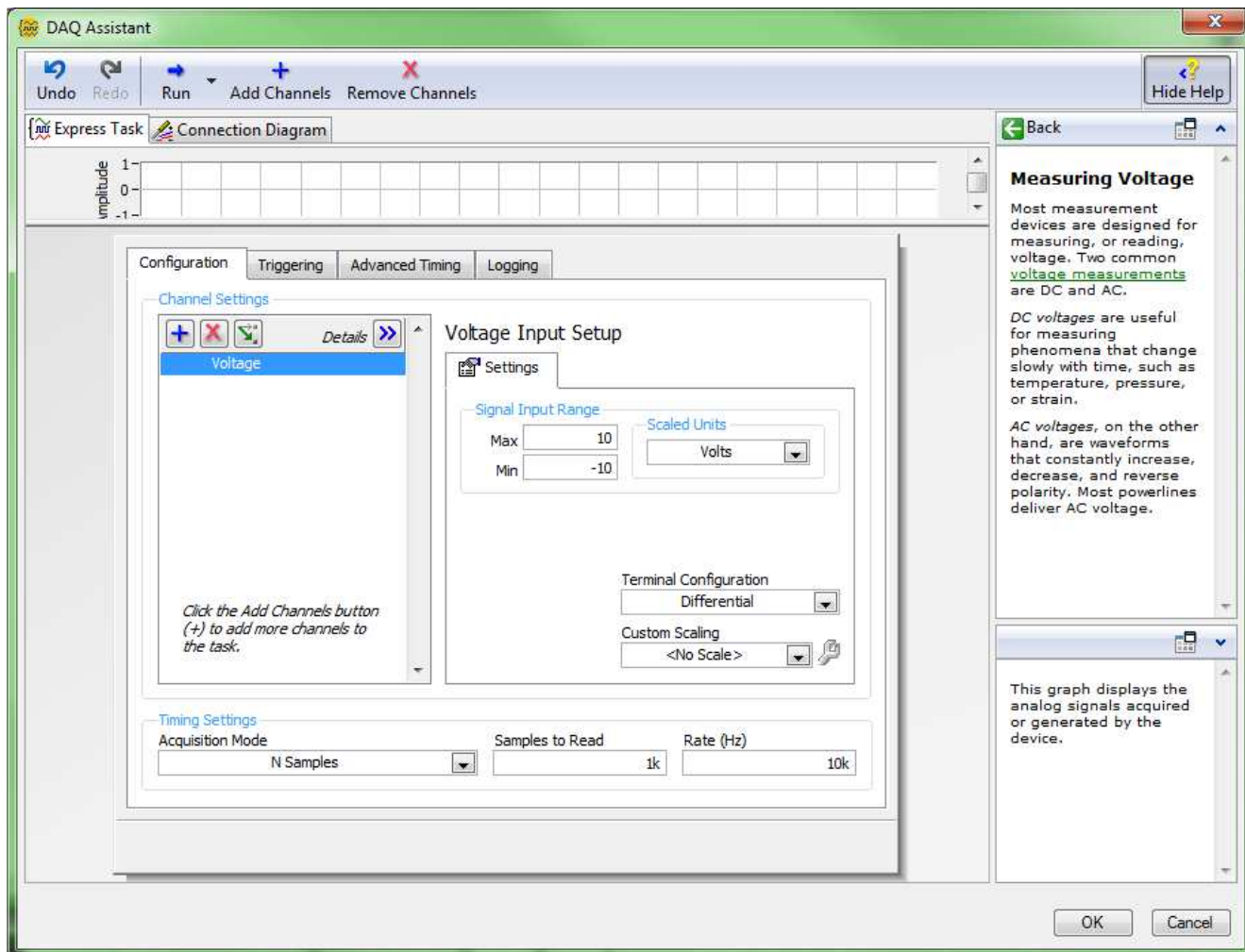
Wybieramy **Analog Input**.



A następnie **Voltage**.



W kolejnym oknie wybieramy urządzenie, z którego będziemy korzystać oraz numer kanału, w ćwiczeniu jest to **myDAQ**, a numer kanału w zależności od tego, z którego korzystamy np: **ai0**. Naciskamy klawisz **Finish**.



W ostatnim oknie ustawiamy zakres napięć wejściowych i jednostkę - **Signal Input Range** i **Scaled Units**.


**Terminal Configuration** ustawiamy na **Differential** a **Custom Scaling** pozostawiamy bez zmian **<NoScale>**.


W sekcji **Timing Settings** możemy ustawić sposób rejestracji danych. W naszym przypadku zbieramy pojedynczy bufor danych czyli **Acquisition Mode** będzie ustawiony na **N samples**. **Samples to Read** określa liczbę próbek do zebrania, ustawmy tę wielkość na 1000 próbek. Parametr **Rate (Hz)** określa częstotliwość próbkowania - ustawmy go na 10 kHz. te wielkości będą służyły jako wartości domyślne. Jeżeli bowiem w kodzie "podłączymy" się do wejść **rate** i **number of samples** funkcji **DAQ Assistant** będziemy mogli je dynamicznie zmieniać. Jeżeli zaś wejścia te pozostaną niepodłączone funkcja wykorzysta wartości, które nastawiliśmy w menu konfiguracyjnym. Zatwierdzamy zmiany i wracamy do kodu-funkcja **DAQ Assistant** jest skonfigurowana zgodnie z naszymi nastawami.

- Z palety **Functions** wybrać element:

**Functions -> Signal Processing -> Signal Operation -> AC & DC Estimator**,

który odpowiada za wyznaczanie składowej stałej oraz wartości skutecznej przebiegu wejściowego.

- Z palety **Tools** należy wybrać narzędzie  służące do tworzenia połączeń między blokami.

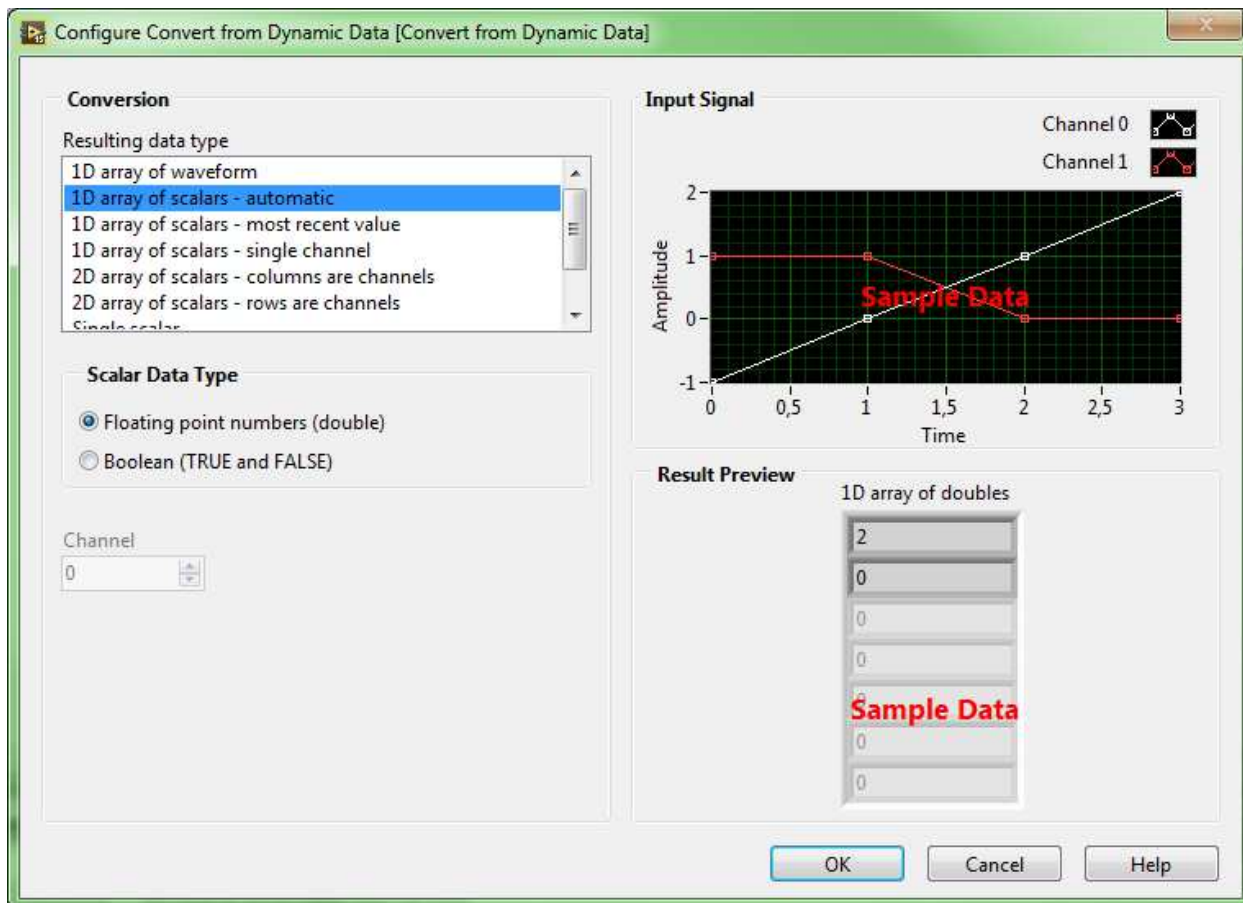
- Ustawić wskaźnik myszy (teraz w kształcie ) nad wejściem **rate** bloku **DAQ Assistant**, uaktywnić menu kontekstowe (prawym klawiszem myszy), wybrać opcję **Create -> Control**. Spowoduje to utworzenie elementu częstotliwości próbkowania karty DAQ.




- W analogiczny sposób stworzyć element sterujący wejściami: **number of samples** (czyli liczba próbek rejestrowanego sygnału).

- Z menu kontekstowego dla wyjść **AC Estimate** oraz **DC Estimate** bloku **AC & DC Estimator** wybrać **Create -> Indicator**, co spowoduje utworzenie wyświetlaczy wartości mierzonych.

- Umieścić na diagramie funkcję **Functions -> Express -> Sig Manip -> From DDT** i w menu konfiguracyjnym w polu **Resulting data type** wybrać **1D array of scalars - automatic**. Zatwierdzić zmiany i zamknąć okno.



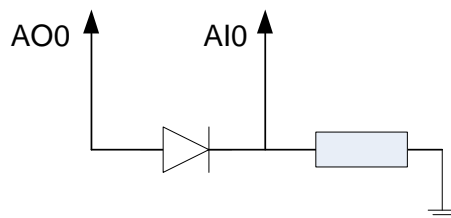


- Połączyć wyjście **data** bloku **DAQ Assistant** z wejściem bloku **From DDT**.
- Połączyć wyjście bloku **From DDT** z wejściem **Signal** bloku **AC & DC Estimator**.
- Z palety **Functions** wybrać element: **Time & Dialog -> Wait (ms)** i umieścić go wewnątrz pętli głównej programu. Będzie to blok opóźnienia pomiędzy dwoma pomiarami.
- Dla wejścia **milliseconds to wait** powyższego bloku utworzyć element sterujący (**Create -> Control**)
- Przejsz do okna edycji interfejsu (szare tło) i dla elementu sterującego **milliseconds to wait** uaktywnić menu kontekstowe z którego wybrać **Data Entry...**. Pojawi się okno dialogowe w którym należy odznaczyć opcję **Use Default Limits**. Wartość **minimum** ustawić na 10, wartość **maximum** ustawić na 2000 i zamknąć okno. Następnie należy ustawić wartość nastawy na 10 i z menu kontekstowego wybrać **Data Operation** i **Make Current Value Default**.
- Z palety narzędzi wybrać  i uporządkować elementy w oknie interfejsu (szare tło). Aby zmienić wygląd elementów sterujących można użyć opcji **Replace** z menu kontekstowego, należy jednak pamiętać aby nowy obiekt obsługiwał ten sam typ danych co stary. Również nazwy obiektów mogą być zmieniane przy użyciu narzędzia .
- Zapisać przyrząd we własnym katalogu wybierając z menu **File** opcję **Save As**.
- Uruchomić przyrząd przyciskiem  i sprawdzić jego działanie (np. analogicznie jak w p. 5.2a)

## 5.5. Przyrządy specjalizowane

### a) Rejestrator charakterystyk $I=f(U)$ .

- otwórz skopiowany wcześniej do własnego katalogu projekt rejestratora charakterystyk *dioda.vi*
- zapoznaj się z budową i zasadą działania przyrządu
- połącz układ jak na rysunku 16
- zarejestruj charakterystyki prądowo-napięciowe dla wskazanych przez prowadzącego diod półprzewodnikowych.
- zmodyfikuj przyrząd tak, aby zapisywał zarejestrowane charakterystyki w pliku tekstowym na dysku twardym (opcjonalnie)
- zmodyfikuj interfejs graficzny tak, aby przyrząd przedstawiał wyniki w możliwie najbardziej wygodnej dla użytkownika formie



Rys. 16 Sposób podłączania badanej diody do karty zbierania danych.

## 6. Literatura

- [1] National Instruments Corporation: *IEEE-488 and VXIbus Control, Data Acquisition and Analysis*, 1996.
- [2] Gary W. Johnson: *LabVIEW Graphical Programming*, 1994.
- [3] Golla L.: *PC Hardware Technology and the Virtual Instrumentation Revolution*. Proc. of NEPCON West 1995
- [4] *HP VEE Evaluation Manual*. Hewlett-Packard 1995
- [5] *LabVIEW - Graphical Programming Software*. National Instruments Corp. Austin 1986-96
- [6] Wells Lisa K.: *The LabVIEW Student Edition User's Guide*. Prentice Hall 1995
- [7] Winiecki W. i inni: *Narzędzia wspomagania projektowania komputerowych systemów pomiarowych*. Pomiar, Automatyka, Kontrola - PAK 1995, nr 5, s. 127-132
- [8] Winiecki W.: *Przyrządy wirtualne*. Materiały XXVIII Międzyuczelnianej Konferencji Metrologów MKM'96, Częstochowa. 1996, tom 1, s.322-326
- [9] Winiecki W.: *Virtual Instruments - What Does It Really Mean?*. Proc. XIV IMEKO World Congress, Tampere 1997, tom 4A, s.91-96
- [10] Rak R: *Wirtualny przyrząd pomiarowy – realne narzędzie współczesnej metrologii*, OW PW, Warszawa 2003
- [11] NI myDAQ User guide.