Jacek Misiurewicz
Krzysztof Kulpa
Piotr Samczyński
Mateusz Malanowski
Piotr Krysik
Łukasz Maślikowski
Damian Gromek
Artur Gromek
Marcin K. Bączyk

Zakład Teorii Obwodów i Sygnałów
Instytut Systemów Elektronicznych
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Laboratorium Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów

Wersja do wydruku - bez części teoretycznej

Warszawa 2019

Ćwiczenie Z

Laboratorium zerowe – Matlab, LabView i narzędzia

Z.1. Wprowadzenie do zajęć

W pierwszej części ćwiczenia Z studenci zapoznają się z:
– regulaminem porządkowym i BHP,
– zasadami zaliczenia przedmiotu,
– wymaganiami co do protokołu z ćwiczenia.
Informacje te znajdują się w oddzielnym dokumencie, dostępnym na stronie internetowej przedmiotu.

W ćwiczeniu Z student wyjątkowo nie tworzy protokołu. Warto jednak sformułować ustnie odpowiedzi na pytania występujące w instrukcji i przedyskutować je z kolegami oraz z prowadzącym.

Z.2. Wprowadzenie do pakietu Matlab

Matlab jest jednym z podstawowych środowisk komputerowych do obliczeń numerycznych. W laboratorium LCPS jest wykorzystywany do przetwarzania sygnałów i wizualizacji wyników.

Matlab zbudowany jest na podstawie prostego języka skryptowego, który jest językiem interpretowanym. Oznacza to, że z linii poleceń Matlaba można wykonać bezpośrednio pojedyncze polecenie, albo wywołać gotowy skrypt, działając na zmiennych globalnych uruchomionego środowiska. Polecenia i skrypty mogą korzystać z funkcji – standardowych lub definiowanych przez użytkownika[1].

Przykładowo wykonanie z linii komendy polecenia

```
2+2
```

spowoduje natychmiastową odpowiedź

```
ans =
4
```

[1] W warunkach domowych studenci mogą korzystać z darmowego pakietu Octave, który używa języka praktycznie identycznego z językiem Matlaba. Octave dostępny jest na licencji GNU i działa równie dobrze w systemach Linux i Windows.

W dalszym ciągu ćwiczenia kolejne właściwości Matlaba będą wprowadzane na przykładach praktycznych poleceń wykonywanych przez studenta.

Z.2.1. Matlab – rozpoznanie walką

„Rozpoznanie walką (ang. *reconnaissance in force*) – rodzaj natarcia, a także sposób przeprowadzenia rozpoznania taktycznego [...] ma na celu zdobycie najbardziej wiarygodnych informacji. [...] Ten rodzaj natarcia powinien zmusić przeciwnika do ujawnienia rzeczywistych pozycji lub punktów oporu. [...] Rozpoznanie walką prowadzi się w czasie przygotowywania działań lub w trakcie ich trwania, gdy zdobycie pożądanych informacji innymi sposobami jest niemożliwe" (cytat z Wikipedii).

Z.2.1.1. Podstawowe obiekty, operatory i polecenia

- Uruchom Matlaba i poczekaj na zgłoszenie linii komendy[2]. Wykonaj z linii komendy polecenie z poprzedniego przykładu (`2+2`). Zwróć uwagę na okienko Workspace, w którym pojawi się nowa zmienna[3].
- Sprawdź wartość zmiennej `ans`, a potem pomnóż ją przez 3.

```
ans
ans*3
```

Podstawowym obiektem w Matlabie jest zmienna, która może przechowywać liczbę (skalar), wektor lub macierz (w ogólnym przypadku wielowymiarową). Zmienne tworzone są przy pierwszym użyciu, a ich typ określany jest automatycznie. Liczby zespolone traktowane są w sposób naturalny. Jednostkę urojoną można oznaczać jak wszyscy: `i` albo jak elektronicy: `j`.
Znak `%` oznacza początek komentarza, rozciągającego się do końca wiersza.

- Utwórz zmienne o różnych typach (nie przepisuj komentarzy z poniższego kodu).

```
X = 1 % podstawienie liczby 1 do zmiennej X
Y = [1, 2, 3] % utworzenie wektora poziomego
Z = [4;5;6] % utworzenie wektora pionowego
M = [1,2;3,4] % utworzenie macierzy kwadratowej
C = [sqrt(-1), 1+2i, -3i] % utworzenie wektora zespolonego
txt = 'Ala ma kota' % utworzenie zmiennej tekstowej
```

[2] Nie opisujemy jak to zrobić, polegamy tu na ogólnym doświadczeniu studenta z nowoczesnymi systemami operacyjnymi. W chwili pisania tego skryptu, w zainstalowanym w laboratorium systemie należy odnaleźć odpowiednią ikonę i wykonać dwuklik myszą. W przyszłości być może będzie trzeba wyobrazić sobie intensywnie ikonkę Matlaba i następnie wypowiedzieć w myśli jakieś zaklęcie.

[3] Jeśli okienko nie jest widoczne, użyj menu Desktop⟶Workspace.

Elementy wektorów i macierzy można indeksować stałą lub zmienną; użycie symbolu `:` (dwukropek) zamiast indeksu oznacza wybranie wszystkich wierszy lub kolumn. W Matlabie indeksy zaczynają się od wartości 1 (inaczej niż np. w C).
Użycie dwukropka jako pojedynczego indeksu do macierzy oznacza przekształcenie jej w wektor kolumnowy.

Pobierz różne elementy macierzy.

```
Y(2) % da nam wynik 2
Z(3) % da nam wynik 6
M(2, 1) % da nam wynik 3
M(2, X) % też da nam 3
M(2, :) % da nam wektor [3,4]
M(:, 1) % da nam wektor kolumnowy [1;3]
M(:) % da nam wektor kolumnowy [1;3;2;4]
```

Wektory można generować za pomocą wyrażenia z operatorem postępu arytmetycznego (w tej roli znów `:` czyli dwukropek).
Słowo kluczowe `end` użyte w wyrażeniu indeksującym oznacza końcową wartość indeksu.

Wygeneruj sobie różne postępy arytmetyczne.

```
n = 1:10 % postęp z krokiem domyślnym 1
% lub równoważnie
n = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]
m = 1:10:100 % postęp z krokiem 10
Kot = 10:-1:0 % postęp z krokiem -1
KotOgonem = Kot(end:-1:1) % odwracanie...
```

Tworzenie typowych wektorów i macierzy ułatwiają funkcje:

- `size(x)` – podaje rozmiar zmiennej `x`,
- `zeros(m,n)` – tworzy macierz $m \times n$ wypełnioną zerami; można też wywołać `zeros(size(x))`,
- `ones(m,n)` – *student sam odgadnie albo sprawdzi co ta funkcja robi*,
- `eye(n)` – tworzy macierz jednostkową $I_{n\times n}$ (przeczytaj na głos po angielsku *eye* oraz *I*),
- `rand(m,n)` – tworzy macierz wypełnioną (pseudo)losowymi liczbami z rozkładem równomiernym na odcinku $(0,\ 1)$,
- `randn(m,n)` – tworzy macierz wypełnioną (pseudo)losowymi liczbami z rozkładem normalnym.

Wektory można sklejać (*konkatenować*) „w pionie” `C=[A;B]` i „w poziomie” `R=[A,B]`
Zakończenie polecenia średnikiem wyłącza wydruk wyniku – wynik oczywiście pozostaje w odpowiedniej zmiennej w przestrzeni roboczej.

Utwórz wektor wierszowy `r` zawierający 3000 elementów, z czego pierwsze 1000 to zera, kolejne to jedynki, a na końcu – liczby losowe o rozkładzie Gaussa.

Uproszczoną dokumentację („help") operatorów, funkcji i typów zapewnia polecenie `help <temat>`.

Dowiedz się więcej na temat:
- zmiennej `ans`,
- dwukropka (`help colon`).

Operacje na zmiennych są realizowane podobnie jak w innych językach komputerowych, przy czym, podobnie jak w językach obiektowych, podstawowe operatory działają różnie w zależności od obiektów jakie są użyte w operacji. Podstawowe operatory algebraiczne działają zgodnie z definicją operacji wektorowych i macierzowych.

Operatory działające na elementach macierzy – za ich pomocą np. można dodawać (po elementach) obiekty o tej samej wymiarowości lub dodawać liczbę (skalar) do innych obiektów:

`+` operator dodawania,
`-` operator odejmowania,
`.*` operator mnożenia po elementach,
`./` operator dzielenia po elementach.

Operatory macierzowe – działają na macierzach lub gdy jeden z argumentów jest skalarem:

`*` operator mnożenia macierzowego,
`/` operator dzielenia macierzowego (prawostronnego) (`C/A = C * inv(A)`),
`\` dzielenie lewostronne `A\B = inv(A)*B`,
`'` apostrof – operator transpozycji macierzy (lub wektora); jest to transpozycja hermitowska A^{H}, tj. dla zmiennych zespolonych transpozycji towarzyszy sprzężenie,
`.'` operator transpozycji macierzy (lub wektora) bez sprzężenia.

Warto zauważyć funkcję kropki `.` jako modyfikatora, zazwyczaj (ale nie zawsze) wskazującego, że dany operator działa na elementach macierzy (podczas gdy wersja bez modyfikatora działa na całych macierzach).

Użyj operatora mnożenia na wektorach `Y` i `Z` aby otrzymać
- ich iloczyn skalarny,
- iloczyn macierzowy, którego wynik ma rozmiar 3×3,
- iloczyn skalarny wektora `Y` przez siebie.

Przypomnij sobie z algebry schemat mnożenia dwóch macierzy i wymagania na ich rozmiary.

Zadanie extra Oblicz iloczyn macierzy A i wektora x: $y = Ax$. Następnie spróbuj obliczyć x znając y oraz A. **Wskazówka:** Najpierw zastanów się (na papierze) nad wymiarami macierzy, żeby to miało sens; potem użyj (wciąż na papierze) mnożenia przez macierz odwrotną; na koniec w Matlabie wykonaj to, korzystając z operatora dzielenia macierzy.

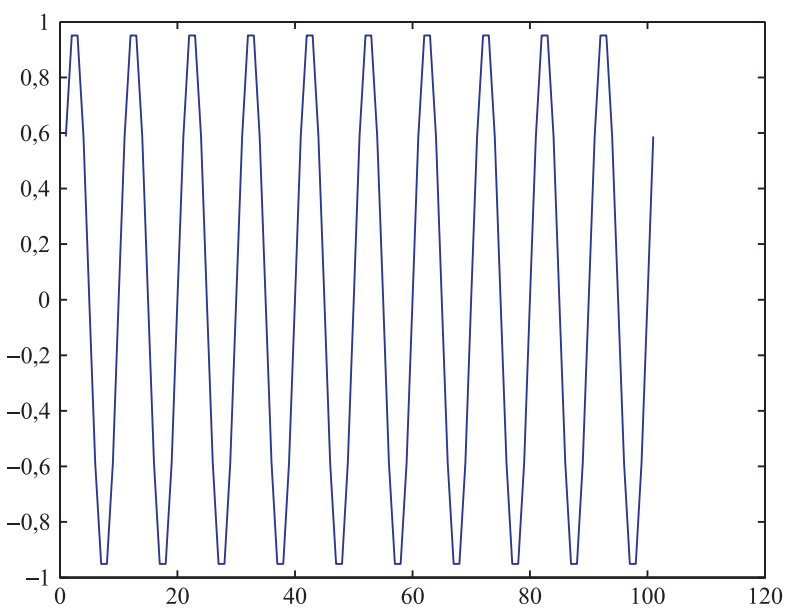
Utwórz wektor próbek sygnału sinusoidalnego o częstotliwości unormowanej (z zakresu $(0,\ 0{,}5)$) wybranej poprzez podzielenie numeru Twojego stanowiska przez 30.
Najprostszą metodą tworzenia wektora próbek sygnału jest wygenerowanie wektora czasowego `n`, a następnie użycie go w argumencie odpowiedniej funkcji. Np. do wygenerowania sinusoidy o częstotliwości unormowanej $0{,}1$ można użyć ponizszej sekwencji poleceń.

```
n = 0:100; % sto jeden chwil czasowych f = 0.1; x = sin(2*pi*f*n);
```

Z.2.1.2. Proste funkcje graficzne

Do tworzenia wykresów najczęściej używa się standardową funkcję `plot()`. Funkcja może przyjmować różną liczbę argumentów.

Narysuj wykres sygnału `x` (utworzonego przed chwilą).
`plot(x)`
Powinieneś otrzymać wykres podobny do rys. Z.1 (ale na każdym stanowisku inny – warto porównać swój wykres z sąsiadami).



Rysunek Z.1. Przebieg sygnału w czasie

Użyj narzędzia powiększania (przycisk lupy), aby dokładnie obejrzeć obszar wykresu wokół punktu zerowego.

Zwróć uwagę, że funkcja `plot()` z jednym argumentem rysuje wartości elementów wektora względem ich indeksu (biegnącego od 1).
Przy dwóch argumentach (koniecznie o równej długości) pierwszy będzie zinterpretowany jako współrzędna pozioma (oś odciętych), a drugi – pionowa (oś rzędnych). Trzeci argument o typie tekstowym wybiera kolor i rodzaj linii.

Przy rysowaniu przebiegów dyskretnych w czasie można stosować przykładowo:
`'*'` – znaczniki (gwiazdki) w wartościach próbek,
`'-*'` – znaczniki połączone linią ciągłą,
`'r-o'` – znaczniki (kółeczka) połączone linią ciągłą, w kolorze czerwonym.
Poprawnym teoretycznie (z punktu widzenia rysowania przebiegów dyskretnych w czasie) wariantem funkcji `plot()` jest funkcja `stem()`.
Użycie polecenia `figure` powoduje przejście do nowego okna wykresu – jest to przydatne do porównywania kilku przebiegów. Można też narysować kilka przebiegów na jednym wykresie, podając wiele par (lub trójek) argumentów.

- Narysuj wykres sygnału `x` względem indeksu chwili czasowej `n` (zwróć uwagę, że ten indeks biegnie od zera).
- Narysuj ten sam wykres w nowym oknie, używając funkcji `stem()` oraz linii `'-*'`. Który sposób rysowania daje bardziej czytelny wykres?[4]

Osie wykresu opisuje się, używając funkcji `xlabel('<tekst>')`, `ylabel('<tekst>')`, a tytuł dodaje się za pomocą funkcji `title('<tekst>')`. Siatkę włącza się poleceniem `grid`. Legendę dla wielu krzywych na jednym wykresie dodaje się funkcją `legend('<legenda1>','<legenda2>',...)`. Funkcje te działają na ostatnim aktywnym wykresie.

- Do ostatniego wykresu dodaj opis osi, tytuł i siatkę.

Funkcja `plot()` może zostać wywołana z jednym argumentem zespolonym – wykreśli wtedy jego wartości we współrzędnych $(\mathfrak{Re}, \mathfrak{Im})$. W innych przypadkach argumenty powinny być rzeczywiste.

- Wykonaj polecenie:
`plot(exp(j*0.01*2*pi*[0:100]))` i uzasadnij otrzymany wykres.

[4] Nie dyskutując o gustach, przed udzieleniem odpowiedzi sugerujemy zajrzenie na ekrany kolegów, którzy będą badali sygnały o różnych częstotliwościach.

Z.2.1.3. Podstawowe operacje na sygnałach dyskretnych

- Utwórz w zmiennej `d` impuls jednostkowy $\delta(n)$ o czasie trwania 100 próbek, przyjmując, że chwila $n = 0$ odpowiada dwudziestej próbce; zastosuj następujący trik:
  - utwórz zmienną `n=-19:80`,
  - wypełnij zmienną `d` zerami,
  - na dwudziesty element podstaw 1.

  Narysuj przebieg sygnału za pomocą funkcji `stem()`.
- Utwórz analogicznie skok jednostkowy $u(n)$ w zmiennej `u` – tym razem wykorzystaj sklejanie wektorów.

Wbudowana funkcja `filter(B,A,x)` implementuje filtr cyfrowy o współczynnikach licznika transmitancji w wektorze `B` i mianownika – w wektorze `A`.

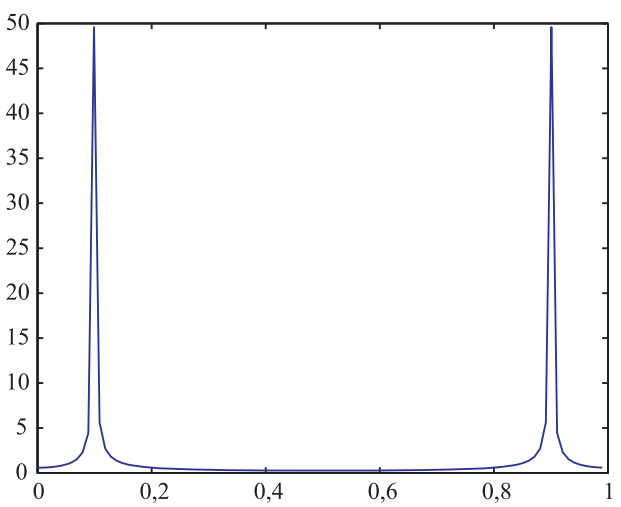
- Przetestuj filtr o współczynnikach $B = [-1,\ 2,\ -1]$, $A = [1,\ 0{,}9]$ sygnałami $\delta(n)$ i $u(n)$.

```
B=[-1,2,-1];
A=[1,0.9];
plot(n,d, '-*', n,filter(B,A,d), '-o');
legend('wejscie','wyjscie');
```

- Wyznacz widmo sygnału sinusoidalnego `x` z poprzedniego zadania za pomocą funkcji `fft`.

```
F = fft(x);
```

Zwizualizuj wyliczone widmo za pomocą komendy `plot(abs(F))`. Odpowiedz na pytanie: dlaczego używamy funkcji `abs()`?



Rysunek Z.2. Moduł widma sygnału sinusoidalnego

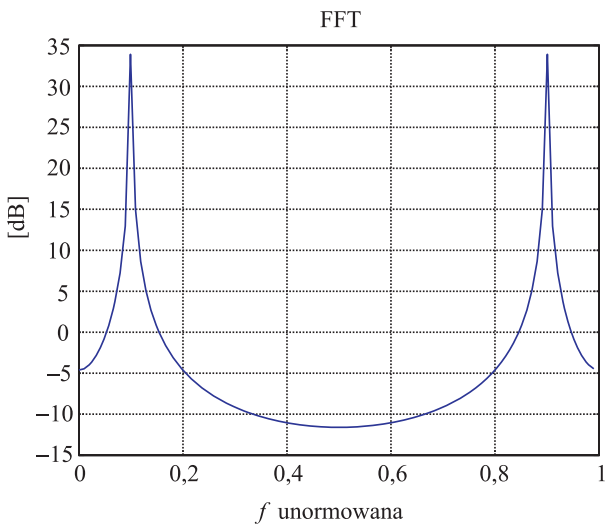
- Narysuj ten sam wykres z poprawnym wyskalowaniem osi częstotliwości unormowanych.

```
f0 = (0:(length(F)-1))/length(F); % wektor częstotliwości
plot(f0, abs(F)); % wyrysowanie widma
```

- Wykreśl widmo w skali decybelowej wraz z tytułem, siatką i opisem osi – możesz użyć poniższego zestawu komend.

```
plot(f0, 20*log10(abs(F)));
xlabel('f unormowana'); ylabel('moduł widma [dB]'); title ('FFT');
grid
```

Powinieneś uzyskać efekt podobny jak na rys. Z.3. W razie potrzeby użyj narzędzia powiększenia (przycisk lupy) lub polecenia `axis([0, 1, -15, 35])` do zmiany zakresu osi. Dowiedz się, co oznaczają cztery liczby w argumencie `axis()`.



Rysunek Z.3. Moduł widma sygnału sinusoidalnego w skali decybelowej

Z.2.1.4. Tworzenie funkcji

Funkcje tworzy się w edytorze, wywołując np. wbudowany edytor Matlaba

```
edit plot_fft.m
```

Nazwa funkcji powinna być zgodna z nazwą pliku, w którym jest zapisana. Pierwsze wiersze komentarza stanowią skróconą dokumentację – zostaną wyświetlone w wyniku polecenia

```
help plot_fft
```

- Wpisz w edytorze kod przykładowej funkcji.

```
function [F, f0] = plot_fft(x)
```

```
% tu zaczyna sie HELP
%
% [F, f0] = plot_fft(x)
% Funkcja do wyznaczania i rysowania widma w dB
%
% - funkcja zwraca wektor widma F i wektor częstotliwości f0
% - jeżeli nie wykorzystujemy wektora F funkcja rysuje widmo
% to jest ostatnia linia HELP

% to jest już tylko komentarz

F = fft(x); % wyznaczenie widma
f0 = (0:(length(F)-1))/length(F);
% wyznaczenie punktów częstotliwości

% rysowanie
plot(f0, 20*log10(abs(F)));
xlabel('f unormowana'); ylabel('moduł amplitudy widma [dB]');
title('FFT'); grid

end % koniec funkcji
```

Przetestuj wywołanie utworzonej funkcji.

```
plot_fft(x); % bez pobrania parametrów wyjściowych (tylko plot)
F = plot_fft(x); % z pobraniem pierwszego parametru (widma)
[F, f0] = plot_fft(x);
% ... i obu parametrów (widma i częstotliwości)
```

Matlab jest środowiskiem bardzo rozbudowanym. Jego funkcjonalność znacznie przekracza to co tu omówiono, ale przedstawiona wiedza wystarcza do posługiwania się nim w zakresie potrzebnym w laboratorium.

Z.3. Wprowadzenie do pakietu LabView

LabView (LV) jest graficznym środowiskiem programowania stworzonym przez firmę National Instruments (NI). Służy ono do szybkiej obsługi urządzeń i przyrządów pomiarowych, przetwarzania zarejestrowanych danych oraz prezentacji wyników. W laboratorium LCPS jest wykorzystywany głównie do obsługi karty akwizycji danych NI PCIe-6321 wraz z panelem złącz BNC-2120.

Podstawowym obiektem w LabView jest przyrząd wirtualny nazywany skrótowo `VI`[5] (ang. ***V**irtual **I**nstrumentation*), czyli moduł programowy, który może przechowywać, przetwarzać oraz prezentować nagromadzone dane. Dane mogą być

[5] Czyt. *vi-aj*.

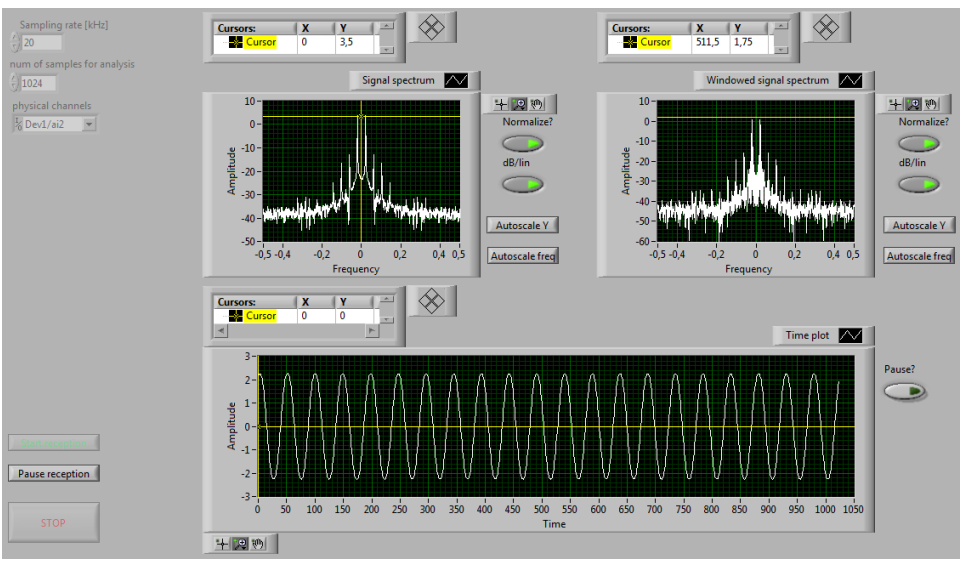
zorganizowane w postaci wektorów, macierzy (w ogólnym przypadku tablic wielowymiarowych) lub też struktur.

Przyrząd wirtualny VI[6] wyglądem i działaniem przypomina pracę urządzenia rzeczywistego. Każdy moduł programowy VI opisany jest w sposób graficzny na trzech poziomach szczegółowości:

1) *panel czołowy* – stanowiący graficzny interfejs użytkownika (rys. Z.4). Składa się z Kontrolek (Wejść) oraz Indykatorów (czyli Wyjść) modułu;

2) *schemat blokowy* – stanowiący graficzny kod źródłowy programu, tzw. diagram przepływu informacji (rys. Z.7). Obiekty panelu czołowego, tj. kontrolki oraz indykatory widoczne są w postaci zacisków wyprowadzeń (ang. *terminals*);

3) *porty wejścia/wyjścia* – zaciski wyprowadzeń VIa (rys. Z.6). Typy argumentów reprezentowane są w sposób infograficzny poprzez tzw. terminale.



Rysunek Z.4. Widok panelu czołowego VI

Każdemu VIowi przyporządkowana jest ikona stanowiąca jego miniaturę graficzną (rys. Z.5). Ikona mapuje jednoznacznie *porty wejścia/wyjścia* VIa, umożliwiając „enkapsulacje" kodu do postaci proceduralnej (ang. *subVI*[7]) (rys. Z.6).

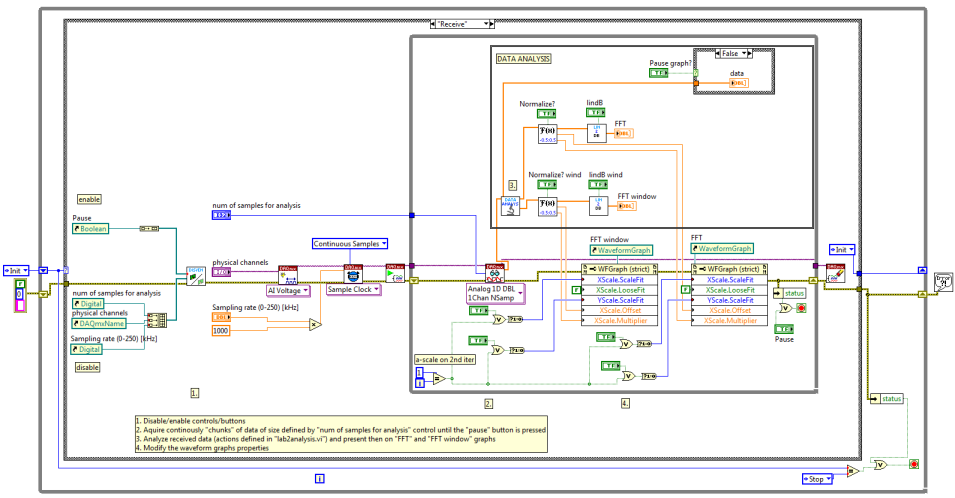
Przyrządy wirtualne VI mają budowę hierarchiczną i modułową. Dzięki zamknięciu do podprocedur, subVIe mogą być używane jako samodzielne programy lub podprogramy innych programów (aplikacji).

[6] Skrótu tego używamy dalej zgodnie z nomenklaturą *NI* w odniesieniu do przyrządu wirtualnego zrealizowanego w postaci modułu programowego; bez entuzjazmu godzimy się z faktem, że po polsku brzmi on fatalnie i równie fatalnie wygląda w druku.

[7] Czyt. *sab-vi-aj*.

Rysunek Z.5. Ikona `VI`

Rysunek Z.6. Mapa wyprowadzeń zacisków `VI`; wejścia – strona lewa; wyjścia – strona prawa; kolory oznaczają typy argumentów



Rysunek Z.7. Schemat blokowy `VI`; wejścia – strona lewa; wyjścia – strona prawa

Z.3.1. Przyrząd złożony z gotowych bloków uniwersalnych

W tym rozdziale stworzymy przyrząd pomiarowy z gotowych bloków uniwersalnych. Bloki te dostępne są w sekcjach „Express” palet funkcji i kontrolek. Jest to bardzo szybka metoda prototypowania przyrządu – niewielkim kosztem otrzymamy działające urządzenie.

W następnym rozdziale poznamy bardziej żmudną metodę konstruowania przyrządu (ale dającą większą kontrolę i zazwyczaj większą pewność działania urządzenia) – poprzez programowanie go z wykorzystaniem obiektów elementarnych.

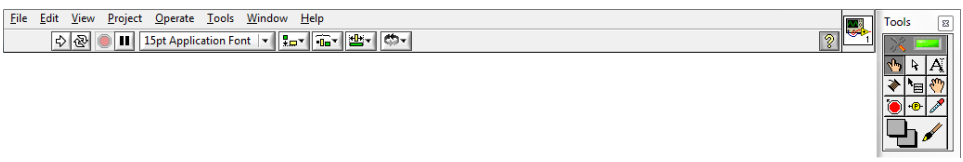
Z.3.1.1. Analizator widma

- Uruchom okno startowe LabView (za pomocą ikony na pulpicie).
- Z okna startowego LV wybierz **Create Project** ⟶ **Blank VI** i przejdź do edycji nowo otwartych okien pustego `VI`a. Pierwsze z okien (szare) jest widokiem Panelu Czołowego, drugie (białe) jest oknem widoku Diagramu Blokowego, oba tworzą kod źródłowy `VI`.

W dowolnym momencie edycji można przełączyć się między widokami w panelu czołowym na diagram blokowy, wybierając z górnego paska stanu okna opcję **Window** ⟶ **Show Block Diagram** i na odwrót **Window** ⟶

Show Front Panel (można użyć skrótu klawiszowego `Ctrl+E`). Po uruchomieniu `VI`a, użytkownik widzi tylko panel czołowy, zaś diagram blokowy jest ukryty – „zaszyty" pod panelem czołowym.

Przyciski widoczne na paskach stanu obu okien są zgromadzone w trzech grupach (rys. Z.8, rys. Z.9). Zaczynając od lewej widzimy przyciski związane z uruchamianiem, „debugowaniem" i wstrzymywaniem `VI`a, następnie pośrodku jest grupa przycisków związanych z porządkowaniem jego widoku i wreszcie na końcu po prawej stronie przycisk pomocy kontekstowej (pytajnik) oraz widok ikony `VI`a. Pomoc kontekstowa wyświetla informacje o obiektach kodu wskazanych kursorem myszy i dostępna jest także pod skrótem `Ctrl+H`.



Rysunek Z.8. Pasek górnego menu i narzędzi dostępny w oknie widoku panelu czołowego

Rysunek Z.9. Pasek górny narzędzi dostępny w oknie widoku diagramu blokowego

Praca ze schematem blokowym `VI`a polega dosłownie na „narysowaniu kodu aplikacji", tj. wybieraniu (z odpowiedniej palety) „bloczków" potrzebnych do zrealizowania programu, a następnie połączeniu ich, tworząc właściwy diagram przepływu informacji/danych w programie. Dostęp do palety funkcyjnej uzyskujemy w ten sam sposób co uprzednio, poprzez kliknięcie prawym przyciskiem myszy w pustym obszarze okna schematu blokowego lub wybraniu **View** ⟶ **Functions Palette** z górnego paska menu.

Zacznij od edycji schematu blokowego, na którym umieścisz generator sygnału. Kliknij w białym polu prawym klawiszem myszy i z menu wybierz **Express** ⟶**Input** ⟶**Simulate sig**. Przeciągnij wybrany obiekt na schemat.

Obiekty z menu „Express" stanowią gotowe, dość uniwersalne fragmenty kodu (lub generatory kodu), które wstępnie konfiguruje się w chwili umieszczania na schemacie.

W oknie konfiguracji generatora nie musisz nic zmieniać – zakończ konfigurację [OK]. Wygeneruje się `VI` generatora, opatrzony portami we/wy (terminalami).

W schemacie blokowym możemy wyróżnić następujące elementy składowe:
- *porty wejścia i wyjścia* – terminale, jedyne elementy widoczne na zewnątrz, tj. w panelu czołowym,
- *subVIe* – czyli podprocedury zamknięte w pojedynczym module `VI`,

– *funkcje* – realizujące podstawowe zadania odwzorowania/przekształcania danych,
– *stałe* – wartości niezmienne w czasie wykonywania programu,
– *struktury* – zestawy danych, organizujące informacje w programie,
– *połączenia* – symboliczne „kable", przesyłające dane pomiędzy blokami.

- Umieść na panelu czołowym wyświetlacz, rysujący przebieg czasowy sygnału. Z menu kontekstowego wybierz **Express** ⟶**Graph Indicator** ⟶**Graph**. Przeciągnij wybrany obiekt na schemat. Ten obiekt nie wymaga konfiguracji.

Po umieszczeniu niezbędnych kontrolek/indykatorów na panelu czołowym `VI`a, mamy możliwość dostosowania ich parametrów – położenia, rozmiaru, zakresu przyjmowanych wartości i wielu innych właściwości – klikając prawym przyciskiem myszy na wybranym obiekcie i wybierając z menu kontekstowego opcję **Properties**.

- Przełącz się na schemat blokowy i zauważ, że pojawił się na nim terminal wejściowy wyświetlacza.
- Na obrysie obiektu generatora znajdują się jego terminale. Znajdź terminal wejściowy zadający częstotliwość – wykorzystaj podpowiedzi kontekstowe, pojawiające się przy najechaniu kursorem myszy, albo rozciągnij ikonę w pionie, aż pojawią się podpisy terminali. Na terminalu naciśnij prawy klawisz myszy i stwórz odpowiednią kontrolkę (**Create** ⟶**Control**). Na panelu czołowym automatycznie pojawi się widget kontrolki dostosowany do typu danych terminala.
- Narysuj połączenie terminala wyjściowego generatora z wejściem wyświetlacza.
- Uruchom przyrząd przyciskiem pracy ciągłej *Run Continuously*. Zmieniaj częstotliwość, operując myszką na kontrolce panelu czołowego. Zatrzymaj działanie `VI`a przyciskiem „Stop" *Abort Execution*.
- Dodaj teraz nowy wyświetlacz i wyświetl na nim widmo sygnału. Widmo oblicz przy użyciu bloku **Express** ⟶**Signal Analysis** ⟶**Spectral**. Zastosuj domyślną konfigurację bloku obliczeniowego (chyba że jesteś odważnym eksperymentatorem...). Przetestuj działanie.
- Zwróć uwagę, że wyświetlacz sygnału ma poprawną skalę czasu – wynika to z tego, że razem z blokiem próbek sygnału przekazywana jest informacja o okresie próbkowania.
- Zwróć uwagę, że wyświetlacz widma ma poprawną skalę częstotliwości, ale niepoprawny opis osi – jak widać, są pewne niedoróbki... Możesz to poprawić w menu właściwości („Properties") wyświetlacza.

Z.3.1.2. Przyrząd wirtualny analizujący rzeczywisty sygnał

- Zastąp symulator sygnału rzeczywistym wejściem analogowym. Aby to uczynić, podłączysz za chwilę sygnał do karty z przetwornikami poprzez panel z gniazdami BNC (rys. Z.10), ale najpierw przygotuj `VI`, który odczyta cyfrowy sygnał

z karty. Usuń symulator i zamiast niego umieść na schemacie obiekt „DAQ Assistant" (z menu **Express** ⟶**Input**). W konfiguracji wstępnej obiektu wybierz „acquire", „Analog input", „Voltage". Pojawi się możliwość wybrania urządzenia – jeśli pojawią się do wyboru dwa urządzenia, wybierz pierwsze – i koniecznie **[+] rozwiń** drzewko i wybierz z niego tylko kanał A0 (za chwilę fizycznie, „w realu", podłączysz sygnał do gniazda BNC oznaczonego A0). Teraz można nacisnąć [Finish].

Rysunek Z.10. Panel wejściowy przetwornika A/C

- Na drugim etapie konfiguracji ustaw częstotliwość próbkowania („Rate") na 10 kHz, a liczbę próbek („Samples to read") na 1000. Zanim zakończysz konfigurację, wyjmij z szuflady kable oraz trójnik i podłącz sygnał z generatora na wejście „AI 0" (te czynności wykonaj „w realu"!!!) i pobierz blok próbek (przycisk [Run] w konfiguratorze). Sprawdź, czy na pewno widzisz ten sygnał, który jest podłączony (np. zmień jego amplitudę i ponownie uruchom [Run]).

  Zawsze warto sygnał z generatora podejrzeć też – przez trójnik – na oscyloskopie.

- Po zakończeniu konfiguracji [OK] i wygenerowaniu przez LabView obiektu dołącz go zamiast symulatora i przetestuj działanie całości.
- Dodaj według uznania kontrolki umożliwiające zmiany parametrów urządzenia.
- Zbadaj jak wygląda sygnał i jego widmo, gdy częstotliwość sygnału przekroczy częstotliwość próbkowania.
  Karta akwizycji nie posiada filtru antyaliasingowego i jej układ próbkujący ma pasmo do pojedynczych MHz. To oznacza, że praktycznie – przy sygnałach z zakresu do dziesiątek kiloherców – pobrana próbka jest „punktowa" a nie uśredniona za okres (odstęp) próbkowania T, co umożliwia pracę z podpróbkowaniem (undersampling).

Z.3.2. Zadanie extra Programowanie w LabView – prosty przyrząd wirtualny

Na przykładach omówimy krok po kroku jak samemu, z podstawowych elementów, stworzyć prosty `VI`.
Zrealizujemy przyrząd, który będzie pełnił rolę uniwersalnego generatora sygnałów dyskretnych i analizatora ich widma.

Przyrząd ma pełnić następujące funkcje:
– generować bloki sygnałów o zadanej długości: narastający liniowo, losowy oraz sinusoidalny,
– wyświetlać wykres i widmo sygnału (w skali logarytmicznej – decybelowej).

Poniżej przedstawiono jeden ze sposobów realizacji zadania.

Zamknij okna poprzedniego przyrządu `VI`, i z okna głównego stwórz nowy `VI`. Wejdź do okna schematu blokowego.

Z.3.2.1. Tworzenie wektorów sygnału

W celu wytworzenia wektora danych potrzebujemy w pierwszej kolejności skonstruować wektor (zdyskretyzowanego) czasu `n=[0:N]`, a następnie zastosować pewne odwzorowanie/funkcję czasu na próbki f[n]. Na wstępie przykładu wytworzymy trzy różne wektory danych: narastających liniowo, zmieniających się losowo oraz uformowanych harmonicznie.

1) W oknie schematu blokowego dodaj niezbędne elementy, wybierając je z palety funkcyjnej. Kliknij prawym przyciskiem myszy i wybierz strukturę pętli `FOR`: **Programming⟶Structures⟶For Loop**[8], wstaw ją do schematu blokowego obrysowując dookoła obszaru/układu (jak na rys. Z.12)[9]. Pętla zawiera licznik obrotów `[N]` oraz wskaźnik numeru aktualnie wykonywanej iteracji/obrotu `[i]` (indeksowany od zera).

2) Dodaj terminale wejściowe i wyjściowe `VI`a poprzez klikanie prawym przyciskiem myszy na elementach pętli[10].

Terminal wejściowy dla licznika pętli `[N]` definiujący długość wektora danych: kliknij prawym przyciskiem myszy na liczniku pętli `[N]` i wybierz z menu kontekstowego **Create⟶Control**.

---

[8] Możesz również skorzystać z opcji tzw. szybkiego wybierania „*Quick Drop*" wciskając kombinacje klawiszową `Ctrl+Space`, po czym wpisać w polu wyszukania żądane słowo (nazwę poszukiwanego elementu), a następnie wybrać go z listy i przeciągnąć na schemat.

[9] Można dowolnie modyfikować rozmiar pętli pociągając wskaźnikiem myszy za jej krawędź lub też, będąc w obszarze pętli, naciskając klawisz `Ctrl+lewy przycisk myszy` zarysować obszar – wykorzystywane często do robienia miejsca w gęsto zabudowanym diagramie.

[10] Klikając prawym przyciskiem myszy na konektorach poszczególnych struktur i bloków, LV w menu kontekstowym podpowiada nam różne możliwości wyboru, m.in. właściwego zakończenia/terminala **Create⟶Constant, Control, lub Indicator**.

Terminal wyjściowy wygenerowanego wektora danych: ustaw kursor myszy na indeksie pętli `[i]`; pojawi się wtedy port wyjściowy indeksu. Port ten połącz z krawędzią bloku pętli: kliknij na porcie i na krawędzi (tu konieczne jest dość dokładne trafienie w krawędź). Wynik powinien przypominać rys. Z.12).

Zauważ, że na obwodzie pętli tam gdzie dochodzi połączenie/kabel pojawił się tzw. „tunel", dzięki czemu na wyjściu (po wykonaniu się pętli) otrzymamy wektor danych.

Tunelami przekazywane są dane z i do struktur programistycznych, struktura wykona (lub zakończy) się jeśli wszystkie dane są obecne w tunelu(ach) – pełna synchronizacja. Domyślnie tunele przechodzące przez krawędź pętli podlegają autoindeksacji, można ją wyłączyć z menu kontekstowego tunelu opcją **Disable Indexing**.

3) Dodaj wskaźnik danych z tunelu wyjściowego, klikając nań prawym przyciskiem myszy wybierz z menu kontekstowego **Create⟶Indicator**. Zmień jego typ z `integer` na `double`, wybierając z menu kontekstowego **Representation⟶DBL** i zauważ na ikonie marker rzutowania typów danych.

4) Uporządkuj rozmieszczenie kontrolek i indykatorów na schemacie, po czym przejdź do panelu czołowego.

Dobrą praktyką jest, aby na schemacie blokowym wejścia umieszczać z lewej strony, a wyjścia z prawej; schemat pojedynczego `VI`a powinien mieścić się na jednym ekranie.

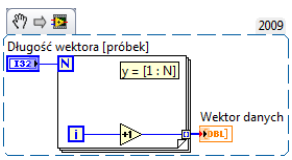
Kontrolki i indykatory automatycznie pojawiły się na panelu czołowym `VI`a. Opisz je sensownie i uporządkuj wygląd interfejsu graficznego (GUI) (rys. Z.11). Wstaw początkowe wartości kontrolek (i/lub indykatorów) wpisując je doń z klawiatury, korzystając z menu kontekstowego/właściwości (naklikując prawym przyciskiem myszy na obiekcie) ustaw jako domyślne **Data Operations⟶Make Current Value Default**. Rozciągnij indykator wektora danych na kilkanaście pól znaczących pociągając myszką za jego dolną krawędź (patrz rys. Z.11).

5) Uruchom `VI` przyciskiem „strzałki" pojedynczego wykonania  *Run* z górnego paska narzędzi okna[11], na wyświetlaczu zaobserwuj wynik.

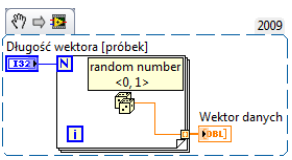
Rysunek Z.11. Widok panelu czołowego generatora wektorów z indeksami biegnącymi od jedynki; wejścia – góra; wyjścia – dół

[11] `Ctrl+R` – skrót klawiszowy uruchamiający wykonanie `VI`a.

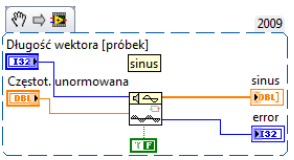
Zauważ, że skonstruowany wektor chwil czasowych zaczyna się od zera, a chcielibyśmy aby zaczynał się od jedynki (jak dla przykładów w Matlabie). Należy zatem zwiększyć wartość indeksu pętli o jeden: wróć do diagramu blokowego, kliknij prawym przyciskiem myszy na połączeniu `[i]`⟷`tunel` i wybierz **Insert**⟶**Numeric Palette**⟶**Increment** (patrz rys. Z.12).



Rysunek Z.12. Diagram blokowy generatora wektorów liniowych; wejścia – strona lewa; wyjścia – strona prawa



Rysunek Z.13. Diagram blokowy generatora wektorów losowych; wejścia – strona lewa; wyjścia – strona prawa



Rysunek Z.14. Diagram blokowy generatora wektorów harmonicznych; wejścia – strona lewa; wyjścia – strona prawa

6) Uruchom ponownie `VI`, tym razem w trybie pracy ciągłej wciskając przycisk „obiegu zamkniętego” *Run Continuously*. Kontrolę nad działającym `VI`em sprawujemy z pomocą użycia myszki i klawiatury, zweryfikuj działanie `VI`a zmieniając długość wektora. Zatrzymaj działanie `VI`a przyciskiem „czerwonego kółka” *Abort Execution*.

Dobrą praktyką jest używanie przycisku *Abort Execution* wyłącznie w sytuacjach awaryjnych – każda aplikacja powinna być wyposażona w programowy przycisk STOPu wstrzymujący jej działanie.

7) Teraz zaimplementuj generator wektorów losowych. Usuń funkcję **Increment** zaznaczając ją (klikając) lewym przyciskiem myszy, po czym naciśnij klawisz `Delete`. Dodaj i podłącz obiekt generacji losowej **Programming**⟶**Numeric**⟶**Random Number** (jak na rys. Z.13), usuń złamane połączenie(a)[12] klikając nań raz lewym przyciskiem myszy i `Delete`. Sprawdź, czy generator działa zgodnie z oczekiwaniami.

8) Zaimplementuj generator sygnału sinusoidalnego. Usuń pętlę `FOR` tak, jak poprzednio usuwałeś elementy schematu, dodaj blok generacji sinusa **Signal Processing**⟶**Signal Generation**⟶**Sine Wave**. Obejrzyj jego pomoc kontekstową. Kliknij dwa razy na bloku aby otworzyć jego panel czołowy, użyj `Ctrl+E` aby obejrzeć wewnętrzny schemat blokowy. Po pobieżnym zapoznaniu się zamknij te okna – blok będzie wykorzystywany jako sub-`VI` i sterowany za pomocą konektorów.

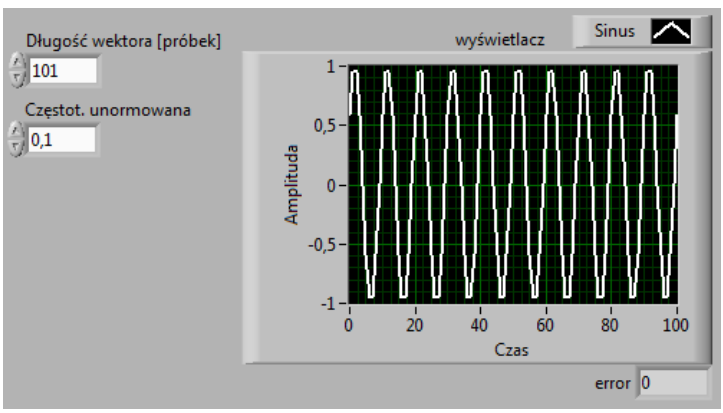
[12] `Ctrl+B` – skrót klawiszowy służący do czyszczenia schematu ze złych połączeń.

Na wejściu bloku generacji dodaj kontrolkę częstotliwości unormowanej[13] oraz indykator błędu generacji[14], połącz elementy[15] jak na rys. Z.14.

Z.3.2.2. Wyświetlanie wykresów – widmo sygnału

1) Wizualizacja widma sygnału: zanim tego dokonasz, zmień na panelu czołowym `VIa` (przykład z rys. Z.14) indykator na graf **Replace⟶Graph⟶Waveform Graph**. Opisz osie X i Y grafu jako osie czasu i amplitudy – we właściwościach grafu. Tamże wybierz rysowanie linią ciągłą ze znacznikami w pozycjach próbek.

Ustaw wartość `101` jako domyślną długość sygnału oraz `0,1` dla częstotliwości unormowanej (zwróć uwagę na *przecinek* dziesiętny – zgodnie z ustawieniami lokalnymi…). Zobacz jak wygląda w czasie wygenerowany sygnał (rys. Z.15) i porównaj go z wynikami uzyskanymi w Matlabie (rys. Z.1).



Rysunek Z.15. Widok panelu czołowego generatora wektora harmonicznej; wejścia – strona lewa; wyjścia – strona prawa

2) Rozbuduj przykład o analizę widmową dodając bloki obliczania FFT oraz modułu. Znajdź niezbędne elementy na palecie funkcyjnej, tj. blok **FFT**[16] oraz **Complex To Polar**[17], połącz całość jak na rys. Z.16. Wyskaluj oś częstotliwości wyświetlacz tak, aby była w zakresie od 0 do 1, korzystając z właściwości grafu w zakładce **Properties⟶Scales⟶Scaling Factors⟶Multiplier** wpisz `0,01`, co w przybliżeniu odpowiada `1/długość_wektora`.

---

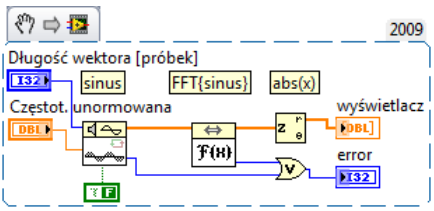
[13] Z menu kontekstowego właściwego jej konektora, patrz również okno pomocy kontekstowej.

[14] Na wypadek, gdyby takowy w ogóle wystąpił.

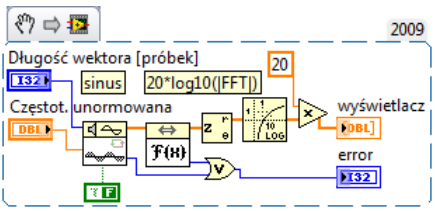
[15] `Ctrl+Space+D` uruchamia automatyczne dodawanie w LV terminali do niepodłączonych portów wejścia/wyjścia dla elementu aktualnie zaznaczonego myszą; wszystkim portom zostaną przyporządkowane odpowiednie terminale; operacja taka może jednak trwać kilka–kilkanaście sekund.

[16] **Signal Processing⟶Transforms⟶FFT**

[17] **Mathematics⟶Numeric⟶Complex⟶Complex To Polar**

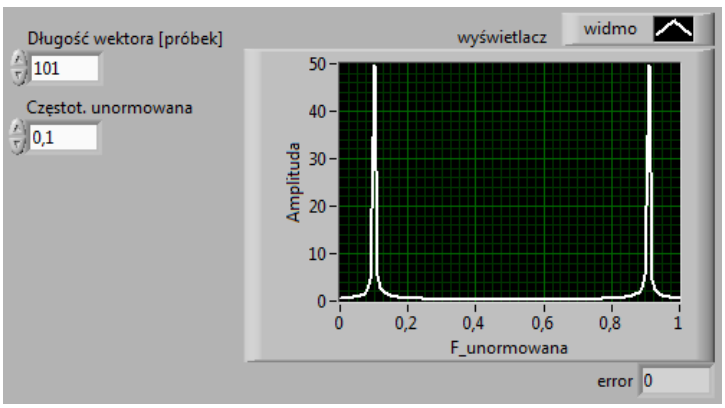


Rysunek Z.16. Diagram blokowy plotera widma wektora danych: skala liniowa; wejścia – strona lewa; wyjścia – strona prawa



Rysunek Z.17. Diagram blokowy plotera widma wektora danych: skala decybelowa; wejścia – strona lewa; wyjścia – strona prawa

Na wykresie możemy zauważyć dwa charakterystyczne piki występujące w widmie sygnału, ich położenie na osi częstotliwości unormowanej oraz wysokość/amplitudy (rys. Z.18).

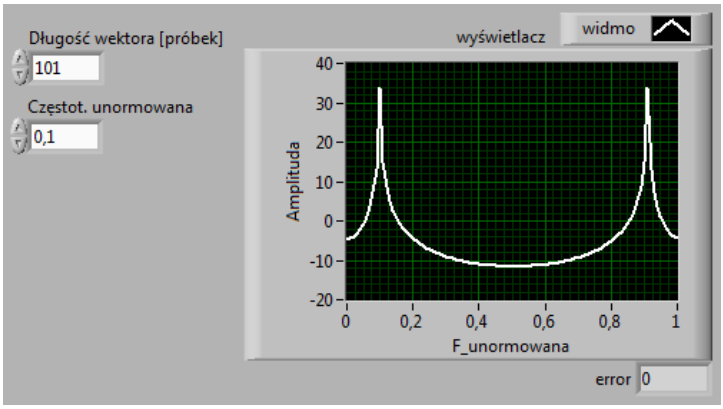


Rysunek Z.18. Widok panelu czołowego analizatora widma sygnału harmonicznego; wejścia – strona lewa; wyjścia – strona prawa

3) Zmodyfikuj diagram tak, aby wyświetlić widmo w skali decybelowej (patrz rys. Z.17). Dodaj do schematu blok logarytmowania **Logaritm Base 10**[18] oraz mnożnik **Multiply**[19] do przeskalowania z logarytmu na decybele. Stałą o wartości 20 utwórz *przed* połączeniem bloku logarytmu i mnożnika – inaczej stała zostanie uznana za wektor zamiast skalara. Przeprowadź połączenia zgodnie ze schematem przykładu (rys. Z.17) i uruchom `VI`.

LabVIEW umożliwia podejrzenie kolejności wykonania poszczególnych operacji programu. W tym celu należy kliknąć przycisk „żarówki” *Highlight Execution*, dostępny w górnym pasku narzędzi diagramu blokowego. Uruchomienie programu z załączoną opcją podglądu powoduje wykonanie go w zwolnionym tempie z animacją przepływu informacji.

[18] **Mathematics⟶Elementary⟶Exponentials⟶Logarithm Base 10**
[19] **Mathematics⟶Numeric⟶Multiply**



Rysunek Z.19. Widok panelu czołowego analizatora widma sygnału harmonicznego wyskalowanego w decybelach; wejścia – strona lewa; wyjścia – strona prawa

Użycie mechanizmu sondy *Probe* pozwala podejrzeć wartości danego połączenia. Można również ustawić „pułapkę" *Breakpoint* w kodzie programu na którymś z połączeń, spowoduje to zatrzymanie wykonania `VI` na pułapce i przejście w tryb wstrzymania *Pause*.

Jeśli w programie występują błędy połączeń, zostanie to zasygnalizowane złamaną linią połączeń oraz złamaną „strzałką" przycisku uruchomienia *Run*. Po jej naciśnięciu wyskoczy okno listy błędów[20] `VI`.

4) Wprowadź umyślnie błąd w schemacie – usuń dowolne połączenie. Obejrzyj listę błędów.

[20] `Ctrl+L` – skrót klawiszowy pozwala podejrzeć listę błędów.