

LUFT Mirosław¹
CIOĆ Radosław¹
PIETRUSZCZAK Daniel¹

Zintegrowany system pomiarowy oparty o magistralę IEEE-488

Słowa kluczowe:
IEEE-488, GPIB,
system pomiarowy,
SCPI, VEE

Streszczenie

W artykule przedstawiono opis systemów pomiarowych z punktu widzenia ich konfiguracji oraz składowych systemów. Według tej charakterystyki zaprezentowano system pomiarowy oparty o interfejs IEEE-488 wskazując na jego zalety i podając przykłady aplikacji pomiarowych.

INTEGRATED MEASUREMENT SYSTEM BASED ON THE IEEE-488 BUS

Abstract

The paper presents a description of the measurement systems in terms of their configuration and component systems. There is described measurement system based on IEEE-488 interface, pointing to the benefits and giving examples of measurement applications.

1. WSTĘP

Praca nowoczesnych procesów pomiarowych, produkcyjnych, czy innych związanych z koniecznością odczytu danych pomiarowych, opiera się o dane dostarczane z czujników umieszczonych w kluczowych, z punktu widzenia sterowania i wykonania procesu, miejscach. Pozyskiwanie, transmisja i przetwarzanie danych odbywa się w ramach systemu pomiarowego definiowanego jako zespół urządzeń, środków organizacyjnych i programów przetwarzania informacji wykorzystywanych w celu zapewnienia prawidłowego działania procesu produkcji. Cechą charakterystyczną takiego systemu pomiarowego odróżniającego go od układu pomiarowego jest obecność w systemie urządzenia odpowiedzialnego za przepływ informacji określanego jako kontroler. Zwykle jest to sterownik mikroprocesorowy lub komputer.

Budowa i konfiguracja systemu pomiarowego pociąga za sobą sposób przepływu informacji oraz możliwość jego późniejszej rozbudowy. Wyróżnia się trzy główne rodzaje konfiguracji systemu pomiarowego: magistrali, pętli i gwiazdy.

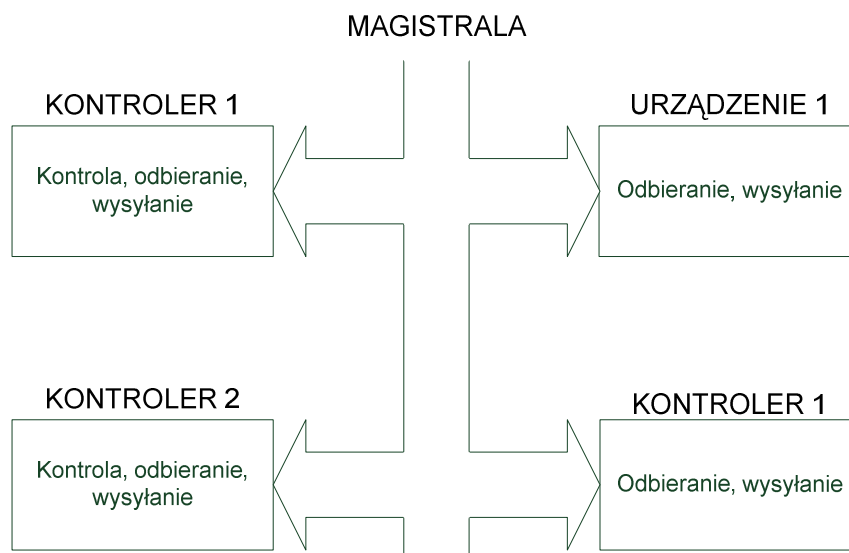
2. KONFIGURACJE SYSTEMÓW POMIAROWYCH

2.1 Konfiguracja magistrali

W konfiguracji magistrali wszystkie urządzenia systemu pomiarowego podpięte są do wspólnej linii przesyłania danych (magistrali). Żadne z urządzeń do niej podpiętych nie ma wyróżnionej pozycji i każde z nich może pełnić funkcję urządzenia do odczytu danych pomiarowych, jak i zarządzającą systemem (kontrolera), o ile taką możliwość posiada. Założeniem jest ograniczenie, że jednocześnie aktywne może być tylko jedno urządzenie pełniące funkcję zarządzającą. Celem takiego urządzenia jest kontrola wysyłania i odbierania informacji między urządzeniami. Wiąże się to z koniecznością nadania wszystkim urządzeniom systemu unikalnych adresów, a odbywa się to przez udzielanie zezwoleń na transmisję lub odbiór danych, tzw. adresowanie do nadawania i odbioru.

Zaletą systemu magistralowego jest jego strukturalna i funkcjonalna elastyczność w rozbudowie i łatwość zmian konfiguracji.

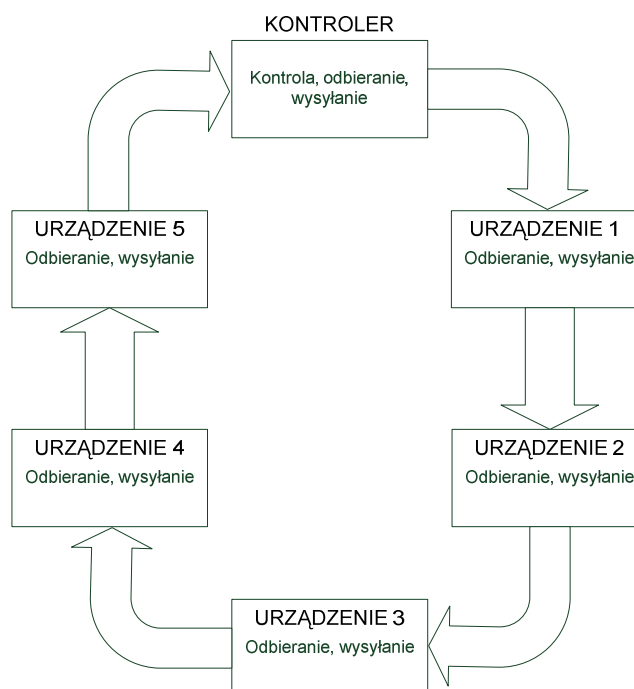
¹Politechnika Radomska im. Kazimierza Pułaskiego, Wydział Transportu i Elektrotechniki, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom,
e-mail: {m.luft; r.cioc; d.pietruszczak}@pr.radom.pl



Rys.1. Konfiguracja magistralowa

2.2 Konfiguracja pętli

Cechą charakterystyczną konfiguracji pętli jest jednokierunkowy ustalony przebieg informacji. W tym systemie kontroler nie ma wyróżnionej pozycji i może znajdować się w dowolnym miejscu pętli. Transmisja zaczyna się od wysłania przez kontroler informacji (komendy sterującej lub danych) do najbliższego urządzenia. Jeżeli nie jest ona przeznaczona do tego urządzenia, to niezwłocznie jest przesyłana dalej aż dotrze do odbiorcy. Taki sposób przesyłu wiąże się z koniecznością adresowania do nadawania i odbioru poszczególnych urządzeń. Po dotarciu informacji do urządzenia przeznaczenia następuje analiza jego treści i wykonanie komendy lub przyjęcie danych, a następnie przesłanie w niezmienionej formie informacji dalej. Przesłanie informacji dalej przez urządzenie, do którego miała ona dotrzeć, oznacza, że komendy sterujące zostały wykonane lub dane zostały przyjęte. Otrzymanie przez kontroler informacji wcześniej wysłanej oznacza, że wszystkie urządzenia, do których wysłana była informacja potwierdziły jej odbiór i może on nadawać następną informację.

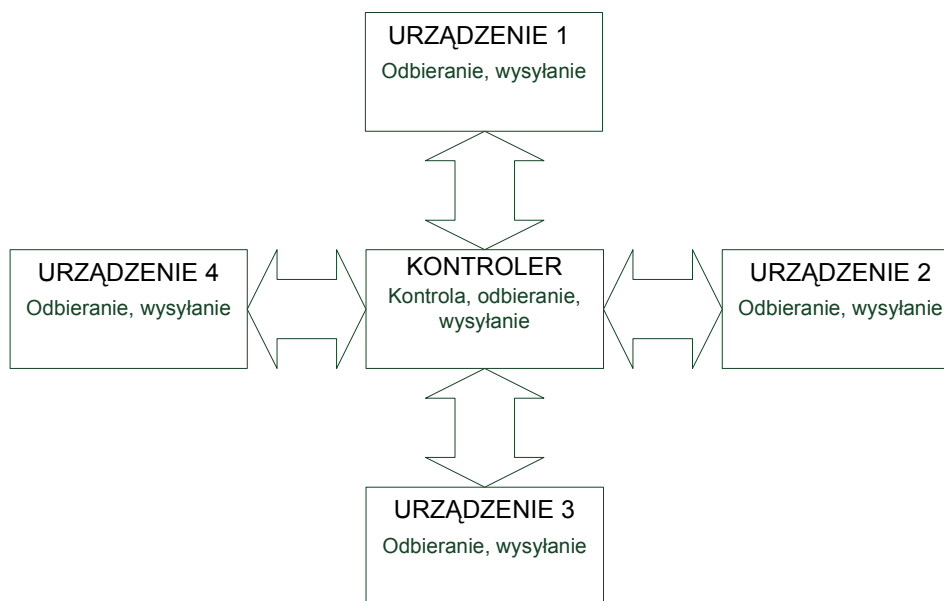


Rys.2. Konfiguracja pętli

Zaletą konfiguracji pętlowej jest mała liczba linii sygnałowych, wadą wolne działanie wynikające z konieczności przejścia informacji przez wszystkie elementy systemu pomiarowego.

2.3 Konfiguracja gwiazdy

Kontroler w systemie gwiazdzistym zajmuje centralne miejsce i jako jedyny komunikuje się z innymi urządzeniami. Poszczególne urządzenia mogą komunikować się między sobą tylko za jego pośrednictwem. Ze względu na trudności w rozbudowie takiego systemu, stosuje się go w prostych i o niewielkiej liczbie urządzeń systemach pomiarowych.



Rys.3. Konfiguracja gwiazdy

3. ELEMENTY SKŁADOWE SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Struktura i poszczególne elementy systemu pomiarowego zależą od jego przeznaczenia. Zawsze jednak występują w nim podstawowe elementy niezbędne w procesie pomiaru wielkości mierzonej:

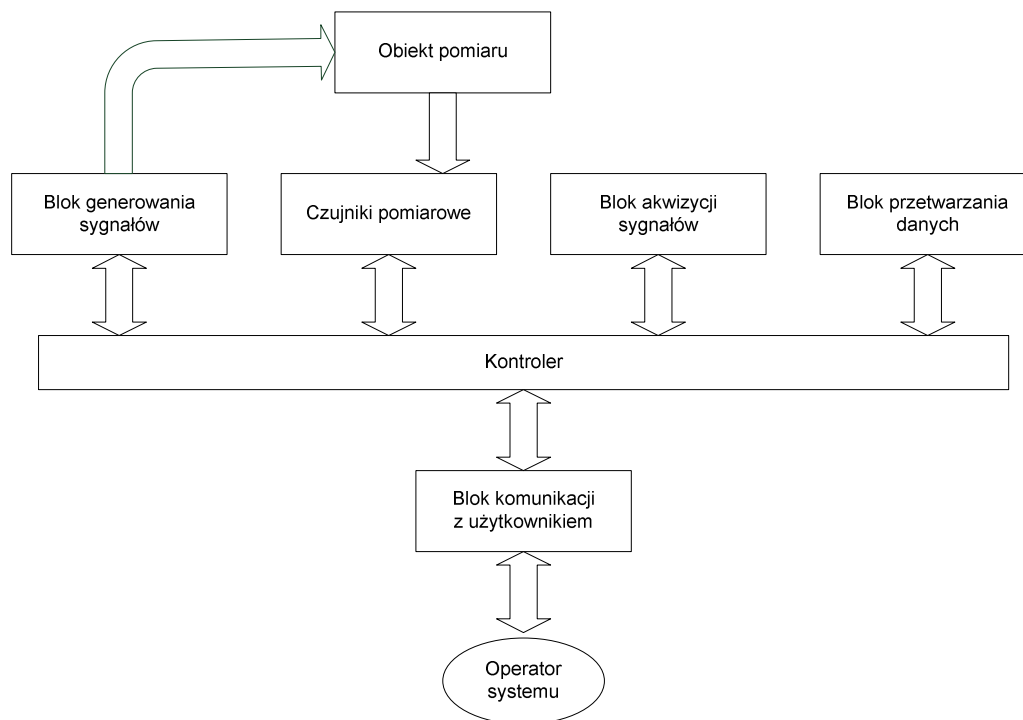
- urządzenie sterujące przepływem informacji w systemie (kontroler) będący odpowiednio zaprogramowanym mikroprocesorem lub komputerem;
- czujnik zamieniający wielkość mierzoną na sygnał elektryczny;
- przetwornik analogowo-cyfrowy (A/C) zamieniający analogowy sygnał na jego cyfrową reprezentację mogącą być zinterpretowaną przez urządzenia cyfrowe;
- magistrala interfejsu (warstwa fizyczna: okablowanie, złącza oraz programowa).

Zwykle też w systemie pomiarowym występują:

- kondycjonery sygnałów – dostosowujące sygnał wyjściowy z czujnika do postaci odpowiedniej dla następnego elementu systemu pomiarowego;
- generatory sygnałów wzorcowych;
- urządzenia wizualizacji wyników pomiarów (oscyloskop, monitor komputera, drukarka, itp.);
- rejestratory.

Pod względem funkcji elementy systemu pomiarowego dzieli się na:

- obiekt pomiaru, którego parametry odczytuje system pomiarowy;
- czujniki pomiarowe przetwarzające wielkość mierzoną na sygnał możliwy do odczytania przez system pomiarowy;
- kontroler, którego zadaniem jest koordynacja procesu pomiaru, czyli określenie warunków przepływu informacji, czasu pomiarów, konfiguracja urządzeń, akwizycja danych, realizacja algorytmów przetwarzania danych pomiarowych. Może on być układem mikrokontrolera z wpisanym programem sterującym system pomiarowy lub komputerem z odpowiednimi kartami magistrali interfejsu spinającymi urządzenia systemu pomiarowego i odpowiednim oprogramowaniem;
- blok generowania sygnałów wzorcowych oraz rzadziej, sygnałów oddziałujących na obiekt pomiaru i sterujących jego elementami wykonawczymi;
- blok akwizycji sygnałów zbierający dane pomiarowe;
- blok przetwarzania danych realizujący zadane algorytmy obliczeniowe oparte na danych pomiarowych;
- blok komunikacji z użytkownikiem wprowadzający do systemu informacje od użytkownika i wyprowadzający informacje z systemu.



Rys.4. Elementy funkcjonalne systemu pomiarowego

Podział systemu pomiarowego na jednostki funkcjonalne nie zawsze pokrywa się z ich rzeczywistą realizacją, która w głównej mierze zależy od zastosowanej magistrali interfejsu oraz urządzeń pomiarowych. Przykładem mogą być nowoczesne karty pomiarowe pełniące funkcje bloku akwizycji danych pomiarowych oraz bloku generującego sygnały wzorcowe. Ponadto to rzeczywiste wykonanie bloków funkcjonalnych systemu pomiarowego może być realizowane w postaci sprzętowej lub programowej. Obecnie zazwyczaj łączy się te dwie metody.

4. SYSTEM POMIAROWY W INTERFEJCIE IEEE-488

Założenie co do łatwości zmian konfiguracji systemu pomiarowego, jego elastyczności w wyborze rodzajów wielkości mierzonej oraz rozbudowy, narzuca wybór systemu pomiarowego o konfiguracji magistrali. Jednym z tego typu interfejsem jest IEEE-488.

Struktura interfejsu IEEE-488, nazwanego też GPIB (General Purpose Interface Bus), opiera się na konfiguracji wspólnej magistrali, do której wszystkie urządzenia dołączone są równolegle (rys.1). Magistralą przesyła się zarówno komunikaty interfejsowe (rozkazy, adresy) jaki i dane z urządzeń. Urządzenia w tym interfejsie dzieli się na:

- nadajniki, skr. L (ang. listener): przesyłające komunikaty i dane do jednego lub więcej odbiorników;
- odbiorniki, skr. T (ang. talker): przyjmujące komunikaty i dane;
- kontrolery, skr. C (ang. controller): monitorujące połączenia i adresujące ze sobą nadajnik i odbiornik.

Urządzenia mogą pełnić jednocześnie role nadajnik, odbiornika i kontrolera, np. komputer wyposażony w kartę interfejsu GPIB. W danej chwili jednak urządzenie może pełnić tylko jedną z tych funkcji.

Do magistrali interfejsu może być podłączonych jednocześnie 15 urządzeń łącznie z kontrolerami. Każde z nich ma jednakowy dostęp do magistrali. Systemem interfejsu zarządza kontroler poprzez organizowanie i kierowanie przepływu informacji (przez wysyłanie adresów i rozkazów). W systemie może istnieć wiele kontrolerów, ale w danym momencie może być aktywny tylko jeden, tzw. kontroler CIC (Controller-In-Charge). Kontrolery mogą przekazywać sobie sterowanie nad systemem, przy czym zawsze jeden z nich musi pełnić funkcję nadrzędną w stosunku do pozostałych. Kontroler ten, zwany kontrolerem systemu (ang. System Controller), inicjowany jest jako aktywny w momencie startu systemu. Identyfikuje wtedy urządzenia poprzez indywidualne 5-bitowe adresy urządzenia, tzw. DA (Device Address), będące liczbą od 0 do 30. Adresy te są przypisywane urządzeniom w momencie zestawiania systemu. Może się to odbywać sprzętowo za pomocą zworek lub przełączników na urządzeniu lub programowo. Sposób adresowania zależy od producenta danego urządzenia. Adresowanie polega na wysyłaniu za pośrednictwem magistrali systemowej adresu nadawania TAD (Talk Address) odbieranego przez urządzenie jako mój adres nadawania MTA (My Talk Address).

W danej chwili pracy systemu może istnieć tylko jeden nadajnik danych przy wielu odbiornikach. Uaktywnienie właściwości nadajnika lub odbiornika urządzenia dokonywane jest w wyniku odpowiedniego jego zaadresowania przez kontroler. W przypadku systemów składających się z dwóch urządzeń, z których jedno jest zaadresowane jako nadajnik, a drugie jako odbiornik, możliwa jest bezpośrednia komunikacja między takimi urządzeniami. Przykładowo multimetr skonfigurowany jako nadajnik i drukarka jako odbiornik. W takim przypadku w systemie nie musi istnieć kontroler.

Fizyczna struktura interfejsu składa się z 16 linii sygnałowych: 8 linii danych (DIO1 – DIO7 służą do przesyłania danych, DIO8 wykorzystuje do przesyłania bitu parzystości), 3 linii synchronizacji (NRFD, NDAC i DAV) i 5 linii sterowania (ATN, EOI, IFC, REN i SRQ).

Tab. 1. Linie sygnałowe interfejsu IEEE-488

Typ szyny	Oznaczenie	Przeznaczenie
Szyna danych	DIO1 ... DIO8 (ang. D igital I nput- O utput)	Przesyłanie danych i instrukcji w kodzie ISO – 7.
Szyna synchronizacji	NRFD (ang. N ot R eady F or D ata)	Sygnalizacja gotowości odbioru danych. Przyjęcie danych przez urządzenie może być rozpoczęte tylko w przypadku, gdy wszystkie urządzenia adresowane jako odbiorniki zgłoszą gotowość.
	NDAC (ang. N ot D ata A Ccepted)	Sygnalizacja prawidłowości odbioru danych przez wszystkie urządzenia.
	DAV (ang. D Ata V alid)	Sygnalizacja nowych danych. Sterowana przez nadawcę sygnalizuje dostępność 1 bajta danych na liniach DIO
Szyna sterowania	ATN (ang. A Tte N tion)	Sygnalizacja przesyłania danych (wysoki stan szyny) lub komunikatów (niski stan szyny) na liniach DIO
	EOI (ang. E nd O f I dentify)	W trybie przesyłania danych sygnalizuje koniec transmisji. W trybie przesyłania instrukcji wykorzystywane przez kontroler do sprawdzania, które urządzenie żąda obsługi.
	IFC (ang. I nter F ace C lear)	Przesyłanie żądania kontrolera do zatrzymania wszystkich aktualnych operacji przez urządzenie.
	REN (ang. R emote E Nable)	Przesyłanie żądania kontrolera włączającego zdalne lub lokalne sterowanie urządzeniem.
	SRQ (ang. S ervice R e Q uest)	Przesłanie żądania obsługi przez urządzenie.

Przesyłanie danych przez magistralę GPIB odbywa się asynchronicznie ze zwrotnym potwierdzeniem odbioru. Długość kabla między poszczególnymi urządzeniami nie powinna przekraczać 2 m, a całkowita długość wszystkich kabli 20 m. Istnieje możliwość zwiększenia ilości urządzeń i długości kabli systemu za pomocą tzw. ekspandera. Ekspander jest urządzeniem wyposażonym w dwa złącza GPIB, do których można podłączyć po 14 urządzeń, łącznie z kontrolerem, co daje możliwość podłączenia 28 urządzeń i rozszerzenia długości magistrali do 40 m. Fizycznie system składa się wtedy z dwóch odrębnych sieci oddzielonych elektrycznie, które logicznie działają jako jedna sieć.

Łatwość konfigurowalności systemu pomiarowego opartego o interfejs IEEE-488 opiera się na jasno ustalonych i wspieranych przez największe firmy produkujące sprzęt pomiarowy standardach warstwy fizycznej oraz programowej (w postaci języka SCPI) interfejsu.

5. SYSTEM DO POMIARÓW RÓŻNYCH WIELKOŚCI

W oparciu o magistralę IEEE-488 wykonano system pomiarowy umożliwiający pomiar: prądów, napięć, częstotliwości, rezystancji i temperatury oraz umożliwiający sterowanie parametrami generatora przebiegów arbitralnych (rodzajem przebiegu, częstotliwością i amplitudą) oraz programowalnego zasilacza prądu stałego (napięciem i prądem).

System składa się z:

- komputera z kontrolerem GPIB i oprogramowaniem do tworzenia aplikacji;
- multimetru – 2szt.;
- programowalnego zasilacza prądu stałego;
- generatora przebiegów arbitralnych;
- generatora funkcyjnego;
- programowalnego źródła napięcia stałego;
- zestawu czujników.

Warstwa programowa systemu pomiarowego opiera się na aplikacjach napisanych w graficznym środowisku programowania VEE Pro oraz na sterownikach konkretnych urządzeń integrujących to środowisko z interfejsem GPIB.

VEE Pro jest obiektowym środowiskiem programistycznym oferującym możliwość opracowania aplikacji sterującej systemem pomiarowym, akwizycję pomiarów, ich analizę, przetwarzanie i prezentowanie danych oraz tworzenie wirtualnych narzędzi uzupełniających lub nawet zastępujących obiekt i przyrządy pomiarowe.

Podstawową cechą środowiska jest reprezentacja instrukcji programu w formie ikony obiektu, na którego sygnałach wejściowych wykonywane są określone operacje. Sekwencje instrukcji wykonuje się łącząc wyjścia obiektu z wejściem następnego obiektu. Graficznie program wygląda podobnie do schematu blokowego z przedstawionym kierunkiem przepływu danych oraz informacji sterujących.

Obiekt może być fizycznym odwzorowaniem funkcji rzeczywistych urządzeń (np.: multimetru, generatora funkcji itp.) łącznie z ich płytą czołową i regulatorami lub funkcji typowo programowych (np.: składni if-then-else). Własną aplikację można wyposażyć w graficzny interfejs zawierający różnego typu gotowe do wykorzystania wskaźniki, regulatory i wyświetlacze.

Wbudowane w VEE Pro mechanizmy ActiveX pozwalają na wykorzystanie zewnętrznych bibliotek dynamicznych i integrowanie się projektowanej aplikacji z zewnętrznymi programami, takimi jak np.: Microsoft Excel, Word itp.

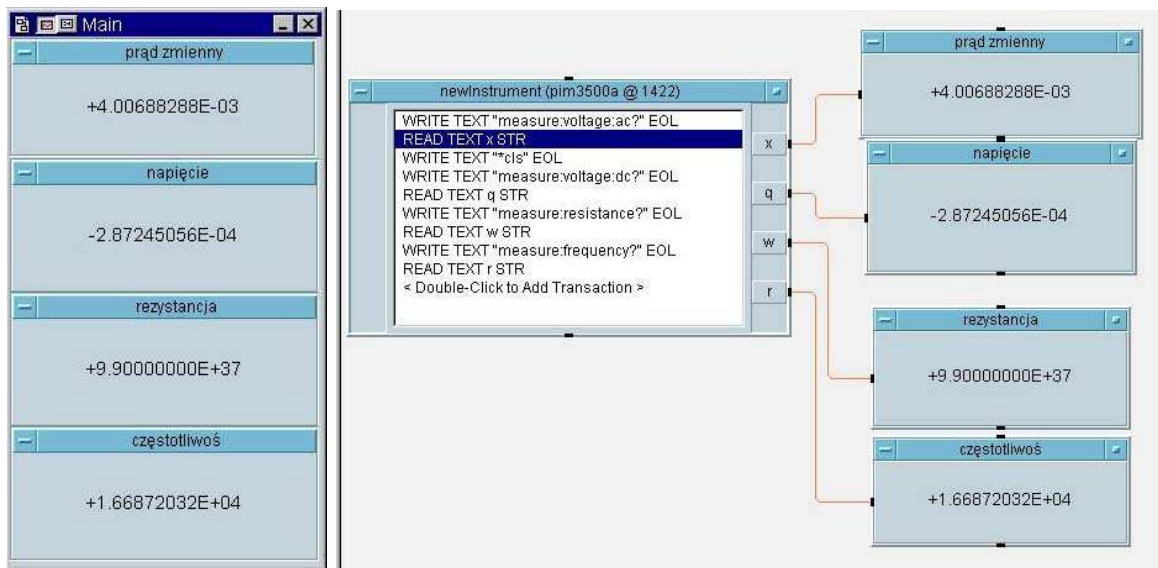
Dedykowane do konkretnych urządzeń sterowniki umożliwiają komunikację między nimi w standardach interfejsów IEEE-488, VXI i RS-232.

Pakiet VEE PRO dostępny jest na platformy systemowe Windows, Linux, Unix i Sun.

6. PRZYKŁADY APLIKACJI POMIAROWYCH

6.1 Pomiar prądu, napięcia, rezystancji i częstotliwości

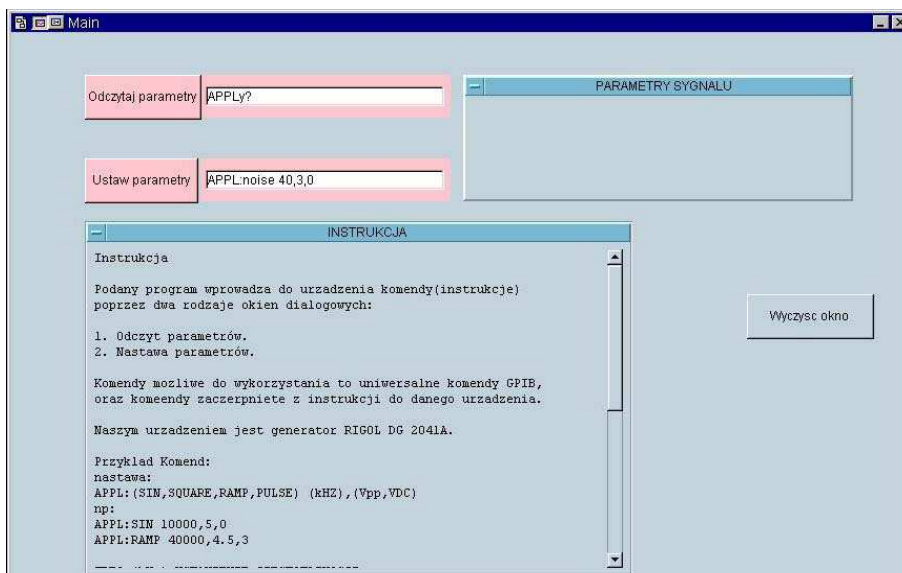
Pomiar prądu, napięcia, rezystancji i częstotliwości wykonano przy użyciu multimetru Picotest M3500A znajdującego się w sieci interfejsu IEEE-488. Umożliwia on pomiar takich wielkości jak: prąd, napięcie, rezystancja i częstotliwość. Przykładowe rozwiązanie takiej aplikacji wykorzystujące język SCPI i środowisko Vee Pro pokazane jest na rys. 5.



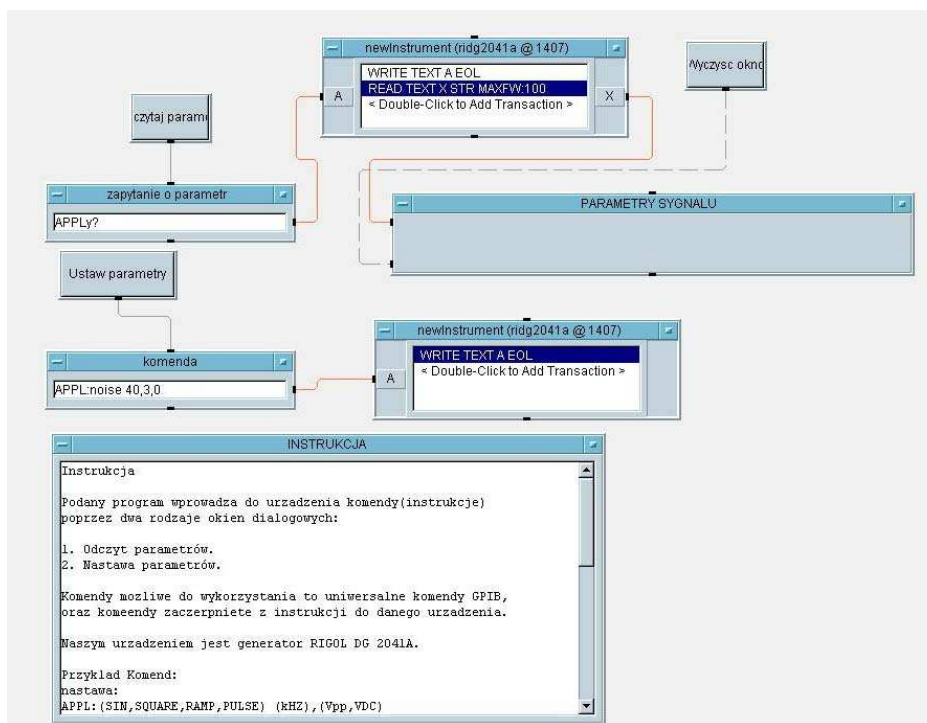
Rys.4. Elementy panelu sterowania i schemat obiektowy aplikacji do pomiaru prądu, napięcia, rezystancji i częstotliwości

6.2 Sterownice generatorem przebiegów

Rysunek 5 przedstawia panel sterowania aplikacji zdalnie sterującej generatorem przebiegów Rigol DG DG2041A. Aplikacja ma możliwość przesyłania do urządzenia wszystkich jego komend sterujących. Konieczna jest do jego użytkowania znajomość komend języka SCPI. Komendy wpisywane są z linii poleceń pól *Odczytaj parametry* lub *Ustaw parametry* zależnie od typu polecenia obsługi. W polu *Instrukcja* opisany jest sposób obsługi aplikacji i przykład składni komendy. Na rysunku 6 pokazano bloki programowania obiektowego, z których zbudowana jest aplikacja.



Rys.5. Panel sterujący generatorem Rigol DG 2041A



Rys.6. Aplikacja sterująca generatorem Rigol DG 2041A

7. WNIOSKI

Wykorzystanie w pomiarach interfejsów integrujących wiele urządzeń pomiarowych stwarza duże możliwości budowania systemów pomiarowych, w których możliwe są pomiary różnych wielkości oraz możliwe jest sterowanie urządzeniami w sposób, w który mogą one na bieżąco ingerować w przebieg pomiarów. Jednolity interfejs i język programowania pozwala integrować obsługę pomiarów wielu urządzeń w jednej aplikacji. Wykonanie wielu pomiarów różnych wielkości za pomocą jednego polecenia zależy już tylko od dobrej woli i umiejętności programisty.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Luft M., Cioć R., Pietruszczak D. *Rozproszony system pomiarowy do zadań diagnostycznych w transporcie oparty o magistralę IEEE-488*, Praca naukowo-badawcza PRad., Radom 2010-2011.
- [2] Mielczarek W. *Urządzenia pomiarowe i systemy kompatybilne ze standardem SCPI*, Helion, Gliwice 1999.
- [3] Nawrocki W. *Rozproszone systemy pomiarowe*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
- [4] Standard Commands for Programmable Instruments (SCPI), SCPI Consortium 1999.
- [5] Szycha L.: *Zasady doboru systemu sterowania pompowni wodociągowych*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2006.