

Politechnika Łódzka
Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

Instrukcja do ćwiczenia

Komputerowy system zbierania i przetwarzania
danych pomiarowych

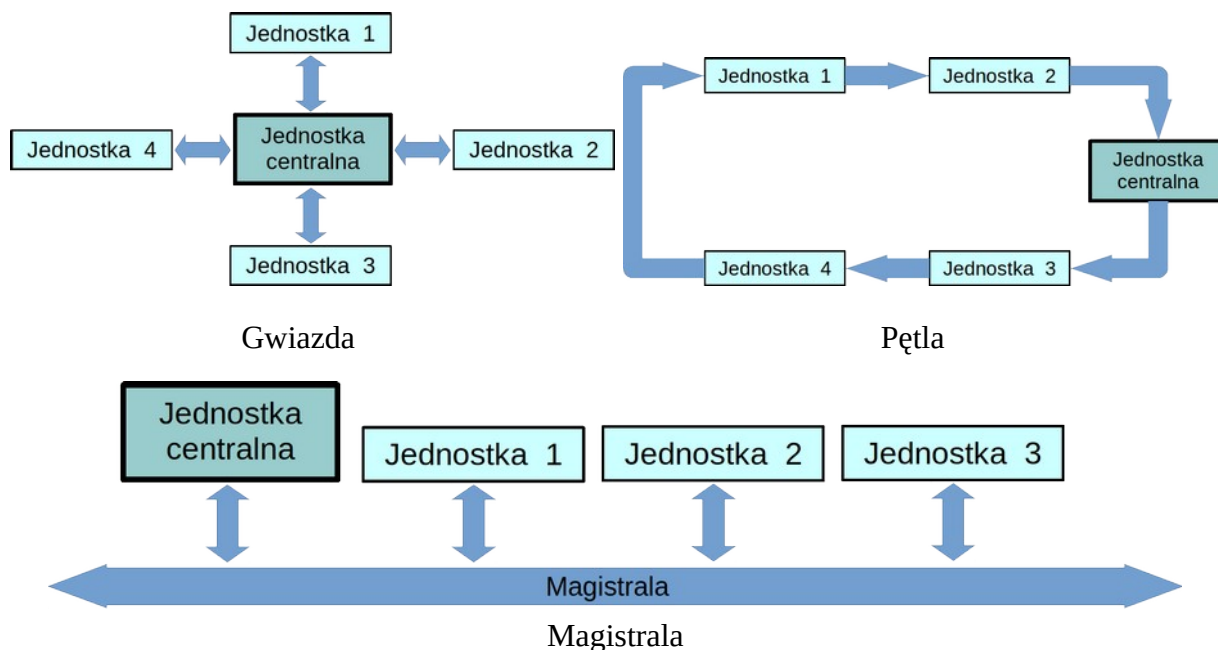
1. Cel ćwiczenia

Cele ćwiczenia:

- poznanie interfejsów i protokołów komunikacyjnych stosowanych w komputerowych systemach pomiarowych
- badanie właściwości komputerowego systemu pomiarowego

2. Podstawy teoretyczne

Komputerowy system pomiarowy można zdefiniować jako zespół aparatury pomiarowej połączonej ze sprzętem komputerowym, wyposażonym w specjalistyczne oprogramowanie do przetwarzania informacji pomiarowych w celu ich pozyskiwania, prezentacji, archiwizacji, transmisji i ewentualnego dalszego przetwarzania. Jednostką centralną systemu jest najczęściej komputer osobisty (lub inne urządzenie mikroprocesorowe), który zarządza pracą całego systemu, kontroluje przepływ informacji, przetwarza i archiwizuje dane pomiarowe. Komputer jako jednostka centralna jest najczęściej spotykany w systemach laboratoryjnych, gdzie systemy podlegają częstej modyfikacji. W systemach przemysłowych stosuje się sterowniki przemysłowe, zbudowane w oparciu o mikrokontrolery programowalne przygotowane pod konkretne rozwiązanie. Obok systemów pomiarowych, których działanie sprowadza się do porównania wyniku pomiaru z wartością wzorcową, rozróżnia się systemy diagnostyczne (identyfikujące przyczynę rozbieżności pomiędzy wynikiem pomiaru a przyjętym przedziałem zmian) oraz systemy kontrolne (sprawdzające, czy mierzona wartość mieści się w przyjętym przedziale). Sposób połączenia elementów systemu pomiarowego narzuca sposób wymiany informacji pomiędzy jego elementami. Na tej podstawie wyróżnia się zasadnicze trzy konfiguracje: gwiazdę, magistralę oraz pętlę (pierścień).



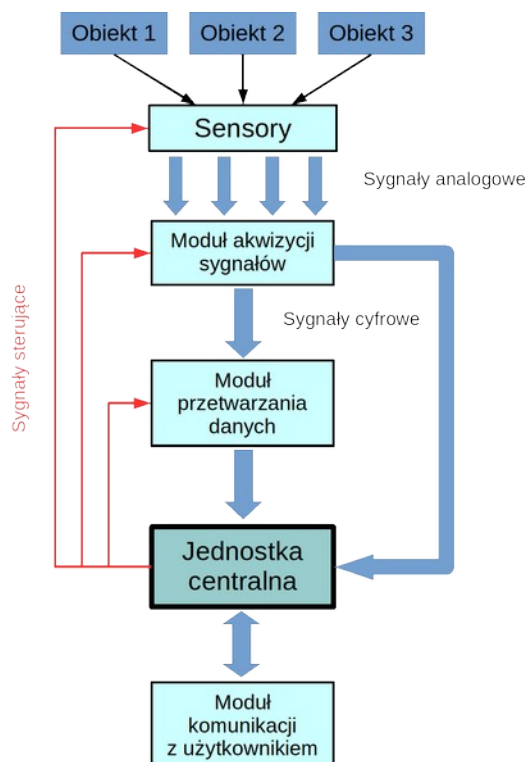
Rys. 1. Podstawowe konfiguracje połączeń stosowane w komputerowych systemach pomiarowych.

W układzie gwiazdowym wszystkie jednostki funkcjonalne systemu połączone są bezpośrednio z jednostką centralną i pełna wymiana informacji odbywa się za jej pośrednictwem. Układ charakteryzuje się możliwością niezależnego kontrolowania jednostek systemu, jednak wymaga zastosowania indywidualnych interfejsów dla każdej jednostki. Praktyczny przykład realizacji może

stanowić układ zbudowany na podstawie interfejsu RS-232C lub USB (każdy przyrząd = oddzielne złącze). W rozwiązaniu ze wspólną magistralą jednostki łączy się z jednostką centralną za pośrednictwem jednego interfejsu, a identyfikacja jednostek odbywa się najczęściej poprzez adresowanie. Każdej z jednostek nadawany jest unikalny adres i wysłanie instrukcji do jednostki poprzedzane jest wskazaniem adresu. Przykładem realizacji jest układ wykorzystujący interfejs IEEE-488. W układzie pętlowym podobnie jak w rozwiązaniu z magistralą konieczne jest adresowanie urządzeń, jednak informacja wysyłana przez jednostkę centralną trafia kolejno do wszystkich jednostek i po wstępnej interpretacji w przypadku niezgodności adresu jest przekierowywana dalej. Konfiguracja pętlowa charakteryzuje się najmniejszą prędkością, jednocześnie jednak wymaga najmniej linii do przesyłu danych.

2.1. Struktura systemu pomiarowego

Schemat struktury komputerowego systemu pomiarowego przedstawia rysunek 2. Nadrzędną rolę w systemie pełni jednostka centralna. Jej zadaniem jest koordynacja pracy systemu, czyli sterowanie przepływem informacji, kontrola szybkości i częstości realizacji pomiarów, ustalenie warunków pomiaru. Proces kontroli realizowany jest zgodnie z przyjętym algorytmem jednostki centralnej, która, w zależności od rozwiązania, może realizować stały algorytm, bądź algorytm modyfikowalny.



Rys. 2. Struktura systemu pomiarowego.

Blok sensorów przekształca wielkości nieelektryczne na mierzalne wielkości elektryczne. Może również przekształcać wielkości elektryczne trudne do bezpośredniego zmierzenia na wielkości elektryczne łatwo mierzalne. Przy zastosowaniu sensorów inteligentnych, jednostka centralna, za pośrednictwem sygnałów sterujących, może na tym etapie realizacji procesu pomiaru wpływać na

właściwości sensorów (np. realizować proces kalibracji, eliminować zakłócenia itp.).

Moduł akwizycji jest najważniejszym z elementów systemu, gdyż jego właściwości decydują o podstawowych cechach systemu pomiarowego. Zasadniczym zadaniem modułu akwizycji jest zbieranie i przekształcanie sygnałów pomiarowych (analogowych) do postaci cyfrowej. Proces ten jest często poprzedzany tzw. kondycjonowaniem sygnałów, polegającym najczęściej na ich wzmocnieniu. W celu pomiaru sekwencyjnego sygnału z wielu sensorów moduł akwizycji posiada na wejściu układ służący do przełączania wejść nazywany multiplekserem. Dzięki temu możliwe jest wykonanie pomiaru sygnału z wielu sensorów za pomocą jednego przetwornika A/C. W laboratoryjnych systemach pomiarowych rolę modułu akwizycji pełnią najczęściej tzw. karty pomiarowe, czyli wewnętrzne karty rozszerzeń z interfejsem PCI lub PCI Express, lub moduły rozszerzeń zewnętrznych z interfejsem USB.

Moduł przetwarzania danych realizuje, zgodnie z przyjętym algorytmem, proces cyfrowej obróbki sygnałów (ang. Digital Signal Processing). W rozwiązaniach przemysłowych proces obróbki przeprowadza się najczęściej z wykorzystaniem tzw. procesorów sygnałowych. W przypadku zastosowania komputera osobistego, oprócz roli jednostki centralnej, realizuje on również funkcje modułu przetwarzania.

Moduł komunikacji z użytkownikiem umożliwia obserwację wyników pomiaru oraz parametryzację procesu pomiaru. Za pośrednictwem modułu komunikacji użytkownik komunikuje się z jednostką centralną, a dalej, w zależności od funkcjonalności systemu, decyduje o przebiegu procesu pomiaru.

W zależności od przeznaczenia struktura systemu pomiarowego może odbiegać od wyżej przedstawionego schematu. Często spotyka się systemy, które obok funkcji pomiarowych umożliwiają realizację innych zadań, np. generację sygnałów o ściśle określonych przez użytkownika parametrach. W przypadku zastosowania w systemie autonomicznych przyrządów pomiarowych (np. multimetrów z interfejsem komunikacyjnym) funkcje realizowane przez niektóre z modułów są zintegrowane w przyrządzie (np. akwizycja sygnałów + przetwarzanie danych). Sterowanie tymi modułami odbywa się wówczas za pośrednictwem zaimplementowanego interfejsu pomiarowego.

3. Interfejsy pomiarowe

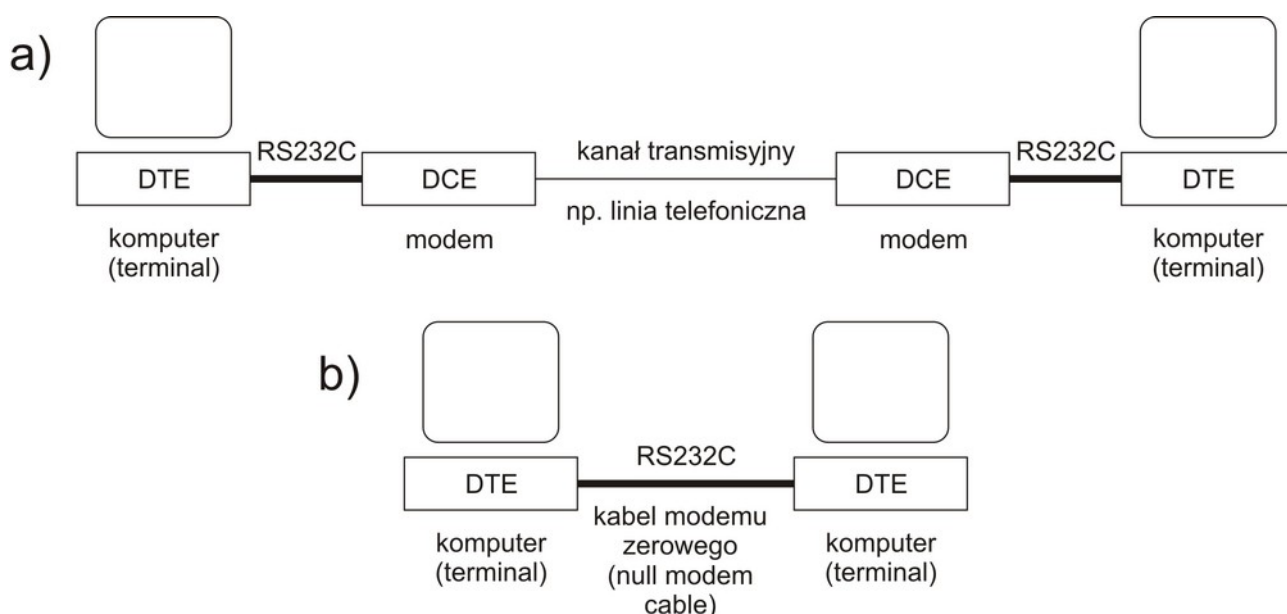
Połączenie przyrządu pomiarowego z jednostką centralną jest realizowane poprzez tzw. interfejs pomiarowy. Podstawowy podział interfejsów pomiarowych na interfejsy szeregowy i równoległy wynika z organizacji przesyłanych danych. **Transmisja szeregowy** polega na przesyłaniu danych bit po bicie, asynchronicznie lub w takt zegara synchronizującego transmisję. W przypadku **transmisji równoległej** dane przesyłane są w postaci ciągu słów, najczęściej 8-bitowych, w takt sygnałów synchronizujących lub asynchronicznie.

Najbardziej popularne interfejsy stosowane w urządzeniach pomiarowych to:

- **interfejsy szeregowy** – RS-232C, EIA-485 (RS-485), USB, Ethernet;
- **interfejsy równoległe** – IEEE-488 (GPIB), VXI, PXI.

3.1. Interfejs RS-232C

Standard RS-232C zakłada, że połączenie pomiędzy dwoma urządzeniami końcowymi (terminalami) DTE (ang. Data Terminal Equipment) odbywa się za pośrednictwem modemów DCE (ang. Data Communication Equipment). Modemy powinny być połączone kanałem transmisyjnym np. linią telefoniczną, łączem przewodowym, radiowym czy optycznym. W obecnie stosowanych rozwiązaniach funkcja modemu jest realizowana przez odpowiedni układ w urządzeniach końcowych lub modem jest pomijany. Rolę urządzenia końcowego może pełnić komputer, ale również przyrząd pomiarowy.



Rys. 3. Struktura układu transmisyjnego z interfejsem RS-232C: a) z modemami DCE, b) bez urządzeń DCE.

Głównymi zaletami interfejsu RS-232C jest prostota i niski koszt realizacji sprzętowej (kable dwu lub trzyżyłowe), najważniejszą wadą niewielka prędkość przesyłania danych. Wyróżnia się następujące rodzaje transmisji pomiędzy terminalami DTE:

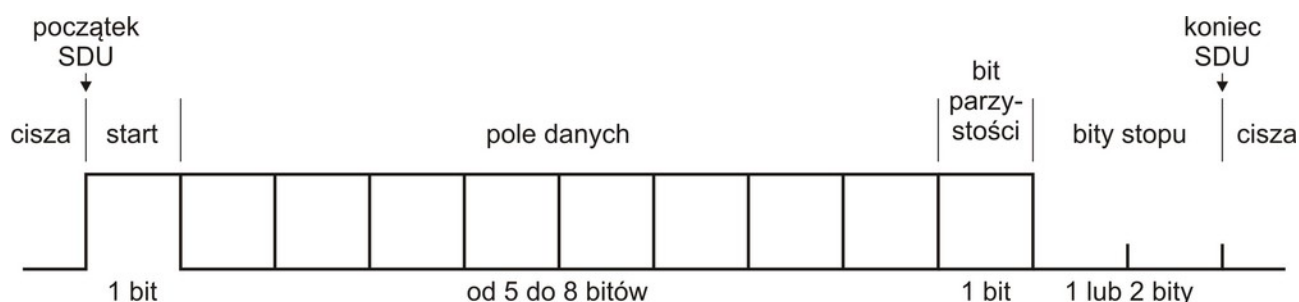
- **simpleksowa**, jednokierunkowa – w tym przypadku możliwe jest tylko jednokierunkowe przesyłanie danych albo z terminala DTE1 do DTE2, albo z DTE2 do DTE1;
- **półdupleksowa**, dwukierunkowa niejednoczesna – możliwe jest przesyłanie danych w obu kierunkach, ale sekwencyjnie, tzn. najpierw z DTE1 do DTE2, potem z DTE2 do DTE1;
- **dupleksowa**, dwukierunkowa jednoczesna – dane przesyłane są równocześnie w obu kierunkach.

Ze względu na sposób synchronizacji przesyłanych bitów wyróżnia się transmisje:

- asynchroniczną znakową – najczęściej stosowaną;

- synchroniczną.

Transmisja asynchroniczna znakowa polega na przesyłaniu kolejnych znaków o ściśle określonym formacie. Podczas transmisji asynchronicznej znakowej kolejno przesyłane bity tworzą tzw. jednostkę informacyjną SDU (ang. Serial Data Unit). W skład SDU wchodzi bity danych, bity kontrolne (START, STOP) oraz bit kontrolny (parzystości – PARITY). Bity danych są przesyłane w kolejności od najmniej znaczącego (LSB – ang. Least Significant Bit) do najbardziej znaczącego (MSB – ang. Most Significant Bit) i najczęściej reprezentują znak w kodzie ASCII. Łączna liczba bitów w jednostce SDU wynosi zwykle od 8 do 12. Szybkość przesyłania danych (ang. Baud Rate) określa się, podając liczbę bitów przesyłanych w ciągu sekundy [b/s]. Jednostka 1 [b/s] jest używana zamiennie z 1 [bod]. Typowe wartości szybkości przesyłania danych dla interfejsu RS-232C wynoszą 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 b/s. W przypadku niewielkich odległości pomiędzy terminalami są stosowane większe szybkości, najczęściej do 115200 b/s. Szybkość przesyłania danych jest podstawowym parametrem, który należy zdefiniować zestawiając połączenie. Dodatkowo należy określić pozostałe parametry jednostki informacyjnej SDU, tj. liczbę bitów danych (od 5 do 8), liczbę bitów stopu (od 1 do 2), tryb kontroli parzystości znaku: brak (none), nieparzystość liczby jedynek w znaku (odd), parzystość liczby jedynek w znaku (even) oraz sposób sterowania przepływem danych. Do poprawnej pracy łącza wymagane jest ustawienie identycznych parametrów transmisji po stronie nadajnika i odbiornika.

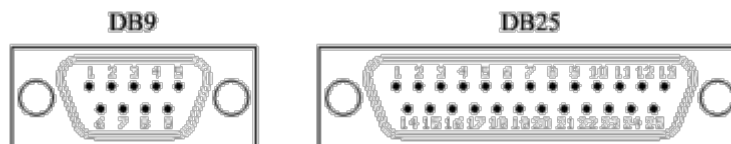


Rys. 4. Format jednostki informacyjnej SDU w standardzie RS-232C.

Transmisja synchroniczna jest stosowana znacznie rzadziej. Polega ona na przesyłaniu znaków pogrupowanych w duże bloki (tzw. ramki) o zmiennej wielkości do 2 kB. Synchronizacja przesyłu danych jest dokonywana za pomocą sygnału zegarowego wytwarzanego niezależnie w nadajniku i odbiorniku. Częstotliwość generatora sygnału zegarowego w odbiorniku jest ustalana na podstawie fali nośnej odbieranego sygnału. Transmisja synchroniczna jest szybsza od asynchronicznej ze względu na brak konieczności używania bitów startu i stopu, które nie niosą informacji. Szybkość transmisji może się zmieniać podczas połączenia, a odbiornik dostosowuje się do częstotliwości nadajnika. Transmisja synchroniczna, w porównaniu do transmisji asynchronicznej, wymaga bardziej złożonych układów nadawczo-odbiorczych, które muszą odpowiednio grupować i dekodować znaki.

Magistrala interfejsu RS-232C w pełnej wersji składa się z 4 linii danych, 11 linii sterujących, 3 linii synchronizacji oraz 2 linii masy. W wersji minimalnej, do komunikacji dwukierunkowej wystarczą trzy linie (TxD, RxD, masa), a w przypadku komunikacji jednokierunkowej tylko dwie linie (TxD lub RxD i masa). W urządzeniach wyposażonych w interfejs RS-232C stosowane są dwa

typy złączy szufladkowych: 25-stykowe DB-25 oraz najpopularniejsze 9-stykowe DB-9. Należy zwrócić uwagę na to, że w złączu DB-9 pozostawiono tylko najważniejsze sygnały do transmisji asynchronicznej znakowej (2 linie danych, 6 linii sterujących, 1 linia masy). Do połączenia dwóch urządzeń DTE bez modemów DCE używany jest tzw. kabel modemu zerowego (ang. null modem cable), w którym linie RxD i TxD są skrzyżowane.



Rys. 5. Rozkład wyprowadzeń w złączach szufladkowych DB-9 i DB-25.

Numer wyprowadzenia w złączu DB-9	Oznaczenie wyprowadzenia
1	DCD, RLSD (poziom sygnału odbieranego)
2	RxD (Dane odbierane)
3	TxD (Dane nadawane)
4	DTR (Gotowość DTE)
5	SG (Masa sygnałowa)
6	DSR (Gotowość DCE)
7	RTS (Żądanie nadawania)
8	CTS (Gotowość do nadawania)
9	RI (Wskaźnik wywołania)

Dopuszczalne wartości napięć na liniach danych wynoszą: dla 1 logicznej od -15V do -3V, dla 0 logicznego od +3V do +15V, obowiązuje tu zatem logika ujemna. Dla linii sterujących obowiązuje logika dodatnia, a zatem dla 1 logicznej napięcia muszą wynosić od +3V do +15V, zaś dla 0 logicznego od -15V do -3V. Duża różnica między napięciami dla stanu 0 i 1 w magistrali RS-232C, w porównaniu do standardu TTL czy CMOS (0.5V), daje stosunkowo dużą odporność na zakłócenia. Podawana przez normy graniczna długość magistrali RS-232C wynosi 15m.

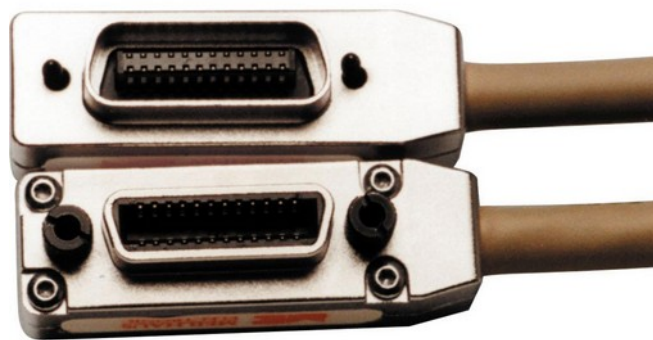
Należy podkreślić, że w nowych rozwiązaniach interfejs RS-232C jest już coraz rzadziej stosowany, ale dotyczy to tylko fizycznej realizacji kanału transmisyjnego, zastępowanego najczęściej przez standard USB. W dalszym ciągu wiele urządzeń pomiarowych komunikuje się z komputerem, wprowadzając poprzez interfejs USB, ale w warstwie logicznej zgodnie ze standardem RS-232C z wykorzystaniem konwerterów USB-RS232C.

3.2. Interfejs IEEE-488

Interfejs IEEE-488 został opracowany w firmie Hewlett-Packard pod nazwą własną HPIB (ang. Hewlett-Packard Interface Bus) pod koniec lat 60 dwudziestego wieku. W roku 1975 otrzymał status normy USA o nazwie IEEE-488 (obecnie znanej jako IEEE-488.1), a w roku 1976 status normy międzynarodowej IEC-625. Znani producenci aparatury pomiarowej stosują również oznaczenie GPIB (ang. General Purpose Interface Bus). W 1987 opracowano standard formatów

komend i danych, który funkcjonuje pod nazwą IEEE-488.2 (inne określenie to SCPI – ang. Standard Commands for Programmable Instruments). Poszczególne rozwiązania interfejsu IEEE-488 są identyczne pod względem funkcjonalnym, różnice dotyczą głównie złącza, okablowania i szczegółowych komend interfejsowych. Aktualnie większość profesjonalnych urządzeń pomiarowych jest wyposażona w interfejs IEEE-488, pomimo stosowania innych popularnych interfejsów, tj. USB i Ethernet. Istnieją również urządzenia, w których nie zainstalowano interfejsu IEEE-488.1, ale komunikują się z innymi urządzeniami zgodnie ze standardem IEEE-488.2 (SCPI). W 2004 roku organizacje IEC i IEEE utworzyły wspólne standardy IEC-60488-1 (odpowiednik IEE-488.1) i IEC-60488-2 (odpowiednik IEE-488.2).

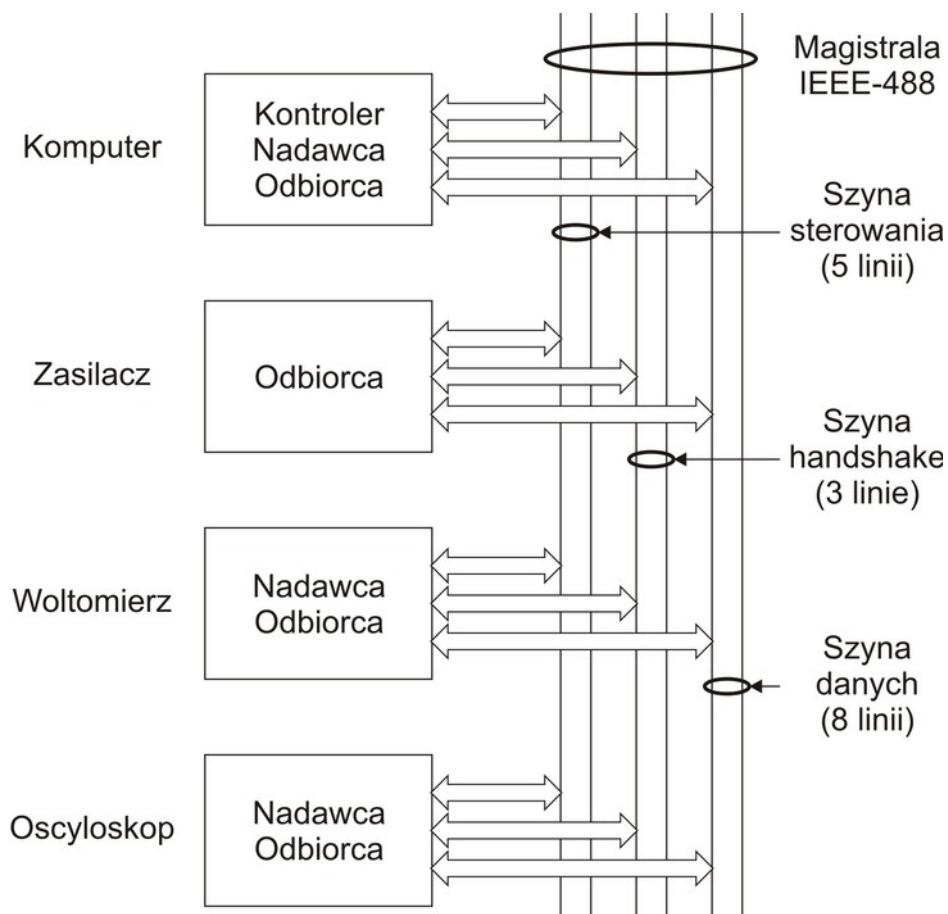
Typowy system pomiarowy, połączony poprzez interfejs IEEE-488, ma konfigurację magistralową (liniową), chociaż możliwa jest konfiguracja gwiazdowa. Magistrala interfejsu jest 8-bitową magistralą równoległą wyposażoną w 8 dwukierunkowych linii danych, 5 linii sterujących, 3 linie synchronizacji oraz 8 linii masy (w wersji IEC-625 9 linii masy). Każde urządzenie wpięte do magistrali musi posiadać unikalny 5-bitowy adres z przedziału od 0 do 30, który może ustalić użytkownik. Do magistrali może być jednocześnie wpiętych do 15 urządzeń (14 + kontroler), przy czym całkowita długość wszystkich kabli nie może przekraczać 20 metrów, a zalecana maksymalna długość kabla pomiędzy dwoma urządzeniami to 2 metry. Urządzenia podłączone do magistrali mogą pracować jako nadajnik (ang. talker), odbiornik (ang. listener) i kontroler (ang. controller). Transmisja w magistrali ma charakter równoległy, asynchroniczny, z potwierdzeniem odbioru (ang. handshake). Pozwala to na uzyskanie stosunkowo dużych szybkości transmisji (do 1,5 MB/s, typowo kilkaset kB/s), przy zachowaniu dużej odporności na błędy transmisji. Tryb handshake umożliwia dopasowanie szybkości transmisji do najwolniejszego odbiorcy. Złącza sugerowane przez standard IEE-488.1 mają 24 styki (Amphenol). Standard IEC-625 przewiduje stosowanie złączy szufladkowych 25-stykowych DB-25. Aby ułatwić tworzenie magistrali kable interfejsu IEE-488.1 są zakończone złączami posiadającymi w jednej obudowie wtyk i gniazdo (Rys. 6).



Rys. 6. Kabel interfejsu IEEE-488.1 zakończony złączami.

Głównym elementem systemu z interfejsem IEEE-488 jest kontroler. W praktycznych rozwiązaniach funkcję tę pełni komputer wyposażony w odpowiednią kartę PCI lub PCI-Express albo z zewnętrznym adapterem USB-IEEE488. Standard dopuszcza większą liczbę kontrolerów, ale w danej chwili tylko jeden może być aktywny. W najprostszych rozwiązaniach możliwa jest praca

bez kontrolera. Informacje między urządzeniami przesyłane są w postaci komunikatów, zawierających rozkazy, adresy oraz dane. **Szyna danych** (ang. Data Bus) posiada 8 linii sygnałowych oznaczanych od **DIO1** do **DIO8** (ang. Data Input Output). Dane są przesyłane w postaci 7-bitowych znaków ASCII. Ósmy bit jest używany do kontroli poprawności transmisji lub jest niewykorzystywany. **Szyna sterowania** (ang. Management Bus) zawiera 5 linii sterujących pracą magistrali (**IFC** – Interface Clear, **ATN** - Attention, **REN** – Remote Enable, **SRQ** – Service Request, **EOI** – End Or Identify). Dodatkowe trzy linie (**DAV** – Data Valid, **NRFD** – Not Ready For Data, **NDAC** – Not Data Accepted) tworzą **szynę koordynacji transmisji** (ang. Handshake Bus), odpowiedzialną za sterowanie wysyłaniem i odbieraniem każdego bajtu na szynie danych.



Rys. 7. Struktura przykładowego systemu pomiarowego z interfejsem IEEE-488.

Komunikacja między urządzeniami jest inicjowana przez kontroler, który wybiera jednego nadawcę komunikatu (adresowanie do nadawania). Wybrany nadawca przekazuje komunikaty na szynę danych, a potencjalni (wyznaczeni) odbiorcy odczytują je słowo po słowie, potwierdzając każdorazowo przyjęcie.

3.3. Interfejs USB

Najpopularniejszym obecnie interfejsem komunikacyjnym służącym do połączenia urządzeń peryferyjnych z komputerem jest interfejs szeregowy **USB** (ang. Universal Serial Bus). Dla standardu przemysłowego USB zdefiniowano parametry elektryczne interfejsu, protokoły komunikacyjne oraz typy stosowanych złączy. Uniwersalność i elastyczność standardu umożliwia

podłączenie do komputera szerokiej gamy typowych urządzeń peryferyjnych (np. mysz, klawiatura, kamera cyfrowa, zewnętrzny nośnik danych) oraz urządzeń specjalistycznych, np. aparatura pomiarowo-kontrolna, sterowniki przemysłowe. Bardzo popularnym rozwiązaniem jest stosowanie konwerterów umożliwiających komunikację komputera z urządzeniami wyposażonymi w inne interfejsy (np. USB-IEEE488, USB-RS232C, USB-Centronics). Cechą szczególną interfejsu USB jest automatyczne rozpoznawanie przez host (komputer) podłączonego urządzenia. Każde urządzenie wyposażone w interfejs USB w chwili podłączenia do komputera „przedstawia się”, wysyłając unikalny ciąg znaków jednoznacznie definiujący typ urządzenia. Na tej podstawie komputer automatycznie dobiera parametry współpracy z urządzeniem.

Urządzenia posiadające interfejs USB można sklasyfikować z punktu widzenia zgodności z obowiązującymi standardami:

- USB 1.0 /USB 1.1 – Low Speed (szybkość transmisji danych do 1,5 Mb/s), Full Speed (do 12 Mb/s);
- USB 2.0 – High Speed (do 480 Mb/s);
- USB 3.0 – SuperSpeed (do 5 Gb/s);
- USB 3.1 – SuperSpeed+ (do 10 Gb/s).
- USB 3.2 – SuperSpeed+ (10 i 20 Gb/s)

Inną charakterystyczną cechą interfejsu USB jest możliwość zasilania urządzenia peryferyjnego bezpośrednio z kontrolera interfejsu. Szeroka gama typów urządzeń, które mogą współpracować z interfejsem USB, narzuciła konieczność zdefiniowania różnych standardów zasilania:

- USB 1.X i 2.0 – 5V/500mA;
- USB 3.x – 5V/900mA.

Ponadto zdefiniowano standardy dla portów USB dedykowanych do ładowania akumulatorów, tj. o znacznie większej obciążalności (nawet do 5 A przy 20 V), tzw. charging ports: USB Battery Charging, USB Type-C, USB Power Delivery.

Architektura sieci urządzeń połączonych magistralą USB ma topologię gwieździstą, tzn. składa się z hosta (kontrolera) i wielu portów umożliwiających podłączenie urządzeń peryferyjnych. Zastosowanie dodatkowych koncentratorów pozwala na prostą i elastyczną rozbudowę sieci połączeń o dodatkowe porty. Powstaje wówczas sieć o topologii drzewiastej. Maksymalnie rozbudowana sieć może składać się z pięciu poziomów o łącznej liczbie urządzeń równej 127. Należy zwrócić uwagę na to, że główne ograniczenie liczby jednocześnie podłączonych urządzeń wynika ze skończonej wydajności prądowej głównego koncentratora. W sieci USB tylko jedno urządzenie może pełnić funkcję kontrolera magistrali. Dlatego nie jest możliwe bezpośrednie połączenie dwóch komputerów za pośrednictwem interfejsu USB.

Magistrala USB w wersji 1.X i 2.0 zawiera cztery ekranowane przewody:

- V_{BUS} – zasilanie +5V;

- GND – masa;
- D- oraz D+ - dwie różnicowe linie danych.

Urządzenia peryferyjne są łączone z hostem z pomocą standardowych czterostykowych złączy USB typu A oraz B (różnica wynika z konieczności uniemożliwienia połączenia dwóch komputerów) oraz pięciostykowych zminiaturyzowanych złączy Mini-USB i Micro-USB (typu A i B).

Dane są przesyłane metodą różnicową, poprzez parę dwóch przewodów D- oraz D+ (dwa sygnały komplementarne). Takie rozwiązanie pozwala na łatwe wyeliminowanie zakłóceń zewnętrznych. Do przekształcania danych binarnych na sygnał elektryczny i na odwrót stosowana jest metoda NRZI (ang. Non Return to Zero Inverted). Kod NRZI jest kodem samosynchronizującym, dlatego nie ma konieczności przesyłania oddzielnych impulsów synchronizujących. W takiej metodzie kodowania jedynka logiczna jest reprezentowana przez brak zmiany poziomu sygnału, a zero przez zmianę poziomu.

Ze względu na znacznie większe szybkości przesyłu danych, w magistrali USB 3.X zastosowano dodatkowe dwie pary różnicowych linii sygnałowych: SSTx+ i SSTx- oraz SSRx+ i SSRx- (odpowiednio SuperSpeed Transmit i Receive), podobnie jak w interfejsie Serial ATA. Taka konfiguracja zapewnia szybki przesył danych w tzw. pełnym duplexie (ang. full-duplex). Złącza dla standardu USB 3.X muszą zatem posiadać 9 wyprowadzeń i pozostać przy tym kompatybilne ze złączami dla wcześniejszych standardów.

3.4. Standard SCPI

Standard SCPI (IEEE-488.2) został przyjęty w celu zunifikowania składni i postaci komend oraz formatu danych przesyłanych pomiędzy urządzeniami pomiarowymi i komputerem. Pomimo tego, że standard SCPI wywodzi się bezpośrednio z prac nad standaryzacją interfejsu IEEE-488, nie jest ograniczony do konkretnego fizycznego interfejsu i jest wykorzystywany jako pewnego rodzaju język do komunikacji poprzez inne interfejsy, np. RS-232C, USB (USBTMC) czy VXI. Komendy wysyłane są w postaci łańcuchów tekstowych złożonych ze znaków w kodzie ASCII. Typowa komenda składa się ze słowa (lub słów kluczowych rozdzielonych dwukropkiem), po czym podawane są opcjonalne parametry. Wielkość liter nie ma znaczenia, ale w opisach fragment komendy podaje się stosując wielkie litery, wyróżniając w ten sposób część obowiązkową. Część komendy podana małymi literami jest opcjonalna i może być pominięta podczas wysyłania komend. Przykładowa komenda w postaci:

MEASure:VOLTage:DC

oznacza rozkaz wykonania pomiaru napięcia stałego. Jeżeli komenda zakończona jest znakiem zapytania „?” kontroler oczekuje na przesłanie odpowiedzi przez interfejs od wybranego urządzenia.

4. Wykonanie ćwiczenia

4.1. Program ćwiczenia

1. Konfiguracja parametrów portu komunikacyjnego w aplikacji pomiarowej.
2. Akwizycja i obróbka statystyczna wyników pomiaru wartości skutecznej napięcia.

Ustawić multimetr w trybie pomiaru napięcia zmiennego i po wybraniu odpowiedniego zakresu pomiarowego (patrz instrukcja dodatkowa) połączyć wejścia multimetru z wyjściem generatora. Za pomocą aplikacji pomiarowej uruchomić proces pomiarowy i wykonać podaną przez prowadzącego liczbę pomiarów wartości skutecznej napięcia na wyjściu generatora sygnałowego. Na podstawie wyników pomiarów oraz specyfikacji technicznej multimetru należy wyznaczyć odpowiednio niepewność typu A i typu B, niepewność łączną i rozszerzoną.

Wyniki pomiarów i obliczeń zanotować w tabeli.

L.p.	Wskazanie przyrządu U_x
-	mV
1	
2	
3	
4	
.	

Wartość średnia zmierzonoego napięcia \bar{U}_r	Błąd graniczny przyrządu ΔU_x	Niepewność standardowa typu A u_A	Niepewność typu B u_B	Niepewność łączna u_c	Niepewność rozszerzona U_p
mV	mV	mV	mV	mV	mV

3. Akwizycja i obróbka statystyczna wyników pomiaru częstotliwości.

Ustawić multimetr w trybie pomiaru częstotliwości i po wybraniu odpowiedniego zakresu pomiarowego (patrz instrukcja dodatkowa) sprawdzić poprawność połączenia z generatorem. Za pomocą aplikacji pomiarowej uruchomić proces pomiarowy i wykonać podaną przez prowadzącego liczbę pomiarów wartości częstotliwości na wyjściu generatora sygnałowego. Na podstawie wyników pomiarów oraz specyfikacji technicznej multimetru należy wyznaczyć odpowiednio niepewność typu A i typu B, niepewność łączną i rozszerzoną.

Wyniki pomiarów i obliczeń zanotować w tabeli.

L.p.	Wskazanie przyrządu f_x
-	Hz
1	
2	
3	
4	
.	

Wartość średnia zmierzonej częstotliwości \bar{f}_r	Błąd graniczny przyrządu Δf_x	Niepewność standardowa typu A u_A	Niepewność typu B u_B	Niepewność łączna u_c	Niepewność rozszerzona U_p
Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz

4. Akwizycja i obróbka statystyczna wyników pomiaru temperatury.

Ustawić multimetr w trybie pomiaru temperatury i zgodnie z instrukcją dodatkową dołączyć do multimetru czujnik temperatury. Czujnik położyć na stole, aby nie miał kontaktu z

innymi przedmiotami w pobliżu (spoina powinna mierzyć temperaturę otoczenia - powietrza). Za pomocą aplikacji pomiarowej uruchomić proces pomiarowy i wykonać podaną przez prowadzącego liczbę pomiarów wartości temperatury otoczenia. Na podstawie wyników pomiarów oraz specyfikacji technicznej multimetru należy wyznaczyć odpowiednio niepewność typu A i typu B, niepewność łączną i rozszerzoną.

Wyniki pomiarów i obliczeń zanotować w tabeli.

L.p.	Wskazanie przyrządu v_x
-	°C
1	
2	
3	
4	
.	

Wartość średnia zmierzonej temperatury \bar{v}_r	Błąd graniczny przyrządu Δv_x	Niepewność standardowa typu A u_A	Niepewność typu B u_B	Niepewność łączna u_c	Niepewność rozszerzona U_p
°C	°C	°C	°C	°C	°C

4.2. Opracowanie wyników pomiarów

Jako estymatę prawdziwej wartości mierzonej można przyjąć wartość średniej arytmetycznej z n pomiarów:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \text{ gdzie } x_i - \text{kolejne wyniki pomiaru, } n - \text{liczba pomiarów.}$$

Odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru jest miarą rozrzutu obserwacji, natomiast odchylenie standardowe średniej z n obserwacji jest niepewnością standardową typu A:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Niepewność typu B wyznacza się na podstawie błędu granicznego przyrządu pomiarowego, który podany jest w dokumentacji dostarczonej przez producenta:

$$\Delta x = a\% \text{ wartości odczytanej} + b \cdot \text{rozdzielczość pomiarowa},$$

gdzie a i b to współczynniki podane w dokumentacji dostarczonej przez producenta przyrządu pomiarowego.

Jako wartość odczytaną należy przyjąć średnią arytmetyczną \bar{x} z n pomiarów.

Wyznaczenie odchylenia standardowego dla niepewności typu B wymaga określenia funkcji gęstości rozkładu błędu. W przypadku, gdy producent nie podaje inaczej, przyjmuje się, że funkcja gęstości rozkładu błędu jest linią prostą, co oznacza, że każdy błąd w danym przedziale jest jednakowo prawdopodobny. Na tej podstawie kwadrat odchylenia standardowego (wariancja) wynosi:

$$u_{\text{jednostajna}}^2 = \frac{\Delta^2}{3}, \text{ czyli niepewność typu B wynosi:}$$

$$u_B = \sqrt{u_{\text{jednostajna}}^2} = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}}$$

Standardowa niepewność łączna jest sumą kwadratów niepewności typu A i B:

$$u_C^2 = u_A^2 + u_B^2, \text{ czyli } u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Niepewność rozszerzoną oblicza się z zależności:

$$U_p = k \cdot u_C, \text{ gdzie współczynnik } k \text{ jest zależny od charakteru rozkładu.}$$

Jeżeli w niepewności łącznej dominuje niepewność typu A i jej rozkład jest zbliżony do rozkładu Gaussa lub t-Studenta wówczas wartość współczynnika odpowiada wartościom charakterystycznym dla tych rozkładów.

Jeśli dominuje niepewność typu B (rozkład jednostajny) przyjmuje się $k_p = p \sqrt{3}$. Przy braku jednoznacznej dominacji przyjmuje się dla poziomu ufności $p=0,95$ wartość $k_{p=0,95}=2$, jednak jest to jedynie oszacowanie przybliżone.