

# Przyrządy pomiarowe z interfejsami magistrali GPIB (IEC 625)

Bogusław Wiśniewski, Barbara Szcówka-Wiśniewska

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektroniki

**Streszczenie:** Zaprezentowano prosty interfejs wykorzystujący wyłącznie rozwiązania układowe. Przeanalizowano jego działanie przy odbiorze rozkazów i danych, analizę uzupełniono przebiegami czasowymi. Opisano strukturę typowego przyrządu pomiarowego, składającego się z części analogowej i cyfrowej, z dedykowanymi mikrokontrolerami. Przedstawiono rozwiązanie z ekranem ochronnym. Na podstawie schematu zastępczego, udowodniono wysoki stopień redukcji zakłóceń asymetrycznych. Szczegółowo przeanalizowano działanie logiki pomiędzy mikrokontrolerem części cyfrowej, a liniami GPIB. Zaproponowana logika zapewnia poprawność transferu dla rozkazów i danych oraz pozwala na zachowanie szczegółowych parametrów czasowych.

**Słowa kluczowe:** interfejsy magistrali GPIB, aplikacje mikrokontrolerów, przyrządy pomiarowe

## 1. Standard GPIB

Standard GPIB ma swój początek w firmie Hewlett Packard, gdzie zaproponowano sposób podłączenia podzespołów systemu pomiarowego, przy pomocy zespołu linii funkcjonalnych. Po dopracowaniu protokołu i komend, standard został zarejestrowany jako IEEE 488 (USA) i IEC 625 (Europa). W późniejszym czasie zdefiniowano język algorytmiczny SCPI, wykorzystywany w systemach pomiarowych z przyrządami pracującymi w standardzie GPIB.

Cechą charakterystyczną tych systemów pomiarowych jest centralny kontroler, współpracujący z przyrządami zestawionymi do obsługi, zazwyczaj czasochłonnego zadania pomiarowego. Każdy przyrząd musi być wyposażony w interfejs GPIB. Funkcję centralnego kontrolera pełni najczęściej specjalizowana karta w komputerze, który przejmuje funkcje archiwizacji i przetwarzania danych. We współczesnej aparaturze pomiarowej wyższej klasy instalowane są interfejsy GPIB zwykle na stałe, rzadziej jako opcja.

Laboratorium studenckie Katedry Elektroniki AGH dysponuje szerokim asortymentem komponentów pomiarowych, stosujących standard GPIB. Oprócz fabrycznych kart są też własne, dedykowane rozwiązania kontrolerów, stworzone specjalnie dla potrzeb dydaktyki. Celowi temu służy specjalizowany osprzęt, jak moduły obserwacyjne, symulatory i testery [1].

Wykorzystywane są przyrządy fabryczne oraz własne konstrukcje, powstałe jako

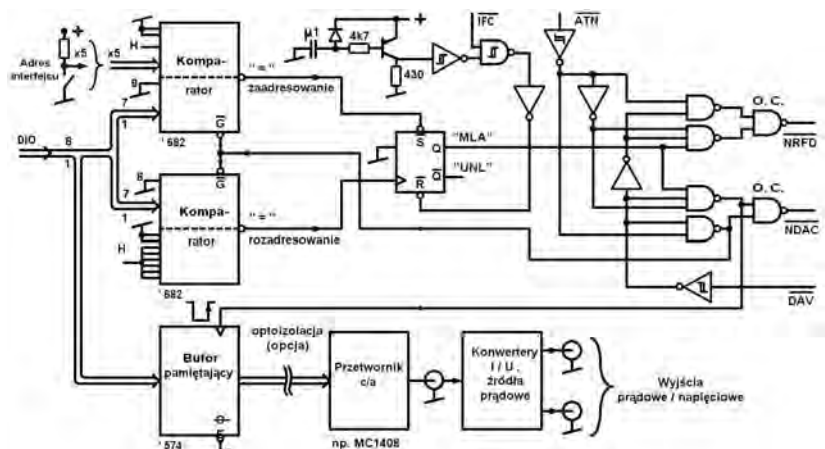
efekt projektów czy prac dyplomowych. W ramach artykułu zademonstrowane zostanie rozwiązanie prostego systemu pomiarowego, ogólna struktura zaawansowanych rozwiązań aparaturowych oraz szczegółowe rozwiązania logiki interfejsu GPIB, z rozdzielonymi masami: analogową i cyfrową.

## 2. Komponenty systemu pomiarowego

Zestawiając zadanie pomiarowe dysponujemy specjalizowaną aparaturą firmową. Oprócz niej niezbędne są prostsze komponenty, jak zadajniki, komutatory czy sterowane źródła. Ich zakup jest często ekonomicznie nieuzasadniony, bądź wymagany jest nietypowy zestaw funkcji. W tym przypadku system należy uzupełnić o rozwiązania własne, maksymalnie uproszczone. Do analizy wybrano sterowane przez GPIB, źródło napięcia/prądu o 8-bitowej rozdzielczości.

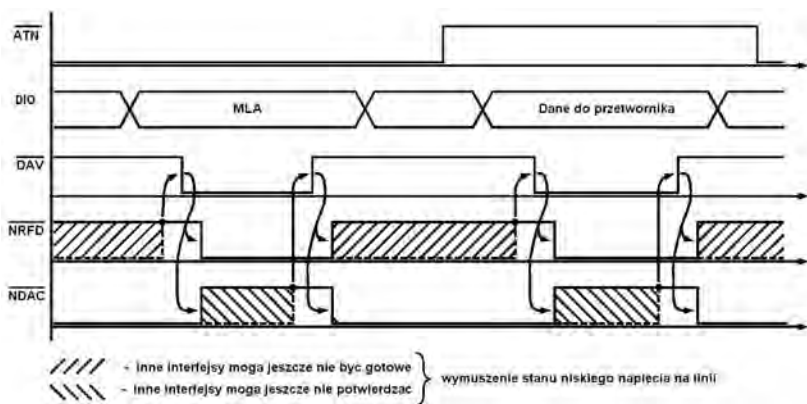
Wybrana została realizacja wyłącznie sprzętowa. Minimalny zestaw rozpoznawalnych komunikatów wieloliniowych to MLA/UNL (zaadresowanie do odbioru/rozadresowanie). Funkcja nadawcy nie ma logicznego uzasadnienia, podobnie jak żądanie obsługi (linia SRQ). Zakłada się, że po założonym czasie, na wyjściu pojawi się zadana wartość i odczyt bajtu statusu z bitem informującym o gotowości jest zbędny. Podobnie zrezygnowano z diagnostyki np. przekroczenia dopuszczalnego prądu dla źródła napięcia, co również sygnalizowane byłoby poprzez linię SRQ i odpowiedni bit w statusie [2].

Adres nastawiony manualnie musi być rozpoznawany przez kontroler w początkowej procedurze identyfikacyjnej. Kontroler adresuje wtedy kolejne hipotetyczne interfejsy (MLA 2, 3, 4, ...) i przesyła do nich bajt zerowy. Testowane są linie handshakingu: NRFD/NDAC. Gdy pozostają one nieaktywne, świadczy



Rys. 1. Źródła nastawne z prostym interfejsem GPIB

Fig. 1. Set sources with simple GPIB interface



Rys. 2. Przebiegi czasowe na liniach GPIB  
 Fig. 2. Timing on GPIB lines

to o niewykorzystywanym adresie. Po rozadresowaniu testowany jest adres kolejny. Zestaw komunikatów zadajnika (MLA i UNL) pozwala na jego wykrywanie przez kontroler. Schemat blokowo-ideowy zadajnika przedstawiono na rys. 1.

Do wykrywania wspomnianych komunikatów wykorzystano oddzielne komparatory, zaś status adresacji jest zapamiętany w przerzutniku. W przyrządach z interfejsami GPIB obowiązuje zasada, że komunikat może zostać potwierdzony po wykonaniu wszystkich związanych z nim czynności. W tym przypadku należałoby uwzględnić czas reakcji przetwornika i konwerterów. Aby nie rozbudowywać układu, czas ten będzie uwzględniany przez program kontrolera GPIB. Sygnały gotowości i akceptacji można wytworzyć wprost przy pomocy linii i zgodnie z rys. 2, gdyż opóźnienia układów cyfrowych interfejsu nie mają znaczenia.

Pola zakresowane odpowiadają sytuacji, gdy w systemie pracują interfejsy, których działaniem steruje mikroprocesor lub/i gdy sam kontroler GPIB jest aplikacją mikroprocesorową. Zadajnik musi potwierdzać każdy inny rozkaz ( $\overline{ATN} = 0$ ), nie zmieniając swojego stanu. Przesyłane dane powinny być podawane dziesiętnie, przy wykorzystaniu kodu ASCII (trzy transfery). W celu dalszego uproszczenia, założono użycie bezpośredniego bajtu heksadecymalnego.

### 3. Przyrządy z interfejsami GPIB

W rozbudowanych systemach pomiarowych niedopuszczalnym jest stworzenie wspólnej masy przez interfejsy GPIB w przyrządach. Oprócz tego przyrządy rejestrujące słabe sygnały muszą dysponować oddzielną, niezakłóconą masą analogową. Istotnym problemem jest też jak najlepsza redukcja zakłóceń asymetrycznych, wnikających do mierzonego obwodu. W tej sytuacji do przyrządu wprowadza się tzw. ekran ochronny. Obejmuje on całą część analogową oraz jej zasilanie, łącznie z uzwojeniami wtórnymi transformatorów sieciowych (rys. 3a).

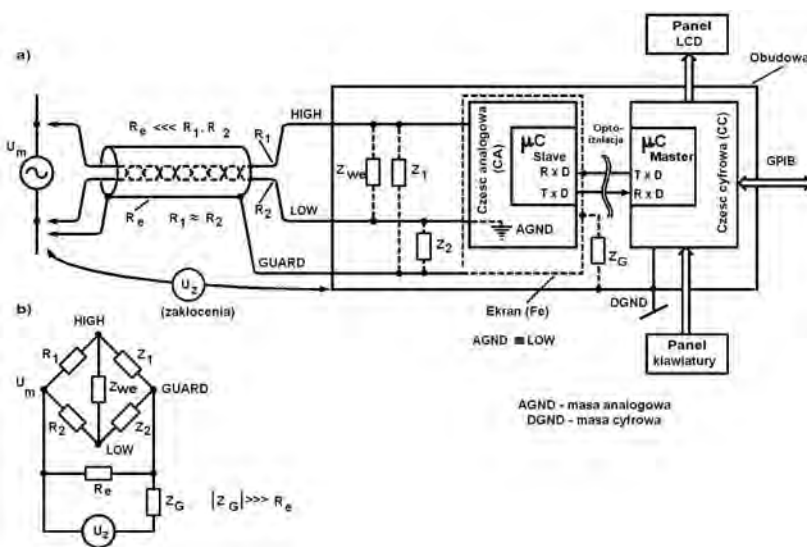
W przyrządzie wydzielona jest nadrzędna część cyfrowa (CC) i podporządkowana część analogowa (CA). W CC znajduje się

mikrokontroler ( $\mu C$  Master) obsługujący klawiaturę i wyświetlacz. Oprogramowanie mikrokontrolera uwzględnia funkcje statystyki oraz wstępnej obróbki danych pomiarowych. Przejmuje on też funkcję interfejsu GPIB, współpracując z dedykowaną logiką. Z CC są przesyłane polecenia do CA – jej mikrokontroler ( $\mu C$  Slave) zarządza cyklem pomiarowym, a wyniki przekazuje do CC. Wykorzystuje się zwykle dwukierunkowe łącze szeregowe w wersji asynchronicznej, operujące typowymi ramkami. Stosowana jest prędkość 9600 bodów lub niższa, ponieważ typowy cykl pomiaru to czas rzędu od pojedynczych milisekund.

Masa części cyfrowej łączy się z obudową przyrządu. Spotyka się też rozwiązania, w których występuje druga oddzielna masa cyfrowa, związana z logiką interfejsu GPIB. Masa części pomiarowej (tzw. analogowa – AGND) jest zwykle tożsama z zaciskiem pomiarowym odniesienia (LOW). Należy zaznaczyć, iż układy cyfrowe w tej części, szczególnie przy niskim poziomie sygnału mierzonego, muszą być ograniczone do niezbędnego minimum. Gdy posługujemy się mikrokontrolerem, wybieramy układy o małym poborze prądu zasilania. Oprócz tego stosujemy możliwie najniższą częstotliwość zegarową.

Rozważmy skuteczność eliminacji składowej zakłócającej  $U_z$  (rys. 3b). Może ona pojawić się między źródłem sygnału a zaciskiem uziemiającym przyrząd DGND (masa cyfrowa). Ekran części analogowej jest zwarty z ekranem przewodów łączących przyrząd ze źródłem sygnału  $U_m$  (skrętka). Między zaciskami przyrządu występują impedancje odpowiadające jakości izolacji, uzupełnione o pojemności wynikające np. z geometrii konstrukcji. Oznaczono je jako  $Z_1$ ,  $Z_2$  i  $Z_G$ .

Przedstawiony schemat zastępczy nie uwzględnia, zwykle o rząd większych, impedancji między zaciskiem DGND, a osłoniętymi ekranem wejściami HIGH/LOW. Zmierzamy do tego, by jak najmniejsza część napięcia  $U_z$  pojawiła się między



Rys. 3. Schematy: a) blokowy, b) zastępczy dla sygnału zakłóceń  
 Fig. 3. Block scheme (a), scheme for noise signal (b)

zaciskami HIGH/LOW na wejściu przyrządu. Tłumienie  $U_z$  jest skuteczne ze względu na ekstremalny dzielnik  $Z_G-R_e$  oraz działanie mostka – konstruktorzy starają się o wyrównanie impedancji  $Z_1/Z_2$ . W takich rozwiązaniach producenci gwarantują redukcję składowej stałej  $U_z$  nawet do poziomu  $-140$  dB. Ze wzrostem częstotliwości, tłumienność się pogarsza, chociaż dla 50 Hz możemy jeszcze liczyć na spadek zakłóceń do  $-100$  dB. Wytrzymałość przepięciowa jest najmniejsza między zaciskami LOW/GUARD. Dopuszczalna wartość napięcia nie przekracza tu 300–400 V.

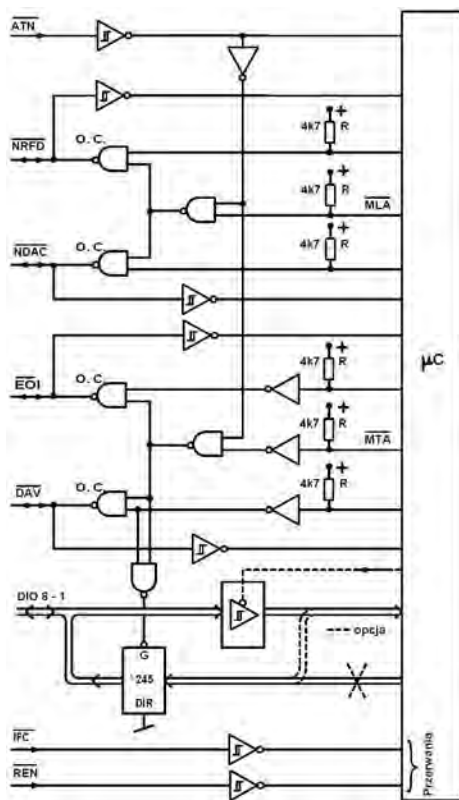
#### 4. Rozwiązanie logiki interfejsu GPIB

W laboratorium są do dyspozycji przyrządy fabryczne oraz rozwiązania własne, zbudowane według zasad podanych powyżej. Stałą częścią jest logika sprzętowa pomiędzy liniami standardu GPIB, a mikrokontrolerem. Jest ona niezbędna, ze względu na konieczność zagwarantowania szeregu rygorów czasowych – mikrokontroler jest bowiem elementem stosunkowo wolnym, o długim czasie przetwarzania w stosunku np. do szybkości 8-bitowego komparatora. Zminimalizowaną wersję logiki pośredniczącej przedstawia rys. 4.

Wymaga ona 29/22 linii portów i była stosowana zarówno dla układów MC68HC908AB32, jak i ATMEGA.

Po włączeniu zasilania  $\mu C$  musi wykonać procedurę konfiguracyjną. Do tego czasu linie portów ustawiają się do wewnątrz, a rezystory R gwarantują stany logicznych jedynek. Dzięki temu interfejs:

- nie ingeruje w linie  $\overline{DAV}$ ,  $\overline{EOI}$ ,
- dla  $\overline{ATN} = L$  (przesyłanie rozkazów) zatrzymuje chwilowo transfer na magistrali GPIB (sygnały  $\overline{NRFD} = \overline{NDAC} = L$ ),

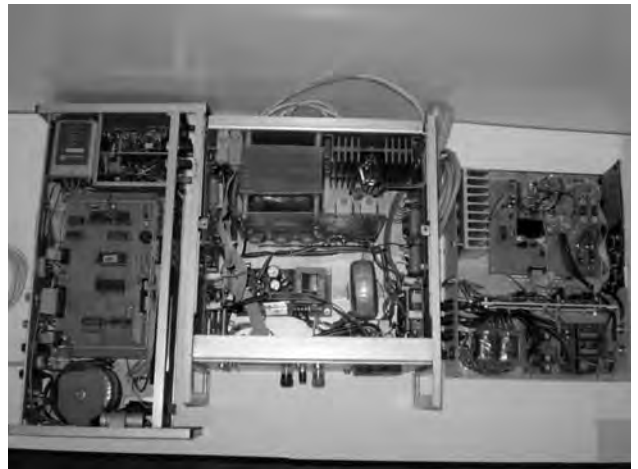


Rys. 4. Układy pośredniczące między liniami GPIB i mikrokontrolerem

Fig. 4. Interfaces circuits between GPIB lines and microcontroller

- dla  $\overline{ATN} = H$  (przesyłanie danych) nie blokuje transferu (interfejs nie został jeszcze zaadresowany).

W trakcie pracy, dla funkcji „odbiorca”, mamy możliwość zatrzymania cyklu, aż do zakończenia rozpoznania komunikatu oraz realizacji wszystkich związanych z nim czynności. Po rozpoznaniu komunikatu MLA jest zerowana właściwa linia  $\mu C$ , co umożliwia generację sygnałów  $\overline{NRFD}/\overline{NDAC}$ , także przy odbiorze danych. Podobnie, po wykryciu polecenia MTA, będzie można ingerować w linie  $\overline{DAV}/\overline{EOI}$  (wysyłanie danych).



Rys. 5. Wykonane przyrządy pomiarowe (umieszczone od lewej: częstotściomierz, zasilacz krzyżowy, syntezer)

Fig. 5. Constructed measurement instruments (from left: time and frequency meter, power supply with cross loading characteristic, synthesizer)

Dane są odczytywane w aktywnej części cyklu. Dla funkcji „nadawca” dane są aktywowane automatycznie, jeśli tylko interfejs steruje linią  $\overline{DAV}$ .

W laboratorium funkcjonują oryginalne rozwiązania aparaturowe: częstotściomierza/czasomierza, zasilacza krzyżowego i synteza [3]. Ramy niniejszego artykułu nie pozwalają na ich szczegółową prezentację. Wszystkie te konstrukcje wykorzystują omówioną strukturę (z rys. 3) i logikę współpracy z GPIB. Oprócz gniazda D25, właściwego dla normy IEC 625, zainstalowano dodatkowo złącza standardu RS-232, wsparte prostym oprogramowaniem. Każdy przyrząd korzysta z dwóch mikrokontrolerów, współpracujących dwuplexowo poprzez optoizolowane łącze szeregowe. Dla celów diagnostycznych dodano indykację statusu interfejsu GPIB. Oprócz terminatorów rezystancyjnych, każda linia jest zabezpieczona przed pojawieniem się napięć spoza zakresu 0–5 V. Wykonane przyrządy przedstawiono na fotografii (rys. 5).

#### 5. Wnioski

Systemy pomiarowe zgodne z wymaganiami standardu GPIB mogą być łatwo rozbudowywane o nietypowe, proste komponenty, nawet kosztem niezachowania pełnego standardu w warunkach lokalnych. W rozbudowanych przyrządach pomiarowych, konieczna jest struktura z separowanymi masami, natomiast w warunkach niskiego poziomu sygnału również instalacja ekranu przeciwzakłóceniewego. Nie jest możliwa całkowicie softwarowa obsługa interfejsu magistrali GPIB. Ze względu na zachowanie rygorów czasowych na

magistrali, w kontekście wolnej reakcji  $\mu C$ , niezbędne są dedykowane rozwiązania sprzętowe. Zastąpienie  $\mu C$  przez szybki układ programowany jest możliwe tylko dla części analogowej. Natomiast zastąpienie  $\mu C$  w części cyfrowej jest praktycznie niewykonalne.

## 6. Bibliografia

1. Wiśniewski B., Szczówka-Wiśniewska B.: *Pomiarowy system laboratoryjny wykorzystujący magistralę GPIB (IEC 625)*. „Pomiary Automatyka Kontrola”, vol. 56, 1/2010, 84–85.
2. Nowakowski W., Boratyński A., Borowiecki J.: *System interfejsu IEC 625*, WKŁ, Warszawa 1984.
3. Wiśniewski B., Szczówka-Wiśniewska B., Ostrowski J., *Organizacja i problemy techniczne laboratoriów systemów mikroprocesorowych na przykładzie LSM w Akademii Górniczo-Hutniczej*. „Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania”, R. 44, 1/2003, 14–17. ■

### Measuring instruments with GPIB (IEC-625) bus interfaces

**Abstract:** Simple interface using only hardware solutions is presented. The analysis of this operation for instruction and data reception is done and also suitable timings are included. In this article is described the structure of typical measurement instrument, which consists of analogue and digital part, each with dedicated microcontroller. The solution with shielding cage is presented. Based on equivalent circuit, high level of asymmetrical noise reduction is proved. The operations of logic circuit between microcontroller of digital part and GPIB lines are analyzed in details. Proposed logic circuit ensures correctness of transfer for instructions and data and also allows to achieve adequate time parameters.

**Keywords:** GPIB bus interfaces, applications of microcontrollers, measurement instruments

#### dr inż. Bogusław Wiśniewski

Adiunkt w Katedrze Elektroniki, na Wydziale EAliE AGH. Zajmuje się systemami mikroprocesorowymi, aplikacjami mikrokontrolerów i systemami wbudowanymi. Jest twórcą laboratoriów: Techniki Mikroprocesorowej i Systemów Aparatury Cyfrowej.

e-mail: [bwisniew@agh.edu.pl](mailto:bwisniew@agh.edu.pl)



#### dr inż. Barbara Szczówka-Wiśniewska

Adiunkt w Katedrze Elektroniki, na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH. Zajmuje się systemami mikroprocesorowymi oraz procesorami sygnałowymi.

e-mail: [bawisnie@agh.edu.pl](mailto:bawisnie@agh.edu.pl)



# Najważniejsze targi laboratoryjne w Polsce

## BIZNES

Miejsce ważnych spotkań branżowych, 179 wystawców z 11 krajów oraz 5 300 przedstawicieli laboratoriów odwiedzających targi

## WIEDZA

W programie konferencje, seminaria i warsztaty certyfikowane prowadzone przez najlepszych ekspertów

## MARKA

Jakość poparta 13-letnim doświadczeniem i współpracą merytoryczną najważniejszych ośrodków naukowo-badawczych w Polsce

## MOŻLIWOŚCI

Targom EuroLab 2012 towarzyszy niezależna impreza, I Międzynarodowe Targi Techniki Kryminalistycznej, CrimeLab, jedyne tego rodzaju wydarzenie targowe w Europie, które stworzy dodatkowe szanse nawiązania nowych kontaktów biznesowych

REJESTRACJA ON-LINE

[www.targieurolab.pl/rejestracja](http://www.targieurolab.pl/rejestracja)

## XIV Międzynarodowe Targi Analityki i Technik Pomiarowych

CENTRUM MT POLSKA,  
UL. MARSA 56C, WARSZAWA

28-30 marca 2012



MTargi  
organizator

[www.targieurolab.pl](http://www.targieurolab.pl)  
[lab@mttargi.pl](mailto:lab@mttargi.pl)

### Patronat Honorowy

prof. dr hab. Barbara Kudrycka,  
Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego

prof. dr hab. Michał Kleiber,  
Prezes Polskiej Akademii Nauk