

AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki
Katedra Elektroniki

Laboratorium

Eksploatacji Systemów
Elektronicznych i Telekomunikacyjnych

Materiały pomocnicze

Temat: Budowa i obsługa przyrządów pomiarowych
wyposażonych w interfejsy komunikacyjne.

Prowadzący:
Dr inż. Wojciech Maziarz

Kraków 2007

Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową i obsługą przyrządów pomiarowych wyposażonych w interfejsy komunikacji (z komputerem, urządzeniami zewnętrznymi itp.), poznanie podstawowych komend języka SCPI, umożliwiających przeprowadzenie transmisji dwukierunkowej między przyrządem oraz komputerem (zaprogramowanie przyrządu do pracy w odpowiednim trybie, odczyt danych pomiarowych). Rozkazy sterujące przesyłane są przez aplikację napisaną w programie LabView.

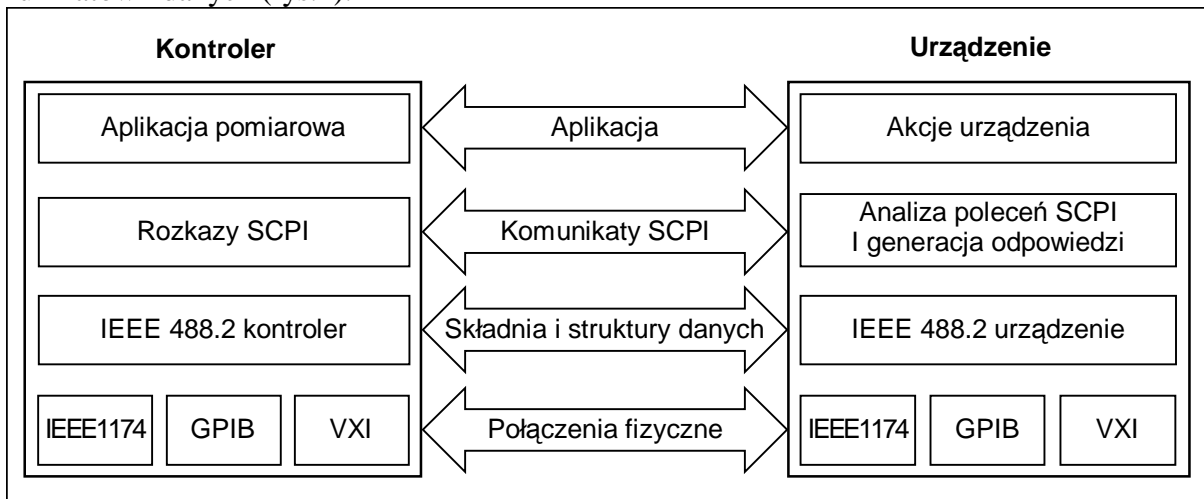
Zadania do wykonania:

1. Zapoznać się z najczęściej stosowanymi w przyrządach pomiarowych interfejsami komunikacyjnymi – GPIB oraz RS-232 (dodatek A, instrukcje przyrządów pomiarowych).
2. Zapoznać się ze składnią języka SCPI.
3. Zapoznać się z obsługą multimetru HP 34401A i/lub generatora Agilent 33120A - w szczególności zwrócić uwagę na model wyzwania przyrządów.
4. Zaprogramować za pomocą poleceń języka SCPI multimetr do pomiaru przykładowo rezystancji lub napięcia stałego, zakres automatyczny.
5. Zaprogramować za pomocą poleceń języka SCPI generator Agilent 33120A do pracy z przykładowymi parametrami: na wyjściu sygnał sinusoidalny, amplituda 3 V, składowa stała 2V, częstotliwość 1,234 kHz
6. Zaobserwować na oscyloskopie przebiegi wyjściowe z generatora (OUT oraz SYNC)
7. Zwrócić uwagę na dokładność przyrządów oraz czynności obsługowe (instrukcje przyrządów).

1. Język SCPI

Opracowanie standardu komunikacyjnego GPIB rozwiązało problem kompatybilności urządzeń od strony sprzętowej. Ze względu na rozwój programowalnych urządzeń pomiarowych opracowano język SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) w celu standaryzacji poleceń reprezentujących interfejs programowy w systemie pomiarowym.

Jednolity sposób porozumiewania się urządzeń ułatwia ich obsługę, zarówno podczas opracowania nowej aplikacji, a także modernizacji lub rozbudowy istniejącego systemu pomiarowego. Język SCPI stworzono w oparciu o standard IEEE 488.2 w zakresie stosowanego alfabetu oraz syntaktyki komunikatów i danych (rys.1).

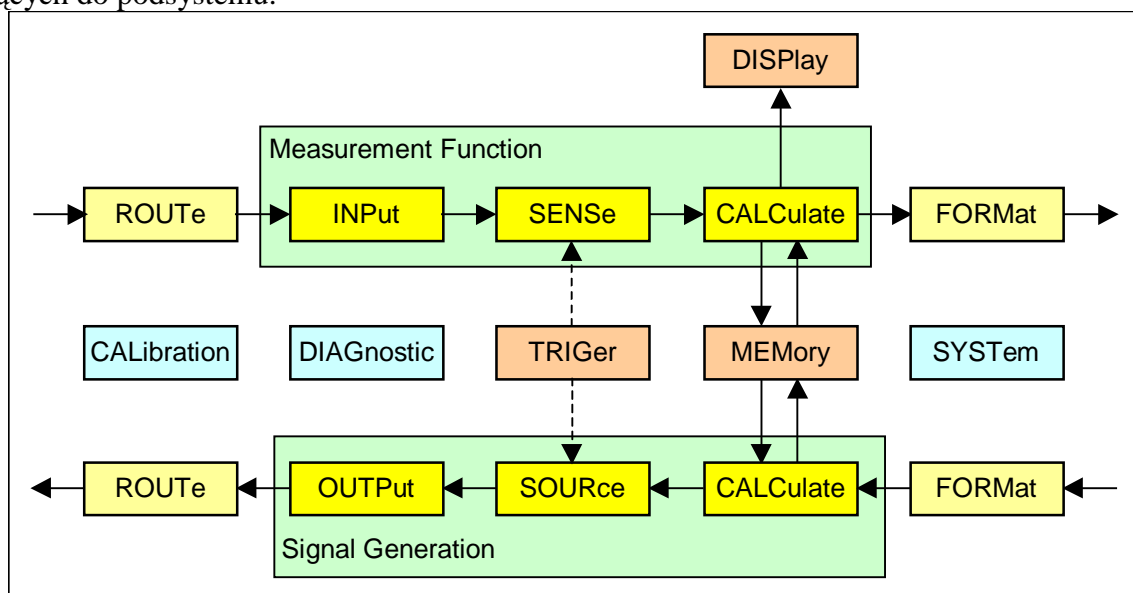


Rys.1. Relacje standardów systemu pomiarowego.

W celu zagwarantowania jednoznaczności wyrazów określających programowe zasoby funkcjonalne dowolnego urządzenia oraz możliwość powiększania słownictwa wykorzystano:

- a. koncepcję nagłówek złożonych zawartą w specyfikacji IEEE 488.2.
- b. uogólniony model programowanego urządzenia.

Uogólniony model przyrządu pokazuje jego elementy funkcjonalne oraz przepływ sygnału przez nie (rys.2). W konkretnym przyrządzie znajduje się zwykle tylko część z przedstawionych elementów funkcjonalnych. Każdy blok modelu zawiera pewne odrębne zasoby funkcjonalne przyrządu charakterystyczne dla danego bloku. Bloki stanowią podsystemy funkcjonalne przyrządu. Sterowanie zasobami funkcjonalnymi danego podsystemu realizuje się za pomocą poleceń należących do podsystemu.



Rys.2. Model programowanego urządzenia.

Oznaczenia podsystemów:

ROUTE – W przypadku urządzenia pomiarowego realizuje dołączenie sygnałów wprowadzonych do portów wejściowych urządzenia do bloku INPUT. W urządzeniach stymulujących wyprowadza wytworzony sygnał na żądany port wyjściowy. Typowymi zadaniami tego podsystemu jest otwieranie i zamykanie kanałów.

INPut – Określa właściwości portu wejściowego przetwornika

SENSe – Zajmuje się przetwarzaniem sygnału na daną w reprezentacji wewnętrznej przyrządu oraz gromadzeniem danych. Programowanie tego podsystemu pozwala wybrać funkcję pomiarową i ustalić właściwości przetwornika (zakres, rozdzielczość). Oferuje on też akwizycję serii danych w dziedzinie czasu lub częstotliwości oraz zaawansowane techniki pomiaru kształtu fali, parametrów modulacji sygnału itp.

CALCulate – Podsystem odpowiedzialny za przetwarzanie danych. Obejmuje konwersję jednostek pomiarowych, wyliczenie wartości średniej, wyznaczenie wartości maksymalnej i minimalnej, badanie przekroczeń wartości granicznych.

TRIGer – Realizuje wyzwolenie pomiaru sygnału wejściowego lub generacji sygnału wyjściowego

DISPlay – Wyprowadza dane na wyświetlacz

FORMat – Dostarcza zestaw poleceń pozwalających wybrać format danych wysyłanych interfejsem do innych urządzeń, np. do komputera.

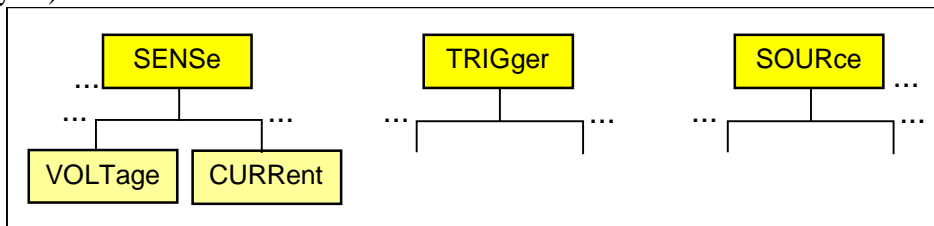
SOURce – generuje sygnał na podstawie określonej charakterystyki oraz danych wewnętrznych (zadana amplituda, częstotliwość, offset napięcia itd.)

OUTPut – steruje wyprowadzeniem sygnału wyjściowego z wewnętrznych funkcji urządzenia

MEMory – podsystem zajmuje się działaniami związanymi z przechowywaniem danych (kopiowanie, zerowanie i usuwanie, realizacja zapytań o dane, wolną przestrzeń bufora itp.)

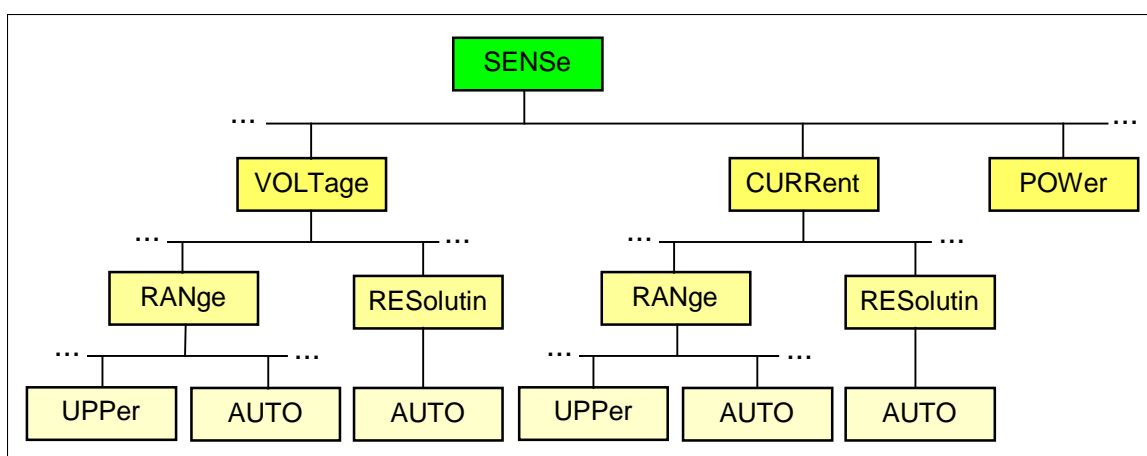
Budowa drzewa poleceń SCPI

W języku SCPI polecenia zostały zgrupowane w 28 podstawowych podsystemach. Polecenia danego podsystemu sterują zasobami funkcjonalnymi odpowiadającego podsystemu funkcjonalnego urządzenia (rys.3).



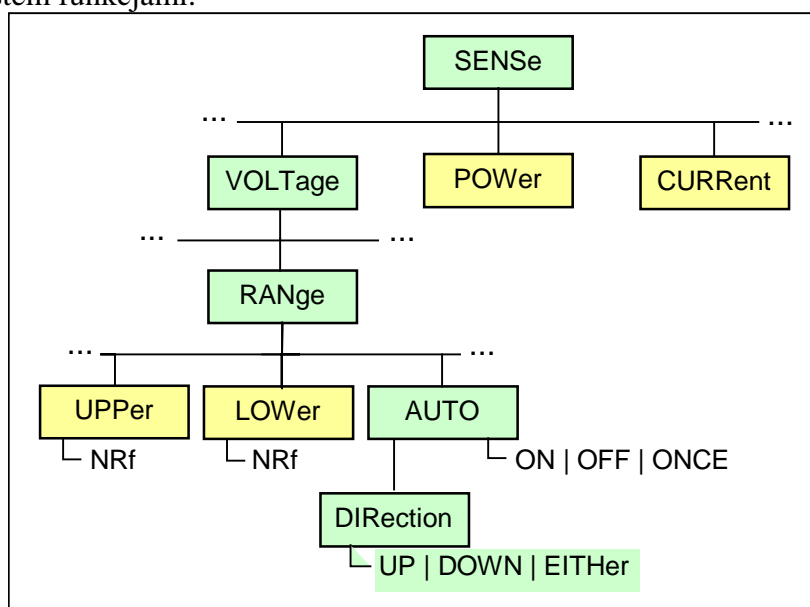
Rys.3. Podstawowe podsystemy poleceń.

W poszczególnych podsystemach kolejnym zgrupowanym zasobom funkcjonalnym przyporządkowane są kolejne związane z nimi polecenia itd. (rys.4).



Rys.4. Przykładowe grupy poleceń podsystemu SENSE.

Każdy podsystem (grupa) na dowolnym poziomie powstałej struktury stanowi jej węzeł i jest nazwany odpowiednim słowem kluczowym, którego nazwa powinna kojarzyć się z wykonywanymi przez dany podsystem funkcjami.



Rys.5. Fragment podsystemu SENSE z pokazaniem wierzchołków drzewa poleceń.

Ze względu na to, że ostatni węzeł każdej gałęzi dotyczy konkretnego zasobu funkcjonalnego urządzenia, aby jednoznacznie go określić, należy podać nazwy podsystemów do których należy. Dlatego nagłówek polecenia przyjmuje formę ścieżki podającej nazwy kolejnych podsystemów. W rezultacie nagłówek polecenia jest ciągiem nazw separowanych znakiem dwukropka i stanowi zdanie opisujące jednoznacznie programowy zasób.

Przykład: automatyczne dobieranie podzakresu przetwornika pomiaru napięcia:

:SENSe:VOLTage:RANGe:AUTO

Całe polecenie SCPI składa się z nagłówka oraz ewentualnych argumentów polecenia :

:SENSe:VOLTage:RANGe:AUTO:DIRection DOWN

Zasadniczą częścią specyfikacji SCPI jest słownik poleceń. Podlega on systematycznemu rozwojowi tak, że każdego roku ukazują się zmodernizowana wersja specyfikacji.

SCPI nie jest standardem przyjętym przez organizacje normalizacyjne właśnie z powodu systematycznego uzupełniania specyfikacji. Jest tylko dobrowolną umową producentów sprzętu pomiarowego. Pielęgnacją specyfikacji w zakresie jej rozwoju i zachowania zgodności wstecznej zajmuje się specjalnie powołane do tego celu stowarzyszenie producentów aparatury pomiarowej.

Formułowanie poleceń SCPI

Format polecenia prostego:

:XXX[:YYY...[:ZZZ]][?] <SPACJA> [argumenty]

< : > znak oznaczający przesunięcie do następnego poziomu drzewa poleceń. Pierwszy znak < : > oznacza powrót do poziomu korzenia. W pierwszym poleceniu komunikatu złożonego rozpoczynający znak < : > można pominąć:

: SENS : VOLT : DC : RANG 10.0

lub

SENS : VOLT : DC : RANG 10.0

< ? > znak zapytania używa się do formułowania zapytań, np. :

VOLT : DC : RANG? - zapytanie o aktualne ustawienia

VOLT : DC : RANG? DEF - zapytanie o ustawienie domyślne

< , > przecinek jest znakiem separującym argumenty polecenia:

CONF : VOLT : DC 1.0, 0.001

CONF : VOLT : DC? MAX, MIN

< SP > spacja lub tabulacja służy do odseparowania nagłówka polecenia od argumentów.

< ; > średnik jest separatorem poleceń prostych wchodzących w skład komunikatu złożonego.

Typy kompatybilności uzyskane dzięki SCPI

Konkretne urządzenie stosuje tylko określony podzbiór poleceń zdefiniowanych w specyfikacji SCPI. Tylko te, które są związane z implementowanymi w urządzeniu zasobami funkcjonalnymi.

Korzyści uzyskane z zastosowania zunifikowanych poleceń:

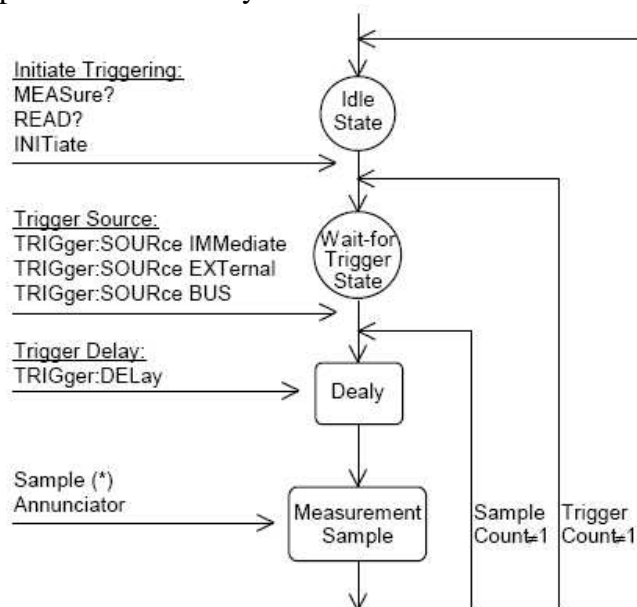
1. Urządzenie sterowane jest identycznie jak inne przyrządy tego samego typu. Przykładowo wszystkie multimetry będą posiadały takie same polecenia dotyczące sterowania funkcją pomiarową, podzakresem, wyzwalaniem itd. Oczywiście ich możliwości funkcjonalne mogą się różnić, ale w obszarze ich odpowiedzialności obsługa będzie identyczna (cecha ta jest nazywana **kompatybilnością wertykalną**).
2. Druga korzyść wiąże się ze stosowaniem takich samych poleceń do programowania podobnych funkcji w przyrządach. Na przykład ustalenie filtracji czy sposobu sprzężenia (AC/DC) odbywa się przy użyciu tych samych poleceń, niezależnie od rodzaju urządzenia (multimetr, częstotściomierz, oscyloskop). Odpowiadające sobie funkcje są umiejscowione w

tym samym podsystemie modelu ogólnego i stąd polecenia programujące będą identyczne. Nazywa się tę cechę **kompatybilnością funkcjonalną**.

3. Istnieje też możliwość stosowania identycznych poleceń do wykonania pomiarów wybranych wielkości przez różne urządzenia stosujące nawet odmienne techniki pomiarowe. Przykładowo czas narastania zbocza sygnału można zmierzyć za pomocą oscyloskopu lub licznika stosując identyczne polecenie. Uzyskuje się to za pomocą poleceń zorientowanych sygnałowo należących do specjalnego podsystemu **MEASure**. Polecenia te są bardzo przyjazne dla użytkownika, ponieważ nie wymagają od niego znajomości szczegółów funkcjonowania przyrządu. Ta cecha jest określana jako **kompatybilność horyzontalna**.

Programowanie sekwencji pomiarów dla HP 34401A przy użyciu języka SCPI

Multimetr HP-34401A posiada rozbudowany system wyzwalania. System ten pozwala na automatyczne generowanie wyzwolenia, wykonanie wielu pomiarów po jednym wyzwoleniu i umieszczenie opóźnienia przed wykonaniem każdego pomiaru. Po włączeniu zasilania lub po rozkazie *RST, system wyzwalania jest skonfigurowany na wykonanie jednego pomiaru za każdym razem, kiedy odbierze wyzwolenie. System wyzwalania można skonfigurować na wielokrotne wykonanie pomiaru po każdym wyzwoleniu (do 50000 pomiarów na jedno wyzwolenie). Po włączeniu zasilania lub po rozkazie *RST multimetr jest skonfigurowany na wewnętrzne źródło wyzwalania i po wprowadzeniu go w stan oczekiwania na wyzwolenie, zostanie wykonany jeden pomiar, po którym system wyzwalania wróci do stanu spoczynkowego. System wyzwalania multimetru HP-34401A przedstawiono na rys. 6.



Rys.6. System wyzwalania multimetru HP 34401A.

Wyzwolenie multimetru dające w efekcie wynik pomiaru jest kilkuetapowym procesem, na który składają się następujące czynności:

1. Konfiguracja multimetru do pomiaru, tzn. wybranie funkcji, zakresu, rozdzielczości etc;
2. Wybór źródła wyzwalania, z którego multimetr będzie akceptował wyzwolenie. Multimetr akceptuje trzy źródła wyzwalania:

- bezpośrednio - z wewnętrznego generatora wyzwalającego, oznaczone skrótem IMM;
- programowe - poprzez magistralę (rozkaz *TRG), oznaczone BUS;
- wyzwalanie sprzętowe poprzez zewnętrzne wejście wyzwalające, oznaczone skrótem EXT

3. Wprowadzenie systemu wyzwalania w stan oczekiwania na wyzwolenie (wait-for-trigger state). Wyzwolenie nie będzie zaakceptowane jeżeli multimetr nie jest w stanie oczekiwania na wyzwolenie.
4. Wyzwolenie multimetru.

Programowanie multimetru HP 34401A

Konfiguracja

Do konfiguracji multimetru służy podsystem CONFigure.

Składnia wybranych rozkazów:

- konfiguracja do pomiaru napięcia stałego (DC) albo zmiennego (AC);
CONFigure:VOLTage:DC {<range>|MIN|MAX|DEF}, {<resolution>|MIN|MAX|DEF}
CONFigure:VOLTage:AC {<range>|MIN|MAX|DEF}, {<resolution>|MIN|MAX|DEF}
- konfiguracja do pomiaru prądu stałego (DC) albo zmiennego (AC);
CONFigure:CURRent:DC {<range>|MIN|MAX|DEF}, {<resolution>|MIN|MAX|DEF}
CONFigure:CURRent:AC {<range>|MIN|MAX|DEF}, {<resolution>|MIN|MAX|DEF}

Przykłady:

- konfiguracja do pomiaru napięcia stałego, zakres 10V, rozdzielczość 0.003V:
"CONF:VOLT:DC 10, 0.003"
- konfiguracja do pomiaru prądu zmiennego, zakres 1A, rozdzielczość 0.1mA:
"CONF:CURR:DC 1, 0.1M"

Wybór źródła wyzwalania

Do wyboru źródła wyzwalania służą rozkazy z podsystemu TRIGger:

```
TRIGger:SOURce {BUS|IMMEDIATE|EXTernal}
```

Przykład:

```
"TRIG:SOUR BUS"
```

Po włączeniu zasilania ustawiane jest bezpośrednio źródło wyzwalania (IMM). Rozkazy z podsystemu CONFIGURE także automatycznie ustawiają źródło wyzwalania na bezpośrednio.

Wprowadzenie systemu wyzwalania w stan oczekiwania na wyzwolenie

Następujące rozkazy wprowadzają system wyzwalania w stan oczekiwania na wyzwolenie:

```
READ?  
INITiate  
MEASure?
```

Rozkaz READ? działa tylko przy źródle wyzwalania ustawionym na IMM albo EXT, nie działa przy źródle BUS. W przypadku źródła wewnętrznego (IMM) wykonanie rozkazu READ? jest praktycznie równoważne z wyzwoleniem multimetru. Wynik pomiaru jest umieszczany w buforze wyjściowym multimetru.

Przykład:

```
"CONF:VOLT:DC 10, 0.003"  
"READ?"
```

Rozkaz INIT działa ze wszystkimi źródłami wyzwalania. W odróżnieniu od rozkazu READ? wynik jest umieszczany w pamięci wewnętrznej multimetru, skąd należy go pobrać do bufora wyjściowego rozkazem FETCh?. Rozkaz READ? daje więc ten sam efekt co rozkaz INIT z następującym po nim bezpośrednio rozkazem FETCh?. Zapamiętywanie wyników w pamięci wewnętrznej jest szybsze niż przesyłanie ich do bufora wyjściowego. Multimetr może zapamiętać do 512 wyników w pamięci wewnętrznej.

Przykłady:

- wyzwolenie wewnętrzne:
"CONF:VOLT:DC 10, 0.003"
"INIT"

"FETCh?"
-wyzwolenie programowe z magistrali:
"CONF:VOLT:DC 10, 0.003"
"TRIG:SOUR BUS"
"INIT"
"*TRG"
"FETCh?"

Najprostszym sposobem zaprogramowania multimetru jest użycie rozkazu MEASure?. Wysłanie rozkazu MEASure? jest równoważne wysłaniu rozkazu CONFigure z bezpośrednio po nim następującym rozkazem READ?. Wykonanie rozkazu MEASure? powoduje, że multimetr bezpośrednio wykonuje pomiar, co nie zawsze jest korzystne. Rozkaz CONFigure z następującym po nim rozkazem INITiate lub READ? jest bardziej elastyczny. Składnia rozkazu MEASure różni się tylko pierwszym słowem od podanej wcześniej składni rozkazu CONFigure, tzn. zamiast słowa CONFigure należy użyć MEASure. Rozkaz MEASure podobnie jak CONFigure automatycznie ustawia źródło wyzwolenia na IMM.

Przykład:

"MEAS:VOLT:DC? 10, 0.003"

Wybrane błędy zgłaszane przez multimetr HP 34401A

- 101 **Invalid character**
Wykryto niewłaściwy znak w słowie programującym np.: CONF:VOLT#DC
- 102 **Syntax error**
Nieprawidłowa składnia słowa programującego np. spacja przed lub po dwukropku lub przecinku np.: SAMP:COUN ,1
- 103 **Invalid separator**
Nieprawidłowy znak przestankowy w słowie programującym np. przecinek zamiast dwukropka
- 105 **GET not allowed**
Niedozwolone wyzwolenie przyrządu: przyrząd nie został jeszcze poprawnie zaprogramowany
- 108 **Parameter not allowed**
Za dużo parametrów w tekście programującym lub parametr po słowie, które go nie wymaga np.: READ? 10
- 109 **Missing parameter**
Zbyt mało parametrów np.: SAMP:COUN
- 113 **Undefined header**
Nieznana komenda. Prawdopodobnie wystąpił błąd ortograficzny w tekście programującym np.: TRIGG:COUN 3 (forma skrócona komendy musi składać się z 4 znaków)
- 121 **Invalid character in number**
Nieprawidłowy znak w liczbie określającej wartość parametru np.: STAT:QUES:ENAB #B01010102
- 211 **Trigger ignored**
Zignorowane polecenie wyzwolenia przyrządu. Należy upewnić się, że multimetr znajduje się w stanie oczekiwania na wyzwolenie „wait-for-trigger state” i wyzwolenie przyrządu nastąpiło z odpowiedniego źródła
- 213 **Init ignored**
Zignorowane polecenie INIT. Multimetr prawdopodobnie nie zakończył jeszcze poprzedniego pomiaru
- 222 **Data out of range**
Liczbowa wartość parametru spoza dozwolonego zakresu np.: TRIG:COUN -3
- 410 **Query INTERRUPTED**

Przyrząd otrzymał komendę wysyłającą dane do bufora wyjściowego, lecz bufor ten zawiera dane umieszczone w nim w wyniku działania poprzedniej komendy. Należy usunąć dane z bufora np.: rozkazem *RST lub wyłączeniem zasilania

-532 **Cannot achieve requested resolution**

Przyrząd nie może zaakceptować podanego tekstu programującego. Prawdopodobnie wystąpił błąd w składni komendy CONFIGure lub MEASure

PROGRAMOWANIE GENERATORA HP-33120A

Generator HP-33120A poza przebiegami standardowymi (sinusoidalny, prostokątny, trójkątny itd.), może także generować szum oraz przebiegi zmodulowane. Istnieje także możliwość zdefiniowania dowolnego przebiegu o liczbie próbek do 4000 i umieszczenie go w pamięci wewnętrznej generatora. Generator posiada także układ wyzwalania, pozwalający np. na generowanie pojedynczych impulsów z określoną fazą początkową. Urządzenie dysponuje obszerną listą rozkazów języka SCPI.

Najprostszą metodą zaprogramowania generatora funkcyjnego jest zastosowanie rozkazu APPLY:

-generacja fali sinusoidalnej:

APPLY:SINusoid [<frequency> [,<amplitude> [,<offset>]]];

-generacja fali prostokątnej:

APPLY:SQUare [<frequency> [,<amplitude> [,<offset>]]];

-generacja fali trójkątnej:

APPLY:TRIangle [<frequency> [,<amplitude> [,<offset>]]];

-generacja stałej amplitudy:

APPLY:DC [<frequency|DEFAult> [,<amplitude> [,<offset>]]];

frequency - częstotliwość;

amplitude - amplituda;

offset - składowa stała.

Uwaga: W przypadku generacji stałej amplitudy parametr dotyczący częstotliwości zostanie zignorowany, musi jednak wystąpić w rozkazie jako konkretna wartość albo jako "DEFAult". Zamiast konkretnych wartości amplitudy, częstotliwości czy składowej stałej można podać np. "MINimum", "MAXimum" lub "DEFAult".

Przykłady:

"APPL:SIN 5 KHZ, 3.0 VPP, -2.5 V"

3.0 VPP -oznacza 3V wartości międzyszczytowej amplitudy;

3.0 VRMS -oznacza 3V wartości skutecznej amplitudy;

"APPL:SIN 5.0E+3, 3.0"

"APPL:SIN MAX, 3.0, -2.5".

Wartość międzyszczytowa amplitudy na wyjściu generatora zależy od wartości obciążenia podłączonego do wyjścia generatora. Do informowania generatora o wartości obciążenia służy rozkaz:

OUTPut:LOAD {50 | INFinity | MINimum | MAXimum}.

Domyślną wartością obciążenia jest wartość 50Ω (dopasowanie). W przypadku np. dołączenia do generatora odbiornika o wysokiej impedancji należy poinformować o tym generatora za pomocą rozkazu:

"OUTP:LOAD INF".

Zapewni to, że wartość amplitudy na wyjściu generatora będzie odpowiadała wartości podanej jako parametr rozkazu APPLY.

DODATEK A

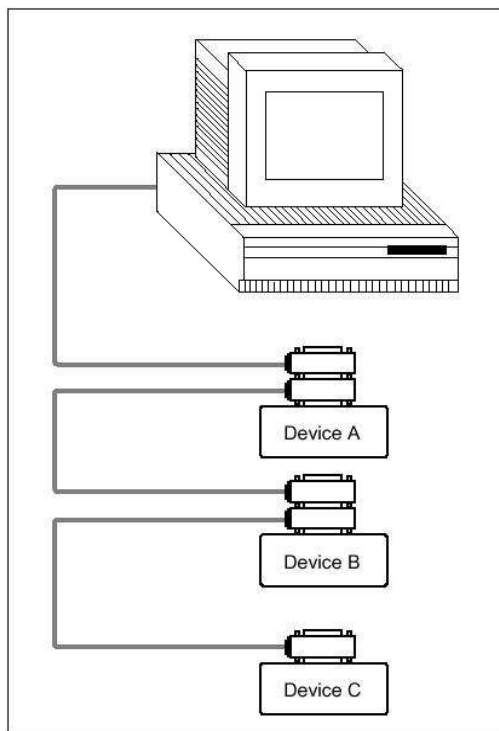
Systemy komunikacji przyrządów pomiarowych

1. Interfejs GPIB

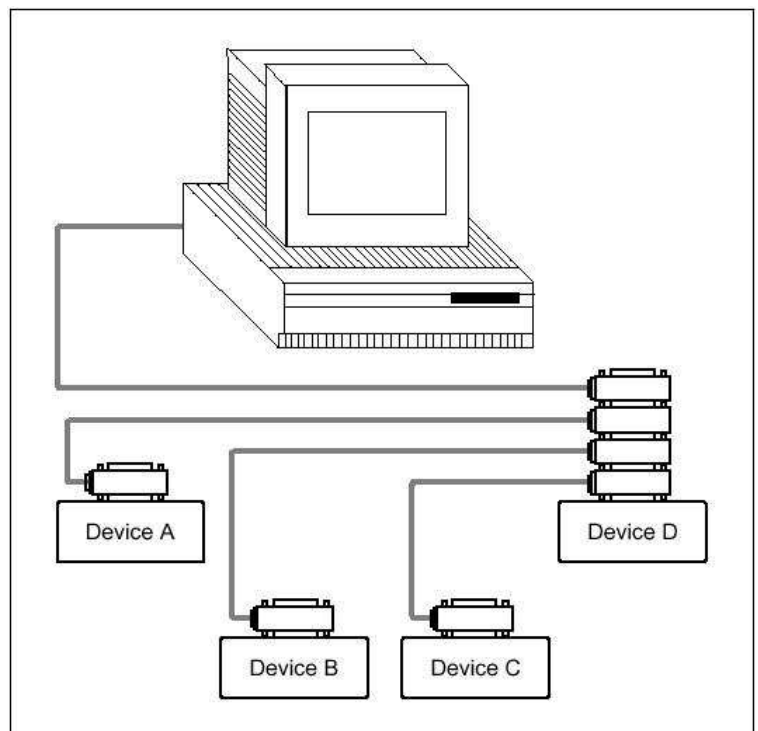
Interfejs GPIB (General Purpose Interface Bus) został opracowany w 1975 roku przez instytut IEEE w celu ujednoczenia norm elektrycznych, mechanicznych oraz funkcjonalnych przyrządów pomiarowych [4]. Miało to na celu umożliwienie współpracy przyrządów różnych firm w jednym systemie pomiarowym. Wynikało to z szybkiego rozwoju rynku programowalnych przyrządów pomiarowych.

GPIB jest cyfrowym, 8-bitowym, równoległym interfejsem komunikacyjnym z maksymalnym transferem danych wynoszącym ponad 1MB/s. Magistrala jest zarządzana przez jeden kontroler - zwykle komputer - i może obsługiwać do 14 dodatkowych urządzeń. Ponieważ GPIB jest bardzo szybkim 8-bitowym interfejsem komunikacyjnym, zdobył wielką popularność w innych aplikacjach, takich jak komunikacja pomiędzy komputerami oraz urządzeniami peryferyjnymi. Całkowita długość połączeń jest mniejsza lub równa $2m \times$ liczba podłączonych urządzeń i nie może przekraczać 20m.

System pomiarowy może być skonfigurowany w połączenie liniowe (rys.A.1), gwiazdę (rys.A.2) lub kombinację obu tych połączeń.



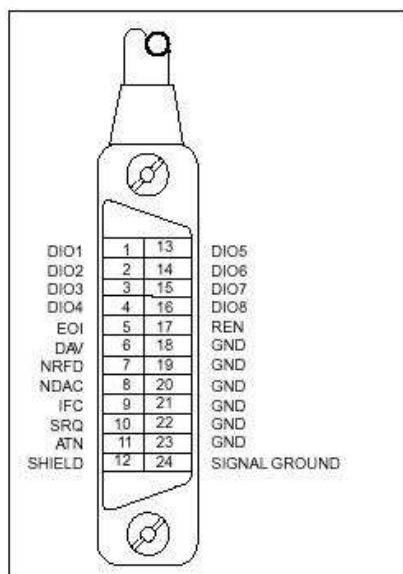
Rys.A.1. Konfiguracja systemu pomiarowego o strukturze liniowej.



Rys.A-2. Konfiguracja systemu pomiarowego o strukturze gwiazdy.

GPIB posiada 16 linii sygnałowych oraz 8 linii mas (rys.A.3). Wszystkie urządzenia GPIB dzielą wspólną magistralę (24 linie), w której można wyróżnić trzy grupy:

- 8 linii danych
- 5 linii zarządzających
- 3 linie sterujące (handshake)



Rys.A.3. Budowa gniazda GPIB.

Linie danych

Linie danych DIO1...DIO8 transmitują komendy oraz dane. Wszystkie komendy i dane są reprezentowane w kodzie ASCII lub ISO, a zatem ósmy bit danych DIO8 jest nieużywany lub używany dla określenia parzystości.

Linie zarządzające

Poniższe linie zarządzają przepływem informacji na magistrali.

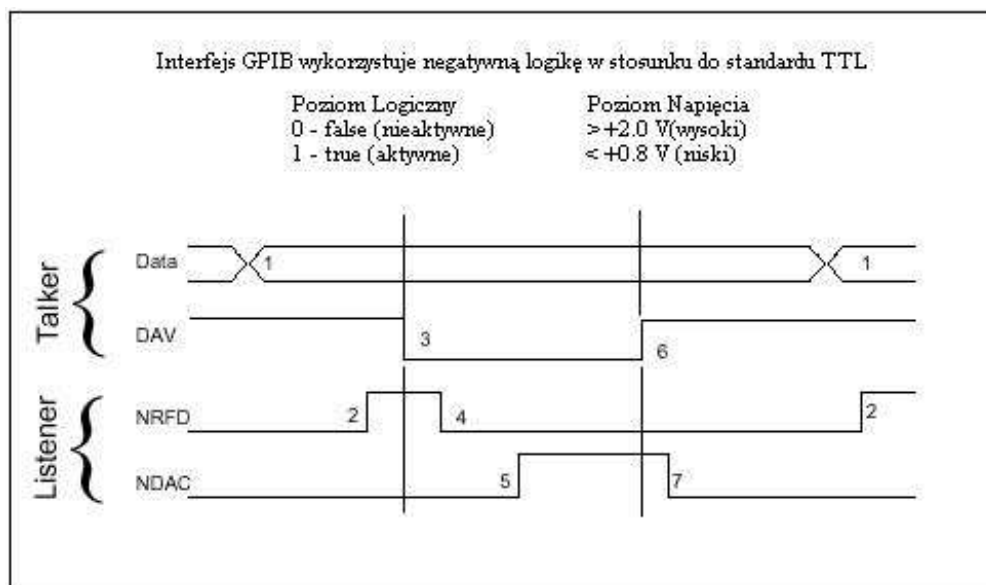
- IFC (Interface Clear)
Linia ta jest zarządzana przez kontroler systemowy. Kontroler steruje tę linie asynchronicznie i powoduje, że wszystkie urządzenia w systemie przechodzą do stanu oczekiwania (reset systemu).
- ATN (Attention)
Kiedy linia ta staje się aktywna wszystkie urządzenia przechodzą w stan nasłuchu (Listeners) i biorą udział w transmisji. Gdy linia jest aktywna oznacza to, że na magistrali jest komenda. W przeciwnym przypadku informacja na magistrali interpretowana jest jako dana.
- REN (Remote Enable)
Kontroler systemu wykorzystuje tę linię w celu ustawienia urządzenia w stan zdalnego sterowania. Każde urządzenie może posiadać moduły zdalnie sterowane.
- EO1 (End or Identify)
Niektóre urządzenia do sygnalizacji końca transmitowanych danych wykorzystują linię EO1. Nadajnik (Talker) aktywuje tę linię podczas ostatniego bajtu danych. Odbiorniki (Listeners) wykorzystują tę linię to zakończenia procesu odbioru danych.
- SRQ (Service Request)
Urządzenie aktywuje tę linię w przypadku żądania obsługi. Linia ta jest utrzymywana w tym stanie do momentu obsługi przez kontroler systemu.

Linie sterujące (handshake)

Trzy linie sterujące asynchronicznie kontrolują transfer komend zarządzających pomiędzy dwoma urządzeniami:

- NRFD (Not Ready For Data)
Linia ta wskazuje czy urządzenie jest gotowe na odbiór danych. Kiedy kontroler wysyła komendy wszystkie urządzenia wysterowują tę linię. Kiedy nadajnik (Talker) wysyła dane tylko odbiorniki (Listeners) aktywują NRFD.
- NDAC (Not Data Accepted)
Linia ta wskazuje czy urządzenie zaakceptowało daną. Gdy kontroler wysyła komendy wszystkie urządzenia wysterowują tę linię. Kiedy nadajnik wysyła dane tylko odbiorniki (Listeners) aktywują NDAC.
UWAGA: Taki schemat sterowania transmisją ogranicza szybkość transferu dostosowując się do najwolniejszego aktywnego odbiornika. Szybkość transmisji jest ograniczana, ponieważ nadajnik czeka, aż wszystkie odbiorniki będą gotowe (NRFD nieaktywne) przed wysłaniem danych i czeka, aż wszystkie odbiorniki zaakceptują dane (NDAC nieaktywne) przed transferem dalszych danych. Dlatego najwolniejsze urządzenie wyznacza maksymalną szybkość transferu w systemie.
- DAV (Data Valid)
Ta linia wskazuje czy sygnały na liniach danych są poprawne i czy urządzenia mogą je zaakceptować. Kiedy kontroler wysyła komendę, kontroluje DAV. Podobnie kiedy nadajnik wysyła dane, kontroler również sprawdza stan linii DAV.

Na rys.A.4 przedstawiono proces kontroli transferu danych z wykorzystaniem linii sterujących.



Rys.A.4. Przebiegi czasowe trójprzewodowej wymiany danych.

Proces transferu danych z wykorzystaniem linii sterujących jest identyczny dla transferu komend oraz danych. Podczas transmisji komendy kontroler wysterowuje linie DIO oraz DAV ; wszystkie urządzenia wysterowują linie NRFD oraz NDAC. Podczas transferu danych nadajnik aktywuje linie DIO i DAV; wszystkie odbiorniki aktywują linie NRFD i NDAC. Linie NDAC i NRFD są liniami typu otwarty-kolektor, stąd wszystkie urządzenia mają wpływ na ich stan.

Konfiguracja systemu

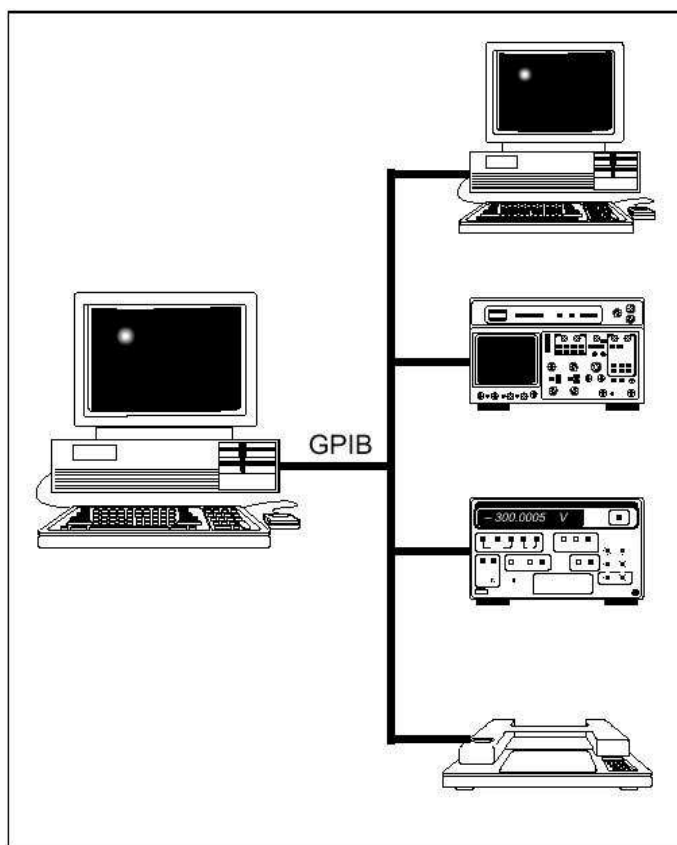
W systemie mogą pracować następujące urządzenia:

- Kontrolery

W systemie może się znajdować wiele kontrolerów jednak tylko jeden może być w danej chwili aktywny. Najczęściej jest to komputer zarządzający pracą całego systemu. Do głównych zadań kontrolera należą:

- definiowanie połączeń
 - kontrola żądań obsługi przez urządzenia
 - wysyłanie komend
- Nadajniki i odbiorniki
- W systemie dane urządzenie może być w danej chwili nadajnikiem lub odbiornikiem. Każde urządzenie akceptuje własne komendy oraz stosuje własną metodę oznaczania końca ciągu danych. Nadajniki i odbiorniki wyróżniają następujące cechy:
- Nadajniki
 - są zaprogramowane przez kontroler jako nadajniki
 - wysyłają na DIO dane
 - tylko jeden nadajnik w danej chwili może nadawać
 - Odbiorniki
 - są zaprogramowane przez kontroler jako odbiorniki
 - czytają dane z DIO
 - jednocześnie wiele odbiorników może pobierać dane z DIO

Przykład systemu prezentuje rys.A.5.



Rys.A.5. Przykład systemu w oparciu o interfejs GPIB.

Protokół adresowania w GPIB

Przed wymianą danych w systemie kontroler decyduje, które urządzenie w systemie będzie nadajnikiem, a które odbiornikiem. W tym celu umieszcza na magistrali komendy adresujące odpowiednie urządzenia. W systemie może być zaadresowanych do 30 urządzeń (każde ma swój unikalny adres). Komenda adresująca ma następującą postać:

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Dana		TA	LA	X	X	X	X	X

Bity zawierają następujące informacje:

0-4 - binarny adres urządzenia GPIB

5 (LA) - ustawienie tego bitu wskazuje, że zaadresowane urządzenie będzie odbiornikiem

6 (TA) - ustawienie tego bitu wskazuje, że zaadresowane urządzenie będzie nadajnikiem.

Przed zaadresowaniem nowych nadajników i odbiorników wszystkie aktywne urządzenia muszą wejść w stan oczekiwania na nową komendę. W tym celu kontroler wysyła do wszystkich nadajników komendę UNT (Untalk) oraz do odbiorników komendę UNL (Unlisten). Po tej procedurze może być ponownie zestawione połączenie pomiędzy urządzeniami w systemie.

Metody oznaczania końca danych

Podczas wysyłania danych przez GPIB urządzenia wykorzystują trzy różne metody oznaczania końca transferu danych. Są to EOS, EOI oraz metoda zliczania.

EOS

W metodzie tej jako znacznik końca transferu (EOS) przyjmuje się ustalony wcześniej znak. Najczęściej wykorzystuje się znaki powrotu karetki (hex OD) lub następnej linii (hex 0A), które nadajnik umieszcza na końcu transmitowanych danych. Odbiornik będzie odbierał dane do momentu, aż odbierze znacznik EOS. W celu poprawnej transmisji danych zarówno nadajnik jak i odbiornik muszą mieć wcześniej zaprogramowane znaczniki końca transferu.

EOI

Metoda ta jako znak końca transferu wykorzystuje jedną z linii zarządzających EOI, która jest wysterowana w momencie transferu ostatniego bajtu danych. Odbiornik do prawidłowego odbioru w tej metodzie kontroluje stan linii EOI. Także w tej metodzie urządzenia komunikujące się, muszą wcześniej zostać odpowiednio zaprogramowane.

Metoda zliczania

Metoda ta charakteryzuje się tym, że odbiornik odbierze założoną liczbę bajtów. Podczas inicjacji połączenia, odbiornik deklaruje liczbę bajtów którą odbierze.

Można wykorzystać kombinację powyższych metod do oznaczania końca komunikacji urządzeń GPIB. W takim przypadku transmisja zostaje przerwana w momencie detekcji jednej z użytych metod.

Szeregowa detekcja aktywności urządzeń

W przypadku kiedy zostanie wysterowana linia SRQ oznacza to, że jedno z urządzeń wymaga obsługi. Wówczas kontroler przystępuje do procedury rozstrzygnięcia, które urządzenie wymaga obsługi. Wysyła wówczas kolejno do każdego urządzenia w systemie komendę SPE (Serial Poll Enable). Komenda SPE ustawia w danym urządzeniu tryb szeregowego przepytania. W odpowiedzi, zaadresowane urządzenie zwraca swój bajt statusu szeregowego przepytania. Szósty bit tego bajtu wskazuje czy dane urządzenie żądało obsługi. Pozostałe bity służą do zdekodowania przyczyny wysterowania linii SRQ. Następnie kontroler wysyła do obsługiwanego urządzenia komendę SPD (Serial Poll Disable), która zakańcza tryb szeregowego przepytania i wówczas urządzenie wraca do normalnej pracy.

Równoległa detekcja aktywności urządzeń

W równoległej detekcji aktywności urządzeń wszystkie skonfigurowane urządzenia przepytane są równocześnie. Kontroler wysyła komendę IDY do wszystkich urządzeń, które jako odpowiedź odsyłają jedną z komend PPR (PPR1, PPR2... PPR8). Najczęściej każde urządzenie

odsyla różne komendy PPR. Każde urządzenie może wysłać komendę PPR jako ‘prawda’ lub ‘fałsz’. Decyduje o tym stan bitu S w rejestrze wewnętrznym urządzenia GPIB. Tabela I przedstawia sposób kodowania komend PPR w zależności od bitu S.

Tab.I. Kodowanie komend PPR.

Bit S	Komenda PPR	Słowo PPE(hex)
0	PPR1	60
0	PPR2	61
0	PPR7	66
0	PPR8	67
1	PPR1	68
1	PPR2	69
1	PPR7	6E
1	PPR8	6F

Każdej wysyłanej komendzie PPR odpowiada inna wartość heksadecymalna pojawiająca się na szynie danych DIO (słowo PPE). Przykładowo kiedy wysyłana komenda PPR przyjmuje wartość PPR4 typu ‘prawda’ wówczas na szynie DIO ustawiany jest w stanie niskim bit DIO4. Linie DIO są typu otwarty kolektor, a zatem jedną komendę PPR4 można przyporządkować kilku urządzeniom.

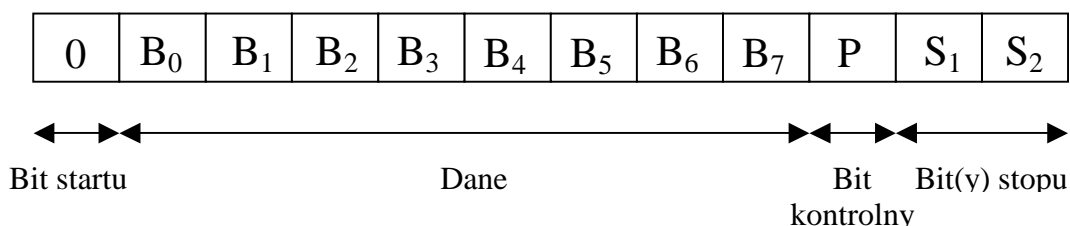
2. Interfejs RS-232C

1. Zamieszczone poniżej informacje są skróconym opisem standardu RS-232C i zawierają najważniejsze wiadomości dotyczące tego standardu. Szczegółowy opis interfejsu RS-232C można znaleźć na przykład w książce P. Horowitz, W. Hill „Sztuka elektroniki cz.2”, WKŁ 1997.

Standard RS-232C został opracowany w celu zdefiniowania szeregowego interfejsu pomiędzy urządzeniami DTE (Data Terminal Equipment) oraz urządzeniami DCE (Data Communication Equipment). Początkowo jako DTE pracowały przede wszystkim komputery, a jako DCE modemy. Taki zestaw był wykorzystywany do prowadzenia transmisji wykorzystując publiczną sieć telefoniczną. Obecnie różne urządzenia działają jako DTE lub DCE np. myszy komputerowe, mikrokontrolery, sterowniki itp. Standard RS-232C umożliwia transmisje na odległość do 15m z szybkością do 19200 b/s. Przy odległościach do 4m szybkość transmisji wzrasta do 115200p/s. W standardzie tym można wykorzystać transmisję asynchroniczną lub synchroniczną.

Transmisja asynchroniczna

W transmisji tej wysyłane są kolejno znaki (grupa bitów) o ustalonej formie (rys.A.6). Pomiedzy transmisją poszczególnych znaków wprowadzane jest opóźnienie. Opóźnienie to trwa co najmniej jeden okres zegara i nazywane jest czasem bezczynności. Odpowiada ono ustawieniu wysokiego poziomu logicznego - ‘1’. Każdy przesyłany znak zaczyna się od bitu startu, po którym następuje 7 lub 8 bitów danych z najmniej znaczącym bitem jako pierwszym. Po bitach danych może wystąpić bit kontrolny. Na zakończenie transmisji wysyłany jest jeden lub dwa bity stopu zależnie od konfiguracji. Odbiornik działając z taką samą szybkością, synchronizuje się z każdą grupą bitów. Mechanizm synchronizujący odbiornik na podstawie bitów startu i stopu powoduje, że odbiornik nie musi zawierać bardzo dokładnego wzorca zegara.

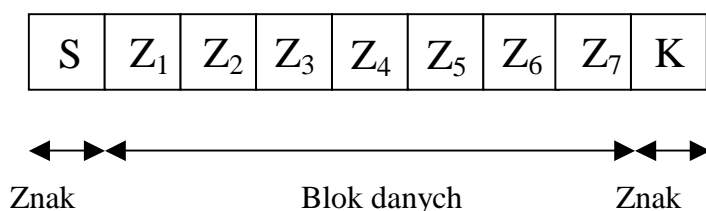


Rys.A.6. Format ramki dla transmisji asynchronicznej.

Bit kontrolny może być wykorzystywany opcjonalnie podczas transmisji i służy do weryfikacji poprawności transmitowanych danych. Odbywa się to przez kontrolę parzystości lub nieparzystości. Kontrola parzystości polega na takim ustawieniu bitu kontrolnego, aby liczba wszystkich jedynek w przesyłanej danej razem z bitem kontrolnym była parzysta. Dla kontroli nieparzystości liczba wszystkich jedynek w przesyłanej danej razem z bitem kontrolnym powinna być nieparzysta. Odbiornik analizując bit kontrolny tą metodą jest zdolny wykryć ewentualne błędy podczas transmisji.

Transmisja synchroniczna

Transmisja synchroniczna jest rzadziej wykorzystywana w tym standardzie. Cechuje się tym, że zamiast pojedynczych znaków są wysyłane bloki znaków (rys.A.7). Zamiast bitów startu i stopu są wykorzystywane znaki startu i stopu. Dodatkowo do synchronizacji transmisji wykorzystywany jest zegar taktujący.

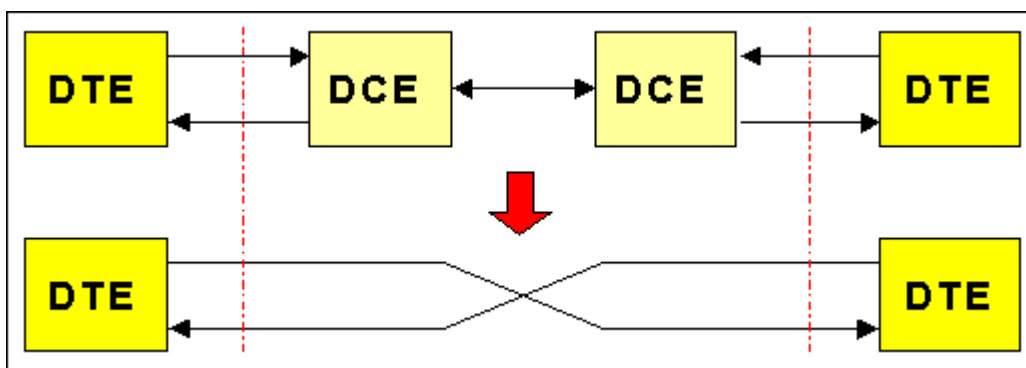


Rys.A.7. Format ramki dla transmisji synchronicznej.

Implementacja szeregowego interfejsu dla programowalnej aparatury pomiarowej

Standard IEEE 1174 definiuje sposób implementacji interfejsu szeregowego RS-232 dla zastosowań w sprzęcie pomiarowym przeznaczonym do budowy systemów pomiarowych. Standard ten definiuje szereg własności funkcjonalnych RS-232 w celu zapewnienia zgodności ze standardem GPIB. Pozwoliło to uzyskać dodatkowe łącze służące do wymiany informacji pomiędzy urządzeniami pracującymi w systemie pomiarowym z możliwością implementacji definicji wyższych warstw charakterystycznych dla standardu GPIB.

W celu połączenia dwóch urządzeń DTE (np. komputer - przyrząd pomiarowy) bez udziału modemów wykorzystywane jest tzw. połączenie „null modem”. W połączeniu tym zostały skrzyżowane linie transmisyjne RxD oraz TxD obu urządzeń DTE (rys.A.8). Część połączenia, która jest ustalana przez oba DCE oraz połączenie między nimi zostaje zastąpione połączeniem kablowym łączącym bezpośrednio urządzenia DTE.



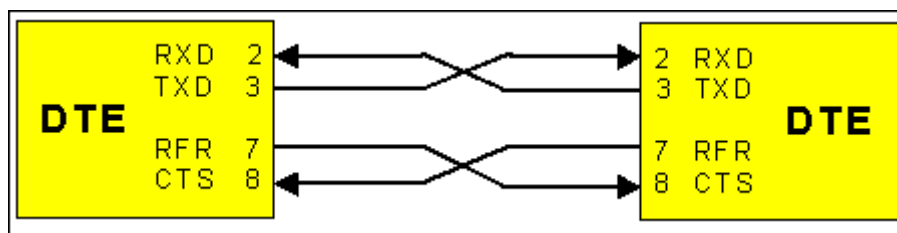
Rys.A.8. Połączenie "null modem".

Protokół sterowania przepływem danych

Do sterowania przepływem danych standard IEEE 1174 wykorzystuje dwa zdefiniowane już protokoły :

1. Sterowanie sprzętowe wykorzystujące linie RFR, CTS (rys.A.9).

2. Sterowanie programowe wykorzystujące znaki XON, XOFF.



Rys.A.9. Sprzętowe sterowanie przepływem danych.

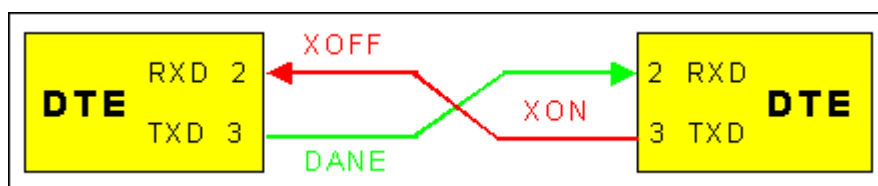
W przypadku sterowania sprzętowego urządzenie DTE odbierające dane linią RXD może ustawić :

- RFR=ON aby zasygnalizować oddalonemu DTE, że jest zdolne do przyjmowania danych.
- RFR=OFF aby zasygnalizować wstrzymanie wysyłania danych przez oddalone DTE.

Oddalone urządzenie DTE, które transmituje dane linią TxD monitoruje linię CTS. W przypadku gdy :

- CTS=ON - może ono wysłać dane
- CTS=OFF - musi wstrzymać nadawanie.

Przy wykorzystaniu programowego sterowania przepływem danych zamiast linii RFR, CTS stosuje się specjalne znaki przesyłane obwodami TxD, używanymi do przesyłania zwykłych danych (rys.A.10).



Rys.A.10. Programowe sterowanie przepływem danych.

XON jest znakiem sterującym kodu ASCII DC1 (11 hex) a XOFF znakiem DC3 (13 hex). Urządzenie DTE odbierające dane linią RxD może wysłać swoją linią TxD znak :

- XOFF, aby zatrzymać wysyłanie danych przez oddalone DTE. Aby nadawca mógł zdążyć zdekodować polecenie i wstrzymać transmisję, odbiornik musi odpowiednio wcześniej wysłać polecenie XOFF (przed przepełnieniem bufora wejściowego odbiornika). Po wysłaniu znaku XOFF urządzenie musi mieć możliwość odebrania jeszcze przynajmniej 60 znaków.
- XON, w celu wznowienia zatrzymanej transmisji. Znak XON może być wysłany tylko po wstrzymaniu transmisji.

Urządzenie nadające dane, które odebrało polecenie :

- XOFF, musi zawiesić nadawanie, aż do ponownego zezwolenia. Po odebraniu polecenia XOFF w czasie transmisji ciągu znaków, nadawca może nadać jeszcze maksymalnie 30 znaków.
- XON, może wznowić zawieszony transfer danych.

Ponieważ metodą programową przesyła się znaki w kodzie ASCII, dlatego w przypadku transmisji danych binarnych w obu kierunkach nie można wysłać znaków XON, XOFF. Wtedy pomocna jest metoda sprzętowa RFR/CTS.

Ustalono, że w systemach pomiarowych wykorzystujących standard IEEE 1174 ramka transmitowanego znaku składa się z bitu startu, 8 bitów danej oraz jednego bitu stopu. Można

stosować szybkości 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 i 38400 b/s. Szczególnie rekomendowane są dwie ostatnie szybkości.

Emulacja funkcji GPIB

Druga część standardu IEEE 1147 definiuje sposób emulacji funkcji GPIB w celu uzyskania cech funkcjonalnych GPIB dla łącza szeregowego. Jest to konieczne do uzyskania zgodności ze standardem IEEE 488.2 oraz możliwości wykorzystania poleceń SCPI. Emulację GPIB uzyskano wykorzystując kody emulujące. Pierwszym znakiem kodu emulującego jest znak '&', po którym występują trzy litery lub cyfry. Najczęściej zapis literowy prezentuje nazwę rozkazu interfejsowego (&GET - GET), a zapis cyfrowy wartość liczbową całkowitą w zapisie dziesiętkowym (&016 - wartość bajtu statusowego). Część kodów musi być zakończona parą znaków CR i LF.

DODATEK B

Przykładowe polecenia języka SCPI

W rozkazach SCPI w postaci ogólnej stosuje się trzy rodzaje nawiasów:

[] kwadratowe oznaczają słowa kluczowe lub argumenty,

{ } klamrowe zamykają argumenty wewnątrz łańcucha rozkazowego,

<> trójkątne oznaczają, że użytkownik musi zastąpić argument umieszczony w nawiasach konkretną wartością liczbową

MEASure

Polecenie ustawia przyrząd w domyślnych warunkach zapewniających dobre parametry dokładnościowe i startuje pomiar (wykonuje wyłącznie pojedyncze pomiary z wyzwoleniem IMM). Wynik umieszcza w buforze wyjściowym. Argument <range> podaje się jako spodziewaną wartość; <resolution> w jednostkach mierzonej wielkości.

```
:VOLTage:DC? {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:VOLTage:DC:RATio? {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:VOLTage:AC? {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:CURREnt:DC? {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:CURREnt:AC? {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:RESistance? {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:FRESistance? {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:FREQuency? {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:PERiod? {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:CONTInuity?
:DIODE?
```

CONFigure

Polecenie ustawia przyrząd w domyślnych warunkach zapewniających dobre parametry dokładnościowe (tak jak polecenie MEAS) ale nie startuje automatycznie pomiaru. Argument <range> podaje się jako spodziewaną wartość; <resolution> w jednostkach mierzonej wielkości. Użytkownik może dokonać dodatkowych zmian ustawienia przyrządu za pomocą poleceń niższego poziomu (podsystemy SENS, INPUT, CALCULATE, TRIGGER) i po ich wykonaniu wystartować pomiar za pomocą poleceń READ? lub INIT. Polecenie pytające zwraca informację o bieżących ustawieniach multimetru (funkcja, zakres, rozdzielczość).

```
:VOLTage:DC {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:VOLTage:DC:RATio {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:VOLTage:AC {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:CURREnt:DC {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:CURREnt:AC {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:RESistance {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:FRESistance {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:FREQuency {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:PERiod {<range>|MIN|MAX|DEF},{<resolution>|MIN|MAX|DEF}
:CONTInuity
DIODE
CONFigure?
```

[SENSe:]

Polecenie ustawia funkcję pomiarową multimetru. Nazwę funkcji należy objąć znakami cytowania. Funkcja RATio podaje stosunek mierzonego napięcia DC do napięcia odniesienia dołączonego do drugich zacisków pomiarowych; RES mierzy rezystancję dwu-punktowo; FRES mierzy rezystancję czteropunktowo; CONT określa zwarcie lub rozwarcie obwodu; DIODE testuje diodę w kierunku przewodzenia.

```
FUNCTION "VOLTage:DC"  
"VOLTage:DC:RATio"  
"VOLTage:AC"  
"CURRent:DC"  
"CURRent:AC"  
"RESistance"  
"FRESistance"  
"FREQuency"  
"PERiod"  
"CONTinuity"  
"DIODE"
```

[SENSE:]

Polecenia ustawiają zakres pomiarowy dla określonej funkcji pomiarowej. Dla funkcji FREQuency oraz PERiod zakres dotyczy napięcia wejściowego a nie częstotliwości sygnału. MIN wybiera najczulszy podzakres; MAX najwyższy. Polecenia pytające zwracają aktualne ustawienia podzakresu lub określone argumentem wartości graniczne, które można ustawić.

```
VOLTage:DC:RANGe {<range>|MIN|MAX}  
VOLTage:AC:RANGe {<range>|MIN|MAX}  
CURRent:DC:RANGe {<range>|MIN|MAX}  
CURRent:AC:RANGe {<range>|MIN|MAX}  
RESistance:RANGe {<range>|MIN|MAX}  
FRESistance:RANGe {<range>|MIN|MAX}  
FREQuency:VOLTage:RANGe {<range>|MIN|MAX}  
PERiod:VOLTage:RANGe {<range>|MIN|MAX}  
VOLTage:DC:RANGe? [ {MIN|MAX} ]  
VOLTage:AC:RANGe? [ {MIN|MAX} ]  
CURRent:DC:RANGe? [ {MIN|MAX} ]  
CURRent:AC:RANGe? [ {MIN|MAX} ]  
RESistance:RANGe? [ {MIN|MAX} ]  
FRESistance:RANGe? [ {MIN|MAX} ]  
FREQuency:VOLTage:RANGe? [ {MIN|MAX} ]  
PERiod:VOLTage:RANGe? [ {MIN|MAX} ]
```

[SENSE:]

Polecenia ustawiają żadaną rozdzielczość pomiaru dla określonej funkcji pomiarowej. Określenie rozdzielczości obowiązuje tylko dla funkcji pomiaru napięcia, prądu i rezystancji. Rozdzielczość podaje się w jednostkach odpowiadających danej funkcji pomiarowej, np. V, mV, uV dla napięcia; nie jako liczbę cyfr wyniku. Polecenia pytające zwracają aktualne ustawienia rozdzielczości lub określone argumentem wartości graniczne, które można ustawić.

```
VOLTage:DC:RESolution {<resolution>|MIN|MAX}  
VOLTage:AC:RESolution {<resolution>|MIN|MAX}  
CURRent:DC:RESolution {<resolution>|MIN|MAX}  
CURRent:AC:RESolution {<resolution>|MIN|MAX}  
RESistance:RESolution {<resolution>|MIN|MAX}  
FRESistance:RESolution {<resolution>|MIN|MAX}  
VOLTage:DC:RESolution? [ {MIN|MAX} ]  
VOLTage:AC:RESolution? [ {MIN|MAX} ]  
CURRent:DC:RESolution? [ {MIN|MAX} ]  
CURRent:AC:RESolution? [ {MIN|MAX} ]  
RESistance:RESolution? [ {MIN|MAX} ]  
FRESistance:RESolution? [ {MIN|MAX} ]
```

[SENSE:]

Polecenia ustawiają żadany filtr pasmowy w pomiarach napięć i prądów AC (do wyboru są trzy filtry: 3Hz-300kHz, 20Hz-300kHz i 200Hz-300kHz; domyślnie jest ustawiany filtr >20Hz).

Polecenie pytające zwraca informację o aktualnie ustawionym filtrze (3, 20 lub 200) lub określone argumentem wartości graniczne, które można ustawić.

```
DETECTOR: BANDwidth {3|20|200|MIN|MAX}
DETECTOR: BANDwidth? [ {MIN|MAX} ]
```

CALCulate

Polecenie FUNCTION wybiera funkcję matematyczną realizowaną na danych zgromadzonych w pamięci lub buforze wyjściowym multimetru. Można wybrać tylko jedną z funkcji. NULL jest domyślnym ustawieniem. Użycie operacji matematycznych jest możliwe tylko dla akwizycji typu READ? oraz INIT. Polecenie STATE uaktywnia lub blokuje wybraną funkcję. Polecenia pytające zwracają odpowiednio nazwę wybranej funkcji oraz stan jej aktywności.

```
:FUNCTION {NULL|DB|DBM|AVERAGE|LIMIT}
:FUNCTION?
:STATE {OFF|ON}
:STATE?
```

Polecenia zwracają odpowiednio wartość minimalną, maksymalną, średnią oraz liczebność zbioru danych określone na zbiorze wyników. Wartości są wyliczone przez funkcję AVERAGE. Uaktywnienie funkcji AVER zeruje podane wartości.

```
:AVERAGE: MINimum?
:AVERAGE: MAXimum?
:AVERAGE: AVERAGE?
:AVERAGE: COUNT?
```

TRIGger

Polecenia nastawcze programują podsystem wyzwalania multimetru. SOURCE określa źródło z którego multimetr akceptuje wyzwolenie; DELAY opóźnienie inicjacji pomiaru w stosunku do wyzwolenia oraz poszczególnych pomiarów w serii pomiarów inicjowanych jednym wyzwoleniem. Polecenie DELAY: AUTO włącza lub wyłącza automatyczne określanie opóźnienia, które zależy od ustawienia funkcji, zakresu, czasu całkowania i filtra pasmowego AC. Polecenie COUNT określa liczbę wyzwoleń akceptowanych przez podsystem TRIGGER przed powrotem do stanu spoczynkowego (max. 50 000). Argument INF oznacza ciągle akceptowanie poleceń wyzwalających. W tym stanie powrót do stanu spoczynkowego systemu wyzwalania nastąpi po wyzerowaniu multimetru. Polecenia pytające zwracają aktualne wartości nastaw lub określone argumentem wartości graniczne, które można ustawić.

```
:SOURCE {IMM|EXT|BUS}
:SOURCE?
:DELAY {<seconds>|MIN|MAX}
:DELAY? [ {MIN|MAX} ]
:DELAY: AUTO {OFF|ON}
:DELAY: AUTO?
:COUNT {<value>|MIN|MAX|INFINITE}
:COUNT? [ {MIN|MAX} ]
```

SAMPLE

Polecenie określa liczbę pomiarów wykonywanych po jednokrotnym wyzwoleniu (max. 50 000). Polecenie pytające zwraca aktualną wartość nastawy lub określone argumentem wartości graniczne, które można ustawić.

```
:COUNT {<value>|MIN|MAX|INFINITE}
:COUNT? [ {MIN|MAX} ]
```

READ?

Polecenie READ? wprowadza podsystem wyzwalania w stan oczekiwania na wyzwolenie. Akceptowane jest tylko wyzwolenie IMM oraz EXT. Po wyzwoleniu multimetr wykonuje pojedynczy pomiar lub serię pomiarów stosownie do ustawienia podsystemu wyzwalania. Pomiar

są realizowane przy ustawieniach określonych przez polecenie CONF oraz ewentualne polecenia niższego poziomu. Wynik lub wyniki są umieszczane w buforze wyjściowym (do 512 wyników)

INITiate

Polecenie INIT zapewnia największą elastyczność wykonania pomiarów, ponieważ uwzględnia nastawy multimetru dokonane poleceniami niskiego poziomu. INIT wprowadza tylko podsystem wyzwalania w stan oczekiwania na wyzwolenie. Akceptowane są wszystkie rodzaje wyzwoleń (IMM, EXT, BUS). Po wyzwoleniu multimetr wykonuje pojedynczy pomiar lub serię pomiarów stosownie do ustawienia podsystemu wyzwalania. Pomiary są realizowane przy ustawieniach określonych przez polecenia niskiego poziomu zrealizowane przed wydaniem polecenia INIT.

Wynik lub wyniki są umieszczane w pamięci wewnętrznej multimetru (do 512 wyników). Przy uaktywnieniu funkcji przeliczającej pamięć zawiera przeliczone wyniki dla funkcji NULL, DB i DBM. Dla pozostałych funkcji (AVER i LIM) przechowuje bezpośrednie wyniki pomiaru. Odczytanie danych jest możliwe po przeniesieniu ich do bufora wyjściowego za pomocą polecenia FETCh?.

FETCh?

Polecenie przenosi dane z pamięci wewnętrznej do bufora wyjściowego multimetru dzięki czemu możliwy jest ich transfer do kontrolera systemu.

SYSTEM:ERRor?

Jest to polecenie pytające o błędy syntaktyczne lub sprzętowe zarejestrowane buforze kolejkowym błędów. Kolejka może zarejestrować do 20 błędów.

Literatura:

1. Instrukcje przyrządów HP 34401a oraz Agilent 33120A.
2. Piotr Stępski , Czujnik mieszaniny gazów z użyciem mikroprocesora 68HC11, praca dyplomowa, AGH Kraków, 2001.

Materiały ze stron www:

<http://www.ire.pw.edu.pl/zur/ktp/spomlab/cw3/SPOM3.pdf>

<http://home.elka.pw.edu.pl/~pgryglas/RTM/SPOM/wyczerpujaca%20instrukcja.DOC>