

# MULTIMETRY - STAN DZISIEJSZY I ROZWÓJ

## 1. Wprowadzenie

Multimetrami nazywamy przyrządy pomiarowe służące do pomiaru kilku wielkości elektrycznych i elektronicznych.

Zestaw wielkości pozwala zwykle na zastosowanie multimetru w wydzielonym obszarze prac inżynierskich lub naukowych.

Ze względu na dokładność pomiaru i wiele innych zalet wyraźną przewagę od początku lat 70-tych zdobyły multimetry cyfrowe, jakkolwiek multimetry analogowe w pewnych zastosowaniach nadal się utrzymują [4].

Od czasu gdy w 1975 roku pojawiły się na rynku pierwsze modele multimetrów mikroprocesorowych obserwuje się intensywny rozwój tej grupy przyrządów [1].

Dzisiejsza oferta producentów - to pełna gama modeli prześcigających się pomysłowością rozwiązań, obszarem pomiarowym, szybkością i dokładnością pomiarów, etc. Im też głównie poświęcono tekst niniejszego opracowania.

- Podstawowe podziały klasyfikacyjne multimetrów wiążą się z ich strukturą wewnętrzną oraz z cechami ergonomicznymi i tak można wyróżnić:
- multimetry z przetwornikami analogowo- cyfrowymi integracyjnymi (dość rozbudowane układy kondycjonowania sygnałów po stronie analogowej, proste przetwarzanie po stronie cyfrowej) [5]
- multimetry z przetwornikami analogowo-cyfrowymi próbkującymi (proste układy kondycjonowania, dość skomplikowane przetwarzanie po stronie cyfrowej) [2].

Drugi bardzo widoczny podział, to podział na

- **multimetry podręczne** (z reguły o wewnętrznym zasilaniu bateryjnym)
- **multimetry laboratoryjne** (z reguły wyposażone w bogate możliwości współpracy systemowej).

Równolegle postępuje proces wyodrębniania się z grupy multimetrów ogólnego zastosowania multimetrów przeznaczonych do zadań ściślej określonych :

- dla elektrotechniki motoryzacyjnej mamy multimetry samochodowe (ang. vehicle multimeters),
- do badania układów cyfrowych - multimetry sygnaturowe (ang. signature multimeters),
- do badania telefonicznych linii abonenckich - multimetry telekomunikacyjne (ang. subscriber's line multimeters),
- do obserwacji kształtu przebiegów czasowych sygnałów - multimetry graficzne (ang. graphical multimeters).

## **Zastosowanie mikroprocesorów w wewnętrznej strukturze multimetru pozwoliło na realizację wielu funkcji tzw. sztucznej inteligencji.**

Wiąże to się z takimi właściwościami jak

- np. automatyczne wykonywanie złożonych procedur pomiarowych wymagających podejmowania decyzji na podstawie kolejno otrzymywanych wyników pomiarów pośrednich i posługiwania się pamięcią.

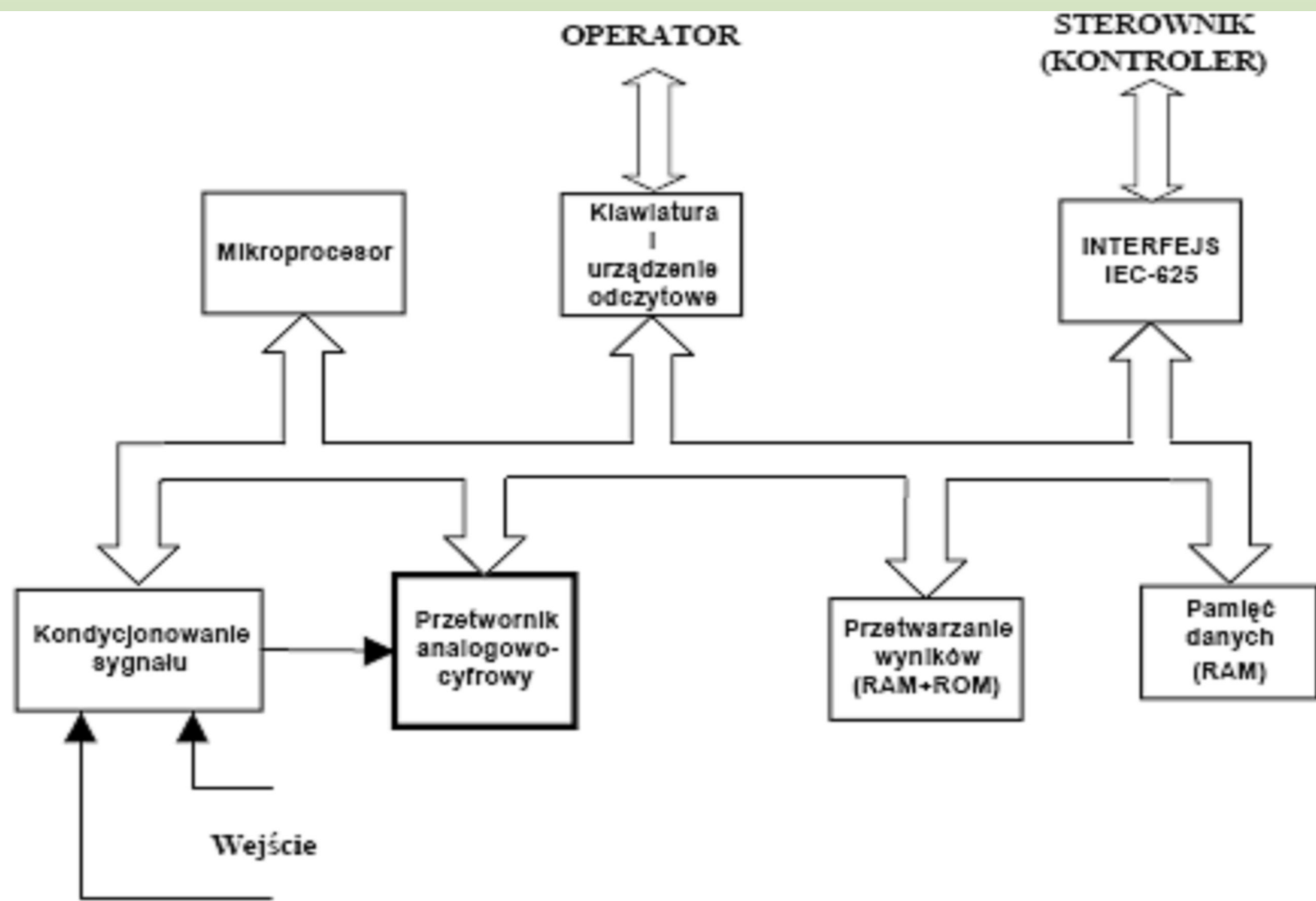
Miarą tej "inteligencji" jest przede wszystkim łatwość obsługi i programowania

- pracy przyrządu oraz obszar realizowanych procedur.
- realizacja adaptacyjnych algorytmów pomiaru, poważne ograniczenie wpływu czynników pasożytniczych na wyniki pomiarów, zwiększenie niezawodności, możliwość pracy systemowej w różnych standardach interfejsów - wszystko to sprawia, że multimetry stanowią dziś najlepszy przykład współczesnych osiągnięć techniki pomiarowej [6].

- **2. Struktura multimetru**

Na rys.1 pokazany jest schemat struktury multimetru ogólnego zastosowania.

- Połączenia rysowane podwójną linią reprezentują zbiór przewodów służących cyfrowej organizacji pracy multimetru. Są to tzw. szyny adresowe, szyny rozkazów i szyny danych.
- Sygnały wejściowe poddawane są kondycjonowaniu, tj. takiemu przetwarzaniu wstępnemu, by przetwornik analogowo-cyfrowy otrzymał na wejściu odpowiedni rodzaj i poziom sygnału (np. napięcie stałe 0÷10V).
- W zakres kondycjonowania wchodzi więc np. automatyczne wybieranie zakresu multimetru zależnie od poziomu sygnału wejściowego, wstępne przetwarzanie analogowe (np. rezystancja→napięcie stałe, wartość skuteczna napięcia zmiennego→napięcie stałe).



Rys.1. Ogólna struktura multimetru ze sterowaniem mikroprocesorowym

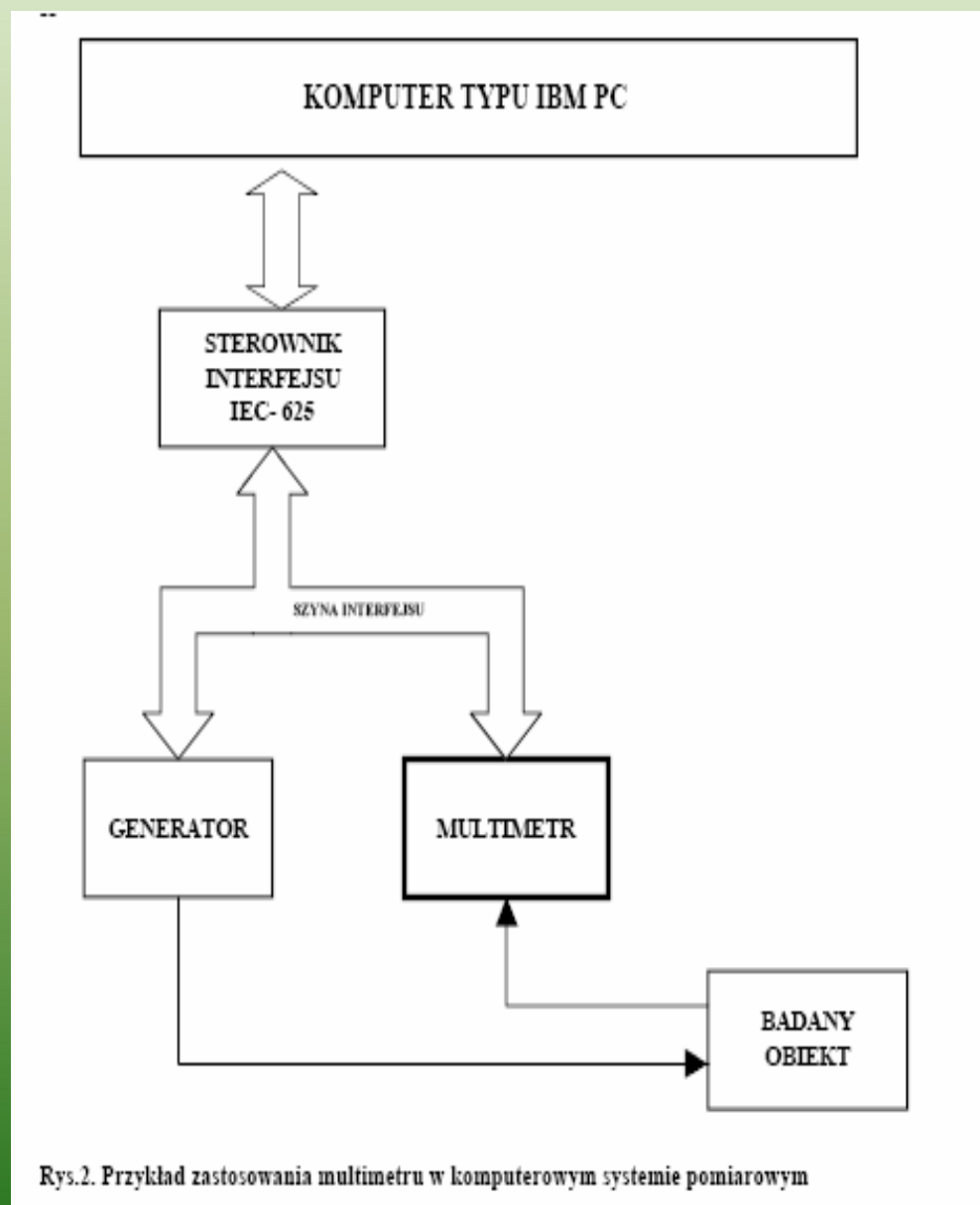
Spośród metod przetwarzania analogowo-cyfrowego najczęściej stosowane są trzy:

**podwójnego lub wielokrotnego całkowania**  
(dual slope, multiple slope),

**modulacji szerokości impulsu**

(pulse width, delta-pulse modulation)

**kolejnych przybliżeń**  
(successive approximation)



Wybór metody zależy na ogół od przyjętej rozdzielczości wyniku, zadanego czasu przetwarzania oraz stopnia skojarzenia struktury przetwornika analogowo-cyfrowego ze strukturą układu mikroprocesorowego.

- Kontakt operatora z multimetrem odbywa się za pośrednictwem klawiatury i urządzenia odczytowego (najczęściej niewielki monitor alfanumeryczny).
- W multimetrach mikroprocesorowych dokonała się tu zasadnicza zmiana w odniesieniu do rozwiązań „klasycznych”, związana z programową obsługą wyboru funkcji pomiaru.

Ani jeden z klawiszy nie jest bezpośrednio sprzężony z torem mierzonego sygnału.

Płyta czołowa multimetru, zwykle dotąd dość gęsto upakowana przełącznikami i pokrętłami, znacznie się oczyściła, stając się jednocześnie układem peryferyjnym mikroprocesora.



Blok przetwarzania wyników (pamięci ROM i RAM) pozwala na realizację typowych operacji na wynikach pomiarów.

Można wymienić tu :

obliczanie parametrów statystycznych  
(wartość średnia, wariancja, odchylenie standardowe),

obliczanie wartości wyników pomiarów pośrednich,

obliczanie wartości wyniku związane z wewnętrznymi procedurami autozerowania i auto-kalibracji.

Blok pamięci danych (RAM) służy do bieżącego gromadzenia kolejnych wyników pomiarów w celu dalszego ich opracowywania bądź rejestracji.

.

- Poważną zaletą tej pamięci jest możliwość przeglądania kolejnych odczytów pomiarów przy nastawianej szybkości ich repetycji (np. od 200 odczytów na sekundę do 1 odczytu na godzinę).

W wielu najnowszych modelach bloki mikroprocesora, przetwarzania wyników i pamięci danych wykonywane są w postaci specjalizowanego mikrokontrolera, przeznaczonego wyłącznie do danego typu multimetru.

- Bardziej zaawansowana wersja takiego układu VLSI zawiera w sobie również blok przetwornika analogowo-cyfrowego.

Interfejs transmisji danych w standardzie IEC-625 lub V-24 (lub RS-232) służy współpracy multimetru z komputerem

## **Standard IEC-625 jest obecnie najpopularniejszym standardem interfejsu, umożliwiającym sprzężanie aparatury kontrolno-pomiarowej i informatycznej w system pomiarowy.**

Zalecenia IEC-625 unifikują następujące elementy systemu interfejsu:

sygnały interfejsowe,

funkcje interfejsowe,

protokoły wymiany informacji, kody

formaty informacji, parametry elektryczne i mechaniczne stała się częścią wersji rozszerzonej.

Europejskimi odpowiednikami norm standardu IEEE są odpowiednio IEC-625.1 i IEC-625.2

Polskim odpowiednikiem normy IEC-625.1 jest PN-83fT-06536 [65].

## **Struktura systemu w standardzie IEC-625**

(w skrócie: systemu IEC-625) opiera się na konfiguracji magistrowej, w której wszystkie urządzenia dołączone są równolegle do wspólnej magistrali interfejsowej magistralą tą przesyła się komunikaty interfejsowe (adresy i rozkazy) oraz komunikaty urządzeń (dane).

Magistrala składa się z 16 linii sygnałowych  
(8 linii danych, 3 linie synchronizacji, 5 linii sterowania)  
9 linii masy.

**Na magistrali obowiązuje 1 l o g i k a u j e m n a ,  
tzn. stan niski L odpowiada jedynce logicznej ("1"),  
stan wysoki - zeru logiczne. mu ("0").**

Urządzenia mają wbudowane układy interfejsowe odpowiedzialne za realizację wymiany informacji z innymi urządzeniami.

Cechą każdego urządzenia z interfejsem IEC-625 (w skrócie: urządzenia IEC-625) jest możliwość jego pracy zarówno w systemie IEC-625 jako urządzenia zdalnie sterowanego przez komputer, jak również poza systemem jako samodzielnego, autonomicznego przyrządu pomiarowego, sterowanego ręcznie z płyty czołowej.

- Liczba urządzeń jednocześnie dołączonych bezpośrednio do magistrali jest ograniczona do 15 (łącznie z kontrolerem systemu). Przepływ informacji odbywa się między urządzeniami systemu, które kwalifikuje się jako nadajniki (N), odbiorniki (O) i kontrolery (K).
- Właściwości nadajnika, odbiornika i kontrolera mogą występować w urządzeniach pojedynczo lub łącznie. Nadajnik, zwany również nadawcą (ang. talker), może transmitować dane do innych urządzeń przez magistralę.
- Odbiornik, zwany też odbiorcą (ang. listener), może przyjmować dane wysyłane przez nadawcę.

**Nadawcą informacji w danej chwili może być tylko jedno urządzenie, odbiornikami - jednocześnie kilka urządzeń.**

Uaktywnienie w danej chwili właściwości nadawczych lub odbiorczych urządzenia możliwe jest po wysłaniu do niego odpowiedniego adresu

Kontroler zarządza systemem interfejsu. Zarządzanie to polega na organizowaniu i kierowaniu przepływem informacji w systemie (m.in. przez wysyłanie adresów i rozkazów) oraz na sterowaniu magistralą systemu. Dotyczy to prostych systemów o sztywnej konfiguracji; wówczas jedno z urządzeń (np. woltomierz) zaadresowane jest na stałe do nadawania (zwykle specjalnym przełącznikiem), a inne (np. drukarka) - do odbioru.

.

- Kontroler systemu IEC-625 tworzy komputer (obecnie najczęściej typu PC) z kartą interfejsu i odpowiednim oprogramowaniem. Dopuszcza się istnienie w systemie kilku kontrolerów, przy czym jeden z nich musi pełnić funkcję kontrolera systemowego, nadrzędnego w stosunku do pozostałych.
- W danej chwili pracą systemu może zarządzać tylko jeden kontroler, pełni on wówczas funkcję kontrolera aktywnego. Kontrolery mogą przekazywać sobie sterowanie systemem, wykorzystując procedurę przekazywania kontroli. W momencie włączenia zasilania systemu funkcję kontrolera aktywnego przejmuje kontroler systemowy. Kontroler ten jako jedyny ma w każdej chwili możliwość zerowania systemu interfejsu (tzn. ustawiania w stan- początkowy i interfejsów wszystkich urządzeń dołączonych do magistrali, bez względu na aktualny ich stan) oraz ustawiania systemu w stan pracy zdalnej lub lokalnej

## **WYMAGANIA TECHNICZNE DOTYCZĄCE MAGISTRALI IEC-625**

W normie IEC-625 określono szczegółowe wymagania techniczne dotyczące sygnałów magistrali oraz dołączanych do niej układów.

Wszystkie linie sygnałowe muszą być dołączone do magistrali poprzez nadajniki i odbiorniki linii

Wymagane jest, aby na liniach SRQ, NDAC i NRFD stosowane były nadajniki linii z otwartym kolektorem. Na liniach IFC, REN, ATN, EOI, DAV, a także na liniach szyny DIO powinny być stosowane nadajniki linii z otwartym kolektorem lub nadajniki trójstanowe.

W przypadku korzystania przez system z procedury odpytywania równoległego wymagane jest stosowanie na liniach szyny DIO nadajników z otwartym kolektorem.



Wymagania dotyczące nadajników linii określają wartości napięć dla układów z otwartym kolektorem mierzonych na złączu urządzenia między linią sygnałową a masą logiczną.

**Do podstawowych należą:**

- napięcie wyjściowe w stanie niskim na wyjściu nadajnika trójstanowego lub z otwartym kolektorem: 0,5 V przy prądzie wyjściowym +48 mA,
- napięcie wyjściowe w stanie wysokim na wyjściu nadajnika trójstanowego: 2,4 V przy prądzie wyjściowym -5,2 mA.

Dopuszczalne parametry odbiorników linii przy nominalnej odporności na zakłócenia są następujące:

napięcie wejściowe w stanie niskim na wejściu: +0,8 V,

napięcie wejściowe w stanie wysokim na wejściu:  $\geq 2$  V.

Każda linia sygnałowa powinna kończyć się w urządzeniu obciążeniem rezystancyjnym, którego głównym zadaniem jest ustalenie napięcia na linii w czasie, gdy wszystkie nadajniki linii są w stanie wysokim.

Wewnętrzne obciążenie pojemnościowe każdej linii sygnałowej nie powinno przekraczać 100 pF w każdym urządzeniu. Szczegółowy opis specyfikacji warstwy fizycznej, istotny głównie dla projektantów urządzeń IEC-625, można znaleźć w normie

Magistralą tą przesyła się komunikaty interfejsowe (adresy i rozkazy) oraz komunikaty urządzeń (dane).

Magistrala składa się z 16 linii sygnałowych (8 linii danych, 3 linii synchronizacji, 5 linii sterowania) oraz 9 linii masy.

Na magistrali obowiązuje logika ujemna, tzn. stan niski L odpowiada jedynce logicznej (1), stan wysoki - zeru logicznemu (0). Urządzenia mają wbudowane układy interfejsowe odpowiedzialne za realizację wymiany informacji z innymi urządzeniami. Cechą każdego urządzenia z interfejsem IEC-625 jest możliwość jego pracy zarówno w systemie IEC-625 jako urządzenia zdalnie sterowanego przez komputer, jak również poza systemem jako samodzielnego, autonomicznego przyrządu pomiarowego, sterowanego ręcznie z płyty czołowej. Liczba urządzeń jednocześnie dołączonych do magistrali jest ograniczona do 15 (łącznie z kontrolerem systemu).

## **Kabel interfejsowy IEC-625 :**

Kabel interfejsowy składa się z co najmniej dwudziestu czterech przewodów umieszczonych w zewnętrznym ekranie, z których szesnaście jest wykorzystywanych dla linii sygnałowych, a pozostałe dla przewodów masy.

Kabel IEC-625 zakończony jest obustronnie złączem 25-stykowym, odpowiadającym wymaganiom dotyczącym złączy szufladowych typu Eltra/Cannon 871/881.

Złącza te muszą spełniać pewne wymagania, do których należą m.in:

- napięcie znamionowe 60 [V],
- prąd znamionowy 5 [A] na jeden styk,
- oporność styków  $<20$  [m $\Omega$ ],
- oporność izolacji 1 [G $\Omega$ ],

- Maksymalna długość kabla, którym łączy się urządzenia, wynosi 2 [m] razy liczba urządzeń, przy czym nie więcej niż 20 [m]. W przypadku gdy długość pojedynczego kabla przekracza 4 [m], mogą wystąpić zakłócenia w pracy systemu.
- Kabel powinien być tak skonstruowany, aby można było minimalizować efekt przesłuchu między liniami sygnałowymi, wrażliwość linii sygnałowych na zakłócenia oraz transmisję sygnałów interfejsowych do otoczenia.
- Każda z linii sygnałowych szyny synchronizacji i szyny sterowania powinna być skręcona z przewodem masy logicznej, tworząc „skrętkę”, lub być izolowana w inny sposób. przewodu masy.
- Przekrój pojedynczego przewodu powinien wynosić przynajmniej 0,35 [mm<sup>2</sup>].

### 3. Funkcje multimetrów

Zestawione w tablicy 1 funkcje pomiarowe charakteryzują grupę multimetrów ogólnego zastosowania. Prócz wymienionych wielkości incydentalnie mogą pojawiać się i takie, które poszerzając ofertę standardową stanowią „magnes” dla wahających się nabywców.

Tablica 1. Multimetry ogólnego zastosowania - funkcje pomiarowe

Wielkość mierzona	Uwagi
Napięcie stałe	pomiar wartości
Prąd stały	jw.
Napięcie zmienne	pomiar wartości średniej, skutecznej, szczytowej, pomiar składowej stałej i zmiennej, pomiar tylko składowej zmiennej
Prąd zmienny	jw.
Rezystancja (konduktancja)	pomiar wartości przy prądzie stałym i przy ustalonym poziomie sygnału pobudzającego
Częstotliwość	pomiar wartości w określonym przedziale amplitudy sygnału badanego
Impedancja (jej wybrane parametry np. L, C)	pomiar wartości przy ustalonej częstotliwości i poziomie sygnału pobudzającego
Temperatura	pomiar wartości przy wykorzystaniu czujników typu termopara lub rezystor platynowy
Iloraz wielkości wejściowych (np. iloraz dwóch napięć stałych)	pomiar wartości ilorazu w czasie rzeczywistym

Funkcje pomiarowe i funkcje dodatkowe (patrz tablica 2) uzupełnia typowy zestaw parametrów charakterystycznych (tablica 3).

Zestaw ten może stanowić podstawę do porównań multimetrów między sobą oraz podstawę do oceny jakości przyrządu.

Takie porównanie przeprowadzono (tablica 4) dla dwóch wybranych modeli multimetrów laboratoryjnych produkowanych przez firmy należące dziś do światowej czołówki producentów narzędzi pomiarowych [6].

Porównanie wskazuje na niemal identyczne wartości podstawowych parametrów, co oddaje dość dobrze stan „warunków brzegowych” dzisiejszej techniki pomiarowej.

- Firma *Keithley* rozmiarami produkcji i potencjałem finansowym niewątpliwie
- ustępuje firmie *Agilent*, jednak stara się - w odniesieniu do jednego z poważnych
- konkurentów – w porównywanym modelu rozszerzyć zestaw funkcji pomiarowych poprzez dodanie pomiaru temperatury i opcjonalnego modułu zawierającego dziesięciokanałowe wejście.
  
- W przeszłości, w praktyce projektowania aparatury pomiarowej, posługiwano się tzw.
- współczynnikami dobroci, pozwalającymi na ujawnienie ukrytych współzależności między
- parametrami charakterystycznymi oraz na ujawnienie konstrukcji lepszej. Dziś nie tylko nie
- dysponujemy współczynnikami dobroci, ale pojawiły się tak trudne elementy oceny jak np.
- łatwość programowania i obsługi oraz zdolność przyrządu do pracy adaptacyjnej, tj. zdolność
- do auto-ptymalizacji swych parametrów przy zmianach warunków pomiaru.



Tablica 2. Multimetry ogólnego zastosowania - funkcje dodatkowe

Funkcja	Uwagi
Współpraca systemowa	standardowe interfejsy np. IEC625/IEEE488, V24/RS232, HPIL
Automatyczny wybór zakresu	jest zwykle stosowany równolegle z ręcznym wyborem zakresu
Obliczenia: - wprowadzanie z klawiatury nachylenia $a$ i przesunięcia $b$ do charakterystyki skali, - obliczanie odchylenia procentowego od wartości wprowadzonej z klawiatury, - obliczanie ilorazu, - obliczanie różnicy, - kompresja logarytmiczna, - uśrednianie, filtracja, - obliczenia statystyczne,	np. $Y = aX + b$  wynik w decybelach – dB  wartość średnia, wariancja, odchylenie standardowe
Zapamiętywanie wyników	często przy nastawianej szybkości pomiarów - np. od 1pom./godz. do 1000 pom./s, pamięć typu "salwa" (burst memory)
Sygnalizowanie przekroczeń	HI/LO/PASS
Wyświetlanie wartości błędu systematycznego	
Wykrywanie połączeń galwanicznych	Brzęczyk
Test diodowy	
Wejście wielokanałowe	nazwa "multilogger"
Zegar, zadawanie odcinków czasu dla wyzwiania pomiarów	

W tablicy 3 nie zamieszczono dość istotnego dla każdego użytkownika parametru, jakim jest cena przyrządu. Parametr ten należy rozumieć jednak dość szeroko, bo koszty eksploatacji multimetru wynikają nie tylko z ceny przyrządu w dniu zakupu, ale także z konieczności okresowego sprawdzania, czy okresowej kalibracji. Należy tu zaznaczyć, że wyraźny związek między parametrami charakterystycznymi a ceną przyrządu może decydować w pewnych warunkach o przyjęciu ceny przyrządu jako jego praktycznego współczynnika jakości.

Tablica 3. Multimetry ogólnego zastosowania - parametry charakterystyczne

Parametr	Uwagi
Zakres górny, Zakres dolny	} obszar pomiarowy
Liczba cyfr wyniku	np. 5 <sup>1/2</sup>
Rozdzielczość	np. 1 LSD = 10 μV
Dokładność (błąd podstawowy)	Składowa od wskazania + składowa od końca zakresu
Liniiowość, Powtarzalność wskazań	} na ogół parametry te są wliczane do błęd podstawowego
Szybkość pomiaru (czas pomiaru)	np. 20 pom./s lub 50 ms
Poziom szumu wewnętrznego	np. 5 μV
Współczynniki tłumienia szumów	NMR, CMR, ECMR
Pasma częstotliwości (błąd dodatkowy)	Pomiary zmiennoprądowe
Współczynnik szczytu (błąd dodatkowy)	Pomiary zmiennoprądowe
Rezystancja wejściowa (pojemność wejściowa)	Pomiary napięć - przy pomiarach zmiennoprądowych
Spadek napięcia na zaciskach lub rezystancja wejściowa	Pomiary prądów
Prąd obciążenia obiektu pomiaru	Pomiary rezystancji
Minimalna dopuszczalna wartość napięcia wej.	Pomiary częstotliwości
Przedział temperatur pracy	np. 0÷55 °C
Moc pobierana ze źródła zasilania lub średni czas pracy z podanym typem źródła	
Wymiary gabarytowe	także cechy ergonomiczne
Masa (ciężar)	także odporność na wstrząsy i udary

W związku z dość dużą liczbą funkcji realizowanych w jednym przyrządzie oraz złożonością jego struktury wzrasta waga kryterium niezawodności pracy. Prócz zachowywania najdalej posuniętej staranności w selekcji elementów i podzespołów w procesie montażu u producenta - jeszcze na etapie projektowania wstawia się w strukturę i algorytmy pracy bloki i operacje auto-testowania, pozwalające na szybkie wykrywanie i wymianę uszkodzonych części przyrządu. Dziś katalog środków konstrukcyjnych poprawiających jakość metrologiczną multimetrów jest dość obszerny – najważniejsze zestawiono w tablicy 5. Informacja o ich zastosowaniu jest z reguły dołączana do opisu funkcji i parametrów każdego multimetru.

Tablica 4. Porównanie parametrów charakterystycznych dwóch multimetrów laboratoryjnych

	Agilent 34401A	Keithley 2000
Liczba cyfr wyniku	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ...6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ...6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
Napięcie stałe	100mV...1000V	100mV...1000V
Błąd podstawowy	35 ppm R + 5 ppm FS	30 ppm R + 5 ppm FS
Rozdzielczość	100 nV	100 nV
Maks. szybkość pomiaru	1000 pom./s	1850 pom./s
Rezystancja wej.	10MΩ lub do 10V>10GΩ	10MΩ, do 10V>10GΩ
Napięcie zmienne TRMS	100mV...750V	100mV...750V
Błąd podstawowy	0,06% R + 0,03% FS	0,06% R + 0,03% FS
Pasma	3 Hz...300 kHz	3 Hz...300 kHz
Współczynnik szczytu	maks. 5 : 1	maks. 5 : 1
Maks. szybkość pomiaru	50 pom./s	30 pom./s
Impedancja wej.	1MΩ/100pF	1MΩ/100pF
Inne funkcje	prąd stały i zmienny rezystancja (2 i 4 przew.) test diodowy częstotliwość i okres sprawdz. ciągłości obw. podtrzymanie wyniku przeliczanie wyniku pamięć 512 odczytów interfejs IEC-625 i V-24	prąd stały i zmienny rezystancja (2 i 4 przew.) test diodowy częstotliwość i okres temperatura sprawdz. ciągłości obw. podtrzymanie wyniku przeliczanie wyniku pamięć 1024 odczytów interfejs IEC-625 i V-24 wejscie 10-cio kanalowe

Istotny przełom w poprawie dokładności i niezawodności multimetrów wniosła możliwość

wprowadzania stałych kalibracji toru „układy kondycjonowania → przetwornik a/c” do nieulotnej pamięci CMOS.

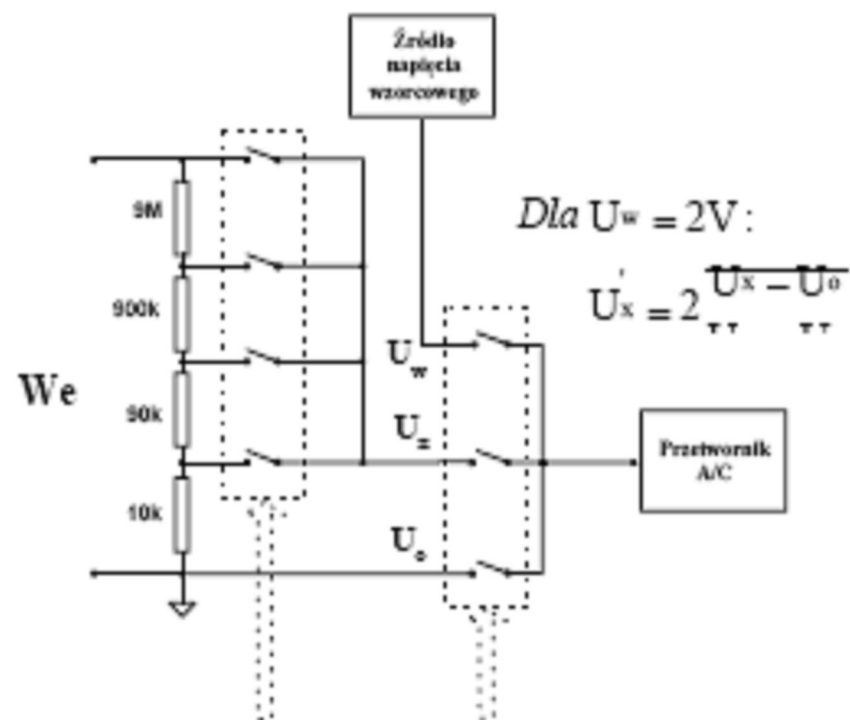
W rezultacie nowy proces kalibracji wyeliminował konieczność stosowania elementów nastawianych ręcznie oraz konieczność zdejmowania obudowy przyrządu podczas kalibracji.

Znacznie uprościł się przy tym proces rekalkibracji, stając się dostępnym również dla niezbyt zaawansowanego użytkownika [ 3].

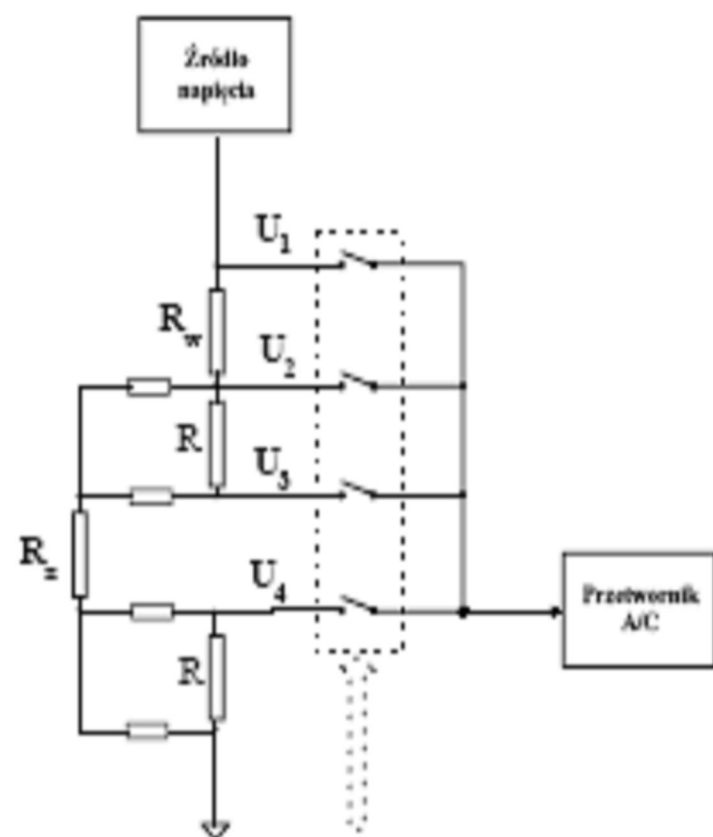
Na rys.3 pokazano popularny sposób korekcji przesunięcia zera i zmiany wzmocnienia na drodze programowej. Rys.4 ilustruje metodę cztero-zaciskowego pomiaru rezystancji. Dla uproszczenia pominięto układ wyboru zakresu, przy czym należy zauważyć, że nie jest bez znaczenia dla błędu pomiaru jaką wartość przyjmie rezystor wzorcowy  $R_w$  i przy jakich poziomach napięć pomiar będzie realizowany.

Tablica 5. Zestawienie środków konstrukcyjnych poprawiających jakość metrologiczną multimetrów

1.	Kalibracja cyfrowa – wprowadzanie do pamięci stałych kalibracji
2.	Auto-kalibracja, auto-zerowanie – cykliczne wprowadzanie poprawek do wskazań określane wspólnie jako auto-korekcja
3.	Auto-testowanie (łącznie z sygnalizacją charakteru uszkodzeń)
4.	Zabezpieczenie wejść przed przeciążeniem oraz wskaźniki przeciążenia (w tym np. wskaźnik przekroczenia dopuszczalnej wartości współczynnika szczytu przy pomiarze wartości skutecznej)
5.	Uzupełnienie odczytu cyfrowego wskazaniem analogowym
6.	Zastosowanie wskaźników alfanumerycznych
7.	Rozdzielenie galwaniczne części analogowej i cyfrowej
8.	Ekran ochronny (guard)
9.	Wejście cztero-zaciskowe (pomiar małych rezystancji)
10.	Zastosowanie układów i podzespołów elektronicznych o minimalizowanym poborze mocy (b. ważne przy zasilaniu bateryjnym)



Rys. 3. Schemat obwodu wejściowego multimetru ilustrujący metodę wprowadzania poprawki na przesunięcie zera i zmianę wzmocnienia



$$R_x = R_w \frac{U_3 - U_4}{U_1 - U_2}$$

Rys. 4. Cztero-zaciskowy pomiar rezystancji w multimetrze mikroprocesorowym

Jednym z podstawowych dylematów konstruktorów i producentów jest wybór funkcji realizowanych bezpośrednio przez multimetr. Jest zawsze pewna granica między funkcjami, które niewątpliwie należy włączyć do struktury wewnętrznej multimetru, a funkcjami, które mogą być realizowane za pomocą sprzętu wspomagającego, interfejsu i komputera.

Typowym przykładem może być wielokanałowy układ wejścia. Mamy tu do czynienia z trzema możliwościami wyboru.

**Pierwsza** - to włączenie tego układu do struktury wewnętrznej multimetru,

co pozwala na prostą realizację sterowania przełączaniem kanałów oraz eliminuje konieczność skomplikowanej ochrony toru komutowanych sygnałów przed zakłóceniami.

Rozwiązanie to wybierane jest jednak dość rzadko, gdyż - zawiązując cenę przyrządu - czyni go mało atrakcyjnym dla użytkowników nie wymagających wejścia wielokanałowego.

**Druga** możliwość, to podporządkowanie wielokanałowego układu wejścia komputerowi za pośrednictwem interfejsu. Rozwiązanie takie jest wprowadzone do przyjęcia, ale wymaga zwrócenia szczególnej uwagi na staranną ochronę toru sygnału analogowego na łączeniu z wejściem

multimetru. Ponadto mogą powstawać kłopoty związane ze sterowaniem przełączaniem kanałów przy uwzględnianiu stanów nieustalonych, co prowadzi do wydłużenia czasu komunikacji w procesie zbierania danych.

**Trzecia** możliwość, to podporządkowanie układu przełączającego multimetrowi w strukturze hierarchicznej. Z punktu widzenia komputera układ przełączający jest wtedy częścią multimetru, gdyż sterowanie przełączaniem należy do multimetru, natomiast komputer decyduje jedynie o wyborze kanału. W tym rozwiązaniu układ przełączający może być rozwiązany jako blok opcjonalny, dołączany w obudowie przyrządu na życzenie użytkownika.

Nie zawsze można dojść do tak jednoznacznego przedstawienia opcji. Zmiany w sprzęcie współpracującym (komputery, interfejsy) wywierają duży, a będą wywierać jeszcze większy wpływ na strukturę multimetrów.



Pytanie - które funkcje należy powierzyć multimetrowi, a które komputerowi? - pozostaje dość często bez wyraźnej odpowiedzi.

Zwolennicy rozwiązań ascetycznych starają się przetrzucić „ile się da” funkcji na komputer, motywując to z jednej strony oszczędnościami w sferze kosztów produkcji, z drugiej zaś, wzrastającą elastycznością zastosowań.

Wymaga to jednak rozbudowy dość dużych narzędzi programowych projektowanych z myślą o użytkowniku niezbyt zaawansowanym, zwanych dziś *zintegrowanymi środowiskami programowymi*.

Zwolennicy rozwiązań „bogaty” starają się zmieścić możliwie dużą liczbę funkcji w strukturze wewnętrznej multimetru, przy zapewnieniu prostego programowania, pozwalającego na obsługę przyrządu bez specjalnego przygotowania.

W skrajnych rozwiązaniach pojawia się tu problem przerostu funkcji nad funkcjonalnością przyrządu tzw. „wodotrysk”.

