

T2. Aparatura pomiarowa. Plan wykładu

- 1. Aparatura pomiarowa i narzędzi pomiarowe**
- 2. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych (mierników).**
- 3. Mierniki analogowe i cyfrowe**
- 4. Wymagania do aparatury pomiarowej**
- 5. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych według ich funkcji i właściwości.**

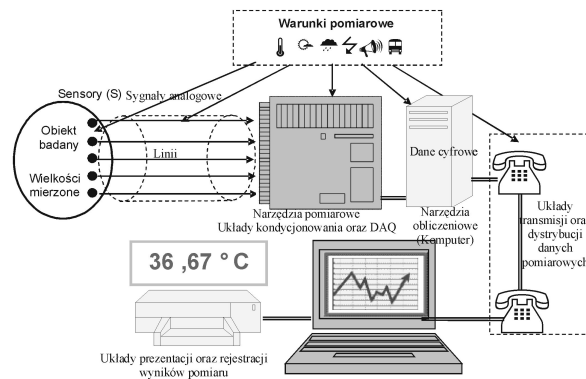
1. Aparatura pomiarowa. Narzędzi pomiarowe

Każdy pomiar wykonuje się za pomocą specjalistycznych środków technicznych – narzędzi pomiarowych, które różnią się od innych (nawet podobnych) narzędzi tym, że mają szczególnie ustalone i przypisane parametry - tak zwane charakterystyki metrologiczne.

Charakterystyki metrologiczne narzędzi pomiarowych zapewniają możliwość otrzymania nie tylko wyniku pomiaru w prawomocnych jednostkach, ale także oszacowanie pewnej miary dokładności (niedokładności) tego wyniku.

Aparatura i narzędzi pomiarowe

Najważniejsze składowe procesu pomiarowego



Aparatura i narzędzi pomiarowe

Najważniejszymi składowymi procesu pomiarowego są:

- **obiekt badany z wielkością (wielkościami) mierzoną;**
- **czujniki lub przetworniki pierwotne**, które realizują odbiór sygnału pomiarowego o wielkości mierzonej na obiekcie;
- **linie wraz z układami kondycjonowania sygnałów pomiarowych oraz układami akwizycji danych pomiarowych** (narzędzi pomiarowe), które realizują otrzymanie danych pomiarowych o wielkościach pomiarowych;
- **narzędzia obliczeniowe**, zapewniający realizację odpowiedniego algorytmu opracowania danych pomiarowych;
- układy transmisji, dystrybucji oraz rejestracji i prezentacji wyników pomiaru;

Aparatura i narzędzi pomiarowe

Do wykonania pomiaru wykorzystuje się **aparatura pomiarowa**, obejmuje ona wszystkie narzędzia pomiarowe, które odpowiadają określonym wymaganiom metrologicznym (np. zakresom, parametrom dokładności, szybkości itp.) oraz inne urządzenia pomocnicze niezbędne do realizacji pomiaru według wybranej metody.

Aparatura i narzędzi pomiarowe

Aparatura pomiarowa może być podzielona na 2 kategorii:

1) które samodzielnie realizują pełną procedurę pomiarową aż do uzyskania wartości liczbowej wyniku, głównie są to:

- przyrządy pomiarowe - mierniki analogowe i cyfrowe,
- układy pomiarowe,
- systemy pomiarowe.

Aparatura i narzędzi pomiarowe

Aparatura pomiarowa może być podzielona na 2 kategorii:

2) Narzędzi, które samodzielnie nie zapewniają pełnej procedury pomiarowej, a tylko realizują pewną składową część tej procedury i są wykorzystywane wraz z przyrządami, systemami oraz stanowiskami pomiarowymi. Głównie są to:

- **wzorce miar** służące do odtworzenia wartości jednostki,
- **czujniki (sensory) oraz inne przetworniki** wielkości mierzonych,
- **komparatory** – układy do porównania wielkości,
- **układy obliczeniowe**, służące do wykonywania pewnych operacji matematycznych i logicznych, potrzebnych do wyznaczania wartości liczbowej wyniku pomiaru.

Aparatura pomiarowa, Narzędzi pomiarowe

Najważniejszymi narzędziami pomiarowymi są:

1)

przyrządy pomiarowe;
układy (stanowiska) pomiarowe,
systemy pomiarowe,

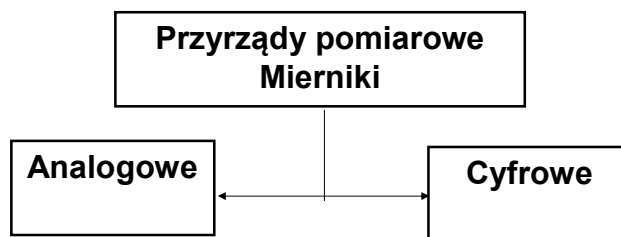
2)

wzorce,
komparatory,
czujniki (sensory), przetworniki pomiarowe,
moduły (karty) pomiarowe,
układy obliczeniowe,
inne.

2. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych

W zależności od sposobu reprezentacji wyniku pomiaru mierniki umownie można rozdzielić na analogowe i cyfrowe.

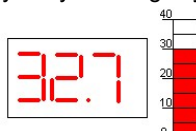
Są to najczęściej wykorzystywane narzędzi do pomiarów.



Porównanie analogowych i cyfrowych mierników

Cecha	Analogowy	Cyfrowy
Dokładność	$\pm (0,05 \div 2,5)\%$	$U_{bc} : \pm (10^{-4} \div 10^{-8})$
Czas pomiaru	sekundy	poniżej μs , ns
Odczyt	częściowo subiektywny zależy od kąta patrzenia	obiektywny
Możliwość zastosowania w systemach automatyki	w szczególnych przypadkach	tak
Zakres częstotliwości pracy	Kilku GHz	Kilku set MHz
Szybki przybliżony odczyt	tak	nie
Szybka ocena kierunku zmian wielkości mierzonej	tak	nie

Kombinowany cyfrowy i analogowy odczyt wartości mierzonej.



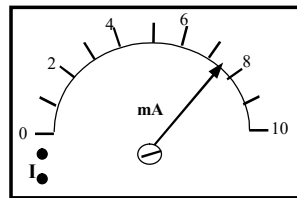
3. Mierniki analogowe i cyfrowe

Z punktu widzenia użytkownika (eksperymentatora) mierniki różnią się pomiędzy sobą uzyskaniem wyniku pomiaru.

W **analogowych** miernikach **wartość wielkości mierzonej** zwykle jest **przetwarzana w kątowe lub liniowe przesunięcie wskazówki, plamki świetlnej, powierzchnia cieczy** lub inne.

To przemieszczenie jest analogiem mechanicznym wartości wielkości mierzonej.

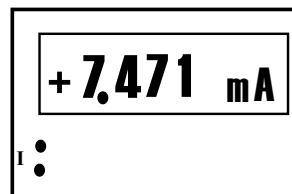
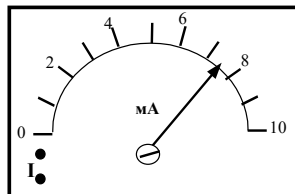
Liczbowa wartość wielkości mierzonej uzyskuje się **bezpośrednio za uczestnictwa eksperymentatora**, który wykonuje odczyt na podziałce przyrządu.



3. Mierniki analogowe i cyfrowe

W miernikach **cyfrowych** wartość wielkości mierzonej uzyskuje się automatycznie, bezpośrednio w postaci wartości liczbowej z odpowiednią jednostką.

Eksperymentator bezpośrednio nie uczestniczy w formowaniu wyniku.



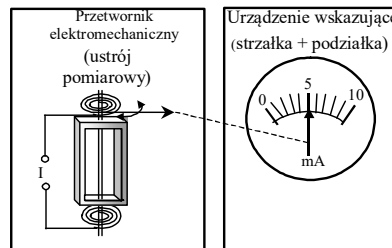
3.1. Mierniki analogowe

Istnieją **dwaj** rodzaje **analogowych** mierników: **elektromechaniczne** oraz **elektroniczne**.

Elektromechaniczny analogowy miernik zawiera dwie podstawowe części składowe:

przetwornik elektromechaniczny pomiarowy oraz **urządzenie wskazujące**.

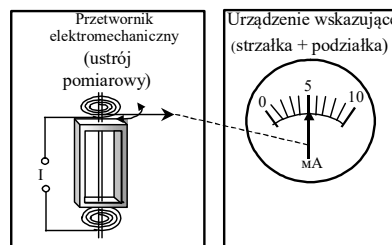
W **przetworniku (ustroju) miernika** odbywa się przetwarzanie wielkości elektrycznej (prądu lub napięcia) w przesunięcie mechaniczne (kątowe lub liniowe) części ruchomej mechanizmu.



3.1. Mierniki analogowe

Urządzenie wskazujące zawiera **podziałkę** (ze zbiorem kresek wraz z towarzyszącym ocyfrowaniem) wraz ze **wskazówką** (mechaniczną – strzałką, świetlną – plamka lub słupek, ciecz – wysokość słupka itp.).

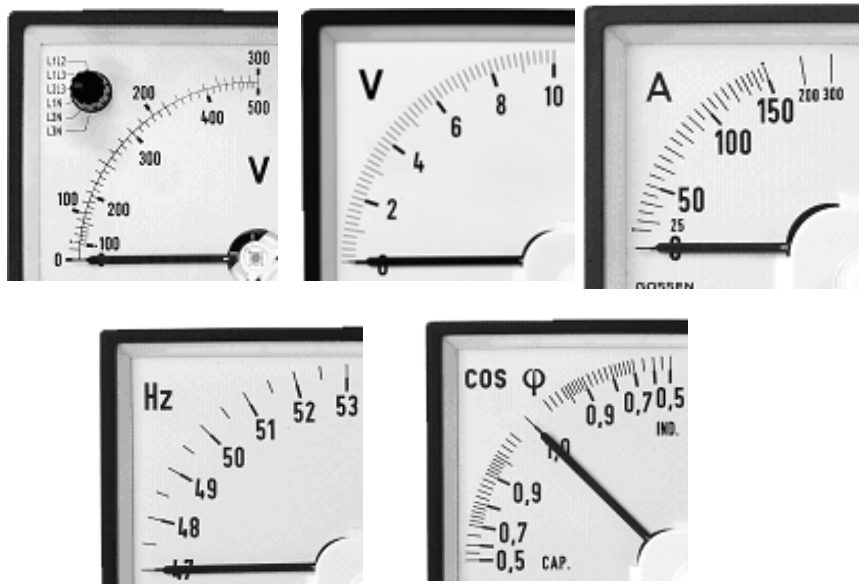
Z celem pomiaru innych wielkości (np. rezystancja, moc, itp.), oraz dla zmiany zakresów pomiarowych mechanizm pomiarowy włącza się w odpowiedni sposób w **schemat układu pomiarowego przyrządu**.



3.1.Mierniki analogowe (multimetry)



3.1.Mierniki analogowe (tablicowe)



3.1. Watomierz analogowy elektrodynamiczny



Typowe parametry elektromechanicznych mierników

Typowe elektromechaniczne mierniki charakteryzują się następującymi parametrami:

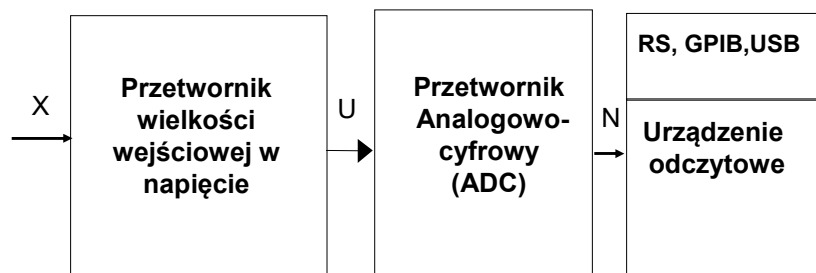
Pełne odchylenie wskazówki powodują prądy od 10mA do 100mA i napięcia od 1mV do 600V (1000V).

Na **prądzie zmiennym czułość jeszcze gorsza**. Dalszy **wzrost czułości można osiągnąć tylko stosując wzmacniacze (elektroniczne analogowe mierniki)**.

Podobnie **zmniejszenie rezystancji wejściowej amperomierze** oraz **zwiększenie rezystancji wejściowej woltomierze** można uzyskać stosując wzmacniacze (**elektroniczne analogowe mierniki**).

W miernikach **elektromechanicznych** (oprócz woltomierze elektrostatycznych) **ograniczone jest także pasmo częstotliwości sygnału mierzonego do kilku set Hz - kilku kHz**.

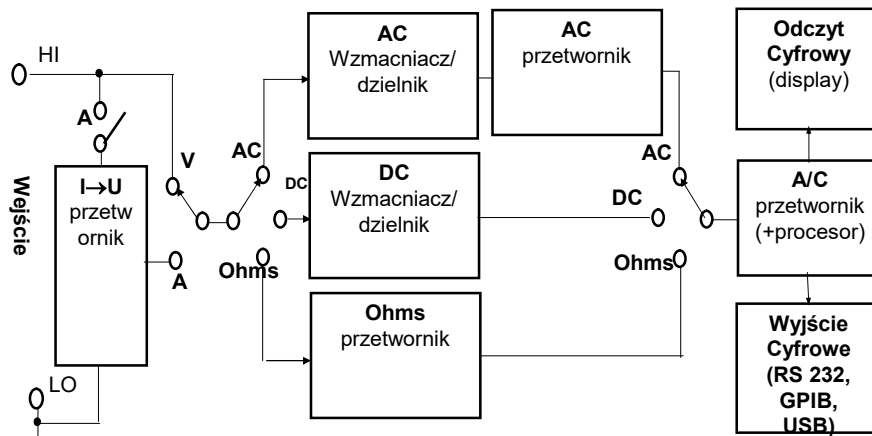
3.2. Mierniki cyfrowe. Schemat strukturalny elektronicznego cyfrowego miernika



3.2. Mierniki cyfrowe



3.2. Przykładowy schemat strukturalny multimetru elektronicznego cyfrowego (DMM - ang. Digital Multi-Meter)



Multimetr Metex MXD 4660A



Multimetr HP-34401A



4. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych według ich funkcji i właściwości

W zależności od zakresów i warunków pomiaru (właściwości obiektu – rezystancja, pasmo częstotliwości) rozróżnia się:

- multimetry;
- elektrometry,
- nanowoltomierzy,
- pikoamperomierzy,
- mikro-omomierzy,
- przyrządy źródła – mierniki,
- oscyloskopy
- oraz inne.

4. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych według ich funkcji i właściwości

Multimetry

są to przyrządy dla pomiarów:

- napięć powyżej 1 mV ;
- prądów powyżej 1 mA, oraz
- rezystancji poniżej 1 GΩ.

Rezystancja wejściowa woltomierza (R_v) DMM stanowi od około (1-10-100) MΩ do maksymalnie (1-10) GΩ

Rozdzielczość DMM wynosi od 3½ cyfr dziesiętnych (bardzo tanie) aż do drogiej 6½-7½ cyfr dziesiętnych.

Maksymalna czułość DMM stanowi do (0,1-0,01) mV (do 10 nV).

4. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych według ich funkcji i właściwości

Elektrometry

Są to przyrządy pomiarowe dla pomiarów napięć, prądów, ładunku i rezystancji przy następujących warunkach:

- prądów poniżej 1 μ A do 100 pA, napięcie źródła przy pomiarach prądu jest poniżej kilku set mV;
- napięcia poniżej 1 μ V, źródło napięcia ma rezystancją wyjściową rzędu 1 MΩ i wyżej do 10 TΩ ;
- rezystancji powyżej 1 GΩ;
- pomiar ładunku;
- pomiary przy porównywalnych wartościach szumów cieplnych oraz innych.

Rezystancja wejściowa woltomierza elektrometru stanowi typowo od około 100 TΩ nawet do około 100 PΩ.

6517B Electrometer/High Resistance Meter



3. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych według ich funkcji i właściwości

Nanowoltomierzy

Są to bardzo czułe, pracujące w **pobliżu teoretycznej granicy czułości** w porównaniu do elektrometrów.

Nanowoltomierzy zapewniają też inne właściwości, np. lepszą szybkość pomiaru, lepsze tłumienie szumów i zakłóceń.

3. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych według ich funkcji i właściwości

Pikoamperomierze

Są to bardzo czułe, pracujące w pobliżu teoretycznej granicy czułości oraz przy mniejszych wartościach spadku napięcia (tzw. voltage burden) w porównaniu do elektrometrów.

Pikoamperomierze zapewniają też inne właściwości, np. lepszą szybkość pomiaru lub możliwość logarytmicznej charakterystyki.

4. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych według ich funkcji i właściwości

Mikro-omomierze

Mikro-omomierz jest to specjalny omomierz przeznaczony do pomiaru bardzo niskich wartości rezystancji.

Typowy mikro-omomierz ma czułość do około $10 \mu\Omega$.

Pomiar małych rezystancji odbywa się przez 4-przewodowe podłączenie obiektu badanego (w celu eliminacji wpływu rezystancji przewodów) oraz charakteryzują się dodatkowymi (w porównaniu do DMM) funkcjami.

Z pośród nich jest to możliwość kompensacji napięcia przesunięcia (offset), spowodowanego przykładowo termoelektryczną SEM, możliwość ograniczenia napięcia wzdłuż badanej rezystancji do bardzo niskiego poziomu (typowo poniżej 20 mV), co jest bardzo ważne przy testowaniu takich elementów jak kontakty przełączników, kluczy oraz (rele) kontaktronów.

4. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych według ich funkcji i właściwości

Przyrządy źródła – mierniki

Source-Measure Unit - SMU

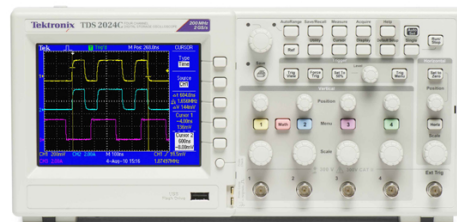
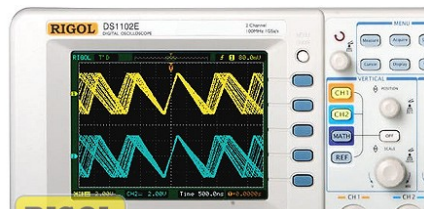
są to przyrządy, funkcjami których są:

- pomiar napięcia;
- pomiar prądu;
- źródło napięcia;
- źródło prądu.

SMU pozwalają na jednoczesne dokładne (o zadanej wartości):

- wymuszanie obiektu napięciowe i pomiar prądu odpowiedzi oraz
- wymuszanie obiektu prądowe i pomiar napięcia odpowiedzi.

Oscyloskopy cyfrowe



Zastosowanie oscyloskopu cyfrowego

- Oscyloskop cyfrowy jest to przyrząd pomiarowy zapewniający:
 - - wizualizacji przebiegów czasowych sygnałów napięciowych, zwykle od 2-ch do 4-ch kanałach;
 - - rejestracji sygnałów,
 - - pomiarów parametrów sygnałów (amplitudowych i czasowo – częstotliwościowych) – funkcji multimetru oraz miernika ,
 - - wykonywanie opracowania zaobserwowanych próbek sygnału, (np. obliczanie FFT, analiza widma, filtracja, uśrednianie oraz inne operacje matematyczne, analiza stanów logicznych w układach cyfrowych).

5. Ogólne wymagania do aparatury pomiarowej

Podstawowymi wymaganiami są:

- **Możliwość pomiaru wartości wielkości w zadany zakresie** (tak małych jak i dużych wartości), jest to wymagania amplitudowe;
- **Możliwość pomiarów wielokanałowych** – kilka wielkości jednego lub różnego rodzaju
- **Brak obciążenia obiektu badanego** – odpowiednia wartość rezystancji wejściowej
- **Zadana dokładność pomiarów**, zapewnia się odpowiednią klasą dokładności woltomierza oraz innymi wartościami jego parametrów: stabilnością temperaturową oraz czasową, odpornością na inne wielkości wpływające

5. Ogólne wymagania do aparatury pomiarowej

- **Odporność na oddziaływania zakłóceń** tak regularnych jak i losowych wpływu zakłóceń to wymaganie jest ważne przy pomiarach wielkości niskiego poziomu, w warunkach przemysłowych
- **Szybkość pomiaru** – to wymaganie jest ważne przy pomiarach wielkości szybko zmiennych (dynamicznych),.
- **Możliwość współpracy z PC** – jest to ważne przy automatyzacji pomiarów
- **Możliwość opracowania wyników** wg zadanego algorytmu
- **Łatwość obsługi**
- **Niska cena oraz niski koszty pomiarów**