

Pomiary

Krytyczne podejście do
dokładności wyników badań

Odwzorowanie rzeczywistości

- Pierwotny sposób odwzorowania rzeczywistości to obserwacje
- Ich wynikiem są wrażenia (wynik procesów fizjologiczno-psychologicznych)
- Powtarzalne obserwacje zjawisk i towarzyszących im wrażeń są podstawą do stworzenia wzorca psychologicznego (mentalnego)

Odwzorowanie rzeczywistości

- Wzorzec psychologiczny wykorzystywany jest do porównania wrażeń na podobne i niepodobne – pojawia się niedoskonała skala
- Wzorzec psychologiczny jest subiektywny i niejednoznaczny. Pozwala na ustalenie obrazu jakościowego obserwowanego obiektu – żywej istoty, przedmiotu martwego lub zjawiska fizycznego

Odwzorowanie rzeczywistości

- Obraz ilościowy obserwowanego obiektu możliwy jest do uzyskania, gdy odwzorowujemy właściwości tego obiektu w dziedzinie liczb. Proces ten ma charakter obiektywny i nazywa się pomiarem.

Odwzorowanie rzeczywistości

- Właściwości obiektu, które można wyznaczyć jakościowo lub ilościowo nazywa się wielkościami mierzalnymi
- Przyjmując jako kryterium strukturę wielkości mierzalnych, wyróżnia się:
 - wielkości ciągłe (analogowe)
 - wielkości ziarniste (dyskretne)

Odwzorowanie rzeczywistości

- Wielkości ciągłe mogą przyjmować w danym przedziale nieskończenie wiele dowolnych wartości
- Wielkości ziarniste mogą przyjmować tylko określone wartości różniące się o skończony skok

Pomiar

- Pomiar to proces poznawczy polegający na porównaniu, z odpowiednią dokładnością, wartości mierzonej z określoną jej wartością przyjętą za jednostkę miary

Pomiar

- Jednostka miary to umownie przyjęta wartość danej wielkości służąca do porównania ze sobą innych wartości tej samej wielkości
- Zbiór jednostek miar wielkości mierzalnych nosi nazwę układu jednostek miar
- Obowiązujący międzynarodowy układ jednostek to tzw. układ SI

System pomiarowy

- System pomiarowy to zbiór przyrządów tworzących jedną organizacyjną całość przeznaczoną do obserwacji, porównania i rejestracji wyników pomiarów

Metoda pomiarowa

- Metoda pomiarowa to zespół czynności wykonywanych podczas pomiaru celem określenia wartości wielkości mierzonej (wyniku pomiaru)

Metoda pomiarowa

- Tę samą wielkość fizyczną można mierzyć różnymi metodami – mamy do czynienia z dużą różnorodnością metod pomiarowych
- Nie ma metod bezwzględnie optymalnych! Są tylko metody dostosowane do mierzenia określonych cech w określonych warunkach ich występowania

Metoda pomiarowa

- W zależności od sposobu otrzymywania wartości wielkości mierzonej metody pomiarowe dzieli się na:
 - bezpośrednie
 - pośrednie
 - złożone

Metoda pomiarowa

- Metody pomiarowe bezpośrednie to pomiary, w wyniku których wartość wielkości mierzonej otrzymuje się bezpośrednio, bez potrzeby wykonywania dodatkowych obliczeń opartych na zależności funkcjonalnej wielkości mierzonej od innych wielkości
np. pomiar masy wagą z podziałką, pomiar długości linijką

Metoda pomiarowa

- Metody pomiarowe pośrednie to pomiary, w wyniku których wartość wielkości mierzonej otrzymuje się pośrednio, z pomiarów bezpośrednich innych wielkości związanych zależnością funkcjonalną z wielkością mierzoną
np. pomiar gęstości ciała na podstawie pomiarów jego masy i objętości

Metoda pomiarowa

- Metody pomiarowe złożone to pomiary polegające na bezpośrednim lub pośrednim wyznaczeniu wartości pewnej liczby wielkości związanych ze sobą zależnością funkcjonalną w postaci układu równań

Rachunek błędów

- Źródło błędów pomiarowych:
 - ograniczona dokładność narzędzi pomiarowych
 - zmienność warunków fizycznych, w których odbywa się pomiar
 - niedostateczna znajomość wszystkich okoliczności związanych z badanym zjawiskiem

Rachunek błędów

- Efektem błędów pomiarowych jest różnica pomiędzy otrzymanym wynikiem pomiaru a wartością rzeczywistą wielkości mierzonej. Różnica między tymi wartościami jest nazywana błędem.
- Wynik jest dokładniejszy, im mniejszy jest błąd.

Rachunek błędów

- Różnica między wartością X będącą wynikiem pomiaru a wartością rzeczywistą X_r wielkości mierzonej jest nazywana błędem bezwzględnym pomiaru:

$$\Delta X = X - X_r$$

- Błąd bezwzględny wyrażany jest w jednostkach miary wielkości mierzonej

Rachunek błędów

- Stosunek błędu bezwzględnego pomiaru do wartości rzeczywistej wielkości mierzonej nazywa się błędem względnym pomiaru:

$$\delta_X = \frac{\Delta X}{X_r}$$

- Błąd względny wyrażany jest zwykle w procentach

Rachunek błędów

- Uwaga!

Tak zdefiniowane błędy są z reguły nieokreślone. Wartość rzeczywista wielkości mierzonej nie jest znana!

Rachunek błędów

- Rozwiązanie problemu:

W technice pomiarowej do określenia niedokładności pomiaru używa się pojęcia błędu, w definicji którego wartość rzeczywistą X_r zastępuje się wartością poprawną X_p .

Rachunek błędów

- Za wartość poprawną przyjmuje się wartość liczbową przybliżoną do wartości rzeczywistej taką, że różnica między nimi może być pominięta z punktu widzenia celu pomiaru.

Rachunek błędów

- Błąd bezwzględny poprawny ΔX_p , wzięty ze znakiem przeciwnym, nazywa się poprawką:

$$p = -\Delta X_p = X_p - X$$

Rachunek błędów

- Dodając algebraicznie poprawkę do wartości otrzymanej z pomiaru, otrzymuje się wynik skorygowany, równy wartości poprawnej:

$$X_p = X + p$$

Rachunek błędów

- Praktyczną miarą niedokładności pomiaru są graniczne błędy pomiaru:

$$\Delta X_{min} \quad \Delta X_{max}$$

Rachunek błędów

- Graniczne błędy pomiaru to zakres najmniejszego przedziału wokół zmierzonej wartości X , wewnątrz którego znajduje się wartość rzeczywista X_r :

$$X - \Delta X_{min} \geq X_r \geq X - \Delta X_{max}$$

Rachunek błędów

- Odejmując od zmierzonej wartości X , wartość rzeczywistą X_r otrzymuje się:

$$\Delta X_{min} \leq \Delta X \leq \Delta X_{max}$$

Rachunek błędów

- Ponieważ błędy pomiaru są sobie równe:

$$\Delta X_{min} = -\Delta X_{max} = \Delta X_g$$

więc:

$$X - \Delta X_g \leq X_r \leq X + \Delta X_g$$

Rachunek błędów

- Najczęściej spotykana postać:

$$X_r = X \pm \Delta X_g$$

Rachunek błędów

Reasumując:

- wynikiem pomiaru są dwie liczby:
 - wartość zmierzona X ,
 - błąd graniczny ΔX_g
- wynik pomiaru bez oceny jego niedokładności nie zawiera użytecznej informacji – JEST BEZWARTOŚCIOWY

Przyczyny powstawania błędów

Ze względu na warunki fizyczne pomiaru
błędy dzieli się na:

- błędy podstawowe
- błędy dodatkowe

Przyczyny powstawania błędów

- Błędy podstawowe występują w warunkach znamionowych, tzn. w warunkach, dla których określono właściwości przyrządu pomiarowego
- Błędy dodatkowe powstają w warunkach różniących się od znamionowych. Nazywa się je zależnymi od przyczyn powstania: temperatury, pola elektromagnetycznego itp.

Przyczyny powstawania błędów

Jest wiele kryteriów podziału błędów (statyczne, dynamiczne, próbkowania, odczytu, zliczania itp.). Najogólniejsze kryterium dzieli błędy za względu na zachowanie wartości mierzonej przy kolejnych powtórzeniach doświadczenia:

- błędy systematyczne
- błędy przypadkowe

Błędy systematyczne

- Błąd systematyczny to błąd, który w trakcie powtarzania pomiaru tej samej wielkości pozostaje stały lub zmienia się wg określonego prawa
- Przyczyna – ograniczona dokładność przyrządów pomiarowych

Błędy systematyczne

- Błąd systematyczny $\Delta_s X$ można zdefiniować jako różnicę między średnią arytmetyczną $X_{\acute{s}r}$ wyników z nieskończenie dużej liczby pomiarów tej samej wielkości a wartością rzeczywistą

$$\Delta_s X = X_{\acute{s}r} - X_r$$

Błędy systematyczne

- JEŻELI MOŻNA WYZNACZYĆ konkretną wartość i znak błędu systematycznego (np. obliczając błąd metody pomiarowej lub dzięki wykresowi poprawek załączonemu do przyrządu pomiarowego) to w celu skompensowania tego błędu należy do wyniku pomiaru dodać poprawkę p .

Błędy systematyczne

- Przykładowa eliminacja błędów systematycznych:
 - sięgnięcie po dokładniejsze przyrządy pomiarowe
 - eliminacja źródeł błędów np. stabilizacja temperatury otoczenie
 - metoda zastępowania w trakcie pomiaru wielkości badanej wielkością wzorcową i określając poprawkę

Błędy przypadkowe

- Błędy przypadkowe to błędy zmieniające się w sposób nieprzewidywany, zarówno co do wartości jak i co do znaku, przy wykonywaniu dużej liczby pomiarów w warunkach pozornie niezmiennych. Na podstawie wyników wielu pomiarów można wyznaczyć ich parametry statystyczne

Błędy przypadkowe

- Błędy przypadkowe są zmienną losową
- Wartość błędu rozumiana jest jako wartość graniczna
- Wartości błędów przypadkowych sumuje się geometrycznie, tzn. błąd sumaryczny jest równy pierwiastkowi z sumy kwadratów błędów cząstkowych

Błędy przypadkowe

- Ponieważ wyniku pomiaru obarczonego błędem przypadkowym nie można przewidzieć przed pomiarem, wynik pomiaru i obciążający go błąd traktuje się jako zmienną losową

Opracowanie wyników pomiarów

- Opracowanie polega na podaniu pary liczb:
 - wartości prawdopodobnej wielkości mierzonej
 - granicznego przedziału ufności

Opracowanie wyników pomiarów

- Za wartość najbardziej prawdopodobną wielkości mierzonej przyjmuje się średnią arytmetyczną

Opracowanie wyników pomiarów

- Graniczny przedział ufności określany jest w zależności od liczby pomiarów; albo za pomocą rozkładu normalnego, albo za pomocą rozkładu Studenta

Opracowanie wyników pomiarów

- Rozkład normalny Gaussa:

graniczny przedział ufności to: $\pm 3 \cdot \sigma$

a wynik:

$$X_{\acute{s}r} \pm 3 \cdot \sigma$$

- rozkład Studenta:

graniczny przedział ufności to: $\pm t_{\gamma,k} \cdot \sigma$

a wynik:

$$X_{\acute{s}r} \pm t_{\gamma,k} \cdot \sigma$$

Odczyt wyników

Urządzenia pomiarowe analogowe:

- Wskazania są ciągłą funkcją tej wartości
- Wskazują mierzoną wartość z określoną dokładnością określoną identycznie jak błąd pomiaru
- Dokładność jest określona przez klasę dokładności wskazującą granice błędów wnoszonych do pomiaru przez miernik

Odczyt wyników

Urządzenia pomiarowe analogowe:

- Przyjmuje się, że zdolność rozdzielcza podziałki jest nie większa niż 0,1 działki
- Praktycznie wynik odczytuje się w dokładnością do 0,5 działki

Odczyt wyników

Urządzenia pomiarowe analogowe:

- Przykład pomiaru:
 - zakres miernika 0-400V
 - klasa 1
 - zmierzone napięcia 4 V, 100 V, 200 V

Jakie są błędy pomiaru?

Odczyt wyników

Rozwiązanie:

- klasa 1 oznacza, że błąd bezwzględny pomiaru nie powinien przekroczyć wartości 1% od 400 V w dowolnym punkcie podziałki, czyli $\pm 4 \text{ V}$
- zatem
 - dla zmierzonego napięcia 4 V błąd względny wynosi $\pm 100\%$ ($4 \text{ V} \pm 4 \text{ V}$) !!!

Odczyt wyników

- dla zmierzonego napięcia 4 V błąd względny wynosi $\pm 4\%$ ($100 \text{ V} \pm 4 \text{ V}$)
- dla zmierzonego napięcia 4 V błąd względny wynosi $\pm 2\%$ ($200 \text{ V} \pm 4 \text{ V}$)
- Wniosek: Należy dobierać zakres zdolności pomiarowej przyrządu pomiarowego do poziomu wartości mierzonej wielkości fizycznej

Odczyt wyników

Urządzenia pomiarowe cyfrowe

- Wskazania są ziarnistą postacią pomiaru
- Charakteryzują się mniejszym błędem pomiaru
- Dokładność odczytu określona jest przez najmniej znaczącą wartość widoczną na wyświetlaczu

Przedstawienie wyników

- Wynik pomiaru jest liczbą przybliżoną
- Stopień przybliżenia określa liczba cyfr znaczących
- Cyfry znaczące liczy się od początku od pierwszej cyfry różnej od zera z lewej strony

Przedstawienie wyników

- Cyfry znaczące – przykład:
 - 0,00032 dwie cyfry znaczące
 - 2,13001 sześć cyfr znaczących
 - 52,934020 osiem cyfr znaczących

ZERO NA KOŃCU LICZBY JEST CYFRĄ
ZNACZĄCĄ

Przedstawienie wyników

- Błąd pomiaru (graniczny przedział ufności) określa niedokładność OSTATNICH cyfr znaczących wyniku pomiaru
- Błąd pomiaru wyraża się zwykle tylko jedną cyfrą znaczącą
- Przy pomiarach bardzo dokładnych lub gdy wynik będzie wykorzystywany do dalszych obliczeń błąd pomiaru wyraża się dwiema cyframi znaczącymi

Przedstawienie wyników

- Wynik pomiaru, tzn. zmierzona wartość i jej błąd muszą być podane w formie właściwie zaokrąglonej
- Liczba cyfr po przecinku musi być jednakowa dla obu tych parametrów

Przedstawienie wyników

- Przykład wyniku pomiaru przed korektą zapisu:
 - $154,234 \pm 0,3$
 - $154,2 \pm 0,123$
 - $291,23 \pm 1,2$
 - $0,00989 \pm 0,000021$

Przedstawienie wyników

- Rozwiązanie przykładu:
 - $154,2 \pm 0,3$
 - $154,2 \pm 0,1$
 - $291,2 \pm 1,2$
 - $0,00989 \pm 0,00002$

Literatura

- J. Czajewski *Podstawy metrologii elektrycznej* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
- A. Chwaleba, M. Poniński, A. Siedlecki *Metrologia elektryczna* WNT Warszawa 2003