



LABORATORIUM
MIERNICTWA ELEKTRYCZNEGO

POMIAR NAPIĘCIA W OBECNOŚCI ZAKŁÓCEŃ

POMIAR NAPIĘCIA W OBECNOŚCI ZAKŁÓCEŃ

1. Wprowadzenie

Pomiar dowolnej wielkości jest zawsze wykonywany z określoną niepewnością. Bezbłędny pomiar, ze względu na ograniczoną dokładność przyrządów pomiarowych, uproszczenia związane z określeniem modelu zjawisk występujących podczas wykonywania pomiaru, a także z zakłóceniami i szumami oddziałującymi na układ pomiarowy, nie jest możliwy. Wynik pomiaru jest więc zawsze obarczony z pewnym błędem. W większości przypadków wartość tego błędu nie jest znana. Wynik pomiaru należy więc uważać za zmienną losową, której parametry można oszacować metodami znanymi ze statystyki. Metody te umożliwiają oszacowanie granic przedziału wewnątrz którego, z określonym prawdopodobieństwem, znajduje się prawdziwa (nieznana) wartość mierzona. Poprawne oszacowanie granic takiego przedziału jest warunkiem uznania wyniku pomiaru za w pełni wartościowy. Procedura wyznaczania oszacowania niepewności pomiaru została sformalizowana w 1993 roku przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (International Standards Organization, ISO) i jest zalecana do stosowania przez międzynarodowe i krajowe organizacje metrologiczne.

W zależności od źródeł pochodzenia niepewności, wyróżnia się dwa rodzaje tzw. niepewności standardowych:

- niepewność standardową obliczaną metodą typu A
- niepewność standardową obliczaną metodą typu B

Niepewność typu A - $u_A(x)$, dotyczy przypadków, gdy wyniki pomiarów wielkości x są obarczone błędami o charakterze losowym, a do jej wyznaczenia stosowane są metody statystyczne. Jeżeli powtarzanie pomiaru w tych samych warunkach, tym samym przyrządem, daje wyniki o różnych wartościach (np. wskutek oddziaływania zakłóceń lub szumów), końcowy wynik pomiaru otrzymuje się na podstawie serii n wyników pomiarów.
Przyjmuje się, ze najlepszym oszacowaniem wartości wielkości mierzonej (wartości oczekiwanej wskazania przyrządu pomiarowego) jest średnia arytmetyczna wskazań:

$$x_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \tag{1}$$

natomiast granice przedziału wewnątrz którego zawiera się z określonym prawdopodobieństwem nieznana prawdziwa wartość wielkości mierzonej jest odchylenie empiryczne wartości średniej wskazań:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - x_{sr})^2}{n(n-1)}}. \tag{2}$$

Jeżeli zakłócenia i szumy wpływające na wynik pomiaru można traktować jako zmienną losową o rozkładzie normalnym, to wartość odchylenia empirycznego wyznacza granice przedziału wewnątrz którego znajduje się prawdziwa wartość wielkości mierzonej z prawdopodobieństwem 68%. Przedział wokół wartości oczekiwanej o takich granicach nazywamy przedziałem standardowym i nazywamy niepewnością standardową typu A:

$$u_{\mathrm{A}}(x)=\mathrm{s}(x) \tag{3}$$

Pomiar jest zawsze związany z wykorzystywaniem przyrządów o ograniczonej dokładności. Wartości błędów wskazań wykorzystywanego w pomiarach przyrządu są z reguły nieznane. Jeżeli przyrząd pomiarowy jest stosowany zgodnie z warunkami podanymi przez jego producenta, znane są wartości granic przedziału wewnątrz którego znajduje się prawdziwa wartość wielkości mierzonej tym przyrządem. Dla przyrządów cyfrowych (np. multimetrów) wytwórcy podają najczęściej wartości odnoszące się do przedziału granicznego jako sumę dwóch składników:

$$\Delta_{\mathrm{m}}(x)=\mathrm{a\%\,wartości_wskazanej} + b\%\,\mathrm{zakresu_pomiarowego} \tag{4}$$

Wartości *a*% i *b*% są podawane w specyfikacji przyrządu (instrukcji obsługi).

Na podstawie obliczonej wartości przedziału granicznego należy obliczyć wartość niepewności aparaturowej, związanej z ograniczoną dokładnością jego wskazań. W tym celu posługujemy się procedurami odnoszącymi się do wyznaczania niepewności typu B - $u_{\mathrm{B}}(x)$. Pierwszym krokiem w tej procedurze jest określenie typu rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej związanej z pomiarem przyrządem o ograniczonej dokładności wskazań. Na podstawie znanych zasad przetwarzania sygnałów w multimetrach cyfrowych oraz wieloletnich badań błędów aparaturowych tego typu przyrządów przyjmuje się, że odczyt wartości wielkości mierzonej charakteryzuje się równomiernym (prostokątnym) rozkładem gęstości prawdopodobieństwa. Ponieważ pojęcie niepewności standardowej jest związane z odchyleniem standardowym σ_x zmiennej losowej, a dla rozkładu prostokątnego, o granicach $\pm\Delta_{\mathrm{m}}(x)$, odchylenie standardowe jest równe $\sigma_x=\Delta_{\mathrm{m}}(x)/\sqrt{3}$, to przyjmuje się:

$$u_{\mathrm{B}}(x)=\frac{\Delta_{\mathrm{m}}(x)}{\sqrt{3}}. \tag{5}$$

Podczas wykonywania serii pomiarów multimetrem występują dwa źródła niepewności:

- niepewność wynikająca z oddziaływania zakłóceń i szumów na wielkość mierzoną, której wartość oszacowano metodami statystycznymi
- niepewność aparaturowa, związana z ograniczoną dokładnością wskazań przyrządu, oszacowana na podstawie danych podanych przez producenta oraz wiedzy i doświadczenia osób przeprowadzających pomiary.

Wypadkową niepewność (niepewność złożoną) związaną z wyznaczeniem wartości wielkości mierzonej w tym eksperymencie oblicza się z zależności:

$$u_{\mathrm{C}}(x)=\sqrt{u_{\mathrm{A}}^2(x)+u_{\mathrm{B}}^2(x)}. \tag{6}$$

Niepewność złożona określa granice przedziału, wewnątrz którego (z prawdopodobieństwem ok. 68%) znajduje się nieznana prawdziwa wartość wielkości mierzonej, pod warunkiem, że

niepewność ta dotyczy zmiennej losowej o rozkładzie normalnym. Jeżeli postać rozkładu zmiennej losowej nie jest znana, nie można oszacować wartości tego prawdopodobieństwa.

W niektórych zastosowaniach wyznacza się dodatkową miarę niepewności - niepewność rozszerzoną $U(x)$. Dotyczy to zastosowań, dla których wymaga się określenia granic przedziału wokół wyniku pomiaru, wewnątrz którego znajduje sie większa od standardowej część rozkładu wartości:

$$U(x)=k\ u_c(x) \tag{7}$$

gdzie k jest współczynnikiem rozszerzenia, którego wartość określa się w zależności od wymaganego poziomu ufności - prawdopodobieństwa, z jakim wartość prawdziwa znajdzie się w granicach tak zdefiniowanego przedziału.
Poprawne wyznaczenie granic takiego rozszerzonego przedziału wymaga znajomości typu rozkładu. Najczęściej typ rozkładu nie jest dokładnie określony, stąd niepewność rozszerzona jest znana z ograniczoną dokładnością. Często zakłada się, że niepewność złożona $u_c(x)$ charakteryzuje się rozkładem zbliżonym do normalnego. Wtedy najczęściej stosowanemu współczynnikowi rozszerzenia k=2 odpowiada poziom ufności (prawdopodobieństwo) p=95%, a dla k=3 otrzymuje się p=99,7%.

2. Zastosowanie multimetru RIGOL 3052

Multimetr cyfrowy RIGOL 3052 umożliwia pomiar serii wyników pomiaru napięcia i ich rejestrację w pamięci przyrządu w trzech trybach pracy:

- wyzwalania automatycznego **Auto**
- jednorazowego **Single** z wyborem określonej liczby odczytów: **Trig** → **Single**
- w trybie szybkiej akwizycji danych **Data Log** (tylko dla funkcji pomiaru napięcia stałego – *DCV*)

Po akwizycji serii wyników pomiaru wybierając przyciskiem menu ekranowego funkcję pamięci historycznej **History**, można zachować i przeglądać wyniki pomiarów. Dostępne są następujące opcje w menu rozwijanym:
- **Info**, zawiera informacje dotyczące ustawień oraz liczby zapisanych wyników pomiaru,
- **List**, zawiera tabelę z zarejestrowanymi wynikami pomiarów,
- **HistoG**, wyświetla rozkład prawdopodobieństwa wyników w postaci histogramu,
- **Update**, umożliwia aktualizację danych historycznych,
- **Save**, służy do zachowywania odczytu w pamięci.

Wyniki pomiarów można zapisać w postaci pliku w pamięci przyrządu lub dołączonej zewnętrznej pamięci USB.

W trybie szybkiej akwizycji danych możliwe są ustawienia trybu wyświetlania (*Display mode*) oraz parametrów startu i końca rejestracji danych pomiarowych. Po dokonaniu koniecznych ustawień, przyciskiem **Run/Hold** inicjuje się procedurę szybkiej akwizycji danych. Parametry szybkiej akwizycji danych są ustawiane za pomocą rozwijanego menu. Po naciśnięciu przycisku **Data Log** wyświetlane jest menu z którego wybiera się opcję **Log** , która powoduje wejście do menu ustawień funkcji szybkiej akwizycji danych.

Menu ustawień funkcji szybkiej rejestracji danych pomiarowych

Opcja	Ustawienie	Opis
Sa/s	1/10 min 1/5 min ⋮ 50 k/s	Ustawienie częstotliwość próbkowania mierzonego sygnału wejściowego. Dostępna jest jedna z 13 wartości z zakresu od 1/10 min do 50 k/s
Start	Trig Delay	Ustawienie trybu rozpoczęcia procesu akwizycji danych: - impulsem wyzwalającym (Trig) - lub po opóźnieniu (Delay)
Stop	Timer REC#	Ustawienie trybu zakończeniu procesu akwizycji danych: - po ustawionym czasie (Timer) - lub po danej liczbie odczytów (REC#)
Run		Uruchomienie procesu akwizycji danych pomiarowych
⮈		Zachowanie zmian i powrót do menu nadrzędnego

Ponadto na stanowisku laboratoryjnym dostępna jest aplikacja napisana z wykorzystaniem środowiska programowego LabView, ułatwiająca przeprowadzenie pomiaru w trybie rejestratora (**Data Logger.exe**). W tym przypadku multimetr jest połączony za pomocą interfejsu USB2.0 z komputerem, a proces ustawiania warunków pomiaru jest realizowany na poziomie graficznego interfejsu użytkownika dostępnego na ekranie monitora. Aplikacja umożliwia pomiar napięcia stałego i rezystancji w trybie szybkiej akwizycji danych. Przed uruchomieniem rejestracji serii pomiarów należy wprowadzić parametry funkcji *Data Log*: liczbę próbek w serii oraz częstotliwość próbkowania, a także wybrać funkcję pomiarową i zakres pomiarowy. Po zakończeniu rejestracji dostępne są wyniki pomiarów w postaci tabelarycznej oraz wybrane parametry statystyczne. Ponadto można wybrać graficzny sposób prezentacji wyników:

- w postaci przebiegu czasowego,
- w postaci histogramu wyników pomiaru,
- w postaci histogramu błędów pomiaru, uzyskanego w wyniku odjęcia od poszczególnych wyników pomiaru wartości średniej arytmetycznej z serii.

3. Program ćwiczenia

1. Zapoznać się z instrukcją obsługi multimetru cyfrowego RIGOL 3052.

2. Połączyć źródło napięcia (generator) z wejściem multimetru. Nastawić sinusoidalne napięcie wyjściowe generatora o parametrach $U_{p\text{-}p}$=0,7V, U_{offset}=3V, dla częstotliwości f_1= 3Hz, f_2=15Hz, f_3=25Hz, f_4=50Hz

Wybrać funkcję pomiaru napięcia stałego (*DCV*). Zarejestrować wyniki serii *n* pomiarów (wartość *n* podaje prowadzący ćwiczenie) napięcia U_{offset} metodą:

- wyzwalania automatycznego
- jednorazowego z wyborem określonej liczby odczytów
- w trybie szybkiej akwizycji danych dla następujących parametrów:
  1) częstotliwość próbkowania f_{p1}= 50kS/s dla n_1 =1000 próbek
  2) częstotliwość próbkowania f_{p2} = 10S/s dla n_2 =100 próbek

Zaobserwować kształty histogramów otrzymanych dla zarejestrowanych serii pomiarowych. Wyniki pomiarów zapisać zewnętrznej pamięci Flash USB.

3. Nastawić napięcie wyjściowe generatora o parametrach f=50Hz, $U_{p\text{-}p}$=0,7V, U_{offset}=3V, dla napięcia:
   a) sinusoidalnego (*Sine*)
   b) trójkątnego (*Ramp*)
   c) szumu (*Noise*)

Wybrać funkcję pomiaru napięcia stałego (*DCV*). Zarejestrować wyniki serii *n* pomiarów (wartość *n* podaje prowadzący ćwiczenie) napięcia U_{offset} metodą:

- wyzwalania automatycznego
- jednorazowego z wyborem określonej liczby odczytów
- w trybie szybkiej akwizycji danych dla następujących parametrów:
  1) częstotliwość próbkowania f_{p1}=833S/s, dla n_1 =1000 próbek
  2) częstotliwość próbkowania f_{p2}=10S/s, dla n_2 =100 próbek

Zaobserwować kształty histogramów otrzymanych dla zarejestrowanych serii pomiarowych. Wyniki pomiarów zapisać zewnętrznej pamięci Flash USB.

4. Nastawić napięcie wyjściowe generatora o parametrach:
   a) sygnał sinusoidalny o częstotliwości f=1kHz, $U_{p\text{-}p}$=10V, U_{ofset}=0V, zmodulowany amplitudowo (*AM*) sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości f_{AM}=50 Hz, dla głębokości modulacji 50%.
   b) jw. zmieniając kształt sygnału na trójkątny (*Triangle*)
   c) jw. zmieniając kształt sygnału na prostokąt (*Square*)

Wybrać funkcję pomiaru napięcia zmiennego (*ACV*). Zarejestrować wyniki serii *n* pomiarów (wartość *n* podaje prowadzący ćwiczenie) wartości skutecznej napięcia metodą:

- wyzwalania automatycznego
- jednorazowego z wyborem określonej liczby odczytów

Zaobserwować kształty histogramów otrzymanych dla zarejestrowanych serii pomiarowych. Wyniki pomiarów zapisać zewnętrznej pamięci Flash USB.

5. Powtórzyć pomiary sygnałów opisanych w punktach 2 i 3 wykorzystując aplikację zapisaną w pliku *Data Logger.exe*.

Zapisać wyniki pomiarów, parametry statystyczne zarejestrowanej serii pomiarów oraz obrazy przebiegów czasowych i histogramów błędów w zewnętrznej pamięci Flash USB.

W sprawozdaniu dla każdej zarejestrowanej serii wyników pomiarów należy wyznaczyć:

- średnią arytmetyczną wskazań,
- odchylenie empiryczne wartości średniej wskazań,
- niepewność standardową typu A,
- niepewność standardową typu B, związaną z błędami wskazań wykorzystywanego w pomiarach multimetru,
- niepewność złożoną,
- niepewność rozszerzoną dla poziomu ufności podanego przez prowadzącego.

3. Literatura

1. Tumański S.: *Technika pomiarowa*, WNT, Warszawa 2007
2. Lisowski M.: *Podstawy metrologii,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej Wrocław, 2011.
3. Skubis T.: *Podstawy metrologicznej interpretacji wyników pomiaru*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2004
4. *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement*, BIPM JCGM 100:2008. Guide OIML G 1-100, Edition 2008 (E), *https://www.oiml.org/en/files/pdf_g/g001-100-e08.pdf*