

LV3

Pomiary napięć stałych w obecności zakłóceń

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z problematyką pomiaru napięć stałych w obecności silnych zakłóceń, a w szczególności powiększaniem dokładności pomiarów poprzez matematyczną obróbkę wyników z serii pomiarów.

1. Wprowadzenie

1.1. Źródła zakłóceń i ich przenikanie do układu pomiarowego

W warunkach przemysłowych układy pomiarowe narażone są na oddziaływanie licznych zakłóceń, których źródłem może być praktycznie każde urządzenie elektryczne i elektroniczne pracujące w pobliżu czulej aparatury pomiarowej. Zakłócenia przenikające do układu pomiarowego są źródłem powstawania błędów pomiarowych zwiększających niepewność uzyskiwanych wyników pomiarów. Zakłócenia mogą przenikać do układu pomiarowego metodą przewodzenia, poprzez sprzężenia pojemnościowe i magnetyczne oraz w wyniku oddziaływania fali elektromagnetycznej.

Zakłócenia przewodzone występują w układach, w których różne odległe od siebie punkty masy obwodu pomiarowego posiadają różne potencjały, co powoduje przepływ prądów wyrównawczych w przewodach masy, powstawanie dodatkowych spadków napięć sumujących się z sygnałem mierzonym i objawiających się błędami pomiarowymi.

Zakłócenia przenikające poprzez sprzężenia pojemnościowe mogą wystąpić, gdy w pobliżu układu pomiarowego znajdują się przewody pod wysokim napięciem przemiennym. Poprzez niewielkie pojemności zawsze występujące pomiędzy obwodem pomiarowym a przewodem znajdującym się pod wysokim napięciem płynie prąd pojemnościowy, wywołujący dodatkowe spadki napięć będące źródłem błędów.

Zakłócenia przenikające przez sprzężenia magnetyczne pojawiają się, gdy w pobliżu układu pomiarowego tworzącego zamkniętą pętlę znajduje się przewód przewodzący przemienny prąd, wokół którego tworzy się przemienne pole magnetyczne. Pole to przenikając do obwodu pomiarowego indukuje w nim prądy będące źródłem błędów. Efekt ten powiększa się, gdy w pobliżu znajdują się elementy ferromagnetyczne tworzące obwód magnetyczny zwiększający to oddziaływanie.

Przenikanie zakłóceń poprzez oddziaływanie fali elektromagnetycznej występuje, gdy w pobliżu układu pomiarowego pracuje urządzenie będące źródłem fal radiowych. Przewodzące elementy układu pomiarowego pełnią wtedy rolę anten, w których indukują się prądy będące źródłem błędów pomiarowych.

W ćwiczeniu jako źródło zakłóceń zastosowano komputer, którego obwód zasilania został sprzężony poprzez pole magnetyczne z układem pomiarowym.

1.2. Rozkład normalny i jego zastosowanie w opracowywaniu wyników pomiarów

Podczas opracowywania wyników pomiarów najczęściej przydatny jest rozkład normalny, dla którego funkcja gęstości prawdopodobieństwa jest określona wzorem:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2 \quad (1)$$

gdzie μ jest wartością oczekiwaną, a σ jest odchyleniem standardowym.

Prawdopodobieństwo tego, że wartość zmiennej losowej znajdzie się w przedziale:

- od $\mu - \sigma$ do $\mu + \sigma$ jest równe 68,2 %,
- od $\mu - 2\sigma$ do $\mu + 2\sigma$ jest równe 95,6 %,
- od $\mu - 3\sigma$ do $\mu + 3\sigma$ jest równe 99,7 %.

Przedział wartości od $\mu - 3\sigma$ do $\mu + 3\sigma$ jest często nazywany „przedziałem trzy-sigma”. W praktyce można przyjąć, że w przedziale trzy sigma wokół wartości oczekiwanej mieszczą się prawie wszystkie wyniki pomiarów.

Często również wykorzystywane są właściwości rozkładu równomiernego (prostokątnego) o szerokości $2a$, dla którego odchylenie standardowe σ wynosi:

$$\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Dla rozkładu prostokątnego prawdopodobieństwo tego, że wartość zmiennej losowej znajdzie się w przedziale o szerokości $2a$ wokół wartości oczekiwanej μ jest równe 100 %. Rozkład prostokątny jest stosowany do opisu błędów kwantowania oraz przy szacowaniu błędów granicznych przyrządów pomiarowych.

Najlepszym estymatorem wartości oczekiwanej μ dla całej populacji na podstawie pobranej z niej n - elementowej próby x_1, x_2, \dots, x_n , jest wartość średnia \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

Najlepszym estymatorem odchylenia standardowego σ dla całej populacji na podstawie pobranej z niej n - elementowej próby x_1, x_2, \dots, x_n , jest odchylenie standardowe z próby $s(x_i)$:

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Wartość średnia \bar{x} jest również zmienna losowa. Najlepszym estymatorem odchylenia standardowego dla wartości średniej $s(\bar{x})$ jest:

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Jak widać ze wzoru (5) odchylenie standardowe średniej $s(\bar{x})$ z n pomiarów jest \sqrt{n} razy mniejsze od odchylenia standardowego pojedynczego pomiaru $s(x_i)$. To stwierdzenie uzasadnia wykonywanie serii pomiarów, dzięki czemu możliwe jest polepszenie dokładności wyniku. Kolejność postępowania jest następująca:

- wykonujemy serię n pomiarów mając na uwadze, że zgodnie z (5) dokładność polepsza się \sqrt{n} razy, a więc zwiększanie liczby pomiarów na początku daje duże korzyści, ale dla dużych wartości n kolejne pomiary dają już coraz mniejszy efekt,
- za wynik pomiaru przyjmujemy wartość średnią według zależności(3),
- na podstawie odchylenia standardowego wartości średniej $s(\bar{x})$ wyznaczonej według zależności (4) szacujemy niepewność uzyskanego uśrednionego wyniku pomiaru, co będzie przedstawione w dalszej części.

1.3. Niepewność pomiarowa i jej obliczanie

Niepewność pomiaru (*uncertainty*) jest zdefiniowana jako parametr, związany z wynikiem pomiaru, charakteryzujący rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej [1, 2]. W ćwiczeniu będzie wykorzystywana procedura

wyznaczania niepewności składająca się z pięciu kroków opisanych poniżej. Więcej szczegółów można znaleźć w Przewodniku [1] i Nocie Technicznej [2].

Krok 1 – wyznaczanie niepewności u_i metodą typu A na podstawie wyników x_i serii n pomiarów:

$$u_i = s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

Krok 2 – wyznaczanie niepewności u_j metodą typu B na podstawie:

- danych technicznych przyrządów (np. z klasy),
- danych dostępnych z literatury (np. rozkład błędów kwantowania),
- z wcześniejszych wyników pomiarów.

W ćwiczeniu niepewności typu B będą wyznaczone na podstawie błędu granicznego Δ_{gr} karty pomiarowej przetwornika A/C. Na Rys. 1 przedstawiono fragment dokumentacji wykorzystywanej w ćwiczeniu karty pomiarowej National Instruments PCI-6221 zawierającej niezbędne informacje [3].

Na podstawie podanych przez producenta danych oblicza się błąd graniczny karty pomiarowej, zakładając prostokątny rozkład błędów o szerokości $2a$ równej $2\Delta_{gr}$. Uwzględniając znane właściwości rozkładu prostokątnego (2) wyznacza się w takim przypadku niepewność typu B równą odchyleniu standardowemu dla rozkładu prostokątnego, według wzoru (7).

$$u_j = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{\Delta_{gr}}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

Krok 3 – wyznaczanie niepewności łącznej (całkowitej) u_c według metody „pierwiastek z sumy kwadratów” (tzw. suma geometryczna):

$$u_c = \sqrt{u_i^2 + u_j^2} \quad (8)$$

Krok 4 – wyznaczanie niepewności rozszerzonej U jako iloczynu niepewności całkowitej i współczynnika rozszerzenia k :

$$U = k \cdot u_c \quad (9)$$

Wartość współczynnika k przyjmuje się z zakresu od 2 do 3, zależnie od przyjętego rozkładu prawdopodobieństwa i zakładanego poziomu ufności. Praktycznie najczęściej przyjmuje się rozkład normalny, wtedy:

$k=2$ dla poziomu ufności $p=95,6\%$,

$k=3$ dla poziomu ufności $p=99,7\%$.

Krok 5 – zaokrąglanie wyników obliczeń i podawanie końcowego wyniku pomiaru wraz z niepewnością.

1.4. Zasady zaokrąglania wyników pomiarów i niepewności

Liczba cyfr znaczących zapisanych w wyniku pomiaru powinna odpowiadać jego rzeczywistej dokładności. Często popełnianym błędem jest podawanie wyników pomiarów i ich niepewności zbyt dokładnie, tzn. z nadmierną liczbą cyfr znaczących. Należy stosować się do następujących zaleceń:

a) niepewności (błędy) obliczamy z trzema cyframi znaczącymi i zaokrąglamy **zawsze w górę** do jednej cyfry znaczącej lub do dwóch cyfr jeśli zaokrąglenie przekraczałoby 20%,

b) wynik pomiaru obliczamy z liczbą cyfr znaczących taką samą, jaką posiadają wyniki odczytane z przyrządów pomiarowych, jeśli obliczamy średnią z powyżej 10 pomiarów uwzględniamy dodatkowo jedną cyfrę znaczącą i powyżej 100 pomiarów uwzględniamy dodatkowo dwie cyfry znaczące,

Nominal Range	Residual Gain Error (ppm of Reading)		Gain Tempco (ppm/°C)	Reference Tempco	Residual Offset Error (ppm of Range)	Offset Tempco (ppm of Range/°C)	INL Error (ppm of Range)	Random Noise, σ (μVrms)	Absolute Accuracy at Full Scale ¹ (μV)	Sensitivity ² (μV)	
	Positive Full Scale	Negative Full Scale									
10		-10	75	25	5	20	57	76	244	3,100	97.6
5		-5	85	25	5	20	60	76	122	1,620	48.8
1		-1	95	25	5	25	79	76	30	360	12.0
0.2		-0.2	135	25	5	80	175	76	13	112	5.2

$AbsoluteAccuracy = Reading \cdot (GainError) + Range \cdot (OffsetError) + NoiseUncertainty$
 $GainError = ResidualAGainError + GainTempco \cdot (TempChangeFromLastInternalCal) + ReferenceTempco \cdot (TempChangeFromLastExternalCal)$
 $OffsetError = ResidualAOffsetError + OffsetTempco \cdot (TempChangeFromLastInternalCal) + INL_Error$
 $NoiseUncertainty = \frac{RandomNoise \cdot 3}{\sqrt{100}}$ For a coverage factor of 3 σ and averaging 100 points.

¹ Absolute accuracy at full scale on the analog input channels is determined using the following assumptions:
 $TempChangeFromLastExternalCal = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $TempChangeFromLastInternalCal = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $number_of_readings = 100$
 $CoverageFactor = 3 \sigma$

For example, on the 10 V range, the absolute accuracy at full scale is as follows:
 $GainError = 75 \text{ ppm} + 25 \text{ ppm} \cdot 1 + 5 \text{ ppm} \cdot 10$ $GainError = 150 \text{ ppm}$
 $OffsetError = 20 \text{ ppm} + 57 \text{ ppm} \cdot 1 + 76 \text{ ppm}$ $OffsetError = 153 \text{ ppm}$
 $NoiseUncertainty = \frac{244 \text{ } \mu\text{V} \cdot 3}{\sqrt{100}}$ $NoiseUncertainty = 73 \text{ } \mu\text{V}$
 $AbsoluteAccuracy = 10 \text{ V} \cdot (GainError) + 10 \text{ V} \cdot (OffsetError) + NoiseUncertainty$ $AbsoluteAccuracy = 3,100 \text{ } \mu\text{V}$

² Sensitivity is the smallest voltage change that can be detected. It is a function of noise.
 Accuracies listed are valid for up to one year from the device external calibration.

Rys.1. Zestawienie składników błędu granicznego karty pomiarowej PCI-6221 [3]

c) wynik pomiaru zaokrąglamy do tego samego miejsca, do którego zaokrąglono wynik obliczeń niepewności, tzn. ostatnia cyfra znacząca w wyniku pomiaru i jego niepewności powinna występować na tej samej pozycji dziesiętnej,

d) zaokrąglanie wyniku pomiaru przeprowadzamy według ogólnych zasad:

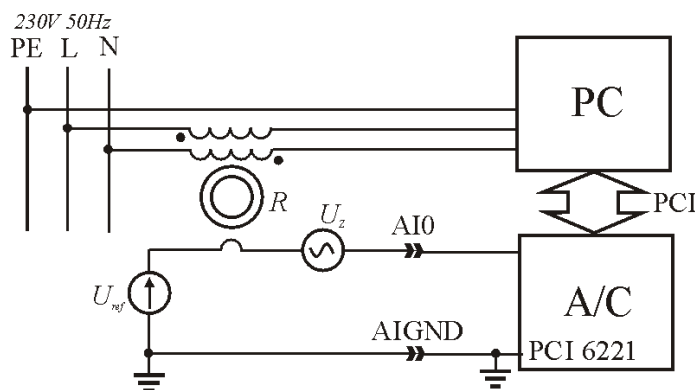
- jeśli pierwsza odrzucana cyfra jest **mniejsza od 5** to zaokrąglamy **w dół**,
- jeśli pierwsza odrzucana cyfra jest **większa od 5** to zaokrąglamy **w górę**,
- jeśli pierwsza odrzucana cyfra jest **równa 5** i następne cyfry z jej prawej strony **nie są zerami** to zaokrąglamy **w górę**,
- jeśli pierwsza odrzucana cyfra jest **równa 5** i następne cyfry z prawej jej strony są **zerami** to zaokrąglamy **w górę lub w dół** tak, aby ostatnia pozostawiona cyfra była cyfrą **parzystą**.

W zapisie wyniku obliczeń zaleca się stosowanie odpowiednich przedrostków (kilo-, mega-, mili-, mikro- itp.) i wielokrotności potęgowe (tzw. zapis naukowy) tak, aby niepewnością obarczone były jedynie miejsca dziesiętne i setne. Przykładowo:

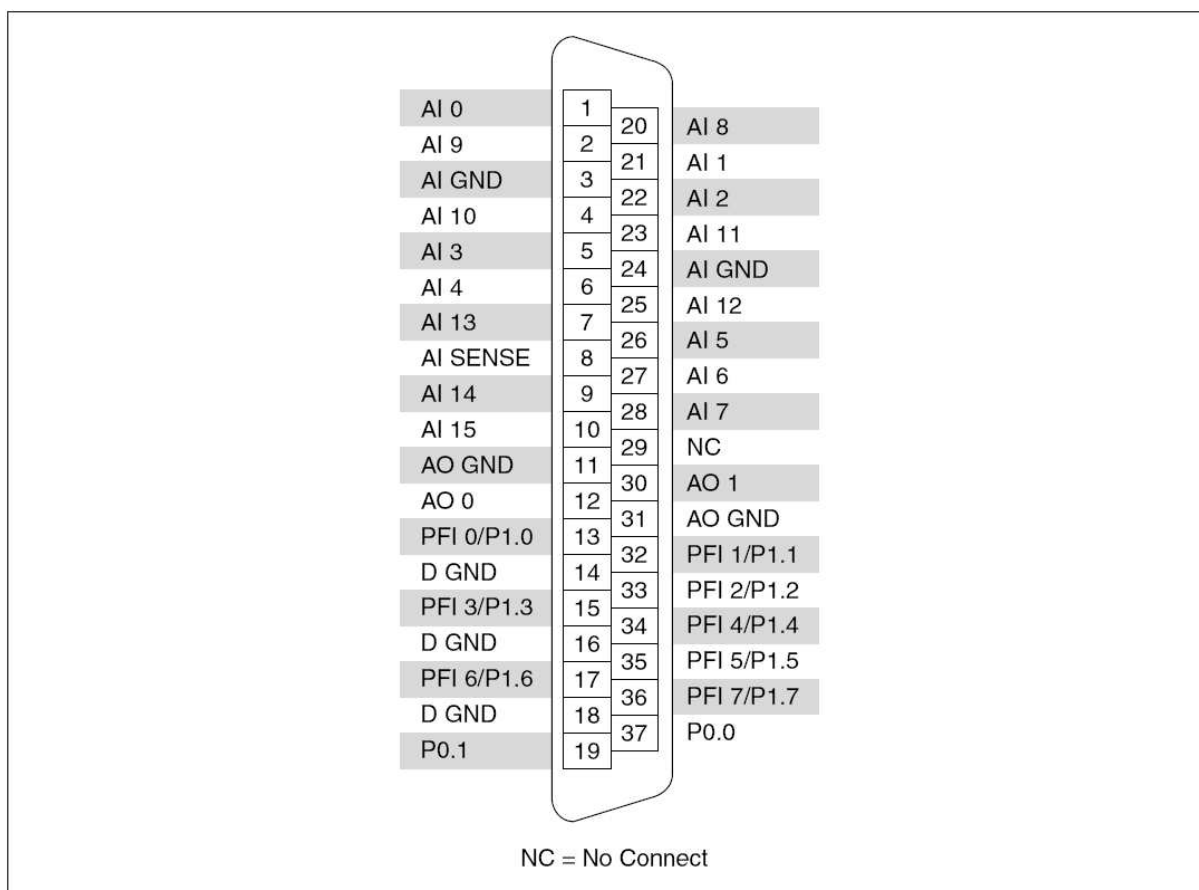
$m=(32,55\pm 0,734)$ g	zaokrąglamy do	$m=(32,6\pm 0,8)$ g ,
$C=(2453\pm 55)$ nF	zaokrąglamy do	$C=(2,45\pm 0,06)$ μ F ,
$I=(43,284\pm 1,23)$ mA	zaokrąglamy do	$I=(43,3\pm 1,3)$ mA ,
$P=(4250\pm 75)$ W	zaokrąglamy do	$P=(4,25\pm 0,08)$ kW ,
$R=(237465\pm 127)$ Ω	zaokrąglamy do	$R=(237,46\pm 0,13)$ k Ω .

2. Układ pomiarowy stosowany w ćwiczeniu

Układ pomiarowy stosowany w ćwiczeniu składa się z komputera klasy IBM PC z zainstalowaną kartą pomiarową National Instruments typu PCI 6221, panelu ćwiczeniowego zawierającego między innymi źródło stabilnego napięcia referencyjnego $U_{ref}=+5V$ oraz z układu realizującego sprzężenie magnetyczne obwodu pomiarowego ze źródłem zakłóceń. Na Rys. 2 przedstawiono schemat układu pomiarowego. Komputer PC zasilany jest z sieci 230V 50Hz poprzez układ zapewniający sprzężenie magnetyczne z obwodem pomiarowym. Przewody zasilające nawinięte są na toroidalnym rdzeniu ferromagnetycznym R w taki sposób, aby wytwarzane strumienie magnetyczne sumowały się. Przez otwór w rdzeniu R może być przełożony przewód stanowiący element układu pomiarowego. Prąd zasilający komputer zawiera szereg wyższych harmonicznych będących źródłem silnych zakłóceń, które poprzez sprzężenie magnetyczne przenikają do układu pomiarowego w postaci napięcia U_z . Do komputera poprzez magistralę PCI dołączona jest karta pomiarowa. Do wejścia analogowego AI0 karty dołączono źródło stabilnego napięcia referencyjnego $U_{ref}=+5V$ znajdujące się na panelu ćwiczeniowym. Połączono ze sobą również masę analogową karty pomiarowej AIGND z masą panelu ćwiczeniowego. Kartę pomiarową dołączono do układu pomiarowego poprzez 37-pinowe złącze. Na Rys. 3 przedstawiono rozmieszczenie sygnałów na tym złączu.




Rys.2. Schemat układu pomiarowego stosowanego w ćwiczeniu



Rys.3. rozmieszczenie sygnałów na złączu 37-Pin karty pomiarowej NI typu PCI 6221

3. Opis programu realizującego pomiary

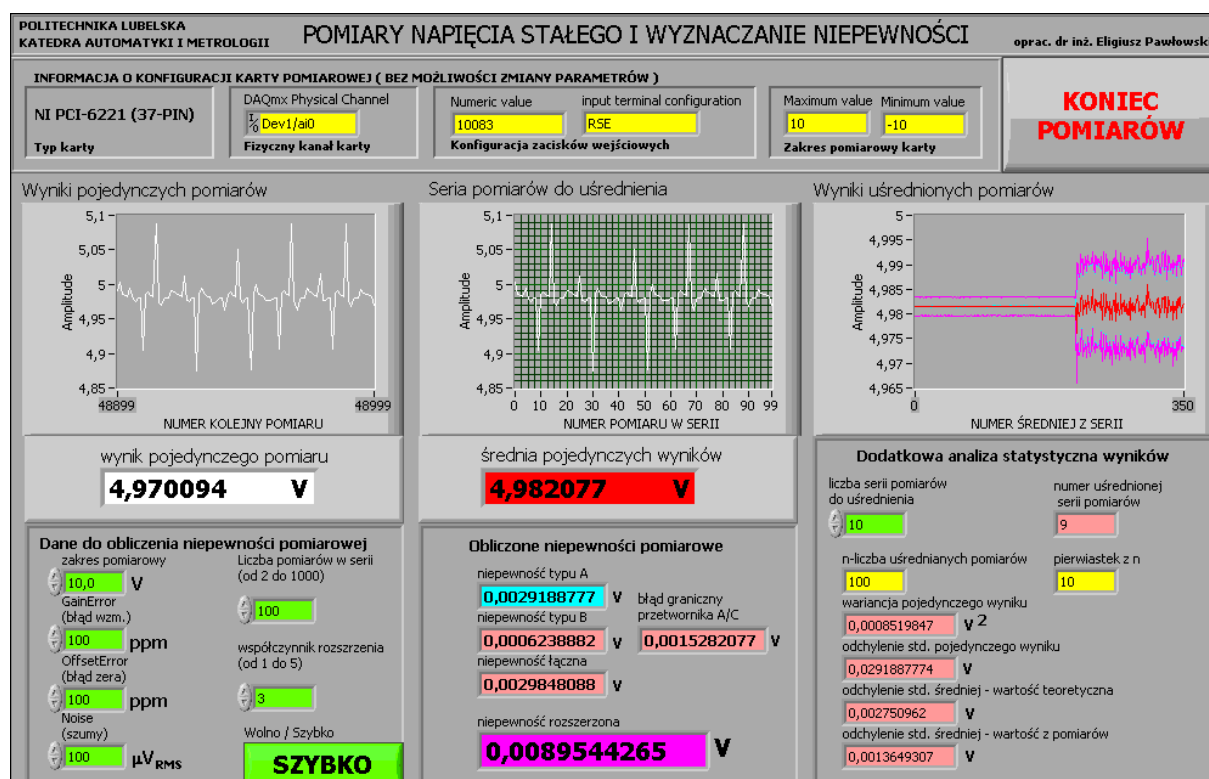
W ćwiczeniu wykorzystywany jest program realizujący pomiary napięcia stałego w serii o zadanej długości n próbek i obliczający: wartość średnią \bar{x} z serii pomiarów x_1, x_2, \dots, x_n , niepewności pomiarowe u_i, u_j, u_c, U , błąd graniczny karty Δ_{gr} oraz przeprowadzający dodatkową analizę statystyczną wyników. Panel programu przedstawia Rys. 4.

W górnej części Panelu w okienkach na żółtym tle pokazywane są parametry konfiguracyjne karty pomiarowej. Parametry te są wprowadzone jako wartości stałe do Diagramu programu i nie mogą być zmieniane podczas ćwiczenia. W górnym prawym rogu umieszczony jest przycisk KONIEC POMIARÓW umożliwiający zakończenie pracy programu. Ponieważ Diagram programu zawiera w swojej strukturze pętle, program należy uruchamiać przyciskiem . W środkowej części Panelu po lewej stronie pokazywane są wartości chwilowe zrealizowanych pomiarów. Dane te mają charakter jedynie pomocniczy, podczas pracy programów zmieniają się one bardzo szybko i trudno z nich praktycznie skorzystać. Obok po prawej stronie pokazywana jest seria pomiarów aktualnie wykorzystywanych do uśredniania i wyznaczania wszystkich pozostałych parametrów.

Dane do programu umożliwiające obliczenie niepewności pomiarowej wprowadzane są w lewej dolnej części Panelu w okienkach w kolorze zielonym. Obok w środkowej części Panelu pokazywane są wyniki obliczeń: wartość średnia (czerwone pole), obliczone niepewności typu A (niebieskie pole), niepewności typu B, niepewność łączna i błąd graniczny przetwornika (różowy kolor) oraz niepewność rozszerzona (fioletowy kolor). W prawej części Panelu znajduje się wykres przedstawiający uśrednione wyniki pomiarów z kolejnych serii oraz dodatkową analizę statystyczną wyników. W zielonym polu można podać liczbę serii pomiarowych N , które będą poddane dodatkowej analizie. Przede wszystkim

obliczane jest odchylenie standardowe pojedynczego wyniku $s(x_i)$ oraz odchylenie standardowe wartości średniej $s(\bar{x})$ z kolejnych serii pomiarowych. Teoretycznie stosunek tych dwóch wartości powinien być równy pierwiastkowi z liczby n uśrednianych pomiarów (5). Program umożliwia zweryfikowanie tej teoretycznej zależności na podstawie pomiarów przeprowadzonych w rzeczywistym układzie.

Na wykresie kolorem czerwonym pokazane są wartości średnie z kolejnych serii pomiarów, kolorem fioletowym zaznaczono przedział o szerokości $\pm U$ i kolorem niebieskim przedział o szerokości $\pm 3\sigma$.



Rys.4. Wygląd Panelu programu wykorzystywanego w ćwiczeniu


4. Wykonanie ćwiczenia

4.1. Uruchomienie stanowiska i zapoznanie się z programem

Komputer dołączyć do sieci zasilającej 230V poprzez obwód będący źródłem zakłóceń dla układu pomiarowego. Rdzeń sprzęgający umieścić możliwie daleko od przewodów połączeniowych na panelu ćwiczeniowym. Włączyć komputer i poczekać na uruchomienie systemu operacyjnego. Uruchomić środowisko LabView.

W oknie **Getting started** wybrać opcję **Open/Browse..**, przejść do katalogu **C:/Laboratorium_ME_LabView/Labor_LV_3** i otworzyć plik przyrzędu wirtualnego **Lab_ME_LV_3.vi**. Kombinacją klawiszy **CTRL+E** przełączyć okno programu pomiędzy Panelem a Diagramem. Zapoznać się z budową Panelu i Diagramu. Zwrócić uwagę na pętle na Diagramie programu, ich rodzaje i liczbę.

4.2. Analiza Diagramu połączeń przyrzędu wirtualnego

Przełączyć okno programu na Diagram. Przyciskiem  włączyć okno pomocy kontekstowej **Context Help**. Odszukać fragment realizujący zmianę szybkości działania

programu przyciskiem SZYBKO/WOLNO. **Przerysować odpowiedni fragment diagramu połączeń do protokołu.** Korzystając z okna pomocy kontekstowej opisać na przerysowanym fragmencie diagramu wykorzystane w nim obiekty.

4.3. Wydruk dokumentacji programu

Utworzyć na dysku twardym komputera pliki z dokumentacją wykorzystywanego w ćwiczeniu przyrządu wirtualnego. Pliki będą zawierać obraz Panelu oraz Diagramu i należy je zapisać do katalogu: **C:/student/LCRRRR_nazwisko** gdzie **L** oznacza literę identyfikującą grupę laboratoryjną, **C** oznacza numer zespołu w grupie, **RRRR** oznacza aktualny rok, **nazwisko** jest nazwiskiem osoby wykonującej sprawozdanie. Kolejność postępowania została opisana w instrukcji do ćwiczenia **LV1**.

Odszukać zapisane pliki na dysku i sprawdzić ich zawartość.



Zanotować w protokole nazwę utworzonego katalogu i nazwy zapisanych w nim plików z opisem zawartości.

4.4. Pomiary napięcia stałego przy niskim poziomie zakłóceń

4.4.1. Połączyć masę analogową AIGND karty przetwornika A/C (styk nr 3 złącza 37-Pin) z masą panelu ćwiczeniowego. Wejście AIO karty przetwornika (styk nr 1 złącza 37-Pin) połączyć przewodem bezpośrednio ze źródłem napięcia mierzonego $U_{ref}=+5V$ na panelu ćwiczeniowym, układając go możliwie daleko od rdzenia sprzęgającego obwód pomiarowy ze źródłem zakłóceń. Włączyć zasilanie panelu ćwiczeniowego.

UWAGA! Zasilanie panelu ćwiczeniowego może być włączone tylko w tym czasie, gdy włączony jest komputer z kartą przetwornika. Bezwzględnie należy przestrzegać kolejności:

- włączenie komputera,
- dołączenie przewodów sygnałowych do wejścia karty pomiarowej,
- włączenie panelu ćwiczeniowego,
- wykonanie zaplanowanych pomiarów,
- wyłączenie panelu ćwiczeniowego,
- odłączenie przewodów sygnałowych od wejścia karty pomiarowej,
- wyłączenie komputera.

4.4.2. Z Rys. 1 odczytać parametry karty przetwornika A/C niezbędne do obliczania niepewności pomiarowej dla zakresu 10V i zapisać je do Tabeli 1. Uruchomić program przyciskiem  (zwrócić uwagę, czy zmienił się on do postaci ).

Przepisać z Tabeli 1 w odpowiednie okienka Panelu programu (zielone pola) dane do obliczania niepewności pomiarowej. Liczbę pomiarów w serii przyjąć $n=2$, współczynnik rozszerzenia $k=3$. W okienku „Dodatkowa analiza statystyczna wyników” ustawić liczbę serii pomiarów do uśredniania $N=10$.

4.4.3. Wykonać pomiary napięcia $U_{ref}=+5V$ kolejno dla zwiększanej liczby pomiarów w serii $n=2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000$. W Tabeli 2 notować wartości odczytane z Panelu programu: średnia pojedynczych wyników, niepewność typu A u_i , niepewność typu B u_j , niepewność rozszerzona U , błąd graniczny przetwornika Δ_{gr} . W okienku dodatkowej analizy statystycznej zwrócić uwagę na numer uśrednianej serii pomiarów. Każdorazowo po ustawieniu nowej wartości liczby pomiarów n należy odczekać, aż numer uśrednianej serii pomiarów zmieni swoją wartość od zera aż do ustawionej liczby serii pomiarów do uśredniania N . Dopiero wtedy można do Tabeli 2 przepisać wartości: pierwiastek z n , odchylenie standardowe pojedynczego wyniku $s(x_i)$, odchylenie standardowe średniej $s(\bar{x})$ - wartość teoretyczna z zależności (5) i wartość z rzeczywistych pomiarów po uśrednieniu N serii o długości n pomiarów każda.

UWAGA ! Przyciskiem WOLNO/SZYBKO można ustawić wolną pracę programu dla małych wartości n , co ułatwi przepisywanie wyników pomiarów do tabeli. Dla większych wartości n należy ustawić szybką pracę programu.

4.4.4. Uzupełnić Tabelę 2 o zaokrąglone wartości średniej z pomiarów i niepewności rozszerzonej. Zaokrąglenie do odpowiedniej liczby cyfr znaczących należy przeprowadzić zgodnie z zasadami zaokrąglania wyników podanymi w punkcie 1.4.

Przeanalizować wyniki zgromadzone w Tabeli 2 zwracając uwagę na wartości niepewności typu A u_i i niepewność typu B u_j :

- która z nich jest większa, ile razy i jak się zmieniają w zależności od liczby pomiarów n ?
 - jak zmienia się niepewność rozszerzona U w zależności od liczby pomiarów w serii n ?
 - jaka liczba pomiarów n w serii wydaje się być uzasadniona, tzn. dla jakich wartości n dalsze zmiany niepewności łącznej U są tak małe, że po zaokrągleniu nie są już zauważalne ?
- Zapisać wnioski do protokołu.

W sprawozdaniu należy na podstawie Tabeli 2 wykonać wykresy przedstawiające następujące zależności:

- na wspólnym wykresie przedstawić zależność niepewności typu A u_i , niepewności typu B u_j oraz niepewności rozszerzonej U w funkcji liczby pomiarów n . Na wykresie zaznaczyć uzasadnioną liczbę pomiarów w serii n na podstawie wniosku zapisanego w protokole.
- na wspólnym wykresie przedstawić wykres funkcji pierwiastka z liczby n oraz stosunek odchylenia standardowego pojedynczego wyniku do odchylenia standardowego średniej z pomiarów, w funkcji n . Na podstawie wykresu zapisać wniosek, czy potwierdza się teoretyczna zależność przedstawiona wzorem (5) w punkcie 1.2.

4.5. Rejestracja wartości chwilowych mierzonego napięcia



Ustawić liczbę pomiarów w serii $n=100$. Odczekać czas potrzebny do zapełnienia się aktualnymi wynikami wykresu „Wyniki uśrednionych pomiarów”. Zapisać do plików dyskowych (**Export Simplified Image**) przebiegi czasowe z okienka „Seria pomiarów do uśrednienia” i „Wyniki uśrednionych pomiarów”. Kolejność postępowania została opisana w instrukcji do ćwiczenia LV1.

Do Tabeli 3 zanotować: wartość średnią, odchylenie standardowe pojedynczego wyniku σ , niepewność rozszerzoną U oraz nazwy plików z zapisanymi przebiegami czasowymi. Obliczyć szerokość przedziału „trzy sigma”.


W sprawozdaniu należy zamieścić wykresy zapisanych przebiegów czasowych z zaznaczonymi dodatkowo: wartością średnią, granicami przedziału $\pm 3\sigma$ wokół wartości średniej oraz granicami niepewności $\pm U$. Zapisać wnioski:

- czy wszystkie wyniki pojedynczych pomiarów mieszczą się w przedziale $\pm 3\sigma$?
- czy wszystkie wartości średnie z pomiarów mieszczą się w przedziale $\pm U$?

4.6. Pomiary napięcia stałego przy wysokim poziomie zakłóceń

4.6.1. Wyłączyć program przyciskiem KONIEC POMIARÓW. Odczekać, aż program dokończy wszystkie rozpoczęte pętle pomiarów (przycisk  powróci do postaci ). Wyłączyć zasilanie panelu ćwiczeniowego.

Odłączyć od źródła napięcia mierzonego ($U_{ref}=+5V$ na panelu ćwiczeniowym) przewód prowadzący do wejścia AI0 karty przetwornika A/C (styk nr 1 złącza 37-Pin), przewlec go jeden raz przez otwór rdzenia sprzęgającego z obwodem źródła zakłóceń i ponownie dołączyć do napięcia mierzonego U_{ref} . Włączyć zasilanie panelu ćwiczeniowego.

4.6.2. Uruchomić program przyciskiem . Upewnić się, czy do programu są wprowadzone odpowiednie wartości danych do obliczania niepewności pomiarowej. Odczytać wartość odchylenia standardowego pojedynczego wyniku i porównać ją z

odpowiednią wartością z Tabeli 2. Obliczyć ile razy zwiększył się poziom zakłóceń? **Zapisać wniosek do protokołu.**

4.6.3. Powtórzyć wszystkie pomiary przeprowadzone w punkcie 4.4.3. Wyniki pomiarów zapisywać w Tabeli 4.

4.6.4. Uzupełnić Tabelę 4 o zaokrąglone wartości średniej z pomiarów i niepewności rozszerzonej. Przeanalizować wyniki zgromadzone w Tabeli 4 zwracając uwagę na wartości niepewności typu A u_i i niepewność typu B u_j :



- która z nich jest większa, ile razy i jak się zmieniają w zależności od liczby pomiarów n ?
- jak zmienia się niepewność rozszerzona U w zależności od liczby pomiarów w serii n ?
- jaka liczba pomiarów n w serii wydaje się być uzasadniona, tzn. dla jakich wartości n dalsze zmiany niepewności łącznej U są tak małe, że po zaokrągleniu nie są już zauważalne ?

Zapisać wnioski do protokołu.

W sprawozdaniu należy na podstawie Tabeli 4 wykonać wykresy przedstawiające następujące zależności:

- na wspólnym wykresie przedstawić zależność niepewności typu A u_i , niepewności typu B u_j oraz niepewności rozszerzonej U w funkcji liczby pomiarów n . Na wykresie zaznaczyć uzasadnioną liczbę pomiarów w serii n na podstawie wniosku zapisanego w protokole.
- na wspólnym wykresie przedstawić wykres funkcji pierwiastka z liczby n oraz stosunek odchylenia standardowego pojedynczego wyniku do odchylenia standardowego średniej z pomiarów, w funkcji n . Na podstawie wykresu zapisać wniosek, czy potwierdza się teoretyczna zależność przedstawiona wzorem (5).

4.6.5. Wyłączyć stanowisko pomiarowe w następującej kolejności:

- wyłączyć zasilanie panelu ćwiczeniowego,
- odłączyć przewód od źródła napięcia mierzonego, usunąć go z otworu rdzenia sprzęgającego z obwodem zakłócającym i dołączyć do gniazdka masy panelu ćwiczeniowego,
- wyłączyć program przyciskiem KONIEC POMIARÓW. Odczekać, aż program dokończy wszystkie rozpoczęte pętle pomiarów (przycisk  powróci do postaci ).
- wyłączyć zasilanie komputera.

4.7. Podsumowanie przeprowadzonych pomiarów

Na podstawie Tabeli 2 i Tabeli 4 zestawić w Tabeli 5 zaokrąglone zgodnie z zasadami wartości średnie i niepewności rozszerzone U dla pomiarów zrealizowanych bez dodatkowych zakłóceń i z wysokim poziomem zakłóceń. Porównać niepewność rozszerzoną U i jej zmiany w zależności od liczby pomiarów n dla obu rodzajów pomiarów:

- jak zmieniła się niepewność pomiarowa po wprowadzeniu do układu pomiarowego dodatkowych zakłóceń o wysokim poziomie ?
- czy jest możliwe uzyskanie dla pomiarów realizowanych w obecności silnych zakłóceń niepewności pomiarowej o wartości porównywalnej do tej, która występowała przy pomiarach bez dodatkowych zakłóceń ?

Zapisać wnioski do protokołu.

W sprawozdaniu należy na podstawie Tabeli 5 przedstawić na wspólnym wykresie zależność niepewności rozszerzonej U od liczby pomiarów w serii n dla pomiarów zrealizowanych z niskim i z wysokim poziomem zakłóceń.

5. Wykonanie sprawozdania

W sprawozdaniu należy przedstawić wykorzystywane układy pomiarowe oraz kolejno dla każdego zrealizowanego punktu uzyskane rezultaty w postaci: tabelk z wynikami pomiarów i obliczeń, wzory wykorzystane do obliczeń, wykresy, przebiegi czasowe z zapisanych plików graficznych, wnioski zapisane do protokołu. We wnioskach końcowych z ćwiczenia należy podsumować uzyskane rezultaty eksperymentów:

- czy potwierdziła się teoretyczna zależność (5) odchylenia standardowego wartości średniej od pierwiastka z liczby pomiarów n ?
- czy potwierdziła się właściwość rozkładu normalnego, że praktycznie wszystkie wyniki pomiarów powinny mieścić się w przedziale $\pm 3\sigma$ wokół wartości średniej ?
- czy na podstawie przeprowadzonych eksperymentów można stwierdzić, że wszystkie wartości średnie z pomiarów mieszczą się w przedziale $\pm U$?

6. Literatura

1. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement, Technical Note 1297, NIST, 1994 Edition
2. Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik, GUM, Warszawa 1999
3. NI 622x Specifications, National Instruments, ref. 372190G-01, jun. 2007

7. Tabelki

Tabela 1. Dane do obliczania niepewności pomiarowej

Typ karty pomiarowej:					
Producent:					
Zakres pomiarowy	Gain Error (błąd wzmoc.)	Offset Error (błąd zera)	Noise (szumy)	fizyczny kanał wejściowy	konfiguracja wejścia
V	ppm	ppm	μV_{RMS}	-	-

Tabela 3. Rejestracja wartości chwilowych mierzonego napięcia

Współczynnik rozszerzenia k :			Liczba serii do uśredniania N :	
wartość średnia	odchylenie standardowe poj. wyniku σ	szerokość przedziału trzy sigma $\pm 3\sigma$	niepewność rozszerzona U	nazwy plików z zapisanymi przebiegami
V	V	V	V	-

Tabela 2. Wyniki pomiarów przy niskim poziomie zakłóceń

współczynnik rozszerzenia k :			liczba uśrednianych serii N :								
lp	liczba pomiarów w serii n	wartość średnia	wyznaczone niepewności pomiarowe			dodatkowa analiza statystyczna				wartości zaokrąglone	
			niepewność typu A	niepewność typu B	niepewność rozszerzona U	pierwiastek z n	odchylenie std. pojedynczego wyniku	odchylenie std. średniej - teoria	odchylenie std. średniej - pomiary	wartość średnia	niepewność rozszerzona U
-	-	V	V	V	V	-	V	V	V	V	V
1	2										
2	5										
3	10										
4	20										
5	50										
6	100										
7	200										
8	500										
9	1000										

Tabela 4. Wyniki pomiarów przy wysokim poziomie zakłóceń

współczynnik rozszerzenia k :			liczba uśrednianych serii N :								
lp	liczba pomiarów w serii n	wartość średnia	wyznaczone niepewności pomiarowe			dodatkowa analiza statystyczna				wartości zaokrąglone	
			<i>niepewność typu A</i>	<i>niepewność typu B</i>	<i>niepewność rozszerzona U</i>	pierwiastek z n	odchylenie std. pojedynczego wyniku	odchylenie std. średniej - teoria	odchylenie std. średniej - pomiary	wartość średnia	<i>niepewność rozszerzona U</i>
-	-	V	V	V	V	-	V	V	V	V	V
1	2										
2	5										
3	10										
4	20										
5	50										
6	100										
7	200										
8	500										
9	1000										

Tabela 5. Zestawienie zaokrąglonych wyników pomiarów

współczynnik rozszerzenia k :					
lp	liczba pomiarów w serii n	wartości poprawnie zaokrąglone			
		pomiary przy niskim poziomie zakłóceń		pomiary przy wysokim poziomie zakłóceń	
		wartość średnia	<i>niepewność rozszerzona U</i>	wartość średnia	<i>niepewność rozszerzona U</i>
-	-	v	v	v	v
1	2				
2	5				
3	10				
4	20				
5	50				
6	100				
7	200				
8	500				
9	1000				