

LV1

Próbkujące pomiary parametrów sygnałów napięciowych

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z problematyką wyznaczania parametrów sygnałów napięciowych w próbkujących układach pomiarowych, a w szczególności zbadanie wpływu sposobu próbkowania na błędy pomiaru.

1. Wprowadzenie

1.1. Podstawowe parametry sygnału napięciowego

Do podstawowych parametrów okresowego sygnału napięciowego należą: wartość maksymalna, wartość skuteczna i wartość średnia. Dla sygnałów sinusoidalnych :

$$u(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (1)$$

wartość maksymalna (szczytowa) równa jest amplitudzie $U_{max}=A$. Wartość średnia U_{sr} jest równa całce z wartości chwilowych $u(t)$ liczonej za okres T , podzielonej przez ten okres:

$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (2)$$

Dla napięć występujących w sieci energetycznej wartość średnia w praktyce jest równa zero, dlatego interesująca jest wartość średnia z wartości bezwzględnej :

$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (3)$$

która liczbowo jest równa wartości średniej liczonej za połowę okresu (średnia półokresowa):

$$U_{sr} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} u(t) dt \quad (4)$$

Wartość skuteczna U_{sk} jest pierwiastkiem z uśrednionego kwadratu wartości chwilowych:

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (5)$$

W literaturze angielskojęzycznej wartość skuteczna bywa zazwyczaj określana skrótem RMS (*Root Mean Square* – pierwiastek średniego kwadratu).

Dla oceny kształtu sygnałów definiuje się współczynnik szczytu (amplitudy):

$$k_s = \frac{U_{max}}{U_{sk}} \quad (6)$$

oraz współczynnik kształtu:

$$k_k = \frac{U_{sk}}{U_{sr}} \quad (7)$$

Dla sinusoidy współczynnik szczytu wynosi : $k_s = \sqrt{2} \cong 1,41$, a współczynnik kształtu:

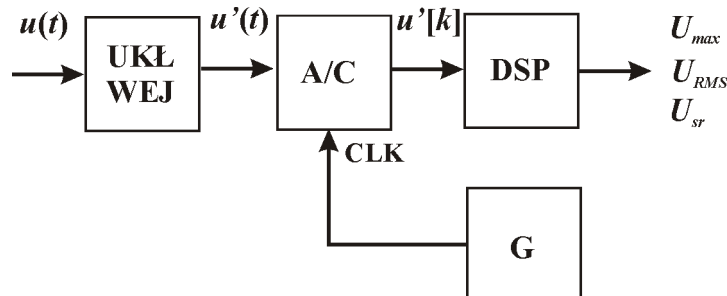
$$k_k = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cong 1,111.$$

Dla przebiegów o kształcie innym niż sinusoidalny wartości tych współczynników mają inne wartości.

W energetyce najbardziej przydatną jest wartość skuteczna napięcia U_{sk} , gdyż od tej wartości uzależniona jest moc czynna i energia czynna pobierana przez odbiornik z sieci. Utrzymanie odpowiedniej wartości skutecznej napięcia w sieci gwarantuje, że pobór mocy i energii przez odbiorniki będzie zgodny z ich znamionowymi parametrami. Z tego powodu dokładny pomiar wartości skutecznej napięcia jest istotnym zagadnieniem.

1.2. Wyznaczanie parametrów sygnału z próbek wartości chwilowych

Współczesne układy pomiarowe coraz częściej wykorzystują metody oparte na cyfrowym przetwarzaniu próbek wartości chwilowych mierzonych sygnałów. Ogólny schemat blokowy próbkującego układu pomiarowego przedstawia rys.1. Układy wejściowe dopasowują poziom przetwarzanego napięcia $u(t)$ do zakresu pomiarowego przetwornika analogowo-cyfrowego A/C. Przetwornik A/C przetwarza wartości napięcia w chwilach określonych przez impulsy sygnału zegarowego CLK pochodzącego z generatora taktującego G. Uzyskiwane na wyjściu przetwornika A/C cyfrowe próbki $u'[k]$ wartości chwilowych napięcia wejściowego są przetwarzane w bloku DSP (*Digital Signal Processing* – cyfrowe przetwarzanie sygnałów), gdzie wyliczane są wszystkie interesujące parametry sygnału.



Rys.1. Schemat blokowy próbkującego układu pomiarowego

Przebiegi czasowe sygnałów w układzie przedstawia rys.2. W chwilach czasowych $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_n$, określonych przez kolejne zbocza sygnału zegarowego CLK pobieranych jest n próbek wartości chwilowych sygnału wejściowego $u(t)$. Cyfrowe wartości $u[1], u[2], \dots, u[k], \dots, u[n]$ reprezentują przebieg wejściowy za czas pomiaru T_p . Na ich podstawie można wyznaczyć podstawowe parametry sygnału:

wartość skuteczną:

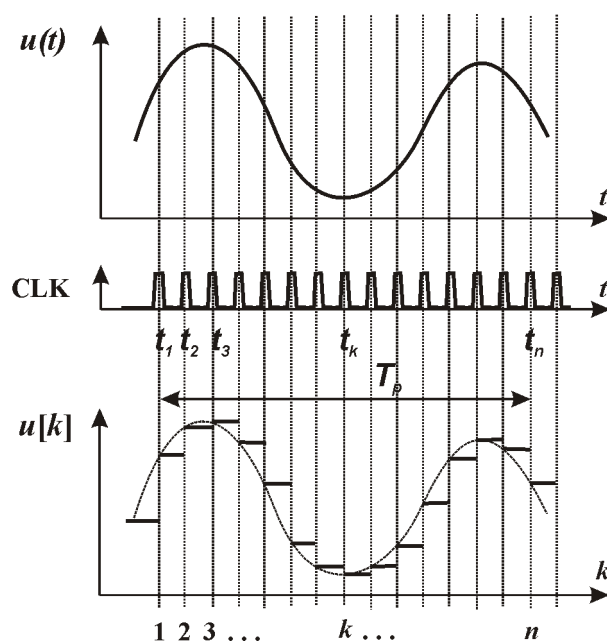
$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n u^2[k]}, \quad (8)$$

wartość średnią:

$$U_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n u[k], \quad (9)$$

wartość średnią wyprostowaną (półokresową):

$$U_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |u[k]|. \quad (10)$$



Rys.2. Przebiegi czasowe w próbkującym układzie pomiarowym

1.3. Wymagania stawiane procesowi próbkowania

Ciąg próbek wartości chwilowych $u[1], u[2], \dots, u[k], \dots, u[n]$ jednoznacznie reprezentuje sygnał ciągły $u(t)$ pod warunkiem spełnienia twierdzenia o próbkowaniu. Twierdzenie o próbkowaniu (zwane również twierdzeniem Kotielnikowa-Shannona) mówi że sygnał ciągły może być ponownie wiernie odtworzony z sygnału dyskretnego, jeśli był próbkowany z częstotliwością f_s co najmniej dwa razy większą od częstotliwości granicznej f_g swego widma (tak zwany warunek Nyquista):

$$f_s \geq 2 \cdot f_g. \quad (11)$$

W technice pomiarowej przyjęło się określać szybkość próbkowania nie za pomocą częstotliwości f_s , ale parametrem SR (*Sample Rate* – szybkość próbkowania) podawanym w SPS (*Samples per Seconds* – liczba próbek na sekundę).








W układach rzeczywistych spełnienie twierdzenia o próbkowaniu w postaci zależności (11) jest niewystarczające, gdyż tylko sygnały nieograniczone w czasie mają ograniczone widmo. W praktyce zaś pomiar zawsze jest ograniczony w czasie do pewnego przedziału czasu T_p , zwanego oknem pomiarowym. Konieczne jest w takim przypadku stosowanie filtrów ograniczających pasmo sygnału, ale ponieważ charakterystyki filtrów nie są idealnie strome, zazwyczaj stosuje się znacznie wyższe szybkości próbkowania, niż wynika to z zależności (11). Dodatkowym problemem jest zjawisko tzw. przecieku widma (*leakage spectrum*) występujące gdy okno pomiarowe nie jest całkowitą wielokrotnością okresu podstawowej harmonicznej sygnału.


2. Podstawy obsługi środowiska LabView

LabView jest graficznym środowiskiem programistycznym przeznaczonym do tworzenia programów zorientowanych na obsługę systemów pomiarowych. W ćwiczeniu będzie wykorzystywany gotowy program symulujący działanie próbkującego układu pomiarowego wyznaczającego podstawowe parametry napięcia w sieci energetycznej. Nie jest przewidziane w ramach ćwiczenia samodzielne pisanie programu przez studentów. Aby uruchomić program przygotowany w środowisku LabView należy:

- uruchomić środowisko LabView,

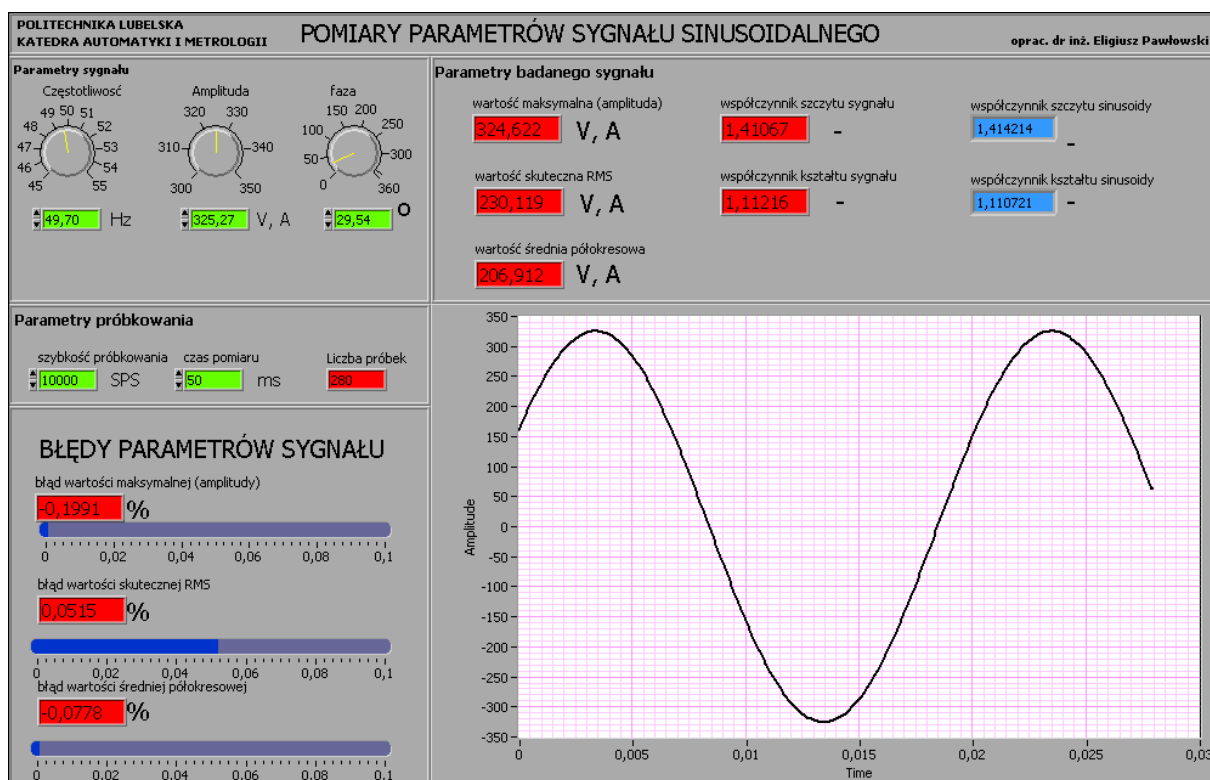
- otworzyć plik programu znajdujący się na dysku twardym komputera,
- uruchomić program.

Do uruchomienie programu służą przyciski  i . Proste programy nie posiadające w swej strukturze pętli programowych należy zazwyczaj uruchamiać przyciskiem , dzięki czemu pracują one w sposób ciągły i można je zatrzymać przyciskiem . Programy bardziej złożone posiadające w swej strukturze pętle programowe należy uruchamiać zazwyczaj przyciskiem , a do ich zatrzymywania służy odpowiedni przycisk sterujący w tej aplikacji. Uruchomienie programu sygnalizowane jest zmianą postaci przycisków na  i .

Każda aplikacja przygotowana w środowisku LabView składa się z dwóch części: Panelu i Diagramu. Panel stanowi graficzny interfejs użytkownika aplikacji, natomiast Diagram jest graficznym zapisem algorytmu realizowanego przez tę aplikację. Po otwarciu aplikacji w środowisku LabView widoczny jest jej Panel sterujący. Przelączenie pomiędzy widokiem Panelu i Diagramu jest możliwe za pomocą kombinacji klawiszy **CTRL+E**. Analizę Diagramu programu można sobie znacznie ułatwić włączając przyciskiem  okno pomocy kontekstowej **Context Help**.

3. Opis stanowiska ćwiczeniowego

W ćwiczeniu wykorzystywany jest program symulujący działanie układu pomiarowego wyznaczającego podstawowe parametry napięcia w sieci energetycznej na podstawie pobranych próbek wartości chwilowych. Panel programu przedstawia Rys. 3.



Rys.3. Wygląd Panelu programu wykorzystywanego w ćwiczeniu

W lewej górnej części znajdują się elementy umożliwiające ustawienie parametrów napięcia: częstotliwości f_{syg} , amplitudy A_{syg} i fazy φ_{syg} . Poniżej ustawiane są parametry próbkowania: szybkość próbkowania sygnału SR i czas pomiaru T_p . Wszystkie parametry, których wartości można w programie zmieniać umieszczone są na zielonych polach. W górnej prawej części Panelu umieszczone są wyniki pomiarów parametrów napięcia: wartość


maksymalna U_{max} , wartość skuteczna U_{RMS} , wartość średnia półokresowa U_{sr} , współczynniki szczytu k_s i kształtu k_k . W lewej dolnej części panelu widoczne są błędy popełnione podczas pomiaru: błąd wartości maksymalnej δU_{max} , błąd wartości skutecznej δU_{RMS} , błąd wartości średniej półokresowej δU_{sr} . Wszystkie wyniki pomiarów oraz obliczone błędy umieszczone są na czerwonych polach. Dodatkowo na niebieskich polach przedstawione są teoretyczne wartości współczynników kształtu i szczytu dla przebiegu sinusoidalnego. W prawej dolnej części Panelu widoczny jest przebieg czasowy wygenerowany przez program na podstawie zadanych parametrów sygnału i sposobu próbkowania.

4. Wykonanie ćwiczenia

4.1. Uruchomienie stanowiska i zapoznanie się z programem

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_1** i otworzyć plik przyrzędu wirtualnego **Lab_ME_LV_1.vi**. Kombinacją klawiszy **CTRL+E** przełączyć okno programu pomiędzy Panelem a Diagramem. Zapoznać się z budową Panelu i Diagramu.

4.2. Analiza Diagramu połączeń przyrzędu wirtualnego

Przełączyć okno programu na Diagram. Przyciskiem  włączyć okno pomocy kontekstowej **Context Help**. Odszukać fragment realizujący obliczanie teoretycznych wartości współczynnika kształtu k_k i współczynnika szczytu k_s dla sinusoidy. **Przerysować odpowiedni fragment diagramu połączeń do protokołu**. Korzystając z okna pomocy kontekstowej opisać na przerysowanym fragmencie diagramu wykorzystane w nim obiekty. Odtworzyć z przerysowanego fragmentu diagramu wzory według których program oblicza wartości tych współczynników.


4.3. Wydruk dokumentacji programu

Utworzyć na dysku twardym komputera pliki z dokumentacją wykorzystywanego w ćwiczeniu przyrzędu wirtualnego. Pliki będą zawierać obraz Panelu oraz Diagramu. Kolejność postępowania:

- wybrać opcję **File/Print..** i w oknie **Select VI(s)** zaznaczyć nazwę aplikacji do wydruku, wcisnąć **NEXT**,
- w oknie **Print Contents** zaznaczyć opcję **VI documentation**, wcisnąć **NEXT**,
- w oknie **VI Documentation** zaznaczyć opcje: **Front Panel, Controls (connected Controls), Descriptions, Data type information, Label, Block Diagram**, wcisnąć **NEXT**,
- w oknie **Destination** wybrać opcję **HTML File**, wcisnąć **NEXT**,
- w oknie **HTML** wybieramy **Image format: GIF (uncompressed), color depth: 256 colors**, wcisnąć **SAVE**,
- w oknie **SAVE** wybrać katalog (jeśli go jeszcze nie ma, to należy go utworzyć): **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. Zapisać plik.
- 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. Badanie wpływu szybkości próbkowania na błędy przetwarzania


Uruchomić program do pracy cyklicznej przyciskiem . Ustawić parametry sygnału: częstotliwość $f_{syg}=50\text{Hz}$, amplituda $A_{syg}=325,27\text{V}$, faza $\varphi_{syg}=0^\circ$. Dla stałej wartości czasu pomiaru $T_p=200\text{ms}$ zadawać szybkość próbkowania sygnału SR od 500SPS do 1000SPS z krokiem 100SPS i dalej do 10000SPS z krokiem 1000SPS.

Do Tabeli 1 należy zapisywać odczytane z Panelu programu wartości parametrów spróbkowanego sygnału: liczbę próbek n , wartość maksymalną U_{max} , wartość skuteczną U_{RMS} , wartość średnią półokresową U_{sr} , błąd wartości maksymalnej δU_{max} , błąd wartości skutecznej δU_{RMS} , błąd wartości średniej półokresowej δU_{sr} , współczynniki szczytu k_s i kształtu k_k .

Przeanalizować zgromadzone w Tabeli 1 wyniki i ustalić, który z parametrów sygnału i jego błąd zależą najbardziej od szybkości próbkowania SR , a który najmniej? **Zapisać wniosek do protokołu.**

W sprawozdaniu należy na podstawie Tabeli 1 przedstawić na wspólnym wykresie zależność błędów δU_{max} , δU_{RMS} , δU_{sr} od szybkości próbkowania SR . Oś szybkości próbkowania SR wykonać w skali logarytmicznej.


4.5. Badanie wpływu długości okna pomiarowego na błędy przetwarzania

Uruchomić program do pracy cyklicznej przyciskiem . Ustawić parametry sygnału: częstotliwość $f_{syg}=50\text{Hz}$, amplituda $A_{syg}=325,27\text{V}$, faza $\varphi_{syg}=0^\circ$. Dla stałej wartości szybkość próbkowania sygnału $SR=10000\text{SPS}$ zadawać czasu pomiaru (długość okna pomiarowego) T_p od 200ms do 40ms z krokiem 10ms i dalej zmniejszać co 1ms, aż program zgłosi wystąpienie błędu.

Do Tabeli 2 należy zapisywać odczytane z Panelu programu wartości parametrów spróbkowanego sygnału: wartość maksymalną U_{max} , wartość skuteczną U_{RMS} , wartość średnią półokresową U_{sr} , błąd wartości maksymalnej δU_{max} , błąd wartości skutecznej δU_{RMS} , błąd wartości średniej półokresowej δU_{sr} , współczynniki szczytu k_s i kształtu k_k .

Obliczyć i zapisać do Tabeli 2 liczbę okresów N_{okr} sygnału zarejestrowanych w czasie T_p :


$$N_{okr} = \frac{T_p}{T_{syg}} = T_p \cdot f_{syg} \quad .$$

Gdy program zasygnalizuje błąd **przepisać treść komunikatu do protokołu** i nacisnąć w okienku błędu **STOP**. Na Diagramie odszukać element zgłaszający błąd i sprawdzić jakie parametry są w nim wyliczane. Wspomóc się okienkiem pomocy kontekstowej (przycisk ). **Wnioski zapisać do protokołu.**

Przeanalizować zgromadzone w Tabeli 2 wyniki i ustalić, który z parametrów sygnału i jego błąd zależą najbardziej od długości okna pomiarowego T_p , a który najmniej? **Zapisać wniosek do protokołu.**

W sprawozdaniu należy na podstawie Tabeli 2 przedstawić na wspólnym wykresie zależność błędów δU_{max} , δU_{RMS} , δU_{sr} od długości okna pomiarowego T_p .

4.6. Badanie wpływu częstotliwości sygnału na błędy przetwarzania

Uruchomić program do pracy cyklicznej przyciskiem . Ustawić parametry sygnału: częstotliwość $f_{syg}=48\text{Hz}$, amplituda $A_{syg}=325,27\text{V}$, faza $\varphi_{syg}=0^\circ$. Dla stałej wartości szybkość próbkowania $SR=1000\text{SPS}$ i czasu pomiaru $T_p=50\text{ms}$ zmieniać częstotliwość sygnału f_{syg} od 48Hz do 52 Hz z krokiem 0,2Hz.

Do Tabeli 3 należy zapisywać odczytane z Panelu programu wartości parametrów spróbkowanego sygnału: liczbę próbek n , wartość maksymalną U_{max} , wartość skuteczną U_{RMS} ,

wartość średnią półokresową U_{sr} , błąd wartości maksymalnej δU_{max} , błąd wartości skutecznej δU_{RMS} , błąd wartości średniej półokresowej δU_{sr} , współczynniki szczytu k_s i kształtu k_k .

Obliczyć i zapisać do Tabeli 3 liczbę próbek n_{okr} przypadającą na jeden okres sygnału:

$$n_{okr} = SR \cdot T_{syg} = \frac{SR}{f_{syg}}.$$

W Tabeli 3 odszukać częstotliwość sygnału dla której wystąpił największy błąd pomiaru wartości skutecznej δU_{RMS} . Zmieniając częstotliwość sygnału f_{syg} w pobliżu tej wartości z krokiem 0,01Hz znaleźć możliwie precyzyjnie największą wartość błędu wartości skutecznej δU_{RMS} . Zapisać wyniki do Tabeli 4 w wierszu 0.


Nie zmieniając pozostałych parametrów, zmniejszać szybkość próbkowania od ustawionej wartości $SR=1000SPS$ z krokiem 1SPS, aż błąd pomiaru wartości skutecznej δU_{RMS} ponownie zbliży się do zera (w pobliżu tej wartości występuje zmiana znaku błędu). Zapisać wyniki do Tabeli 4.

Kontynuując eksperyment zmniejszać szybkość próbkowania SR z krokiem 1SPS i ustalić kolejnych 5 wartości szybkości próbkowania SR , dla których błąd pomiaru wartości skutecznej δU_{RMS} zbliża się do zera. Jako wynik przyjmować wartość błędu najbliższą zeru. W Tabeli 4 należy zapisywać odczytaną z Panelu liczbę próbek sygnału n oraz liczbę próbek przypadającą na jeden okres sygnału n_{okr} .

Przeanalizować zgromadzone w tabelkach 3 i 4 wyniki i ustalić, który z parametrów ma największe znaczenie przy pomiarze wartości skutecznej sygnału U_{RMS} , a który najmniejsze? **Zapisać wniosek do protokołu.**

W sprawozdaniu należy na podstawie Tabeli 3 przedstawić na wspólnym wykresie zależność błędów δU_{max} , δU_{RMS} , δU_{sr} od częstotliwości sygnału f_{syg} .

4.7. Badanie wpływu fazy sygnału na błędy przetwarzania

Uruchomić program do pracy cyklicznej przyciskiem . Ustawić parametry sygnału zapisane w Tabeli 4 dla największej wartości błędu wartości skutecznej δU_{RMS} . Zmieniać fazę sygnału od wartości $\varphi_{syg}=0^\circ$ do 360° z krokiem 30° .

Do Tabeli 5 należy zapisywać odczytane z Panelu programu wartości parametrów spróbkowanego sygnału: liczbę próbek n , wartość maksymalną U_{max} , wartość skuteczną U_{RMS} , wartość średnią półokresową U_{sr} , błąd wartości maksymalnej δU_{max} , błąd wartości skutecznej δU_{RMS} , błąd wartości średniej półokresowej δU_{sr} , współczynniki szczytu k_s i kształtu k_k .


Obliczyć i zapisać do Tabeli 5 liczbę próbek przypadającą na jeden okres sygnału n_{okr} oraz liczbę próbek n_φ przypadającą na ustawione przesunięcie fazowe sygnału :

$$n_\varphi = SR \cdot T_{syg} \frac{\varphi_{syg}}{360^\circ} = \frac{SR \cdot \varphi_{syg}}{f_{syg} \cdot 360^\circ}.$$

Przeanalizować zgromadzone w Tabeli 5 wyniki i ustalić, który z parametrów sygnału i jego błąd zależą najbardziej od fazy sygnału φ_{syg} , a który najmniej? **Zapisać wniosek do protokołu.**

W sprawozdaniu należy na podstawie Tabeli 5 przedstawić na wspólnym wykresie zależność błędów δU_{max} , δU_{RMS} , δU_{sr} od fazy sygnału φ_{syg} .

4.8. Rejestracja sygnału dla charakterystycznych parametrów próbkowania

Przeanalizować wszystkie wyniki zgromadzone w Tabelach 1-5 i odszukać parametry próbkowania, dla których wystąpił największy błąd pomiaru amplitudy sygnału δU_{max} . Zanotować te parametry w Tabeli 6, ustawić je na Panelu i uruchomić program . Zapisać uzyskany przebieg sygnału do pliku dyskowego. Kolejność postępowanie jest następująca:

- ustawić kursor myszki na oknie przebiegu sygnału i kliknąć prawym przyciskiem myszki,
 - z otworzonego menu wybrać opcję **Export Simplified Image**, zaznaczyć opcję **Bitmap (BMP)** i **Save to file**,
 - wybrać katalog utworzony przez grupę laboratoryjną na początku zajęć i wpisać nazwę pliku odpowiednio do zawartości, zatwierdzić **OK** i zapisać **Save**,
 - sprawdzić zawartość pliku i zanotować w Tabeli 6 nazwę pliku z zapisanym przebiegiem.
- Analogenicznie postąpić dla odszukanych największych wartości błędu pomiaru wartości skutecznej δU_{RMS} oraz błędu wartości średniej półokresowej δU_{sr} .
- Przeanalizować zgromadzone w Tabeli 6 (i poprzednich) wyniki i ustalić, który z parametrów sygnału jest wyznaczany z największymi błędami a który z najmniejszymi?
Zapisać wniosek do protokołu.

5. Wykonanie sprawozdania

W sprawozdaniu należy przedstawić kolejno dla każdego zrealizowanego punktu uzyskane rezultaty w postaci: zapisanych plików graficznych, tabel z wynikami badań i obliczeń, wzory wykorzystane do obliczeń, wykresy, wnioski. We wnioskach końcowych z ćwiczenia należy podsumować uzyskane rezultaty eksperymentów: które parametry próbkowania i parametry sygnału są najbardziej istotne dla uzyskania małych błędów pomiaru ?

6. Tabelki

Tabela 1. Wpływ szybkości próbkowania na błędy przetwarzania

Parametry sygnału: $A_{syg}=325,27V$ $f_{syg}= 50Hz$ $\varphi_{syg}= 0stopni$										
Parametry próbkowania: $SR=$ zmienne $T_p= 200ms$ $n=$ zmienne										
lp	szybkość próbkowania SR	liczba próbek n	U_{max}	U_{RMS}	U_{sr}	błąd δU_{max}	błąd δU_{RMS}	błąd δU_{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk
-	SPS	-	V	V	V	%	%	%	-	-
1	500									
2	600									
3	700									
4	800									
5	900									
6	1000									
7	2000									
8	3000									
9	4000									
10	5000									
11	6000									
12	7000									
13	8000									
14	9000									
15	10000									

Tabela 2. Wpływ długości okna pomiarowego na błędy przetwarzania

Parametry sygnału: $A_{syg}= 325,27V$ $f_{syg}= 50Hz$ $\phi_{syg}= 0stopni$										
Parametry próbkowania: $SR= 10000$ $Tp= zmienne$ $n= zmienne$										
lp	długość okna pomiarowego Tp	liczba okresów $Nokr$	U_{max}	$URMS$	U_{sr}	błąd δU_{max}	błąd $\delta URMS$	błąd δU_{sr}	współ. szczytu k_s	współ. kształtu k_k
-	ms	-	V	V	V	%	%	%	-	-
1	200									
2	180									
3	160									
4	140									
5	120									
6	100									
7	80									
8	60									
9	40									
10	39									
11	38									
12	37									
13	36									
14	35									
15	34									
16	33									
17	32									
18	31									

Tabela 3. Wpływ częstotliwości sygnału na błędy przetwarzania

Parametry sygnału: $A_{syg}= 325,27V$ $f_{syg}=$ zmienna $\varphi_{syg}= 0$ stopni										
Parametry próbkowania: $SR= 1000$ $T_p= 50ms$ $n=$										
lp	częstotliwość sygnału f_{syg}	liczba próbek w okresie n_{okr}	U_{max}	$URMS$	U_{sr}	błąd δU_{max}	błąd $\delta URMS$	błąd δU_{sr}	współ. szczytu k_s	współ. kształtu k_k
-	Hz	-	V	V	V	%	%	%	-	-
1	48,0									
2	48,2									
3	48,4									
4	48,6									
5	48,8									
6	49,0									
7	49,2									
8	49,4									
9	49,6									
10	49,8									
11	50,0									
12	50,2									
13	50,4									
14	50,6									
15	50,8									
16	51,0									
17	51,2									
18	51,4									
19	51,6									
20	51,8									
21	52,0									

Tabela 4. Wpływ szybkości próbkowania w stosunku do częstotliwości sygnału

Parametry sygnału: $A_{syg}= 325,27V$ $f_{syg}=$ $\varphi_{syg}= 0$ stopni									
Parametry próbkowania: $SR=$ zmienne $T_p= 50ms$ $n=$ zmienne									
lp	szybkość próbkowania SR	liczba próbek n	liczba próbek w okresie n_{okr}	U_{max}	$URMS$	U_{sr}	błąd δU_{max}	błąd $\delta URMS$	błąd δU_{sr}
-	SPS	-	-	V	V	V	%	%	%
0	1000								
1									
2									
3									
4									
5									

Tabela 5. Wpływ fazy sygnału na błędy przetwarzania

Parametry sygnału: $A_{syg}= 325,27V$ $f_{syg}=$ $\varphi_{syg}=$ zmienne										
Parametry próbkowania: $SR= 1000$ $T_p= 50ms$ $n=$ $n_{okr}=$										
lp	faza sygnału φ_{syg}	liczba próbek fazy $n\varphi$	U_{max}	$URMS$	U_{sr}	błąd δU_{max}	błąd $\delta URMS$	błąd δU_{sr}	współ. szczytu k_s	współ. kształtu k_k
-	0	-	V	V	V	%	%	%	-	-
1	0,0									
2	30,0									
3	60,0									
4	90,0									
5	120,0									
6	150,0									
7	180,0									
8	210,0									
9	240,0									
10	270,0									
11	300,0									
12	330,0									
13	360,0									

Tabela 6. Zestawienie krytycznych parametrów próbkowania

Parametry krytyczne dla maksymalnego błędu wartości maksymalnej										
Parametry sygnału:		$A_{syg} =$			$f_{syg} =$			$\varphi_{syg} =$		
Parametry próbkowania:		$SR =$			$T_p =$			$n =$		$n_{okr} =$
lp	U_{max}	$URMS$	U_{sr}	błąd δU_{max}	błąd $\delta URMS$	błąd δU_{sr}	współ. szczytu k_s	współ. kształtu k_k	nazwa pliku z zapisanym przebiegiem	
-	V	V	V	%	%	%	-	-	-	
1										

Parametry krytyczne dla maksymalnego błędu wartości skutecznej										
Parametry sygnału:		$A_{syg} =$			$f_{syg} =$			$\varphi_{syg} =$		
Parametry próbkowania:		$SR =$			$T_p =$			$n =$		$n_{okr} =$
lp	U_{max}	$URMS$	U_{sr}	błąd δU_{max}	błąd $\delta URMS$	błąd δU_{sr}	współ. szczytu k_s	współ. kształtu k_k	nazwa pliku z zapisanym przebiegiem	
-	V	V	V	%	%	%	-	-	-	
2										

Parametry krytyczne dla maksymalnego błędu wartości średniej										
Parametry sygnału:		$A_{syg} =$			$f_{syg} =$			$\varphi_{syg} =$		
Parametry próbkowania:		$SR =$			$T_p =$			$n =$		$n_{okr} =$
lp	U_{max}	$URMS$	U_{sr}	błąd δU_{max}	błąd $\delta URMS$	błąd δU_{sr}	współ. szczytu k_s	współ. kształtu k_k	nazwa pliku z zapisanym przebiegiem	
-	V	V	V	%	%	%	-	-	-	
3										