

LV2

Pomiary parametrów sygnałów odkształconych

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z problematyką wyznaczania parametrów sygnałów odkształconych, a w szczególności zbadanie wpływu odkształcenia na pomiary wartości skutecznych prądów i napięć.

1. Wprowadzenie

1.1. Parametry przebiegów odkształconych

W sieci energetycznej w coraz większym stopniu występują odkształcone przebiegi napięć i prądów. Każdy sygnał okresowy może być przedstawiony w postaci szeregu Fouriera:

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (1)$$

gdzie U_0 jest składową stałą a U_n amplitudą kolejnych składowych harmonicznych o pulsacjach $n\omega$ i fazach φ_n . W sieci energetycznej częstotliwość podstawowej harmonicznej wynosi $f_1=50\text{Hz}$ i w praktyce znaczenie ma kilkanaście pierwszych harmonicznych, szczególnie trzecia i piąta, które osiągają największe wartości.

Wyższe harmoniczne niekorzystnie wpływają na pracę sieci energetycznej i większości dołączonych do niej odbiorników energii. Negatywnie również wpływają na dokładność pomiaru wielu istotnych parametrów takich jak: wartości skutecznej napięcia i prądu, mocy czynnej i energii elektrycznej.

Do oceny wielkości odkształcenia sygnału prądu i napięcia stosuje się współczynniki szczytu k_s , kształtu k_k i zawartości harmonicznych h .

Współczynnik szczytu (ang. *Crest Factor CF*) jest to stosunek wartości maksymalnej (szczytowej) U_{max} do wartości skutecznej sygnału U_{sk} :

$$k_s = \frac{U_{max}}{U_{sk}} \quad (2)$$

Współczynnik kształtu (ang. *Waveform Factor WF*) jest stosunkiem wartości skutecznej U_{sk} do średniej z wartości bezwzględnej (wyprostowanej) U_{sr} :

$$k_k = \frac{U_{sk}}{U_{sr}} \quad (3)$$

Współczynnik zawartości harmonicznych (ang. *Total Harmonic Distortion THD*) jest stosunkiem wartości skutecznej wyższych harmonicznych sygnału do wartości skutecznej składowej podstawowej (h_1) lub do wartości skutecznej całego sygnału (h_2), zazwyczaj podawanym w procentach:

$$h_1 = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{nsk}^2}}{U_1} \cdot 100\% \quad (4)$$

$$h_2 = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{nsk}^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} U_{nsk}^2}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Współczynnik (h_2) bywa również nazywany współczynnikiem zniekształceń.

1.2. Problematyka pomiaru wartości skutecznej

Pomiar wartości skutecznej napięcia (podobnie jak i prądu) według wzoru definicyjnego:

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (6)$$

napotyka na liczne trudności związane z koniecznością wykonania skomplikowanych operacji podnoszenia wartości chwilowych sygnału $u(t)$ do kwadratu, uśredniania ich i pierwiastkowania. Przyrządy pomiarowe, które mierzą wartość skuteczną zgodnie ze wzorem definicyjnym (6) zazwyczaj oznaczane są przez producenta symbolem *RMS* (ang. *Root Mean Square* – pierwiastek średniego kwadratu). Stosuje się również w stosunku do nich sformułowanie, że realizują pomiar „prawdziwej wartości skutecznej”. Ze względu na stosunkowo wysokie koszty produkcji tego rodzaju mierników, popularnym rozwiązaniem jest zastąpienie pomiaru prawdziwej wartości skutecznej *RMS* pomiarem wartości średniej wyprostowanej U_{sr} (półokresowej) :

$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (7)$$

i przemnożenie uzyskanego wyniku przez współczynnik kształtu k_k dla sinusoidy:

$$k_k = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cong 1,111 \quad (8)$$

Mierniki działające według tej zasady są znacznie prostsze w konstrukcji, dużo tańsze i dzięki temu bardzo popularne. Często nazywane są miernikami uśredniającymi. Są to mierniki reagujące na wartość średnią i wyskalowane w wartościach skutecznych dla przebiegów sinusoidalnych. Mierniki takie popełniają błąd podczas pomiaru wartości skutecznej przebiegów odkształconych o współczynniku kształtu k_k innym niż 1,111:

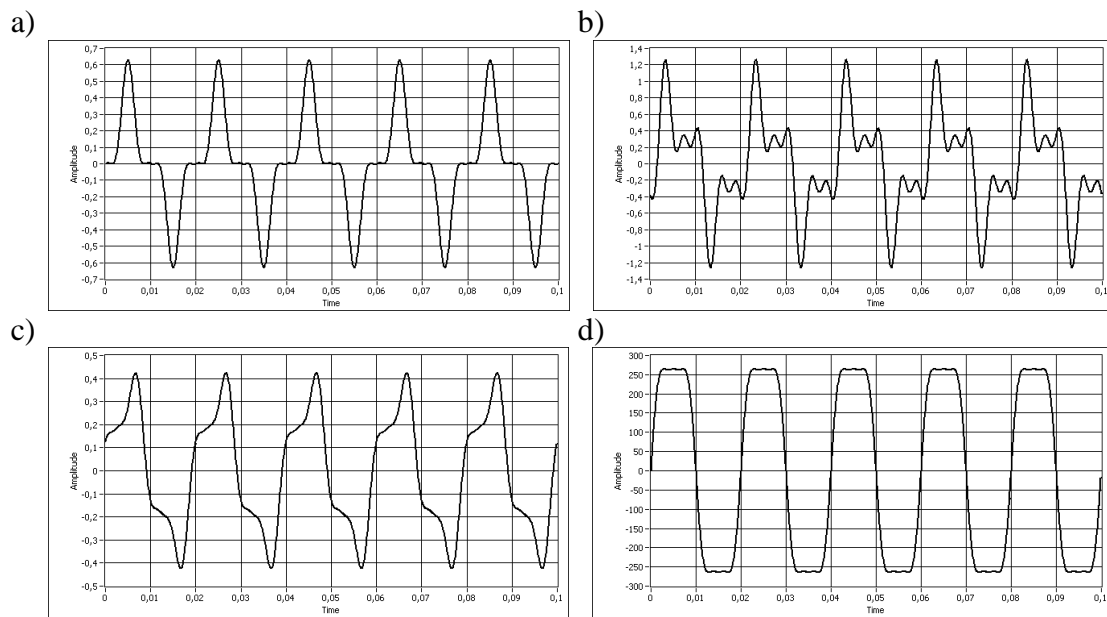
$$\delta k_k = \frac{1,111 - k_k}{1,111} \quad (9)$$

Błąd ten nazywamy błędem od kształtu krzywej. Zastosowanie takiego miernika do pomiaru wartości skutecznej napięcia lub prądu odkształconego może skutkować bardzo dużymi błędami.

2. Źródła przebiegów odkształconych

Współcześnie do sieci energetycznej dołączanych jest wiele odbiorników, które w mniejszym lub większym stopniu odkształcają sygnał prądu lub napięcia. Do popularnie stosowanych urządzeń tego rodzaju można zaliczyć: świetlówki kompaktowe (tzw. „żarówki energooszczędne”), zasilacze impulsowe np. te powszechnie stosowane w komputerach klasy IBM PC, impulsowe regulatory oświetlenia, regulatory prędkości obrotowej silników, przekształtnikowe układy napędowe, transformatory pobierające silnie zniekształcony prąd magnesujący rdzeń, bezprzerwowe zasilacze awaryjne (ang. *Uninterruptible Power Supply*

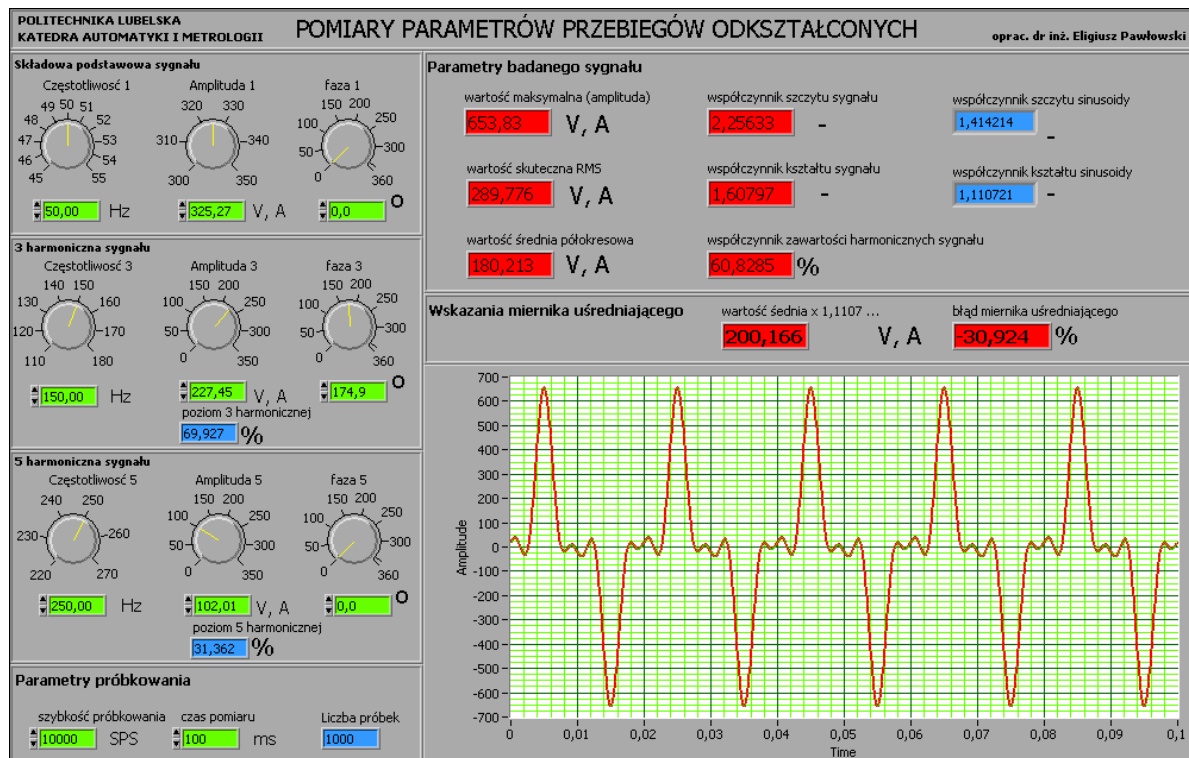
UPS) i wiele innych. Na Rys. 1 przedstawione przykładowe prądy i napięcia takich elementów.



Rys.1. Przykładowe przebiegi odkształcone: a) prąd świetłówki kompaktowej, b) prąd zasilacza impulsowego komputera PC, c) prąd jałowy transformatora, d) napięcie wyjściowe zasilacza komputerowego UPS.

3. Opis stanowiska ćwiczeniowego

W ćwiczeniu wykorzystywany jest program symulujący działanie układu pomiarowego wyznaczającego podstawowe parametry odkształconego napięcia (lub prądu) w sieci energetycznej 230V 50Hz. Panel programu przedstawia Rys. 2.



Rys.2. Wygląd Panelu programu wykorzystywanego w ćwiczeniu


W lewej górnej części Panelu znajdują się elementy umożliwiające ustawienie parametrów (częstotliwości f_{syg} , amplitudy A_{syg} i fazy ϕ_{syg}) dla podstawowej harmonicznej napięcia (lub prądu) o znamionowej częstotliwości 50Hz. Poniżej znajdują się elementy umożliwiające ustawienie analogicznych parametrów dla trzeciej (150Hz) i piątej (250Hz) harmonicznej. Na samym dole Panelu 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 oraz współczynnik zawartości harmonicznych h . W okienku poniżej wyliczana jest wartość wskazywana przez miernik reagujący na wartość średnią i wyskalowany w wartościach skutecznych dla sinusoidy oraz błąd takiego miernika w stosunku do prawdziwej wartości skutecznej RMS , czyli błąd od kształtu krzywej napięcia (prądu) δk_k . 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 oraz poziomy wyższych harmonicznych wyrażone w % wartości harmonicznej podstawowej. 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_2** i otworzyć plik przyrzędu wirtualnego **Lab_ME_LV_2.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 wartości współczynnika zawartości harmonicznych h . **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 wzór według którego program oblicza wartość tego współczynnika.


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 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 parametrów przykładowych przebiegów odkształconych

Uruchomić program do pracy cyklicznej przyciskiem . Ustawić parametry próbkowania: szybkość próbkowania sygnału $SR=10000SPS$, czas pomiaru $T_p=200ms$. Ustawić parametry podstawowej, trzeciej i piątej harmonicznej sygnału odpowiadające przykładowym przebiegom napięć i prądów w sieci energetycznej:

a. prąd zasilacza komputera PC - $f_{syg1}=50Hz$, $A_{syg1}=0,63A$, $\varphi_{syg1}=0^\circ$, $f_{syg3}=150Hz$, $A_{syg3}=0,46A$, $\varphi_{syg3}=269^\circ$, $f_{syg5}=250Hz$, $A_{syg5}=0,26A$, $\varphi_{syg5}=162^\circ$,

b. prąd zasilacza komputera PC z korekcją wsp. mocy- $f_{syg1}=50Hz$, $A_{syg1}=0,63A$, $\varphi_{syg1}=0^\circ$, $f_{syg3}=150Hz$, $A_{syg3}=0,1A$, $\varphi_{syg3}=99,5^\circ$, $f_{syg5}=250Hz$, $A_{syg5}=0,14A$, $\varphi_{syg5}=101,4^\circ$,

c. prąd świetlówki kompaktowej - $f_{syg1}=50Hz$, $A_{syg1}=0,36A$, $\varphi_{syg1}=0^\circ$, $f_{syg3}=150Hz$, $A_{syg3}=0,21A$, $\varphi_{syg3}=180^\circ$, $f_{syg5}=250Hz$, $A_{syg5}=0,06A$, $\varphi_{syg5}=0^\circ$,

d. prąd magnesujący transformatora- $f_{syg1}=50Hz$, $A_{syg1}=0,33A$, $\varphi_{syg1}=0^\circ$, $f_{syg3}=150Hz$, $A_{syg3}=0,12A$, $\varphi_{syg3}=76,8^\circ$, $f_{syg5}=250Hz$, $A_{syg5}=0,03A$, $\varphi_{syg5}=163,8^\circ$,

e. napięcie wyjściowe zasilacza UPS- $f_{syg1}=50Hz$, $A_{syg1}=318V$, $\varphi_{syg1}=0^\circ$, $f_{syg3}=150Hz$, $A_{syg3}=68V$, $\varphi_{syg3}=0^\circ$, $f_{syg5}=250Hz$, $A_{syg5}=14V$, $\varphi_{syg5}=0^\circ$,

f. napięcie trójfazne - $f_{syg1}=50Hz$, $A_{syg1}=325,27V$, $\varphi_{syg1}=0^\circ$, $f_{syg3}=150Hz$, $A_{syg3}=34V$, $\varphi_{syg3}=180^\circ$, $f_{syg5}=250Hz$, $A_{syg5}=18V$, $\varphi_{syg5}=0^\circ$,


g. nieznieskształcone napięcie sinusoidalne - $f_{syg1}=50Hz$, $A_{syg1}=325,27V$, $\varphi_{syg1}=0^\circ$, $f_{syg3}=150Hz$, $A_{syg3}=0V$, $\varphi_{syg3}=0^\circ$, $f_{syg5}=250Hz$, $A_{syg5}=0V$, $\varphi_{syg5}=0^\circ$,

Do Tabeli 1 należy zapisywać odczytane z Panelu programu wartości parametrów sygnału: liczbę próbek n , wartość maksymalną U_{max} , wartość skuteczną U_{RMS} , wartość średnią półokresową U_{sr} , współczynniki szczytu k_s i kształtu k_k , współczynnik zawartości harmonicznych h , wskazanie miernika uśredniającego oraz jego błąd δk_k .

Dla każdego zestawu parametrów zapisać otrzymany przebieg czasowy sygnału do pliku dyskowego, nazwę pliku zanotować do protokołu.

W sprawozdaniu należy na podstawie Tabeli 1 przedstawić na wykresie zależność błędu miernika uśredniającego δk_k od wartości współczynnika kształtu k_k oraz zamieścić uzyskane przebiegi czasowe sygnałów. Sprawdzić, czy uzyskane wyniki potwierdzają zależności (8) i (9)? Zapisać wniosek.

4.5. Badanie wpływu zawartości trzeciej harmonicznej na błędy przetwarzania

Uruchomić program do pracy cyklicznej przyciskiem . Ustawić parametry próbkowania: szybkość próbkowania sygnału $SR=10000SPS$, czas pomiaru $T_p=200ms$. Ustawić parametry podstawowej harmonicznej: $f_{syg1}=50Hz$, $A_{syg1}=325,27V$, $\varphi_{syg1}=0^\circ$ oraz trzeciej harmonicznej: $f_{syg3}=150Hz$, $\varphi_{syg3}=0^\circ$, amplitudę zmieniać od wartości $A_{syg3}=0V$ do $200V$ z krokiem $20V$. Piątą harmoniczną przyjąć równą zero ($f_{syg5}=250Hz$, $A_{syg5}=0V$, $\varphi_{syg5}=0^\circ$).


Do Tabeli 2 należy zapisywać odczytane z Panelu programu wartości parametrów sygnału: liczbę próbek n , wartość maksymalną U_{max} , wartość skuteczną U_{RMS} , wartość średnią półokresową U_{sr} , współczynniki szczytu k_s i kształtu k_k , współczynnik zawartości harmonicznych h , wskazanie miernika uśredniającego oraz jego błąd δk_k .

Podczas pomiarów dodatkowo ustalić i zapisać w ostatnim wierszu Tabeli 2 wartość trzeciej harmonicznej A_{syg3} , dla której występuje największa wartość błędu δk_k .

Przeanalizować zgromadzone w Tabeli 2 wyniki i ustalić, który z parametrów zależy najbardziej od poziomu trzeciej harmonicznej A_{syg3} , a który najmniej? **Zapisać wniosek do protokołu.**

W sprawozdaniu należy na podstawie Tabeli 2 przedstawić na wspólnym wykresie zależność współczynników szczytu k_s , kształtu k_k i zawartości harmonicznych h , od poziomu trzeciej harmonicznej A_{syg3} .

4.6. Badanie wpływu fazy trzeciej harmonicznej na błędy przetwarzania


Uruchomić program do pracy cyklicznej przyciskiem . Ustawić parametry próbkowania: szybkość próbkowania sygnału $SR=10000SPS$, czas pomiaru $T_p=200ms$. Ustawić parametry podstawowej harmonicznej: $f_{syg1}=50Hz$, $A_{syg1}=325,27V$, $\varphi_{syg1}=0^\circ$. Amplitudę trzeciej harmonicznej A_{syg3} ustawić na podstawie Tabeli 2 dla uzyskanego największego błędu δk_k . Fazę trzeciej harmonicznej zmieniać od wartości $\varphi_{syg3}=0^\circ$ do 360° z krokiem 30° . Pozostałe parametry przyjąć: $f_{syg3}=150Hz$, piątą harmoniczną przyjąć równą zeru ($f_{syg5}=250Hz$, $A_{syg5}=0V$, $\varphi_{syg5}=0^\circ$).

Do Tabeli 3 należy zapisywać odczytane z Panelu programu wartości parametrów sygnału: liczbę próbek n , wartość maksymalną U_{max} , wartość skuteczną U_{RMS} , wartość średnią półokresową U_{sr} , współczynniki szczytu k_s i kształtu k_k , współczynnik zawartości harmonicznych h , wskazanie miernika uśredniającego oraz jego błąd δk_k .

Przeanalizować zgromadzone w Tabeli 3 wyniki i ustalić, który z parametrów zależy najbardziej od fazy trzeciej harmonicznej φ_{syg3} , a który najmniej? **Zapisać wniosek do protokołu.**

W sprawozdaniu należy na podstawie Tabeli 3 przedstawić na wspólnym wykresie zależność współczynników szczytu k_s , kształtu k_k i zawartości harmonicznych h , od fazy trzeciej harmonicznej φ_{syg3} .

4.7. Wyznaczenie największych wartości błędów

Uruchomić program do pracy cyklicznej przyciskiem . Ustawić parametry próbkowania: szybkość próbkowania sygnału $SR=10000SPS$, czas pomiaru $T_p=200ms$. Ustawić parametry podstawowej harmonicznej: $f_{syg1}=50Hz$, $A_{syg1}=325,27V$, $\varphi_{syg1}=0^\circ$. Ustawić częstotliwość trzeciej i piątej harmonicznej: $f_{syg3}=150Hz$, $f_{syg5}=250Hz$. Dobrać pozostałe parametry trzeciej harmonicznej (A_{syg3} , φ_{syg3}) i piątej harmonicznej (A_{syg5} , φ_{syg5}) tak, aby uzyskać największą możliwą **dodatnią** wartość błędu δk_k . Zapisać uzyskane rezultaty do Tabeli 4. Zapisać do pliku dyskowego uzyskany przebieg czasowy. Opisać słownie otrzymany kształt sygnału.

Powtórzyć badania tak, aby uzyskać największą możliwą **ujemną** wartość błędu δk_k . Zapisać uzyskane rezultaty do Tabeli 4. Zapisać do pliku dyskowego uzyskany przebieg czasowy. Opisać słownie otrzymany kształt sygnału.

Przeanalizować sposób poszukiwania ekstremalnych wartości błędów oraz zgromadzone w Tabeli 4 wyniki i ustalić, które z parametrów sygnału miały największy wpływ na znak błędu i jego wartość? Jak kształt sygnału wpływa na znak błędu? **Zapisać wnioski 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: czy potwierdziły się zależności teoretyczne (8) i (9), jak parametry kolejnych harmonicznych wpływają na współczynniki szczytu k_s , kształtu k_k i zawartości harmonicznych h , które parametry sygnału są najbardziej istotne dla uzyskania małych błędów pomiaru ?

6. Tabelki

Tabela 1. Pomiary przykładowych przebiegów odkształconych

Parametry próbkowania								
SR=			T _p =			n=		
Parametry sygnału(a)								
harmoniczna podstawowa		harmoniczna trzecia		harmoniczna piąta		opis słowny przebiegu		
f _{syg1} =		f _{syg3} =		f _{syg5} =				
A _{syg1} =		A _{syg3} =		A _{syg5} =				
φ _{syg1} =		φ _{syg3} =		φ _{syg5} =				
Wyniki pomiarów								
U _{max}	URMS	U _{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk	nazwa pliku z przebiegiem
V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%	-
Parametry sygnału (b)								
harmoniczna podstawowa		harmoniczna trzecia		harmoniczna piąta		opis słowny przebiegu		
f _{syg1} =		f _{syg3} =		f _{syg5} =				
A _{syg1} =		A _{syg3} =		A _{syg5} =				
φ _{syg1} =		φ _{syg3} =		φ _{syg5} =				
Wyniki pomiarów								
U _{max}	URMS	U _{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk	nazwa pliku z przebiegiem
V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%	-
Parametry sygnału (c)								
harmoniczna podstawowa		harmoniczna trzecia		harmoniczna piąta		opis słowny przebiegu		
f _{syg1} =		f _{syg3} =		f _{syg5} =				
A _{syg1} =		A _{syg3} =		A _{syg5} =				
φ _{syg1} =		φ _{syg3} =		φ _{syg5} =				
Wyniki pomiarów								
U _{max}	URMS	U _{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk	nazwa pliku z przebiegiem
V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%	-

Tabela 1. (c.d.)

Parametry sygnału (d)								
harmoniczna podstawowa		harmoniczna trzecia		harmoniczna piąta		opis słowny przebiegu		
$f_{syg1} =$		$f_{syg3} =$		$f_{syg5} =$				
$A_{syg1} =$		$A_{syg3} =$		$A_{syg5} =$				
$\varphi_{syg1} =$		$\varphi_{syg3} =$		$\varphi_{syg5} =$				
Wyniki pomiarów								
U_{max}	$URMS$	U_{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk	nazwa pliku z przebiegiem
V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%	-
Parametry sygnału (e)								
harmoniczna podstawowa		harmoniczna trzecia		harmoniczna piąta		opis słowny przebiegu		
$f_{syg1} =$		$f_{syg3} =$		$f_{syg5} =$				
$A_{syg1} =$		$A_{syg3} =$		$A_{syg5} =$				
$\varphi_{syg1} =$		$\varphi_{syg3} =$		$\varphi_{syg5} =$				
Wyniki pomiarów								
U_{max}	$URMS$	U_{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk	nazwa pliku z przebiegiem
V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%	-
Parametry sygnału (f)								
harmoniczna podstawowa		harmoniczna trzecia		harmoniczna piąta		opis słowny przebiegu		
$f_{syg1} =$		$f_{syg3} =$		$f_{syg5} =$				
$A_{syg1} =$		$A_{syg3} =$		$A_{syg5} =$				
$\varphi_{syg1} =$		$\varphi_{syg3} =$		$\varphi_{syg5} =$				
Wyniki pomiarów								
U_{max}	$URMS$	U_{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk	nazwa pliku z przebiegiem
V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%	-

Tabela 1. (c.d.)

Parametry sygnału (g)								
harmoniczna podstawowa		harmoniczna trzecia		harmoniczna piąta		opis słowny przebiegu		
$f_{syg1} =$		$f_{syg3} =$		$f_{syg5} =$				
$Asyg1 =$		$Asyg3 =$		$Asyg5 =$				
$\varphi_{syg1} =$		$\varphi_{syg3} =$		$\varphi_{syg5} =$				
Wyniki pomiarów								
U_{max}	$URMS$	U_{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk	nazwa pliku z przebiegiem
V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%	-

Tabela 2. Wpływ poziomu trzeciej harmonicznej na błędy od kształtu krzywej

Parametry próbkowania									
$SR =$			$Tp =$				$n =$		
Parametry sygnału(a)									
harmoniczna podstawowa			harmoniczna trzecia			harmoniczna piąta			
$f_{syg1} =$			$f_{syg3} =$			$f_{syg5} =$			
$Asyg1 =$			$Asyg3 =$			$Asyg5 =$			
$\varphi_{syg1} =$			$\varphi_{syg3} =$			$\varphi_{syg5} =$			
Wyniki pomiarów									
lp	$Asyg3$	U_{max}	$URMS$	U_{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk
-	V,A	V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%
1	0								
2	20								
3	40								
4	60								
5	80								
6	100								
7	120								
8	140								
9	160								
10	180								
11	200								
12									

Tabela 3. Wpływ fazy trzeciej harmonicznej na błędy od kształtu krzywej

Parametry próbkowania									
SR=		Tp=				n=			
Parametry sygnału(a)									
harmoniczna podstawowa			harmoniczna trzecia			harmoniczna piąta			
fsyg1=			fsyg3=			fsyg5=			
Asyg1=			Asyg3=			Asyg5=			
φsyg1=			φsyg3=			zmienne		φsyg5=	
Wyniki pomiarów									
lp	φsyg3	U _{max}	URMS	U _{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk
-	V,A	V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%
1	0								
2	30								
3	60								
4	90								
5	120								
6	150								
7	180								
8	210								
9	240								
10	270								
11	300								
12	330								
13	360								

Tabela 4. Ekstremalne wartości błędów od kształtu krzywej

Parametry próbkowania									
SR=		Tp=				n=			
Parametry sygnału dla błędu maksymalnego dodatniego (+)									
harmoniczna podstawowa		harmoniczna trzecia		harmoniczna piąta		opis słowny przebiegu			
fsyg1=		fsyg3=		fsyg5=					
Asyg1=		Asyg3=		Asyg5=					
φsyg1=		φsyg3=		φsyg5=					
Wyniki pomiarów									
U _{max}	URMS	U _{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk	nazwa pliku z przebiegiem	
V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%	-	

Tabela 4. (c.d.)

Parametry sygnału dla błędu maksymalnego ujemnego (-)								
harmoniczna podstawowa		harmoniczna trzecia		harmoniczna piąta		opis słowny przebiegu		
$f_{syg1} =$		$f_{syg3} =$		$f_{syg5} =$				
$A_{syg1} =$		$A_{syg3} =$		$A_{syg5} =$				
$\varphi_{syg1} =$		$\varphi_{syg3} =$		$\varphi_{syg5} =$				
Wyniki pomiarów								
U_{max}	$URMS$	U_{sr}	współ. szczytu ks	współ. kształtu kk	współ. zniek. nieliniow. h	wskaz. miernika uśred.	błąd miernika uśred. δkk	nazwa pliku z przebiegiem
V,A	V,A	V,A	-	-	%	V,A	%	-