

*XIV Seminarium*  
**ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2004**  
Oddział Gdański PTETiS

**KOMPUTEROWY SYSTEM DO POMIARU WSPÓŁCZYNNIKA  
ZAWARTOŚCI HARMONICZNYCH**

**Stanisław GALLA<sup>1</sup>, Beata PAŁCZYŃSKA<sup>2</sup>, Ludwik SPIRALSKI<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki  
tel.: + 48 58 347 14 84, fax: +48 58 341 61 32, e-mail: kapsz@eti.pg.gda.pl

<sup>2</sup> Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny  
tel.: +48 58 690 15 52, fax: +48 58 621 73 53, e-mail: palbeata@am.gdynia.pl

Przedstawiono rozwiązania funkcjonalne i układowe komputerowego systemu do pomiaru współczynnika zawartości harmonicznych. Szerzej omówiono zastosowane algorytmy realizowane programowo, które umożliwiły zmniejszenie wpływu niepożądanych składowych losowych i okresowych nieskorelowanych z częstotliwością podstawową obserwowanego przebiegu, na dokładność wyznaczania współczynnika zawartości harmonicznych. Przytoczono przykładowe wyniki badań eksperymentalnych potwierdzające zasadność proponowanych rozwiązań.

## 1. WPROWADZENIE

Przebiegi napięciowe w sieciach zasilających, poza sinusoidalną składową podstawową (zwykle o nominalnej częstotliwości 50 Hz) zawierają składowe niepożądane nazywane obecnie zaburzeniami, które mają charakter zarówno zdeterminowany jak i losowy. Zaburzenia te w wielu przypadkach mogą mieć negatywny wpływ na pracę różnorodnych urządzeń. Równocześnie parametry napięcia występującego w sieciach niejednokrotnie przyjmują wartości, które nie są dopuszczalne w przyjętych uregulowaniach normalizacyjnych i prawnych [4,9].

Jedną z podstawowych wielkości charakteryzujących jakość energii elektrycznej jest współczynnik zawartości harmonicznych przebiegów napięciowych i prądowych, występujących w sieciach niskiego napięcia nazywany niekiedy współczynnikiem odkształcenia harmonicznymi  $THD_{40}$  [3,4,9]:

$$THD_{40}[\%] = \left| \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=40} U_{hn}^2}}{U_1} \right| \cdot 100 \quad (1)$$

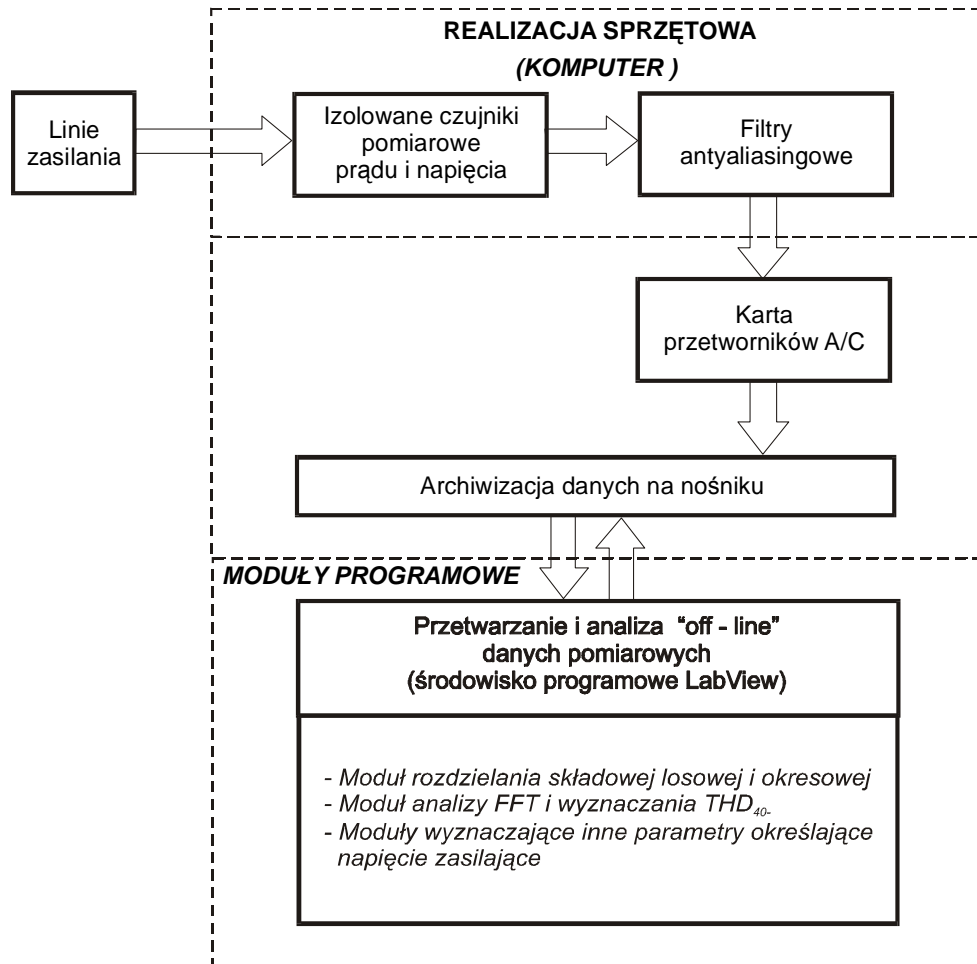
przy czym:  $U_p$ ,  $U_{hm}$  – poziomy napięcia (amplitudy lub wartości skuteczne) odpowiednio składowej podstawowej i  $n$  – tej harmonicznej,  $n$  – liczba całkowita z zakresu 2...40 określająca rząd harmonicznych [3,4,9].

## 2. KOMPUTEROWY SYSTEM POMIAROWY

W zakresie małych częstotliwości pomiary wielkości elektrycznych, wykonywane są obecnie głównie metodami cyfrowymi przede wszystkim ze względu na dużo krótszy czas estymacji parametrów w porównaniu z techniką analogową. Dodatkową zaletą techniki cyfrowej jest możliwość wyznaczania dowolnych charakterystyk i dynamicznych obserwowanych przebiegów. W zastosowanym systemie pomiarowym rejestrowane są odpowiednio dobrane liczności próbek badanego przebiegu, które następnie są przetwarzane zgodnie z zadanymi procedurami estymacji parametrów i charakterystyk z wykorzystaniem oprogramowania graficznego LabVIEW [2]. Schemat funkcjonalny systemu składa się z dwóch części: sprzętowej i programowej (rysunek 1). Część sprzętowa zawiera przekładniki napięciowe i prądowe, układy wstępnego kondycjonowania sygnału, w tym zespoły filtrów dolnoprzepustowych (antyaliasingowych), które są instalowane w celu uniknięcia błędów związanych z maskowaniem widma, gdy wykracza ono poza częstotliwość Nyquista. Częstotliwości graniczne analogowych filtrów antyaliasingowych są zmienne w zależności od analizowanego pasma częstotliwości. Następnie sygnały analogowe są przekształcane w postać cyfrową (zastosowano przetwornik a/c o rozdzielczości 16 – bitów).

Obróbka danych cyfrowych przeprowadzana jest w środowisku programowym LabVIEW. Otwarta architektura programowa pozwala na zastosowanie autorsko opracowanych modułów, pozwalających na uwzględnienie w obliczeniach danych pochodzących z rejestracji rzeczywistych przebiegów bądź teoretycznie założonych. Dzięki temu można dokonywać szczegółowych analiz wpływu różnorodnych czynników, w tym w obserwowanym przebiegu, na niepewności wyznaczania współczynnika zawartości harmonicznych. Przyjęta architektura systemu pozwala na zastosowanie w procedurach pomiarowych modyfikowanych algorytmów zwiększających dokładność pomiarów.

W części sprzętowej systemu jako układy wstępnego kondycjonowania sygnału zastosowano przekładnik napięciowy LEM – 25 – P, który umożliwił separację sieci niskiego napięcia od układu pomiarowego oraz filtry antyaliasingowe SCXI – 1141 a kartę pomiarową PCI – MI – 16XE – 50 jako przetwornik a/c.

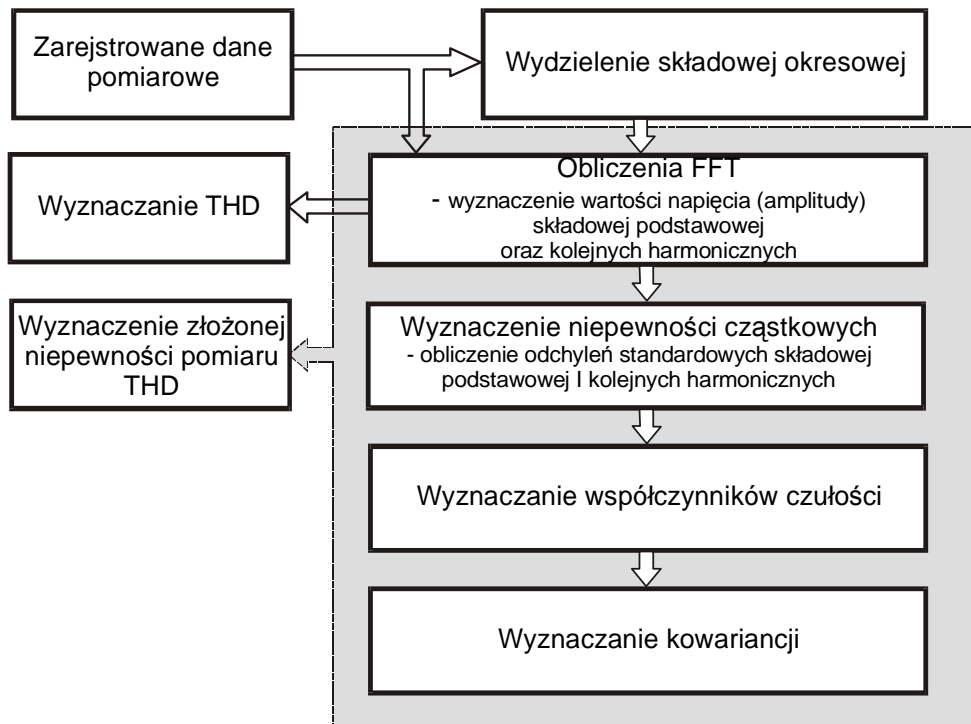


Rys. 1. Schemat funkcjonalny systemu pomiaru zaburzeń małowzrostliwościowych

### 3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Wymagania aparaturowe przyjęte przy rejestracji badanych przebiegów umożliwiły analizę tych sygnałów dla dwóch rozdzielczości  $\Delta f$  w procedurze  $DFT$  (1 Hz i 5 Hz) z wydzieleniem i bez wydzielenia składowej okresowej w badanym przebiegu (rysunek 2). Oceniano przebiegi napięciowe w systemie napędowym silnika z przekształtnikiem energoelektronicznym. Każdy współczynnik  $THD_{40}$  wyznaczano na podstawie zbieranych próbek w czasie 3 s i 15 s. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem rozdzielczości  $\Delta f$  maleje wartość współczynnika  $THD_{40}$  w napięciu sieci z pracującymi przekształtnikami (tablica 1). Wartość współczynnika  $THD_{40}$  nie zmienia się przy rozdzielczości  $\Delta f = 1$  Hz dla różnych długości czasu rejestracji sygnału mierzonego. W przebiegu napięcia sieci w warunkach pracy silnika bez pracującego przekształtnika, który jest głównym źródłem zaburzeń okresowych, nie zaobserwowano wpływu zmiany rozdzielczości analizy  $DFT$  na poziom współczynnika  $THD_{40}$  jak również na niepewność jego wyznaczania. Wynika z tych

obserwacji, że odpowiedni dobór rozdzielczości pozwala wyeliminować występujące w mierzonym sygnale dodatkowe przebiegi okresowe o częstotliwościach nie skorelowanych z częstotliwością składowej podstawowej. Poziom niepożądanych składowych losowych można zredukować stosując procedurę rozdzielania w sygnale mierzonym składowych losowych i okresowych [6,7,8]. Polega ona na koherentnym dodawaniu odcinków czasowych napięcia o długości odpowiadającej całkowitej wielokrotności okresu przebiegu o częstotliwości podstawowej. Obliczony dla tych przebiegów napięcia współczynnik  $THD_{40}$  przyjmuje wartości znacznie mniejsze niż w poprzednim przypadku (tablica 2). Potwierdza to udział składowych losowych w zarejestrowanych przebiegach. Znaczący wpływ na poziom współczynnika  $THD_{40}$  ma liczba uśrednień odcinków czasowych napięcia, im jest ona większa tym w większym stopniu redukuje się składową losową w sygnale mierzonym. Stąd też poziom  $THD_{40}$  jest najniższy dla większej liczby uśrednień i większej rozdzielczości.



Rys. 2. Algorytm wyznaczania współczynnika  $THD_{40}$  oraz złożonej niepewności pomiaru  $THD_{40}$  [2]

Złożona niepewność wyznaczania współczynnika  $THD_{40}$  głównie zależy od długości analizowanego przebiegu (liczby próbek) [1,5]. Z przeprowadzonych analiz wynika, że wpływ rozdzielczości analizy  $DFT$  na niepewność pomiaru dla tej samej długości czasu obserwacji sygnału mierzonego jest pomijalnie mały (tablica 1 i tablica 2). Natomiast znacząco mniejsze wartości niepewności wyznaczania  $THD_{40}$  otrzymano dla najdłuższego czasu obserwacji sygnału mierzonego (15 s) przy rozdzielczości  $\Delta f$  równej 1 Hz. Zastosowanie procedury rozdzielania składowych w przebiegu napięcia sieci dla tych danych pomiarowych spowodowało wzrost niepewności pomiaru  $THD_{40}$ .

Tablica 1. Niepewność pomiaru  $THD_{40}$  w napięciu sieci układu napędowego silnika

Napięcie		Średnia wartość $THD_{40}$ [%]			Niepewność pomiaru $THD$ [%]		
$f_s$ [Hz]	$f_p$ [kHz]	Liczba uśrednień M			Liczba uśrednień M		
		15		3	15		3
		$\Delta f = 5$ Hz	$\Delta f = 1$ Hz	$\Delta f = 1$ Hz	$\Delta f = 5$ Hz	$\Delta f = 1$ Hz	$\Delta f = 1$ Hz
50	12	2,95	2,51	2,50	0,27	0,05	0,27
50	6	2,09	2,07	2,07	0,07	0,03	0,06
50	-	2,01	2,01	2,01	0,01	0,01	0,01

Tablica 2. Niepewność pomiaru  $THD$  w napięciu sieci układu napędowego silnika po wydzieleniu składowych o częstotliwościach będących wielokrotnością 50Hz

Napięcie		Średnia wartość $THD_{40}$ [%]			Niepewność pomiaru $THD$ [%]		
$f_s$ [Hz]	$f_p$ [kHz]	Liczba uśrednień M			Liczba uśrednień M		
		15		3	15		3
		$\Delta f = 5$ Hz	$\Delta f = 1$ Hz	$\Delta f = 1$ Hz	$\Delta f = 5$ Hz	$\Delta f = 1$ Hz	$\Delta f = 1$ Hz
50	12	1,82	1,68	1,87	0,26	0,24	0,26
50	6	1,46	0,54	1,53	0,15	0,02	0,14
50	-	1,79	0,65	1,81	0,07	0,01	0,06

gdzie:  $f_s$  – częstotliwość podstawowa,  $f_p$  – częstotliwość kluczowania przekształtnika

#### 4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie procedur przetwarzania „off – line” w systemie o otwartej architekturze programowania umożliwia przeprowadzenie porównania różnych metod pomiarowych przy wyznaczaniu współczynnika  $THD$ . Analiza uzyskanych wyników wskazuje, że przy pomiarach małych wartości współczynnika  $THD$ , duży wpływ na jego wartość mają składowe okresowe o częstotliwościach nie skorelowanych z częstotliwością podstawową sieci zasilania oraz zaburzenia losowe. Pomiar wykazały, że niedokładności wyznaczania współczynnika  $THD_{40}$  mogą przekroczyć 100 % (np. wartość współczynnika  $THD_{40}$  po operacji rozdzielania składowych w sygnale mierzonym spada z 2,01 % na 0,65 % — tablica 1 i tablica 2). Wydaje się celowym w takich przypadkach podawanie również informacji o poziomach składowej podstawowej, jej harmonicznych, oraz składowych losowych i okresowych o częstotliwościach nie skorelowanych z częstotliwością

podstawową sieci dla określonego pasma częstotliwości. Szersze porównanie zalecanych w normach i cytowanych w literaturze metod pomiaru *THD* pod kątem niedokładności jego wyznaczania autorzy zamierzają przedstawić w oddzielnej pracy.

### **Bibliografia**

- [1] Betta G., Liguori C., Pietrosano A., Propagation of uncertainty in DFT algorithm, *Measurement*, no.27 (2000), pp. 231-239.
- [2] Galla S., Pałczyńska B., Spiralski L. Random components influence on the values characterizing periodic disturbances in low voltage supply lines, 13<sup>th</sup> IMEKO TC4 Symposium, Athens 2004, vol II, pp.735-739.
- [3] IEC 61000-4-30:2003, Testing and measurement techniques – Section 30: Power Quality Measurements Methods.
- [4] IEC 61000-4-7:2002, Testing and measurement techniques – Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurement and instrumentations for power supply systems and equipment connected thereto.
- [5] Liguori C., Uncertainty on signal parameter estimation in frequency domain, 11th IMEKO TC-4 Symposium – Trends in Electrical Measurement and Instrumentation, Sept. 13 -14, 2001, IST-Lisbon, Portugal, pp. 276-280.
- [6] Pałczyńska B. Technika pomiaru zakłóceń w zakresie bardzo małych częstotliwości w okrętowych sieciach niskiego napięcia, Praca doktorska, Gdańsk 2000.
- [7] Pałczyńska B., Spiralski L., Turczyński J., Pomiar składowej losowej zakłóceń występujących w energetycznych liniach zasilania niskiego napięcia, *Pr. Przemysł. Int. Elektr.(PIE)*,2000 R. 61 [nr] 142 s. 109-133.
- [8] Pałczyńska B., Spiralski L., Turczyński J., The new method of interference assessment in low-voltage power supply lines, 11th IMEKO TC-4 Symposium – Trends in Electrical Measurement and Instrumentation, Sept. 13 -14, 2001, IST-Lisbon, Portugal, pp. 130-134.
- [9] PN-EN 50160:2002, Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych.

### **PC-BASED MEASUREMENT SYSTEM TO DETERMINE THE TOTAL HARMONIC DISTORTION COEFFICIENT**

The functional and hardware solutions of PC-based measurement system to determine the total harmonic distortion coefficient are presented. It more widely discusses the used algorithms, which have enabled decrease of the influence of the undesired periodic components, not correlated with the fundamental frequency of the observed waveform and random components on the accuracy in measuring THD. The exemplary results of experimental research confirming validity of proposed solutions are shown.