

Materiały z II Konferencji Naukowo-Technicznej "Diagnostyka w sieciach elektroenergetycznych zakładów przemysłowych", Płock, 2001, str.3-10.

Andrzej OLENCKI

Politechnika Zielonogórska, 65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50, e-mail: A.Olencki@iie.uz.zgora.pl

Krzysztof URBANSKI

Politechnika Zielonogórska, 65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50, e-mail: K.Urbansk@iie.uz.zgora.pl

ANALIZATOR CALPORT100 – NOWY TREND W DIAGNOSTYCE I EKSPLOATACJI SIECI ENERGETYCZNYCH

Omówiono analizatory parametrów sieci energetycznej w wersji przenośnych walizek pomiarowych. Zwykle analizatory umożliwiają pomiar napięć, prądów, kątów fazowych i współczynników mocy, mocy czynnych, biernych i pozornych, ponadto niektóre umożliwiają pomiar harmonicznym napięć i prądów. Omawiany analizator umożliwia dodatkowo wyświetlanie graficzne wektora napięć i prądów oraz analizę harmonicznym mocy czynnych i biernych, a także, dodatkowo łączy funkcje czterokwadrantowego kontrolnego licznika energii i oprogramowania stacji wzorcowniczej. Połączenie tych funkcji w jednym przenośnym przyrządzie wyznacza nowy trend w omawianym obszarze techniki. W ręce pracowników służb energetycznych przekazywany jest przyrząd o możliwościach, które dotychczas miały nieliczne laboratoria. W celu wymiany doświadczeń praktycznym, omówiono nowe możliwości diagnozy przyczyn powstawania harmonicznym napięcia.

1. OPIS TRENDU

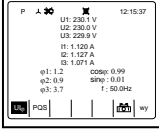
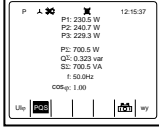
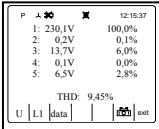
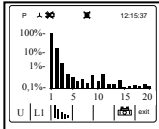
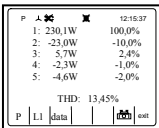
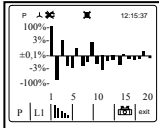
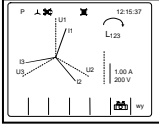
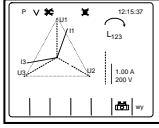
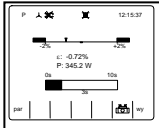
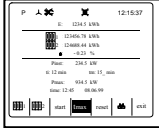
Rozwój elektroniki i technik pomiarowych przyczynił się do pojawienia się nowego rodzaju przyrządu pomiarowego – analizatora (miernika) parametrów sieci energetycznej i testera liczników energii, który łączy w sobie funkcje dwóch przyrządów: analizatora parametrów sieci i testera liczników.

Analizatory parametrów sieci produkowane są w wersji stacjonarnych mierników tablicowych, przenośnych walizek pomiarowych i stacjonarnych przyrządów laboratoryjnych (tabl.1). Praktycznie wszystkie analizatory parametrów sieci umożliwiają pomiar napięć (U), prądów (I), kątów fazowych (φ), współczynników mocy ($\cos\varphi$, $\sin\varphi$), częstotliwości (f), mocy czynnych (P), biernych (Q) i pozornych (S). Analizatory tablicowe zazwyczaj nie mierzą energii czynnej E_P , biernej E_Q i pozornej E_S - czasami umożliwiają analizę harmonicznym napięć i prądów, ale bez graficznej wizualizacji wyników pomiarów.

Analizatory laboratoryjne, oprócz pełnego zestawu mierzonych parametrów sieci z energią włącznie, umożliwiają analizę harmonicznym napięć i prądów, oraz często analizę harmonicznym mocy czynnych i biernych, wraz z graficzną wizualizacją wyników pomiarów, a także graficzne wyświetlanie wektora trójfazowego napięć i prądów. Duża dokładność i szeroki zakres mierzonych wielkości okupione są zazwyczaj dużymi gabarytami i wysoką ceną. Część analizatorów laboratoryjnych wyposażona jest w funkcje czterokwadrantowego testowania liczników energii oraz, czasami w możliwość testowania liczników maksymalnych.

Testowanie liczników energii jest podstawową funkcją testerów liczników – specjalizowanych przyrządów złożonych z licznika kontrolnego i specjalistycznego oprogramowania stacji wzorcowniczej. Część testerów liczników, szczególnie laboratoryjnych, wyposażona jest w funkcje typowe dla analizatorów parametrów sieci, głównie w funkcje pomiaru napięć, prądów, kątów i mocy, rzadziej w funkcje analizy harmonicznym napięć i prądów.

Tablica 1. Zestawienie funkcji analizatorów parametrów sieci i testerów liczników energii

Częstość występowania funkcji [%]					
Funkcja	Analizatory parametrów sieci			Testery liczników	
	stacjonarne tablicowe	przenośne walizkowe	stacjonarne laboratoryjne	przenośne walizkowe	stacjonarne laboratoryjne
Pomiar $U+I+\varphi+\cos\varphi+f+$ $+P+Q+S+f+E_P+E_Q+E_S$	100%	100%	100%	50%	80%
 	zazwyczaj bez pomiaru energii E	czasami bez pomiaru energii E	czasami bez pomiaru energii E		
Analiza harmonicznych $U+I$	20%	40%	90%	10%	40%
 	bez grafiki	czasami z grafiką	zazwyczaj z grafiką	czasami z grafiką	czasami z grafiką
Analiza harmonicznych $P+Q$	0%	10%	50%	0%	0%
 		czasami z grafiką	zazwyczaj z grafiką		
Grafika wektorowa	0%	40%	90%	10%	0%
 					
Testowanie liczników w czterech kwadrantach	0%	20%	30%	100%	100%
					
maksymalnych	0%	10%	20%	10%	30%
					



PRZENOŚNY
zmniejszanie:

- gabarytów,
- masy,
- poboru mocy

WIELOFUNKCYJNY

zwiększanie:

- liczby funkcji:
 - ◆ pełna analiza harmonicznych $U+I+P+Q$,
 - ◆ grafika wektorowa,
 - ◆ pełne testowanie liczników,
- dokładności,
- zakresu pomiarów

W ostatnich latach zmniejszyła się różnica między analizatorami parametrów sieci i testerami liczników – jest to szczególnie widoczne w grupie przyrządów laboratoryjnych, oraz pojawiły się nowe przyrządy, które w sobie łączą obie grupy funkcji. Przykładem takich przyrządów jest seria analizatorów parametrów sieci i testerów liczników typu Calport100 [1] (klasa dokładności 0,2 lub 0,1), Calport200 [2] (klasa 0,05) i Calport400 [3] (klasa 0,02). Połączenie obu grup funkcji w **jednym przenośnym** przyrządzie wyznacza nowy trend w omawianym obszarze techniki pomiarowej wielkości elektroenergetycznych.

2. PARAMETRY TECHNICZNE

Analizator Calport100 jest przenośnym urządzeniem elektronicznym łączącym wielofunkcyjność (tabl.1) z dużą dokładnością – klasa 0,1% lub 0,2% (tabl.2) w szerokim zakresie prądów 0,005...1000A i z wielowariantowym wyprowadzaniem danych (wyświetlanie cyfrowe i graficzne, wewnętrzne pamięci, lokalne drukowanie na miniaturowej drukarce, transmisja przez interfejs lub modem i analiza danych na komputerze PC). Szeroki zakres napięć zasilania od 85V do 265V i mały pobór mocy – typowo około 6VA, umożliwiają zasilanie analizatora bezpośrednio z obwodów pomiarowych, i tym samym stosowanie go na obiektach, także w tych miejscach, gdzie nie występuje pomocnicze napięcie zasilania. Mały gabaryt i ciężar tylko 4,5kg umożliwiają stosowanie go również w trudnodostępnych miejscach o małej przestrzeni.

Tablica 2. Zestawienie parametrów analizatora Calport100

Funkcja / parametr	Zakres	Błąd dopuszczalny	
		klasa 0,1	klasa 0,2
Napięcie	10,00...480,0V	±0,1%	±0,2%
	40,00...480,0V	±0,1%*	±0,2%*
	10,00...39,99V	±0,1%*	±0,2%*
Prąd bezpośredni	0,0050...6,000A	±0,1%	±0,2%
	0,1000...6,000A	±0,1%*	±0,2%*
	0,0050...0,0999A	±0,1%*	±0,2%*
Prąd z cęgami 100A	0,50...100,0A	±0,5%	±0,5%
Prąd z cęgami 1000A	5,0...1000A		
Moc i energia czynna pomiar bezpośredni	0,05...6A / 40...480V	±0,1%	±0,2%
	0,005...0,0499A / 10...39,99V	±0,1%*	±0,2%*
Moc i energia czynna pomiar cęgami	0,5...100A / 40...480V	±0,5%	±0,5%
	5...1000A / 40...480V	±0,5%	±0,5%
Moc i energia bierna pomiar bezpośredni	0,05...6A / 40...480V	±0,2%	±0,4%
	0,005...0,0499A / 10...39,99V	±0,2%*	±0,4%*
Moc i energia bierna pomiar cęgami	0,5...100A / 40...480V	±0,5%	±0,5%
	5...1000A / 40...480V	±0,5%	±0,5%
Moc i energia pozorna pomiar bezpośredni	0,05...6A / 40...480V	±0,1%	±0,2%
	0,005...0,0499A / 10...39,99V	±0,1%*	±0,2%*
Moc i energia pozorna pomiar cęgami	0,5...100A / 40...480V	±0,5%	±0,5%
	5...1000A / 40...480V	±0,5%	±0,5%
Rozdzielczość pomiaru błędu badanego licznika "ε"		0,01%	0,01%
Kąt fazowy pomiar bezpośredni Kąt fazowy pomiar cęgami	0,0...±360,0°	±0,2°	±0,4°
		±0,5°	±0,5°
Współczynnik mocy cos φ i sin φ		±0,01	±0,01
Częstotliwość		±0,1Hz	±0,1Hz
Wpływ temperatury otoczenia		0,1 błędu dopuszczalnego / 1°C w zakresie temperatur +5...+20°C i +26...+40°C	
Wpływ zniekształceń		0,1 błędu dopuszczalnego / 1%THD w zakresie 2...20%	
Zasilanie		85..230..265 / 45..65Hz / 10VA	
Wymiary i masa		220 / 160 / 165 mm / 4,5 kg	
* wartości końcowej podzakresu pomiaru, błąd dopuszczalny mocy odniesiony do wartości mocy pozornej			

3. OPIS OPCJI ANALIZY HARMONICZNYCH

Opcja analizy harmoniczných umożliwia pomiar współczynników harmoniczných K_i i całkowitego współczynnika odkształcenia harmonicznymi (całkowity współczynnik zniekształceń) THD , w zakresie częstotliwości od podstawowej do 20-tej harmonicznej, dla napięć, prądów, mocy czynnych i mocy biernych każdej z faz L1, L2 i L3, które są obliczane z zastosowaniem Dyskretnej Transformaty Fouriera według następujących wzorów:

$$K_{Ui} = \frac{U_i}{U_1} \cdot 100\% \quad K_{Ii} = \frac{I_i}{I_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$K_{Pi} = \frac{P_i}{S_1} \cdot 100\% \quad K_{Qi} = \frac{Q_i}{S_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$THD_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{20} U_i^2}{\sum_{i=1}^{20} U_i^2}} \cdot 100\% \quad THD_I = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{20} I_i^2}{\sum_{i=1}^{20} I_i^2}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$THD_P = \frac{\sum_{i=2}^{20} |P_i|}{\sum_{i=1}^{20} |P_i|} \cdot 100\% \quad THD_Q = \frac{\sum_{i=2}^{20} |Q_i|}{\sum_{i=1}^{20} |Q_i|} \cdot 100\% \quad (4)$$

gdzie:

- $K_{Ui}, K_{Ii}, K_{Pi}, K_{Qi}$ - współczynniki harmoniczných napięcia, prądu, mocy czynnej i biernej [%],
- THD_U, THD_I - całkowite współczynniki zniekształceń napięcia i prądu [%],
- THD_P, THD_Q - całkowite współczynniki zniekształceń mocy czynnej i mocy biernej [%],
- U, I - wartości skuteczne napięcia i prądu,
- i - rząd (numer) harmonicznej,
- S_1 - moc pozorna pierwszej harmonicznej.

Zgodnie z normą [4], harmoniczne napięcia mogą być określane:

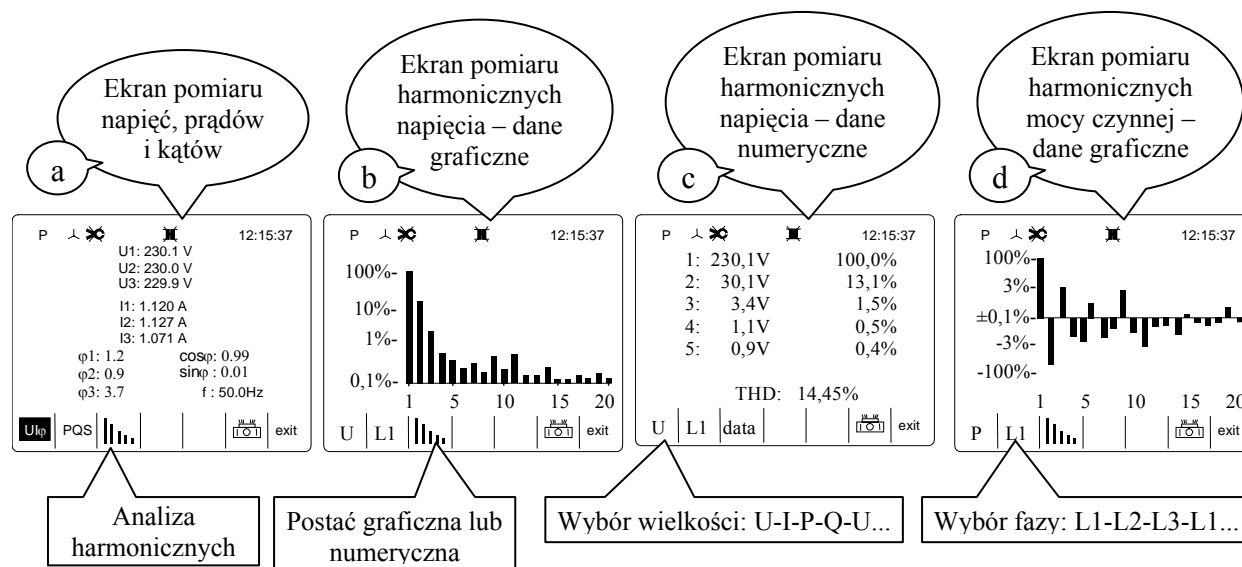
- indywidualnie, jako iloraz wartości skutecznych danej harmonicznej i składowej podstawowej – współczynnik harmoniczných K_i ,
- łącznie, przez współczynnik THD .

Współczynniki harmoniczných K_i według (1) opisują udział poszczególných harmoniczných napięcia (prądu) w wartościach skutecznych pierwszých harmoniczných napięć (prądów), natomiast współczynniki harmoniczných według (2) opisują udział poszczególných harmoniczných mocy czynnej (biernej) w pierwszej harmonicznej mocy pozornej.

Realizacja funkcji analizy harmoniczných, szczególnie analizy harmoniczných mocy czynnej i biernej, bez konieczności wspomagania się komputerem, wymaga zastosowania w przyrządzie nowoczesnych elementów elektroniczných o znacznych mocach obliczeniowych i złożonych algorytmów pomiarowych. Natomiast sama obsługa funkcji analizy harmoniczných i interpretacja wyników pomiarów jest stosunkowo prosta, szczególnie w tych przypadkach, gdy sposób obsługi tej funkcji jest przyjazny dla użytkownika.

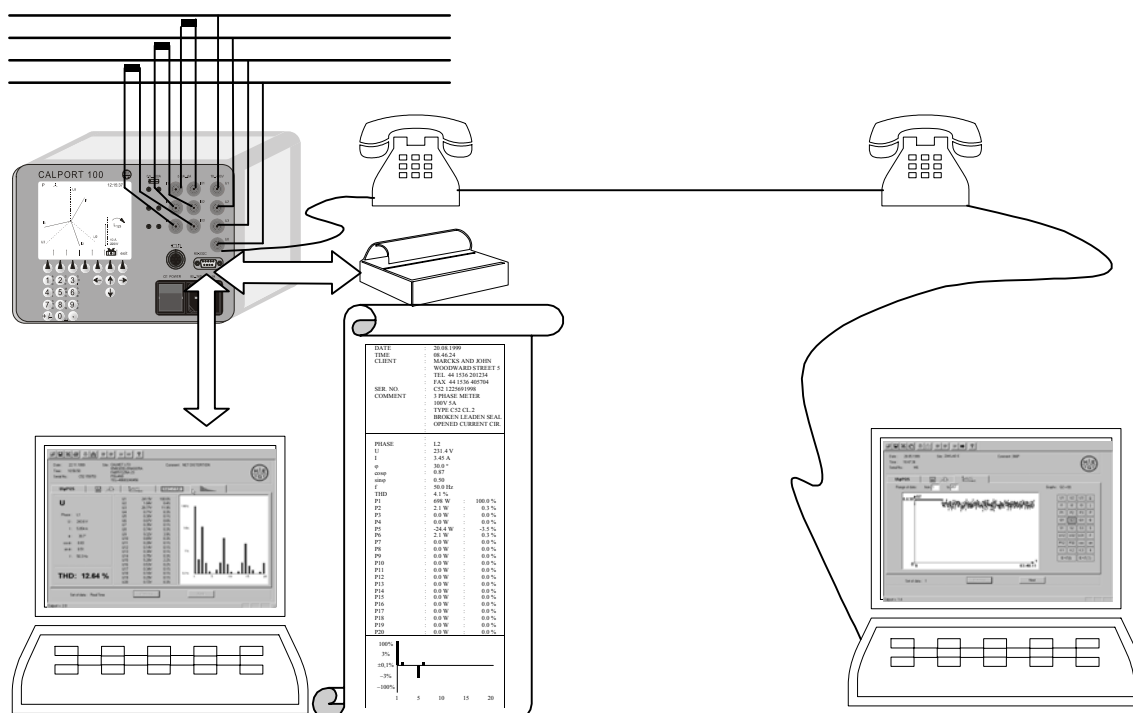
Na rys.1 przedstawiono przykładowe ekrany funkcji analizy harmoniczných. Z poziomu ekranu pomiaru napięć, prądów i kątów fazowych (rys.1a) może być wybrany, przez naciśnięcie

pola "||||", ekran pomiaru harmonicznych napięcia (rys.1b) z prezentacją danych w postaci graficznej. Zmiana postaci prezentowania danych z graficznej na numeryczną następuje przez naciśnięcie pola "||||" (rys.1b i 1d) i pola "data" (rys.1c). Pole "U" (rys.1c) służy do zmiany analizowanej wielkości, natomiast pole "L1" (rys.1d) służy do zmiany fazy analizowanej wielkości.



Rys.1. Przykładowe ekrany analizy harmonicznych

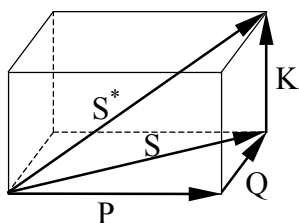
Przykładowe dane pomiarowe, mogą być zapamiętywane w wewnętrznej pamięci analizatora w momentach naciśnięcia przycisku "||||", , mogą być przesyłane lokalnie do komputera PC w celu zapamiętywania i analizy (rys.2), drukowane na miniaturowej drukarce w celu dokumentowania aktualnego stanu sieci lub przesyłane na duże odległości przez modem telefoniczny w celu ich zapamiętywania i analizy, np. w postaci profili obciążeń.



Rys.2. Schemat możliwych połączeń w celu wyprowadzania i analizy danych pomiarowych

4. SZKODLIWE ODDZIAŁYWANIE WYŻSZYCH HARMONICZNYCH

Wyższe harmoniczne wywołują wiele negatywnych zjawisk w systemie przesyłu energii. Energia zawarta w wyższych harmonicznych, w ogólnym przypadku, nie przenosi "pożytecznej" mocy czynnej do odbiorników i powoduje jedynie zwiększone straty, co przedstawia prostopadłościan mocy na rys.3 i wzór (5):



$$S^{*2} = P^2 + Q^2 + K^2 \quad (5)$$

gdzie:

S^* - moc pozorna modułowa,

P - moc czynna,

Q - moc bierna,

K - moc odkształcenia.

Rys.3. Prostopadłościan mocy

Z rys.3 i wzoru (5) widać, że moc odkształcenia K [5], podobnie jak moc bierna Q , powoduje zwiększanie mocy pozornej S do wartości mocy S^* przy stałej wartości mocy czynnej P , co właśnie powoduje straty wywołane nadmiernym pobieraniem mocy odkształcenia.

Negatywny wpływ harmonicznych przejawia się w różnorodny sposób, w znacznym stopniu w zależności od rzędu harmonicznej. Z teorii prądu trójfazowego wiadomo [5], że harmoniczne, w zależności od rzędu, tworzą układy (wirowania faz) kolejności zgodnej, przeciwnej i zerowej, w szczególności:

- harmoniczne rzędu 1, 4, 7, 10, ... tworzą układ kolejności zgodnej,
- harmoniczne rzędu 2, 5, 8, 11, ... tworzą układ kolejności przeciwnej,
- harmoniczne rzędu 3, 6, 9, 12, ... tworzą układ kolejności zerowej.

Te harmoniczne, które tworzą układ kolejności przeciwnej, powodują powstawanie w silnikach pola magnetycznego o przeciwnym kierunku wirowania w stosunku do pola głównego (zjawisko podobne do hamowania przeciwpędem), co oznacza nie tylko zwiększenie strat mocy czynnej, ale i zmniejszenie mocy silnika, jego przegrzewanie i w efekcie skrócenie żywotności silnika [6].

Trzecia harmoniczna i jej nieparzyste wielokrotności dodają się w przewodzie zerowym sieci czteroprzewodowej - w przypadku braku harmonicznych i symetrycznego obciążenia, sinusoidalne prądy fazowe kompensują się do zera i prąd w przewodzie zerowym nie płynie. W skrajnym przypadku oddziaływania tych harmonicznych, wartość skuteczna prądu zerowego może być 1,73-krotnie większa od wartości skutecznej prądu fazowego, co przy założeniu jednakowego przekroju żył przewodu zerowego i przewodów fazowych, oznacza 3-krotne cieplne przeciążenie przewodu zerowego, które powoduje nie tylko zwiększenie strat mocy, ale i może prowadzić do uszkodzenia przewodu zerowego.

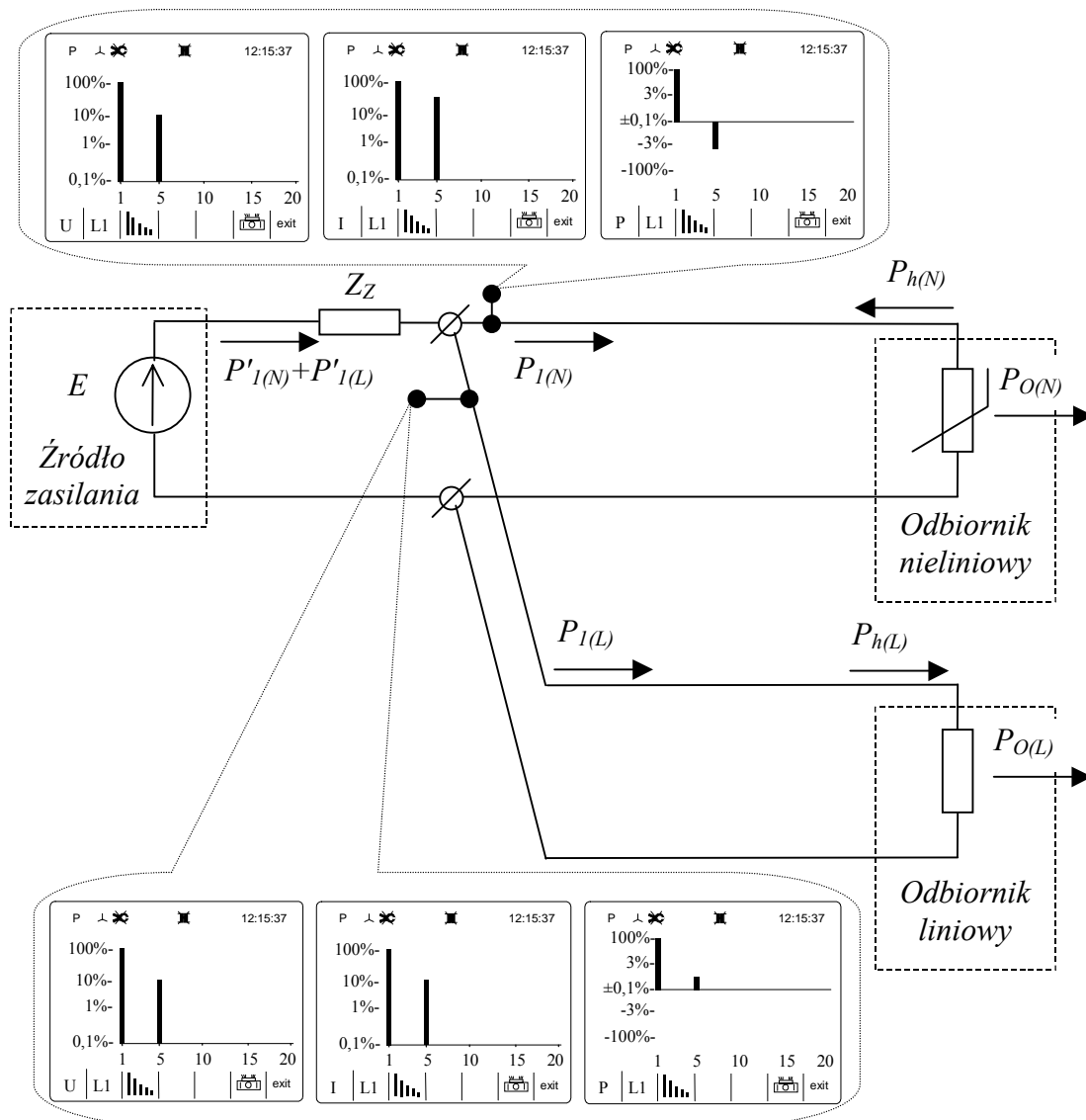
Każda z harmonicznych, niezależnie od rzędu, może powodować rezonanse w systemie energetycznym, które oprócz zwiększenia strat mocy, mogą powodować dodatkowe szkody, takie jak:

- uszkodzenia szyn zbiorczych w rozdzielniach, spowodowane rezonansowymi drganiami mechanicznymi,
- uszkodzenia elementów systemu, np. baterii kondensatorów, spowodowane rezonansowym napięciem lub prądem.

5. ZASTOSOWANIE FUNKCJI ANALIZY HARMONICZNYCH DO DIAGNOZY PRZYCZYŃ POWSTAWANIA HARMONICZNYCH NAPIĘCIA

Normy [4] definiują dopuszczalne poziomy tylko harmonicznych napięcia, zarówno dopuszczalne poziomy poszczególnych harmonicznych (K_{Ui}), jak i dopuszczalny poziom wszystkich harmonicznych (THD_U). Harmoniczne napięcia zasilającego są spowodowane głównie przez nieliniowe odbiorniki u odbiorców.

Na rys.4 przedstawiono schemat rozptyłu mocy w obwodzie elektrycznym, który złożony jest ze źródła zasilania o sinusoidalnej sile elektromotorycznej E i dwóch odbiorników mocy czynnej – jednego odbiornika liniowego i jednego odbiornika nieliniowego. Ze źródła zasilania pobierana jest przez odbiornik nieliniowy moc czynna $P'_{I(N)}$ i przez odbiornik liniowy moc czynna $P'_{I(L)}$, które odpowiadają mocy pierwszej harmonicznej. Moc $P'_{I(N)}$ w części równej $P_{O(N)}$ jest przemieniana w odbiorniku nieliniowym na pracę użyteczną, natomiast pozostała jej część jest przetwarzana na moc wyższych harmonicznych $P_{h(N)}$, które dostarczane są zwrrotnie od odbiornika do źródła [5]. Harmoniczne prądu przepływając przez impedancję sieci (impedancja zastępcza Z_Z) powodują powstanie harmonicznych napięcia. Pomiar harmonicznych napięcia na zaciskach wejściowych obwodów obu odbiorników pozwala na wykonanie testu na zgodność parametrów sieci z normami [4].



Rys.4. Rozptył mocy w obwodzie z odbiornikiem nieliniowym

Na rys.4 pokazano przykładowe wyniki pomiaru harmonicznych na wejściu obwodu odbiornika nieliniowego i wejściu obwodu odbiornika liniowego – wyniki pomiaru harmonicznych napięcia (U), prądu (I) i mocy czynnej (P). Jednakowe wyniki pomiaru harmonicznych napięcia i zbliżone wyniki pomiaru harmonicznych prądu, nie pozwalają na diagnozę przyczyny powstawania harmonicznych. Dopiero wyniki pomiaru harmonicznych mocy pozwalają na szybką diagnozę, który z odbiorników jest źródłem zniekształceń.

Na ekranie widma mocy obwodu nieliniowego występują dwa słupki – pierwszy o wartości 100% jest proporcjonalny do mocy czynnej pierwszej harmonicznej ($P_{1(N)}$) dostarczanej ze źródła zasilania do obwodu nieliniowego, a drugi o wartości minus 6% jest proporcjonalny do mocy czynnej piątej harmonicznej ($P_{h(N)}$) wytwarzanej przez odbiornik nieliniowy. Na ekranie widma mocy obwodu liniowego występują również dwa słupki – pierwszy o wartości 100% jest proporcjonalny do mocy czynnej pierwszej harmonicznej ($P_{1(L)}$) dostarczanej ze źródła zasilania do obwodu liniowego, natomiast drugi o wartości plus 1% jest proporcjonalny do mocy czynnej piątej harmonicznej ($P_{1(L)}$) dostarczanej z sieci do odbiornika liniowego.

Opisany przykład prosty sposób lokalizacji źródeł powstawania harmonicznych napięcia przy stosowaniu nowoczesnych analizatorów z pełną analizą widmową napięć, prądów i mocy. Po włączeniu analizatora w badany obwód, sprawdza się znak harmonicznych mocy czynnej. Jeżeli harmoniczna mocy czynnej ma znak dodatni, to źródłem zniekształceń jest dostawca energii, jeżeli natomiast harmoniczna mocy czynnej ma znak ujemny, to źródłem mocy czynnej jest użytkownik.

6. WNIOSKI

Jedną z funkcji nowoczesnego analizatora parametrów sieci i testera liczników energii jest funkcja pełnej analizy widmowej napięć i prądów oraz mocy czynnej i biernej. Przyrządy takie oferowane są już w małych gabarytowych przenośnych walizkach o coraz niższej cenie i mogą stanowić indywidualne wyposażenie brygad służb energetycznych. Analiza widmowa mocy czynnych jest prostym i skutecznym środkiem do diagnozy przyczyn powstawania harmonicznych napięcia, co z kolei umożliwia podejmowanie działań w celu zmniejszania strat mocy i szkód w sieciach energetycznych, spowodowanych zniekształceniami. Analiza widmowa mocy, w połączeniu z funkcją sprawdzania dokładności licznika energii bezpośrednio na obiekcie, rozszerza możliwości diagnostyki sieci energetycznej.

LITERATURA

- [1] Miernik napięcia, prądu i mocy elektrycznej (Analizator) typu Calport-100. Instrukcja obsługi. Calmet (www.calmet.com.pl), Zielona Góra, 1999.
- [2] Electricity Meter and Instrument Calport 200. www.heg-edi.com.
- [3] Portable Calibration Meter Calport 400. User's Manual E2.00. Hamburger Elektronik Gesellschaft.
- [4] PN-EN 50160: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych. Projekt normy.
- [5] Kuśmirek Z.: pomiary mocy i energii w układach elektro-energetycznych. WNT, Warszawa 1994.
- [6] Grocholski A.: Harmonalyzer HA-2000. Product Catalog. Amprobe Instrument.
- [7] Katalogi firm Alpes Technologies, Amprobe, Arderem, Calmet, EDI, HEG, Metrol, MTE, Pfisterer, Satec, Schlumberger.