

Bogusław WĘGRZYN¹, Ryszard PIELICHOWSKI²

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Elektrotechnologii i Diagnostyki (1)
Absolwent Wydziału Elektrycznego ZUT w Szczecinie (2)

Badanie i ocena skuteczności eliminacji zakłóceń nieliniowych w instalacjach przemysłowych

Abstract: *The paper reports results and conclusions of researches which have been carried out in Agrofirma Witkowo Company. During tests problem of disturbances from nonlinear electrical circuits elements in supply network have been examined. Coefficients TDD, THDu and THDi have been discussed and finally their influence for necessary design modifications of network have been determined. (Researches and efficiency's estimation of nonlinear elements disturbances elimination in electroenergy networks)*

Słowa kluczowe: zakłócenia nieliniowe, sieci elektroenergetyczne, współczynniki nieliniowości

Wprowadzenie

Przetwornice częstotliwości ze względu na ich przydatność i rosnące zastosowanie w aplikacjach przemysłowych są istotnym źródłem zaburzeń przewodowych w elektroenergetycznych sieciach zasilających. Pobierany przez nie z sieci prąd jest odształcony wskutek wpływu nieliniowości tych odbiorników. Nie w pełni sinusoidalny przebieg prądu i napięcia zasilającego ma wpływ na zwiększenie strat mocy z powodu występowania wyższych harmoniczných i powstawania zakłóceń w poprawnej pracy sieci elektroenergetycznej [1, 2, 3].

Współczynnik TDD (Total Demand Distortion) wyraża procentowy udział zniekształceń w maksymalnym prądzie obciążenia – zwykle odnoszony jest do 15 lub 30 minutowego zapotrzebowania mocy. TDD jest wielkością wiążącą własności układu zasilania z wartością prądu obciążenia I_L . Wartość prądu obciążenia I_L ma decydujący wpływ na wartość współczynnika TDD. W standardzie wg American Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE- 519-1992 [6], na którym opierają się normy techniczne do budowy urządzeń energoelektronicznych, przedstawiono dopuszczalne poziomy odkształceń prądu pobieranego przez odbiorniki. Wymagania te dotyczą wartości kolejnych harmoniczných do rzędu 11, a dopuszczalna wartość współczynnika harmoniczných prądu THDi jest uzależniona od wielkości mocy zwarciowej układu zasilania. Dopuszczalna wartość dla współczynnika TDD poniżej 20-u nieparzystych harmoniczných wynosi 4%, i tej wartości odpowiana THDi mniejsze od 5%. Standard IEEE-519 określa też wrażliwość urządzeń elektrycznych stosowanych publicznie na zakłócenia harmoniczne oraz dopuszczalny poziom zniekształceń harmoniczných napięcia w sieci. IEEE-519 zawiera różne limity dla różnych budynków i np. dla sieci przemysłowych dopuszcza się 10% zniekształceń, a dla komunalnych 5%. Na rysunku 1 przedstawiono wpływ nieliniowego odbiornika energii na zaburzenia napięcia w przemysłowej sieci zasilania elektroenergetycznego.



Rys. 1. Odbiornik nieliniowy jako źródło zniekształceń harmonicznych prądu powodujące odkształcenia przebiegu napięcia zasilającego
Źródło: na podstawie [3]

2. Analiza porównawcza wpływu odbiorników nieliniowych na założenia do projektu technicznego wykonawstwa instalacji elektroenergetycznej zasilającej odbiory technologiczne przedsiębiorstwa

W strukturach Spółdzielczej Agrofirmy Witkowo znajduje się przetwórnia mięsa i drobiu, która stanowi ostatnie ogniwo produkcyjne całej firmy. W latach 2007 – 2010 przeszła gruntowną modernizację, w której nastąpiła rozbudowa i wymiana linii technologicznych. Przetwórstwo mięsa wymaga utrzymywania bardzo wysokich parametrów technologicznych odnośnie panujących temperatur wewnątrz zakładu. Zainstalowana moc chłodnicza w zakładzie stanowi ok. 60% zapotrzebowania mocy elektrycznej. Zakład wyposażony jest w dużą ilość urządzeń, które wprowadzają do sieci zakłócenia spowodowane wyższymi harmonicznymi. Głównymi źródłami zakłóceń są przetwornice częstotliwości, które zasilają poszczególne linie ubojowe, linie wychładzania tusz, pompy glikolowe i wodne, wentylatory skraplaczy freonowych oraz urządzenia biurowe. W związku z problemami z niezawodną pracą kompensatorów mocy biernej (wybuchanie kondensatorów) wykonano badanie sieci elektrycznej pod względem obecności wyższych harmonicznych.

Zakres prac wykonywanych w rozdzielniach głównych nn zasilanych z 2 transformatorów każdy po 630 kVA, oraz TR3 – 800 kVA, obejmował wykonanie pomiarów w systemie zasilania oraz ocenę możliwości wykonania systemu zapewniającego skuteczną kompensację mocy biernej indukcyjnej dla poszczególnych pól zasilających oraz analizę zmiany charakteru obciążenia sieci wskutek przepływu prądów wyższych harmonicznych. W 3 głównych polach zasilających wykonano pomiar poboru mocy czynnej i biernej na szynach głównych w czasie rzeczywistego obciążenia,

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

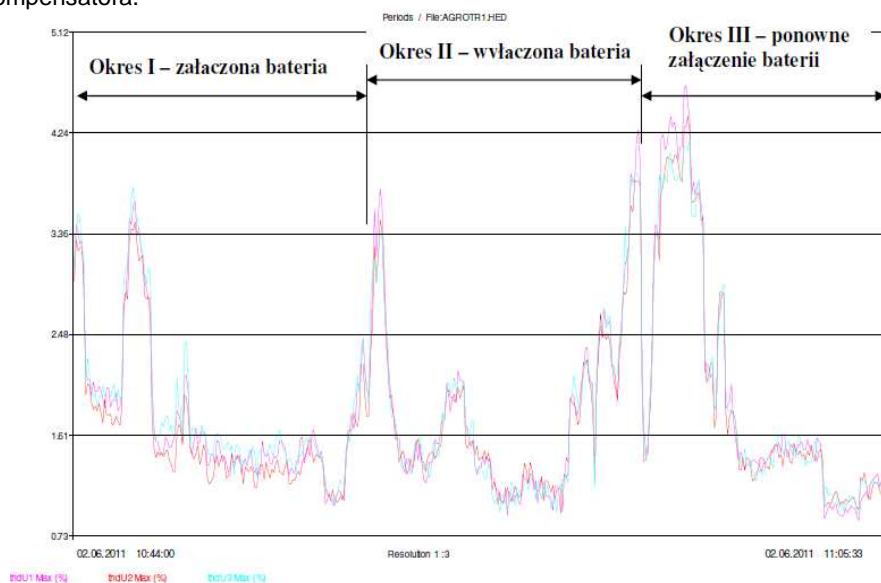
współczynnika zniekształceń napięcia i prądu THD oraz poziomu poszczególnych harmonicznnych. Pomiary wykonano w czasie największego obciążenia podczas dnia roboczego, przy pomocy analizatora parametrów sieci SKYLAB 9030. Analizator mierzył wszystkie wielkości elektryczne w okresach 200 ms, a wartości te zostały uśrednione w okresach 1s. Analiza zawartości wyższych harmonicznnych w sieci zasilającej została sporządzona na podstawie Rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20.12.2004 r. [5].

2.1. Analiza wykonanych pomiarów dla głównego pola zasilającego TR1

W okresie, w którym były wykonywane pomiary obserwowano trzy stany sieci:

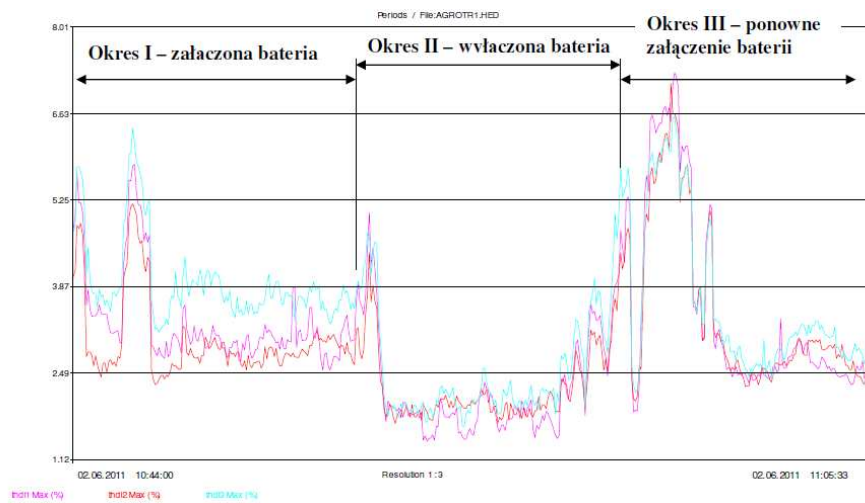
- okres I – bateria kondensatorów załączona,
- okres II – bateria kondensatorów wyłączona,
- okres III – bateria kondensatorów ponownie załączona.

Okresy te zostały zwizualizowane graficznie na poniżej załączonych charakterystykach. Ze względu na nieliniowy charakter kondensatorów, w poniżej opisanych okresach czasu możemy zaobserwować najbardziej dynamiczne zmiany zarówno przebiegów THDi i THDu, jak i zawartości poszczególnych harmonicznnych dla przebiegu prądu i napięcia. Jak zauważono na wykresach z rysunku 2 współczynnik THDu zależy od obciążenia i jest największy w czasie ponownego załączenia baterii kompensatora.

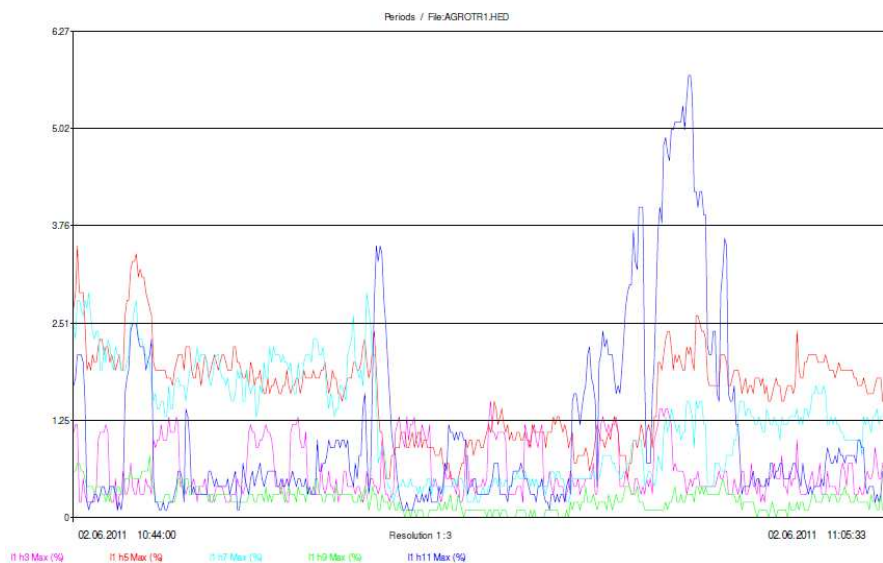


Rys. 2. Współczynnik THDu dla poszczególnych faz zasilających
Źródło: na podstawie badań

W okresach I i III, w których bateria była załączona, zarejestrowane zostały wysokie poziomy współczynnika THDi (około 4%), co przedstawiono na rysunku 3. W czasie, gdy system pracował bez baterii poziom odkształcenia prądu wynosił około 2%. Na podstawie rysunku 4 i 5 stwierdzono, że kondensatory wpływają przede wszystkim na poziom harmonicznnych 11 – tego rzędu dla napięcia oraz 5-tego i 7-go rzędu dla prądu.

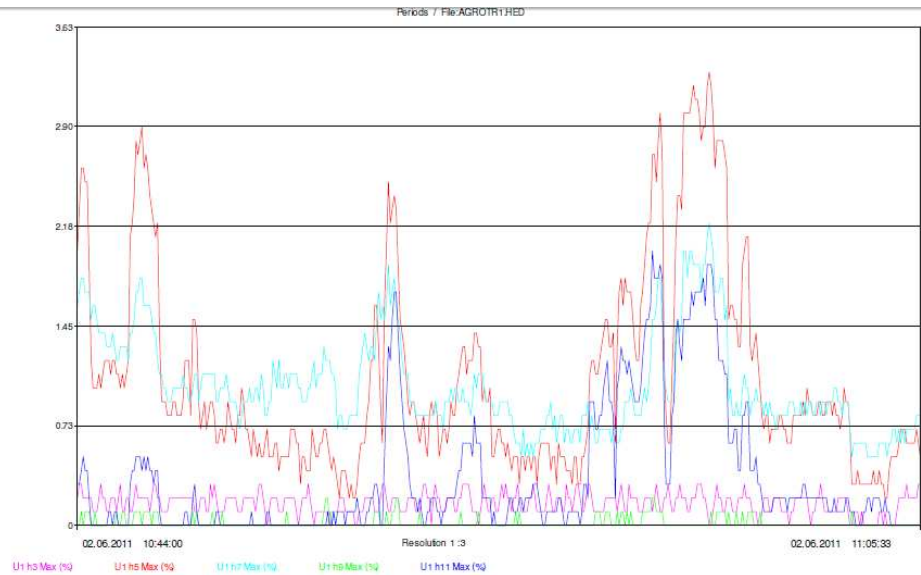


Rys. 3. Współczynnik THDi dla poszczególnych faz zasilających
Źródło: na podstawie badań

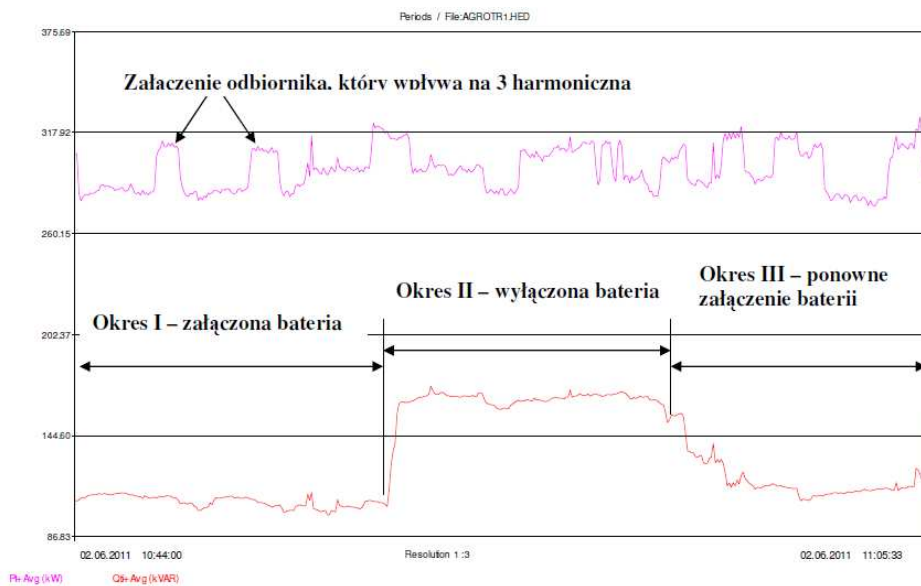


Rys. 4. Widmo wyższych harmonicznych w przebiegu napięcia fazy L1
Źródło: na podstawie badań

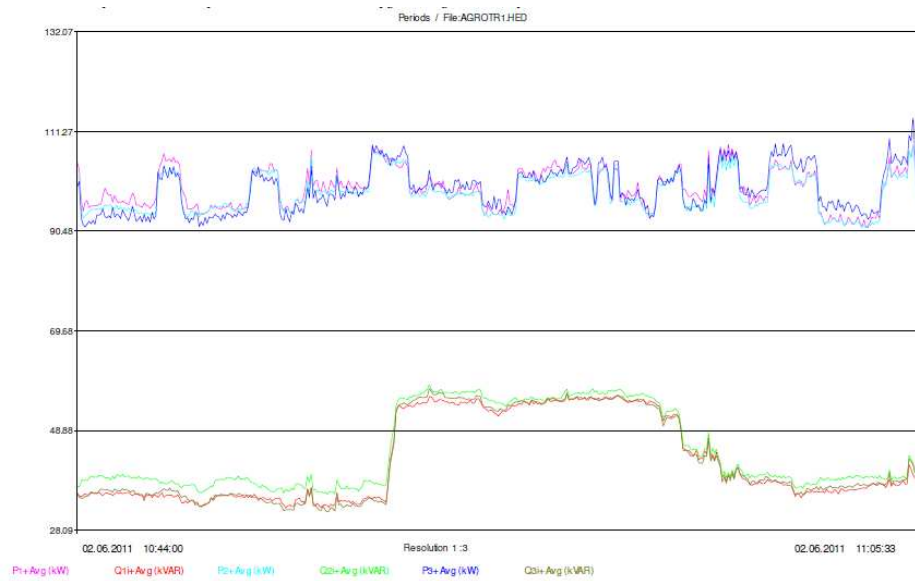
VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012



Rys. 5. Widmo wyższych harmonicznych w przebiegu prądu fazy L1
Źródło: na podstawie badań



Rys. 6. Pobrana moc trójfazowa czynna i bierna indukcyjna
Źródło: na podstawie badań



Rys. 7. Pobrane moce czynne i bierne indukcyjne jednofazowe
 Źródło: na podstawie badań



Rys. 8. Współczynnik mocy $\cos\varphi$ średni dla trzech faz zasilających
 Źródło: na podstawie badań

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

Porównując wykresy z rysunków 7 i 8 stwierdzono, że obciążenie linii technologicznych zakładu jest symetryczne dla każdej z faz, pobór mocy biernej jest w stopniu dostatecznym ograniczany, a współczynnik mocy mieści się w zakładanym przez dostawcę poziomie. Pomiary przeprowadzono we wszystkich polach rozdzielnic i wszystkich fazach – przebiegi mierzonych wartości w fazach L1, L2 i L3 różniły się w sposób nieistotny.

Wysoka wartość współczynnika THDi wskazuje jednoznacznie na obecność w systemach zasilania TR1, TR2 i TR3 odbiorników o charakterze nieliniowym. Opisane wartości współczynników zniekształcenia przebiegów prądu i napięcia mogą wpływać na pracę niektórych elementów układu zasilania. Szczególnie wrażliwymi układami pod tym względem są: układy kompensacji mocy biernej, układy elektroniczne o wysokich wymaganiach dotyczących jakości zasilającej ich energii. Wartości $\text{tg}\varphi$ osiąganego na poszczególnych sekcjach oraz charakterystyki obciążeniowe wskazują, że w układzie zasilania istnieje konieczność modernizacji istniejących układów baterii kondensatorów. Przebudowa instalacji elektroenergetycznej powinna polegać na dodaniu i dobraniu do poszczególnych kondensatorów dławików w celu ograniczenia prądów wyższych harmonicznych, a w efekcie ograniczenia awaryjności kompensatora.

3. Podsumowanie

Problem harmonicznych w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia jest bardzo złożony i trudny do oceny metodą obliczeniową. Obecnie większość odbiorników powszechnego zastosowania opiera się o nieliniowe układy zasilające mniej lub bardziej spełniające obecnie obowiązujące normy [4]. Łatwo jest ocenić występowanie harmonicznych na czynnej instalacji poprzez przeprowadzenie odpowiednich badań przyrządami pomiarowymi. Wykonane pomiary wykazały jednoznacznie dużą wartość współczynnika THDi w obwodach zasilających poszczególne grupy odbiorów w jednej, jak i drugiej stacji zasilającej. Analizując wyniki badania dochodzimy do wniosków, iż zarejestrowane przebiegi obciążenia wykazują duży poziom współczynnika THDi, sięgający około 25%. Na wartość tak dużego współczynnika mają głównie harmoniczne 5-tego i 7-mego rzędu. Prądy te płynące w dostatecznie długim czasie przez kondensatory kompensatorów mocy biernej mogą powodować ich uszkodzenia. Analizie został poddany również współczynnik THDu. W związku z załączaniem i wyłączeniem baterii kondensatorów odnotowano wahania jego wartości. W skrajnym przypadku dochodził do 4,5%, co jest w myśl przepisów dopuszczalne – przez odbiorniki zainstalowane przez inwestora. Doboru filtrów tak naprawdę możemy dokonać dopiero po przeprowadzonych pomiarach kontrolnych instalacji oddanej do eksploatacji i osiągnięciu założonej wydajności przez linie technologiczne. Ta metoda ma zaletę polegającą na tym, że minimalizuje ewentualne koszty inwestycyjne nietrafnie dobranej aparatury filtracyjnej.

Należy liczyć się z tym, że prądy wyrównawcze pochodzące od harmonicznych mogą często przekraczać dwukrotnie wartość prądów fazowych. Z tego też względu bezpieczne byłoby przewymiarowanie przewodów uziemiających co najmniej dwukrotnie z wykorzystaniem dodatkowo wszystkich możliwych elementów mogących stanowić uziemienie ochronne.

Bibliografia:

[1] Cadler E., Herlender H., Kompatybilność elektromagnetyczna, a odbiorniki nieliniowe niskiego napięcia, Wydawnictwo „Energetyka”, marzec 2008 r.

- [2] Gizicki A., Kompatybilność elektromagnetyczna w aplikacjach z przetwornicami częstotliwości – wybrane zagadnienia ograniczenia zakłóceń w obwodach zasilania - www.anap.pl z 31.01.2011.
- [3] Hołdyński G., Skibko Z., Zakłócenia wprowadzane do układów elektroenergetycznych przez odbiorniki nieliniowe, *Wiadomości Elektrotechniczne*, nr 4/ 2009.
- [4] Polska norma PN-EN 61000-3 -2 : 2007 Kompatybilność elektromagnetyczna – część 3-2: Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznego prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika ≤ 16 A).
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20.12.2004 r. w sprawie szczególnych przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci (Dz.U. z dnia 6. 01.2005 r.).
- [6] Standard American Institute of Electrical and Electronic Engineers IEEE- 519,1992.

Autorzy: dr inż. Bogusław Węgrzyn, Katedra Elektrotechnologii i Diagnostyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: Boguslaw.wegrzyn@zut.edu.pl
Mgr inż. Ryszard Pielichowski, Spółdzielcza Agrofirma Witkowo, ryszard.edward@gmail.com