

Piotr BICZEL¹

Wanda RACHAUS-LEWANDOWSKA²

Artur STAWIARSKI²

Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki (1)
RWE Stoen Operator sp. z o.o. (2)

Obciążenia nieliniowe w sieciach rozdzielczych i ich skutki

Streszczenie. Artykuł przedstawia wnioski z badań jakości energii w wybranych sieciach rozdzielczych oraz ich skutki dla eksploatacji urządzeń. Autorzy opisali wyniki badań dla wybranych punktów sieci oraz oszacowanie koniecznego w tym wypadku zwiększenia mocy pozornej linii i transformatorów. Oszacowanie to przeprowadzono analizując przyrost straty mocy w urządzeniach oraz na podstawie sześcianu mocy.

Słowa kluczowe: dystrybucja energii, jakość energii, urządzenia elektroenergetyczne, projektowanie

Wprowadzenie

Odbiory nieliniowe są coraz powszechniejsze. Zwiększa się więc odkształcenie prądów. Ma to negatywne skutki dla sieci rozdzielczych. Wielkość odkształcenia powinna być monitorowana, a wykonane obserwacje brane pod uwagę przy planowaniu czynności eksploatacyjnych i inwestycji.

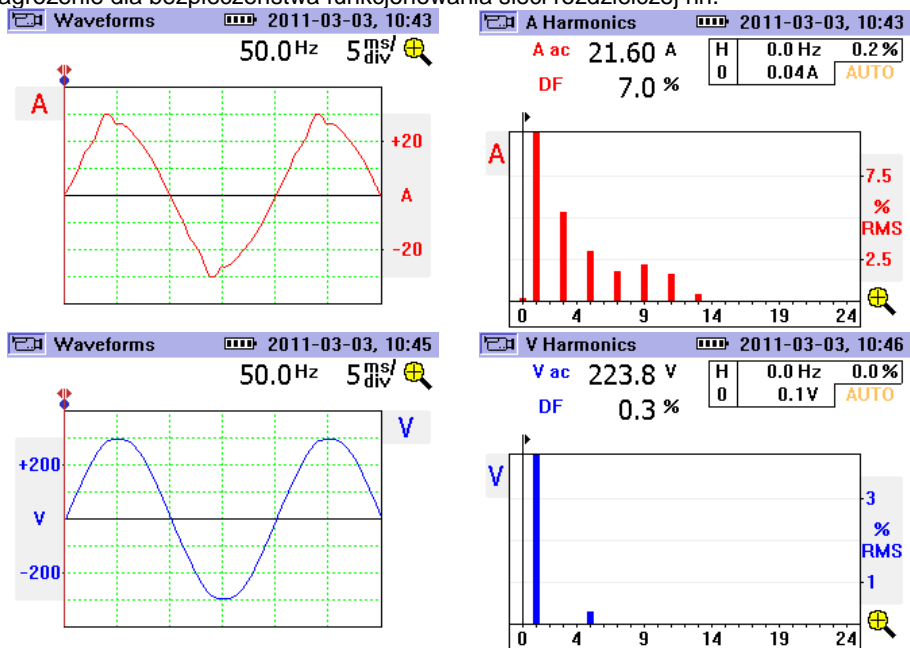
W wybranych punktach sieci rozdzielczej niskiego napięcia autorzy przeprowadzili pomiary jakości energii. Badano kształt prądu strony wtórnej transformatorów 15/0,4 kV i kształt napięcia. Badanie miało na celu wrywkowe badanie stanu obciążenia transformatorów. Do badania wybrano 5 stacji transformatorowych, które zasilają typowe grupy odbiorców: budynki mieszkalne, biurowce, centrum handlowe, obiekt przemysłowy.

Odształcenia napięcia w sieci rozdzielczej

Badanie polegało na wykonaniu pomiaru oscyloskopem z funkcją wyznaczania współczynników odkształceń i widma badanych przebiegów. Wybrane wyniki pomiarów zaprezentowane są na rys. 1 i 2.

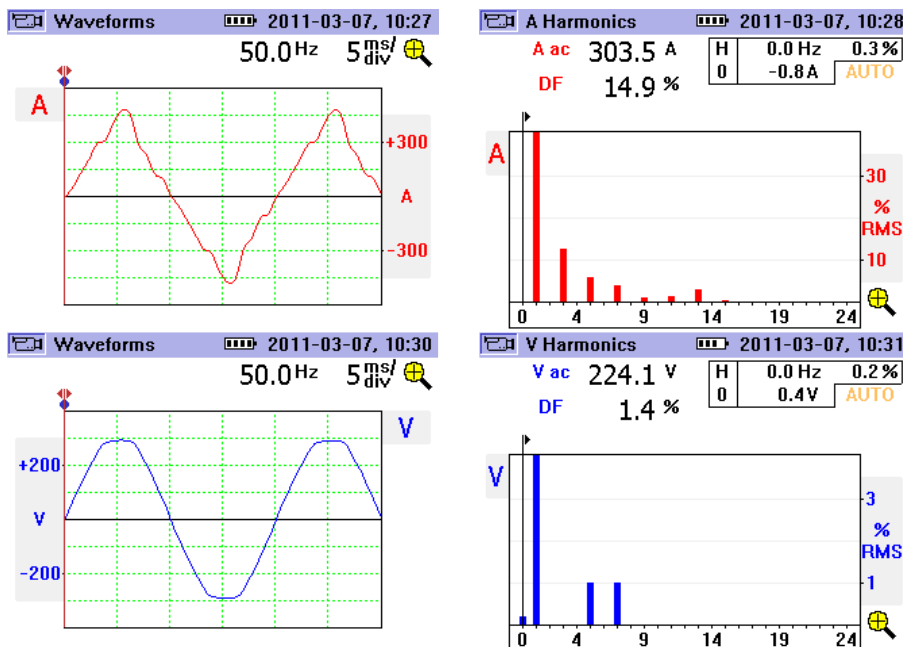
We wszystkich mierzonych punktach odkształcenie napięcia nie przekraczało 1,5%. W świetle Rozporządzenia o szczegółowych warunkach funkcjonowania systemu elektroenergetycznego jest to wielkość prawidłowa. Odształcenia te są spowodowane głównie 5. i 7. harmoniczną. Natomiast w prądzie stwierdzono znaczne odkształcenia. Odbiory można podzielić na dwie główne grupy pod tym względem: odbiorcy indywidualni – odkształcenie rzędu 15%, odbiory jednofazowe, dominują harmoniczne 3., 5. i 7.; odbiorcy biurowi i przemysłowi – odkształcenie rzędu 10%, symetryczne odbiory trójfazowe, dominują harmoniczne 5., 7., 11. i 13.

Szczególną uwagę należy zwrócić na występowanie dużego prądu 3. harmonicznej w przewodzie neutralnym. Stanowi to, zdaniem autorów, najpoważniejsze obecnie zagrożenie dla bezpieczeństwa funkcjonowania sieci rozdzielczej nn.



Rys.. 1. Kształt i widmo prądu i napięcia strony dolnej transformatora w wybranej stacji 15/0,4 kV, odbiory przemysłowo-handlowe

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012



Rys. 2. Kształt i widmo prądu i napięcia strony dolnej transformatora w wybranej stacji 15/0,4 kV, odbiorcy indywidualni

Oszacowanie zwiększenia strat

Zmierzone odkształcenia prądu powodują zwiększenie strat w liniach i transformatorach elektroenergetycznych, na tyle duże, że powinny być już uwzględniane w obliczeniach rozplywu mocy.

Dotychczas urządzenia projektowane były na moc pozorną równą mocy czynnej ($S=P$, szczególnie transformatory) i ewentualnie z uwzględnieniem mocy bierniej. Ponieważ ani producenci, ani projektanci urządzeń nie uwzględniają mocy odkształcenia należy zwiększyć moc pozorną o moc odkształcenia.

Odkształcenie prądu wynosi przeciętnie 10-15%, a można się spodziewać wzrostu do 20-25%, to należy odpowiednio zwiększyć moc pozorną. Przyjmując: $D = (10 - 15)\% P$, trzeba przewidzieć 5-10% przyrost mocy pozornej S .

W wypadku transformatorów w artykule [1] wyznaczono wzrost strat dodatkowych spowodowanych wyższymi harmonicznymi jako:

$$(1) \quad \delta \Delta P_{rh} = K = \sum_{h=1}^{\infty} \left[h^2 \cdot \left(\frac{I_h}{I} \right)^2 \right]$$

gdzie: I – wartość skuteczna prądu odkształconego.

Dla jednej z badanych lokalizacji przyrost strat wynosił prawie połowę wartości dla prądów liniowych o tej samej wartości skutecznej. W praktyce więc pracujący tam transformator ma zmniejszoną dostępną moc pozorną o współczynnik [1]:

$$(2) \quad K_s = \sqrt{\frac{1 + c_d}{1 + Kc_d}}$$

gdzie: c_d – względny udział strat dodatkowych w stratach całkowitych dla częstotliwości 50 Hz (w praktyce $c_d = 0,05 \div 0,1$).
Dla badanego przypadku współczynnik ten wynosił 0,75, czyli dostępne było 75% mocy pozornej transformatora.

W wypadku linii przesyłowych przyrost strat mocy w każdym przewodzie oszacowano jako:

$$(3) \quad \Delta P_h = R_{DC} \sum_{h=1}^{\infty} (\delta_{Rh} I_h^2)$$

gdzie: I_h – wartość skuteczna harmonicznej rzędu h prądu, $\delta_{Rh} = \sqrt{h} R_{DC}$ – przyrost rezystancji przewodu, R_{DC} – rezystancja przewodu dla składowej podstawowej.

Dla prądu zmierzonego w jednej ze stacji w fazie L1 transformatora przyrost strat w przewodzie fazowym wynosi:

$$(4) \quad \Delta P_{h1f} = 4014 R_{DC}$$

Zakładając, że odbiór jest symetryczny, przyrost strat w trzech przewodach liniowych wynosi:

$$(5) \quad \Delta P_{h3f} = 3 \Delta P_{h1f} = 12042 R_{DC}$$

Zaś przyrost strat w przewodzie zerowym pochodzi od sumy strat prądów rzędu $3h$ z trzech faz:

$$(6) \quad \Delta P_{hN} = R_{DC} \sum_{h=1}^{\infty} (\delta_{R3h} (3I_{3h})^2) = 23824 R_{DC}$$

Łączne straty w czteroprzewodowej linii nn spowodowane tym odkształceniem wynoszą:

$$(7) \quad \Delta P_{h3fN} = \Delta P_{h3f} + \Delta P_{hN} = 35866 R_{DC}$$

straty w linii czteroprzewodowej przy prądzie odkształconym:

$$(8) \quad \Delta P_{harm3fN} = \Delta P_{1h3f} + \Delta P_{h3fN} = (270000 + 35866) R_{DC} = 305866 R_{DC}$$

Gdyby ta sama linia była obciążona prądem sinusoidalnym o tej samej wartości skutecznej straty we wszystkich czterech przewodach wynosiłyby:

$$(9) \quad \Delta P_{\sin3fN} = 276337 R_{DC}$$

Względny przyrost strat spowodowany występowaniem wyższych harmonicznych wynosi 10,66%.

Z punktu widzenia eksploatacji sieci szczególnie ważny jest prąd płynący w przewodzie zerowym, który osiąga wartości zbliżone do prądów fazowych. Powinien być on okresowo sprawdzany. W niektórych miejscach może być konieczna wymiana przewodu neutralnego na grubszy ze względu na większą oporność dla 3. harmonicznej, a przez to na zwiększone straty. Przyrost ten wynosi 1,73 [1].

Podsumowanie

Pomiary odkształcenia napięcia w omawianej sieci wskazują, że przekroczenie dopuszczalnych odkształceń napięcia jest wciąż odległe, mimo że współczynniki odkształcenia prądów sięgają powoli 15-20%. Odkształcenia te należy już jednak uwzględnić w procesach inwestycyjnych i eksploatacji. Należy przewidzieć zapasy mocy

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

urządzeń energetycznych, przede wszystkim transformatorów 15/0,4 kV, rzędu 10% oraz zwracać szczególną uwagę na przewody neutralne przy przeglądach instalacji. Z punktu widzenia sześcienu mocy, przyjmując moc odkształcenia $D = (10 - 15)\% P$, trzeba przewidzieć 5-10% przyrost mocy pozornej S, co zostało wyżej wykazane przez oszacowanie strat w urządzeniach.

W omawiany wypadku OSD już wprowadził odpowiednie zmiany sposobu doboru mocy transformatorów do planów inwestycyjnych. W dalszej perspektywie niezbędne będzie wprowadzenie opłat za moc odkształcenia (np. podobnie do opłat za przekroczenie mocy biernej) i regulacji prawnych ograniczających stosowanie odbiorników nieliniowych.

Może się również okazać, że konieczne będzie wymaganie od dostawców transformatorów oświadczenia o odporności na zawartość wyższych harmonicznnych o określonym poziomie w prądach transformatora lub badania tej odporności.

Literatura

1. Hołdyński G., Skibko Z.: Wymiarowanie układów energetycznych zasilających odbiorniki nieliniowe. Wiadomości Elektrotechniczne, rok LXXIX, nr 5, 201, str. 17. Sincero, G.C.R.; Franciosi, A.S.; Perin, A.J.; , "A 250 W high pressure sodium lamp high power factor electronic ballast using an ac chopper," European Conference on Power Electronics and Applications 2005
2. Cadler E., Noculak A.: Wpływ odbiorników nieliniowych na straty przesyłu energii w liniach niskiego napięcia. Przegląd Elektrotechniczny nr 7-8, 2007.

Autorzy: dr inż. Piotr Biczel Instytut Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: biczel@ee.pw.edu.pl; mgr inż. Wanda Rachaus-Lewandowska, mgr Artur Stawiarski, RWE Stoen Operator sp. z o.o.