

INTERPRETACJA I POMIAR WYBRANYCH PARAMETRÓW JAKOŚCI ENERGII W SIECIACH ROZDZIELCZYCH

W obliczu wolnego obrotu energią elektryczną szczególnie istotne staje się określenie cech produktu, jakim jest energia. Jednocześnie zwiększa się ilość odbiorców czułych na zakłócenia – np. linii technologicznych sterowanych procesorowo – oraz liczba odbiorników nieliniowych, wprowadzających zakłócenia. W artykule przedstawiono podstawowe rodzaje zakłóceń jakości energii, wymieniono przykładowo przyczyny, skutki i sposoby przeciwdziałania harmonicznemu i migotaniu. Zarysowany został problem pomiaru parametrów jakościowych w świetle norm oraz pokazane przykładowe wyniki pomiarów wraz z interpretacją.

1 WSTĘP

Dbłość o wysoką jakość energii elektrycznej jest warunkowana przez wiele czynników [1]. Z ekonomicznego punktu widzenia energia jest produktem na wolnym rynku, którego jakość należy stale monitorować i kontrolować. Domagają się tego nie tylko odbiorcy, również spółki dystrybucyjne dbając o swój wizerunek są tym zainteresowane. W przypadku zakłócenia procesu technologicznego u odbiorcy i wynikłych strat, często nie jest łatwo udzielić jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, kto jest odpowiedzialny za złą jakość energii prowadzącą do zakłócenia produkcji – odbiorca czy dostawca – oraz w jakim stopniu i kiedy zostały przekroczone dopuszczalne granice parametrów jakościowych [2]. Niezbędne są w takich przypadkach pomiary oraz odpowiednia ich interpretacja [3]. Na takiej podstawie można zaproponować środki zaradcze, będące kompromisem między stopniem poprawy jakości energii a poniesionymi kosztami inwestycji.

Prawo Energetyczne [4] oraz akty wykonawcze do ustawy zawarte w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki [5] określają m. in. szczegółowe warunki standardów jakościowych obsługi odbiorców. Już na etapie wniosku o określenie warunków przyłączenia wnioskodawca ma prawo domagać się indywidualnych standardów jakościowych parametrów energii elektrycznej, dotyczących niesymetrii napięć, ciągłości zasilania, czy dopuszczalnej wartości wyższych harmonicznych. Standardy jakościowe energii dotyczące m. in. częstotliwości, odchyłeń napięcia, współczynnika

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, tel. 0713202901, przemyslaw.janik@pwr.wroc.pl

odkształcenia (harmoniczne) zostały przejęte do umów sprzedaży energii wielu zakładów energetycznych [6].

Z technicznego punktu widzenia wzrasta znacznie liczba i moce odbiorów czułych na zakłócenia jakości energii elektrycznej [1]. Jako przykład można wymienić sterowane procesorowo linie technologiczne, komputery. Zasilanie tych obiektów wymaga uwzględnienia dodatkowych kryteriów, tzw. krzywej CBEMA [7]. Wzrasta również liczba odbiorników nieliniowych, energoelektronicznych, które są odpowiedzialne za powstawanie zakłóceń [8].

Jedno urządzenie może wprowadzać zakłócenia do sieci elektroenergetycznej i jednocześnie być narażone na zakłócenia. Przykładem są obwody oświetleniowe. Nieliniowe źródła światła są przyczyną wyższych harmonicznych, a jednocześnie wahania napięcia zasilającego prowadzą do zjawiska migotania światła [9].

Prowadzenie monitoringu jakości energii elektrycznej pozawala na właściwą ocenę sytuacji, wskazanie przyczyn zakłóceń, powzięcie środków zaradczych. Do tych środków można zaliczyć, rekonfiguracje sieci, zmianę grubości przewodów, kompensacje mocy biernej, montaż filtrów pasywnych i aktywnych [8].

2 GŁÓWNE PARAMETRY JAKOŚCI NAPIĘCIA

Najważniejsze wskaźniki oceny jakości energii wymienia norma [10]. Najgorszą jakość energii mamy w przypadku braku zasilania - ważna jest długość i częstotliwość wyłączeń. Obok wyłączeń można wymienić inne istotne parametry:

- wyłączenia, długość i częstotliwość zjawiska
- zapady napięcia
- przepięcia (długo i krótkotrwałe)
- wahania napięcia prowadzące do migotania światła
- drgania oscylacyjne
- wyższe harmoniczne w prądzie i napięciu
- niesymetria faz
- odchyłki częstotliwości.

Szczegółowe wymagania dotyczące krótkich i długich przerw w zasilaniu, przepięć, zapadów, częstotliwości i in. są jednoznacznie określone i zdefiniowane w normach [10,12, 13], a omówione w literaturze [11]. Należy podkreślić, że ciągle toczy się dyskusja o dopuszczalnych wartościach wskaźników jakości energii, a także o sposobie ich określania [3].

Migotanie światła, będące efektem wahań napięcia jest opisane odnośnie pomiaru i dopuszczalnych poziomów w normach [10, 14]. Ze względu na charakter zjawiska i konieczność uwzględnienia percepcji ludzkiego oka trudny jest sam pomiar i interpretacja wyników, czasem wręcz niejednoznaczny [15]. Normy europejskie różnią się od amerykańskich, a w literaturze można spotkać dyskusję dotyczącą słuszności konkretnego podejścia [16].

Nieliniowe odbiorniki (przekształtniki elektroenergetyczne, wyładowcze źródła światła) pobierają prąd o przebiegu okresowym, niesinusoidalnym. Funkcja okresowa może być wyrażona jako suma przebiegów sinusoidalnych, tworzących szereg Fouriera.

W normie [10] wprowadza się pojęcie współczynnika odkształcenia napięcia THD (*total harmonic distortion*) danego wzorem

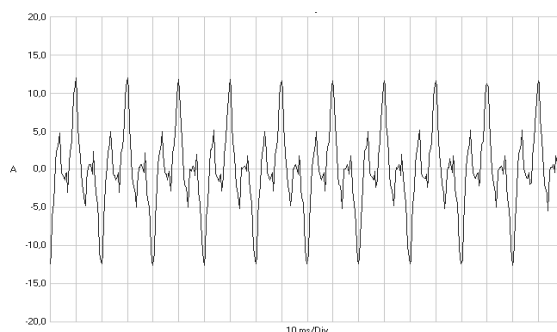
$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{10} U_k^2}{U^2}}$$

wyrażającym stosunek harmonicznych do wartości skutecznej napięcia.

3 WYŻSZE HARMONICZNYCH W OBWODACH OŚWIETLENIOWYCH

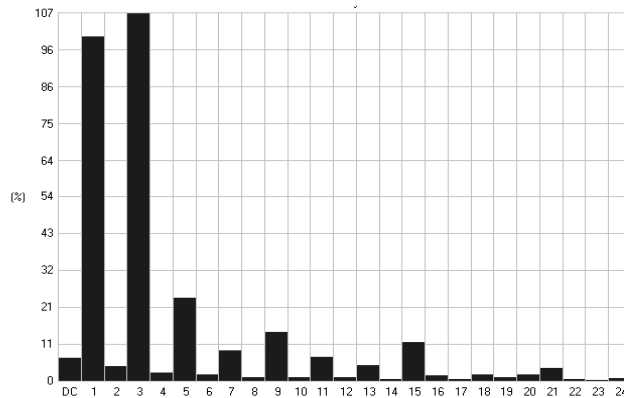
Nieliniowe źródła światła (lampy wyładowcze, świetlówki kompaktowe) pobierają prąd niesinusoidalny. Składowe będące wielokrotnością trzeciej prądu sumują się w przewodzie zerowym. W przypadku obwodów z przetwornikami energoelektrycznymi trzecia harmoniczna może mieć wartość zbliżoną do składowej podstawowej. Prąd w przewodzie powrotnym będzie w ekstremalnym przypadku do trzech razy wyższy niż w przewodzie fazowym. Obecność wyższych harmonicznych w prądzie powoduje dodatkowe nagrzewanie się przewodów i jest niebezpieczna dla izolacji. Obecność wyższych harmonicznych w napięciu zwiększa prąd pobierany przez kondensatory, ponieważ impedancja kondensatora maleje wraz ze wzrostem częstotliwości.

Trzecia harmoniczna prądu sumują się w przewodzie zerowym. Po stronie pierwotnej płynie ona w obwodzie zamkniętym, powodując dodatkowe straty ciepłe i nasycenie się transformatora. Strumień magnetyczny od trzeciej harmonicznej prądu zamyka się poza rdzeniem, co powoduje powstawanie prądów wirowych w pozostałych elementach transformatora. Zjawisko to uwidacznia się czasem jako wyraźne pogorszenie jakości farby, którą transformator jest pomalowany (spękania, bąble). Dodatkowe straty energii nagrzewają dodatkowo transformator i przyspieszają proces starzenia się izolacji.



Rys.1. Przebieg prądu w przewodzie powrotnym w obwodzie oświetlenia ulicznego

Przedstawiony na rys.1 przebieg prądu jest rezultatem niesymetrii i nieliniowości trójfazowego obwodu oświetleniowego. Na uwagę zasługuje poziom trzeciej harmonicznej (rys. 2), wyższy od składowej podstawowej. Moc harmonicznych jest wyższa od mocy składowej podstawowej, co należałoby uwzględnić przy projektowaniu obwodu.



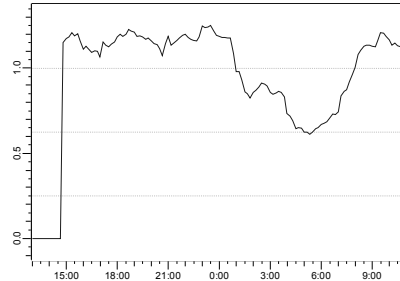
Rys.2. Analiza spektralna prądu w przewodzie powrotnym

4 MGOTANIE (FLIKER) JAKO EFEKT WAHAŃ NAPIĘCIA

Migotanie światła (ang. *flicker*) definiowane jest jako wrażenie niestabilności postrzegania wzrokowego spowodowane przez bodziec świetlny, którego luminacja lub rozkład spektralny zmieniają się w czasie.

Wiele jest przyczyn występowania wahań napięcia w systemie elektro-energetycznym, będących przyczyną migotania światła. Najczęściej są to urządzenia pobierające duże i zmienne prądy. Napędy dużych mocy, pompy, piece łukowe, zgrzewarki, odbiorniki nieliniowe. Elektrownie wiatrowe mogą też być przyczyną występowania migotania napięcia.

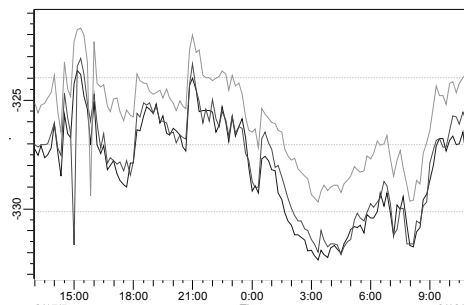
Na rys. 3 przedstawiony został wykres zmienności wartości długoterminowego wskaźnika migotania światła P_{lt} zmierzony w stacji miejskiej zasilającej odbiorców indywidualnych i obwody oświetlenia ulicznego. Przez znaczną część okresu pomiarowego przekroczony był dopuszczony przez normę [10] poziom 1.



Rys.3 Długookresowy wskaźnik migotania światła wg.[10] zmierzony w stacji nN zasilającej odbiorców indywidualnych i obwody oświetlenia ulicznego

Wysoki poziom migotania związany jest bezpośrednio z wahaniami napięcia zasilającego.

Rys. 4 przedstawia wartości minimalne wartości amplitudy napięć fazowych zarejestrowane dla okna pomiarowego 10 min. Przedział zmian zamykał się w granicach (-332 do -321). Przepięcia ponad $\pm\sqrt{2}U_n$ mogą być szkodliwe, nawet jeśli 10 min. wartości skuteczne są z przedziału (231-241) dopuszczalnego wg. [10].



Rys. 4. Amplitudy napięć (wartości minimalne) w stacji nN zasilającej odbiorców indywidualnych i obwody oświetlenia ulicznego

Zarejestrowane wartości współczynnika THD oscylowały wokół poziomu 5% określonego przez [10] za progowy (celowość stosowania filtru [3]). W wielu wypadkach dla sieci o niskiej mocy zwarciowej i wielu odbiorach nieliniowych można spodziewać się wielu zjawisk zakłóceńowych występujących równocześnie.

5 PODSUMOWANIE

Uwolnienie rynku energii, wzrost czułości odbiorników przy jednoczesnym zwiększeniu mocy urządzeń nieliniowych prowadzi do coraz powszechniejszego zainteresowania zagadnieniami jakości energii. Parametry jakościowe określające jakość powinny być ustalane na drodze pomiarów. Okresowe kontrole pozwalają na zastosowanie przez dostawcę bądź odbiorcę środków zaradczych: zmiany konfiguracji sieci, struktury odbiorów, stosowania pasywnych i aktywnych filtrów.

6 LITERATURA

1. Bollen M. H. J.: *Understanding Power Quality Problems Voltage Sags and Interruptions*, IEEE Press, New York, 2000
2. Dugan R. C., McGranaghan M. F., Beaty H. W.: *Electrical Power System Quality*, McGraw-Hill, New York, 1996, pp.1-8
3. Pawłega A.: *Problemy oceny jakości energii elektrycznej w miejscach jej dostarczenia do odbiorców*, Przegląd Elektrotechniczny, listopad 2003, str. 805-810
4. Ustawa Prawo Energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 r. (Dz. U. nr 54, poz. 348 z późniejszymi zmianami)
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 września 2000 w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, obrotu energią elektryczną, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców. (Dz. U. Nr 85, poz. 957)
6. Umowa Sprzedaży Energii Elektrycznej, Typ A, dostępna on-line pod adresem: <http://www.zeksa.koszalin.pl/obsługa/umowa/typa.doc>
7. Arrillaga J. Watson N. R.: *Power System Quality Assessment*, John Wiley & Sons, New York, 2000, pp. 30-32
8. Błajszczak G.: *Zapewnienie właściwej jakości energii elektrycznej-nowy typ usług systemowych*, Elektroenergetyka, sierpień 2000, str. 408-415
9. Morcos M. M., Gomez J. C.: *Flicker Sources and Mitigation*”, IEEE Power Engineering Review, November 2002, pp.5-10
10. PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych, październik 1998, z późniejszymi zmianami
11. Szprengiel Z.: *Jakość energii elektrycznej w świetle norm i przepisów prawnych*, Wiadomości Elektrotechniczne, styczeń 1999, str.3-8
12. PN-EN 61000-3-2, Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznym prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika ≤ 16 A)
13. PN-EN 61000-4-7, Metody badań i pomiarów, Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmonicznym i interharmonicznym oraz stosowanych do tego celu przyrządów pomiarowych dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń
14. PN-EN 60868 Miernik migotania światła, Opis działania i cechy konstrukcyjne
15. Bień A. et al.: *Voltage Fluctuation Measurement – Experiment in the Industrial Environment*, Electrical Power Quality and Utilization, Vol. 7, No 2, July 2001, pp.9-18
16. Halpin S. M. Bergeron R. Blooming T. M., Burch R. F., Conrad L. E., Key T. S.: *Voltage and Lamp Flicker Issues: Should the IEEE Adopt the IEC Approach?*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 3, July 2003, pp.1088-1097

INTERPRETATION AND MEASUREMENT OF POWER QUALITY INDICES IN DISTRIBUTION NETWORKS

Upon free electrical energy market conditions it is especially important to determine and specify the power quality parameters. Simultaneously grow the number of sensitive equipment installed (e.g. processor controlled production lines, computers) and non linear devices (e.g. power electronic, converters) responsible for disturbances. In this paper the main disturbances types are presented according to international standards. Harmonics and flickers are introduced in detail, its origins, influence on equipment and power grid are presented. Along measured values some explanations are given. Methods of mitigation of power quality disturbances are also mentioned. A short summary closes the article.