



Uwagi o terminie „Jakość energii elektrycznej”

Artykuł dyskusyjny

prof. dr hab. inż. Leszek S. CZARNECKI

Fellow IEEE, Alfredo M. Lopez Distinguished Professor, Louisiana State University, USA, e-mail: lsczar@cox.net

Comments on the term „Power quality”

Abstract: The term “energy quality” which is the Polish translation of the English term “power quality, (PQ)” has been in the last two decades disseminated and commonly used in electrical engineering. There are opinions that “energy” is a sort of a commodity, and as such, it can have a “quality”. The opinion that the “quality” is only an attribute of the supply voltage, but not of energy, is expressed in this paper. The term “voltage quality” would be equally misleading as the term “power quality”, however, since deviation of the voltage from its ideal waveform does not provide any information on causes of this deviation, who is affected by it and how this deviation could be reduced. To know this, the “supply quality” and the “loading quality” have to be known. Just these two terms should be used instead of the misleading term of “power quality”.

Keywords: supply quality, loading quality, power quality

Termin „jakość energii”, będący polskim odpowiednikiem angielskiego terminu „power quality”, jest w ostatnich dwóch dekadach szeroko rozpowszechniony w elektrotechnice. Panuje opinia, że „energia” może być uważana za towar, i wobec tego można jej przyporządkować określoną „jakość”. W niniejszym artykule wyraża się pogląd, że „jakość” może być atrybutem jedynie napięcia zasilania, nie zaś energii. Jednak termin „jakość napięcia” byłby równie mylący jak termin „jakość energii”, gdyż odchylenie napięcia od przebiegu idealnego, określane jako obniżenie jego „jakości”, nie dostarcza żadnych informacji o źródłach tego odchylenia, czyli kto za nie odpowiada, nie informuje też, jak odchylenie takie może być zmniejszane. Aby to wiedzieć, potrzebna jest znajomość „jakości zasilania” i „jakości odbioru” energii elektrycznej. Te właśnie dwa terminy powinny być używane zamiast mylącego terminu „jakość energii”.

Słowa kluczowe: jakość zasilania, jakość odbioru, jakość energii

1. WPROWADZENIE

Dobrym przykładem tego, jak ważne jest precyzyjne definiowanie terminów w określonej gałęzi wiedzy, są nauki biologiczne. Bez tej precyzji nie byłaby możliwa klasyfikacja zwierząt i roślin. Brak takiej precyzji w medycynie mógłby mieć nawet skutki śmiertelne. Precyzja ta jest tak ważna, że terminy w naukach biologicznych czy medycynie są definiowane w skali światowej w jednym, wspólnym języku, za który wybrano język łaciński.

Na tle nauk biologicznych czy medycznych stosunek do wyboru i definiowania terminów technicznych w elektrotechnice jest co najmniej ambiwalentny. Przykładem tego jest tytuł jednego z głównych czasopism elektroenergetycznych: *IEEE Transactions on Power Delivery*. W systemach energetycznych dostarczana jest bowiem energia a nie moc (power), która jest jedynie prędkością przepływu energii ze źródła do odbiornika. Natura wadliwości terminu „jakość energii” jest bardziej złożona niż terminu „power delivery”, użytego w tytule Transactions. Ponadto, o ile używanie terminu „power delivery” zamiast „energy delivery” wydaje się nie mieć żadnych szkodliwych skutków technicznych, o tyle używanie terminu „jakość energii” może mieć takie skutki. Skupianie się na „jakości energii” i jej pomiarze może odwracać uwagę od istotnych czynników decydujących o pracy systemu rozdzielczego i odbiorców energii. Znajomość „jakości energii” w zasadzie nie dostarcza informacji o tych czynnikach. Analiza wadliwości terminu „jakość energii” i skutków jego używania w elektrotechnice jest przedmiotem tego artykułu.

2. CZY ENERGIA MA JAKOŚĆ?

O obniżeniu „jakości energii” mówi się wtedy, gdy napięcie w pewnym przekroju systemu przesyłowego lub rozdzielczego, na ogół w miejscu przyłączenia odbiorcy, ma jedną lub kilka następujących cech: nie jest symetryczne, jest trwale lub przejściowo odkształcone od przebiegu sinusoidalnego, ma zmieniającą się w czasie wartość skuteczną, ma zmienną częstotliwość, wykazuje czasowe zaniki lub przepięcia czy też zawiera szумы wielkiej częstotliwości. Ale są to przecież cechy napięcia, a nie cechy energii. Nie jest to żadnym odkryciem, lecz trywialną obserwacją. System rozdzielczy lub odbiorniki energii zachowują się niezgodnie z oczekiwaniami nie z powodu jakichś domniemych właściwości energii, lecz po prostu z powodu pewnych, zestawionych powyżej cech napięcia. Poprawniejsze od używania terminu „jakość energii” byłoby zatem użycie terminu „jakość napięcia”. Jak to jednak zostanie poniżej uzasadnione, nawet ten, nieco lepszy termin, nie wydaje się być terminem poprawnym.

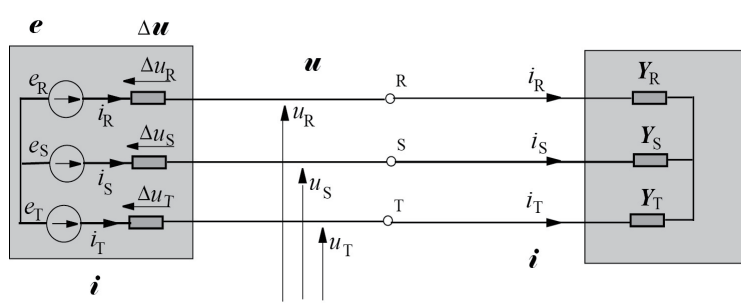
O ile odchylenia przebiegu napięcia od przebiegu idealnego można by określać w kategoriach jego „jakości”, o tyle nie da się tego uczynić w odniesieniu do energii. Zwrot „energia idealna”, a więc także odchylenia od niej, po prostu nie ma sensu. Wielkościami fizycznymi charakteryzującymi przepływ energii w układach elektrycznych są prąd i napięcie. Energia przenoszona w takim układzie w pewnym przedziale czasowym obliczana jest jako cała iloczyn prądu i napięcia w tym przedziale. Całka ta, niezależnie od przebiegów czasowych tych dwóch wielkości, określa jedynie ilość energii; cechy czasowe napięcia i prądu nie przenoszą się na jakieś domniemywane cechy energii, mogą one jedynie wpływać na ilość energii przesyłanej w określonym czasie w pewnym przekroju systemu. Napięcie i prąd mogą mieć przebiegi czy wartości odbiegające od idealnych, co może powodować niekorzystną pracę systemu rozdzielczego lub odbiorników energii, zatem termin „jakość” mógłby być użyty jedynie w odniesieniu do tych dwóch wielkości fizycznych, nie zaś do samej energii, która ma wyłącznie jedną cechę – ilość.

Kwestia, czy to, co jest przedmiotem oceny lub pomiarów, jest „jakością energii”, czy tylko „jakością napięcia” – można by uznać za drugorzędne zagadnienie semantyczne. Zapewne doświadczeni inżynierowie elektrycy, mający pewną wiedzę na temat fizycznych podstaw elektrotechniki, są świadomi tego, że rejestratory PQ, dostarczają jedynie informacji o różnych cechach napięcia, prądu i mocy w miejscu rejestracji, nie zaś informacji o „jakości energii”. Gorzej może być z mniej doświadczonymi inżynierami, czy ze studentami elektrotechniki, szczególnie tymi bardziej dociekliwymi niż przeciętni. Jak im termin „jakość energii” wyjaśnić?

Można by uznać, że termin „jakość energii” jest niezbyt fortunnie wybranym skrótem opisu sytuacji, w których dostarczana energia jest opisana przez prąd i napięcie, o właściwościach różniących się od właściwości przebiegów idealnych. Niekiedy termin ten ma też charakter słowa klucza używanego do komunikowania się z ludźmi o bardzo ograniczonej znajomości fizycznych podstaw elektrotechniki.

3. CZY TERMIN „JAKOŚĆ NAPIĘCIA” MÓGŁBY ZASTĄPIĆ TERMIN „JAKOŚĆ ENERGII”?

Ponieważ większość zagadnień dotyczących „jakości energii” koncentruje się na różnorodnych, poprzednio zestawianych cechach napięcia, można by dojść do wniosku, że termin „jakość energii” mógłby być po prostu zastąpiony terminem „jakość napięcia”. Byłaby to być może zmiana we właściwym kierunku, gdyż w odróżnieniu od energii, przebieg napięcia może mieć cechy kwalifikowane w terminach jakości. Na przykład, napięcie odkształcone od przebiegu sinusoidalnego ma ze względu na pewne odbiorniki „gorszą jakość” niż napięcie sinusoidalne.



Niestety, termin „jakość napięcia” jest mylący. Przebieg napięcia w każdym przekroju systemu rozdzielczego jest bowiem efektem wzajemnego oddziaływania na siebie źródeł zasilania i odbiorników. Dla każdego przekroju w promieniowej sieci rozdzielczej można narysować obwód zastępczy pokazany na rys. 1. Wielkości oznaczone na tym rysunku czcionką

Rys. 1. Obwód zastępczy systemu rozdzielczego na zaciskach zasilania pewnego odbiornika

pogrubioną oznaczają wektory wielkości trójfazowych [5], mianowicie, $\mathbf{u} = [u_R, u_S, u_T]^T$, $\mathbf{e} = [e_R, e_S, e_T]^T$, $\mathbf{i} = [i_R, i_S, i_T]^T$. Górny indeks T oznacza w tym zapisie wektor transponowany.

Odchylenie obserwowanego napięcia \mathbf{u} od przebiegu idealnego, to jest domniemane pogorszenie jego „jakości”, nie musi być spowodowane takimże odchyleniem napięcia źródłowego \mathbf{e} , to jest pogorszoną „jakością” tego napięcia, lecz właściwościami prądu odbiornika (\mathbf{i}), to jest jego odchyleniem od przebiegu idealnego. Zwykle mamy do czynienia z obiema przyczynami, których nie da się zidentyfikować, obserwując tylko napięcie \mathbf{u} . Przypuśćmy dla przykładu, że stwierdzono asymetrię napięcia \mathbf{u} . Przyczyną tej asymetrii może być niezrównoważenie odbiornika, a więc różne spadki napięcia na impedancji wewnętrznej źródła zasilania, spowodowane asymetrycznym prądem odbiornika. Asymetria tego napięcia może być też spowodowana asymetrią zastępczego napięcia źródłowego systemu (\mathbf{e}). Odmienne są też skutki tych dwóch różnych przyczyn asymetrii napięcia. W pierwszym przypadku asymetryczny prąd odbiornika zwiększa straty energii w źródle zasilania. W drugim przypadku asymetria napięcia źródłowego może powodować zaburzenia pracy odbiornika, szczególnie wtedy, kiedy energia dostarczana jest do silników indukcyjnych lub trójfazowych przetworników energoelektronicznych. Odmienne są też możliwości zmniejszenia asymetrii napięcia za pomocą urządzeń kompensujących. Jeśli asymetria ta spowodowana jest niezrównoważeniem odbiornika, kompensator równoważący, pozwalający symetryzować prąd zasilania, zmniejsza asymetrię napięcia. Jeśli jednak asymetria ta ma źródło po stronie zasilania, wówczas tylko kompensator szeregowy może taką asymetrię zmniejszyć. Informacja o asymetrii napięcia \mathbf{u} nie pozwala więc wyciągnąć żadnych wniosków dotyczących jej przyczyn, skutków czy sposobu jej zmniejszenia. Takie same wnioski można wyciągnąć oczywiście odnośnie do odkształcenia napięcia \mathbf{u} . Dlatego też termin „jakość napięcia” jest równie mylący jak termin „jakość energii”. Jeśli zaobserwowano, na przykład, nadmierne zmiany wartości skutecznej napięcia zasilania, to nie można z tego wyciągać wniosku, że „jakość napięcia” jest niska, gdyż zmiany te mogą być spowodowane dużą zmiennością mocy odbiornika energii. To samo dotyczy asymetrii czy odkształcenia napięcia zasilania.

4. „JAKOŚĆ ZASILANIA” I „JAKOŚĆ ODBIORU”?

Co rzeczywiście określa warunki pracy odbiornika, to nie domniemana „jakość energii”, lecz „jakość zasilania”. Jeśli przyjmujemy, że zasilanie napięciem sinusoidalnym, symetrycznym, o niezmienniej wartości skutecznej i częstotliwości, bez szumów wielkiej częstotliwości czy innych zaburzeń jest zasilaniem idealnym, to każde odchylenie od takich warunków można określać jako pogorszenie „jakości zasilania”. Podobnie, co określa warunki dostawy energii, to nie „jakość energii”, lecz „jakość odbioru”. Warunki dostawy energii z punktu widzenia jej dostawcy są najlepsze wtedy, gdy odbiornik nie powoduje asymetrii prądu zasilania ani jego odkształcenia, gdy ma stałą moc i współczynnik mocy równy jedności oraz gdy nie jest źródłem szumów czy zaburzeń. Odbiór taki, z punktu widzenia dostawcy energii, jest odbiorem idealnym. Każde odchylenie od takich warunków można określać jako pogorszenie „jakości odbioru”. Z punktu widzenia dostawcy energii, jak i również jej odbiorcy, nie wystarcza więc wiedzieć, że napięcie w punkcie zasilania odbiega od przebiegu idealnego. Potrzebna jest wiedza o tym, kto – dostawca czy odbiorca energii – powoduje te odchylenia. Niezbędna jest do tego lokalizacja źródeł tych odchylenia. Ponieważ źródła te mogą się znajdować zarówno u dostawcy, jak i u odbiorcy, może być potrzebne określenie ich udziału w obserwowanych odchyleniach napięcia od przebiegu idealnego.

Lokalizacja źródeł odchylenia, w pewnych szczególnych sytuacjach, jest trywialna. Jeśli napięcie na zaciskach źródła nieobciążonego odbiega od przebiegu idealnego, to z pewnością mamy do czynienia z obniżoną jakością zasilania. Podobnie, jeśli napięcie na zaciskach odbiornika, o którym wiemy, że jest silnym źródłem asymetrii prądu i jego odkształcenia, odbiega od przebiegu idealnego, to mamy do czynienia z niską jakością odbioru. Znajomość odbiorów w systemie rozdzielczym może być więc bardzo pomocna przy lokalizacji źródeł obniżonej „jakości zasilania” czy obniżonej „jakości odbioru”. Jeśli jednak to nie wystarcza, potrzebne są metrologiczne metody lokalizacji tych źródeł. Metody te są, niestety, znacznie bardziej złożone od rejestracji parametrów napięcia w pewnym przekroju, określanej mianem rejestracji „jakości energii”. Metody takie oparte są na analizie systemu pracującego w różnych stanach [2, 3], chociaż pewne wnioski dotyczące lokalizacji źródeł zaburzeń można już wyciągać, identyfikując kierunek przepływu energii przenoszonej przez harmoniczne oraz składowe symetryczne prądu i napięcia – w statycznym stanie pracy systemu [1, 4, 5].

5. PODSUMOWANIE

Poprawna terminologia jest jednym z warunków rozwoju różnych obszarów nauki i technologii, jak również komunikacji wewnątrz tych obszarów. Termin „jakość energii”, używany w obszarze elektrotechniki zajmującym się wpływem różnych odchyłek przebiegów napięcia i prądu od przebiegów idealnych na pracę elementów systemów rozdzielczych i odbiorników energii, nie jest poprawny. Mierniki „jakości energii”, mierząc jedynie pewne cechy napięcia, prądu czy mocy, żadnej informacji o „jakości” tej nie dostarczają, z prostej przyczyny, że energia nie ma jakości. Praca odbiorników energii i elementów systemu rozdzielczego może zależeć natomiast od „jakości zasilania” i „jakości odbioru” energii. Właśnie te dwa terminy przenoszą podstawową informację o naturze źródeł zaburzeń pracy odbiorników energii i elementów systemu rozdzielczego. Mianowicie odbiornik może nie pracować poprawnie z powodu niskiej „jakości zasilania”, na przykład harmonicznych w napięciu zasilania. Podobnie, transformator w systemie rozdzielczym może nie pracować poprawnie z powodu niskiej „jakości odbioru” energii, na przykład asymetrii prądu odbiornika.

BIBLIOGRAFIA

- [1] L.S. Czarnecki, and T. Swietlicki: (1990) "Powers in nonsinusoidal networks, their analysis, interpretation and measurement", IEEE Trans. Instr. Measur., Vol. IM-39, No. 2, pp. 340-344.
- [2] L.S. Czarnecki and Z. Staroszczyk: (1996) "Dynamic on-line measurement of equivalent parameters of three-phase systems for harmonic frequencies," European Trans. on Electrical Power, ETEP, Vol. 6, No. 5, pp. 329-335.
- [3] L.S. Czarnecki, and Z. Staroszczyk: (1996) "On-line measurement of equivalent parameters for harmonic frequencies of a power distribution system and load," IEEE Trans. on Instr. Measur. Vol. 45, No. 2, pp. 467-472.
- [4] L.S. Czarnecki: (2012) "Working, reflected and detrimental active powers", IET on Generation, Transmission and Distribution, London, pp. 1-7.
- [5] L.S. Czarnecki: (2005) Moce w obwodach elektrycznych z niesinusoidalnymi przebiegami prądów i napięć, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

TO MIEJSCE CZEKA NA WASZĄ SKUTECZNĄ REKLAMĘ