

Zbigniew OLCZYKOWSKI

PODSTACJA TRAKCYJNA JAKO ŹRÓDŁO WAHAŃ I ZAPADÓW NAPIĘCIA

Streszczenie

Trakcja kolejowa należy do jednych z większych odbiorców energii elektrycznej. Zasilana z systemu elektroenergetycznego ma wpływ na jakość energii w liniach zasilających podstację. Do sieci generowane są głównie zakłócenia związane z prądami odkształconymi pobieranymi przez podstację. Obok zagadnienia powstawania wyższych harmonicznych istotne stają się również wahania i zapady napięcia powodowane zmiennym obciążeniem podstacji trakcyjnych. W artykule przedstawiono wpływ podstacji trakcyjnej na sieć elektroenergetyczną pod kątem powstających w niej wahań i zapadów napięcia. Dokonano analizy wskaźników charakteryzujących jakość energii elektrycznej zarejestrowanych w sieci elektroenergetycznej zasilającej podstację trakcyjną. Przeanalizowano również zmiany parametrów charakteryzujących jakość energii elektrycznej w obwodach potrzeb własnych podstacji oraz obwodach potrzeb nietrakcyjnych.

WSTĘP

Ze względu na duże moce oraz nieliniowy charakter obciążenia trakcja elektryczna należy do jednych z największych odbiorców zasilanych z systemu elektroenergetycznego. Dodatkowo trakcja kolejowa wymaga dostarczania energii z dwóch niezależnych źródeł, co związane jest z zapewnieniem pewności zasilania.

Na podstawie analizy zmian parametrów jakości energii elektrycznej pomierzonych przez autora w sieciach zasilających różne podstacje trakcyjne można stwierdzić, że generują one głównie zakłócenia związane z odkształceniem napięcia. Zakłócenia te wynikają z nieliniowego charakteru obciążenia związanego z przekształcaniem napięcia przemiennego na napięcie stałe przez prostowniki podstacji [1,3,4,5].

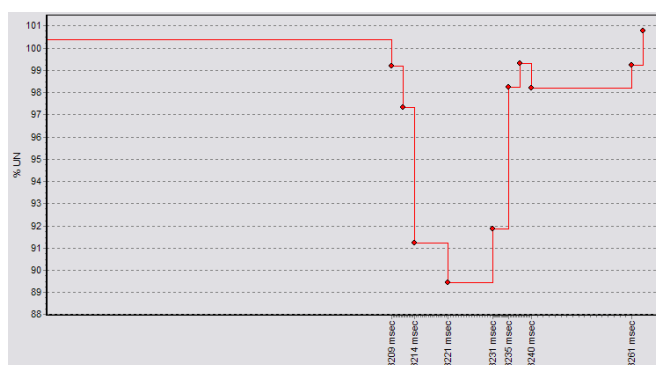
Trakcja elektryczna generuje również inne zakłócenia w sieci elektroenergetycznej zasilającej podstację, są to m.in. wahania i zapady napięcia.

Wahania napięcia definiowane są jako zmiany wartości skutecznej napięcia (1) lub zmiany obwiedni napięcia.

$$\Delta U = \frac{U_1 - U_2}{U_n} \cdot 100\% \quad (1)$$

Zależnie od częstości występowania można wyróżnić powolne wahania (kilka na minutę) lub szybkozmiennne wahania napięcia (do kilkunastu zmian na sekundę). W przypadku podstacji trakcyjnych mamy do czynienia w znacznej części z powolnymi zmianami napięcia. Przyjmuje się, że amplituda wahań napięcia mieści się przedziale $\pm 10\%U_n$. Jeżeli wartość napięcia sieci zmniejszy się poniżej 10% napięcia znamionowego mamy wtedy do czynienia z zapadem napięcia – rys.1.

Zapady napięcia zaliczyć można do zakłóceń jakości energii elektrycznej, które występują najczęściej w systemie elektroenergetycznym. Mają bardzo różne przyczyny powstawania, które znajdują się zarówno po stronie dostawców, jak i odbiorców energii elektrycznej. Zastosowanie środków technicznych ograniczających skutki zapadów napięcia wymaga znacznych nakładów finansowych, które bardzo szybko rosną wraz ze wzrostem mocy chronionych odbiorników.



Rys.1. Zapad napięcia w sieci zasilającej podstację trakcyjną

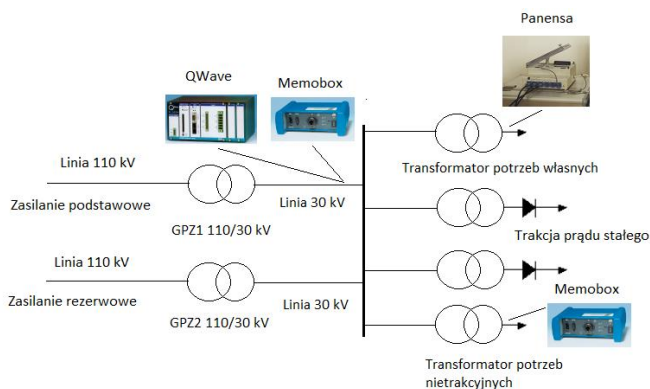
W przypadku podstacji trakcyjnych wahania i zapady napięcia wynikają głównie z dynamicznych zmian obciążenia podstacji, rozruchów ciężkich składów, przepięć w sieci trakcyjnej, czynności łączeniowych w obwodach prądu stałego trakcji kolejowej itp. Zakłócenia te odczuwalne są zarówno w linii elektroenergetycznej zasilającej podstację, jak i w sieci potrzeb własnych podstacji, oraz liniach potrzeb nietrakcyjnych. Propagacja wahań i zapadów napięcia do sieci potrzeb nietrakcyjnych w istotny sposób wpływa na jakość energii elektrycznej. Z linii potrzeb nietrakcyjnych zasilani są odbiorcy, którzy wybrali PKP Energetykę jako niezależnego dostawcę energii elektrycznej.

1. UKŁAD POMIAROWY

Pomiary wskaźników jakości energii elektrycznej, których analizę przedstawiono w artykule, wykonano w sieciach zasilających różne podstacje trakcyjne.

Wskaźniki charakteryzujące jakość energii elektrycznej zarejestrowane zostały podczas tygodniowych cykli pomiarowych. Pomiary wskaźników jakości energii obejmowały jednotygodniowe cykle pomiarowe zgodnie z PN-EN 50160 [2,6] oraz Rozporządzeniem [7]. Pomiary dokonano za pomocą analizatorów wskaźników jakości energii elektrycznej Memobox 800, QWave, Panensa.

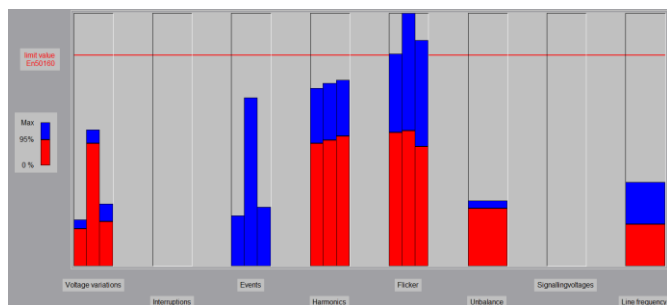
Na rys. 2 przedstawiony został układ zasilania podstacji trakcyjnej oraz miejsce przyłączenia analizatorów jakości energii elektrycznej. Analizatory przyłączone zostały poprzez przekładniki prądowe i napięciowe do następujących obwodów: linii zasilających podstację, linii potrzeb własnych oraz linii potrzeb nietrakcyjnych.



Rys.2. Miejsce pomiarów wskaźników jakości energii elektrycznej

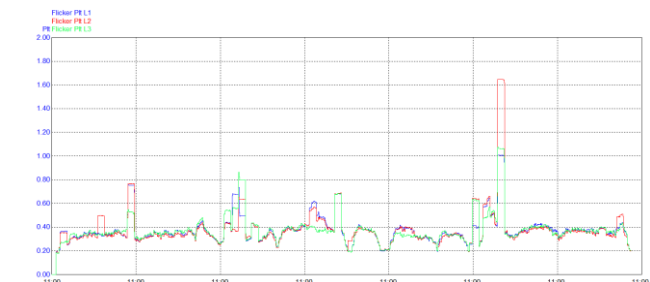
2. ANALIZA DANYCH POMIAROWYCH W LINIACH ZASILAJĄCYCH PODSTACJĘ TRAKCYJNE

Analizie poddano wyniki pomiarów przeprowadzonych w liniach zasilających podstację z układami prostownikowymi sześciopulsowymi. Na rys. 3 przedstawiono sumaryczne zestawienie wskaźników jakości energii elektrycznej zarejestrowanych podczas tygodniowego cyklu pomiarowego.



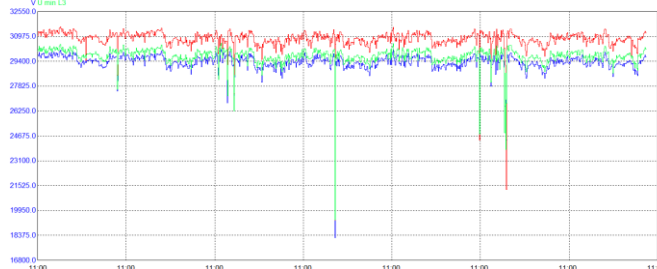
Rys. 3. Sumaryczne zestawienie wskaźników jakości energii elektrycznej zarejestrowane w linii zasilającej podstację trakcyjną

Z rys. 3 wynika, że podstacja generuje zakłócenia związane z pobieraniem odkształconych prądów – zwiększona zawartość wyższych harmonicznych w napięciu zasilającym podstację. W linii 30 kV zasilającej podstację powstają również wahania i zapady napięcia. Objawiają się one podwyższoną wartością wskaźników migotania światła charakteryzujących zjawisko flickera (migotania światła) – rys.4.



Rys.4. Przebiegi długookresowego wskaźnika migotania światła P_{st} zarejestrowane w sieci zasilającej podstację

W tabeli 1 zestawiono ilość zapadów napięcia występujących w okresie jednego tygodnia. Przeważająca ilość wahań napięcia (107) mieści się w przedziale do 10% napięcia znamionowego i czasie trwania do 20 ms.



Rys.5. Przebiegi napięcia w sieci zasilającej podstację trakcyjną

Występują jednak zapady, kiedy wartość napięcia w linii zasilającej podstację obniża się poniżej 18,4 kV, przy napięciu znamionowym wynoszącym 30 kV – rys.5. Czas zapadów zawiera się w granicach od 100 do 500 milisekund – tabela 1.

Ze względu na bardzo krótki czas obniżenia się napięcia (zapadu) jego wpływ na pojazdy trakcyjne jest pomijalny. Jak wykazały badania prowadzone przez autora, następuje jednak propagacja zapadów powstających w sieci zasilającej podstację do linii potrzeb własnych oraz potrzeb nietrakcyjnych [3,4,5].

3. PROPAGACJA ZAKŁÓCEŃ POWSTAJĄCYCH W LINII ZASILAJĄCEJ PODSTACJĘ DO LINII POTRZEB WŁASNYCH I POTRZEB NIETRAKCYJNYCH

Wahania i zapady napięcia powstające w sieciach zasilających podstację trakcyjne wynikają ze specyficznego charakteru trakcji elektrycznej i przenoszą się na inne linie, z których zasilane są odbiorniki wrażliwe na tego rodzaju zakłócenia. Do linii tych zaliczyć możemy sieci potrzeb własnych oraz potrzeb nietrakcyjnych.

Podstawową rolą podstacji trakcyjnej jest zamiana napięcia zmiennego na stałe oraz dostarczenie go do kolejowej sieci trakcyj-

Tab. 1. Zestawienie zapadów napięcia w linii zasilającej podstację trakcyjną

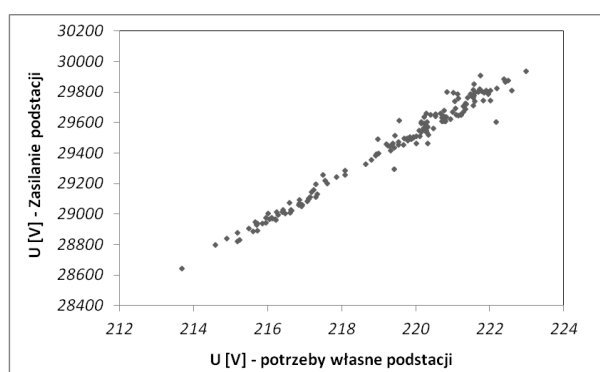
Phase L1, L2, L3	< 20 ms	20...< 100 ms	100...< 500 ms	0.5...< 1 s	1...< 3 s	3...< 20 s	20...< 60 s	>= 1 min
Surge > 10.00%	107	6						
Dip > 10.00%								
10...< 15 %	8	1						
15...< 30 %	5		2					
30...< 60 %			3					
60...< 99 %								
Interruption								

Recording as events from -10.00/+10.00% of the nominal voltage
 Dip according to UNIPED measurement guide

Number of surges 113
 Number of Dips 19
 Number of short interruptions (<3 min) 0
 Number of long interruptions (>=3 min) 0
 Number of interruptions 0
 Total events and interruptions 132
 Total number of allowed events 100
 Total number of allowed interruptions 100

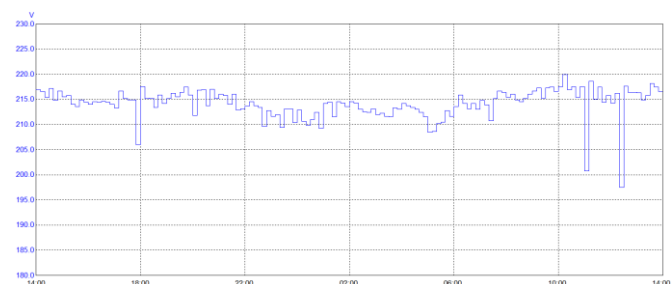
nej. Dodatkowym zadaniem jest zasilanie urządzeń pomocniczych podstacji oraz różnych obiektów niezwiązanych z trakcją elektryczną energią elektryczną prądu przemiennego o napięciu 230/400V. Przez transformatory potrzeb własnych zasilane są obwody pomocnicze mające zasadniczy wpływ na pracę podstacji trakcyjnej (np. obwody zabezpieczeń, sterowania, sygnalizacji), przy czym w większości zasilane są one napięciem stałym. Wprowadzanie nowoczesnych zabezpieczeń, urządzeń sterowania, urządzeń do transmisji danych podnosi znacznie wymagania jakości i pewności zasilania [4].

Istnieje bardzo duża zależność pomiędzy zmianami napięcia zasilającego podstację (linia 30kV) a zmianami napięcia w obwodach niskiego napięcia potrzeb własnych (linia 230/400 V). Współczynnik korelacji pomiędzy przebiegami wynosi 0,989. Na rys. 6 przedstawiona została korelacja pomiędzy średnimi dziesięciominutowymi skutecznymi wartościami napięć pomierzonych w okresie jednego tygodnia w linii zasilającej podstację oraz obwodach niskiego napięcia potrzeb własnych



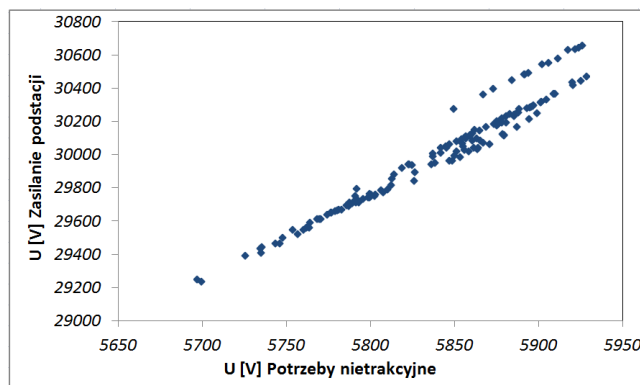
Rys.6. Korelacja pomiędzy napięciami w linii zasilającej podstację i obwodach potrzeb własnych

Rys. 7 przedstawia zmiany minimalnej wartości napięcia (z dziesięciominutowych interwałów pomiarowych) zarejestrowane w okresie jednego dnia w obwodach potrzeb własnych. Minimalna wartość napięcia przy największym z zapadów wynosi 197,6V.



Rys.7. Zmiany minimalnej wartości napięcia zarejestrowane w obwodach potrzeb własnych

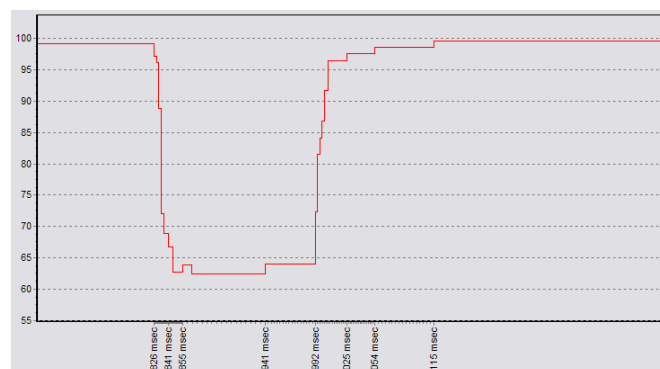
PKP Energetyka posiada koncesję Urzędu Regulacji Energetyki na dystrybucję, przesył i obrót energią elektryczną. Wykorzystując linie potrzeb nietrakcyjnych PKP Energetyka sprzedaje energię elektryczną na wolnym rynku energii. W odróżnieniu od urządzeń przyłączanych do obwodów potrzeb własnych, z linii potrzeb nietrakcyjnych zasilane są często odbiorniki wrażliwe na zakłócenia [4]. Z tego też powodu zapewnione powinny być odpowiednie parametry napięcia zasilania dostarczanego odbiorcom [7].



Rys.8. Korelacja pomiędzy napięciami w linii zasilającej podstację i obwodach potrzeb nietrakcyjnych

Podobnie, jak w przypadku zmian napięcia zasilania podstacji i napięcia w obwodach potrzeb własnych, istnieje również silna zależność pomiędzy zmianami napięcia zasilania podstacji i napięcia w liniach potrzeb nietrakcyjnych – rys. 8. Współczynnik korelacji pomiędzy tymi przebiegami wynosi 0,975.

W liniach potrzeb nietrakcyjnych występują również znaczne zapady napięcia, na które mają wpływ zarówno odbiorniki przyłączone do tych obwodów, jak i zakłócenia powstające w trakcji prądu stałego. Rys. 9 przedstawia jeden z zapadów zarejestrowanych w linii potrzeb nietrakcyjnych.



Rys.9. Zapad napięcia w obwodach potrzeb nietrakcyjnych

Tab. 2. Zestawienie zapadów napięcia w linii potrzeb nietrakcyjnych

Phase L1, L2, L3	< 20 ms	20...< 100 ms	100...< 500 ms	0.5...< 1 s	1...< 3 s	3...< 20 s	20...< 60 s	>= 1 min
Surge > 10.00%								
Dip > 10.00%								
10...< 15 %	2							
15...< 30 %								
30...< 60 %								
60...< 99 %								
Interruption								

Recording as events from -10.00/+10.00% of the nominal voltage
 Dip according to UNIPEDE measurement guide

Number of surges 0
 Number of Dips 2
 Number of short interruptions (<3 min) 0
 Number of long interruptions (>=3 min) 0
 Number of interruptions 0
 Total events and interruptions 2
 Total number of allowed events 100
 Total number of allowed interruptions 100

Napięcie w linii obniżyło się o ponad 35% napięcia znamionowego. Czas zapadu napięcia wynosił ok. 184 milisekund. W przypadku odbiorników wrażliwych na zakłócenia, tak duża i gwałtowna zmiana napięcia może spowodować nieprawidłowe działanie tych urządzeń, a ekstremalnych przypadkach nawet ich uszkodzenie.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej analizy wskaźników jakości energii elektrycznej, pomierzonych przez autora w liniach zasilających podstacje, liniach potrzeb nietrakcyjnych oraz potrzeb własnych wynika, że decydujący wpływ na powstające zakłócenia mają m.in. układ pracy podstacji trakcyjnej, wartość obciążenia podstacji trakcyjnej, charakter i zmienność obciążenia podstacji, charakter i moce odbiorników przyłączonych do obwodów potrzeb nietrakcyjnych i potrzeb własnych.

Zapady i wahania napięcia są zakłóceniami, które znacząco wpływają na poprawne działanie odbiorników zasilanych z obwodów potrzeb własnych i nietrakcyjnych.

Ze względu na niewielkie moce zwarciove sieci elektroenergetycznych średnich napięć (w stosunku do mocy podstacji), z których głównie zasilana jest trakcja kolejowa celowym staje się rozbudowa układów z jednostopniowym przetwarzaniem energii. Polega ona na zasilaniu trakcji kolejowych z linii o napięciu 110 kV (lub wyższym). Pozwala to ograniczyć znacznie wahania i zapady napięcia, jak również wpływ nieliniowości podstacji na kształt krzywej napięcia.

BIBLIOGRAFIA

1. Łukasik Z., Olczykowski Z.: Problems of Power supply of the electric traction, The Present and Future of Modern Transport, The 15th Anniversary of the Foundation of the Faculty of Transportation Sciences CTU in Prague, Prague, Czech Republic, 2008, str. 175-178
2. EN 50160:2010: Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks
3. Olczykowski Z.: Analysis of voltage changes in traction substation circuits, X Międzynarodowa Konferencja - Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki Przemysłu i Transportu. Zakopane, 2006r.
4. Olczykowski Z.: Wpływ dynamicznych zmian obciążenia trakcyjnego na parametry jakości energii elektrycznej w sieciach zasilających podstacje. Czasopismo Techniczne, Seria E z konferencji „Semtrak” Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2007
5. Olczykowski Z.: Monitoring parametrów jakości energii elektrycznej w sieciach zasilających podstacje trakcyjne, Czasopismo Logistyka 3/2009 ISBN 978-83-7204-739-7
6. PN-EN 50160:2014: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, Dz. U. Nr 93, poz. 623

TRACTION SUBSTATION AS A SOURCE OF FLUCTUATIONS AND VOLTAGE DIPS

Abstract

In this paper, results of the measurement of electric power quality parameters measured both in substation and nontraction supplying systems have been presented. On the basis of obtained measurements, it is possible to say that following factors had a major influence on the basis parameters of electric power quality: circuit of traction substation, the load of traction substation, character and variability of the load of traction substation, character and power of receivers connected to the nontraction network. According to requirements contained in the norm concerning the electric power quality, the control of electric power quality provided by the nontraction network should be carried out. Therefore nontraction receivers should satisfy requirements concerning the character and the power of installed receivers.

Autor:

dr inż. **Zbigniew Olczykowski** – Uniwersytet Techniczno-Humanistyczny w Radomiu. Wydział Transportu i Elektrotechniki. Zakład Elektrotechniki i Energetyki. Adres e-mail: z.olczykowski@uthrad.pl