

Kazimierz HERLENDER<sup>1</sup>  
Edward CADLER<sup>2</sup>

## WPLYW SPOSOBU ZASILANIA NOWOCZESNYCH UKŁADÓW OŚWIETLENIOWYCH NA JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

*W referacie przedstawiono wybrane wyniki i interpretacje przeprowadzonych pomiarów wskaźników (współczynników) charakteryzujących oddziaływanie wyższych harmonicznych przy zasilaniu nieliniowych odbiorników jakimi są nowoczesne układy oświetleniowe, przeprowadzonych dla trzech różnych systemów zasilania. Zastosowanie wydzielonych obwodów zasilających odbiorniki nieliniowe jest jednym ze sposobów redukcji występowania wyższych harmonicznych w obwodach zasilających.*

### 1 WSTĘP

Gospodarka rynkowa wymusiła zmiany struktury odbiorców energii elektrycznej. Zmiany te pojawiają się w sektorze przemysłowym, publicznym, a zwłaszcza w miejscach, gdzie w większym stopniu korzysta się z odbiorników nieliniowych i niespokojnych. Zmiany struktury zużycia są spowodowane zwłaszcza ogromnym rozpowszechnieniem technologii informatycznych i energetycznie oszczędnych urządzeń odbiorczych. Jest ewidentne, że zmiany te mają wpływ na parametry jakości energii elektrycznej.

Należy zdawać sobie sprawę, że nie ma jednego rozwiązania dla problemów związanych z jakością energii. Dla każdego rodzaju problemu istnieje pewien zakres możliwych metod postępowania w celu jego eliminacji, spośród których kilka może być z powodzeniem zastosowanych. W realnym świecie jest prawdopodobne, że kilka problemów będzie występować jednocześnie i przyjęte rozwiązania muszą być kompatybilne wzajemnie oraz kompatybilne z odbiornikami istniejącymi w instalacji.

Coraz większa liczba eksploatowanych urządzeń elektrycznych zasilanych za pośrednictwem układów przekształtnikowych (począwszy od sterowanych urządzeń gospodarstwa domowego, poprzez komputery, oprawy oświetleniowe z lampami wyładowczymi, a skończywszy na przekształtnikowych układach napędowych dużej mocy i

---

<sup>1</sup> Politechnika Wroclawska, Instytut Energoelektryki, ul. Wyb. Wysiańskiego 27, IASE Wroclaw, tel. 071-3477338, e-mail: kazimierz.herlender@pwr.wroc.pl

<sup>2</sup> ENEA S.A., Oddział Dystrybucji Gorzów Wlkp., ul. Sikorskiego 37, tel. 095-7689302, e-mail: edward.cadler@choszczno.gorzow.enea.pl

piecach łukowych) powoduje odkształcenie napięcia zasilającego. Wówczas głównym problemem jest niesinusoidalny charakter prądu płynącego przez układy przekształtnikowe.

Różnice w cyklu pracy urządzeń elektrycznych i zmienność charakteru ich pracy mają swój udział w ciągle zmieniającym się obciążeniu. W rezultacie problemy związane z jakością energii mają często charakter statystyczny i wymagają starannego monitorowania, aby można było je w pełni zdefiniować.

W dokumentach [1,2] do najważniejszych parametrów energii elektrycznej zaliczono:

- odchylenie częstotliwości napięcia zasilającego i jego wartości od wartości znamionowych,
- asymetrie napięcia zasilającego i wskaźniki długotrwałego migotania światła,
- zawartość harmonicznych w napięciu,
- przerwy w dostarczaniu energii elektrycznej.

Ze względu na ograniczoną objętość artykułu i obszerną problematykę dotyczącą jakości energii w niniejszym artykule zostanie zaprezentowane zagadnienie wpływu sposobu zasilania wybranych odbiorników nieliniowych na zawartość wyższych harmonicznych.

## **2 WYŻSZE HARMONICZNE PRĄDÓW I NAPIĘĆ**

Występowanie w obwodach elektrycznych wyższych harmonicznych powoduje niepożądane skutki, do których zalicza się [3]:

- rezonans sieciowy dla określonej harmonicznej, która przepięciem lub podwyższonym prądem może obciążać elementy sieciowe,
- przegrzewanie oraz przeciążanie elementów sieciowych (kable, transformatory),
- błędna praca zabezpieczeń (tzn. różne zabezpieczenia transformatora przeciwdziałające nagłym dużym obciążeniom),
- zakłócenie linii telekomunikacyjnych (z powodu indukowanego szumu generowanego przez zerową składową harmoniczną prądu przepływającego w przewodach),
- niesprawne działanie obwodów sterowniczych urządzeń sterowanych elektronicznie.

Wyższe harmoniczne napięcia charakteryzuje współczynnik odkształcenia harmonicznych napięcia – THDu, którego wartość dla napięcia zasilającego zgodnie z normą PN-EN 50160:2002 [2] powinien być mniejszy lub równy 8 %. W normie [2] podano również wartości poszczególnych harmonicznych napięcia w złączu sieci elektroenergetycznej dla rzędów do 25, wyrażone w procentach – tabela 1.

Tab. 1. Wartości poszczególnych harmonicznych napięcia w złączu sieci elektroenergetycznej (odbiorcy)\* dla rzędów do 25, wyrażone w procentach  $U_c (U_n)^*$

harmoniczne nieparzyste				harmoniczne parzyste	
nie będące krotnością 3		będące krotnością 3			
rzęd $h$	wartość względna napięcia	rzęd $h$	wartość względna napięcia	rzęd $h$	wartość względna napięcia
5	6 %	3	5,0 % **)	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 ... 24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

\*) dla napięć do 1 kV,  
 \*\*) w zależności od układu sieci wartość trzeciej harmonicznej może być znacząco mniejsza.  
 Uwaga: Nie podano wartości harmonicznych o rzędach większych niż 25, ponieważ są one zwykle małe i w dużym stopniu niemożliwe do przewidzenia ze względu na efekty rezonansowe.

Innym bardzo istotnym elementem jest emisja harmonicznych prądu w obwodach elektrycznych przez urządzenia w nich zainstalowane. W normie PN-EN 6100-3-2:2004 [4] dokonano klasyfikacji urządzeń na klasy: A, B, C i D. Dla każdej klasy podano w tej normie dopuszczalne poziomy prądów poszczególnych harmonicznych. Opisywane w artykule lampy wyładowcze należą do Klasy C, dla których poziom dopuszczalnych prądów wyższych harmonicznych podano w tabeli 2.

Tab. 2. Dopuszczalne poziomy harmonicznych prądu dla sprzętu klasy C

rzęd harmonicznej $n$	maksymalny dopuszczalny prąd harmonicznej wyrażony w procentach składowej podstawowej prądu wejściowego [%]
2	2
3	$30 \lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (tylko harmoniczne nieparzyste)	3

\*  $\lambda$  oznacza współczynnik mocy obwodu

### **3 SPOSOBY OGRANICZENIE SKUTKÓW HARMONICZNYCH**

Poprawę jakości energii elektrycznej ze strony odbiorców zasilanych z sieci niskiego napięcia można uzyskać przez:

- wzmocnienie i rekonstrukcję własnej sieci,
- filtrację składowej zerowej spowodowanej przez trzecią harmoniczną przy zastosowaniu odpowiedniego transformatora zasilającego,
- filtry pasywne,
- filtry aktywne.

Praktyczne aspekty poprawy parametrów jakości energii elektrycznej w obwodach oświetlenia zewnętrznego z wykorzystaniem filtrów pasywnych i aktywnych opisano w pracy [5]. W niniejszym artykule zaprezentowano możliwość poprawy parametrów jakości energii elektrycznej związanej z występowaniem wyższych harmonicznymi przez wykorzystanie innych sposobów zasilania odbiorników nieliniowych niż tylko ze wspólnej sieci rozdzielczej

Okazuje się, że już w wielu przypadkach odbiorniki, które są wrażliwe na obecność harmonicznymi zasilają się z wydzielonych obwodów. Zaleca się również, aby odbiory o dużych mocach i znacznych prądach rozruchowych zasilane były z własnych (osobnych) obwodów, aby podczas rozruchu nie oddziaływały na inne odbiorniki.

### **4 WYNIKI POMIARÓW HARMONICZNYCH W NOWOCZESNYCH UKŁADACH OŚWIETLENIOWYCH**

W niniejszym referacie przedstawiono wybrane wyniki przeprowadzonych pomiarów współczynników charakteryzujących oddziaływanie wyższych harmonicznymi przy zasilaniu nieliniowych odbiorników jakimi są nowoczesne układy oświetleniowe, przeprowadzone dla trzech różnych systemów zasilania:

- publicznej sieci niskiego napięcia,
- wydzielonego w stacji transformatorowej 15/0,4 kV obwodu niskiego napięcia,
- przetwornicy tyrystorowej DC/AC firmy Bening [6].

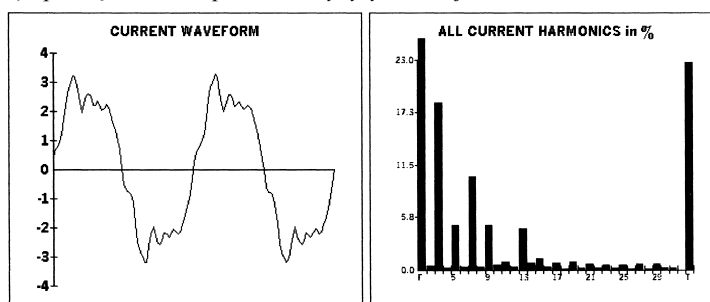
Nowoczesne układy oświetleniowe z lampami wyładowczymi są powszechnie stosowane w praktyce [5]. Na rysunku 1 przedstawiono przebiegi czasowe i widma amplitudowo-częstotliwościowe prądu oraz zmierzone parametry obwodu dla przykładowej oprawy OUSd 400 z wysokoprężną lampą sodową WLS P<sub>n</sub>: 400 W, U<sub>n</sub>: 220...240 V pracująca z układem stabilizacyjno-zapłonowym zasilaną z trzech różnych układów zasilających.

W tabelach na rysunku 1 zamieszczono następujące współczynniki charakteryzujące, które uzyskano w trakcie prowadzonych pomiarów:

- współczynnik odkształcenia harmonicznymi prądu – THDi – (Total Harmonic Distorsion) oblicza się jako pierwiastek kwadratowy z sumy kwadratów pierwszych 31 harmonicznymi podzielony przez kwadrat podstawowej harmonicznymi [7],

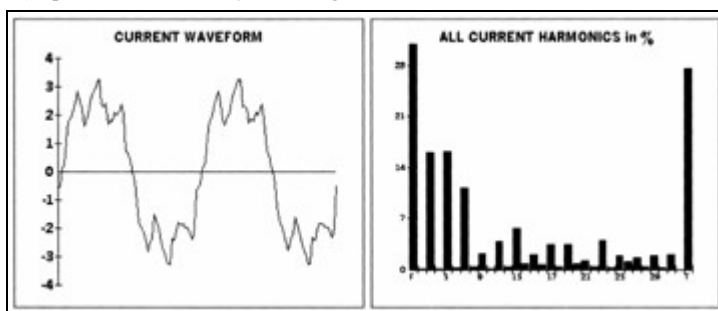
- rzeczywisty współczynnik mocy –  $TP_F$  (True Power factor) – zdefiniowany jako stosunek mocy czynnej do pozornej,
- współczynnik szczytu prądu –  $K_S$  – jest to iloraz wartości szczytowej i skutecznej,
- współczynnik oddziaływania odkształconego prądu na transformator –  $K_F$  – uwzględnia wagowy udział harmonicznych i jest syntetycznym wskaźnikiem szkodliwego oddziaływania prądu odkształconego na transformator. Wskazuje ile razy wzrosną straty dodatkowe w transformatorze przy danym obciążeniu nieliniowym. W przypadku braku harmonicznych  $K_F=1$ .

a) oprawę zasilano z przetwornicy tyrystorowej



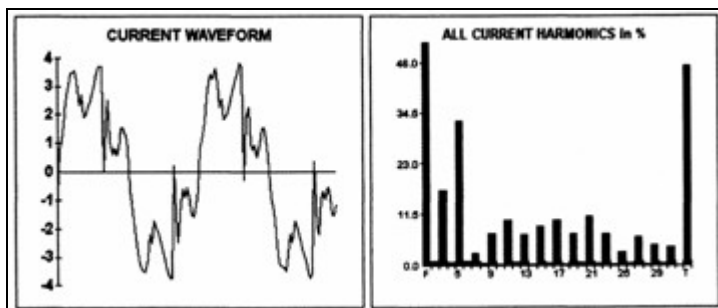
Zmierzone parametry obwodu							
$U_z$	$I_z$	$P_{ukł}$	$THD_U$	$THD_I$	$TP_F$	$K_F$	$K_S$
[V]	[A]	[W]	[%]	[%]			
229,5	2,07	464,9	1,10	22,7	0,97	2,52	1,56

b) oprawę zasilano z wydzielonego obwodu



Zmierzone parametry obwodu							
$U_z$	$I_z$	$P_{ukł}$	$THD_U$	$THD_I$	$TP_F$	$K_F$	$K_S$
[V]	[A]	[W]	[%]	[%]			
219,8	2,10	424,0	2,70	27,5	0,92	5,85	1,57

c) oprawę zasilano z publicznej sieci rozdzielczej



Zmierzone parametry obwodu							
$U_z$	$I_z$	$P_{ukl}$	$THD_U$	$THD_I$	$TP_F$	$K_F$	$K_S$
[V]	[A]	[W]	[%]	[%]			
223,6	2,32	473,1	4,60	45,3	0,91	23,0	1,64
						7	

Rys. 1. Przebiegi czasowe i widma amplitudowo-częstotliwościowe prądu oraz zmierzone parametry obwodu oprawy OUS 400 z wysokoprężną lampą sodową WLS 400 W zasilanej z:  
a) przetwornicy tyrystorowej, b) wydzielonego obwodu, c) publicznej sieci rozdzielczej

W celu wyeksponowania różnej wartości parametrów jakości energii elektrycznej (przy różnych systemach zasilania) wykonano pomiary na siedmiu lampach sodowych różnej mocy wyprodukowanych przez dwóch producentów, które pracowały w oprawach z trzech firm. Wyniki pomiarów przedstawiono jako średnie wartości z kilkunastu pomiarów wykonanych w różnym czasie, przy różnych współczynnikach odkształcenia napięcia zasilającego  $THD_U$ . Pomiary i ich rejestrację wykonano przenośnym analizatorem harmonicznym i mocy typu HARMONALYZER HA 2000 firmy Amprobe Instrument [7].

Wartości współczynników odkształcenia prądu  $THD_I$  wysokoprężnych lamp sodowych o dużej intensywności promieniowania HID (High Intensity Discharge) pracujących w oprawach o mocy: 50, 70, 100, 150, 250 i 400 W zasilanych z przetwornicy tyrystorowej zawierały się w przedziale (17,3÷25,3). Współczynnik ten dla wydzielonego obwodu zasilającego oprawę wzrósł o ok. 50 %, za wyjątkiem lampy 100 W (inny producent) - wzrost o 97 % i 400 W (wzrost o 21 %). Dalszy wzrost nastąpił w obwodzie zasilanym z publicznej sieci rozdzielczej (od 2 do 3 razy), co przedstawia rys. 1. Współczynnik mocy opraw  $TP_F$  najkorzystniejszy był w obwodach zasilanych z przetwornicy tyrystorowej, a najmniej korzystny w obwodach zasilanych z publicznej sieci rozdzielczej. Jeszcze większe dysproporcje zaobserwowano dla współczynników oddziaływania odkształconego prądu na transformator  $K_F$ . W obwodzie zasilanym z publicznej sieci rozdzielczej był on 6÷9 krotnie większy niż w obwodzie zasilanym z przetwornicy tyrystorowej. Współczynnik szczytu prądu  $K_S$  oprawy 150 W był najbardziej zbliżony do optymalnego i wynosił 1,40 w obwodzie zasilanym z przetwornicy tyrystorowej i nie przekraczał dopuszczalnej wartości 1,8 podanej w Normie PN-EN

60662:2002 [8]. Trzecia harmoniczna prądu (małej wartości) wyraźnie dominuje w obwodach zasilanych z przetwornicy tyrystorowej. W wydzielonych obwodach istotne znaczenie mają 3 i 5 harmoniczna. Natomiast w obwodach zasilanych z publicznej sieci rozdzielczej najbardziej znaczącą rolę spełniają 5 harmoniczne. Współczynnik odkształcenia napięcia  $THD_U$  o większej wartości powoduje pogorszenie współczynników: odkształcenia prądu  $THD_I$ , oddziaływania odkształconego prądu na transformator  $K_F$  i kształtu  $K_S$  oraz mocy  $TP_F$ . Norma [4] określa dopuszczalne poziomy harmonicznych prądu dla sprzętu oświetleniowego klasy C o wejściowej mocy czynnej większej od 25 W, które nie powinny przekraczać dopuszczalnych wartości względnych podanych w tabeli 2. W czasie wykonywania pomiarów w obwodzie elektrycznym zasilanym z przetwornicy tyrystorowej, zawartość harmonicznych w napięciu zasilającym oprawy nie przekroczyła wartości określonych w ww. normie. We wszystkich typach opraw sodowych zmierzona wartość prądu 7 harmonicznej przekroczyła wartość dopuszczalną (od 4 do 62) %. Najczęstsze przekroczenie wartości dopuszczalnej prądu zaobserwowano dla 13 i 15 harmonicznej. W obwodach zasilających: wydzielonego i z publicznej sieci rozdzielczej nie wykonano analizy, ponieważ zawartość harmonicznych w napięciu zasilającym przekroczyła wartości dopuszczalne.

## 5 PODSUMOWANIE

Jakość energii elektrycznej jest złożoną dziedziną obejmującą kilkanaście obszarów problemowych, dla których istnieje jeszcze większa liczba rozwiązań. Jednym z mało rozpowszechnionych metod poprawy jakości energii elektrycznej w sieciach rozdzielczych jest instalowanie w jej węzłach bateryjnych zasobników energii typu BES (Battery Energy Storage) [9].

W referacie przedstawiono, możliwość redukcji występowania wyższych harmonicznych w obwodach zasilających odbiorniki nieliniowe przez zastosowanie wydzielonych obwodów zasilających te odbiorniki.

Jest mało prawdopodobne, że pojedyncze rozwiązanie będzie skuteczne. Przeważnie potrzebne jest staranne projektowanie rozwiązań łącznych, indywidualnie dopasowanych do istniejących problemów związanych z jakością energii elektrycznej, oparte na dokładnym zrozumieniu przyczyn problemów związanych z jakością energii, np. określenie przez producentów odbiorników (urządzeń) nieliniowych (np. energooszczędnych układów oświetleniowych) generowanych widm prądowych przez te odbiorniki oraz ich zmianę w czasie (przy określonym poziomie współczynnika odkształcenia napięcia  $THD_U$ ).

## 6 LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci (Dz. U. Nr 2, poz. 6).

2. Norma PN-EN 50160:2002 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych.
3. Dan A, Santarius P i inni, Jakość energii elektrycznej w sieciach niskiego napięcia, Materiały wydane przez Polskie Centrum Promocji Miedzi S.A. w ramach programu Leonardo realizowanego we współpracy z European Copper Institute i Komisja Unii Europejskiej, Wrocław 2002.
4. Norma PN-EN 61000-3-2:2004 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).Część 3-2: Dopuszczalne poziomy. Dopuszczalne poziomy emisji harmoniczných prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika  $\leq 16 A$ ).
5. Cadler E., Praktyczne aspekty poprawy parametrów jakości energii elektrycznej w obwodach oświetlenia zewnętrznego, Materiały Konferencyjne III Lubuskiej Konferencji Naukowo-Technicznej, MITEL-2004, Gorzów Wlkp. kwiecień 2004.
6. Przetwornica DC/AC FBE 220/230/2,5 EUE firmy BENNING Power Electronics.
7. Instrukcja obsługi analizatora harmoniczných i mocy. Harmonalyzer HA 2000 firmy Amprobe Instrument. 1997.
8. Norma PN-EN 60662:2002 Lampy sodowe wysokoprężne.
9. Herlender K., Stawski P, Harasimowicz L., Współpraca bateryjnych zasobników energii z siecią elektroenergetyczną, Elektro-Info 7/2003.