



# jakość energii elektrycznej w mikrosieciach

na wybranym przykładzie współpracy zespołów prądowórczych z beztransformatorowymi zasilaczami UPS – studium przypadku

Jacek Katarzyński – Akademia Morska w Gdyni

Stosowanie zespołów prądowórczych jako rezerwowego źródła zasilania oraz współpracujących z nimi zasilaczy UPS stało się zjawiskiem powszechnym i dotyczy coraz większej ilości obiektów, w których ciągłość zasilania jest priorytetem. Zespół prądowórczy jako obiekt o ograniczonej mocy (w stosunku do sieci sztywnej) podlega zjawiskom silnego oddziaływania odbiorników, szczególnie tych, które odkształcają prąd pobierany z generatora. W konsekwencji obniża się jakość energii elek-

trycznej w tego rodzaju mikrosieciach, co ma bezpośredni wpływ na jakość pracy zasilanych odbiorników. W niniejszym artykule omówiono problem oddziaływania zespołów prądowórczych na zasilacze UPS w szczególnym przypadku, jakim jest szeregowe włączenie dodatkowej rezystancji w przewodzie neutralnym, pochodzącej od dodatkowego stycznika załączanego dla stanu „praca wyspowa” zespołu prądowórczego. Przedstawiono wyniki pomiarów eksperymentalnych, wykonanych w różnych punktach obiektu i w różnych stanach jego pracy oraz wyjaśniono przyczyny awarii, do której doszło na skutek błędów projektowych i montażowych.

## jakość energii elektrycznej w świetle dokumentów normalizacyjnych

Jakość energii elektrycznej w systemach zasilania gwarantowanego za-

leży od wielu czynników i jest kluczowa dla poprawnej pracy obiektu, w którym występują zasilacze UPS i zespoły prądowórcze. Parametry jakości energii elektrycznej ujęte są w normie obecnie obowiązującej PN-EN 50160:2010E „Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych” [1], natomiast metody pomiaru tych parametrów określone są w normie PN-EN 61000-4-30:2008 „Testing and measurement techniques – power quality measurement methods” [2]. Parametry określone w normie PN-EN 50160:2010E dotyczą wymagań jakie powinno spełniać zasilanie w publicznych sieciach energetycznych oraz w obiektach zasilanych ze źródeł awaryjnych w układzie wyspowym. Poniżej wyszczególniono kilka parametrów, które są najistotniejsze z punktu widzenia jakości energii elektrycznej dla obiektu o wysokich wymaganiach co do ciągłości i jakości zasilania.

Punkt 4.2.1. normy PN-EN 50160:2010E określa dopuszczalne odchylenie częstotliwości dla systemów zasilanych z sieci energetycznej oraz w układzie zasilania wyspowego (np. z zespołu prądowórczego niesynchronizowanego z siecią) przy założeniu że wartość znamionowa częstotliwości wynosi 50 Hz. Wartość średnia częstotliwości mierzonej przez 10 sekund dla obiektów zasilanych z sieci energetycznej powinna być zawarta w przedziale:

- 50 Hz  $\pm 1\%$  (tzn. od 49,5 Hz do 50,5 Hz) przez 99,5% roku,
- 50 Hz  $+4\%/-6\%$  (tzn. od 47 Hz do 52 Hz) przez 100% roku.

Wartość średnia częstotliwości mierzonej przez 10 sekund dla obiektów w układzie zasilania wyspowego powinna być zawarta w przedziale:

- 50 Hz  $\pm 2\%$  (tzn. od 49 Hz do 51 Hz) przez 99,5% tygodnia,
- 50 Hz  $\pm 15\%$  (tzn. od 42,5 Hz do 47,5 Hz) przez 100% tygodnia [1].

Punkt 4.2 normy PN-EN 50160:2010E określa zmiany napięcia zasilającego z podziałem na dopuszczalne zmiany napięcia i metody sprawdzania jego odchylenia w punkcie 4.2.2 oraz nagłe zmiany napięcia i jego odchylenia w punkcie 4.2.3:

- w p. 4.2.2.1 określone są wymagania dla napięcia zasilającego, którego zmiany w normalnych warunkach zasilania nie powinny przekraczać  $U_n \pm 10\%$  (dla obiektów oddległych lub nie połączonych z systemem energetycznym dopuszcza się zmiany napięcia  $+10\%$  i  $-15\%$  od wartości znamionowej  $U_n$ , o czym dany użytkownik powinien być poinformowany),

### streszczenie

W publikacji przedstawiono analizę wpływu powiększonej impedancji przewodu neutralnego na zjawisko pojawiania się w przewodach roboczych składowej stałej prądu, generowanej przez beztransformatorowe zasilacze UPS. Wykazano, że wzrost impedancji przewodu neutralnego powoduje nasilenie się negatywnych zjawisk wnikanania składowej stałej prądu do instalacji odbiorczej obiektu, zasilanej z zespołów prądowórczych. Przedstawiono skutki tych zjawisk i wykazano błędy projektowe i montażowe.

Harmoniczne nieparzyste				Harmoniczne parzyste	
niebędące krotnością 3		będące krotnością 3		rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej ( $U_h$ )
rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej ( $U_h$ )	rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej ( $U_h$ )		
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	> 4	0,5%
13	3%	> 15	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Tab. 1. Dopuszczalna zawartość poszczególnych harmoniczných napięcia zasilającego wg normy PN-EN 50160:2010E [1]

■ w p. 4.2.2.2 określono metodę sprawdzania odchylenia wartości napięcia zasilającego. W każdym tygodniu 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale odchylenia  $U_n \pm 10\%$ , ale we wszystkich okresach pomiarowych odchylenia napięcia powinny mieścić się w granicach  $+10\%$  i  $-15\% U_n$ . [1]

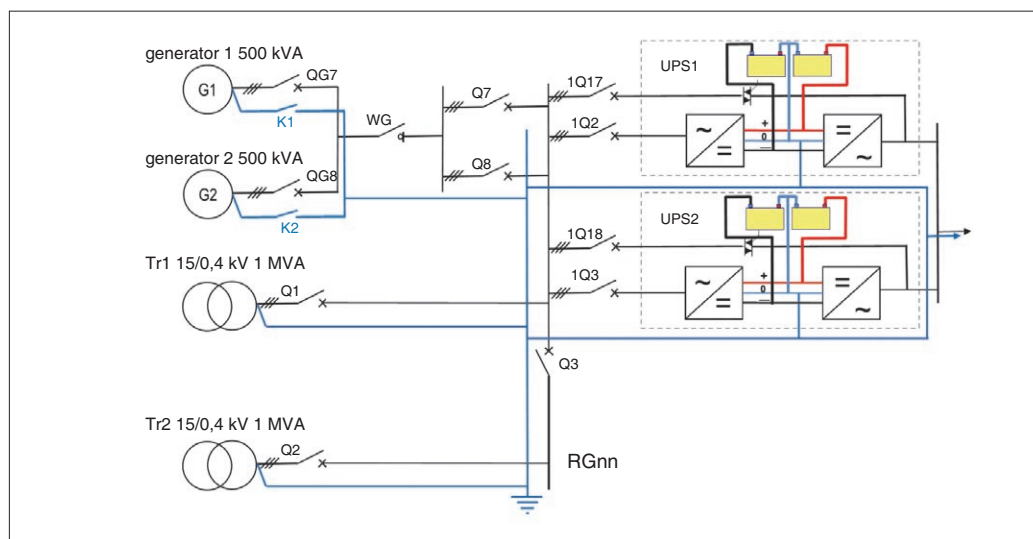
Punkt 4.2.3 normy PN-EN 50160:2010E określa nagłe zmiany napięcia, scharakteryzowane:

- wskaźnikiem migotania światła (p. 4.2.3.2) – przez 95% czasu każdego tygodnia, wskaźnik długookresowego migotania światła  $Plt$  spowodowanego wahaniami napięcia zasilającego nie powinien być większy od 0,8),
- asymetrię napięcia (p. 4.2.4) – w ciągu każdego tygodnia 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych wartości składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia zasilającego powinny mieścić się w przedziale od 0% do 2% wartości składowej kolejności zgodnej),
- zawartością wyższych harmonicznych napięcia – dopuszczalne wartości poszczególnych harmonicznych określa tabela nr 1 w p. 4.2.5. Ponadto występuje zapis, określający dopuszczalną sumaryczną zawartość harmonicznych THDu, do 40-tej włącznie, w napięciu zasilającym nie przekraczającą wartości 8%). [1]

Przedstawione powyżej fragmenty normy PN-EN 50160:2010E mają służyć porównaniu wyników pomiarów do określonych tą normą parametrów jakości energii elektrycznej w celu określenia czy pomierzone wartości napięcia i częstotliwości spełniają wymagania tej normy.

## Charakterystyka badanego obiektu

System zasilania gwarantowanego badanego obiektu oparty jest na dwóch zasilaczach UPS o mocy 200 kVA o kon-

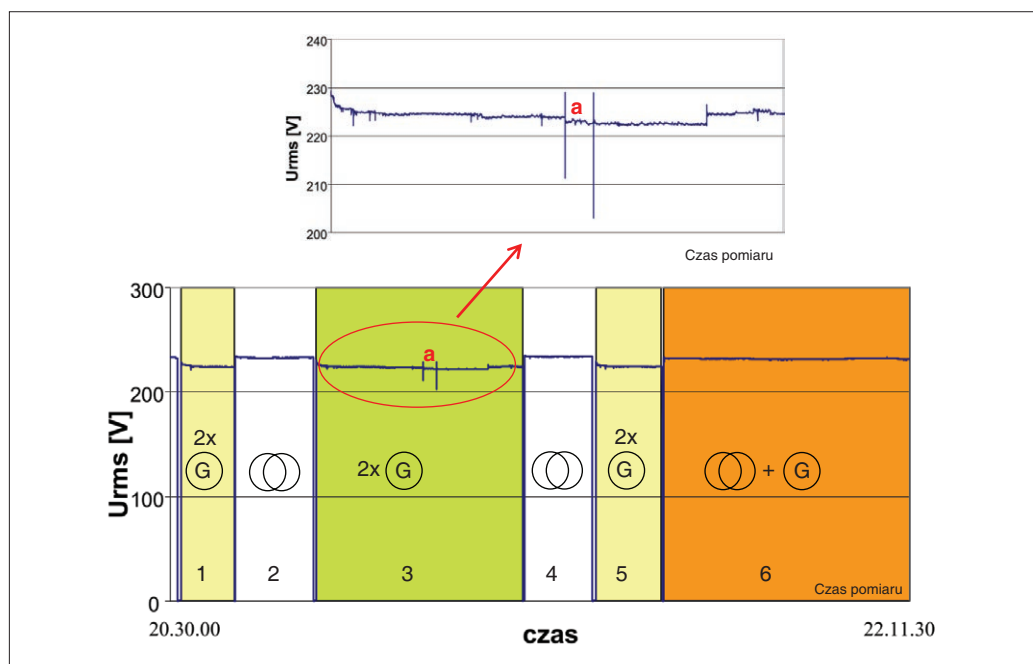


Rys. 1. Schemat strukturalny zasilania gwarantowanego obiektu z uwidocznieniem przewodu neutralnego [3]

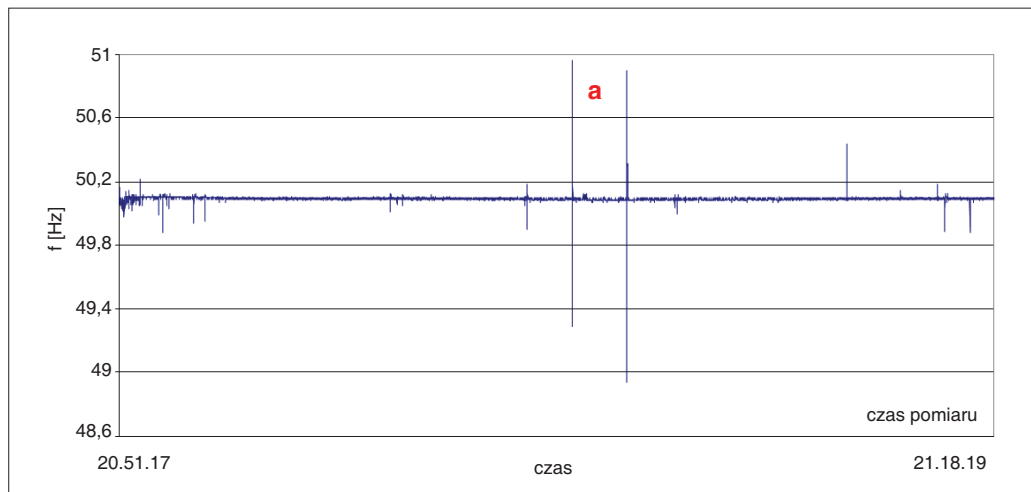
strukcji modułowej oraz systemie pracy równoległej dwóch zespołów prądowców o mocy 500 kVA każdy, pracujących na sumowanie mocy w układzie 2+0 (bez redundancji). Schemat strukturalny zasilania gwarantowanego obiektu przedstawia rysunek 1. Zasilacze UPS pracujące równolegle zasilają systemy komputerowe, których pobór mocy w normalnym stanie pracy obiektu kształtował się na poziomie od 100 do 160 kW. Czas podtrzymania zasilaczy UPS wynosił około 10 minut i był wystarczający na uruchomienie

zespołów prądowców w przypadku zaniku napięcia sieci. Oba zespoły startowały jednocześnie i po synchronizacji były przyłączane przez wyłączniki Q7 i Q8 na szyny główne rozdzielni. Obciążenie całego obiektu dochodziło w szczycie do 500 kW (w szczególnych przypadkach 700 kW). Zespoły prądowców posiadały funkcję pracy synchronicznej z siecią dzięki czemu Użytkownik, w przypadku wysokiego poboru energii elektrycznej, posiadał możliwość załączania generatorów do pracy synchronicznej z siecią

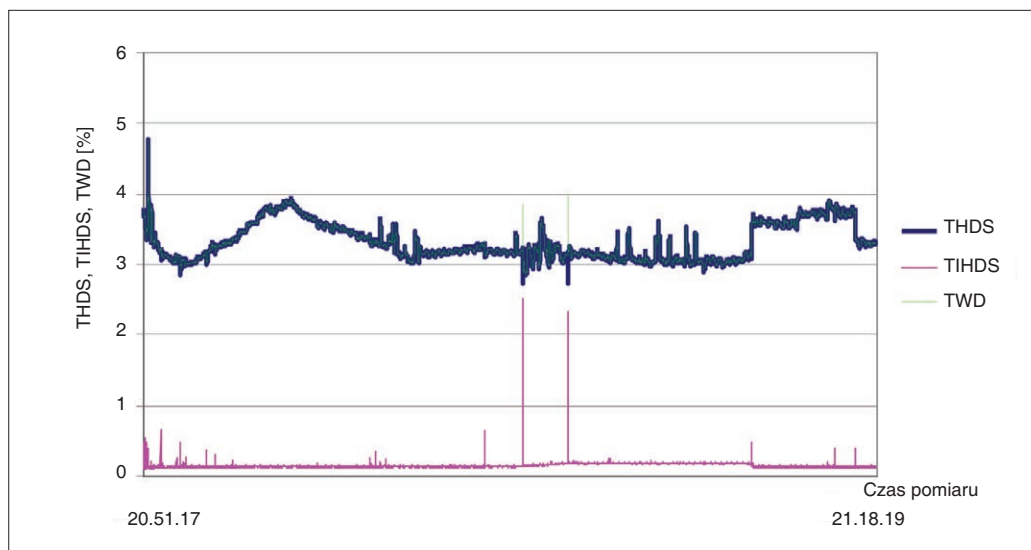
sztywną i „zdejmowania” części obciążenia z transformatora ze względu na podpisaną z zakładem energetycznym umowę na dostawę energii. Na obiekcie pojawiały się problemy z zasilaniem w stanach zaniku napięcia sieci i pracy wyspowej zespołów prądowców. Pojawiał się efekt migotania światła, uszkadzały się niektóre odbiorniki, zasilacze, itp. Badany obiekt był wielokrotnie sprawdzany przez różne firmy i mimo pozytywnych wyników testów sprawnościowych dotyczących zarówno zespołów



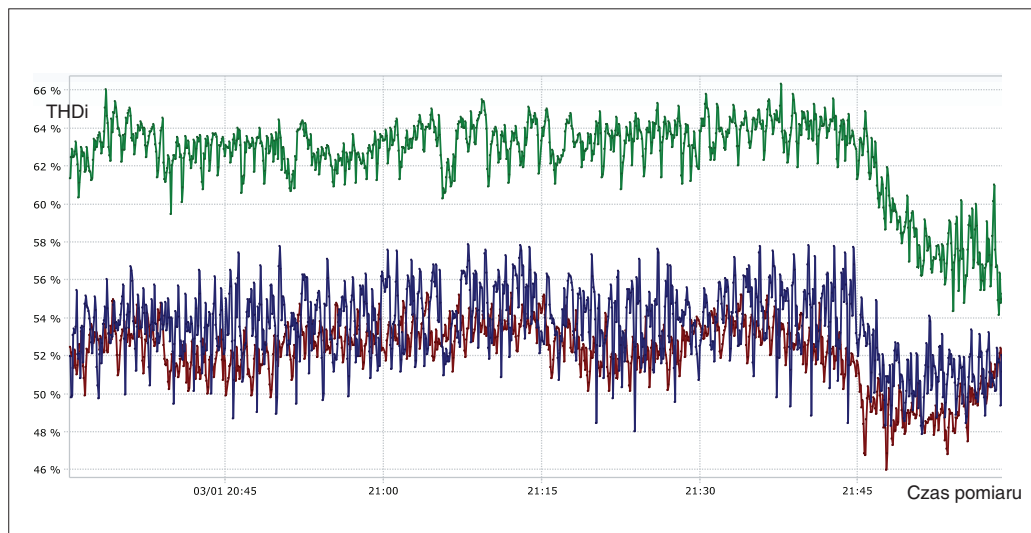
Rys. 2. Zmiany wartości skutecznej napięcia w fazie L1 w czasie testowania obiektu dla różnych stanów pracy. Okresy pomiarowe 1, 3, 5 – praca wyspowa zespołów prądowców, 2, 4 – stan pracy obiektu zasilanego z transformatorów, 6 – praca synchroniczna zespołów prądowców z siecią [4]



**Rys. 3.** Zmiany częstotliwości w czasie zasilania obiektu z zespołów prądowców. Największe zmiany częstotliwości zarejestrowano w czasie załączania odbiorów większej mocy (agregat chłodniczy) co widoczne jest na **rysunku 3.** w punkcie „a”. Zmiany te odpowiadają zmianom napięcia w punkcie „a” na **rysunku 2.** Wartość zmian częstotliwości nie przekracza dopuszczalnego przedziału 49-51 Hz, określonego w punkcie 4.2.1 normy PN-EN 50160:2010E, a zmiany w zakresie od 47,5 Hz do 52,5 Hz nie przekraczają dozwolonego czasu 0,5% [4]



**Rys. 4.** Przebieg THDS, TIHDS, TWD w mierzonym napięciu zasilania w RGnn w czasie trwania próby [4]



**Rys. 5.** Zmiana współczynnika THD prądów w fazach: L1 (czerwony), L2 (niebieski), L3 (niebieski) mierzonych na wyjściu UPS [3]

prądowców jak i zasilaczy UPS doszło w końcu do awarii typu katastroficznego, której skutkiem był zanik napięcia w newralgicznym systemie komputerowym oraz uszkodzenie wszystkich zasilaczy UPS 3×160 kVA (pierwotnie zainstalowanych). Przypadek ten jest szczególnie interesujący, ponieważ standardowe pomiary nie wskazywały na dysfunkcję któregośkolwiek z urządzeń zasilających. Ze względu na ograniczoną możliwość testowania obiektu w czasie przeprowadzonych prób eksperymentalnych zredukowano pobór mocy systemu komputerowego do 60 kW, co stanowiło około 40% normalnego obciążenia systemu UPS w czasie normalnej pracy obiektu.

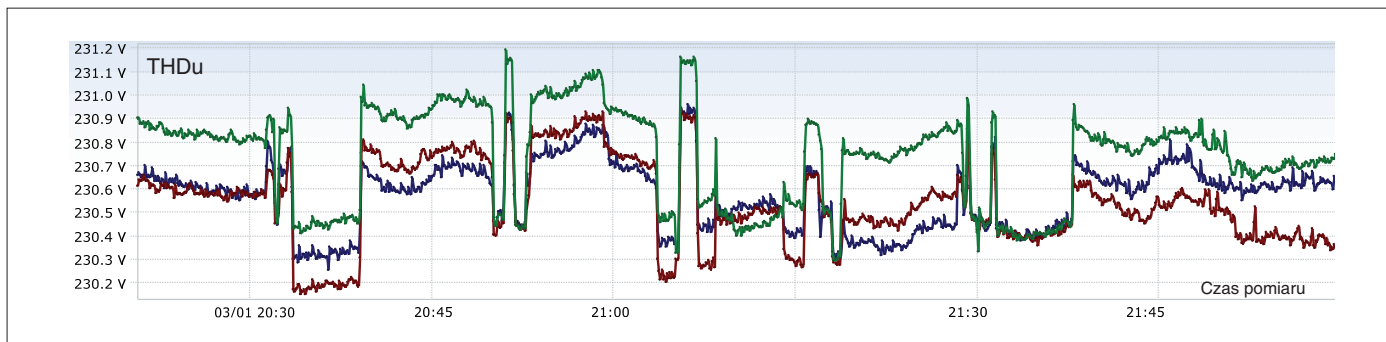
### wyniki badań eksperymentalnych – odchylenia napięcia i częstotliwości

Napięcie pomierzone w rozdzielni ma różne wartości odchylenia dla stanu zasilania obiektu z transformatorów oraz dla stanu zasilania obiektu z zespołów prądowców.

Występuje też trzeci stan pracy jakim jest praca synchroniczna zespołów prądowców z siecią. Zmiany wartości skutecznej napięcia w fazie L1 w czasie testowania obiektu dla różnych stanów pracy przedstawiono na **rysunku 2.** Wyniki dla faz L2 i L3 są zbliżone.

Zarówno dla stanu zasilania obiektu z sieci jak i z generatorów pracujących „na wyspę” parametry napięcia i częstotliwości mieszczą się w zakresie tolerancji określonej normą PN-EN 50160:2010E. Nawet zmiana wartości napięcia widoczna na **rysunku 2.** w powiększeniu (punkt „a”), ilustrująca moment skokowego obciążenia zespołów prądowców, mieści się w granicach tolerancji określonych w p. 4.2.2.1, gdzie norma przewiduje zmianę wartości napięcia nawet do –15% w przypadku systemów zasilania nie połączonych z systemem energetycznym, a takim jest praca wyspowa zespołów prądowców.





Rys. 6. Zmiana współczynnika THD dla napięć na wyjściu UPS w trzech fazach: L1 (czerwony), L2 (zielony), L3 (niebieski) [3]

Zmiana wartości napięcia do 203 V w stosunku do wartości znamionowej napięcia 230V stanowi ok. 12%  $U_n$ . Jest to jednak trend wynikający z pomiaru uśrednionego za 10 okresów. W tym czasie najmniejsza pomierzona wartość napięcia za 1/2 okresu wynosi  $U_{rms(1/2)} = 193,6V$  [2], co stanowi zmianę 15,8%, a więc minimalnie przekracza dopuszczalne odchylenie napięcia wg normy PN-EN 50160:2010E, punkt 4.2.2.1. Częstotliwość ze względów oczywistych jest stabilna dla stanu zasilania obiektu z sieci. Pomiar częstotliwości w trakcie zasilania obiektu

przez sieć sztywną wykazały minimalne odchylenia i zostały uznane za zmiany marginalne. Natomiast znaczące zmiany częstotliwości zaobserwowano w czasie pracy wyspowej zespołów prądowców, co prezentuje rysunek 3.

### odkształcenia krzywych przebiegu napięcia

Harmoniczne napięcia w czasie trwania próby pomierzono na sznach rozdzielni RGnn, a przebiegi zaprezentowano na rysunku 4. Do

oceny poziomu odkształceń napięcia przyjęto współczynniki THDS, TIHDS, TWD, gdzie: THDS – współczynnik odkształcenia harmonicznymi obliczany na podstawie podgrup harmonicznymi do 50. rzędu włącznie, TIHDS – współczynnik odkształcenia interharmonicznymi obliczany na podstawie podgrup interharmonicznymi do 49. rzędu włącznie, TWD – współczynnik całkowitego odkształcenia obliczany w paśmie do 10kHz (stosunek wartości skutecznej pozostałości, po wyeliminowaniu składowej podstawowej, do wartości sku-

tecznej składowej podstawowej wyrażony w procentach). [4]

Na rysunku 5, przedstawiono przebieg zmian współczynnika THD prądu w fazie L1, L2, L3.

Zmniejszenie współczynnika THD prądów po godz. 21:45 było związane z przywróceniem normalnego stanu obciążenia systemu UPS, tj. ok. 160kW. Wśród harmonicznymi nieparzystych główną składową stanowiła trzecia harmoniczna, której procentowy udział kształtował się na poziomie 30%, co świadczy o występowaniu dużej ilości nieliniowych odbior-

reklama



# UPS

## agregaty

# 1-1500 kVA

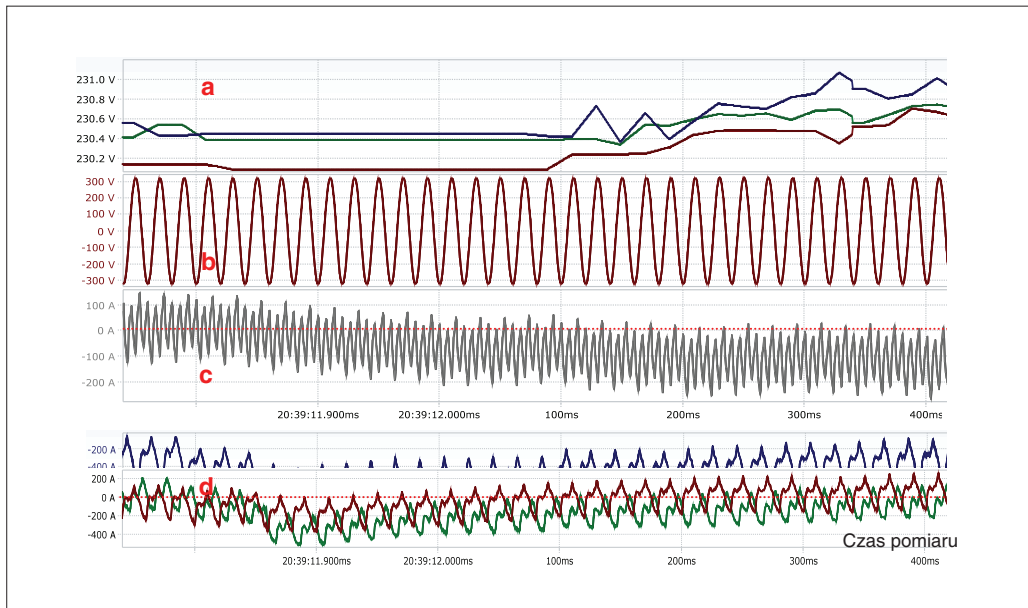
true on-line

wysoka sprawność  
doskonałe parametry  
szybka dostępność  
kompleksowa obsługa

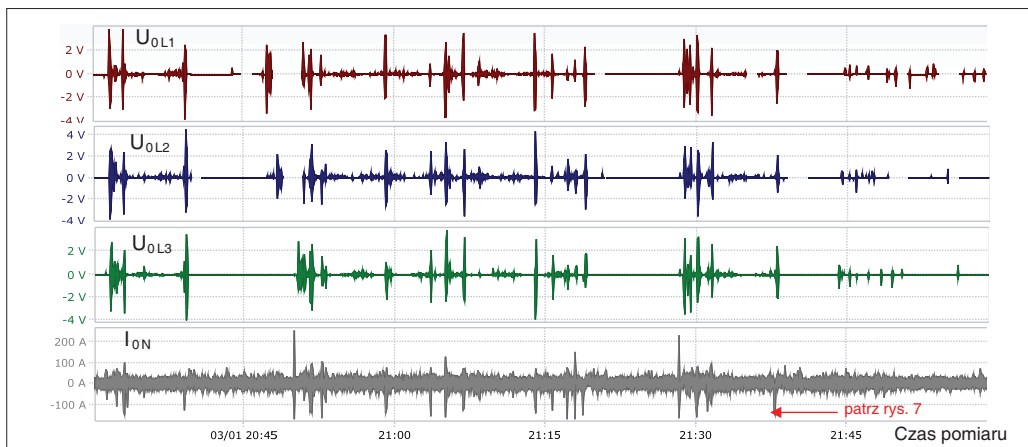


Centrum Elektroniki Stosowanej CES Sp. z o.o.  
30-732 Kraków, ul. Biskupińska 14  
tel.: 12 269 00 11, fax: 12 267 37 28; e-mail: ces@ces.com.pl

[www.ces.com.pl](http://www.ces.com.pl) [www.upsces.pl](http://www.upsces.pl)



**Rys. 7.** a) Zmiany wartości skutecznej napięć fazowych na wyjściu UPS: L1(czerwony), L2(zielony), L3 (niebieski), b) Zmiany wartości chwilowych napięcia w w wybranej fazie L1 na wyjściu UPS, c) Zmiany wartości chwilowych prądu w przewodzie neutralnym na wyjściu UPS, d) Zmiany wartości chwilowych prądów w trzech fazach na wyjściu UPS: L1(czerwony), L2(zielony), L3(niebieski). [3]



**Rys. 8.** Przebieg składowej stałej DC prądu w przewodzie neutralnym oraz w napięciu zasilającym z UPS za badany okres pomiarowy. Na przebiegu zaznaczono moment, który został przedstawiony na rysunku 7. w powiększeniu [3]

ników jednofazowych. W tym czasie napięcie na wyjściu UPS mimo dużego odkształcenia prądu jest stabilne co przedstawia **rysunek 6**.

Współczynnik odkształcenia napięcia na wyjściu UPS na skutek odkształconego prądu mieścił się w zakresie nieprzekraczającym wartości określonych w punkcie 4.2.3 normy PN-EN 50160:2010E i wynosił THD < 1,3%.

Z zaprezentowanych powyżej przebiegów i wyników wykonanych pomiarów nie wynika aby parametry jakości energii elektrycznej przekraczały dopuszczalne przedziały określone normą PN-EN

50160:2010E. Można sformułować wnioski, że parametry jakości energii elektrycznej są dobre, tzn. w granicach tolerancji, a stan pewności zasilania obiektu można określić na bardzo wysoki. Wszystkie urządzenia pracowały właściwie, a symulowane zaniki napięcia w obiekcie kończyły się podtrzymaniem zasilania przez zasilacze UPS i zadziałaniem automatyki zespołów prądowców. Niestety w prezentowanym obiekcie dochodziło do stanów, w których występowały zaniki napięcia i awarie wynikające z oddziaływania zespołów prądowców na zasilacze UPS.

### analiza napięć i prądów na wyjściu systemu dwóch UPS w pracy równoległej

Pomiary wykonane w dniu testowania obiektu po dogłębnej analizie wykazały niepokojące zjawiska, które były przyczyną uszkodzenia poprzednio pracujących zasilaczy UPS 3x160kVA. Dopiero rejestracja przebiegów napięcia i prądu w czasie rzeczywistym wykazała występowanie zjawiska niebezpiecznego dla obiektu. Na **rysunku 7**, przedstawiono oscylogramy zsynchronizowane w czasie dla napięcia i prądu na wyjściu UPS.

W przewodzie neutralnym występuje prąd o wartości skutecznej około 75A niezmienny w czasie wykonywania prób. Jednak w przebiegach chwilowych pojawia się wielokrotnie składowa stała zazwyczaj o biegunowości ujemnej zanikająca w okresie około 2 sekund. Powoduje to pojawienie się wartości chwilowych prądu do -300A. Dodatkowo prąd w przewodzie zerowym ma częstotliwość 3f w związku z sumowaniem algebraicznym głównie 3 harmonicznej i jej wielokrotności. W prądach fazowych od L1 do L3 na wyjściu UPS również pojawia się składowa stała w tym samym czasie co w przewodzie neutralnym.

Stała czasowa zanikania składowej stałej w przewodach fazowych jest znacznie krótsza niż w przewodzie neutralnym i wynosi ok. 0,5 sekundy. Przedstawiony na **rysunku 7**, charakterystyczny przypadek występowania składowej stałej w przewodzie neutralnym został zarejestrowany wielokrotnie w czasie trwania prób i był związany ze zmianą obciążenia w badanym obiekcie dla warunku zasilania obiektu przez zespoły prądowców (praca wyspowa). Występowanie składowej stałej prądu w przewodzie neutralnym oraz w napięciu zasilającym na wyjściu UPS w okresie pomiarowym przedstawiono na **rysunku 8**.

W trakcie oględzin instalacji elektrycznej stwierdzono obecność styczników w przewodzie neutralnym generatorów, które załączały się podczas zasilania obiektu przez zespoły prądowców w trybie pracy wyspowej, po zaniku napięcia sieci. Na **rysunku 1**, zaznaczono je jako aparaty K1 i K2. Ideą zastosowania styczników w miejscu wskazanym na **rysunku 1**, równoległe z wyłącznikami 3 polowymi zespołów prądowców, było ograniczenie wpływu składowej stałej oraz prądów wyrównawczych na pracę synchroniczną zespołów z siecią. Niestety prąd znamionowy zastosowanego stycznika miał wartość 160A w stosunku do 721A prądu znamionowego generatora. Stycznik został podłączony 3 przewodami o przekroju 50mm<sup>2</sup> (podczas gdy przewód neutralny z generatora został wyprowadzony



przekrojem  $2 \times 240 \text{ mm}^2$ ), co powodowało dodatkowe spadki napięć i oznaczało de facto włączenie w szereg dodatkowej rezystancji przewodu neutralnego w obwodzie zasilania obiektu w trybie zasilania z zespołów prądowców. Na **rysunku 9**, przedstawiono zarejestrowany spadek napięcia na styczniku i przewodach doprowadzających  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  należących do zespołu nr 2, w stosunku do przewodu PE. Bardzo zbliżony przebieg i wartości spadków napięcia uzyskano dla zespołu prądowców nr 1.

W ciągu 10 minut spadek napięcia, mierzony na styczniku wraz z przewodami o zmniejszonym przekroju, zwiększył się z 2,82V do 3,04V przy ustalonej wartości prądu w przewodzie neutralnym. Tendencja wzrostowa była związana z nagrzewaniem się styków stycznika, mimo iż warunki chłodzenia w czasie prób były bardzo dobre, ponieważ pokrywy rozdzielnic zespołów, w której znajdowały się styczniki obu zespołów były odsłonięte, podczas gdy w normalnym stanie pracy są zasłonięte. Prądy w przewodzie neutral-

nym w czasie prób (na poziomie 60A) były stosunkowo niewielkie, ale i tak zaobserwowano spadki napięcia w stacjach nieustalonych o wartości skutecznej około 10V, co widoczne jest w postaci dwóch pików na **rysunku 9**. Każda zmiana obciążenia powodowała stany nieustalone, podczas których pojawia się składowa stała prądu zarówno w przewodzie neutralnym jak i przewodach fazowych. Na skutek zmiany potencjału przewodu neutralnego w miejscu podłączenia zasilaczy UPS względem potencjału PE pojawia się składowa stała prądu w przewodzie neutralnym i w przewodach fazowych. Prąd stały w przewodzie neutralnym obiektu pochodzi z baterii UPS, której środek połączony jest z przewodem neutralnym obiektu, co widoczne jest na schemacie strukturalnym (**rys. 1**). Baterię stanowią bezobsługowe akumulatory AGM o pojemności 65Ah połączone w dwóch łańcuchach (po 32 sztuki w każdym) z wyprowadzonym środkiem podłączonym do przewodu neutralnego obiektu. W efekcie opisanych

zjawisk doszło do uszkodzenia 3 zasilaczy UPS, o mocy 160kVA każdy. Zasilacze UPS pracowały wtedy równolegle i były zasilane przez zespoły prądowców, pracujące na wyspę. W trakcie analizy zdarzeń i w wyniku przeprowadzonych pomiarów okazało się, że istotnym elementem powodującym nasilanie się zjawiska wnikania składowej stałej prądu do przewodu neutralnego była różnica w sumarycznej rezystancji wewnętrznej baterii akumulatorów gałęzi dodatniej względem ujemnej. Jeżeli na skutek wahań napięcia w sieci zasilanej z zespołów prądowców zasilacz przełączy się w tryb pracy baterijnej, to płynący prąd w obwodzie baterii wywoła różny spadek napięcia na sumarycznej rezystancji wewnętrznej baterii w gałęzi + i – względem środka baterii, do którego podłączony jest przewód neutralny.

Na **rysunku 10**, przedstawiono schemat zastępczy baterii akumulatorów w obwodzie zasilania falownika UPS.

Reasumując można stwierdzić, że w omawianej sytuacji punkt gwiaz-

dowy generatora nie jest uziemiony bezpośrednio przy generatorze, a ok. 100 m dalej w RGnn. Niestety między punkt gwiazdowy generatora a punkt PEN w RGnn włączona jest szeregowo impedancja obwodu stycznika i krótkich przewodów o przekroju znacząco mniejszym od przekroju przewodu roboczego (zamiast  $2 \times 240 \text{ mm}^2$  stycznik podłączony jest przewodami  $3 \times 50 \text{ mm}^2$ ). W stacjach nieustalonych podczas załączenia różnej mocy odbiorów w systemie obiektu zasilanego z zespołów prądowców dochodzi do zmiany potencjału przewodu neutralnego względem PE, co skutkuje pojawianiem składowej stałej w przewodzie neutralnym oraz w przewodach fazowych. To z kolei powoduje zmianę wartości skutecznych napięć fazowych falownika UPS względem przewodu neutralnego, czego skutkiem była awaria zasilaczy UPS  $3 \times 160 \text{ kVA}$ , a konkretnie uszkodzenie tranzystorów IGBT falownika UPS jak również części odbiorów pracujących w systemie zasilania obiektu. [3].

reklama

## SYSTEMY ZASILANIA AWARYJNEGO

### ZASILACZE UPS, AGREGATY PRĄDOWCOWE



PROJEKTY



DOSTAWA



SERWIS



## UPS COVER

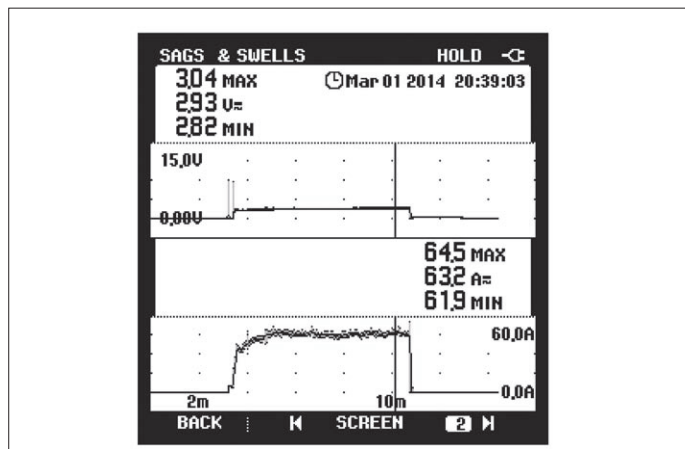
- SPRING 1 - 2 - 3 kVA
- PRM 1 - 2 - 3 - 6 - 10 kVA
- NHS 10-30 i 100 oraz 120 kVA
- HPC 40 - 60 - 80 kVA
- NHM 20 - 300 kVA

**ZAPEWNIAMY GWARANTOWANE ZASILANIE:**

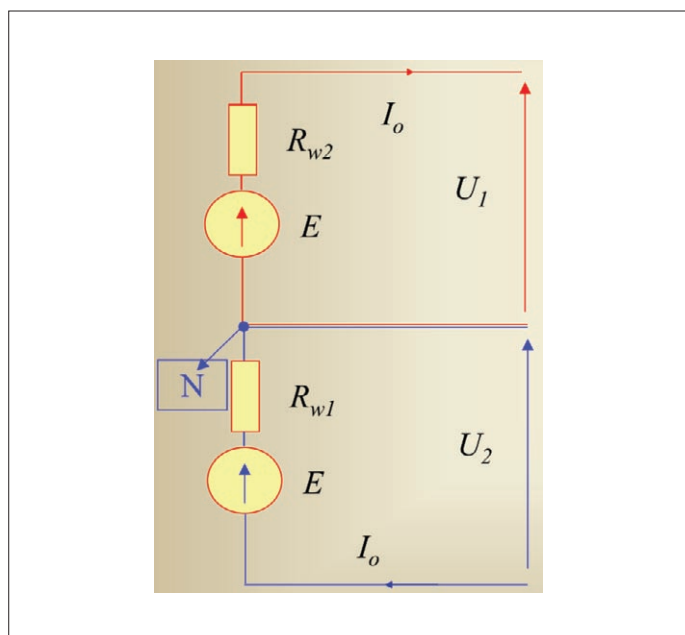
- systemom teleinformatycznym
- systemom automatycznym
- obiektom i instalacjom

## COMEX

ul. Azymutalna 9, 80-298 Gdańsk, tel.: 58 556 13 13  
e-mail: info@comex.com.pl www.comex.com.pl



**Rys. 9.** Rejestracja spadku napięcia na styczniku w przewodzie N dla zespołu prądowłórczego nr 2 w stosunku do przewodu PE w czasie próby pracy wywspowej zespołów prądowłórczych. [3]



**Rys. 10.** Schemat zastępczy obwodu DC baterii akumulatorów w zasilaczu UPS. Środek baterii podłączony jest do przewodu neutralnego obiektu. W jednej gałęzi znajdują się 32 akumulatory 12 V. Rezystancja wewnętrzna dla pojemności 65 Ah wynosi ok. 4 mΩ. Jeżeli zdarzy się kilka uszkodzonych baterii o rezystancji kilkukrotnie większej, to może zdarzyć się sytuacja, że: rezystancja zastępcza sekcji 1 wynosi:  $R_{w2} = 32 \times 0,004 = 0,128 \Omega$ , rezystancja zastępcza sekcji 1 wynosi:  $R_{w1} = 32 \times 0,008 = 0,256 \Omega$ . Dla prądu rozładowania baterii  $I_0 = 100 \text{ A}$  napięcia  $U_1$  i  $U_2$  wyniosą odpowiednio:  $U_1 = E - I_0 \times R_{w1} = 383 \text{ V} - 25,6 \text{ V} = 357,4 \text{ V}$ ,  $U_2 = E - I_0 \times R_{w2} = 383 \text{ V} - 12,8 \text{ V} = 370,2 \text{ V}$  [5]

## podsumowanie

- Zastosowanie styczników w przewodzie neutralnym jako niezależnego aparatu łączeniowego niesie ze sobą duże zagrożenie dla bezpiecznej pracy obiektu, wynikające z możliwości nierównoczesnego załączenia stycznika oraz wyłączenia generatora. Zgodnie z normą PN-HD 60364-4 pkt. 431.3: „Rozłączenie i powtórne połączenie przewo-

du neutralnego w układach wielofazowych” [6] stwierdza się, że: „Jeżeli rozłączenie przewodu neutralnego jest wymagane, to rozłączenie to i ponowne połączenie powinno być takie aby przewód neutralny nie był rozłączony przed przewodami liniowymi i aby był połączony w tym samym czasie lub wcześniej niż przewody liniowe.” Stosowanie dwóch niezależnych aparatów dołączenia przewodów fazowych oraz

przewodu neutralnego niesie ryzyko łączenia przewodu neutralnego w czasie rzeczywistym innym niż styki główne wyłącznika 3 polowego, co kłóci się z zapisem przytoczonej normy. Co więcej awaria stycznika lub układu sterującego pracą stycznika spowoduje zmianę układu zasilania z TNS na IT, co zmienia w sposób oczywisty bezpieczeństwo zasilania obiektu, projektowanego jako TNS.

- Dobór stycznika o prądzie znamionowym mniejszym niż prąd znamionowy zespołu prądowłórczego, jak również zastosowanie do podłączenia stycznika przewodów, których przekrój jest znacząco mniejszy od przewodów roboczych powoduje dodatkowe spadki napięć w przewodzie neutralnym mających szczególne znaczenie w zmiennych warunkach obciążenia obiektu. Jest to ewidentny błąd projektowy.
- Podczas badań stwierdzono pojawianie się niekorzystnych zjawisk związanych ze składową stałą prądu w przewodzie neutralnym dla warunku zasilania obiektu z zespołów prądowłórczych. Zjawisko występowania składowej stałej o wartości ponad 100 A z czasem zanikania od kilku do kilkunastu sekund zagraża bezpieczeństwu obiektu od strony ciągłości zasilania i pojawianiu się chwilowych wartości napięć, mogących zakłócać pracę odbiorów. „Wnikanie” składowej stałej do obwodów przemienno-prądowych stwarza duże zagrożenie dla poprawnej pracy odbiorów, może być powodem chwilowych zmian wartości napięcia zasilającego, a w konsekwencji przyczyną uszkodzeń odbiorów i zasilaczy UPS, co miało miejsce w analizowanym obiekcie.
- Beztransformatorowa technologia UPS wymaga ciągłości przewodu neutralnego w każdym stanie pracy. Producenci beztransformatorowych zasilaczy UPS warunkują prawidłowe działanie UPS koniecznością ciągłości przewodu neutralnego w każdym stanie pracy UPS. Wy-

bór beztransformatorowych zasilaczy UPS do zasilania serwerowni w przypadku możliwości pojawienia się dodatkowej znaczącej impedancji w przewodzie neutralnym lub jego przerwanie zagraża bezpiecznej pracy serwerowni. Konieczne jest zapewnienie ciągłości przewodu neutralnego o impedancji identycznej jak dla przewodów fazowych. [3].

## literatura

- Norma: PN-EN 50160:2010E „Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych”.
- Norma: PN-EN 61000-4-30:2008 „Testing and measurement techniques – power quality measurement methods”.
- Ekspertyza parametrów jakości energii elektrycznej (obiekt zastrzeżony), dr inż. Marek Olesz, mgr inż. Jacek Katarzyński, 2014.
- Raport z pomiarów jakości napięcia zasilającego wykonanych w dniu 3.01.2014 r. na szynach rozdzielnic RGnn (obiekt zastrzeżony), dr hab. inż. Tomasz Tarasiuk, mgr inż. Andrzej Piłat.
- Audyt pewności zasilania serwerowi i systemów informatycznych budynku (obiekt zastrzeżony), dr inż. Marek Olesz, mgr inż. Jacek Katarzyński, 2014.
- Norma: PN-HD 60364-4 „Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa, ochrona przed prądem przetężeniowym” – rok wprowadzenia 2012.

## abstract

### Microgrid power quality in particular example of generating sets and transformerless ups impact. Case study

Analysis of neutral line increased impedance impact on phenomenon of transformerless UPS DC current leakage into AC installation is presented. It has been pointed out that the bigger is the value of installation neutral impedance the stronger is negative phenomenon of UPS DC current leakage into AC installation, supplied from generating sets. The effects of the impact has been presented. Design and installation mistakes have been pointed out.