

doi:10.15199/48.2015.12.11

Skalowanie czasu pracy autonomicznej w systemach zasilania gwarantowanego

Streszczenie. W pracy zajęto się zagadnieniami skalowania czasu pracy autonomicznej (rezerwowej) systemów zasilania gwarantowanego (doboru czasu podtrzymania zasilania zabezpieczanych odbiorników). Opisano moduły bateryjne i możliwość ich wykorzystania w UPS. W celu umożliwienia nieprzerwanej długotrwałej pracy autonomicznej (przy braku prawidłowego napięcia sieciowego) rozpatrzono także współpracę zasilacza UPS z zespołem prądotwórczym. W końcowej części pracy skomentowano uzyskane rezultaty.

Abstract. The paper discusses the issues of scaling of autonomous operation (back-up) time of UPS units (determining the back-up time for the protected receivers). Battery modules and their possible applications were described. In order to ensure long, uninterrupted autonomous operation (when there is no voltage in the mains) the UPS unit's operation when coupled with power generator was also considered. The last section of the paper comments on the obtained results. (**Scaling of autonomous operation time in UPS systems**).

Słowa kluczowe: systemy zasilania gwarantowanego (UPS), czas pracy autonomicznej, moduły bateryjne, zespoły prądotwórcze.

Keywords: uninterruptible power supply (UPS), autonomous operation time, battery modules, power generators.

Wprowadzenie

W środowisku pracy, jak również mieszkalnym człowieka ciągle zwiększa się liczba obiektów, do których należy dostarczyć energię elektryczną. Wzrastają także często oczekiwania związane z jakością doprowadzanej energii. Z uwagi na funkcjonowanie w bliskim otoczeniu bardzo dużej liczby odbiorników o różnym charakterze, zawierających elementy zachowawcze (kondensatory, cewki) oraz podzespoły nieliniowe, w których występują stany przejściowe (nieustalone) bądź pobierających prąd impulsowo, w sieciach zasilających powstają zaburzenia elektromagnetyczne, które mogą spowodować np. zakłócenie prawidłowości działania zasilanego osprzętu, zwiększenie jego strat mocy, utratę przetwarzanych informacji bądź powstanie awarii. Dodatkowo pojawiają się czasami zaniki napięcia zasilającego związane z okresowymi kłopotami w pokryciu zapotrzebowania na energię elektryczną (celowe wyłączenia określonych odbiorców) bądź z wystąpieniem stanu awaryjnego (szczególnie podczas oddziaływania niekorzystnych warunków atmosferycznych) albo zmiany wartości lub częstotliwości napięcia sieciowego (m.in. wynikające z dynamicznego załączania dużych obciążeń) [1-8].

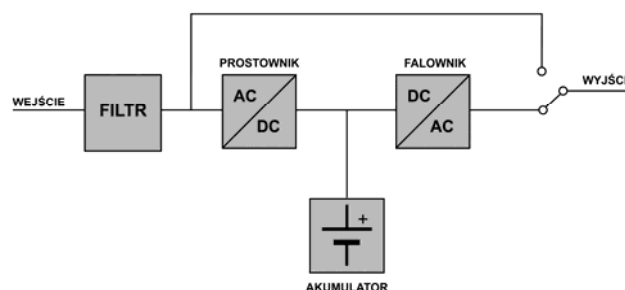
Istnieje duża grupa urzędzeń, dla których nagłe, nieprzewidziane braki bądź nieprawidłowości zasilania związane są z powstawaniem dotkliwych strat ekonomicznych (np. wynikających z wystąpienia przestoju w procesach produkcyjnych), z utratą przetwarzanych danych i informacji (straty często niepoliczalne ekonomicznie), z wpływem na zdrowie lub życie człowieka (funkcjonowanie osprzętu medycznego) albo w inny sposób mogą być szczególnie uciążliwymi dla człowieka. W celu ograniczenia możliwości zajścia tych niekorzystnych skutków zaników bądź złej jakości napięcia zasilającego stosuje się systemy zasilania gwarantowanego [9-12].

W pracy zajęto się problematyką jakości energii oraz niezawodności zasilania elektrycznego, a przede wszystkim zagadnieniami skalowania (doboru) czasu pracy autonomicznej (rezerwowej) systemów zasilania gwarantowanego (UPS). Opisano własności funkcjonalne i możliwości wykorzystania modułów bateryjnych, od których zależy czas podtrzymania zasilania. Dla przypadków zapotrzebowania na nieprzerwaną długotrwałą pracę autonomiczną (przy zaniku lub braku prawidłowego napięcia sieciowego) rozpatrzono także współpracę zasilacza UPS z zespołem prądotwórczym. W końcowej

części pracy skomentowano rezultaty przeprowadzonych pomiarów i analiz.

Skalowanie czasu pracy autonomicznej UPS

Zadaniem UPS VFI (on-line) – z podwójnym przetwarzaniem energii (rys. 1) – jest poprawa jakości napięcia zasilającego odbiorniki (w trybie pracy normalnym, gdy napięcie sieciowe spełnia warunki jego poprawności) oraz bezprzerwowe dostarczenie energii do odbiorników (w trybie rezerwowym, czyli bateryjnym) w przypadku zaników lub nieprawidłowości napięcia sieciowego. Czas podtrzymania zasilania w trybie rezerwowym zależy jest od mocy załączonych na wyjściu UPS odbiorników oraz od ilości energii zgromadzonej w akumulatorach [9-12].



Rys. 1. Schemat blokowy UPS on-line (VFI)

Poprawność doboru modułów bateryjnych wynika z klasycznych zasad elektrotechniki [9-16]. Źródła napięcia łączy się szeregowo w celu uzyskania wyższej wartości napięcia, natomiast efektem połączenia równoległego jest zwiększenie wartości dostępnego prądu, a zatem również pojemności elektrycznej zasobnika. W obu przypadkach ważnym elementem jest, aby łączone źródła (akumulatory) miały takie same parametry. Jest to istotne zarówno ze względów technicznych (prawidłowość współpracy łączonych źródeł energii), jak również ekonomicznych (koszty eksploatacyjne związane z powstałymi stratami mocy oraz obniżeniem trwałości akumulatorów).

W trybie rezerwowym z zasobników do falownika UPS dostarczana jest energia o odpowiedniej wartości napięcia stałego, a w układzie falownikowym wytwarzane jest napięcie sinusoidalne o wysokiej klasy parametrach, którym zasilane są odbiorniki. Układ szeregowo połączonych akumulatorów o wymaganej wartości napięcia tworzy tzw.

string o określonej pojemności (równej pojemności pojedynczego akumulatora w stringu). W celu zwielokrotnienia gromadzonej energii, a w rezultacie wydłużenia czasu pracy w trybie rezerwowym, do zasilaczy UPS podłącza się tzw. moduły bateryjne, składające się z określonej liczby równolegle połączonych stringów. Iloczyn napięcia i pojemności elektrycznej układu określa ilość zgromadzonej energii elektrycznej, możliwej do wykorzystania w trybie rezerwowym (należy jednak uwzględnić występowanie strat energetycznych w układzie zasilania) [9-12].

Do UPS można podłączać równolegle określoną dopuszczalną liczbę modułów bateryjnych, która jest powiązana z parametrami układu ładowania akumulatorów w UPS. W przypadku wymaganych długich czasów podtrzymania zasilania zamiast stosowania modułów bateryjnych można wykorzystać odpowiednio utworzone i połączone stringi akumulatorów o dużych pojemnościach ułożone na stojakach. Ograniczona jest wówczas pojemność całkowita układu [9-12, 17].

W akumulatorach elektrochemicznych ilość pobieranej z nich energii zależy oprócz wynikającej z parametrów technicznych również od warunków ich użytkowania (głównie wartości pobieranych prądów, napięć końcowych rozładowania oraz temperatury). Z tego względu w celu określenia czasów podtrzymania zasilania odbiorników korzysta się z tzw. charakterystyk stałomocowych, podawanych przez producentów akumulatorów. W laboratoriach producentów czas te wyznaczone są poprzez realizację badań fizycznych.

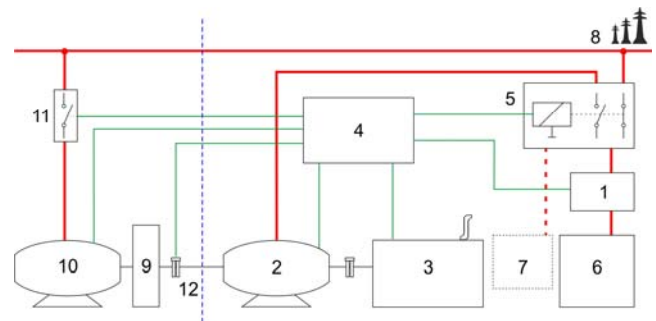
Należy mieć na uwadze, że zbyt głębokie rozładowania akumulatorów mogą prowadzić do intensywnego pogorszenia ich pojemności i rezystancji wewnętrznej, a nawet spowodować uszkodzenie akumulatora. Długotrwałe nadmierne prądy ładowania i rozładowania mogą powodować wypaczanie się płyt elektrodowych, wykuszanie się czynnej elektrod, zmniejszenie pojemności elektrycznej, a także mogą być przyczyną uszkodzeń akumulatorów. Funkcjonowanie akumulatorów w zbyt wysokich temperaturach intensywnie wpływa na skrócenie ich żywotności. Szacuje się, że każde trwałe zwiększenie temperatury eksploatacji o $8^{\circ} \div 10^{\circ}$ powyżej temperatury znamionowej wywołuje zmniejszenie trwałości akumulatorów o 50%. Użytkowanie tych źródeł energii w niższych temperaturach od znamionowej powoduje zwiększenie ich rezystancji wewnętrznej, zmniejszenie pojemności elektrycznej i wytwarzanego napięcia źródłowego, obniżenie zdolności do przyjmowania ładunku oraz zdolności rozruchowej. Nie bez znaczenia jest także utrzymywanie zalecanych wilgotności w czasie pracy i przechowywania. Wyższe wilgotności będą niekorzystnie wpływały na prądy upływu (samorozładowania – samoistnej utraty zgromadzonej energii) oraz warunki bezpieczeństwa eksploatacji tych urządzeń [9-17].

Korzystniejszym z wielu względów zasobnikiem energii w stosunku do źródeł elektrochemicznych są superkondensatory, w których energia elektryczna gromadzona jest w polu elektrycznym. Wykazują się około 100-krotnie większą gęstością mocy (możliwością ładowania i rozładowywania dużymi prądami) niż akumulatory, z czym wiąże się krótszy czas odzyskiwania pełni naładowania (w superkondensatorach rzędu kilku minut, podczas gdy w akumulatorach wynosi kilka godzin), mniejszą rezystancją wewnętrzną, wyższą sprawnością, szerszym zakresem temperatur pracy, niemalże brakiem zależności parametrów technicznych od stanu naładowania, bardzo wysoką trwałością (ponad 1000000 cykli ładowania i rozładowania, a w akumulatorach poniżej 2000 cykli oraz ponad 20 lat użytkowania, podczas gdy w akumulatorach

jest to kilka lat – w zależności od rozwiązań) itp. Do ich wad zaliczyć można około 10-krotnie mniejszą gęstość mocy (czyli zasobność lub inaczej zdolność do magazynowania energii) oraz wysoką cenę. Wynika stąd, że superkondensatory mają wyższe koszty inwestycyjne, natomiast akumulatory wyższe koszty eksploatacyjne, przy czym w dłuższej perspektywie czasu globalne koszty (zakupu i użytkowania) mogą być niższe przy wykorzystaniu superkondensatorów, co przedstawiono bardziej szczegółowo w pracach [10-12].

Rezerwowe (gwarantowane) zasilanie w układzie agregat prądotwórczy – zasilacz UPS

Elementem systemów zasilania gwarantowanego mogą być również zespoły (agregaty) prądotwórcze. Ich samodzielną pracę może nie być dla zasilanych odbiorników korzystna, ponieważ wartość, a przede wszystkim częstotliwość wytwarzanego przez nie napięcia zmienia się przy skokowych przełączeniach dużych obciążeń. Ponadto – zależnie od sposobu ich pracy w układzie – podczas zaniku napięcia sieciowego najczęściej potrzebny jest określony czas niezbędny do ich uruchomienia i wytworzenia napięcia o właściwych parametrach, czyli uzyskania gotowości do zasilania odbiorników [18]. Z opisanych względów często stosuje się systemy zasilania gwarantowanego złożone z zasilacza UPS i zespołu prądotwórczego (rys. 2). UPS bezprzerwowo dostarcza energię do odbiorników utrzymując wysoką jakość parametrów doprowadzanego napięcia, natomiast agregat długotrwałe zasila UPS (gdy nie ma zasilania sieciowego). Eliminuje się dzięki temu powstawanie przerw w zasilaniu odbiorników oraz nieprawidłowości dostarczanego do nich napięcia, uzyskując jednocześnie długi czas pracy autonomicznej. Elementy $9 \div 12$ stosowane są tylko w układach z krótkim czasem rozruchu.



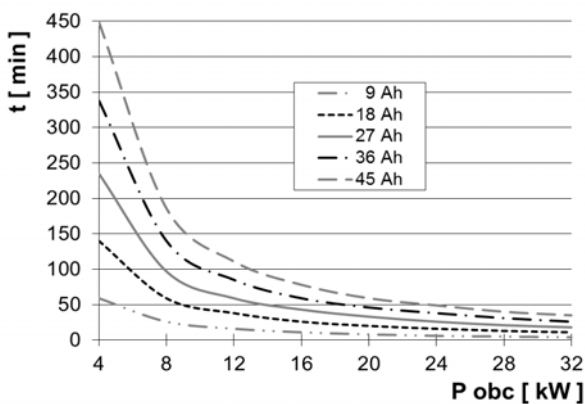
Rys. 2. Przykładowy schemat systemu zasilania awaryjnego składającego się z zespołu prądotwórczego i zasilacza UPS

1 – zasilacz UPS, 2 – prądnica zespołu prądotwórczego (generator), 3 – silnik spalinowy, 4 – układ sterujący, 5 – układ samoczynnego załączania rezerwy (SZR), 6 – odbiorniki układu zasilania gwarantowanego, 7 – inne odbiorniki, 8 – zasilanie sieciowe, 9 – koło zamachowe, 10 – silnik elektryczny, 11 – element załączający, 12 – sprzęgło elektromagnetyczne

Wyniki analiz i pomiarów

Z uwagi na zależność pojemności akumulatorów, a w efekcie czasów podtrzymania zasilania, od warunków użytkowania akumulatorów na rysunku 3 zamieszczono wykresy obrazujące zależności czasów podtrzymania zasilania odbiorników jako funkcji mocy obciążenia dla różnych konfiguracji zasobników energii w zasilaczu UPS EVER POWERLINE GREEN 33 (o trójfazowym zasilaniu z sieci na wejściu i trójfazowym napięciu wyjściowym – doprowadzanym do zabezpieczanych odbiorników) o mocy znamionowej 40 kVA / 32 kW [17].

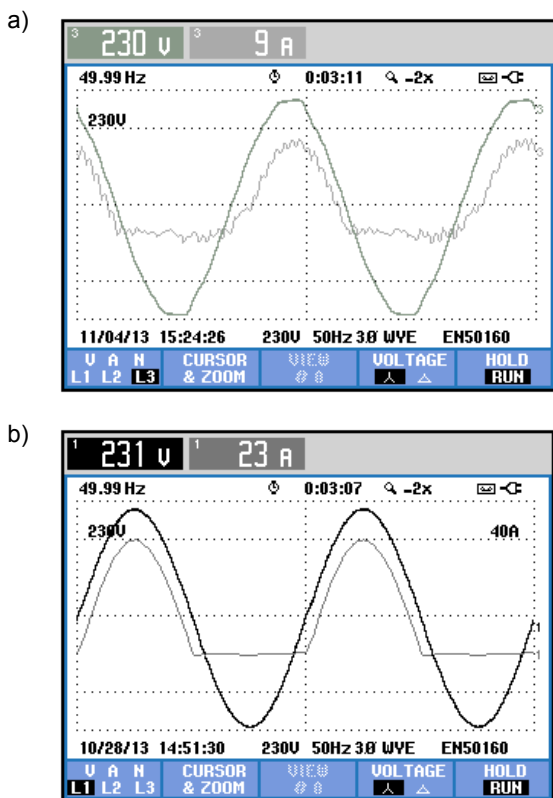
Charakterystyki te są nieliniowe, co wiąże się z faktem, że są to elektrochemiczne zasobniki energii – energia elektryczna gromadzona jest w nich w postaci energii chemicznej. Dostarczanie do odbiorników energii elektrycznej uwarunkowane jest zatem zachodzeniem reakcji chemicznych, a w efekcie zależy od wielu czynników zewnętrznych i wewnętrznych.



Rys. 3. Zależność czasów podtrzymania zasilania zabezpieczanych odbiorników od mocy obciążenia, przy różnych wariantach podłączonych do UPS modułów bateryjnych

Oprócz czasów podtrzymania zasilania w systemach zasilania gwarantowanego bardzo ważnym zagadnieniem jest jakość energii dostarczanej przez nie do odbiorników.

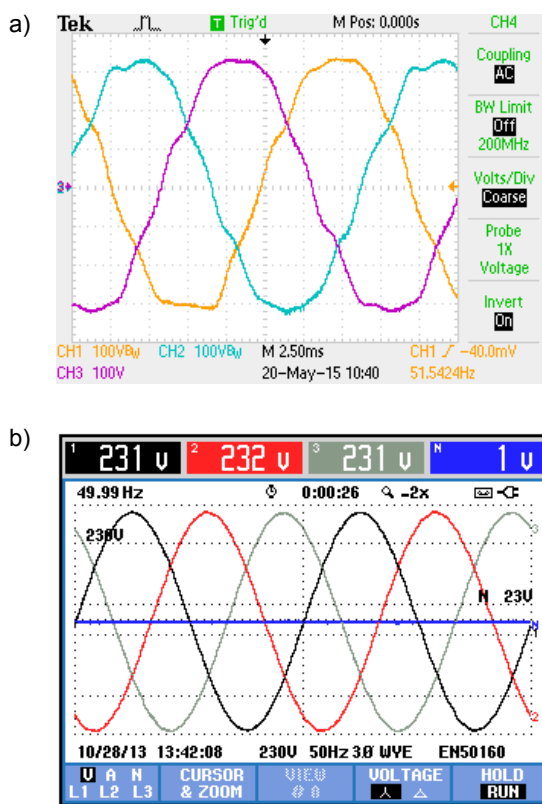
Na rysunkach 4a oraz 4b przedstawiono porównanie jakości napięcia sieciowego – zasilającego UPS (obraz jednej fazy) z napięciem na wyjściu UPS (dostarczonym do odbiorników), gdy prąd pobierany był z UPS przez załączone obciążenia niesymetrycznie (jednofazowo) i nieliniowo (półokresowo).



Rys. 4. Kształt i wartości napięć oraz pobieranych prądów (pokazano jedną fazę): a) na wejściu UPS (sieciowe), b) na wyjściu UPS (doprowadzone do odbiorników)

Przebieg napięcia sieciowego jest odkształcony. Występują w nim nierównomierności oraz ścięcia w obrębie szczytów. Współczynnik odkształceń napięcia THD jest na poziomie 2,7%. Na wyjściu UPS napięcie ma kształt sinusoidalny o niemal czterokrotnie mniejszym współczynniku odkształceń – na poziomie 0,7%. Odbiorniki zasilane są zatem z UPS napięciem o korzystniejszych parametrach niż przy doprowadzeniu bezpośrednio napięcia sieciowego. Ponadto w przypadkach zaników zasilania sieciowego energia doprowadzana będzie do odbiorników przez UPS w czasie zależnym od ilości energii zgromadzonej w akumulatorach (dobieranym do zapotrzebowania użytkownika – załączanie dodatkowych stringów akumulatorów). Pozwala to na kontrolowane zakończenie (w bezpieczny sposób) realizowanych procesów.

Na rysunku 5 przedstawiono porównanie jakości napięcia na wyjściu zespołu prądowłórczego (rys. 5a), czyli zasilającego UPS, z napięciem na wyjściu UPS (rys. 5b) – doprowadzającym do odbiorników.

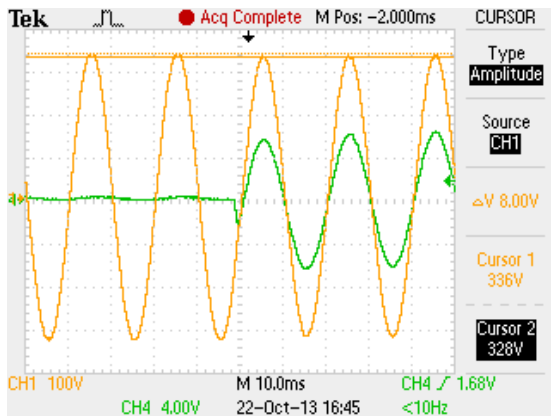


Rys. 5. Kształt i wartości napięć: a) na wyjściu zespołu prądowłórczego (zasilającego UPS), b) na wyjściu UPS (doprowadzonego do odbiorników)

Na wyjściu agregatu prądowłórczego współczynnik całkowitych odkształceń napięcia na biegu jałowym jest na poziomie powyżej 3%, natomiast przy obciążeniu przekracza 7%. Zasilany tym napięciem UPS (on-line) wytwarza na swoim wyjściu napięcie o bardzo małych odkształceniach – tym napięciem zasilane są zabezpieczone odbiorniki. Współczynnik całkowitych odkształceń napięcia na wyjściu zasilacza UPS ma wartość poniżej 1%.

Istotnym elementem układów zasilania elektrycznego jest reakcja systemu na skokowe zmiany obciążenia (załączanie i wyłączanie dużych obciążeń). Mogą one wywoływać powstawanie stanów nieustalonych oraz dynamicznych zmian napięć w układzie. Od systemów

sterujących ich pracą wymaga się szybkich reakcji, ze względu na konieczność utrzymania określonych parametrów dostarczanej przez nie energii elektrycznej, a w szczególności wartości skutecznej napięcia oraz częstotliwości. Na rysunku 6 zamieszczono przebiegi czasowe napięcia na wyjściu zasilacza UPS (który był zasilany z sieci) oraz prądu obciążenia podczas dynamicznej zmiany obciążenia (prądu wyjściowego).



Rys. 6. Przebiegi czasowe napięcia oraz prądu na wyjściu zasilacza UPS podczas dynamicznej zmiany obciążenia (prądu wyjściowego)

Przy skokowym przełączaniu obciążenia od zera do mocy znamionowej (dynamiczne załączenie prądu – przebieg zielony) amplituda sygnału napięciowego (żółty przebieg) zmieniła się o 8 V, czyli o niespełna 3%. Wynika stąd, że zasilacz UPS zapewnia dużą stabilność napięcia doprowadzanego do odbiorników nawet podczas dynamicznych zmian obciążenia.

Uwagi i wnioski

Prawidłowe określenie specyfiki odbiorników energii (ich priorytetowości, wrażliwości na oddziaływanie zaburzeń oraz podatności na wystąpienie zakłóceń i awarii) w różnych obiektach związanych z działalnością człowieka umożliwia właściwe dostosowanie technicznych środków zaradczych w celu ograniczenia oddziaływania zaburzeń i jednocześnie bezprzerwowego dostarczenia energii do zasilanych urządzeń w przypadkach zaniku bądź nieprawidłowości napięcia sieciowego.

Czasy podtrzymania zasilania awaryjnego zabezpieczanych przez system zasilania gwarantowanego odbiorników nie są liniową funkcją mocy, ponieważ ilość dostępnej energii (w zasobnikach) w znaczącym stopniu zależy od prądów rozładowania akumulatorów (zatem również od mocy załączonych obciążeń), a także od napięć końcowych rozładowania oraz warunków temperaturowych. Należy przy tym mieć na uwadze, że w miarę zużycia akumulatorów (efekty starzenia) maleje ich pojemność elektryczna, a rośnie rezystancja wewnętrzna, co będzie wpływało na skrócenie czasów podtrzymania zasilania.

Właściwie dobrane moduły bateryjne umożliwiają uzyskanie wymaganych przez użytkownika czasów podtrzymania zasilania awaryjnego i dzięki temu zapewnienie niezbędnej ochrony zabezpieczanych urządzeń.

W przypadku zapotrzebowania na długie czasy pracy autonomicznej układu zasilania awaryjnego warto wykorzystać współpracę zasilacza UPS z zespołem prądotwórczym. Osiąga się dzięki temu nieprzerwane długotrwałe zasilanie wrażliwych odbiorników napięciem o oczekiwanej bądź wymaganej jakości.

LITERATURA

- [1] Barlik R., Nowak M., Jakość energii elektrycznej – stan obecny i perspektywy, *Przegląd Elektrotechniczny*, 81 (2005), nr 07/08, 1-12
- [2] Bednarek K., Jakość, pewność i właściwa konstrukcja układu zasilania a bezpieczeństwo urządzeń elektrycznych, *Elektro.info*, 2012, nr 12, 26-31
- [3] Bednarek K., Kasprzyk L., Suppression of higher harmonic components introduction to the networks and improvement of the conditions of electric supply of electrical equipment, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), No 12b, 236-239
- [4] Bielecki S., Jakość energii elektrycznej na rynku energii, *Przegląd Elektrotechniczny*, 83 (2007), nr 07/08, 68-72
- [5] Wciślik M., Bilanse mocy w obwodzie prądu przemiennego z odbiornikiem nieliniowym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 2, 136-140
- [6] Charoy A., Compatibilite electromagnetique. Parasites et perturbations des electroniques, 1-4 (1996), Dunod, Paris
- [7] Dz. U. nr 93/2007, poz. 623 – Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 4 maja 2007 w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego
- [8] PN-EN 50160: 2010 – Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
- [9] Bednarek K., Moduły bateryjne w systemach zasilania gwarantowanego (UPS), *Elektro.info*, 2013, nr 4, 72-74
- [10] Bednarek K., Praca hybrydowa i zasobniki energii w systemach zasilania gwarantowanego (UPS), *Elektro.info*, 2013, nr 1-2, 72-73
- [11] Bednarek K., Kasprzyk L., Zasobniki energii w systemach elektrycznych, cz. 1 i 2, *Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical engineering*, Poznań 2012, No 69, 199-218
- [12] Kasprzyk L., Bednarek K., Elektromagnetyzm a zagadnienia gromadzenia energii, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 12, 221-224
- [13] Korzeniewska E., Drzymała A., Elektrownie fotowoltaiczne – aspekty techniczne i ekonomiczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 12, 324-327
- [14] Sikora R., Zeńczak M., Magazynowanie energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym, *Napędy i sterowanie*, 2011, nr 2, 61-66
- [15] Czerwiński A., Akumulatory baterie ogniwa, 2005, WKiŁ, Warszawa
- [16] Denton T., Automobile electrical and electronic systems, 1995, 2000, Arnold, London
- [17] <http://www.ever.eu/> [dostęp: 2015.09.15]
- [18] <http://www.sep.krakow.pl/nbiuletyn/nr48ar3.pdf> [d: 2015.09.15]

Autor: dr inż. Karol Bednarek, EVER Sp. z o.o., ul. Grudzińskiego 30, 62-020, Swarzędz, E-mail: k.bednarek@ever.eu