

Karol BEDNAREK*

KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ I PRACA HYBRYDOWA W SYSTEMACH ZASILANIA GWARANTOWANEGO (UPS)

W pracy analizowana jest możliwość realizacji kompensacji mocy biernej, bez stosowania dodatkowych przetworników energoelektronicznych ani stałych elementów biernych, przez wewnętrzne bloki wejściowe systemu zasilania gwarantowanego (na przykładzie UPS EVER POWERLINE GREEN 33). Przedstawiono również rozważania związane z wprowadzeniem dodatkowej funkcjonalności UPS w postaci trybu pracy hybrydowej, umożliwiającego wydłużenie czasu podtrzymania zasilania odbiorników w określonym przedziale zmian wartości napięcia sieciowego. Zamieszczono wyniki przeprowadzonych pomiarów i obliczeń, zrealizowanych dla konkretnego układu fizycznego, a w końcowej części pracy podsumowano uzyskane rezultaty.

1. WPROWADZENIE

Przerwy w dostarczaniu energii elektrycznej są nie tylko uciążliwe dla jej użytkowników ze względu na brak możliwości funkcjonowania urządzeń, ale mogą też wywoływać dotkliwe konsekwencje ekonomiczne, techniczne oraz informacyjne w postaci utraty danych w systemach informatycznych, uszkodzeń osprzętu elektrycznego, powstawania kosztownych przestoju w pracy urządzeń czy dyskomfortu związanego z brakiem możliwości zapewnienia właściwego ogrzewania pomieszczeń użytkowych (głównie w warunkach zimowych). Trafnym rozwiązaniem tego typu problemów jest zastosowanie systemów zasilania gwarantowanego, jakimi są zasilacze awaryjne UPS. W trybie pracy rezerwowej (załączanym w przypadku wystąpienia nieprawidłowych parametrów bądź zaników napięcia sieciowego) w urządzeniach tych wykorzystuje się zgromadzoną w zasobnikach (bateriach) energię elektryczną w celu zasilania w określonym czasie zabezpieczanych odbiorników (najczęściej o znaczeniu krytycznym), co umożliwia bezpieczne zakończenie realizowanych procesów [1].

Nieustanna potrzeba racjonalnego gospodarowania energią oraz wzrastające koszty energii elektrycznej zmuszają przedsiębiorców do ciągłej kontroli poziomu jej zużycia. Wszelkie oszczędności energetyczne mają zawsze nie tylko uzasadnienie ekonomiczne, ale również techniczne i gospodarcze. Jednym z elementów oszczędzania energii jest kompensacja mocy biernej. W zagadnieniu

* EVER Sp. z o.o.

tym istotą jest udzielenie odpowiedzi na pytanie: jak zmniejszyć moc pozorną (całkowitą) pobieraną ze źródła zasilania nie zmieniając mocy czynnej (użytecznej) odbiorników? W niniejszej pracy stawiane jest to pytanie w nieco inny sposób: jak zmniejszyć moc całkowitą pobieraną z sieci przez system zasilania gwarantowanego, nie zmniejszając mocy użytecznej załączonych na wyjściu odbiorników oraz nie wprowadzając dodatkowych elementów ani urządzeń związanych z kompensacją mocy biernej?

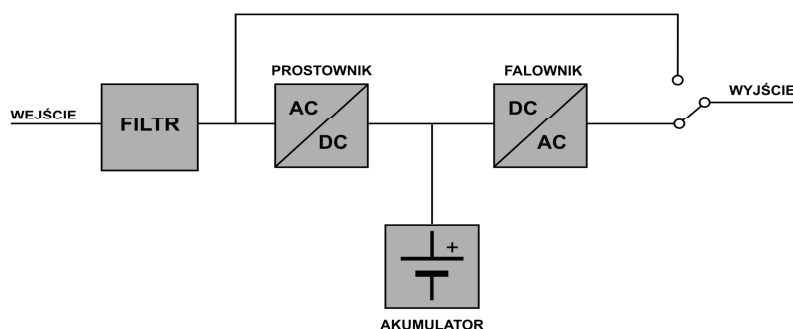
Jednym z najważniejszych parametrów użytkowych w zasilaczach UPS jest czas podtrzymania zasilania odbiorników w trybie rezerwowym (przy nieprawidłowościach napięcia sieciowego). Wydłużenie tego czasu uzyskuje się przez dołączanie dodatkowych modułów bateryjnych, czyli zwiększenie ilości magazynowanej energii w zasobnikach. Postawić można zatem kolejne pytanie: czy można w inny sposób wydłużyć czas podtrzymania zasilania odbiorników nie zmieniając pobieranej przez nie mocy? Okazuje się, że dodatkowym elementem związanym z wydłużeniem czasu autonomii w określonych warunkach pracy UPS jest wprowadzenie trybu pracy hybrydowej [1-4].

W artykule przedstawiono dwie nowe funkcjonalności systemów zasilania gwarantowanego w postaci kompensacji mocy biernej UPS oraz trybu pracy hybrydowej, dzięki którym użytkownik tych urządzeń osiąga korzyści zarówno ekonomiczne, jak i techniczne (eksploatacyjne). Zamieszczono również wyniki przeprowadzonych badań i obliczeń w zakresie rozważanych zagadnień dla obiektu fizycznego, jakim był UPS EVER POWERLINE GREEN 33.

2. SYSTEMY ZASILANIA GWARANTOWANEGO VFI (UPS ON-LINE)

Systemy zasilania gwarantowanego VFI (on-line) są zasilaczami bezprzerwowymi, w których wartość i częstotliwość napięcia wyjściowego są niezależne od parametrów napięcia wejściowego (sieciowego). Najczęściej występującym charakterem pracy w tych zasilaczach jest tryb sieciowy (normalny). Energia pobierana z sieci ulega wówczas podwójnemu przetworzeniu: sieciowe napięcie przemiennie doprowadzone na wejście UPS zostaje wyprostowane w układzie prostowniczym, następnie za pomocą magistrali stałoprądowej dostarczone do falownika, w którym zostaje przetworzone na napięcie przemiennie o założonych parametrach (wartości i częstotliwości), a w rezultacie odpowiednio ukształtowane napięcie przekazywane jest do załączonych na wyjściu UPS zabezpieczanych odbiorników (rys. 1). Jednocześnie część energii z magistrali stałoprądowej jest wykorzystana do uzupełniania energii gromadzonej w akumulatorach. W przypadku wystąpienia nieprawidłowej wartości lub częstotliwości napięcia sieciowego bądź jego zaniku system automatycznie przełącza się w tryb rezerwowo (bateryjny). Odbiorniki zasilane są wówczas

niezaburzonym napięciem dzięki zasileniu falownika energią zgromadzoną w akumulatorach (do czasu wyczerpania zgromadzonej energii). Po przywróceniu prawidłowości napięcia sieciowego następuje samoczynny powrót do trybu sieciowego (po osiągnięciu przez akumulatory wymaganego ładunku minimalnego). Zmiana trybów pracy z sieciowego na rezerwowego i odwrotnie odbywa się całkowicie bezprzerwowo – zmianie ulega tylko źródło energii dostarczanej do falownika [1, 2, 5-8].



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

Przykładowym rozwiązaniem systemu zasilania gwarantowanego VFI jest UPS EVER POWERLINE GREEN 33, którego dodatkowe funkcjonalności oraz rezultaty badań zamieszczono w dalszej części pracy [7, 8].

3. KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ

Odbiorniki energii elektrycznej, oprócz poboru mocy czynnej (użytecznej), charakteryzują się często również poborem mocy biernej (związanej z wytworzeniem określonych warunków fizycznych w układach, ze wzbudzeniem pól magnetycznych i elektrycznych, z gromadzeniem energii w tych polach itp.). W przypadku wykorzystania np. transformatorów bądź dławików układy, które zawierają te elementy, pobierają moc czynną oraz moc bierną indukcyjną. Do niedawna był to najczęściej spotykany charakter obciążenia (rezystancyjno-indukcyjny), występującego w zakładach przemysłowych i gospodarstwach domowych. Obecnie wiele urządzeń (w tym np. sprzęt informatyczny) bardzo często ma charakter rezystancyjno-pojemnościowy, a zatem sieć energetyczna obciążana jest oprócz mocy użytecznej także mocą bierną pojemnościową. Całkowitą moc czynną należy dostarczyć do odbiorników za pomocą sieci zasilającej (z czym połączone jest zawsze powstawanie strat energetycznych w urządzeniach wytwórczych oraz przesyłowych). Moc biernej nie należy przysyłać, ponieważ powoduje to powstawanie dodatkowych strat, a ponadto wpływa na ograniczanie możliwości przesyłowych energii za pomocą istniejących

urządzeń. Pobór mocy biernej można wyeliminować na miejscu, załączając się do układu z urządzeniem obciążającym mocą bierną o przeciwnym charakterze niż pierwotnie pobierana – mówi się wówczas o kompensacji mocy biernej.

W praktyce kompensację mocy biernej można uzyskać przez:

- a) załączenie układów kondensatorów (w celu kompensacji mocy biernej indukcyjnej) bądź cewek (dla skompensowania mocy biernej pojemnościowej),
- b) wykorzystanie regulatorów elektromaszynowych,
- c) załączenie układów elektronicznych przesuwników fazowych,
- d) wyłączenie urządzeń będących w stanie jałowym, a pobierających moc bierną.

Opłaty za ponadumowny pobór mocy biernej (czyli dowolnej wartości mocy biernej pojemnościowej oraz mocy biernej indukcyjnej przy współczynniku $\text{tg } \varphi$ przekraczającym wartość umowną $\text{tg } \varphi_0$) są dla przedsiębiorstw bardzo wysokie. Ponieważ na wejściu systemu UPS występują układy zawierające kondensatory, to każdy taki zasilacz, oprócz poboru mocy czynnej (użytecznej), charakteryzuje się poborem mocy biernej pojemnościowej. Jeśli w układzie zasilania sieciowego pracuje dodatkowo dużo urządzeń posiadających np. zasilacze impulsowe na wejściu (takich jak komputery) bądź inne odbiorniki pobierające moc bierną pojemnościową, to łączne rachunki za pobór energii biernej mogą nawet przekraczać kwoty opłat za pobór mocy użytecznej.

Kompensacja mocy biernej w UPS EVER polega na takim zarządzaniu prądem na wejściu zasilacza (pobieranego przez układ prostowniczy), że następuje pełna kompensacja mocy biernej pojemnościowej UPS-a, czyli współczynnik mocy takiego układu $\cos \varphi$ sprowadzany jest do 1, niezależnie od wartości pobieranej mocy czynnej. Uzyskuje się zatem pełną eliminację opłat z tytułu ponadumownego poboru mocy przez UPS, a zatem wymierne, realne oszczędności finansowe. Możliwe jest również poprzez ingerencję za pomocą specjalistycznego oprogramowania wprowadzenie odpowiednich nastaw kompensacyjnych w ten sposób, że dokonuje się kompensacji mocy biernej (zdeterminowanych wartości) w równolegle załączonych do tej samej sieci z UPS innych odbiorników. Ta wprowadzona nowatorska funkcjonalność systemu zasilania gwarantowanego została zgłoszona przez firmę EVER Sp. z o.o. do Urzędu Patentowego [7, 8].

4. PRACA HYBRYDOWA

W parametrach technicznych systemów zasilania gwarantowanego UPS deklarowane są zakresy zmian wartości oraz częstotliwości napięcia wejściowego, przyjmowane jako tolerowane, dla których ma miejsce praca sieciowa [1-3, 5-8]. Po przekroczeniu przez którykolwiek z parametrów wartości podanych zakresów UPS przechodzi do pracy bateryjnej i odbiorniki zasilane są dzięki energii zgromadzonej w akumulatorach do czasu wyczerpania tych zasobników. Czas podtrzymania zasilania odbiorników zależy głównie od ilości zmagazynowanej

energii (zasobności baterii) oraz mocy podłączonego obciążenia. W powszechnie stosowanych zasilaczach awaryjnych deklarowany zakres zmian wartości napięcia wejściowego jest wąski i po przekroczeniu wartości granicznych tego zakresu od razu w pełni obciążony jest zasobnik energii (układ bateryjny).

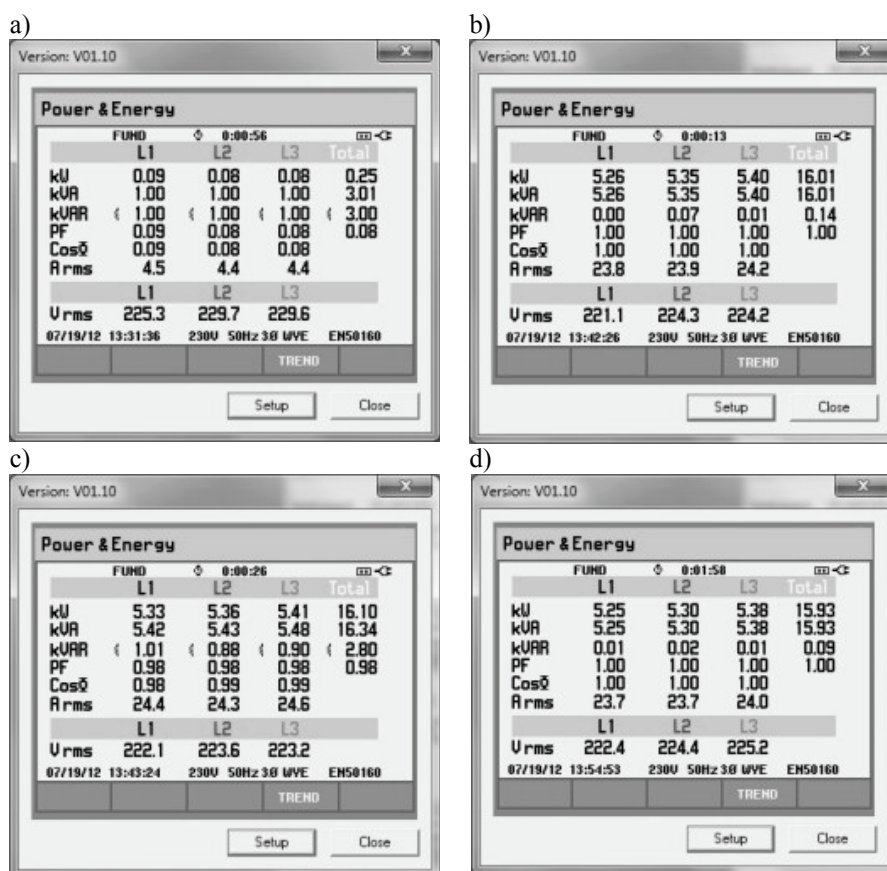
W zasilaczach firmy EVER Sp. z o.o. wprowadzono szeroki zakres zmian napięcia wejściowego i możliwość realizacji trybu hybrydowego. Polega to na tym, że w celu dostarczenia zapotrzebowanej przez odbiorniki mocy (na wyjściu UPS) w chwilach zmniejszania się wartości napięcia sieciowego (mieszczącej się w zadeklarowanym zakresie) następuje zwiększanie prądu pobieranego na wejściu. Może się to odbywać do momentu osiągnięcia prądu maksymalnego I_{\max} dla obwodu prostownika. W tym czasie realizowana jest ciągle praca sieciowa UPS. Przy dalszym zmniejszaniu napięcia wejściowego (nadal utrzymującego się w ramach szerokiego okna napięciowego) realizowany jest tryb hybrydowy. Z sieci (o złych parametrach) pobierana jest moc wynikająca z iloczynu prądu maksymalnego i aktualnej wartości napięcia, a pozostała część zapotrzebowanej przez odbiorniki mocy pokrywana jest z modułów bateryjnych. Jak widać stąd, z akumulatorów pobierana jest tylko różnica mocy zapotrzebowanej przez odbiorniki, a dostarczonej z sieci o nieprawidłowych parametrach. Wynika z tego zatem, że czas podtrzymania zasilania odbiorników w trybie hybrydowym należy obliczać jak rozładowanie akumulatorów (w pracy rezerwowej), przy obciążeniu systemu tylko tą różnicą mocy. Uzyskuje się dzięki temu znaczne wydłużenie czasu podtrzymania zasilania odbiorników. W konwencjonalnych rozwiązaniach zamiast trybu hybrydowego realizowana jest w takich warunkach praca rezerwowa, wówczas cała energia oddawana do odbiorników pobierana jest z baterii i w rezultacie krócej zasilane są odbiorniki [7, 8].

5. WYNIKI BADAŃ I ANALIZ

Urządzeniem badanym był UPS EVER POWERLINE GREEN 33, zasilany trójfazowo oraz posiadający na wyjściu napięcie trójfazowe. Wyjściowa moc pozorna zasilacza wynosi 20 kVA, natomiast moc czynna 16 kW. W urządzeniu tym, poza licznymi dodatkowymi funkcjonalnościami, wprowadzono możliwość realizacji kompensacji mocy biernej oraz dodatkowy tryb pracy hybrydowej.

W trakcie badań, związanych z kompensacją mocy biernej, podłączono do sieci energetycznej regulowany trójfazowy odbiornik indukcyjny i dokonano pomiaru poszczególnych mocy na kolejnych jego fazach (rys. 2a). Potem załączono UPS z obciążeniem czynnym ustawionym na 100% P_{\max} i zrealizowano pomiary mocy pobieranych z sieci wyłącznie przez obciążony rezystancyjnie UPS (rys. 2b). Kolejny pomiar dotyczył mocy pobieranych łącznie przez UPS i odbiornik indukcyjny (rys. 2c). Następnie wprowadzono za pomocą oprogramowania serwisowego odpowiednie nastawy kompensacji mocy biernej całkowitego

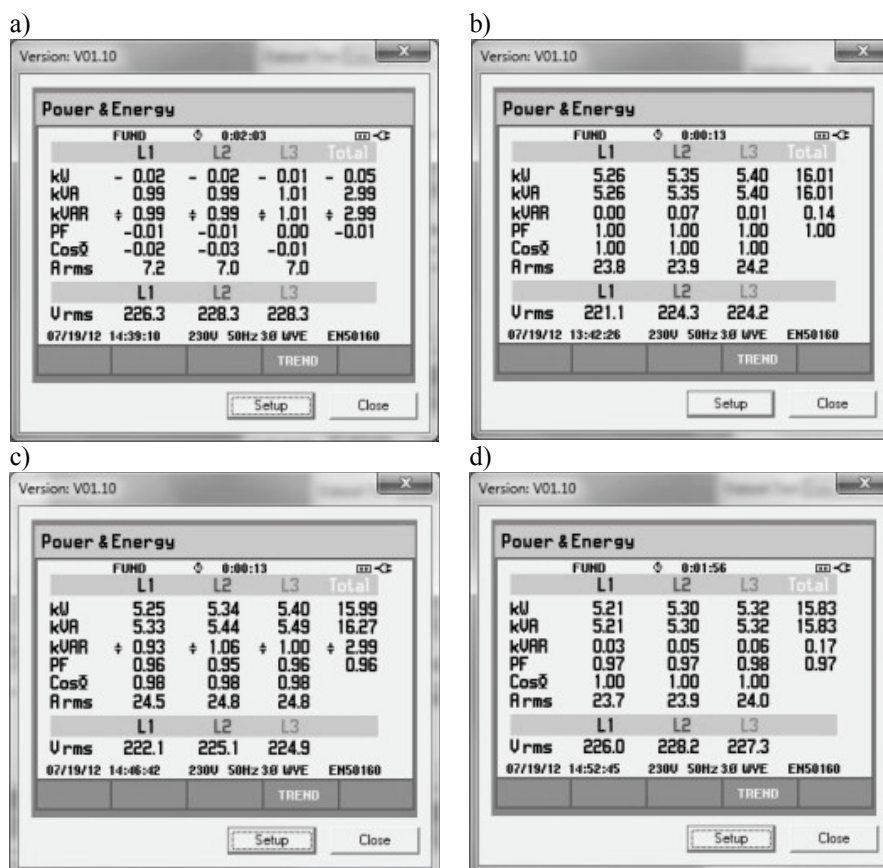
układu. Na rys. 2d zamieszczono wyniki pomiarów mocy po wprowadzeniu nastaw do kompensacji mocy biernej. Najważniejszymi elementami podczas badań były moce czynna, bierna i pozorna zarówno poszczególnych faz, jak i całkowite, ale dokonywano również pomiarów współczynników mocy oraz prądów i napięć fazowych w odpowiednich układach.



Rys. 2. Wyniki pomiarów mocy czynnej, biernej i pozornej (w fazach i całkowitych), prądów i napięć fazowych oraz współczynników mocy odpowiednio dla załączonych do sieci energetycznej:

- a) 3-fazowego odbiornika indukcyjnego, b) zasilacza UPS pracującego przy obciążeniu czynnym 100% P_{max} , c) załączanych równolegle: UPS oraz odbiornika indukcyjnego, d) załączanych równolegle: UPS oraz odbiornika indukcyjnego po wprowadzeniu nastaw kompensacji mocy biernej

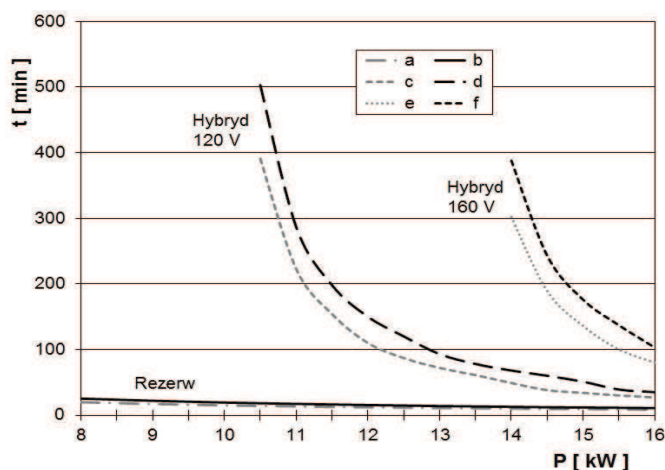
Całą dotychczasową procedurę pomiarów powtórzono po załączeniu w miejsce obciążenia indukcyjnego trójfazowego regulowanego odbiornika o charakterze pojemnościowym i w analogiczny sposób na rys. 3 przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań.



Rys. 3. Wyniki pomiarów mocy czynnej, biernej i pozornej (w fazach i całkowitych), prądów i napięć fazowych oraz współczynników mocy odpowiednio dla załączonych do sieci energetycznej: a) 3-fazowego odbiornika pojemnościowego, b) zasilacza UPS pracującego przy obciążeniu czynnym 100% P_{max} , c) załączanych równolegle: UPS oraz odbiornika pojemnościowego, d) załączanych równolegle: UPS oraz odbiornika pojemnościowego po wprowadzeniu nastaw kompensacji mocy biernej

Jako uzasadnienie przedstawionych rozważań dotyczących pracy hybrydowej zrealizowano obliczenia czasów podtrzymania zasilania odbiorników przez system UPS podczas wystąpienia nieprawidłowości napięcia sieciowego (przekroczenie dolnej wartości klasycznego zakresu napięciowego) dla przypadków: rozwiązania konwencjonalnego zasilacza awaryjnego (tryb rezerwowy) oraz UPS EVER POWERLINE GREEN 20 kVA (tryb hybrydowy). Obliczenia zrealizowano dla wartości napięcia: 160 V oraz 120 V (w konwencjonalnych systemach przy takich parametrach realizowana jest praca rezerwowa). Uzyskane wyniki zamieszczono na rys. 4. Obliczane czasy podtrzymania zasilania mają wartości szacunkowe, ponieważ oprócz ilości zgromadzonej energii oraz mocy załączonego obciążenia

zależą w znacznym stopniu także od stanu, stopnia naładowania, rezystancji wewnętrznej i typu zastosowanych akumulatorów, jak również warunków eksploatacyjnych i środowiskowych.



Rys. 4. Szacunkowe czasy podtrzymania zasilania odbiorników przez zasilacz bezprzerwowo w zależności od mocy obciążenia dla: pracy rezerwowej (baterijnej) przy pojemności akumulatorów (a) 7 Ah oraz (b) 9 Ah; pracy w trybie hybrydowym UPS EVER przy wartości napięcia sieciowego 120 V i pojemności akumulatorów (c) 7 Ah oraz (d) 9 Ah; pracy w trybie hybrydowym UPS EVER przy wartości napięcia sieciowego 160 V i pojemności akumulatorów (e) 7 Ah oraz (f) 9 Ah

6. UWAGI PODSUMOWUJĄCE I WNIOSKI

Układy zasilania gwarantowanego w wielu sytuacjach są ważnymi elementami systemu zasilania, pozwalającymi uzyskać prawidłowe funkcjonowanie zabezpieczanych odbiorników.

Bardzo korzystną funkcjonalnością UPS jest możliwość wprowadzenia kompensacji mocy biernej. Osiąga się dzięki temu ewidentne korzyści ekonomiczne oraz oszczędności energii na wielu poziomach systemu zasilania.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz wykazano jednoznacznie, że dzięki wprowadzeniu trybu hybrydowego (szerokiego okna zakresu zmian napięcia wejściowego) osiąga się znaczne wydłużenie czasu pracy autonomicznej UPS VFI dla określonego przedziału zmian wartości napięcia sieciowego, a jednocześnie zwiększenie w tych okolicznościach żywotności wykorzystywanych akumulatorów (jako rezultatu częściowego odciążenia pracy baterii podczas trybu hybrydowego przez pokrycie pewnej ilości zapotrzebowanej energii z sieci o złych parametrach). Przy niższych wartościach mocy obciążenia w całym zadeklarowanym szerokim zakresie napięciowym całkowita energia dostarczana do odbiorników pobierana jest z sieci zasilającej (bez obciążania baterii).

Pominięcie zasilaczy bezprzerwowych UPS w systemach zasilania wrażliwych odbiorników może prowadzić do poważnych konsekwencji w postaci utraty przetwarzanych informacji, uszkodzeń bądź zakłócenia pracy podzespołów elektrycznych lub elektronicznych, zmiany parametrów technicznych oraz sprawności odbiorników, powstawania dodatkowych strat mocy, przedwczesnego starzenia się osprzętu, powstawania kosztownych przestojów w pracy urządzeń, utraty możliwości skorzystania z urządzeń kontroli dostępu, uniemożliwienia prawidłowego funkcjonowania systemów grzewczych, itp.

LITERATURA

- [1] Bednarek K., Jakość, pewność i właściwa konstrukcja układu zasilania a bezpieczeństwo urządzeń elektrycznych, *Elektro.info*, nr 12, 2012.
- [2] Wiatr J., Miegoń M., Zasilacze UPS oraz baterie akumulatorów w układach zasilania gwarantowanego, seria Zeszyty dla elektryków, nr 4, DW MEDIUM, Warszawa, 2008.
- [3] Bednarek K., Kasprzyk L., Zasobniki energii w systemach elektrycznych, cz. 1 i 2, *Academic Journals, Electrical engineering*, No 69, Poznan University of Technology, Poznań 2012.
- [4] Tomczewski A., Wykorzystanie kinetycznych magazynów energii do poprawy warunków współpracy turbiny wiatrowej z systemem elektroenergetycznym, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, nr 6, 2010.
- [5] PN-EN 50160: 2010 – Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych.
- [6] Dz.U. nr 93/2007, poz. 623 – Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 4 maja 2007 w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego.
- [7] Opracowania wewnętrzne firmy EVER Sp. z o.o.
- [8] <http://www.ever.eu/>

COMPENSATION OF REACTIVE POWER AND HYBRID OPERATION IN UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEMS (UPS)

The paper presents analysis of possible compensation of reactive power by internal input blocks of Uninterruptible Power Systems, without the use of additional power electronic converters or stationary passive elements (on the example of UPS EVER POWERLINE GREEN 33). Additional UPS functionality is also considered that enables longer maintenance of the supply of the receivers within definite range of the network voltage values. Results of the measurements and calculations carried out for a concrete physical system are presented. Final part of the paper summarized the obtained results.