dr inż. Karol BEDNAREK
EVER Sp. z o.o.

POZIOM NIEZAWODNOŚCI A WZROST OBCIĄŻALNOŚCI SYSTEMÓW ZASILANIA GWARANTOWANEGO (UPS)

W pracy zajęto się systemami zasilania gwarantowanego UPS. Przeprowadzono rozważania związane z możliwościami pokrywania rosnącego zapotrzebowania na energię (w wyniku rozbudowy infrastruktury odbiorczej), jak również z zapewnianiem oczekiwanej niezawodności zasilania elektrycznego odbiorników o znaczeniu priorytetowym. Opisano własności funkcjonalne podstawowych struktur redundantnych UPS. Przedstawiono i skomentowano uzyskane rezultaty badań wykonanych w układach UPS EVER POWERLINE GREEN 33.

SŁOWA KLUCZOWE: systemy zasilania gwarantowanego, niezawodność urządzeń, obciążalność układów zasilania, redundancja

1. WPROWADZENIE

Jakość dostarczanej energii elektrycznej związana jest przede wszystkim z parametrami użytkowymi napięcia (energii) oraz z niezawodnością (ciągłością) zasilania. Badania dowodzą, że nawet najlepsze elektroenergetyczne systemy dystrybucji energii mogą być zawodne (ulec awarii), zatem nie spełniają wymagań krytycznych, związanych z zasilaniem odbiorników o znaczeniu strategicznym.

Większość przedsiębiorców w celu maksymalnego ograniczenia ryzyka powstania błędów przetwarzania danych bądź kosztownych przestojów w pracy urządzeń lub systemów spowodowanych awariami albo nieprawidłową jakością napięcia w sieci elektroenergetycznej decyduje się na instalowanie między systemem dystrybucji energii a obciążeniami o znaczeniu strategicznym układów zasilania gwarantowanego (UPS).

W zależności od wymaganego poziomu niezawodności zasilania zabezpieczanych odbiorników energii możliwe jest dodatkowe zwiększenie pewności działania systemów zasilania poprzez zastosowanie układów redundantnych, czyli wprowadzenie jednostek dodatkowych, które mogłyby zostać wykorzystane w przypadku uszkodzenia jednostek podstawowych. Wiąże się to nierozerwalnie z ewidentnym wzrostem kosztów inwestycyjnych systemu.

W wielu przypadkach, podczas rozbudowy infrastruktury jednostek gospodarczych, pojawia się potrzeba dostosowania (zwiększenia) dostarczanej mocy, co realizowane jest przez zamianę istniejącego rozwiązania na system zasilania o większej mocy znamionowej lub przez równoległe dołączanie kolejnych jednostek celem uzyskania zwiększonej obciążalności systemu.

W pracy zajęto się problematyką zwiększania obciążalności oraz niezawodności (pewności działania) systemów zasilania gwarantowanego. Przedstawiono własności funkcjonalne podstawowych układów redundantnych UPS. Zamieszczono i skomentowano wyniki badań przeprowadzonych w układach fizycznych, na przykładzie UPS EVER POWERLINE GREEN 33.

2. SYSTEMY ZASILANIA GWARANTOWANEGO

Zadaniem systemów zasilania gwarantowanego (UPS) jest bezprzerwowe zasilenie urządzeń podczas krótkotrwałych zaników bądź zapadów napięcia albo w przypadku długotrwałych braków zasilania sieciowego – dzięki wykorzystaniu energii zgromadzonej w akumulatorach – zasilenie zabezpieczanych odbiorników w określonym czasie (zależnym od ilości zmagazynowanej energii), niezbędnym do bezpiecznego zakończenia realizowanych procesów, zapisania przetwarzanych danych i zgodnego z określonymi procedurami wyłączenia urządzeń lub systemów [1-7, 10]. W miejscach często występujących długotrwałych przerw w zasilaniu sieciowym możliwe jest również

skonfigurowanie współpracy zasilaczy UPS z autonomicznymi systemami zasilania (np. agregatami prądotwórczymi) i nieprzerwane zasilenie urządzeń wrażliwych napięciem o wymaganej jakości.

Koszty przerw w dostawach energii liczone są w zależności od gałęzi przemysłu w dziesiątkach tysięcy nawet do milionów złotych. Zwiększenie pewności dostarczania energii elektrycznej do odbiorników poprzez wykorzystanie systemów zasilania gwarantowanego podyktowane jest zatem zarówno względami technicznymi, jak również ekonomicznymi.

3. ODBIORNIKI O ZNACZENIU STRATEGICZNYM

Odbiornikami o znaczeniu strategicznym (priorytetowym) są urządzenia i systemy, w których niewłaściwa jakość energii bądź przerwy w zasilaniu elektrycznym (a zatem w ich prawidłowej pracy) pociągają za sobą znaczne koszty ekonomiczne, stwarzają zagrożenie dla bezpieczeństwa, zdrowia lub życia człowieka, związane są z utratą przetwarzanych informacji i danych albo w jakikolwiek inny sposób są szczególnie uciążliwe dla użytkownika. Kwalifikacja urządzeń i systemów jako odbiorników o znaczeniu strategicznym jest decyzją subiektywną, zależy od ustalonych przez użytkownika priorytetów.

Powszechnie jako odbiorniki o znaczeniu strategicznym traktowane są sieci komputerowe, centra przetwarzania danych, systemy zarządzania procesami technologicznymi, linie produkcyjne, w których powstające przestoje są szczególnie kosztowne dla firm czy urządzenia i systemy związane z bezpośrednim oddziaływaniem na organizm człowieka (np. podtrzymujące funkcje życiowe) lub w których nieprzewidziane przerwy w zasilaniu mogą doprowadzić do eliminacji możliwości dalszego ich użytkowania (do ich uszkodzenia). Z uwagi na znaczenie ich prawidłowej, niezakłóconej pracy priorytetowym zagadnieniem jest pewność dostarczania do nich energii o właściwych parametrach [2, 3].

4. PRACA RÓWNOLEGŁA UPS

Przy wzroście mocy zapotrzebowanej przez odbiorniki rozbudowa systemu zasilania polega na wymianie zasilacza UPS na jednostkę o większej mocy (dostosowanej do nowych warunków obciążenia). Korzystniejszym rozwiązaniem w takiej sytuacji jest równoległe załączenie dodatkowych zasilaczy (bądź modułów) UPS i uzyskanie dzięki temu wyższej mocy wyjściowej, dostarczanej do chronionych odbiorników. Należy jednak pamiętać, że możliwe jest to przy właściwym doborze i wysterowaniu łączonych równolegle urządzeń lub modułów.

UPS jest skomplikowanym urządzeniem i zawsze należy liczyć się z tym, że istnieje możliwość wystąpienia uszkodzenia któregoś z podzespołów, co doprowadzić może do powstania przerwy w zasilaniu, a w konsekwencji do utraty danych bądź przestoju w pracy chronionych układów. W celu ograniczenia możliwości wystąpienia awarii systemu zasilania gwarantowanego stosuje się zwielokrotnienie układów krytycznych lub ich elementów, aby powstała w efekcie struktura zasilania zapewniła osiągnięcie zakładanego poziomu niezawodności. Ta nadmiarowość, nazywana redundancją, polega na wprowadzeniu elementów nadmiarowych (zapasowych) w stosunku do tego, co jest wymagane, aby w przypadku wystąpienia awarii określonych układów wykorzystać elementy nadmiarowe i uzyskać nieprzerwaną, prawidłową pracę rozpatrywanego systemu.

Z przedstawionych dotychczas rozważań wynika zatem, że równoległe łączenie układów zasilania gwarantowanego stosowane może być w celu osiągnięcia:

- zwiększenia obciążalności układu zasilania rezerwowego (zwielokrotnienia mocy załączonych urządzeń o znaczeniu krytycznym),
- zwiększenia poziomu niezawodności (pewności działania) systemu zasilania.

5. UKŁADY REDUNDANTNE

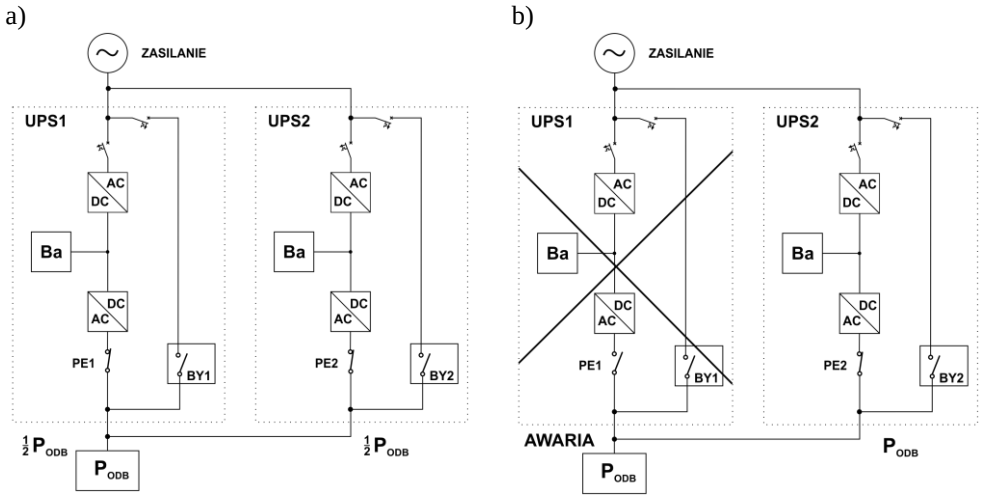
W wielu przypadkach moc układu zasilania gwarantowanego jest dobierana do mocy chronionych odbiorników i jest nieznacznie wyższa od ich mocy w celu uzyskania pewności zasilania nawet podczas chwilowych niewielkich przeciążeń układu odbiorczego. Jest to tzw. konfiguracja wydajnościowa, oznaczana jako „N” (o liczbie zasilaczy wynikającej z pełnego pokrycia zapotrzebowanej mocy – bez nadmiarowości) – prosta, o relatywnie niskich kosztach, optymalna energetycznie z uwagi na dopasowanie do mocy odbiorników. Jej podstawową wadą jest niska

niezawodność. Gdy nastąpi awaria systemu UPS, pewność zasilania odbiorników strategicznych ograniczona zostaje do poziomu niezawodności oferowanego przez sieć elektroenergetyczną. Podobnie przełączenie na bypass serwisowy (np. w celach konserwacji) eliminuje ochronę zabezpieczanych odbiorników. Konfigurację tę można traktować jako minimalne wymaganie w celu zapewnienia ochrony obciążeń o znaczeniu priorytetowym [2, 5-10].

Jednym z elementarnych wyznaczników doboru systemów zasilania gwarantowanego jest pożądana niezawodność układu. W przypadku systemów, w których nawet krótkotrwałe przestoje w ich pracy pociągają za sobą poważne skutki w postaci znacznych strat finansowych bądź gdzie utrata (i brak możliwości odzyskania) przetwarzanych danych stanowią egzystencjalny problem dla firmy, należy wziąć pod uwagę konieczność zwiększenia ich bezpieczeństwa, a zatem wzrostu ich poziomu niezawodności poprzez wprowadzenie nadmiarowości elementów (redundancji) i eliminację tzw. pojedynczych punktów awarii. Wybór optymalnego rozwiązania polega wówczas zawsze na kompromisie pomiędzy wymaganą niezawodnością a ponoszonymi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi. W systemach redundantnych w zależności od sposobu współpracy i stopnia zwielokrotnienia zasilaczy UPS wyróżnia się najczęściej rozwiązania: szeregowe, równoległe, zwielokrotnienie systemów, mieszane bądź rozproszone [5-10].

A) Układ zasilania redundantny równoległy (nazywany również systemem z redundancją czynną), o konfiguracji (N+1) – nadmiarowy UPS włączony jest (pracuje) równolegle (rys. 1a) przejmując część obciążenia systemu (częściowo odciąża zasilacze, które normalnie pokrywałyby zapotrzebowaną moc). W sytuacji powstania awarii jednego z zasilaczy zostaje on automatycznie odłączony (rys. 1b), natomiast pozostałe (wraz z nadmiarowym) bezprzerwowo przejmują obciążenie, zapewniając nadal pełne pokrycie zapotrzebowanej mocy. Fizycznie może to być zrealizowane przez równoległe połączenie klasycznych UPS-ów lub z wykorzystaniem systemów modułowych.

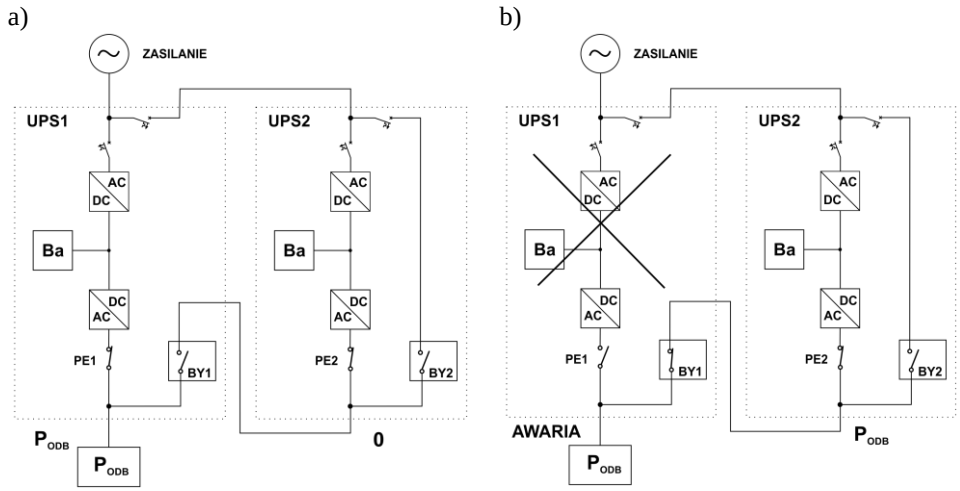
Zaletami tego wariantu układu są: całkowicie bezprzerwowe zasilanie odbiorników (nie ma zwłoki czasowej, wynikającej z przełączania UPS-ów), możliwość rozbudowy systemu zarówno w zakresie wydajności, jak również niezawodności, wydłużenie żywotności podzespołów w wyniku ich mniejszego obciążania oraz akumulatorów przez korzystniejsze warunki ich pracy w trybie buforowym (gdy każda z jednostek posiada własne akumulatory), a także możliwość bezprzerwowego serwisowania. Niekorzystnymi natomiast są fakty, że możliwa jest współpraca tylko takich samych UPS-ów, jest to rozwiązanie bardziej skomplikowane technicznie (gdzie konieczne jest spełnienie specyficznych warunków współpracy UPS-ów) oraz że maleje sprawność systemu z uwagi na normalną pracę przy częściowym obciążeniu [5-10].



Rys. 1. Układ zasilania gwarantowanego redundantny równoległy (1+1)
a) normalna praca systemu, b) praca systemu w przypadku awarii jednego z zasilaczy UPS

B) Układ zasilania redundantny szeregowy (nazywany również systemem z przełącznikiem statycznym, redundantnym izolowanym lub z redundancją bierną), o konfiguracji (N+1) – zasilanie odbiorników o znaczeniu strategicznym odbywa się w pełni przez UPS główny (podstawowy), natomiast nadmiarowy UPS włączony jest (rys. 2a) w statyczny tor obejściowy zasilacza głównego (nie jest obciążony). Podczas awarii UPS głównego następuje jego odłączenie, przełączenie obciążenia na statyczny tor obejściowy i zasilacz nadmiarowy w pełni przejmuje obciążenie (rys. 2b). Zasilacze UPS nie muszą mieć takich samych parametrów, ale każdy z nich musi samodzielnie całkowicie pokryć zapotrzebowaną moc; rozwiązanie to nazywane jest także pracą w „gorącej rezerwie" [5-10].

Zaletami przedstawionej konfiguracji są: możliwość wykorzystania różnych UPS (nawet różnych producentów i o różnej wydajności), większa sprawność systemu z uwagi na pełne obciążenie pracującego UPS-a, brak konieczności synchronizacji pracujących jednostek, możliwość wprowadzenia nadmiarowości (przez dołożenie dodatkowego UPS-a) w systemie, który jej wcześniej nie miał. Wśród wad tego rozwiązania można wymienić konieczność zapewnienia wytrzymałości UPS-a nadmiarowego na nagły skok obciążenia w chwili przełączania się modułu głównego na tor obejściowy (z nagłymi stanami łączeniowymi przy pełnym obciążeniu układu związana jest większa jego podatność na wystąpienie usterek), możliwość powstania krótkiej (kilka ms) przerwy w zasilaniu odbiorników podczas awarii UPS-a głównego bądź prac serwisowych (wynikającej z czasu przełączenia na UPS nadmiarowy), jak również powstanie dodatkowych kosztów związanych z pracą w stanie jałowym UPS-a nadmiarowego (stan gotowości do pracy).



Rys. 2. Układ zasilania gwarantowanego redundantny szeregowy (izolowany) (1+1)
a) normalna praca systemu, b) praca systemu w przypadku awarii jednego z zasilaczy UPS

Liczba nadmiarowych jednostek UPS może być większa niż 1, uzyskuje się wówczas wyższą niezawodność systemu (np. systemy redundantne N+2, N+3), ale rosną w takim przypadku koszty jego budowy i eksploatacji. Realizowane są również bardziej zaawansowane i skomplikowane systemy redundantne (struktury system + system czy układy z redundancją rozproszoną), w których osiąga się jeszcze wyższe poziomy niezawodności, lecz odbywa się to w bardziej rozbudowanych sieciach zasilających, kosztem kolejnych znacznych nakładów finansowych [5-10].

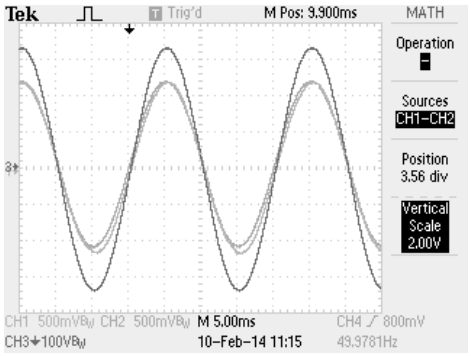
6. WYNIKI BADAŃ I ANALIZ

Urządzeniami badanymi były UPS EVER POWERLINE GREEN 33, zasilane trójfazowo z sieci rozdzielczej nn oraz mające na wyjściu napięcia trójfazowe. Wyjściowa moc pozorna każdego z zasilaczy wynosi 20 kVA, natomiast moc czynna 16 kW. W urządzeniach tych, poza licznymi dodatkowymi funkcjonalnościami (jak np. kompensacja mocy biernej oraz dodatkowy tryb pracy hybrydowej), wprowadzono możliwość realizacji pracy równoległej – w zależności od potrzeb w celu uzyskania większej niezawodności systemu (redundancji) bądź zwiększenia obciążalności układu zasilania.

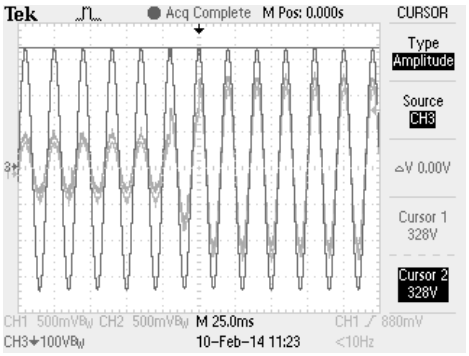
W przypadku elementów zasilających pracujących równolegle konieczny jest precyzyjny dobór parametrów łączonych elementów oraz synchronizacja wytwarzanych napięć, co w konsekwencji

powinno prowadzić do równomierności obciążenia łączonych źródeł. Z tego względu przeprowadzono badania napięcia w układzie równoległym dwóch UPS EVER POWERLINE GREEN 33 oraz prądów pobieranych z każdego z nich przez załączony odbiornik. Wyniki pomiarów zamieszczono na rys. 3. Z uwagi na fakt, że prądy obu UPS pokrywały się, w trakcie prezentacji na oscyloskopie i rejestracji przesunięto nieznacznie w pionie ich przebiegi.

W celu dokonania bardziej szczegółowej analizy pracy równoległej rozważanych UPS zarejestrowano przebiegi napięcia oraz prądów obu zasilaczy w stanie dynamicznej (skokowej) zmiany obciążenia (rys. 4). Nawet w tych stanach przejściowych następowało równomierne obciążenie obu UPS, a napięcie wyjściowe utrzymywało się na niezmienionym poziomie (było stabilne).



Rys. 3. Wyniki badań napięcia i prądów w układzie dwóch równolegle połączonych UPS



Rys. 4. Sygnały napięcia i prądów UPS w czasie dynamicznej zmiany obciążenia

7. UWAGI PODSUMOWUJĄCE I WNIOSKI

Systemy zasilania gwarantowanego w wielu przypadkach są ważnymi elementami układu zasilania, umożliwiającymi osiągnięcie prawidłowego funkcjonowania zabezpieczanych odbiorników nawet w sytuacjach braku zasilania bądź nieprawidłowych parametrów napięcia sieciowego.

Dzięki wprowadzaniu dodatkowych zasilaczy UPS można osiągać dużą łatwość dostosowania zasilania rezerwowego do rosnącego zapotrzebowania energetycznego urządzeń odbiorczych o znaczeniu strategicznym (skalowalność systemu), jak również dużą elastyczność w kształtowaniu poziomu niezawodności (bezpieczeństwa) rozważanych systemów (ich redundancji).

Brak wykorzystania zasilaczy bezprzerwowych UPS w systemach zasilania odbiorników o znaczeniu priorytetowym (szczególnie wrażliwych na oddziaływania zaburzeń i nieprawidłowości napięcia zasilającego) może doprowadzić do poważnych konsekwencji w postaci zakłócenia poprawnego funkcjonowania podzespołów elektrycznych lub elektronicznych, uszkodzeń bądź zmiany parametrów technicznych oraz sprawności odbiorników, powstawania kosztownych przestojów w pracy urządzeń, przyspieszonego starzenia się osprzętu, utraty przetwarzanych informacji, powstawania dodatkowych strat mocy, uniemożliwienia prawidłowego funkcjonowania systemów grzewczych, utraty możliwości skorzystania z urządzeń kontroli dostępu, itp.

LITERATURA

[1] Bednarek K., Jakość, pewność i właściwa konstrukcja układu zasilania a bezpieczeństwo urządzeń elektrycznych, Elektro.info, nr 12, 2012.

[2] Bednarek K., Systemy zasilania gwarantowanego UPS – nowatorskie własności funkcjonalne oraz superkondensatorowe zasobniki energii, Forum Informatyki w Bankowości – Trendy informatyczne w bankowości spółdzielczej, Warszawa, marzec 2013, s. 69-80.

[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, No 12b, 2012, s. 236-239.

[4] Wiatr J., Miegoń M., Zasilacze UPS oraz baterie akumulatorów w układach zasilania gwarantowanego, seria Zeszyty dla elektryków, nr 4, DW MEDIUM, Warszawa, 2008.

[5] Miegoń M., Układy zasilania gwarantowanego, Elektro.info, nr 6, 2009.

[6] McCarthy K., Porównanie konfiguracji systemów zasilaczy UPS, WP75, American Power Conversion, 2004.
[7] Januszewski S., Świątek H., Zymmer K., Przyrządy energoelektroniczne i ich zastosowania. Zarys encyklopedyczny, Wydawnictwo Książkowe Instytutu Elektrotechniki, Warszawa 2008.
[8] Sosnowski J., Testowanie i niezawodność systemów komputerowych, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2005.
[9] Kuczyński K., Nadmiarowość w systemach zasilania rezerwowego, Elektro.info, nr 4, 2011.
[10] http://www.ever.eu/ [dostęp 2014.01.20]

RELIABILITY LEVEL VERSUS LOAD-CARRYING CAPACITY OF THE UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEMS (UPS)

The paper deals with the UPS guaranteed power supply systems. Possible satisfying the growing power demand (resulting from the development of power receiving infrastructure) and assurance of required reliability of power supply to the receivers of priority meaning are considered. Operational properties of UPS basic redundant structures are described. Results of the studies carried out for the UPS EVER POWERLINE GREEN 33 are presented and commented.

Opublikowane: ***Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical engineering, No 78, Poznań 2014, p. 255-262***