



prawidłowy dobór zespołu agregat prądotwórczy – UPS

warunek niezawodności zasilania gwarantowanego

Jacek Katarzyński – Delta Power Sp. z o.o.

W ciągu ostatnich 10 lat coraz częściej stosuje się zasilacze UPS jako podstawowe źródło zasilania bezprzerwowego, a ich bezawaryjna praca eliminuje problem ciągłości dostaw energii elektrycznej. W przypadku zakłóceń w dostawie energii elektrycznej, zasilacz UPS przez określony czas podtrzymuje zasilanie odbiorników, korzystając z energii zgromadzonej w baterii akumulatorów. Zasób tej energii jest jednak w sposób oczywisty ograniczony i ze względu na nieokreślony moment powrotu zasilania z sieci energetycznej konieczne jest stosowanie zespołów prądotwórczych jako awaryjnego źródła zasilania łączanego przez układ automatyki SZR sieć/zespół prądotwórczy. W artykule zostaną przedstawione najczęstsze problemy z jakimi spotykają się użytkownicy eksploatujący współpracujące ze sobą zasilacze UPS i zespoły prądotwórcze. Wyjaśnione zostaną również zasady ich doboru do pracy w tandemie.

Eksploatacja zasilacza UPS i zespołu prądotwórczego pracujących osobno na konkretną grupę odbiorców na ogół nie niesie ze sobą zbyt wielu problemów, a jeżeli już, to problemy te można stosunkowo łatwo rozpoznać, nazwać i rozwiązać. Są one związane głównie z przeciążeniem, zakłóceniami albo awarią urządzeń zasilających. Jeśli jednak urządzenia te pracują razem (agregat zasila UPS), to w połączeniu ze sobą dość często zdarzają się problemy, które często trudno zidentyfikować. Zdarza się, że zasilacz UPS po przyłączeniu do niego napięcia z zespołu prądotwórczego nie chce z nim współpracować albo zespół prądotwórczy po podłączeniu do niego UPS-a zatrzymuje się

z bliżej nieokreślonych przyczyn. Jest to źródłem wielu kłopotów, a rozwiązanie najczęściej okazuje się trudne i przede wszystkim kosztowne.

Moc zespołu prądotwórczego musi być nie mniejsza niż moc przyłączonych do niego odbiorów. W praktyce jednak dobiera się zespoły z nadwyżką mocy w stosunku do odbiorów. Dopasowanie mocy zespołu do mocy odbiorów w stosunku 1:1 jest ryzykowne i nie gwarantuje poprawności pracy zespołu prądotwórczego, choć przy odpowiednim doborze urządzeń jest możliwe. Moc zespołu prądotwórczego zasilającego zasilacz UPS oraz inne odbiory można wyznaczyć ze wzoru:

$$P_{nG} \geq k \cdot P_{nUPS} + P_{nodb.}$$

gdzie:

P_{nG} – moc czynna znamionowa zespołu prądotwórczego w trybie ciągłym,

P_{nUPS} – moc czynna znamionowa zasilacza UPS,

$P_{nodb.}$ – suma mocy czynnej pozostałych odbiorników (w tym silniki elektryczne w rozruchu bezpośrednim, jeśli ich moc nie przekracza 10% P_{nG}),

k – współczynnik przewymiarowania zespołu w stosunku do mocy zasilacza UPS (w praktyce $k=1 \div 1,7$).

Poniżej przedstawiono parametry zasilacza UPS, które są istotne dla prawidłowej pracy agregatu oraz jego parametry, które są istotne dla prawidłowej pracy zasilacza UPS. Odpowiedź na pytanie, o ile większy powinien być zespół prądotwórczy w stosunku do mocy zasilacza UPS jest możliwa po ich rozpatrzeniu. Z punktu widzenia zasilacza UPS napięcie z zespołu prądotwórczego powinno spełniać następujące wymagania:

- **stabilność napięcia generatora** (tolerancja napięcia) powinna być lep-

sza od tolerancji napięcia na wejściu prostownika zasilacza UPS. Dotyczy to szczególnie stanów nieustalonych, czyli zachowania się napięcia generatora przy skokowym załączeniu obciążenia. Stabilność napięcia generatora zależy od dwóch czynników, tj. od parametrów generatora oraz jego układu wzbudzenia i regulacji napięcia. Załączenie obciążenia na generator skutkuje spadkiem napięcia, które regulator napięcia w czasie liczonego w setkach milisekund wyrównuje do wartości zadanej. Od jakości i szybkości regulatora napięcia oraz od parametrów generatora (X_d'' , stała czasowa maszyny, inne) zależy proces odbudowy napięcia generatora. Im stabilniejsze obroty silnika, tym lepsze warunki regulacji napięcia i krótszy czas regulacji. W trakcie stabilnych warunków pracy regulator napięcia powinien gwarantować stabilność napięcia generatora na poziomie 0,5-1% U_{nG} przy zachowaniu stabilności częstotliwości w granicach od -2 do 5%, zgodnie z zaleceniami producentów generatorów.

- **stabilność częstotliwości napięcia generatora** (tolerancja częstotliwości/stabilność obrotów silnika) powinna być lepsza od tolerancji częstotliwości na wejściu prostownika zasilacza UPS. Załączenie obciążenia na pracujący agregat prądotwórczy powoduje wzrost momentu oporowego na wale silnika i spadek obrotów. Od regulatora obrotów i samego silnika zależy wielkość spadku obrotów oraz czas regulacji obrotów do wartości zadanej. Właściwym regulatorem obrotów, gwarantującym poprawną pracę zasilacza

UPS, jest regulator elektroniczny prędkości obrotowej, który reaguje o wiele szybciej niż regulator mechaniczny i ma większą dokładność regulacji. Ważne jest również to, że regulator elektroniczny w całym zakresie obciążenia stabilizuje obroty na stałym poziomie, co oznacza taką samą wartość częstotliwości zarówno na biegu jałowym, jak i przy 100% obciążeniu. W przypadku regulatora mechanicznego nie da się ustawić $ch-k$ $n=f(P)$ jako $ch-k$ statycznej, lecz jest to $ch-k$ opadająca (astatyczna). Zespoły prądotwórcze na biegu jałowym z mechanicznym regulatorem obrotów przeciętnie wytwarzają napięcie o częstotliwości ok. 52,5 Hz, a dla obciążenia znamionowego ok. 49,5 Hz,

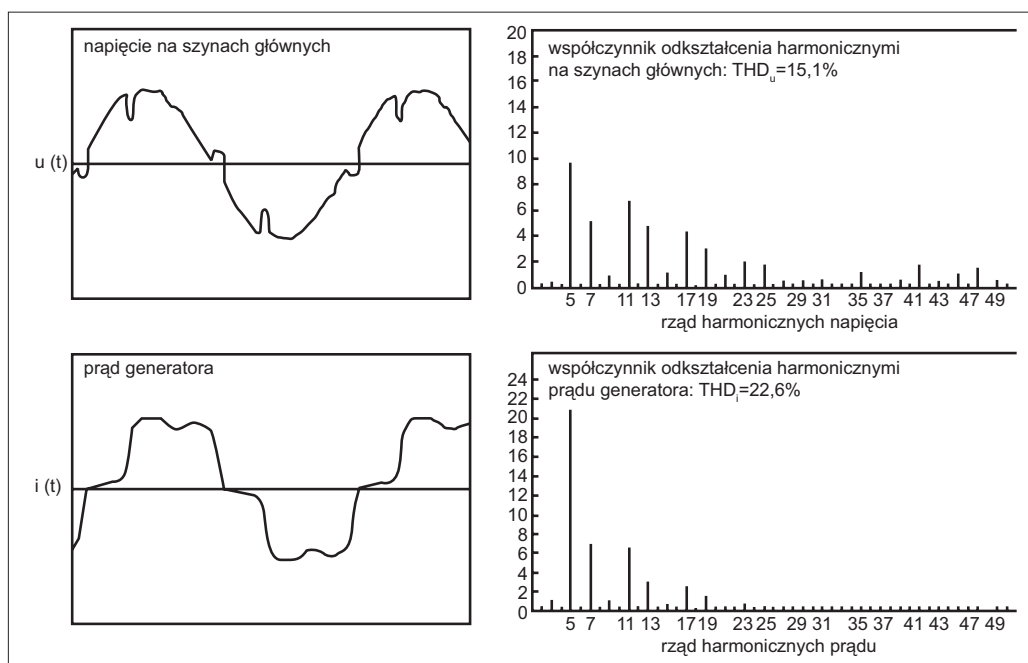
- **zawartość harmonicznych napięcia generatora THDu** powinna być możliwie jak najmniejsza. Obecnie produkowane alternatory mają wartość THDu na poziomie 2-3% na biegu jałowym. Jednak pod wpływem odkształconego prądu obciążenia wartość THDu rośnie, co skutkuje odkształceniem przebiegu napięcia generatora (rys. 1.). Jeżeli odkształcenie napięcia generatora, czyli wartość THDu, wzrośnie powyżej pewnej wartości, to w skrajnym przypadku automatyka zatrzyma zespół prądotwórczy lub zasilacz UPS odłączy się od napięcia agregatu traktując je jako napięcie poza tolerancją i przejdzie w tryb pracy z baterii. Niektóre odbiory są bardzo czułe na odkształcone napięcie, co skutkuje ich nieprawidłową pracą, blokadą lub resetem. Dotyczy to w szczególności urządzeń medycznych, automatyki przemysłowej, urządzeń pomia-

rowych, linii produkcyjnych sterowanych elektronicznie,

- **czas regulacji napięcia alternatora po zakłóceniu dynamicznym** powinien być nie większy niż 0,5s. Czas regulacji napięcia nie powinien przekraczać 0,5 sekundy, jeżeli zespół ma zasilać „czułe” odbiory w zmiennych warunkach obciążenia. Czas rzędu 0,5 sekundy z punktu widzenia zasilacza UPS jest długim czasem, w którym napięcie generatora może wyjść poza granicę tolerancji prostownika UPS, jednak im regulator szybszy, tym mniejszy jest uchyb napięcia po zakłóceniu i większe prawdopodobieństwo, że prostownik UPS nie odłączy się od napięcia generatora, tzn. UPS będzie pracował zasilany przez zespół, bez przechodzenia w tryb bateryjny.

Tak jak jakość napięcia zasilającego generatora ma wpływ na pracę zasilacza UPS, również jakość poboru energii przez zasilacz UPS z zespołu prądowłórczego ma wpływ na pracę zespołu. Urządzenia oddziałują na siebie wzajemnie. Dla zespołu istotne jest, aby UPS pobierał energię w taki sposób, by nie powodowało to zakłóceń uniemożliwiających pracę zespołu. Główne cechy i parametry zasilacza, które decydują o prawidłowej pracy zespołu prądowłórczego to:

- **regulowalny soft-start prostownika UPS.** W przypadku porównywalnej mocy zasilacza UPS oraz zespołu prądowłórczego istnieje ryzyko chwilowego przeciążenia zespołu, wynikające ze skokowego przyłączenia prostownika UPS, szczególnie w przypadku, gdy UPS jest obciążony znamionowo lub blisko tej wartości. Zespół jest w stanie oddawać nawet 110% mocy znamionowej w trybie pracy dorywczej, jednak moc ta nie może być załączona skokowo. Ze względu na możliwości silnika przyjmuje się za bezpieczne skokowe załączenie obciążenia o wartości 50-60% mocy znamionowej zespołu, ponieważ powyżej tej mocy istnieje możliwość zmiany parametrów napięcia alternatora poza granicę tolerancji ustawionej w panelu automatyki, co prowadzi do całko-



Rys. 1. Przebieg napięcia odkształconego generatora na szynach rozdzielni pod wpływem odkształconego prądu wraz z rozkładem harmonicznych (za internetowym artykułem prof. dr. hab. inż. Janusza Mindykowskiego „Dlaczego problem jakości energii elektrycznej w systemach okrętowych zasługuje na szczególną uwagę?”)

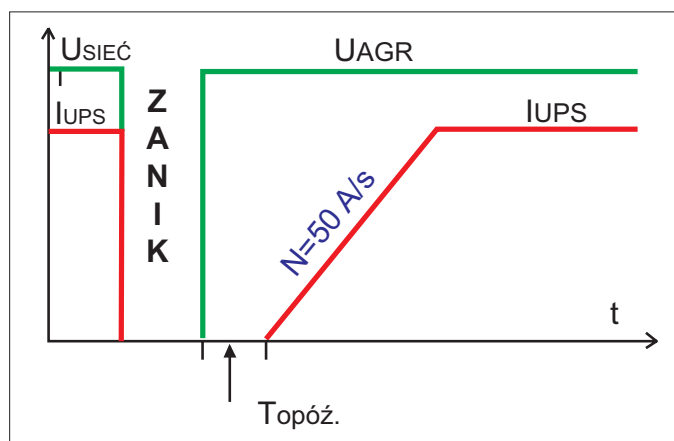
witego zatrzymania silnika. Na **rysunku 2.** przedstawiono działanie softstartu prostownika UPS-a z możliwością regulacji czasu zwłoki uruchomienia prostownika po pojawieniu się napięcia zespołu prądowłórczego oraz regulacji zbocza narastania prądu prostownika w czasie jego rozruchu. Parametry softstartu prostownika można dopasować tak, że przy odpowiednim doborze prądniccy i silnika zespołu prądowłórczego można dobrać zespół oraz zasilacz UPS w stosunku mocy 1:1.

- **zawartość harmonicznych prądu THDi** pobieranego przez prostownik UPS musi być odpowiednio niska. Inaczej konieczne będzie przewymiarowanie zespołu względem UPS-a, a koszt inwestycyjny wynikający z zakupu zespołu prądowłórczego o większej mocy może znacznie przekroczyć dopłatę za UPS-a z prostownikiem w pełni sterownym, zbudowanym na bazie tranzystorów IGBT. Na **rysunku 3.** przedstawiono klasyczny przykład napięcia i prądu na wejściu prostownika UPS z $THDi < 3\%$ (prostownik IGBT). Należy pamiętać, że prostowniki tyrystorowe trójfazowe odkształcają prąd wprowadzając harmoniczne do sieci/

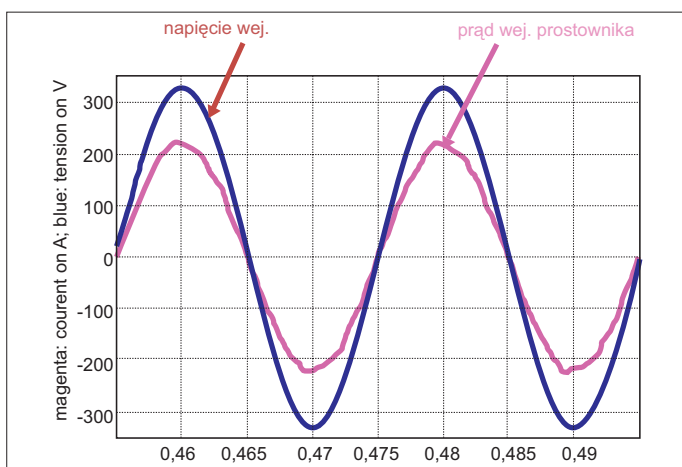
zespołu na poziomie 40%, a filtry pasywne, które są na ogół w opcji, działają najlepiej przy obciążeniu znamionowym UPS-a, a takie obciążenie zdarza się niezwykle rzadko. Im większe THDi prądu pobieranego przez prostownik UPS-a z zespołu prądowłórczego, tym większa konieczność przewymiarowania zespołu prądowłórczego. Dla 6-pulsowych, tyrystorowych mostków prostowniczych zachodzi konieczność przewymiarowania zespołu nawet o 70%.

- **korekcja współczynnika mocy prostownika UPS-a** ograniczająca pobór energii biernej z zespołu decyduje o parametrze, jakim jest $\cos\phi$ –

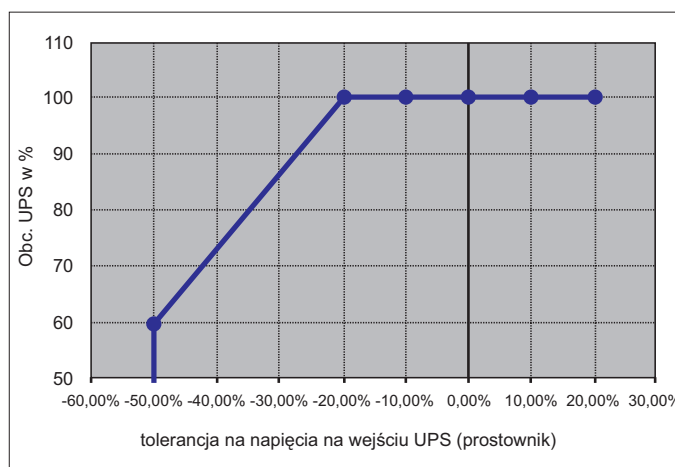
wej. Prostowniki w pełni sterowane mają tę zaletę, że pobierają praktycznie tylko moc czynną, mimo że odbiorniki zasilane z UPS-a pobierają z niego energię czynną i bierną. Dzięki temu prąd pozorny na wejściu prostownika ograniczony jest do składowej czynnej prądu. Na **rysunku 3.** widać brak przesunięcia fazowego między napięciem i prądem prostownika na jego wejściu. Dla zespołu prądowłórczego optymalnym obciążeniem jest odbiornik typu rezystancyjnego, co w praktyce oznacza brak przesunięcia fazowego między napięciem i pobieranym prądem i sinusoidalny pobór prądu



Rys. 2. Ch-ka softstartu prostownika UPS-a o mocy 400kVA produkcji Socomec



Rys. 3. Przebieg prądu i napięcia na wejściu prostownika IGBT zasilacza UPS produkcji Socomec



Rys. 4. Tolerancja napięcia prostownika UPS produkcji Socomec w funkcji obciążenia

ze źródła, czyli z generatora. W pełni sterowalny prostownik IGBT jest takim właśnie odbiornikiem dla zespołu.

■ **tolerancja napięcia wejściowego UPS** zależy od technologii prostownika i jego nadwyżki mocy w stosunku do mocy falownika. Ostatnio coraz częściej prostowniki UPS-a posiadają możliwość zwiększania tolerancji napięcia wejściowego w funkcji prądu obciążenia (rys. 4). Większa tolerancja napięcia wejściowego, a szczególnie większa tolerancja na obniżone napięcie zasilające, to gwarancja nieprzerwanej pracy prostownika bez przechodzenia UPS w tryb bateryjny. Zasilacze UPS nigdy nie są obciążone w 100%, a w związku z tym zakres tolerancji zwiększa się, im mniejsze jest obciążenie UPS-a. Efekt jest znakomity w instalacjach zasilanych przez starsze technologicznie zespoły, kiedy spadki napięcia przy dynamicz-

nych zmianach obciążenia dochodzą do 30% i więcej.

■ **czas autonomii** (praca z baterii) decyduje o zasilaniu bezprzerwowym pod warunkiem, że w trakcie tego czasu zespół prądotwórczy uruchomi się lub zostanie uruchomiony, a układ SZR poda napięcie na zasilacz UPS. Należy tu zaznaczyć, że czas pełnego cyklu rozruchowego zespołu powinien uwzględniać nieudany start i opóźnione załączenie prostownika UPS na zespół prądotwórczy. Zbyt krótkie czasy podtrzymania (rzędu 5 minut) mogą okazać się za krótkie, szczególnie w przypadku następujących po sobie kilku wyłączeń napięcia z sieci zawodowej. Czas na rozruch zespołu oraz czas przyłączenia napięcia do UPS-a może się wahać od 0,5 minuty do kilku minut, a przy częstych zanikach napięcia sieci UPS nie jest w stanie w krótkim czasie naładować baterii, która jest gwarantem

beprzerwowej pracy UPS-a, jeśli jest naładowana.

wnioski

Problematyka współpracy dwóch różnych technologicznie urządzeń, jakimi są zespół prądotwórczy i zasilacz UPS, jest złożona i wymaga od inżynierów zarówno wiedzy, jak i doświadczenia, zwłaszcza kiedy dochodzi do niepokojących zjawisk przy współpracy tych urządzeń. Testowanie tandemu zespół prądotwórczy – zasilacz UPS w czasie uruchomienia nie daje gwarancji, że nie pojawią się problemy eksploatacyjne w przyszłości, kiedy UPS zostanie obciążony rzeczywistymi odbiorami lub obciążenie wzrośnie na skutek przewidywanego wcześniej rozwoju użytkownika pod względem mocy przyłączanych odbiorników. Wtedy właśnie najczęściej zaczynają się prawdziwe kłopoty.

Niestety nie ma prostych i łatwych rozwiązań w takich sytuacjach. Wymiana urządzeń na większe lub inne technologicznie wiąże się z ogromnymi kosztami i ewentualną stratą wynikającą z zakupu niewłaściwego urządzenia. Użytkownik nie musi wiedzieć wszystkiego o doborze urządzeń, dlatego odpowiedzialność za zakup zespołu prądotwórczego i współpracującego z nim zasilacza UPS powinna leżeć po stronie dostawcy urządzeń, a jeżeli dostawców jest dwóch (jeden dostawca dostarcza zespół prądotwórczy, drugi zasilacz UPS) to koniecznym jest ustalenie warunków pracy i parametrów współpracujących urzą-

żeń tak, aby użytkownik miał gwarancję poprawności pracy tandemu. Przy zakupie tego typu urządzeń nieoceniona jest wiedza i doświadczenie projektanta, który bazując na istniejących rozwiązaniach dość często dobiera urządzenia bez znajomości oddziaływania urządzeń na siebie. Co więcej, prawidłowy dobór urządzeń pod względem mocy nie gwarantuje poprawności współdziałania zespołu prądotwórczego z UPS-em ze względu na parametry i warunki, jakie muszą być spełnione.

Od 14 lat firma Delta Power zajmuje się zasilaniem awaryjnym oraz dobiera zespoły prądotwórcze i zasilacze UPS, kierując się optymalizacją kosztów, jednocześnie dając gwarancję prawidłowej współpracy tych urządzeń. Doświadczenie inżynierów Delta Power wynika z liczby zamontowanego sprzętu i komplikacji konfiguracyjnej instalowanych urządzeń, a współpraca z takimi dostawcami jak Socomec i VISA to gwarancja niezawodności i jakości uruchamianych systemów.

reklama



Delta Power Sp. z o.o.
02-849 Warszawa
ul. Krasnowolska 82R
tel. 022 379 17 00
faks 022 379 17 01
biuro.warszawa@deltapower.pl
www.deltapower.pl

od redakcji

Przedstawiona w artykule wartość współczynnika $k=1-1,7$ jest powszechnie stosowana w praktyce. Przedział, z którego współczynnik jest przyjmowany, jest dość duży i poprawne przyjęcie jego określonej wartości wymaga dużego doświadczenia od projektanta. Szczegółowe zasady doboru mocy zespołu prądotwórczego pracującego w układach zasilania awaryjnego znajdują Czytelnicy w książce „Zespoły prądotwórcze w układach awaryjnego zasilania obiektów budowlanych” autorstwa Juliana Wiatra, wydanie 2., oraz w „Poradniku projektanta systemów zasilania awaryjnego i gwarantowanego” opracowanego przez zespół autorski pod redakcją Juliana Wiatra, wydanie 2009.

Redakcja