



rozruch silników asynchronicznych

zasilanych z zespołów prądowców i ich dobór

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

W artykule omówiono problemy eksploatacyjne występujące w czasie rozruchów silników elektrycznych zasilanych z generatora zespołu prądowcowego oraz zasady doboru mocy zespołu prądowcowego przeznaczonego do zasilania silników elektrycznych asynchronicznych w zależności od ich sposobu rozruchu. Stosowanie zespołów prądowcowych jako awaryjnego źródła zasilania niesie ze sobą ryzyko nieprawidłowej ich współpracy z silnikami elektrycznymi w momencie krytycznym dla obiektu, czyli podczas zaniku zasilania podstawowego. Nieprawidłowy dobór zespołu prądowcowego (moc, stabilność częstotliwości, przeciążalność) do zasilania zespołu silników asynchronicznych lub pojedynczego silnika większej mocy skutkuje problemami eksploatacyjnymi, które nie zawsze można rozwiązać w sposób prosty i tani. W artykule oparto się na doświadczeniu, wiedzy i pomiarach wykonanych przez inżynierów Delta Power.

Powszechnie stosowane sposoby rozruchu w silnikach asynchronicznych to rozruch bezpośredni, rozruch z wykorzystaniem przełącznika gwiazda – trójkąt oraz rozruch z zastosowa-

niem softstartu. Rozruch bezpośredni jest najczęstszym sposobem rozruchu silników asynchronicznych trójfazowych, jednak niesie ze sobą największe ryzyko problemów eksploatacyjnych dla przypadku zasilania z zespołu prądowcowego. W niektórych przypadkach dokonuje się rozruchu bezpośredniego silników o mocy kilkudziesięciu, a nawet powyżej 100kW (silniki napędzające pompy w przepompowniach, pompy ppoż., itp.). Przy doborze zespołów prądowcowych zdarza się, że osoby w dziale technicznym odpowiedzialne za zakupy dobierają zespoły prądowcowe do silników asynchronicznych w rozruchu bezpośrednim stosując zasadę $S_{nc} > P_{ns}$ (moc znamionowa pozorna zespołu prądowcowego większa od mocy czynnej znamionowej silnika elektrycznego). Nawet stosując zasadę $S_{nc} > P_{ns}$ (moc znamionowa czynna zespołu prądowcowego większa od mocy czynnej znamionowej silnika elektrycznego) nie mamy pewności, że rozruch będzie udany. Mamy wręcz pewność, że rozruch takiego silnika będzie nieudany, jeśli moc czynna znamionowa agregatu będzie niewiele większa od mocy czynnej znamionowej silnika elektrycznego.

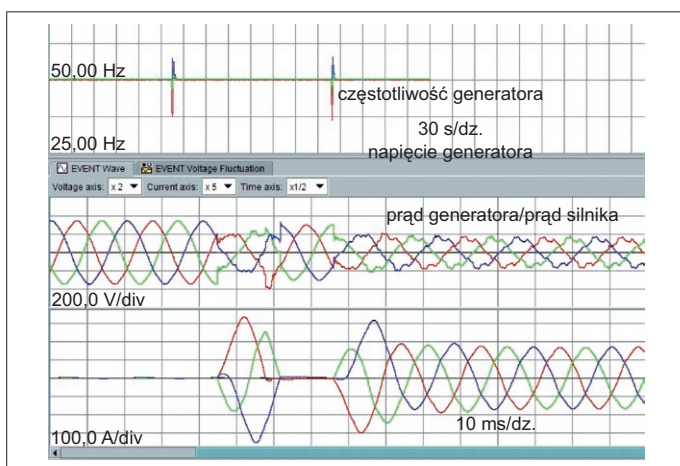
Główną przyczyną jest zwiększony pobór mocy przez silnik w czasie rozruchu, który należy uwzględnić przy doborze mocy zespołu prądowcowego. Na **rysunku 1.** przedstawiono rozruch silnika asynchronicznego klatkowego o mocy 22kW w rozruchu bezpośrednim zasilanego z zespołu prądowcowego o mocy 60kVA z generatorem (prądnicą) Marelli oraz silnikiem John Deere z elektronicznym regulatorem obrotów.

Z przebiegu prądu można odczytać, że prąd w momencie rozruchu osiąga wartość chwilową 330A; $I_{RMS}=233A$, co stanowi $6I_{ns}$. Wartość skuteczna prądu znamionowego prądowcowego zespołu o mocy 60kVA wynosi 86A, co oznacza, że prądnica została przeciążona 2,7 razy. Skutkuje to spadkiem częstotliwości (obrotów silnika) do wartości 37,5Hz czyli o 25% w stosunku do wartości znamionowej, mimo że silnik Diesla wyposażony jest w elektroniczny regulator obrotów. Ten sam problem dotyczy napięcia generatora, którego wartość obniża się drastycznie w czasie rozruchu silnika. W analizowanym przypadku poziom zapadu napięcia wyniósł 61%, co oznacza, że wartość napięcia obniżyła się o 39% w stosunku do wartości znamionowej (napięcie obniżyło się z wartości 230V do 141V – pomiar L1-N). Tak duży zapad napięcia spowodował „odpadnięcie” stycznika i chwilowy (ok. 20ms) zanik napięcia na silniku elektrycznym. Ponowne załączenie stycznika pozwoliło na pełny rozruch, jednak powtarzające się zjawisko odpadania stycznika w czasie rozruchu silnika z pewnością w krótkim czasie doprowadzi do zniszczenia styków stycznika i uniemożliwi rozruch silnika lub jego wyłączenie, a w szczególnym przypadku pracę dwu- lub jedno-fazową silnika. Wymiana cewki stycznika na cewkę o niższym napięciu odpadania lub zastosowanie zasilacza UPS

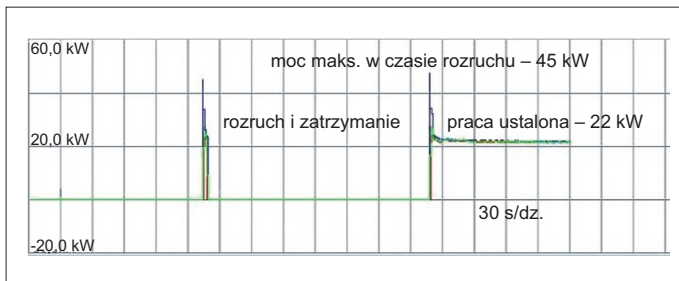
w obwodzie cewki stycznika powinno rozwiązać problem „klapania” stycznika w czasie rozruchu. Niestety obniżenie wartości napięcia prawie o 40% jest zjawiskiem, któremu w tej sytuacji nie można zapobiec, zakładając, że nie można zmienić sposobu rozruchu silnika. Zapad napięcia na skutek rozruchu bezpośredniego będzie miał też swój negatywny wpływ na aparaturę kontrolno-pomiarową (czujnik kontroli napięcia, faz) i inne urządzenia zasilane w tym czasie z zespołu prądowcowego. Istotną jest tu nie tylko wielkość zapadu napięcia zasilającego, ale również zawartość harmonicznych w tym napięciu, co widać wyraźnie na **rysunku 1.** (przebiegi napięcia przed i po załączeniu obciążenia mają zupełnie inny kształt). To właśnie odkształcenie napięcia THDu jest częstym powodem niepoprawnej pracy odbiorów zasilanych takim napięciem. W praktyce tylko elementy grzejne są odporne na tak duże zmiany parametrów napięcia.

Aby prawidłowo dobrać zespół prądowcowy do silnika lub zespołu silników asynchronicznych, należy pamiętać o wpływie prądu rozruchowego na generator (prądnicę) i silnik Diesla. Na **rysunku 2.** przedstawiono oscylogram przebiegu mocy czynnej pobieranej przez silnik klatkowy dla stanu rozruchu i w stanie ustalonym.

Z oscylogramu wynika, że moc czynna pobierana przez 22kW silnik w czasie rozruchu wynosi 45kW, a więc jest tylko dwukrotnie większa od mocy czynnej znamionowej silnika. Prąd rozruchowy silnika, który jest najczęściej sześć razy większy od prądu znamionowego, nie przekłada się na sześciokrotnie większą moc czynną pobieraną w czasie rozruchu. Wynika to z różnej wartości współczynnika mocy dla stanu rozruchu i stanu ustalonego pracy silnika (**rys. 3.**).



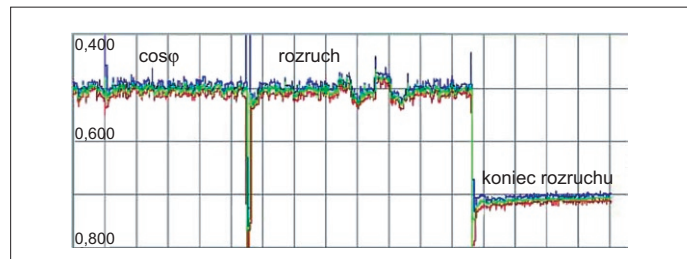
Rys. 1. Oscylogram przebiegu częstotliwości, napięcia i prądu zespołu prądowcowego JD60 o mocy 60kVA w momencie rozruchu bezpośredniego silnika o mocy 22kW



Rys. 2. Oscylogram przebiegu mocy czynnej pobieranej przez silnik o mocy 22 kW

Silnik elektryczny w czasie rozbuchu pobiera relatywnie dużo mocy biernej wytracanej w reaktancji rozproszenia stojana i wirnika. Z tego faktu wynika stosunkowo duża wartość prądu rozruchowego ($I_{rs} = 6 \div 10 I_{ns}$). Rysunek 3. obrazuje zwiększony pobór mocy biernej w stanie rozbuchu bezpośredniego silnika ($\cos\phi$ na poziomie 0,2 w momencie początkowym startu oraz ok. 0,5 w czasie wzrostu prędkości do wartości znamionowej), a zatem silnik elektryczny w stanie rozbuchu obciąża głównie układ wzbudzenia i regulacji napięcia, które odpowiedzialne są za dostarczenie mocy biernej przez stojan generatora (prądnicę) do odbiorów. Moc czynna po-

bierana przez silnik elektryczny obciąża silnik napędowy Diesla poprzez generator (prądnicę) i wytwarzany przez niego moment oporowy na wale. Tak więc silnik napędowy zespołu prądotwórczego odpowiedzialny jest za dostarczanie mocy czynnej do odbiorów poprzez generator (prądnicę). Możliwości silnika Diesla oddawania pełnej mocy czynnej poprzez wał i generator są jednak ograniczone. W czasie prób załączania skokowego obciążenia na zespół prądotwórczy okazuje się, że zdecydowana większość silników Diesla jest w stanie utrzymać obroty w granicach deklarowanej tolerancji po załączeniu skokowym obciążenia na poziomie nie większym niż



Rys. 3. Oscylogram prezentujący zmiany współczynnika mocy silnika o mocy 22 kW w trakcie i po rozbuchu

60%. Producenci silników nie kryją tego faktu i deklarują takie właściwości produkowanych silników, jednak te parametry na ogół nie są prezentowane w kartach katalogowych producentów agregatów prądotwórczych.

Przedstawione oscylogramy oraz właściwości silników Diesla, dają podstawę do wyznaczenia empirycznego wzoru, który z przybliżeniem określa zależność doboru zespołu prądotwórczego do silnika elektrycznego w rozbuchu bezpośrednim formułowanym od strony napędu agregatu. Wzór ten znajduje swoje zastosowanie szczególnie w przypadku rozruchów ciężkich, w których stan początkowej fazy rozbuchu powoduje obciążenie

wału silnika Diesla momentem wynikającym z mocy czynnej silnika w stanie rozbuchu równej ok. $2P_{ns}$.

$$P_{ng} \geq \frac{2 \cdot P_{ns}}{0,6} \quad (1)$$

gdzie:

P_{ng} – moc czynna znamionowa zespołu prądotwórczego, w [kW],

P_{ns} – moc znamionowa silnika asynchronicznego, w [kW].

Moc użyteczna na wale silnika Diesla (N_e , w [kWm]) jest w praktyce, a przynajmniej powinna być, o kilka lub kilkanaście procent większa od mocy czynnej zespołu prądotwórczego, a zatem do obliczeń doboru zespołu prądotwórcze-

reklama

RO-TEC

Kompleksowa
Ochrona
Przeciwprzebiegowa

Technologia przyszłości

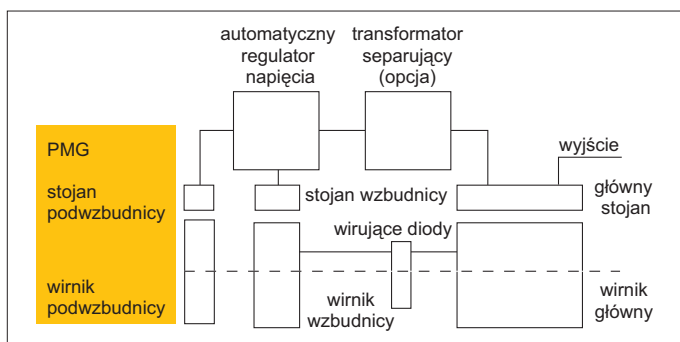


Dostępna w teraźniejszości

Tel.: (0-32) 269-66-84
Fax: (0-32) 269-66-34

www.pro-tec.com.pl
info@pro-tec.com.pl

BIURO HANDLOWE
ul. Gen. Andersa 15
41-200 Sosnowiec



Rys. 4. Schemat blokowy generatora z PMG

go do silnika elektrycznego można przyjąć moc P_{nG} podaną we wzorze jako wartość zanizoną, co przełoży się na większą rezerwę mocy dobieranego zespołu w stosunku do mocy silnika elektrycznego. W przypadku rozruchów lekkich początkowa faza rozruchu trwa krótko i bezwładność zespołu prądowłórczego nie pozwala na duży spadek obrotów (częstotliwości). Istotniejszym staje się wówczas analiza zapadów napięcia w stanie rozruchu i prawidłowy dobór generatora (prądniczy).

Przeciążenie generatora prądem w czasie rozruchu bezpośredniego silnika asynchronicznego klatkowego powoduje zapady napięcia, które stwarzają problemy w zasilaniu innych odbiorców już przyłączonych do generatora zespołu prądowłórczego oraz aparatury kontrolno-pomiarowej. Aby ograniczyć wielkość zapadów napięcia w czasie rozruchu, należy stosować generatory wyposażone w tzw. podwzbudnicę (PMG – *Permanent Magnet Generator*). Jej koszt jest niewielki w stosunku do kosztu przewymiarowania generatora, koniecznego dla poprawnej pracy obiektu w czasie rozruchu silnika. Na rysunku 4. przedstawiono blokowy schemat generatora z układem PMG (podwzbudnicą).

W momencie skokowego załączenia dużego prądu obciążenia klasyczne regulatory napięcia pobierając sygnał napięciowy ze stojana maszyny nie w są

stanie szybko wypracować sygnał regulacji o odpowiednio dużej wartości, który zagwarantowałby szybką odbudowę napięcia do wartości zadanej. Dzięki niezależnemu sygnałowi z PMG (podwzbudnica) regulator napięcia ma większe możliwości szybszego oddziaływania na układ wzbudzenia generatora (prądniczy), przez co uzyskuje się lepsze parametry regulacji napięcia oraz przeciążalność na poziomie $300\% I_n$ przez 10s. **Rysunek 5.** przedstawia proces odbudowy napięcia po zakłóceniu $270\% I_n$ dla standardowego generatora bez PMG. Czas regulacji wynosi ok. 1s. Standardowe czasy regulacji są na poziomie 0,5s i zależą od wielu czynników, w tym od nastaw regulatora napięcia. Zdarza się, że niepoprawnie ustawiony lub uszkodzony regulator napięcia długo odbudowuje napięcie generatora (prądniczy) po zakłóceniu i niestety nie wymusza żadnej reakcji ze strony służb technicznych z uwagi na fakt, że zjawisko to nie jest sygnalizowane przez panel automatyki zespołu prądowłórczego.

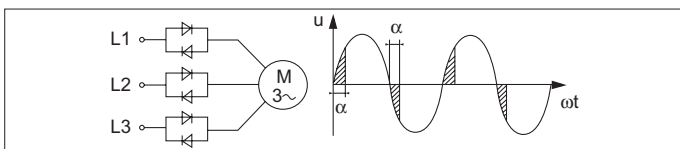
W przypadku doboru zespołu prądowłórczego do zasilania silnika o rozruchu bezpośrednim należy kierować się wzorem:

$$3I_{nG} > I_{rs} \quad (2)$$

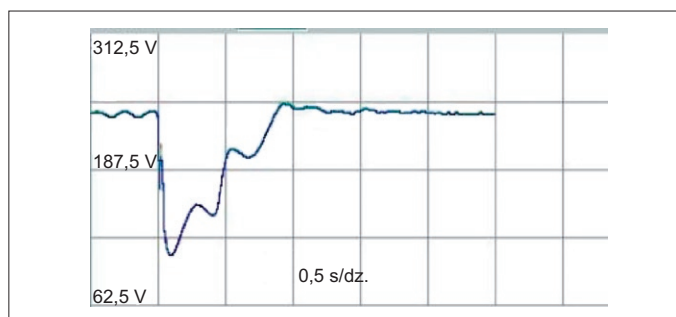
gdzie:

I_{nG} – prąd znamionowy generatora wyposażonego w PMG,

I_{rs} – prąd rozruchowy silnika.



Rys. 6. Schemat zasilania silnika trójfazowego poprzez softstart, ograniczający napięcie zasilające w czasie rozruchu



Rys. 5. Proces regulacji napięcia po zakłóceniu $2,7I_n$ w generatorze Marelli 60kVA (pomiar L1-N)

Trudno określić jednoznacznie wartość dopuszczalnej przeciążalności generatora bez PMG, który gwarantowałby prawidłowy rozruch bezpośredni silnika klatkowego. W takich sytuacjach, kiedy zespół prądowłórczy już istnieje, a generator nie posiada PMG, należy skupić się na ograniczeniu prądu rozruchowego, jeżeli technicznie jest to możliwe i projektant lub proces technologiczny dopuszczają taką możliwość.

Bardzo dobrym sposobem na ograniczenie prądów rozruchowych jest przełącznik gwiazda – trójkąt, który ogranicza prąd rozruchowy do wartości ok. $1/3 I_{rs}$ i, co ważne, nie wprowadza przy tym zniekształceń prądu. W przypadku zasilania silnika z takim układem rozruchowym należy jedynie sprawdzić, czy zwłoka czasowa, po której następuje przełączenie uzwojeń silnika w trójkąt, nie jest zbyt krótka, co mogłoby powodować zbyt duży udar prądowy dla generatora. Innym sposobem ograniczania prądów rozruchowych jest zastosowanie układów typu softstart. Należy pamiętać o tym, że tyrystory w tych układach, obniżające napięcie zasilania silnika w czasie rozruchu, powinny występować we wszystkich 3 fazach, jeśli układ softstartu ma pomóc w dopasowaniu zespołu prądowłórczego do silnika elektrycznego (przykład takiego rozwiązania pokazano na rysunku 6.).

Oszczędne układy softstart, posiadające tylko dwie fazy regulowane, wprowadzają więcej THDi, a tym samym bardziej odkształcają napięcie generatora. Prawidłowe ustawienie parametrów pracy softstartu powinno polegać na takim jego ustawieniu, aby napięcie prądniczy było jak najmniej odkształco-

ne w czasie trwania rozruchu. Doświadczenie dostawcy zespołu prądowłórczego ma tu ogromne znaczenie, ponieważ prawidłowa współpraca zespołu prądowłórczy – silnik asynchroniczny z softstartem to nie tylko ustawienie parametrów pracy softstartu, ale również parametrów pracy układu wzbudzenia poprzez odpowiednie nastawy na regulatorze napięcia generatora. W przypadku występowania kilku silników elektrycznych zasilanych z jednego zespołu prądowłórczego warto pomyśleć o niejednoczesnym załączaniu silników i wprowadzeniu opóźnienia w załączaniu. To bardzo prosta i tania metoda dopasowania silników elektrycznych do zespołu prądowłórczego.

Jak wynika z powyższej analizy, nawet w sytuacji, gdy na początku nie było przewidziane zasilanie rezerwowe silników asynchronicznych zainstalowanych w obiekcie przy użyciu agregatu prądowłórczego, istnieją skuteczne metody umożliwiające prawidłową współpracę tych urządzeń. Wybór sposobu rozwiązania należy jednak powierzyć doświadczonym wykonawcom, co pozwoli wybrać metodę optymalną pod względem technicznym i ekonomicznym.

reklama



Delta Power Sp. z o.o.
02-849 Warszawa
ul. Krasnowolska 82R
tel. 022 379 1700
faks 022 379 1701
biuro.warszawa@deltapower.pl
www.deltapower.pl