

Jerzy SZYMAŃSKI

Politechnika Radomska

BADANIA SKUTECZNOŚCI ZABEZPIECZEŃ OBWODÓW MOCY PRZEMYSŁOWYCH RZEMIENNIKÓW CZĘSTOTLIWOŚCI

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę awaryjności napięciowych przemienników częstotliwości zależnie od doboru elementów biernych obwodu pośredniego i warunków eksploatacji. Poprzez symulowanie na stanowisku laboratoryjnym awaryjnych stanów pracy na wejściach zasilania przemiennika częstotliwości i jego wyjściach mocy opracowano metodę sprawdzania skuteczności działania stosowanych zabezpieczeń. Przedstawione postępowanie umożliwia prowadzenie badań nieniszczących przemiennika częstotliwości przy przeciążeniach, zwarciach międzyfazowych i doziemnych.

1. WSTĘP

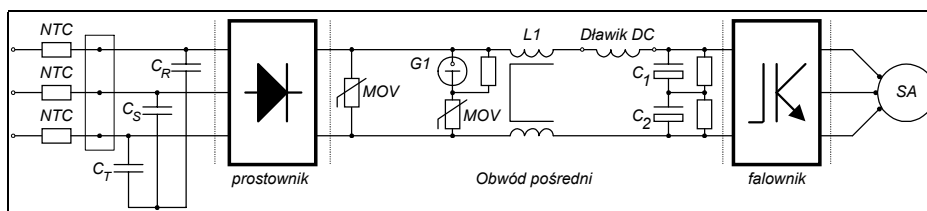
Napięciowe przemienniki częstotliwości eksploatowane w warunkach przemysłowych są narażone na uszkodzenia ze względu na różne przypadkowe zdarzenia o charakterze mechanicznym i elektrycznym. Nadmierne wibracje, zapylenie, zawilgocenie bywają często przyczynami poważnych awarii obwodów elektrycznych tych urządzeń. Praca w wysokich temperaturach otoczenia, a także szybkie jej zmiany prowadzą do ich przyspieszonego zużycia, stąd zaleca się unikania instalacji tych urządzeń w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł ciepła. Na żywotność i niezawodną pracę przemienników częstotliwości w sposób podstawowy wpływa przyjęte rozwiązanie techniczne i rodzaje wewnętrznych zabezpieczeń. Skuteczność działania tych zabezpieczeń gwarantowana jest przez producenta przemiennika częstotliwości, jednak użytkownik nie ma możliwości ich sprawdzić bez samodzielnego wymuszenia awaryjnych stanów pracy sieci zasilania lub silnika. Nieprawidłowe działanie wewnętrznych zabezpieczeń obwodu mocy przemiennika częstotliwości może doprowadzić do zagrożenia zdrowia i życia ludzi lub narazić użytkownika na duże koszty

naprawy urządzenia jeśli wewnętrzne zabezpieczenia zawiodą po kilkuletnim okresie eksploatacji. Często poważniejsze mogą być straty technologiczne, jeśli nie przeprowadzi się sprawdzenia skuteczności tych zabezpieczeń w czasie przerw produkcyjnych. Stanowisko badawcze jest właściwym miejscem sprawdzania skuteczności działania zabezpieczeń obwodu mocy i reakcji przemiennika częstotliwości w awaryjnych stanach jego zasilania i awaryjnych warunkach pracy silnika.

2. WPLYW BUDOWY OBWODU POŚREDNIEGO I WARUNKÓW EKSPLOATACJI NA AWARYJNOŚĆ PRZEMYSŁOWYCH PRZEMIENNIKÓW CZĘSTOTLIWOŚCI

Struktura obwodu mocy napięciowych przemienników częstotliwości dostępnych dla przemysłu zasadniczo nie ma większych różnic. Poszczególni producenci światowi wprowadzają dodatkowe zabezpieczenia, których celem jest zwiększenie niezawodności tych urządzeń i bezpieczeństwa obsługi. Sposób działania tych zabezpieczeń, ich techniczna realizacja bezpośrednio wpływa na ich skuteczność. Istotne znaczenie ma tutaj także doświadczenie producenta, jakość stosowanych elementów energoelektronicznych i warunki eksploatacji. Szczególnie ważnymi elementami biernymi podatnymi na szybkie zużywanie się są w przemiennikach częstotliwości kondensatory elektrolityczne obwodu pośredniego. Pełnią one rolę źródła napięcia stałego zasilania falownika i jednocześnie magazynują energię bierną dostarczaną poprzez falownik z silnika.

Na rys.1 przedstawiono strukturę obwodu mocy napięciowego przemiennika częstotliwości z zaznaczeniem indukcyjności L obwodu pośredniego, jako ważnego elementu ograniczającego wartość mocy odkształconej przesyłanej z przemiennika częstotliwości do sieci zasilania i znacznie zwiększającego żywotność kondensatorów elektrolitycznych.

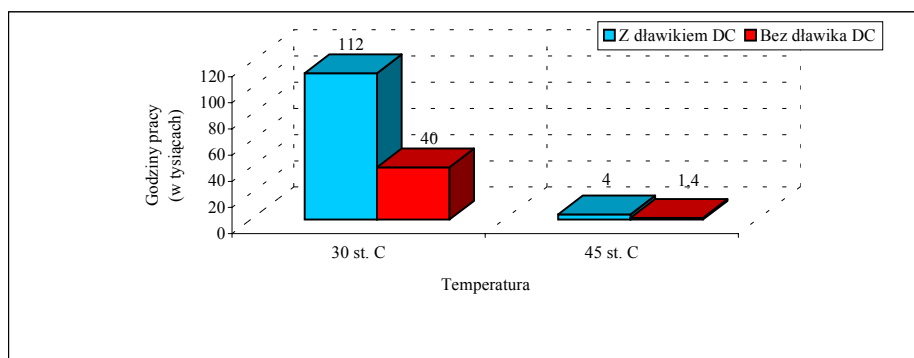


Rys.1. Struktura obwodu mocy napięciowego przemiennika częstotliwości.

Uszkodzenie kondensatorów obwodu pośredniego uniemożliwia pracę przemiennika częstotliwości. Zmniejszenie się pojemności kondensatorów spowodowane przykładowo odparowaniem części elektrolitu prowa-

dzi do wzrostu składowej przemiennej napięcia zasilania falownika i wzrostu prądu upływu kondensatorów. Taka sytuacja wskutek dodatniego sprzężenia temperaturowego prowadzi w końcowym efekcie do ich uszkodzenia. Wzrost składowej przemiennej w obwodzie pośrednim powoduje ponadto wzrost zawartości wyższych harmonicznych napięcia silnika dołączonego do falownika, co powoduje zmniejszenie momentu napędowego i sprawności silnika. W wielu przypadkach następuje zatrzymanie się silnika maszyny roboczej, szczególnie przy małych prędkościach silnika i momentu obciążenia bliskiemu znamionowemu. W takim przypadku widmo napięcia zasilania silnika zawiera zwiększoną zawartość wyższych harmonicznych przy jednocześnie małej wartości skutecznej pierwszej harmonicznej, w porównaniu do pracy silnika przy prędkościach bliskich wartości znamionowej. Wzrost wartości składowej przemiennej obwodu pośredniego dodatkowo zwiększa wartość amplitudy wyższych harmonicznych niskiego rzędu powodując zmniejszenie momentu napędowego silnika.

Obecnie stosowane napięciowe przemienniki częstotliwości typu PWM/VVC z tranzystorami IGBT w falowniku u znanych producentów, zasilane z sieci przemysłowej n.n. osiągają moce rzędu 500kW. Ich żywotność szacowana jest przez producentów na okres ok. 10 lat. Jednak nieprawidłowy dobór wartości indukcyjności lub pojemności obwodu pośredniego, jego uproszczona struktura, lub nieprawidłowa eksploatacja może nawet kilkudziesięciokrotnie zmniejszyć żywotność przemiennika częstotliwości. Na rys.2 przedstawiono wpływ braku indukcyjności ograniczającej stromość prądu ładowania kondensatorów obwodu pośredniego i temperatury otoczenia na ich żywotność.



Rys.2. Wpływ indukcyjności obwodu pośredniego i temperatury otoczenia na żywotność kondensatorów.

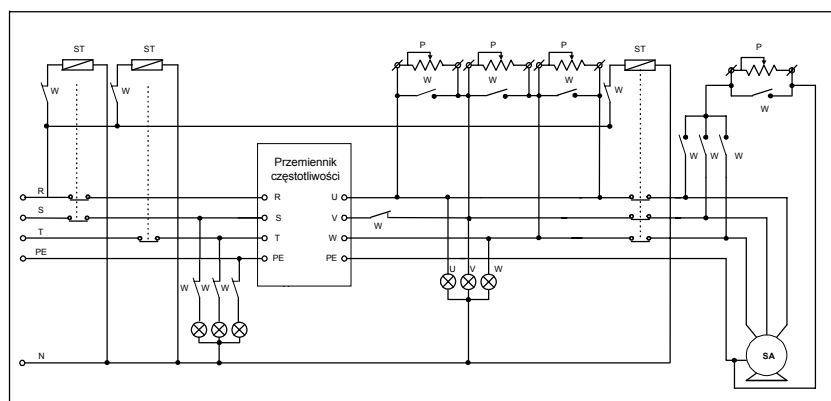
Należy zaznaczyć, że wielu producentów nie wyposaża standardowo swoich przemienników częstotliwości w filtry indukcyjne instalowane w obwodzie pośrednim, często jako dodatkowa opcja proponowane są do instalacji na wejściach zasilania przemienników częstotliwości. Taka sytuacja powoduje, że często nie są one instalowane u użytkownika przemiennika częstotliwości.

3. BADANIA SKUTECZNOŚCI ZABEZPIECZEŃ OBWODU MOCY W PRZEMYSŁOWYCH PRZEMIENNIKACH CZĘSTOTLIWOŚCI

Występujące zakłócenia przemysłowej sieci zasilania często powodują uszkodzenie lub niekontrolowane wyłączenie przemiennika częstotliwości. Brak odpowiednich zabezpieczeń zdolnych skutecznie chronić urządzenie przy wystąpieniu asymetrii napięć fazowych, przepięć czy krótkotrwałych zaników napięcia może praktycznie uniemożliwić jego pracę. W napędach przemysłowych wyjścia mocy przemienników częstotliwości są narażone na zwarcia doziemne i międzyfazowe, które mogą wystąpić sporadycznie lecz nie powinny doprowadzać do uszkodzenia jego falownika, ponadto ze względów technologicznych i bezpieczeństwa przeciw porażeniowego powinno nastąpić w takim przypadku kontrolowane jego wyłączenie z pracy. Dla zapewnienia separacji silnika i przemiennika częstotliwości lub przy możliwości wystąpienia przypadkowego zerwania kabli silnikowych może być wymagane zabezpieczenie przemiennika częstotliwości przed uszkodzeniem w takich przypadkach. Duża część eksploatowanych przemienników częstotliwości nie ma takiego zabezpieczenia co powoduje ich uszkodzanie się nawet w normalnych warunkach pracy, głównie z powodu nieprawidłowo zaprojektowanych układów automatyki.

Producenci w swoich dokumentacjach technicznych podają wykaz zabezpieczeń stosowanych w swoich urządzeniach, jednak brak jednoznacznych unormowań co do sposobu badania ich skuteczności powoduje, że ich działanie nie zawsze jest pewne. Użytkownik nigdy nie ma pewności czy zapewnienia producenta są prawdziwe, i czy w czasie eksploatacji nie zostały one uszkodzone. Stąd wynika potrzeba okresowego ich sprawdzania.

Na rys.3 przedstawiono uproszczony schemat stanowiska laboratoryjnego do przeprowadzania badań przemiennika częstotliwości w warunkach awaryjnych. Stanowisko umożliwia symulowanie stanów awaryjnych na zasilaniu przemiennika częstotliwości jak i na jego wyjściach mocy dołączonych do silnika.



Rys.3. Schemat stanowiska do symulacji zwarć na wejściach i wyjściach mocy przełącznika częstotliwości.

Zastosowane sterownika PLC, styczników i sterowanych elektrycznie wyłączników umożliwia zautomatyzowanie procesu badań zwarciowych według określonego algorytmu i cyklu czasowego. Monitorowanie zachodzących zjawisk prądowych i napięciowych w dowolnie wybranych miejscach układu pomiarowego umożliwia określenie reakcji napędu na wystąpienie stanu awaryjnego w rzeczywistych warunkach pracy. Właściwa diagnostyka, przy coraz bardziej złożonej budowie energoelektronicznych przełączników częstotliwości pozwala na jednoznaczne określenie ich możliwości aplikacyjnych. Dodatkowa możliwość obciążenia silnika na stanowisku hamowni daje obraz zbliżony do rzeczywistych warunków pracy napędu.

Przeprowadzanie badań tego typu ma tym większe uzasadnienie, że producenci nie podają czy ich urządzenia podczas kontroli technicznej były w podobny sposób badane przy próbach obciążeniowych. Należy sądzić, że wielu producentów ze względów ekonomicznych – konieczność budowy hamowni silników i duże zużycie energii, rezygnuje w części lub całości z przeprowadzania tych badań.

W tab.1 przedstawiono wybrane badania przeprowadzone na stanowisku wg rys.3. Pomiary wartości prądów doziemnych wykazują, że zabezpieczenie to można tutaj traktować jako zabezpieczenie przełącznika silnika przed uszkodzeniem, a nie jako zabezpieczenie przeciwporażeniowe. Zdolność nie przerywania pracy układu napędowego z silnikiem obciążonym momentem znamionowym przy zanikach napięcia w sieci zasilania w czasie 1-3 sek. ma w wielu aplikacjach bardzo istotne znaczenie. Często wyłączający się przełącznik częstotliwości podaje odpowiedni komunikat na wyjściu sygnałowym, który odłącza inne współpracujące z nim silniki maszyny roboczej. Niepożądane przypadkowe zatrzymanie

zespołów maszynowych prowadzi w konsekwencji do strat gospodarczych.

Tab.1. Przykładowe zestawienie badań przemiennika częstotliwości przy awaryjnych stanach pracy silnika.

Rodzaj stanu awaryjnego	Reakcja przemiennika częstotliwości
Zwarcie międzyfazowe	Krótkotrwałe zwarcie do ok. 5 sek. – utrzymywanie ograniczenia prądu zwarcia na poziomie maksymalnego prądu wyjściowego przemiennika, powyżej tego czasu następuje odłączenie napięcia od silnika z podaniem komunikatu o rodzaju zdarzenia. Ponowny rozruch następuje poprzez odłączenie napięcia zasilania od przemiennika i jego ponowne załączenie przez operatora.
Odlączenie napięcia fazowego od silnika	Silnik nieobciążony nadal pracuje dwufazowo, dołączenie napięcia powoduje dalszą pracę silnika bez ponownego rozruchu. Przy silniku obciążonym następuje ograniczenie prądu do wartości maksymalnej przemiennika i wyłączenie obciążenia w sposób kontrolowany.
Odlączenie stycznikiem obciążenia	Bez ograniczeń, zależnie od nastaw programowych podawany jest komunikat o braku obciążenia.
Doziemienie	Normalna praca przy prądzie w PE < 0,01 [A], w stanach awaryjnych: dla $R_z < 10-15 [\Omega]$ następuje natychmiastowe odłączenie napięcia od silnika i komunikat o wystąpieniu doziemienia. Dla $R_z > 15 [\Omega]$ próbkowanie stanu z odłączeniem okresowym napięcia, po usunięciu awarii powrót do pracy bez zatrzymania silnika.

4. WNIOSKI

Warunki eksploatacyjne i przyjęte rozwiązania techniczne w decydujący sposób wpływają na niezawodność energoelektronicznych przemienników częstotliwości. Złożona budowa obwodu mocy przemiennika częstotliwości jak i jego mikroprocesorowego układu sterowania uniemożliwia określenie zachowania się urządzenia w awaryjnych warunkach zasilania i awaryjnych stanach pracy dołączonego silnika.

Przy coraz bardziej złożonych układach napędowych maszyn roboczych, zawierających często po kilka współpracujących ze sobą przemienników częstotliwości, niezbędne staje się prowadzenie własnych badań tych urządzeń. Badania pewności działania stosowanych przez producentów zabezpieczeń obwodów mocy przemienników częstotliwości mają często podstawowe znaczenie dla zwiększenia niezawodności pracy maszyny roboczej i bezpieczeństwa eksploatacyjnego.

LITERATURA

- [1] Ptaszyński L.: *Przetwornice częstotliwości budowa, dobór i zastosowanie*. Enviro-tech, Poznań 1996.
- [2] Praca zbiorowa Instytutu Elektrotechniki: *Analiza zabezpieczeń obwodów w przekształtnikach częstotliwości przed zwarciami i przepięciami*. Przegląd Elektrotechniczny nr 4/1999.
- [3] Szymański J.: *Energoelektroniczne przemienniki częstotliwości firmy Danfoss*. Wiadomości elektrotechniczne nr 2/1994.