

Hamowanie silników indukcyjnych – porównanie metod

Silniki indukcyjne prądu przemiennego używane są w aplikacjach o różnych trybach pracy i przeznaczeniu. W każdym z rozważanych przypadków zastosowania należy dobrać odpowiedni sposób rozruchu i hamowania. Pomimo prosto zdefiniowanego zadania oraz szerokiego spektrum dostępnych metod warto poznać elementarne zalety oraz wady podstawowych technik hamowania silników AC. Artykuł przedstawia ogólne podstawy teoretyczne różnych metod oraz techniczne aspekty ich zastosowania.



dr inż. Mariusz Hetmańczyk

Otrzymał tytuł doktora inżyniera w 2011 r. na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej. Obecnie jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Instytutu Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania. Naukowe zainteresowania skupione są wokół zagadnień automatyki i robotyki, sterowania, mechatroniki, diagnostyki przemysłowej, predykcji stanów bazującej na metodach grafowych oraz technologii MEMS. Jest autorem ponad 80 publikacji związanych z komputerowym wspomaganie diagnozy oraz prognozy rozproszonych napędów mechatronicznych.



PODZIAŁ METOD HAMOWANIA

Hamowanie odnosi się do wielu przypadków zmian wartości prędkości obrotowej. Może obejmować nie tylko zatrzymanie napędu (awaryjne lub celowe), zmniejszenie prędkości obrotowej, ale także zmianę kierunku ruchu obrotowego członu ruchomego.

Wybór metody hamowania silników napędowych zależy od aplikacji oraz trybu pracy silnika elektrycznego. Ogólnie technicznie realizowalne sposoby można podzielić na dwie podstawowe metody w postaci hamowania mechanicznego (hamulce cierne) oraz elektrycznego (w różnych odmianach) [4].

HAMOWANIE SWOBODNE ORAZ MECHANICZNE

Hamowanie swobodne [1] polega na odłączeniu źródła zasilania silnika oraz powolnym wyhamowaniu obrotów silnika siłą oporów ruchu (momenty oporowe, tarcie, bezwładność, opory powietrza itp.). Czas zatrzymania jest ściśle zależny od oporów wynikających ze sprawności silnika oraz momentów obciążających układ napędowy. Czas hamowania zależy także od wielkości mas wirujących, dodatkowo może nastąpić zmiana kierunku obrotu napędu. W przypadku układów przetwornic częstotliwości ten typ zatrzymania nazywany jest wybiegiem. W tej odmianie

przebieg hamowania polega na odcięciu zasilania silnika (wyłączenie zezwolenia na ruch) oraz swobodnym wyhamowaniu tylko momentami oporowymi.

Hamowanie mechaniczne [1,3] stosuje się do aplikacji, w których wymagane są pewność hamowania (nawet po zaniku zasilania silnika), samohamowność lub pewne i szybkie zatrzymanie. W przypadku wyboru hamulca należy pamiętać o istotnych parametrach w postaci momentu oraz dostępnej mocy hamowania, wartości czasu opóźnienia załączenia hamulca, dopuszczalnej liczby startów (na godzinę), czasów zadziałania oraz zwolnienia hamulca. W ofercie producentów można znaleźć wiele rozwiązań technicznych hamulców, m.in. tarczowe (do pracy na sucho lub w oleju), wielopłytkowe (do pracy na sucho lub w oleju) oraz proszkowe.

HAMOWANIE JEDNOFAZOWE (PODSYNCHRONICZNE)

Hamowanie jednofazowe polega na odłączeniu dowolnej fazy zasilającej silnik napędowy [1,2], a następnie zwarcie odłączonej fazy z dowolną pozostałą w zasilaniu, przy jednoczesnym włączeniu oporu (o odpowiednio dobranych parametrach) do trzeciej z faz. Istotną cechą tej metody stanowi fakt, że wartość momentu hamującego jest proporcjonalna do prędkości obrotowej rotora (maksymalna wartość momentu hamującego przy największej prędkości oraz zerowa przy zatrzymaniu silnika). Zaletą opisanej metody jest prosta realizacja techniczna osprzętu do hamowania. Z racji tzw. miękkiej charakterystyki stosuje się ją w dźwignicach i żurawicach do opuszczania transportowanych ładunków.

HAMOWANIE PRZECIWPRAĐOWE

Hamowanie przeciwprądowe [1-3] należy do jednej z najprostszych i najtańszych metod. Zastosowanie tej odmiany jest szczególnie widoczne w układach wymagających utrzymania stałej prędkości opuszczania manipulowanych i transportowanych elementów, a także w przypadkach konieczności zatrzymania i zmiany kierunku wirowania silnika elektrycznego.

Podstawowy warunek hamowania przeciwprądowego to zamiana kierunku wirowania pola silnika, realizowana przez przetęczenie dwóch dowolnych faz zasilających silnik elektryczny. W fazie przetęczenia pole elektromagnetyczne wirnika

oraz stator wirują w tym samym kierunku. W wyniku zamiany faz statora następuje powstanie przeciwnie wirującego (w stosunku do kierunku wirowania rotora) pola magnetycznego.

Zaletą rozwiązania jest szybka zmiana zwrotu momentu silnika. Duże wartości natężeń prądów uzwojeń (zależne od konstrukcji silnika oraz momentów bezwładności hamowanych elementów; w zakresie 2–6 wartości znamionowego natężenia prądu [1]) oraz to, że cała energia hamowania jest akumulowana w ustroju silnika, prowadzą do ryzyka uszkodzenia silnika (silne nagrzewanie uzwojeń). W związku z tym faktem najczęstszym środkiem zapobiegawczym uszkodzeniu w fazie doboru silników jest przewymiarowanie parametrów silnika (szczególnie parametry izolacji wirnika).

Pomimo wymienionych wad metodę tę uważa się za bardzo skuteczne narzędzie do zatrzymania silników elektrycznych, nawet w przypadkach napędów stwarzających zagrożenie dla życia i zdrowia obsługi.

HAMOWANIE PRĄDEM STAŁYM (DYNAMICZNE)

Hamowanie prądem stałym [1] polega na odcięciu zasilania prądem zmiennym, przy jednoczesnym podaniu napięcia stałego na uzwojenia stojana. Taki zabieg powoduje powstanie stacjonarnego pola magnetycznego oddziałującego na wirnik silnika. Obrót wirnika oraz stacjonarne pole magnetyczne powodują powstanie ujemnego poślizgu oraz związanego z nim momentu hamującego. Podstawową zaletą tego typu hamowania stanowi mniejsze obciążenie termiczne napędu (pobór z sieci tylko energii potrzebnej do wzbudzenia). Po zmniejszeniu prędkości obrotowej do zera nie występuje zmiana kierunku obrotów (z powodu zerowej wartości poślizgu), dodatkowo metoda działa niezależnie od kierunku ruchu silnika napędowego. Hamowanie dynamiczne może zostać zrealizowane przez prostownik sterowalny lub za pośrednictwem przetwornicy częstotliwości.

ZAAWANSOWANE METODY HAMOWANIA ZA POMOCĄ FUNKCJI PRZETWORNIC CZĘSTOTLIWOŚCI

Przetwornice częstotliwości oferują wiele zaawansowanych funkcji sterowania prędkością.

W metodzie DTC (ang. *Direct Torque Control*) sterowaniu podlegają wartości momentu oraz strumienia magnetycznego silnika. W tym przypadku hamowanie wymuszane jest przez podanie odpowiedniej wartości rampy hamującej. Metoda umożliwia sterowanie parametrami silnika oraz szybkie przetaczanie pomiędzy momentami hamującymi oraz napędowymi. Wadą tej metody jest zależność malejącej sprawności hamowania od wzrastającej mocy napędu (metoda najbardziej efektywna w zakresie silników niskich mocy), wynikająca z wysokich wartości energii cieplnej rozpraszanej w uzwojeniach. Taki stan może prowadzić do powstawania naprężeń cieplnych i skutkujących nimi uszkodzeń cieplnych. Do zalet można zaliczyć brak dodatkowych urządzeń i wyposażenia oraz pełną kontrolę parametrów silnika w fazie hamowania [3].

W przypadku hamowania asynchronicznych silników prądu przemiennego można zastosować hamowanie z użyciem rezystora hamującego lub ze zwrotem energii do sieci zasilającej.

Przerzywacz hamujący zastosowany w układach przetwornic częstotliwości jest specyficzną odmianą przetwornicy elektrycznej, który łączy magistralę DC [1,3] przetwornicy częstotliwości z rezystorem hamującym. Przerzywacz hamujący jest uruchamiany automatycznie w przypadku wzrostu napięcia obwodu DC powyżej wartości znamionowych danej przetwornicy częstotliwości.



PODSTAWOWY WARUNEK HAMOWANIA PRZECIWPRAĐOWEGO TO ZAMIANA KIERUNKU WIROWANIA POLA SILNIKA, REALIZOWANA PRZEZ PRZEŁĄCZENIE DWÓCH DOWOLNYCH FAZ ZASILAJĄCYCH SILNIK ELEKTRYCZNY. W FAZIE PRZEŁĄCZANIA POLE ELEKTROMAGNETYCZNE WIRNIKA ORAZ STATOR WIRUJĄ W TYM SAMYM KIERUNKU. W WYNIKU ZAMIANY FAZ STATORA NASTĘPUJE POWSTANIE PRZECIWNIE WIRUJĄCEGO (W STOSUNKU DO KIERUNKU WIROWANIA ROTORA) POLA MAGNETYCZNEGO.

Zastosowanie rezystora hamującego (do rozpraszania energii hamowania silnika) jest rozwiązaniem prostym i niezawodnym, dodatkowo może działać w aplikacjach napędowych zagrożonych utratą zasilania. Z drugiej strony, energia hamowania jest bezpowrotnie tracona na ciepło wydzielające się na rezystorze hamującym.

Wytyczne do zastosowania rezystora hamującego są stosunkowo proste: hamowanie okazjonalne napędu, małe ilości energii generowanej w fazie hamowania (w odniesieniu do mocy napędowej). W przypadku częstych hamowań, wysokich wymaganych wartości mocy hamowania oraz wysokich mocy chwilowych w fazie hamowania, pracy napędu w środowiskach wybuchowych lub zapyłonych, warto rozważyć inną metodę hamowania.

W hamowaniu ze zwrotem energii użyto zalet występujących w kwadrantach pracy generatorowej silników elektrycznych. Zasada działania polega na zamianie momentu bezwładności napędzanych mas wirujących na energię zwracaną bezpośrednio do sieci zasilającej. Wadą metody są większe koszty przetwornicy częstotliwości [1,4].

PODSUMOWANIE

Metoda hamowania powinna zostać dobrana w każdym z przypadków w sposób indywidualny. Warto pamiętać o wielu funkcjach przetwornic częstotliwości oraz wymaganiach bezpieczeństwa układów napędowych. Zatrzymanie swobodne należy stosować jedynie do maszyn niestwarzających bezpośredniego zagrożenia życia ludzi lub operatorów. ■

Literatura

1. Hughes A., *Electric Motors and Drives Fundamentals, Types and Applications* (3rd edition), Elsevier Linacre House, Oxford, 2006.
2. Leonhard W., *Control of Electrical Drives*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2001.
3. Nasar S.A., *Theory and Problems of Electric Machines and Electromechanics*, McGraw-Hill, USA, 1998.
4. Toliyat H.A., Kliman G.B., *Handbook of electric motors*, CRC Press, New York, 2004.