

mgr inż. Michał Adamczyk

Wektorowe sterowanie tolerujące uszkodzenia czujników prądu w układach napędowych z silnikami indukcyjnymi – detekcja, lokalizacja i kompensacja uszkodzeń

Rozprawa doktorska dotyczy tematyki układów napędowych z silnikami indukcyjnymi, tolerujących uszkodzenia czujników prądu. Temat ten jest szczególnie istotny zważywszy na fakt, że prąd stojana jest niezbędny do realizacji wektorowych struktur sterowania, pozwalających na precyzyjną kontrolę nad prędkością silnika. Obszerna analiza wpływu różnych typów uszkodzeń czujników prądu wykazała konieczność stosowania strategii tolerującej uszkodzenia, szczególnie w układach o podwyższonym stopniu bezpieczeństwa, jak np. samochody elektryczne.

W ramach rozprawy doktorskiej przeprowadzono studia literaturowe z zakresu detekcji oraz kompensacji uszkodzeń czujników prądu. W oparciu o stan zagadnienia zaproponowano estymatory prądu stojana, pozwalające na zachowanie pełnej kontroli nad układem napędowym, nawet w przypadku, gdy wszystkie czujniki prądu ulegną uszkodzeniu. Ponadto, dzięki zastosowaniu autorskiego pomysłu modyfikacji klasycznego obserwatora Luenbergera możliwe było znaczne zmniejszenie wrażliwości proponowanego algorytmu na zmiany parametrów silnika indukcyjnego nawet o ponad 90% w niektórych punktach pracy, co jest istotną poprawą w odniesieniu do znanych w literaturze rozwiązań.

Dodatkowo, w ramach rozprawy doktorskiej opracowano estymator rezystancji wirnika oraz przeprowadzono analizę porównawczą z rozwiązaniami znanymi z literatury. Przeprowadzone badania wykazały znaczącą poprawę jakości estymacji prądu stojana w przypadku zastosowania opracowanego estymatora rezystancji wirnika. Ponadto, zastosowana proporcjonalna adaptacja rezystancji stojana pozwoliła jeszcze bardziej zmniejszyć błąd estymacji prądu stojana. W ramach badań dotyczących poprawy jakości estymacji prądu stojana wykazano również konieczność kompensacji czasu martwego falownika nadpęcia.

W oparciu o przeprowadzoną analizę wpływu wartości współczynnika k_0 w macierzy \mathbf{G} wzmocnień błęd obserwatora, na jakości estymacji prądu stojana, opracowano podwójny zmodyfikowany obserwator Luenbergera, który charakteryzował się wysoką jakością odtwarzania prądu w fazie, w której wystąpiło uszkodzenie (w celu kompensacji uszkodzenia) oraz w fazie, w której dostępny jest pomiar prądu (w celu detekcji potencjalnego uszkodzenia). Na podstawie wyżej wymienionego algorytmu opracowano układ sterowania tolerujący uszkodzenia czujników prądu.

Zgodnie z aktualnym stanem zagadnienia istotnym problemem metod detekcji opartych na modelach matematycznych jest ustalenie wartości progowej błędu pomiędzy mierzoną oraz estymowaną wartością prądu. W niniejszej rozprawie zaproponowano adaptacyjny współczynnik progowy, zależny od obciążenia oraz prędkości kątowej silnika. Jak wykazały badania eksperymentalne, detektor pozwalał na wykrycie niebezpiecznych dla układu napędowego uszkodzeń czujników prądu. W przypadku błędu wzmocnienia, który zgodnie z przeprowadzoną analizą nie powodował utraty stabilności układu napędowego, detektor pozwalał na wykrycie uszkodzenia, gdy błąd wynosił $\pm 30\%$, $\pm 50\%$, jednak nie był skuteczny, gdy wynosił $\pm 10\%$. Należy jednak zaznaczyć, że jest to istotną poprawą względem rozwiązania znanego z literatury, w której przedstawiono jedynie błąd wzmocnienia wynoszący 80%.

Badania dotyczące układu sterowania tolerującego uszkodzenia czujników prądu przeprowadzono w trzech scenariuszach: zmiany prędkości przy stałym obciążeniu, zmiany obciążenia przy stałej prędkości oraz w zakresie bardzo małych wartości prędkości kątowych. Analiza wykazała, że proponowane w ramach niniejszej rozprawy rozwiązania charakteryzują się dużą dokładnością detekcji oraz kompensacji, w różnych stanach pracy napędu. Dodatkowo, uszkodzenia czujników prądu zostały prawidłowo wykryte, zlokalizowane oraz skompensowane zarówno w stanach przejściowych, jak i ustalonych, podczas pracy generatorowej oraz silnikowej, a także dla bardzo małych prędkości kątowych (2% wartości znamionowej).

14/09/2023, Wrocław

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. G. Nowak', is centered on the page.