

Diagnostyka wirników maszyn indukcyjnych klatkowych w oparciu o model monoharmoniczny

STRESZCZENIE

Niewielkie koszty oraz niezawodność od lat sprawiają, że silniki indukcyjne klatkowe są najliczniejszą grupą maszyn wykorzystywanych w układach napędowych. Jednym z najtrudniej do zdiagnozowania stanem awaryjnym silnika klatkowego jest uszkodzenie klatki. W literaturze możemy znaleźć wiele prac, w których używane są zaawansowane modele silników klatkowych uwzględniające dowolne uszkodzenie klatki bazujące na widmie Fouriera prądów fazowych stojana. Na podstawie tych modeli analizowane są dwa sygnały diagnostyczne, które są składowymi prądu stojana o częstotliwościach $f_0(1-2s)$ oraz $f_0(1+2s)$. Przeprowadzone na podstawie tych dwóch sygnałów analizy nie są jednoznaczne i w prosty sposób pozwalające porównać różne przypadki uszkodzeń. Ponadto zastosowanie zaawansowanych modeli wymaga używania wysokowydajnych narzędzi obliczeniowych.

Głównym celem rozprawy jest opracowanie zredukowanego modelu diagnostycznego silnika indukcyjnego klatkowego dla małych poślizgów. Na potrzebę realizacji tego celu, pełne równania obwodów wirnika zastąpiono współczynnikami odzwierciedlającymi niesymetrię elektryczną prętów klatki, tym samym sprowadzając układ równań do wymiaru silnika pierścieniowego.

W pracy opracowano i zaprezentowano prosty monoharmoniczny model silnika indukcyjnego klatkowego, w którym wprowadzono zdefiniowane współczynniki asymetrii klatki. Wprowadzenie tych współczynników pozwala uzyskać model z czterema równaniami analogiczny jak dla silnika indukcyjnego pierścieniowego. Zaproponowany model został zwalidowany wieloharmonicznym i monoharmonicznym modelem obwodowym, modelem polowym oraz pomiarami laboratoryjnymi.

W wyniku przeprowadzonych wieloprzekrojowych analiz numerycznych, obliczeń polowych oraz badań laboratoryjnych w rozprawie pokazano, że możliwe jest opracowanie zredukowanego modelu matematycznego silnika klatkowego do wymiaru maszyny pierścieniowej z niesymetrią elektryczną wirnika.

Za główne osiągnięcie, autor uznaje opracowanie wskaźników diagnostycznych dla uproszczonego modelu monoharmonicznego silnika indukcyjnego oraz zbadanie możliwości stosowania tych wskaźników w różnych stanach pracy silnika do określenia uszkodzenia klatki wirnika. Przeprowadzone w rozprawie badania poszerzają aktualny stan wiedzy na

temat zastosowania prostych modeli obwodowych do diagnostyki maszyn elektrycznych. Wyniki przedstawione w rozprawie stanowią podstawę dla dalszych prac nad zagadnieniem i implementację praktyczną w systemach diagnostycznych.

ABSTRACT

Low cost and reliability have made squirrel cage induction motors the most numerous group of machines used in drive systems for years. One of the most difficult to diagnose failure conditions of a squirrel cage motor is cage failure. In the literature, we can find many works that use advanced models of squirrel cage motors that take into account any cage failure based on the Fourier spectrum of stator phase currents. Based on these models, two diagnostic signals are analyzed, which are components of the stator current with frequencies $f_0(1-2s)$ and $f_0(1+2s)$. The analyses carried out on the basis of these two signals are not unambiguous and easily allow comparison of different damage cases. In addition, the use of advanced models requires the use of high-performance computational tools.

The main objective of the dissertation is to develop a reduced diagnostic model of a squirrel cage induction motor for small slips. For the purpose of achieving this goal, the full rotor circuit equations were replaced by coefficients reflecting the electrical non-symmetry of the cage bars, thereby reducing the system of equations to the dimension of a ring motor.

In this dissertation, a simple monoharmonic model of a squirrel-cage induction motor is developed and presented, in which defined coefficients of cage asymmetry are introduced. The introduction of these coefficients makes it possible to obtain a model with four equations analogous to that of a ring induction motor. The proposed model was validated with a multiharmonic and monoharmonic circuit model, a field model and laboratory measurements.

As a result of multiscale numerical analyses, field calculations and laboratory tests, the dissertation shows that it is possible to develop a reduced mathematical model of a squirrel-cage motor to the dimension of a ring machine with rotor electrical asymmetry.

As the main achievement, the author considers the development of diagnostic indices for the simplified monoharmonic model of the induction motor and the investigation of the possibility of using these indices in different states of motor operation to determine the damage of the rotor cage. The research carried out in the dissertation extends the current state of knowledge on the application of simple circuit models to the diagnosis of electric machines. The results presented in the dissertation provide a basis for further work on the issue and practical implementation in diagnostic systems.