

# STRESZCZENIE

Rozprawa doktorska podejmuje problematykę modelowania oraz projektowania liniowych napędów elektrycznych z magnesami trwałymi. W pracy rozważano silnik liniowy o budowie cylindrycznej, który może pracować zarówno jako silnik krokowy, jak i jako silnik synchroniczny. W jego strukturze można wyróżnić dwie części: nieruchomy stojan (cewki obudowane ferromagnetykiem), oraz biegnik (magnesy trwale połączone z pierścieniami ferromagnetycznymi) poruszający się ruchem liniowym wzdłuż osi symetrii cewek.

Celem pracy było opracowanie metodyki projektowania liniowego układu wykonawczego z magnesami trwałymi opartej na uniwersalnym modelu matematycznym, oraz wyposażenie tej metodyki w efektywne moduły obliczeniowe i badawcze. Zaproponowana metodyka projektowania wykorzystuje nowoczesne metody modelowania i symulacji, które pozwalają na przeprowadzenie obszernej analizy wirtualnych konstrukcji oraz oszacowanie charakterystyk statycznych i dynamicznych w celu osiągnięcia wymaganych parametrów, lub ich poprawy w zależności od warunków pracy urządzenia i przyjętego sposobu sterowania. W pracy dotyczyło to zwiększenia siły ciągu, minimalizacji siły zaczepowej, oraz pulsacji siły.

W badaniach sprawdzono wpływ wymiarów uzwojeń stojana, wymiarów elementów biegnika, szerokości jarzm stojana, oraz wielkości szczeliny powietrznej na podstawowe charakterystyki silnika. Przeprowadzone badania pozwoliły na zmodyfikowanie rozważanej konstrukcji pod kątem poprawy właściwości elektromechanicznych (zwiększenia siły ciągu przy jednoczesnym zmniejszeniu siły zaczepowej i pulsacji siły) dla różnych sposobów zasilania.

W celu weryfikacji przyjętego modelu matematycznego silnika oraz poprawności dokonanych obliczeń, zbudowano polowe i polowo-obwodowe modele dynamiczne oraz prototyp silnika. Wyniki badań weryfikacyjnych potwierdzają wiarygodność przyjętego w pracy modelu silnika oraz zastosowanej procedury obliczeń. Uzyskano zgodność modeli symulacyjnych z rzeczywistym, a drobne różnice wynikające ze sposobu modelowania są do zaakceptowania w rozwiązaniach praktycznych. Zaprojektowany i wykonany prototyp silnika liniowego wykazał własności oczekiwane na podstawie obliczeń w opracowanym modelu polowym, co potwierdziło przydatność zastosowanej procedury do analizy napędów elektrycznych.

# ABSTRACT

The dissertation takes the issues of modelling and design of linear permanent magnet electric motors. A linear tubular motor has been taken under consideration in this paper, it can work both as a stepper motor and as a synchronous motor. There are two essential parts in its structure: a fixed stator (coils encapsulated ferromagnetic core) and a runner (permanent magnet rings combined with ferromagnetic rings) moving in linear motion along the axis of symmetry of the coils.

The aim of this work was to develop a methodology for the design of a linear permanent magnet actuator based on convenient mathematical model, and to provide this methodology with an effective calculation and research modules. The proposed design methodology uses modern modelling methods and simulations, that allow for extensive analysis of virtual constructions and an estimation of static and dynamic characteristics to achieve the required parameters or to improve them according to the operating conditions of the device and an adopted control method. The work involved increasing the magnetic force, minimizing the cogging force and the force pulsation.

The influence of stator windings dimensions, runner dimensions, the stator yoke width, and the air gap size for the basic static characteristics of the motor was investigated. The study allowed to modify the structure in question to improve the electromechanical properties (increase in magnetic force while reducing the cogging force and the force pulsation) for different power modes.

A lot of computer simulations were performed on the calculation of the motor model, based on the basic types of magnetic losses (thermal, hysteresis, and eddy current) were determined. The temperature distributions of the magnetic circuit, the power losses due to the magnetization of the ferromagnetics, and the values of the induced voltages in the motor due to current and core movement have been calculated. The thermal calculations were verified experimentally. The compatibility of results of calculations and of the measurements proves the correctness of the adopted and implemented mathematical model.

In order to verify the adopted mathematical model of the motor and the correctness of the calculations, field (finite element model) and field-circuit dynamic models and a prototype of the motor were constructed. The results of the verification tests confirm the reliability of the simulation model and the calculation procedure. Simulation models were matched with prototype, and minor differences resulting from modelling methods are acceptable in practical solutions. The designed and manufactured linear motor prototype showed the expected properties based on a calculation field model, this confirms the usefulness of the applied procedure for the analysis of electrical drives.