

## Streszczenie rozprawy doktorskiej

**Autor: mgr inż. Paweł Waszczuk**

**Promotor: dr hab. inż. Krzysztof Pietruszewicz, prof. ZUT**

**Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Paweł Dworak, prof. ZUT**

**Tytuł: „Zwiększenie dynamicznej sztywności zespołu posuwowego obrabiarki poprzez wykorzystanie struktury sterowania zawierającej nominalny liniowy model”.**

Nowoczesne systemy sterowania obrabiarek CNC mają za zadanie zagwarantować stabilność, dobrą jakość regulacji oraz odporność na zakłócenia i zmienne warunki pracy podczas procesu obróbki. Skuteczne sterowanie serwonapędem w takich zastosowaniach jest trudne ze względu na wrażliwość na zmiany obciążenia i wartości parametrów obiektu sterowania.

W niniejszej pracy za jeden z głównych wskaźników jakości regulacji przyjęto kryterium wysokiej sztywności dynamicznej pętli prędkościowej serwonapędu. Wskaźnik ten definiuje się jako zdolność napędu (pracującego w prędkościowej pętli regulacji) do zmniejszenia wpływu działającego na niego momentu obciążenia. Z punktu widzenia układu sterowania moment obciążający silnik w systemie serwonapędowym traktowany jest jako zakłócenie.

W pracy doktorskiej do zwiększenia dynamicznej sztywności zespołu posuwowego obrabiarki wykorzystano algorytm sterowania MFC/IMC. Generalną zaletą algorytmów z rodziny MFC jest zwiększenie nieczułości układu sterowania na zakłócenia oraz na zmiany parametrów procesu. Zastosowanie algorytmu MFC/IMC nie powoduje konieczności modyfikowania natywnie zaimplementowanej struktury sterowania serwonapędu. Struktura analizowanego w pracy algorytmu zawiera nominalny liniowy model obiektu oraz regulator korekcyjny, które wypracowują dodatkowy sygnał sterujący w układzie regulacji serwonapędu.

W ramach rozprawy autor analizuje zespół posuwowy obrabiarki CNC o napędzie konwencjonalnym. Konstrukcja taka jest jedną z najczęściej spotykanych w rozwiązaniach przemysłowych. Posiada ona relatywnie prostą konstrukcję niemniej jednak charakteryzuje się silnymi nieliniowymi właściwościami dynamicznymi.

Zamieszczone w pracy wyniki badań praktycznych uzyskano podczas eksperymentów na rzeczywistym obiekcie – eksperymentalnej osi posuwu, którą wykorzystano również na etapie tworzenia nieliniowego modelu symulacyjnego. Analizy teoretyczne układów sterowania serwonapędu klasycznego i z zaproponowanym algorytmem MFC/IMC przeprowadzono w zastosowaniu zlinearyzowanych modeli rzeczywistego obiektu.

Do oryginalnych osiągnięć, opisanych w rozprawie doktorskiej autor zalicza:

- a) Zaprojektowanie równoległej pętli regulacji prędkości, zawierającej regulator korekcyjny dla obrabiarek CNC.
- b) Przeprowadzenie badań obliczeniowych uwzględniających wpływ zmian parametrów obiektu (zespołu posuwowego obrabiarki CNC) na jakość regulacji układu.
- c) Opracowanie metodyki projektowania bloku korekcyjnego, zawierającego liniowy nominalny model obiektu, zastosowany w pętli sterowania prędkością.
- d) Dobór oryginalnego rozwiązania sprzętowego dla realizacji obliczeń analizowanego algorytmu sterowania, a także przeprowadzenia testów eksperymentalnych na stanowisku laboratoryjnym.

## Abstract

**Author: mgr inż. Pawel Waszczuk**

**Supervisor: dr hab. inż. Krzysztof Pietrusewicz, prof. ZUT**

**Co-Supervisor: dr hab. inż. Pawel Dworak, prof. ZUT**

**Title: “Increase of dynamic stiffness in CNC feed drive system with exploitation of control architecture containing a nominal linear model”.**

Modern control systems of CNC machine tools are designed to guarantee stability, good control quality and robustness to disturbances and changing working conditions during the machining process. Effective control of the servo drive in such applications is difficult due to the sensitivity to load changes and parameters value variations in controlled plant.

In this work, the criterion of high dynamic stiffness of the servo drive's velocity loop was adopted as one of the main indicators of the quality of the regulation. This indicator is defined as the ability of the drive (operating in the velocity control loop) to reduce the impact of the load torque acting on it. From the control system point of view the, load torque in the drive system is regarded as a disturbance.

In the dissertation, the MFC/IMC control algorithm was used to increase the dynamic stiffness of the machine tool feed drive. The general advantage of the MFC algorithms is to increase the insensitivity of the control system to disturbances and to change of process parameters. The use of MFC/IMC algorithm does not necessitate modifying the natively implemented control structure of the servo drive. The structure of the algorithm analyzed in the work contains the nominal linear model of the feed drive and the correction controller which generate an additional control signal in the servo control system.

As a part of the dissertation, the author analyzes the feed drive system of a CNC machine with conventional drive. This kind of system is one of the most common in industrial solutions. It has a relatively simple construction, nevertheless it is characterized by strong non-linear dynamic properties.

The results of practical tests presented in the work were obtained during experiments on an actual machine - an experimental feed drive axis, which was also used at the stage of developing a non-linear model for simulation purposes. The theoretical analyzes of the classical servo drive control systems and the proposed MFC/IMC algorithm were performed using linearized models of the actual plant.

The author includes the following to the original achievements described in the doctoral dissertation:

- a) Designing a parallel velocity control loop containing a correction controller for CNC machine tools.
- b) Conducting calculation experiments taking into account the influence of changes in the plant parameters (CNC machine tool feed drive) on the quality of the system's regulation.
- c) Development of a correction block design methodology, containing a linear nominal plant model, used in the velocity control loop.
- d) Selection of the original hardware solution for the implementation of calculations of the analyzed control algorithm, as well as conducting experimental tests at the laboratory stand.