International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕСТОВА УСТАНОВКА ЗА СЪБИРАНЕ, ОБРАБОТКА И ОЦЕНЯВАНЕ НА ДАННИ ОТ НЕВРОННА МРЕЖА С ЦЕЛ ПРЕДВАРИТЕЛНА РАЗПОЗНАВАНЕ НА МЕХАНИЧНИ НЕИЗПРАВНОСТИ.

Валентин Гичев, Димитър Димитров

Технически университет – Габрово, ул. Хаджи Димитър 4, Габрово 5300, България
valentin.gichev@gmail.com

DEVELOPMENT OF A TEST SETUP FOR COLLECTING, PROCESSING AND EVALUATING DATA FROM A NEURAL NETWORK FOR THE PURPOSE OF PRELIMINARY DIAGNOSIS OF MECHANICAL FAILURES

Valentin Gichev, Dimitar Dimitrov

Technical University of Gabrovo, 4 Hadji Dimitar str. Gabrovo 5300, Bulgaria
valentin.gichev@gmail.com

Abstract
Modern industrial automation places increasingly high demands on the reliability and diagnostics of servo systems. In production lines, CNC machines, robotic systems and automated mechanisms, even small deviations in the operation of asynchronous motors, gearboxes and servo motors can lead to serious accidents, loss of productivity and expensive repairs. For this reason, intelligent testing and analysis stands for servo systems based on Machine Learning algorithms are increasingly used.

Keywords: EtherCAT, industrial communication, PLC, IPC, Servo-drive, servomotor, MCSA.

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременната индустрия сервозадвижванията играят ключова роля в прецизни приложения като CNC (Computer numerical machines) машини, роботи и автоматизирани производствени линии. Надеждната им работа е критична за производствената ефективност, което налага внедряване на интелигентни методи за превантивна диагностика и мониторинг на състоянието (Condition Monitoring).

Един от най-перспективните подходи е Motor Current Signature Analysis (MCSA), който използва токовите сигнали на двигателя за диагностика на електрически и механични дефекти. Основното предимство на MCSA е неговата неинвазивност и ниска цена, тъй като не изисква допълнителни сензори като вибрационни акселерометри [1]. В редица изследвания MCSA е успешно приложен за диагностика на индукционни двигатели, включително и не само дефекти в лагери, счупени роторни пръти, между Виткови къси съединения.

Например, Dhomad и Jaber разработват експериментален стенд, базиран на Arduino и токови трансформатори, в който чрез MCSA и изкуствени невронни мрежи (ANN) се реализира диагностика на лагерни дефекти. В тази работа

са извлечени диагностични характеристики от времевата област, които служат като вход към невронната мрежа. [2] Друг подход е използването на дискретно вълново преобразуване (DWT) за извличане на параметри от токовите сигнали, последвано от класификация чрез дълбоки невронни мрежи (DNN). Този метод позволява работа със нестационарни сигнали, каквито са типични за реални индустриални условия. [3] Допълнително, Bracamonte предлага метод за обработка чрез Independent Component Analysis (ICA), при който извлечените спектрални характеристики се подават към невронна мрежа, постигайки точност до 99% при диагностика. Това демонстрира ефективността на комбинирането на MCSA с методи за машинно обучение.[4] Въпреки значителния напредък при индукционните двигатели, приложението на MCSA при серво задвижвания остава ограничено. Liu и др. разглеждат MCSA в контекста на servo motion systems, като предлагат алгоритъм, базиран на демодулация и емпирично разлагане на сигнала (EEMD), валидиран чрез експериментални изследвания. Резултатите показват, че методът е подходящ дори при ниски скорости и високо ниво на шум. [5] Съвременните тенденции включват интегриране на изкуствен интелект и edge computing за диагностика в реално време. Например, Zhou и др. предлагат архитектура за диагностика на серво мотори с използване на CNN и LSTM мрежи, оптимизирани за индустриални IoT приложения.[6] Наред с това, приложенията на MCSA включват и прогнозиране на остатъчния ресурс (RUL), където чрез анализ на токовите сигнали и машинно обучение се изграждат модели за деградация на механични компоненти в серво системите. [7]

От анализа ми на съществуващите публикации по темата могат да се направят следните изводи:
MCSA е утвърден метод за диагностика, но е по-слабо изследван при servo системи.

Съществуват много изследвания с невронни мрежи, но често няма реален индустриален стенд или липсва интеграция със servo задвижване (серво инвертори на Lenze i700, i750 или i950)

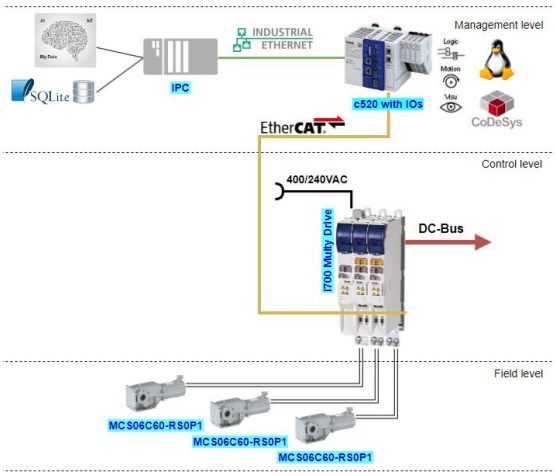
Налице е научна необходимост от реален тестов стенд интеграция с индустриален контролер (напр. Lenze) възможност за експерименти и събиране на данни

ИЗЛОЖЕНИЕ

Основната цел на настоящата разработка е създаването на експериментален стенд за превантивна диагностика на серво задвижвания, който позволява, измерване на токови сигнали в реално време, прилагане на MCSA и други методи, събиране на данни за машинно обучение и изпитване на различни режими на работа и дефекти.

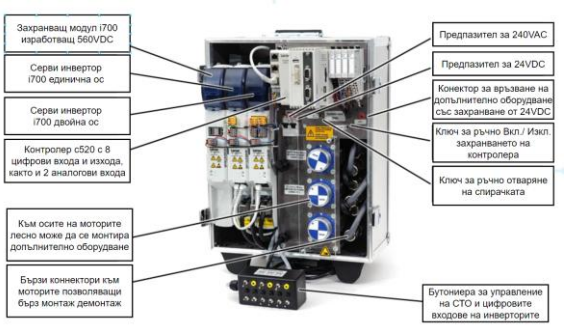
Стендът е реализиран с използване на индустриални компоненти на Lenze, включително: Серво мотор (Permanent Magnet Synchronous Motor) Тип серво мотор MCS[8], Серво инвертор (Lenze i700)[9], PLC контролер (Lenze Controller c520[10] / PLC Designer[11]), Система за измерване на ток (вградени сензорни вериги в серво-инверторите), Индустриална комуникация (EtherCAT, Ethernet).

На фиг.1 е показана топологията на стенда, тази топология е създадена с помощта на софтуера draw.io[12] и снимки на Lenze устройствата свалени от google images [13].



***Фиг. 1**. Топология на стенда*

Планирано е добавянето на IPC показан на фиг.1, който ще служи за оценяване на събраните данни посредством Невронна мрежа и алгоритми за оценяване на данните. Невронната мрежа ще работи под GUI (Graphical user interface) даващ възможност потребителя да има достъп до резултатите от всички направени измервания. Съответно стенда позволява и добавяне на допълнителен хардуер при необходимост. Контролера на стенда посредством протокола за комуникация EtherCAT има възможността да събира много бързо данни свързани не само с работата на серво инверторите, както и моментни данни свързани с работата на серво моторите, като позиция на роторите, ток на моторите, също така и разпределение на натоварването по фазите на моторите и други. Серво моторите са снабдени с енкодери тип резолвър, които дават значителна точност при следене на позицията на роторите. Събраните сурови данни се изпращат за обработка по TCP/IP протокол от ANN работеща под софтуер с GUI работещ под IPC. Разработеният стенд (Фиг.2) позволява провеждането на следните експерименти.



Фиг. 2. *Изглед на стенда*

Механични тестове, като дефекти в лагери (симулирани), дисбаланс, ексцентрицитет и размагнетизиране на магнитите на ротора, електрически тестове, като смущения в захранването, асиметрия на фазите и дефекти във векторното управление, режими на работа, като ниска / висока скорост, динамични натоварвания и циклични режими на работа и измервания, като токови сигнали (за MCSA), скорост и позиция и въртящ момент.

Планирани алгоритми за обработка на събраната информация**.** Към момента алгоритмите за машинно обучение не са напълно реализирани, но се планира/обмисля използването на методи, като FFT (спектрален анализ),DWT (wavelet анализ) [3], ICA (независим компонентен анализ) [4]. Оценяването на данните се планира да е на база Artificial Neural Networks (ANN). Диагностичните задачи са както следва, класификация на дефекти, ранно откриване на неизправности и прогнозиране на оставащ ресурс. Предимствата на разработения стенд е че е реална индустриална основа базирана на съвременни индустриални компоненти (Lenze), възможност за реални експерименти, подготовка за внедряване на ANN и предлага добра основа за научни изследвания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата работа е представена разработка на експериментален стенд за диагностика на серво задвижвания, базиран на MCSA. Извършеният литературен обзор показва, че въпреки широкото приложение на MCSA и невронни мрежи при индукционни двигатели, тяхното комбинирано приложение при серво системи остава ограничено. Разработеният стенд създава необходимата основа за бъдещи изследвания, включително разработка на интелигентни алгоритми за диагностика и прогностика с алгоритми за Machine Learning позволява ефективно разпознаване на проблеми в механиката, лагерите, статора и Gearbox системите. По този начин се намалява рискът от внезапни повреди, оптимизират се разходите за поддръжка и се повишава надеждността на производствените процеси. В бъдеще подобни системи ще играят все по-важна роля в интелигентните фабрики, където автоматичната диагностика и предиктивната поддръжка ще бъ-

дат основен елемент от индустриалното производство.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Liu, H. et al., *MCSA-based fault diagnosis for servo motion system*, J. Phys., 2024 [iopscience.iop.org]

[2] Dhomad, T., Jaber, A., *Bearing Fault Diagnosis Using MCSA and ANN*, IJASEIT, 2020 [ijaseit.in...ociety.org]

[3] Zuhaib, M. et al., *MCSA with DWT and Deep Neural Networks*, IJATCSE, 2021 [warse.org]

[4] Bracamonte, J., *MCSA + ICA + NN*, IEEE TIM, 2019 [academia.edu]

[5]] Liu, H. et al., *MCSA-based fault diagnosis for servo motion system*, J. Phys., 2024 [iopscience.iop.org]

[6] Zhou, Z. et al., *Servo motor fault diagnosis using CNN/LSTM*, Sensors, 2025 [mdpi.com]

[7] Prasanna, K. et al., *RUL prediction using MCSA*, 2025 [exceljournals.org.in]

[8] Lenze.com Documentation related to Servo motors https://www.lenze.com/en-de/products/motors/servo-motors/mcs-synchronous-servo-motors

[9] Lenze.com Documentation related to servo inverters https://www.lenze.com/en-de/products/inverters/servo-inverters/i700-cabinet-servo-inverter

[10] Lenze.com Documentation related to c520 controllers https://www.lenze.com/en-de/products/controllers/controllers/c520-controller

[11] Lenze.com PLC Designer Engineering tool base on CoDeSys for programing of Lenze PLC. https://www.lenze.com/en-de/application-knowledge-base/article/314961/1

[12] Ползван безплатен софтуер за създаване на топология https://www.drawio.com/

[13] Lenze products https://www.google.com/search?sca_esv=541b5a2c80756556&rlz=1C1YTUH_deAT1078AT1078&sxsrf=ANbL-n7Yqtm_F2UxSYTEgUyxGN7ByRcKww:1779792649952&udm=2&fbs=ADc_l-YGpHqrdvMaoKH4lKr4pGOjZ119Xz-cVap1UgbcHzOoGq0sUUWEjge4mRBZULb1JKV3BYzLvwuS7VaoM2fb8uPlKarQzQBA3D5ODhEA0qHLUuaU8CrrkHumbTFLQ2fNvYjNlC3mIB5ZBPQ2M943C62oRkKuq41if8nNlCb0cf2jkfdxK0bfikO0YhPj7cMft3QW1e8woF9k89zCInEPcldK2JxhwUWfoTqL-Rim7cv_ldP4ZTroTbZq4Hp8rqoXsjvrhkPag&q=lenze+products&sa=X&ved=2ahUKEwjSg7Kl5NaUAxXQ8LsIHRbwKoYQtKgLegQIERAB&biw=1866&bih=978&dpr=0.9 [2] Литературен източник. Литературен източник. Литературен източник.

[3] Литературен източник. Литературен източник. Литературен източник.