

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ МЕТОДИКИ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН КРАЇН НАТО

Анотація: проведено аналіз методів діагностування асинхронних двигунів з урахуванням досвіду бойових дій. Досліджені функціональні можливості, та ефективність варіантів діагностування, що може використовуватися для подальшої перспективи авіації. Розроблені рекомендації щодо діагностування асинхронних двигунів з урахуванням досвіду бойових дій.

Ключові слова: асинхронний двигун, діагностування, спектральний аналіз, годограф Парка.

Annotation: An analysis of methods for diagnosing induction motors is carried out, taking into account the experience of combat operations. The functionality and effectiveness of diagnostic options that can be used for the future prospects of aviation are investigated. Recommendations for the diagnosis of induction motors are developed taking into account the experience of combat operations.

Key words: induction motor, diagnostics, spectral analysis, Park hodograph.

У теперішній час асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором застосовуються у такому відповідальному обладнанні, як паливні системи, електросистеми, гідравлічні системи. Працездатність цього обладнання безпосередньо впливає на безпеку польотів, саме через це необхідно проводити контроль двигунів для запобігання відмов в польоті.

Несправності асинхронних двигунів поділяються на дві основні категорії: механічні та електричні.

До механічних несправностей належать підвищена вібрація, яка може бути спричинена різким зносом лопаток вентилятора або насоса, неправильним розташуванням або кріпленням двигуна тощо; знос підшипників, що може призвести до збільшення вібрації та зменшення продуктивності двигуна; нерівномірний хід, який може призвести до погіршення продуктивності та збільшення шуму.

До електричних несправностей належать перевищення струму, що може призвести до перегріву двигуна та його зниження продуктивності; збій у живленні, що може призвести до відмови двигуна та його зупинки; перевищення частоти, що може призвести до зниження продуктивності та збільшення вібрації.

Методи та засоби діагностування асинхронних двигунів що використовуються у теперішній час, застарілі і не дозволяють прогнозувати технічний стан двигунів.

Для забезпечення безвідмовної роботи обладнання у польоті необхідно виявляти несправності асинхронні двигуни на ранніх стадіях розвитку, що неможливо зробити відомими методами. Але з появою сучасної обчислювальної техніки з'явилася можливість впровадження більш складних і досконалих методів. Для діагностування асинхронних двигунів у теперішній час використовуються різноманітні методи та засоби, такі як:

- вібраційна діагностика;
- метод тепловізійного контролю;
- вимірювання параметрів магнітного поля;
- метод аналізу електричних параметрів.

Вібраційна діагностика є широко використовуваним методом оцінки технічних систем та устаткування, що базується на аналізі даних вібрації, які генерується працюючим електрообладнанням або є наслідком його структурної особливості.

Тепловізійний метод контролю застосовується для виявлення несправностей в підшипниках, стану силових ввідів та обмоток статора. Цей метод включає аналіз випромінювання в інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектра, що представлене на термограмі.

Вимірюванням та аналізом зовнішнього магнітного поля електродвигуна, магнітного потоку в зазорі можна оцінювати ексцентриситет ротора, стан підшипників, виявляти міжвиткові замикання обмоток статора. Для вимірювання магнітного поля в повітряному зазорі використовується внутрішній індуктивний датчик, що складається з витка проводу, намотаного на зубець статора. Для вимірювання зовнішнього магнітного поля – зовнішній датчик, наприклад датчик Холла.

Аналіз спектру струму статора (спектр–струмовий аналіз) дозволяє виявляти обриви і тріщини стрижнів ротора, підвищений ексцентриситет повітряного зазору, пошкодження підшипників, міжвиткові замикання в обмотці статора, несправності привода.

Проведений аналіз сучасних методів діагностування електричних машин показує, що найбільш прийнятним методом є контроль електричних параметрів з подальшим виконанням спеціального аналізу отриманого сигналу. Для аналізу струмів асинхронного двигуна був обраний метод вектора Парка, який дозволяє діагностувати такі несправності як:

- міжвиткові замикання статора;
- ексцентриситет повітряного зазору;
- дефекти стрижнів і кілець короткозамкненого ротора та інші несправності.

Ефективність методу вектору Парка підтверджена математичним моделюванням. Для застосування цього методу необхідно мати еталонні параметри (напруги, струми, характеристики перехідних процесів, спектри напруг та струмів) машини. Ці параметри можна отримати експериментально, або шляхом моделювання.

Параметри машини при виникненні типових відмов не завжди вдається отримати експериментально. Тому є необхідність у створенні моделей електричних машин, які дозволяють отримати як еталонні параметри, так і параметри при виникненні відмов.

Щоб запобігти накладенню частот, викликаних різними пошкодженнями, і уникнути спотворення реальної картини стану двигуна, застосовують метод аналізу спектрів векторів Парка струму і напруги. Цей метод відрізняється від простого спектрального аналізу сигналів струму тим, що при формуванні спектрів модуля вектора Парка будь-яка характерна частота амплітудно–модульованого сигналу враховується лише один раз.

У спектрі струму гармоніки, що відповідають різним типам несправностей, мають свої відмінні ознаки. Це означає, що виявлення у спектрі струму певних гармонік чітко вказує на наявність конкретної електричної чи механічної несправності в електродвигуні або у пристрої, який він приводить у дію.

Оцінку стану та типу несправності обмотки статора, а також інших несправностей асинхронного двигуна, можна виконати з високою точністю за допомогою аналізу спотворень годографа вектора Парка струму.

Метод аналізу векторів Парка дозволяє розрізнити та ідентифікувати специфічні частотні компоненти, що відповідають певним типам несправностей, роблячи його ефективним інструментом для діагностики стану електродвигунів.

Беручи до уваги сучасний стан діагностичного обладнання для асинхронних двигунів і розглянутих вище алгоритмів діагностування розроблено структурну схему апаратури для комплексного моніторингу стану асинхронних двигунів.

Система діагностики асинхронного двигуна включає в себе наступні модулі контролю дефектів електродвигуна: наявність міжвиткового короткого замикання в фазі обмотки статора; пошкодження стану «білячої клітки» обмотки ротора; пробій ізоляції обмоток; виникнення дисбалансу мас обертового механізму; пошкодження підшипників і контроль появи «інших дефектів».

Парка метод дозволяє отримати достовірні результати діагностики при роботі двигуна під навантаженням і при неякісній системі напруги живлення. Для контролю стану підшипників та інших дефектів, що викликають вібрацію, використовується метод вібраційного аналізу з попереднім розкладанням сигналу за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Це дає можливість диференціювати тип і ступінь пошкодження механічних елементів за частотами, що збігаються з частотами можливих пошкоджень, і виявляти дефекти.

Для роботи кожного модуля передбачені алгоритми, які синтезуються в загальній функціональній схемі діагностичної системи. Запропонована структура діагностичної системи охоплює основні види пошкоджень електродвигуна, включаючи профілактичний контроль

стану ізоляції та загального вібраційного стану електродвигуна. Для контролю виникнення міжвиткових коротких замикань у фазі обмотки статора та пошкодження обмотки ротора використовується сучасний метод векторного підходу Парка.

Розроблена система діагностики, на відміну від відомих систем контролю стану асинхронних двигунів, дозволяє одночасно контролювати як електричні, так і механічні несправності при роботі двигуна під навантаженням при неякісній системі електроживлення. Розроблена функціональна схема діагностичної системи може бути використана для практичної реалізації у фізичній формі. Використання запропонованої системи бортової діагностики дозволить забезпечити безперервну інформацію про стан основних елементів асинхронних двигунів відповідно до сучасних вимог і реальних умов експлуатації.

Для роботи кожного модуля передбачені алгоритми, які синтезуються в загальній функціональній схемі діагностичної системи. Запропонована схема діагностичної вбудованої системи ідеалізована, але архітектура системи дозволяє використовувати скорочений набір обраних модулів. Забезпечення постійного контролю стану асинхронних електродвигунів в реальних умовах експлуатації з виявленням ранніх стадій відмов є складним і найважливішим завданням, вирішення якого є більш ефективною і економічною альтернативою плановому технічному обслуговуванню і створює більшу безпеку при своєчасному виконанні діагностування.

У якості датчиків пропонується використовувати:

- трансформатори струму;
- датчиків вібрації– модулі для Arduino на LM393 (SW–18010P);
- датчиків магнітного поля– датчики Холла. Аналогово;
- цифровий перетворювач.

Цифровий перетворювач бажано обрати виробництва National Instruments, тому що вони мають дуже високу надійність і точність перетворення і призначені для роботи з математичним забезпеченням *LabVIEW* National Instruments.

Аналіз даних може бути виконаний на ПК з відповідним математичним забезпеченням. Найбільш розвинені засоби для обробки інформації пропонує *LabVIEW* National Instruments.

Запропонована структурна схема комплексного моніторингу стану асинхронних двигунів та розглянута можливість її апаратної реалізації з оцінкою вартості. Вартість запропонованого комплексу становить значно меншу ціну ніж за закордонні аналоги.

Застосування пропонованої апаратури дозволить підвищити ефективність контролю асинхронних двигунів, виявляти несправності на ранніх стадіях виникнення, прогнозувати стан двигунів тим самим зменшити імовірність відмов у польоті.

Список використаних джерел:

1. А.І. Купін Інформаційна технологія для групової діагностики асинхронних електродвигунів на основі спектральних характеристик та інтелектуальної класифікації / А. І. Купін, Д. І. Кузнецов, 2010 –64с.
2. Oleg Gubarevych Use of Park's Vector Method for Monitoring the Rotor Condition of an Induction Motor as a Part of the Built-In Diagnostic System of Electric Drives of Transport/ Oleg Gubarevych, Juraj Gerlici, Oleksandr Kravchenko, Inna Melkonova and Olha Melnyk, 2009 –40с.
3. Oleg Gubarevych Synthesis of the structural diagram with algorithms of the units of the on-board diagnostic system of induction motors of vehicles/ Oleg Gubarevych, Melkonova, Hryhorii Melkonov, Olha Melnyk, Mariia Miroshnykova, 2011 –46с.
4. T. ORLOWSKA Simple diagnostic technique of a single IGBT open-circuit faults for an SVM-VSI vector controlled induction motor drive/ T. ORLOWSKA-KOWALSKA, P. SOBANSKI, 2012 –14с.
5. Mohammed Obaid Mustafa On Fault Detection, Diagnosis and Monitoring for Induction Motors/ Mohammed Obaid Mustafa, 2019.–275с.

Карлов Кирило Сергійович – Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 252С навчальної групи, Харків, Україна; email: kirillkarlov351@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5679-1492>.

Зєнович Олександр Євгенійович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, доцент кафедри № 203, Харків, Україна; email: aezenovich@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-2674>.

Георгієв Юрій Вікторович – Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7189-3966>.

Козир Анастасія Володимирівна – Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 252С навчальної групи, Харків, Україна; email: kozyranastasia27@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7397-8723>.

Kyrylo Serhiyovych - Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozheduba, student of the 252C educational group, Kharkiv, Ukraine; email: kirillkarlov351@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5679-1492>.

Oleksandr Evgeniyovych Zenovych – candidate of technical sciences, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozheduba, associate professor of department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: aezenovich@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-2674>.

Georgiev Yuriy Viktorovych - Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozheduba, senior lecturer of department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: yura.georgiev.74@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7189-3966>.

Kozyr Anastasia Volodymyrivna - Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozheduba, student of the 252C educational group, Kharkiv, Ukraine; email: kozyranastasia27@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7397-8723>.