

КОНТРОЛЬ СПРАВНОСТІ ОБМОТОК КОРОТКОЗАМКНЕНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Захарченко П.І.

ВАТ “Первомайський електромеханічний завод ім. К.Маркса”

Сивокобиленко В.Ф., Полковніченко Д.В., Чекавський Г.С.

Донецький національний технічний університет

Вступ. Перехід на обслуговування й ремонт обладнання по фактичному стану дозволяє значно знизити витрати на забезпечення працездатності підприємств і електростанцій. Для такого переходу необхідні ефективні засоби контролю стану обладнання, що дозволяють виявляти усі потенційно небезпечні дефекти на стадії їх зародження. Впровадження таких засобів дозволяє не тільки контролювати реальний поточний технічний стан механізмів, але й зменшити фінансові й трудові витрати на експлуатацію обладнання, продовжити міжремонтний період і термін служби механізмів [1].

До основних недоліків відомих систем контролю стану електрообладнання відносяться їхня обмежена надійність, пов'язана з великою кількістю датчиків і кабельних трас, а також висока вартість цих систем і великі витрати на підтримку їх працездатності, у тому числі й на аналіз отриманих даних. Саме ці обмеження приводять до того, що системи контролю встановлюються лише на частину основного обладнання й практично не використовуються для контролю стану допоміжного обладнання [2].

Найпоширенішим приводом сучасних механізмів є короткозамкнені асинхронні електродвигуни (АД). При цьому одними з найбільш часто виникаючих видів ушкоджень короткозамкнених АД є ушкодження статорних і роторних обмоток [3]. Тому розробка способів контролю стану обмоток таких машин є актуальною.

Мета роботи. Основною метою проведених в роботі досліджень була розробка способу контролю справності обмоток короткозамкнених асинхронних електродвигунів, що не потребує відключення обладнання та легко реалізується в умовах підприємств і власних потреб ТЕС.

Матеріал і результати дослідження. На основі аналізу результатів проведених досліджень запропоновано для контролю стану справності обмоток короткозамкнених АД використовувати функціональні залежності миттєвих значень фазних струмів статора або їх співвідношень, наприклад залежність $i_1(t)=f[i_2(t)]$. При цьому i_1 і i_2 визначаються як

$$i_1(t) = i_a(t) + i_c(t); i_2 = \frac{i_a(t) - i_c(t)}{\sqrt{3}},$$

де $i_a(t)$, $i_c(t)$ – миттєві значення струмів фаз А і С.

Використання струмів фаз А і С обумовлено тим, що на багатьох приєднаннях електродвигунів трансформатори струми встановлюються лише в цих двох фазах.

На рис.1 приведені залежності $i_1(t)=f[i_2(t)]$, які отримані шляхом математичного моделювання для

справного двигуна і при наявності в ньому дефектів обмоток статора і ротора. Моделювання виконувалося для АД типу АНЗ-16-36-12 потужністю 1000 кВт, який має сто тридцять два паза обмотки короткозамкненого ротору, а його фазні обмотки статора виконані з двох паралельних гілок. Згідно з [4] для цього двигуна несиметрія струмів при обриві одного стрижня короткозамкненого ротору складає 5 %, а при обриві однієї паралельної гілки обмотки статора – 25 %. При цьому частота струму зворотної послідовності f_2 , який викликаний обривом стрижнів короткозамкненого ротору АД, є функцією ковзання s , і визначається за виразом [5]

$$f_2=f_1(1-2s),$$

де f_1 – частота напруги живлення.

Виходячи з цього наявність дефекту короткозамкненого ротору викликає пульсації струму в усіх фазах обмотки статора, а дефекти обмотки статора викликають несиметрію амплітуд в пошкодженій і «здорових» фазах [6].

Аналіз отриманих залежностей показує, що для повністю справного двигуна залежність $i_1(t)=f[i_2(t)]$ представляє собою правильну окружність (рис.1,а). При виникненні дефекту відбувається її спотворення. Так виникнення дефекту короткозамкненого ротору призводить до утворення кільця, товщина якого згідно залежності $i_1(t)=f[i_2(t)]$ пропорційна струму зворотної послідовності і залежить від ступеня дефекту короткозамкненого ротору АД (рис.1,б). При виникненні дефекту обмотки статора залежність $i_1(t)=f[i_2(t)]$ представляє собою еліпс (рис.1,в). При цьому по виду еліпса можна визначити не тільки наявність дефекту, а й вид дефекту, його ступень та пошкоджену фазу. Так ступень розвитку дефекту можна визначити по зміні діаметрів великої й меншої осей еліпсу, а від того яка фаза пошкоджена залежить напрямок нахилу залежності.

На рис.2 наведені залежності $i_1(t)=f[i_2(t)]$ при вткотовому замиканні в фазі обмотки статора АД. Як видно із цих залежностей при збільшенні числа витків, що замкнулися, збільшуються діаметри великої й малої осей еліпса. При цьому при ушкодженні у фазі А залежність має нахил вправо (рис.2,а), а при ушкодженні у фазі С – вліво (рис.2,б).

При обриві паралельної гілки обмотки статора в фазі А залежність $i_1(t)=f[i_2(t)]$ навпаки має нахил вліво (рис.3,б), а в фазі С – вправо (рис.3,а). При цьому в залежності від ступеня дефекту зменшуються діаметри великої й малої осей еліпса.

При виникненні дефекту у фазі В обмотки статора АД запропонована залежність представляє собою окружність, але її діаметр зменшується при обриві

паралельної гілки або збільшується при витковому замиканні у порівнянні з залежністю, яка відповідає справному електродвигуну.

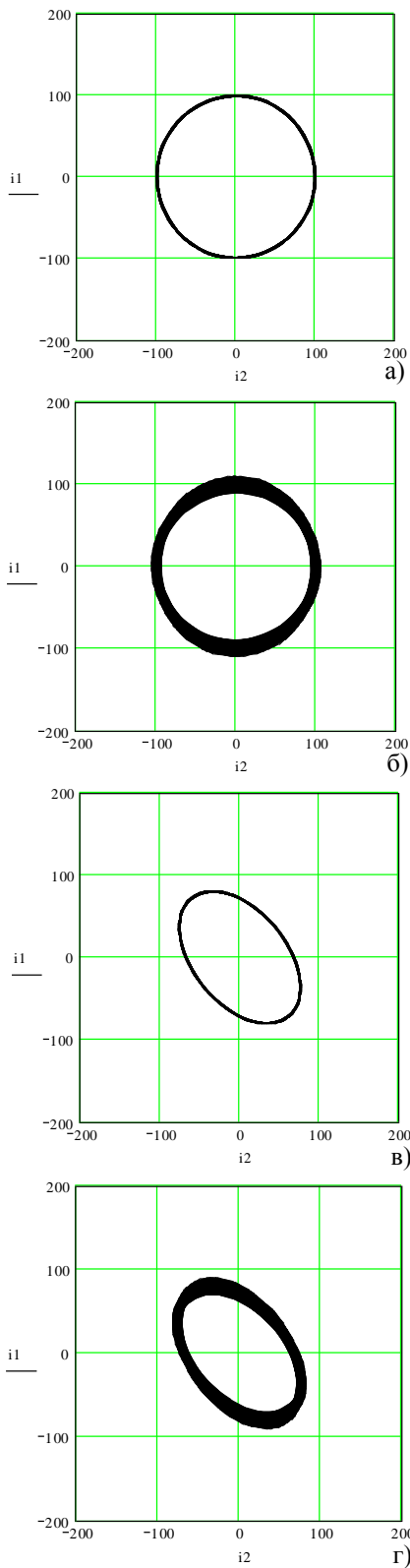


Рисунок 1 Залежності $i_1(t)=f[i_2(t)]$: а – для справного АД; б – при обриві одного стрижня короткозамкненого ротору; в – при обриві однієї паралельної гілки обмотки статора; г – при обриві однієї паралельної гілки і одного стрижня короткозамкненого ротору

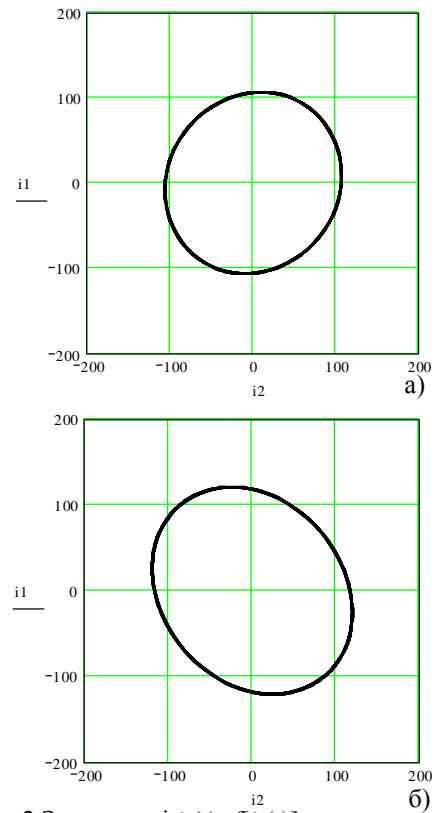


Рисунок 2 Залежності $i_1(t)=f[i_2(t)]$ при витковому замиканні в фазі обмотки статора АД: а – замкнено 5% витків в фазі А; б – замкнено 10 % витків в фазі С

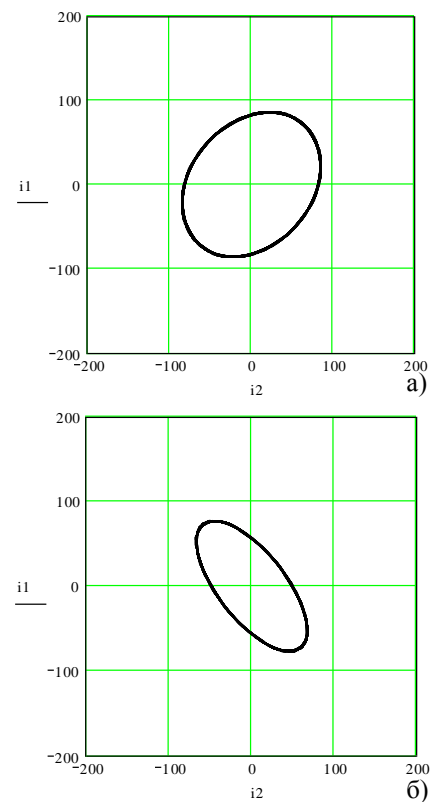


Рисунок 3 Залежності $i_1(t)=f[i_2(t)]$ при обриві паралельних гілок в фазі обмотки статора АД: а - обрив однієї з трьох гілок в фазі С; в - обрив двох із трьох гілок в фазі А

Результати отримані шляхом математичного моделювання підтверджені експериментальними дослідженнями, які були проведені в лабораторії кафедри «Електричні станції» Донецького національного технічного університету.

Дослідження виткових замикань в обмотці статора проведено на дослідному АД 0,4 кВ типу 4А112М4У3 потужністю 5,5 кВт із виведеними у фазі А відпайками, що дозволяють імітувати замикання витків. На рис.4 приведена залежність $i_1(t)=f[i_2(t)]$ при наявності замикання 16 % витків фази обмотки статора АД.

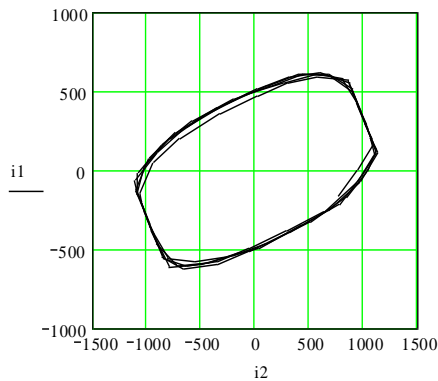


Рисунок 4 Залежність $i_1(t)=f[i_2(t)]$ при замиканні 16 % витків фази обмотки статора АД

Для дослідження режимів роботи АД при обриві стрижнів короткозамкненого ротору використовувався дослідний АД 0,4 кВ типу 4А132М6У3, ротор якого модернізований з метою забезпечення можливості імітації обривів стрижнів обмотки. Для цього на вийнятому роторі відрізані й замінені бічні короткозамикаючі кільця, а у всіх стрижнях із двох сторін виконані отвори з різьбленням. Виконана модернізація дозволяє імітувати обриви стрижнів короткозамкненої обмотки ротора. Для цього за допомогою викрутки через отвори в бічних кришках вигвинчуються болти, що з'єднують стрижень із короткозамикаючими кільцями. На рис.5 приведена залежність $i_1(t)=f[i_2(t)]$ при наявності трьох обірваних стрижнів короткозамкненого ротора АД.

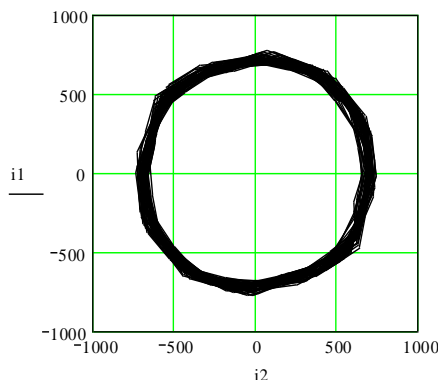


Рисунок 5 Залежність $i_1(t)=f[i_2(t)]$ при обриві трьох стрижнів короткозамкненого ротора АД

Для оцінки впливу несиметрії напруги живлення на залежності фазних струмів треба також контролювати і залежність фазних напруг або висновок

про причини несиметрії струмів виконується на підставі розрахунку і порівняння величин фазних опорів обмоток двигуна [7].

Для запровадження запропонованого способу не потрібні ні додаткові датчики, ні складні пристрої та алгоритми його реалізації. Особливо зручним є використання цифрових осцилографів, які останнім часом широко впроваджуються на промислових підприємствах. У цьому випадку роблять запис фазних струмів двигунів за допомогою струмовимірювальних клішів, а потім відтворюють функціональні залежності $i_1(t)=f[i_2(t)]$ на моніторі комп'ютера.

Висновки. 1. Запропоновано спосіб контролю справності обмоток короткозамкнених АД, який заснований на виявленні залежностей між миттєвими значеннями струмів різних фаз обмотки статора АД, який працює в робочому режимі.

2. Спосіб дозволяє виявляти дефекти клітки короткозамкненого ротора, виткові замикання і обрив паралельних гілок обмотки статора, а також ступінь дефекту і пошкоджену фазу.

3. На підставі запропонованого способу можна організувати діагностування електродвигунів шляхом періодичного контролю запропонованих залежностей. Зміна технічного стану двигуна оцінюється шляхом порівняння залежностей з тими, що були отримані раніше.

ЛІТЕРАТУРА

1. <http://stmnik.narod.ru>.
2. Барков А.В., Тулугуров В.В. Диагностическое обслуживание предприятий - основа перевода оборудования на ремонт по состоянию // <http://vibrotec.com>
3. Глебов И.А., Мамиконянц Л.Г. Электрические машины. "Обзор докладов международной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ)". - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 104 с.
4. Полковниченко Д.В. Математическое моделирование установившихся режимов работы асинхронных электродвигателей при наличии в них дефектов // Сборник научных трудов ДонГТУ. Серия: электротехника и энергетика, выпуск 28. - Донецк: ДонГТУ. – 2001. – С.100-102.
5. Брюханов Г.А., Князев С.А. Метод и устройство для диагностики состояния роторных обмоток асинхронных электродвигателей // Электрические станции. – 1986. - № 2. – С. 44-45.
6. Сивокобыленко В.Ф., Полковниченко Д.В. Диагностика состояния ротора асинхронного электродвигателя на основе контроля параметров рабочего режима // Сборник научных трудов ДонГТУ. Серия: электротехника и энергетика, выпуск 41. - Донецк: ДонГТУ. – 2002. – С.41-45.
7. Сивокобыленко В.Ф., Полковниченко Д.В., Кукуй К.А. Диагностика асинхронного электропривода по данным измерений рабочего режима // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний університет". Збірник наукових праць. Тематичний випуск. "Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика". – Харків: НТУ "ХПІ", 2003, № 10. – Т.1. – с.502-505.