

## ДІАГНОСТИКА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВЕЛИЧИНИ ПУСКОВОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОМЕНТУ

Ю.М.Васьковський<sup>2</sup>, докт.техн.наук, О.І.Титко<sup>1</sup>, чл.-кор. НАН України, І.С.Макейкін<sup>2</sup>,  
В.А.Кравчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>- Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна, e-mail: [ied10@ukr.net](mailto:ied10@ukr.net)

<sup>2</sup>- Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна. e-mail: [yun157@gmail.com](mailto:yun157@gmail.com)

*У статті досліджуються характеристики методу діагностики асинхронних двигунів (АД), що базується на аналізі величини електромагнітного моменту, який необхідний для початку руху ротора. Величина пускового моменту змінюється внаслідок появи ушкоджень двигуна. Запропонований метод при забезпеченні достатньої достовірності дозволяє діагностувати будь-який АД простими штатними вимірювальними засобами і не потребує спеціальної підготовки персоналу. Для цього потрібно проводити порівняльний аналіз величин напруги живлення, при якій починається рух ротора, відповідно для ушкодженого і неушкодженого АД. Розглянуто два основних випадки ушкодження – короткі замикання обмотки статора і обриви стержнів короткозамкненої обмотки ротора. Показано, що в цих випадках зміна пускового моменту (напруги пуску) відбувається по-різному: при коротких замиканнях статора пусковий момент зменшується (потрібна для запуску напруга збільшується), а при розриві стержнів ротора – навпаки. Шляхом математичного моделювання на прикладах АД потужністю 1,7 ... 200 кВт показана висока чутливість запропонованого методу діагностики, що сприяє його широкому впровадженню. Бібл. 8, рис. 6.*

**Ключові слова:** діагностика асинхронних двигунів, пусковий електромагнітний момент, математична модель, ушкодження обмоток статора і ротора.

**Вступ.** Останнім часом проблема достовірного діагностування наявних або набутих під час тривалої експлуатації дефектів асинхронних двигунів (АД) отримала значну увагу серед фахівців-електромеханіків. Пов'язано це як з розширенням парку існуючих АД та необхідністю підтримання достатньо високого рівня їхнього технічного стану, так і з відпрацюванням значною кількістю двигунів гарантійних термінів експлуатації, що супроводжується зменшенням їхньої експлуатаційної надійності. Своєчасна і достовірна діагностика дефектів АД дозволяє суттєво знизити економічні втрати від аварійної зупинки двигунів за рахунок обґрунтованого виводу їх у ремонт за результатами аналізу фактичного технічного стану.

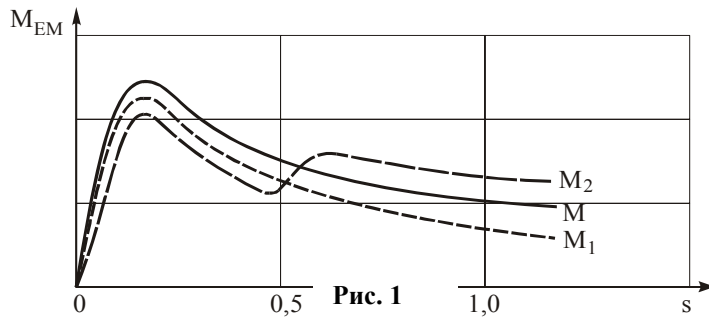
Науково обґрунтовано і запропоновано для практичного використання значну кількість різних методів діагностики АД, які ґрунтуються на виявленні та аналізі діагностичних ознак різної фізичної природи. Серед методів функціональної діагностики, які реалізуються безпосередньо в процесі роботи двигуна, можна виділити: метод вібраційної діагностики, який базується на аналізі змін вібрацій двигунів [1,5,8]; метод спектрального аналізу споживаного струму і потужності [3,4,6,7]; методи тепловізорного контролю тощо. В методах функціональної діагностики збуджуючими факторами виступають основні фізичні процеси, що протікають у двигунах. Серед методів тестової повузлової діагностики, які реалізуються в зупинених АД, можна виділити метод індукційного контролю та діагностики [2,5] та ін.

Більшість із зазначених методів, особливо методи функціональної діагностики, потребують для своєї практичної реалізації складного і затратного апаратного та програмного забезпечення, а також високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Тому сфера їхнього впровадження обмежується окремими зразками АД – зазвичай це потужні двигуни, що виконують важливі технологічні функції. Для АД загальнопромислового виконання малої та середньої потужності використання складних діагностичних систем недоцільно. Тому актуальним залишається наукове обґрунтування та розробка методу діагностики, який за умови забезпечення достатньої достовірності дозволяє діагностувати будь-який АД простими штатними вимірювальними засобами і не потребує спеціальної підготовки персоналу. Такий метод можна охарактеризувати як "інженерний", він повинен забезпечувати прийняття обґрунтованих рішень щодо подальшої експлуатації або виводу в ремонт двигуна і тому може знайти

широке впровадження в умовах промислових підприємств, у різноманітних ремонтних майстернях тощо.

Метою статті є визначення характеристик методу діагностики, який ґрунтується на порівняльному аналізі величин пускових моментів ушкодженого і неушкодженого АД. Відхилення пускового моменту двигуна, що діагностується, від пускового моменту справного двигуна засвідчує наявність відповідних ушкоджень. Для реалізації методу достатньо вимірювального вольтметра.

**Теоретичні основи методу діагностики.** Уперше в загальному вигляді ідея методу діагностики АД на основі аналізу його пускового моменту була запропонована в роботі [5]. Суть її полягає у наступному. Будь-яке ушкодження обмотки статора (короткі замикання витків, обрив фази тощо) або обмотки ротора (обрив стержнів клітки ротора, обрив фази та ін.) призводить до порушення симетрії



конструкції АД і, як наслідок, спотворення механічної характеристики двигуна – залежності електромагнітного моменту від ковзання  $M_{EM}(s)$ . На рис. 1 схематично показано механічні характеристики неушкодженого АД (позначено літерою  $M$ ), АД з ушкодженою обмоткою статора (позначено літерою  $M_1$ ) і АД з ушкодженою обмоткою ротора (позначено літерою  $M_2$ ).

Як видно, у зоні пуску АД (при  $s=1$ ) маємо  $M_1 < M$  і  $M_2 > M$ . Ці ефекти

пояснюються появою внаслідок порушення симетрії конструкції АД додаткових обертових магнітних полів зворотного порядку чергування фаз. При ушкодженні обмотки статора зворотне магнітне поле рухається назустріч напрямку обертання ротора, що призводить до гальмування ротора, тобто до зменшення результуючого електромагнітного моменту двигуна. При ушкодженні ротора в діапазоні ковзань  $0,5 < s < 1,0$  виникає зворотне магнітне поле ротора, яке створює додатковий рушійний момент, тобто призводить до збільшення в зоні пуску результуючого електромагнітного моменту двигуна. Відповідно змінюється і величина пускового моменту АД. Таким чином, ушкодження різного типу АД (обмотки статора або ротора) призводить до різного характеру зміни пускового моменту двигуна. Цей факт запропоновано використовувати для діагностики АД. Процедура діагностування є наступною. Нехай двигун є нерухомим і не має навантаження на валу. Поступово будемо підвищувати симетричну трифазну напругу живлення обмотки статора до моменту часу, коли ротор АД починає рухатися. За допомогою вольтметра в одній з фаз фіксується напруга живлення, при якій починається рух. Оскільки величина електромагнітного моменту АД пропорційна квадрату напруги живлення, то за рівних інших умов (наприклад, однаковий стан підшипників) для початку руху АД з ушкодженою обмоткою статора потрібно прикласти більшу напругу живлення у порівнянні з неушкодженим двигуном. Якщо ж ушкодженою є обмотка ротора, то рух ротора такого двигуна починається при меншій нарузі живлення. Для такої діагностики потрібно мати базу експериментальних даних щодо величини напруги живлення для початку пуску справного АД даного типу з положення холостого ходу (без навантаження). Така інформація може бути легко отримана безпосередніми випробуваннями двигуна перед початком його експлуатації або після його виготовлення на заводі та внесення відповідної величини напруги пуску в паспортні дані двигуна. Запропонований метод не дозволяє детально визначити місце ушкодження, але є достатнім для прийняття рішення щодо виводу двигуна в ремонт з подальшим пошуком та деталізацією наявних ушкоджень іншими діагностичними методами.

Для оцінки можливості практичного впровадження зазначеного методу діагностики потрібно дослідити його чутливість у залежності від наявних обсягів ушкоджень, потужності двигуна і інших чинників. Таке дослідження проводиться в роботі методами математичного моделювання.

**Математична модель.** Математична модель передбачає розв'язання рівняння електромагнітного поля в активній зоні АД і визначення електромагнітного моменту, який діє на його ротор. Розглядається поле у двовимірному наближенні в поперечному перетині для сталих процесів, припускаючи, що всі польові функції змінюються у часі за гармонійним законом. Враховуючи, що ротор розглядається нерухомим, рівняння електромагнітного поля відносно комплексної амплітуди єдиної просторової (осьової) складової векторного магнітного потенціалу  $\dot{A}_z$  має наступний вигляд:

$$\Delta \dot{A}_z - j\omega\mu\dot{A}_z = -\mu\dot{J}_{\text{стоп}}, \quad (1)$$

де  $\dot{J}_{\text{стор}}$  – густина сторонніх струмів (це густина струмів у пазах статора, яка задається відповідно до схеми обмотки статора);  $\omega$  – кутова частота зміни у часі векторного магнітного потенціалу;  $\mu$  – магнітна проникність;  $\gamma$  – електропровідність.

Джерелами поля є густина сторонніх струмів трьох фаз обмотки статора

$$\begin{aligned} \dot{J}_{A\text{стор}} &= I_m u_{\Pi} / S_{\Pi}, & \dot{J}_{B\text{стор}} &= I_m u_{\Pi} [\cos(-2\pi/3) - j\sin(-2\pi/3)] / S_{\Pi}, \\ \dot{J}_{C\text{стор}} &= I_m u_{\Pi} [\cos(-4\pi/3) - j\sin(-4\pi/3)] / S_{\Pi}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $I_m$  – амплітуда струму в фазі обмотки статора;  $u_{\Pi}$  – число послідовно з'єднаних провідників у пазу статора;  $S_{\Pi}$  – площа перетину паза статора. Електропровідність у пазах статора дорівнює нулю, що обумовлює можливість протікання в пазах статора тільки сторонніх струмів від зовнішнього джерела живлення АД. У пазах ротора задається електропровідність матеріалу, з якого виконана короткозамкнена обмотка ротора. Рівняння (1) доповнюється однорідними граничними умовами першого роду на лінії зовнішньої поверхні яра статора  $G$ , що обмежує розрахункову область

$$\dot{A}_z \Big|_G = 0. \quad (3)$$

Величина  $\mu$  у кожній точці розрахункової області, де знаходяться феромагнітні матеріали, визначається за відповідними кривими намагнічування. Складові вектора магнітної індукції в декартовій системі координат визначаються за співвідношеннями

$$\dot{B}_x = \partial \dot{A}_z / \partial y, \quad \dot{B}_y = -\partial \dot{A}_z / \partial x. \quad (4)$$

Електромагнітний момент, що діє на ротор, визначається за формулою

$$M_{EM} = \frac{R_{\delta} \cdot l_{\Pi}}{\mu_0} \cdot \int_0^{2\pi R_{\delta}} B_n \cdot B_{\tau} \cdot dl, \quad (5)$$

де  $\dot{B}_n, \dot{B}_{\tau}$  – відповідно нормальна (направлена уздовж вектора нормалі до поверхні в заданій точці) і тангенціальна (направлена уздовж дотичної до поверхні в заданій точці) проекції вектора магнітної індукції,  $R_{\delta}$  – радіус ротора,  $l_{\Pi}$  – довжина ротора. Інтегрування ведеться уздовж повної довжини кола поверхні ротора.

Нормальна і тангенціальна складові вектора магнітної індукції визначаються через проекції вектора індукції в декартовій системі координат за виразами

$$\dot{B}_n = \dot{B}_y \cos \alpha + \dot{B}_x \sin \alpha = \left( y \dot{B}_y + x \dot{B}_x \right) / R_{\delta}, \quad \dot{B}_{\tau} = \dot{B}_x \cos \alpha - \dot{B}_y \sin \alpha = \left( y \dot{B}_x - x \dot{B}_y \right) / R_{\delta}, \quad (6)$$

де  $x, y$  – проекції радіус-вектора на осі системи координат.

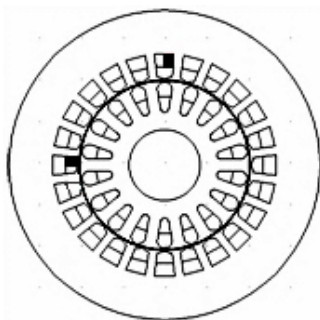


Рис. 2

*Моделювання ушкоджень.* КЗ витків обмотки статора моделюються наступним чином. На рис. 2 показано поперечний переріз чотириполюсного АД, на якому темним кольором позначено частину площі перерізу котушки статора, що містить КЗ витки. Ця частина котушки утворює короткозамкнений контур, в якому протікають індуквані струми. У цій частині котушки сторонні струми згідно з виразами (2) відсутні, але задається електропровідність міді для утворення електропровідного контуру. Наявність такого контуру в статорі обумовлює зміну електромагнітного моменту. Площа перерізу ушкодженої котушки варіюється і в процентному відношенні дорівнює кількості короткозамкнених витків статора.

Ушкодження обмотки ротора, характерним видом яких є розрив стержнів ротора, моделюється шляхом завдання в пазах ротора з розірваними стержнями нульової електропровідності матеріалу.

**Результати моделювання.** Для подальших досліджень введемо поняття коефіцієнта чутливості зазначеного методу діагностики, який характеризує відношення струмів в обмотці статора, при яких починається рух ротора АД, відповідно для ушкодженого і неушкодженого двигунів

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{ушкод}} / I_{\text{неушкод}}. \quad (7)$$

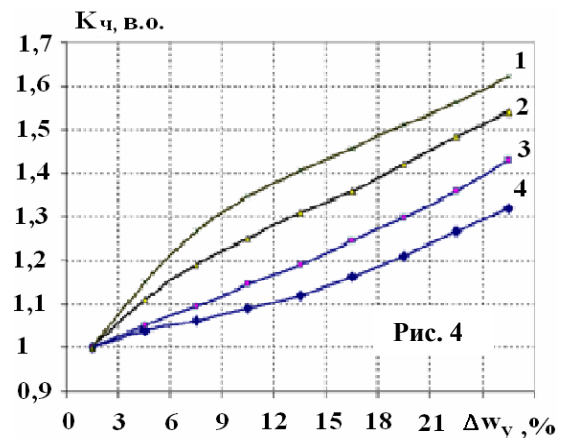
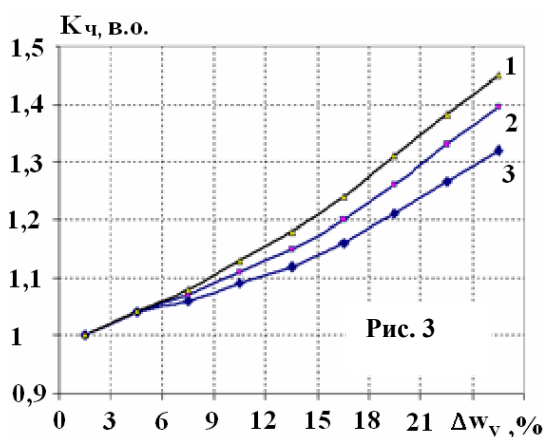
Оскільки при КЗ асинхронного двигуна та при напругах живлення  $U_1 = (0 \dots 0,4) U_{1N}$  струм і напруга

статора між собою є пропорційними, то можна вважати, що коефіцієнт чутливості характеризує також і відношення напруг живлення, при яких починається рух ротора і які можуть безпосередньо вимірюватися наявним вольтметром.

Згідно з загальними теоретичними уявленнями чисельне значення коефіцієнта  $K_{\text{ч}}$  є більшим за одиницю у разі ушкодження обмотки статора і меншим за одиницю у разі ушкодження обмотки ротора. Важливим результатом даного дослідження, який дозволяє дати оцінку запропонованому методу, є визначення залежності коефіцієнта  $K_{\text{ч}}$  від обсягів ушкодження АД. Надалі шляхом математичного моделювання визначено чисельні значення коефіцієнта  $K_{\text{ч}}$  відповідно при ушкодженні обмоток статора і ротора. Величина  $K_{\text{ч}}$  визначається при заданому мінімальному електромагнітному моменті  $M_{\text{min}}$ , коли починається рух ротора і який у розрахунках залишається незмінним. Важливим фактором, що впливає на кінцевий результат, є правильний вибір величини  $M_{\text{min}}$ . Його величина залежить від стану механічної системи двигуна (стану підшипників), наявності приєднаного до ротора механічного навантаження тощо. Цей фактор досліджується окремо.

Дослідження проведено на прикладі серійних АД загальнопромислового виконання серії АИР. Для отримання узагальнених висновків щодо чутливості методу розглянуто широкий діапазон потужностей АД – від 1,7 до 200 кВт. Зокрема розглядалися чотириполюсні двигуни потужністю 1,7; 7,5; 15; 45 і 200 кВт.

*Моделювання ушкодження обмотки статора.* Моделювалися ушкодження обмотки статора у вигляді коротких замикань частини витків однієї фази. Інші фази обмотки статора вважалися неушкодженими. З урахуванням різних обмотувальних даних у різних за потужністю АД для порівняння розрахункових результатів обсяг ушкодження характеризується процентним співвідношенням частини ушкоджених витків фази до повної їхньої кількості. Розглядалися наступні співвідношення:  $\Delta w_y = 3\%$ ,  $6\%$ ,  $12,5\%$  і  $25\%$  ушкоджених витків.



На рис. 3 для АД типу АИР132S4 потужністю 7,5 кВт показані розраховані залежності коефіцієнта  $K_{\text{ч}}$  від параметра  $\Delta w_y$  для різних значень  $M_{\text{min}}$ . Позначено цифрами: 1)  $M_{\text{min}} = 32,3$  Нм; 2)  $M_{\text{min}} = 15,6$  Нм; 3)  $M_{\text{min}} = 4,1$  Нм. З рис. 3 видно, що при однакових обсягах ушкодження коефіцієнт чутливості зростає зі збільшенням необхідного для запуску АД моменту  $M_{\text{min}}$ . Або, з іншого боку, при більших  $M_{\text{min}}$  можливо виявити ушкодження з меншими обсягами. Очевидно, що при  $M_{\text{min}} = 0$  коефіцієнт чутливості  $K_{\text{ч}} = 1$ , тобто діагностика ушкодження є взагалі неможливою. Таким чином, для підвищення результативності діагностування доцільно мати на валу ротора додатковий момент опору, наприклад, з'єднувати двигун з навантаженням. Але, з іншого боку, оскільки момент опору може змінюватися у часі внаслідок ушкоджень у самому механічному навантаженні, то його застосування може внести похибку в результати діагностування АД. Надалі при порівняльному аналізі різних за потужністю АД вважалося, що мінімальний електромагнітний момент пуску складає  $9\%$  від номінального електромагнітного моменту АД.

На рис. 4 показано залежності коефіцієнта  $K_{\text{ч}}$  від параметра  $\Delta w_y$  для АД різної потужності при  $M_{\text{min}} = 0,09 M_{\text{ном}}$ . Позначено цифрами: 1) 200 кВт; 2) 45 кВт; 3) 15 кВт; 4) 1,7 кВт.

З наведених на рис. 4 даних можна зробити наступні висновки.

А. Запропонований метод діагностики є достатньо чутливим для виявлення та діагностування коротких замикань витків обмотки статора. Наприклад, при наявності  $6\%$  ушкоджених витків фази обмотки коефіцієнт  $K_{\text{ч}}$  дорівнює  $1,07 \dots 1,22$ , що достатньо для виявлення та діагностування зазна-

ченого виду uszkodження АД простими апаратними засобами (вольтметр). Більша чутливість даного методу діагностики у порівнянні з іншими, наприклад, методом контролю величини струму статора, пояснюється тим, що електромагнітний момент двигуна залежить від квадрату напруги живлення, а величина струму – від першої степені напруги.

Б. Особливо суттєвим є зростання величини коефіцієнта  $K_{\text{ч}}$  для АД великої потужності, тобто чутливість методу зростає зі збільшенням потужності АД. Це робить використання запропонованого методу перспективним для потужних двигунів.

В. Найбільш швидко коефіцієнт  $K_{\text{ч}}$  змінюється на початковому етапі зростання процентної кількості uszkodжених витків обмотки статора – від нуля до 5%. Це дає можливість ефективно діагностувати uszkodження обмотки статора на початковій стадії її руйнації, що дозволяє своєчасно виводити АД у ремонт без аварійної зупинки.

*Моделювання uszkodження обмотки ротора.* Моделювалися uszkodження короткозамкненої обмотки ротора АД у вигляді розривів стержнів клітки ротора. Обсяг uszkodження характеризується процентним співвідношенням частини розірваних стержнів до повної їх кількості  $\Delta n_{\text{ст}} \%$ . На рис. 5, а і 5, б зображено залежності електромагнітного моменту від прикладеної напруги для двигунів потужністю відповідно 7,5 і 200 кВт. Цифрами 1 – 4 позначено криві відповідно для неушкодженого АД, а також при  $\Delta n_{\text{ст}} = 5, 10, 15 \%$ . Також показано значення пускових моментів, коли починається рух ротора. Для АД потужністю 7,5 кВт він дорівнює 5 Нм, а для 200 кВт – 200 Нм.

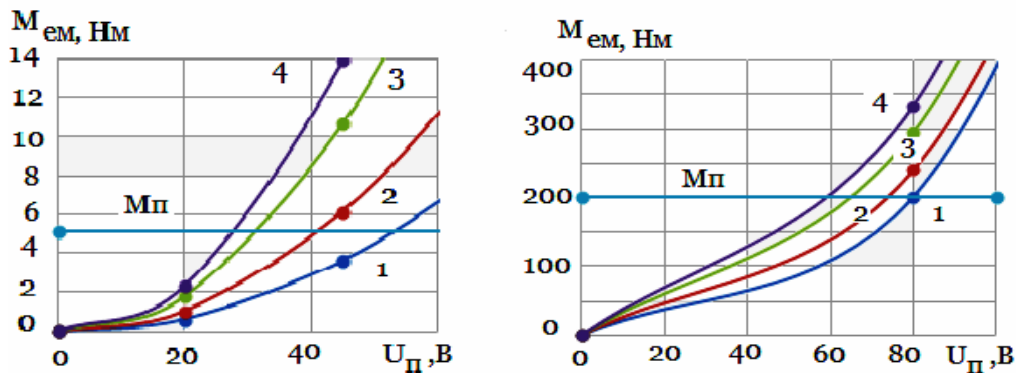


Рис. 5, а, б

З рис. 5 видно суттєве зменшення напруги живлення, при якій починається рух uszkodженого ротора АД, що обґрунтовує можливість ефективного діагностування зазначеного виду uszkodження.

На рис. 6 показано залежності коефіцієнта чутливості  $K_{\text{ч}}$  від параметра  $\Delta n_{\text{ст}}$  для двигунів різної потужності при величині  $M_{\text{мін}} = 0,09 M_{\text{ном}}$ . Цифрами позначено: 1) 1,7 кВт; 2) 7,5 кВт; 3) 15 кВт; 4) 45 кВт; 5) 200 кВт. З наведених кривих видно, що при однаковому процентному співвідношенні кількості uszkodжених стержнів у двигуні меншої потужності спостерігається більш суттєве зменшення напруги живлення, яка необхідна для початку руху ротора, тобто на відміну від коротких замикань обмотки статора зазначений метод при діагностуванні розривів стержнів ротора є більш чутливий для двигунів меншої потужності. Слід підкреслити, що при  $\Delta n_{\text{ст}} > 30\%$  потрібна для пуску двигуна напруга живлення починає збільшуватися, але таке uszkodження характерне для практично зруйнованих, непрацездатних АД, які вилучаються з експлуатації за іншими очевидними ознаками і тому з точки зору діагностики виявлення uszkodжень таких обсягів практичного значення не має.

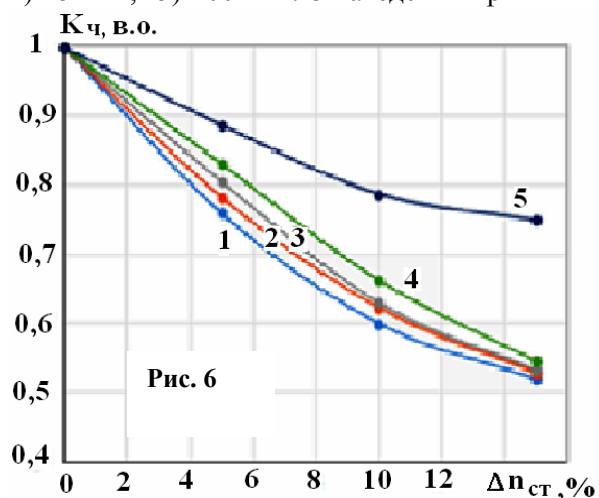


Рис. 6

Важливо відзначити, що отримані результати математичного моделювання добре корелюються з експериментальними даними, отриманими для АД потужністю 1,7 кВт [5].



Ефективність запропонованого методу досліджувалася і для іншого виду uszkodження ротора – ексцентриситету ротора. Як показали результати моделювання, в даному випадку електромагнітний момент (напряга живлення) пуску ротора мало залежить від величини ексцентриситету – всього 1...1,5%. Тому діагностику наявності ексцентриситету ротора АД треба проводити іншими методами.

**Висновки.** 1. Визначення дефектів обмоток ротора і статора АД можна ефективно виконати на основі методу аналізу величини пускового електромагнітного моменту за допомогою простих апаратних засобів (амперметр або вольтметр). Різний характер зміни величини напруги (або струму) статора, при якій починається рух ротора uszkodженого АД, дозволяє однозначно ідентифікувати випадки uszkodжень обмоток статора або ротора. Зазначений метод не потребує високої кваліфікації обслуговуючого персоналу і є перспективним для широкого впровадження в умовах експлуатації, виробництва та при ремонті АД широкої номенклатури потужностей та виконання.

2. Шляхом математичного моделювання доведена достатня чутливість розглянутого методу діагностики до появи зазначених дефектів. Так, за наявності 6% КЗ витків у фазі обмотки статора коефіцієнт чутливості методу, який характеризує відношення струмів (або напруг) в обмотці статора на початку руху ротора uszkodженого і неушкодженого двигуна, дорівнює 1,07 ... 1,22 в залежності від потужності АД. За наявності 6% розірваних стержнів ротора коефіцієнт чутливості методу для АД різної потужності дорівнює 0,73 ... 0,86. Такі значення дозволяють надійно діагностувати uszkodження на початкових стадіях їхнього розвитку.

3. Рекомендується розширити регламентований список паспортних даних нових АД за рахунок включення до їхнього переліку напруги пуску двигуна (напруги, коли починається рух ротора в умовах холостого ходу), яка може використовуватися у подальшій експлуатації АД як діагностичний параметр для оцінки наявності дефектів у його конструкції. За відсутності такого параметра його доцільно визначити експериментально перед монтажем виробничої установки.

1. Братиш О.В., Калинов А.П. Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей // Вісник КДПУ. – 2010. – № 2. – С. 41-46.

2. Васьковський Ю.Н., Коваленко М.А. Диагностика скрытых дефектов короткозамкнутой обмотки ротора асинхронного двигателя индукционным методом // Технічна електродинаміка. – 2013. – № 2. – С. 69 – 74.

3. Загірняк М.В., Мамчур Д.Г., Калинов А.П., Чумачова А.В. Диагностика асинхронных двигателей на основе анализа сигнала потребляемой мощности. – Видавн. КрНУ імені М. Остроградського, Кременчук, 2012. – 228 с.

4. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости электротехники. – 2005. – № 1. – С. 50–52.

5. Титко А.И., Васьковський Ю.Н. Научные основы, методы и средства диагностики асинхронных двигателей. – Наш формат, 2015. – 300 с.

6. Cusido J., Rosero J., Aldabas E., Ortega J.A., Romeral L. New fault detection techniques for induction motors // Electrical power quality and utilization. – 2006. – Vol. 2. – No 1. – Pp. 39-46.

7. Messaoudi V., Sbata L. Multiple faults diagnosis in induction motor using the MCSA method // International Journal of Signal and Image Processing. – 2010. – Iss. 3. – No 4. – Pp. 190-195.

8. Pöyhönen S., Jover P., Hyötyniemi H. Independent Component Analysis of Vibrations for Fault Diagnosis of an Induction Motor. Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.113.9005&rep=rep1&type=pdf>

УДК 621.313.32.2-81

## ДИАГНОСТИКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВЕЛИЧИНЫ ПУСКОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА

Ю.М. Васьковський<sup>1</sup>, докт.техн.наук, [А.И. Титко](#)<sup>1</sup>, чл.-корр НАНУ, И.С. Макейкин<sup>2</sup>, В.А. Кравчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup> - Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина,

e-mail: [ied10@ukr.net](mailto:ied10@ukr.net)

<sup>2</sup> - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,

пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина,

e-mail: [vun157@gmail.com](mailto:vun157@gmail.com)

В статье исследуется метод диагностики асинхронных двигателей (АД), основанный на анализе изменения величины электромагнитного момента, необходимого для начала движения ротора. Величина пускового момента изменяется вследствие появления поврежденных двигателя. Предложенный метод позволяет диагностировать любой двигатель простыми штатными измерительными средствами и не требует специальной

подготовки персонала. Для этого, соответственно для поврежденного и неповрежденного АД нужно проводить сравнительный анализ величины напряжения питания, при которой начинается движение ротора. Рассмотрены два основных случая повреждения – короткие замыкания обмотки статора и обрывы стержней короткозамкнутой обмотки ротора. Показано, что в этих случаях изменение пускового момента (напряжения пуска) происходит по-разному: при коротких замыканиях статора пусковой момент уменьшается (необходимое для запуска напряжение увеличивается), а при разрыве стержней ротора – наоборот. Путем математического моделирования АД мощностью 1,7 ... 200 кВт показана высокая чувствительность предложенного метода диагностики, что обеспечивает его широкое внедрение. Библ. 8, рис. 6.

**Ключевые слова:** диагностика асинхронных двигателей, пусковой электромагнитный момент, математическая модель, повреждения обмоток статора и ротора.

## DIAGNOSIS OF INDUCTION MOTORS BASED ON ANALYSIS OF STARTING ELECTROMAGNETIC TORQUE

Yu.M. Vaskovskiy<sup>2</sup>, O.I Tytko<sup>1</sup>, I.S. Makeykin<sup>2</sup>, V.A. Kravchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> - Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,  
pr. Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine,

e-mail: ied10@ukr.net

<sup>2</sup> - National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",

pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine,

e-mail: vun157@gmail.com

*The article examines the characteristics of induction motors (IM) diagnostic method based on an analysis of change of the electromagnetic torque, which is required to start the movement of the rotor. The value of starting torque varies due to the appearance of damage of the motors. The proposed method while ensuring sufficient reliability to diagnose any engine required simple measuring devices and does not require special training. You need to conduct a comparative analysis of the values of the supply voltage at which the movement begins rotor, respectively, for damaged and undamaged IM. Two major cases of defects – short-circuit the stator winding and destruction of cage bars of the rotor. It is shown that in these cases the change starting torque (voltage) occurs in different ways: in short circuit stator starting torque is reduced (increases of the voltage), and at break rotor bars – on the contrary. Mathematical models of IM (capacity 1.7 ... 200 kW) proved high diagnostic sensitivity of method, ensuring its widespread adoption.*

References 8, figures 6.

**Key words:** diagnostics of asynchronous motors, the start time of the electromagnetic, mathematical model, damage the stator and rotor windings.

1. Bratash O.V., Kalinov A.P. Analysis of vibration diagnostics methods of induction motors // News KDPU. Naukovi pratsi KDPU. – 2010. – No 2. – Pp. 41–46. (Rus)

2. Vaskovskiy Yu.M., Kovalenko M.A. Diagnosis of latent defects of short-circuited winding of the rotor of induction motor by induction method // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2013. – No 2. – Pp. 69 – 74. (Rus)

3. Zagirnyak M.V., Mamchur D.G., Kalinov A.P., Chumachova A.V. Diagnosis of asynchronous motors on the analysis of signal power consumption. – Vydavnytstvo KrNU M. Ostrogradskiyi, Kremenchug, 2012. – 228 p. (Ukr)

4. Petukhov V.S., Sokolov V.A. Diagnosis of electric motors. Method of spectral analysis of consump current // Novosti Elektrotekhniki. – 2005. – No 1. – Pp. 50–52. (Rus)

5. Titko A.I., Vaskovskiy Yu.M. Scientific bases, methods and means of diagnosing asynchronous motor. – Nash Format, 2015 – 300 p. (Rus)

6. Cusido J., Rosero J., Aldabas E., Ortega J.A., Romeral L. New fault detection techniques for induction motors // Electrical power quality and utilization. – 2006. – Vol. 2. – No 1. – Pp. 39–46.

7. Messaoudi V., Sbita L. Multiple faults diagnosis in induction motor using the MCSA method // International Journal of Signal and Image Processing. – 2010. – Iss. 3. – No 4. – Pp. 190–195.

8. Pöyhönen S., Jover P., Hyötyniemi H. Independent Component Analysis of Vibrations for Fault Diagnosis of an Induction Motor. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.113.9005&rep=rep1&type=pdf> (accessed 06.09.2016)

Надійшла 13.09.2016  
Остаточний варіант 12.01.2017