

В. Ю. Кучерук¹, д.т.н., **О. В. Грабовський²**, к.т.н., **Д. В. Мостовий¹**¹Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця²Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

В статті розглядається загальна класифікація методів вимірювання та ідентифікації параметрів силових електромеханічних перетворювачів, які представляють інформаційну значимість для діагностування. Введені відповідні класифікаційні ознаки та представлена загальна характеристика кожного методу.

Ключові слова: діагностування, вимірювання, ідентифікація, силовий електромеханічний перетворювач.

Вступ

Сьогодні в світі щорічно випускають 7 мільярдів силових електромеханічних перетворювачів (СЕМП), які споживають 70% загальної кількості електроенергії. Електромеханічний перетворювач представляє собою пристрій для перетворення електричного струму чи напруги у механічні переміщення чи навпаки. Як СЕМП використовуються асинхронні двигуни, синхронні двигуни, двигуни постійного струму. СЕМП надзвичайно широко використовуються як силові у насосних станціях водоканалу, у складі димососів, вентиляторів на підприємствах теплокомуненерго. Якість і надійність СЕМП в значній мірі визначаються діагностичним забезпеченням на всіх етапах їх життєвого циклу.

На етапах виробництва, де вирішальним є забезпечення бездефектності технології виготовлення та бездефектності праці при виготовленні СЕМП, обсяг контрольно-діагностичних операцій сягає 50% загальної трудомісткості їх виробництва. Характерною особливістю задач діагностування виробничих дефектів СЕМП в умовах серійного виробництва є те, що чим пізніше виявляються дефекти, тим більше витрат необхідно на локалізацію місця їх виникнення. При цьому діагностичне забезпечення буде ефективним лише тоді, коли з мінімальними витратами забезпечуються високі показники достовірності. Стрімке насичення ринку та загострення конкурентної боротьби привело до того, що контроль якості СЕМП посилювався. Стало зрозумілим, що контроль якості СЕМП після того, як вони вже виготовлені, економічно менш ефективний, ніж створення системи запобігання виникненню браку на всіх стадіях виробництва (системи забезпечення якості виробництва за стандартами ISO 9000).

На етапі експлуатації метою діагностування СЕМП є визначення виду технічного стану, ви-

значення причини переходу СЕМП в непрацездатний технічний стан, прогнозування зміни технічного стану СЕМП з визначенням причини такої зміни чи з визначенням інтервалу часу, після якого можуть початися процеси, що призведуть до небажаної для експлуатації СЕМП зміни його технічного стану.

Процес діагностування стану СЕМП, що складає важливу частину системи забезпечення якості виробництва та експлуатації, є надзвичайно трудомістким із складною методикою визначення окремих діагностичних параметрів і пов'язаний із великими витратами часу та матеріальних ресурсів. Ця проблема ускладнюється тим, що наявність несправності в СЕМП характеризується комплексною зміною різноманітних діагностичних параметрів.

Мета дослідження

Мета дослідження полягає у загальній класифікації методів визначення діагностичних параметрів СЕМП на основі вивчення літературних джерел та систематизації за запропонованими класифікаційними ознаками.

Основна частина

Загальний аналіз існуючих методів визначення діагностичних параметрів СЕМП досить важко охопити, не давши їх класифікацію. Пропонується класифікація (рис. 1) методів визначення діагностичних параметрів СЕМП за такими класифікаційними ознаками: за видом вимірювання; за видом випробовування; за видом інформативного параметра.

За видом вимірювання методи визначення діагностичних параметрів СЕМП розділяються на методи прямого вимірювання, опосередкованого вимірювання.

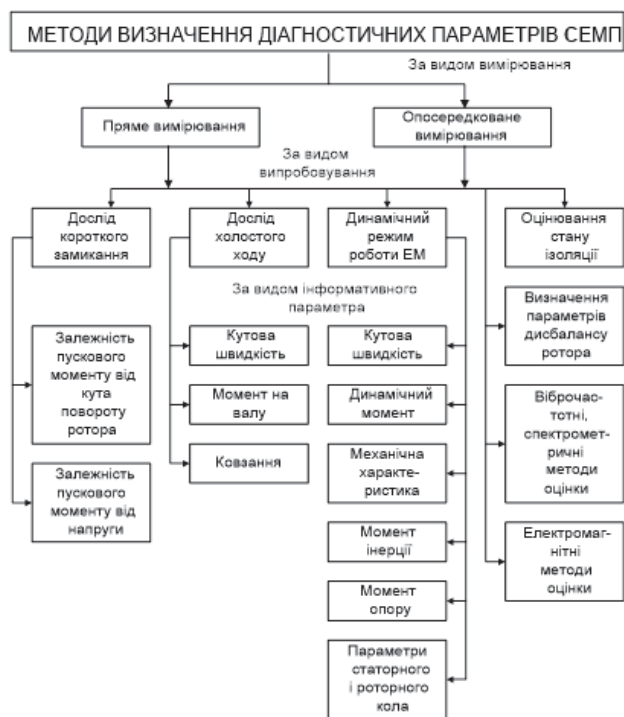


Рисунок 1 – Класифікація методів визначення діагностичних параметрів СЕМП

За видом випробовування методи визначення діагностичних параметрів СЕМП розділяються на дослід короткого замикання; дослід холостого ходу; динамічний режим роботи СЕМП; оцінювання стану ізоляції; методи визначення параметрів дисбалансу ротора; віброчастотні, спектрометричні, теплові, електромагнітні методи.

Основою віброчастотних методів [1] є наявність механічних коливань як явища нормальної передачі динамічних сил через механічну систему. Джерелами вібрації та шуму СЕМП є: кінцевий дисбаланс (неврівноваженість) ротора, наявність еліпсу цапфи валу, наявність неуврівноважених електромагнітних сил (магнітного шуму) і аеродинамічних сил. Крім того, вібрації та шум виникають від підшипників кочення та щіток.

Знаючи амплітуди та частоти окремих складових коливального процесу, тобто його спектр, можна виявити джерела цих коливань за допомогою функцій кореляції [2].

Поведінка функції автокореляції

$K_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t + \tau)dt$ може відображати ТС СЕМП. Наприклад, при появі дефекту, зв'язаного із збудженням періодичного процесу з періодом T , акустичний сигнал $x(t)$ можна представити як суму періодичної $A(t)$ та шумової $Z(t)$ компонент: $x(t) = A(t) + Z(t)$. При значеннях τ , що перевищують інтервал кореляції τ_0 шумового процесу, функція автокореляції стає

періодичною з періодом T . За значеннями нормованої функції кореляції можна визначити відношення енергії періодичної компоненти до енергії всього сигналу, тобто може бути сформована ознака дефекту, що спричинюється змінами співвідношень періодичної та шумової компонент в акустичному сигналі.

З діагностичною метою використовують [3] також властивості функцій взаємної кореляції $K_{xy}(\tau)$ коливальних процесів $x(t)$ і $y(t)$, що виміряні в двох точках конструкції СЕМП. За результатами аналізу можна міркувати про вклад різних джерел збудження вібрації в загальний коливальний процес.

Перетворення Фур'є від функції взаємної кореляції $S_{xy}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} K_{xy}(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau$ (взаємна спектральна щільність потужності) використовується для формування діагностичних ознак за рахунок оцінювання передатної функції СЕМП $H(j\omega)$ при відхиленні її від норми

$$H(j\omega) = \frac{S_{вих}(j\omega)}{S_{вх}(j\omega)}, \quad (1)$$

де $S_{вих}(j\omega)$ – спектр вихідного сигналу (частоти обертання, моменту); $S_{вх}(j\omega)$ – спектр вхідного сигналу (струм).

Якщо з проявом дефекту змінюється характер передатної функції СЕМП (змінюються власні частоти, змінюється амплітуда чи фазовий зсув), то будь-який з цих параметрів може бути використаний як діагностичний.

Використовуються також такі методи вібродіагностики [1] на основі:

- комплексного використання точкових оцінок частотно-енергетичного діагностичного параметра;
- використання багатомірного розподілу частотно-енергетичного діагностичного параметра;
- частотно-часових квадратичних детекторів.

Високі функціональні можливості ІВС вібродіагностики сприяли їх широкому впровадженню в різні галузі техніки. Однак вони призначені, в основному, для діагностування механічної частини СЕМП. Дефекти електричної частини СЕМП ІВС вібродіагностики здатні виявити у тому випадку, коли вони спричинюють коливання ротора (несиметричне живлення, часткове коротке замикання обмоток).

В практиці вимірювання теплових характеристик СЕМП (ізотермічні характеристики статора і ротора, характеристики теплового поля)

широко застосовуються як прямі, так і опосередковані вимірювання. Особливістю вимірювання теплових характеристик СЕМП є необхідність отримання вимірювальної інформації, з ротора ОД, що обертається. Ця проблема вирішена в роботі [3] шляхом вимірювання кутової швидкості ротора. В роботі [4] автори для вимірювання температури ротора використали безконтактні індукційні перетворювачі. Основні положення термометричної діагностики СЕМП викладені в [5], де наводяться особливості теплового вимірювання тіл та теплових полів, описані методи та засоби вимірювання. Теплові характеристики СЕМП опосередковано характеризують їх ТС, а тому є ефективним додатком до основних характеристик.

За видом інформативного параметра методи визначення діагностичних параметрів СЕМП розділяються на:

1. При виконанні досліду короткого замикання: *залежність пускового моменту від кута повороту ротора; залежність пускового моменту від напруги живлення.*

2. При виконанні досліду холостого ходу: *кутова швидкість; сковзання; момент на валу.*

3. При виконанні динамічного режиму роботи СЕМП: *кутова швидкість $\omega_r(t)$; динамічний момент $M_e(t)$; момент інерції J ; момент опору $M_0(t)$; механічна характеристика $M_e(\omega_r)$; параметри статорного і роторного кола.*

Для визначення параметрів діагностування СЕМП в динамічних режимах їх роботи можуть використовуватись різні методи прямого вимірювання, опосередкованого вимірювання, ідентифікації параметрів.

Методи вимірювання кутової швидкості, їх класифікація та ВК для їх реалізації докладно розглядаються в роботах [6-9].

Методи визначення динамічного моменту, моменту інерції, моменту опору, механічної характеристики, їх класифікація та ІВС для їх реалізації докладно розглядаються в роботах [10-20]. При цьому для визначення даних ДП в переважній більшості використовується вимірювальний канал кутової швидкості [10-13, 15-17, 20].

Опубліковано ряд праць, в яких порушується питання розробки методів визначення діагностичних параметрів статорного і роторного кола [21-33]. Параметри статорного кола можна безпосередньо виміряти (пряме вимірювання), в той час як параметри роторного кола виміряти неможливо, і для їх оцінювання необхідно використовувати апарат теорії ідентифікації (опосередковане вимірювання). На рис. 2 наведена класифікація методів ідентифікації параметрів СЕМП.

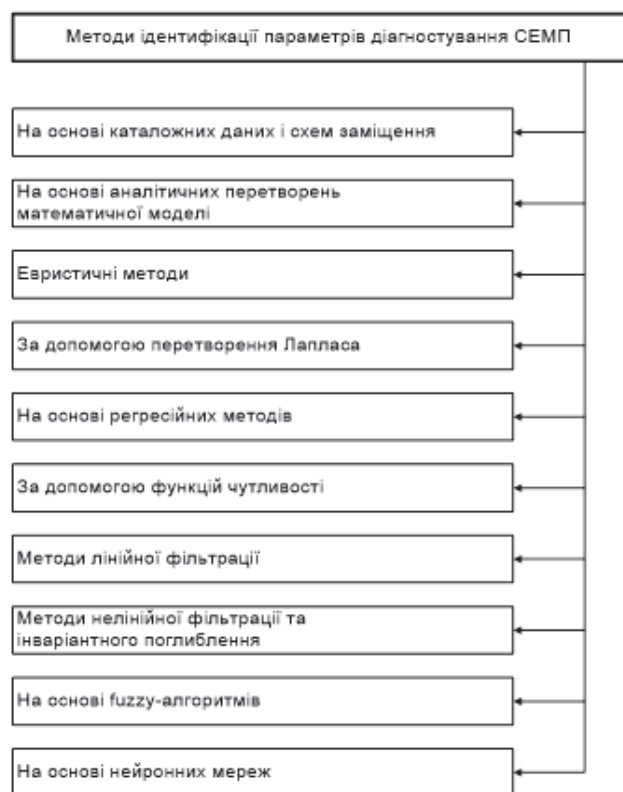


Рисунок 2 – Класифікація методів ідентифікації параметрів діагностування СЕМП

Ідентифікація у загальному сприйнятті полягає у визначенні параметрів системи на основі даних експериментальних спостережень. Ця проблема допускає кілька формулювань в залежності від природи моделі, існуючої інформації тощо.

Розглянемо об'єкт, який зазнає динамічні впливи. Використання різних методів моделювання приведе до системи диференціальних рівнянь, що описує зміну стану системи у часі

$$d\mathbf{U}/dt = f(\mathbf{U}, \mathbf{a}), \quad (2)$$

де \mathbf{U} – вектор змінних стану ОД; \mathbf{a} – вектор коефіцієнтів рівнянь, які зв'язані з ДП ОД.

В практиці звичайно вважається, що всі коефіцієнти \mathbf{a} відомі, тому основною задачею є інтегрування рівняння стану (2) чи вивчення стійкості системи під час дії різних зовнішніх факторів. Але відомо, що це класичне допущення (про можливість визначення коефіцієнтів) справедливе тільки для відносно простих моделей.

Виникає інтерес формулювання зворотної задачі: для даної моделі (2) знайти такий набір параметрів \mathbf{a} , щоб отримати найкраще узгодження з експериментальними даними. Так сформульована задача ідентифікації зводиться до задачі найкращої відповідності в просторі функцій. Ясно, що задача ідентифікації є зворотною задачею

і тому пов'язана із рядом труднощів аналітичного і обчислювального характеру. По-перше, тільки вузький клас зворотних задач допускає повне аналітичне обернення; по-друге, чисельне рішення цієї задачі – недостатньо пророблена область.

Зворотна задача є некоректно поставленою за Тихоновим [34]. Математичне формулювання коректно поставленого розв'язання рівняння (2) таке. Задача визначення розв'язку \mathbf{a} із простору $\Omega_{\mathbf{a}}$ за вихідними даними \mathbf{U} із простору $\Omega_{\mathbf{U}}$ називається коректно поставленою, якщо виконуються такі умови:

1. Для всякого елемента \mathbf{U} існує розв'язок $\mathbf{a} \in \Omega_{\mathbf{a}}$.
2. Розв'язок визначається однозначно.
3. Задача стійка.

При цьому задача знаходження розв'язку $\mathbf{a} = \Psi(\mathbf{U})$ називається стійкою, якщо для будь-якого числа $\varepsilon > 0$ можна знайти таке число $\delta(\varepsilon) > 0$, що із нерівності $\rho_{\mathbf{U}}(\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2) \leq \delta(\varepsilon)$ випливає нерівність $\rho_{\mathbf{a}}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2) \leq \varepsilon$, де $\mathbf{a}_1 = \Psi(\mathbf{U}_1)$, $\mathbf{a}_2 = \Psi(\mathbf{U}_2)$; $\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2 \in \Omega_{\mathbf{U}}$; $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2 \in \Omega_{\mathbf{a}}$; $\rho_{\mathbf{U}}, \rho_{\mathbf{a}}$ – відповідні відстані в нормованих просторах $\Omega_{\mathbf{U}}, \Omega_{\mathbf{a}}$. Задачі, які не задовольняють хоча б одній із перерахованих вище умов, є некоректно поставленими. Для розв'язку некоректно поставлених задач використовується, наприклад, метод регуляризації Тихонова [34].

Методи ідентифікації на основі каталожних даних і схем заміщення [22-24] полягають в тому, що виходячи із схеми заміщення чи математичної моделі СЕМП, визначаються параметри, які підлягають вимірюванню і проводяться перетворення вихідної математичної моделі СЕМП до форми $\mathbf{a} = \Psi(\mathbf{U})$ з наступними розрахунками \mathbf{a} .

Для таких методів характерне використання повної апріорної інформації про ТС СЕМП. До недоліків цих методів можна віднести відсутність апарату зменшення впливу похибок вимірювання на результати ідентифікації, ускладнену оцінку кінцевої похибки ідентифікації параметрів. У цьому випадку потрібно підвищувати точність вимірювання апріорної інформації.

Евристичні методи ідентифікації [24-34]. Найпростішими методами ідентифікації параметрів СЕМП є евристичні (пошукові) методи ідентифікації. В них відсутнє строге математичне формулювання, і їх необхідно використовувати лише в тих випадках, коли інші методи ідентифікації є неефективними і математичні формулю-

вання неадекватні через суттєву нелінійність математичної моделі.

Суть евристичних методів основана на знаходженні мінімуму деякого функціоналу якості. Мінімізація може здійснюватися різними методами (методами прямого пошуку, методами градієнтного пошуку).

Завдяки своїй спрощеній схемі евристичні процедури можуть довго сходитися до істинних значень параметрів.

У випадку ідентифікації нелінійних систем (багатомодальності функціоналу якості) евристичні процедури повинні включати у себе пошук глобального мінімуму, і тому мають досить низьку збіжність і значний об'єм обчислень.

Ідентифікація за допомогою перетворення Лапласа [28]. У даному методі математичний апарат операторного перетворення Лапласа був використаний до нелінійної жорсткої системи диференціальних рівнянь СЕМП лише за умови $\omega_r = const$, тобто в усталеному режимі роботи СЕМП, де досягається лінеаризація диференціальних рівнянь. Лише за цієї умови можна знайти аналітичне розв'язання системи диференціальних рівнянь СЕМП.

Із практики відомо, що СЕМП навіть в усталеному режимі роботи має нерівномірність частоти обертання, яка зумовлена конструктивними особливостями СЕМП. Це спричинює додаткову похибку при ідентифікації параметрів СЕМП.

Ідентифікація за допомогою регресійних методів [29]. Дані методи засновані на регресійних процедурах з використанням методів найменших квадратів. Нелінійні системи лінеаризуються та ідентифікуються методом лінійної регресії за умови повільно змінюваної вихідної величини. Можливе використання для опису нелінійної системи апроксимацією поліномами і ортогональними поліномами Чебишева, але цей підхід має ряд недоліків, пов'язаних з похибкою апроксимації і неявним фізичним смыслом коефіцієнтів поліномів.

Ідентифікація за допомогою функцій чутливості [30-33]. Загальна схема параметричної ідентифікації динамічної системи (2) з використанням функцій чутливості полягає в апроксимації (2) першим наближенням [35]

$$\mathbf{U}(\mathbf{a} + \Delta\mathbf{a}, t) = \mathbf{U}(\mathbf{a}, t) + \mathbf{S}(t) \cdot \Delta\mathbf{a}, \quad (3)$$

$$\text{де } \mathbf{S}(t) = \left. \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{U}, \mathbf{a})}{\partial \mathbf{a}} \right|_{\Delta\mathbf{a} = 0} - \text{матриця чутливості, яка є розв'язанням рівняння чутливості}$$

$\dot{\mathbf{S}} = \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{U}, \mathbf{a})}{\partial \mathbf{U}} \cdot \mathbf{S} + \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{U}, \mathbf{a})}{\partial \mathbf{a}}$ з наступним визна-

ченням із (3) додаткового руху $\Delta \mathbf{a}$. Для отримання оцінки $\Delta \mathbf{a}$ на кожному кроку ітерації використовуються процедури типу найменших квадратів.

До недоліків даного методу ідентифікації параметрів СЕМП можна віднести недостатнє обґрунтування допустимості першого наближення $\Delta \mathbf{U}(t, \mathbf{a}) \approx \Delta^{(1)} \mathbf{U}(t, \mathbf{a})$ у випадку жорсткої нелінійної системи диференціальних рівнянь СЕМП та необхідність спільного розв'язку математичної моделі СЕМП та системи функцій чутливості.

Ідентифікація за допомогою методів лінійної фільтрації [36] заснована на використанні фільтрів Вінера, Калмана до визначення параметрів лінеаризованих математичних моделей СЕМП.

До переваг цих методів можна віднести врахування похибок вимірювання вхідних параметрів, до недоліків – додаткова похибка визначення параметрів СЕМП внаслідок лінеаризації математичної моделі.

Ідентифікація за допомогою методів інваріантного поглиблення та нелінійної фільтрації [37, 38]. Ці методи можна використовувати для ідентифікації параметрів, а також для одночасного послідовного оцінювання стану лінійних і нелінійних спостережуваних систем.

Збіжність ідентифікації даними методами до фактичних значень можна забезпечити в досить широкому діапазоні початкових оцінок, але при цьому вимагаються апріорні дані про діапазон, всередині якого знаходяться значення параметрів.

Ідентифікація основана на інтегруванні за часом системи нелінійних диференціальних рівнянь, розв'язок яких повинен сходиться до оцінок параметрів і змінних часу. Оскільки вимірювання входять у праву частину математичної моделі ОД, то чим триваліше процес вимірювань, тим точніше розв'язок сходиться до істинних значень параметрів.

Оскільки ці методи можуть забезпечити оптимальне оцінювання параметрів і всіх змінних стану, він є одним із найпотужніших математичних методів ідентифікації.

Методи ідентифікації на основі fuzzy-алгоритмів [39] використовують процедуру “fuzzyfication”, процедуру “defuzzyfication”, правила fuzzy-логіки для визначення параметрів СЕМП. Fuzzy-правила алгоритму ідентифікації визначаються як

$$\text{If } (\Delta U_{1(k)} \text{ and } \Delta U_{2(k)} \text{ and } \dots \text{ and } \Delta U_{m(k)}) \\ \text{then } \Delta \mathbf{a}_{n(k)}$$

де k – крок ітерації, n – певний елемент вектора \mathbf{a} .

Такі правила дуже важко визначити для жорстких систем і застосувати для ідентифікації систем із числом елементів векторів \mathbf{U} і \mathbf{a} більшим ніж 2, тому цей алгоритм ідентифікації застосовують лише для ідентифікації невеликої кількості параметрів СЕМП.

Методи ідентифікації на основі нейронних мереж [40] використовують штучні нейронні мережі, які складаються із паралельно працюючих окремих нейронів. Нейрони зважено підсумовують і самозбуджують активності інших нейронів при перевищенні відомого порогу величини вхідного сигналу. Таким чином, знання, що є у нейронній мережі, складаються в розподіленні ваги сигналів між нейронами. Ці ваги встановлюються наперед у фазі навчання за простими, незалежними від конкретної задачі правилами.

Нейронні мережі застосовуються здебільшого для ідентифікації дискретизованих систем. У випадку нелінійної жорсткої системи СЕМП являється додаткова похибка, зв'язана із неадекватністю дискретизованої математичної моделі реальному ОД. Крім того, у зв'язку із великим об'ємом обчислень і необхідністю попереднього навчання нейронної мережі її застосовують для ідентифікації невеликої кількості параметрів.

Висновки

Аналіз сучасного стану діагностичного забезпечення СЕМП дозволив прийти до таких висновків:

1. Розроблені і апробовані вимірювальні канали кутової швидкості; моментних характеристик (залежності пускового моменту від кутового положення ротора, залежності пускового моменту від напруги живлення); струму і напруги в обмотках статора; механічної характеристики.

2. Вимірювальний канал кутової швидкості є основним для визначення таких параметрів СЕМП: кутове прискорення, динамічний момент, момент інерції, момент механічних втрат, параметри дисбалансу ротора.

3. Недостатньо розроблені теоретичні основи ідентифікації внутрішніх параметрів СЕМП, які неможливо безпосередньо виміряти.

4. Відомі теоретичні підходи до технічного діагностування СЕМП не дозволяють комплексно оцінити технічний стан СЕМП за загальною функцією технічного стану, однозначно локалізувати несправність СЕМП. Крім того, вони не дозволяють за загальною функцією ТС провести прогнозування розлагодження технологічного процесу виготовлення або прогнозування змінення технічного стану СЕМП.

Із вище приведеного слідує, що з метою підвищення достовірності діагностування СЕМП необхідно проводити дослідження у напрямку подальшого розвитку теоретичних основ побудови і створення нових методів діагностування, методів та алгоритмів вимірювального перетворення діагностичних параметрів та нових автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем технічного діагностування СЕМП.

Список використаних джерел

1. Воронцов А. Г. Элементы теории высоко-частотной вибродиагностики роторных машин. Монография / А. Г. Воронцов. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2002. – 137 с.
2. Смирнов В. И. Функциональная диагностика электрических машин / В. И. Смирнов // Датчики и системы. – 2003. – №6. – С. 30-32.
3. Geszti P., Kis M. Indirect Solution for Determining the Rotor Temperature in Asynchronous Motors // Int. Conf. Power Electron. and Var. – London (England), 1984. – P. 333-336.
4. Прокунцев А. Ф. Бесконтактная передача и обработка информации с вращающихся изделий / А. Ф. Прокунцев, Е. С. Максимова. – М.: Машиностроение, 1985. – 80 с.
5. Канарчук В. Е. Бесконтактная тепловая диагностика машин / В. Е. Канарчук, А. Д. Чиргинец. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
6. Избыточные системы счисления, моделирование, обработка данных и системное проектирование в технике преобразования информации: Учеб. пособие / В. А. Поджаренко, А. Д. Азаров, В. А. Власенко, И. И. Коваленко. – К.: Выща шк., 1990. – С. 7-61.
7. Кучерук В.Ю. Аналіз та практична реалізація мікропроцесорного засобу вимірювання кутової швидкості обертання електричних машин / В. Ю. Кучерук, В. В. Кухарчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1995. – № 2. – С. 12-16.
8. Потапов Л.А. Измерение вращающихся моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей / Л. А. Потапов, Ф. М. Юферов. – М.: Машиностроение, 1976. – 121 с.
9. Лассан В. Л. Измерение угловых скоростей / В. Л. Лассан. – М.: Машиностроение, 1969.
10. Podzharenko V. A., Kucheruk V. Yu. Computer-Measuring System of the Mechanical Characteristics of Electrical Drives // Int. Conf. «Electrical Drives and Power Electronics» EDPE'96. – High Tatras (Slovakia), 1996. – Proceeding volumes 2.– P. 633-637.
11. Kucheruk V. Yu., Podzharenko A. V. Computer-Measuring System for rotor balancing of Electromechanical Systems // Second Int. Scientific Conf. «Unconventional Electromechanical and Electrotechnical Systems» UEES'96. – Szczecin (Poland), 1996. – Proceeding volumes 2.– P. 483-488.
12. Podzharenko V. A., Kucheruk V. Yu. New method of measurement of a moment of inertia of an electrical machines // XIV IMEKO World Congress. – Tampere (Finland), 1997. – Volume III. – Topics 3. – P. 90-95.
13. Кучерук В. Ю. Методологія побудови засобів вимірювання моменту інерції роторів електричних машин / В. Ю. Кучерук, В. В. Кухарчук, В. Б. Дудикевич, А. В. Поджаренко // Проблеми створення нових машин і технологій. Наукові праці Кременчуцького державного політехнічного інституту. – Випуск 1/2000 (8). – С. 113-118.
14. Одинец С. С. Средства измерения крутящего момента / С. С. Одинец, Г. Е. Томилин. – М.: Машиностроение, 1977. – 143 с.
15. Краличкин Л. К. Измерение статического вращающегося момента асинхронных электродвигателей / Л. К. Краличкин // Метрология. – 1978. – № 9. – С. 7-10.
16. Акимов Л. В. Устройство для экспрес динамометрических испытаний асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором / Л. В. Акимов, О. И. Литвинов, Н. П. Спанцирети // Электротехника. – 1975. – № 3.– С. 47-50.
17. Акимов Л. В. Совершенствование динамометрических испытаний асинхронных двигателей / Л. В. Акимов, Ю. Г. Борзак, О. И. Литвинов, И. И. Сосницкий // Электротехника. – 1978. – № 9.– С. 45-46.
18. Соколов М. М. Измерение динамических моментов в электроприводах переменного тока / М. М. Соколов, Л. Б. Масандролов. – М.: Энергия, 1976. – 179 с.
19. Потапов Л. А. Измерение моментов и скорости вращения микроэлектродвигателей динамическим способом / Л. А. Потапов, А. И. Еременко, В. П. Колесников, В. П. Образцов. – Л.: Информэлектро, 1973. – 75 с.
20. Исмаилов А. Г. Частотный датчик вращающегося момента / А. Г. Исмаилов // Изв. Вузов. Электромеханика. – 1987. – № 7. – С. 88-91.
21. Кучерук В. Ю. Аналіз існуючих засобів вимірювання механічних характеристик електричних машин / В. Ю. Кучерук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1999.– № 54. – С. 125-138.
22. Сивокобыленко В. Ф. Метод расчета схем замещения и пусковых характеристик глубоководных асинхронных двигателей / В. Ф. Сивокобыленко, В. А. Павлюков, Х. Хенниуй //

- Электротехника. – 1996. – № 3. – С. 38-41.
23. Божиллов Г. Метод за определяне на параметрите на асинхронните двигатели / Г. Божиллов // Техническа мисъл. – 1989. – т. XXVI. – № 6. – С. 29-35.
24. A circuit approach to finite element analysis of a double squirrel cage induction motor / Belmans R. // IEEE Trans. Energy Convers. – 1990. – 5. – № 4. – P. 719-724.
25. J. Holtz, Th. Thimm. Identification of the Machine Parameters in a Vector-Controlled Induction Motor Drive // IEEE Transaction on Industry Applications. – 1991. – Vol. 27. – № 6. – P. 1111-1118.
26. Рогозин Г. Г. Способ идентификации асинхронной машины по экспериментальным данным ее динамического режима / Г. Г. Рогозин, Н. Г. Пятлина // Электричество. – 1981. – № 4. – С. 47-49.
27. Коробейников Б. А. Идентификация параметров математической модели глубокопазных асинхронных двигателей / Б. А. Коробейников, А. И. Ищенко // Изв. вузов. Электромеханика. – 1989. – №8. – С. 33-38.
28. Сивокобыленко В.Ф. Определение параметров схем замещения асинхронных и синхронных двигателей / В. Ф. Сивокобыленко, В. С. Гармаш // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1982. – № 5. – С. 154-159.
29. J. Grochowalski. Use of Regression analysis for the determining of Electrical Machine equivalent circuit // Second Int. Scientific Conf. «Unconventional Electromechanical and Electrotechnical Systems» UEES'96. – Szczecin (Poland), 1996. – Proceeding volumes 2. – P. 209-214.
30. Parameter estimation for induction machines based on sensitivity analysis / Ansuji Somchai, Shokooh Farrokh // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1989. – V. 25. – № 6. – P. 1035-1040.
31. Поджаренко В. О. До питання про ідентифікацію внутрішніх параметрів електричних машин / В. О. Поджаренко, В. Ю. Кучерук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1994. – № 1(2). – С. 10-13.
32. Кучерук В.Ю. Ідентифікація внутрішніх параметрів роторного кола асинхронних машин за допомогою теорії чутливості / В. Ю. Кучерук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 4. – С. 5-10.
33. Кучерук В. Ю. Ідентифікація внутрішніх параметрів обмоток електричних машин за допомогою теорії чутливості / В. Ю. Кучерук, А. В. Поджаренко, Р. В. Селезньова // Вісник Державного університету “Львівська політехніка”. Серія "Автоматика, вимірювання та керування". – 2000. – № 389. – С. 72-81.
34. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
35. Розенвассер Е. Н. Чувствительность систем управления / Е. Н. Розенвассер, Р. М. Юсупов. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 464 с.
36. D. J. Atkinson, P. P. Akarnley, J. W. Finch. Observes for Induction Motor State and Parameter Estimation // IEEE Transactions on industry applications. – 1991. – Vol. 27. – № 6. – P. 1119-1127.
37. Кучерук В. Ю. Метод інваріантного поглиблення для ідентифікації роторних параметрів асинхронних двигунів / В. Ю. Кучерук, О. Г. Ігнатенко, М. Д. Молчанюк, О. В. Андрусь // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Одеса, 2013. – Випуск 1(2). – С. 77-80.
38. Кучерук В. Ю. Елементи теорії побудови систем технічного діагностування електромоторів : монографія / В. Ю. Кучерук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 195 с.
39. Jaderko A., Krzeminski Z. Fuzzy-Logic Algorithm of the Magnetizing Curve Identification of the Induction Motor / Int. Conf. «Electrical Drives and Power Electronics» EDPE'96. – High Tatras (Slovakia), 1996. – Proceeding volumes 2. – P. 537-541.
40. Поджаренко В. О. Система діагностування безконтактних електромеханічних перетворювачів на основі нейронечітких методів : монографія / В. О. Поджаренко, В. Ю. Кучерук, О. П. Войтович. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 156 с.

Надійшла до редакції: 10.02.2015

Рецензент: д.т.н., с.н.с. Братченко Г. Д., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

В. Ю. Кучерук, д.т.н., О. В. Грабовский, к.т.н., Д. В. Мостовый

ОБЗОР МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В статье рассматривается общая классификация методов измерения и идентификации пара-

метров силовых электромеханических преобразователей, представляющих информационную значимость для диагностики. Введенные соответствующие классификационные признаки и представлена общая характеристика каждого метода.

Ключевые слова: диагностирование, измерение, идентификация, силовой электромеханический преобразователь.

V. Y. Kucheruk, DSc, O. V. Grabovsky, PhD, D. V. Mostovyi

REVIEW OF METHODS CERTAIN DIAGNOSTIC PARAMETERS OF THE ELECTROMECHANICAL POWER CONVERTER

The article discusses the general classification of measurements methods and identification of parameters of electromechanical power converters representing the informational value for diagnosis. Imposed by the relevant classification features and provides a general description of each method.

Keywords: diagnosis, measurement, identification, electromechanical power converter.

УДК 656.2/.4

К. Ф. Боряк, д.т.н., В. І. Возний

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

ВАРІАНТИ ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТНИХ ВИХОРОСТРУМОВИХ ГАЛЬМ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

Пропонується два варіанти застосування магнітного вихорострумовею обертового сповільнювача в якості додаткового гальмового пристрою для сповільнення руху залізничних колісних пар, що експлуатуються на потягах зі швидкістю до 160 км/год. Експлуатація магнітного сповільнювача у сукупності з основними колодковими фрикційними гальмами на звичайних залізничних вагонах призведе до збільшення технічного ресурсу гальмівних колодок.

Ключові слова: магніторейкові вихороструміві фрикційні лінійні гальма, магніторейкові вихороструміві обертові гальма, вихороструміві сповільнювач, магнетардер, ретардер, технічний ресурс гальмівних колодок.

Сьогодні на українській залізниці здебільшого використовуються колодкові фрикційні гальма, які мають певні системні недоліки [1]:

- в умовах низьких температур і забрудненості рейок сила зчеплення коліс з рейками значно знижується, що призводить до подовження гальмівного шляху;

- самі колеса відчувають високі термічні навантаження (термічна потужність сягає 50 кВт на колесо), особливо на затяжних спусках;

- порушується комфорт пасажирів і жителів навколишнього середовища (особливо від вантажних потягів), на яких діє занадто високий рівень шуму (до 91 дБ(А) вже при швидкості 100 км/год. Використання коліс із шумопоглинаючими елементами або заміна колодкових гальм на дискові із металокерамічними накладками трохи знижують рівень шуму, але коштують вони у 10 разів дорожче за звичайні наклад-

ки.

Подальше вдосконалення колодкових і дискових фрикційних гальм не може суттєво покращити їх роботу при експлуатації рухомого складу на великих швидкостях понад 100 км/год через обмеження, що накладаються зчепленням коліс з рейками. Тому у швидкісних потягах комбінують різні типи гальм, які застосовують в залежності від величини швидкості: магніторейкові вихороструміві фрикційні лінійні або магнітні вихороструміві обертові [2].

Прикладна проблема, на вирішення якої спрямовані дослідження. Головна проблема колодкових фрикційних гальм – це зростання температури нагріву гальмівного диску і колодок при збільшенні швидкості руху, що призводить до прискореного зносу їх контактуючих поверхонь, зменшення коефіцієнту зчеплення і внаслідок зниження ефективності гальм, які використовують сили тертя. На закупівлю гальмівних колодок тільки Одеська залізниця витрачає 9,5