

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

В.Ю.Кучерук

Вінницький державний технічний університет

Для вирішення економічних і соціальних проблем стабілізації економіки України необхідне використання найновіших досягнень сучасних технологій, складовою частиною яких є випробування готової продукції та її сертифікація. Електричні машини (ЕМ), випуск яких складає десятки мільйонів штук на рік, під час розробки і виготовлення проходять різноманітні випробування. Згідно державних стандартів, ЕМ повинна проходити дослідницькі, контрольні, типові, приймально-здавальні, атестаційні, сертифікаційні та інші випробування.

Випробування ЕМ – це трудомісткий процес із складною методикою визначення окремих параметрів, яка пов'язана із великими матеріальними і часовими затратами. Тому підвищення продуктивності праці шляхом вдосконалення засобів вимірювань (ЗВ) та нових методів вимірювання є актуальним завданням. На жаль, питанням автоматизації та механізації випробувань ЕМ приділяється недостатньо уваги. Серійно не випускаються ЗВ, які необхідні для дослідних та промислових випробувань. Разом з тим ЕМ є основною компонентою більш складних систем. Тому ризик використання недостатньо протестованих ЕМ не виправданий і може призвести до значних матеріальних втрат.

Існують наступні види випробувань ЕМ: дослід холостого ходу; дослід короткого замикання; динамічний режим роботи ЕМ; оцінка стану ізоляції ЕМ; визначення параметрів дисбалансу ротора; віброчастотні, спектрометричні методи оцінки; електромагнітні методи оцінки.

Розвиток ЗВ у напрямку все більш широкого використання мікроконтролерів, персональних ЕОМ, ускладненні об'єктів вимірювання, і як наслідок, алгоритмів вимірювання, вимагає використання інтелектуальних вимірювальних систем. Несформованість до теперішнього часу теорії оцінок стану ЕМ призводить до відсутності автоматизованих ЗВ параметрів ЕМ. Ця обставина не дозволяє у повній мірі розв'язати задачу аналізу стану ЕМ як в статичному, так і в динамічному режимі роботи ЕМ, синтезувати сучасні структурні схеми та алгоритми функціонування ЗВ з покращеними метрологічними характеристиками, здійснювати випробування експериментальних промислових зразків ЕМ.

Загальний аналіз існуючих методів оцінки стану ЕМ досить важко охопити, не давши їх класифікацію. Пропонується класифікація (рис. 1) методів оцінки стану ЕМ за наступними класифікаційними ознаками: *за видом вимірювання; за видом випробування; за видом інформативного параметра*.

За способом визначення параметрів методи оцінки стану ЕМ розділяються на методи прямого вимірювання, опосередкованого вимірювання, ідентифікацію параметрів.

За способом діагностики методи оцінки стану ЕМ розділяються на дослід короткого замикання; дослід холостого ходу; динамічний режим роботи ЕМ; оцінку стану ізоляції; методи визначення параметрів дисбалансу ротора; віброчастотні, спектрометричні методи оцінки; електромагнітні методи оцінки.

За видом інформативного параметра методи оцінки стану ЕМ розділяються на:

- *дослід короткого замикання*: вимірювання залежності пускового моменту від кута повороту ротора; вимірювання залежності пускового моменту від напруги живлення,
- *дослід холостого ходу*: вимірювання кутової швидкості; вимірювання скочвання; вимірювання моменту на валу,
- *динамічний режим роботи ЕМ*: вимірювання кутової швидкості $\omega_r(t)$; вимірювання динамічного моменту $M_{em}(t)$; вимірювання моменту інерції J ; вимірювання моменту опору $M_0(\omega_r)$; визначення механічної характеристики $M_{em}(\omega_r)$; визначення параметрів статорного (R_s, L_s) і роторного кола (R_r, L_r, L_m) .

Класифікація методів оцінки стану ізоляції, методів визначення параметрів дисбалансу ротора; віброчастотних, спектрометричних методів оцінки; електромагнітних методів оцінки в даній статті із-за обмеженого її об'єму не наводиться.

Для оцінки стану ЕМ в динамічних режимах їх роботи можуть використовуватися різні методи прямого вимірювання, опосередкованого вимірювання, ідентифікації параметрів.

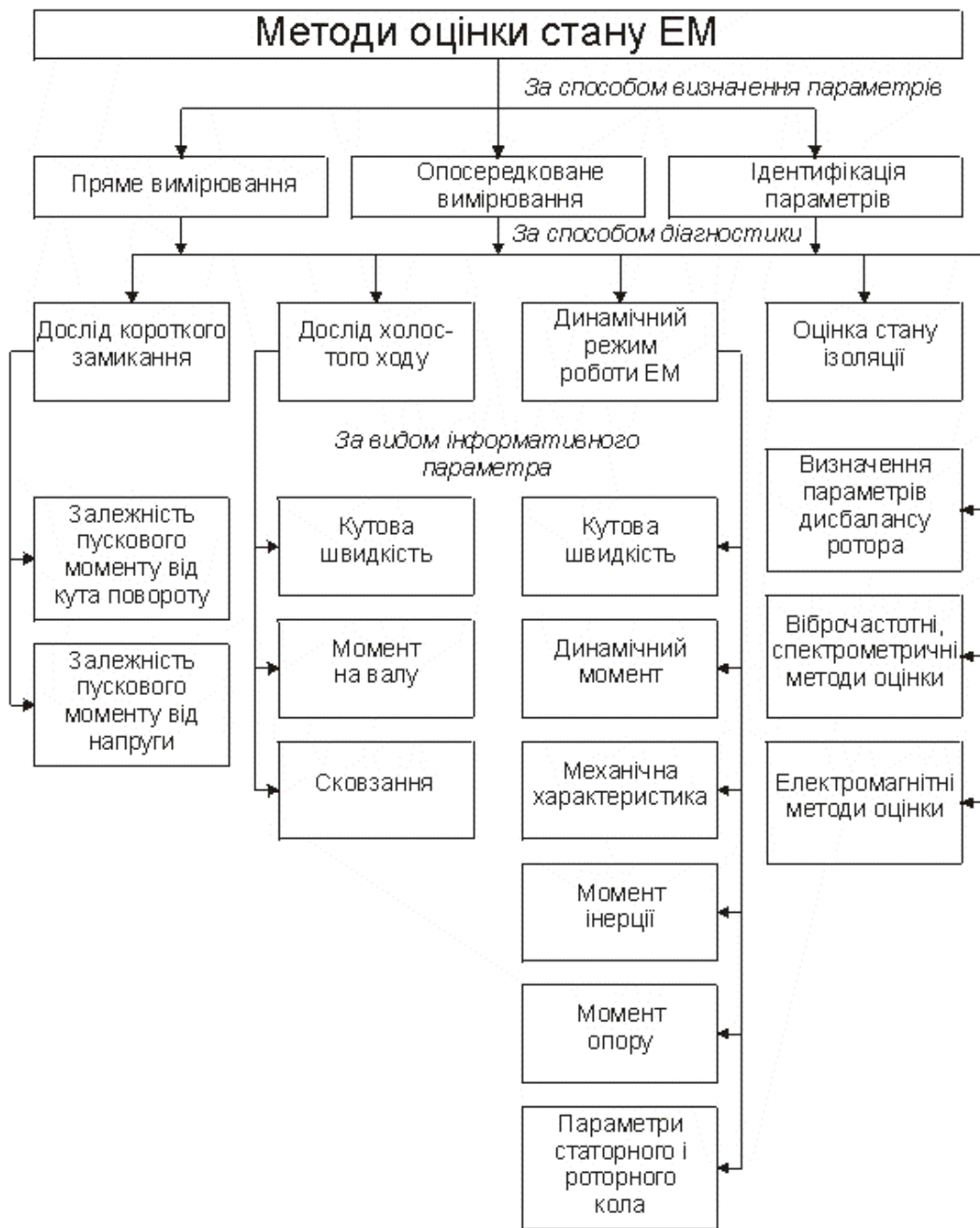


Рис. 1. Класифікація методів оцінки стану ЕМ

Методи вимірювання кутової швидкості, їх класифікація та ЗВ для їх реалізації докладно розглядаються в роботах [1-8].

Методи визначення динамічного моменту, моменту інерції, моменту опору, механічної характеристики, їх класифікація та ЗВ для їх реалізації докладно розглядаються в роботах [9-14].

В теперішній час опубліковано ряд праць, в яких порушується питання розробки методів визначення параметрів статорного і роторного кола. Параметри статорного кола (R_s, L_s) можна безпосередньо виміряти, в той час як параметри роторного кола (R_r, L_r, L_m) виміряти неможливо, і для їх оцінки необхідно використовувати апарат теорії ідентифікації. На рис. 2 наведена класифікація методів ідентифікації параметрів ЕМ.

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

Розглянемо об'єкт, що підвержений динамічним впливам. Використання різних методів моделювання призведе до системи диференціальних рівнянь

$$\frac{d\mathbf{U}}{dt} = f(\mathbf{U}, \mathbf{a}), \quad (1)$$

що описує зміну стану системи у часі за допомогою зручним чином вибраних змінних стану \mathbf{U} . В (1) величини \mathbf{a} є коефіцієнтами рівнянь, які зв'язані із параметрами об'єкту. В практиці звичайно вважається, що всі коефіцієнти \mathbf{a} відомі, тому основною задачею є інтегрування рівняння стану (1) чи вивчення стійкості системи при дії різних зовнішніх факторів. Але відомо, що це класичне допущення (про можливість визначення коефіцієнтів) справедливе тільки для відносно простих моделей.

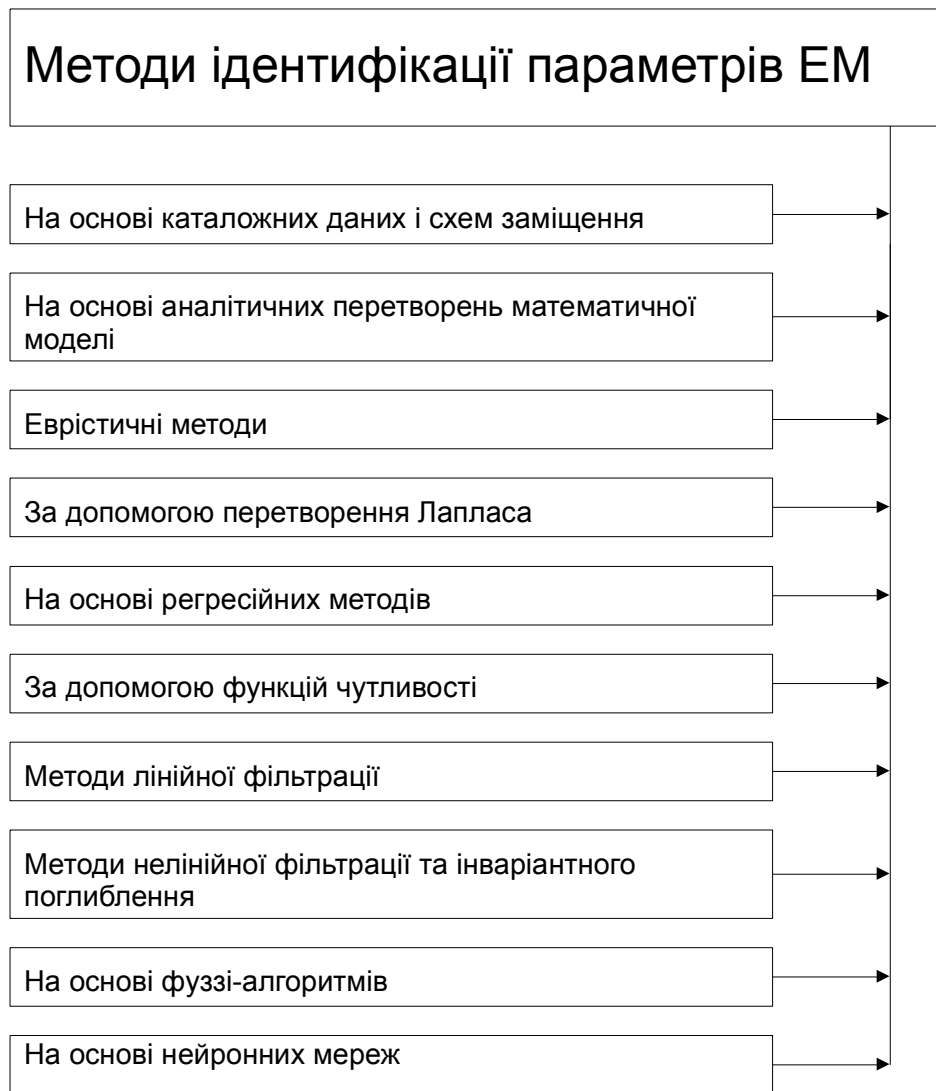


Рис. 2. Класифікація методів ідентифікації параметрів ЕМ

Виникає інтерес формулювання зворотної задачі: для даної моделі (1) 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 зв'язана із рядом труднощів аналітичного і обчислювального характеру. По-перше, тільки вузький клас зворотних задач допускає повне аналітичне обертання; по-друге, чисельне рішення цієї задачі – недостатньо пророблена область.

Зворотна задача є некоректно поставленою по Тихонову [15]. Математичне формулювання коректно поставленого рішення рівняння (1) наступне. Задача визначення рішення \mathbf{a} із простору Ω_a по вихідним даним \mathbf{U} із простору Ω_U називається коректно поставленою, якщо виконуються наступні умови:

1. Для всякого елементу \mathbf{U} існує рішення $\mathbf{a} \in \Omega_a$.
2. Рішення визначається однозначно.
3. Задача стійка.

При цьому задача знаходження рішення $\mathbf{a} = \psi(\mathbf{U})$ називається стійкою, якщо для любого числа $\varepsilon > 0$ можна знайти таке число $\delta(\varepsilon) > 0$, що із нерівності $\rho_U(\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2) \leq \delta(\varepsilon)$ слідує нерівність $\rho_a(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2) \leq \varepsilon$, де $\mathbf{a}_1 = \psi(\mathbf{U}_1)$, $\mathbf{a}_2 = \psi(\mathbf{U}_2)$; $\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2 \in \Omega_U$; $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2 \in \Omega_a$; ρ_U, ρ_a - відповідні відстані в нормованих просторах Ω_U, Ω_a . Задачі, які не задовольняють хоча б одній із перерахованих вище умов, є некоректно поставленими. Для рішення некоректно поставлених задач використовується, наприклад, метод регуляризації Тихонова [15].

Ідентифікація на основі каталожних даних і схем заміщення [16-20]. Ідентифікація на основі аналітичних перетворень математичної моделі ЕМ [21, 22]. Загальна суть даних методів полягає в тому, що виходячи із схеми заміщення чи математичної моделі ЕМ, визначаються параметри, які підлягають вимірюванню і проводяться перетворення вихідної математичної моделі ЕМ (1) до форми $\mathbf{a} = \psi(\mathbf{U})$ з наступними розрахунками \mathbf{a} .

Для таких методів характерне використання повної апіорної інформації про стан ЕМ. 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 апіорної інформації.

Евристичні методи ідентифікації [23-27]. Найбільш простими методами ідентифікації параметрів ЕМ є евристичні (пошукові) методи ідентифікації. В них відсутнє суворе математичне формулювання, і їх необхідно використовувати лише в тих випадках, коли інші методи ідентифікації є неефективними і математичні формулювання неадекватні із-за суттєвої нелінійності математичної моделі.

Суть евристичних методів заснована на знаходженні мінімуму деякого функціонала 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 (мультимодальності функціоналу якості) евристичні процедури повинні включати у себе пошук глобального мінімуму, і тому мають досить низьку швидкість і значний об'єм обчислень.

Ідентифікація за допомогою перетворення Лапласа [28]. Математичний апарат операторного перетворення Лапласа можна застосувати до нелінійної жорсткої системи диференціальних рівнянь ЕМ лише при умові $\omega_r = \text{const}$, тобто в усталеному режимі роботи ЕМ. При цій умові можна знайти аналітичне рішення системи диференціальних рівнянь ЕМ.

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

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 при умові 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 смислом коефіцієнтів поліномів.

Ідентифікація за допомогою функцій чутливості [30-32]. Загальна схема параметричної ідентифікації динамічної системи (1) з використанням функцій чутливості полягає в апроксимації (1) першим наближенням [33]

$$\mathbf{U}(\mathbf{a} + \Delta \mathbf{a}, t) = \mathbf{U}(\mathbf{a}, t) + \mathbf{S}(t) \cdot \Delta \mathbf{a}, \quad (2)$$

де $\mathbf{S}(t) = \left. \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{U}, \mathbf{a})}{\partial \mathbf{a}} \right|_{\Delta \mathbf{a}=0}$ - матриця чутливості, яка є рішенням 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 визначенням із (2) додаткового руху $\Delta \mathbf{a}$. Для отримання

оцінки $\Delta \mathbf{a}$ на кожному кроці ітерації використовуються процедури типу найменших квадратів.

До недоліків даного методу ідентифікації параметрів ЕМ 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 ЕМ та необхідність спільного розв'язку математичної моделі ЕМ та системи функцій чутливості.

Ідентифікація за допомогою методів лінійної фільтрації [34] заснована на використанні фільтрів Вінера, Калмана до визначення параметрів лінеаризованих математичних моделей ЕМ.

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

Ідентифікація за допомогою методів інваріантного поглиблення та нелінійної фільтрації [35, 36]. Ці методи можна використовувати для ідентифікації параметрів, а також для одночасного послідовного оцінювання стану лінійних і нелінійних спостережуваних систем.

Сходимість 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, рішення яких повинно сходитися до оцінок параметрів і змінних часу. Оскільки вимірювання входять у праву частину математичної моделі ОВ, то чим триваліше процес вимірювань, тим точніше рішення сходиться до істинних значень параметрів.

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

Ідентифікація на основі фуззи-алгоритмів [37] використовує процедури фузифікації, дефузифікації, правила фуззи-логіки для визначення параметрів ЕМ. Фуззи-правила алгоритму ідентифікації визначаються як

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

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 за 2, тому цей алгоритм ідентифікації застосовують лише для ідентифікації невеликої кількості параметрів ЕМ.

Ідентифікація на основі нейронних мереж [38] використовує штучні нейронні мережі, які складаються із паралельно працюючих окремих нейронів. Нейрони зважено сумують 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 по простим, незалежним від конкретної задачі правилам.

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

Для оцінки якості та порівняння існуючих методів істотне значення має вибір критерію оцінки їх ефективності. Вибір конкретних критеріїв ефективності залежить від призначення методів і вимог, які до них висуваються. Відомі загальні рекомендації, які доцільно враховувати при виборі критеріїв ефективності. Критерій ефективності повинен: відображати основне призначення методу; бути критичним по відношенню до параметрів, які дозволяють його варіювати; володіти певною конструктивністю, яка дозволяє відносно просто визначати його чисельне значення для методів; бути достатньо універсальним, дозволяти порівнювати ефективність методів одного призначення і вибирати кращий варіант.

В теорії ефективності використовуються різноманітні характеристики точності, швидкодії, надійності і вартості, кожна з яких може використовуватися як окремий показник якості. Окремі показники характеризують метод під тим чи іншим «кутом зору» і не дають достатньо повного уявлення про його ефективність у цілому. Це вказує на необхідність використання узагальнених критеріїв ефективності.

Найбільш простим і зручним для проведення аналізу є узагальнений якісний критерій ефективності (УКЕ) [39]. Якісний критерій показує, досягнута чи не досягнута ціль (ефект), яка поставлена перед методом. Цей критерій ефективності можна характеризувати як прийнятний тільки два значення: 1 – якщо ціль досягнута; 0 – в протилежному випадку. Тоді УКЕ буде являти собою суму окремих якісних критеріїв ефективності (ОКЕ), які характеризують собою окремі цілі, поставлені перед методом:

$$УКЕ = \sum_{i=1}^n a_i \cdot ОКЕ_i, \quad (3)$$

де a_i - вагові коефіцієнти; n – загальна кількість ОКЕ.

Загальна ефективність буде виражатись із відношення ефективностей на базі реального методу ідентифікації і потенційного методу ідентифікації:

$$E = \frac{E_p}{E_n}. \quad (4)$$

Вважаючи, що метод ідентифікації повинен забезпечувати всі вимоги на одному рівні, можна допустити $a_i = 1, i = 1(1)n$. Результати порівняльної оцінки методів ідентифікації ЕМ наведені в таблиці.

В таблиці приведені такі умовні позначки: М1 – методи ідентифікації на основі каталожних даних і схем заміщення; М2 – методи ідентифікації на основі аналітичних перетворень математичної моделі ЕМ; М3 – евристичні методи ідентифікації; М4 – методи ідентифікації за допомогою перетворення Лапласа; М5 – методи ідентифікації на основі регресійних методів; М6 – методи ідентифікації за допомогою функцій чутливості; М7 – методи ідентифікації за допомогою методів лінійної фільтрації; М8 – методи ідентифікації на основі методів інваріантного поглиблення та нелінійної фільтрації; М9 – методи ідентифікації на основі фуззі-алгоритмів; М10 – методи ідентифікації на основі нейронних мереж.

Таблиця - Порівняльна оцінка методів ідентифікації параметрів ЕМ

№	Назва критерію	М1	М2	М3	М4	М5	М6	М7	М8	М9	М10	П
1	Ідентифікація жорстких нелінійних ОВ без їх лінеаризації і спрощення	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1
2	Можливість поточного контролю помилки ідентифікації	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	Простота алгоритму ідентифікації	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1
4	Малий об'єм обчислень	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1
5	Можливість фільтрації помилок спостережень	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
6	Проведення ідентифікації в динамічних режимах роботи ОВ	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
7	Ідентифікація всіх компонентів вектора стану ОВ	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1
8	Забезпечення сходимості алгоритму в широкому діапазоні початкових оцінок	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
9	Висока точність ідентифікації	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1
	УКЕ	4	7	5	2	4	6	5	7	2	2	9
	E	0.4	0.8	0.6	0.2	0.4	0.7	0.6	0.8	0.2	0.2	1

ВИСНОВКИ

1. Найбільш ефективними методами ідентифікації параметрів ЕМ є методи ідентифікації: на основі методів інваріантного поглиблення та нелінійної фільтрації; за допомогою функцій чутливості та на основі аналітичних перетворень математичної моделі ЕМ.

2. Основні проблеми, що виникають при проведенні оцінки стану ЕМ - складність фізичних процесів в ЕМ; велика жорсткість математичної моделі ЕМ; необхідність оцінки великої кількості параметрів та характеристик ЕМ.

3. Методи оцінки стану ЕМ в динамічному режимі їх роботи дозволяють проводити оцінку практично всіх параметрів ЕМ.

4. Одночасно дані методи характеризуються великою складністю і потребують використання сучасної вимірювальної та обчислювальної техніки.

5. Вказані методи динамічної оцінки мають всі необхідні передумови для їх вдосконалення і дозволили розробити на їх основі високоефективні інтелектуальні ЗВ параметрів ЕМ [9-14, 31, 32, 36].

Література

1. 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.

2. Кучерук В.Ю., Кухарчук В.В. Аналіз та практична реалізація мікропроцесорного засобу вимірювання кутової швидкості обертання електричних машин //Вісник ВПІ.-1995.-№2.-с.12-16.

3. А.с. №1262385 СССР, МКИ G01P 3/489. Устройство для измерения скорости вращения / Карпов Е.А., Поджаренко В.А., Кухарчук В.В., Мельничук П.Л. – 3822880/24-10; заявл. 12.12.84; опубл. 07.10.86, бюл. №37-7с.

4. А.с. №1364992 СССР, МКИ G01P 3/481. Устройство для измерения скорости вращения / Поджаренко В.А., Кухарчук В.В. – 3720282/24-10; заявл. 04.04.84; опубл. 07.01.88, бюл. №1.-4с.

5. А.с. №1352371 СССР, МКИ G01P 3/489. Цифровой тахометр / Маликов В.Т., Поджаренко В.А., Кухарчук В.В. и др. – 4007556/24-10; заявл. 14.01.86; опубл. 15.10.87, бюл. №38.-7с.

6. Поджаренко В.О., Кулаков П.И., Михалевич В.М., Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Поджаренко А.В. Датчик кутової швидкості для динамічних вимірювань.// Патент України на винахід №243374А від 17.07.98р.

7. Поджаренко В.О., Кулаков П.И., Михалевич В.М., Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Поджаренко А.В. Аналоговий датчик кутової швидкості.// Патент України на винахід №22701А від 11.03.97, бюл. № 3 від 30.06.98.

8. Кулаков П.И., Поджаренко В.О., Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Поджаренко А.В. Частотний датчик кутової швидкості.// Патент України на винахід №24398А від 17.07.98р.

9. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю. Інформаційно-вимірювальна система механічних характеристик електричних машин.// В кн. «Новые технологии, материалы, оборудование (исследования, разработки, внедрение)». Материалы докладов международных академических чтений, Украина, Киев, 1995, Укр. Техн. Акад., с.85-91.

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, Proceeding volumes 2, the High Tatras, Slovakia, pp.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, Proceeding volumes 2, 1996, Szczecin, Poland, pp.483-488.

12. Кучерук В.Ю., Поджаренко В.О. До питання про визначення моментів інерції електричних машин.// В кн. «Современная контрольно-испытательная техника промышленных изделий и их сертификация». Мат. НТК, Вып. 1, том 2, Мукачево, 1997, с.166-168.

13. 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, 1-6 June 1997, Volume III, Topics 3, pp.90-95.

14. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю., Гоменюк А.С. Новий спосіб вимірювання моменту інерції електричних машин.//Науково-технічний збірник «Автоматизація технологічних процесів та промислова екологія», Випуск 1, 1997, с.23-27.

15. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986.-288с.

16. В.Ф.Сивокобыленко, В.А.Павлюков, Хенниуи Х. Метод расчета схем замещения и пусковых характеристик глубокопазных асинхронных двигателей. / Электротехника, 1996, №3, с.38-41.

17. А.с. №1372259 СССР, МКИ G 01R 31/34. Способ определения активных и индуктивных сопротивлений рассеяния обмотки статора асинхронного двигателя / Г.Г.Рогозин, Ю.И.Печуркин, Н.Г.Пятлина, В.И.Алексеев – 4092032/24-07; заявл. 24.07.86; опубл. 07.02.88, бюл. №5.-7с.

18. А.с. №1295347 СССР, МКИ G 01R 31/34. Способ определения активного, индуктивного сопротивлений и ЭДС асинхронного двигателя по высшим гармоникам / С.И.Кузовков, Н.Г.Широков – 3927765/24-07; заявл. 11.07.85; опубл. 07.03.87, бюл. №9.-5с.

19. Г.Божиллов Метод за определяне на параметрите на асинхронните двигатели //Техническа мисъл, т. XXVI, №6, 1989, с.29-35.

20. A circuit approach to finite element analysis of a double squirrel cage induction motor / Belmans R. //IEEE Trans. Energy Convers. – 1990, 5, '4, pp. 719-724.
21. Е.К.Ещин, М.А.Тынкевич, В.В.Новоселов Определение параметров асинхронных электродвигателей в автоматизированной системе испытаний / Автоматизация и электрификация горных предприятий в условиях АСУ., Кемерово, 1985, с.62-65.
22. J.Holtz, Th.Thimm Identification of the Machine Parameters in a Vector-Controlled Induction Motor Drive //IEEE Transaction on Industry Applications, vol.27, '6, 1991, pp.1111-1118.
23. Рогозин Г.Г., Пятлина Н.Г. Способ идентификации асинхронной машины по экспериментальным данным ее динамического режима. //Электричество, 1981, №4, с.47-49.
24. Б.А.Коробейников, А.И.Ищенко Идентификация параметров математической модели широкополосных асинхронных двигателей / Изв.вузов. Электромеханика, 1989, №8, с.33-38.
25. Сивокобыленко В.Ф., Гармаш В.С. Определение параметров схем замещения асинхронных и синхронных двигателей /Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1982, №5, с.154-159.
26. А.с. №1531039 СССР, МКИ G01R 31/34. Способ определения параметров контуров ротора широкополосного асинхронного двигателя / В.Ф.Сивокобыленко, В.С.Гармаш. – 4069969/24-21; заявл. 28.03.86; опубл. 23.12.89, бюл. №47.-2с.
27. New method of identification for induction machines parameters by means of quasi-Newton algorithms / Capolino G.A. // IMACS Ann.Comput. and Appl. Math. – 1989 – 6, '1-4, pp.133-135.
28. S.Ranicki A method of calculation of characteristics of three-phase induction machine with two-side asymmetry / Archiv fur Elektrotechnik, 1984, v.67, '4, pp.237-246.
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, Proceeding volumes 2, 1996, Szczecin, Poland, pp.209-214.
30. Parameter estimation for induction machines based on sensitivity analysis / Ansuji Somchai, Shokooh Farrokh // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1989, v.25, '6, с.1035-1040.
31. Поджаренко В.А., Кучерук В.Ю., Кухарчук В.В. Способ косвенного определения параметров математической модели электромеханических преобразователей с использованием функций чувствительности. // В кн. «Контроль и управление в технических системах». Тезисы докладов НТК стран СНГ. - Винница, 1992, с.9.
32. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю. До питання про ідентифікацію внутрішніх параметрів електричних машин.// Вісник Вінницького політехнічного інституту, №1(2), 1994, с.10-13.
33. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем управления. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981.-464с.
34. D.J.Atkinson, P.P.Akarnley, J.W.Finch Observes for Induction Motor State and Parameter Estimation //IEEE Transactions on industry applications, vol.27, '6, 1991, pp.1119-1127.
35. Н.В.Андреев, В.А.Поджаренко, А.В.Скилягин Задача идентификации параметров электромеханической системы. /Автоматика, 1993, №3, с.32-37.
36. Поджаренко В.А., Андреев Н.В., Скилягин А.В., Кучерук В.Ю. ИИС для научных исследований и испытаний изделий электротехнической промышленности.// В кн. «Измерительные информационные системы». Тезисы докладов ВНТК «ИИС-91»-Санкт-Петербург, 1991г., с.182.
37. 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, Proceeding volumes 2, the High Tatras, Slovakia, pp.537-541.
38. D.Balara, J.Zilkova Parametric identification of nonlinear DC Motor model using Neural Networks / Int. Conf. «Electrical Drives and Power Electronics» EDPE'96, Proceeding volumes 2, the High Tatras, Slovakia, pp.548-553.
39. Кучерук В.Ю. Аналіз існуючих засобів вимірювання механічних характеристик електричних машин. // Вимірювальна техніка та метрологія, Львів, №54, 1999, с.125-138.

УДК 621.317

Класифікація та аналіз методів і засобів для оцінки стану електричних машин/ Кучерук В.Ю.// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.-2000.-№ .-С.

Розглянуто питання класифікації існуючих методів і засобів оцінки стану електричних машин за запропонованими класифікаційними ознаками, класифікація методів ідентифікації параметрів електричних машин. Коротко описана їх суть та проведений їх порівняльний аналіз за допомогою якісного критерію ефективності. Показано, що методи оцінки стану електричних машин в динамічному режимі їх роботи дозволяють проводити оцінку практично всіх параметрів електричних машин, доведено їх суттєві відмінності і переваги.

Classification and analysis of the methods and means for a state estimation of electric machines / V.Yu.Kucheruk // МСТП. -2000. -№. -Р.

The problem of a classification of existing methods and means of conditions evaluation of electrical machines behind offered classification indications, classification of methods of parameters identification of electrical machines is considered. Their essence is briefly circumscribed and their comparative analysis with the help of of qualitative criterion of efficiency is conducted. Is shown, that the methods of condition evaluation of electrical machines in a dynamic mode of their work allow to conduct an evaluation practically of all parameters of electrical machines, their essential differences and advantages are proved.