

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЧІТКИХ АЛГОРИТМІВ

Метою промислових випробувань електричних машин, як і всяких інших виробів промисловості, є перевірка їхньої придатності до тієї роботи, до якої вони призначені виробником. Критерієм цієї придатності є задоволення ряду вимог, пропонованих до машини технічними документами, що визначають її проектування, виготовлення й експлуатацію споживачем.

Однією з таких задач є задача технічного діагностування. Зокрема діагностування стану асинхронного двигуна, тобто його придатність чи непридатність для використання за призначенням. А також прийняття рішення про причину дефекту у разі непридатності. За допомогою чисельних методів (методів екстраполяції, методів часових послідовностей тощо) такі задача реалізувати складно. Складність виникає при пошуку статистичних даних, їх обробці та пошуку апроксимуючої функції. І результати роботи такої системи є не дуже високими. Щоб вирішити ці проблеми, зручно використовувати апарат нечіткої логіки, де залежність входів системи та виходів задаються на основі лінгвістичної людської логіки, а не точних цифр, з якими складно працювати. Показники таких систем набагато вище, ніж систем на чітких числах.

В даній статті пропонується вирішення задачі технічного діагностування за допомогою автоматичного класифікатора, побудованого на основі нечітких алгоритмів.

Класифікацією називається процес віднесення об'єкта діагностування до одного з класів  $b_1, b_2, \dots, b_m$  з урахуванням його властивостей (або параметрів стану)  $x_1, x_2, \dots, x_n$

Для побудови системи класифікації на нечіткій логіці необхідно знати:

- множину класів  $\{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ .
- перелік властивостей об'єкта, що класифікується  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ .
- нечітку базу знань – сукупність правил типу

$$\bigcup_{p=1, k} \bigcap_{i=1, n} (x_i = a_i^{ip} \text{ з вагою } c_{30}) \longrightarrow y = b_j, \text{ при } j=1, m,$$

за якими здійснюється діагностування [1].

- перелік нечітких термів  $\alpha_i^{ip}$  для лінгвістичної оцінки властивості  $x_i$ .
- Функції належності  $\mu_{\alpha_i^{ip}}(x_i)$  нечітких термів  $\alpha_i^{ip}$ .

Об'єкту діагностування з характеристиками  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  відповідає клас  $b \in \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ , для якого:

$$\mu_b(X) = \max(\mu_{b_j}(X)), \quad (1)$$

Для побудови автоматичного класифікатора за основу необхідно прийняти систему нечіткого логічного висновку типу Сугенто.

Система нечіткого логічного висновку називається системою типу Сугенто, якщо при відомій базі знань вектора  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  фіксованих значень факторів впливу ставиться у відповідність значення вихідної змінної  $y$ , яке розраховується за формулою [2]:

$$y = defuz \left( \sum_{j=1}^m \mu_j / y_j \right) \quad (2)$$

Для побудови системи діагностування пропонується використати 14 найбільш поширених ознак браку, зведених в таблицю 1.

Для визначення технічних станів пропонується використати інформацію про 18 параметрів асинхронних двигунів, які розбиті на 4 групи [3]:

а) параметри обмоток ( $a_1$  - активний опір ізоляції  $R_{i3}$ ,  $a_2$  - активний опір обмоток  $R_{обм}$ ,  $a_3$  - індуктивність  $L_{обм}$ ,  $a_4$  - ємність  $C_{обм}$ ,  $a_5$  - взаємодукція між статором та ротором,  $L_m$ ,  $a_6$  - добротність обмоток  $Q_{обм}$ );

б) параметри динамічного режиму ( $b_1$  - максимальний момент  $M_{max}$ ,  $b_2$  - момент інерції  $J$ ,  $b_3$  - момент опору  $M_0$ ,  $b_4$  - параметри механічної характеристики  $M(\omega_r)$ ,  $b_5$  - параметри дисбалансу);

в) параметри холостого ходу ( $c_1$  - струм  $I_{xx}$ ,  $c_2$  - ККД  $\eta$ ,  $c_3$  - кутова швидкість  $\omega_r$ ,  $c_4$  -  $\cos\phi_{xx}$ );

г) параметри короткого замикання ( $d_1$  - пусковий струм  $I_n$ ,  $d_2$  - пусковий момент  $M_n$ ,  $d_3$  -  $\cos\phi_{кз}$ ).

**Таблиця 1 - Основні технічні стани асинхронних двигунів**

Умовне позначення	Технічний стан
Q <sub>0</sub>	Справний двигун
Q <sub>1</sub>	Збільшений розмір повітряного зазору
Q <sub>2</sub>	Занижена кількість витків обмотки статора
Q <sub>3</sub>	Відступ у висоті вусика пазів ротора
Q <sub>4</sub>	Відступ у випалі листів магнітопроводу
Q <sub>5</sub>	Невідповідність марки сталі
Q <sub>6</sub>	Завищене число витків обмотки статора
Q <sub>7</sub>	Завищений опір обмотки статора
Q <sub>8</sub>	Неякісна заливка ротора
Q <sub>9</sub>	Підвищені втрати в сталі
Q <sub>10</sub>	Підвищені механічні втрати в підшипниках
Q <sub>11</sub>	Порушення в хімічному складі алюмінієвого сплаву
Q <sub>12</sub>	Невідповідність в обмоточних даних
Q <sub>13</sub>	Взаємне зміщення пакетів статора і ротора
Q <sub>14</sub>	Зменшений розмір повітряного зазору

Лінгвістична оцінка кожного параметру стану має дві терм-множини: параметр в зоні допуску (norm) та параметр поза зоною допуску (fail), для попередньої оцінки. Для остаточної оцінки терм-множини наведені в таблиці 2

**Таблиця 2 - Лінгвістична оцінка параметрів стану**

Умовне позначення	Терм-множина
A	Нормальний стан (A <sub>0</sub> ); кількість витків обмотки статора поза зоною допуску (A <sub>1</sub> ); невідповідність марки сталі або відступ у випалі листів магнітопроводу (A <sub>2</sub> ); завищений опір обмотки статора (A <sub>3</sub> ); неякісна заливка ротора (A <sub>4</sub> ); збільшений розмір повітряного зазору (A <sub>5</sub> )
B	Нормальний стан (B <sub>0</sub> ); порушення в обмотках (B <sub>1</sub> ); неякісна заливка ротора (B <sub>2</sub> ); підвищені механічні втрати в підшипниках (B <sub>3</sub> ); порушення в хімічному складі алюмінієвого сплаву (B <sub>4</sub> ); взаємне зміщення пакетів статора і ротора (B <sub>5</sub> )
C	Нормальний стан (C <sub>0</sub> ); збільшений розмір повітряного зазору (C <sub>1</sub> ); занижена кількість витків обмотки статора (C <sub>2</sub> ); відступ у висоті вусика пазів ротора, підвищені механічні втрати в підшипниках, зменшений розмір повітряного зазору (C <sub>3</sub> ); відступ у випалі листів магнітопроводу, взаємне зміщення пакетів статора і ротора (C <sub>4</sub> ); невідповідність марки сталі, порушення в хімічному складі алюмінієвого сплаву (C <sub>5</sub> ); завищене число витків обмотки статора, завищений опір обмотки статора (C <sub>6</sub> ); неякісна заливка ротора, підвищені втрати в сталі (C <sub>7</sub> ); невідповідність в обмоточних даних (C <sub>8</sub> )
D	Нормальний стан (D <sub>0</sub> ); збільшений розмір повітряного зазору, занижена кількість витків обмотки статора, взаємне зміщення пакетів статора і ротора (D <sub>1</sub> ); відступ у висоті вусика пазів ротора, зменшений розмір повітряного зазору (D <sub>2</sub> ); відступ у випалі листів магнітопроводу, підвищені механічні втрати в підшипниках, невідповідність в обмоточних даних (D <sub>3</sub> ); неякісна заливка ротора, завищене число витків обмотки статора (D <sub>4</sub> )

Розглянемо кожний фактор окремо для визначення діапазонів зміни цих факторів, кількості термів, необхідних для лінгвістичної оцінки кожного фактору та для вибору функцій належності кожного терму. Для кожного впливного фактора оберемо функцію належності Гауса за формулою:

$$\mu^+(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - b}{c}\right)^2} \quad (3)$$

$$\varepsilon(x) = 1 - \mu^+(x) \quad (4)$$

де  $\mu^+(x)$  – функція належності змінної  $x$ ;  $b$  – параметри функції належності, який відповідає координаті максимуму;  $c$  – параметр стиснення-розтягування функції належності;  $\varepsilon(x)$  – функція зворотна до функції належності [2].

Функція  $\varepsilon(x)$  характеризує терм, що показує невідповідність певного параметра.

Ієрархічний взаємозв'язок між параметрами і технічним станом асинхронного двигуна представимо у вигляді дерева нечіткого логічного висновку (рисунок 1).

Вершини дерева інтерпретуються у такий спосіб: корінь дерева – показник, що діагностується; термінальні вершини – частинні параметри стану; нетермінальні вершини (подвійні кола) – нечіткі бази знань.

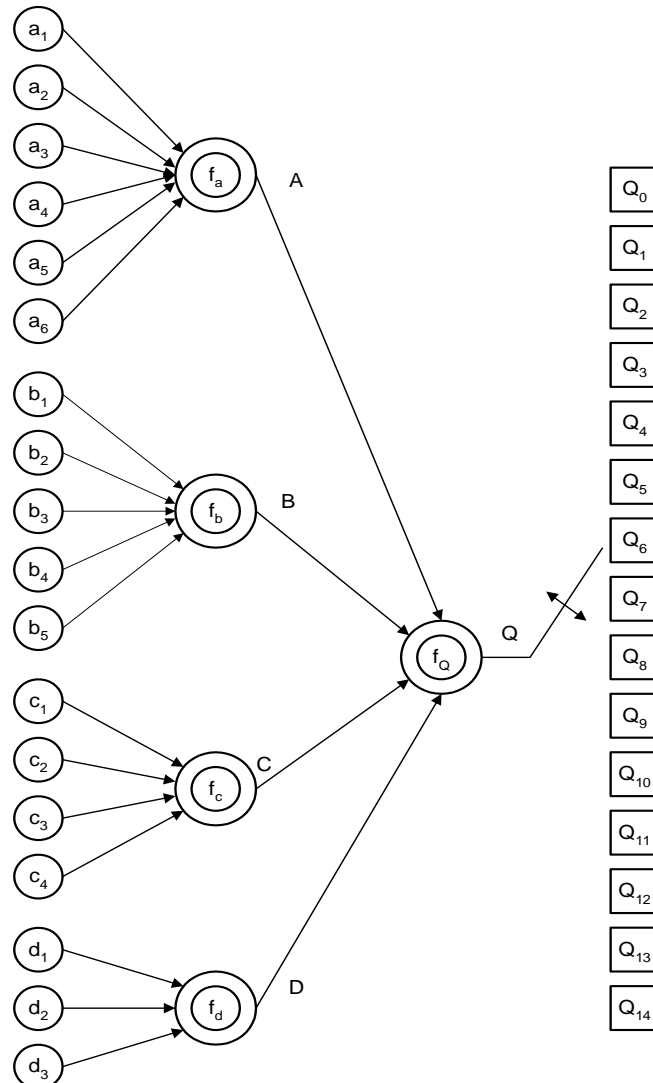


Рисунок 1 - Дерево нечіткого логічного висновку

Наведеному дереву відповідає така система співвідношень:

$$Q = f_Q(A, B, C, D), \quad (5)$$

$$A = f_a(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6), \quad (6)$$

$$B = f_b(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5), \quad (7)$$

$$C = f_c(c_1, c_2, c_3, c_4) \quad (8)$$

$$D = f_d(d_1, d_2, d_3). \quad (9)$$

Частинні та інтегральні параметри стану будемо розглядати як лінгвістичні змінні [3].

Маючи входи системи та вихід, необхідно побудувати базу знань, яка буде їх зв'язувати. Всі правила генеруються на основі експертних знань розробника. На кожний вихідний терм накладається по чотири правила. Ці правила є прозорі і не суперечать одне одному. Розроблена база знань не наводиться в даній статті за браком місця.

Отже, описавши всі складові системи нечіткого логічного висновку будемо систему, за допомогою пакету прикладних програм MATLAB 5 [4].

Так як система діагностики асинхронного двигуна ієрархічна, то структура розбита на декілька підсистем. Чотири підсистеми відповідає групі впливних факторів, і робить частковий висновок про стан

асинхронного двигуна, а остання, п'ята – на основі часткових робить остаточний висновок про придатність або непридатність об'єкта діагностування і в останньому випадку вказує на можливу причину непридатності.

Вхідні та вихідні дані зв'язані між собою за допомогою бази знань та бібліотеки функцій належності. Оскільки вихідний параметр дискретний, то для реалізації класифікатора вибрана система Сугенто.

Для того, щоб розробити ієрархічний автоматичний класифікатор, необхідно мати підсистеми часткових класифікаторів, їх розробка показана вище. Для їх об'єднання застосуємо програмні можливості MATLAB 5. При цьому застосовуються як оригінальні функції самого математичного пакету, так і розроблені пізніше. В даній програмі застосовується діалоговий режим роботи в системі MATLAB 5 [4]. Для вводу даних з'являється віконце у верхньому рядку, якого вказано, які саме дані необхідно ввести. Після закінчення вводу даних система видає результат діагностування стану асинхронного двигуна.

Покажемо на прикладі, як працює дана система.

*Вхідні дані:*

параметри обмоток:  $a_1$  - norm,  $a_2$  - norm,  $a_3$  - norm,  $a_4$  - norm,  $a_5$  - norm,  $a_6$  - norm;  
параметри динамічного режиму:  $b_1$  - fail,  $b_2$  - norm,  $b_3$  - norm,  $b_4$  - norm,  $b_5$  - norm;  
параметри холостого ходу:  $c_1$  - norm,  $c_2$  - norm,  $c_3$  - norm,  $c_4$  - norm;  
параметри короткого замикання:  $d_1$  - norm,  $d_2$  - norm,  $d_3$  - norm.

Висновок: *“Справний двигун”*.

*Вхідні дані:*

параметри обмоток:  $a_1$  - norm,  $a_2$  - norm,  $a_3$  - fail,  $a_4$  - norm,  $a_5$  - fail,  $a_6$  - norm;  
параметри динамічного режиму:  $b_1$  - fail,  $b_2$  - fail,  $b_3$  - norm,  $b_4$  - norm,  $b_5$  - norm;  
параметри холостого ходу:  $c_1$  - norm,  $c_2$  - norm,  $c_3$  - fail,  $c_4$  - norm;  
параметри короткого замикання:  $d_1$  - norm,  $d_2$  - norm,  $d_3$  - norm.

Висновок: *“Невідповідність марки сталі”*.

*Вхідні дані:*

параметри обмоток:  $a_1$  - norm,  $a_2$  - norm,  $a_3$  - fail,  $a_4$  - norm,  $a_5$  - fail,  $a_6$  - norm;  
параметри динамічного режиму:  $b_1$  - fail,  $b_2$  - norm,  $b_3$  - fail,  $b_4$  - norm,  $b_5$  - norm;  
параметри холостого ходу:  $c_1$  - norm,  $c_2$  - fail,  $c_3$  - norm,  $c_4$  - norm;  
параметри короткого замикання:  $d_1$  - fail,  $d_2$  - norm,  $d_3$  - fail.

Висновок: *“Взаємне зміщення пакетів статора і ротора”*.

### **Висновки**

1. Запропоновано спосіб технічного діагностування стану асинхронного двигуна на основі нечітких алгоритмів, який використовує інформацію чотирьох груп параметрів діагностування: параметри обмоток, параметри динамічного режиму, параметри холостого ходу, параметри короткого замикання.

2. Розроблений спосіб може бути використаний при прогнозуванні тенденцій розлагодження технологічного процесу (попередження браку, формування суджень і рекомендацій для проведення організаційно-технічних заходів підтримки технологічної дисципліни на потрібному рівні), яке відноситься до найбільш важливих елементів керування якістю виробництва асинхронних двигунів.

3. Розроблена програма нечіткого діагностування стану асинхронного двигуна за допомогою пакету MATLAB.

### **Література**

1. Ротштейн О.П., Штовба С.Д. Проектування нечітких баз знань. Лабораторний практикум та курсове проектування з дисципліни “Теорія нечітких множин та її застосування./ Навч. Посібник. – Вінниця: ВДТУ, 1999.- 63 с.
2. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. – Винница: Континент – ПРИМ. – 1997. – 132с.
3. Кучерук В.Ю. Контроль якості асинхронних двигунів при їх випробовуваннях/ Автоматизація виробничих процесів, Київ.-2000.-№2 (11).-С.41-45.
4. Потемкин В.Г. Система MATLAB 5 для студентов. Справочное пособие. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1998 – 314 с.