

гулятора с эталонной моделью требует обучения нейронной сети управляемого процесса и нейронной сети регулятора [5]. При этом обучение регулятора оказывается довольно сложным, поскольку обучение основано на динамическом варианте метода обратного распространения ошибки. Преимуществом регуляторов на основе эталонной модели является то, что они могут быть применены к различным классам управляемых процессов.

Структурные схемы нейроконтроллера и нейронной сети управления объектом представлены на рис. 5

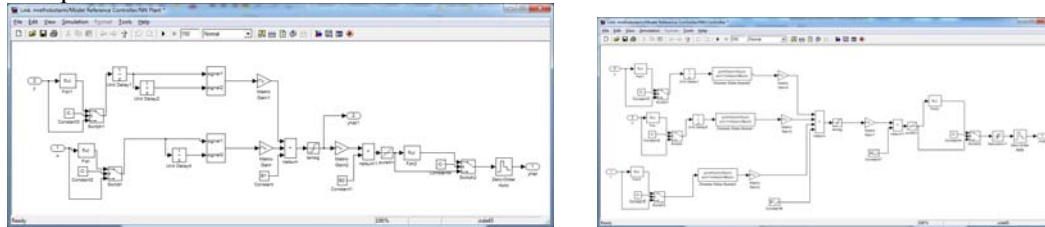


Рис. 5. Структурная схема нейроконтроллера и нейросетевой модели объекта управления

Структурная схема объекта управления и результаты моделирования управления первой стадией измельчения представлены на рис. 6.

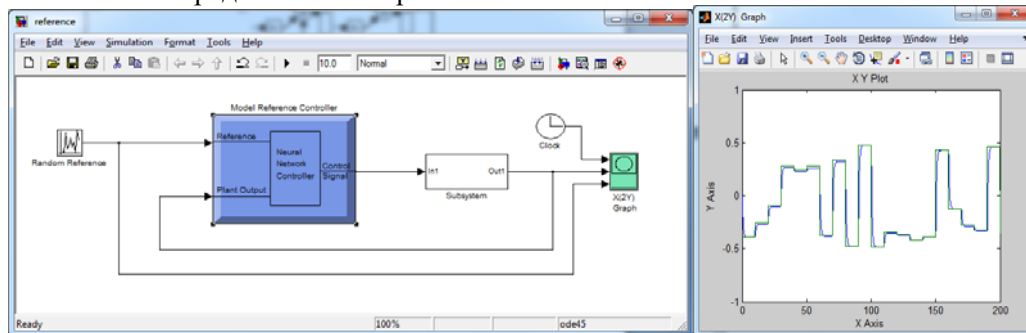


Рис. 6. Структурная схема объекта управления и результаты моделирования

Выводы. Исследована возможность управления технологическим процессом с помощью регуляторов на основе нейронных сетей, реализованных в пакете MatLab (Simulink). Проанализированы различия в их работе, построении и идентификации параметров. Промоделирована работа трех типов регуляторов: на основе эталонной модели, NARMA-L2 и с предсказанием. Лучшие результаты показали регуляторы на основе эталонной модели и NARMA-L2.

Список литературы

1. Гвоздик В.С. Реализация согласованного управления мельницами измельчения на основе применения нечеткого контроллера / В.С. Гвоздик, А.И. Купин // Разраб. рудн. месторожд. – Вып.88.- Кривой Рог: КТУ, 2005.- С.148-152.
2. Купин А.І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології : Монографія / А.І. Купін.- Кривий Ріг: КТУ, 2008.- 204 с.
3. Назаренко В.М. Современные информационные технологии для управления работой рудником горнообогатительного комбината / В.М. Назаренко, М.В. Назаренко, С.А. Хоменко, А.І. Купін // Разраб. рудн. месторожд. – Вып.77.- Кривой Рог: КТУ, 2002.- С. 66-70.
4. Методы робастного, нейрон-нечеткого и адаптивного управления / Под.ред. Н.Д. Егупова.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.- 744 с.
5. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления. - М.: Высш. шк., 2002.- 183 с.
6. Neural Network Toolbox. Internet: <http://matlab.izmiran.ru/help/toolbox/nnet>.

Рукопись поступила в редакцию 12.12.11

УДК 004.67

Д.І. КУЗНЕЦОВ, аспірант, А.І. КУПІН, д-р техн. наук, доц.
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АНАЛІЗ ВХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Проаналізовано основні закономірності виникнення різних типів дефектів. Показано та промодельовано властивість електрообладнання зберігати свою унікальність, шляхом аналізу їх спектральних характеристик. Запро-

повнано використання статистичного коригуючого коефіцієнта для підвищення якості розпізнавання дефектів електрообладнання.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. При створенні інформаційної чи експертної системи, завданням якої є моніторинг та аналіз стану робочих режимів електродвигунів, у реальному часі, в якості критерію оцінки стану двигуна необхідно обрати ознаки які характеризують наявність тих чи інших дефектів або пошкоджень.

Оскільки майбутня експертна система повинна аналізувати поточний стан електрообладнання в реальному часі, і вчасно повідомляти про це оператору, у випадку виникнення передаварійних станів двигунів, було обрано пошкодження які не призводять до повного виходу з ладу обладнання. Такі дефекти спричиняють тільки подальше руйнування конструкції, що призводить, наприклад, до збільшеного енергоспоживання, вібрації тощо.

Аналіз досліджень і публікацій. На сьогодні можна виділити найпоширеніші основні типи дефектів електродвигунів [1]:

Перевантаження і перегрів статора електродвигуна - 31 %.

Міжвитковий замикання - 15 %.

Пошкодження підшипників - 12 %.

Пошкодження обмоток статора або ізоляції - 11 %.

Нерівномірний повітряний зазор між статором і ротором - 9 %.

Робота електродвигуна на двох фазах - 8 %.

Обрив або ослаблення кріплення стрижнів білячої клітки - 5 %.

Ослаблення кріплення обмоток статора - 4 %.

Дисбаланс ротора - 3 %.

Неспіввісність валів - 2 %.

У загальному випадку масову частку пошкоджень ротору, статору та механічної частини електродвигуна можна продемонструвати діаграмою, представленою на рис. 1.

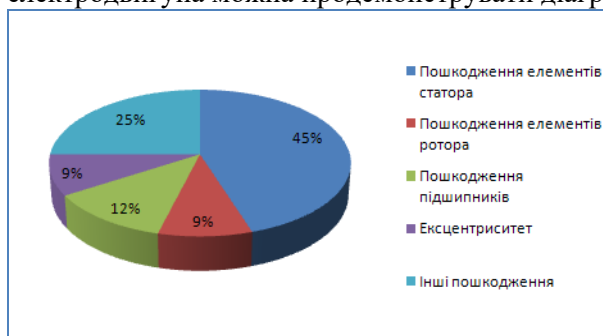


Рис. 1. Найпоширеніші дефекти електродвигунів

До найбільш найпоширеніших механічних пошкоджень електродвигунів відносять пошкодження підшипників, збільшений ексцентриситет, обрив або ослаблення кріплення стрижнів білячої клітки, що у свою чергу призводить до перевантаження.

При виникненні даного типу дефектів, момент опору, який діє на вал електродвигуна, починає періодично змінюватися із частотою

пропорційною частоті обертання валу. Періодична зміна моменту опору викликає появу в струмі статора складових (гармонік) пропорційних частоті обертання валу [2].

Постановка завдання. Метою даної статті є аналіз існуючих залежностей виникнення дефектів електрообладнання, з метою їх поліпшення та збільшення якості розпізнавання, шляхом урахування індивідуальних властивостей, на прикладі розроблених комп'ютерних моделей та програмного забезпечення.

Викладення матеріалу та результати. До найбільш поширених дефектів електродвигунів, які не призводять до повного виходу з ладу відносять:

а) *збільшений ексцентриситет.* Зміна повітряного зазору, внаслідок динамічного або статичного ексцентриситету, призводить до зміни густини магнітного потоку в повітряному просторі. У свою чергу, внаслідок своєї зміни струми статора можливо виявити ексцентриситет на наступних частотах [3]:

$$f = ((R \cdot f_r \pm n_d) \pm k \cdot f_r, \quad (1)$$

де R - кількість стрижнів ротору; f_r - швидкість обертання ротору, Гц; n_d - порядок ексцентриситету (0, 2, 4, 6); k - коефіцієнт який визначає гармоніки споживаючої мережі.

б) *пошкодження підшипників.* Наявність пошкоджень елементів підшипників, які відображають наявність несправностей, пов'язаних з дефектами внутрішнього та зовнішнього кілець, тіл кочення можливо діагностувати на наступних частотах [3-5]:

$$f = k \cdot f_n \quad (2)$$

де f_n - характерні частоти при наявності дефектів елементів підшипника, використовувані для діагностики (внутрішньої та зовнішньої обійми, частота тіл кочення):

в) *пошкодження стрижнів ротору*. При дефектах ротору, виникає асиметрія ротору. У результаті чого утворюється магнітне поле з протилежним напрямком щодо поля ротора, із частотою пропорційною частоті ковзання gfs . У свою чергу це приводить до виникнення додаткових гармонік на наступних частотах [3]

$$f = (1 \pm 2s)f_s, \quad (3)$$

де s - частота ковзання, f_s - частота живлення. Приклад спектру току даного дефекту наведено на рис. 2.

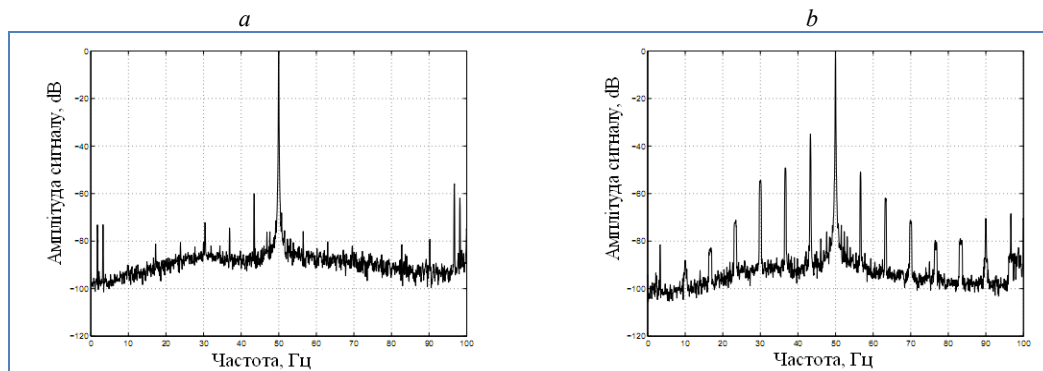


Рис. 2. Спектр струму справного двигуна *a*, та з обривом стрижню *b*

г) *замикання ротора об статор*. Діагностувати даний вид несправності електродвигуна (див. рис. 3), можливо на частотах [3]

$$f = k \frac{f_r}{2}, \quad (4)$$

де f_r - частота обертання ротору, k - коефіцієнти (1-5).

д) неспіввісність валів та механічного навантаження. Даний тип несправності (рис. 4) електродвигунів можливо діагностувати на наступних частотах [3-5]

$$f = k \cdot f_r, \quad (5)$$

де f_r - частота обертання ротору, k - коефіцієнти (1-5).

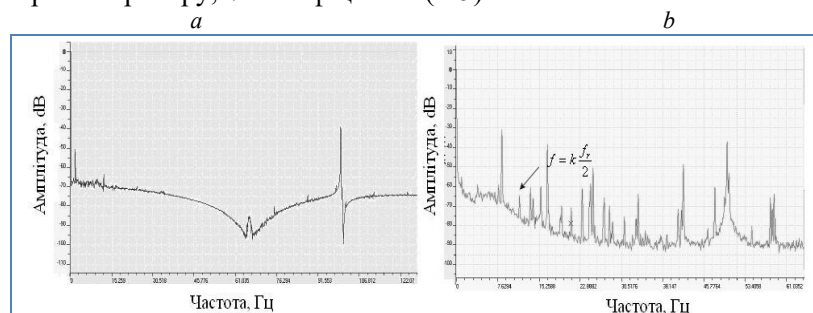


Рис. 3. Спектр струму справного двигуна *a* та із замиканням ротора об статор *b*

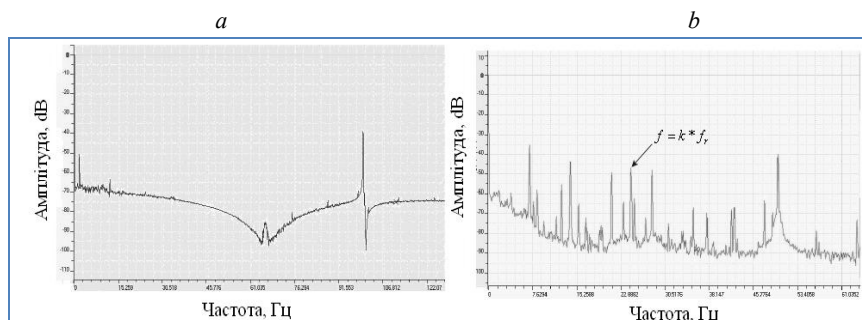


Рис. 4. Спектр струму справного двигуна *a* та з неспіввісністю валів *b*

Відомо, що у світі немає однакових (ідентичних) речей, з точки зору їх фізичних властивостей. Аналогічна ситуація характерна для механічних та електричних пристроїв, у тому числі й електродвигунів будь-якого типу.

До основних причин, внаслідок яких виникають неспівпадання спектральних характеристик однакових електродвигунів можна віднести конструктивні особливості: дискретне розміщення провідників обмоток у пазах двигуна, еліптичність ротору, ексцентриситет ротору відносно статора тощо [2].

У свою чергу всі ці особливості впливають на магнітну провідність обмоток ротору та статора, розподіл магнітного поля в зазорі між ротором та статором, магнітно-рушійну силу (МРС).

Можна зробити висновок, що при створенні інформаційної автоматичної системи моніторингу робочих станів електрообладнання, необхідно враховувати неоднорідність спектру однакових електродвигунів.

У результаті досліджень спектральних характеристик електродвигунів було створено модель АД з КЗР у математичному пакеті MathLab 7.1, з метою аналізу впливу неоднорідності конструктивних особливостей однакових двигунів (рис. 5).

Об'єктом модулювання був трифазний АД з КЗР з такими характеристиками: номінальна потужність 2.5 кВт; напруга і частота живлення 380В та 50 Гц відповідно. Шум електромережі моделювався шляхом додавання блоку гаусівського шуму та синусоїдальної функції. Внаслідок випадкового змінення показника взаємної індуктивності $Lm+\varepsilon$, моделювалися відмінності у конструктивних характеристиках однакових двигунів. Де ε змінювалась за нормальним законом розподілення.

Внаслідок швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) було отримано спектральні характеристики електрообладнання, де в якості частот які характеризують обладнання, було обрано 3 частоти з максимальною амплітудою (рис.6).

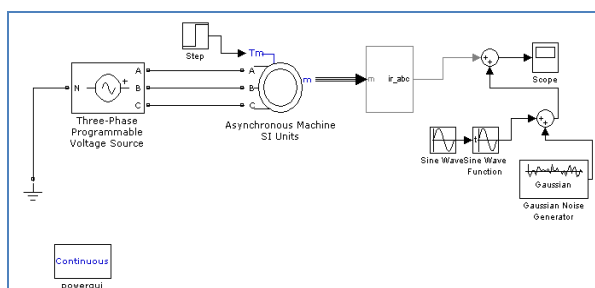


Рис. 5. Модель АД з КЗР у пакеті MathLab 7.1

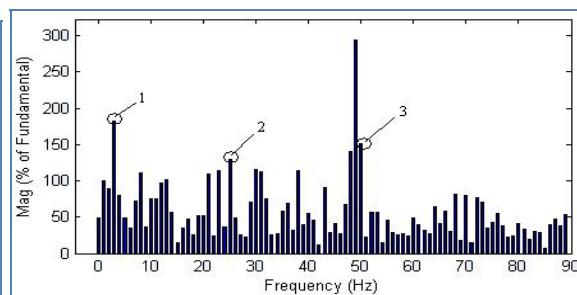


Рис. 6. Приклад спектрограми електродвигуна в MathLab 7.1 (1,2,3 - основні частоти)

У результаті моделювання 20 однакових електродвигунів з різними конструктивними особливостями, було отримано наступні результати (рис. 7): у середньому, розкид за 1-3 характерними частотами склав 30;14 та 8 % відповідно. Отже, при моніторингу дефектів електрообладнання ефективність розпізнавання пошкоджень, згідно 2.1-2.9 у середньому буде складати 84 %.

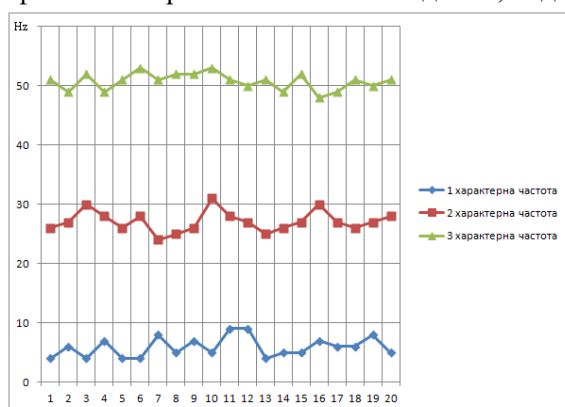


Рис. 7. Результат моделювання однакових електродвигунів з різними конструктивними особливостями

Для підвищення показника ефективності розпізнавання та моніторингу дефектів електродвигунів запропоновано використовувати статистичний корегуючий коефіцієнт θ , який враховує фізичні особливості електрообладнання і який розраховується так

$$\theta = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i / n}{f_n} \right|, \quad (6)$$

де n - кількість частот, які ідентифікують електродвигун; δ - дисперсія, яка розраховується так

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (7)$$

Отже, із урахуванням фізичних особливостей електродвигунів, частоти характерні для різних видів дефектів визначаються так

$$f = f_n \pm \theta, \quad (8)$$

де f_n - характерна частота відповідного дефекту (1-6); \bar{x} - математичне сподівання.

Наприклад, у результаті експериментальних досліджень було отримано реальні спектральні характеристики для трьох однакових АД з КЗР змінного струму (див. рис. 9), які мають наступні характеристики: $U_{\text{жс}}=12$ В, $F_{\text{жс}}=50$ Hz, $n=600$ об/хв. 1 - це частота живлячої мережі (50 Hz); 2,3,4 - частоти, які ідентифікують електродвигун.

Отже, як видно з результатів тестувань основні частоти, які характеризують електродвигун №1 становлять: 53 Hz, 101 Hz, 124 Hz.

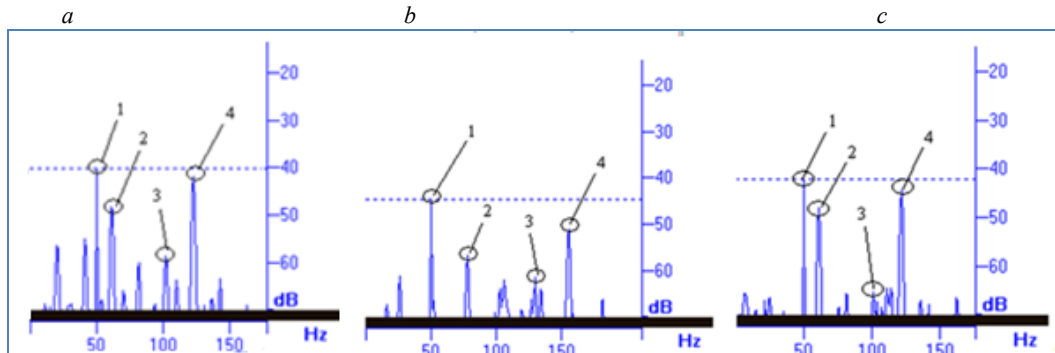


Рис. 9. Спектральні характеристики двигунів: *a* - двигун №1; *b* - двигун №2; *c* - двигун №3

Для двигуна №2 характерні частоти становлять: 75 Hz, 125 Hz, 151 Hz; для двигуна №3: 55 Hz, 100 Hz, 122 Hz. Отже, у даному випадку статистичний корегуючий коефіцієнт становитиме $\theta=12$ Hz. Частоти, характерні для різних типів дефектів будуть знаходитись в проміжку: $[f_n - 12; f_n + 12]$.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Будь-який електродвигун є унікальним, і характеризуються власним характерним «слідом», тобто володіє відмінною амплітудно-частотною характеристикою.

З урахуванням фізичних особливостей електрообладнання доцільно використовувати статистичний коригуючий коефіцієнт, який дозволяє збільшити ймовірність розпізнавання дефектів електродвигунів.

На підставі отриманих результатів доцільно проводити дослідження в напрямку створення інтелектуальної САПР моніторингу поточного стану електрообладнання.

Список літератури

1. Серій Е.В. Рейтинг дефектов низковольтных электродвигателей. /Рынок Электротехники, № 2, 2007 г.
2. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика состояния электродвигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока. Журнал "Новости Электротехники" № 1(31) 2005. стр. 23.
3. Mohamed El Hachemi Benbouzid / Induction Motors' Faults Detection and Localization Using Stator Current Advanced Signal Processing Techniques/ iee transactionson powe relectronics, vol.14, no.1, january 1999
4. Каган А.В. / Математическое моделирование в электромеханике ч.2 письменные лекции. СПб: СЗТУ, 2002 – 13 с из 77 с.

Рукопис подано до редакції 15.02.12

УДК 622.733.051

О.В. БУЛАХ, канд. техн. наук, О.О. БУЛАХ, асистент
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ВИВЧЕННЯ УМОВ ПОДРІБНЕННЯ ОКИСЛЕНИХ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ СКЕЛЕВАТСЬКОГО РОДОВИЩА

Розглянуто речовинний склад окислених залізистих кварцитів та особливості їх подрібнення з отриманням чистих поверхонь мінеральних зерен при використанні бішофіту.

Проблема та її зв'язок з науковим та практичним завданням. Залізна руда є основною сировиною для всього гірничо-металургійного комплексу України, тому вона має важливе народногосподарське значення для економіки, оскільки частка гірничо-металургійного комплексу складає 40 % всього народного господарства країни.

Сьогодні Україна посідає сьоме місце в світі з виробництва сталі і для того, щоб закріпитися на світовому ринку необхідно підвищувати якість продукції, спрямувати зусилля на вигото-