

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ НАВЧАЮЧОЇ ВИБІРКИ ДЛЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ
В ЗАДАЧАХ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

У процесі експлуатації електродвигунів можуть виникати різного роду несправності або пошкодження їхніх деталей, тому є дуже важливою задачею виявляти дефекти на ранніх стадіях. При розв'язанні даної задачі, в першу чергу, потрібно дане устаткування ідентифікувати (розпізнати) як у сукупності, так і кожне окремо у електромережі. В статті представлено результати експериментальних досліджень визначення оптимального набору навчаючої вибірки для нейромережі, кількість і якість якої вагомо впливає на час та якість розпізнавання електродвигуна у електромережі.

Ключові слова: нейромережа, ідентифікація, характерна частота.

D.I. KUZNIETSOV, A.I. KUPIN
Kryvorizkyi natsionalnyi universytet

**DETERMINING THE OPTIMAL TRAINING SELECTION FOR NEURAL NETWORK IN IDENTIFICATION
PROBLEM OF ELECTRICAL EQUIPMENT**

In the operation of electric motors can be various kinds of faults or damage to their parts, so it is very important to detect defects in the early stages. In solving this problem, first of all, you need to identify the equipment, both in the aggregate and individually in each socket. The results of experimental studies determining the optimal set of training data for a neural network, the number and quality of which significantly affects the time and quality of recognition in the electric motor.

Keywords: neural networks, identification, characteristic frequency.

Постановка задачі

На сьогоднішній день найбільшими споживачами електроенергії серед усього електроустаткування є електродвигуни. Їхня доля споживання від виробленої електроенергії, згідно з останніми дослідженнями, приблизно складає 75% [1]. Як і будь-яке обладнання, електродвигуни у процесі своєї експлуатації можуть вийти з ладу, наприклад, пошкодження ротору або статора, що у свою чергу може призвести до тяжких наслідків, таких як вихід з ладу електродвигуна або зупинка технологічного процесу. Тому своєчасна діагностика електротехнічного обладнання, зокрема електродвигунів, є актуальним питанням в умовах сучасних підприємств.

Найголовнішою задачею при діагностиці електроустаткування є його ідентифікація (розпізнавання) на фоні шумів, створюваних іншим електроустаткуванням чи шумами самої електромережі.

Також велика кількість складних задач вирішується за допомогою апарата штучних нейронних мереж, особливо задачі класифікації, розпізнавання образів, прогнозування та ін. Задача ідентифікації електрообладнання відноситься до задач класифікації та розпізнавання образів. В основі процесу ідентифікації є отримання спектральної характеристики електрообладнання шляхом перетворення вхідної величини (спожитий струм або напруга) за допомогою швидкого перетворення Фур'є у амплітудно-частотну характеристику. Під час запам'ятовування АЧХ електрообладнання, вхідними параметрами для нейромережі є основні, характерні для даного обладнання, частоти (частоти з найбільшим значенням амплітуд).

Так як задача ідентифікації обладнання є складовою частиною задачі діагностики електрообладнання, то час навчання та апроксимації нейромережі є досить суттєвим при розв'язанні даних задач у реальному часі.

Аналіз досліджень та публікацій

Найпоширенішими методами діагностики електродвигунів є: а) вібраційний спосіб оцінки технічного стану електродвигуна, при якому реєструють та аналізують сигнал, що створює вібрація електродвигуна. За отриманими даними аналізують форму та амплітуду отриманого сигналу і, порівнюючи її зі значеннями попередніх вимірів, оцінюють можливість подальшої роботи двигуна [2];

б) спосіб моделювання, що включає в себе етап розробки комп'ютерної моделі двигуна, з'єднання з двигуном за допомогою великої кількості датчиків. За отриманими даними робочих сигналів двигуна обчислюються рівняння стану у часі, яке, у свою чергу, порівнюється із рішенням моделі, і на основі різниць рішень визначається, чи є несправність у двигуні [2];

в) спектр-струменевий аналіз, спосіб діагностики двигунів та пов'язаних з ним механічних приладів, у якому протягом заданого інтервалу часу відбувається запис значень струмів, які споживає двигун. З отриманих значень струмів виділяють характерні частоти для даного електродвигуна, перетворюють отриманий сигнал з аналогової форми у цифрову, а потім здійснюють спектральний аналіз із отриманого сигналу та порівняння значень амплітуд на характерних частотах з рівнем сигналу на електромережі [2].

Спосіб в) є найбільш оптимальним, тому що він дозволяє досліджувати двигун не тільки безпосередньо під'єднавшись до нього (а) та б) способи), а й під'єднавшись до системи живлення. При спектр-струменевому аналізі, найчастіше використовують пряме перетворення Фур'є для отримання, наприклад, амплітудно-частотної характеристики електродвигуна, навіть у реальному часі [3].

Виділення невіршених частин

У процесі ідентифікації електродвигуна вирішальну роль відіграє правильний вибір характерних частот (ХЧ), які його ідентифікують. Дані частоти у подальшому будуть використовуватися у якості навчаючої вибірки для нейронної мережі. Також вибір кількості частот, які обираються у якості характерних частот, може істотно вплинути на якість розпізнавання електродвигуна, на середній час навчання нейронної мережі, та у подальшому на час ідентифікації, що, у свою чергу, може бути критичним показником для систем реального часу.

Формулювання цілей

Метою даної статті є аналіз показників (кількість характерних частот), які впливають на зменшення часу навчання та якість розпізнавання електродвигуна, шляхом використання методів імітаційного моделювання та апарату нейромереж.

Викладення матеріалу та результати досліджень

Вплив кількості характерних частот на якість розпізнавання електродвигуна у електромережі було проаналізовано внаслідок використання імітаційного моделювання методом Монте-Карло.

Даний метод є статистичним, тобто гарно імітує реальний розподіл вибіркової статистики при умові великої кількості експериментів. Головною особливістю даного методу є визначення випадкового числа, ймовірнісний розподіл якого може істотно вплинути на результати експерименту [4].

До основних переваг даного методу можна віднести те, що його легко застосовувати при малих обмеженнях або без попереднього аналізу задачі, а також не вимагає ніяких пропозицій про регулярність, за винятком квадратичної інтегрованості. Це може бути корисним, так як часто дуже складна функція, чи її властивості регулярності важко встановити [4].

У даному випадку в якості генератора випадкових чисел було обрано генератор випадкових чисел, який входить до складу Framework 4.0, що базується на таймері мілісекунд комп'ютера [5]. Приклад розподілу отриманих випадкових величин діапазону [0;350] показано на рис.1.

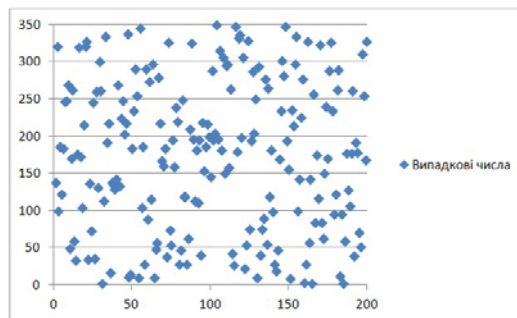


Рис. 1. Розподіл випадкової величини

Відповідно до існуючих досліджень [3], під час процесу ідентифікації електродвигуна, існує ймовірність видозмінення характерної частоти внаслідок впливу шумів, перепадів напруги тощо. Тому було проаналізовано ймовірність виникнення такого роду шумів на характерних частотах електродвигуна (див. рис.2) шляхом генерування випадковим чином вибору відповідної характерної частоти двигуна та виникнення шуму.

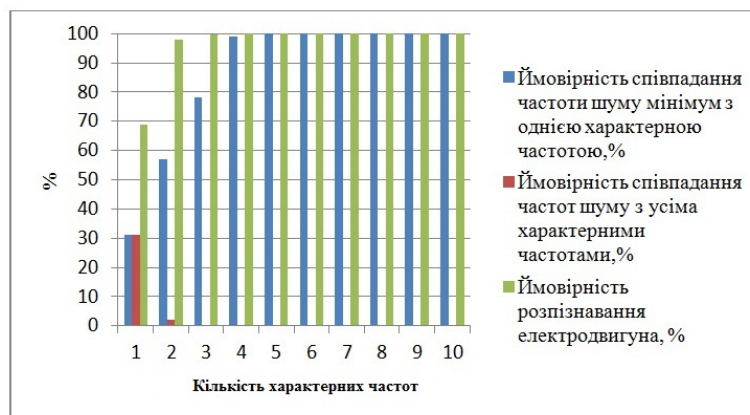


Рис. 2. Ймовірність співпадання шуму з характерними частотами АД

Як видно з рисунку 2, оптимальною кількістю характерних частот, для досягнення 100% ймовірності розпізнавання, є 4 характерні частоти, тому що ймовірність співпадання шуму з характерними частотами складає 0%.

У випадку одночасного моніторингу двох однакових електродвигунів, окрім ймовірності

співпадання шуму з характерними частотами, може виникнути ситуація співпадання характерних частот самих двигунів. Результат моделювання даної ситуації представлено на рис. 3. Також, враховувався корегуючий показник чутливості (d) коливань значень характерних частот [6]:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n} \tag{1}$$

де n – кількість характерних частот, δ – дисперсія.

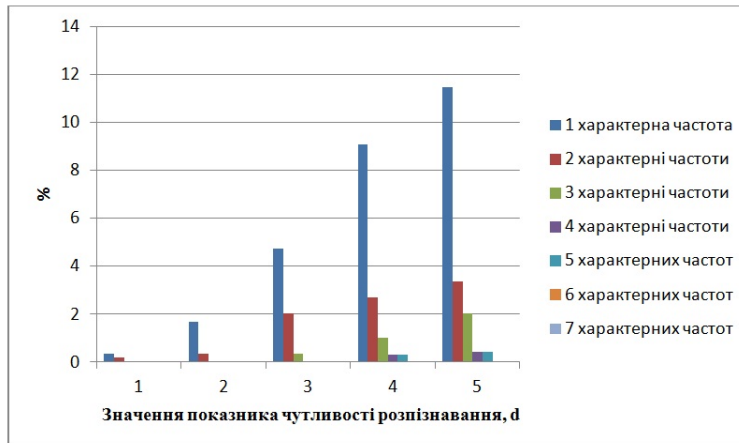


Рис. 3. Ймовірність співпадання характерних частот двох електродвигунів

Коефіцієнт d приймав максимальне значення 5 Hz. Як видно з рисунку, максимальна ймовірність співпадання характерних частот виявляється у випадку використання 1–3 частоти, і показник $d=3,4,5$. Але при використанні 5–7 ХЧ відсоток співпадання практично складає 0%.

Також існує вірогідність, що при виборі, наприклад, 5 ХЧ певна частина з них співпадає, і, в свою чергу, інша частина може бути видозмінена під впливом шумів. Тому було досліджено ймовірність виникнення $n-1$ співпадання характерних частот (рис. 4).

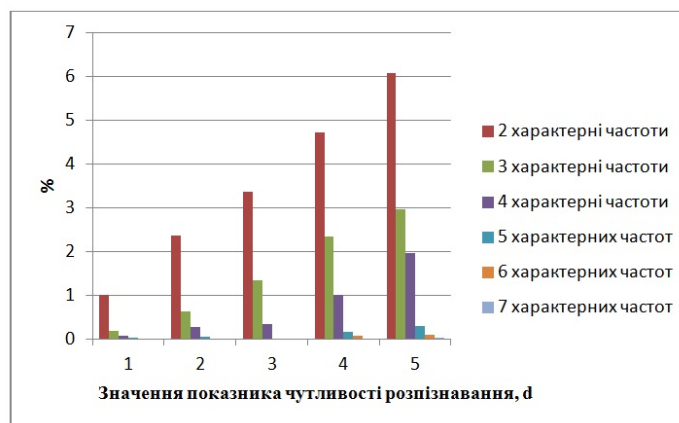


Рис. 4. Ймовірність співпадання $n-1$ характерних частот двох електродвигунів

На основі отриманих даних видно, що при використанні 5-7 ХЧ відсоток співпадання практично дорівнює 0%.

Ймовірність співпадання всіх ХЧ одночасно ввімкнених 3 електродвигунів показано на рис.5. Як видно, вірогідність співпадання всіх одночасно ХЧ, починаючи з 6 ХЧ практично дорівнює 0%, при використанні показника $d=4,5$. А при значеннях $d=1,2$ вірогідність співпадання починаючи з 2 ХЧ практично дорівнює 0%.



Рис. 5. Ймовірність співпадання всіх характерних частот трьох електродвигунів

В процесі одночасного моніторингу трьох електродвигунів можуть виникати ситуації, коли співпадають частоти двох двигунів у різних комбінаціях. Результат моделювання даної ситуації, при умові співпадання однієї ХЧ, представлено на рис. 6.

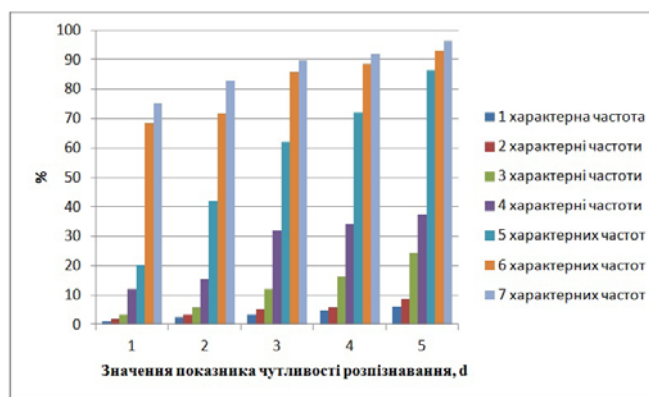


Рис. 6. Ймовірність співпадання 1 характерної частоти трьох електродвигунів

Як видно, при використанні 4–7 ХЧ значно збільшується відсоток ймовірності співпадання ХЧ електродвигунів. Для підтвердження достовірності отриманих результатів було розраховано середньоквадратичне відхилення, абсолютна та відносна похибки серії вимірювань.

Згідно із проведеними розрахунками, середньоквадратичне відхилення склало $S_a=2,9$ Hz, абсолютна похибка для надійності в 95% (коефіцієнт Стьюдента $t_{\alpha}=1,984$ при $\alpha=0,05$ та $n=100$) склала $\Delta x=5,8$ Hz, відносна похибка склала $e_a=3,5\%$. Також виконано перевірку на відтворюваність дослідів (однорідність дисперсій) $G_p=0,3305$ при граничному табличному значенні $G_k=0,372$.

В результаті отриманих даних видно, що найоптимальніше використовувати 6 і більше характерних частот для ідентифікації електродвигунів. Але, так як ХЧ є навчаючою вибіркою для нейронної мережі, то їх кількість може вплинути на час навчання, від чого залежить загальний час реакції системи.

Аналіз впливу кількості ХЧ на час навчання було промодельовано у пакеті NeuroSolution з використанням звичайного перцептронів та алгоритмом навчання Back Propagation. Результати представлено на рис. 7.

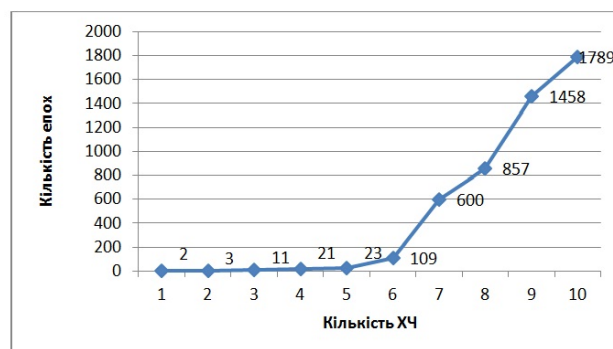


Рис. 7. Залежність часу навчання від кількості ХЧ

Отже, як видно з результату моделювання, оптимальною кількістю є використання 1–6 характерних частот, а використання більшої кількості значно впливає на час навчання НМ.

Висновки

На основі представлених результатів на рис. 2–7, можна зробити висновок, що оптимальною кількістю є 5–6 ХЧ, які забезпечать достатню стійкість до шумів, та знизять ймовірність співпадань частот у випадку одночасного діагностування декількох електродвигунів.

У відповідності до розрахованих критеріїв достовірності проведення експериментальних досліджень, можна зробити висновок, що всі отримані залежності достовірні.

Література

1. Петухов В.С. Диагностика состояния электродвигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока / В.С. Петухов, В.А. Соколов // Журнал "Новости Электротехники". – 2005. – № 1 (31). – С. 23.
2. Серый Е.В. Рейтинг дефектов низковольтных электродвигателей / Е.В. Серый // Рынок Электротехники. – 2007. – № 2. – С. 35.
3. Кузнецов Д.І. Ідентифікація електроустаткування за допомогою нейромереж / Д.І. Кузнецов, А.І. Купін. – Кривий Ріг : Вісник КТУ, 2011. – С. 362–366.
4. Прохоров Ю.В. Математика. Большой энциклопедический словарь / Прохоров Ю.В. – М. : Большая Российская энциклопедия, 1999. – 311 с.
5. Генератор випадкових чисел [Електронний ресурс]: MSDN – 2013. – Режим доступу : [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ctssatww\(v=VS.110\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ctssatww(v=VS.110).aspx)
6. Кузнецов Д.І. Аналіз вхідних параметрів для експертної системи моніторингу поточного стану електрообладнання / Д.І. Кузнецов, А.І. Купін. – Кривий Ріг : Вісник КНУ, 2012. – С. 352–356.

References

1. Petuhov V.S., Sokolov V.A. Diagnostika sostojanija jelektrodvigatel'ej na osnove spektral'nogo analiza potrebljaemogo toka . Novosti Jelektrotehniki. 2005. № 1 (31). P. 23.
2. Seryj E.V. Rejting defektov nizkovol'tnyh jelektrodvigatel'ej. Rynok Jelektrotehniki. 2007. № 2. P. 35.
3. Kuznietsov D.I., Kupin A.I. Identyfikatsiia elektroustatkuvannia za dopomohoiu neiromerezh. Kryvyi Rih. Visnyk KTU. 2011. P. 362–366.
4. Prohorov Ju.V. Matematika. Bol'shoj jenciklopedicheskij slovar'. M. Bol'shaja Rossijskaja jenciklopedija, 1999. 311 P.
5. Generator vipadkovih chisel (MSDN). [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ctssatww\(v=VS.110\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ctssatww(v=VS.110).aspx)
6. Kuznietsov D.I., Kupin A.I. Analiz vkhidnykh parametrov dlja ekspertnoi systemy monitorynhu potocnoho stanu elektroobladnannia. Kryvyi Rih. Visnyk KNU. 2012. P. 352–356.

Рецензія/Peer review : 18.3.2013 р.

Надрукована/Printed : 7.4.2013 р.
Статтю представляє: д.т.н. Купін А.І.