

ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ РЕЛЕ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

В даній роботі автором виконано наукове обґрунтування методу діагностування електромагнітних нормальнодіючих реле постійного струму за допомогою нейронних мереж.

В этой работе автором выполнено научное обоснование метода диагностирования электромагнитных нормальнодействующих реле постоянного тока с помощью нейронных сетей.

In the paper the scientific substantiation of diagnostic method for the electromagnetic normal-acting DC relays by means of the neural networks is performed.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку технології обслуговування систем залізничної автоматики, пов'язані з переходом від планово-попереджувального обслуговування й ремонту до обслуговування й ремонту по дійсному технічному стану, створюють передумови для розробки і широкого використання нових засобів та методів автоматизованого контролю й діагностування.

В пристроях залізничної автоматики, що експлуатуються на залізницях України, для виконання відповідальних операцій, пов'язаних із безпекою руху поїздів, застосовуються реле першого класу надійності типу НМШ і РЭЛ. Технологія їх обслуговування в умовах ремонтно-технологічної дільниці з ряду причин не задовольняє сучасним вимогам [1]. Існуючі засоби вимірювання й контролю параметрів реле фізично і морально застаріли. При виявленні прихованих дефектів виробництва, що є основною причиною збоїв у роботі й відмов реле, роздільний контроль параметрів не завжди ефективний. Більш достовірний діагноз забезпечується в результаті спільного аналізу тягової й механічної характеристик реле, а також деяких параметрів. Необхідність розкриття реле, а також застосування для контролю регульовальних параметрів механічного інструмента (щупи й грамометри), також можна віднести до недоліків існуючої технології. Навіть однократне застосування таких інструментів може привести до забруднення й мікродеформацій контактних поверхонь, порушення регульовальних параметрів. При цьому практично не виявляються такі дефекти, як затирання в магнітній системі, затирання якоря об кожух реле, відсутність або недостатня величина спільного ходу контактів у збудженому стані реле. Зазначені

дефекти приводять відповідно до нестабільності параметрів, збільшеного перехідного опору й навіть до незамикання контактів реле [2].

Після закриття реле в деяких випадках спостерігається відхилення регульовальних параметрів і поява прихованих дефектів. Виявити такі приховані дефекти існуючими методами не завжди можливо.

У зв'язку із цим виникає задача розробки більш ефективної методики технічного контролю й діагностування, що дозволила б із мінімальними витратами й без зняття кожуха визначити технічний стан реле.

Метою даної роботи є дослідження можливості діагностування реле залізничної автоматики шляхом аналізу кривої споживання струму за допомогою нейронної мережі, вибір структури і параметрів ШНМ, необхідних для ефективного розпізнавання сигналів, а також наукове обґрунтування методу діагностування електромагнітних нормальнодіючих реле постійного струму за допомогою нейронних мереж.

Методика діагностування

Застосування апарата нейронних мереж (ШНМ) для діагностування релейної апаратури дозволяє вирішувати такі завдання, як класифікація несправностей монтажу контактів без застосування детермінованих алгоритмів діагностування, розпізнавання небезпечних відхилень від заданих часових параметрів, прогнозування стану реле за рахунок аналізу зміни в часі його параметрів, розпізнавання стану реле за кривою перехідного струму при включенні й виключенні реле, акустичний контроль роботи рухомих механічних частин реле й ін. Разом із класичними методами вимірювання параметрів реле, нейромережеві технології дозволяють одержати максимальну кі-

лькість інформації про стан реле без зняття захисного кожуха. Ця задача стає особливо актуальною при діагностуванні реле, що входять до складу релейних блоків електричної централізації, оскільки в цьому випадку доступ до частини контактів реле є, як правило, обмеженим [3].

Аналіз перехідних процесів у електричному колі живлення реле за допомогою ШНМ дозволяє виявляти (непрямим методом) відхилення регульованих параметрів реле від норми і наявність прихованих дефектів. У процесі діагностування реєструється цифровий образ перехідного струму, що потім використовується як вхідний вектор першого шару ШНМ. У процесі навчання нейронна мережа встановлює залежність форми перехідного струму від стану реле.

При подачі напруги в коло живлення реле P (рис. 1) з резистора R , підключеного послідовно з його обмоткою, знімається сигнал, пропорційний струму в обмотці реле. Для перетворення перехідного струму з аналогової форми в цифрову використовують спеціалізовані аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), що підключаються через стандартні інтерфейси до персонального комп'ютера (ПК).

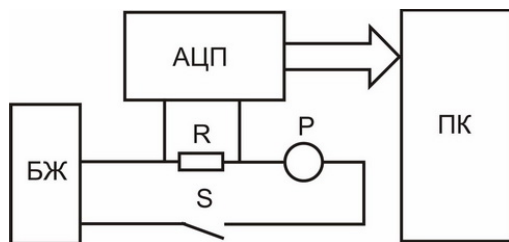


Рис. 1. Схема зняття кривої струму при включенні реле

Результати

З метою спрощення задачі, на першому етапі досліджень для діагностування було вибрано лише чотири стани реле НМШ2-900:

- 1) справний стан;
- 2) знято тягу (від'єднано контактну групу);
- 3) додаткове навантаження якоря;
- 4) деформація контактів.

За допомогою пристрою, схема якого показана на рис. 1, було отримано криві струму для декількох реле, що знаходились в одному з чотирьох вищевказаних станів (рис. 2 – 5).

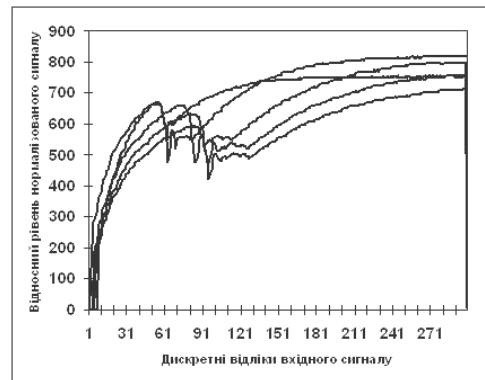


Рис. 2. Криві струму для стану 1

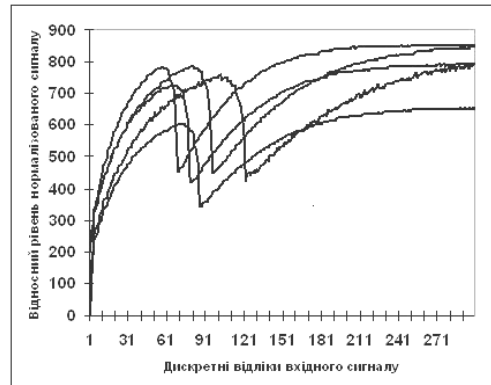


Рис. 3. Криві струму для стану 2

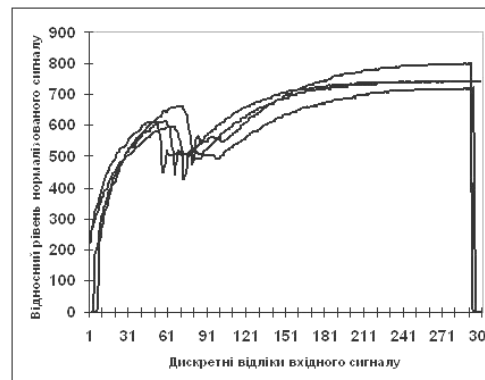


Рис. 4. Криві струму для стану 3

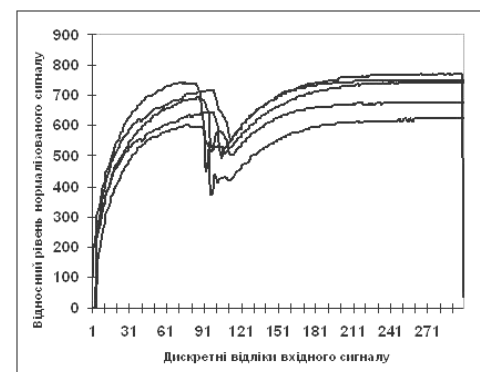


Рис. 5. Криві струму для стану 4

Для зменшення кількості обчислювальних операцій і скорочення часу навчання ШНМ, частоту дискретизації вхідного сигналу було зменшено таким чином, щоб отримати одновимірний масив даних, який містить лише 300 дискретних значень. При такому стисненні сигнал все ще зберігає відмітні ознаки і є придатним для аналізу.

Для моделювання ШНМ було обрано пакет прикладних програм *Neural Network Toolbox*, що функціонує під управлінням ядра системи *Matlab* [7]. Конфігурацію і параметри ШНМ було вибрано близькими до мінімальних необхідних.

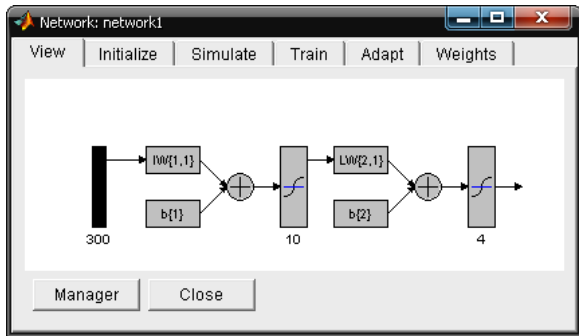


Рис. 6. Структура нейронної мережі

На рис. 6 показано, структуру моделі ШНМ, створеної в системі *Matlab*. Вона являє собою двошаровий перцептрон з кількістю нейронів 10 і 4, відповідно, у першому і другому шарі. Кожен із десяти нейронів першого шару має по 300 вхідних синапсів, що співпадає з числом входів ШНМ і з розмірністю вхідного сигналу. Другий шар містить чотири нейрони, що відповідає кількості виходів ШНМ. Число виходів дорівнює кількості станів реле, що контролюються, а реакцією ШНМ на поданий вхідний сигнал є поява сигналу високого рівня на тому з її виходів, який відповідає технічному стану реле.

Елементом ШНМ є формальний нейрон (ФН, рис. 7) [6]. Мережі, побудовані з таких нейронів, можуть сформувати довільну багатомірну функцію на виході.

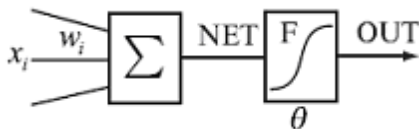


Рис. 7. Формальний нейрон

Нейрон складається зі зваженого суматора й нелінійного елемента. Функціонування нейрона визначається формулами:

$$NET = \sum_i w_i x_i ; \quad (1)$$

$$OUT = F(NET) , \quad (2)$$

де x_i – вхідні сигнали, сукупність всіх вхідних сигналів нейрона утворює вектор x ; w_i – вагові коефіцієнти, сукупність вагових коефіцієнтів утворює вектор синаптичних ваг w ; NET – зважена сума вхідних сигналів; F – нелінійна функція, що називається функцією активації. Нейрони першого шару мають по 300 входів x , а другого – по 10. Кожний нейрон, незалежно від шару, має один вихід (аксон) із сигналом OUT . Параметрами нейрона, що визначають його роботу, є вектор ваг w і вид функції активації F .

У якості функції активації застосовано гіперболічний тангенс (рис. 8.):

$$OUT = th(NET) = \frac{e^{NET} - e^{-NET}}{e^{NET} + e^{-NET}} \quad (3)$$

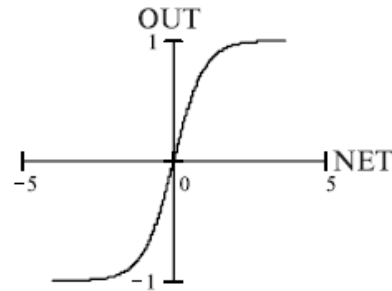


Рис. 8. Гіперболічний тангенс

Безперервність першої похідної функції дозволяє навчати мережу градієнтними методами, наприклад, метод зворотного поширення помилки (*back propagation*). Функція симетрична щодо точки (0, 0), це – перевага порівняно із сигмоїдою.

Робота багатшарового перцептрона (БШП) описується формулами [6]:

$$NET_{jl} = \sum_i w_{ijl} x_{ijl} ; \quad (4)$$

$$OUT_{jl} = F(NET_{jl}) ; \quad (5)$$

$$x_{ij(l+1)} = OUT_{jl} , \quad (6)$$

де індекс i – номер входу, j – номер нейрона в шарі, l – номер шару; x_{ijl} – i -й вхідний сигнал j -го нейрона в шарі l ; w_{ijl} – ваговий коефіцієнт i -го входу j -го нейрона у шарі l ; NET_{jl} – сигнал NET j -го нейрона в шарі l ; OUT_{jl} – вихідний сигнал нейрона j у шарі l .

Пакет *NNTool* має графічний інтерфейс, що дає змогу просто і наглядно відображати параметри і структуру ШНМ, а також налаштувати ШНМ за допомогою вікна менеджера даних, не звертаючись до командного вікна системи *Matlab* (рис. 9). Двовимірний масив *input_data* містить усі входні сигнали, що використовуються для навчання, двовимірний масив *target_data* містить еталонні вихідні сигнали (0 або 1), що відповідають входнім сигналам з масиву *input_data*.

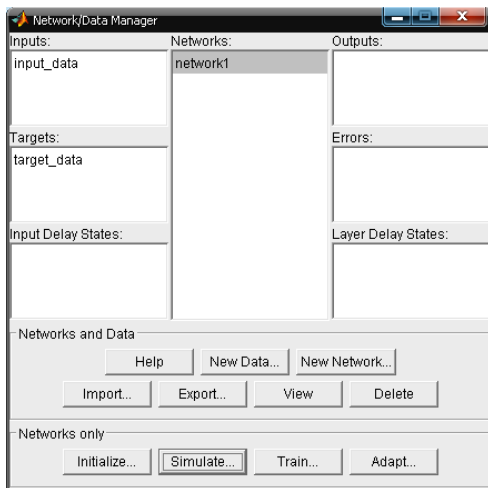


Рис. 9. Вікно менеджера даних нейронної мережі

Після введення всіх необхідних параметрів ШНМ, вибору алгоритму навчання *Feed-forward backprop* (пряме поширення сигналу і зворотне поширення помилки) та числа епох навчання (у даному випадку 100 епох) за допомогою кнопки *Train* запускають процес навчання ШНМ. На персональному комп'ютері з тактовою частотою процесора 1,86 ГГц навчання ШНМ відбулось за 50 хвилин. Протягом 100 епох навчання середня відносна помилка на виходах нейронної мережі досягла свого мінімального значення: трохи більше ніж 10^{-4} , що цілком достатньо для надійного розпізнавання сигналів (рис. 10).

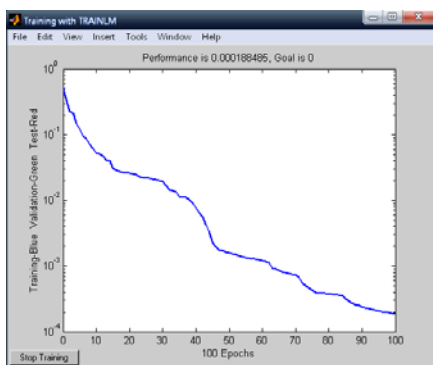


Рис. 10. Графік навчання ШНМ

Навчений двошаровий перцептрон реалізує таку функцію [5]:

$$y(n) = f \left[\sum_{h_1=0}^{H_1} a_{h_1} f \left[\sum_{i=0}^N a_i x_i(n) \right] \right], \quad (7)$$

де a_i - ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона n шару 1; a_{h_1} - ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона n шару 2; x_i - входні значення нейронної мережі; f - функція активації; $y(n)$ - значення виходу нейрона n ; N , H_1 - розмірність входних сигналів, відповідно, шару 1 і шару 2.

Використання результатів навчання ШНМ можливе безпосередньо у середовищі *Matlab*, однак для задач діагностування реле більш зручним було б використання спеціалізованого програмного забезпечення. У зв'язку з цим було розроблено програму, яка призначена для визначення стану реле за кривою струму. Сигнал, що у цифровому вигляді (одновимірний масив з трьохсот елементів) відтворює криву перехідного струму в обмотці реле при включенні живлення, подається на входи моделі ШНМ, вагові синаптичні коефіцієнти нейронів якої зберігаються у двох (за кількістю шарів) одновимірних масивах. Ще в двох одновимірних масивах зберігаються значення зсуву (*bias*), що використовуються для більш ефективного навчання ШНМ. Вхідний сигнал у вигляді файлу з розширенням *.dat* завантажується в пам'ять програми (масив даних). У програмі передбачена можливість імпортування даних результатів навчання (синаптичних вагових коефіцієнтів і зсувів) із системи *Matlab*. Після вводу необхідних даних програма, реалізуючи нескладний алгоритм, моделює роботу ШНМ, тобто обчислює для кожного нейрона значення суми *NET* і функції активації *OUT*. Нейрони другого (вихідного шару) отримують інформацію з аксонів першого шару. Для більш наглядного представлення результатів діагностування і можливості трактувати значення виходів як імовірності станів реле у програмі для активації нейронів вихідного шару застосовано SOFTMAX функцію [6]:

$$OUT = \frac{e^{NET}}{\sum_i e^{NET_i}}. \quad (8)$$

Такий вибір функції забезпечує суму значень виходів шару, рівну одиниці за будь-яких значень сигналів NET_i даного шару. Таким чином, сукупність подій (усі стани реле) утворює повну групу подій.

Графічний інтерфейс програми розроблено у візуальному середовищі *Delphi* [4]. На рис. 10 – 13 показано вікна програми при розпізнаванні справного і несправного станів реле.



Рис. 10. Завантаження вхідного сигналу, що відповідає справному реле

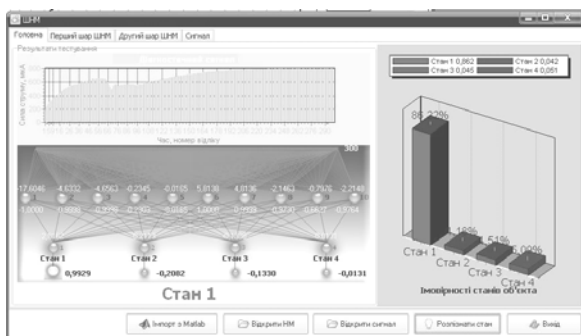


Рис. 11. Визначення справного стану реле

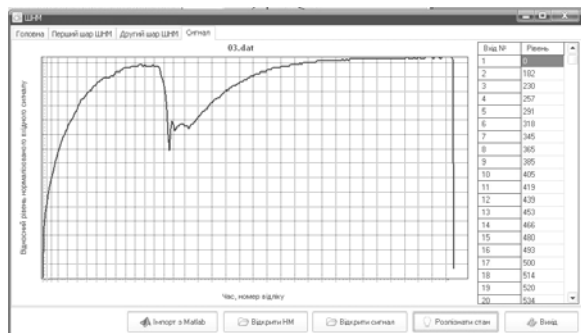


Рис. 12. Завантаження сигналу, що відповідає несправності (стан 4)

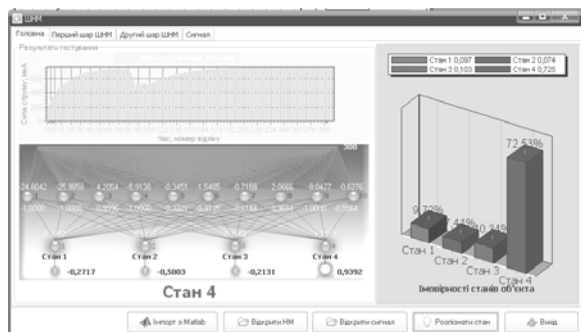


Рис. 13. Визначення несправного стану (стан 4)

Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки. За допомогою аналізу форми кривої струму при включенні реле можна розпізнавати стани реле з досить великою точністю. Враховуючи те, що при цьому з'являється можливість розпізнавати приховані діагностичні ознаки несправностей та дефектів реле, використання нейронних мереж є ефективним. Для розширення діапазону несправностей, що контролюються, необхідно розробити методику діагностування з використанням кривої струму при включенні та виключенні реле та сигналів на контактах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аркатов, В. С. Ремонтно-технологический участок СЦБ [Текст] / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, И. Е. Дмитренко. – М.: Транспорт, 1987. – 224 с.
2. Корсунский, Г. М. Применение метода осциллографического анализа динамических характеристик электромагнитных реле для его технической диагностики [Текст] / Г. М. Корсунский, А. Ф. Мироненко, П. С. Федоренко // Техника средств связи. – 1979. – Вып. 5 (38).
3. Гаврилюк, В. И. Диагностирование релейно-контактных устройств железнодорожной автоматики [Текст] / В. И. Гаврилюк, В. Ю. Дуб // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 12. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – 280 с.
4. Тейкстейра, С. Borland Delphi 6. Руководство разработчика [Текст] : [пер. с англ.] / С. Тейкстейра, К. Пачеко. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2002.
5. Галушкин, А. И. Теория нейронных сетей [Текст] / А. И. Галушкин. – Кн. 1. – М.: ИПРЖР, 2000.
6. Уоссерман, Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика [Текст] / Ф. Уоссерман. – М.: Мир, 1992. – 237 с.
7. Медведев, В. С. Нейронные сети. Matlab 6 [Текст] / В. С. Медведев, В. Г. Потемкин; под общ. ред. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002.

Надійшла до редколегії 03.09.2009.

Прийнята до друку 21.09.2009.