

УДК 621.314

ЗАСТОСУВАННЯ ЛОГІКО-ЧАСОВИХ ФУНКЦІЙ У ЗАДАЧІ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ КІЛ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ**В. В. Грабко, С. М. Левицький, А. А. Бартецький**

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна

E-mail: vgrabko@gmail.com, levitskiy@vntu.edu.ua, bartetskiy@gmail.com

Запропоновано математичну модель діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів із великим часом гальмування. Застосування моделі, що реалізована з використанням логіко-часових функцій, дозволяє визначити ступінь наближення стану гальмівного кола до аварійного. Розв'язання даної задачі полягає у формуванні необхідної кількості зразкових логіко-часових функцій, розкладанні діагностичних ознак поточних вимірюваних сигналів у квазічасовий ряд із подальшим порівнянням зі зразковими логіко-часовими функціями. У результаті почергового додавання за модулем два логіко-часової функції, яка відображає поточний стан гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного електропривода, та зразкових логіко-часових функцій, які характеризують певні пошкодження гальмівного кола, отримуємо логіко-часову функцію, відрізок існування якої є найменшим, що пропонується приймати як діагностичний результат. Цей результат свідчить про ступінь наближення гальмівного кола до стану, що характеризує певний вид пошкодження. Запропоновану математичну модель можна реалізувати як на схемотехнічному рівні, так і засобами програмованої логіки. Також запропонована математична модель із застосуванням логіко-часових функцій може бути узагальнена для діагностування складних об'єктів.

Ключові слова: гальмівні кола, логіко-часові функції, діагностування, частотний перетворювач, електропривод.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИКО-ВРЕМЕННЫХ ФУНКЦИЙ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОРМОЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**В. В. Грабко, С. М. Левицкий, А. А. Бартецкий**

Винницкий национальный технический университет

ул. Хмельницкое шоссе, 95, м. Винница, 21021, Украина

E-mail: vgrabko@gmail.com, bartetskiy@gmail.com, levitskiy@vntu.edu.ua

Предложена математическая модель диагностирования тормозных цепей частотно-управляемых асинхронных электроприводов с большим временем торможения. Применение модели, реализованной с использованием логико-временных функций, позволяет определять степень приближения состояния тормозной цепи к аварийному. Решение данной задачи заключается в формировании необходимого количества образцовых логико-временных функций, разложении диагностических признаков текущих измеряемых сигналов в квазивременной ряд с последующим сравнением с образцовыми логико-временными функциями. В результате поочередного сложения по модулю два логико-временной функции, которая отображает текущее состояние тормозной цепи преобразователя частотно-управляемого асинхронного электропривода, и образцовых логико-временных функций, которые характеризуют определенные повреждения тормозной цепи, получаем логико-временную функцию, отрезок существования которой является наименьшим, что предлагается принимать как диагностический результат. Этот результат свидетельствует о степени приближения тормозной цепи к состоянию, которое характеризует определенный вид повреждения. Предложенную математическую модель можно реализовать как на схемотехническом уровне, так и средствами программируемой логики. Также предложенная математическая модель с применением логико-временных функций может быть обобщена для диагностирования сложных объектов.

Ключевые слова: тормозные цепи, логико-временные функции, диагностирование, частотный преобразователь, электропривод.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Відомо, що частотно-керований асинхронний електропривод має досить широке застосування в промисловості. Такий електропривод дає змогу заощаджувати електроенергію, забезпечує широкий діапазон регулювання швидкості, є високонадійною ланкою в лінії виготовлення продукції та підвищення її якості.

До типових виробничих механізмів, у яких цикли розгону чергуються з циклами гальмування або сповільнення, відносять тягові електроприводи, електроприводи підйомників, ліфтів, центрифуг і

т.ін. У таких електроприводах перетворювачі частоти оснащені колом скиду енергії на гальмівний резистор. Вихід із ладу гальмівного кола може призвести не тільки до погіршення роботи технологічного механізму, а й до нещасних випадків.

З урахуванням вищезгаданого, прогнозування аварійних режимів і визначення поточного стану гальмівних кіл визначених електроприводів є надзвичайно важливим. Вирішення такої задачі можливе шляхом розробки відповідних математичних моделей з подальшою їх технічною реалізацією [1].

У роботі [2] обґрунтовано необхідність діагностування кіл захисту імпульсних перетворювачів і запропоновано математичну модель вентиляного перетворювача з урахуванням наявності елементів захисту та їх стану. Проте необхідною умовою для діагностування демпферних кіл, згідно із запропонованою моделлю, є відключення ємності фільтра та забезпечення режиму роботи перетворювача, близького до холостого ходу. Як наслідок, електропривод необхідно виводити з експлуатації, що є певним обмеженням у застосуванні такого підходу. У роботі [3] автор виділяє причини, які знижують надійність тиристорних перетворювачів частоти для електротехнологічних установок. Автор пропонує для розв'язання такої задачі застосовувати резервування елементів та включення в силове коло дроселів для зменшення приросту амплітуди напруги.

У роботах [4, 5] висвітлено методики діагностування силових інверторних модулів перетворювача частоти з векторним керуванням. Для діагностики приймаються ті ж змінні, які використовуються й для обчислення магнітного потоку електродвигуна: поздовжню та поперечну складові струму статора. Проте в запропонованих алгоритмах діагностування не враховується стан захисних кіл транзисторних ключів. У роботі [6] запропоновано математичну модель діагностування гальмівних кіл перетворювачів частотних електроприводів у вигляді функціоналу. Основним недоліком такого методу є складність обробки сигналів, що, відповідно, потребує більших апаратних ресурсів і, як наслідок, призводить до збільшення собівартості системи діагностування або до втрати швидкодії.

Метою дослідження є розробка методу діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів, який позбавлений вищеперахованих недоліків і дозволяє ефективно визначати ступінь наближення стану гальмівного кола до аварійного без значних апаратних затрат.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Авторами пропонується побудувати систему діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів на базі математичної моделі з використанням логіко-часових функцій.

Уперше поняття логіко-часової функції, яка є подальшим розвитком апарату векторно-перемикуючих функцій Рабіновича З.Л. [7], започатковано професором Кожем'яко В.П. [8].

При обробці сигналів за допомогою логіко-часових функцій (ЛЧФ) слід зазначити, що всі ЛЧФ, в яких виділяють три класи [9], розглядаються на часовому інтервалі $[t_k, t_{k+1}]$, де $k = \overline{0, \infty}$. З метою розпаралелювання процесу обробки інформації в логіко-часових середовищах заданий часовий інтервал підлягає спеціальному Δ -розбиттю.

Для визначення вказаного розбиття було введено декілька позначень [9]:

Δ – інтервалом називається мінімальний часовий інтервал довжиною Δ_i ($\Delta_i = t_{i+1} - (t_i + T_i)$) між двома часовими координатами ЛЧФ на часовому інтервалі $[t_k, t_{k+1}]$ (рис. 1).

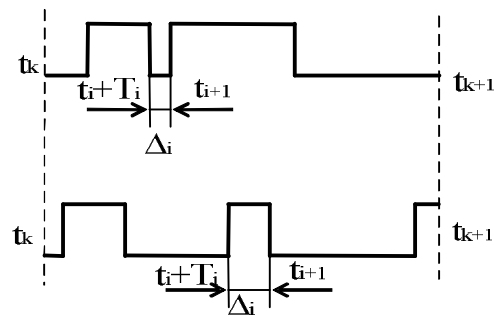


Рисунок 1 – Варіанти Δ -розбиття

Δ -розбиттям часового інтервалу $[t_k, t_{k+1}]$ називається множина $\left[\frac{t_{k+1} - t_k}{\Delta} \right]$ інтервалів, довжина кожного з яких дорівнює довжині Δ -інтервалу.

При побудові довільного Δ -розбиття необхідно дотримуватись наступних правил.

Правило 1. Межі Δ -інтервалу вважаються початками відповідного Δ -розбиття, тобто вказане розбиття виконується по обидві сторони від Δ -інтервалу.

Правило 2. Якщо дробова частина $\frac{t_{k+1} - t_k}{\Delta}$ не менша за 0,5, то кількість отриманих інтервалів збільшується на одиницю.

На довільному Δ -інтервалі розбиття ЛЧФ може змінювати своє значення. У таких випадках доцільно коригувати значення відповідної функції. Це корегування ідентичне квантуванню, але для ЛЧФ вказане коригування виконується по тій же координаті, що й згадана дискретизація. У цьому контексті використовується термін «фільтрація».

Над ЛЧФ можливі також операції диференціювання.

Нехай маємо деяку ЛЧФ k -значної логіки

$$f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m),$$

де t_1, \dots, t_m – часові координати; T_1, \dots, T_m – відповідні відрізки існування; a_1, \dots, a_m – амплітуди, що відповідають даним відріzkам існування.

Тоді похідна вказаної функції визначається наступним чином:

$$f'(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m) = \begin{cases} (t - (t_k + i\Delta_i)) | a_{k,i+1} - a_{k,i} |; \\ 0, \text{ якщо } (t \leq t_k) \wedge (t_k + T_k + \Delta_i < t \leq t_{k+1}) \wedge \\ \wedge (t > t_m + T_m + \Delta_i), k = \overline{1, m}, \end{cases} \quad (1)$$

де i – порядковий номер Δ -інтервалу;
 $i = 0, \overline{\frac{T_k}{\Delta_i} + 1}, k = \overline{1, m}$.

У випадку двійкової логіки рівняння (1) дещо спроститься, оскільки амплітуди можуть приймати нульове або одиничне значення, тобто

$$f'(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m) = \begin{cases} (t - (t_k + i\Delta_i)); \\ 0, \text{ якщо } (t \leq t_1) \wedge (t_k + T_k + \Delta_i < t \leq t_{k+1}) \wedge \\ \wedge (t > t_m + T_m + \Delta_i), k = \overline{1, m}, \end{cases} \quad (2)$$

де i – порядковий номер Δ -інтервалу;
 $i = 0, \overline{\frac{T_k}{\Delta_i} + 1}, k = \overline{1, m}$.

Похідну довільної ЛЧФ можна зобразити графічно (рис. 2).

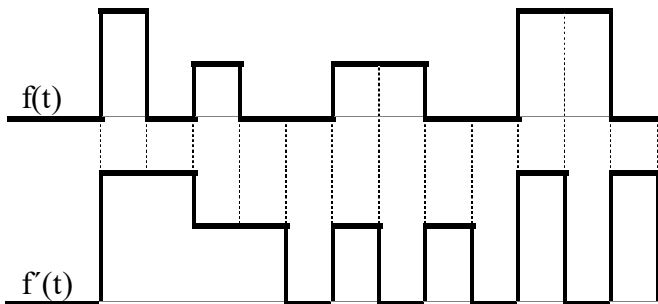


Рисунок 2 – Можливий варіант графічного знаходження похідної довільної ЛЧФ к-значної логіки

Для розв'язання нашої задачі найбільш вдалим буде ЛЧФ першого класу $f(t, t_1, T_1, a_1)$, яка між двома нульовими станами приймає стає значення (рис. 3).

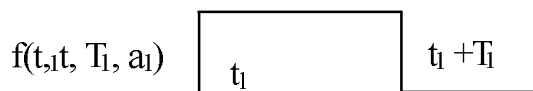


Рисунок 3 – Можливий варіант ЛЧФ, яка між двома нульовими значеннями приймає стає значення

На рис. 3 прийняті наступні значення: t – поточне значення часу; t_1 – часова координата; T_1 – тривалість відрізка існування; a_1 – амплітуда ($a_1 = \overline{0, k-1}, T_1 \neq t_{k+1} - t_k$).

Було доведено [9], що клас цих функцій є замкнутим відносно операцій логіко-часової диз'юнкції, логіко-часової кон'юнкції, логіко-часового додавання, логіко-часового віднімання тощо.

Замкнутість цього класу впливає з визначення вказаних операцій над ЛЧФ у випадку двозначної логіки, оскільки будь-яке значення амплітуди

$a_1 = \overline{0, k-1}$ можна умовно розглядати як одиничне значення.

Над ЛЧФ можливе виконання логічних операцій, зокрема покажемо виконання виключної диз'юнкції двох довільних ЛЧФ $f_1(t, t_1, t_2, \Delta_i, T_1, T_2)$ та $f_2(t, t_1, t_2, \Delta_i, T_1, T_2)$. Зазначимо, що $T_1 = 2\Delta_i, T_2 = 4\Delta_i$.

Графічну ілюстрацію розв'язку зображено на рис. 4, аналітичний розв'язок описується виразом (1).

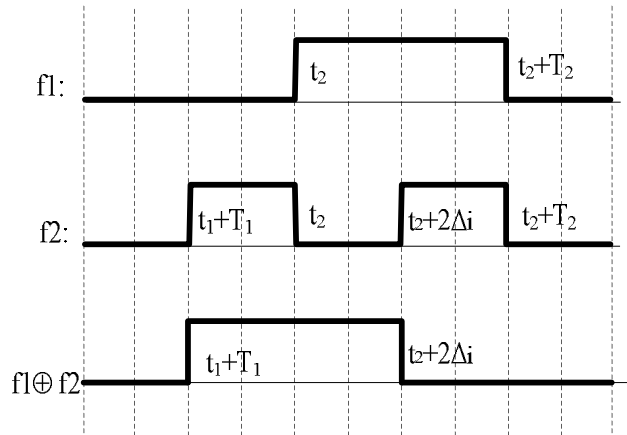


Рисунок 4 – Графічна ілюстрація операції виключної диз'юнкції двох ЛЧФ

$$f_1(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) \oplus f_2(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) = \begin{cases} t - (t_1 + T_1), \text{ якщо } (t_1 + T_1) < t \leq (t_2 + 2\Delta); \\ 0, \text{ якщо } (t < (t_1 + T_1)) \wedge (t > (t_2 + 2\Delta)). \end{cases} \quad (3)$$

Отже, перераховані властивості ЛФЧ першого класу дозволяють зробити такі висновки:

- оскільки ЛЧФ властиві операції диференціювання, то даний математичний апарат є вдалим для аналізу сигналів, які вміщують стрибки;
- такі ЛЧФ дозволяють працювати з бінарними сигналами. Очевидно, що шляхом фільтрації можна одержати достатньо вузький інтервал Δ_i , який дозволить досить точно відобразити вхідні сигнали й досягнути високої швидкості їх обробки.

Розглянемо фрагмент схеми частотно-керованого асинхронного електропривода, а саме гальмівного кола.

Силова частина гальмівного кола складається з гальмівного резистора R_0 та ключового елемента VS_0 , у функції якого в більшості випадків виступає IGBT модуль (рис. 5).

Для вибору параметрів вимірювання в гальмівному колі й формування діагностичної функції потрібно враховувати наступне.

Перенапряга ΔU_C на конденсаторі фільтра в режимі гальмування свідчить про несправність гальмівного кола в цілому [6].

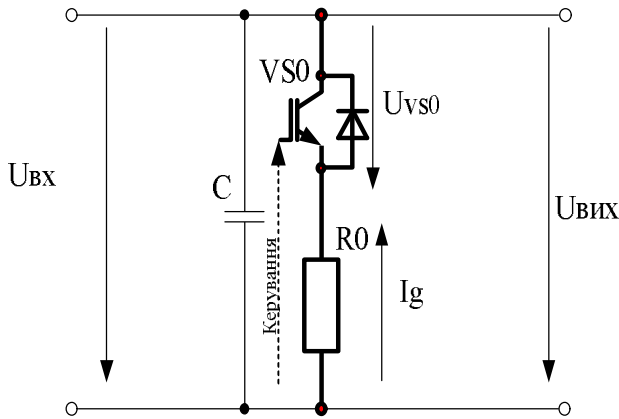


Рисунок 5 – Ланка постійного струму перетворювача частоти з гальмівним колом

Несправність гальмівного резистора R0 характеризується температурою нагріву T° , обумовленою кількістю енергії, яка розсіюється під час гальмування. Якщо цей параметр приймає меншого значення за одними й тими ж умовами експлуатації, то це свідчить про несправність гальмівного резистора або початок його руйнування. Відхилення струму через гальмівне коло I_g за однаковими умовами роботи буде свідчити про пошкодження силового модуля або гальмівного резистора.

Як зазначається в роботі [10], вихід із ладу силових модулів зазвичай відбувається в результаті термомеханічних процесів, викликаних перепадами температур. Автор виділяє два основних механізми виходу з ладу силових модулів, викликаних при термоциклюванні, а також розузгодженням коефіцієнтів теплового розширення матеріалів: відшарування виводів кристалів від мідних шин і руйнування паяних з'єднувальних шарів. Найбільш сильному впливу піддається паяне з'єднання мідної основи й кераміки, яка має велику площу, на другому місці – з'єднання чипів із керамікою

Залежно від умов експлуатації домінуючим може бути перший або другий механізм відмови. Це залежить від періоду термоцикла й різниці мінімальної та максимальної температури силового модуля.

Відшарування виводів кристала транзистора призводить до стрибкоподібного зростання напруги насичення й температури кристала. Це пояснюється тим, що руйнування спайного з'єднання силового чіпа призводить до збільшення температурного опору, в результаті чого зростає температура кристалу T°_{vs0} . Такі несправності характеризують руйнування модуля, втрату керуваності й, як наслідок, нездатність пропускати електричний струм через гальмівне коло.

Авторами пропонується така послідовність проведення діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів.

1. Для зручної обробки надамо таблицю станів гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода (табл. 1) у вигляді фільтрованих

ЛЧФ з довільним Δ_i -інтервалом зі збереженням однакової послідовності станів кожного сигналу. Підкреслимо, що відповідно до зазначених тверджень у таблиці станів гальмівних кіл перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів число «1» відповідає попаданню параметра в зону допуску, «0» – виходу за межі зони допуску відповідної діагностичної ознаки. Графічну інтерпретацію станів гальмівного кола зображено на рис. 6.

Таблиця 1 – Стани гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода

Стани	Діагностичні ознаки гальмівного кола				
	ΔU_C	U_{vs0}	I_g	T°_r	T°_{vs0}
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
Q ₀	1	1	1	1	1
Q ₁	1	0	1	1	0
Q ₂	0	1	0	1	1
Q ₃	0	0	1	1	0
Q ₄	0	0	0	1	1

У табл. 1 Q₀ – справний стан;
 Q₁ – справний стан, з перегрівом силового модуля;
 Q₂ – несправний гальмівний резистор;
 Q₃ – критичний стан;
 Q₄ – несправний стан.

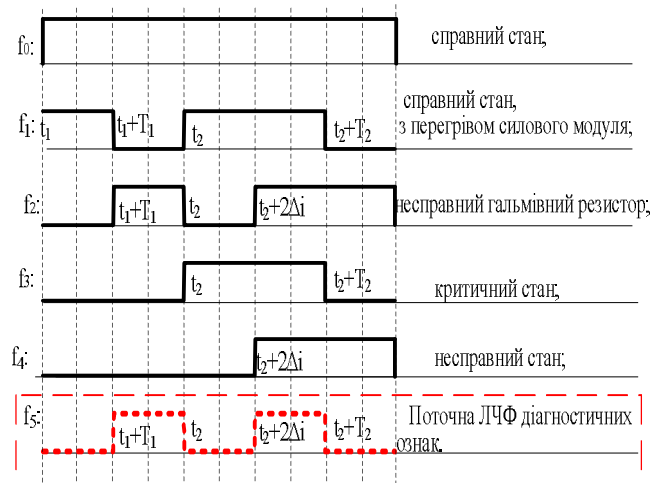


Рисунок 6 – Графічна інтерпретація станів гальмівного кола

2. Проведемо випробування гальмівного кола, що діагностується, та сформуємо його множину станів у вигляді ЛЧФ з такою ж послідовністю станів, що й у табл. 1. Як приклад, сформована ЛЧФ f_5 (рис. 5) відображає результат випробування.

3. Знаходимо ЛЧФ між функцією гальмівного кола, що діагностується, та ЛЧФ табличних станів шляхом їх додавання за модулем два.

4. Отримуємо результати діагностування гальмівного кола як стану з найменшим відрізком існування.

Справному стану з перегрівом силового модуля відповідає ЛЧФ $f_1(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2)$:

$$f_1(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) = \begin{cases} t - t_1, & \text{якщо } t_1 < t \leq (t_1 + T_1); \\ t - t_2, & \text{якщо } t_2 < t \leq (t_2 + T_2); \\ 0, & \text{якщо } (t < t_1) \wedge ((t_1 + T_1) < t < t_2) \wedge (t > (t_2 + T_2)). \end{cases} \quad (4)$$

ЛЧФ несправного гальмівного резистора запишеться у вигляді:

$$f_2(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) = \begin{cases} t - (t_1 + T_1), & \text{якщо } (t_1 + T_1) < t \leq t_2; \\ t - (t_2 + 2\Delta), & \text{якщо } t > (t_2 + 2\Delta); \\ 0, & \text{якщо } (t < (t_1 + T_1)) \wedge (t_2 < t < (t_2 + 2\Delta)). \end{cases} \quad (5)$$

У випадку критичного стану ЛЧФ матиме вигляд:

$$f_3(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) = \begin{cases} t - t_2, & \text{якщо } t_2 < t \leq (t_2 + T_2); \\ 0, & \text{якщо } (t < t_2) \wedge (t > (t_2 + T_2)). \end{cases} \quad (6)$$

ЛЧФ несправного стану математично запишеться:

$$f_4(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) = \begin{cases} t - (t_2 + 2\Delta), & \text{якщо } (t_2 + 2\Delta) < t; \\ 0, & \text{якщо } (t_2 + 2\Delta) > t. \end{cases} \quad (7)$$

Поточний стан гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода, що діагностується, відображає така ЛЧФ

$$f_5(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) = \begin{cases} t - (t_1 + T_1), & \text{якщо } (t_1 + T_1) < t \leq t_2; \\ t - (t_2 + 2\Delta), & \text{якщо } (t_2 + 2\Delta) < t \leq (t_2 + T_2); \\ 0, & \text{якщо } (t < (t_1 + T_1)) \wedge (t > (t_2 + T_2)) \wedge (t_2 < t < (t_2 + 2\Delta)). \end{cases} \quad (8)$$

Для з'ясування технічного стану гальмівного кола порівнюємо поточний стан гальмівного кола та справний стан із перегрівом силового модуля.

Результат додавання за модулем два двох ЛЧФ – $f_5(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2)$, що відповідає поточному стану гальмівного кола, і ЛЧФ $f_1(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2)$ – наведено на рис. 7 та математично описано виразом (7).

$$f_1(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) \oplus f_5(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) = \begin{cases} t - t_1, & \text{якщо } t_1 < t \leq (t_2 + 2\Delta); \\ 0, & \text{якщо } t > (t_2 + 2\Delta). \end{cases} \quad (9)$$

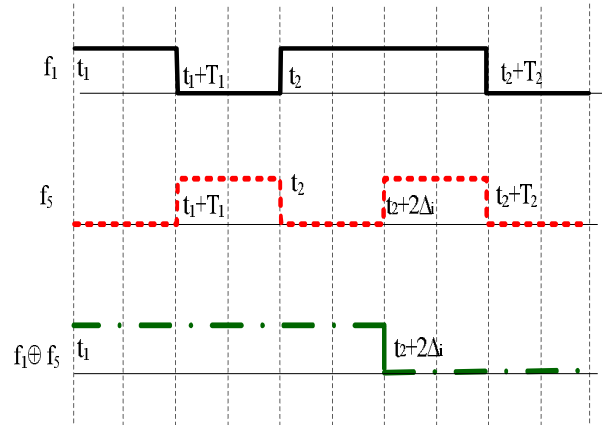


Рисунок 7 – Результат додавання за модулем два двох ЛЧФ: $f_5(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2)$ та $f_1(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2)$

Аналогічні операції проводимо для решти станів (функцій).

$$f_5(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) \oplus f_2(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) = \begin{cases} t - (t_2 + T_2), & \text{якщо } (t_2 + T_2) < t \leq (t_2 + (T_2 + 2\Delta)); \\ 0, & \text{якщо } t < (t_2 + T_2); \end{cases} \quad (10)$$

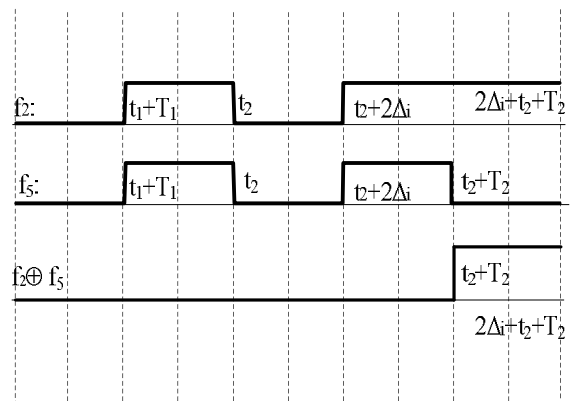


Рисунок 8 – Результат додавання за модулем два двох ЛЧФ: $f_5(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2)$ та $f_2(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2)$

$$f_5(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) \oplus f_3(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) = \begin{cases} t - (t_1 + T_1), & \text{якщо } (t_1 + T_1) < t \leq (t_2 + 2\Delta); \\ 0, & \text{якщо } (t < (t_1 + T_1)) \wedge (t > (t_2 + 2\Delta)). \end{cases} \quad (11)$$

Додамо за модулем два ЛЧФ поточного стану гальмівного кола та ЛЧФ несправного стану (рис. 9):

$$f_5(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) \oplus f_4(t, t_1, t_2, \Delta, T_1, T_2) = \begin{cases} t - (t_1 + T_1), & \text{якщо } (t_1 + T_1) < t \leq t_2; \\ t - (t_2 + T_2), & \text{якщо } (t_2 + T_2) < t \leq (t_2 + (T_2 + 2\Delta)); \\ 0, & \text{якщо } (t < t_1 + T_1) \wedge (t > t_2 + (T_2 + 2\Delta)) \wedge (t_2 < t < (t_2 + T_2)). \end{cases} \quad (12)$$

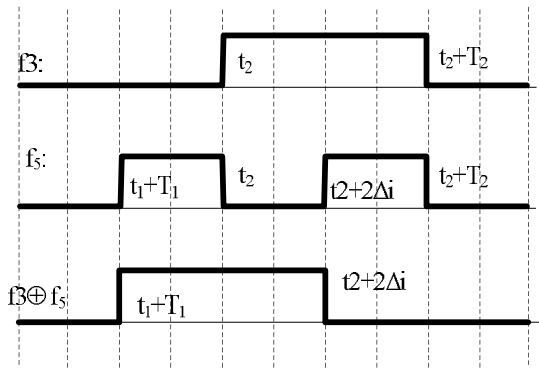


Рисунок 9 – Результат додавання за модулем два двох ЛЧФ: $f_5(t, t_1, t_2, \Delta_i, T_1, T_2)$ та $f_3(t, t_1, t_2, \Delta_i, T_1, T_2)$

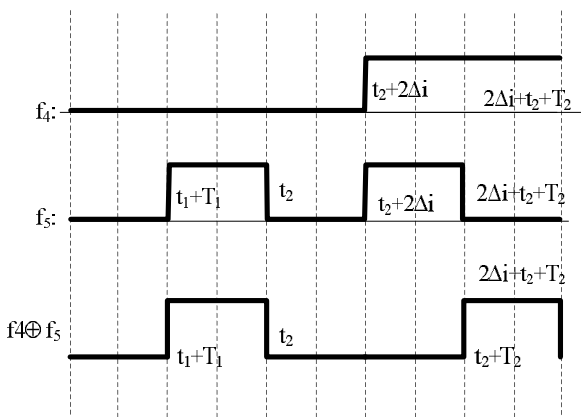


Рисунок 10 – Результат додавання за модулем два двох ЛЧФ: $f_5(t, t_1, t_2, \Delta_i, T_1, T_2)$ та $f_4(t, t_1, t_2, \Delta_i, T_1, T_2)$

Як бачимо (рис. 11), у результаті проведених операцій найменший відрізок існування має ЛЧФ, отримана в результаті додавання за модулем два $f_5 \oplus f_2$. Тобто поточний стан гальмівного кола найбільше наближений до стану виходу з ладу гальмівного резистора.

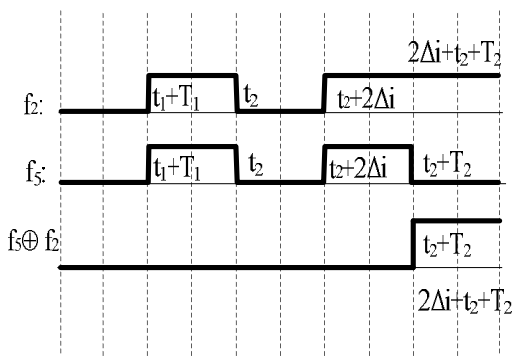


Рисунок 11 – Результат додавання за модулем два двох ЛЧФ $f_5 \oplus f_2$

Такий результат приймаємо як діагностичний висновок.

ВИСНОВКИ. 1. Встановлено, що логіко-часові функції є придатними для вирішення задач діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів.

2. Запропоновано метод та математичну модель для діагностування гальмівних кіл перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів із використанням логіко-часових функцій, які дозволяють суттєво спростити алгоритм визначення ступеня наближення поточного стану гальмівних кіл перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів до аварійного.

3. Запропонована математична модель із застосуванням логіко-часових функцій може бути узагальнена для діагностування складних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Биргер И.А. Техническая диагностика // Машиностроение. – 1988. – 240 с.
2. Однокопылов Г.И., Однокопылов И.Г. Повышение живучести частотно регулируемого асинхронного электропривода // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Вып. 7. – С. 143–147.
3. Аитов, И. Повышение надежности тиристорных преобразователей частоты для электротехнических установок // Силовая Электроника. – 2009. – Вып. 1. – С. 56–62.
4. Kral C., Kafka K. Power Electronics Monitoring for a Controlled Voltage Source Inverter Drive with Induction Machine // IEEE Power Electronics Specialists Conference. – 2000. – PP. 213–217.
5. Abramik S., Sleszynski W., Nieznanski J., Piquet H. Diagnostic Method for On-line Fault Detection and Localization in VSI-Fed AC Drive // 10th European Conference on Power Electronics and Applications. – France: Toulouse, 2003. – PP. 1–8.
6. Левицький С. М. Бартецький А.А. Математична модель системи діагностування гальмівних кіл частотних електроприводів // Вісник ВПП. – 2013. – Вып. 4. – С. 79–83.
7. Рабинович З.Л. Операторное представление логических схем в вычислительных машинах на основе векторных переключаемых функций. Теория конечных и вероятностных автоматов: труды междунаро. симпозиума по теории релейных устройств и теории конечных автоматов. – М.: Наука, 1965. – С. 215–219.
8. Кожем'яко В.П., Тимченко Л.И., Лысенко Г.Л., Кутаев Ю.Ф. Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники. – К.: УМК ВО, 1990. – 251 с.
9. Сачанюк-Кавецька Н.В., Кожем'яко В.П. Елементи око-процесорної обробки зображень у логіко-часовому середовищі: монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 135 с.
10. Колпаков А. Методы оценки надёжности силовых модулей IGBT SEMIKRON в предельных режимах // Силовая электроника. – 2004. – Вып. 1. – С. 40–45.

THE USE OF LOGIC-TEMPORAL FUNCTIONS IN THE PROBLEM DIAGNOSING BRAKE CIRCUITS CONVERTERS FREQUENCY-CONTROLLED ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES

V. Grabko, S. Levitsky, A. Bartetskyy

Vinnytsia National Technical University

vul. Khmelnytske shose, 95, Vinnitsya, 21021, Ukraine

E-mail: vgrabko@gmail.com, levitskiy@vntu.edu.ua, bartetskiy@gmail.com

Purpose. Increase in operation reliability of the braking circles of frequency-driven asynchronous electric drives stipulates for the development of diagnostics methods that will be able to define the level of approaching the braking circles condition to the breakdown stage effectively avoiding significant hardware-controlled costs. **Methodology.** It is suggested by the authors to create a system of the braking circles of frequency-driven asynchronous electric drives diagnostics based on the simulator using logic-time functions. **Results.** It was defined that the use of logic-time functions of first class would be the most appropriate to solve our task. Taking into account the fact that logic-time functions are peculiar to the operation of differentiation and allow to work with binary signals, this mathematical tool is good for signal analysis, which contain sudden changes/ fluctuations, and, as a result, this mathematical tool is appropriate for solving the diagnostics tasks. The consequence for conducting the braking circles of frequency-driven asynchronous electric drives diagnostic using logic-time functions was formed. The reasons of the braking circles of frequency-driven asynchronous electric drives disablement was analyzed, which in its turn allowed to form the possible states braking circle of frequency-driven asynchronous electric drive. The creation of the table of exemplary states was based on it. As a result of consequent graphical and analytical summation of these two exemplary states of the braking circle with the current one by the module, the diagnostic conclusion was got, which is obtained from the summation result and has the shortest period of existence. **Originality.** The method and the mathematic tool was proposed for the braking circles transformers of frequency-driven asynchronous electric drives based on using logic-time functions, which allow to simplify the algorithm for definition the level of approaching the braking circles' current condition to the breakdown stage significantly. The given mathematic model together with the use of logic-time functions may be generalized for complicated/complex object's diagnostics. The literature reference 10, table 1, figure 11.

Key words: braking circles, logic-time functions, diagnostics, frequency transformer, electric drives.

REFERENCES

1. Byrher, I.A. (1988), *Tekhnicheskaya diagnostika* [Technical Diagnostics], *Mashinostroenie*. (in Russian)
2. Odnokopylov, G.I. and Odnokopylov, I.G. (2005), *Povishenie zhivuchesti chastotno-reguliruemogo asinkhronnogo elektroprivodav* [Increased vitality frequency controlled asynchronous electric drive], *Izvestiya Tomskogo polytehnichnogo universiteta*, Vol. 7, pp. 143–147. (in Russian)
3. Aitov, I. (2009), Increase reliability of thyristors Frequency converters of electrical installations], *Silovaya elektronika*, no. 1, pp. 56–62. (in Russian)
4. Kral, S. and Kafka, K. (2000), "Power Electronics Monitoring for a Controlled Voltage Source Inverter Drive with Induction Machine", *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Vol. 1, no. 1, pp. 213–217.
5. Abramik, S., Sleszynski, W., Nieznanski, J. and Piquet, H. (2003), "Diagnostic Method for On-line Fault Detection and Localization in VSI-Fed AC Drive", *10th European Conference on Power Electronics and Applications*, France, Toulouse, 2003, pp. 1–8.
6. Levitsky, S.M. and Bartetskyy, A.A. (2013), "Mathematical model of diagnosis frequency electric brake circuits", *Visnyk VPI*, no. 4, pp. 79–83, *ISSN 1997–9266*. (in Ukrainian)
7. Rabinovich, Z.L. (1965), "Operator representation of logic circuits in computers based on the vector switching funktsiy. Teoriya and probabilistic finite automata", *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma po teorii releynykh ustroystv i teorii konechnykh avtomatov*, pp. 215–219. (in Russian)
8. Kozhemiyako, V.P., Timchenko, L.I., Lysenko, G.L. and Kutaev, Y.F. (1990), *Funktsionalnye elementy i ustroystva optoelektronyky* [Functional elements and optoelectronic devices], *UMK VO*, Kiev. (in Russian)
9. Sachanyuk-Kavetsky, N.V. and Kozhemiyako, V.P. (2004), *Elementy oko-protseornoi obrobky zobrazen u lohiko-chasovomu seredovyshchi, monografiya* [The elements of eye-processor image processing in logic-time environment], VNTU, Vinnitsya. (in Ukrainian)
10. Kolpakov, A. (2004), "Methods for assessing the reliability of power modules IGBT SEMIKRON in extreme conditions", *Silovaya elektronika*, Vol. 1, pp. 40–45. (in Russian)

Стаття надійшла 22.02.2016.