

СИНТЕЗ СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Синтезовано структуру пристрою для діагностування асинхронного двигуна з використанням апарату секвенцій.

Ключові слова: асинхронний двигун, діагностування, технічний стан, секвенційний апарат.

Abstract

The structure of the device for diagnosing an asynchronous motor with the use of the device of sec-vents is synthesized.

Keywords asynchronous motor, diagnostics, technical condition, sequential apparatus.

Вступ

Надійність та тривалість функціонування електричних двигунів, в тому числі й асинхронних, значною мірою залежить від точності визначення їх робочого ресурсу, що залишився, обумовленого тривалими й аномальними режимами роботи [1].

Сучасні методи діагностування асинхронних двигунів виділяють два основні напрямки їх застосування [2]:

- діагностування двигунів, які не працюють (тестове діагностування);
- діагностування двигунів, які працюють (функціональне діагностування).

Кожний напрямок ділиться на два інших [3]:

- методи, що дозволяють виявити несправність електрообладнання в цілому;
- методи, що виявляють і локалізують конкретну несправність або дефект в електрообладнанні.

Другий напрямок передбачає використання аналіз поточних даних і вимагає спеціальної виміральної техніки.

Однак найбільш інформативним є той метод, що дозволяє відслідковувати зміни параметрів в електродвигуні як при його запуску, роботі та гальмуванні, так і вплив зовнішніх факторів (наприклад, температури) після його вимкнення. Тому дослідження зміни параметрів асинхронного двигуна в напрямку визначення його залишкового ресурсу є задачею актуальною.

Метою роботи є синтез структури системи діагностування асинхронного двигуна, придатної для визначення його залишкового ресурсу з врахуванням найбільш інформативних параметрів, які впливають на його зміну.

Результати дослідження

Виходячи з аналізу існуючих методів та засобів діагностування асинхронних двигунів, встановлено, що найбільш зручним та інформативним для оцінки технічного стану двигуна є функціональне діагностування.

Проаналізувавши відомі пристрої для діагностування електричних двигунів [4] – [10], як діагностичні ознаки обрано:

- струми у кожній фазі двигуна;
- температуру найбільш нагрітої точки обмотки;
- швидкість зміни температури;
- температуру підшипникових вузлів;
- рівень вібрації.

Для синтезу структури системи діагностування асинхронного двигуна пропонується використання

апарату секвенцій [11], [12].

Враховуючи складність структури системи діагностування, що синтезується, в якості прикладу покажемо процес синтезу із застосуванням апарату секвенцій для:

- двох значень струму I_1 та I_2 ($I_1 < I_2$);
- двох значень температури обмотки t_1^0 та t_2^0 ($t_1^0 > t_2^0$);
- двох значень добутку цих струмів та температур обмоток $I_1 t_1^0$ та $I_2 t_2^0$ ($I_1 t_1^0 < I_2 t_2^0$);
- дох значень вібрацій L_1 та L_2 ($L_1 < L_2$);
- двох значень температур підшипників t_3^0 та t_4^0 ($t_3^0 > t_4^0$).

Граф функціонування блока обчислення залишкового ресурсу системи діагностування електродвигуна має вигляд, зображений на рис. 1, на якому числами від 0 до 44 позначені стани (наприклад, цифри 0 відповідає стан S_0); y або \bar{y} – вихідна змінна. Для компактності позначимо X_{ij} – узагальнена вхідна змінна, при якій система переходить зі стану S_i в стан S_j .

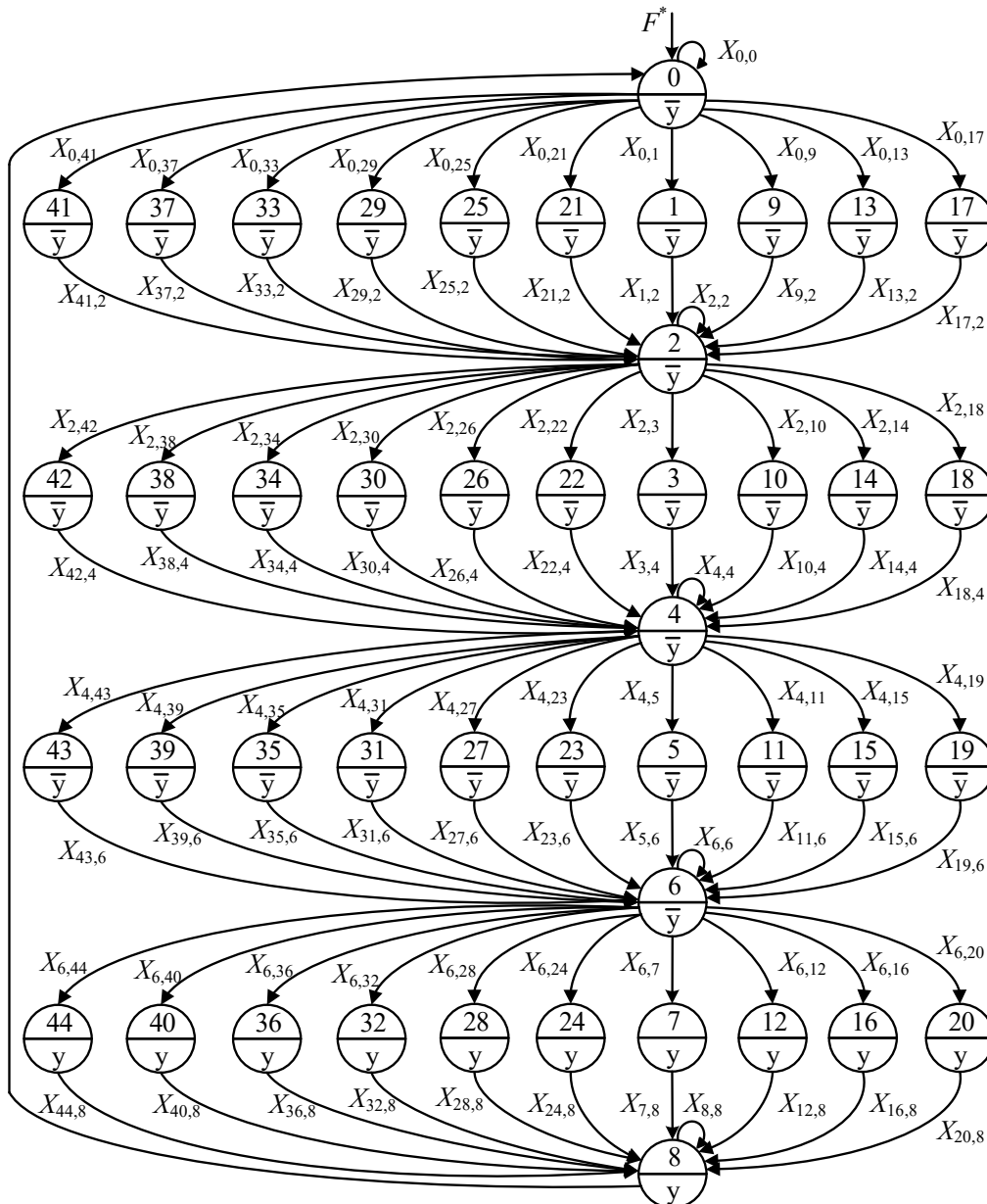


Рис.1 – Граф функціонування блока обчислення залишкового ресурсу системи діагностування електродвигуна

В результаті синтезу отримано структуру пристрою, поданого на рис. 2.

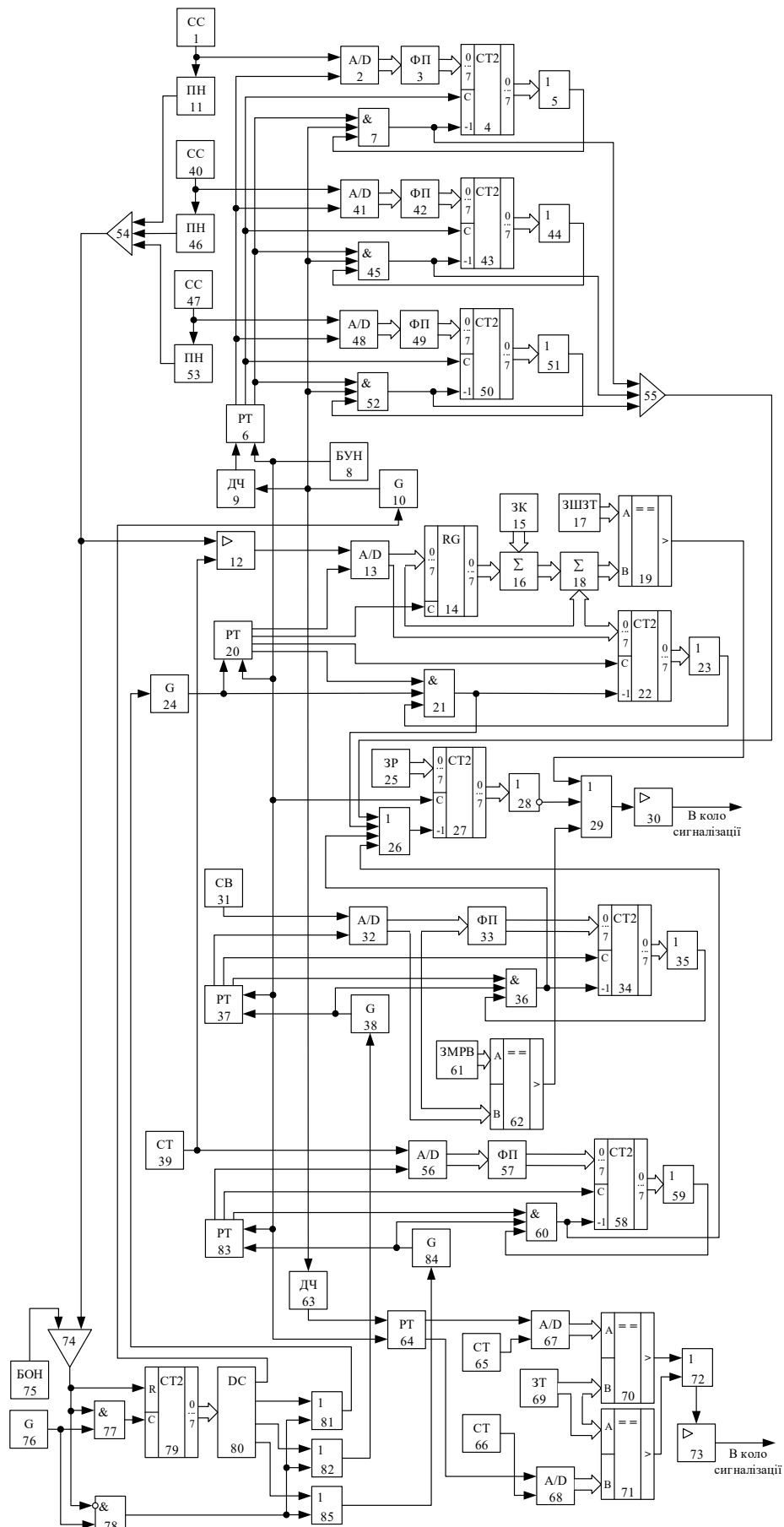


Рисунок 2 – Структурна схема пристрою для діагностування електродвигуна

На рис. 2: 1, 40, 47 – відповідно перший, другий та третій сенсори струму; 2, 13, 32, 41, 48, 67, 68, 56 – відповідно перший, другий, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий та восьмий аналогоцифрові перетворювачі; 3, 33, 42, 49, 57 – відповідно перший, другий, третій, четвертий і п'ятий функціональні перетворювачі; 4, 22, 34, 58, 79, 43, 50 – відповідно перший, другий, третій, четвертий, п'ятий, шостий та сьомий лічильники імпульсів; 5, 23, 26, 29, 35, 44, 72, 81, 82, 51, 59, 85 – відповідно перший, другий, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий, восьмий, дев'ятий, десятий, одинадцятий та дванадцятий логічні елементи АБО; 6, 20, 37, 83, 64 – відповідно перший, другий, третій, четвертий і п'ятий розподільники тактів; 7, 21, 36, 60, 77, 78, 45, 52 – відповідно перший, другий, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий та восьмий логічні елементи І; 8 – блок установки нуля; 9, 63 – відповідно перший і другий дільники частоти; 10, 24, 38, 76, 84 – відповідно перший, другий, третій, четвертий і п'ятий генератори імпульсів; 11, 46, 53 – відповідно перший, другий і третій перетворювачі напруги; 12 – диференціальний підсилювач; 14 – регістр з інверсними виходами; 15 – задавач коду; 16, 18 – перший і другий суматори відповідно; 17 – задавач швидкості зміни температури; 19, 62, 70, 71 – відповідно перший, другий, третій і четвертий цифрові компаратори; 25 – задавач ресурсу двигуна; 27 – двійковий лічильник ресурсу; 28 – логічний елемент АБО-НІ; 30, 73 – відповідно перший та другий підсилювачі сигналу; 31 – сенсор вібрації; 39, 65, 66 – відповідно перший, другий та третій сенсори температури; 54, 55, 74 – відповідно другий, третій та перший компаратори; 61 – задавач максимального рівня вібрації; 75 – блок опорної напруги; 80 – дешифратор.

Запропонований пристрій працює так. При подачі напруги живлення на схему блок установки нуля 8 коротким імпульсом переводить в початковий нульовий стан перший 6, другий 20, третій 37, четвертий 83 і п'ятий 64 розподільники тактів, а при подачі імпульсу на двійковий лічильник ресурсу 27, в останній записується значення робочого ресурсу двигуна із задавача ресурсу 25. Одночасно на виходах першого 10, другого 24 третього 38 і п'ятого 84 генераторів імпульсів починають вироблятися послідовності імпульсів.

Припускається, що в блоці задавача швидкості зміни температури 17 записане максимально допустиме значення швидкості зміни температури, в блоці задавача ресурсу 25 в цифровому вигляді – значення робочого ресурсу електричного двигуна, в задавачі максимального рівня вібрації 61 – максимально допустиме значення рівня вібрації, в задавачі температури 69 – максимально допустиме значення температури підшипникових вузлів.

У частині схеми, що містить блоки 1 – 10, 40 – 45, 47 – 52 здійснюється вимірювання значення струму електродвигуна та його перерахунок у виділене тепло з подальшим урахуванням в зміні залишкового ресурсу двигуна.

У частині схеми, що містить блоки 74 – 82 та 85, здійснюється узгодження роботи першого 10, другого 24, третього 38 та п'ятого 84 генераторів імпульсів.

З виходу четвертого генератора імпульсів 76 сигнали надходять на другі входи п'ятого 77 і шостого 78 логічних елементів І, на перші входи яких через перший компаратор 74 і другий компаратор 54 надходить максимальний сигнал, виміряний першим 1, другим 40 та третім 47 сенсорами струму через відповідні перетворювачі напруги 11, 46 та 53.

При наявності струму в обмотці двигуна на виході п'ятого логічного елемента І 77 з'являється послідовність імпульсів з виходу четвертого генератора імпульсів 76, а на виході шостого логічного елемента І 78 – сигнал логічного нуля. Зазначена послідовність імпульсів надходить на лічильний вхід п'ятого лічильника імпульсів 79, внаслідок чого на виходах дешифратора 80 формуються по чергово вихідні сигнали, що забезпечують узгодженість роботи першого 10, другого 24, третього 38 та п'ятого 84 генераторів імпульсів.

У випадку відключення двигуна від мережі живлення на виході першого компаратора 74 формується сигнал, яким здійснюється обнуління п'ятого лічильника імпульсів 79 по R-входу, на виході п'ятого логічного елемента І 77 з'являється сигнал логічного нуля, а на виході шостого логічного елемента І 78 – послідовність сигналів з виходу четвертого генератора імпульсів 76. При цьому на виходах дешифратора 80 встановлюються сигнали логічного нуля, що забезпечує блокування роботи частини схеми, яка містить блоки 2 – 10, 41 – 45, 48 – 52.

Послідовність сигналів з виходу шостого логічного елемента І 78 через восьмий логічний елемент АБО 81 подається на вхід управління другим генератором імпульсів 24, внаслідок чого пристроєм контролюється теплове старіння ізоляції електродвигуна до моменту його охолодження.

Послідовність сигналів з виходу шостого логічного елемента І 78 через дев'ятий логічний елемент АБО 82 подається на вхід управління третім генератором імпульсів 38, внаслідок чого пристроєм

контролюється вібрація електродвигуна до моменту його зупинки.

Послідовність сигналів з виходу шостого логічного елемента І 78 через дванадцятий логічний елемент АБО 85 подається на вхід управління п'ятим генератором імпульсів 84, внаслідок чого пристроєм контролюється температура обмоток електродвигуна.

Послідовності імпульсів з першого генератора імпульсів 10 поступають на другий вхід першого логічного елемента І 7 і на вхід першого дільника частоти 9, на виході якого з'являється кожен k-ий імпульс з тих, що на нього поступають. Число k підбирається таким чином, щоб узгодити роботу частин пристрою. Далі імпульси з виходу першого дільника частоти 9 поступають на вхід першого розподільника тактів 6.

На першому такті вимірювання струму обмотки двигуна з першого виходу першого розподільника тактів 6 подається сигнал дозволу зчитування інформації з першого 1, другого 40 та третього 47 сенсорів струму на перший 2, четвертий 41 та п'ятий 48 аналого-цифрові перетворювачі відповідно, де аналогові сигнали перетворюються в цифрові коди, які потім подаються на входи першого 3, третього 42 та четвертого 49 функціональних перетворювачів, на виході яких формуються цифрові коди, що відповідають рівню відпрацьованого ресурсу двигуном за відповідним струмом.

На другому такті вимірювання струму обмотки з другого виходу першого розподільника тактів 6 подається сигнал дозволу зчитування інформації з першого 3, третього 42 та четвертого 49 функціональних перетворювачів на лічильні входи першого 4, шостого 13 та сьомого 50 лічильники імпульсів відповідно, з виходу яких цифрові коди через перший 5, шостий 44 та десятий 51 логічні елементи АБО подаються на треті входи першого 7, сьомого 45 та восьмого 52 логічні елементи І.

На третьому такті вимірювання струму обмотки на третьому виході першого розподільника тактів 6 з'являється сигнал, який подається на перші входи першого 7, сьомого 45 та восьмого 52 логічних елементів І. На виходах останніх з'являються сигнали логічної одиниці, які одночасно подаються на віднімаючі входи першого 4, шостого 43 та сьомого 50 лічильники імпульсів і на входи третього компаратора 3, на виході якого з'являється лише більший із сигналів, що надходить, який далі подається на перший вхід третього логічного елемента АБО 26. У випадку обнуління першого 4, шостого 43 чи сьомого 50 лічильника імпульсів, на виходах першого 7, сьомого 45 чи восьмого 52 логічних елементів І з'явиться сигнал логічного нуля. З виходу четвертого логічного елемента АБО 26 сигнал поступає на віднімаючий вхід двійкового лічильника ресурсу 27, в якому від залишкового ресурсу двигуна віднімається відпрацьований ресурс, обумовлений старінням ізоляції обмотки якоря, викликаного струмом, що в ній протікає. У випадку обнуління двійкового лічильника ресурсу 27, що свідчить про вичерпання ресурсу роботи двигуна, останній відключається від мережі сигналом, поданим із виходу логічного елемента АБО-НІ 28 через п'ятий логічний елемент АБО 29 і перший підсилювач сигналу 30, або ж видається попереджувальний сигнал експлуатаційному персоналу (в коло сигналізації).

У частині схеми, що містить блоки 11 – 24, 39, 54, 56 – 60, 83 та 84 здійснюється вимірювання значення температури і перетворення її у відповідне значення відпрацьованого ресурсу двигуном.

Послідовності імпульсів з другого генератора імпульсів 24 поступають на другий вхід другого логічного елемента І 21 і на вхід другого розподільника тактів 20. З виходу першого сенсора температури 39 сигнал, який відповідає температурі обмотки якоря двигуна, поступає на другий вхід диференціального підсилювача 12, на перший вхід якого поступає сигнал з другого компаратора 54, а на вхід останнього поступають сигнали з першого 1, другого 40 та третього 47 сенсорів струму обмотки.

Одночасно з надходженням імпульсів з виходу другого генератора імпульсів 24 послідовності імпульсів з п'ятого генератора імпульсів 84 поступають на другий вхід четвертого логічного елемента І 60 і на перший вхід четвертого розподільника тактів 83.

На першому такті вимірювання температури з першого виходу другого розподільника тактів 20 подається сигнал дозволу зчитування інформації з диференціального підсилювача 12 на другий аналого-цифровий перетворювач 13, де аналоговий сигнал, що відповідає перевищенню температури електричного двигуна, яка подається від першого сенсора температури 39, над температурою, викликаного нагрівом при протіканні струму в обмотці якоря, перетворюється в цифровий код.

На другому такті вимірювання температури цифровий код з виходу другого аналого-цифрового перетворювача 13 записується в регістр 14 по сигналу, який надходить на лічильний вхід цього регістра з другого виходу другого розподільника тактів 20. Далі цифровий код з виходу регістра 14 поступає на перший вхід першого суматора 16, на другий вхід якого поступає також цифровий код із задавача коду 15. Сумарний цифровий код з виходу першого суматора 16 надходить на перший вхід другого суматора 18, на другий вхід якого надходить цифровий код з виходу другого аналого-цифрового

перетворювача 13. На виході другого суматора 18 формується цифровий код, що відповідає швидкості зміни температури. У випадку перевищення швидкості зміни температури максимально допустимого значення, яке записане у цифровому коді в задавачі швидкості зміни температури 17, на виході цифрового компаратора 19 з'являється сигнал логічної одиниці, який через четвертий логічний елемент АБО 29 і підсилювач сигналу 30 подається на відключення двигуна від мережі (в коло сигналізації). В іншому випадку на виході цифрового компаратора 19 присутній сигнал логічного нуля.

На третьому такті вимірювання температури на третьому виході другого розподільника тактів 20 з'являється сигнал, який подається на лічильний вхід другого лічильника імпульсів 22. При цьому останньому надається дозвіл зчитування інформації з другого аналого-цифрового перетворювача 13. Далі цифровий код з виходу другого лічильника імпульсів 22 через другий логічний елемент АБО 23 подається на третій вхід другого логічного елемента І 21. На виході останнього з'являється сигнал логічної одиниці, який одночасно подається на віднімаючий вхід другого лічильника імпульсів 22 і на другий вхід третього логічного елемента АБО 26. У випадку обнуління другого лічильника імпульсів 22, на виході другого логічного елемента І 21 присутній сигнал логічного нуля. В двійковому лічильнику ресурсу 27 від залишкового ресурсу двигуна віднімається відпрацьований ресурс, обумовлений старінням ізоляції обмотки перевищенням температури.

Одночасно з першим тактом вимірювання температури з першого виходу четвертого розподільника тактів 83 подається сигнал дозволу зчитування інформації із сенсора температури 39 на восьмий аналого-цифровий перетворювач 56, де аналоговий сигнал перетворюється в цифровий код, який потім подається на вхід п'ятого функціонального перетворювача 57, на виході якого формується цифровий код, що відповідає рівню відпрацьованого ресурсу електродвигуна за впливом температури.

Одночасно з другим тактом вимірювання температури з другого виходу четвертого розподільника тактів 83 подається сигнал дозволу зчитування інформації з п'ятого функціонального перетворювача 57 на лічильний вхід четвертого лічильника імпульсів 58, з виходу якого цифровий код через одинадцятий логічний елемент АБО 59 подається на третій вхід четвертого логічного елемента І 60.

Одночасно з третім тактом вимірювання температури на третьому виході четвертого розподільника тактів 83 з'являється сигнал, який подається на перший вхід четвертого логічного елемента І 60. На виході останнього з'являється сигнал логічної одиниці, який одночасно подається на віднімаючий вхід четвертого лічильника імпульсів 58 і на четвертий вхід третього логічного елемента АБО 26. У випадку обнуління третього лічильника імпульсів 34 на виході третього логічного елемента І 36 з'явиться сигнал логічного нуля.

У частині схеми, що містить блоки 31 – 38, здійснюється вимірювання рівня вібрації електродвигуна і його перерахунок у відповідне значення відпрацьованого ресурсу двигуном.

Послідовності імпульсів з третього генератора імпульсів 38 поступають на другий вхід третього логічного елемента І 36 і на перший вхід третього розподільника тактів 37. На першому такті вимірювання вібрації з першого виходу третього розподільника тактів 37 подається сигнал дозволу зчитування інформації із сенсора вібрації 31 на третій аналого-цифровий перетворювач 32, де аналоговий сигнал перетворюється в цифровий код, який потім подається на вхід другого функціонального перетворювача 33, на виході якого формується цифровий код, що відповідає рівню відпрацьованого ресурсу електродвигуна за впливом вібрації.

На другому такті вимірювання вібрації із другого виходу третього розподільника тактів 37 подається сигнал дозволу зчитування інформації із другого функціонального перетворювача 33 на лічильний вхід третього лічильника імпульсів 34, з виходу якого цифровий код через п'ятий логічний елемент АБО 35 подається на третій вхід третього логічного елемента І 36.

На третьому такті вимірювання вібрації на третьому виході третього розподільника тактів 37 з'являється сигнал, який подається на перший вхід третього логічного елемента І 36. На виході останнього з'являється сигнал логічної одиниці, який одночасно подається на віднімаючий вхід третього лічильника імпульсів 34 і на третій вхід третього логічного елемента АБО 26. У випадку обнуління третього лічильника імпульсів 34 на виході третього логічного елемента І 36 з'явиться сигнал логічного нуля.

У випадку, коли рівень вібрації, виміряний сенсором вібрації 31, що подається на другий цифровий вхід другого цифрового компаратора 62 через третій аналого-цифровий перетворювач 32, перевищує максимально допустимий рівень вібрації, який записаний в задавачі максимального рівня вібрації 61, на виході другого цифрового компаратора 62 формується сигнал логічної одиниці, який подається на третій вхід четвертого логічного елемента АБО 29, а далі через перший підсилювач сигна-

лу 30 – в коло сигналізації.

У частині схеми, що містить блоки 63 – 73, здійснюється контроль технічного стану підшипникових вузлів електродвигуна за температурою.

Сигнал з виходів другого дільника частоти 63 одночасно надходять на перші входи шостого 67 і сьомого 68 аналого-цифрові перетворювачі, на другі входи яких надходять сигнали, що відповідають значенням температур в обох підшипникових вузлах електродвигуна, з виходів другого 65 і третього 66 сенсорів температур.

На виходах шостого 67 і сьомого 68 аналого-цифрових перетворювачів формуються цифрові коди, що відповідають значенням температур обох підшипникових вузлів, та подаються на другі вхідні цифрові шини третього 70 та четвертого 71 цифрових компараторів, на перші вхідні цифрові шини яких подається у цифровому коді максимально допустиме значення температури підшипникових вузлів з виходу задавача температури 69.

У випадку перевищення поточного значення температури будь-якого з підшипникових вузлів за допустиме значення, на виході відповідного цифрового компаратора (третього 70 або четвертого 71) з'являється сигнал логічної одиниці, який через сьомий логічний елемент АБО 72 та другий підсилювач сигналу 73 подається в коло сигналізації.

Висновки

В роботі синтезовано структуру пристрою для діагностування асинхронного двигуна в процесі його функціонування, яка дозволяє контролювати струми у кожній фазі двигуна, температуру найбільш нагрітої точки обмотки, швидкість зміни цієї температури, температуру підшипникових вузлів, рівень вібрації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін Б. І. Математичні моделі та системи технічної діагностики основних електротехнічних систем міських трамваїв [Текст] : монографія / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 126 с. – ISBN 966-641-106-7.
2. Макейкин И.С. Диагностика дефектов асинхронных двигателей методом анализа пусковых характеристик / И.С. Макейкин, В.А. Кравчук, Ю.Н. Васильковский. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://jour.fea.kpi.ua/article/download/68416/63551>
3. Диагностирование асинхронных электродвигателей. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://works.doklad.ru/view/9iw4cN2Swls.html>
4. Пат. 104052 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю робочого ресурсу електричного двигуна [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Поліщук А.Л. (Україна). – № u 2015 06627; заявл. 06.07.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1. – 10 с. : кресл.
5. Пат. 105197 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю робочого ресурсу електричного двигуна [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Гоноровський В.В. (Україна). – № u 2015 08132; заявл. 17.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 9 с. : кресл.
6. Пат. 105198 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю робочого ресурсу електричного двигуна постійного струму [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Тимошенко О.Л. (Україна). – № u 2015 08133; заявл. 17.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 11 с. : кресл.
7. Пат. 105199 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю електричного двигуна [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Янчук О.М. (Україна). – № u 2015 08134; заявл. 17.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 14 с. : кресл.
8. Пат. 105201 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю електричного двигуна [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Беседін Р.О. (Україна). – № u 2015 08136; заявл. 17.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 14 с. : кресл.
9. Пат. 105570 UA, МПК G07C 3/10, G07C 3/14. Пристрій для контролю електричного двигуна / Грабко В.В., Розводюк М.П., Тимошенко О.Л. (Україна). – № u 2015 09327; заявл. 28.09.2015; опубл. 25.03.2016, Бюл. № 6. – 16 с. : кресл.
10. Пат. 129338 UA, МПК G01M 7/00. Система для вимірювання і контролю параметрів технічного стану електричних машин [Текст] / В.Ф. Граняк, В. В. кухарчук (Україна). – № u201805009; заявл. 07.05.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20. – 7 с. : кресл.
11. Захаров В.Н. Автоматы с распределенной памятью / В.Н. Захаров. – М.: "Энергия", 1975. – 136 с.
12. Грабко В. В. Синтез структуры ИВС для диагностирования электродвигунів [Текст] / В. В. Грабко, С. Я. Блінкін, М. П. Розводюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – №4. – С. 111–115.

Розводюк Михайло Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, rozvodiukmp@gmail.com

Хайнацький Дмитро Сергійович – студент групи ЕПА-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, dimon-1995@ukr.net

Rozvodiuk Mykhailo P. – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

Haynatsky Dmitry S. – Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, dimon-1995@ukr.net