

УДК 621.313.333.004.58

МОНІТОР ГРУПИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Нестерчук Д.М., к.т.н.,

Гончарова Н.В., аспірант*.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619)42-32-63

Анотація – робота присвячена розробці монітору групи асинхронних електродвигунів на базі мікроконтролера, а також оцінці його надійності.

Ключові слова – асинхронний електродвигун, аварійні режими роботи, монітор, надійність монітору.

Постановка проблеми. Електропривод змінного струму з асинхронними двигунами в теперішній час є найпоширенішим в агропромисловому комплексі. Перспективи його розвитку пов'язані з необхідністю впровадження нових високоефективних систем моніторингу та захисту. Головною задачею цих систем є забезпечення ефективного функціонування та надійності електропривода.

На жаль, стан надійності електропривода поки що є проблематичним. Щороку пошкоджується до 20-25% від загального числа встановлених асинхронних двигунів. [1].

Це приводить до порушення безперервності технологічних процесів із подальшим браком продукції, витратам на відновлення та ремонт асинхронних двигунів, а також на відновлення нормальних технологічних процесів виробництва. Реальні характеристики і параметри асинхронних двигунів внаслідок ремонту або тривалої експлуатації змінюються і не відповідають паспортним.

Існуючі пристрої та системи захисту, найпоширенішими серед яких є пристрої релейного захисту та автоматики, що настроєні на характеристики і параметри відповідно до паспорту двигуна, часто і об'єктивно неналежним чином реагують на зміну параметрів робочих процесів. Зазначені обставини зумовлюють необхідність підвищення вимог щодо експлуатації двигунів, урахування їх реальних індивідуальних характеристик і параметрів, які можуть змінитися в процесі ремонту або під час роботи, нових підходів до принципів побудови пристроїв моніторингу та захисту.

Аналіз останніх досліджень. Одним з найбільш дієвих методів підвищення надійності асинхронних електродвигунів при експлуатації є забезпечення їх ефективними засобами моніторингу та захисту від аварійних режимів.

В [2, 3] детально розглянута класифікація аварійних режимів, які виникають в процесі експлуатації асинхронних електродвигунів. За даними літературного джерела [1] 80...90% електродвигунів можливо було захистити від відмов, якщо б вони були обладнанні пристроями моніторингу та захисту при умові своєчасного технічного обслуговування цих пристроїв.

Пристрої моніторингу та захисту дозволяють впровадити технологію контролю обладнання за станом і реалізувати принцип запобігання, який реалізується шляхом аналізу енергетичних процесів через безперервний контроль і забезпечує раннє (предаварійне) визначення потенціальних пошкоджень, дефектів, що розвиваються в електродвигуні.

Щоб правильно захистити електродвигуни, необхідно знати причини їх відмов. Аналіз літературних джерел [1, 4] показав, що причинами основних аварійних режимів є:

- обрив фази – 40...50%;
- загальмування ротору – 20...25%;
- технологічні перевантаження – 8...10%;
- зниження опору ізоляції – 10...15%;
- порушення охолодження – 8...10%.

Внаслідок актуальності проблеми захисту електродвигунів від аварійних режимів було запропоновано багато пристроїв діагностування і захисту.

Пристрої класифікуються за параметром, який контролюється первинним вимірювальним перетворювачем аварійних режимів: теплові, струмові, температурні, фільтрові і комбіновані.

В теплових пристроях первинний вимірювальний перетворювач контролює кількість теплоти, яка виділяється в нагрівальних елементах, що ввімкнені послідовно з фазами статора; в струмових – значення сили струму в обмотці статора; в температурних - температуру обмоток; у фільтрових – значення сили струму або напруги прямої, зворотної або нульової послідовності; в комбінованих – кілька перелічених параметрів. [1, 2].

Поза сумнівом перевага належить комбінованим пристроям моніторингу та захисту асинхронних електродвигунів.

На сучасному етапі розвитку електроніки та мікропроцесорної техніки можливо вирішити питання розробки та впровадження мікропроцесорного пристрою моніторингу та захисту групи асинхронних електродвигунів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета дослідження – це розробка монітору групи асинхронних електродвигунів на базі мікроконтролера, а також оцінка надійності розробленого пристрою.

Основна частина. Призначення монітору, що пропонується – це захист групи асинхронних електродвигунів та здійснення моніторингу, а саме, безперервне спостереження за роботою електродвигунів та реєстрація режимів їх роботи, а також накопичення статичних даних щодо роботи групи електродвигунів. Монітор групи асинхронних електродвигунів забезпечує виконання наступних умов:

- контролює температуру статорних обмоток електродвигунів;
- захищає електродвигун при попаданні води до його корпусу;
- надає цифрову індикацію номеру несправного електродвигуна при виникненні аварійних режимів його роботи з групи електродвигунів;
- захищає електродвигуни при обриві фази трьох фазної мережі живлення змінного струму;
- захищає електродвигуни при тривалих технологічних перевантаженнях;
- захищає електродвигуни при невірних процесах пуску та гальмуваннях;
- захищає електродвигуни при заклинюваннях ротора;
- забезпечує виконання алгоритму функціонування моніторингу з обробкою вхідних параметрів контролю для отримання результатів вимірювань на диспетчерському пульті;

Структурна схема розробленого монітору наведена на рис. 1. Монітор групи асинхронних електродвигунів складається з блоків моніторингу та захисту двигунів $A1.1 \dots A1.i$ та з пристрою моніторингу та захисту групи асинхронних електродвигунів $A1$.

Слід відзначити, що кількість блоків моніторингу та захисту електродвигуна залежить від кількості об'єктів контролю – асинхронних електродвигунів в групі. [2].

Кожен комплект $A1.i$ складається з блоку первинного перетворення та контролю асинхронного електродвигуна (БППК АД) та блоку моніторингу та захисту асинхронного електродвигуна (БМЗ АД), складовими яких є:

- первинний перетворювач температур ізоляції обмотки -1;
- блок вимірювання та перетворення температури – 2;
- трансформаторні перетворювачі струму – 3.1; 3.2; 3.3;
- блок перетворення струму – 4.1; 4.2; 4.3;
- первинний перетворювач вологості в корпусі АД – 5;
- блок вимірювання та перетворення вологості – 6;
- блок контролю роботи АД – 7;
- блок живлення – 8;
- блок керування АД – 9;
- канал зв'язку «прийом – передача» - 10;
- виконавчий блок – 7.

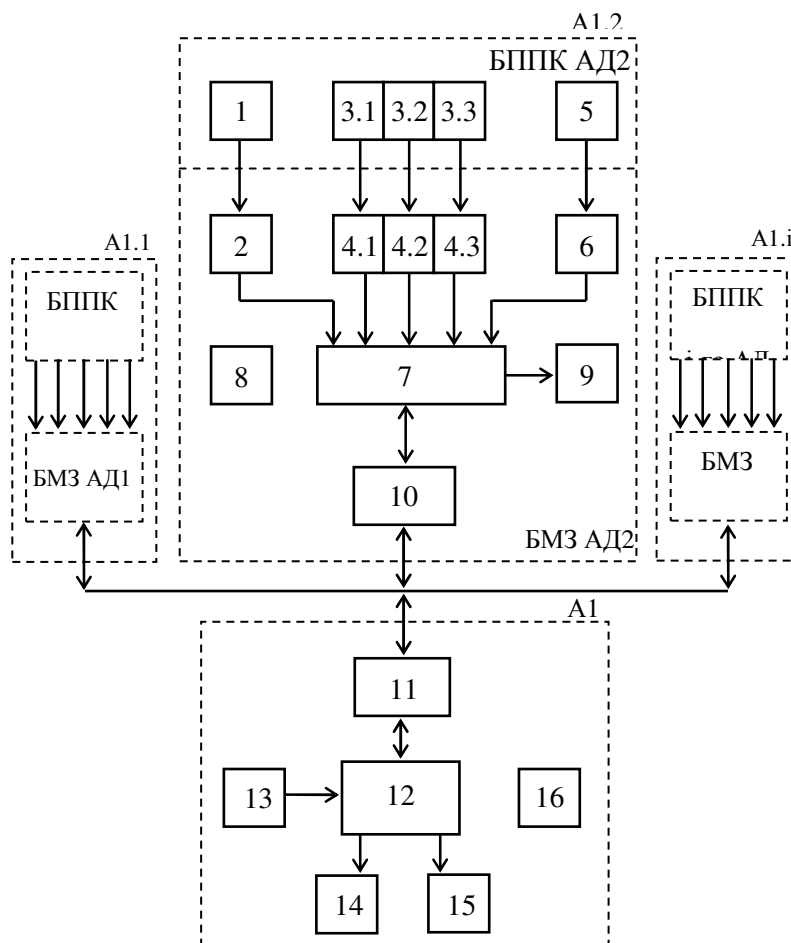


Рис.1. Структурна електрична схема монітору групи асинхронних електродвигунів.

Пристрій моніторингу та захисту групи асинхронних електродвигунів А1 складається з:

- каналу зв'язку «прийом – передача» – 11;
- мікроконтролеру – 12;
- блоку вводу параметрів контролю – 13;
- цифрового пристрою індикації – 14;
- звукового сигналізаційного пристрою – 15;
- блоку живлення – 16.

Розглянемо призначення кожного блоку монітору більш детально. Призначення перетворювача температури 1 та блоку вимірювання та перетворення температури 2 – це вимірювання та перетворення температури ізоляції статорної обмотки, як параметру моніторингу, в інформативний електричний сигнал, який після проміжної обробки надходить на відповідні порти мікропроцесорного блоку контролю роботи асинхронного електродвигуна 7.

Трансформаторні перетворювачі струму 3.1...3.3 та блок перетворення струму 4.1...4.3 складається з трьох перетворювачів струму трансформаторного типу, первинна обмотка яких вмикається послідовно відносно лінійного проводу, що живить електродвигун. Вторинна обмотка такого перетворювача формує сигнал, пропорційний первинному струму, який надходить після проміжної обробки на відповідні порти мікропроцесорного блоку контролю роботи асинхронного електродвигуна 7.

Призначення перетворювача вологості в корпусі електродвигуна 5 та блоку вимірювання та перетворення вологості 6 – це вимірювання та перетворення наявності вологості в корпусі електродвигуна, що прямим фактором подальшого зволоження ізоляції статорної обмотки в інформативний електричний сигнал, який після проміжної обробки надходить на відповідні порти мікропроцесорного блоку контролю роботи асинхронного електродвигуна 7.

Мікропроцесорний блок контролю роботи асинхронного електродвигуна 7 здійснює збір вимірювальної інформації з блоку первинного перетворення та контролю, її обробку та формування електричних сигналів на блок керування асинхронного електродвигуна 9.

Блок 9 здійснює відключення електродвигуна з групи електродвигунів від мережі живлення при наявності критичного перевантаження за струмом або при наявності вологості у корпусі електродвигуна або при перевищенні температури ізоляції статорної обмотки нормованої температури при наявності сигналу з мікропроцесорного блоку контролю роботи асинхронного електродвигуна 7.

Канали зв'язку 10 та 11 здійснюють прийом – передачу сигналів від блоків моніторингу та захисту певного електродвигуна на мікроконтролер 12. [2, 3].

Мікроконтролер 12 здійснює опитування певних блоків моніторингу та захисту асинхронних електродвигунів, обробку, порівняння вхідних параметрів моніторингу теплових процесів з величинами нормованих уставок за температурою, за фазними струмами та за вологістю.

В залежності від значення вхідних параметрів після їх порівняння зі значеннями уставок мікроконтролер формує сигнал на блок 15, на блок 14, а також формується сигнал на відключення електродвигуна з групи електродвигунів.

Блок вводу параметрів контролю 13 – це клавіатура, яка призначена для керування монітором та для ручного вводу даних щодо вхідних параметрів моніторингу.

Цифровий пристрій індикації 14 надає оператору номер несправного електродвигуна з групи електродвигунів, а також візуальну інформацію у вигляді цифрового коду щодо величин параметрів моніторингу.

Звуковий сигналізаційний пристрій 15 надає оператору звукову сигналізацію щодо наявності аварійного режиму роботи електродвигуна з групи електродвигунів.

Схеми електричні принципові блоків монітору наведені на рис. 2. і на рис. 3.

Блок вимірювання та перетворення температури статорної обмотки реалізований на мікросхемі DA1, резисторі R1, мікросхемі DA2, резисторах R2, R3, конденсаторі C1. Сигнал з терморезистора R_t перетворюється в напругу в мікросхемі DA1, а в мікросхемі DA2 – в частоту мерехтіння світло діода оптопарі U1, транзистор якої та транзистор VT1 відкриваються, сигнал надходить на порт PB6 мікросхеми DD1 типу ATtiny26 – головний елемент блоку контролю роботи АД.

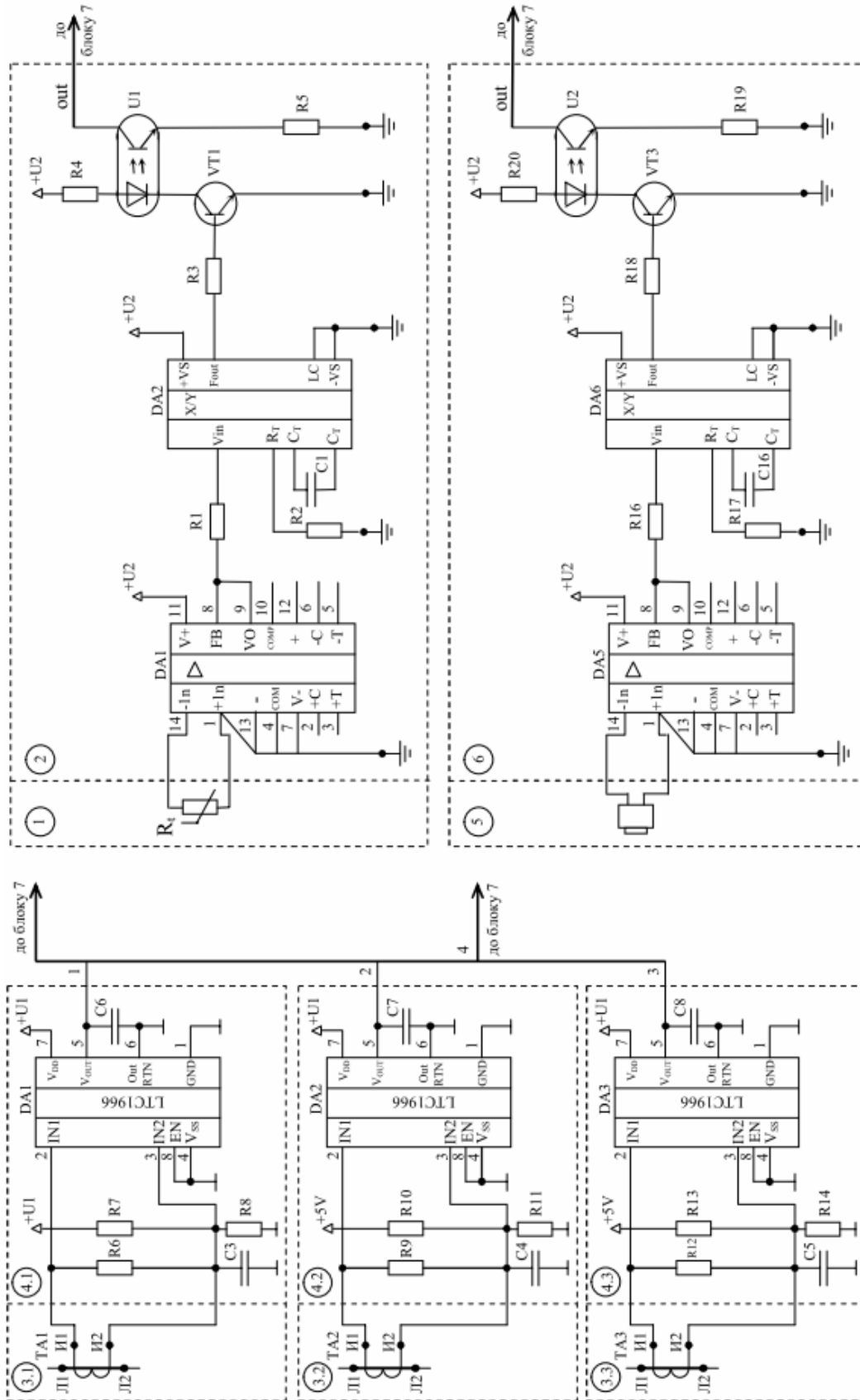


Рис. 2. Схема електрична принципова блоків монітору групи асинхронних електродвигунів

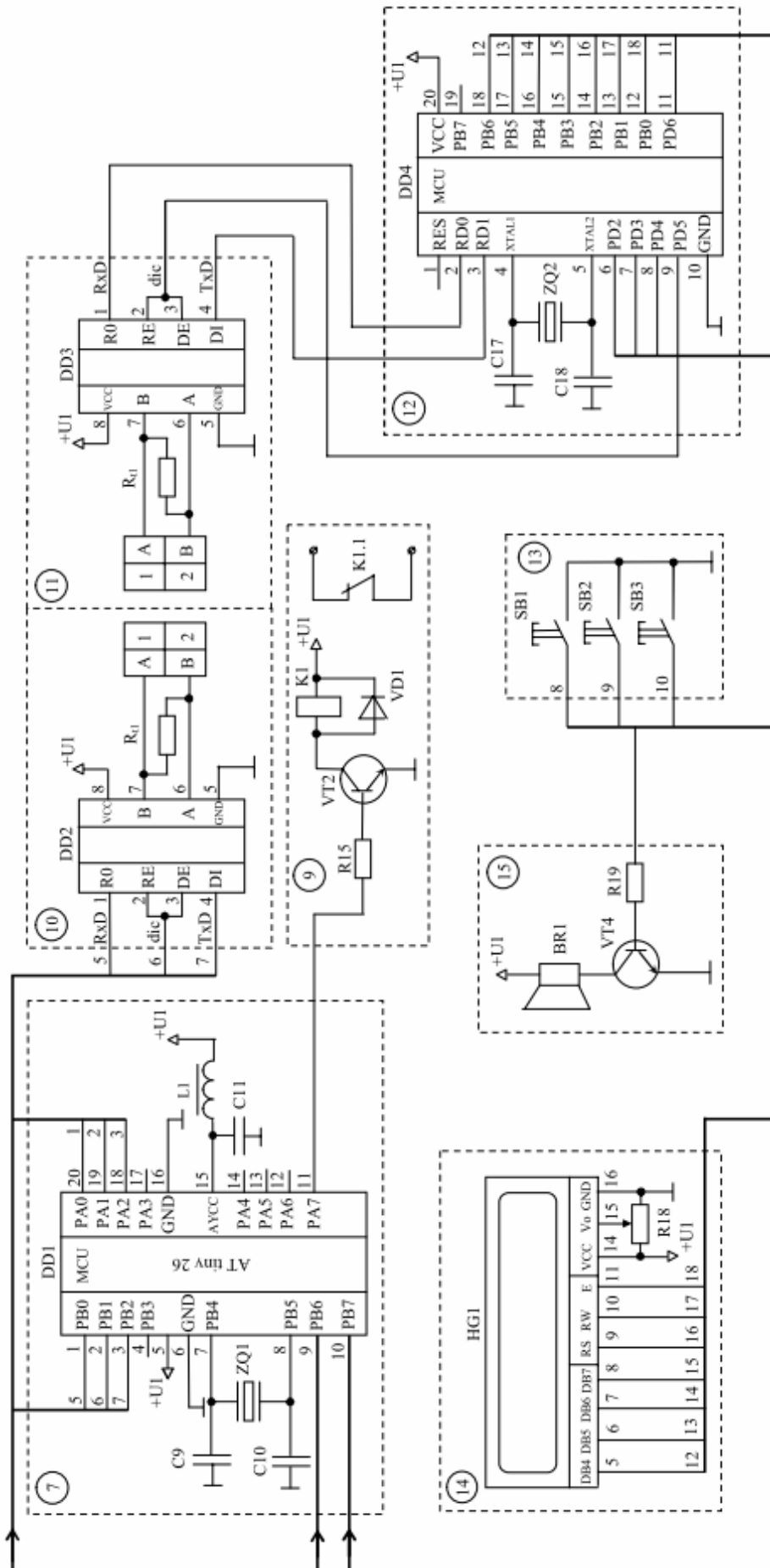


Рис. 3. Схема електрична принципова блоків монітору групи асинхронних електродвигунів

Розглянемо блок вимірювання фазних струмів, який складається з трьох перетворювачів струму трансформаторного типу (мікросхеми DA1...DA3), первинна обмотка яких вмикається послідовно відносно лінійного проводу, що живить електродвигун. Струм, який споживається електродвигуном, в перетворювачах струму DA1... DA3 перетворюється в напругу (0...5 В), яка пропорційна величині сили струму в фазах. Конструктивно перетворювач струму – це гальваномагнітний магнітовимірювальний перетворювач, в основу принципу дії якого покладений ефект Хола, а саме, ЕРС виникає між протилежними сторонами металевої або напівпровідникової пластинки, яка розташована в магнітному полі з індукцією та включена до кола з силою струму. Величина ЕРС зв'язана з силою струму та з магнітною індукцією аналітичним виразом [5]

$$E_x = \frac{R_x \cdot I \cdot B}{d}, \quad (1)$$

де R_x – постійна Хола;

d – товщина чутливої пластинки.

Напруга надходить на порти PA0, PA1, PA2 та на загальні порти GND, VCC мікросхеми DD1.

Первинний перетворювач вологості кондуктометричного типу при наявності вологості у корпусі електродвигуна змінює свій електричний опір, сигнал з якого перетворюється в напругу в мікросхемі DA5, а в мікросхемі DA6 - в частоту мерехтіння світло діода оптопар U2, транзистор якої та транзистор VT3 відкриваються, сигнал надходить на порт PB7 мікросхеми DD1. Блок контролю вологості у корпусі електродвигуна реалізований на мікросхемі DA5, резисторі R16, мікросхемі DA6, резисторах R17, R18, конденсаторі C16, на оптопарі U2 та транзисторі VT3.

Блок контролю роботи АД реалізований на мікроконтролері - мікросхема DD1 типу ATtiny26. На елементах QZ1, C9 та C10 реалізована схема тактового генератора мікроконтролера. На елементах L1 та C11 реалізований фільтр живлення мікроконтролера.

Для двохстороннього зв'язку блоку контролю електродвигуна з пристроєм моніторингу та захисту групи електродвигунів призначений канал зв'язку, реалізований на мікросхемі DD2 – універсальному асинхронному приймачі-передавачі (UART). Це повнодуплексний інтерфейс: приймач і передавач працюють одночасно, незалежно один від одного. За кожним з них закріплений порт мікроконтролера. Порт приймача позначений R_x , передавача – T_x . Канал зв'язку має інтерфейс RS-485, як один з найбільш розповсюджених стандартів фізичного рівня зв'язку та способу передачі інформації.

Канал зв'язку блоків контролю електродвигунів та канал зв'язку (мікросхема DD3 та резистор R_{m2}) блоку моніторингу та захисту групи

електродвигунів побудовані за допомогою інтерфейсу RS-485 і приєднані за допомогою кабелю витой пари UTP-типу.

Блок керування АД реалізований на транзисторному ключі VT2 – у його колекторне коло включено реле K1, нормально замкнений контакт якого включений у колы живлення котушки електромагнітного пускача електродвигуна. Для захисту ключа від ЕРС самоіндукції паралельно котушці реле підключений діод VD1.

На елементах QZ2, C17 та C18 реалізована схема тактового генератора мікроконтролера DD4 типу ATtiny 2343.

Після обробки інформативних сигналів мікроконтролера DD4 дані щодо поточного значення величини параметрів діагностування видається на цифровий індикатор HG1 (BC1602A).

Для ручного вводу даних та керування монітором схемою передбачена клавіатура на 4 клавіші: SB1 «MENU», SB2«+», SB3«-».

Звуковий сигналізаційний пристрій складається з резистора R19, звуковипромінювача BR1, транзистора VT4.

Блоки живлення монітору стандартні та обираються за [7].

Оцінкою надійної роботи монітору групи асинхронних електродвигунів є інтенсивність відмов його окремих елементів, яка визначається за формулою [8]

$$\lambda_{\Sigma} = k \cdot \sum_{n=1}^{i=1} \lambda_i, \quad (2)$$

де λ_i – інтенсивність відмов i - елемента, $1/\text{год}$;

k – коефіцієнт, що враховує вплив навколишнього середовища; $k = 10 \dots 15$; [7].

Час роботи до відмови визначається за формулою

$$T_p = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}. \quad (3)$$

Ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$p_{\Sigma}(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} \cdot t_x}, \quad (4)$$

де t_x – час роботи, для якого визначаються параметри надійності; приймаємо $t_x = 500$ годин.

Інтенсивність відмов i – того елемента розробленого монітору наведена в таблиці 1.

Інтенсивність відмов монітору дорівнює

$$\lambda_{\Sigma} = 10 \cdot 13,492 \cdot 10^{-6} = 0,00013492 \text{ години}^{-1}.$$

Час роботи монітору до відмови визначається за формулою

$$T_p = \frac{1}{0,00013492} = 7411,8 \text{ годин}.$$

Ймовірність безвідмовної роботи монітору дорівнює

$$p_{\Sigma}(t) = e^{-0,00013492 \cdot 500} = 0,93.$$

Таблиця 1 – Інтенсивність відмов елементів монітору

Найменування елементів монітору	Кількість, шт.	Інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$	
		<i>i</i> -го елемента	групи елементів
Запобіжник	2	0,5	1,0
Кріплення запобіжників	4	0,1	0,4
Діод	15	0,138	2,07
Резистор	24	0,053	1,272
Конденсатор	19	0,12	2,28
Інтегральна мікросхема	16	0,1	1,6
Реле електромеханічне	1	0,25	0,25
Трансформатор	5	0,17	0,85
Котушка індуктивності	1	0,02	0,02
Транзистор	6	0,5	3,0
Вимикач	3	0,25	0,75
Усього			13,492

Висновки. Впровадження монітору дозволить захищати групу асинхронних електродвигунів від таких аварійних режимів: обриву фази трьох фазної мережі живлення змінного струму, тривалих технологічних перевантажень, невірних процесів пуску та гальмування, заклинювання ротора, попадання води до корпусу, а також контролювати температуру статорних обмоток електродвигунів та надавати цифрову індикацію номеру несправного електродвигуна при виникненні аварійних режимів його роботи з групи електродвигунів. Це дозволить підвищити експлуатаційну надійність асинхронних електродвигунів приводу робочих машин в процесі експлуатації.

Література.

1. *Гольдберг О.Д.* Надежность электрических машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений / *О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская*; под ред. *О.Д. Гольдберга*. – М.: Издательский центр “Академия”, 2010. – 288 с.

2. *Нестерчук Д.М.* Мікропроцесорний пристрій діагностування режимів роботи групи асинхронних електродвигунів технологічної лінії / *Д.М. Нестерчук, І.О. Попова* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 116 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – с. 114 – 116.

3. *Нестерчук Д.М.* Захист асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи / *Д.М. Нестерчук* // Праці ТДАТУ. – Випуск 11, том 3. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – с. 56-65.

4. *Кузнецов Н.Л.* Надежность электрических машин / *Н.Л. Кузнецов* – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
5. *Кравцов А.В.* Электрические измерения: [По спец. “Электрификация сел. хоз-ва”] / *А. В. Кравцов* – М.: Агропромиздат, 1988. – 238 с.
6. *Шустов М.А.* Практическая схемотехника: 450 полезных схем радиолюбителям / *М.А. Шустов*. – М.: Додэка-XXI, 2007. – 360 с.
7. *Мартыненко И.И.* Проектирование систем автоматики. – 2-ое изд., перераб. и доп. / *И.И. Мартыненко, В.Ф. Лысенко*. – М.: Агропромиздат, 1990. – 243 с.

МОНИТОР ГРУППЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Нестерчук Д.Н., Гончарова Н.В.

Аннотация

Работа посвящена разработке монитора группы асинхронных электродвигателей на базе микроконтроллера, а также оценке его надежности.

GROUP OF INDUCTION MOTORS MONITOR

D. Nesterchuk, N. Goncharova

Summary

The work is devoted to development of the monitor group of induction motors based on microcontroller, and the assessment of its reliability.