

УДК 681.52

**АВАРІЙНИЙ ЗАХИСТ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА**

Дубовик В. Г., Лебедев Л. М., Шелест І. В.

Корисна модель відноситься до електротехніки і може бути використана для захисту асинхронного електродвигуна при виникненні аварійних ситуацій: обрив фаз, затулений пуск, технологічне перевантаження, порушення симетрії фаз.

Відомо пристрій для захисту асинхронного електродвигуна від перевантажень і обриву фази, що містить блок живлення, блок датчиків струму з датчиками, сполученими по схемі "зірка", нульова точка якої сполучена з "загальним" провідником пристрою, блок контролю часу пуску і струму, послідовно сполучені блок контролю наявності напруги і порядку чергування фаз, блок незалежної витримки часу, ключовий елемент в ланцюзі живлення котушки пускача електродвигуна, а також містить три елементи І-НЕ, три джерела постійної вхідної дії і три порогові елементи, перші входи яких сполучені з першим джерелом постійної вхідної дії, другі входи - з відповідними трьома виходами блоку датчиків струму і трьома входами блоку контролю часу пуску і струму, четвертий і п'ятий входи якого сполучені, відповідно з другим і третім джерелами постійної вхідної дії, а вихід сполучений з другими входами першого, другого і третього елементів І-НЕ, перші входи яких сполучені з виходами порогових елементів відповідно, а вихід кожного з елементів І-НЕ сполучений відповідно з першим, другим і третім входом блоку контролю наявності напруги і порядку чергування фаз [1].

Недоліком пристрою є недостатні функціональні можливості, пов'язані з відсутністю формування залежної витримки часу на відключення при виникненні аварійних ситуацій.

Найбільш близьким до запропонованого пристрою є пристрій захисту асинхронного електродвигуна, що містить блок датчиків струму з датчиками, первинні обмотки яких включені у фази електродвигуна, а вторинні сполучені між собою послідовно, один з виводів блоку датчиків струму сполучений з шиною ЗАГАЛЬНИЙ пристрою, блок живлення, блок контролю фазового зміщення, блок незалежної витримки часу, ключовий елемент в ланцюзі живлення котушки пускача електродвигуна, перше джерело постійної вхідної дії, послідовно сполучені пороговий елемент і елемент АБО, а також містить два джерела постійної вхідної дії, послідовно сполучені блок виділення сигналу фази з найбільшим струмом і блок теплової моделі фази електродвигуна, другий вхід якого сполучений з другим джерелом постійної вхідної дії, а вихід - з першим входом порогового елемента, другий вхід якого сполучений з першим джерелом постійної вхідної дії, другий вхід елемента АБО сполучений з виходом блоку контролю фазового зміщення, перший вхід якого сполучений з виходом блоку датчиків струму і входом блоку виділення сигналу фази з найбільшим струмом, а другий вхід з третім джерелом постійної вхідної дії, вхід блоку незалежної витримки часу сполучений з виходом елемента АБО, а вихід - з входом ключового елемента, блок живлення включений між виводами ключового елемента і котушки пускача. Блок контролю фазового зміщення містить послідовно сполучені формувач, генератор одиночних імпульсів, інтегратор і пороговий елемент, до другого входу якого підключено третє джерело постійної вхідної дії, входом блоку є вхід формувача, а виходом - вихід порогового пристрою [2].

Недоліком пристрою є недостатні функціональні можливості, пов'язані з відсутністю формування залежної витримки часу на відключення при виникненні аварійних ситуацій.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення відомого пристрою захисту, шляхом введення додаткових елементів, що забезпечує підвищення ефективності захисту за рахунок формування залежної витримки часу на відключення при виникненні аварійних ситуацій, що дозволяє не допустити випадкових відключень, додаткового нагрівання електродвигуна і допомагає збільшити строк його служби.

На рис. 1 представлена структурна схема пристрою захисту асинхронного електродвигуна.

Пристрій захисту асинхронного електродвигуна 1 (рис. 1) складається з блоку 2 датчиків струму з датчиками, сполученими послідовно, один з виводів блоку 2 датчиків струму сполучений з шиною ЗАГАЛЬНИЙ пристрою, а другий - з блоком 3 контролю фазового зміщення, другий вхід якого сполучено з джерелом  $E_1$  постійної вхідної дії, а вихід сполучено з другим входом блоку 4 залежної витримки часу, перший вхід якого через ключ аналоговий 5 та блок таймера пуску 6 сполучено з виводом блоку 2 датчиків струму, який також сполучений з другим входом ключа аналогового 5, другий вхід блоку таймера пуску 6 сполучено з третім джерелом  $E_3$  постійної вхідної дії, а друге джерело  $E_2$  постійної вхідної дії сполучено з третім входом блоку 4 залежної витримки часу, вихід якого сполучено з другим входом ключового елемента 7, вихід якого сполучено з котушкою 8 пускача електродвигуна 1, а вхід з блоком живлення 9 та ланцюгом живлення.

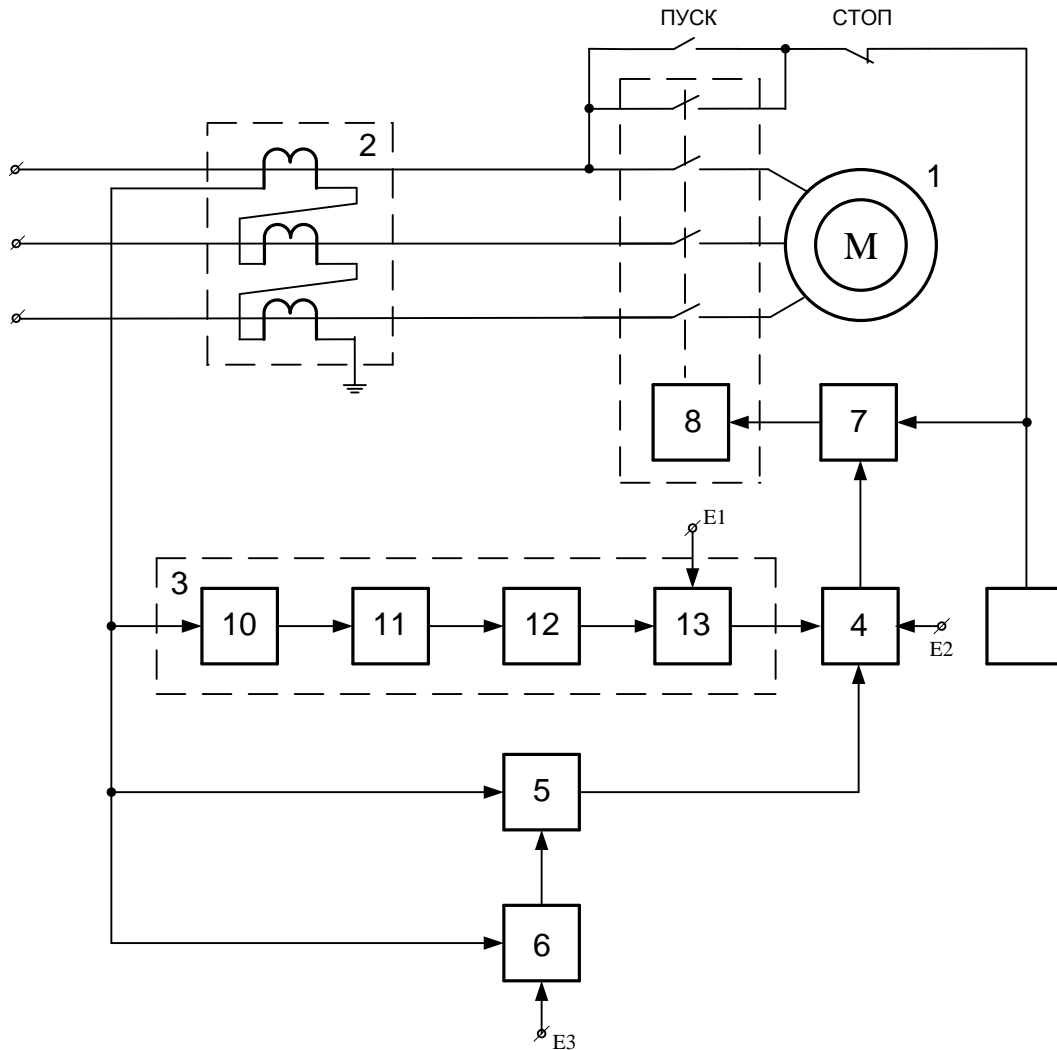
Магнітопроводи датчиків блоку 2 виконані з магнітомягкого матеріалу з високим значенням початкової магнітної проникності і малим значенням величини коерцитивної сили при низькому значенні напруженості поля і мають кільцевидну форму.

Блок 3 контролю фазового зміщення може бути виконаний з послідовно сполучених формувача імпульсів 10, генератора одиночних імпульсів 11, інтегратора 12, порогового елемента 13, другий вхід якого є другим входом блоку 3, а вихід є виходом блоку 3. Формувач імпульсів 10 забезпечує прямокутні імпульси однієї полярності і може бути виконаний з використанням елемента для порівняння сигналів – компаратора. Налаштування рівня його спрацювання відповідає значенню струму холостого ходу двигуна мінімальної потужності. Генератор одиночних імпульсів 11 призначений для формування імпульсів заданої тривалості.

Блок 4 залежної витримки часу забезпечує формування вихідного сигналу з затримкою, залежно від значення сигналу блоку 2 датчиків струму.

Ключ аналоговий 5 призначений для комутації, передачі сигналів довільної форми при подачі сигналу, що управляє, і може бути виконаний на базі електронних ключів інтегрального виконання.

Блок таймера пуску 6 призначений для відліку часу пуску, пропорційного сигналу  $E_3$  та формуванні вихідного високого логічного рівня після його закінчення.



**Рис. 1. Структурна схема пристрою захисту асинхронного електродвигуна**

Прийняті позначення  $U_i$  - напруга на  $i$ -му виході  $n$ -го блоку.

Працює пристрій наступним чином.

Після подачі напруги в ланцюг живлення електродвигуна натискається кнопка ПУСК і також подається через розмикаючий контакт кнопки СТОП на блок живлення 9 та через ключовий елемент 7 на котушку 8 електромагнітного пускача електродвигуна 1. Силкові контакти пускача підключають статор асинхронного двигуна 1 до мережі, замикаючий блок-контакт пускача ставить кнопку ПУСК на блокування. Робочий режим пускача забезпечується при одиничному вихідному логічному рівні блоку 4 та замкнутому розмикаючому його блок-контакті. По статору починає протікати струм. Сигнали блоку 2 датчиків струму імпульсні за формою поступають на блок 3 контролю фазового зміщення, на його виході при цьому рівень логічного нуля, а також на блок таймера пуску 6, який запускається і починається відлік часу пуску, по закінченні якого вихідний сигнал  $U_6 = 1$ . У початковий момент пуску електродвигуна 1 його струм перевищує номінальний в 5...7 разів. Під час розгону струм в статорі зменшується до струму статичного навантаження. Час, протягом якого струм двигуна зменшується від пускового значення до номінального, складає час пуску. Оскільки значення пускового струму перевищує порогове, то протягом часу пуску  $U_6 = 0$ . Після закінчення часу пуску  $U_6 = 1$ , що забезпечує замикання ключа аналогового 5 і сигнали з блоку 2 датчиків струму починають

поступати на блок 4 залежної витримки часу, вихідний його сигнал в нормальному режимі  $U_4 = 1$ .

У блоці 3 контролю фазового зміщення вхідні сигнали поступають на формувач імпульсів 10, з виходу якого знімаються прямокутні імпульси. Генератор 11 одиночних імпульсів формує вузькі імпульси з постійною тривалістю для забезпечення обнулення інтегратора 12, який інтегрує напругу, значення якої встановлюється пропорційно номінальному фазовому зміщенню між фазами живлення електродвигуна 1 при відладці пристрою. Напруга  $U_6$  пілкоподібної форми поступає на пороговий елемент 13, де порівнюється з напругою уставки джерела  $E_3$  постійної вхідної дії. Пороговий елемент 13 має характеристику

$$U_{13} = \begin{cases} 1 & \text{при } U_{12} \geq E_3 \\ 0 & \text{при } U_{12} < E_3 \end{cases}$$

Фазова тривалість періоду імпульсів складає одну третину періоду живлячої напруги, і зростає при аварійних режимах: обриві однієї з фаз електродвигуна 1, глибокій несиметрії напруги живлення, двофазному і однофазному коротких замиканнях.

Як відомо, несиметрія напруги характеризується наявністю в трифазній електричній мережі напруги зворотньої або нульової послідовностей, значно менших по значенню відповідних складових напруги прямої, тобто основної послідовності. Як критерій оцінки несиметрії згідно ГОСТ 13109-97 введено два показники: коефіцієнт несиметрії напруги зворотньої послідовності  $K_2U$  і коефіцієнт несиметрії напруги нульової послідовності  $K_0U$ . Для систем електроспоживання цим ГОСТом встановлені для обох показників допустимі норми в 2% і гранично допустимі норми в 4%. Це жорсткі вимоги до якості електричної енергії, при цьому термін служби повністю навантаженого асинхронного електродвигуна, що працює при несиметрії напруги в 4% для електричних мережах з номінальною напругою 0,38 кВ, скорочується в 2 рази.

Оскільки, при несиметричному режимі в порівнянні з симетричним у асинхронних електродвигунів опір зворотньої послідовності приблизно в 5-8 разів менше опору прямої послідовності, тому навіть невелика несиметрія живлячої напруги викликає значні струми зворотньої послідовності, що веде до додаткового нагріву статора і ротора. Все це у результаті приводить до прискореного старіння ізоляції і зменшення фактичної потужності двигуна.

Таким чином, кількісний облік впливу ступеня несиметрії, тривалість несиметричного режиму, дозволяє понизити втрати електричної енергії, старіння і знос із-за перегріву ізоляції електродвигуна 1, представляють завдання, що вирішується при використанні пристрою захисту. Несиметрія трифазної системи напруги виникає в результаті накладення на систему прямої послідовності напруги системи зворотньої послідовності, що приводить до змін абсолютних значень фазних і міжфазних напруг. Несиметрія струмів може бути значнішою, ніж несиметрія напруги, і зумовлює істотні додаткові втрати. Поява несиметрії напруги завжди спричиняє за собою зменшення складової напруги прямої послідовності.

Настройка порогового елементу 13 на спрацьовування при фазовій тривалості порядку 120...140 електричних градусів забезпечує гарантоване відключення електродвигуна при всіх перерахованих вище аварійних режимах. Чим ближче значення уставки до 120 електричних градусів, що відповідає номінальному режиму, тим вища чутливість пристрою захисту до несиметрії струмів. Для установки порогу використовується джерело постійної вхідної дії  $E_1$ . При перевищенні вихідної напруги інтегратора 12 значення уставки  $E_3$  пороговий елемент 13 спрацьовує і на другий вхід блоку 4 залежної витримки часу поступає сигнал високого рівня, на виході якого з витримкою часу встановлюється рівень логічного нуля  $U_4 = 0$ , що подається на ключовий елемент 7, який розмикає ланцюг живлення

катушки 8 пускача, пускач відключається, а блок-контакт розмикає блокування кнопки ПУСК, електродвигун 1 від мережі також відключається. Пристрій знову готовий до чергового включення електродвигуна.

При нормальному робочому режимі на виході блоку 3 сигнал рівний логічному нулю  $U_3=0$ , а на виході блоку 4 залежної витримки часу  $U_4=1$ . При зниженні струму в одній з фаз до нуля на виході блоку 3 сигнал стає рівним логічній одиниці  $U_3=1$ , він передається на блок 4 залежної витримки часу, який видає сигнал  $U_4=0$  зі витримкою часу, перемикається ключовий елемент 7 та знімається живлення катушки 8 пускача. При цьому силові контакти і замикаючий блок-контакт пускача розмикається, напруга з електродвигуна 1 знімається і блок 9 живлення схеми пристрою буде також знеструмлений.

В відповідності до стандарту ГОСТ 27918-88 для релейних елементів зі спадаючою характеристикою час відключення  $t$ , який формується блоком 4 залежної витримки часу визначається з виразу

$$t = \frac{K}{\sqrt{\left(\frac{I^i}{I_m}\right)^\alpha - 1}}$$

$I^i$  – поточне значення струму електродвигуна 1, яке пропорційне сигналу на виході блоку 5;  
 $I_m$  - значення максимального допустимого струму, яке задається від джерела постійної вхідної дії  $E_2$ .

Для управління електродвигуном використовується спадаюча характеристика типу С, для якої  $K=80$ , а  $\alpha=2$ , тоді час  $t$  відключення електродвигуна 1 при залежній витримці обчислюється блоком 4 по виразу

$$t = \frac{80}{\sqrt{\left(\frac{I^i}{I_m}\right)^2 - 1}} \quad (1)$$

Блок 4 залежної витримки часу може бути виконаний з суматора, обчислювача, таймера, схеми управління і має характеристику

- 1** при  $U_3=0$  і  $U_5 \leq E_2$ , (нормальний режим) ;
- $U_4 = 0$  з затримкою по (1) при  $U_3=0$  та  $U_5 > E_2$ ,** (перевантаження, затягнутий пуск);
- 0 з затримкою  $t \leq 5$  сек при  $U_3=1$  та  $U_2 \leq E_2$ ,** (обрив, порушення симетрії фаз).

По алгоритму функціонування блоку 4 видно, що при значенні сигналу  $U_3 \leq E_2$  на його виході через проміжок часу, що не перевищує 5 сек встановлюється  $U_4=0$ , що приводить до відключення електродвигуна 1. При часу пуску електродвигуна 1, який не перевищує значення, пропорційного  $E_3$  сигнали з виходу блоку 2 через ключ аналоговий 5 не поступають на блок 4.

Датчики блоку 2 датчиків струму працюють в зоні після насичення магнітопроводів. Діапазон вимірювання струмів такими датчиками ширший, ніж в стандартних трансформаторах струму, що дозволяє застосувати один типорозмір датчика для двигунів середньої потужності. Особливістю таких датчиків є імпульсний характер вихідного сигналу, пропорційного по величині амплітуді струму. Тривалість таких сигналів складає порядку 0,1 періоду мережі. Високе значення початкової магнітної проникності матеріалу сердечників дозволяє отримати необхідну амплітуду на виході датчиків блоку 2 при числі витків вторинної обмотки не більше п'ятдесяти для забезпечення роботи пристрою в широкому діапазоні потужностей електродвигунів - від 1 до 120 кВт. Вихідний сигнал блоку 2 пропорційний струму навантаження, формується на початку кожного періоду амплітуди струму, що дозволяє без додаткових перетворень подавати сигнали датчиків на інші елементи пристрою. Це дозволяє забезпечити універсальність і високу

експлуатаційну надійність пристрою. Датчики одягаються на ізольовану частину струмоведучих живлячих провідників електродвигуна і тому не знаходяться під напругою живлячої мережі. Такі датчики мають масу та габарити на порядок нижчі, ніж при використанні стандартних трансформаторів струму. Це забезпечує простоту монтажу і обслуговування. Пристрій знаходиться включеним тільки під час роботи електродвигуна.

Пристрій дозволяє контролювати як наявність напруги в фазах, так і фазове зміщення, а також амплітуду струму навантаження електродвигуна. Для синхронізації моменту включення пристрою з початком пуску електродвигуна котушка 8 пускача і блок 9 живлення включені паралельно, а на блок 4 залежної витримки часу подається напруга джерела  $E_2$  постійної вхідної дії, яка визначає час витримки, завдяки цьому виключена необхідність в широкому діапазоні різновидностей пристрою.

Пристрій є безпечним, так як на нього не подається лінійна напруга і воно знаходиться включеним тільки по час роботи електродвигуна.

Застосування введеного блоку 4 залежної витримки часу, ключа аналогового 5, блоку таймера пуску 6 до складу пристрою захисту дозволяє уникнути збільшення втрат енергії, підвищення нагріву обмоток, порушень теплового режиму електродвигуна 1 при виникненні аварійного порушення несиметрії напруги, підвищити ефективність і надійність його функціонування, а також забезпечує відключення при інших аварійних ситуаціях: обрив фаз, зтягнутий пуск. Це також дозволяє уникнути технологічних перевантажень, зниження ККД і продуктивності робочих механізмів.

Для використання пристрою в широкому діапазоні потужностей електродвигуна, забезпечення високої вибіркової настройки використовуються джерела постійного вхідної дії, що дозволяють просто проводити налаштування на конкретну потужність електродвигуна по значенням допустимого значення зміщення фаз за допомогою джерела  $E_1$ , максимального струму -  $E_2$  і допустимого часу розгону -  $E_3$  залежно від умов технологічного процесу.

Використані джерела:

1. Патент України №7650. Дубовик В.Г., Агліулін В.Ф., Калінчик В.П. Пристрій захисту асинхронного електродвигуна від перевантаження та обриву фази. Н02Н 7/09. Бюл. №4. 26.12.95.
2. Патент України №12456. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М. Пристрій захисту асинхронного електродвигуна. Н02 Н07/09. Бюл. №1. 28.02.97.