



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **105150** (13) **C2**
(51) МПК

H02H 5/04 (2006.01)

H02H 7/085 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2013 10027</p> <p>(22) Дата подання заявки: 12.08.2013</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.04.2014</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 10.01.2014, Бюл.№ 1</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.04.2014, Бюл.№ 7</p>	<p>(72) Винахідник(и): Кобозєв Олександр Сергійович (UA), Середа Олександр Григорійович (UA), Заратуйко Анатолій Вікторович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Кобозєв Олександр Сергійович, пр. Перемоги, 78-б, кв. 62, м. Харків-204, 61204 (UA), Середа Олександр Григорійович, пр. Перемоги, 66, кв. 491, м. Харків-204, 61204 (UA), Заратуйко Анатолій Вікторович, вул. Грозненська, 44, кв. 87, м. Харків-124, 61124 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: RU 2227354 C2; 20.04.2004 RU 2355090 C1; 10.05.2009 SU 824360 A1; 23.04.1981 SU 886131 A1; 30.11.1981 UA 101084 C2; 12.12.2011 UA 33607 C2; 15.05.2002 UA 40488 U; 10.04.2009 Сивокобыленко В.Ф., Ткаченко С.Н. Тепловая защита асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при несимметрии питающего напряжения // Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського. Електричні машини і апарати.- Випуск 3/2009 (56). Частина 2.</p>
---	--

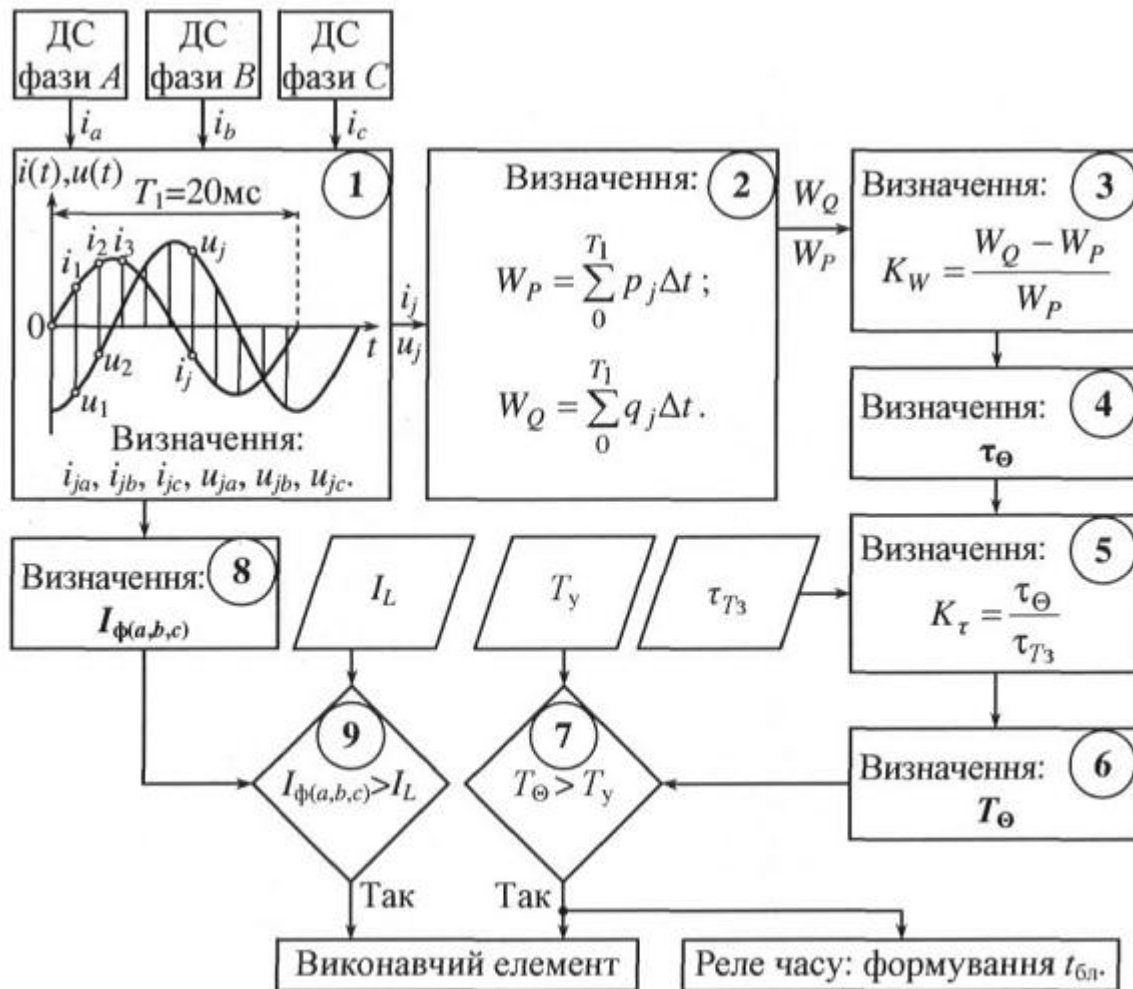
(54) СПОСІБ ЗАХИСТУ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВІД СТРУМІВ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ З БЕЗПОСЕРЕДНІМ КОНТРОЛЕМ ТЕМПЕРАТУРИ ОБМОТКИ В МОМЕНТ ПУСКУ

(57) Реферат:

Винахід належить до електричних апаратів і може бути використаний в пристроях теплового захисту трифазних електричних двигунів (ЕД) від струмів перевантаження, зокрема від неприпустимого перевищення температури обмоток асинхронних ЕД, що працюють в повторно-короткочасному режимі. Розроблено спосіб захисту ЕД, що працюють в повторно-короткочасному режимі, від струмів перевантаження, при якому визначення температури T_{Θ} обмотки ЕД здійснюють при кожному пуску тільки за рахунок аналізу співвідношення значень активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій, що споживаються в перший період виникнення пускового струму. При цьому аналізу підлягає лише залежність суми добутків дискретних (миттєвих) значень фазних струмів i_{ja}, i_{jb}, i_{jc} на дискретні значення напруг u_{ja}, u_{jb}, u_{jc} відповідно. Додатково при кожному повторному пуску ЕД за дискретними значеннями фазних струмів та напруг визначають величини активної W_P та реактивної W_Q електричних

UA 105150 C2

енергії, значення електромагнітної постійної часу τ_{Θ} електричного кола, що відповідає нагріванню обмотки в момент пуску ЕД, коефіцієнт $K_{\tau} = \tau_{\Theta} / \tau_{T_3}$, який характеризує наскільки величина постійної часу обмотки τ_{T_3} при заданій температурі T_3 більша за величину постійної часу τ_{Θ} нагрітої обмотки, після чого визначають температуру нагрітої обмотки T_{Θ} , потім знайдене значення T_{Θ} порівнюють з температурною уставкою T_y і у випадку, якщо $T_{\Theta} \geq T_y$, виробляють два керуючих сигнали: один на спрацьовування захисту і другий на формування часу блокування повторного вмикання $t_{\text{бл}}$.



Фіг. 3

Винахід належить до електричних апаратів і може бути використаний в пристроях (як спосіб) теплового захисту трифазних електричних двигунів (ЕД) від струмів перевантаження, зокрема від неприпустимого перевищення температури обмоток асинхронних ЕД, що працюють в повторно-короткочасному режимі.

5 Відомі [1] способи захисту ЕД від струмів перевантаження I_L , в яких захисна часострумова характеристика формується з використанням так званої "інтегральної" уставки Q_L :

$$Q_L = I_{\Phi}^2 t_L, \quad (1)$$

де I_{Φ} - середньоквадратичне значення фазного струму, t_L - час спрацьовування захисту при струмовому перевантаженні.

10 Використання інтегральної уставки при струмовому перевантаженні забезпечує зворотну залежність часу спрацьовування захисту t_L від квадрата величини фазного струму I_{Φ}^2 : $t_L = f(I_{\Phi}^2)$. Якщо термічне навантаження на ЕД, що захищається, перевищить значення інтегральної

15 уставки Q_L і відбудеться спрацьовування захисту, то алгоритм роботи захисного пристрою передбачає витримку часу повторного вмикання $t_{пв}$. Величина $t_{пв}$ вибирається з умови охолодження ЕД до регламентованого [2] значення температури. Це дозволяє здійснювати хоча б опосередкований, з використанням математичної моделі охолодження, контроль над температурним режимом ЕД, що є незаперечною перевагою застосування інтегральної захисної

20 характеристики з інтегральною уставкою Q_L . Водночас, зазначені параметри захисної характеристики негативно впливають на ефективність роботи технологічного обладнання, що працює в повторно-короткочасному режимі. Це обумовлено тим, що інтегральна уставка ЕД, що працює в складі вказаного обладнання, уповільнює роботу останнього та знижує його продуктивність. Тому в захисних пристроях від струмів перевантаження ЕД, призначених для роботи в повторно-короткочасному режимі, передові електротехнічні компанії виключають інтегральні уставки, замінюючи їх часовими. Часова уставка, величина якої порівняно невелика

25 (10÷30) с, істотно знижує час існування струму перевантаження й тим самим дозволяє швидше провести повторне вмикання ЕД.

Прикладом захисних пристроїв ЕД від струмів перевантаження є реле перевантаження за струмом TeSys LR97D та LT47 фірми "Schneider electric" [1]. Реле LR97D та LT47 розроблені для найбільш повного забезпечення захисту саме в повторно-короткочасному режимі роботи електродвигунів з підвищеним моментом навантаження таких механізмів, як конвеєри, дробарки та змішувачі, вентилятори, насоси та компресори, центрифуги й сушарки, преси, підйомники, обробні верстати тощо.

Поряд з перевагами способу захисту від перевантажень ЕД без використання інерційних інтегральних уставок слід відзначити і його недоліки. Основним недоліком є відсутність контролю рівня струмового та термічного навантажень, яких зазнають ЕД, не оснащені термісторами. У випадку досить агресивного режиму частих пусків без зниження навантаження на технологічне обладнання нагрів обмотки ЕД може значно перевищити припустимий рівень. Слід зазначити, що в повторно-короткочасному режимі значному нагріванню може піддаватися не весь ЕД в цілому, а лише його обмотки, зокрема їх ізоляція. Саме від величини перевищення температури ізоляції обмоток залежить термін служби ізоляції та ЕД в цілому. Вважають, що перегрів понад допустимого на кожні 8÷10 °С скорочує термін служби ізоляції в 2 рази (правило "восьми градусів" Монтзігера) [3].

Таким чином, контроль температури обмотки є важливим засобом забезпечення тривалого терміну служби електродвигунів.

45 Оскільки в динамічних захистах ЕД без інтегральної уставки Q_L відсутня можливість опосередкованого контролю температури обмотки ЕД, який здійснюється шляхом розрахунку температури за термічним впливом від струму, що протікає, виявляється доцільним використовувати спосіб безпосереднього контролю температури за допомогою вимірювання активного опору $R_{ед}$ обмотки електродвигуна.

50 Існує декілька технічних рішень безпосереднього контролю за температурою обмотки ЕД. Серед таких рішень, що використовують фірми ABB [4], Moeller [5] та Siemens [6], є вмонтовані в обмотки двигунів термістори та захист таких електродвигунів відповідними електронними реле. Термістори - це температурні датчики з позитивним температурним коефіцієнтом опору, які дозволяють безпосередньо вимірювати ступінь нагрівання обмотки двигуна, що дає можливість контролювати й оцінювати різні експлуатаційні умови: перегрів внаслідок недостатнього

охолодження, важкий пуск, часті вмикання та вимикання. Недоліком наведеного технічного рішення з теплового захисту ЕД є обмеженість застосування. Реле перевантаження з контролем температури за допомогою термісторів можуть застосовуватися тільки для захисту електродвигунів, в обмотки яких вбудовані термістори.

5 Тому більш універсальними є такі технічні рішення, в яких перевищення температури обмотки ЕД від струмових навантажень контролюють не за допомогою вимірювання опору спеціальних датчиків (термісторів), які ще потрібно вмонтувати в обмотку, а за допомогою вимірювання ступеня збільшення активного опору безпосередньо обмотки ЕД. Іншими словами, найкращим буде таке технічне рішення, коли як датчик температури використовувалася б

10 безпосередньо обмотка електродвигуна.

Таким технічним рішенням, що за постановкою та вирішенням відповідає проблемі використання безпосередньо обмотки ЕД як датчика температури, є спосіб захисту ЕД при перевантаженні та пристрій його реалізації, описані в [7]. Технічне рішення [7] передбачає вимірювання активного опору обмотки електродвигуна $R_{ед}$ з метою визначення її температури.

15 Вимірювання $R_{ед}$ здійснюють спеціальним пристроєм, який підключають до обмотки ЕД перед вмиканням останнього. Для під'єднання вузла вимірювання $R_{ед}$ та його відключення перед пуском ЕД, використовують проміжне реле, контакти якого з'єднують вимірювальний вузол з колом живлення обмотки ЕД.

20 Такий спосіб вимірювання опору $R_{ед}$ обмотки ЕД і подальшого визначення температури, незважаючи на перевагу, що полягає в можливості застосовувати його для електродвигунів без вбудованих термісторів, все ж має досить серйозні недоліки. По-перше, введення додаткового вузла вимірювання опору з проміжним реле, обумовлює підвищені габарити й вартість захисного пристрою та знижує надійність його роботи. По-друге, при використанні цього способу вимірювання $R_{ед}$ при захисті ЕД, що працюють в повторно-короткочасному режимі, знижується

25 динамічність роботи технологічного обладнання. Адже перед черговим пуском ЕД необхідно здійснювати всі описані вище операції під'єднання, вимірювання та від'єднання вузла виміру $R_{ед}$.

Визначити збільшення активного опору $R_{ед}$ нагрітої обмотки за рахунок відповідного зменшення величини пускового струму не виявляється можливим внаслідок малої значимості

30 збільшення повного опору $Z_{ед}$ обмотки ЕД при збільшенні тільки $R_{ед}$. Це обумовлено тим, що при пуску ЕД коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ електричного кола становить $0,2 \div 0,3$. У цьому випадку навіть при помітному збільшенні величини $R_{ед}$ величина $Z_{ед}$ зміниться дуже незначно.

Наприклад, при нагріванні на $\Delta T = 125$ °С активний опір $R_{ед}$ мідної обмотки збільшиться майже в

35 1,5 разу, а повний $Z_{ед}$ всього на $(3 \div 5)\%$. На стільки ж знизиться величина пускового струму. Така мала величина зміни діючого значення пускового струму, по-перше, порівнянна зі статистичною похибкою вимірювання, по-друге, вона менша за величину можливих коливань напруги кола, що призводять до відповідної зміни струму. Очевидно, що при такій малій зміні діючого значення пускового струму від підвищення температури й активного опору обмотки, цей параметр, що контролюється при пуску ЕД, не може бути використаний для застосування безпосередньо обмотки як датчика її температури. Для вирішення проблеми використання безпосередньо обмотки як датчика температури необхідно знайти інший контрольований

40 параметр процесу пуску ЕД, який буде більш значущим для контролю зміни $R_{ед}$. Як показав аналіз, результати якого наведені нижче, такими параметрами можуть служити не діючі, а миттєві (дискретні) значення параметрів процесів пуску, а саме дискретні значення струму й напруги, точніше їхні добутки: миттєві значення потужності. Іншими словами аналізу підлягає залежність суми добутків дискретних значень фазних струму i_{ja}, i_{jb}, i_{jc} на дискретні значення напруг u_{ja}, u_{jb}, u_{jc} відповідно.

З урахуванням вищевикладеного теоретичного обґрунтування був би доцільним такий

спосіб визначення величини активного опору $R_{ед}$ обмотки ЕД з метою контролю її температури,

50 в якому визначення $R_{ед}$ проводять без застосування будь-яких додаткових вузлів вимірювання, коли визначення активного опору обмотки ЕД, а потім і її температури здійснюють тільки за

рахунок аналізу співвідношення значень електричних енергій, активної W_P та реактивної W_Q , що споживаються в перший період виникнення пускового струму. Обчислення величин активної та реактивної енергій здійснюється за дискретними значеннями фазних струмів i_{ja} , i_{jb} , i_{jc} і напруг U_{ja} , U_{jb} , U_{jc} .

5 Найближчим за технічною суттю до винаходу, що заявляється: аналіз миттєвих (дискретних) значень параметрів процесу збурення електричного кола, зокрема пуск ЕД, є спосіб [8], в якому аналіз дискретних значень струму використовують для швидкого в перший період перехідного процесу визначення сталого середньоквадратичного значення струму при реалізації максимального струмового захисту, у відповідності з яким у кожній з трьох фаз а, b, c
10 здійснюють вимір струмів та їх аналого-цифрове перетворення в дискретні значення i_{ja} , i_{jb} , i_{jc} , потім визначають діючі значення фазних струмів I_a , I_b , I_c методом інтегрування квадратів знайдених дискретних значень i_{ja}^2 , i_{jb}^2 , i_{jc}^2 , після чого, якщо величина I_a , I_b або I_c виявляється більшою за значення струмової уставки перевантаження I_{sd} , виробляють керуючий сигнал на
15 спрацьовування захисту з визначеною витримкою часу t_{sd} . Недоліком вказаного способу визначення параметрів електричного кола на підставі аналізу дискретних значень струму є те, що значення постійної часу τ електричного кола вважається заданим (відомим), тоді як для вирішення задачі визначення температурного режиму обмотки електродвигуна постійну часу слід визначати.

В основу винаходу, що заявляється, поставлена задача розробити такий спосіб захисту електродвигунів від струмів перевантаження, при якому за рахунок додаткового аналізу
20 співвідношення значень активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій, що споживаються в перший період виникнення пускового струму, досягається спрощення функціонального складу пристрою захисту та забезпечується динамічність роботи як самого ЕД, так і технологічного устаткування, що працюють в повторно-короткочасному режимі. При цьому, як і в відомому
25 технічному рішенні, аналіз дискретних значень струму здійснюється в перший період зміни струму збурення електричного кола (пускового струму ЕД).

Контроль температури обмотки ЕД шляхом аналізу співвідношення значень, активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій, що споживаються в перший період виникнення пускового струму, дозволить:

30 - спростити функціональний склад пристрою захисту, тим самим зменшити фінансові витрати на його виготовлення, тому що не потрібні додаткові вузли вимірювання опору й пристрої керування ними;
- забезпечити динамічність роботи як самих ЕД, так і технологічного устаткування, що працюють в умовах повторно-короткочасного режиму, за рахунок того, що вимір перевищення
35 температури обмотки ЕД здійснюють дуже швидко, за час, що не перевищує 20 мс.

Поставлена задача реалізується в способі захисту асинхронних електродвигунів від струмів перевантаження з безпосереднім контролем температури обмотки в момент пуску, що містить
40 аналіз співвідношення значень активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій, що споживаються в перший період виникнення пускового струму, у відповідності з яким у кожній з трьох фаз а, b, c електродвигуна здійснюють вимір струмів та їх аналого-цифрове перетворення в дискретні значення i_{ja} , i_{jb} , i_{jc} , потім визначають діючі значення фазних струмів I_a , I_b , I_c методом інтегрування квадратів знайдених дискретних значень i_{ja}^2 , i_{jb}^2 , i_{jc}^2 , після чого, якщо величина I_a , I_b або I_c виявляється більшою за значення струмової уставки
45 перевантаження I_L , виробляють керуючий сигнал на спрацьовування захисту з визначеною витримкою часу t_L , за рахунок того, що додатково, при кожному повторному пуску електродвигуна здійснюють вимір лінійних напруг U_{jab} , U_{jbc} , U_{jac} у разі вимірювання потужності за схемою з двома ватметрами або фазних напруг U_{ja} , U_{jb} , U_{jc} у разі вимірювання потужності за схемою з одним ватметром і штучною нейтральною точкою, після чого з виразу

$W_P = \sum_0^{t=T_1} (u_{ja}i_{ja} + u_{jb}i_{jb} + u_{jc}i_{jc}) \Delta t$ визначають величину активної електричної енергії W_P , що споживає електродвигун з електричної мережі в перший період T_1 виникнення пускового

струму, потім з виразу $W_Q = \sum_0^{t=T_1} (u_{ja-T/4}i_{ja} + u_{jb-T/4}i_{jb} + u_{jc-T/4}i_{jc}) \Delta t$, де $j-T/4$ номер дискретного значення напруги, зміщеного на чверть періоду $T(\pi/2)$, визначають величину реактивної електричної енергії W_Q , якою обмінюється електродвигун з електричною мережею в перший

період T_1 виникнення пускового струму, після чого визначають відносне співвідношення активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій, як коефіцієнт $K_W = \frac{W_Q - W_P}{W_P}$, потім з табличної залежності $\tau = f(K_W)$ величини електромагнітної сталої часу τ електричного кола в функції коефіцієнта K_W

τ , мс	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0
K_W	2,1	1,99	1,82	1,66	1,50	1,32	1,15	1,03	0,81	0,61

визначають значення електромагнітної постійної часу τ_Θ електричного кола, що відповідає нагріванню обмотки в момент поточного пуску електродвигуна, після чого визначають коефіцієнт $K_\tau = \tau_\Theta / \tau_{T_3}$, який характеризує наскільки величина постійної часу обмотки τ_{T_3} при заданій температурі T_3 більша за величину постійної часу τ_Θ нагрітої обмотки, після чого

визначають температуру нагрітої обмотки T_Θ з виразу $T_\Theta = \frac{1 - K_\tau}{0,004K_\tau} + T_3$ °C, потім знайдене значення температури T_Θ порівнюють з температурною уставкою T_y і у випадку, якщо $T_\Theta \geq T_y$, виробляють два керуючих сигнали: один на спрацьовування захисту і другий на формування часу блокування повторного вмикання $t_{бл}$. Саме за рахунок того, що додатково, при кожному

повторному пуску електродвигуна здійснюють вимір лінійних напруг U_{jab} , U_{jbc} , U_{jac} у разі вимірювання потужності за схемою з двома ватметрами або фазних напруг U_{ja} , U_{jb} , U_{jc} у разі вимірювання потужності за схемою з одним ватметром і штучною нейтральною точкою, після

чого з виразу $W_P = \sum_0^{t=T_1} (u_{ja}i_{ja} + u_{jb}i_{jb} + u_{jc}i_{jc}) \Delta t$ визначають величину активної електричної енергії W_P , що споживає електродвигун з електричної мережі в перший період T_1 виникнення

пускового струму, потім з виразу $W_Q = \sum_0^{t=T_1} (u_{ja-T/4}i_{ja} + u_{jb-T/4}i_{jb} + u_{jc-T/4}i_{jc}) \Delta t$, де $j-T/4$ номер дискретного значення напруги, зміщеного на чверть періоду $T(\pi/2)$, визначають величину реактивної електричної енергії W_Q , якою обмінюється електродвигун з електричною мережею в перший період T_1 виникнення пускового струму, після чого визначають відносне співвідношення

активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій, як коефіцієнт $K_W = \frac{W_Q - W_P}{W_P}$, потім з табличної $\tau = f(K_W)$ величини електромагнітної сталої часу τ електричного кола в функції коефіцієнта K_W

τ , мс	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0
K_W	2Д	1,99	1,82	1,66	1,50	1,32	1,15	1,03	0,81	0,61

визначають значення електромагнітної постійної часу τ_{\ominus} електричного кола, що відповідає нагріванню обмотки в момент поточного пуску електродвигуна, після чого визначають коефіцієнт $K_{\tau} = \tau_{\ominus} / \tau_{T_3}$, який характеризує наскільки величина постійної часу обмотки τ_{T_3} при заданій температурі T_3 більша за величину постійної часу τ_{\ominus} нагрітої обмотки, після чого

5 визначають температуру нагрітої обмотки T_{\ominus} з виразу
$$T_{\ominus} = \frac{1 - K_{\tau}}{0,004 K_{\tau}} + T_3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$
, потім знайдене значення температури T_{\ominus} порівнюють з температурною уставкою T_y і у випадку, якщо $T_{\ominus} \geq T_y$, виробляють два керуючих сигнали: один на спрацьовування захисту і другий на формування часу блокування повторного вмикання $t_{\text{бл}}$, і забезпечується динамічність роботи як самих ЕД, так і технологічного устаткування, що працюють в повторно-короткочасному режимі, а також знижуються фінансові витрати на виготовлення захисного пристрою.

10 Можливість контролю активного опору, а отже й температури обмотки ЕД, за рахунок аналізу співвідношення активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій, що споживає ЕД в початковий момент часу його пуску (перші 20 мс), зумовлена виявленими особливостями зміни величин W_P та W_Q в перехідному режимі зміни пускового струму.

15 За допомогою математичного моделювання процесу пуску асинхронного ЕД було проаналізовано як змінюються значення W_P та W_Q в функції електромагнітної постійної часу τ електричного кола за час, що дорівнює першому періоду T_1 зміни пускового струму. Такий малий проміжок часу (один період дорівнює 20 мс), протягом якого аналізуються величини W_P та W_Q , необхідний для того, щоб виключити вплив на вимірювання величини τ обертання ротора ЕД. Значення коефіцієнта потужності $\cos\phi$ електродвигуна змінюється від величини $0,2 \div 0,3$ на початку пуску до значення $0,9$ при виході в режим холостого ходу [9]. При збільшенні швидкості обертання ЕД, відповідно, змінюється і значення постійної часу τ . Тому, щоб точніше визначити вплив на постійну часу τ саме нагріву обмотки, необхідно визначити величину τ якнайшвидше, до того, як ротор ЕД почне обертатися.

25 З урахуванням викладеного вище наукового обґрунтування значення W_P та W_Q , які використовувались для визначення постійної часу нагрітої обмотки ЕД, визначалися за проміжок часу, що дорівнює одному першому періоду T_1 зміни струму з наступних виразів:

$$W_P = \sum_0^{T_1} p_j \Delta t ; (2)$$

$$W_Q = \sum_0^{T_1} q_j \Delta t , (3)$$

30 де p_j й q_j - дискретні значення активної та реактивної потужностей, відповідно; Δt - часовий інтервал дискретизації аналогових залежностей струму і напруги в часі.

Аналіз показав, що величини W_P та W_Q за час, що дорівнює першому періоду зміни пускового струму, по-перше, не залежать від моменту виникнення пускового струму, по-друге, відносна різниця зазначених величин однозначно визначається величиною електромагнітної постійної часу τ електричного кола.

35 На фіг. 1 наведені залежності $W_P(t)$ та $W_Q(t)$, знайдені за умови, що амплітудні значення струмів I_m та напруг U_m при розрахунку миттєвих потужностей p_j та q_j , а відповідно і при розрахунках значень W_P и W_Q , дорівнюють одиниці. Вочевидь, що значення W_P та W_Q відрізняються одне від одного тим сильніше, чим більша постійна часу τ електричного кола. Чим 40 більша τ , тим більша різниця $W_Q - W_P$. Тому за різницею $W_Q - W_P$, розрахованою в перші 20 мс після пуску ЕД, можливо отримати інформацію про величину τ обмотки ЕД, а отже і про величину її температури.

Проте використовувати різницю $W_Q - W_P$ реактивної та активної енергій як критерію оцінки зміни постійної часу обмотки ЕД при її нагріві, в загальному випадку, коли величина струму не 45 дорівнює одиниці, неможливо, тому що величина $W_Q - W_P$ залежить від значення пускового

струму ЕД. Тому як критерій оцінки зміни постійної часу обмотки ЕД при її нагріві доцільніше використовувати відносне співвідношення величин активної W_P і реактивної W_Q енергій, що характеризується коефіцієнтом K_W :

$$K_W = \frac{W_Q - W_P}{W_P} \quad (4)$$

- 5 На фіг. 2 наведена залежність величини коефіцієнта K_W від значень постійної часу τ електричного кола. Як видно з наведеної залежності при зміні постійної часу від $\tau=7$ мс ($\cos\varphi=0,195$) до $\tau=16$ мс ($\cos\varphi=0,415$), тобто в 2,28 разу, значення коефіцієнта K_W змінюється від величини 0,61 до 2,1, тобто майже в 3,5 разу. Це означає, що коефіцієнт K_W дійсно є достатньо значущим параметром для оцінки зміни постійної часу обмотки ЕД при її нагріванні, а, зрештою, і для оцінки температурного режиму обмотки ЕД.

- 10 Щоб оцінити значущість коефіцієнта K_W для визначення величини зміни опору обмотки ЕД при її нагріванні, припустимо, що електромагнітна постійна часу обмотки ЕД при навколишній температурі $T_{nc}=25$ °С дорівнює $\tau_{25}=15,6$ мс (відповідає $\cos\varphi=0,2$). Допустимою температурою обмотки для ізоляції класу "В", при якій зберігається регламентований термін служби цієї ізоляції [2], є температура $T_B=155$ °С. Оцінимо, як зміниться значення коефіцієнта K_W при нагріванні обмотки до вказаної температури.

- 15 Опір мідного дроту обмотки при нагріванні на $\Delta T=130$ °С зростає в 1,55 разу: $R_{155}=1,55 \cdot R_{25}$. Відповідно, постійна часу τ нагрітої до $T_B=155$ °С обмотки знизиться в 1,55 рази: $\tau_{155}=0,645 \tau_{25}=10,06$ мс. Якщо проаналізувати залежність $K_W = f(\tau)$, наведену на фіг. 2, то неважко переконатися, що при зміні величини τ в 1,55 разу, значення коефіцієнта K_W зміниться в 1,75 разу. Тим самим підтверджується значущість коефіцієнта K_W для оцінки постійної часу τ , а відповідно й опору $R_{ед}$, та, зрештою, температури обмотки ЕД.

- 20 Таким чином, безпосередньо обмотка ЕД, дійсно, може бути датчиком її температури, якщо як параметр, що характеризує зміну опору нагрітої обмотки, використовувати миттєві екстремальні значення сумарної для трьох фаз активної потужності, що споживається ЕД в початковий момент часу після пуску. За рахунок того, що в технічному рішенні, що пропонується, контроль за збільшенням опору нагрітої обмотки, а отже і температурою обмотки електродвигуна перед кожним його пуском здійснюється тільки виходячи з залежності $\tau = f(K_W)$ без жодних додаткових вузлів вимірювання опору обмотки і пристроїв їхнього керування, значно спрощується конструкція пристрою захисту при реалізації цього способу та знижуються фінансові витрати на його виготовлення. А за рахунок швидкого аналізу співвідношення активної та реактивної енергій, за час менший ніж 20 мс, забезпечується динамічність роботи як самих ЕД, так і технологічного устаткування, що працюють в умовах повторно-короткочасного режиму.

- 35 Алгоритм побудови захисту електродвигунів від струмів перевантаження з безпосереднім контролем температури обмотки в момент пуску шляхом аналізу співвідношення активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій, що споживає ЕД в перший період зміни пускового струму, полягає в наступному.

- 40 Перед кожним пуском ЕД визначають співвідношення активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій, що споживає ЕД в перехідному режимі пуску та характеризується коефіцієнтом K_W . За величиною K_W визначають електромагнітну постійну часу τ_{Θ} електричного кола, що відповідає нагріванню обмотки в момент чергового поточного пуску ЕД. Порівнюють значення постійної часу обмотки τ_{Θ} , відповідного її нагрітого стану, із заданим значенням τ_{τ} , та визначають коефіцієнт зниження величини постійної часу нагрітої обмотки $K_{\tau} = \tau_{\Theta} / \tau_{\tau}$. Визначають відповідне збільшення величини активного опору нагрітої обмотки, а отже і температуру обмотки T_{Θ} в момент чергового пуску.

На фіг. 3 наведена блок-схема, що ілюструє роботу мікропроцесорного пристрою захисту при реалізації способу захисту ЕД від струмів перевантаження, що заявляється. Окремі обчислювальні та логічні операції, які виробляє мікропроцесорний пристрій, умовно

представлені у вигляді модулів. Фізично зазначені модулі не існують, їх використання необхідне для зручності викладення функціонування мікропроцесорного пристрою при реалізації запропонованого способу струмового захисту.

Функціонує мікропроцесорний пристрій у такий спосіб:

- 5 1. У модулі 1 аналогові сигнали від датчиків струму й напруги у фазах а, b, с перетворюють у дискретні значення $i_{j(a,b,c)}$ й $u_{j(a,b,c)}$ відповідно.

2. У модулі 2 визначають значення активної

$$W_P = \sum_0^{t=T_r} (u_{ja}i_{ja} + u_{jb}i_{jb} + u_{jc}i_{jc}) \Delta t$$

та реактивної

10
$$W_Q = \sum_0^{t=T_r} (u_{ja-T/4}i_{ja} + u_{jb-T/4}i_{jb} + u_{jc-T/4}i_{jc}) \Delta t$$

енергій, що споживає ЕД в перший період зміни пускового струму, де $j-T/4$ номер дискретного значення напруги, зміщеного на чверть періоду $T (\pi/2)$.

3. У модулі 3 визначають коефіцієнт K_W , який характеризує співвідношення активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій, що споживає ЕД в перехідному режимі пуску.

- 15 4. У модулі 4 за величиною K_W визначають значення електромагнітної постійної часу τ_Θ електричного кола, що відповідає нагріванню обмотки в момент чергового поточного пуску.

5. У модулі 5 визначають коефіцієнт $K_\tau = \tau_\Theta / \tau_{T_3}$, що характеризує збільшення постійної часу τ_Θ нагрітої обмотки в порівнянні з заданим значенням τ_{T_3} , яке дорівнює температурі обмотки, при якій термін служби ізоляції відповідає нормованому.

- 20 6. У модулі 6 визначають температуру обмотки ЕД за виразом:

$$T_\Theta = \frac{1-K_\tau}{0,004K_\tau} + T_3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

7. У модулі 7 знайдене значення температури T_Θ порівнюють з температурною уставкою T_y і у випадку, якщо $T_\Theta \geq T_y$, виробляють два керуючих сигнали:

- 25 - "Так" на виконавчий елемент (ВЕ) захисного пристрою;
- "Так" на формування витримки часу $t_{\text{бл}}$ повторного пуску ЕД.

8. У модулі 8 визначають діючі значення фазних струмів I_a, I_b, I_c в момент пуску ЕД.

9. У модулі 9 виконують порівняння значень фазних струмів I_a, I_b, I_c з величиною максимальної струмової уставки I_L . Якщо величина струму в одній з фаз а, b, с виявиться більшою за задане значення I_L виробляють керуючий сигнал "Так" на виконавчий елемент захисного пристрою.

Мікропроцесорний захисний пристрій при роботі за наведеним алгоритмом формує нову, більш досконалу, в порівнянні з існуючими, захисну характеристику від струмів перевантажень електродвигунів, які працюють в повторно-короткочасному режимі.

Переваги отриманої захисної характеристики полягають у наступному:

- 35 - передбачений контроль над температурним режимом обмоток асинхронних електродвигунів, не оснащених термісторами;

- у порівнянні з аналогічними захистами відсутність додаткових вузлів вимірювання опору для контролю температури нагрітої обмотки ЕД. Таким чином, запропонований спосіб захисту асинхронних електродвигунів від струмів перевантаження з безпосереднім контролем температури обмотки в момент пуску, вирішує поставлену в основу винаходу задачу:

- 40 - за рахунок відсутності додаткових вузлів вимірювання активного опору обмотки й пристроїв їхнього керування значно спрощується конструкція захисного пристрою та зменшуються фінансові витрати на його виготовлення.

- 45 - за рахунок швидкого аналізу співвідношення активної W_P та реактивної W_Q електричних енергій забезпечується динамічність роботи як самих електродвигунів, так і технологічного устаткування, що працюють в повторно-короткочасному режимі.

Джерела інформації:

1. Пускорегулирующая аппаратура TeSys / Каталог Schneider Electric. - 2007. - 567 с.

2. ГОСТ Р МЭК 60085-2011 Электрическая изоляция. Классификация и обозначение по термическим свойствам. Введен 01.06.2012.

3. Закладной А.Н. Методы оценки срока службы асинхронных электродвигателей / Закладной А.Н., Закладной О.А. // Энергетика та електрифікація. - 2010. - №4. - С. 63-67.

5 4. Низковольтное оборудование АВВ. Контактторы, реле управления, аппараты защиты электродвигателей / Технический каталог АВВ. - 2010. - 366 с.

5. Пуск и защита электродвигателей / Каталог продукции Moeller. - 2009. - 176 с.

6. Low-Voltage Controls and Distribution Siemens. SIRIUS-SENTRON-SIVACON / Catalog Siemens LV 1. - 2007. - 1270 с.

10 7. Пат. № 2227354 Российской Федерации МПК H02H5/04, H02H7/06. - № 2002108251/092002108251/09. Заявлено 01.04.2002; Опубл. 20.04.2004.

8. Пат. №2355090 Российской Федерации МПК H02H3/08. - № 2007134556/09. Заявлено 17.09.2007; Опубл. 10.05.2009.

15 9. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. Учебн заведений.-3-е изд., перераб. - Л.: Энергия, 1978. - 832 с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

20

Спосіб захисту асинхронних електродвигунів від струмів перевантаження з безпосереднім контролем температури обмотки в момент пуску, що містить аналіз співвідношення значень активної W_p та реактивної W_Q електричних енергій, що споживаються в перший період виникнення пускового струму, у відповідності з яким у кожній з трьох фаз а, b, с електродвигуна здійснюють вимір струмів та їх аналого-цифрове перетворення в дискретні значення i_{ja} , i_{jb} , i_{jc} , потім визначають діючі значення фазних струмів I_a , I_b , I_c методом

25

інтегрування квадратів знайдених дискретних значень i_{ja}^2 , i_{jb}^2 , i_{jc}^2 , після чого, якщо величина I_a , I_b або I_c виявляється більшою за значення струмової уставки перевантаження I_L , виробляють керуючий сигнал на спрацьовування захисту з визначеною витримкою часу t_L , який **відрізняється** тим, що додатково, при кожному повторному пуску електродвигуна здійснюють вимір лінійних напруг u_{jab} , u_{jbc} , u_{jac} у разі вимірювання потужності за схемою з двома ватметрами або фазних напруг u_{ja} , u_{jb} , u_{jc} у разі вимірювання потужності за схемою з одним

30

ватметром і штучною нейтральною точкою, після чого з виразу $W_p = \sum_0^{t=T_1} (u_{ja}i_{ja} + u_{jb}i_{jb} + u_{jc}i_{jc})\Delta t$

35

визначають величину активної електричної енергії W_p , що споживає електродвигун з електричної мережі в перший період T_1 виникнення пускового струму, потім з виразу

$W_Q = \sum_0^{t=T_1} (u_{ja-T/4}i_{ja} + u_{jb-T/4}i_{jb} + u_{jc-T/4}i_{jc})\Delta t$, де $j-T/4$ номер дискретного значення напруги,

зміщеного на чверть періоду $T(\pi/2)$, визначають величину реактивної електричної енергії W_Q , якою обмінюється електродвигун з електричною мережею в перший період T_1 виникнення пускового струму, після чого визначають відносне співвідношення активної W_p та реактивної

40

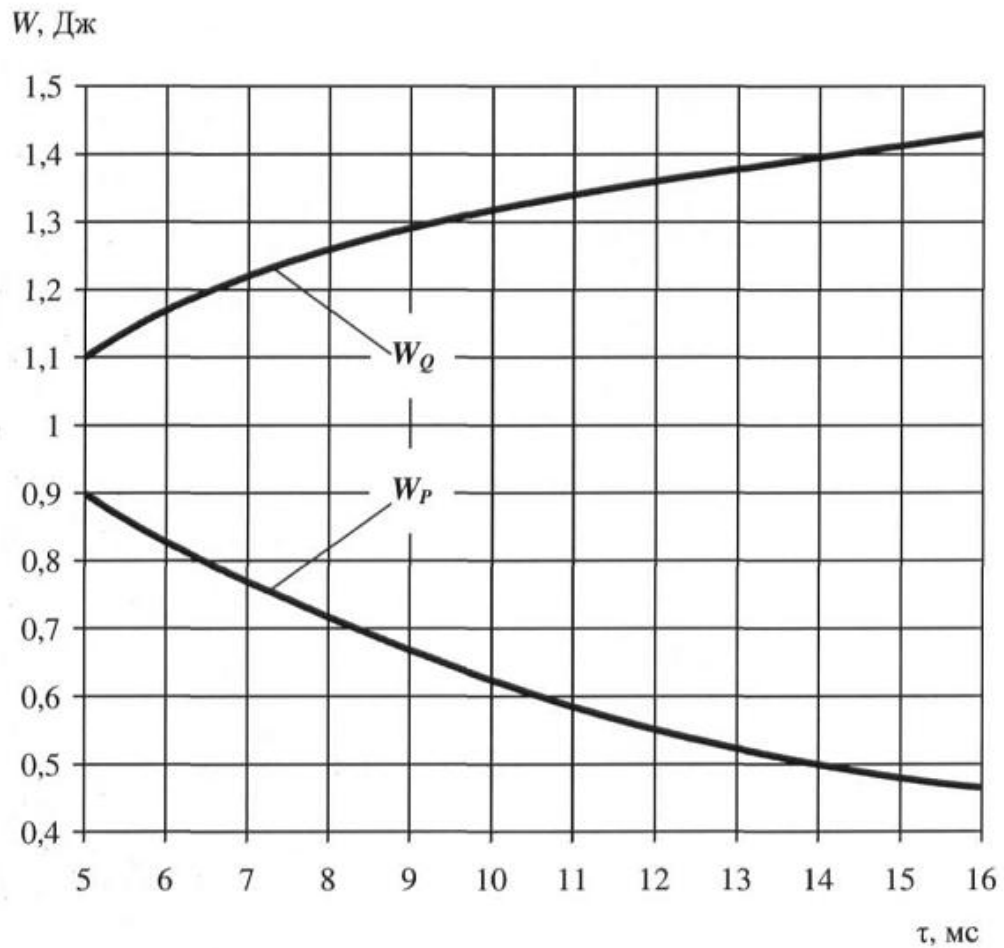
W_Q електричних енергій, як коефіцієнт $K_W = \frac{W_Q - W_p}{W_p}$, потім з табличної залежності $\tau = f(K_W)$ величини електромагнітної сталої часу τ електричного кола в функції коефіцієнта K_W

τ , мс	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0
K_W	2,1	1,99	1,82	1,66	1,50	1,32	1,15	1,03	0,81	0,61

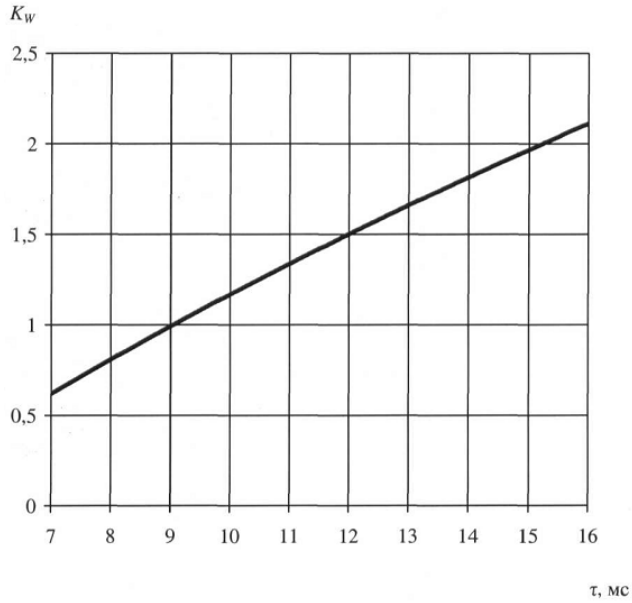
45

визначають значення електромагнітної постійної часу τ_Θ електричного кола, що відповідає нагріванню обмотки в момент поточного пуску електродвигуна, після чого визначають коефіцієнт $K_\tau = \tau_\Theta / \tau_{T_3}$, який характеризує наскільки величина постійної часу обмотки τ_{T_3} при заданій температурі T_3 більша за величину постійної часу τ_Θ нагрітої обмотки, після чого

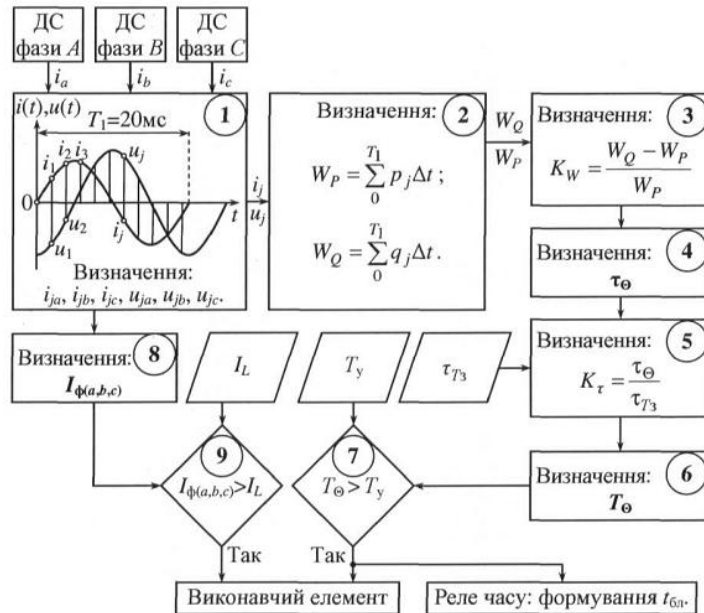
визначають температуру нагрітої обмотки T_{Θ} з виразу $T_{\Theta} = \frac{1 - K_{\tau}}{0,004K_{\tau}} + T_3, ^\circ\text{C}$, потім знайдене значення температури T_{Θ} порівнюють з температурною уставкою T_y і у випадку, якщо $T_{\Theta} \geq T_y$, виробляють два керуючих сигнали: один на спрацьовування захисту і другий на формування часу блокування повторного вмикання $t_{\text{бл}}$.



Фіг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601