



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 101925

(13) U

(51) МПК

H02H 7/08 (2006.01)

H02H 7/085 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2015 02807	(72) Винахідник(и):	Лебедєв Лев Миколайович (UA), Дубовик Володимир Григорович (UA), Ващенко Микола Андрійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	27.03.2015	(73) Власник(и):	НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", пр. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	12.10.2015		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	12.10.2015, Бюл.№ 19		

(54) СПОСІБ ЗАХИСТУ ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ВІД СТРУМОВИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ

(57) Реферат:

Спосіб захисту трифазного електродвигуна від струмових перевантажень включає формування інформаційної точки часових рядів часткових сум квадратів струмів фаз трифазного електродвигуна. Формують три перші ланки часових рядів з часткових сум квадратів струмів трьох фаз трифазного електродвигуна. За інформацією трьох перших ланок визначають фази з найбільшими та найменшими струмами. Для фази з найбільшим струмом формують наступні ланки часового ряду, а також продовжують формувати часовий ряд фази з найбільшими значеннями часткових сум квадратів струмів на період з моменту формування сигналу на відключення трифазного електродвигуна до моменту обнуління всіх складових елементів часового ряду, або впродовж 3...4 постійних часу нагріву трифазного електродвигуна після фактичного його відключення від мережі живлення. При перевищенні заданого рівня відносної різниці між значеннями часткових сум квадратів струмів фаз з найбільшим та найменшим навантаженнями формують попереджувальний переривистий сигнал, з частотою пропорційною цій різниці.

UA 101925 U

Корисна модель належить до електротехніки і може бути використана для захисту трифазного електродвигуна від струмових перевантажень, також в режимах з частими пускам, з контролем несиметрії.

Відомий спосіб захисту електродвигуна, що включає безперервне вимірювання струму електродвигуна, формування сигналу пропорційного квадрату струму електродвигуна, усереднювання вказаного сигналу в часі, відключення електродвигуна від мережі при перевищенні гранично допустимої тривалості струмового перевантаження. Недоліком відомого способу є те, що він має низьку надійність по тому, що усереднення сигналу струму навантаження здійснюється на конкретному, прийнятому за допомогою розрахунку часу усереднення, яке не враховує тепловий стан електродвигуна перед пуском [1].

Найбільш близьким аналогом до способу, який заявляється, є спосіб захисту електродвигуна, що включає безперервне вимірювання амплітудних значень струмів електродвигуна, зведення їх в квадрат, формування часового ряду квадратів струмів, видалення останнього значення часового ряду при надходженні чергового значення квадрата струму електродвигуна, зміщення на крок уперед вмісту елементів пам'яті часового ряду, встановлення на перше місце часового ряду знов виміряного значення квадрата струму і підсумовування його до вмісту решти елементів пам'яті, при перевищенні суми квадратів струму в будь-якому елементі пам'яті заданого рівня формують сигнал на відключення електродвигуна від мережі живлення. Недоліком способу є низька надійність захисту при короточасних повторних пускових навантаженнях електродвигуна, так як, не враховується тепловий стан на момент чергового його пуску [2].

В найближчому аналозі визначають еквівалентні струми з часом усереднення від $n \cdot \Delta t$ до $m \cdot n \cdot \Delta t$, де Δt - крок дискретизації вимірів датчика струму; n - кратність дискретизації інформаційної точки; m - кількість елементів часового ряду. Такий спосіб дозволяє захищати електродвигун не залежно від виду його перевантаження, але якщо для розрахунку еквівалентного струму використовують короткі проміжки часу його усереднення, наприклад, секунди, то виявити незначні (5 %...10 %), але тривалі струмові перевантаження неможливо. Якщо еквівалентний струм визначають на тривалому проміжку часу усереднення, наприклад, сумісному з тепловою постійною часу нагріву електричної машини, то неможливо вчасно виявити перевантаження пусковими струмами, особливо при частих пусках. Для того, щоб врахувати попередній на момент чергового пуску еквівалентний струм електричної машини, необхідно формувати часовий ряд часткових сум квадратів струму після відключення електричної машини від мережі живлення протягом $(3...4)T_n$, що дозволить контролювати еквівалентний струм електричної машини під час відімкнення його від мережі живлення. Щоб скоротити m - кількість елементів часового ряду необхідно їх формувати з ланок з наростаючою кратністю часу усереднення інформаційних точок. Цей спосіб також не дозволяє попередити аварійну ситуацію, наприклад, при поступовому збільшенні опору контактів автоматичного вимикача або контактора, що підключає мережу живлення, не дає змогу оцінити рівень різниці між еквівалентними струмами фаз електродвигуна.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення надійності захисту трифазного електродвигуна від струмових перевантажень з урахування теплового стану в момент пуску, а також підвищення функціональних можливостей шляхом формування переривистого попереджувального сигналу, частота якого залежить від різниці між еквівалентними струмами фаз електродвигуна при виникненні несиметричного навантаження.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб захисту трифазного електродвигуна від струмових перевантажень, що включає вимірювання рівнів струмів трифазного електродвигуна, визначення значень їх квадратів, формування часового ряду часткових сум квадратів струмів, видалення останнього значення часового ряду при надходженні чергового значення квадрата струму трифазного електродвигуна, зміщення на крок вперед вмісту усіх елементів часового ряду, встановлення на перше місце часового ряду знов виміряного значення квадрату струму і підсумовування його до вмісту решти елементів часового ряду, формування сигналу на відключення трифазного електродвигуна від мережі живлення при перевищенні суми квадратів струму в будь-якому елементі часового ряду допустимого рівня, згідно з корисною моделлю, формують інформаційні точки часових рядів часткових сум квадратів струмів фаз трифазного електродвигуна, формують три перші ланки часових рядів з часткових сум квадратів струмів трьох фаз трифазного електродвигуна, по інформації трьох перших ланок визначають фази з найбільшими та найменшими струмами, для фази з найбільшим струмом формують наступні ланки часового ряду, а також продовжують формувати часовий ряд фази з найбільшими значеннями часткових сум квадратів струмів на період з моменту формування сигналу на

відключення трифазного електродвигуна до моменту обнуління всіх складових елементів часового ряду, або впродовж 3...4 постійних часу нагріву трифазного електродвигуна після фактичного його відключення від мережі живлення, а при перевищенні заданого рівня відносної різниці між значеннями часткових сум квадратів струмів фаз з найбільшим та найменшим навантаженнями формують попереджувальний переривистий сигнал, з частотою пропорційною цій різниці.

Електродвигуни загальнопромислового призначення основного виконання можуть працювати в різних режимах S1-S6, відповідно до ГОСТ 28173 (МЭК 60034-1).

Наприклад, при періодично повторно-короткочасному режимі S4 з впливом пускових процесів відбувається послідовність ідентичних циклів роботи, кожен з яких включає час пуску Δt_0 , час роботи при постійному навантаженні Δt_p , за яке двигун не нагрівається вище за допустиму температуру Θ_{\max} , і час стоянки Δt_R , за який двигун не охолоджується до температури навколишнього середовища.

Допустиме число пусків в годину Z електродвигуна, що має динамічний момент інерції ротора J_M , кг·м², що працює в режимі S4 із статичним навантаженням на валу, визначуваним потужністю P_2 , кВт, і динамічним навантаженням, визначуваним динамічним моментом інерції машини J_{EXT} , кг·м², орієнтовно можна визначити по формулах:

$$Z = Z_0 \cdot \frac{K_M \cdot K_P}{F_J}, \quad K_M = 1 - \frac{m_{ст.ср}}{m_{д.ср}},$$

$$K_P = 1 - \left(\frac{P_2}{P_{2H}} \right) \cdot \frac{(1 - K_0) \cdot \frac{ПВ}{100}}{(1 - K_0) \cdot \frac{ПВ}{100} + \left(1 - \frac{ПВ}{100} \right) \cdot \beta_0},$$

$$F_J = \frac{J_M + J_{EXT}}{J_M}, \quad m_{д.ср} = \frac{m_n + 2 \cdot m_k + 2 \cdot m_M + 1}{6},$$

де:

Z_0 - допустиме число пусків в годину двигуна без статичного і динамічного навантаження на валу;

$m_{ст.ср}$ - відносне значення середнього за час розгону статичного моменту на валу електродвигуна;

$m_{д.ср}$ - відносне значення середнього за час розгону моменту обертання електродвигуна.

Час Δt_0 , з розгону двигуна до номінальної швидкості обертання визначається по формулі:

$$\Delta t_0 = 0,109 \cdot \left(\frac{n_1}{100} \right) \cdot \frac{J_M + J_{EXT}}{P_{2H}} \cdot \frac{1}{m_{д.ср} \cdot m_{ст.сз}};$$

При зміні окремих періодів повторно-короткочасного режиму відбувається струмове перевантаження трифазного електродвигуна і його температура може перевищувати допустиме значення Θ_{\max} .

У трифазних електродвигунах несиметрія фаз ротора може з'явитися також в результаті зміни значення опору окремих фаз.

При симетричній напрузі мережі U_1 і частоті мережі f_1 в статорі протікають струми $I_{1(1)}$. Поле, що обертається, створене цими струмами, наводить в обмотці ротора електрорушійну силу (ЕРС) E_{2s} з частотою $f_2 = f_s$. Унаслідок того, що опори фаз ротора неоднакові, струми в них будуть різні. Несиметричну систему струмів ротора можна розкласти на пряму і зворотну послідовності. Як струми прямої $I_{2(1)}$, так і струм зворотної $I_{2(2)}$ послідовностей створюють магнітні поля, що обертаються. Кутові швидкості цих полів щодо ротора однакові і залежать від частоти f_2 по виразу $2\pi f_2 / p = 2\pi f_s / p = \omega_1 s$.

Оскільки струми ротора прямої і зворотних послідовностей мають різний порядок чергування фаз, те поле, створене струмами прямої послідовності, обертається в ту ж сторону, що і ротор, а поле, створене струмами зворотної послідовності, - у бік, протилежну обертанню ротора.

У просторі, тобто щодо нерухомого статора, ці поля обертаються з різною швидкістю. Поле прямої послідовності ротора обертається в просторі з швидкістю, рівною $\omega + \omega_1 s = \omega_1(1-s) + \omega_1 s = \omega_1$, звідки витікає, що поле прямої послідовності ротора має ту ж швидкість ω_1 , що і поле, створене струмами статора $I_{1(1)}$. В результаті в електродвигуні утворюється результуюче магнітне поле прямої послідовності $\Phi^{(1)}$ створене сумісною дією струмів $I_{1(1)}$ та $I_{2(1)}$.

Взаємодія струму ротора $I_{2(1)}$ з потоком $\Phi^{(1)}$ створює обертаючий момент прямої послідовності $M_{(1)}$. Поле зворотної послідовності ротора обертається в просторі з швидкістю, рівній різниці $\omega + \omega_1 s = \omega_1(1-s) + \omega_1 s = \omega_1(1-2s)$.

Сумісна дія струмів $I_{2(2)}$ і $I_{1(2)}$ створює в трифазному електродвигуні магнітний потік зворотної послідовності $\Phi^{(2)}$. Взаємодія вторинного струму $I_{1(2)}$ з цим потоком утворює обертаючий момент зворотної послідовності $M_{(2)}$.

Таким чином, при несиметрії фаз ротора в електродвигуні виникають два моменти. Результуючий момент буде рівний їх алгебраїчній сумі $M = M_{(1)} + M_{(2)}$.

Крім того, для трифазного електродвигуна при несиметрії живлячої напруги лінійна напруга між фазами статора не рівна ($U_{AB} \neq U_{BC} \neq U_{CA}$). Несиметрична система напруги має складові прямої $U_{1(1)}$ і зворотної $U_{1(2)}$ послідовностей. Ці складові мають однакову частоту f , але відрізняються по амплітуді і порядку проходження фаз. Зазвичай $U_{1(1)} > U_{1(2)}$.

Кожна з складових викликає в обмотці статора струми, які створюють в трифазному електродвигуні свої кругові обертаючі магнітні поля. Ці поля обертаються в просторі з однією і тією ж кутовою швидкістю $\omega_1 = 2\pi f_1 / p$, але в протилежних напрямках. Оскільки $U_{1(1)} > U_{1(2)}$, то амплітуда поля прямої послідовності буде більше амплітуди поля зворотної послідовності, тому ротор обертатиметься у бік обертання поля прямої послідовності.

Якщо ковзання ротора по відношенню до поля прямої послідовності визначається $s = (\omega_1 - \omega) / \omega_1$, то ковзання по відношенню до поля зворотної послідовності визначається по виразу

$$(\omega_1 + \omega) / \omega_1 = [\omega_1 + \omega_1(1-s)] / \omega_1 = 2 - s.$$

Поле прямої послідовності індукуює в обмотці ротора струм $I_{2(1)}$ з частотою $f_2 = fs$, а поле зворотної послідовності - струм $I_{2(2)}$ з частотою $f(2-s)$. Струм $I_{2(1)}$, при взаємодії з полем прямої послідовності, створює момент прямої послідовності $M_{(1)}$. Струм $I_{2(2)}$ і поле зворотної послідовності створюють момент зворотної послідовності $M_{(2)}$, який направлений назустріч моменту $M_{(1)}$ і є гальмівним.

Здійснюється спосіб наступним чином. Вимірюють значення струмів у фазах трифазного електродвигуна з дискретністю Δt . Формують інформаційні точки, усереднюючи виміряні значення на інтервалі часу $n \cdot \Delta t$, де n - кратність часу дискретизації інформаційних точок першої ланки часового ряду; Δt - час дискретизації вимірів датчика струму. Далі підносять до квадрату значення інформаційних точок. З інформаційних точок формують часові ряди часткових сум квадратів струмів. При надходженні чергового значення квадрата струму трифазного електродвигуна, видаляють останнє значення та зсовують на крок вперед вміст усіх елементів пам'яті часового ряду кожної фази. На перше місце ставлять останній визначений рівень квадрата струму і підсумовують його до вмісту решти елементів часового ряду. При перевищенні заданого рівня суми квадратів струмів в будь-якому елементі часового ряду формують сигнал на відключення трифазного електродвигуна від мережі живлення. Довжину часового ряду вибирають кратним 3 або 4 значення теплової постійної часу електричної машини. Щоб скоротити кількість елементів часових ряди формують з ланок з наростаючою кратністю часу усереднення інформаційних точок $n_1 < n_2 < n_n$. Наприклад, першу ланку

формують з інформаційних точок тривалістю в секунди, а другу - в хвилини. Таким чином, кількість елементів дволанкового часового ряду значно зменшується. Перші ланки часових рядів фаз використовують для визначення фаз з мінімальним та максимальними струмами в фазах та визначення моменту формування попереджувального переривистого сигналу, з частотою пропорційною різниці цих струмів. На період з моменту формування сигналу на відключення трифазного електродвигуна до моменту обнуління всіх складових елементів часового ряду або протягом часу в 3...4 теплові постійні часу його нагріву продовжують формувати часовий ряд з максимальним струмом. Це дає змогу визначити рівень еквівалентного струму трифазного електродвигуна перед його черговим запуском.

Визначення гранично припустимих значень сум квадратів струму в кожному елементі часового ряду проводять виходячи, наприклад, з рекомендацій для струмового захисту електрообладнання з витримкою часу. Гранично значення сум квадратів струмів m -ньому елементу часового ряду дорівнює

$$\sum_{i=1}^n I_{\text{екв}i}^2 = n I_{\text{ном}}^2 \left[(K / n \Delta t) + 1 \right],$$

де n - порядковий номер елементу часового ряду, $I_{\text{ном}}$ - номінальний струм електричної машини, K - постійна, Δt - період дискретизації.

Порівнюють значення часткових сум квадратів струму в елементах часового ряду з їх гранично припустимими значеннями. При виході за межі хоча б в одному з елементів часового ряду формують сигнал на відключення трифазного електродвигуна від мережі. Таким чином контролюють криву припустимих струмових перевантажень з урахуванням теплового стану трифазного електродвигуна перед пуском.

Попереджувальний переривистий сигнал формується з частотою, пропорційною значенню відносної різниці між максимальними та мінімальними значеннями сум квадратів струму перших ланок часових рядів, який свідчить про наявність перед аварійного стану при несиметричному навантаженні в фазах трифазного електродвигуна, який може виникати при збільшенні опору контактів комутаційного апарату, наприклад пускача або контактора, при не симетрії мережі живлення трифазного електродвигуна.

Спосіб дає змогу зорієнтуватися про рівень відносної різниці між еквівалентними струмами фаз трифазного електродвигуна, а також в важливості та невідкладності проведення поза регламентних робіт по частоті переривистого попереджувального сигналу.

Джерела інформації:

1. Авторское свидетельство СССР. SU № 1365226 A1, МПК H02H 5/04, 7/08. Аистов В.В., Левашов Б.И., Медяков И.Н. "Способ тепловой защиты электродвигателя следящей системы". Оpubл. 07.01.88.

2. Патент України UA 42964 U, МПК H02 H 7/08. Дубовик В.Г., Лебедев Л. М. "Спосіб захисту електродвигуна". Оpubл. 27.07.2009.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб захисту трифазного електродвигуна від струмових перевантажень, що включає вимірювання рівнів струмів трифазного електродвигуна, визначення значень їх квадратів, формування часового ряду часткових сум квадратів струмів, видалення останнього значення часового ряду при надходженні чергового значення квадрата струму трифазного електродвигуна, зміщення на крок вперед вмісту усіх елементів часового ряду, встановлення на перше місце часового ряду знов виміряного значення квадрата струму і підсумовування його до вмісту решти елементів часового ряду, формування сигналу на відключення трифазного електродвигуна від мережі живлення при перевищенні суми квадратів струму в будь-якому елементі часового ряду допустимого рівня, який **відрізняється** тим, що формують інформаційні точки часових рядів часткових сум квадратів струмів фаз трифазного електродвигуна, формують три перші ланки часових рядів з часткових сум квадратів струмів трьох фаз трифазного електродвигуна, по інформації трьох перших ланок визначають фази з найбільшими та найменшими струмами, для фази з найбільшим струмом формують наступні ланки часового ряду, а також продовжують формувати часовий ряд фази з найбільшими значеннями часткових сум квадратів струмів на період з моменту формування сигналу на відключення трифазного електродвигуна до моменту обнуління всіх складових елементів часового ряду, або впродовж 3...4 постійних часу нагріву трифазного електродвигуна після фактичного його відключення від мережі живлення, а при перевищенні заданого рівня відносної різниці між значеннями часткових сум квадратів струмів фаз з найбільшим та найменшим

навантаженнями формують попереджувальний переривистий сигнал, з частотою пропорційною цій різниці.

Комп'ютерна верстка І. Мироненко

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

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