



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **107749** (13) **C2**

(51) МПК (2015.01)

H02H 5/04 (2006.01)

H02K 15/12 (2006.01)

G01N 25/72 (2006.01)

G01N 27/20 (2006.01)

G01N 27/24 (2006.01)

H01R 31/00

G01R 13/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

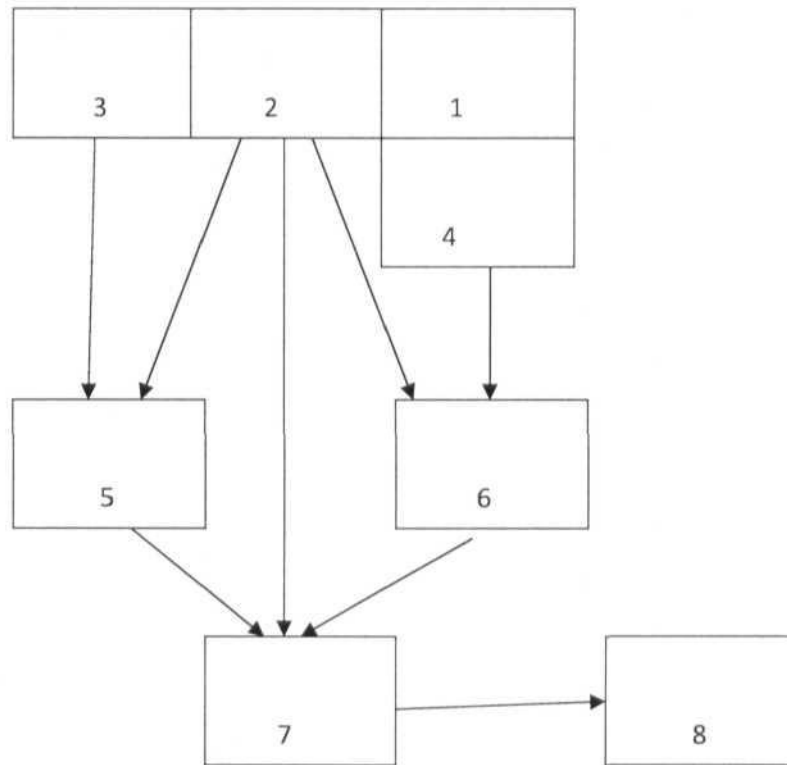
(21) Номер заявки: а 2013 09491	(72) Винахідник(и): Кривоносов Валерій Егоровіч (UA)
(22) Дата подання заявки: 29.07.2013	(73) Власник(и): ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ", вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, Донецька обл., 87500 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.02.2015	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA а201301914, 25.07.2013 CN 102829885 A, 19.12.2012 SU 706796, 30.12.1979 SU 1394175 A1, 07.05.1988 RU 2408120 C1, 27.12.2010
(41) Публікація відомостей про заявку: 10.01.2014, Бюл.№ 1	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.02.2015, Бюл.№ 3	

(54) СПОСІБ КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ БОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЩО ПРАЦЮЄ ЗІ ЗМІННИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

(57) Реферат:

Спосіб контролю за станом болтових з'єднань електроустаткування, що працює зі змінним навантаженням, полягає в контактному вимірюванні температури болтових з'єднань, з можливістю обробки отриманих даних. Значення контактних температур коректують відповідно до температури навколишнього середовища, що визначають за допомогою температурного датчика, який жорстко закріплюють до болтового з'єднання. Одночасно за допомогою трансформатора струму контролюють силу струму, що протікає в болтовому з'єднанні, перетворюють її за допомогою блока перетворення струму навантаження і коригування сигналу та блока перетворення теплового сигналу болтового з'єднання на еквівалентне значення температури з урахуванням температури навколишнього середовища. Виходячи з їх різниці, за допомогою блока порівняння сигналу порівнюють отримані дані, на основі яких роблять висновки про збільшення перехідного опору болтового з'єднання, що сигналізує про початок аварійної ситуації.

UA 107749 C2



Винахід належить до електротехніки, зокрема до систем релейного захисту ліній електропередач, болтових з'єднань шин, комутаційної апаратури напругою до 1000 В і вище, що працюють на змінному струмі. Призначено для підвищення надійності електропостачання електрообладнання за рахунок своєчасного виявлення ослаблення болтових контактних з'єднань як на шинопроводах підстанції, відхідних кабельних ліній, так на всій відстані високовольтних ліній електропередач.

Відомий ряд технічних рішень для контролю за станом контактних з'єднань високовольтних ліній електропередач, шин і комутаційної апаратури.

Основна проблема контактного з'єднання це ослаблення щільності болтового з'єднання і збільшення перехідного опору контакту, у результаті чого, згідно з законом Джоуля-Ленца, виникає перегрівання з'єднання, обрив шлейфа з подальшим розвитком аварії та вимикання електроустаткування.

Для запобігання подібних ситуацій існує ряд методів і пристроїв визначення надійності болтових з'єднань. Одним із методів є визначення щільності болтового з'єднання за звуковим сигналом, що виникає при обстукуванні з'єднання в період проведення планово-попереджувального ремонту (ППР). Див "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів" 4-е видання, 2011 р.

Недоліком цього способу є неможливість контролювати з'єднання в період роботи обладнання і своєчасно виявляти момент виявлення аварійної ситуації.

Відомий спосіб контролю міцності болтового з'єднання за допомогою тепловізора. Контроль за температурою болтових з'єднань здійснюється в періоди роботи електрообладнання (див. "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів: Затв. 25.07.06, № 258 / М-во палива та енергетики України, - Х: Індустрія, 2007. - 288 с., таблиця 7).

У даному випадку обстеження болтових з'єднань проводиться в режимі роботи електрообладнання і, як правило, епізодично. Тепловізор направляють на діагностоване з'єднання і, виходячи з перевищення температури болтового з'єднання вище за нормовану величину, понад 120 °С, роблять висновок про стан міцності цього з'єднання.

Недоліком даного методу є застосування ручної праці, епізодичне обстеження об'єкта і неможливість визначити початок розвитку аварійної ситуації. Застосовувати тепловізор для діагностики з'єднання високовольтних ліній, розташованих на відстані, що перевищує дальність границі вимірювання тепловізора, практично неможливо.

Крім того, відомий спосіб контролю за якістю з'єднання проводів ліній електропередач шляхом установки контрольної мітки прапорця. Під болт, що з'єднує контактні площадки проводів, установлюють мітку-прапорець, виконану у вигляді шайби, до якої легкоплавким припоєм (сплавом Розе) припаюється легкий металевий прапорець яскравого кольору. Коли температура мітки-прапорця перевищує температуру плавлення припою, припій розплавляється, прапорець падає на землю, що свідчить про погане болтове з'єднання [Федоров А.А. Довідник енергетика промислових підприємств. - Том 1. Електропостачання. 1961., - С. 569].

Недоліком цього способу є те, що для контролю за станом контактних з'єднань необхідно періодично, не рідше ніж один раз на місяць, здійснювати візуальний огляд усіх контактних з'єднань підстанцій і високовольтних ліній на наявність на них контрольного прапорця. Це завдання особливо складне при великій протяжності ліній електропередач.

Найбільш близьким до пропонованого способу є спосіб, застосований у винаході "Пристрій для контролю температури контактних з'єднань у пристроях, що перебувають під високою напругою" (патент RU № 2408120, H02H 5/04, 2009).

У цьому пристрої здійснюється контактний контроль за температурою болтового з'єднання і за передачею інформації про температуру на диспетчерський пункт. Черговий персонал, виходячи з температури, робить висновки про стан контактного з'єднання.

До недоліків даного способу можна віднести те, що, тільки виходячи з температури контактного з'єднання, не можна визначити початок розвитку аварійного процесу. Як відомо, температура контактного з'єднання залежить не тільки від перехідного опору, але й від квадрата струму навантаження, що протікає через перехідний опір. Залежно від навантаження, а величина струму може змінювати своє значення від $(0,0 \div 1,05) I_n$, відповідно, температура справного болтового з'єднання буде змінюватися від температури навколишнього середовища до нормованої допустимої $t_{нор}$ не більше ніж 120 °С. При цьому температура навколишнього середовища може змінюватися від (-35 - +45)°С, впливаючи на температуру болтового з'єднання, що робить неможливим виявити початок збільшення перехідного опору, тобто початок розвитку аварійної ситуації.

В основу винаходу поставлено задачу розробити спосіб контролю за станом болтових з'єднань електроустаткування, що працює на змінному струмі, в якому вимірювання додаткових параметрів дозволить визначити початок зростання перехідного опору болтового з'єднання, тим самим своєчасно попередити розвиток аварійної ситуації, що підвищить надійність і безаварійність роботи електрообладнання.

Для вирішення поставленої задачі щодо контролю за станом болтових з'єднань електроустаткування, яке працює зі змінним навантаженням і включає контактне вимірювання температури болтових з'єднань, обробку отриманих даних, відповідно до винаходу, значення контактних температур коректують згідно з температурою навколишнього середовища, одночасно контролюють силу струму, що протікає в болтовому з'єднанні, перетворюють її на еквівалентне значення температури, також з урахуванням температури навколишнього середовища безперервно порівнюють отримані дані і за їх різницею роблять висновки про збільшення перехідного опору болтового з'єднання, що сигналізує про початок аварійної ситуації. При цьому для трифазної системи про початок аварійної ситуації роблять висновок, виходячи з різниці максимального значення відкоригованої температури болтових з'єднань фаз і перетвореної сили струму, що протікає в одній із фаз.

Значення винаходу пояснюється блок-схемою. Пристрій, що дозволяє реалізувати запропонований спосіб, містить:

Болтове з'єднання - 1;

блок 2 - трансформатор струму, який служить джерелом ЕРС, а після стабілізації напруги джерелом живлення для мікросхем блока 7 і блока 6, сердечник трансформатора струму, виконаний із швидконасихуваної сталі, на ньому намотана емальованим проводом вторинна обмотка, що дозволяє отримувати напругу від 5 В до 24 В при зміні струму навантаження (від 0,1 - до 1,05) Ін;

блок 3 - трансформатор струму контролює струм навантаження;

блок 4 - температурний датчик, жорстко закріплений до болтового з'єднання, що використаний як терморезистор дискового типу СТ 10-1 Д, діапазон зміни температур від (-60 + -185°)С, значенням 300 кОм;

блок 5 - перетворення струму навантаження і коригування сигналу залежно від зміни температури навколишнього середовища, виконаний як подільник напруги з допомогою низькоомних опорів, співвідношення опорів 1/5. Подільник підключений до вторинної обмотки трансформатора струму блока 3. Напруга на одному з плечей подільника змінюється від 0 до 2,5 В при зміні струму навантаження від 0 до 1,05 Ін. Ця напруга є вхідним сигналом блока 7. Величина даної напруги при незмінному струмі навантаження може змінюватися в залежності від зміни температури навколишнього середовища за рахунок того, що до другого опору подільника паралельно ввімкнено терморезистор бусинкового типу СТ6-1, опір якого змінюється від зміни температури навколишнього середовища;

блок 6 здійснює перетворення теплового сигналу болтового з'єднання і його коригування залежно від зміни температури навколишнього середовища, виконаний у вигляді мостової схеми опорів, однією гілкою є терморезистор блока 4, дві гілки виконані звичайними високоомними опорами типу С2-29М, 300 кОм, четверта гілка виконана терморезистором СТ6-1, 300 кОм. На одну діагональ мостової схеми подається живлення з блока 2, з другої діагоналі отримують напругу, еквівалентну температурі болтового з'єднання 1;

блок 7 - порівняння сигналу, виконане на базі операційного підсилювача серії К140 УД-1А і стандартного передавача, наприклад, мікросхема Sim 20;

блок прийому сигналу та сигналізації - 8.

Реалізація способу здійснюється таким чином.

Справний стан болтового з'єднання при температурі навколишнього середовища дорівнює 24 °С. Протікання струму по шинопроводу й болтовому з'єднанню 1 приведе до появи живлення на виході блока 2, появи струмового сигналу в блоці 3, на подільнику опору блока 5 з'явиться сигнал величиною в U т.н, що відповідає рівню струму в шинопроводі. Цей сигнал надходить на перший вхід блока 7. Терморезистор блока 4 під дією струму навантаження, що протікає, нагрівається та змінює свій опір. Блок 6 проводить вимірювання температури болтового з'єднання. Зростання температури болтового з'єднання і терморезистора призведе до зміни величини опору терморезистора, це викличе розбалансування мостової схеми і появу сигналу величиною $U_{т.к.}$ на виході другої діагоналі. Рівень $U_{т.к.}$ відповідає температурі справного болтового з'єднання. $U_{т.к.}$ надходить у другий вхід блока 7, в якому порівнюють два сигнали. Оскільки струм навантаження не змінює свого значення, величина сигналу $U_{т.к.}$ припиняє змінюватися (настає усталений процес для терморезистора цієї серії від 1 до 3 хвилин). У цьому режимі дотримується умова $U_{т.н} > U_{т.к.}$. Ця умова контролюється блоком 7, на виході якого

відсутній сигнал. Наступна зміна струму навантаження приведе до відповідної зміни величини сигналів $U_{т.н}$ і $U_{т.к}$ на величину, пропорційну зміні струму навантаження. Величина сигналів визначиться як $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(I_n)$ і $U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(I_n)$, умови $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(I_n) > U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(I_n)$ збережуться, незалежно від часу теплового перехідного режиму. Якщо під час незмінного навантаження відбулася зміна температури навколишнього середовища на величину $\mp \Delta t^{\circ} \text{о.с C}$, опір терморезисторів блоків 5 і 6 пропорційно змінять свої величини на ΔR , а величини сигналів відповідно зміняться і визначаться як $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(\Delta t^{\circ} \text{о.с C})$ і, відповідно, $U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(\Delta t^{\circ} \text{о.с C})$.

Умова $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(\Delta t^{\circ} \text{о.с C}) > U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(\Delta t^{\circ} \text{о.с C})$ знову виконується.

Режим зміни струму навантаження і температури навколишнього середовища приведе до відповідної зміни сигналів. Значення сигналів буде визначатися: для струмового сигналу $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(\Delta t^{\circ} \text{о.с C}) \pm \Delta U_{т.н}(I_n)$, для температурного сигналу $U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(\Delta t^{\circ} \text{C}) \pm \Delta U_{т.к}(I_n)$, а умова $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(\Delta t^{\circ} \text{о.с C}) \pm \Delta U_{т.н}(I_n) > U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(\Delta t^{\circ} \text{о.с C}) \pm \Delta U_{т.к}(I_n)$ знову виконається.

Режим початку аварійної ситуації або збільшення перехідного опору болтового з'єднання. Порухення щільності болтового з'єднання 1 призводить до збільшення його перехідного опору. Величина виділеного тепла, згідно з законом Джоуля-Ленца, пропорційна до квадрата струму навантаження, перехідного опору болтового з'єднання і часу протікання струму. При незмінному струмовому навантаженні і температурі навколишнього середовища відбувається додаткове нагрівання болтового з'єднання і терморезистора блока 4. У цьому випадку температура терморезистора $t_{т.р.}$ визначається сумою значень температури еквівалентного струмового навантаження, температури навколишнього середовища та додаткової температури, викликаной зміною перехідного опору болтового з'єднання $t_{т.р} = t(I_n) + \Delta t(r) \pm \Delta t_{о.с}$. Рівень вихідного сигналу блока 6 починає зростати та визначається виразом: $U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(\Delta t^{\circ} \text{о.с C}) \pm \Delta U_{т.к}(I_n) + \Delta U_{т.к}(R \text{ пер})$. Різниця значення сигналів із виходів блоків 5 і 6 зменшується. Настає момент, коли

$U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(\Delta t^{\circ} \text{о.с C}) \pm \Delta U_{т.н}(I_n) < U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(\Delta t^{\circ} \text{о.с C}) \pm \Delta U_{т.к}(I_n) + \Delta U_{т.к}(R \text{ пер})$.

Блок 7 спрацьовує і сигналізує про ослаблене болтове з'єднання та розвиток аварійної ситуації.

Для трифазної системи, наприклад, комутаційної апаратури, вимірюють температуру болтового з'єднання кожної фази, виділяють більше значення і порівнюють зі струмовим сигналом.

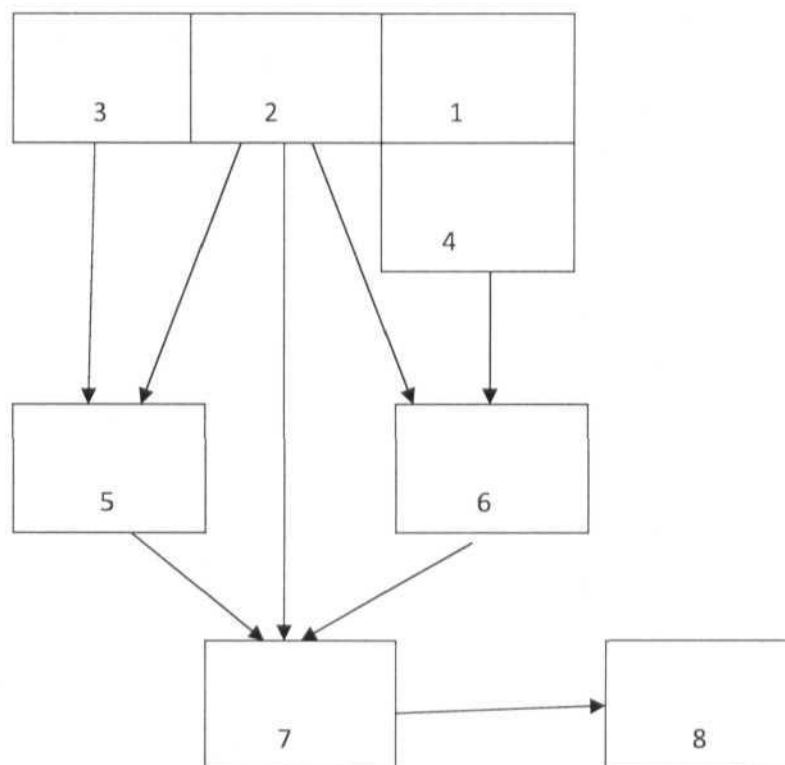
Правильність роботи способу здійснена в лабораторних умовах. Як джерело навантаження використано генератор змінного струму ПСМ АТ 50, що дозволяє отримувати напругу в 0,4 кВ і струм від 10 до 100 А. Як вимірювання струму використано трансформатор струму ТТ 100/5 напругою в 0,4 кВ. Інші блоки виконані на елементній базі, описаній вище. Зміни температури навколишнього середовища проводилися за допомогою теплового фена, тепловим потоком впливали одночасно на терморезистори блоків 5 і 6. Зміну температури болтового з'єднання і терморезистора 4 здійснювали прямим нагріванням. Перевірку роботи способу здійснили в порядку, описаному вище. При досягненні температури 130-150 °С болтового з'єднання привело до спрацьовування блока 7, що підтвердило правильність дій розробленого способу.

Застосування даного винаходу дозволить точно виявити момент зміни перехідного опору болтового з'єднання електрообладнання за рахунок контролю за істинною температурою контактного з'єднання, урахування температури навколишнього середовища та зміни значення струму навантаження. У результаті застосування способу зросте надійність роботи лінії електропередачі, підстанцій та електрообладнання в цілому.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Спосіб контролю за станом болтових з'єднань електроустаткування, що працює зі змінним навантаженням, і полягає в контактному вимірюванні температури болтових з'єднань, з можливістю обробки отриманих даних, який **відрізняється** тим, що значення контактних температур коректують відповідно до температури навколишнього середовища, що визначають за допомогою температурного датчика, який жорстко закріплюють до болтового з'єднання, одночасно за допомогою трансформатора струму контролюють силу струму, що протікає в болтовому з'єднанні, перетворюють її за допомогою блока перетворення струму навантаження і коригування сигналу та блока перетворення теплового сигналу болтового з'єднання на еквівалентне значення температури з урахуванням температури навколишнього середовища, а виходячи з їх різниці, за допомогою блока порівняння сигналу порівнюють отримані дані, на основі яких роблять висновки про збільшення перехідного опору болтового з'єднання, що сигналізує про початок аварійної ситуації.

2. Спосіб контролю за станом болтових з'єднань електроустаткування, яке працює зі змінним навантаженням за п. 1, який **відрізняється** тим, що для трифазної системи про початок аварійної ситуації свідчить різниця максимального значення відкоригованої температури болтових з'єднань фаз і перетвореної сили струму, який протікає в одній із фаз.



Комп'ютерна верстка А. Крулевський

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