



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **69641** (13) **U**  
(51) МПК  
**G01R 31/06** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

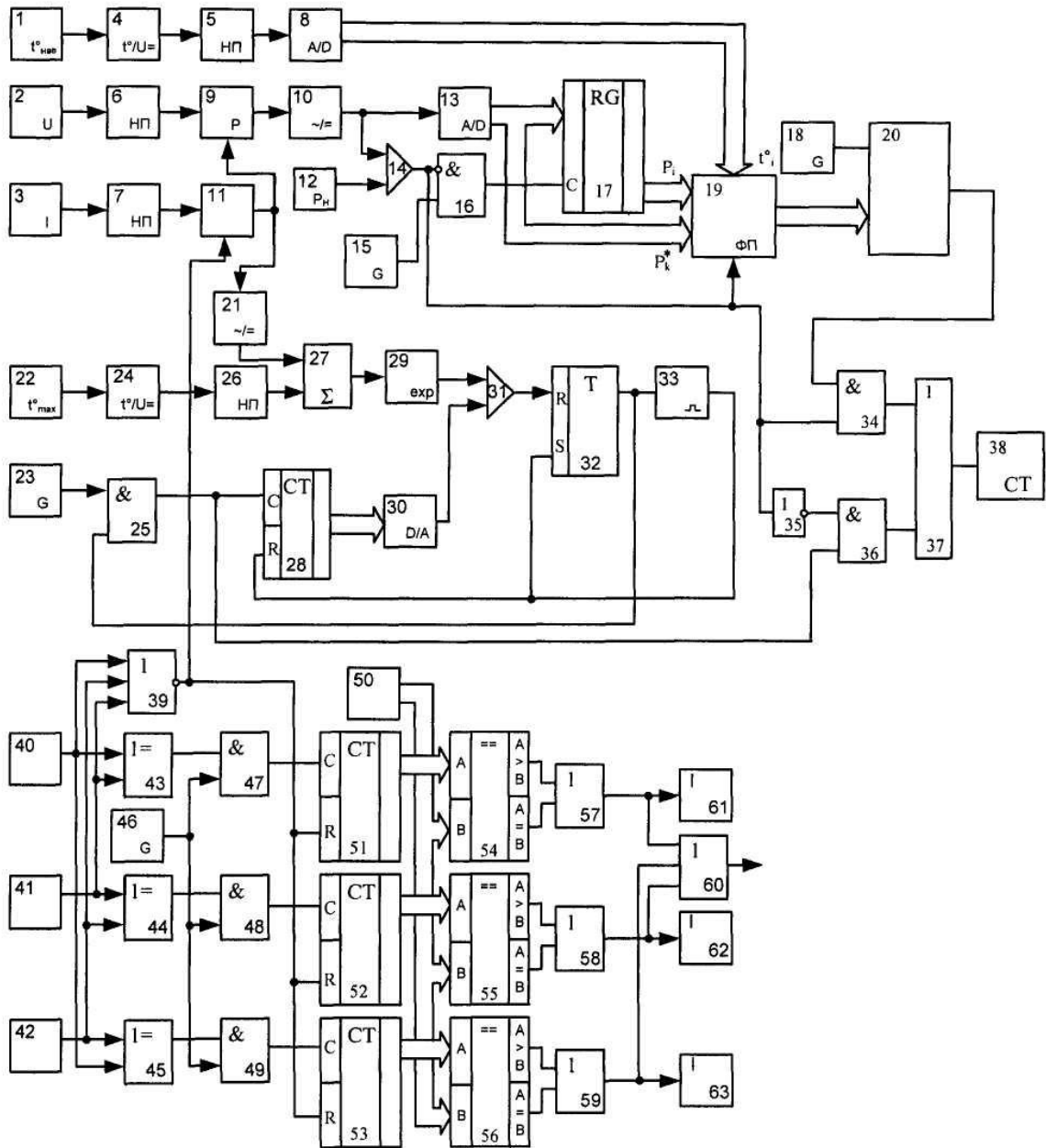
|   |   |
|---|---|
| <p>(21) Номер заявки: <b>u 2011 11889</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>10.10.2011</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.05.2012</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.05.2012, Бюл.№ 9</b></p> | <p>(72) Винахідник(и):<br/><b>Грабко Володимир Віталійович (UA),<br/>Бальзан Ігор Вікторович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и):<br/><b>ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ<br/>ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,<br/>Хмельницьке шосе, 95, м.Вінниця, 21021<br/>(UA)</b></p> |
|---|---|

**(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

**(57) Реферат:**

Пристрій для діагностування силового масляного трансформатора дозволяє визначати залишковий робочий ресурс обмоток силового масляного трансформатора в нормальному режимі роботи за струмом навантаження і найвищою температурою обмоток та в режимі перевантаження за потужністю перевантаження, потужністю, яка передувала режиму перевантаження, і температурою навколишнього середовища. Спрацювання робочого ресурсу здійснюється у вигляді різної кількості імпульсів за однакові проміжки часу в залежності від інтенсивності завантаження силового трансформатора. Також пристрій дозволяє визначати неодноразовість перемикачів відпайок пристроїв РПН кожної фази.

**UA 69641 U**



Корисна модель належить до області електротехніки і може бути використана для діагностування силових масляних трансформаторів.

Відомий пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів [Патент № 21813 (Україна), М. кл. G01R 31/06, бюл. № 2, 1998], що містить перший датчик температури, вихід якого через перший перетворювач температури в постійну напругу підключений до першого входу першого суматора, з другим входом якого з'єднаний датчик струму через перетворювач струму в постійну напругу, перший генератор імпульсів, вихід якого підключений до входу першого лічильника імпульсів, вихід другого датчика температури через другий перетворювач температури в постійну напругу з'єднаний з першим входом диференційного підсилювача, другий вхід якого підключений до виходу джерела опорної напруги, а вихід через перший масштабуючий підсилювач з'єднаний з першим входом блока перемноження, другий вхід якого підключений до виходу другого суматора, а вихід з'єднаний з аналоговим входом аналого-цифрового перетворювача, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів, а перший вихід підключений до керуючого входу пристрою "вибірki - збереження", вхід якого з'єднаний з виходом датчика напруги через перетворювач змінної напруги в постійну, вихід пристрою "вибірki - збереження" підключений до входів першого, другого і третього функціональних перетворювачів, виходи яких в свою чергу підключені через другий, третій та четвертий масштабуючі підсилювачі відповідно з першим, другим і третім входами другого суматора, вихідна цифрова шина аналого-цифрового перетворювача з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового суматора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого регістра, вхідна цифрова шина якого і перша вхідна цифрова шина цифрового компаратора з'єднані з вихідною цифровою шиною першого регістра, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини цифрового суматора, керуючий вхід першого регістра з'єднаний з третім виходом дешифратора, четвертий вихід якого підключений до керуючого входу другого регістра, вихідна цифрова шина блока задання ресурсу з'єднана з другою вхідною цифровою шиною цифрового компаратора, вихід якого підключений до входів першого індикатора і до першого входу елемента АБО, вихід якого з'єднаний з колом сигналізації, а другий вхід і вхід другого індикатора підключені до виходу другого елемента І, n - входів якого з'єднані відповідно з виходами n - розрядів третього лічильника імпульсів, установочний вхід якого підключений до виходу блока установки нуля, а лічильний вхід і вхід другого лічильника імпульсів з'єднані з виходом першого елемента І, перший вхід якого підключений до виходу другого генератора імпульсів, а другий вхід з'єднаний з виходом RS-тригера, S-вхід якого і установочний вхід другого лічильника імпульсів підключені до четвертого виходу дешифратора, а R-вхід RS-тригера з'єднаний з виходом першого компаратора, перший вхід якого підключений до виходу четвертого функціонального перетворювача, вхід якого з'єднаний з виходом першого суматора, вихідна цифрова шина другого лічильника імпульсів підключена до вхідної цифрової шини цифро-аналогового перетворювача, вихід якого з'єднаний з другим входом першого компаратора, вихід датчика тиску через перетворювач тиску в постійну напругу підключений до входу другого компаратора, вихід якого з'єднаний зі входами третього індикатора і третім входом елемента АБО, задаючи входи першого лічильника імпульсів, а також першого і другого регістрів підключені до виходу блока установки нуля.

Головним недоліком даного пристрою є недостатня точність, так як відсутня можливість оцінювання неодноразовності спрацювання пристрою РПН кожної фази силового масляного трансформатора.

За прототип обрано пристрій для вимірювання спрацювання обмоток силового масляного трансформатора [Патент № 60549 (Україна), М. кл. G01R 31/00, бюл. № 12, 2011], що містить перший і другий датчики температури, виходи яких з'єднані відповідно з входами першого і другого перетворювачів температури в постійну напругу, вихід суматора через перший функціональний перетворювач підключений до першого входу першого компаратора, другий вхід якого з'єднаний з виходом цифро-аналогового перетворювача, а вихід підключений до першого входу RS-тригера, вихід якого з'єднаний з другим входом першого логічного елемента І, перший вхід якого підключений до виходу другого генератора імпульсів, а вихід з'єднаний з першим входом другого лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини цифро-аналогового перетворювача, вихід першого перетворювача температури в постійну напругу через перший нормуючий перетворювач підключений до входу першого аналого-цифрового перетворювача, вихідна цифрова шина якого з'єднана з першою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини регістра, вхідна цифрова шина якого разом з

третьою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача з'єднані з вихідною цифровою шиною другого аналого-цифрового перетворювача, вхід якого разом з першим входом другого компаратора підключені до виходу першого перетворювача змінної напруги в постійну, вхід якого з'єднаний з виходом блока обчислення потужності, блок задання потужності підключений до другого входу другого компаратора, вихід якого з'єднаний зі входами другого функціонального перетворювача, другим входом третього логічного елемента I, входом логічного елемента NI та першим входом другого логічного елемента I, другий вхід якого підключений до виходу третього генератора імпульсів, а вихід з'єднаний зі входом регістра, вихід датчика напруги через другий нормуючий перетворювач підключений до першого входу блока обчислення потужності, другий вхід якого разом зі входом другого перетворювача змінної напруги в постійну з'єднані з виходом третього нормуючого перетворювача, вхід якого підключений до виходу датчика струму, вихід другого перетворювача змінної напруги в постійну з'єднаний з першим входом суматора, другий вхід якого підключений до виходу четвертого нормуючого перетворювача, вхід якого з'єднаний з виходом другого перетворювача температури в постійну напругу, вихід RS-тригера підключений до входу формувача імпульсів, вихід якого з'єднаний з другим входом RS-тригера і другим входом другого лічильника імпульсів, вихід першого логічного елемента I підключений до другого входу четвертого логічного елемента I, перший вхід якого з'єднаний з виходом логічного елемента NI, а вихід підключений до другого входу логічного елемента АБО, вихід якого з'єднаний зі входом першого лічильника імпульсів, а перший вхід підключений до виходу третього логічного елемента I, перший вхід якого з'єднаний з виходом керованого дільника частоти, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого функціонального перетворювача, а вхід з'єднаний з виходом першого генератора імпульсів.

Головним недоліком даного пристрою є недостатня точність, так як відсутня можливість оцінювання неодноразовності спрацювання пристрою РПН кожної фази силового масляного трансформатора.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення пристрою для діагностування силового масляного трансформатора, в якому за рахунок введення нових елементів та блоків, а також зв'язків між ними з'являється можливість визначати неодноразовність перемикачів відпаюк фаз пристроєм РПН силового масляного трансформатора, що дозволяє підвищити точність у діагностуванні силового масляного трансформатора.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для діагностування силового масляного трансформатора, який містить два датчики температури, датчик напруги, датчик струму, три генератори імпульсів, чотири логічні елементи I, два лічильники імпульсів, суматор, два аналого-цифрових перетворювача, цифро-аналогових перетворювач, логічний елемент АБО, два компаратори, RS-тригер, два функціональних перетворювачі, регістр, два перетворювачі температури в постійну напругу, два перетворювачі змінної напруги в постійну, чотири нормуючі перетворювачі, блок обчислення потужності, блок задання потужності, керований дільник частоти, формувач імпульсів, логічний елемент NI, причому виходи першого і другого датчиків температури з'єднані відповідно з входами першого і другого перетворювачів температури в постійну напругу, вихід суматора через перший функціональний перетворювач підключений до першого входу першого компаратора, другий вхід якого з'єднаний з виходом цифро-аналогового перетворювача, а вихід підключений до першого входу RS-тригера, вихід якого з'єднаний з другим входом першого логічного елемента I, перший вхід якого підключений до виходу другого генератора імпульсів, а вихід з'єднаний з першим входом другого лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини цифро-аналогового перетворювача, вихід першого перетворювача температури в постійну напругу через перший нормуючий перетворювач підключений до входу першого аналого-цифрового перетворювача, вихідна цифрова шина якого з'єднана з першою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини регістра, вхідна цифрова шина якого разом з третьою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача з'єднані з вихідною цифровою шиною другого аналого-цифрового перетворювача, вхід якого разом з першим входом другого компаратора підключені до виходу першого перетворювача змінної напруги в постійну, вхід якого з'єднаний з виходом блока обчислення потужності, блок задання потужності підключений до другого входу другого компаратора, вихід якого з'єднаний зі входами другого функціонального перетворювача, другим входом третього логічного елемента I, входом логічного елемента NI та першим входом другого логічного елемента I, другий вхід якого підключений до виходу третього генератора імпульсів, а вихід з'єднаний зі входом регістра, вихід датчика напруги через другий нормуючий перетворювач підключений до першого входу блока обчислення потужності, вихід датчика

струму з'єднаний з входом третього нормуючого перетворювача, вихід другого перетворювача змінної напруги в постійну з'єднаний з першим входом суматора, другий вхід якого підключений до виходу четвертого нормуючого перетворювача, вхід якого з'єднаний з виходом другого перетворювача температури в постійну напругу, вихід RS-тригера підключений до входу формувача імпульсів, вихід якого з'єднаний з другим входом RS-тригера і другим входом другого лічильника імпульсів, вихід першого логічного елемента I підключений до другого входу четвертого логічного елемента I, перший вхід якого з'єднаний з виходом логічного елемента HI, а вихід підключений до другого входу першого логічного елемента АБО, вихід якого з'єднаний зі входом першого лічильника імпульсів, а перший вхід підключений до виходу третього логічного елемента I, перший вхід якого з'єднаний з виходом керованого дільника частоти, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого функціонального перетворювача, а вхід з'єднаний з виходом першого генератора імпульсів, введено три датчика початку руху, три логічних елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, логічний елемент АБО-HI, п'ятий, шостий та сьомий логічні елементи I, другий, третій, четвертий та п'ятий логічні елементи АБО, четвертий генератор імпульсів, третій, четвертий, та п'ятий лічильники імпульсів, три цифрові компаратори, три індикатори, блок задання ресурсу, електронний ключ, причому вихід першого датчика початку руху підключений до першого входу логічного елемента АБО-HI, другого входу третього логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО і до першого входу першого логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, другий вхід якого з'єднаний з виходом другого датчика початку руху, третім входом логічного елемента АБО-HI і першим входом другого логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, другий вхід якого підключений до виходу третього датчика початку руху, другого входу логічного елемента АБО-HI і першого входу третього логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, виходи першого, другого та третього логічних елементів ВИКЛЮЧНЕ АБО з'єднані відповідно з першими входами п'ятого, шостого та сьомого логічних елементів I, другі входи яких підключені до виходу четвертого генератора імпульсів, а виходи з'єднані з першими входами третього, четвертого та п'ятого лічильників імпульсів відповідно, другі входи лічильників імпульсів підключені до виходу логічного елемента АБО-HI та до керуючого входу електронного ключа, вхід якого з'єднаний з виходом третього нормуючого перетворювача, а вихід підключений до другого входу блока обчислення потужності та входу другого перетворювача змінної напруги в постійну, цифровий вихід блока задання ресурсу з'єднаний з другими входами першого, другого та третього цифрових компараторів, перші цифрові входи яких підключені до виходів третього, четвертого та п'ятого лічильників імпульсів відповідно, перші та другі виходи першого, другого та третього цифрових компараторів з'єднані з першими та другими входами третього, четвертого та п'ятого логічних елементів АБО відповідно, виходи яких підключені до першого, другого та третього індикаторів та до першого, другого та третього входів другого логічного елемента АБО відповідно, вихід якого з'єднаний з колами сигналізації оперативного персоналу.

Пристрій для діагностування силового масляного трансформатора пояснюється кресленням, на якому зображена його структурна схема.

На кресленні: 1 - перший датчик температури; 2, 3 - датчики напруги та струму відповідно; 4 - перший перетворювач температури в постійну напругу; 5, 6, 7 - перший, другий та третій нормуючі перетворювачі; 8 - перший аналого-цифровий перетворювач; 9 - блок обчислення потужності; 10 - перший перетворювач змінної напруги в постійну; 11 - електронний ключ; 12 - блок задання потужності; 13 - другий аналого-цифровий перетворювач; 14 - другий компаратор; 15 - третій генератор імпульсів; 16 - другий логічний елемент I; 17 - регістр; 18 - перший генератор імпульсів; 19 - другий функціональний перетворювач; 20 - керований дільник частоти; 21 - другий перетворювач змінної напруги в постійну; 22 - другий датчик температури; 23 - другий генератор імпульсів; 24 - другий перетворювач температури в постійну напругу; 25 - перший логічний елемент I; 26 - четвертий нормуючий перетворювач; 27 - суматор; 28 - другий лічильник імпульсів; 29 - перший функціональний перетворювач; 30 - цифро-аналоговий перетворювач; 31 - перший компаратор; 32-RS-тригер; 33 - формувач імпульсів; 34 - третій логічний елемент I; 35 - логічний елемент HI; 36 - четвертий логічний елемент I; 37 - перший логічний елемент АБО; 38 - перший лічильник імпульсів; 39 - логічний елемент АБО-HI; 40, 41, 42 - перший, другий та третій датчики початку руху приводу РПН відповідно; 43, 44, 45 - перший, другий та третій логічні елементи ВИКЛЮЧНЕ АБО відповідно; 46 - четвертий генератор імпульсів; 47, 48, 49 - п'ятий, шостий та сьомий логічні елементи I відповідно; 50 - блок задання ресурсу; 51, 52, 53 - третій, четвертий та п'ятий лічильники імпульсів відповідно; 54, 55, 56 - перший, другий та третій цифрові компаратори відповідно; 57, 58, 59, 60 - третій, четвертий, п'ятий та другий логічні елементи АБО відповідно; 61, 62, 63 - перший, другий та третій індикатори відповідно, причому виходи першого і другого 22 датчиків температури з'єднані відповідно з входами першого 4 і другого 24 перетворювачів температури в постійну напругу,

вихід суматора 27 через перший функціональний перетворювач 29 підключений до першого входу першого компаратора 31, другий вхід якого з'єднаний з виходом цифро-аналогового перетворювача 30, а вихід підключений до першого входу RS-тригера 32, вихід якого з'єднаний з другим входом першого логічного елемента І 25, перший вхід якого підключений до виходу другого генератора імпульсів 23, а вихід з'єднаний з першим входом другого лічильника імпульсів 28, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини цифро-аналогового перетворювача 30, вихід першого перетворювача температури в постійну напругу 4 через перший нормуючий перетворювач 5 підключений до входу першого аналого-цифрового перетворювача 8, вихідна цифрова шина якого з'єднана з першою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача 19, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини регістра 17, вхідна цифрова шина якого разом з третьою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача 19 з'єднані з вихідною цифровою шиною другого аналого-цифрового перетворювача 13, вхід якого разом з першим входом другого компаратора 14 підключені до виходу першого перетворювача змінної напруги в постійну 10, вхід якого з'єднаний з виходом блока обчислення потужності 9, блок задання потужності 12 підключений до другого входу другого компаратора 14, вихід якого з'єднаний зі входами другого функціонального перетворювача 19, другим входом третього логічного елемента І 34, входом логічного елемента НІ 35 та першим входом другого логічного елемента І 16, другий вхід якого підключений до виходу третього генератора імпульсів 15, а вихід з'єднаний зі входом регістра 17, вихід датчика напруги 2 через другий нормуючий перетворювач 6 підключений до першого входу блока обчислення потужності 9, вихід датчика струму 3 з'єднаний з входом третього нормуючого перетворювача 7, вихід другого перетворювача змінної напруги в постійну 21 з'єднаний з першим входом суматора 27, другий вхід якого підключений до виходу четвертого нормуючого перетворювача 26, вхід якого з'єднаний з виходом другого перетворювача температури в постійну напругу 24, вихід RS-тригера 32 підключений до входу формувача імпульсів 33, вихід якого з'єднаний з другим входом RS-тригера 32 і другим входом другого лічильника імпульсів 28, вихід першого логічного елемента І 25 підключений до другого входу четвертого логічного елемента І 36, перший вхід якого з'єднаний з виходом логічного елемента НІ 35, а вихід підключений до другого входу першого логічного елемента АБО 37, вихід якого з'єднаний зі входом першого лічильника імпульсів 38, а перший вхід підключений до виходу третього логічного елемента І 34, перший вхід якого з'єднаний з виходом керованого дільника частоти 20, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого функціонального перетворювача 19, а вхід з'єднаний з виходом першого генератора імпульсів 18, вихід першого датчика початку руху 40 підключений до першого входу логічного елемента АБО-НІ 39, другого входу третього логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 45 і до першого входу першого логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 43, другий вхід якого з'єднаний з виходом другого датчика початку руху 41, третім входом логічного елемента АБО-НІ 39 і першим входом другого логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 44, другий вхід якого підключений до виходу третього датчика початку руху 42, другого входу логічного елемента АБО-НІ 39 і першого входу третього логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 45, виходи першого 43, другого 44 та третього 45 логічних елементів ВИКЛЮЧНЕ АБО з'єднані відповідно з першими входами п'ятого 47, шостого 48 та сьомого 49 логічних елементів І, другі входи яких підключені до виходу четвертого генератора імпульсів 46, а виходи з'єднані з першими входами третього 51, четвертого 52 та п'ятого 53 лічильників імпульсів відповідно, другі входи лічильників імпульсів підключені до виходу логічного елемента АБО-НІ 39 та до керуючого входу електронного ключа 11, вхід якого з'єднаний з виходом третього нормуючого перетворювача 7, а вихід підключений до другого входу блока обчислення потужності 9 та входу другого перетворювача змінної напруги в постійну 21, цифровий вихід блока задання ресурсу 50 з'єднаний з другими входами першого 54, другого 55 та третього 56 цифрових компараторів, перші цифрові входи яких підключені до виходів третього 51, четвертого 52 та п'ятого 53 лічильників імпульсів відповідно, перші та другі входи першого 54, другого 55 та третього 56 цифрових компараторів з'єднані з першими та другими входами третього 57, четвертого 58 та п'ятого 59 логічних елементів АБО відповідно, виходи яких підключені до першого 61, другого 62 та третього 63 індикаторів та до першого, другого та третього входів другого логічного елемента АБО 62 відповідно, вихід якого з'єднаний з колами сигналізації оперативного персоналу.

Запропонований пристрій працює так. При подачі напруги живлення перший 18, другий 23, третій 15 та четвертий 46 генератори імпульсів починають формувати відповідні послідовності імпульсів.

Для вимірювання спрацювання обмоток силового масляного трансформатора датчики пристрою розподілені по об'єкту таким чином: другий датчик температури 22 установлений на трансформаторі та призначений для вимірювання температури верхніх шарів трансформаторного масла. Датчик струму 3 установлений в колі вторинної обмотки силового трансформатора. Ці два датчики дозволяють здійснити оцінку робочого ресурсу обмоток силового трансформатора в нормальному режимі його функціонування. Перший датчик температури 1 розташований біля силового трансформатора і дозволяє контролювати температуру навколишнього середовища. Датчик напруги 2 призначений для вимірювання значення напруги силового трансформатора. За допомогою датчиків 1, 2 та 3 можна контролювати спрацювання ресурсу ізоляції обмоток силового трансформатора, який працює в режимі перевантаження. Перший датчик початку руху 40 установлений на валу привода перемикачів відпайок фази А пристрою РПН, другий датчик початку руху 41 установлений на валу привода перемикачів відпайок фази В, а третій датчик початку руху 42 установлений на валу привода перемикачів відпайок фази С. За допомогою датчиків 40, 41, 42 можна визначити неодноразовість перемикачів пристрою РПН при по фазному перемикачів відпайок.

Згідно рівняння Монтзінгера, яке прийнято в якості закону старіння ізоляції обмоток

$$L = L_0 e^{\alpha \theta} = L_0 e^{\alpha(\theta_T + \theta_0)}, \quad (1)$$

де  $L$  - тривалість "життя" ізоляції;  $L_0$  - термін служби ізоляції, що відповідає нормованій температурі, - нормативний термін служби обмоток силового трансформатора;  $\alpha$  - коефіцієнт, що враховує зміну терміну служби ізоляції при зміні температури  $\theta$  найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток;  $\theta_T$  - перевищення температури найбільш нагрітої точки ізоляції, викликане зміною струмів навантаження;  $\theta_0$  - температура ізоляції обмоток.

Перевищення температури обмотки  $\theta_T$ , враховуючи можливість нехтування її сталої часу нагрівання, можна представити у вигляді

$$\theta_T = \beta' \cdot \tau_H \cdot k^n, \quad (2)$$

де  $\beta'$  - коефіцієнт, що враховує різницю температур між середньою та найбільш нагрітою точками обмоток;  $\tau_H$  - усталений середній перегрів обмотки над її температурою в номінальному режимі;  $k$  - кратність струму навантаження трансформатора;  $n$  - коефіцієнт, який залежить від системи охолодження трансформатора.

У відповідності з (1) миттєве старіння ізоляції трансформатора визначається експоненціальною функцією зі степенем, який дорівнює  $(\theta_T + \theta_0)$ .

Тоді сумарне значення спрацювання обмоток силового трансформатора, працюючого як в нормальному режимі, так і в режимі перевантаження, за деякий проміжок часу визначається за формулою

$$R = m \int_0^t e^{\alpha(\theta_T + \theta_0)} dt + R_n, \quad (3)$$

де  $m$  - масштабний коефіцієнт,  $R_n$  - ресурс, що спрацьовується в режимі перевантаження силового трансформатора.

При вимірюванні робочого ресурсу ізоляції обмоток силового масляного трансформатора в нормальному режимі його функціонування сигнали з другого датчика температури 22 та датчика струму 3 через другий перетворювач температури в постійну напругу 24, четвертий нормуючий перетворювач 26, третій нормуючий перетворювач 7, електронний ключ 11 та другий перетворювач змінної напруги в постійну 21 відповідно подаються на входи суматора 27. При цьому на його виході встановлюється сигнал, пропорційний  $(\theta_T + \theta_0)$ . Якщо RS-тригер 32 встановлений в одиничний стан (а це має місце, коли на виході формувача імпульсів 33 короткочасно з'являється сигнал логічної одиниці), то перший логічний елемент І 25 відкритий і імпульси з виходу другого генератора імпульсів 23 надходять на вхід другого лічильника імпульсів 28, з виходу якого сигнали по цифровій шині подаються на вхід цифро-аналогового перетворювача 30 та з його виходу лінійно зростаючий аналоговий сигнал надходить на другий вхід першого компаратора 31, на перший вхід якого надходить сигнал, пропорційний  $e^{\alpha(\theta_T + \theta_0)}$ , з виходу першого функціонального перетворювача 29, що здійснює перетворення вхідного сигналу по експоненціальному закону. Коли сигнали на входах першого компаратора 31 зрівнюються, то на його виході з'являється сигнал логічної одиниці, який переводить RS-тригер 32 в нульовий стан, перший логічний елемент І 25 закривається та подача імпульсів від другого генератора імпульсів 23 до другого лічильника імпульсів 28 припиняється. В цей момент на виході формувача імпульсів 33 з'являється короткий імпульс, яким здійснюється скид другого лічильника імпульсів 28 та установка в одиничний стан RS-тригера 32. Цикл роботи при цьому повторюється. В період, коли відкритий перший логічний елемент І 25, імпульси з його виходу

через четвертий логічний елемент І 36 та перший логічний елемент АБО 37 надходять також в перший лічильник імпульсів 38 та фіксуються в ньому як ресурс роботи ізоляції обмоток трансформатора за період, починаючи з часу  $t_1$  коли відкривається перший логічний елемент І 25, та до часу  $t_2$ , коли перший логічний елемент І 25 закривається, у вигляді інтегралу

$$5 \quad m \int_0^t e^{\alpha(\theta_r + \theta_o)} dt.$$

Обчислюючи суму інтегралів у вигляді суми імпульсів, які надходять в перший лічильник імпульсів 38 в кожному циклі роботи блоків пристрою, можна визначити спрацьований в нормальному режимі роботи ресурс ізоляції обмоток трансформатора.

10 Зазначимо, що в першому лічильнику імпульсів 38 введено у вигляді двійкового коду загальний робочий ресурс ізоляції обмоток трансформатора, витрачання якого здійснюється при надходженні на вхід лічильника різних послідовностей імпульсів в нормальному режимі роботи трансформатора та в режимі перевантаження.

15 В режимі перевантаження трансформатора з виходів першого датчика температури 1, датчика напруги 2 та датчика струму 3 сигнали, що відповідають значенням температури навколишнього середовища, напруги трансформатора, струму, що протікає через трансформатор, відповідно надходять через відповідні перетворювачі сигналів - перший перетворювач температури в постійну напругу 4, перший нормуючий перетворювач 5, другий нормуючий перетворювач 6 та третій нормуючий перетворювач 7.

20 У блоці обчислення потужності 9 визначається поточне значення активної потужності трансформатора. Сигнал, що відповідає значенню обчисленої потужності, надходить через перший перетворювач змінної напруги в постійну 10 на перший вхід другого компаратора 14, на другий вхід якого подається з виходу блока задання потужності 12 сигнал, пропорційний найбільшому значенню потужності нормального режиму роботи силового трансформатора.

25 У разі, коли поточне значення потужності силового трансформатора перевищує межу нормального режиму роботи на виході другого компаратора 14 з'являється сигнал логічної одиниці, яким закривається другий логічний елемент І 16, внаслідок чого в регістрі 17 залишається записаним після подачі останнього імпульсу з третього генератора імпульсів 15 значення потужності нормального режиму роботи трансформатора. Одночасно вихідним сигналом другого компаратора 14 відкривається третій логічний елемент І 34 та через логічний елемент ІІ 35 закривається четвертий логічний елемент І 36, внаслідок чого в перший лічильник імпульсів 38 спрямовується послідовність імпульсів, що характеризує спрацювання робочого ресурсу силового трансформатора в режимі перевантаження.

35 Крім того, вихідним сигналом другого компаратора 14 розблоковується робота другого функціонального перетворювача 19, на входи якого подається з виходу першого аналого-цифрового перетворювача 8 код, пропорційний температурі навколишнього середовища, з виходу регістра 17 - код, пропорційний значенню потужності роботи трансформатора в нормальному режимі, та код, що відповідає значенню потужності трансформатора в режимі перевантаження, який надходить з виходу другого аналого-цифрового перетворювача 13, на вхід якого надходить сигнал з виходу першого перетворювача змінної напруги в постійну 10.

40 Під дією вхідних сигналів на виході другого функціонального перетворювача 19 формується в цифровій формі поточне значення коефіцієнта ділення частоти генератора для врахування залишкового робочого ресурсу ізоляції обмоток силового трансформатора. Вихідний цифровий код з виходу другого функціонального перетворювача 19 надходить на вхідну цифрову шину керованого дільника частоти 20, на вхід якого надходять сигнали з першого генератора імпульсів 18, а з виходу керованого дільника частоти 20 послідовність імпульсів надходить через третій логічний елемент І 34 та перший логічний елемент АБО 37 на вхід першого лічильника імпульсів 38, фіксуючи в ньому витрачання робочого ресурсу ізоляції обмоток силового трансформатора при поточному перевантаженні.

50 Якщо параметри перевантаження силового трансформатора змінюється, то на виході другого функціонального перетворювача 19 з'являється інший код і інша послідовність імпульсів з виходу керованого дільника частоти 20 подається в перший лічильник імпульсів 38.

55 При завершенні режиму перевантаження силового масляного трансформатора на виході другого компаратора 14 з'являється сигнал логічного нуля і пристрій переходить в режим відслідковування спрацювання ресурсу ізоляції обмоток в нормальному режимі роботи трансформатора.

Датчики початку руху реєструють момент пофазного перемикавання пристрою РПН. Під час спрацювання датчиків початку руху сигнал надходить у логічний елемент АБО-ІІ 39, вихідний сигнал якого розмикає електронний ключ 11, вимикаючи канал діагностування трансформатора в режимі перевантаження, та розблоковує роботу третього 51, четвертого 52 та п'ятого 53



лічильників імпульсів. Припустимо, що у фазі А почалось перемикання раніше ніж у фазах В та С. Тоді на виході першого датчика початку руху 40 сигнал з'являється раніше, ніж на датчиках 41 та 42. Відповідно сигнал з датчика 40 подається на перший 43 та третій 45 логічні елементи ВІКЛЮЧНЕ АБО, вихідні сигнали з яких дають можливість проходження імпульсів з четвертого генератора імпульсів 46 через п'ятий 47 та сьомий 49 логічні елементи І до третього 51 та п'ятого 53 лічильників імпульсів відповідно, вихідні цифрові коди яких порівнюються у першому 54 та третьому 56 цифрових компараторах із цифровим кодом, який надходить із блока задання ресурсу 50. Якщо цифровий код, який записаний у лічильник імпульсів менший цифрового коду, який записаний у блоці задання ресурсу, то пристрій РПН працює у допустимому режимі роботи. В іншому випадку на виходах першого 54 та третього 56 цифрових компараторів з'являються сигнали, які через третій 57 та п'ятий 59 логічні елементи АБО відповідно надходять на перший 61 та третій 63 індикатори та на другий логічний елемент АБО 60, з якого сигнал надходить у кола сигналізації оперативного персоналу.

Аналогічно пристрій працює, якщо перемикання починається раніше у фазі В. У цьому випадку сигнал проходить через другий 44 та перший 43 логічні елементи ВІКЛЮЧНЕ АБО, шостий 48 та п'ятий 47 логічні елементи І, четвертий 52 та третій 51 лічильники імпульсів, другий 55 та перший 54 цифрові компаратори, четвертий 58 та третій 57 логічні елементи АБО. При перевищенні кількості імпульсів записаних у лічильниках імпульсів допустимого значення буде надходити сигнал у другий 62 та перший 61 індикатори та через другий логічний елемент АБО 60 у кола сигналізації оперативного персоналу. Аналогічним чином працюватиме пристрій, якщо перемикання починається раніше у фазі С.

Після закінчення переключення електронний ключ 11 замикається, режим діагностування обмоток трансформатора відновлюється, третій 51, четвертий 52 та п'ятий 53 лічильники імпульсів обнуляються і пристрій переходить в режим очікування перемикання пристроєм РПН відпайок фаз силового масляного трансформатора.

Слід зазначити, що при спрацюванні пристрою, коли має місце несинхронне перемикання відпайок пристрою РПН вмикається одночасно два індикатори. Якщо вмикається перший індикатор 61 (даний індикатор символізує про присутність несинхронного режиму під час перемикання між фазами А та В) та третій індикатор 63 (даний індикатор символізує про присутність несинхронного режиму під час перемикання між фазами А та С), відповідно робиться висновок про ненормальну роботу пристрою РПН у фазі А. Так саме при спрацюванні іншої пари індикаторів можна дізнатись, у якій фазі пристрій РПН здійснює неоднчасне перемикання у порівнянні із іншими фазами.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій для діагностування силового масляного трансформатора, що містить два датчики температури, датчик напруги, датчик струму, три генератори імпульсів, чотири логічні елементи І, два лічильники імпульсів, суматор, два аналого-цифрових перетворювача, цифро-аналоговий перетворювач, логічний елемент АБО, два компаратори, RS-тригер, два функціональних перетворювачі, регістр, два перетворювачі температури в постійну напругу, два перетворювачі змінної напруги в постійну, чотири нормуючі перетворювачі, блок обчислення потужності, блок задання потужності, керований дільник частоти, формувач імпульсів, логічний елемент НІ, причому виходи першого і другого датчиків температури з'єднані відповідно з входами першого і другого перетворювачів температури в постійну напругу, вихід суматора через перший функціональний перетворювач підключений до першого входу першого компаратора, другий вхід якого з'єднаний з виходом цифро-аналогового перетворювача, а вихід підключений до першого входу RS-тригера, вихід якого з'єднаний з другим входом першого логічного елемента І, перший вхід якого підключений до виходу другого генератора імпульсів, а вихід з'єднаний з першим входом другого лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини цифро-аналогового перетворювача, вихід першого перетворювача температури в постійну напругу через перший нормуючий перетворювач підключений до входу першого аналого-цифрового перетворювача, вихідна цифрова шина якого з'єднана з першою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини регістра, вхідна цифрова шина якого разом з третьою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача з'єднані з вхідною цифровою шиною другого аналого-цифрового перетворювача, вхід якого разом з першим входом другого компаратора підключені до виходу першого перетворювача змінної напруги в постійну, вхід якого з'єднаний з виходом блока обчислення потужності, блок задання потужності підключений до другого входу другого компаратора, вихід якого з'єднаний зі входами другого

функціонального перетворювача, другим входом третього логічного елемента І, входом логічного елемента НІ та першим входом другого логічного елемента І, другим входом якого підключений до виходу третього генератора імпульсів, а вихід з'єднаний зі входом регістра, вихід датчика напруги через другий нормуючий перетворювач підключений до першого входу

5 блока обчислення потужності, вихід датчика струму з'єднаний з входом третього нормуючого перетворювача, вихід другого перетворювача змінної напруги в постійну з'єднаний з першим входом суматора, другим входом якого підключений до виходу четвертого нормуючого перетворювача, входом якого з'єднаний з виходом другого перетворювача температури в постійну напругу, вихід RS-тригера підключений до входу формувача імпульсів, вихід якого з'єднаний з

10 другим входом RS-тригера і другим входом другого лічильника імпульсів, вихід першого логічного елемента І підключений до другого входу четвертого логічного елемента І, перший вход якого з'єднаний з виходом логічного елемента НІ, а вихід підключений до другого входу першого логічного елемента АБО, вихід якого з'єднаний зі входом першого лічильника імпульсів, а перший вход підключений до виходу третього логічного елемента І, перший вход

15 якого з'єднаний з виходом керованого дільника частоти, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого функціонального перетворювача, а вход з'єднаний з виходом першого генератора імпульсів, який **відрізняється** тим, що в нього введено три датчика початку руху, три логічних елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, логічний елемент АБО-НІ, п'ятий, шостий та сьомий логічні елементи І, другий, третій, четвертий та п'ятий логічні елементи АБО,

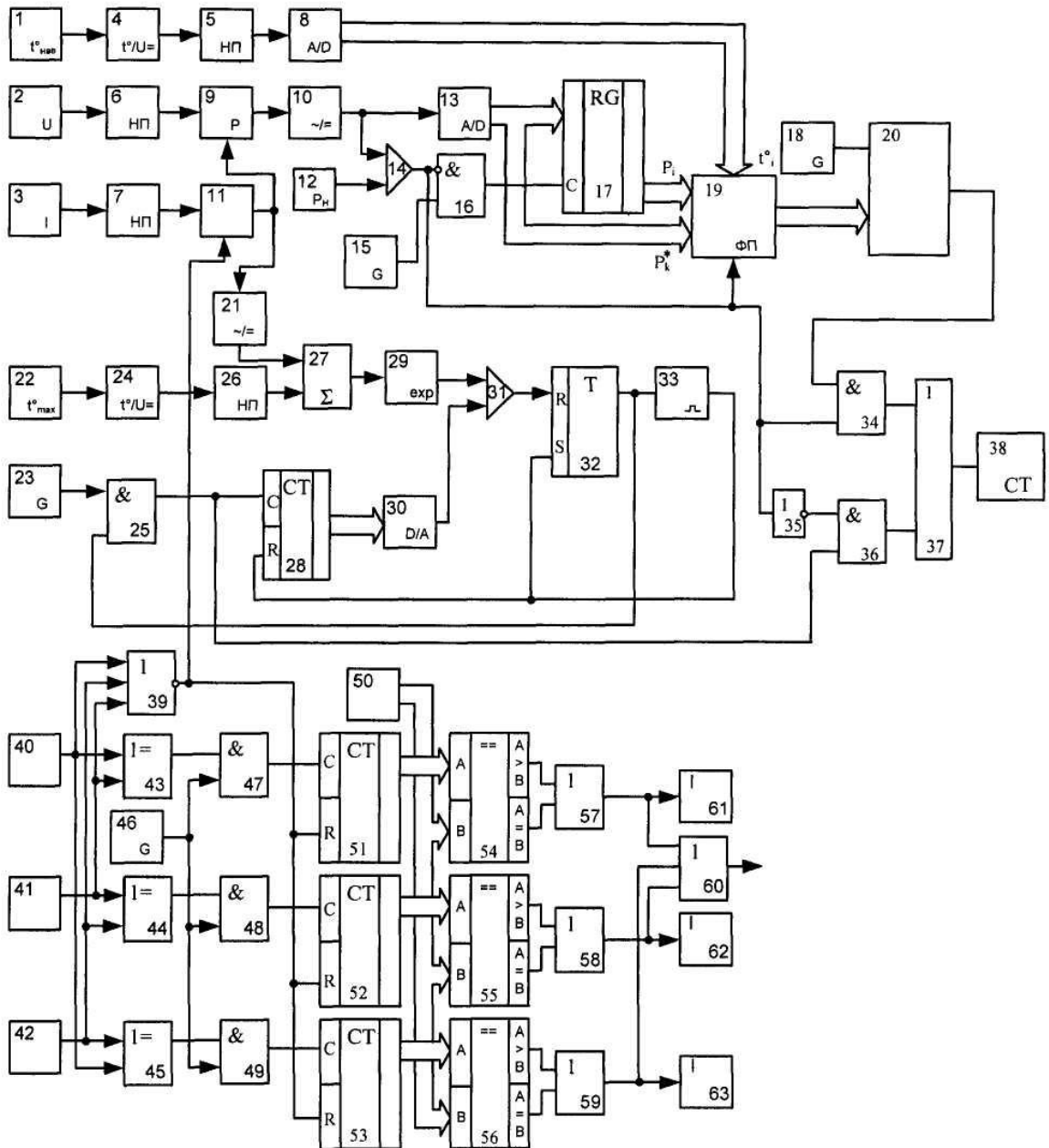
20 четвертий генератор імпульсів, третій, четвертий, та п'ятий лічильники імпульсів, три цифрові компаратори, три індикатори, блок задання ресурсу, електронний ключ, причому вихід першого датчика початку руху підключений до першого входу логічного елемента АБО-НІ, другого входу третього логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО і до першого входу першого логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, другий вход якого з'єднаний з виходом другого датчика початку руху, третім

25 входом логічного елемента АБО-НІ і першим входом другого логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, другий вход якого підключений до виходу третього датчика початку руху, другого входу логічного елемента АБО-НІ і першого входу третього логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, виходи першого, другого та третього логічних елементів ВИКЛЮЧНЕ АБО з'єднані відповідно з першими входами п'ятого, шостого та сьомого логічних елементів І, другі входи яких підключені

30 до виходу четвертого генератора імпульсів, а виходи з'єднані з першими входами третього, четвертого та п'ятого лічильників імпульсів відповідно, другі входи лічильників імпульсів підключені до виходу логічного елемента АБО-НІ та до керованого входу електронного ключа, входом якого з'єднаний з виходом третього нормуючого перетворювача, а вихід підключений до

35 другого входу блока обчислення потужності та входу другого перетворювача змінної напруги в постійну, цифровий вихід блока задання ресурсу з'єднаний з другими входами першого, другого та третього цифрових компараторів, перші цифрові входи яких підключені до виходів третього, четвертого та п'ятого лічильників імпульсів відповідно, перші та другі виходи першого, другого та

40 третього цифрових компараторів з'єднані з першими та другими входами третього, четвертого та п'ятого логічних елементів АБО відповідно, виходи яких підключені до першого, другого та третього індикаторів та до першого, другого та третього входів другого логічного елемента АБО відповідно, вихід якого з'єднаний з колами сигналізації оперативного персоналу.



Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

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