

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 135680

ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ  
СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.07.2019.

Заступник Міністра економічного розвитку і торгівлі України

Ю.П. Бровченко







МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **135680** (13) **U**  
(51) МПК  
**G01R 31/06** (2006.01)

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

(21) Номер заявки: <b>u 2019 01342</b>	(72) Винахідник(и): <b>Розводюк Михайло Петрович (UA), Овчарук Василь Володимирович (UA), Левашов Сергій Сергійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>11.02.2019</b>	(73) Власник(и): <b>ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.07.2019</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.07.2019, Бюл.№ 13</b>	

**(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

(57) Реферат:

Пристрій для контролю технічного стану силового масляного трансформатора містить два датчики температури, датчик напруги, два датчики струму, три генератори імпульсів, шість логічних елементів І, п'ять лічильників імпульсів, суматор, два аналого-цифрових перетворювачі, цифро-аналоговий перетворювач, два логічних елементи АБО, чотири компаратори, RS-тригер, два функціональних перетворювачі, регістр, два перетворювачі температури в постійну напругу, два перетворювачі змінної напруги в постійну, п'ять нормуючих перетворювачів, блок обчислення потужності, блок задання потужності, керований дільник частоти, два формувачі імпульсів, два логічних елементи НІ, датчик початку руху, перетворювач струму в постійну напругу, джерело опорної напруги, блок установки нуля, три блоки задання ресурсу, три цифрових компаратори, три індикатори, електронний ключ. Додатково введено датчик коефіцієнта потужності та шостий нормуючий перетворювач, причому вихід датчика коефіцієнта потужності підключений до третього входу блока обчислення потужності через шостий нормуючий перетворювач.

UA 135680 U

Корисна модель належить до області електротехніки і може бути використана для контролю технічного стану силового масляного трансформатора.

Відомий пристрій для вимірювання спрацювання обмоток силового масляного трансформатора [Патент України №60549, МПК G01R 31/00, бюл. №12, 2011], який 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 першого компаратора, другий вхід 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 вхідної 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 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 з 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 вхідної цифрової шини другого функціонального перетворювача, а вхід з'єднаний з виходом першого генератора імпульсів.

Недоліком даного пристрою є недостатня точність, оскільки відсутня можливість діагностування пристрою регулювання напруги під навантаженням (РПН) силового масляного трансформатора.

За найближчий аналог вибрано пристрій для діагностування силового масляного трансформатора [Патент України №696452, МПК G01R 31/06, бюл. №9, 2012], який містить два датчики температури, датчик напруги, два датчики струму, три генератори імпульсів, шість логічних елементів I, п'ять лічильників імпульсів, суматор, два аналого-цифрових перетворювачі, цифро-аналоговий перетворювач, два логічних елементи АБО, чотири компаратори, RS-тригер, два функціональних перетворювачі, регістр, два перетворювачі температури в постійну напругу, два перетворювачі змінної напруги в постійну, п'ять нормуючих перетворювачів, блок обчислення потужності, блок задання потужності, керований дільник частоти, два формувачі імпульсів, два логічних елементи NI, датчик початку руху, перетворювач струму в постійну напругу, джерело опорної напруги, блок установки нуля, три блоки задання ресурсу, три цифрових компаратори, три індикатори, електронний ключ, 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

5 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 І, входом першого логічного елемента НІ та першим входом другого логічного елемента І, 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 першого 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 першого формувача імпульсів, вихід якого з'єднаний з другим входом RS-тригера і другим входом другого лічильника імпульсів, вихід першого логічного елемента І підключений до другого входу четвертого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого логічного елемента НІ, 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 І, 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, вихід другого датчика струму через перетворювач струму в постійну напругу підключений до п'ятого нормуючого перетворювача, вихід якого з'єднаний з першим входом третього компаратора та з другим входом четвертого компаратора, перший вхід якого і другий вхід третього компаратора підключені до виходу джерела опорної напруги, вихід третього компаратора з'єднаний з першим входом п'ятого логічного елемента І, вихід четвертого компаратора підключений до першого входу шостого логічного елемента І, а другий вхід якого разом із другим входом п'ятого логічного елемента І та з першим входом п'ятого лічильника імпульсів з'єднаний із виходом датчика початку руху через другий формувач імпульсів, вихід блока установки нуля підключений до других входів третього, четвертого та п'ятого лічильників імпульсів, перші входи третього та четвертого лічильників імпульсів з'єднані із виходами п'ятого та шостого логічних елементів І відповідно, вихідні цифрові шини третього, четвертого та п'ятого лічильників імпульсів підключені до перших входів першого, другого та третього цифрових компараторів відповідно, другі цифрові входи яких з'єднані із першим, другим та третім блоками задання ресурсу відповідно, а виходи підключені до входів першого, другого та третього індикаторів та до першого, другого та третього входів другого логічного елемента АБО, вихід якого з'єднаний з колами сигналізації оперативного персоналу, вихід датчика початку руху підключений через другий логічний елемент НІ до керуючого входу електронного ключа, вхід якого з'єднаний з виходом третього нормуючого перетворювача, а вихід з другим входом блока обчислення потужності та з другим перетворювачем змінної напруги в постійну.

Недоліком даного пристрою є недостатня точність, оскільки при визначенні поточного значення активної потужності трансформатора не враховується коефіцієнт потужності.

50 В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення пристрою контролю технічного стану силового масляного трансформатора, в якому за рахунок введення нових блоків, та зв'язків між ними досягається підвищення точності роботи пристрою, а як наслідок, є можливість більш об'єктивно оцінити технічний стан трансформатора на даний момент часу й спрогнозувати його зміну в майбутньому, що дає можливість обґрунтовано й об'єктивно призначити заходи щодо технічного обслуговування й ремонту.

55 Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для контролю технічного стану силового масляного трансформатора, який містить два датчики температури, датчик напруги, два датчики струму, три генератори імпульсів, шість логічних елементів І, п'ять лічильників імпульсів, суматор, два аналого-цифрових перетворювачі, цифро-аналогових перетворювачі, два логічних елементів АБО, чотири компаратори, RS-тригер, два функціональних перетворювачі, регістр, два перетворювачі температури в постійну напругу, два перетворювачі



змінної напруги в постійну, п'ять нормуючих перетворювачів, блок обчислення потужності, блок задання потужності, керований дільник частоти, два формувачі імпульсів, два логічних елементів НІ, датчик початку руху, перетворювач струму в постійну напругу, джерело опорної напруги, блок установки нуля, три блоки задання ресурсу, три цифрові компаратори, три індикатори, електронний ключ, 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 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 І, входом першого логічного елемента НІ та першим входом другого логічного елемента І, 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 першого 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, вихід якого з'єднаний з виходом другого перетворювача температури в постійну напругу, вихід RS-тригера підключений до входу першого формувача імпульсів, вихід якого з'єднаний з другим входом RS-тригера і другим входом другого лічильника імпульсів, вихід першого логічного елемента І підключений до другого входу четвертого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого логічного елемента НІ, 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 І, перший вхід якого з'єднаний з виходом керованого дільника частоти, вхідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини другого функціонального перетворювача, а вхід з'єднаний з виходом першого генератора імпульсів, вихід другого датчика струму через перетворювач струму в постійну напругу підключений до п'ятого нормуючого перетворювача, вихід якого з'єднаний з першим входом третього компаратора та з другим входом четвертого компаратора, перший вхід якого і другий вхід третього компаратора підключені до виходу джерела опорної напруги, вихід третього компаратора з'єднаний з першим входом п'ятого логічного елемента І, вихід четвертого компаратора підключений до першого входу шостого логічного елемента І, а другий вхід якого разом із другим входом п'ятого логічного елемента І та з першим входом п'ятого лічильника імпульсів з'єднаний із виходом датчика початку руху через другий формувач імпульсів, вихід блока установки нуля підключений до других входів третього, четвертого та п'ятого лічильників імпульсів, перші входи третього та четвертого лічильників імпульсів з'єднані із виходами п'ятого та шостого логічних елементів І відповідно, вихідні цифрові шини третього, четвертого та п'ятого лічильників імпульсів підключені до перших входів першого, другого та третього цифрових компараторів відповідно, другі цифрові входи яких з'єднані із першим, другим та третім блоками задання ресурсу відповідно, а виходи підключені до входів першого, другого та третього індикаторів та до першого, другого та третього входів другого логічного елемента АБО, вихід якого з'єднаний з колами сигналізації оперативного персоналу, вихід датчика початку руху підключений через другий логічний елемент НІ до керуючого входу електронного ключа, вхід якого з'єднаний з виходом третього нормуючого перетворювача, а вихід з другим входом блока обчислення потужності та з другим перетворювачем змінної напруги в постійну, введено датчик коефіцієнта потужності та шостий нормуючий перетворювач, причому вихід датчика коефіцієнта потужності підключений до третього входу блока обчислення потужності через шостий нормуючий перетворювач.

Пристрій для контролю технічного стану силового масляного трансформатора, пояснюється кресленням, на якому зображена його структурна схема, де: 1, 22 - перший та другий датчики температури відповідно; 2 - датчик напруги; 3, 40 - перший та другий датчики струму відповідно; 4, 24 - перший та другий перетворювачі температури в постійну напругу; 5, 6, 7, 26, 44, 65 - перший, другий, третій, четвертий, п'ятий та шостий нормуючі перетворювачі відповідно; 8, 13 - перший та другий аналого-цифрові перетворювачі відповідно; 9 - блок обчислення потужності; 10, 21 - перший та другий перетворювачі змінної напруги в постійну відповідно; 11 - електронний ключ; 12 - блок задання потужності; 14, 31, 46, 47 - другий, перший, третій та четвертий компаратори відповідно; 15, 18, 23 - третій, перший та другий генератори імпульсів відповідно; 16, 25, 34, 36, 49, 50 - другий, перший, третій, четвертий, п'ятий та шостий логічні елементи I відповідно; 17 - регістр; 19, 29 - другий та перший функціональні перетворювачі відповідно; 20 - керований дільник частоти; 27 - суматор; 28, 38, 51, 52, 53 - другий, перший, третій, четвертий та п'ятий лічильники імпульсів відповідно; 30 - цифро-аналоговий перетворювач; 32-RS-тригер; 33, 43 - перший та другий формувачі імпульсів відповідно; 35, 39 - перший та другий логічні елементи NI відповідно; 37, 60 - перший та другий логічні елементи АБО відповідно; 41 - перетворювач струму в постійну напругу; 42 - датчик початку руху приходу РПН; 45 - джерело опорної напруги; 48 - блок установки нуля; 54, 55, 56 - перший, другий та третій блоки задання ресурсу відповідно; 57, 58, 59 - перший, другий та третій цифрові компаратори відповідно; 61, 62, 63 - перший, другий та третій індикатори відповідно; 64 - датчик коефіцієнта потужності, причому виходи першого 1 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 I 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 I 34, входом першого логічного елемента NI 35 та першим входом другого логічного елемента I 116, 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 першого датчика струму 3 з'єднаний з виходом 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 першого формувача імпульсів 33, вихід якого з'єднаний з другим входом RS-тригера 32 і другим входом другого лічильника імпульсів 28, вихід першого логічного елемента I 25 підключений до другого входу четвертого логічного елемента I 36, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого логічного елемента NI 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 I 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 другого датчика струму 40 через перетворювач струму в постійну напругу 41 підключений до п'ятого нормуючого перетворювача 44, вихід якого з'єднаний з першим входом третього компаратора 46 та з другим входом четвертого компаратора 47, перший вхід якого і другий вхід третього компаратора 46 підключені до виходу джерела опорної напруги 45, вихід третього компаратора 46 з'єднаний з першим входом п'ятого логічного елемента I 49, вихід четвертого компаратора 47 підключений до першого входу



шостого логічного елемента І 50, а другий вхід якого разом із другим входом п'ятого логічного елемента І 49 та з першим входом п'ятого лічильника імпульсів 53 з'єднаний із виходом датчика початку руху 42 через другий формувач імпульсів 43, вихід блока установки нуля 48 підключений до других входів третього 51, четвертого 52 та п'ятого 53 лічильників імпульсів, перші входи третього 51 та четвертого 52 лічильників імпульсів з'єднані із виходами п'ятого 49 та шостого 50 логічних елементів І відповідно, вихідні цифрові шини третього 51, четвертого 52 та п'ятого 53 лічильників імпульсів підключені до перших входів першого 57, другого 58 та третього 59 цифрових компараторів відповідно, другі цифрові входи яких з'єднані із першим 54, другим 55 та третім 56 блоками задання ресурсу відповідно, а виходи підключені до входів першого 61, другого 62 та третього 63 індикаторів та до першого, другого та третього входів другого логічного елемента АБО 60, вихід якого з'єднаний з колами сигналізації оперативного персоналу, вихід датчика початку руху 42 підключений через другий логічний елемент НІ 39 до керуючого входу електронного ключа 11, вхід якого з'єднаний з виходом третього нормуючого перетворювача 7, а вихід - з другим входом блока обчислення потужності 9 та з другим перетворювачем змінної напруги в постійну 21, вихід датчика коефіцієнта потужності 64 підключений до третього входу блока обчислення потужності 9 через шостий нормуючий перетворювач 65.

Запропонований пристрій працює так. При подачі живлячої напруги на схему блок установки нуля 48 виробляє імпульс, який встановлює третій 51, четвертий 52 та п'ятий 53 лічильники імпульсів. Одночасно перший 18, другий 23 та третій 15 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. Перший 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. Датчик коефіцієнта потужності 64 встановлений у вторинному колі трансформатора. За допомогою датчиків 1, 2, 3 та 64 можна контролювати спрацювання ресурсу ізоляції обмоток силового трансформатора, який працює в режимі перевантаження.

Другий датчик струму 40 установлений в колі перемикання відпайок пристрою РПН і дозволяє вимірювати струм, який протікає під час перемикання з однієї відпайки на іншу. Датчик початку руху 42 установлений на валу привода РПН і дозволяє контролювати процес перемикання пристрою РПН. За допомогою датчиків 40 та 42 можна контролювати спрацювання ресурсу пристрою РПН силового масляного трансформатора.

Згідно з рівнянням Монтзінгера, яке прийнято як закон старіння ізоляції обмоток,

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

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;  $\theta_m$  - перевищення температури найбільш нагрітої точки ізоляції, викликане зміною струмів навантаження;  $\theta_0$  - температура ізоляції обмоток.

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

$$\theta_m = \beta' \tau_n k^n, \quad (2)$$

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

Відповідно до (1) миттєве старіння ізоляції трансформатора визначається експоненціальною функцією зі степенем, який дорівнює  $(\theta_m + \theta_0)$ .

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

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

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

При вимірюванні робочого ресурсу ізоляції обмоток силового масляного трансформатора в нормальному режимі його функціонування сигнали з другого датчика температури 22 та першого 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  $(\theta_m + \theta_0)$ . Якщо RS-тригер 32 встановлений в одиничний стан (а це має місце, коли на виході першого 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  $e^{\alpha(\theta_m + \theta_0)}$ , 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 першого 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  $m \int_0^t e^{\alpha(\theta_m + \theta_0)} dt$ .

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.

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.

В режимі перевантаження трансформатора з виходів першого датчика температури 1, датчика напруги 2, першого датчика струму 3 та датчика коефіцієнта потужності 64 сигнали, що відповідають значенням температури навколишнього середовища, напруги трансформатора, струму, що протікає через трансформатор, коефіцієнту потужності відповідно надходять через відповідні перетворювачі сигналів - перший перетворювач температури в постійну напругу 4, перший нормуючий перетворювач 5, другий нормуючий перетворювач 6, третій нормуючий перетворювач 7 та шостий нормуючий перетворювач 65 до блоку обчислення потужності 9.

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.

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 116, внаслідок чого в регістрі 17 значення потужності нормального режиму роботи трансформатора. Одночасно вихідним сигналом другого компаратора 14 відкривається третій логічний елемент І 34 та через перший 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.



Крім того, вихідним сигналом другого компаратора 14 розблоковується робота другого функціонального перетворювача 19, на виході 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.

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.

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

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.

Відомо, що при діагностуванні пристроїв РПН нормується значення спрацювань в різних режимах роботи. Так, наприклад якщо струм переключення більший 1000 А, то пристрій РПН повинен гарантовано здійснити 50 тисяч перемикань, якщо струм менший 1000 А - 100 тис. перемикань, а механічна стійкість пристрою РПН повинна здійснити не менше 500 тис. перемикань. Відповідно у третьому лічильнику імпульсів 51 буде записуватись значення, яке відображає перемикання із струмом вище 1000 А, у четвертому лічильнику імпульсів 52 - перемикання із струмом нижче 1000 А, а у п'ятому лічильнику імпульсів 53 перемикання, що характеризують механічну стійкість пристрою РПН.

При перемиканні пристрою РПН з однієї відпайки на іншу виміряне значення струму з другого датчика струму 40 через перетворювач струму в постійну напругу 41, п'ятий нормуючий перетворювач 44 подається на третій 46 та четвертий 47 компаратори, в яких порівнюється виміряне значення із значенням, що присутнє на виході джерела опорної напруги 45. У випадку, коли струм перемикання більший 1000 А, тоді на виході третього компаратора 46 з'являється сигнал логічної одиниці, а на виході четвертого компаратора 47 сигнал логічного нуля. В момент перемикання сигнал з датчика початку руху 42 подається на другий формувач імпульсів 43, з виходу якого імпульс подається через відкритий п'ятий логічний елемент І 49 у третій лічильник імпульсів 51. Записаний цифровий код порівнюється із цифровим кодом, який надходить із першого блока задання ресурсу 54 у першому цифровому компараторі 57. У випадку співпадання цифрових кодів на виході першого цифрового компаратора 57 з'явиться сигнал, який вмикає перший індикатор 61 та через другий логічний елемент АБО 60 надходить у кола управління оперативного персоналу, сигналізуючи про вичерпання ресурсу пристрою РПН.

Якщо струм перемикання 1000 А, то на виході четвертого компаратора 47 встановиться сигнал логічної одиниці, а на виході третього компаратора 46 сигнал логічного нуля. В момент перемикання сигнал з датчика початку руху 42 подається на другий формувач імпульсів 43, з виходу якого імпульс подається через відкритий шостий логічний елемент І 50 у четвертий лічильник імпульсів 52. Записаний цифровий код порівнюється із цифровим кодом, який надходить із другого блока задання ресурсу 55 у другому цифровому компараторі 58. У випадку співпадання цифрових кодів на виході другого цифрового компаратора 58 з'явиться сигнал, який вмикає другий індикатор 62 та через другий логічний елемент АБО 60 надходить у кола управління оперативного персоналу, сигналізуючи про вичерпання ресурсу пристрою РПН.

При цьому механічна стійкість пристрою РПН у кожному із попередніх режимів фіксується у п'ятому лічильнику імпульсів 53 у вигляді одного імпульсу при кожній комутації. На виході п'ятого лічильника імпульсів 53 формується цифровий код, який порівнюється у третьому цифровому компараторі 59 із цифровим кодом, що надходить із третього блока задання ресурсу 56. У випадку співпадання цифрових кодів на виході третього цифрового компаратора 59 з'явиться сигнал, який вмикає третій індикатор 63 та через другий логічний елемент АБО 60

надходить у кола управління оперативного персоналу, сигналізуючи про вичерпання ресурсу пристрою РПН.

5 Слід зазначити, що під час ремонтів силового трансформатора в разі перемикання пристрою РПН сигнал з датчика початку руху 42 подається на другий формувач імпульсів 43, з виходу якого імпульс надходить лише у п'ятий лічильник імпульсів 53 (лічильник механічної стійкості).

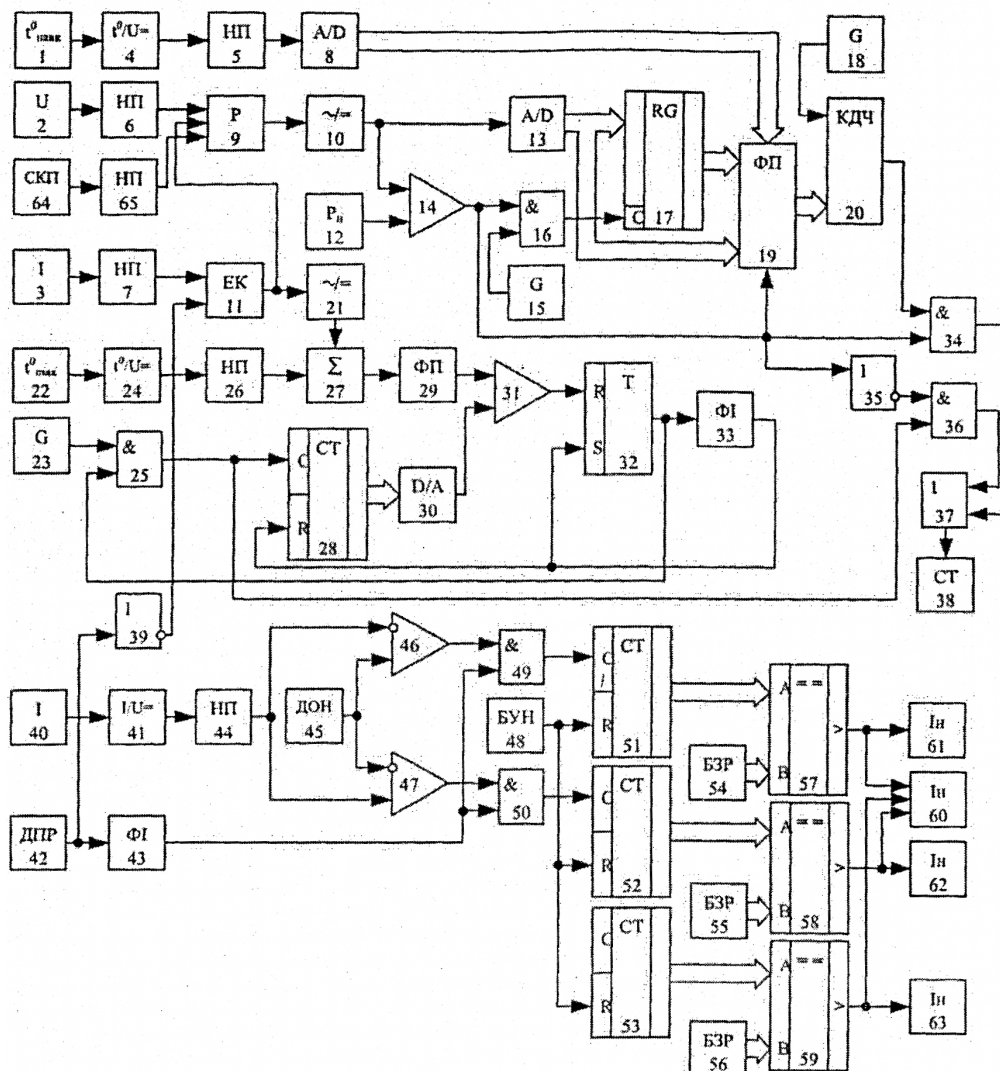
10 В момент перемикання пристрою РПН сигнал з датчика початку руху 42 подається на другий логічний елемент НІ 39, вихідним сигналом якого закривається електронний ключ 11, внаслідок чого вимикається канал діагностування трансформатора в режимі перевантаження. Після перемикання пристрою РПН на виході датчика початку руху 42 з'являється сигнал логічного нуля, а на керуючому вході електронного ключа 11 з'являється сигнал логічної одиниці, ключ 11 замикається і процес діагностування обмоток трансформатора відновлюється.

#### 15 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

15 Пристрій для контролю технічного стану силового масляного трансформатора, який містить два датчики температури, датчик напруги, два датчики струму, три генератори імпульсів, шість логічних елементів І, п'ять лічильників імпульсів, суматор, два аналого-цифрових перетворювачі, цифро-аналоговий перетворювач, два логічних елементи АБО, чотири компаратори, RS-тригер, два функціональних перетворювачі, регістр, два перетворювачі температури в постійну напругу, два перетворювачі змінної напруги в постійну, п'ять нормуючих перетворювачів, блок обчислення потужності, блок задання потужності, керований дільник частоти, два формувачі імпульсів, два логічних елементи НІ, датчик початку руху, перетворювач струму в постійну напругу, джерело опорної напруги, блок установки нуля, три блоки задання ресурсу, три цифрових компаратори, три індикатори, електронний ключ, 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 цифрою шиною другого функціонального перетворювача, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини регістра, вхідна цифрова шина разом з третьою вхідною цифрою шиною другого функціонального перетворювача з'єднані з вихідною цифрою 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 першого логічного елемента НІ та першим входом другого логічного елемента І, 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 першого 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 виходу першого формувача імпульсів, вихід якого з'єднаний з другим входом RS-тригера і другим входом другого лічильника імпульсів, вихід першого логічного елемента І підключений до другого входу четвертого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого логічного елемента НІ, 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 І, 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, вихід другого датчика струму через перетворювач струму в постійну напругу підключений до п'ятого нормуючого перетворювача,



- вихід якого з'єднаний з першим входом третього компаратора та з другим входом четвертого компаратора, перший вхід якого і другий вхід третього компаратора підключені до виходу джерела опорної напруги, вихід третього компаратора з'єднаний з першим входом п'ятого логічного елемента І, вихід четвертого компаратора підключений до першого входу шостого логічного елемента І, а другий вхід якого разом із другим входом п'ятого логічного елемента І та з першим входом п'ятого лічильника імпульсів з'єднаний із виходом датчика початку руху через другий формувач імпульсів, вихід блока установки нуля підключений до других входів третього, четвертого та п'ятого лічильників імпульсів, перші входи третього та четвертого лічильників імпульсів з'єднані із виходами п'ятого та шостого логічних елементів І відповідно, вихідні цифрові шини третього, четвертого та п'ятого лічильників імпульсів підключені до перших входів першого, другого та третього цифрових компараторів відповідно, другі цифрові входи яких з'єднані із першим, другим та третім блоками задання ресурсу відповідно, а виходи підключені до входів першого, другого та третього індикаторів та до першого, другого та третього входів другого логічного елемента АБО, вихід якого з'єднаний з колами сигналізації оперативного персоналу, вихід датчика початку руху підключений через другий логічний елемент НІ до керуючого входу електронного ключа, вхід якого з'єднаний з виходом третього нормуючого перетворювача, а вихід з другим входом блока обчислення потужності та з другим перетворювачем змінної напруги в постійну, який відрізняється тим, що в нього введено датчик коефіцієнта потужності та шостий нормуючий перетворювач, причому вихід датчика коефіцієнта потужності підключений до третього входу блока обчислення потужності через шостий нормуючий перетворювач.



Комп'ютерна верстка М. Мацело

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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