УКРАЇНА

(19) UA (11) 61783 (13) U

(51) МПК
G01R 31/06 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ

ОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під відповідальність власника патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РОБОЧОГО РЕСУРСУ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

(21) u201101004
(22) 31.01.2011
(24) 25.07.2011
(46) 25.07.2011, Бюл.№ 14, 2011 р.
(72) ГРАБКО ВОЛОДИМИР ВІТАЛІЙОВИЧ, БАЛЬЗАН ІГОР ВІКТОРОВИЧ
(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(57) Пристрій для оцінювання залишкового робочого ресурсу силового масляного трансформатора, що містить два датчики температури, два перетворювачі температури в постійну напругу, датчик струму, перетворювач струму в постійну напругу, три суматори, функціональний перетворювач, RS-тригер, два цифро-аналогових перетворювачі, чотири лічильники імпульсів, два реверсивні лічильники імпульсів, вісім логічних елементів І, логічний елемент АБО, два індикатори, два діоди, інвертор, три компаратори, цифровий компаратор, два масштабуючі підсилювачі, три генератори імпульсів, джерело опорної напруги, дільник частоти, цифровий комутатор, блок установки нуля, блок задання ресурсу, причому вихід першого датчика температури через перший перетворювач температури в постійну напругу підключений до першого входу першого суматора, другий вхід якого з'єднаний з датчиком струму через перетворювач струму в постійну напругу, вихід другого датчика температури через другий перетворювач температури в постійну напругу з'єднаний з входом першого масштабуючого підсилювача, вихід якого підключений до другого входу другого суматора і до першого входу третього суматора, другий вхід якого з'єднаний з третім входом другого суматора і з виходом другого масштабуючого підсилювача, до входу якого підключений вихід першого перетворювача температури в постійну напругу, вихід джерела опорної напруги з'єднаний з першим входом другого суматора, вихід якого підключений до першого входу першого компаратора, другий вхід якого з'єднаний з виходом першого цифро-аналогового перетворювача, до вхідної цифрової шини якого підключена вихідна цифрова шина другого реверсивного лічильника імпульсів, перший і другий входи якого з'єднані з виходами п'ятого і шостого логічних елементів І відповідно, вихід першого компаратора підключений до катода другого діода і до анода першого діода, катод якого з'єднаний з першими входами першого логічного елемента І і п'ятого логічного елемента І, другий вхід якого, а також перший вхід шостого логічного елемента І та вхід дільника частоти підключені до виходу четвертого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом третього генератора імпульсів, а другий вхід і перший вхід третього логічного елемента І підключені до виходу другого компаратора, вхід якого з'єднаний з виходом третього суматора, вихід дільника частоти підключений до других входів першого і другого логічних елементів І, виходи яких з'єднані відповідно з першим і другим входами першого реверсивного лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини цифрового комутатора, перший, другий, третій і четвертий входи якого з'єднані відповідно з четвертим, третім, другим і першим виходами другого лічильника імпульсів, а вихід підключений до другого входу третього логічного елемента І, вихід якого з'єднаний з першим входом третього лічильника імпульсів, а другий вхід останнього, а також і другий вхід першого лічильника імпульсів підключені до виходу блока установки нуля, вихід другого генератора імпульсів з'єднаний з входом другого лічильника імпульсів, з S-входом RS-тригера і з другим входом четвертого лічильника імпульсів, перший вхід якого підключений до виходу сьомого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого генератора імпульсів, а другий вхід підключений до виходу RS-тригера, R-вхід якого з'єднаний з виходом третього компаратора, перший вхід якого підключений до виходу першого суматора через перший функціональний перетворювач, а другий вхід з'єднаний з виходом другого цифро-аналогового перетворювача, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини четвертого лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина блока задання ресурсу з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового компаратора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини третього лічильника імпульсів, а вихід з'єднаний з входом першого індикатора і з першим входом першого логічного елемента АБО, вихід якого підключений в кола сигналізації опера-

(19) UA (11) 61783 (13) U

тивного персоналу, а другий вхід і вхід другого індикатора з'єднані з виходом восьмого логічного елемента І, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого лічильника імпульсів, анод другого діода через інвертор з'єднаний з першим входом другого логічного елемента І та другим входом шостого логічного елемента І, який **відрізняється** тим, що в нього введено датчик напруги, три нормуючі перетворювачі, два аналого-цифрових перетворювачі, регістр, другий функціональний перетворювач, п'ятий лічильник імпульсів, четвертий та п'ятий генератор імпульсів, дев'ятий, десятий та одинадцятий логічні елементи І, другий логічний елемент АБО, логічний елемент НІ, перетворювач змінної напруги в постійну, блок обчислення потужності, блок задання потужності, комутатор, причому вхід третього нормуючого перетворювача підключений до виходу другого перетворювач температури в постійну напругу, а вихід з'єднаний з входом другого аналого-цифрового перетворювача, вихідна цифрова шина якого підключена до третьої вхідної цифрової шини другого функціонального перетворювача, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною регістра, вхідна цифрова шина якого разом з другою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача підключені до вихідної цифрової шини першого аналого-цифрового перетворювача, вхід якого разом з першим входом четвертого компаратора з'єднані з виходом перетворювача змінної напруги в постійну, вхід якого підключений до виходу блока обчислення потужності, блок задання потужності з'єднаний з другим входом четвертого компаратора, вихід якого підключений до входів другого функціонального перетворювача, входом логічного елемента НІ, першим входом десятого логічного елемента І та другим входом одинадцятого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого генератора імпульсів, а вихід підключений до входу регістра, вихід датчика напруги через перший нормуючий перетворювач з'єднаний з другим входом блока обчислення потужності, перший вхід якого через другий нормуючий перетворювач підключений до виходу датчика струму, вихід сьомого логічного елемента І з'єднаний з першим входом дев'ятого логічного елемента І, другий вхід якого підключений до виходу логічного елемента НІ, а вихід з'єднаний з першим входом другого логічного елемента АБО, вихід якого підключений до входу першого лічильника імпульсів, а другий вхід з'єднаний з виходом десятого логічного елемента І, другий вхід якого підключений до виходу комутатора, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача, а n-входи підключені відповідно з n-виходами п'ятого лічильника імпульсів, вхід якого з'єднаний з виходом п'ятого генератора імпульсів.

Корисна модель відноситься до області електротехніки і може бути використана для оцінювання залишкового робочого ресурсу силового масляного трансформатора.

Відомий пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів (авт. св. СССР № 691787, опублік. 1979), що містить вимірювальний трансформатора струму, установлений в фазі силового трансформатора і з'єднаний через функціональний перетворювач з другим входом суматора, перший вхід якого підключений до датчика температури верхніх шарів трансформаторного масла через перетворювач температури в постійну напругу, виходи суматора через n порогових елементів з'єднані з входами генератора імпульсів, керуючий вхід якого підключений до виходу блока керування, а вихід з'єднаний з лічильником імпульсів.

Недоліком даного пристрою є низька точність, так як відсутня можливість оцінювання залишкового робочого ресурсу силового масляного трансформатора в режимі перевантаження.

За найближчий аналог вибраний пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів (Патент № 23192 А (Україна), М. кл. G01R 31/06, бюл. № 4, 1998), що містить перший датчик температури, вихід якого підключений через перший перетворювач температури в постійну напругу до першого входу першого суматора, з другим входом якого з'єднаний датчик струму через перетворювач струму в постійну напругу, вихід другого датчика температури через другий перетворювач температури в постійну напругу з'єднаний з входом першого масштабуючого підсилювача, вихід якого підключений до другого входу другого суматора і до першого входу третього суматора, другий вхід якого з'єднаний з третім входом другого суматора і виходом другого масштабуючого підсилювача, до входу якого підключений вихід першого перетворювача температури в постійну напругу, вихід джерела опорної напруги з'єднаний з першим входом другого суматора, вихід якого підключений до першого входу першого компаратора, другий вхід якого з'єднаний з виходом першого ЦАП, до вхідної цифрової шини якого підключена вихідна цифрова шина другого реверсивного лічильника імпульсів, перший і другий входи якого з'єднані з виходами п'ятого і шостого логічних елементів І відповідно, вихід першого компаратора підключений до катоду другого діода і до анода першого діода, катод якого з'єднаний з першими входами першого логічного елемента І та п'ятого логічного елемента І, другий вхід якого, а також перший вхід шостого логічного елемента І і вхід дільника частоти підключені до виходу четвертого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом третього генератора імпульсів, а другий вхід і перший вхід третього логічного елемента І підключені до виходу другого компаратора, вхід якого з'єднаний з виходом третього суматора, вихід дільника частоти підключений до других входів першого і другого логічних елементів І, виходи яких з'єднані відповідно з першим і другим входами першого реверсивного лічильника, вихідна ци-

фрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини цифрового комутатора, перший, другий, третій і четвертий входи якого з'єднані відповідно з четвертим, третім, другим і першим виходами другого лічильника імпульсів, а вихід підключений до другого входу третього логічного елемента І, вихід якого з'єднаний з першим входом третього лічильника імпульсів, а другий вхід останнього, а також і другий вхід першого лічильника імпульсів підключені до виходу блока установки нуля, вихід другого генератора імпульсів з'єднаний з входом другого лічильника імпульсів, з S-входом RS-тригера і з другим входом четвертого лічильника імпульсів, перший вхід якого, а також перший вхід першого лічильника імпульсів підключені до виходу сьомого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого генератора імпульсів, а другий вхід підключений до виходу RS-тригера, R-вхід якого з'єднаний з виходом третього компаратора, перший вхід якого підключений до виходу першого суматора через функціональний перетворювач, а другий вхід з'єднаний з виходом другого ЦАП, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини четвертого лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина блока задання ресурсу з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового компаратора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини третього лічильника імпульсів, а вихід з'єднаний з входом першого індикатора і з першим входом логічного елемента АБО, вихід якого підключений до кіл сигналізації, а другий вхід і вхід другого індикатора з'єднані з виходом восьмого логічного елемента І, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого лічильника імпульсів, анод другого діода через інвертор з'єднаний з першим входом другого логічного елемента І та з другим входом шостого логічного елемента І.

Головним недоліком даного пристрою є недостатня точність, так як відсутня можливість оцінювання залишкового робочого ресурсу силового масляного трансформатора в режимі перевантаження.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення пристрою для оцінювання залишкового робочого ресурсу силового масляного трансформатора, в якому за рахунок введення нових елементів та блоків, а також зв'язків між ними з'являється можливість оцінювати спрацювання робочого ресурсу силового масляного трансформатора, працюючого в режимі перевантаження, що дозволяє підвищити точність у оцінюванні залишкового робочого ресурсу силового масляного трансформатора.

Поставлена задача досягається тим, що в пристрій для оцінювання залишкового робочого ресурсу силового масляного трансформатора, який містить два датчика температури, два перетворювача температури в постійну напругу, датчик струму, перетворювач струму в постійну напругу, три суматори, функціональний перетворювач, RS-тригер, два ЦАП, чотири лічильники імпульсів, два реверсивних лічильника імпульсів, вісім логічних елементів І, логічний елемент АБО, два індикатори, два діода, інвертор, три компаратори, цифровий компаратор, два масштабуючі підсилювачі, три генератори імпульсів, джерело опорної напруги, дільник частоти, цифровий комутатор, блок установки нуля, блок задання ресурсу, причому вихід першого датчика температури через перший перетворювач температури в постійну напругу підключений до першого входу першого суматора, другий вхід якого з'єднаний з датчиком струму через перетворювач струму в постійну напругу, вихід другого датчика температури через другий перетворювач температури в постійну напругу з'єднаний з входом першого масштабуючого підсилювача, вихід якого підключений до другого входу другого суматора і до першого входу третього суматора, другий вхід якого з'єднаний з третім входом другого суматора і з виходом другого масштабуючого підсилювача, до входу якого підключений вихід першого перетворювача температури в постійну напругу, вихід джерела опорної напруги з'єднаний з першим входом другого суматора, вихід якого підключений до першого входу першого компаратора, другий вхід якого з'єднаний з виходом першого ЦАП, до вхідної цифрової шини якого підключена вихідна цифрова шина другого реверсивного лічильника імпульсів, перший і другий входи якого з'єднані з виходами п'ятого і шостого логічних елементів І відповідно, вихід першого компаратора підключений до катоду другого діода і до аноду першого діода, катод якого з'єднаний з першими входами першого логічного елемента І і п'ятого логічного елемента І, другий вхід якого, а також перший вхід шостого логічного елемента І та вхід дільника частоти підключені до виходу четвертого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом третього генератора імпульсів, а другий вхід і перший вхід третього логічного елемента І підключені до виходу другого компаратора, вхід якого з'єднаний з виходом третього суматора, вихід дільника частоти підключений до других входів першого і другого логічних елементів І, виходи яких з'єднані відповідно з першим і другим входами першого реверсивного лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини цифрового комутатора, перший, другий, третій і четвертий входи якого з'єднані відповідно з четвертим, третім, другим і першим виходами другого лічильника імпульсів, а вихід підключений до другого входу третього логічного елемента І, вихід якого з'єднаний з першим входом третього лічильника імпульсів, а другий вхід останнього, а також і другий вхід першого лічильника імпульсів підключені до виходу блока установки нуля, вихід другого генератора імпульсів з'єднаний з входом другого лічильника імпульсів, з S - входом RS - тригера і з другим входом четвертого лічильника імпульсів, перший вхід якого підключений до виходу сьомого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого генератора імпульсів, а другий вхід підключений до виходу RS-тригера, R-вхід якого з'єднаний з виходом третього компаратора, перший вхід якого підключений до виходу першого суматора через перший функціональний перетворювач, а другий вхід з'єднаний з виходом другого

ЦАП, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини четвертого лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина блока задання ресурсу з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового компаратора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини третього лічильника імпульсів, а вихід з'єднаний з входом першого індикатора і з першим входом першого логічного елемента АБО, вихід якого підключений в кола сигналізації оперативного персоналу, а другий вхід і вхід другого індикатора з'єднані з виходом восьмого логічного елемента І, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого лічильника імпульсів, анод другого діода через інвертор з'єднаний з першим входом другого логічного елемента І та другим входом шостого логічного елемента І, введено датчик напруги, три нормуючі перетворювачі, два АЦП, регістр, другий функціональний перетворювач, п'ятий лічильник імпульсів, четвертий та п'ятий генератор імпульсів, дев'ятий, десятий та одинадцятий логічні елементи І, другий логічний елемент АБО, логічний елемент НІ, перетворювач змінної напруги в постійну, блок обчислення потужності, блок задання потужності, комутатор, причому вхід третього нормуючого перетворювача підключений до виходу другого перетворювач температури в постійну напругу, а вихід з'єднаний з входом другого АЦП, вихідна цифрова шина якого підключена до третьої вхідної цифрової шини другого функціонального перетворювача, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною регістра, вхідна цифрова шина якого разом з другою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача підключені до вихідної цифрової шини першого АЦП, вхід якого разом з першим входом четвертого компаратора з'єднані з виходом перетворювача змінної напруги в постійну, вхід якого підключений до виходу блока обчислення потужності, блок задання потужності з'єднаний з другим входом четвертого компаратора, вихід якого підключений до входів другого функціонального перетворювача, входом логічного елемента НІ, першим входом десятого логічного елемента І та другим входом одинадцятого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого генератора імпульсів, а вихід підключений до входу регістра, вихід датчика напруги через перший нормуючий перетворювач з'єднаний з другим входом блока обчислення потужності, перший вхід якого через другий нормуючий перетворювач підключений до виходу датчика струму, вихід сьомого логічного елемента І з'єднаний з першим входом дев'ятого логічного елемента І, другий вхід якого підключений до виходу логічного елемента НІ, а вихід з'єднаний з першим входом другого логічного елемента АБО, вихід якого підключений до входу першого лічильника імпульсів, а другий вхід з'єднаний з виходом десятого логічного елемента І, другий вхід якого підключений до виходу комутатора, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача, а n - входи підключені відповідно з n - виходами п'ятого лічильника імпульсів, вхід якого з'єднаний з виходом п'ятого генератора імпульсів.

Пристрій для оцінювання залишкового робочого ресурсу силового масляного трансформатора пояснюється кресленням, на якому зображена його структурна схема.

На кресленні: 1 - другий датчик температури; 2 - другий перетворювач температури в постійну напругу; 3 - перший масштабуючий підсилювач; 4 джерело опорної напруги; 5 - другий суматор; 6 - перший компаратор; 7, 8 - перший та другий діод відповідно; 9 - інвертор; 10 - другий генератор імпульсів; 11 - другий лічильник імпульсів; 12, 13 - перший та другий логічні елементи І відповідно; 14 - перший реверсивний лічильник; 15 - цифровий комутатор; 16 - третій логічний елемент І; 17 - дільник частоти; 18 - перший датчик температури; 19 - перший перетворювач температури в постійну напругу; 20 - другий масштабуючий підсилювач; 21 - третій суматор; 22 - другий компаратор; 23 - третій генератор імпульсів; 24, 25, 26 - четвертий, п'ятий та шостий логічні елементі І відповідно; 27 - другий реверсивний лічильник; 28 - перший ЦАП; 29 - датчик струму; 30 - перетворювач струму в постійну напругу; 31 - перший суматор; 32 - перший функціональний перетворювач; 33 - третій компаратор; 34 - RS - тригер; 35 - блок задання ресурсу; 36 - перший генератор імпульсів; 37 - сьомий логічний елемент І; 38 - четверний лічильник імпульсів; 39 - другий ЦАП; 40 - третій лічильник імпульсів; 41 - цифровий компаратор; 42 - перший індикатор; 43 - датчик напруги; 44 - перший нормуючий перетворювач; 45 - блок установки нуля; 46 - перший логічний елемент АБО; 47 - другий нормуючий перетворювач; 48 - блок обчислення потужності; 49 - перетворювач змінної напруги в постійну; 50 - логічний елемент НІ; 51 - дев'ятий логічний елемент І; 52 - перший лічильник імпульсів; 53 - восьмий логічний елемент І; 54 - другий індикатор; 55 - десятий логічний елемент І; 56 - другий логічний елемент АБО; 57 - перший АЦП; 58 - блок задання потужності; 59 - четвертий компаратор; 60 - четвертий лічильник імпульсів; 61 - одинадцятий логічний елемент І; 62 - регістр; 63 - другий функціональний перетворювач; 64 - третій нормуючий перетворювач; 65 - другий АЦП; 66 - п'ятий генератор імпульсів; 67 - п'ятий лічильник імпульсів; 68 - комутатор, причому вихід першого датчика температури 18 через перший перетворювач температури в постійну напругу 19 підключений до першого входу першого суматора 31, другий вхід якого з'єднаний з датчиком струму 29 через перетворювач струму в постійну напругу 30, вихід другого датчика температури 1 через другий перетворювач температури в постійну напругу 2 з'єднаний з входом першого масштабуючого підсилювача 3, вихід якого підключений до другого входу другого суматора 5 і до першого входу третього суматора 21, другий вхід якого з'єднаний з третім входом другого суматора 5 і з виходом другого масштабуючого підсилювача 20, до входу якого підключений вихід першого перетворювача температури в постійну напругу 19, вихід джерела опорної напруги 4 з'єднаний з першим входом другого суматора 5, вихід якого підключений до пер-

шого входу першого компаратора 6, другий вхід якого з'єднаний з виходом першого ЦАП 28, до вхідної цифрової шини якого підключена вихідна цифрова шина другого реверсивного лічильника імпульсів 27, перший і другий входи якого з'єднані з виходами п'ятого 25 і шостого 26 логічних елементів І відповідно, вихід першого компаратора 6 підключений до катоду другого діода 8 і до аноду першого діода 7, катод якого з'єднаний з першими входами першого логічного елемента І 12 і п'ятого логічного елемента І 25, другий вхід якого, а також перший вхід шостого логічного елемента І 26 та вхід дільника частоти 17 підключені до виходу четвертого логічного елемента І 24, перший вхід якого з'єднаний з виходом третього генератора імпульсів 23, а другий вхід і перший вхід третього логічного елемента І 16 підключені до виходу другого компаратора 22, вхід якого з'єднаний з виходом третього суматора 21, вихід дільника частоти 17 підключений до других входів першого 12 і другого 13 логічних елементів І, виходи яких з'єднані відповідно з першим і другим входами першого реверсивного лічильника імпульсів 14, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини цифрового комутатора 15, перший, другий, третій і четвертий входи якого з'єднані відповідно з четвертим, третім, другим і першим виходами другого лічильника імпульсів 11, а вихід підключений до другого входу третього логічного елемента І 16, вихід якого з'єднаний з першим входом третього лічильника імпульсів 40, а другий вхід останнього, а також і другий вхід першого лічильника імпульсів 52 підключені до виходу блока установки нуля 45, вихід другого генератора імпульсів 10 з'єднаний з входом другого лічильника імпульсів 11, з S - входом RS - тригера 34 і з другим входом четвертого лічильника імпульсів 38, перший вхід якого підключений до виходу сьомого логічного елемента І 37, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого генератора імпульсів 36, а другий вхід підключений до виходу RS - тригера 34, R - вхід якого з'єднаний з виходом третього компаратора 33, перший вхід якого підключений до виходу першого суматора 31 через перший функціональний перетворювач 32, а другий вхід з'єднаний з виходом другого ЦАП 39, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини четвертого лічильника імпульсів 38, вихідна цифрова шина блока задання ресурсу 35 з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового компаратора 41, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини третього лічильника імпульсів 40, а вихід з'єднаний з входом першого індикатора 42 і з першим входом першого логічного елемента АБО 46, вихід якого підключений в кола сигналізації оперативного персоналу, а другий вхід і вхід другого індикатора 54 з'єднані з виходом восьмого логічного елемента І 53, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого лічильника імпульсів 52, анод другого діода 8 через інвертор 9 з'єднаний з першим входом другого логічного елемента І 13 та з другим входом шостого логічного елемента 26, вхід третього нормуючого перетворювача 64 підключений до виходу другого перетворювач температури в постійну напругу 2, а вихід з'єднаний з входом другого АЦП 65, вихідна цифрова шина якого підключена до третьої вхідної цифрової шини другого функціонального перетворювача 63, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною регістра 62, вхідна цифрова шина якого разом з другою вхідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача 63 підключені до вихідної цифрової шини першого АЦП 57, вхід якого разом з першим входом четвертого компаратора 59 з'єднані з виходом перетворювача змінної напруги в постійну 49, вхід якого підключений до виходу блока обчислення потужності 48, блок задання потужності 58 з'єднаний з другим входом четвертого компаратора 59, вихід якого підключений до входів другого функціонального перетворювача 63, входом логічного елемента НІ 50, першим входом десятого логічного елемента І 55 та другим входом одинадцятого логічного елемента І 61, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого генератора імпульсів 60, а вихід підключений до входу регістра 62, вихід датчика напруги 43 через перший нормуючий перетворювач 44 з'єднаний з другим входом блока обчислення потужності 48, перший вхід якого через другий нормуючий перетворювач 47 підключений до виходу датчика струму 29, вихід сьомого логічного елемента І 37 з'єднаний з першим входом дев'ятого логічного елемента І 51, другий вхід якого підключений до виходу логічного елемента НІ 50, а вихід з'єднаний з першим входом другого логічного елемента АБО 56, вихід якого підключений до входу першого лічильника імпульсів 52, а другий вхід з'єднаний з виходом десятого логічного елемента І 55, другий вхід якого підключений до виходу комутатора 68, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого функціонального перетворювача 63, а n - входи підключені відповідно з п - виходами п'ятого лічильника імпульсів 67, вхід якого з'єднаний з виходом п'ятого генератора імпульсів 66.

Запропонований пристрій працює так. При подачі живлячої напруги на схему блок установки нуля 45 виробляє імпульс, який встановлює перший 52 та третій 40 лічильники імпульсів. Одночасно починають генерувати імпульси перший 36, другий 10, третій 23, четвертий 60 та п'ятий 66 генератори імпульсів. На виході джерела опорної напруги 4 з'являється встановлене значення напруги. На виході блока задання потужності 58 з'являється значення номінальної потужності трансформатора. Передбачається, що в блоці задания ресурсу 35 в цифровому вигляді записано значення робочого ресурсу високовольтного ввода.

Для оцінювання спрацювання силового трансформатора датчики пристрою розподілені по об'єкту таким чином: перший датчик температури 18 установлений на кришці бака силового трансформатора та призначений для вимірювання температури найбільш нагрітої точки верхніх шарів трансформаторного масла. Датчик струму 29 установлений в колі вторинної обмотки силового трансформатора. Ці два датчики дозволяють здійснити оцінку робочого ресурсу обмоток силового трансформатора. Другий датчик температури 1

призначений для вимірювання температури навколишнього середовища. Датчик напруги 43 призначений для вимірювання значення напруги в електричній мережі. За допомогою датчиків 1, 29 та 43 можна контролювати спрацювання ресурсу ізоляції обмоток силового трансформатора, який працює в режимі перевантаження.

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

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

де L - тривалість "життя" ізоляції; L_0 - термін служби ізоляції, що відповідає нормованій температурі, - нормативний термін служби обмоток силового трансформатора; α - коефіцієнт, що враховує зміну терміну служби ізоляції при зміні температури θ найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток; θ_T - перевищення температури найбільш нагрітої точки ізоляції над температурою масла; $\theta_м$ - температура масла.

Перевищення температури обмотки θ_T, враховуючи можливість нехтування її сталої часу нагрівання, можна представити у вигляді

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

де β' - коефіцієнт, що враховує різницю температур між середньою та найбільш нагрітою точками обмоток; $\tau_н$ - усталений середній перегрів обмотки над температурою масла 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 степінню, яка дорівнює $(\theta_T + \theta_м)$.

Тоді сумарне значення спрацювання обмоток силового трансформатора за деякий проміжок часу визначається як

$$R = m\int_0^t e^{\alpha(\theta_т + \theta_м)} dt, \quad (3)$$

де m - масштабний коефіцієнт.

Для високовольтних герметичних вводів силових трансформаторів з масляною ізоляцією помітні характерні пошкодження через появу осаду на нижніх фарфорових покришках вводів. Осад утворюється і накопичується в процесі експлуатації і з часом, досягається певна межа, при якому створюються умови, що сприяють розвитку розрядів при робочій напрузі. Інтенсивність осаду з ростом температури збільшується, однак при температурі 70 °С і менше осад не спостерігається. Чим більша інтенсивність осаду, тим більша імовірність поверхневого розряду, розвиток якого приводить до руйнування вводу. Нехай за деякий час Δt, при якому температура T не змінюється, на нижній фарфоровій покришці ввода з'являється мікрокількість осаду Δm. Тоді чим довший проміжок часу Δt, тим більше Δm і чим більше T (при $T \geq 70$ °С), тим більше Δm. З цього випливає:

$$\Delta m = [a + b(T(t) - T_0)]\Delta t, \quad (4)$$

де коефіцієнт a і b, залежать від виду масла (Т=750 або ГК) і групового складу масел (для однотипних вводів з однотипним маслом вони незмінні); T_0 деяка температура, при досягненні якої у вводі починається процес утворення осаду. Приймаємо $T_0 = 70$ °С, так як при даній температурі практично не спостерігається поява осаду.

Кількість осаду оцінюється через його масу m за час експлуатації від моменту установки t_0 до теперішнього часу t, тобто:

$$m = \int_{t_0}^{t} dm, \quad (5)$$

З формули (5) видно, що:

$$m = \begin{cases} [a + b(T(t) - T_0)]dt & \text{при } T \geq T_0 \\ 0 & \text{при } T < T_0 \end{cases}, \quad (6)$$

а з формул (5), (6) при $T \geq T_0$

$$m = \int_{t_0}^{t} [a + b(T(t) - T_0)]dt = \int_{t_0}^{t} (a - bT_0)dt + b\int_{t_0}^{t} T(t)dt, \quad (7)$$

Або

$$m = (a - bT_0)t\Sigma + b\Sigma_i T_i \Delta t_i, \text{ при } (T_i \geq T_0) \quad (8)$$

де $t\Sigma$ сумарний час експлуатації, під час якого температура T масла в вводі перевищує значення T_0; Δt_i час, під час якого температура масла в вводі мала змінюється, коливається біля деякої середньої температури $T_i \geq T_0$ біля 1-2 °С. Для прикладу, температури T_i можна прийняти за значення 71, 73, 75 °С..., і т. д., а час, на протязі якого температура T_i знаходиться в інтервалі 70-72 °С або 72-74 °С або 74-76 °С..., і т. д. Очевидно, що

$$t\Sigma = \Sigma_i \Delta t_i(T_i), \text{ при } (T_i \geq T_0) \quad (9)$$

Відомо, що температура T масла у вводі залежить від струму і температури навколишнього середовища. T можна визначити з формули:

$$T = kT_{нс} + (1 - k)T_{всм}, \quad (10)$$

де $T_{нс}$ температура навколишнього середовища; $T_{всм}$ температура верхніх слоїв масла в бакові трансформатора, яка головним чином залежить від струму; k - коефіцієнт, який залежить від співвідношення поверхонь і теплових опорів ділянок вводу, зануреної в масло і чистини що знаходиться в повітрі.

З (8)-(10) випливає:

$$m = \Sigma_i\left[a - bT_0 + bkT_{нсі} + b(1-k)T_{всм}\right]\Delta t_i, \quad \text{при } (T_i \geq T_0) \qquad (11)$$

Очевидно, що існує така гранична кількість осаду $m_{пр}$, при якому імовірність поломки вводу перекриттям наближається до одиниці. $m_{пр}$ визначається з результатів випробувань на фізичних моделях або з практики ремонтів герметичних вводів.

Отже, робочий ресурс високовольтного вводу визначається наступним чином.

При подачі напруги живлення на виході джерела опорної напруги 4 встановлюється сигнал, який відповідає виразу $a - b \cdot T_0$. З виходу другого датчика температури 1 сигнал, пропорційний температурі навколишнього середовища, через другий перетворювач температури в постійну напругу 2 і через перший масштабуючий підсилювач 3, в якому відбувається перемноження вхідного сигналу на коефіцієнт $b \cdot k$, поступає на входи другого 5 і третього 21 суматорів. З виходу першого датчика температури 18 сигнал, пропорційний температурі верхніх слоїв трансформаторного масла, через перший перетворювач температури в постійну напругу 19 і через другий масштабуючий підсилювач 20, в якому відбувається перемноження вхідного сигналу на коефіцієнт $b(1-k)$, поступає на входи другого 5 і третього 21 суматора. При цьому на виході другого суматора 5 формується сигнал, пропорційний виразу

$$a - bT_0 + bkT_{нсі} + b(1-k)T_{всм}$$

а на виході третього суматора 21 - сигнал, пропорційний виразу

$$bkT_{нс} + b(1-k)T_{всм}.$$

Якщо вихідний сигнал третього суматора 21 менший порога спрацювання другого компаратора 22, на виході останнього присутній сигнал логічного нуля і вся схема знаходиться в режимі слідкування. При цьому поріг спрацювання другого компаратора 22 відповідає сигналу, пропорційному температурі масла у вводі 70 °С.

Якщо вихідний сигнал другого компаратора 22 рівний логічній одиниці, що відповідає перевищенню температури масла у вводі значення 70 °С, то відкривається третій логічний елемент І 16 і імпульси різної частоти поступають в ресурсний лічильник високовольтного ввода - третій лічильник імпульсів 40. При цьому частота слідування імпульсів на виході цифрового комутатора 15 залежить від того, який цифровий код встановлений на його вхідній цифровій шині з виходу першого реверсивного лічильника 14 і з виходу другого лічильника імпульсів 11, підключеного до виходу другого генератора імпульсів 10, імпульси поступають на вихід цифрового комутатора 15.

Нехай, наприклад, температура масла у вводі знаходиться в діапазоні температур 76-78 °С. При цьому з третього виходу другого лічильника імпульсів 11 імпульси відповідної частоти надходять в третій (ресурсний) лічильник імпульсів 40, заповнюючи його. Крім того, на виході першого компаратора 6 присутній сигнал, близький до нуля, оскільки на його входах сигнали з виходу другого суматора 5 і з виходу першого ЦАП 28 зрівноважені.

Якщо температура зростає, то, через деякий час, пристрій переходить працювати в діапазон температур 78-80 °С. Це відбувається наступним чином. З ростом температури сигнал на виході другого суматора 5 зростає і на виході першого компаратора 6 з'являється додатній сигнал логічної одиниці, який через перший діод 7 подається на входи першого 12 і п'ятого 25 логічних елементів І, відкриваючи їх. При цьому з виходу третього генератора імпульсів 23 через четвертий логічний елемент І 24 імпульси надходять на додатній (перший) вхід другого реверсивного лічильника імпульсів 27, вихідний цифровий код якого починає зростати, що приводить до збільшення аналогового сигналу, який отримуємо на виході першого ЦАП 28, підключеного до виходу другого реверсивного лічильника 27. Одночасно з виходу четвертого логічного елемента І 24 імпульси через дільник частоти 17 і через перший логічний елемент 12 поступають на додатній (перший) вхід першого реверсивного лічильника імпульсів 14, що приводить до збільшення його вихідного цифрового коду. Зростання аналогового сигналу на виході першого ЦАП 28 продовжується до тих пір, поки сигнали на виході першого компаратора 6 не зрівноважаться, що приведе до закриття першого 12 і п'ятого 25 логічних елементів І. При цьому подача імпульсів в реверсивні лічильники імпульсів 14 і 27 зупиняється, на виході першого реверсивного лічильника імпульсів 14 установлюється цифровий код, внаслідок чого на виході цифрового комутатора 15 з'являються імпульси більш високої частоти, які подаються з четвертого виходу другого лічильника імпульсів 11. Заповнення третього лічильника імпульсів 40 імпульсами в цьому випадку проходить більш інтенсивніше.

Якщо температура знижується, то, через деякий час, пристрій переходить працювати в діапазон температур 76-78 °С. Це відбувається наступним чином. Із зменшенням температури сигнал на виході другого суматора 5 знижується і на виході першого компаратора 6 з'являється від'ємний сигнал логічної одиниці, який через другий діод 8 поступає в інвертор 9, де перетворюється в додатній сигнал логічної одиниці, і подається на виході другого 13 і шостого 26 логічних елементі І, відкриваючи їх. При цьому з виходу четвертого логічного елемента І 24 імпульси надходять на від'ємний (другий) вхід другого реверсивного лічильника імпульсів 27 і через дільник частоти 17 - на від'ємний (другий) вхід першого реверсивного лічильника 14. Вихідний цифровий код другого реверсивного лічильника імпульсів 27 починає зменшуватись,

знижується також і значення аналогового сигналу на виході першого ЦАП 28. Одночасно зменшується значення цифрового коду на виході першого реверсивного лічильника імпульсів 14. В момент зрівноваження сигналів на входах першого компаратора 6 закривається другий 13 і шостий 26 логічні елементи І, подача імпульсів в лічильники 14 і 27 зупиняється. Тепер на виході цифрового комутатора 15 присутні імпульси, які надходять з третього виходу другого лічильника імпульсів 11. Швидкість заповнення імпульсами третього (ресурсного) лічильника імпульсів 40 знижується. Аналогічно пристрій працює в будь якому другому температурному діапазоні при температурі на вводі, перевищуючій 70 °С.

Таким чином, за час Δt_i робота пристрою в будь якому температурному діапазоні в лічильнику імпульсів 40 відбувається накопичення імпульсів, яке відповідає масі виділеного в високовольтному вводі осаду.

При вичерпані робочого ресурсу високовольтного вводу коди, записані в блоці задання ресурсу 35 і в третьому лічильнику імпульсів 40, зрівнюються, на виході цифрового компаратора 41 з'являється сигнал логічної одиниці, який включає перший індикатор 42, який сповіщає про вичерпання робочого ресурсу вводу, а через перший логічний елемент АБО 46 подається сигнал в кола сигналізації оперативного персоналу. При зміні робочого ресурсу обмоток силового трансформатора сигнали з першого датчика температури 18 і датчика струму 29 через відповідні перетворювачі 19 і 30 подаються на входи першого суматора 31. При цьому на його виході з'являється сигнал, пропорційний $(\theta_т + \theta_м)$. Якщо RS - тригер 34 встановлений в одиничний стан, то сьомий логічний елемент І 37 відкритий і імпульси з виходу першого генератора імпульсів 36 поступають на вхід четвертого лічильника імпульсів 38, з виходу якого сигнали по цифровій шині подаються на вхід другого ЦАП 39 і з його виходу лінійно зростаючий аналоговий сигнал поступає на другий вхід третього компаратора 33, на перший вхід якого поступає сигнал пропорційний $e^{a(\theta_т+\theta_м)}$, з виходу першого функціонального перетворювача 32, який перетворює вхідний сигнал по експоненціальному закону. Якщо сигнали на входах третього компаратора 33 зрівнюються, то на його виході з'являється сигнал логічної одиниці, який переводить RS - тригер 34 в нульовий стан, сьомий логічний елемент 37 закривається і подача імпульсів від генератора 36 в лічильник імпульсів 38 зупиняється. З приходом наступному імпульсу з виходу другого генератора імпульсів 10 відбувається скид четвертого лічильника імпульсів 38 і установка в одиничний стан RS - тригер 34. Цикл роботи при цьому повторюється. В період, коли відкритий сьомий логічний елемент І 37, імпульси з його виходу поступають в перший лічильник імпульсів 52 через дев'ятий логічний елемент І 51 та через другий логічний елемент АБО 56 і фіксується в лічильнику як вичерпаний ресурс роботи ізоляції обмоток трансформатора за період, починаючи з часу t_1, коли відкритий сьомий логічний елемент І 37, а також відкритому дев'ятому логічному елементі І 51, і до часу t_2, коли закривається сьомий логічний елемент І 37 або дев'ятий логічний елемент І 51, в вигляді інтеграла

$$\int_{t_1}^{t_2} e^{a(\theta_т+\theta_м)}dt$$

Вираховуючи суму інтегралів в вигляді суми імпульсів, які поступають в перший лічильник імпульсів 52 в кожному циклі роботи блоків пристрою, можна визначити повний робочий ресурс ізоляції обмоток трансформатора. В пристрої цей момент фіксується шляхом заповнення імпульсами першого лічильника імпульсів 52. При цьому на виході восьмого логічного елемента І 53 з'являється сигнал логічної одиниці, який включає другий індикатор 54. Крім того, з виходу восьмого логічного елемента І 53 сигнал через перший логічний елемент АБО 46 поступає в кола сигналізації, попереджуючи оперативний персонал, який обслуговує трансформатор, про вичерпання робочого ресурсу обмоток останнього.

В режимі перевантаження трансформатора з виходів другого датчика температури 1, датчика напруги 43 та датчика струму 29 сигнали, що відповідають значенням температури навколишнього середовища, напруги трансформатора, струму, що протікає через трансформатор, надходять через відповідні перетворювачі сигналів - другий перетворювач температури в постійну напругу 2, другий нормуючий перетворювач 47, перший нормуючий перетворювач 44 та третій нормуючий перетворювач 64.

У блоці обчислення потужності 48 визначається поточне значення активної потужності трансформатора. Сигнал, що відповідає значенню обчисленої потужності, надходить через перетворювач змінної напруги в постійну 49 на перший вхід четвертого компаратора 59, на другий вхід якого подається з виходу блока задания потужності 58 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 четвертого компаратора 59 з'являється сигнал логічної одиниці, яким закривається одинадцятий логічний елемент І 61, внаслідок чого в регістрі 62 залишається записаним після подачі останнього імпульсу з четвертого генератора імпульсів 60 значення потужності нормального режиму роботи трансформатора. Одночасно вихідним сигналом четвертого компаратора 59 відкривається десятий логічний елемент І 55 та через логічний елемент НІ 50 закривається дев'ятий логічний елемент І 51, внаслідок чого через другий логічний елемент АБО 56 в перший лічильник імпульсів 52 спрямовується послідовність імпульсів, що характеризує спрацювання робочого ресурсу силового трансформатора в режимі перевантаження.

Крім того, вихідним сигналом четвертого компаратора 59 розблоковується робота другого функціонального перетворювача 63, на входи якого подається з виходу другого АЦП 65 код, пропорційний температурі навколишнього середовища, з виходу регістра 62 - код, пропорційний значенню потужності роботи трансформатора в нормальному режимі, та код, що відповідає значенню потужності трансформатора в режимі перевантаження, який надходить з виходу першого АЦП 57, на вхід якого поступає сигнал з виходу перетворювача змінної напруги в постійну 49.

Під дією вхідних сигналів на виході другого функціонального перетворювача 63 формується в цифровій формі поточне значення залишкового робочого ресурсу ізоляції обмоток силового трансформатора. Вихідний цифровий код з виходу другого функціонального перетворювача 63 поступає на вхідну цифрову шину комутатора 68, внаслідок чого в залежності від поданого цифрового коду послідовність імпульсів з одного із виходів п'ятого лічильника імпульсів 67 поступає на вхід комутатора 68 і далі через десятий логічний елемент І 55 та другий логічний елемент АБО 56 подається на вхід першого лічильника імпульсів 52. В свою чергу п'ятий лічильник імпульсів 67 забезпечується імпульсами від п'ятого генератора імпульсів 66, який підключений до входу лічильника.

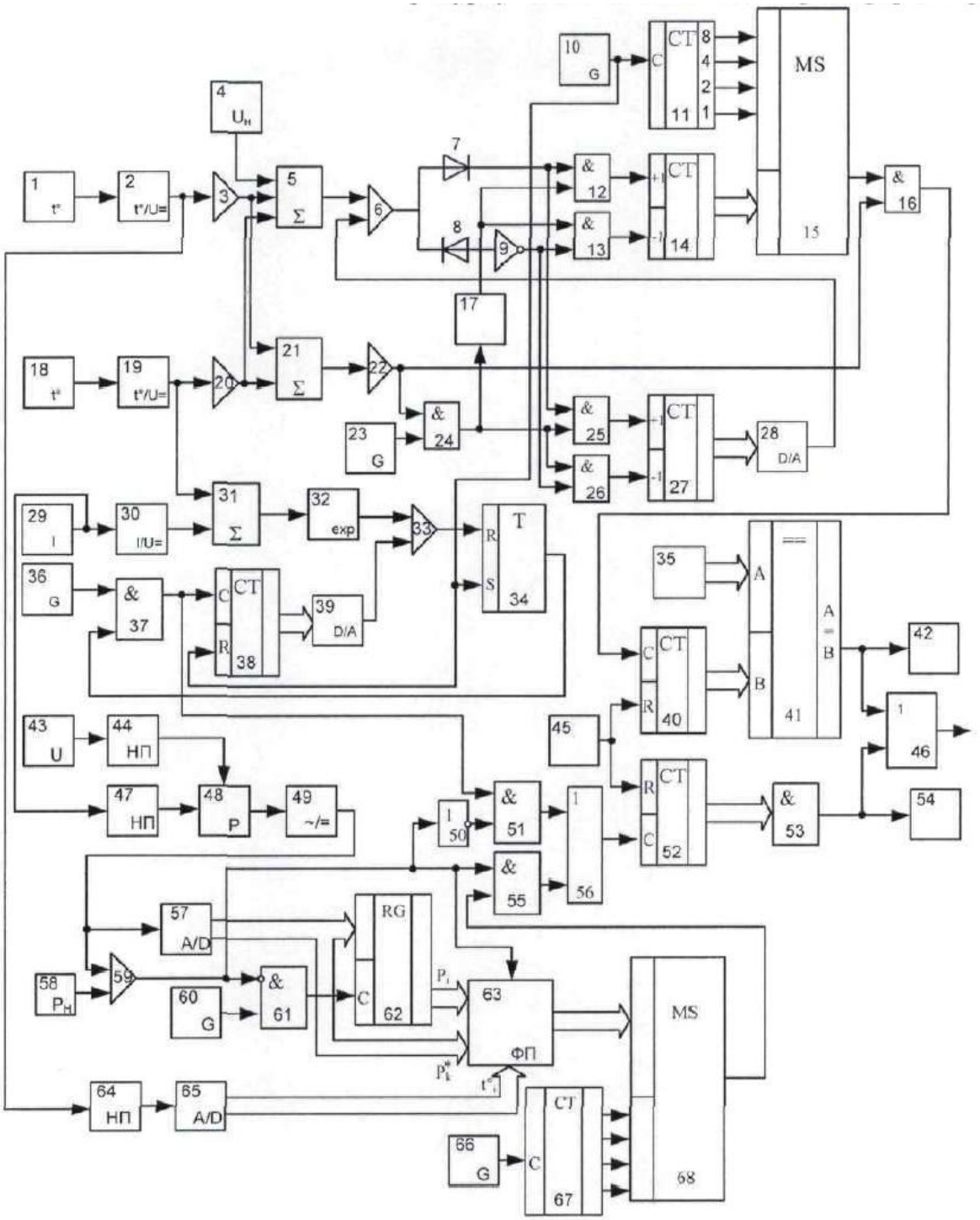
Якщо параметри перевантаження силового трансформатора змінюється, то на виході другого функціонального перетворювача 63 з'являється інший код і відповідно змінюється частота імпульсів, що подається в перший лічильник імпульсів 52.

При завершенні режиму перевантаження силового масляного трансформатора на виході четвертого компаратора 59 з'являється сигнал логічного нуля і пристрій переходить в режим відслідковування спрацювання ресурсу ізоляції обмоток в нормальному режимі роботи трансформатора.

Для коректної роботи пристрою частота слідування імпульсів третього генератора імпульсів 23 повинна бути набагато більша частоти слідування імпульсів другого генератора імпульсів 10. Частота слідування імпульсів першого генератора імпульсів 36 повинна бути більшою частоти слідування імпульсів генератора імпульсів 10, але менше частоти слідування імпульсів генератора імпульсів 23.

Число розрядів другого лічильника імпульсів 11 обирається в залежності від загального інтервалу зміни температури і від кількості діапазонів зміни температури. При цьому другий лічильник імпульсів 11 може бути реалізований таким чином, щоб частота сусідніх розрядів відрізняються від співвідношення 1:2.

Ширина температурних діапазонів (2 °С або більше) задаються порогами спрацювання першого компаратора 6.



Комп'ютерна верстка М. Мацело Підписне Тираж 23 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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