



УКРАЇНА

(19) UA (11) 34253 (13) A

(51) 6 G01R31/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ СПРАЦЮВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

(21) 99063415

(22) 18.06.1999

(24) 15.02.2001

(33) UA

(46) 15.02.2001, Бюл. № 1, 2001 р.

(72) Мокін Борис Іванович, Грабко Володимир Віталійович

(73) Вінницький державний технічний університет

(57) Пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів, який 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, вихід першого генератора імпульсів підключений до входу першого лічильника імпульсів, вихід другого датчика температури через другий перетворювач температури в постійну напругу з'єднаний з першим входом третього суматора, вихід якого через перший масштабуючий підсилювач з'єднаний з першим входом блока множення, 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 цифровою вихідною шиною першого лічильника імпульсів, а перший вихід підключений до керуючого входу пристрою вибірки-зберігання, до входу якого підключений вихід датчика напруги через перетворювач змінної напруги в постійну, вихід пристрою вибірки-зберігання підключений до входів першого, другого і третього функціональних перетворювачів, виходи яких у свою чергу з'єднані через другий, третій і четвертий масштабуючі підсилювачі відповідно з першим, другим і третім входами другого суматора, вихідна цифрова шина аналого-цифрового перетворювача підключена до першої вхідної цифрової шини першого цифрового суматора, друга вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра, вхідна цифрова шина якого і перша вхідна цифрова шина першого цифрового компаратора підключені до вихідної цифрової шини першого регістра, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого цифрового суматора, керуючий вхід першого регістра підключений до третього виходу дешифратора, четвертий вихід якого з'єднаний з керуючим входом другого регістра, вихідна

цифрова шина першого блока задання ресурсу підключена до другої вхідної цифрової шини першого цифрового компаратора, вихід якого з'єднаний з входом першого індикатора і з першим входом логічного елемента АБО, вихід якого підключений до ланцюгів сигналізації, а другий вхід і вхід другого індикатора з'єднані з виходом другого логічного елемента І, n-входів якого підключені відповідно до виходів n-розрядів третього лічильника імпульсів, вхід установки якого з'єднаний з виходом блока установки нуля, а лічильний вхід а також лічильний вхід другого лічильника імпульсів підключені до виходу першого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом генератора імпульсів, а другий вхід підключений до виходу RS-тригера, S-вхід якого і вхід установки другого лічильника імпульсів з'єднані між собою, а R-вхід RS-тригера підключений до виходу першого компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого функціонального перетворювача, вхід якого підключений до виходу першого суматора, вихідна цифрова шина другого лічильника імпульсів з'єднана з вхідною цифровою шиною цифро-аналогового перетворювача, вихід якого підключений до другого входу першого компаратора, вихід датчика тиску через перетворювач тиску в постійну напругу з'єднаний з входом другого компаратора, вихід якого підключений до входу третього індикатора і до третього входу логічного елемента АБО, входи установки першого лічильника імпульсів, а також першого і другого регістрів з'єднані з виходом блока установки нуля, який відрізняється тим, що в нього введені третій регістр, другий цифровий суматор, другий блок задання ресурсу, другий цифровий компаратор, третій логічний елемент І та четвертий індикатор, причому вихідна цифрова шина аналого-цифрового перетворювача з'єднана з вхідною цифровою шиною третього регістра та з першою вхідною цифровою шиною другого цифрового суматора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини третього регістра, а вихідна цифрова шина з'єднана з другою вхідною цифровою шиною другого цифрового компаратора, перша вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого блока задання ресурсу, а вихід з'єднаний з першим входом третього логічного елемента І, другий вхід якого і S-вхід RS-тригера підключені до п'ятого виходу дешифратора, вихід третього логічного елемента І з'єднаний

(19) UA (11) 34253 (13) A

зі входом четвертого індикатора та з четвертим входом логічного елемента АБО, керуючий вхід третього регістра підключений до третього виходу

дешифратора, вихід першого перетворювача температури в постійну напругу з'єднаний з другим входом третього суматора.

Винахід відноситься до області електротехніки і може бути використаним для вимірювання спрацювання силових трансформаторів.

Відомий пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів (А. с. СРСР № 691787, М. кл. О 01 К 31/06, бюл. № 38, 1979), що містить вимірювальний трансформатор струму, встановлений у фазі силового трансформатора і з'єднаний через функціональний перетворювач з другим входом суматора, перший вхід якого підключений до датчика температури верхніх шарів трансформаторної олії через перетворювач температури в напругу, виходи суматора через n-по-рогових елементів з'єднані зі входами генератора імпульсів, керуючий вхід якого підключений до виходу блока керування, а вихід з'єднаний з лічильником імпульсів.

Головним недоліком даного пристрою є низька точність у вимірюванні спрацювання силового трансформатора, обмежена деякою кількістю порогових елементів. При збільшенні загальної кількості порогових елементів зростають апаратні витрати, в той час як надійність пристрою в цілому знижується. Крім того, даний пристрій дозволяє визначати лише тільки теплове спрацювання ізоляції обмоток силового трансформатора, а робочий ресурс вводів, від котрих істотно залежить робочий ресурс силового трансформатора, не визначається.

Найближчим за технічною суттю до заявляемого є пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів (Патент України № 21813 А, М. кл. G 01 R 31/06, бюл. № 2, 1998), що містить другий датчик температури, який через другий перетворювач температури в постійну напругу з'єднаний із першим входом диференціального підсилювача, другий вхід якого підключений до виходу джерела опорної напруги, вихід диференціального підсилювача через перший масштабуючий підсилювач з'єднаний з першим входом блока множення, другий вхід якого підключений до виходу другого суматора, а вихід з'єднаний з аналоговим входом аналого-цифрового перетворювача (АЦП), керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора, вхідна цифрова шина якого з'єднана з цифровою вихідною шиною першого лічильника імпульсів, а перший вихід підключений до керуючого входу пристрою вибірки-зберігання (ПВЗ), до входу якого підключений вихід датчика напруги через перетворювач змінної напруги в постійну, вихід ПВЗ підключений до входів першого, другого і третього функціональних перетворювачів, виходи яких, у свою чергу, з'єднані через другий, третій і четвертий масштабуючі підсилювачі відповідно з першим, другим і третім входами другого суматора, вихідна цифрова шина АЦП підключена до першої вхідної цифрової шини цифрового суматора, друга вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра, вхідна цифрова шина якого і перша вхі-

дна цифрова шина цифрового компаратора підключені до вихідної цифрової шини першого регістра, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною цифрового суматора, керуючий вхід першого регістра підключений до третього виходу дешифратора, четвертий вихід якого з'єднаний з керуючим входом другого регістра, вихідна цифрова шина блока задання ресурсу підключена до другої вхідної цифрової шини цифрового компаратора, вихід якого 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 другого логічного елемента І, n-входів якого підключені відповідно до виходів n-розрядів третього лічильника імпульсів, установчий вхід якого з'єднаний з виходом блока установки нуля, а лічильний вхід і вхід другого лічильника імпульсів підключені до виходу першого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом другого генератора імпульсів, а другий вхід підключений до виходу RS-тригера, S-вхід якого і установчий вхід другого лічильника імпульсів з'єднані з четвертим входом дешифратора, а R-вхід RS-тригера підключений до виходу першого компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого функціонального перетворювача, вхід якого підключений до виходу першого суматора, вихід першого датчика температури через перший перетворювач температури в постійну напругу з'єднаний з першим входом першого суматора, до другого входу якого підключений вихід датчика струму через перетворювач струму в постійну напругу, вихідна цифрова шина другого лічильника імпульсів з'єднана з вхідною цифровою шиною цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), вихід якого підключений до другого входу першого компаратора, вихід датчика тиску через перетворювач тиску в постійну напругу з'єднаний з входом другого компаратора, вихід якого підключений до входу третього індикатора і до третього входу логічного елемента АБО, вихід першого генератора імпульсів з'єднаний з входом першого лічильника імпульсів, установчий вхід якого і установчі входи першого і другого регістрів підключені до виходу блока установки нуля.

Недоліком даного пристрою є низька точність у вимірюванні спрацювання силового трансформатора, оскільки в пристрої не враховується швидкість зростання концентрації розчинених в трансформаторній олії вводів газів. Крім того, точність визначення робочого ресурсу високовольтного вводу силового трансформатора знижується за рахунок складності реалізації датчика контролю температури фарфору вводу.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення пристрою для вимірювання спрацювання силових трансформаторів, в якому за рахунок введення нових блоків та відповідних зв'язків забезпечується можливість визначення швид-

кості зростання концентрації розчинених в олії газів, що дозволяє підвищити точність роботи пристрою для вимірювання робочого ресурсу силових трансформаторів.

Поставлена задача досягається тим, що в пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів, 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, вихід першого генератора імпульсів підключений до входу першого лічильника імпульсів, вихід другого датчика температури через другий перетворювач температури в постійну напругу з'єднаний з першим входом диференціального підсилювача (в подальшому - третього суматора), вихід якого через перший масштабуючий підсилювач з'єднаний з першим входом блока множення, другий вхід якого підключений до виходу другого суматора, а вихід з'єднаний з аналоговим входом АЦП, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора, вхідна цифрова шина якого з'єднана з цифровою вихідною шиною першого лічильника імпульсів, а перший вихід підключений до керуючого входу ПВЗ, до входу якого підключений вихід датчика напруги через перетворювач змінної напруги в постійну, вихід ПВЗ підключений до входів першого, другого і третього функціональних перетворювачів, виходи яких у свою чергу з'єднані через другий, третій і четвертий масштабуючі підсилювачі відповідно з першим, другим і третім входами другого суматора, вихідна цифрова шина АЦП підключена до першої вхідної цифрової шини цифрового суматора (в подальшому - першого цифрового суматора), друга вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра, вхідна цифрова шина якого і перша вхідна цифрова шина цифрового компаратора (в подальшому - першого цифрового компаратора) підключені до вихідної цифрової шини першого регістра, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого цифрового суматора, керуючий вхід першого регістра підключений до третього виходу дешифратора, четвертий вихід якого з'єднаний з керуючим входом другого регістра, вихідна цифрова шина блока задання ресурсу (в подальшому - першого блока задання ресурсу) підключена до другої вхідної цифрової шини першого цифрового компаратора, вихід якого з'єднаний з входом першого індикатора і з першим входом логічного елемента АБО, вихід якого підключений до ланцюгів сигналізації, а другий вхід і вхід другого індикатора з'єднані з виходом другого логічного елемента І, n-входів якого підключені відповідно до виходів n-розрядів третього лічильника імпульсів, вхід установки якого з'єднаний з виходом блока установки нуля, а лічильний вхід а також лічильний вхід другого лічильника імпульсів підключені до виходу першого логічного елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом другого генератора імпульсів, а другий вхід підключений до виходу RS-тригера, S-вхід якого і вхід установки другого лічильника імпульсів з'єднані між собою, а R-вхід RS-тригера

підключений до виходу першого компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого функціонального перетворювача, вхід якого підключений до виходу першого суматора, вихідна цифрова шина другого лічильника імпульсів з'єднана з вхідною цифровою шиною ЦАП, вихід якого підключений до другого входу першого компаратора, вихід датчика тиску через перетворювач тиску в постійну напругу з'єднаний з входом другого компаратора, вихід якого підключений до входу третього індикатора і до третього входу логічного елемента АБО, входи установки першого лічильника імпульсів, а також першого і другого регістрів з'єднані з виходом блока установки нуля, введено третій регістр, другий цифровий суматор, другий блок задання ресурсу, другий цифровий компаратор, третій логічний елемент І та четвертий індикатор, причому вихідна цифрова шина АЦП з'єднана з вхідною цифровою шиною третього регістра та з першою вхідною цифровою шиною другого цифрового суматора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини третього регістра, а вихідна цифрова шина з'єднана з другою вхідною цифровою шиною другого цифрового компаратора, перша вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого блока задання ресурсу, а вихід з'єднаний з першим входом третього логічного елемента І, другий вхід якого і S-вхід RS-тригера підключені до п'ятого виходу дешифратора, вихід третього логічного елемента І з'єднаний зі входом четвертого індикатора та з четвертим входом логічного елемента АБО, керуючий вхід третього регістра підключений до третього виходу дешифратора, вихід першого перетворювача температури в постійну напругу з'єднаний з другим входом третього суматора.

За рахунок введення в пристрій регістра, цифрового суматора, блока задання ресурсу, цифрового компаратора, логічного елемента І, індикатора та відповідних зв'язків з'являється можливість визначати швидкість зростання концентрації розчинених в трансформаторній олії ввідів газів, що дозволяє підвищити точність вимірювання робочого ресурсу силових трансформаторів.

Пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів пояснюється кресленням, на якому зображена його структурна схема.

На фігурі - другий датчик температури; 2 - другий перетворювач температури в постійну напругу; 3 - третій суматор; 4 - перший масштабуючий підсилювач; 5 - датчик напруги; 6 - перетворювач змінної напруги в постійну; 7 - ПВЗ; 8, 9, 10 - перший, другий і третій функціональні перетворювачі; 11, 12, 13 - другий, третій і четвертий масштабуючі підсилювачі; 14 - другий суматор; 15 - блок множення; 16 - АЦП; 17 - третій регістр; 18 - перший цифровий суматор; 19 - другий цифровий суматор; 20 - перший регістр; 21 - другий блок задання ресурсу; 22 - перший блок задання ресурсу; 23 - другий цифровий компаратор; 24 - перший цифровий компаратор; 25 - другий регістр; 26 - третій логічний елемент І; 27 - четвертий індикатор; 28 - перший індикатор; 29 - перший генератор імпульсів; 30 - перший лічильник імпульсів; 31 - дешифратор; 32 - перший дат-

чик температури; 33 - датчик струму; 34 - перший перетворювач температури в постійну напругу; 35 - перетворювач струму в постійну напругу; 36 - перший суматор; 37 - четвертий функціональний перетворювач; 38 - перший компаратор; 39 - RS-тригер; 40 - другий генератор імпульсів; 41 - перший логічний елемент І; 42- другий лічильник імпульсів; 43 - ЦАП; 44 - датчик тиску; 45 - перетворювач тиску в постійну напругу; 46 - другий компаратор; 47 - третій індикатор; 48 - блок установки нуля; 49 - третій лічильник імпульсів; 50 - другий логічний елемент І; 51 - другий індикатор; 52 - логічний елемент АБО, причому вихід першого датчика температури 32 через перший перетворювач температури в постійну напругу 34 підключений до першого входу першого суматора 36, з другим входом якого з'єднаний датчик струму 33 через перетворювач струму в постійну напругу 35, вихід першого генератора імпульсів 29 підключений до входу першого лічильника імпульсів 30, вихід другого датчика температури 1 через другий перетворювач температури в постійну напругу 2 з'єднаний з першим входом третього суматора 3, вихід якого через перший масштабуючий підсилювач 4 з'єднаний з першим входом блока множення 15, другий вхід якого підключений до виходу другого суматора 14, а вихід з'єднаний з аналоговим входом АЦП 16, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора 31, вхідна цифрова шина якого з'єднана з цифровою вихідною шиною першого лічильника імпульсів 30, а перший вихід підключений до керуючого входу ПВЗ 7, до входу якого підключений вихід датчика напруги 5 через перетворювач змінної напруги в постійну 6, вихід ПВЗ 7 підключений до входів першого 8, другого 9 і третього 10 функціональних перетворювачів, виходи яких, у свою чергу, з'єднані через другий 11, третій 12 і четвертий 13 масштабуючі підсилювачі відповідно з першим, другим і третім входами другого суматора 14, вихідна цифрова шина АЦП 16 підключена до першої вхідної цифрової шини першого цифрового суматора 18, друга вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра 25, вхідна цифрова шина якого і перша вхідна цифрова шина першого цифрового компаратора 24 підключені до вихідної цифрової шини першого регістра 20, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого цифрового суматора 18, керуючий вхід першого регістра 20 підключений до третього виходу дешифратора 31, четвертий вихід якого з'єднаний з керуючим входом другого регістра 25, вихідна цифрова шина першого блока задання ресурсу 22 підключена до другої вхідної цифрової шини першого цифрового компаратора 24, вихід якого з'єднаний з входом першого індикатора 28 і з першим входом логічного елемента АБО 52, вихід якого підключений до ланцюгів сигналізації, а другий вхід і вхід другого індикатора 51 з'єднані з виходом другого логічного елемента І 50, n-входів якого підключені відповідно до виходів n-розрядів третього лічильника імпульсів 49, вхід установки якого з'єднаний з виходом блока установки нуля 48, а лічильний вхід, а також лічильний вхід другого лічильника імпульсів 42 підключені до виходу першого логічного

елемента І 41, перший вхід якого з'єднаний з виходом другого генератора імпульсів 40, а другий вхід підключений до виходу RS-тригера 39, S-вхід якого і вхід установки другого лічильника імпульсів 42 з'єднані з п'ятим виходом дешифратора 31, а R-вхід RS-тригера 39 підключений до виходу першого компаратора 38, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого функціонального перетворювача 37, вхід якого підключений до виходу першого суматора 36, вихідна цифрова шина другого лічильника імпульсів 42 з'єднана з вхідною цифровою шиною ЦАП 43, вихід якого підключений до другого входу першого компаратора 38, вихід датчика тиску 44 через перетворювач тиску в постійну напругу 45 з'єднаний з входом другого компаратора 46, вихід якого підключений до входу третього індикатора 47 і до третього входу логічного елемента АБО 52, входи установки першого лічильника імпульсів 30, а також першого 20 і другого 25 регістрів з'єднані з виходом блока установки нуля 48, вихідна цифрова шина АЦП 16 з'єднана з вхідною цифровою шиною третього регістра 17 та з першою вхідною цифровою шиною другого цифрового суматора 19, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини третього регістра 17, а вихідна цифрова шина з'єднана з другою вхідною цифровою шиною другого цифрового компаратора 23, перша вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого блока задання ресурсу 21, а вихід з'єднаний з першим входом третього логічного елемента І 26, другий вхід якого підключений до п'ятого виходу дешифратора 31, вихід третього логічного елемента І 26 з'єднаний зі входом четвертого індикатора 27 та з четвертим входом логічного елемента АБО 52, керуючий вхід третього регістра 17 підключений до третього виходу дешифратора 31, вихід першого перетворювача температури в постійну напругу 34 з'єднаний з другим входом третього суматора 3.

Запропонований пристрій працює так. При подачі живлячої напруги на схему блок установки нуля 48 виробляє імпульс, який встановлює перший 30 та третій 49 лічильники імпульсів, а також перший 20 та другий 25 регістри в початковий стан. Одночасно починають генерувати імпульси перший 29 та другий 40 генератори імпульсів. Для вимірювання спрацювання силового трансформатора датчики пристрою розподілені по об'єкту таким чином: перший датчик температури 32 установлений на кришці бака силового трансформатора та призначений для вимірювання температури найбільш нагрітої точки верхніх шарів трансформаторної олії. Датчик струму 33 установлений в колі вторинної обмотки силового трансформатора. Ці два датчики дозволяють здійснити оцінку робочого ресурсу обмоток силового трансформатора. Другий датчик температури 1 розташований біля об'єкта діагностування і дозволяє контролювати температуру навколишнього середовища. Датчик тиску 44 установлений на високовольтному ввводі, що дозволяє контролювати тиск олії у високовольтному ввводі силового трансформатора. Датчик напруги 5 призначений для вимірювання значення напруги в електричній мережі.

Згідно з рівнянням Монтзінгера, яке прийнято як закон 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; 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 олії; θ_0 - температура олії.

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

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

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

Відповідно до (1) миттєве старіння ізоляції трансформатора визначається експоненціальною функцією зі стелінню, яка дорівнює $(\theta_T + \theta_0)$.

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

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

де m - масштабний коефіцієнт.

Для високовольтних вводів силового трансформатора з паперово-олійною ізоляцією процес старіння такої ізоляції відбувається при тривалому впливі початкових часткових розрядів (ЧР) внаслідок повільного розкладання олії та накопичення у ній побічних продуктів, зокрема водню та інших газів. При такому процесі старіння зростання концентрації газу ΔC_r в олії в часі Δt відбувається відповідно до виразу

$$\Delta C_r = \frac{\gamma}{V_0} P_{II}(t) \Delta t, \quad (4)$$

де γ - питома газовиділення ($\text{см}^3/\text{Дж}$); V_0 - повний об'єм олії у ввіді; $P_{II}(t)$ - середня потужність початкових ЧР(Вт) в момент часу t .

Очевидно, що до моменту часу t концентрація газів, що виділяються з олії у високовольтному ввіді, може бути визначена шляхом інтегрування виразу (4), тобто

$$C_r(t) = \int_0^t \frac{\gamma}{V_0} P_{II}(t) dt, \quad (5)$$

Відомо, що середня потужність $P_{II}(t)$ початкових ЧР в основному залежить від фазної напруги, прикладеної до ізоляції та визначається за виразом

$$P_{II}(t) = \sum_{i=1}^m A_i U^{\beta_i}(t), \quad (6)$$

де A_i , β_i - коефіцієнти апроксимації, m - кількість членів апроксимуючого полінома. Для прикладу, в даному пристрої $m=3$. Тоді

$$C_r(t) = \int_0^t \sum_{i=1}^3 \frac{\gamma A_i}{V_0} U^{\beta_i}(t) dt, \quad (7)$$

Повний об'єм олії у ввіді розраховується за формулою

$$V_0 = V_{o.n.} + \Delta V, \quad (8)$$

де $V_{o.n.}$ - повний об'єм олії у ввіді в номінальному режимі роботи,

$$\Delta V = V_{o.n.} \alpha_T (T - T_n), \quad (9)$$

де α_T - температурний коефіцієнт об'ємного розширення олії; T - поточна температура олії у ввіді; T_n - температура олії у ввіді в номінальному режимі роботи.

Поточна температура олії у ввіді визначається за формулою

$$T = \frac{(T_{в.ш.о.} + T_{нав.})}{2}, \quad (10)$$

де $T_{в.ш.о.}$ - температура верхніх шарів олії силового трансформатора; $T_{нав.}$ - температура навколишнього середовища.

За формулами (8), (9), (10) отримуємо

$$V_0 = V_{o.n.} \left[1 + \alpha_T \left(\frac{T_{в.ш.о.} + T_{нав.}}{2} - T_n \right) \right] \quad (11)$$

Підставимо (11) в (7), отримуємо

$$C_r(t) = \int_0^t \left(\frac{2}{2 + \alpha_T (T_{в.ш.о.} + T_{нав.} - 2T_n)} \sum_{i=1}^3 \frac{\gamma A_i}{V_{o.n.}} U^{\beta_i}(t) \right) dt \quad (12)$$

Для правильного визначення робочого ресурсу високовольтних вводів необхідно крім концентрації розчинених в олії газів $C_r(t)$ визначити також і швидкість її зростання $\frac{dC_r(t)}{dt}$.

Таким чином, термін роботи вводу визначається по значенню концентрації $C_r(t)$ розчинених в олії газів і по швидкості її зростання $\frac{dC_r(t)}{dt}$.

Якщо хоча б один з цих параметрів досягає граничного значення $C_{r.max}$ або $\left(\frac{dC_r(t)}{dt} \right)_{max}$,

то трансформаторний ввід необхідно знімати з експлуатації. Крім того при сильних газовиділеннях залишковий тиск у ввіді зростає. Тому доцільно контролювати тиск у ввіді з урахуванням моменту досягнення його допустимого значення.

При вимірюванні робочого ресурсу обмоток силового трансформатора сигнали з першого датчика температури 32 та датчика струму 33 через перетворювачі 34 та 35 подаються на входи першого суматора 36. При цьому на його виході встановлюється сигнал, пропорційний $(\theta_T + \theta_0)$. Якщо RS-тригер 39 встановлений в одиничний стан (а це має місце, коли на п'ятому виході дешифратора 31 з'являється сигнал логічної одиниці), то перший логічний елемент І 41 відкритий і імпульси з виходу другого генератора 40 надходять на вхід другого лічильника імпульс-

сів 42, з виходу якого сигнали по цифровій шині подаються на вхід ЦАП 43 та з його виходу лінійно зростаючий аналоговий сигнал поступає на другий вхід першого компаратора 38, на перший вхід якого надходить сигнал, пропорційний $e^{\alpha(\theta_r + \theta_0)}$, з виходу четвертого функціонального перетворювача 37, що здійснює перетворення вхідного сигналу по експоненціальному закону. Якщо сигнали на входах першого компаратора 38 зрівнюються, то на його виході з'являється сигнал логічної одиниці, який переводить RS-тригер 39 в нульовий стан, елемент І 41 закривається та подача імпульсів від генератора 40 до лічильника 42 припиняється. З приходом наступного імпульсу з п'ятого виходу дешифратора 31 здійснюється скид другого лічильника імпульсів 42 та установка в одиничний стан RS-тригера 39. Цикл роботи при цьому повторюється. В період, коли відкритий перший логічний елемент І 41, імпульси з його виходу поступають також в третій лічильник імпульсів 49 та фіксуються в ньому як ресурс роботи ізоляції обмоток трансформатора за період, починаючи з часу t_1 , коли відкривається елемент І 41, та до часу t_2 , коли закривається елемент І 41, у вигляді інтегралу $m \int_{t_1}^{t_2} e^{\alpha(\theta_r + \theta_0)} dt$.

Обчислюючи суму інтегралів у вигляді суми імпульсів, які поступають в лічильник 49 в кожному циклі роботи блоків пристрою, можна визначити повний відпрацьований робочий ресурс ізоляції обмоток трансформатора. В пристрої цей момент фіксується шляхом заповнення імпульсами лічильника 49. При цьому на виході другого логічного елемента І 50 з'являється сигнал логічної одиниці, який вмикає другий індикатор 51. Крім цього, з виходу елемента І 50 сигнал через логічний елемент АБО 52 поступає в коло сигналізації, попереджуючи оперативний персонал, який обслуговує трансформатор, про вичерпання робочого ресурсу обмоток останнього.

Під час вимірювання робочого ресурсу високочастотного вводу сигнал з виходу другого датчика температури 1, пропорційний $T_{нає}$, через другий перетворювач температури в постійну напругу 2 поступає на перший вхід третього суматора 3, на другий вхід якого з виходу першого датчика температури 32 через перший перетворювач температури в постійну напругу 34 подається сигнал, пропорційний $T_{в.ш.о.}$. З виходу третього суматора 3 сигнал $(T_{в.ш.о.} + T_{нає})$ подається на вхід першого масштабуючого підсилювача 4, вихідний сигнал якого у вигляді

$$\frac{2}{2 + \alpha_T(T_{в.ш.о.} + T_{нає} - 2T_H)}$$
 поступає на перший вхід блоку множення 15.

З виходу датчика напруги 5 сигнал через перетворювач змінної напруги в постійну 6 подається на вхід ПВЗ 7. В момент, коли на першому виході дешифратора 31, керованого першим лічильником імпульсів 30, з'являється імпульс, відповідне значення напруги запам'ятовується в ПВЗ 7 та з виходу подається на входи першого 8, другого 9 та третього 10 функціональних перетворювачів, в яких відбувається обчислення зна-

чень $U^{\beta_i}(t)$ (в даному випадку $i=1, 2, 3$). З виходів функціональних перетворювачів 8, 9 та 10 сигнали поступають на відповідні входи другого 11, третього 12 та четвертого 13 масштабуючих підсилювачів, в яких виконується множення вхідного сигналу на коефіцієнт $\frac{\gamma}{V_{о.н.}} A_i$ ($i=1,2,3$). Далі

з виходів масштабуючих підсилювачів 11, 12, 13 сигнали подаються на відповідні входи другого суматора 14, з виходу якого сигнал, пропорційний виразу $\sum_{i=1}^3 \frac{\gamma}{V_{о.н.}} A_i U^{\beta_i}(t)$, поступає на другий вхід

блоку множення 15, вихідний сигнал якого подається на аналоговий вхід АЦП 16. При появі імпульсу з другого виходу дешифратора 31 на керуючому вході АЦП 16 здійснюється перетворення аналогового сигналу в цифровий в АЦП 16. При цьому його вихідний сигнал по цифровій шині поступає на перший вхід першого цифрового суматора 18 та на цифровий вхід третього регістра 17. В початковий момент часу перший 20 та другий 25 регістри обнулені, тому на виході першого цифрового суматора 18 буде цифровий сигнал, рівний вхідному, який при появі імпульсу на третьому виході дешифратора 31 записується в перший регістр 20 - регістр робочого ресурсу вводу трансформатора. Одночасно по сигналу на третьому виході дешифратора 31 цифровий код з виходу АЦП 16 записується в третій регістр 17.

При появі імпульсу на четвертому виході дешифратора 31 сигнал з виходу першого регістра 20 по цифровій шині записується в другий регістр 25. В описаному циклі роботи блоків пристрою визначається робочий ресурс вводу трансформатора відповідно до виразу

$$\int_0^t \left(\frac{2}{2 + \alpha_T(T_{в.ш.о.} + T_{нає} - 2T_H)} \sum_{i=1}^3 \frac{\gamma A_i}{V_{о.н.}} U^{\beta_i}(t) \right) dt$$

за період $[t_1; t_2]$ (в першому циклі $t_1=0$) в перерахунку на рівень концентрації газів при виникненні ЧР. В другому та наступних циклах роботи блоків пристрою в першому цифровому суматорі 18 відбувається складання поточного значення відпрацьованого робочого ресурсу вводу з сумарним відпрацьованим ресурсом, обчисленим у всіх попередніх циклах та записаним в другому регістрі 25.

В першому блоці задання ресурсу 22 записаний цифровий код, що відповідає граничному значенню концентрації газів $C_{Г.макс}$, за яким визначається повний відпрацьований робочий ресурс вводу трансформатора. Якщо цифровий код, що записаний в перший регістр 20 і подається по цифровій шині в перший цифровий компаратор 24, співпадає з цифровим кодом, який записаний в першому блоці задання ресурсу 22, що відповідає вичерпання робочого ресурсу вводу, то на виході першого цифрового компаратора 24 з'являється сигнал логічної одиниці, який включає перший індикатор 28 та через логічний елемент АБО 52 поступає в коло сигналізації.

Після запису інформації в другий регістр 25 по сигналу з четвертого виходу дешифратора 31 на його першому виході знову з'являється сигнал, що призводить до запам'ятовування в ПВЗ 7 но-

вого значення фазної напруги електричної мережі, що подається з виходу датчика напруги 5 через перетворювач змінної напруги в постійну 6. При цьому на виході блока множення 15 формується нове миттєве значення концентрації розчинених в олії газів і при появі імпульсу на другому виході дешифратора 31 відповідний вхідний аналоговий сигнал перетворюється в цифровий код, який з виходу АЦП 16 подається на вхід другого цифрового суматора 19. Цей суматор реалізує операцію віднімання сигналу, що подається на другий (верхній по схемі) вхід, від сигналу, що подається на перший (нижній по схемі) вхід. Це досягається шляхом інвертування цифрового сигналу в третьому регістрі 17 з подальшим попереднім збільшенням отриманого інверсного коду на одиницю в другому цифровому суматорі 19 і наступним складанням отриманого сигналу з цифровим кодом, що подається на перший вхід цифрового суматора 19. Іншими словами, на виході останнього формується сигнал різниці миттєвих значень концентрації розчинених в олії газів, що характеризує швидкість її зміни.

З виходу другого цифрового суматора 19 сигнал поступає на вхід другого цифрового компаратора 23, де цей сигнал порівнюється з кодом, що подається з виходу другого блока задання ресурсу 21, в якому записане граничне значення $\left(\frac{dC_r(t)}{dt}\right)_{\max}$. Якщо значення цифрового коду, що подається з виходу другого суматора 19, перевищує значення цифрового коду, що подається з виходу другого блока задання ресурсу 21, то на виході другого цифрового компаратора 23 з'являється сигнал логічної одиниці, що свідчить про

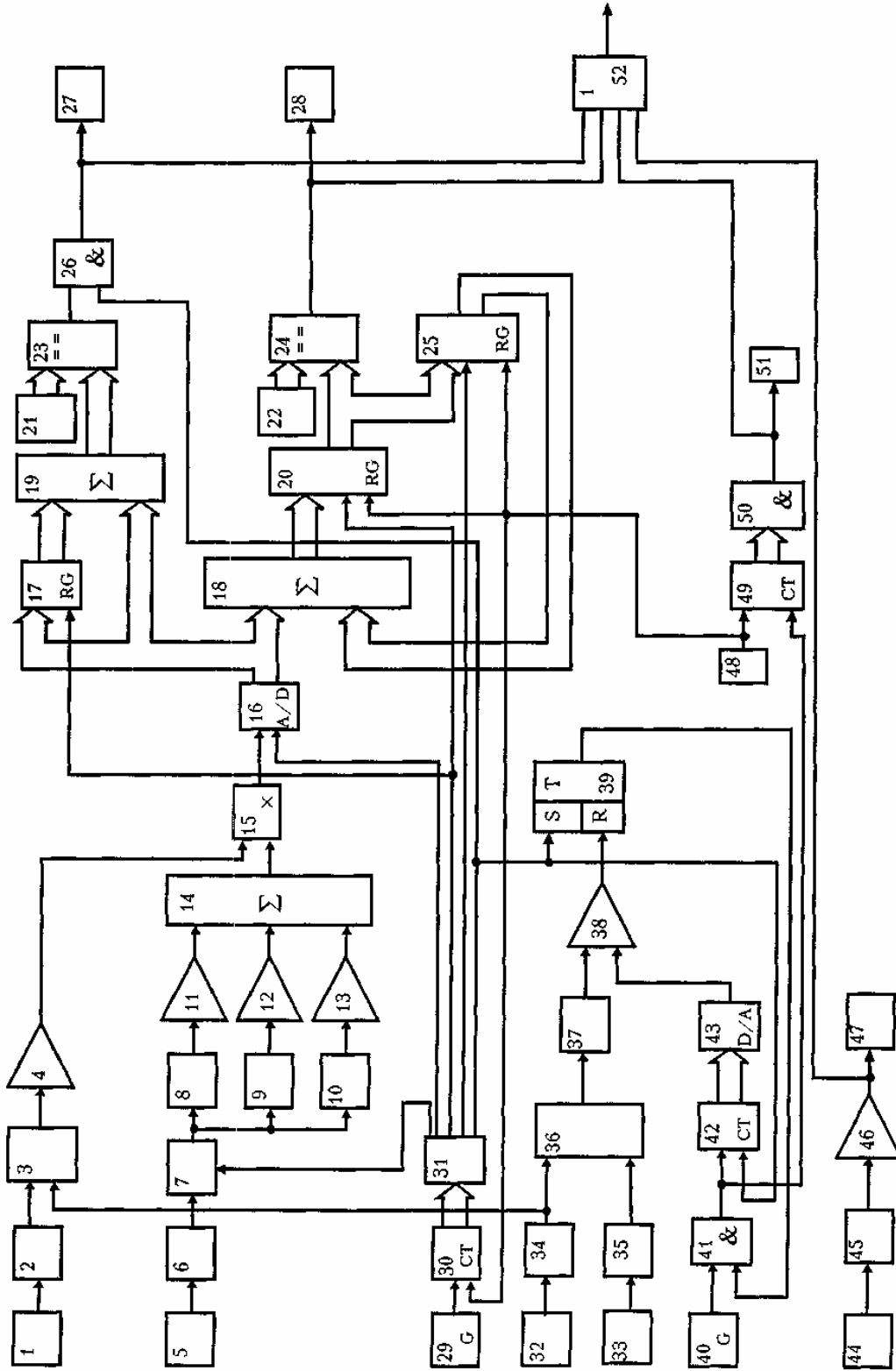
перевищення допустимого значення швидкості зростання концентрації розчинених в олії газів.

Після цього на п'ятому виході дешифратора 31 з'являється сигнал логічної одиниці, який встановлює в одиничний стан RS-тригер та відкриває третій логічний елемент І 26. Якщо на виході другого цифрового компаратора 23 присутній сигнал логічної одиниці, то на виході третього логічного елемента І 26 з'являється сигнал логічної одиниці, який включає четвертий індикатор 27 і через логічний елемент АБО 52 сповіщає оперативний персонал про перевищення граничної швидкості зростання концентрації розчинених в олії газів.

Для контролю допустимого тиску олії у ввіді використовується датчик тиску 44, сигнал з виходу якого через перетворювач тиску в постійну напругу 45 подається на вхід другого компаратора 46, вихідний сигнал якого з'являється лише тільки в разі, якщо тиск у ввіді перевищує допустимий. При цьому включається третій індикатор 47, а також цифровий сигнал подається через логічний елемент АБО 52 в коло сигналізації.

Дешифратор 31 реалізований таким чином, що на його виходах сигнали чередуються за один цикл роботи у такій послідовності: спочатку сигнал з'являється на першому виході, потім послідовно - на другому, третьому, четвертому виходах, а потім - на першому, другому і п'ятому виходах.

Необхідно відмітити, що частота чередування імпульсів першого генератора 29 повинна бути набагато менша частоти чередування імпульсів другого генератора 40.



ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22
