



УКРАЇНА

(19) UA (11) 58116 (13) A

(51) 7 G01R17/12

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДВидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ РОБОЧОГО РЕСУРСУ СИЛОВИХ СТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

1

2

(21) 2002107906

(22) 04 10 2002

(24) 15 07 2003

(46) 15 07 2003, Бюл. № 7, 2003 р.

(72) Мокін Борис Іванович, Грабко Володимир
Віталійович, Боцула Мирослав Павлович(73) ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(57) Пристрій для контролю робочого ресурсу силових статичних конденсаторів, що містить сенсор комутації, блок установки нуля, віднімаючий лічильник імпульсів, дешифратор, перший і другий генератори імпульсів, перший, другий і третій лічильники імпульсів, сенсор напруги, перший і другий аналого-цифрові перетворювачі, блок пам'яті, перетворювач Фур'є, арифметичний блок, перший функціональний блок, перший і другий регістри, комутатор, перший і другий логічні елементи "І", блок задання ресурсу, перший цифровий компаратор, індикатор, перший і другий компаратори, перетворювач змінного струму в постійну напругу, перший і другий помножувачі сигналів, масштабуючий підсилювач, перетворювач змінної напруги в постійну напругу, сенсор струму, перший і другий логічні елементи "НІ", цифро-аналоговий перетворювач, блок обчислення косинуса кута зсуву сигналів, причому вихід сенсора комутації з'єднаний з першим входом першого логічного елемента "І", другий вхід якого підключений до виходу комутатора, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів, вхід якого підключений до виходу першого генератора імпульсів, вихід першого логічного елемента "І" з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів, установочний вхід якого підключений до виходу блока установки нуля, вихідна цифрова шина блока задання ресурсу з'єднана з першою вхідною цифровою шиною першого цифрового компаратора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого лічильника імпульсів, вихід першого цифрового компаратора з'єднаний з входом індикатора і колами сигналізації об'єкта контролю, вихід сенсора напруги через перший компаратор підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів, установочний вхід якого з'єднаний з виходом блока установки нуля, вихідна цифрова шина віднімаючого лічильника імпульсів

підключена до вхідної цифрової шини дешифратора, перший вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого аналого-цифрового перетворювача і першим керуючим входом блока пам'яті, другий керуючий вхід якого разом з керуючим входом перетворювача Фур'є підключені до другого виходу дешифратора, третій вихід якого з'єднаний з першим керуючим входом арифметичного блока, а четвертий вихід підключений до керуючого входу першого регістра, вихід сенсора напруги підключений до входу першого аналого-цифрового перетворювача, вихідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною блока пам'яті, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини перетворювача Фур'є, перша і друга вихідні цифрові шини якого, а також його керуючий вихід з'єднані відповідно з першою і другою вхідними цифровими шинами і другим керуючим входом арифметичного блока, вихідна цифрова шина якого підключена до першої вхідної цифрової шини першого функціонального блока, вхідна цифрова шина першого регістра з'єднана з вихідною цифровою шиною першого функціонального блока, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого аналого-цифрового перетворювача, вихід сенсора напруги через перетворювач змінної напруги в постійну напругу з'єднаний з першим входом першого помножувача сигналів, другий вхід якого підключений до виходу сенсора струму через перетворювач змінного струму в постійну напругу, вихід першого помножувача сигналів через масштабуючий підсилювач з'єднаний з першим входом другого помножувача сигналів, вихід якого підключений до входу другого аналого-цифрового перетворювача, а другий вхід з'єднаний з виходом блока обчислення косинуса кута зсуву сигналів, вхід якого підключений до виходу цифро-аналогового перетворювача, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора, вихід другого генератора імпульсів з'єднаний з першим входом другого логічного елемента "І", до другого входу якого через перший логічний елемент "НІ" підключений вихід першого компаратора, вихід сенсора струму через другий компаратор з'єднаний з третім входом другого логічного елемента "І", а також через другий логічний

(19) UA (11) 58116 (13) A

елемент "НІ" підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логічного елемента "І", а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра, який **відрізняється** тим, що в нього введені другий і третій функціональні блоки, третій регістр, другий цифровий компаратор, причому керуючий вхід третього функціонального блока з'єднаний з четвертим виходом дешифратора, установочні входи першого і третього регістрів підключені до виходу блока установки нуля, вихідна цифрова шина першого регістра з'єднана з вхідною цифровою шиною тре-

тього регістра, другою вхідною цифровою шиною третього функціонального блока та другою вхідною цифровою шиною другого цифрового компаратора, перша вхідна цифрова шина якого разом з вхідною цифровою шиною другого функціонального блока підключені до вихідної цифрової шини третього функціонального блока, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною третього регістра, керуючий вхід якого підключений до виходу другого цифрового компаратора, вихідна цифрова шина другого функціонального блока з'єднана з другою вхідною цифровою шиною комутатора

Винахід відноситься до області електротехніки і може бути використаний для вимірювання робочого ресурсу силових статичних конденсаторів

Відомий пристрій для вимірювання ємності і тангенса кута втрат електричних конденсаторів (А с СРСР №1448291, М кл G01R17/12, бюл №48, 1988), що містить генератор, перший вихід якого з'єднаний з початком первинної обмотки трансформатора, а також з другим нерухомим контактом третього перемикаючого елемента комутатора, з першим нерухомим контактом другого перемикаючого елемента комутатора і з початком первинної обмотки інвертора, кінець первинної обмотки якого і початок його вторинної обмотки підключені до загальної шини, а кінець вторинної обмотки з'єднаний з першим нерухомим контактом першого перемикаючого елемента комутатора, другий нерухомий контакт першого перемикаючого елемента якого, а також другий нерухомий контакт другого перемикаючого елемента комутатора і перший нерухомий контакт третього перемикаючого елемента комутатора підключені до виходу фазообертача, вхід якого з'єднаний з рухомих контактом четвертого перемикаючого елемента комутатора, перший нерухомий контакт четвертого перемикаючого елемента якого разом з другим нерухомим контактом п'ятого перемикаючого елемента комутатора підключені до початку вторинної обмотки трансформатора, кінець вторинної обмотки якого з'єднаний з другим нерухомим контактом четвертого перемикаючого елемента комутатора та з першим нерухомим контактом п'ятого перемикаючого елемента комутатора, рухомий контакт п'ятого перемикаючого елемента якого підключений до загальної шини, рухомий контакт другого перемикаючого елемента з'єднаний з другим виводом зразкового резистора, перший вивід якого разом з першим виводом зразкового конденсатора та перша клемма для підключення об'єкта вимірювання з'єднані з першим входом індикатора, другий вхід якого підключений до загальної шини, друга клемма для підключення об'єкта вимірювання з'єднана з рухомих контактом третього перемикаючого елемента комутатора, рухомий контакт першого перемикаючого елемента якого підключений до другого виводу зразкового конденсатора, другий вивід генератора та кінець первинної обмотки трансформатора

з'єднані з загальною шиною

Недоліком даного пристрою є те, що він не дозволяє вимірювати залишковий робочий ресурс силових статичних конденсаторів

За прототип обрано пристрій для вимірювання спрацювання силових статичних конденсаторів (Патент №34246А (Україна), М кл G01R17/12, бюл №1, 2001), що містить датчик комутації, вихід якого з'єднаний з першим входом першого логічного елемента "І", другий вхід якого підключений до виходу комутатора, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів, лічильний вхід якого підключений до виходу першого генератора імпульсів, вихід першого логічного елемента "І" з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів, установочний вхід якого підключений до виходу блока установки нуля, 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 другого лічильника імпульсів, вихід цифрового компаратора з'єднаний з виходом індикатора і колами сигналізації об'єкта вимірювання, вихід датчика напруги через перший компаратор підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів, установочний вхід якого з'єднаний з виходом блока установки нуля, вихідна цифрова шина віднімаючого лічильника імпульсів підключена до вхідної цифрової шини дешифратора, перший вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого АЦП і першим керуючим входом блока пам'яті, другий керуючий вхід якого разом з керуючим входом перетворювача Фур'є підключені до другого виходу дешифратора, третій вихід якого з'єднаний з першим керуючим входом арифметичного блока, а четвертий вихід підключений до керуючого входу першого регістра, вихідна цифрова шина якого з'єднана з другою вхідною цифровою шиною комутатора, вихід датчика напруги підключений до входу першого АЦП, вихідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною блока пам'яті, вихідна цифрова шина перетворювача Фур'є, перша і друга вихідні цифрові шини якого, а також його керуючий вихід з'єднані відповідно з першою і другою вхідними цифровими шинами і другим керуючим входом

арифметичного блока, вихідна цифрова шина якого підключена до першої вхідної цифрової шини функціонального блока, вхідна цифрова шина першого регістра з'єднана з вихідною цифровою шиною функціонального блока, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини другого АЦП, вихід датчика напруги через перетворювач змінної напруги в постійну напругу з'єднаний з першим входом першого помножувача сигналів, другий вхід якого підключений до виходу датчика струму через перетворювач змінного струму в постійну напругу, вихід першого помножувача сигналів через масштабуючий підсилювач з'єднаний з першим входом другого помножувача сигналів, вихід якого підключений до входу другого АЦП, а другий вхід з'єднаний з виходом блока обчислення косинусу кута зсуву сигналів, вхід якого підключений до виходу ЦАП, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора, вихід другого генератора імпульсів з'єднаний з першим входом другого логічного елемента "І", до другого входу якого через перший логічний елемент "НІ" підключений вихід першого компаратора, вихід датчика струму через другий компаратор з'єднаний з третім входом другого логічного елемента "І", а також через другий логічний елемент "НІ" підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логічного елемента "І", а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра

Головним недоліком даного пристрою є низька точність роботи, оскільки математична модель витрати робочого ресурсу, на якій базується робота пристрою, не враховує теплову сталу часу конденсатора, тобто у математичній моделі прийнято, що при миттєвій зміні параметрів режиму роботи конденсатора його температура також миттєво змінюється, що вносить похибку у вимірювання залишкового робочого ресурсу об'єкта

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення пристрою для контролю робочого ресурсу силових статичних конденсаторів, в якому за рахунок введення блоків та зв'язків між ними досягається підвищення точності роботи пристрою

Поставлена задача досягається тим, що в пристрій для контролю робочого ресурсу силових статичних конденсаторів, який складається з датчика комутації (у подальшому - сенсора комутації СК), блока установки нуля (БУ), віднімаючого лічильника імпульсів, дешифратора, першого і другого генераторів імпульсів, першого, другого і третього лічильників імпульсів, датчика напруги (в подальшому - сенсора напруги СН), першого і другого аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), блока пам'яті (БП), перетворювача Фур'є (ПФ), арифметичного блока (АБ), функціонального блока (ФБ) (в подальшому - першого функціонального блока), першого і другого регістрів, комутатора, першого і другого логічних елементів "І", блока задання ресурсу (БЗР), цифрового компаратора (в подальшому першого цифрового компаратора), індикатора, першого і другого компараторів, перетворювача змінного струму в постійну напругу,

першого і другого помножувачів сигналів, масштабуючого підсилювача (МП), перетворювача змінної напруги в постійну напругу, датчика струму (в подальшому - сенсора струму СС), першого і другого логічних елементів "НІ", цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), блока обчислення косинусу кута зсуву сигналів (БОК), причому вихід СК з'єднаний з першим входом першого логічного елемента "І", другий вхід якого підключений до виходу комутатора, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів, вхід якого підключений до виходу першого генератора імпульсів, вихід першого логічного елемента "І" з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів, установочний вхід якого підключений до виходу БУ, вихідна цифрова шина БЗР з'єднана з першою вхідною цифровою шиною першого цифрового компаратора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого лічильника імпульсів, вихід першого цифрового компаратора з'єднаний з входом індикатора і колами сигналізації об'єкта контролю, вихід СН через перший компаратор підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів, установочний вхід якого з'єднаний з виходом БУ, вихідна цифрова шина віднімаючого лічильника імпульсів підключена до вхідної цифрової шини дешифратора, перший вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого АЦП і першим керуючим входом БП, другий керуючий вхід якого разом з керуючим входом ПФ підключені до другого виходу дешифратора, третій вихід якого з'єднаний з першим керуючим входом АБ, а четвертий вихід підключений до керуючого входу першого регістра, вихід СН підключений до входу першого АЦП, вихідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною БП, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини ПФ, перша і друга вихідні цифрові шини якого, а також його керуючий вихід з'єднані відповідно з першою і другою вхідними цифровими шинами і другим керуючим входом АБ, вихідна цифрова шина якого підключена до першої вхідної цифрової шини першого ФБ, вхідна цифрова шина першого регістра з'єднана з вихідною цифровою шиною першого ФБ, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого АЦП, вихід СН через перетворювач змінної напруги в постійну напругу з'єднаний з першим входом першого помножувача сигналів, другий вхід якого підключений до виходу СС через перетворювач змінного струму в постійну напругу, вихід першого помножувача сигналів через МП з'єднаний з першим входом другого помножувача сигналів, вихід якого підключений до входу другого АЦП, а другий вхід з'єднаний з виходом БОК, вхід якого підключений до виходу ЦАП, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора, вихід другого генератора імпульсів з'єднаний з першим входом другого логічного елемента "І", до другого входу якого через перший логічний елемент "НІ" підключений вихід першого компаратора, вихід СС через другий компаратор з'єднаний з третім входом другого логіч-

ного елемента "І", а також через другий логічний елемент "НІ" підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логічного елемента "І", а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра, введено другий і третій ФБ, третій регістр, другий цифровий компаратор, причому керуючий вхід третього ФБ з'єднаний з четвертим виходом дешифратора, установочні входи першого і третього регістрів підключені до виходу БУ, вихідна цифрова шина першого регістра з'єднана з вхідною цифровою шиною третього регістра, другою вхідною цифровою шиною третього ФБ та другою вхідною цифровою шиною другого цифрового компаратора, перша вхідна цифрова шина якого разом з вхідною цифровою шиною другого ФБ підключені до вихідної цифрової шини третього ФБ, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною третього регістра, керуючий вхід якого підключений до виходу другого цифрового компаратора, вихідна цифрова шина другого ФБ з'єднана з другою вхідною цифровою шиною комутатора

За рахунок введення в пристрій другого і третього ФБ, третього регістра, другого цифрового компаратора та відповідних зв'язків з'являється можливість врахувати теплову сталу часу конденсатора, що дозволяє підвищити точність вимірювання залишкового робочого ресурсу силових статичних конденсаторів

Пристрій для контролю робочого ресурсу силових статичних конденсаторів пояснюється кресленням, на якому зображена його структурна схема

На схемі 1 - СК, 2 - БУ, 3 - перший компаратор, 4 - віднімаючий лічильник імпульсів, 5 - дешифратор, 6 - СН, 7, - перший АЦП, 8 - БП, 9 - ПФ, 10 - АБ, 11 - перший ФБ, 12 - перший регістр, 13 - перетворювач змінної напруги в постійну, 14 - перший помножувач сигналу, 15 - МП, 16 - другий помножувач сигналу, 17 - другий АЦП, 18 - перетворювач змінного струму в постійну напругу, 19 - другий генератор імпульсів, 20 - перший логічний елемент "НІ", 21 - другий логічний елемент "І", 22 - СС, 23 - другий компаратор, 24 - другий логічний елемент "НІ", 25 - третій лічильник імпульсів, 26 - другий регістр, 27 - ЦАП, 28 - БОК, 29 - БЗР, 30 - перший логічний елемент "І", 31 - другий лічильник імпульсів, 32 - перший цифровий компаратор, 33 - індикатор, 34 - перший генератор імпульсів, 35 - перший лічильник імпульсів, 36 - другий ФБ, 37 - комутатор, 38 - третій регістр, 39 третій ФБ, 40 - другий цифровий компаратор, причому вихід СК 1 з'єднаний з першим входом першого логічного елемента "І" 30, другий вхід якого підключений до виходу комутатора 37, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів 35, лічильний вхід якого підключений до виходу першого генератора імпульсів 34, вихід першого логічного елемента "І" 30 з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів 31, установочний вхід якого підключений до виходу БУ2, вихідна цифрова шина БЗР 29 з'єднана з першою вхідною цифровою шиною першого цифрового компаратора 32, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної циф-

рової шини другого лічильника імпульсів 31, вихід першого цифрового компаратора з'єднаний з індикатором 33 і колами сигналізації об'єкта контролю, вихід СН 6 через перший компаратор 3 підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів 4, установочний вхід якого з'єднаний з виходом БУ 2, вихідна цифрова шина віднімаючого лічильника імпульсів 4 підключена до вхідної цифрової шини дешифратора 5, перший вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого АЦП 7 і першим керуючим входом БП 8, другий керуючий вхід якого разом з керуючим входом ПФ 9 підключені до другого виходу дешифратора 5, третій вихід якого з'єднаний з першим керуючим входом АБ 10, а четвертий вихід підключений до керуючого входу першого регістра 12, вихідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною третього регістра 38, другою вхідною цифровою шиною третього ФБ 39 та другою вхідною цифровою шиною другого цифрового компаратора 40, перша вхідна цифрова шина якого разом з вхідною цифровою шиною другого ФБ 36 підключені до вихідної цифрової шини третього ФБ 39, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною третього регістра 38, керуючий вхід якого підключений до виходу другого цифрового компаратора 40, керуючий вхід третього ФБ 39 з'єднаний з четвертим виходом дешифратора 5, вихідна цифрова шина другого ФБ 36 з'єднана з другою вхідною цифровою шиною комутатора 37, вихід СН 6 підключений до входу першого АЦП 7, вихідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною БП 8, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини ПФ 9, перша і друга вихідні цифрові шини якого, а також його керуючий вихід з'єднані відповідно з першою і другою вихідними цифровими шинами і другим керуючим входом АБ 10, вихідна цифрова шина якого підключена до першої вхідної цифрової шини першого ФБ 11, вхідна цифрова шина першого регістра 12 з'єднана з вхідною цифровою шиною першого ФБ 11, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого АЦП 17, вихід СН 6 через перетворювач 13 змінної напруги в постійну напругу з'єднаний з першим входом першого помножувача сигналів 14, другий вхід якого підключений до виходу СС 22 через перетворювач 18 змінного струму в постійну напругу, вихід першого помножувача сигналів 14 через МП 15 з'єднаний з першим входом другого помножувача сигналів 16, вихід якого підключений до входу другого АЦП 17, а другий вхід з'єднаний з виходом БОК 28, вхід якого підключений до виходу ЦАП 27, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра 26, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора 5, вихід другого генератора імпульсів 19 з'єднаний з першим входом другого логічного елемента "І" 21, до другого входу якого через перший логічний елемент "НІ" 20 підключений вихід першого компаратора 3, вихід СС 22 через другий компаратор 23 з'єднаний з третім входом другого логічного елемента "І" 21, а також через другий логічний елемент "НІ" 24 підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів 25, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого

логічного елемента "І" 21, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра 26

Запропонований пристрій працює так При подачі на схему напруги живлення БУ 2 виробляє короткий імпульс, який обнуляє віднімаючий лічильник імпульсів 4, другий лічильник імпульсів 31, перший регістр 12 і третій регістр 38 Для контролю робочого ресурсу силових статичних конденсаторів сенсори пристрою розподілені по об'єкту контролю таким чином сенсор напруги 8 установлений в колі ввімкнення конденсаторів, сенсор струму 22 ввімкнений в колі секції конденсаторів, сенсор комутації 1 встановлений на вимикачі, через який підключена до електричної мережі секція конденсаторів

У відповідності з "восьмиградусним правилом" теплового старіння електротехнічної ізоляції, яке прийнято в якості закону старіння ізоляції конденсатора, тобто накопичення спрацювання конденсатора

$$\theta = \frac{k_n k_c}{\alpha_T \cdot S_{охл}} U \cdot I \cdot (\cos \varphi - \operatorname{tg} \psi) \cdot \tau_0 \quad (1)$$

де τ_0 - строк служби силового статичного конденсатора в режимі роботи, який викликаний перегрівом ізоляції $\Delta \theta$, τ_0 - строк служби силового статичного конденсатора при нагріві ізоляції, який відповідає номінальному режиму роботи конденсатора

Перегрів $\Delta \theta$ визначається за таким виразом

$$\Delta \theta = \theta - \theta_H \quad (2)$$

де θ_H - температура нагріву ізоляції при номінальному режиму роботи конденсатора, θ - фактична температура нагріву ізоляції, яка визначається за таким виразом

$$\theta = \frac{1}{\alpha_T \cdot S_{охл}} \cdot P \quad (3)$$

де α_T - коефіцієнт тепловіддачі з поверхні конденсатора, $S_{охл}$ - площа поверхні охолодження конденсатора, P - потужність втрат конденсатора, яка визначається за виразом

$$P = 2\pi f \cdot U^2 \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (4)$$

де f - частота напруги в мережі, U - напруга живлення конденсатора, $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс кута втрат конденсатора, C - ємність конденсатора

Як відомо найважчий режим роботи силових статичних конденсаторів - робота під несинусоїдальною напругою мережі живлення Вплив несинусоїдальності напруги мережі живлення враховується через коефіцієнт η збільшення втрат в конденсаторі, який можна визначити як

$$\eta = \frac{\sum_{v=1}^n v U_{v*}^2}{\sum_{v=1}^n U_{v*}^2} \quad (5)$$

де v - порядок гармоніки напруги мережі, U_{v*}

- напруга v -ої гармоніки напруги мережі, n - кількість гармонік спектру напруги, що врахову-

ються При оцінці коефіцієнта несинусоїдальності достатньо враховувати гармоніки, значення яких $\geq 30\%$ напруги найбільшої гармоніки

Ємність конденсатора C можна визначити за формулою

$$C = \frac{1}{\omega} \frac{I}{U} \quad (6)$$

де ω - кутова частота напруги в мережі, I , U - виміряні значення напруги і струму у відповідних колах конденсатора

Тангенс кута втрат конденсатора визначається так Потужність втрат конденсатора визначається як

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos(90 - \delta - \psi) \quad (7)$$

де ψ - зміщення фаз за рахунок факторів впливу кутових похибок вимірювальних трансформаторів та інше, δ - кут втрат силового статичного конденсатора

З врахуванням того, що кути ψ і δ невеликі, з (7) слідує що

$$\operatorname{tg}(\delta + \psi) \approx \sin(\delta + \psi) = \frac{P}{U \cdot I}$$

Для виключення систематичної похибки до результатів виміру вводиться поправка, яка дорівнює $\operatorname{tg} \psi$, тому

$$\operatorname{tg} \delta \approx \frac{P}{U \cdot I} - \operatorname{tg} \psi \quad (8)$$

Таким чином в будь-який момент часу можна визначити нагрів ізоляції силового статичного конденсатора за формулою

$$\theta = \frac{1}{\alpha_T \cdot S_{охл}} 2\pi f \cdot U^2 \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \eta \quad (9)$$

або підставивши вирази (5), (6), (8) в (9) та врахувавши коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів струму k_c і k_n напруги маємо

$$\theta = \frac{k_n \cdot k_c}{\alpha_T \cdot S_{охл}} U \cdot I \cdot (\cos \varphi - \operatorname{tg} \psi) \cdot \eta \quad (10)$$

Для кожного моменту часу t_j можна визначити строк служби τ_j силового статичного конденсатора згідно з (1), тобто

$$\tau_{\theta j} = \tau_0 \cdot e^{-0,087 \Delta \theta_j} \quad (11)$$

Залишковий робочий ресурс $H_t^{\text{зал}}$ силового косинусного конденсатора визначимо за виразом

$$H_t^{\text{зал}} = H_t^{\text{ном}} - H_{\Delta t} - H_{\Delta t \theta} \quad (12)$$

де $H_t^{\text{ном}}$ - номінальний робочий ресурс конденсатора, $H_{\Delta t}$ - оціночне значення спрацьованого ресурсу конденсатора з моменту вводу в експлуатацію до моменту встановлення пристрою Якщо спостереження за спрацюванням ресурсу проводиться для нових конденсаторів, то $H_{\Delta t} = 0$, $H_{\Delta t \theta}$ - відпрацьований ресурс від перегріву при роботі в несинусоїдальному режимі Значення $H_{\Delta t \theta}$ можна визначити як

$$H_{\Delta t \theta} = \sum_{j=1}^N \frac{H_t^{\text{ном}}}{\tau_{\theta j}} \cdot t_j \quad (13)$$

де t_j - час, на протязі якого на конденсатор впливає температура перегріву θ_j ,

N - кількість інтервалів зміни температури θ

Таким чином, слідкуючи за значенням $H_{\Delta\tau_0}$ і порівнюючи зі значенням робочого ресурсу $H_{\tau}^{\text{НОМ}} - H_{\Delta\tau}$ на початку роботи пристрою можна визначити момент зняття з експлуатації конденсатора і запобігти аварійної ситуації. Спрацювання конденсатора визначається за таким виразом

$$H_{\Delta\tau_0} = \sum_{j=1}^N \frac{H_{\tau}^{\text{НОМ}}}{\tau_0 \cdot e^{-0,087 \left(\frac{k_c \cdot k_H \cdot U_j \cdot I_j [\cos \varphi_j - \text{tg} \psi_j] \eta_j - \theta_j}{\alpha_T \cdot S_{\text{окл}}} \right)}} \cdot t_j \quad (14)$$

Якщо робочий ресурс конденсатора виражений у розмірності часу, то є справедливим вираз $H_{\tau}^{\text{НОМ}} = \tau_0$, тоді вираз (14) приймає вигляд

$$H_{\Delta\tau_0} = \sum_{j=1}^N e^{0,087 \left(\frac{k_c \cdot k_H \cdot U_j \cdot I_j [\cos \varphi_j - \text{tg} \psi_j] \eta_j - \theta_j}{\alpha_T \cdot S_{\text{окл}}} \right)} \cdot t_j \quad (15)$$

Якщо режим роботи конденсатора змінився, то за виразом (3) визначається нова температура перегріву, яка визначає швидкість витрати робочого ресурсу. Але вона не може змінитися миттєво відповідно до миттєвих змін параметрів режиму роботи об'єкта. Тому враховується теплова стала часу, τ_T , що визначає тривалість теплового перехідного процесу. При врахуванні теплової сталої часу τ_T конденсатора фактична температуру перегріву ізоляції для кожного i -ого моменту перехідного теплового процесу визначається за виразом

$$\theta_i = \theta_0 + (\theta - \theta_0) \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{t_i}{\tau_T} \right)} \right], \quad (16)$$

де θ_0 - фактична температура перегріву за виразом (3) на початку перехідного процесу, θ - фактична температура перегріву за виразом (3) наприкінці перехідного процесу відповідно до нового робочого режиму, t_i - моменти часу перехідного процесу, що визначаються за виразом

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t$$

де $i = \overline{0, n}$, $t_0 = 0$, $\Delta t = \frac{\tau_T}{n}$ - проміжки часу на

які дискретизується час перехідного процесу

При вимірюванні залишкового робочого ресурсу силових статичних конденсаторів робота пристрою розподіляється по тактах з виходів дешифратора 5, які є синхронізованими з напругою в мережі, що подається через СН 6 на вхід компаратора 3, на виході якого з'являються імпульси, що надходять на лічильний вхід віднімаючого лічильника 4, цифровий код з виходу якого поступає на дешифратор 5

При появі на першому виході дешифратора 5 логічної одиниці цифрові коди, які відповідають миттєвим значенням напруги впродовж одного періоду зміни напруги з виходу СН 6 через АЦП 7 записуються в БП 8. При появі сигналу логічного

нуля на першому виході дешифратора 5 процес запису кодів в БП 8 припиняється. При цьому на другому виході дешифратора 5 з'являється сигнал логічної одиниці, по якому всі коди, що записані в БП 8, передаються в ПФ 9. Одночасно цим же сигналом запускається ПФ 9, який обчислює склад спектру гармонік напруги v і діюче значення U_v кожної з них. При появі сигналу на третьому виході дешифратора 5 активується робота АБ 10. При цьому з ПФ 9 в АБ 10 по керуючим сигналам, що поступають з ПФ 9 на другий керуючий вхід АБ 10, передаються цифрові коди, які відповідають номерам гармонік напруги v та їх діючим значенням U_v . В АБ 10 проводиться обчислення сигналу у відповідності з виразом (5). Вихідний сигнал з АБ 10 у вигляді цифрового коду, пропорційного η , надходить у перший ФБ 11.

Одночасно з виходу СН 6 змінна напруга подається на перетворювач 13 змінної напруги в постійну напругу з виходу якого сигнал надходить на перший вхід помножувача сигналів 14, на другий вхід якого через перетворювач 18 поступає сигнал постійної напруги, який пропорційний змінному струму, що протікає в цей час в об'єкті контролю і контролюється СС 22. З виходу помножувача сигналів 14 сигнал через МП 15, в якому добуток сигналів $U \cdot I$ множиться на коефіцієнт $\frac{k_H \cdot k_C}{\alpha_T \cdot S_{\text{окл}}}$ подається на перший вхід помножувача сигналів 16.

В цей же час проводиться вимірювання кута зсуву фаз сигналів струму і напруги. Оскільки сигнал струму з виходу СС 22 випереджає сигнал на виході СН 6, то імпульси на виході компаратора 23 з'являються раніше, ніж на виході компаратора 3. При появі прямокутного імпульсу на виході компаратора 29 відкривається другий елемент "І" 27, який закривається при появі імпульсу з виходу компаратора 3, що проходить через перший елемент "НІ" 20. За час, коли другий елемент "І" 21 знаходиться у відкритому стані, з виходу другого генератора 19 надходять імпульси на лічильний вхід третього лічильника імпульсів 25. В момент появи сигналу на керуючому вході, який є прямим динамічним, другого регістра 26 цифровий код з третього лічильника імпульсів 25 передається в другий регістр 26. Таким чином в другому регістрі 26 запам'ятовується цифровий код, що відповідає куту зсуву фаз φ між напругою і струмом в колі об'єкта контролю. В момент, коли на виході другого компаратора 23 з'являється сигнал логічного нуля, лічильник імпульсів 25 обнуляється.

З виходу другого регістра 26 цифровий код через ЦАП 27 передається в БОК 28, де проводиться обчислення косинусу кута φ та враховується кутлова похибка $\text{tg} \psi$. Сигнал, пропорційний $(\cos \varphi - \text{tg} \psi)$, з виходу БОК 28 надходить на другий вхід помножувача сигналів 16, де він множиться на сигнал з виходу МП 15, і через другий АЦП 17 у вигляді цифрового коду, що відповідає значенню $\frac{k_H \cdot k_C}{\alpha_T \cdot S_{\text{окл}}} \cdot U \cdot I \cdot (\cos \varphi - \text{tg} \psi)$, подається на другу вхідну цифрову шину ФБ 11. На виході ос-

таннього формується цифровий код, що відповідає температурі перегріву θ_j силового статичного конденсатора при поточному режимі роботи J згідно з виразом

$$\theta_j = \frac{k_n \cdot k_c}{\alpha_T \cdot S_{охл}} U_j \cdot I_j (\cos \varphi_j - \operatorname{tg} \psi) \cdot \eta_j$$

При появі сигналу з четвертого виходу дешифратора 5 цей цифровий код записується у перший регістр 12, тому що його керуючий вхід є прямим динамічним з вихідної цифрової шини першого регістра 12 цифровий код передається на цифрову вхідну шину третього регістра 38, другу цифрову вхідну шину третього ФБ 39 та другу цифрову вхідну шину другого цифрового компаратора 40. Третій ФБ 39 починає функціонувати при зникненні сигналу логічної одиниці на четвертому виході дешифратора 5, оскільки керуючий вхід ФБ 39 є зворотнім динамічним. У третьому ФБ 39 обчислюється цифровий код, що відповідає виразу (16), де θ_0 - значення попередньої температури нагріву, що зберігається у третьому регістрі 38, відповідний цифровий код якого присутній на першій вхідній цифровій шині третього ФБ 39, θ - значення поточної температури нагріву, відповідний цифровий код якого присутній на другій вхідній цифровій шині третього ФБ 39, Δt - значення, що відповідає проміжку часу між зникненнями сигналу логічної одиниці на керуючому вході третього ФБ 39. Обчислений цифровий код передається на вхідну цифрову шину другого ФБ 36 і першу вхідну цифрову шину другого цифрового компаратора 40, де він порівнюється з цифровим кодом, що відповідає значенню поточної температури нагріву, який присутній на другій вхідній цифровій шині компаратора 40. Цифровий код на виході третього ФБ 39 змінюється через кожні моменти часу Δt . У момент, коли цифрові коди на входах цифрового компаратора 40 зрівняються, на його виході з'являється сигнал логічної одиниці, при появі якого у третій регістр 38 заноситься цифровий код поточної температури, що передається до ФБ 39. При цьому, відповідно до виразу (16), на вихідній

цифровій шині третього ФБ 39 цифровий код приймає сталі значення.

Генератор імпульсів 34 і перший лічильник імпульсів 35 являють собою сукупність генераторів імпульсів з різними частотами вихідних сигналів. У другому ФБ 36 визначається цифровий код згідно

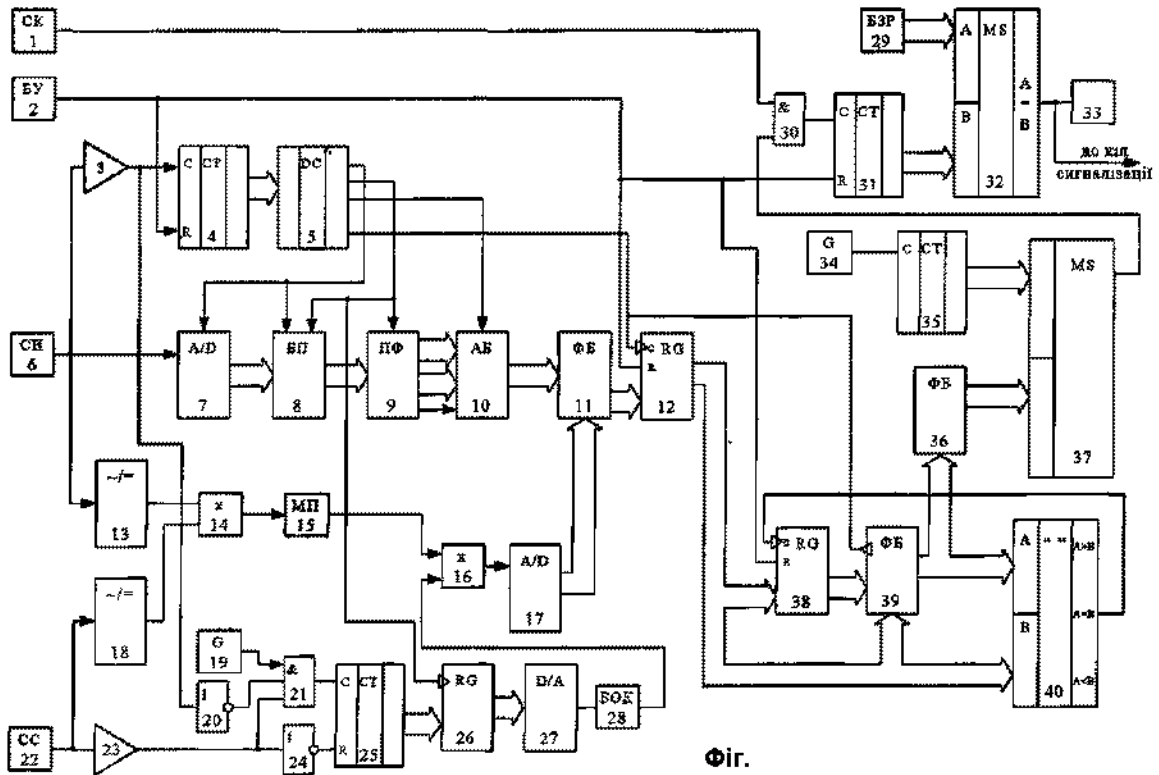
$$0,087 \left(\frac{k_c \cdot k_n}{\alpha_T \cdot S_{охл}} U_j \cdot I_j (\cos \varphi_j - \operatorname{tg} \psi) \eta_j - \theta_n \right) \cdot \Delta t$$

з виразом e Комутатор 37 у відповідності з цифровим кодом, що надходить з другого ФБ 36, передає вихідний сигнал з одного з виходів лічильника імпульсів 35 на лічильний вхід другого лічильника імпульсів 31, при умові що на першому вході першого логічного елемента "І" 30 присутній сигнал логічної одиниці з СК 1, який існує при умові, що об'єкт контролю підключений до мережі живлення. В другому лічильнику імпульсів 31 накопичується цифровий код, який відповідає спрацюванню силового статичного конденсатора згідно з виразом (15).

Якщо спектр гармонік в мережі або сигнал з виходу другого АЦП 17 змінюється, то на виході першого ФБ 11 з'являється новий код, який забезпечує підключення іншого виходу лічильника імпульсів 35 до входу ресурсного лічильника 31. При цьому швидкість подачі імпульсів в ресурсний лічильник імпульсів 31 або збільшується або зменшується відповідно з вище згаданими параметрами.

В БЗР 29 записаний код, який відповідає початковому робочому ресурсу $(N_{\tau}^{\text{ном}} - N_{\Delta t})$ конденсатора. У випадку, коли на виході лічильника 31 з'являється код, що дорівнює коду на виході БЗР 29, на виході першого цифрового компаратора 32 з'являється сигнал логічної одиниці, який вмикає індикатор 33, що свідчить про спрацювання ресурсу конденсаторів, і подає сигнал в кола сигналізації оперативному персоналу.

Для коректної роботи пристрою частоти чергування імпульсів генератора 19 повинна бути набагато більша, ніж частота сигналу електричної мережі 50 Гц.



Фиг.