



УКРАЇНА

(19) UA (11) 58114 (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) 2002107904

(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, регістр, комутатор, перший і другий логічні елементи "І", блок задання ресурсу, цифровий компаратор, індикатор, перший і другий компаратори, перетворювач змінного струму в постійну напругу, помножувач сигналів, масштабуючий підсилювач, перетворювач змінної напруги в постійну напругу, сенсор струму, перший і другий логічні елементи "НІ", 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 цифрового компаратора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого лічильника імпульсів, вихід цифрового компаратора з'єднаний з входом індикатора і колами сигналізації об'єкта вимірювання, вихід блока установки нуля з'єднаний з установочним входом віднімаючого лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини дешифратора, другий вихід якого з'єднаний з другим керуючим входом блока пам'яті та з керуючим входом перетворювача Фур'є, третій вихід дешифратора підключений до першого керуючого входу ариф-

метичного блока, а четвертий вихід підключений до керуючого входу регістра, вихідна цифрова шина якого з'єднана з другою вхідною цифровою шиною комутатора, вихід сенсора напруги підключений до входів першого компаратора і 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, вихідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною першого регістра, вихід сенсора напруги через перетворювач змінної напруги в постійну напругу з'єднаний з першим входом помножувача сигналів, другий вхід якого підключений до виходу сенсора струму через перетворювач змінного струму в постійну напругу, вихід першого помножувача сигналів з'єднаний з входом масштабуючого підсилювача, 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 елемент "НІ" підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логічного елемента "І", який відрізняється тим, що в нього введені третій генератор імпульсів, тригер, третій логічний елемент "І", пристрій вибірки зберігання, другий функціональний блок, причому вихід третього генератора імпульсів підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів, перший вихід дешифратора з'єднаний з першим входом третього елемента "І" та установочним входом тригера, який з'єднаний з виходом першого компаратора, вихід тригера підключений до другого входу третього логічного елемента "І", вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого аналого-цифрового перетворювача і першим керуючим входом блока пам'яті,

UA (19) 58114 (11) (13) A

третій вихід дешифратора з'єднаний з керуючим входом пристрою вибірки зберігання, вихід масштабуючого підсилювача з'єднаний з входом пристрою вибірки зберігання, вихід якого підключений до входу другого аналого-цифрового перетворювача, вихідна цифрова шина якого з'єднана з першою вхідною цифровою шиною другого

функціонального блока, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини третього лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина другого функціонального блока підключена до другої вхідної цифрової шини першого функціонального блока

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 рухомим 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'єкту вимірювання з'єднані з першим входом індикатора, другий вхід якого підключений до загальної шини, друга клемма для підключення об'єкту вимірювання з'єднана з рухомим 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 кодами сигналізації об'єкта контролю, 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 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 функціонального блока, вхідна цифрова шина першого регістра з'єднана з вихідною цифровою шиною функціонального блока, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної 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 помно-

жувача 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 "Ш" 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 за рахунок великого проміжку часу між вимірюваннями параметрів режиму роботи об'єкта, що визначається частотою появи вхідних імпульсів на лічильному вході віднімаючого лічильника імпульсів. Також недоліком є надлишкова кількість перетворень сигналу при визначенні косинуса кута зсуву фаз між струмом конденсатора та напругою електричної мережі, до якої він під'єднаний. Це також негативно впливає на точність роботи даного пристрою.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення пристрою для контролю робочого ресурсу силових статичних конденсаторів, в якому за рахунок введення нових 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), двох аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), блока пам'яті (БП), перетворювача Фур'є (ПФ), арифметичного блока (АБ), функціонального блока (ФБ) (в подальшому - першого функціонального блока), першого регістра (в подальшому - регістра), комутатора, першого і другого логічних елементів "І", блока задання ресурсу (БЗР), цифрового компаратора, індикатора, першого і другого компараторів, перетворювача змінного струму в постійну напругу, першого помножувача сигналів (в подальшому - помножувача сигналів), масштабуючого підсилювача, перетворювача змінної напруги в постійну напругу, датчика струму (в подальшому - сенсора струму СС), першого і другого логічних елементів "НІ" 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 цифрового компаратора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого лічильника імпульсів, вихід цифрового компаратора з'єднаний з входом індикатора і колами сигналізації об'єкта контролю, вихід БУ з'єднаний з установочним входом віднімаючого лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини дешифратора, другий вихід якого з'єднаний з другим керуючим входом БП та з керуючим входом ПФ, третій вихід дешифратора підключений до першого керуючого входу АБ, а четвертий вихід підключений до керуючого входу регістра, вихідна цифрова шина якого з'єднана з другою вхідною цифровою шиною комутатора, вихід СН підключений до входів першого компаратора і 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, вихідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною першого регістра, вихід СН через перетворювач змінної напруги в постійну напругу з'єднаний з першим входом помножувача сигналів, другий вхід якого підключений до виходу СС через перетворювач змінного струму в постійну напругу, вихід першого помножувача сигналів з'єднаний з входом масштабуючого підсилювача, 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 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", введено третій генератор імпульсів, тригер, третій логічний елемент "І", пристрій вибірки зберігання (ПВЗ), другий ФБ, причому вихід третього генератора імпульсів підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів, перший вихід дешифратора з'єднаний з першим входом третього елемента "І" та установочним входом тригера, прямиий динамічний вхід якого з'єднаний з виходом першого компаратора, вихід тригера підключений до другого входу третього логічного елемента "І", вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого АЦП і першим керуючим входом БП, третій вихід дешифратора з'єднаний з керуючим входом ПВЗ, вихід масштабуючого підсилювача з'єднаний з входом ПВЗ, вихід якого підключений до входу другого АЦП, вихідна цифрова шина якого з'єднана з першою вхідною цифровою шиною другого ФБ, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини тре-

того лічильника імпульсів, вихідна цифрова шина другого ФБ підключена до другої вхідної цифрової шини першого ФБ

За рахунок введення в пристрій третього генератора імпульсів, тригера, третього логічного елемента "І", ПВЗ, другого ФБ з'являється можливість підвищити частоту вимірювань параметрів режиму роботи об'єкта та усунути надлишкові операції перетворення сигналу з аналогової форми у цифрову та навпаки, що дозволяє підвищити точність роботи пристрою

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

На схемі 1 - СК, 2 - БУ, 3, 6, 33 - відповідно третій, перший і другий генератори імпульсів, 4 - віднімаючий лічильник імпульсів, 5 - дешифратор, 7, 18, 37 - перший, другий і третій лічильники імпульсів, 8 - СН, 9, 28 - перший і другий АЦП, 10 - БП, 11 - ПФ, 12 - АБ, 13, 29 - перший і другий ФБ, 14 - реєстр, 15 - комутатор, 16, 23, 35 - відповідно перший, третій і другий логічні елементи "І", 17 - БЗР, 19 - цифровий компаратор, 20 - індикатор, 21, 32 - перший і другий компаратори, 22 - тригер, 24 - перетворювач змінного струму в постійну напругу, 25 - помножувач сигналів, 26 - масштабуючий підсилювач, 27 - ПВЗ, 30 - перетворювач змінної напруги в постійну напругу, 31 - СС, 34, 36 - перший і другий логічні елементи "НІ", причому вихід СК 1 з'єднаний з першим входом першого логічного елемента "І" 16, другий вхід якого підключений до виходу комутатора 15, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів 7, лічильний вхід якого підключений до виходу першого генератора імпульсів 6, вихід першого логічного елемента "І" 16 з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів 18, установочний вхід якого підключений до виходу БУ2, вихідна цифрова шина БЗР 17 з'єднана з першою вихідною цифровою шиною цифрового компаратора 19, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого лічильника імпульсів 18, вихід цифрового компаратора 19 з'єднаний з індикатором 20 і колами сигналізації об'єкта контролю, вихід третього генератора імпульсів 3 підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів 4, установочний вхід якого з'єднаний з виходом БУ2, вихідна цифрова шина віднімаючого лічильника імпульсів 4 підключена до вхідної цифрової шини дешифратора 5, перший вихід якого з'єднаний з першим входом третього елемента "І" 23 та установочним входом тригера 22, який з'єднаний з виходом СН 8 через перший компаратор 21, вихід тригера 22 підключений до другого входу третього логічного елемента "І" 23, вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого АЦП 9 і першим керуючим входом БП 10, другий керуючий вхід якого разом з керуючим входом ПФ 11 підключені до другого виходу дешифратора 5, третій вихід якого з'єднаний з першим керуючим входом АБ 12 і керуючим входом ПВЗ 27, а четвертий вихід підключений до керуючого входу реєстра 14, вихідна цифрова шина якого з'єднана з другою вхідною цифровою шиною комутатора 15, вихід СН 8 під-

ключений до входу першого АЦП 9, вихідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною БП 10, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини ПФ 11, 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 12, вихідна цифрова шина якого підключена до першої вхідної цифрової шини першого ФБ 13, вхідна цифрова шина першого реєстра 14 з'єднана з вихідною цифровою шиною першого ФБ 13, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого ФБ 29, вихід СН 8 через перетворювач змінної напруги в постійну напругу 30 з'єднаний з першим входом помножувача сигналів 25, другий вхід якого підключений до виходу СС 31 через перетворювач змінного струму в постійну напругу 24, вихід першого помножувача сигналів 25 через масштабуючий підсилювач 26 з'єднаний з входом ПВЗ 27, вихід якого підключений до входу другого АЦП 28, вихідна цифрова шина якого з'єднана з першою вхідною цифровою шиною другого ФБ 29, вихід другого генератора імпульсів 33 з'єднаний з першим входом другого логічного елемента "І" 35, до другого входу якого через перший логічний елемент "Ш" 34 підключений вихід першого компаратора 21, вихід СС31 через другий компаратор 32 з'єднаний з третім входом другого логічного елемента "І" 35, а також через другий логічний елемент "НІ" 36 підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів 37, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логічного елемента "І" 35, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого ФБ 29

Запропонований пристрій працює так. При подачі на схему напруги живлення БУ 2 виробляє короткий імпульс, який обнуляє віднімаючий лічильник імпульсів 4 та другий лічильник імпульсів 18. Для контролю робочого ресурсу силових статичних конденсаторів сенсори пристрою розподілені по об'єкту контролю таким чином: сенсор напруги 8 встановлений у колі ввімкнення конденсаторів, сенсор струму 31 ввімкнений у 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 витрати робочого ресурсу конденсатора, який має часову розмірність,

$$\tau_{\theta} = \tau_0 \cdot e^{-0,087 \Delta\theta}, \quad (1)$$

де τ_{θ} - 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

$$\Delta\theta = \theta - \theta_n, \quad (2)$$

де θ_n - 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 враховуються. 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 j можна визначити строк служби τ , 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 витратою 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 $H_{\Delta t \theta}$ і порівнюючи зі значенням робочого ресурсу $H_t^{\text{ном}} - H_{\Delta t}$ на початку роботи пристрою можна визначити момент зняття з експлуатації конденсатора і запобігти аварійній ситуації. Витрачений робочий ресурс конденсатора визначається за таким виразом

$$H_{\Delta t \theta} = \sum_{j=1}^N \frac{H_t^{\text{ном}}}{\tau_0 \cdot e^{-0,087 \left(\frac{k_c \cdot k_n \cdot U \cdot I}{\alpha_T \cdot S_{охл}} \right) [\cos \varphi - \operatorname{tg} \psi] \eta}} \cdot t_j \quad (14)$$

При контролі робочого ресурсу силових статичних конденсаторів робота пристрою розподіляється по тактах з виходів дешифратора 5, які формуються у відповідності з цифровим кодом, що з'являється на виході віднімаючого лічильника імпульсів 4, на лічильний вхід якого надходять імпульси з генератора імпульсів 3

При появі на першому виході дешифратора 5 сигналу логічної одиниці, який передається на перший вхід третього логічного елемента "І" 23, починає функціонувати тригер 22 тому, що його установочний вхід є інверсним. Сигнал логічної одиниці з першого виходу дешифратора 5 триває 0,03 с. За цей час на прямий динамічний вхід тригера 22 з виходу першого компаратора 21 відповідно до додатних напівхвиль сигналу з СН 8 надходять два імпульси типу меандр. З виходу тригера 22 через третій логічний елемент "І" 23 на керуючі входи першого АЦП 9 та БП 10 подається сигнал, який є синхронізованим до сигналу з СН 8. При

цьому цифрові коди, які відповідають миттєвим значенням напруги впродовж одного періоду зміни напруги з виходу СН 8 через перший АЦП 9 записуються в БП 10. При появі сигналу логічного нуля на виході третього логічного елемента "І" 23 процес запису кодів в БП 10 припиняється. При цьому на другому виході дешифратора 5 з'являється сигнал логічної одиниці, по якому всі коди, що записані в БП 10, передаються в ПФ 11. Одночасно цим же сигналом запускається ПФ 11, який обчислює склад спектру гармонік напруги v і діюче значення U_v кожної з них. При появі сигналу на третьому виході дешифратора 5 активізується робота АБ 12. При цьому з ПФ 11 в АБ 12 по керуючим сигналам, що поступають з ПФ 11 на другий керуючий вхід АБ 12, передаються цифрові коди, які відповідають номерам гармонік напруги v та їх діючим значенням U_v . В АБ 12 проводиться обчислення сигналу у відповідності з виразом (5). Вихідний сигнал з АБ 12 у вигляді цифрового коду, пропорційного η , надходить у перший ФБ 13.

Одночасно з виходу СН 8 змінна напруга подається на перетворювач 30 змінної напруги в постійну напругу з виходу якого сигнал надходить на перший вхід помножувача сигналів 25, на другий вхід якого через перетворювач 24 поступає сигнал постійної напруги, який пропорційний змінному струму, що протікає в цей час в об'єкті контролю і контролюється СС 31. З виходу помножувача сигналів 25 сигнал через масштабуючий підсилювач 26, в якому добуток сигналів $U \cdot I$ нормується відповідно до рівня вхідної напруги другого АЦП 34 і одночасно з появою сигналу логічної одиниці на третьому виході дешифратора 5 запам'ятовується у ПБЗ 27. Рівень сигналу на виході ПБЗ 27 перетворюється другим АЦП 34 у цифровий код, що передається на першу вхідну цифрову шину другого ФБ 29.

В цей же час проводиться вимірювання кута зсуву фаз сигналів струму і напруги. Оскільки сигнал струму з виходу СС 31 випереджає сигнал на виході СН 8, то імпульси на виході другого компаратора 32 з'являються раніше, ніж на виході першого компаратора 21. При появі прямокутного імпульсу на виході компаратора 32 відкривається другий елемент "І" 35, який закривається при появі імпульсу з виходу першого компаратора 21, що проходить через перший логічний елемент "НІ" 34. За час, коли другий логічний елемент "І" 35 знаходиться у відкритому стані, з виходу другого генератора 33 надходять імпульси на лічильний вхід третього лічильника імпульсів 37. Цифровий код, що відповідає у момент вимірювання величини кута зсуву фаз φ між напругою та струмом в колі об'єкту з виходу третього лічильника імпульсів 37 передається на другу вхідну цифрову шину другого ФБ 29. В момент, коли на виході другого компаратора 32 з'являється сигнал логічного нуля, лічильник імпульсів 37 обнулюється.

У другому ФБ 29 виконується множення добутку сигналів $U \cdot I$ на коефіцієнт $\frac{k_H \cdot k_C}{\alpha_T \cdot S_{\text{охл}}}$ та визна-

чення косинусу кута зсуву фаз φ між напругою та струмом, а також враховується поправка $\text{tg}\psi \cdot \text{tg}$ визначення тангенсу кута втрат, тобто на виході другого ФБ 29 формується цифровий код, що відповідає значенню $\frac{k_H \cdot k_C}{\alpha_T \cdot S_{\text{охл}}} U \cdot I \cdot (\cos\varphi - \text{tg}\psi)$, який

передається на другу вхідну цифрову шину першого ФБ 13. На виході останнього формується цифровий код, який відповідає спрацюванню силового статичного конденсатора при поточному режимі роботи J згідно з виразом

$$\frac{H_C^{\text{НОМ}}}{\tau_0 \cdot e^{-0,087 \left(\frac{k_C \cdot k_H}{\alpha_T \cdot S_{\text{охл}}} U \cdot I [\cos\varphi - \text{tg}\psi] \eta \right)}}$$

Цей цифровий

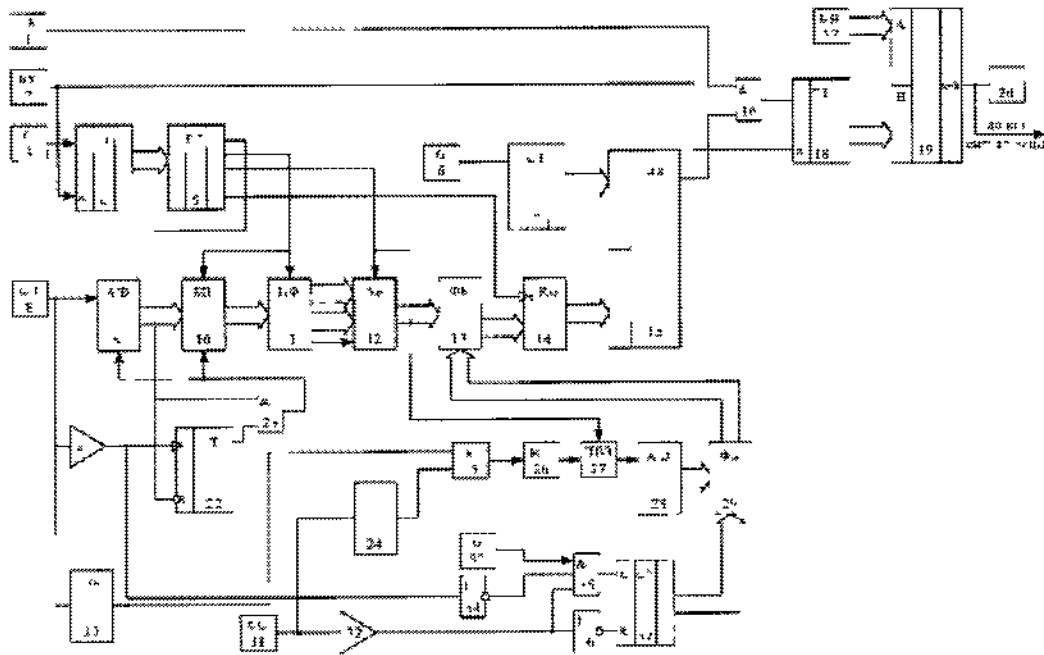
код передається в реєстр 14 при появі сигналу з четвертого виходу дешифратора 5 на керуючому вході, який є прямим динамічним, реєстра 14.

Генератор імпульсів 6 і перший лічильник імпульсів 7 являють собою сукупність генераторів імпульсів з різними частотами вихідних сигналів. Комутатор 15 у відповідності з цифровим кодом, що надходить з першого реєстра 14, передає вихідний сигнал з одного з виходів лічильника імпульсів 7 на лічильний вхід другого лічильника імпульсів 18, при умові що на першому вході першого логічного елемента "І" 16 присутній сигнал логічної одиниці з СК 1, який існує при умові, що об'єкт контролю підключений до мережі живлення. В другому лічильнику імпульсів 18 накопичується цифровий код, який відповідає спрацюванню силового статичного конденсатора згідно з виразом (14).

Якщо спектр гармонік в мережі або сигнал з виходу другого ФБ 29 змінюється, то на виході першого ФБ 13 з'являється новий код, який забезпечує підключення іншого виходу лічильника імпульсів 7 до входу ресурсного лічильника 18. При цьому швидкість подачі імпульсів в ресурсний лічильник імпульсів 18 або збільшується або зменшується відповідно з вище згаданими параметрами.

В БЗР 17 записаний код, який відповідає початковому робочому ресурсу $(H_C^{\text{НОМ}} - H_{\Delta T})$ конденсатора. У випадку, коли на виході лічильника 18 з'являється код, що дорівнює коду на виході БЗР 17, на виході цифрового компаратора 19 з'являється сигнал логічної одиниці, який вмикає індикатор 20, що свідчить про витрачання робочого ресурсу конденсаторів, і подає сигнал в кола сигналізації оперативному персоналу.

Для коректної роботи пристрою частоти чередування імпульсів другого генератора імпульсів 33 повинна бути набагато більша, ніж частота сигналу електричної мережі 50 Гц.



Фіг.