



УКРАЇНА

(19) UA (11) 58115 (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) 2002107905

(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, 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, 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 індикатором і колами сигналізації об'єкта вимірювання, 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 вхід-

ної 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 вихідними цифровими шинами і другим керуючим входом арифметичного блока, вихідна цифрова шина якого підключена до першої вхідної цифрової шини 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 елемент "НІ" підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логіч-

(19) UA (11) 58115 (13) A

ного елемента "I", а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра, який відрізняється тим, що в нього введени сенсор температури навколишнього середовища, блок віднімання, третій аналого-цифровий перетворювач, цифровий суматор, другий функціональний блок, причому вихід сенсора температури навколишнього середовища через блок віднімання з'єднаний з входом третього аналого-цифрового перетворювача, керуючий вхід якого підключений до третього виходу дешифратора, друга вхідна

цифрова шина комутатора з'єднана з вихідною цифровою шиною другого функціонального блока, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого регістра, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною цифрового суматора, перша вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого функціонального блока, а друга вхідна цифрова шина з'єднана з вихідною цифровою шиною третього аналого-цифрового перетворювача

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 "I", 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 "I" з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів, установочний вхід якого підключений до виходу блока установки нуля, вихідна цифрова шина блоку 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 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 блоку, 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 блоку, вихідна цифрова шина якого підключена до першої вхідної цифрової шини функціонального блоку, вхідна цифрова шина першого регістра

з'єднана з вихідною цифровою шиною функціонального блоку, 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 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 виходу 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, тому що він не враховує вплив температури навколишнього середовища на тепловий режим роботи силових статичних конденсаторів

В основу винаходу поставлено задачу створення пристрою для контролю робочого ресурсу силових статичних конденсаторів, в якому за рахунок введення блоків та зв'язків між ними досягається можливість підвищити точність визначення залишкового робочого ресурсу силових статичних конденсаторів з врахуванням температури навколишнього середовища

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 блоку (АБ), функціонального блоку (ФБ) (в подальшому - першого функціонального блоку), першого і другого регістрів, 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 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, 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 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 індикатором 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 вихідними цифровими шинами і другим керуючим входом АБ, вихідна цифрова шина якого підключена до першої вхідної цифрової шини 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 виходу 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 виходу 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", а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра, введено сенсор температури навколишнього середовища (СТ), блок віднімання (БВ), третій АЦП, цифровий сума-

тор, другий ФБ, причому вихід СТ через БВ з'єднаний з входом третього АЦП, керуючий вхід якого підключений до третього виходу дешифратора, друга вхідна цифрова шина комутатора з'єднана з вихідною цифровою шиною другого ФБ, вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого регістра, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною цифрового суматора, перша вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого ФБ, а друга вхідна цифрова шина з'єднана з вихідною цифровою шиною третього АЦП

За рахунок введення в пристрій СТ, БВ, третього АЦП, цифрового суматора, другого ФБ та відповідних зв'язків з'являється можливість врахувати вплив температури навколишнього середовища на температуру нагріву ізоляції 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 - СТ, 3 - БВ, 4 - третій АЦП, 5 - БУ, 6 - перший компаратор, 7 - віднімаючий лічильник імпульсів, 8 - дешифратор, 9 - перший генератор імпульсів, 10 - перший лічильник імпульсів, 11 - СН, 12 - перший АЦП, 13 - БП, 14 - ПФ, 15 - АБ, 16 - перший ФБ, 17 - цифровий суматор, 18 - перший регістр, 19 - другий ФБ, 20 - комутатор, 21 - перший логічний елемент "І", 22 - БЗР, 23 - другий лічильник імпульсів, 24 - цифровий компаратор, 25 - індикатор, 26 - перетворювач змінної напруги в постійну, 27 - перетворювач змінного струму в постійну напругу, 28 - перший помножувач сигналів, 29 - МП, 30 - другий генератор імпульсів, 31 - перший логічний елемент "НІ", 32 - другий логічний елемент "І", 33 - СС, 34 - другий компаратор, 35 - другий логічний елемент "НІ", 36 - третій лічильник імпульсів, 37 - другий регістр, 38 - ЦАП, 39 - БОК, 40 - другий помножувач сигналів, 41 - другий АЦП, причому вихід СК 1 з'єднаний з першим входом першого логічного елемента "І" 21, другий вхід якого підключений до виходу комутатора 20, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів 10, вхід якого підключений до виходу першого генератора імпульсів 9, вихід першого логічного елемента "І" 21 з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів 23, установочний вхід якого підключений до виходу БУ 5, вихід СТ 2 через БВ 3 з'єднаний з входом третього АЦП 4, вихідна цифрова шина БЗР 22 з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового компаратора 24, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого лічильника імпульсів 23, вихід цифрового компаратора 24 з'єднаний зі входом індикатора 25 і колами сигналізації об'єкта контролю, вихід СН 11 через перший компаратор 6 підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів 7, установочний вхід якого з'єднаний з виходом БУ 5, вихідна цифрова шина віднімаючого лічильника імпульсів 7 підключена до вхідної цифрової шини дешифратора 8, перший вихід якого з'єднаний з

керуючим входом першого АЦП 12 і першим керуючим входом БП 13, другий керуючий вхід якого разом з керуючим входом ПФ 14 підключені до другого виходу дешифратора 8, третій вихід якого з'єднаний з першим керуючим входом АБ 15 та керуючим входом третього АЦП 4, а четвертий вихід підключений до керуючого входу першого регістра 18, вихідна цифрова шина якого з'єднана через другий ФБ 19 з другою вхідною цифровою шиною комутатора 20, вихід СН 11 підключений до виходу першого АЦП 12, вихідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною БП 13, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини ПФ 14, 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 15, вихідна цифрова шина якого підключена до першої вхідної цифрової шини першого ФБ 16, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини другого АЦП 41, вхідна цифрова шина першого регістра 18 з'єднана з вихідною шиною цифрового суматора 17, перша вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого ФБ 16, а друга вхідна цифрова шина з'єднана з вихідною цифровою шиною третього АЦП 4, вихід СН 11 через перетворювач змінної напруги в постійну напругу 26 з'єднаний з першим входом першого помножувача сигналів 28, другий вхід якого підключений до виходу СС 33 через перетворювач змінного струму в постійну напругу 27, вихід першого помножувача сигналів 28 через МП 29 з'єднаний з першим входом другого помножувача сигналів 40, вихід якого підключений до входу другого АЦП 41, а другий вхід з'єднаний з виходом БОК 39, вхід якого підключений до виходу ЦАП 38, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра 37, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора 8, вихід другого генератора імпульсів 30 з'єднаний з першим входом другого логічного елемента "І" 32, до другого входу якого через перший логічний елемент "НІ" 31 підключений вихід першого компаратора 6, вихід СС 33 через другий компаратор 34 з'єднаний з третім входом другого логічного елемента "І" 32, а також через другий логічний елемент "НІ" 35 підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів 36, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логічного елемента "І" 32, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра 37

Запропонований пристрій працює так. При подачі на схему напруги живлення БУ 5 виробляє короткий імпульс, який обнуляє віднімаючий лічильник імпульсів 7 і другий лічильник імпульсів 23. Для контролю робочого ресурсу силових статичних конденсаторів сенсори пристрою розподілені по об'єкту контролю таким чином: сенсор комутації 1 встановлений на вимикачі, через який підключена до електричної мережі секція конденсаторів, сенсор температури навколишнього середовища 2 встановлений на відстані не менш 0,5м від поверхні об'єкта в місці, захищеному від прямого попадання сонячних променів, сенсор напруги 11 встановлений в колі ввімкнення конденсаторів,

сенсор струму ЗЗ ввімкнений в колі секції конденсаторів

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

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

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

$$\Delta\theta = \theta + \theta_{\text{нвк}} - \theta_{\text{н}}, \quad (2)$$

де $\theta_{\text{н}}$ - температура нагріву ізоляції при номінальному режиму роботи конденсатора, $\theta_{\text{нвк}}$ - температура навколишнього середовища, θ - фактична температура нагріву ізоляції, яка визначається за таким виразом

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

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

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

де f - частота напруги в мережі, U - напруга живлення конденсатора, $\text{tg}\delta$ - 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для кожного моменту часу 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 $H_{\tau}^{\text{зал}}$ силового косинусного конденсатора визначимо за виразом

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

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

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

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 $H_{\Delta\tau\theta}$ 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

$$H_{\Delta\tau\theta} = \sum_{j=1}^N \frac{H_{\tau}^{\text{ном}}}{\tau_0 \cdot e^{-0,087 \left(\frac{k_c k_n U_j I_j (\cos \varphi_j - \text{tg}\psi) \eta_j + \theta_{\text{нвк}} - \theta_{\text{н}} \right)}} \cdot t_j \quad (14)$$

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

$$H_{\Delta t_0} = \sum_{j=1}^N e^{0,087 \left(\frac{k_C \cdot k_H}{\alpha_T \cdot S_{\text{охл}}} U_j I_j [\cos \varphi_j - \text{tg} \psi] \eta_j + \theta_{\text{НБК}} - \theta_H \right)} \cdot t_j \quad (15)$$

При контролі робочого ресурсу силових статичних конденсаторів робота пристрою розподіляється по тактах з виходів дешифратора 8, які є синхронізованими з напругою в мережі, що подається через СН 11 на вхід компаратора 6, на виході якого з'являються імпульси, що надходять на лічильний вхід віднімаючого лічильника 7, цифровий код з виходу якого поступає на дешифратор 8.

З виходу СТ 2 сигнал, що відповідає значенню температури навколишнього середовища $\theta_{\text{НБК}}$ передається у БВ 3, в якому формується сигнал, який відповідає виразу $\theta_{\text{НБК}} - \theta_H$. Цей сигнал передається до третього АЦП 4, де він перетворюється на цифровий код, що подається далі на другу цифрову вхідну шину цифрового суматора 17.

При появі на першому виході дешифратора 8 логічної одиниці цифрові коди, які відповідають миттєвим значенням напруги впродовж одного періоду зміни напруги з виходу СН 11 через АЦП 12 записуються в БП 13. При появі сигналу логічного нуля на першому виході дешифратора 8 процес запису кодів в БП 13 припиняється. При цьому на другому виході дешифратора 8 з'являється сигнал логічної одиниці, по якому всі коди, що записані в БП 13, передаються в ПФ 14. Одночасно цим же сигналом запускається ПФ 14, який обчислює склад спектру гармонік напруги v і діюче значення U_v кожної з них. При появі сигналу на третьому виході дешифратора 8 активізується робота АБ 15. При цьому з ПФ 14 в АБ 15 по керуючим сигналам, що поступають з ПФ 14 на другий керуючий вхід АБ 15, передаються цифрові коди, які відповідають номерам гармонік напруги v та їх діючим значенням U_v . В АБ 15 проводиться обчислення сигналу у відповідності з виразом (5). Вихідний сигнал з АБ 15 у вигляді цифрового коду, пропорційного η , надходить у перший ФБ 16.

Одночасно з виходу СН 11 змінна напруга подається на перетворювач 26 змінної напруги в постійну напругу з виходу якого сигнал надходить на перший вхід помножувача сигналів 28, на другий вхід якого через перетворювач 27 поступає сигнал постійної напруги, який пропорційний змінному струму, що протікає в цей час в об'єкті контролю і контролюється СС 33. З виходу помножувача сигналів 28 сигнал через МП 29, в якому добуток сигналів $U \cdot I$ множиться на коефіцієнт

$$\frac{k_H \cdot k_C}{\alpha_T \cdot S_{\text{охл}}}, \text{ подається на перший вхід помножувача сигналів 40}$$

В цей же час проводиться вимірювання кута зсуву фаз сигналів струму і напруги. Оскільки сигнал струму з виходу СС 33 випереджає сигнал на

виході СН 11, то імпульси на виході компаратора 34 з'являються раніше, ніж на виході компаратора 6. При появі прямокутного імпульсу на виході компаратора 34 відкривається другий елемент "І" 32, який закривається при появі імпульсу з виходу компаратора 6, що проходить через перший елемент "НІ" 31. За час, коли другий елемент "І" 32 знаходиться у відкритому стані, з виходу другого генератора 30 надходять імпульси на лічильний вхід третього лічильника імпульсів 36. В момент появи сигналу на керуючому вході, який є прямим динамічним, другого реєстра 37 цифровий код з третього лічильника імпульсів 36 передається в другий реєстр 37. Таким чином в другому реєстрі 37 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 34 з'являється сигнал логічного нуля, лічильник імпульсів 36 обнуляється.

З виходу другого реєстра 37 цифровий код через ЦАП 38 передається в БОК 39, де проводиться обчислення косинусу кута φ та враховується кутлова похибка $\text{tg} \psi$. Сигнал, пропорційний $(\cos \varphi - \text{tg} \psi)$, з виходу БОК 39 надходить на другий вхід помножувача сигналів 40, де він множиться на сигнал з виходу МП 29, і через другий АЦП 41 у вигляді цифрового коду, що відповідає значенню $\frac{k_H \cdot k_C}{\alpha_T \cdot S_{\text{охл}}} U \cdot I \cdot (\cos \varphi - \text{tg} \psi)$, подається на

другу вхідну цифрову шину ФБ 16. На виході останнього формується цифровий код, що відповідає температурі перегріву θ_j силового статичного конденсатора при поточному режимі роботи j згідно з виразом

$$\theta_j = \frac{k_H \cdot k_C}{\alpha_T \cdot S_{\text{охл}}} U_j \cdot I_j (\cos \varphi_j - \text{tg} \psi) \cdot \eta_j, \text{ і який пере-}$$

дається на першу вхідну цифрову шину цифрового суматора 17. У цифровому суматорі 17 визначається цифровий код, що відповідає виразу (2), який при появі сигналу з четвертого виходу дешифратора 8 записується у перший реєстр 18, тому що його керуючий вхід є прямим динамічним. З вихідної цифрової шини першого реєстра 18 цифровий код передається на цифрову вхідну шину другого ФБ 19, в якому обчислюється цифровий код, що відповідає виразу

$$e^{0,087 \left(\frac{k_C \cdot k_H}{\alpha_T \cdot S_{\text{охл}}} U_j I_j [\cos \varphi_j - \text{tg} \psi] \eta_j + \theta_{\text{НБК}} - \theta_H \right)} \cdot \Delta t, \Delta t - \text{зна-}$$

чення, що відповідає проміжку часу між появами сигналу логічної одиниці на керуючому вході першого реєстра 18.

Генератор імпульсів 9 і перший лічильник імпульсів 10 являють собою сукупність генераторів імпульсів з різними частотами вихідних сигналів. Комутатор 20 у відповідності з цифровим кодом, що надходить з другого ФБ 19, передає вихідний сигнал з одного з виходів лічильника імпульсів 10 на лічильний вхід другого лічильника імпульсів 23, при умові що на першому вході першого логічного елемента "І" 21 присутній сигнал логічної одиниці з СК 1, який існує при умові, що об'єкт контролю підключений до електричної мережі. В другому лічильнику імпульсів 23 накопичується цифровий

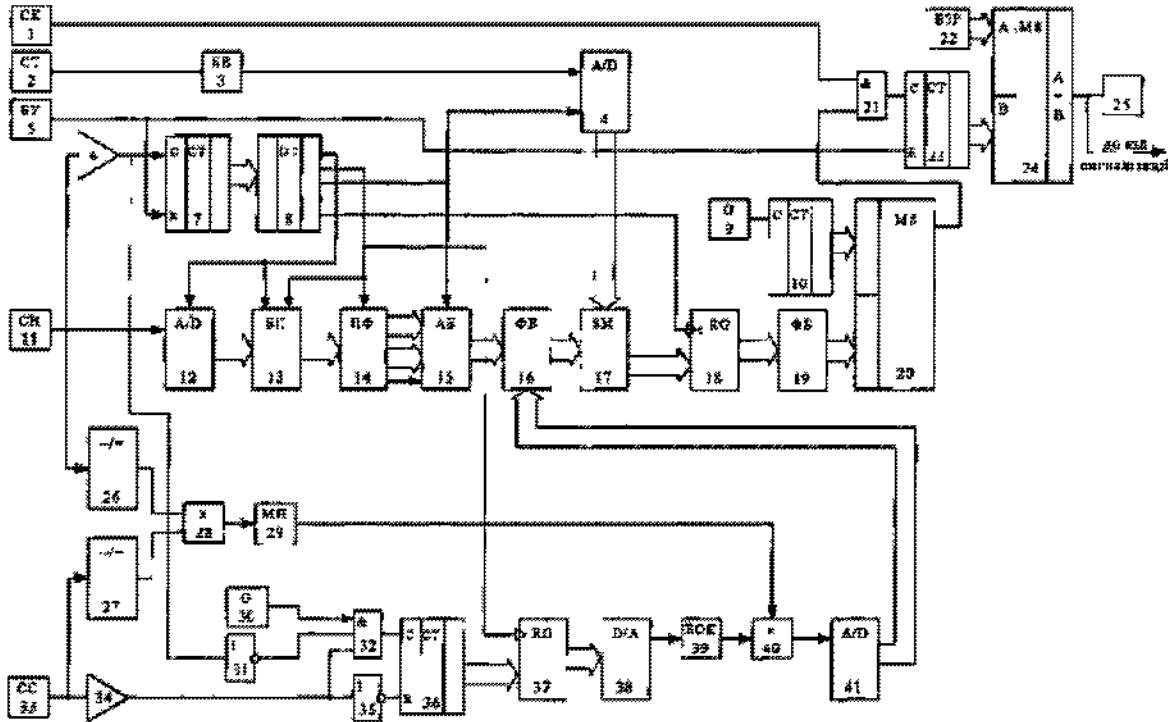
код, який відповідає спрацюванню силового статичного конденсатора згідно з виразом (15)

Якщо спектр гармонік в електричній мережі або сигнал з виходу другого АЦП 41 змінюється, то на виході першого ФБ 16 з'являється новий код, який забезпечує підключення іншого виходу лічильника імпульсів 10 до входу ресурсного лічильника 23. При цьому швидкість подачі імпульсів в ресурсний лічильник імпульсів 23 або збільшується або зменшується відповідно з вище згаданими параметрами

В БЗР 22 записаний код, який відповідає по-

чатковому робочому ресурсу ($H_{\tau}^{\text{ном}} - H_{\Delta\tau}$) конденсатора. У випадку, коли на виході лічильника 23 з'являється код, що дорівнює коду на виході БЗР 22, на виході цифрового компаратора 24 з'являється сигнал логічної одиниці, який вмикає індикатор 25, що свідчить про спрацювання ресурсу конденсаторів, і подає сигнал в кола сигналізації оперативному персоналу.

Для коректної роботи пристрою частота чергування імпульсів генератора 30 повинна бути набагато більша, ніж частота сигналу електричної мережі 50Гц



Фіг.