

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Мінченко Андрій Анатолійович

УДК 621.314.224

**УДОСКОНАЛЮВАННЯ ДІАГНОСТИКИ
ВИСОКОВОЛЬТНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ КОНДЕНСАТОРНОГО
ТИПУ НА ОСНОВІ ВРАХУВАННЯ ПРОСТОРОВО
РОЗПОДІЛЕНИХ ЄМНІСНИХ СТРУМІВ**

Спеціальність 05.09.13 – техніка сильних
електричних та магнітних полів

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі передачі електричної енергії Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” МОН України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Бондаренко Володимир Омелянович,
Національний технічний університет “ХПІ”,
завідувач кафедри передачі електричної енергії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Рудаков Валерій Васильович,
Національний технічний університет “ХПІ”,
завідувач кафедри інженерної електрофізики;

доктор технічних наук, професор
Лежнюк Петро Дем'янович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри електричних станцій і систем.

Провідна установа: Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут” (кафедра техніки та електрофізики високих напруг) МОН України, м. Київ.

Захист відбудеться 06.04. 2006 р. о 12-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.08 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий 01.03. 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 64.050.08, к.т.н., доц.

Марков В.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Безперервна діагностика стану ізоляції конденсаторного типу (ІКТ) високовольтних вводів (ВВ) і опорних трансформаторів струму (ТС) (об'єктів контролю) під робочою напругою надає можливість виявити дефекти в ізоляції на ранніх стадіях їх виникнення (дефекти, що розвиваються) та запобігти раптовим відмовам електроенергетичних систем (ЕЕС) в наслідок пошкодження вказаного вище маслонаповненого енергетичного обладнання високої напруги, які супроводжуються економічним збитком.

Існуючі методи безперервного контролю і пристрої для їх реалізації не в змозі забезпечити необхідну міру достовірності контролю для надійного виявлення дефектів, що розвиваються, в ІКТ. Сучасній тенденції відповідає реалізація технічних рішень, направлених на підвищення достовірності контролю ізоляції, на основі промислових ЕОМ, оскільки при цьому можливий якнайповніший облік тих чинників, які впливають на зміну діагностичних ознак. Звідси – необхідність розробки відповідних методів безперервного контролю ІКТ під робочою напругою розподільної установки (РУ).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі передачі електричної енергії НТУ “ХПІ” в рамках науково-дослідної роботи по держбюджетній темі “Розробка системи безперервного контролю внутрішньої електричної ізоляції обладнання об'єктів електричних систем” (№ ДР 0100U001673) та по госпдоговірній темі “Совершенствование устройства для непрерывного контроля внутренней электрической изоляции конденсаторного типа путем повышения чувствительности за счет учета тока влияния” (Північна ЕЕС НЕК “Укренерго”, м. Харків), в яких здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою даного дослідження є розробка методу безперервного контролю електричних параметрів внутрішньої ізоляції конденсаторного типу в маслонаповненому енергетичному обладнанні високої напруги, який забезпечує підвищення достовірності контролю за рахунок врахування впливу електричного поля, створеного робочою напругою електроустановки, і пристрою для реалізації методу на основі використання сучасної елементної бази.

Поставлена в роботі мета вимагає вирішення наступних задач:

- на підставі аналізу ємнісних зв'язків в системі “вимірювальна обкладинка ізоляції трансформатору струму – елементи розподільної установки” розробити математичну модель відповідної електростатичної системи;
- на підставі аналізу ємнісних зв'язків в системі “вимірювальні обкладинки ізоляції вводів 330 кВ – обмотки трифазного силового автотрансформатору” розробити математичну модель відповідної електростатичної системи;
- розробити алгоритм розрахунку струму впливу в колі заземлення вимірювальної обкладинки ІКТ, що є базовим алгоритмом для реалізації імітаційної моделі впливаючих електроустановок;

- розробити метод безперервного контролю електричних параметрів ІКТ, в якому при кожному контролі використовується імітаційна модель впливаючих електроустановок;

- розробити апаратну і програмну частини пристрою безперервного контролю електричних параметрів ІКТ.

Об'єктом дослідження є електричне поле, створене робочою напругою електроустановки, що впливає на вимірювання електричних параметрів внутрішньої ізоляції конденсаторного типу, які є діагностичними ознаками при безперервному контролі під робочою напругою.

Предметом дослідження є струм впливу, що протікає через вимірювальний елемент схеми контролю електричних параметрів внутрішньої ізоляції конденсаторного типу по ємнісних зв'язках об'єкту контролю з елементами розподільної установки, і врахування цього струму при безперервному контролі під робочою напругою.

Методи дослідження. Рішення поставлених в дисертаційній роботі задач досягнуте на базі фундаментальних положень теорії електромагнітного поля та методів:

- середнього потенціалу (наведеного потенціалу), дзеркальних зображень, послідовного виключення Гауса і комплексних величин – при побудові алгоритму розрахунку струму впливу, який реалізовано в програмі “ІССomp”, і розрахунках за цією програмою;

- теорії імовірності і математичної статистики – при обробці результатів експериментальних досліджень і оцінці метрологічних характеристик пристрою контролю;

- чисельного гармонійного аналізу – при обробці результатів експериментальних досліджень і в програмній частині пристрою контролю.

Всі основні розрахунки виконані за оригінальною програмою “ІССomp” (розробка автора дисертаційної роботи) на ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше одержано рішення задачі розрахунку струму впливу в колі вимірювального елемента схеми контролю ізоляції конденсаторного типу за вихідними даними про конструкцію обладнання, його розташування щодо інших елементів розподільної установки і робочу напругу, що базується на математичному моделюванні електростатичних систем, утворених сукупністю провідників в напівпросторі та необмеженому горизонтальному шарові;

- вперше розроблено метод пооб'єктного безперервного контролю електричних параметрів ізоляції конденсаторного типу під робочою напругою з відтворенням при кожному контролі на імітаційній моделі дії впливаючих електроустановок;

- вдосконалено метод безперервного контролю електричних параметрів ізоляції конденсаторного типу під робочою напругою, що базується на вимірюванні струму небалансу попередньо симетрованої суми трифазної системи стру-

мів через ізоляцію трьох об'єктів однієї напруги. Від існуючого він відрізняється відтворенням для вказаних об'єктів при кожному контролі на імітаційних моделях дії впливаючих електроустановок.

Практичне значення одержаних результатів. Проведені дослідження необхідності врахування струму впливу для підвищення достовірності контролю ІКТ показали, що пооб'єктний контроль під робочою напругою ізоляції вимірювальних ТС 330 кВ може проводитися без урахування цього струму; для ТС 750 кВ і ВВ 330 кВ трифазного силового автотрансформатору (АТ) достовірність такого контролю ізоляції залежить від врахування зміни струму впливу.

Дослідний зразок розробленого пристрою безперервного контролю електричних параметрів ІКТ в маслонаповненому високовольтному обладнанні, як елемент АСК ТП підстанції (ПС), впроваджено на ПС “Артема – 330 кВ” Північної ЕЕС НЕК “Укренерго” для діагностики ВВ 330 і 110 кВ силового АТ.

Розроблений пристрій підготовлений до розширеного впровадження в ЕЕС НЕК “Укренерго” і не потребує при цьому значних витрат. Використання пристрою для діагностики ізоляції ВВ 110 кВ блокового трансформатору 1Т Харківської ТЕЦ-5 може служити прикладом такого впровадження.

Одержане в дисертаційній роботі рішення задачі розрахунку струму впливу в колі заземлення вимірювального елемента схеми контролю ІКТ у вигляді алгоритму розрахунку використано в навчальному процесі на кафедрі передачі електричної енергії НТУ “ХП”.

Достовірність наукових положень дисертаційної роботи обумовлена коректним використанням теоретичних основ електротехніки, теорії імовірності і чисельних методів, обґрунтованістю прийнятих допущень і задовільним збігом результатів розрахунків з експериментальними даними і даними, що отримані іншими авторами.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові положення і результати, приведені в дисертаційній роботі, одержані здобувачем особисто, серед них:

- постановка задачі визначення струмів впливу з метою підвищення достовірності контролю ІКТ ТС і ВВ;
- принцип побудови алгоритму і власне алгоритм розрахунку струму впливу в колі заземлення вимірювальної обкладинки ІКТ об'єкту контролю;
- математичні моделі електростатичних систем, що відображають елементи РУ для алгоритмізації розрахунку струму впливу через об'єкт контролю;
- ідея при контролі ізоляції розраховувати струм впливу і віднімати його миттєві значення від результатів вимірювання миттєвих значень струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладинки, погоджуючи їх в часі;
- метод пооб'єктного контролю ІКТ, вдосконалений метод контролю трьох об'єктів однієї напруги, по яких відтворюється дія впливаючих електроустановок, і реалізація методу як елемента АСК ТП ПС.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на VII міжнародній науково-технічній конференції “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” (Харків, 1999 р.); на 15-й Російській науково-технічній конференції “Не разрушающий контроль и диагностика” (Москва, 1999 р.); на VIII міжнародній науково-технічній конференції “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” (Харків, 2000 р.); на II-й міжнародній науково-технічній конференції “Керування режимами роботи об'єктів електричних систем – 2002” (Донецьк, 2002 р.); на Третій Промисловій конференції з міжнародною участю і виставкою “Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях” (п. Славське, Карпати, 2003 р.); на розширеному засіданні кафедри передачі електричної енергії НТУ “ХП” (Харків, 2004 р.).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено в 14 наукових роботах, з яких 9 у фахових наукових виданнях України, відзначених ВАК.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний об'єм дисертації складає 277 сторінок друку, що містить 60 малюнків на 57 сторінках, 12 таблиць на 12 сторінках, список використаних джерел із 87 найменувань на 11 сторінках і 4 додатки на 27 сторінках. Основний зміст дисертації на 169 сторінках.

2 – вимірювальна обкладинка ІКТ;

3 – обладнання, що створює електричний

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень і розробку, визначені об'єкт і предмет досліджень, встановлені методи досліджень, показана наукова новизна і практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі виконано аналіз методів контролю електричних параметрів ІКТ в маслонаповненому високовольтному обладнанні під робочою напругою і їх достовірності. Відзначено, що положення ГКД 34.20.302-2002 допускають контроль вказаної ізоляції по одному параметру – зміні модуля повної провідності $|\Delta Y/Y|$, а граничні значення вказаного параметра при безперервному контролі встановлені рівними для класів напруги 330-500 кВ і 750 кВ відповідно 2,0% і 1,5%. Ці граничні значення встановлені на підставі того, що ознакою дефекту, що розвивається, в ІКТ для вказаних класів напруги є зміна $|\Delta Y/Y|$, яка дорівнює 0,5-1,5% і 0,5-1,0% відповідно. Це підтверджено рядом дослідників за результатами численних спостережень (Сві П.М., Смекалов В.В., Шинкаренко Г.В. та ін.).

Виконаний огляд існуючих методів контролю показав, що сучасній тенденції контролю електричних характеристик ІКТ відповідає контроль під робочою напругою, причому перспективним є безперервний контроль з використанням стаціонарних пристроїв контролю у вигляді елементів автоматизованих ін-

формаційно-вимірювальних систем. Для діагностичних ознак, які визначаються при контролі під робочою напругою шляхом вимірювання струму через ІКТ об'єкту контролю (рис. 1), основним чинником, що впливає на результати вимірювань, є вплив електричного поля, створеного робочою напругою електроустановки, яке обумовлює протікання через об'єкт контролю просторово розподілених ємнісних струмів (струмів впливу) $i_{ВП}$.

Часткових ємностей, що створюють шляхи для струмів впливу, багато. Струми, що протікають по кожному із шляхів, мають різні значення модуля і фази, залежно від конструкції обладнання, його розташування щодо інших елементів РУ та робочої напруги. Існуючі рішення по врахуванню струмів впливу не припускають їх визначення розрахунковим шляхом за відповідними вихідними даними, що перелічені вище. Визначення струмів впливу розрахунковим шляхом в повнофакторній постановці задачі дозволить врахувати їх значення при вимірюванні параметрів ІКТ, у тому числі параметра $|\Delta Y/Y|$, зміна якого, відповідна ознаці дефекту, що розвивається, може бути викликана зміною струмів впливу.

Обґрунтовані задачі розробки методу контролю під робочою напругою ІКТ обладнання ЕЕС, в якому з метою підвищення достовірності контролю враховується одержаний розрахунковим шляхом при кожному контролі повний струм впливу в колі заземлення вимірювальної обкладинки, і технічної реалізації відповідного елемента автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи, тобто елемента АСК ТП ПС.

У другому розділі запропоновані математичні моделі системи “вимірювальна обкладинка ізоляції трансформатору струму – елементи розподільної установки” і системи “вимірювальні обкладинки ізоляції введів 330 кВ – обмотки трифазного силового автотрансформатору”. Система багатьох тіл в першому випадку включає провідні тіла у формі тороїдів, еліпсоїдів обертання і проводів кінцевої довжини, розташовані в напівпросторі з $\epsilon_r=1$, які моделюють ситуативне розташування і конструкцію об'єктів і елементів РУ. Визначено принципи, відповідно до яких конструкція вказаних об'єктів і елементів відображена сукупністю провідних тіл із заданими значеннями потенціалів. Потенціали тороїдів системи, що моделюють об'єкт контролю, а також аналогічних систем провідних тороїдів, що моделюють інші об'єкти РУ, змінюються рівномірно з деяким постійним кроком від відповідної фазної напруги до нуля. Потенціали проводів кінцевої довжини (моделі шин РУ) і еліпсоїдів обертання (моделі елементів повітряних вимикачів) дорівнюють відповідним фазним напругам РУ; нульові потенціали мають еліпсоїди – моделі стійок під обладнання і порталів РУ. В другому випадку система включає три сплюснуті еліпсоїди обертання (моделі обмоток) і три витягнуті еліпсоїди обертання (моделі обкладинок), які розташовані в необмеженому горизонтальному шарові діелектрика з $\epsilon_r>1$; потенціали моделей обмоток дорівнюють фазним напругам трифазної системи, а

моделі обкладинок мають потенціал рівний нулю.

Розроблені алгоритми розрахунку повного струму впливу в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладинки ізоляції опорних ТС і ВВ 330 кВ трифазного силового АТ. При цьому розрахунок струму впливу для об'єкту контролю виконується таким чином, що початкова фаза струму визначається щодо фазної напруги цього об'єкту, яка суміщається з віссю реальних величин комплексної площини.

Алгоритм розрахунку струму впливу включає формування матриці взаємних і власних потенціальних коефіцієнтів системи електродів в напівпросторі з $\varepsilon_r=1$ (для об'єктів контролю – ТС і верхньої частини ВВ), моделюючих ситуації розташування і конструкцію об'єктів і елементів РУ. Наступним етапом алгоритму є розрахунок взаємних часткових ємностей в системі електродів, тобто в системі багатьох тіл. Для цього багаторазово розв'язується система лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР)

$$\alpha [q] = \psi, \quad (1)$$

де $[\alpha]$ – матриця потенціальних коефіцієнтів, $[q]$ і $[\psi]$ – стовпові матриці зарядів і потенціалів електродів.

Пронумеруємо від 1 до m провідні еквівалентні тороїди системи, що моделює об'єкт контролю, і від $m+1$ до n всі ті елементи, від яких через ємнісні зв'язки з вказаними тороїдами розраховуються складові струму впливу. На кожному кроці циклу рішення СЛАР в матриці потенціалів електродів одне із значень від U_1 до U_m послідовно приймається ненульовим ($U_i > 0, i = \overline{1, m}$), а інші – рівними нулю. На підставі кожного з векторів рішення $[q]$ визначаємо відповідні взаємні часткові ємності, наприклад, взаємна часткова ємність між m і n електродами визначається як $C_{n,m} = q_n U_m^{-1}$.

Завершальним етапом алгоритму є розрахунок повного струму впливу по його складових. Складові цього струму розраховуються на підставі отриманих раніше значень масиву взаємних часткових ємностей $C_{1,m+1}, \dots, C_{1,n}, \dots, C_{m,m+1}, \dots, C_{m,n}$ і відомих значень потенціалів електродів. Повний струм впливу в колі заземлення вимірювальної обкладинки ізоляції об'єкту контролю фази, що розраховується, буде рівний:

$$I_{\text{ВП}} = \sum_{i=1}^m I_{\text{ВП},i}, \quad (2)$$

де $I_{\text{ВП},i}$ – складова струму впливу, що протікає в колі провідного еквівалентного тороїду i ($i = \overline{1, m}$) системи, що моделює об'єкт контролю.

Цей струм дорівнює:

$$I_{\text{ВП},i} = \omega \left\{ \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\sum_l U_{l \text{ відст. ф}} C_{l \text{ відст. ф}, i} - \sum_k U_{k \text{ вип. ф}} C_{k \text{ вип. ф}, i} \right) + \right.$$

$$\begin{aligned}
& + j \left[\sum_r U_{r \text{ розр.ф}} - U_i \right] C_{r \text{ розр.ф},i} - \sum_l \left(\frac{1}{2} U_{l \text{ відст.ф}} + U_i \right) C_{l \text{ відст.ф},i} - \\
& - \sum_k \left(\frac{1}{2} U_{k \text{ вип.ф}} + U_i \right) C_{k \text{ вип.ф},i} - \sum_s U_i C_{s,i} \Bigg\}, \quad (3)
\end{aligned}$$

де k, l, r та s – підмножини номерів електродів множини $m+1, n$, причому підмножина k містить номери електродів, якими моделюються об'єкти, що відносяться до випереджаючої фази (по відношенню до тієї, що розраховується); l – номери електродів, якими моделюються об'єкти, що відносяться до відстаючої фази; r – номери електродів, якими моделюються об'єкти, що відносяться до фази, що розраховується, та s – номери електродів, якими моделюються об'єкти з нульовим значенням потенціалу; $U_{l \text{ відст.ф}}$, $U_{k \text{ вип.ф}}$ і $U_{r \text{ розр.ф}}$ – потенціали електродів, віднесених до відповідних підмножин; $C_{l \text{ відст.ф},i}$, $C_{k \text{ вип.ф},i}$, $C_{r \text{ розр.ф},i}$ і $C_{s,i}$ – значення взаємної часткової ємності між електродом, віднесеним до відповідної підмножини, та i -м електродом; U_i – значення потенціалу i -го електроду.

Аналогічно, складова струму впливу від обмоток АТ в колі вимірювальної обкладинки ізоляції вводу 330 кВ фази, що розраховується, дорівнює:

$$\begin{aligned}
I_{\text{ВП, розр.ф}} = \omega \left\{ \frac{\sqrt{3}}{2} U_{\text{відст.ф}} C_{\text{відст.ф.-обкл}} - U_{\text{вип.ф}} C_{\text{вип.ф.-обкл}} + \right. \\
+ j \left[U_{\text{розр.ф}} C_{\text{розр.ф.-обкл}} - \frac{1}{2} U_{\text{відст.ф}} C_{\text{відст.ф.-обкл}} + \right. \\
\left. \left. + U_{\text{вип.ф}} C_{\text{вип.ф.-обкл}} \right] \right\}, \quad (4)
\end{aligned}$$

де $C_{\text{розр.ф.-обкл}}$, $C_{\text{вип.ф.-обкл}}$ і $C_{\text{відст.ф.-обкл}}$ – взаємні часткові ємності між обмоткою і вимірювальною обкладинкою фази, що розраховується, а також між вказаною обкладинкою і обмотками випереджаючої і відстаючої фаз АТ, одержані на підставі вектора рішення $[q]$ СЛАР.

Для ВВ 330 кВ АТ повний струм є результируючим по виразах (3) і (4).

Автоматизація розрахунків струму впливу в колі заземлення вимірювальної обкладинки ізоляції об'єкту контролю досягається за допомогою програми "ICComp", що реалізує вказані алгоритми. Об'єм програми складає 8000 рядків тексту в Delphi 3.

Третій розділ присвячений підтвердженню достовірності розрахунків по розроблених алгоритмах розрахунку струмів впливу на підставі досліджень на діючих електроустановках 330 кВ і на випробувальній установці високої напруги, а також дослідженням з використанням програми "ICComp" для умов безперервного контролю ІКТ під робочою напругою.

Дослідження на випробувальній установці високої напруги з використанням вводу 110 кВ типа ГМТВ-45-110/630-У1, №Т62780 показали, що струм ви-

току в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладинки вводу змінюється внаслідок впливу електричного поля, причому цей вплив зберігається в умовах зволоження чистої поверхні покришки вводу, а також сухого стану забруднення покришки.

Натурні вимірювання струму впливу в колі заземлення вимірювальної обкладинки ІКТ ТС 330 кВ, відключених для експлуатаційного контролю, проводилися з метою отримання даних для уточнення розроблених математичних моделей. В процесі вимірювання за допомогою світлопроменевого осцилографа Н115 реєструвався струм впливу від дії приєднань 330 кВ ПС, що залишилися в роботі (табл. 1). Аналіз осцилограм показав, що форма кривої струму впливу мало спотворена, близька до синусоїдальної при частоті 50 Гц мережі.

Таблиця 1.

Значення струму впливу в колі заземлення вимірювальної обкладинки ізоляції відключених ТС 330 кВ

Найменування електроустановки, приєднання	ТС приєднання ПС	Струм $I_{ВП\ max}$, мкА	Робоча фазна напруга приєднання ПС, кВ	Тип ТС
ПС “Артема – 330 кВ”, 1АТ	фаза А	190	194,0	ТФКН-3 30
	фаза В	170		
	фаза С	210		
ПС “Артема – 330 кВ”, 2АТ	фаза А	125	194,0	
	фаза В	160		
	фаза С	200		

Використання математичної моделі системи “вимірювальна обкладинка ізоляції трансформатору струму – елементи розподільної установки” потребує задання геометричних характеристик моделей обладнання і елементів РУ. Проводи кінцевої довжини, які моделюють ошиновку і систему шин РУ, еліпсоїди обертання, які моделюють елементи вимикача, стійки порталів, опорних конструкцій обладнання та ін., мають цілком певні геометричні характеристики, що дорівнюють відповідним довжинам, еквівалентним радіусам і висотам об'єктів РУ. Ізоляційні конструкції обладнання моделюються системою еквівалентних тороїдів, число яких дорівнює числу ребер вказаної конструкції; діаметр кола обертання тороїдів приймається рівним діаметру ізоляційної конструкції біля кромки ребра. На підставі результатів натурних вимірювань (табл. 1) уточнюється математична модель системи з позицій встановлення значення одного параметра – діаметру поперечного перетину тороїдів системи $d_{ЕК}$. Для цього проводиться обчислювальний експеримент для визначення за допомогою програми “ІССофт” залежностей $I_{ВП} = f(d_{ЕК})$ для системи багатьох тіл (рис. 2) відповідно умовам натурних вимірювань струму $I_{ВП}$ на ПС “Артема – 330 кВ”.

Застосувавши вирівнювання прямими $y = ax + b$ результатів вказаного

вище обчислювального експерименту по критерію методу найменших квадратів на підставі результатів натурних вимірювань маємо $d_{ЕК} \cong 60$ мм. Порівняння результатів вимірювань і розрахунків в цьому випадку показує, що найбільша розбіжність їх не перевищує 18% і може розглядатися як прийнятна для задач такого типу.

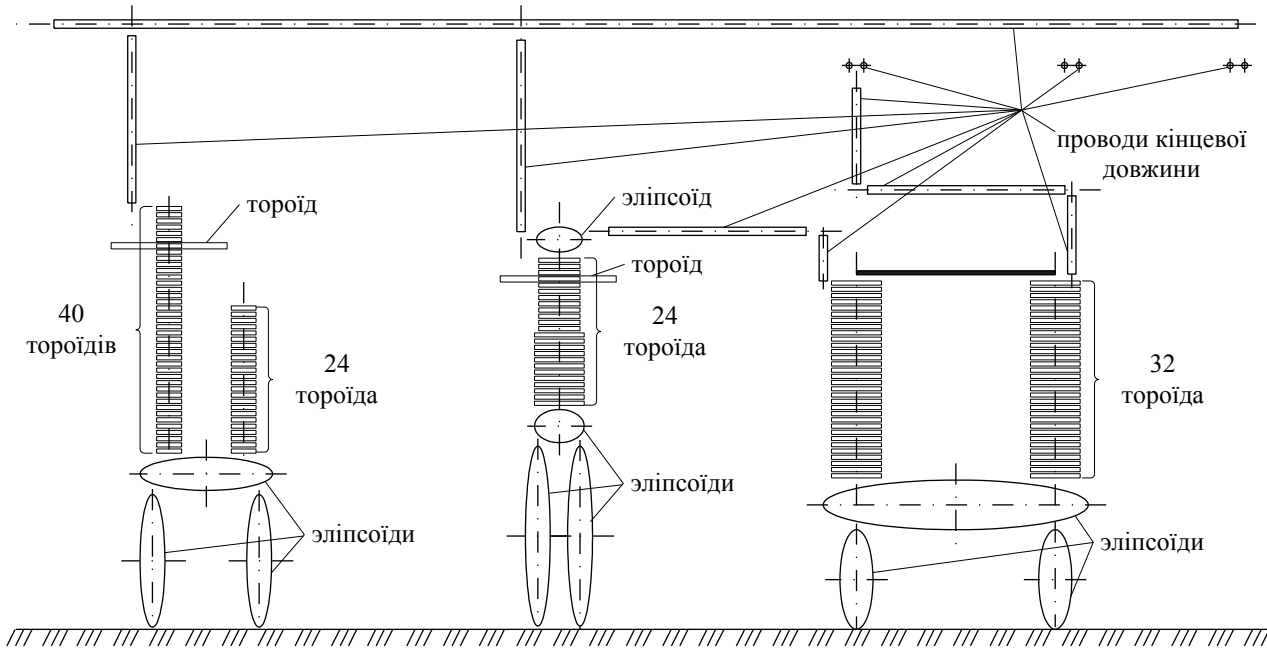


Рис. 2. Частина системи багатьох тіл для моделювання ємнісних зв'язків, що відповідає фазі комірки 1АТ ПС “Артема – 330 кВ”.

За допомогою осцилографа Н115 здійснено вимір струму в колі заземлення вимірювальної обкладинки ІКТ ВВ 330 кВ трифазного силового АТ типу АТДЦТН-200000/330/110 ПС “Артема – 330 кВ” під дією робочої напруги (табл. 2) з подальшим гармонійним аналізом і визначенням фазового зсуву першої гармоніки струму $i_{1\text{вим}}$ по відношенню до робочої напруги однойменної фази.

Таблиця 2.

Значення струму в колі заземлення вимірювальної обкладинки ІКТ ВВ 330 кВ

Об'єкт вимірювань	Струм $I_{\text{вим, max}}$, мА	Струм $I_{1\text{т, вим}}$, мА	Фазовий кут струму $i_{1\text{вим}}(t)$ по відношенню до робочої напруги однойменної фази, град	Тип ВВ
ВВ 330 кВ АТ:				ГБМТП-3
фаза А	51,115	48,105	+85	30/1000
фаза В	53,975	50,797	+90	У1
фаза С	55,803	52,518	+96	

Для ВВ 330 кВ фаз А і С фазовий зсув струму $i_{1\text{вим}}$ по відношенню до робочої напруги однойменної фази відрізняється від аналогічного параметру, визначеного по $\text{tg}\delta$ ізоляційного сердечника з паспорту-формуляра і рівного $89,66^\circ$ і $89,67^\circ$ відповідно. Це означає, що одержані результати вимірювання струму включають в себе як струм через ізоляційний сердечник, так і струм впливу. Для ВВ 110 кВ даного АТ на основі аналізу фазових кутів заміряних струмів можна зазначити практичну відсутність струму впливу.

З використанням програми “ІССофт” виконано аналіз необхідності врахування струму впливу з метою підвищення достовірності контролю під робочою напругою ІКТ вимірювальних ТС 330 і 750 кВ, а також ВВ 330 кВ трифазних силових АТ. Стосовно ТС розглядаються умови реалізації як пооб'єктного контролю, так і вимірювання струму небалансу попередньо симетрованої суми трифазної системи струмів через ІКТ трьох об'єктів однієї напруги (нерівноважно-компенсаційний метод). Розрахункові умови контролю під робочою напругою: нормальна схема електроустановки, робоча напруга симетрична ($U_{\text{роб}} = U_{\text{ном}}/\sqrt{3}$) за відсутності та при виникненні коронного розряду, а також несиметрична $U_k = 0,9 \cdot U_{\text{ном}}/\sqrt{3}$; $U_l = U_m = U_{\text{ном}}/\sqrt{3}$ (при $k=A, l=B, m=C$; при $k=B, l=A, m=C$; при $k=C, l=A, m=B$); ремонтна схема електроустановки (відключена сусідня комірка), робоча напруга симетрична ($U_{\text{роб}} = U_{\text{ном}}/\sqrt{3}$). Об'єкти контролю – вимірювальні ТС приєднання 1АТ ПС “Артема – 330 кВ” і ТС міжшинного ланцюга ПС “Західноукраїнська – 750 кВ”.

По критерію виникнення дефекту, що розвивається ($|\Delta Y/Y| > 0,5\%$) встановлено, що за умови незмінності струму витoku об'єкту контролю $|\underline{I}_0|$ (зміна комплексної провідності, пов'язаної з дефектом $|\Delta Y_D| = 0$) зміна струму впливу $|\Delta \underline{I}_{\text{ВП}}|$ досягає значень, характерних для ознаки дефекту, що розвивається, в ІКТ, при пооб'єктному контролі ТС 750 кВ і контролі нерівноважно-компенсаційним методом ТС 330 і 750 кВ.

Підвищення достовірності контролю при цьому може бути досягнуте шляхом врахування зміни струму впливу при кожному контролі в режимі реального часу для поточних схеми і режиму електроустановки, тобто з використанням імітаційної моделі впливаючих електроустановок. Використання імітаційної моделі в умовах пооб'єктного контролю під робочою напругою ІКТ ВВ 330 кВ трифазного силового АТ (стосовно 2АТ ПС “Артема – 330 кВ”) дозволяє уточнити граничне значення контрольованого параметру $|\Delta Y/Y|$ для фаз А, В і С відповідно на 11,3%, 7,0% і 3,8%. Модуль комплексної провідності ІКТ ВВ 330 кВ при першому контролі $|Y_0|$ у цьому випадку характеризується найбільшим наближенням до значення, заміряного на заводі-виготовнику при напрузі 240 кВ.

У четвертому розділі приведені розроблений метод контролю під робочою напругою і пристрій для його реалізації – як елемент АСК ТП ПС. Метод контролю, який передбачає перевірку зміни модуля комплексної провідності ізоляції шляхом вимірювання струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладинки ізоляції об'єкту контролю, включає відтворення на імітаційній моделі дії впливаючих електроустановок при їх поточних схемі і режимі, результатом якого є струм впливу, і виключення цього струму з результатів вимірювання; при контролі вимірюється також фазна напруга об'єкту контролю як для визначення модуля комплексної провідності, так і для розрахунку струму впливу. Узгодження в часі миттєвих значень заміряного струму і струму впливу проводиться щодо вторинної фазної напруги з початковою фазою прийнятою рівною нулю вимірювального трансформатора напруги, приєднаного до тієї ж фази системи шин, що і об'єкт контролю. Реалізація методу з використанням сучасної елементної бази, тобто в підсистемі АСК ТП ПС, дає можливість аналізувати зміну електричних параметрів ізоляції в часі. Метод передбачає апаратну (рис. 3) і програмну частини.

Апаратна частина пристрою здійснює аналого-цифрове перетворення сигналів вторинної напруги u_{TH} вимірювального трансформатора напруги і напруги $u_{ВИМ} = i_{ВИМ} R_{ВИМ}$ (див. рис. 1) по кожній фазі об'єкту контролю. За допомогою високошвидкісного таймера визначається значення тривалості періоду промислової частоти T . Кількість вимірів миттєвих значень сигналів за період прийнята рівною $N=40$, тобто крок дискретизації складає $T_d=500$ мкс. Після закінчення циклу аналого-цифрового перетворення проводиться передача вихідних кодів АЦП, відповідних аналоговим сигналам в поточних каналах, в ЕОМ.

При налазці пристрою контролю ІКТ (перший контроль), програмно обчислюються і запам'ятовуються електричні параметри, що використовуються для контролю: струм витоку через ІКТ об'єкту контролю за відсутності дефекту (індекс фази не вказаний) $I_0 = |I_0| \angle \Psi_{I_0}$, частота мережі $f_0 = T_0^{-1}$ і робоча фазна напруга $U_{\Phi,0}$. Зокрема, модуль струму витоку через ІКТ складає:

$$|I_0| = \left\{ \left[\frac{I_{1m, ВИМ}}{\sqrt{2}} \cos \Psi_{I_{ВИМ,0}} - \operatorname{Re} \underline{I}_{ВП,0} \right]^2 + \left[\frac{I_{1m, ВИМ}}{\sqrt{2}} \sin \Psi_{I_{ВИМ,0}} - \operatorname{Im} \underline{I}_{ВП,0} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

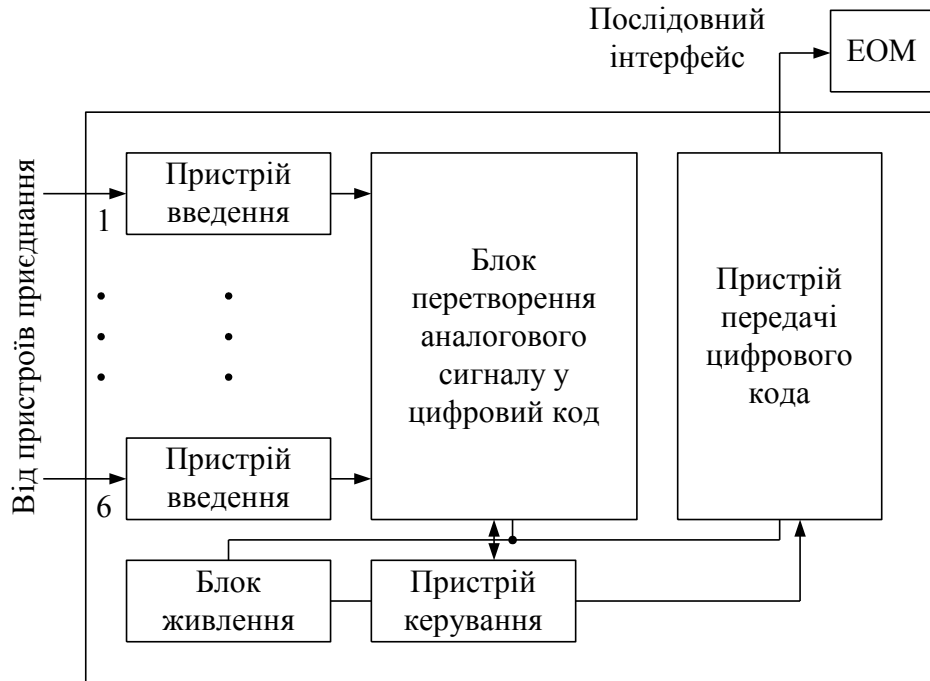


Рис. 3. Функціональна схема пристрою.

Значення струму $I_{1m, \text{ВИМ}}$ обчислюється на підставі визначення коефіцієнтів A_1 і B_1 кінцевого ряду Фур'є по всіх N значеннях вимірів; струм $I_{\text{ВП},0}$ розраховується за допомогою імітаційної моделі для поточної схеми і режиму електроустановки. Фазовий зсув $\Psi_{I_{\text{ВИМ},0}}$ між першою гармонікою $i_{1\text{ВИМ}}$ і струму $i_{\text{ВИМ}}$ і робочою фазною напругою об'єкту контролю обчислюється по ознаці зміни знаку слідуєчих одне за одним миттєвих значень сигналів $u_{\text{ВИМ},0}$ і $u_{\text{ТН},0}$ і початковій фазі першої гармоніки. Робоча фазна напруга $U_{\Phi,0}$ визначається в результаті відновлення функції по сукупності її миттєвих значень і використання формули трапецій чисельного інтегрування.

При кожному контролі проводиться обчислення величин I_K , f_K та $U_{\Phi,K}$ по тому ж алгоритму, що і при першому контролі.

Контролюється зміна модуля повної провідності ІКТ як:

$$\left| \frac{\Delta Y}{Y_0} \right| = \left| \frac{I_K f_0 U_{\Phi,K}^{-1} f_K^{-1} - I_0 U_{\Phi,0}^{-1}}{I_0 U_{\Phi,0}^{-1}} \right|, \quad (6)$$

яка запам'ятовується і зіставляється з граничним значенням.

Програмно реалізується також нерівноважно-компенсаційний метод контролю з урахуванням струмів впливаючих електроустановок як:

$$\sigma_K = \left| I_{K,A} + \left(I_{K,B}^{\delta} + \Delta I_{0,B} \frac{U_{A,K}}{U_{A,0}} \right) a^2 + \left(I_{K,C}^{\delta} + \Delta I_{0,C} \frac{U_{A,K}}{U_{A,0}} \right) a \right|, \quad (7)$$

де $I_{K,V}^{\bar{b}}$ та $I_{K,C}^{\bar{b}}$ – значення струмів через ізоляцію об'єкту контролю фаз В та С, приведені до робочої напруги фази А; $\Delta I_{0,V}$ та $\Delta I_{0,C}$ – результати симетрування струмів $I_{0,V}$ та $I_{0,C}$ при першому контролі; a – оператор повороту.

Обчислюється по коефіцієнтах A_3 і B_3 кінцевого ряду Фур'є амплітуда третьої гармоніки струму в колі заземлення вимірювальної обкладинки ІКТ (індикаторний параметр).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача розробки методу безперервного контролю електричних параметрів ІКТ обладнання ЕЕС, що забезпечує підвищення достовірності контролю за рахунок врахування впливу електричного поля, створеного робочою напругою електроустановки, і пристрою для реалізації методу на основі використання сучасної елементної бази.

1. Аналіз ємнісних зв'язків вимірювального елемента схеми контролю ІКТ з елементами РУ дозволив розробити математичні моделі відповідних електростатичних систем, утворених сукупністю провідників в напівпросторі і в необмеженому горизонтальному шарові.

2. Рішення задачі розрахунку струму впливу в колі вимірювального елемента схеми контролю ІКТ за вихідними даними конструкції обладнання, його розташування відносно інших елементів РУ та робочої напруги базується на вказаному вище математичному моделюванні і методі комплексних величин. Це рішення одержано вперше у вигляді алгоритму розрахунку струму впливу, реалізованого в програмі "ІССomp", і використано як для досліджень необхідності врахування струму впливу з метою підвищення достовірності контролю ІКТ об'єктів різної номінальної напруги, так і в якості базового алгоритму для реалізації імітаційної моделі впливаючих електроустановок при контролі під робочою напругою. Достовірність розрахунку струму впливу по розробленому алгоритму оцінена на підставі зіставлення результатів розрахунку і натурних вимірювань на діючих електроустановках 330 кВ; найбільша розбіжність результатів не перевищує 18%, а власне розраховані значення знаходяться в діапазоні значень, одержаних іншими авторами.

3. Дослідження необхідності врахування струму впливу з метою підвищення достовірності контролю ІКТ, виконані з використанням програми "ІССomp", показали, що пооб'єктний контроль під робочою напругою ізоляції вимірювальних ТС 330 кВ може проводитися без урахування струму впливу; для ТС 750 кВ достовірність цього контролю ізоляції залежить від врахування зміни струму впливу. В першому випадку одержана зміна контрольованого струму, обумовлена зміною струму впливу при переході від нормальної схеми до ремонтної, що складає 0,46%, тобто менше значення, відповідного ознаці дефекту, що

розвивається, а в другому – вказана зміна склала відповідно 0,77% при переході від нормальної схеми до ремонтної і 1,05% – при порушенні симетрії напруги трифазної системи, тобто відповідає значенням, характерним для дефекту, що розвивається, в ІКТ. Зміна схеми електроустановки, наприклад, перехід від нормальної до ремонтної, викликає зміну струму небаланса, обумовленого струмами впливаючих електроустановок, при контролі ізоляції ТС 330 і 750 кВ пристроями, що реалізують нерівноважно-компенсаційний метод; це встановлено на підставі досвіду експлуатації існуючих рішень пристроїв контролю. Дослідженнями з використанням програми “ICComp” встановлено, що зміни струму небаланса при цьому досягають значень, відповідних ознакам дефекту, що розвивається, в ІКТ: 1,09% контрольованого струму для ТС 750 кВ і 0,58% – для ТС 330 кВ. Достовірність контролю вказаним вище методом підвищується при врахуванні зміни струму впливу.

4. Аналогічні дослідження для умов пооб'єктного контролю під робочою напругою ізоляції ВВ 330 кВ трифазного силового АТ показали, що достовірність контролю підвищується при врахуванні струму впливу. Зокрема, використання імітаційної моделі дозволяє уточнити контрольований струм для ВВ фаз АТ в припущенні незмінності робочої напруги від 3,8% до 11,3%.

5. Розроблено метод безперервного пооб'єктного контролю електричних параметрів ІКТ в маслонаповненому високовольтному обладнанні, згідно з яким перевіряється зміна модуля комплексної провідності ізоляції. В методі контролю вперше застосована імітаційна модель впливаючих електроустановок, базовим алгоритмом якої є розроблений алгоритм розрахунку струму впливу; імітаційна модель відтворює вплив електричного поля, утвореного робочою напругою електроустановки, на результати вимірювань електричних параметрів ізоляції для поточної схеми і режиму електроустановки. Математичні моделі електростатичних систем, утворених сукупністю провідників в напівпросторі і в необмеженому горизонтальному шарові, застосовані при реалізації вказаного методу контролю вперше.

6. Вдосконалено нерівноважно-компенсаційний метод контролю ізоляції, що базується на вимірюванні струму небалансу попередньо симетрованої суми трифазної системи струмів через ізоляцію трьох об'єктів однієї напруги. Від існуючого він відрізняється відтворенням впливу електричного поля елементів РУ за допомогою імітаційної моделі.

7. Розроблено пристрій контролю ІКТ, що реалізує як вказаний вище метод безперервного пооб'єктного контролю, так і вдосконалений нерівноважно-компенсаційний метод. Пристрій реалізований на сучасній елементній базі, тобто як елемент АСК ТП ПС, та має апаратну і програмну частини. Запропоновані принципова схема апаратної частини пристрою, а також алгоритм реалізації на ЕОМ вказаних вище методів контролю.

8. Виконана оцінка метрологічних характеристик розробленого пристрою, який використано для контролю ізоляції ВВ 330 кВ трифазного силового АТ.

Максимальне значення модуля повної погрішності, що виникає при безперервному контролі електричних параметрів ІКТ, дорівнює 4,3%. Реєстрація дефекту, що розвивається, в ізоляції при цьому принципово можлива, оскільки набуто значення погрішності практично цілком визначається погрішністю відтворення на імітаційній моделі впливаючих електроустановок, яка буде присутня у всіх випадках як постійна складова при контролі, однаково впливаючи на результат вимірювання. Кількісна оцінка ступеня підвищення достовірності контролю, виконана стосовно контролю ізоляції ВВ 330 кВ трифазного силового АТ розробленим методом, відповідає ступеню мінімізації систематичної погрішності при контролі, тобто її зниженню в 6,3 рази.

9. Дослідний зразок розробленого пристрою контролю впроваджено на ПС “Артема – 330 кВ” Північної ЕЕС НЕК “Укренерго” для діагностики ІКТ ВВ 330 і 110 кВ трифазного силового АТ. Рекомендується розширене впровадження вказаних пристроїв в ОЕС України, у тому числі, замість виведених з роботи систем контролю ТС 330 і 750 кВ. Приклад такого розширеного впровадження – використання розробленого пристрою для діагностики стану ізоляції ВВ 110 кВ блокового трансформатора 1Т Харківської ТЕЦ-5.

10. Одержане в дисертаційній роботі рішення задачі розрахунку струму впливу у вигляді алгоритму розрахунку використано в навчальному процесі на кафедрі передачі електричної енергії НТУ “ХП”.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бондаренко В.Е., Минченко А.А. Анализ методов непрерывного контроля диэлектрических характеристик изоляции при рабочем напряжении на объекте // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 1998. – Вып. 11. – С. 55-57.

Здобувачу належить постановка задачі визначення струмів впливу з метою підвищення чутливості контролю ІКТ ВВ і ТС.

2. Бондаренко В.Е., Минченко Андр. Анат. Анализ емкостных связей в системе “измерительная обкладка изоляции трансформатора тока – элементы распределительного устройства” и их моделирование при построении алгоритма определения тока влияния // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХДПУ. – 1999. – Вип. 37. – С. 82-86.

Здобувачем запропоновані моделі елементів РУ для алгоритмізації розрахунку струму впливу в колі вимірювального елементу схеми контролю.

3. Минченко Андр. Анат., Бондаренко В.Е. Алгоритм расчета тока влияния в цепи измерительной обкладки изоляции контролируемого объекта // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХДПУ. – 1999. – Вип. 47. – С. 107-111.

Здобувачем запропоновано уточнений алгоритм розрахунку струму впливу в колі заземлення вимірювальної обкладинки ізоляції об'єкта контролю та

використання методу наведеного потенціалу для визначення потенціальних коефіцієнтів моделей елементів РУ.

4. Минченко А.А. Емкостные связи в системе “измерительные обкладки изоляции вводов 330 кВ – обмотки трехфазного силового автотрансформатора” и их моделирование при расчете тока влияния // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 2000. – Вып. 78. Сер. НРСТ. – С. 70-72.

5. Минченко Андр. Анат., Бондаренко В.Е., Борискин В.Ф. Алгоритм расчета тока влияния в цепи измерительной обкладки изоляции ввода 330 кВ трехфазного силового автотрансформатора от его обмоток // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХДПУ. – 2000. – Вип. 102. – С. 86-89.

Здобувачем запропоновано алгоритм розрахунку струму впливу в колі заземлення вимірювальної обкладинки ізоляції ВВ 330 кВ трьохфазного силового АТ від його обмоток та розрахункові вирази відповідних потенціальних коефіцієнтів.

6. Минченко Андр. Анат., Бондаренко В.Е. Учет влияния электрического поля на измерения параметров изоляции вводов 330 кВ трехфазного силового автотрансформатора под рабочим напряжением // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХДПУ. – 2000. – Вип. 112. – С. 101-106.

Здобувачем запропоновано алгоритм розрахунку струму впливу по двох складових: від обмоток та від ошиновки та сусідніх вводів.

7. Мінченко Анд. Анат., Бондаренко В.О. Спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою // Збірник наук. праць Донецького національного технічного університету. Серія: “Електротехніка і енергетика”. – Донецьк: Дон НТУ. – 2002. – С. 66-69.

Здобувач запропонував метод пооб'єктного контролю ІКТ, удосконалений метод контролю трьох об'єктів однієї напруги, по яким відтворюється вплив електроустановок, та реалізацію елемента АСК ТП ПС.

8. Полянчиков О.І., Бондаренко В.О., Мінченко А.А. Спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою та елемент АСУ ТП підстанції для його реалізації // Новини енергетики. – К., 2002. – №8. – С. 55-56.

Здобувач запропонував функціональну схему дослідного зразка елемента АСК ТП ПС для контролю ізоляції ВВ 330 кВ АТ.

9. Минченко Андр. Анат. Необходимость учета тока влияния при непрерывном контроле изоляции конденсаторного типа измерительных трансформаторов тока и вводов трехфазных силовых трансформаторов // Вісник Націона-

льного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2003. – Вип. 21. – С. 115-123.

10. Бондаренко В.О., Мінченко А.А. Спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою // Патент України №47975 А. Бюл. №7. 2002.

Здобувачу належить ідея при контролі ізоляції розраховувати струм впливу та віднімати його миттєві значення із результатів виміру миттєвих значень струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладинки, узгоджуючи їх в часі.

11. Бондаренко В.Е., Мінченко А.А. Совершенствование устройств контроля изоляции трансформаторов тока и вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением // Тез. докл. 15-й Российской НТК “Неразрушающий контроль и диагностика”. – Том 1. – М.: РОНКТД. – 1999. – С. 30.

Здобувачу належить постановка задачі створення пристрою безперервного контролю, що налагоджується адаптивно до зміни струму впливу.

12. Бондаренко В.Е., Мінченко Андр. Анат. Совершенствование устройств контроля изоляции трансформаторов тока и вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением / Зб. наук. праць ХДПУ: “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”. – Харків: ХДПУ. – 1999. – Вип. 7 у 4-х част., частина третя. – С. 182-184.

Здобувачу належить формулювання принципу побудови алгоритму розрахунку струму впливу.

13. Мінченко Андр. Анат., Бондаренко В.Е., Мінченко А.А. Способ контроля изоляции вводов силовых трансформаторов и измерительных трансформаторов тока под рабочим напряжением и элемент АСУ ТП подстанции для его реализации // Тези доповідей II Міжнародної наук.-техн. конф. “Керування режимами роботи об'єктів електричних систем – 2002”. – Донецьк. – 2002. – С. 63-64.

Здобувач запропонував реалізацію методу як елемента АСК ТП ПС.

14. Мінченко Андр. Анат., Мінченко А.А. Метод і пристрій безперервного контролю електричних параметрів внутрішньої ізоляції конденсаторного типу в маслонаповненому високовольтному устаткуванні // Материали Третьей Промышленной конференции с международным участием и выставки “Эффективность реализации научного ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях”. – К.: УИЦ “Наука. Техника. Технология” – 2003. – С. 62.

Здобувач запропонував використання імітаційної моделі для врахування впливу електричного поля робочої напруги РУ.

АНОТАЦІЇ

Мінченко А.А. Удосконалювання діагностики високовольтної ізоляції конденсаторного типу на основі врахування просторово розподілених ємні-

сних струмів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2005.

Дисертація присвячена розробці методу безперервного контролю електричних параметрів внутрішньої ізоляції конденсаторного типу (ІКТ) в маслонаповненому енергетичному обладнанні високої напруги, який забезпечує підвищення достовірності контролю за рахунок врахування впливу електричного поля елементів розподільної установки, і пристрою для реалізації методу. Розв'язана задача розрахунку струму впливу в колі вимірювального елемента схеми контролю ІКТ. Встановлено, що достовірність пооб'єктного контролю ізоляції залежить від врахування зміни струму впливу для трансформаторів струму 750 кВ та вводів 330 кВ трифазних силових автотрансформаторів. Розроблено метод пооб'єктного безперервного контролю та удосконалено нерівноважно-компенсаційний метод контролю електричних параметрів ІКТ під робочою напругою з відтворенням впливу електричного поля елементів розподільної установки за допомогою імітаційної моделі, в якій використаний алгоритм розрахунку струму впливу. Розроблено пристрій контролю ІКТ, який реалізує пооб'єктний та нерівноважно-компенсаційний методи. Запропоновано апаратну та програмну частини пристрою.

Ключові слова: сильне електричне поле, вплив електричного поля, ізоляція конденсаторного типу, струм впливу, методи контролю, пристрій контролю.

Минченко А.А. Совершенствование диагностики высоковольтной изоляции конденсаторного типа на основе учета пространственно распределенных емкостных токов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.13 – техника сильных электрических и магнитных полей. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2005.

Диссертация посвящена разработке метода непрерывного контроля электрических параметров внутренней изоляции конденсаторного типа (ИКТ) в маслонаполненном энергетическом оборудовании высокого напряжения, который обеспечивает повышение достоверности контроля за счет учета влияния электрического поля элементов распределительного устройства, и устройства для реализации метода. Решена задача расчета тока влияния в цепи измерительного элемента схемы контроля ИКТ. Установлено, что достоверность пообъектного контроля изоляции зависит от учета изменения тока влияния для трансформаторов тока 750 кВ и вводов 330 кВ трехфазных силовых автотрансформаторов. Разработан метод пообъектного непрерывного контроля и усовершенствован неравномерно-компенсационный метод контроля электрических пара-

метров ИКТ под рабочим напряжением с воспроизведением влияния электрического поля элементов распределительного устройства с помощью имитационной модели, в которой использован алгоритм расчета тока влияния. Разработано устройство контроля ИКТ, которое реализует пообъектный и неравновесно-компенсационный методы. Предложены аппаратная и программная части устройства.

Ключевые слова: сильное электрическое поле, влияние электрического поля, изоляция конденсаторного типа, ток влияния, методы контроля, устройство контроля.

Minchenko A.A. Perfection of diagnostic of the high-voltage electrical insulation of condenser type based on taking into account capacity currents placed in space. – Manuscript.

The thesis is presented for Ph.D. degree receiving in the speciality 05.09.13 – high electric and magnetic fields technique. National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Kharkov, 2005.

The method of testing dielectric characteristics of internal condenser type insulation of current transformers and power transformer bushings under operating conditions that provides the increase in the trustworthiness of testing is suggested. Besides, control automation is provided.

Internal electrical insulation of condenser type in high-voltage equipment in electrical system objects under operation conditions testing may be considered as a dielectric medium between a potential electrode (a bushing current rod, current transformer winding) and a measuring plate. They, in their turn, form a system of many components, or conductors, together with the elements of high-voltage equipment of an outdoor switchgear. A diagnostic feature of the condition of the insulation mentioned of the equipment under testing (i.e. bushing and current transformers) is represented by complex conductivity changes. Checking changes in complex conductivity of insulation as related to time is supposed to be accomplished by measuring current in the circuit of grounding the output electrode of the measuring plate of the insulation of the equipment tested. However, this current is a sum of a current leaking through the insulation and an effect current. This leakage current is a diagnostic parameter. The effect current flows from windings, buses, neighbouring equipment as a result of electric field influence of electrical facility elements. It represents the full current flowing through reciprocal partial capacities in the many-component system. To calculate the effect current it is necessary to analyze capacity links, firstly, in the system comprised of the measuring plate of current transformer insulation and outdoor switchgear elements and, secondly, in the system comprised of measuring plates of bushing insulation and three-phase power transformer windings. It helps in creating mathematical models. These models are used in producing an algorithm for calculating the effect current. Knowing this effect current makes it possible to develop a method of measur-

ing a current leaking through the insulation of the equipment tested taken into account the module and phase of the effect current received by the calculation. The systems of linear algebraic equations of relations between charges and potentials in electrostatic systems are composed of the matrixes formed. Then the effects current is calculated as the full current via its components flowing through reciprocal partial capacities. The ratio of the module of the leakage current increment of the equipment tested to the leakage current through its insulation with no defects is compared with the current normalized. The systematic inaccuracy due to the effect current is taken into account while testing. The calculation of the effect current is carried out for insulation without defects and at each testing. Testing equipment internal insulation under operating conditions is accomplished as a subsystem of the process control system. While adjusting the subsystem the correction of mathematical models of electrostatic systems is made through changing their model characteristics. The corrected mathematical models of electrostatic systems are further used as simulation models permitting to take into account the external electric field at each testing. The subsystem of such testing is put into practice at the 330 kV substation.

Key words: high electric field, external electric field influence, internal electrical insulation of condenser type, effect current, internal insulation testing equipment.

