

УДК 621.313.316.001.41(075.3)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПОШКОДЖУВАНOSTІ ВИМИКАЧІВ 750 кВ ПІД ЧАС
УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ЕНЕРГОСИСТЕМ**

Лежнюк П.Д., д.т.н., проф., Рубаненко О.Є., к.т.н., доц.

Вінницький національний технічний університет

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

Плюшко Ю.П., заст. нач. служби ремонтів електрообладнання 330-750 кВ

Південно-Західна електроенергетична система ДП НЕК „Укренерго”

м. Вінниця, вул. І. Богуна, 5а.

E-mail: rubanenko@bk.ru

Рассмотрены причины повреждения литой изоляции вводов выключателей типа ВВБ-750 кВ и применение современных микропроцессорных систем по определению технического состояния оборудования для прогнозирования развития повреждений.

Ключевые слова: воздушные выключатели 750 кВ, высоковольтные вводы, повреждения, максимальное возобновляемое напряжение, коэффициент превышения амплитуды.

The reasons of damage of the poured isolation of ВВБ-750 kV switches inputs and application of modern microprocessors systems on determination of the technical state of equipment for damages prediction are considered.

Key words: 750 kV air switches, high-voltages inputs, damages, maximal restored voltage coefficient of amplitude exceeding.

Вступ. Сучасні електроенергетичні системи – це складні технічні системи, які характеризуються неперервністю технологічного процесу збалансованого виробництва та споживання електроенергії і високою імовірністю виникнення аварій. Під час розвитку регіональні електроенергетичні системи переформовуються в об'єднані електроенергетичні системи. В таких системах зменшуються резерви потужності, виривнюється графік навантаження і т.п. [1]. В той же час в енергосистемі знижується надійність функціонування її елементів, призначених підтримувати нормальний та оптимальний режим роботи або призначених запобігати виникненню, існуванню та розвитку аварійних режимів. До таких елементів належать високовольтні вимикачі, РПН трансформаторів, реактори, розрядники, протиаварійна автоматика та інші. Швидкий перебіг аварійних процесів у разі порушення нормальних режимів виключає можливість їх ліквідації і запобігас діям оперативного персоналу навіть за наявності належних засобів телеконтролю і телеуправління. У зв'язку з цим, для вчасного вимкнення ліній, безперервно автоматично контролюється режим роботи ліній електропередач, навантаження яких може раптово і швидко збільшитися. Вимкнення потужних ліній супроводжуються накидами потужності і небезпечними перевантаженнями паралельних ліній та іншого обладнання, може призвести до порушення стійкості і появи асинхронного режиму [2]. Тому у запобіганні, локалізації і ліквідації порушень нормального режиму важливу роль відіграють високовольтні вимикачі. Надійність роботи вимикачів безпосередньо пов'язана з терміном експлуатації. Від тривалості експлуатації вимикача залежать допустимі значення режимних факторів та їх кількість. Зростаючий характер кривої пошкоджуваності ви-

микачів з часом після відпрацювання ним нормованого терміна експлуатації схожий на залежності старіння інших видів високовольтного обладнання. У більшості вимикачів, які знаходяться в експлуатації, закінчився або закінчується номінальний термін роботи (25 років). Актуальною стала задача продовження їх інтегрального терміну експлуатації, за рахунок ефективного контролю стану, за рахунок оптимізації проведення профілактичних заходів. Зростання пошкоджуваності при роботі за межами нормованого терміну експлуатації збільшує витрати на поточний ремонт обладнання, збільшує вірогідність аварійного виведення з роботи вимикача з-за цього [3].

Аналіз попередніх досліджень. Тому актуальною є задача розробки мікропроцесорних пристроїв діагностики стану вимикачів та математичних моделей, які дозволяють якісніше дослідити процеси зміни технічного стану вимикача і оптимізувати алгоритми роботи діагностичного обладнання [4].

Пошкоджуваність високовольтних вимикачів. Аналіз причин пошкоджуваності високовольтного маслянаповненого обладнання електричних мереж, який був виконаний Департаментом генеральної інспекції РАО „СЕС Росії” з 1996 року до 1998 року, свідчить про те, що найчастіше (41,8 %) пошкоджуються силові трансформатори, а пошкоджуваність вимикачів складає (35,5 %). Причини пошкоджуваності масляних вимикачів: незадовільна робота масляного буфера (28 %), незадовільний стан вводів (24 %), перевищення перехідним опором струмового контуру нормованих значень (23 %), дефект шунтувального опору (2%), незадовільні характеристики масла в баках (2%), закінчення комутаційного ресурсу (2%), заводський дефект вводів (2%), дефект баку (2%), не відповідають нормам регульовальні ха-

рактеристики (13%) та дефект трансформаторів струму (2%).

Мета роботи. Дослідження та аналіз причин пошкодження вимикачів 330-750 кВ з використанням мікропроцесорного пристрою, розробленого ВНТУ спільно з ПЗЕС.

Матеріал і результати дослідження. Аналіз причин пошкоджуваності повітряних вимикачів в ПЗЕС (рис. 1), проведений службою ремонтів ПЗЕС спільно з ВНТУ, вказує на наступні характерні види пошкоджень по окремим елементам: дуттєвий клапан камери (9,52 %), дуттєвий клапан відокремлювача (9,52 %), контакти відокремлювача (4,76 %), контакти камери (4,76 %), обігрів шафи (4,76 %), клапани вимкнення (4,76 %), клапани увімкнення (4,76 %), гумові ущільнення (19,04 %), фарфор камери (19,04 %), фарфор відокремлювача (9,52 %), електромагніти (4,76 %), клапани управління (4,76 %), а причини пошкоджень по вузлам: опорно стрижнева ізоляція (23,56 %), електромагнітний привід (4,76 %), дугогасильна камера (19,04 %), ресивер (4,1 %), контактна система (9,52 %), клапана система шафи керування (14,28 %), пневмокінематична схема (19,04 %), магістраль подачі повітря (5,7 %).

Починаючи з 2001 року в ПЗЕС впроваджені нові методи діагностування стану вимикачів, які дозволяють дистанційно проводити їх випробовування (підстанція 330 кВ “Вінниця”). Розроблений ВНТУ спільно з ПЗЕС мікропроцесорний пристрій АРВВН-3 зберігає результати випробовувань в базі даних комп’ютера з метою визначення швидкості розвитку дефектів та прогнозування відмов.

Відмови по окремим типам повітряних вимикачів наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Відмови повітряних вимикачів за період з 12.01.1996 року по 20.11.2004 року у ПЗЕС

Складові частини вимикача	ВВБ-750		ВВД-330	
	к-сть	%	к-сть	%
Епоксидний ввід	3	20	1	50
Колонки управління	6	40	-	-
Дуттєвий клапан камери	2	13,5	-	-
Манометри	1	6,66	-	-
Конденсатор	1	6,66	-	-
СБК	1	6,66	-	-
Клапани управління	1	6,66	1	50

Комп’ютерний аналіз даних регістратора “Регіна” дає можливість контролю параметрів вимикача під час роботи (без виведення в ремонт). А порівняльний аналіз результатів визначення стану вимикача пристроями “АРВВН-3” та “Регіна” зменшує похибку діагностування. Як свідчать статистичні дані пошкоджуваності вимикачів, значна їх частина спричинена вводами. На підстанції 750 кВ „Вінницька” Південно-Західної електроенергетичної системи повітряним вимикачем ВВБ-750 кВ, встановленим в

комірці „1В”, виконувалися неодноразово комутації ЛЕП 750 кВ „Західно -Українська” при напрузі близькій до максимально допустимої. 2 червня 1998 року при виконанні вимикачем операції „включення” для введення лінії в роботу, черговим персоналом виявлено витік повітря з вказівника продування системи вентиляції верхньої дугогасильної камери четвертого елемента полюса „А”, що засвідчує про заповнення порожнини між фарфоровою покришкою та епоксидним вводом стиснутим повітрям. Для запобігання подальшого пошкодження вимикача, він був знеструмлений вимикачами „3В”, „5В” та виведений з роботи відключенням роз’єднувачами Р1, РШ1. При розбиранні модуля виявлені тріщини прохідного епоксидного вводу в районі торця зрівнювальної обкладки зі сторони баку вимикача. Дефектний ввід був замінений на новий і вимикач введений в роботу. Останній випадок пошкодження вимикача ВВБ-750 з причини епоксидного вводу зафіксований на підстанції 750 кВ “Вінницька” в ПЗЕС 05.09.2006 (вимикач „4В”, фаза „С”).



Рисунок 1 – Пошкоджений вимикач типу ВВБ-750 на підстанції 750 кВ “Вінницька”

До наведеного випадку були аналогічні пошкодження вимикачів типу ВВБ-750 кВ, проте у вимикачів типу ВВД-330 кВ, які мають такі ж епоксидні вводи, подібних пошкоджень не зареєстровано. Пошкодження епоксидних ввідів бакових повітряних вимикачів також можливе при не відповідній експлуатації системи вентиляції, яка повинна застерігати появу конденсату у порожнині фарфорових покришок ввідів.

Дослідження причин пошкодження ввідів вимикачів 750 кВ. Полюс вимикача ВВБ - 750 - 40/3200 У1 має шістнадцять розривів, кожний розрив зашунтований двома паралельно приєднаними конденсаторами і він має литий епоксидний ввід. Таким чином, у вимкненому стані на кожний ввід припадає 1/16 частина робочої напруги. У вимикача 330 кВ вісім розривів (у вимкненому стані на кожний ввід припадає 1/8 частина робочої напруги).

Гасіння дуги у вимикачеві відбувається під час переходу струму через нуль. Напруга на дуговому проміжку намагається відновитись до напруги промислової частоти (діючого значення напруги промислової частоти в момент переходу струму через нуль). Напруга, яка повертається $U_{пов}$, дорівнює:

$$- \text{ для вимикача 750 кВ}$$

$$u_{\text{пов}} = \sqrt{2}U_{\text{макс.р.ф}} \cdot K_{\text{п.г.}} \cdot \sin\varphi = \frac{\sqrt{2} \cdot 750 \cdot 1,05 \cdot 1,3 \cdot 1}{\sqrt{3}} = 836 \text{ кВ}$$

- для вимикача 330 кВ

$$u_{\text{пов}} = \sqrt{2}U_{\text{макс.р.ф}} \cdot K_{\text{п.г.}} \cdot \sin\varphi = \frac{\sqrt{2} \cdot 330 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1}{\sqrt{3}} = 368 \text{ кВ},$$

де $U_{\text{макс.р.ф}}$ - діюче значення найбільшої робочої фазної напруги, кВ (для 750 кВ максимальна лінійна напруга $U_{\text{макс.лін.750}} = 750 \cdot 1,05 = 787,5$ кВ; для 330 кВ $U_{\text{макс.лін.330}} = 330 \cdot 1,1 = 363$ кВ); $K_{\text{п.г.}}$ - коефіцієнт, який характеризує умови гасіння дуги полюсом, що вимкнувся першим ($K_{\text{п.г.}} = 1,3$ для вимикачів напругою вище 110 кВ [5]); φ - фазовий зсув між струмом і напругою, град (враховуючи переважно реактивний опір кола при вимкненні струму короткого замикання $\sin \varphi = 1$ [5]).

Після гасіння дуги на контактах вимикача з'являється відновлювана високочастотна напруга [4]. Схема заміщення кола вимикача наведена на рис.2.

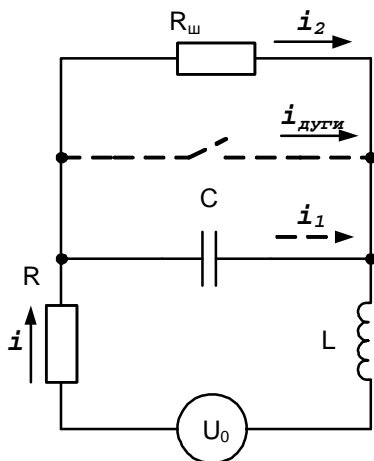


Рисунок 2 – Схема заміщення кола вимикача

На схемі показані: R-активний опір апаратів, провідів ліній і обмоток трансформаторів, які знаходяться в колі при відновленні напруги (наприклад, для випадку к.з. з боку обмотки трансформатора 330 кВ: $R = 532$ Ом, та 750 кВ: $R = 364$ Ом), $R_{\text{ш}}$ - опір дільників напруги, залишковий опір дуги та шунтувальних резисторів ($R_{\text{ш}} = 500 - \infty$ Ом [4]), C, L - еквівалентні індуктивність та ємність кола (для 330 кВ: $L = 0,098$ Гн, $C = 0,41 \cdot 10^{-9}$ Ф, для 750 кВ: $L = 0,424$ Гн, $C = 0,275 \cdot 10^{-9}$ Ф). У вимикача 330 кВ використовуються вісім конденсаторів ДМРУ-55 ємністю $3,3 \cdot 10^{-9}$ Ф, а у вимикача 750 кВ 16 конденсаторів ДМРУ-60 ємністю $2,2 \cdot 10^{-9}$ Ф по два паралельно до кожного вводу.

Частота власних коливань відновлюваної напруги:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4} \left(\frac{R}{L}\right)^2}} \quad (1)$$

Коефіцієнт перевищення амплітуди K_a максимальної відновлюваної напруги $U_{\text{від.макс}}$ до максима-

льної напруги, яка повертається в момент нуля струму, знаходиться за виразом:

$$K_a = 1 + \exp \left[- \left(\frac{R}{L} + \frac{1}{C \cdot R_{\text{ш}}} \right) \cdot 4 \cdot f_0 \right] \quad (2)$$

Для напруги 330 кВ (при $R_{\text{ш}} = 100$ кОм) $K_a = 1,72$, а для напруги 750 кВ (при $R_{\text{ш}} = 100$ кОм) $K_a = 1,86$. Тому максимальна відновлювальна напруга на одному вводі вимикача 330 кВ буде

$$U_{\text{від.макс}} = \frac{368 \cdot 1,72}{8} = 79 \text{ кВ},$$

а на одному вводі вимикача 750 кВ

$$U_{\text{від.макс}} = \frac{836 \cdot 1,86}{16} = 97 \text{ кВ}.$$

Результати проведених розрахунків співпадають з результатами осцилографування (регістратором «Регіна») вимкнення лінії 750 кВ.

На рис. 3 показаний прохідний литий ізолятор камери бака вимикача ВВБ-750 кВ, а саме: труба остову вводу (1), лита ізоляція (2), „заземлювальна” обкладка (3), болт заземлення (4), болт заземлення (5), канал пробною (6).

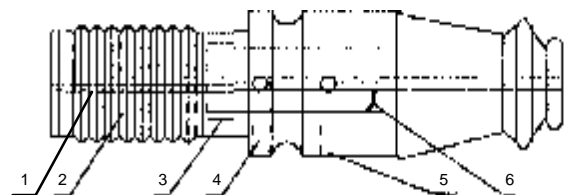


Рисунок 3 – Прохідний литий ізолятор камери бака вимикача ВВБ-750 кВ

Виникнення перенапруг при вимкненні реактора викликано відсіком індуктивного струму раніше звичайного переходу через нуль. Велика величина спожитого реактором струму змінює характер процесу відключення реактора, на відміну з відомим характером відключення індуктивного струму ненапруженого трансформатора. Особливість процесу відключення реактора полягає у відсутності випадків неперервного повторення спроб вимкнення струму. Такий процес, в ході якого поступово розсіюється накопичена в індуктивності енергія, притаманний вимкненню малого струму трансформатора; для реактора ж спроба вимкнення струму відбувається між півперіодами промислової частоти, на протязі яких накопичена в реакторі магнітна енергія повністю відновлюється. Тому неуспішні спроби вимкнення вимикачем струму реактора можуть бути небезпечні з огляду на перенапруги, які виникають при цьому.

Величина зрізаного струму обумовлена інтенсивністю дугогасіння вимикача, тому величина перенапруг повинна залежати від моменту початку розходження контактів вимикача відносно синусоїди напруги мережі. Аналіз одержаних осцилограм підтверджує суттєву залежність величини перенапруги від фази подавання струмового імпульсу на електромагніти вимкнення вимикача ВВБ-750 кВ.



Рисунок 4 – Пошкоджений ввід та литий ізолятор вимикача 750 кВ

При огляді вводу виявлено дві повздовжні тріщини на поверхні литої деталі вводу, які розташовані в баку вимикача від фланця вводу до ребристої поверхні.

При механічному зусиллі (від внутрішньої поверхні зрівнювальної обкладки до зовнішньої поверхні вводу) відколотась плоска частина розміром 150×150 мм. Від цієї частини легко відділився (по поверхні зовнішнього розділу зрівнювальної обкладки) шматок вводу у формі конуса з діаметром верхньої основи біля 10 мм та нижнього – 100 мм. Верхня основа конуса розташована на внутрішній поверхні зрівнювальної обкладки, а нижня на зовнішній. Бокова частина поверхні конусного шматка покрита концентричними канавками.

На двох утворених конусах видно сліди від тріщин ізоляції остова вводу. Крім того утворилась кільцева тріщина в районі кінця зрівнювальної обкладки. Вся поверхня кільцевої тріщини та поверхня раніше описаного плоского куска покрита продуктами термічного розкладання ізоляції. На одному з проміжку кільцевої тріщини чітко видно два канали пошкодження ізоляції: викривлений канал, поверхня якого оплавлена діаметром біля 1 мм, який виходить на плоску круглу площину внутрішньої поверхні зрівнювальної обкладки на відстані 20 мм від її краю та на трубу; практично прямий оплавлений канал, діаметр якого біля 5 мм з „заземлювальної” обкладки на трубу вводу на відстані 20-30 мм від першого каналу. Пошкоджений ввід вимикача ВВБ-750 кВ показано на рис. 4.

ВНТУ разом з ПЗЕС [6, 7] розроблено мікропроцесорний аналізатор роботи вимикачів АРВВН-4 (рис. 5).

Формування спільної бази даних по швидкісних, часових характеристиках та перенапругах під час роботи вимикача дасть можливість прогнозувати розвиток пошкоджень вузлів та відмову в роботі вимикача.



Рисунок 5 – Аналізатор роботи вимикачів АРВВН-4

Висновки.

1.Однією з причин пошкодження повітряних вимикачів є пошкодження ізоляції литого епоксидного вводу.

2.Серед причин пошкодження епоксидних ввідів вимикачів 750 кВ є перенапруги, які призводять до розрядів по поверхні в місцях нещільного дотику епоксидну до фольги на трубі вводу.

3.Сучасні мікропроцесорні системи “Регіна”, “Рекон”, “АРВВН” дозволяють автоматизувати випробовування вимикачів, формують результати осцилографування процесів роботи вимикачів у вигляді бази даних, які можуть бути використані для визначення технічного стану вимикача, для прогнозування розвитку пошкоджень.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

1. Букович Н.В. Протиаварійна режимна автоматика електроенергетичних систем: Навч. посібник. – Львів: Бескід Біт, 2003. – 224 с.
2. Голота А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах: Навч. посіб. – К.: Вища школа, 2006. – 367 с.
3. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. – М.: НЦ ЭНАС, 2002. - 216 с.
4. Мокін Б.І., Грабко В.В. Моделі та системи технічної діагностики високовольтних вимикачів. - Вінниця: УНІВЕРСУМ, 1999. –74 с.
5. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / Н.М. Адоньев, В.В. Афанасьев, И.М. Бортник и др.; Под ред. В.В. Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.
6. Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є., Антонюк Ю.В. Розширення можливостей мікропроцесорних пристроїв контролю характеристик вимикачів // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, Кременчук: КДПУ. - 2004. - №2. – С. 119-121.
7. Гуменюк О.І., Рубаненко О.Є., Таловерья В.Л., Плюшко Ю.В Мікропроцесорні пристрої контролю часових характеристик повітряних вимикачів високої напруги // Новини енергетики. – 2004. – № 10. – С. 50-56.

Стаття надійшла 19.04.2007 р.