

УДК 621.311.001.18

І.О. Бандура, М.В. Романюк*Луцький національний технічний університет***АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБИ ВИПРОБУВАННЯ ШУНТОВИХ РЕАКТОРІВ**

Наведено детальний аналіз існуючих методів випробувань шунтових реакторів, вказані переваги та недоліки різних випробувальних схем, визначені основні методи випробувань шунтових реакторів в умовах експлуатації.

Ключові слова: ізоляція обладнання, випробування шунтових реакторів.

И.А. Бандура, М.В. Романюк**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЯ ШУНТОВ РЕАКТОРОВ**

Приведен подробный анализ существующих методов испытаний шунтирующих реакторов, указанные преимущества и недостатки различных испытательных схем, определены основные методы испытаний шунтирующих реакторов в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: изоляция оборудования, испытания шунтирующих реакторов..

I. Bandura, M. Romanyuk**ANALYSIS OF EXISTING METHODS AND METHODS OF PROTECTION OF SHUTTER REACTORS**

The detailed analysis of existing methods of tests of shunt reactors is given, the advantages and disadvantages of different test schemes are specified, the basic methods of tests of shunt reactors in the conditions of operation are determined..

Keywords: isolation of equipment, testing of shunt reactors..

Постановка проблеми. Випробування електричної міцності ізоляції напругою промислової частоти має за мету перевірити безвідмовну роботу ізоляції трансформаторів та олієнаповненого обладнання в експлуатації як при робочих напругах, так і при комутаційних(внутрішніх) перенапругах.

Випробування поділяються на кваліфікаційні(для кожного нового розробленого обладнання до випуску з заводу першого екземпляру обладнання відповідного типу), періодичні(для забезпечення відповідності обладнання вимогам стандарту), приймально-здавальні(усе обладнання, яке виготовляється).

Ізоляція обладнання під час експлуатації підвладна різноманітним та багаторазовим електричним впливам, починаючи з впливу робочої напруги з необмеженою тривалістю та закінчуючи впливом при атмосферних перенапругах(грозовим імпульсам) з тривалістю, яка вимірюється мікросекундами. Проміжне положення займають впливи при комутаційних(внутрішніх) перенапругах. При грозових імпульсах вплив на ізоляцію внаслідок виникаючих коливань всередині обмоткового обладнання може мати різноманітний характер як по формі, так і по тривалості. Факторами, які визначають вибір розмірів ізоляції, а, відповідно і випробувальних напруг, є амплітуда та тривалість цих впливів.

При випробування шунтових реакторів виникають серйозні труднощі. Для збудження реактора до номінальної напруги в умовах заводу необхідно мати джерело цієї напруги потужністю не менше повної потужності реактора і проміжний трансформатор, розрахований на цю потужність і напругу реактора. В цьому випадку джерело живлення-синхронний генератор 50 Гц та проміжний підвищувальний трансформатор повинні мати однофазну потужність, рівну 5-10 % повної потужності випробувального реактора.

Вимірювання втрат в реакторі теж є складним, так як коефіцієнт потужності при цьому досить малий (менший 0,004). Тому ватметровий метод вимірювання втрат не є придатний. Особливо важко проводити випробування ізоляції реактора нормованою ГОСТ 1516.1-76 випробувальною напругою промислової частоти. Для цього необхідна спеціальна конденсаторна батарея на повну випробувальну напругу реактора при підвищеній частоті, що є дуже складним. Тому це випробування замінюють впливом грозових та комутаційних імпульсів(ГОСТ 1516.1-76). Згідно ГОСТ в програму кваліфікаційних та приймально-здавальних випробувань зібраного шунтового реактора класу напруги 110 кВ та вище входять: а) зовнішній(візуальний) огляд; б)перевірка електричного опору обмоток постійному струму; в) вимірювання параметрів ізоляції(,

С та ; г) випробування проби масла з визначенням пробивної напруги та по ГОСТ 6581-75; д) випробування баку реактора на масло щільність; е) перевірка потужності реактора при номінальній напрузі методом падіння напруги із застосуванням приладів класу точності по [13] для вимірювання потужності; є) вимірювання втрат в реакторі мостовим методом з накладанням номінальної напруги між лінійними та нейтральними вводами реактора (допускається вимірювання при пониженої напрузі); ж) випробування ізоляції нейтралі реактора напругою промислової частоти по ГОСТ 1516.1-76; з) випробування ізоляції реактора повним грозовим імпульсом по ГОСТ 1516.1-76; и) випробування ізоляції реактора зрізаним грозовим імпульсом по ГОСТ 1516.1-76; і) випробування на нагрів при номінальній напрузі на вводах реактора з вимірюванням температур по [13]; к) випробування бака реактора на механічну міцність при вакуумі по ГОСТ 11677-75; л) випробування бака реактора на механічну міцність при вакуумі по ГОСТ 11677-75, при підвищеному внутрішньому тиску; м) вимірювання вібрацій по ГОСТ 19469-74; н) вимірювання рівня звуку по ГОСТ 19469-74; м) вимірювання часткових розрядів в ізоляції реактора для класів напруги 220 кВ та вище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При внутрішніх перенапругах з'являються випадки виходу з ладу високовольтних реакторів. Зниження рівня ізоляції призводить до збільшення впливів на ізоляцію робочого режиму. Якщо вплив при імпульсних випробуваннях відповідає атмосферним перенапругам, то відповідність випробування однохвилинною напругою промислової частоти експлуатаційним впливам є сумнівною. Є сумнівним також положення, що успішне випробування реактора однохвилинною напругою у всіх випадках є достатньою гарантією стійкості його ізоляції по відношенню до впливу робочої напруги та внутрішніх перенапруг. Тому більш доцільним є розробка методів випробувань ізоляції, які забезпечують імітацію впливів внутрішніх перенапруг та робочої напруги. Застосування цих методів дозволяє створити ізоляцію, яка має оптимальні розміри при підвищеній експлуатаційній надійності. На сьогодні до таких методів відносять: випробування з застосуванням схем, що використовують принцип розряду конденсатора на обмотку реактора, що випробовується. Такі схеми застосовують для збудження в обладнанні коливального імпульсу з частотою, близькою до власної частоти коливальних обладнання, для збудження швидко затухаючого імпульсу максимально можливої тривалості. Такі схеми використовують Wright та Saunders. Але випробування по таких схемах вимагає застосування генераторів імпульсних напруг що в умовах заводу реально виконати а в умовах експлуатації є неможливим.

Схеми, які базуються на принципі обриву постійного струму, що протікає по обмотці обладнання, яке випробовується є більш придатним для випробування потужного обладнання на місці експлуатації, хоч теж має ряд недоліків.

Схеми, що ґрунтуються на принципі ударного збудження обладнання, знову ж вимагають застосування імпульсного генератора. Схеми з використанням коливальних контурів ґрунтуються на використанні тиратронів і використовуються для збудження випробувальних трансформаторів.

Особливе місце для випробування обладнання високих та надвисоких класів напруги займають схеми, що забезпечують накладання випробувальної хвилі на напругу, близьку до робочої. При таких випробуваннях часткове ушкодження ізоляції під час перенапруги може перерости у «скользящий» розряд, який розвивається при робочій напрузі, тобто відбудеться «підхват» дії часткового розряду. При випробуванні без накладання на робочу напругу, такому частковому розряду не надається значна увага, так як при одиночних імпульсних впливах ушкодження, яке ним завдається незначне.

Викладення основного матеріалу. ефективно, ніж просто випробування при тривалому впливі напруги, воно ближче всього по структурі до найбільш небезпечних реальних експлуатаційних впливів.

Найбільш цікавими для випробувань реакторів є схеми випробувань індуктивною напругою. Випробування в режимі резонансу напруг не вимагає застосування дорогого випробувального трансформатора, розрахованого на повну потужність та повну випробувальну напругу реактора. Ця схема полегшує реєстрацію часткових розрядів, але потребує стабілізації мереженої напруги (зміна частоти мереженої напруги призводить до різких коливальних випробувальної напруги). Випробування в режимі резонансу струмів вимагає високовольтного випробувального трансформатора, що є її недоліком, в той же час вона не має залежності впливу зміни частоти мереженої напруги на коливання випробувальної напруги.

З наведених вище методів випробування, найбільш оптимальними в умовах експлуатації будуть методи випробування реакторів індуктивною напругою.

Вдосконалення випробувальних схем по цих методах дасть можливість виконати основні умови діагностування: оцінка функціональної справності; оцінка ступеня зношення устаткування; визначення об'єму ремонту; оцінка залишкового терміну служби, а головне визначення можливості продовження експлуатації без ремонту, оцінювання можливості і умови продовження роботи устаткування, яке має дефекти та розробка заходів, які забезпечують реалізацію ресурсу, що залишився. Станом на сьогодні це є вкрай необхідним, адже стан зношеності силового електрообладнання «великої» енергетики складає 80%.

Випробування високовольтної ізоляції проводяться для рішення різних наукових та практичних задач. За цією ознакою випробування поділяють на дослідницькі та контрольні. Перші проводять для отримання нової інформації про процеси в ізоляції, про характеристики або властивості нових конструкцій. Контрольні випробування мають за мету перевірку відповідності характеристик ізоляційної конструкції встановленим технічним вимогам (нормам). Контрольні випробування є засобом підвищення експлуатаційної надійності високовольтного обладнання. Надійність електричної ізоляції, яка вимагається, досягається перш за все з допомогою раціональної конструкції та використання в ній високоякісних матеріалів, застосування вдосконаленої технології виробництва та строгого дотримання технологічної дисципліни, чіткого виконання вимог правил монтажу та експлуатації.

При контролі якості ізоляції високовольтного обладнання використовують:

- випробування прикладеною високою напругою, еквівалентною очікуваними в експлуатації перенапругами, для перевірки рівнів короткочасної електричної міцності ізоляції; вимірювання характеристик ізоляції (інтенсивність часткових розрядів, значення α) та випробування при підвищених в порівнянні з робочою напругами для оцінки тривалої електричної міцності ізоляції; нерозрушаючі електричні та неелектричні методи випробування з метою опосередкованої оцінки стану ізоляції та її придатності до тривалої експлуатації.

- випробування високою напругою - це один з головних засобів контролю якості ізоляції високовольтного обладнання. Вони є прямою перевіркою рівня коротко часової електричної міцності ізоляції, тобто її здатності витримувати грозові та внутрішні перенапруги. В зв'язку з тим, що електрична міцність високовольтної ізоляційної конструкції складним чином залежить від тривалості та форми напруги, яка впливає на неї, а також від великої кількості різного роду факторів, випробування ізоляції високою напругою проводять в строго регламентованих умовах, які відображають в тій чи іншій мірі характерні умови експлуатації.

На жаль, чітко досягнути таких умов не завжди є реальним. Це не дає можливості отримати співставні та достовірні дані, не зважаючи на те, що електрична міцність при впливі грозових перенапруг перевіряється прикладенням до ізоляції грозових імпульсів стандартної форми, а міцність по відношенню до внутрішніх перенапруг - короткочасною прикладеною напругою промислової частоти або комутаційним імпульсом стандартної форми. Ще складнішою виявляється ситуація при випробуваннях високовольтного обладнання для проведення діагностики їх стану в умовах експлуатації. Перш за все, це стосується технічного стану (і ізоляції в тому числі, як основної параметричної характеристики) високовольтних трансформаторів та шунтових реакторів. Діагностика стану високовольтного обладнання має за мету своєчасне виявлення дефектів ізоляції, які виникають внаслідок різноманітних впливів в процесі експлуатації та скорочують ресурс обладнання, а також дефектів, які розвиваються внаслідок нормального старіння ізоляції. Випробування високою напругою обмежується можливостями створення транспортабельних джерел високої напруги необхідної потужності та безпекою неконтрольованого ушкодження ізоляції високою випробувальною напругою. До нерозрушаючих електричних методів випробувань відносяться вимірювання значень α при напругах значно менших від робочої, а також методи, в яких використовується явище абсорбції зарядів. Норми на значення α ізоляції встановлюються для кожного виду обладнання окремо. Важливим є не тільки абсолютне значення α , але й його стабільність в часі. По значенню даного показника вдається виявити розподілені дефекти, зокрема зволоження ізоляції.

Нерозрушаючі неелектричні методи контролю ізоляції (акустичні, оптичні, хімічні) найбільш широкое застосування отримали методи контролю ізоляції олієнаповненого обладнання, які ґрунтуються на аналізі проб масла. Ці методи застосовуються і для шунтуючих реакторів. Важлива перевага таких методів полягає в тому, що вони не потребують виводу з роботи обладнання, яке перевіряється.

Однак вони придатні для виявлення вже наявних достатньо грубих дефектів ізоляції. Більш досконалим є контроль по складу та концентрації газів, розчинених в маслі. По складу та концентрації газів, розчинених в маслі, можна достатньо достовірно судити про характер дефекту, а по динаміці зміни концентрації – про ступінь небезпеки даного дефекту.

Усі розглянуті вище методи придатні для організації тільки періодичного контролю ізоляції, ефективність якого значно понижується при збільшенні інтервалу часу між випробуваннями, а скорочення цих інтервалів часу обмежується можливостями виводу обладнання з роботи та ростом трудозатрат на проведення випробувань. В зв'язку з цим є доцільним розробка методів та апаратури для проведення постійного! контролю ізоляції під робочою напругою. Основу цих методів складають вимірювання діелектричних характеристик та реєстрація часткових розрядів.

На нашу думку це стає можливим за рахунок розробки та обґрунтування методів випробувань шунтових реакторів підвищеною напругою в умовах експлуатації на основі розробленого діагностичного комплексу діагностики шунтових реакторів для підвищення надійності та якості електропостачання.

Висновки. Моделювання процесів в шунтових реакторах при випробуваннях, адаптація методів випробування з застосуванням підвищеної напруги, до умов експлуатації шунтових реакторів; дослідження та врахування впливів зовнішніх факторів на результати випробувань шунтових реакторів в умовах експлуатації; розробка діагностичного комплексу для діагностики шунтових реакторів дає можливості продовження терміну експлуатації обладнання, яке за діагностичними характеристиками може залишатись в роботі.

Список використаних джерел:

1. Испытания мощных трансформаторов и реакторов. Г.В. Алексеенко., М., Энергоатомиздат. 1978;
2. Изоляция установок высокого напряжения., Кучинский Г.С., М., Энергоатомиздат, 1987.

Стаття надійшла до редакції 18.03.2019