

Лекція 10

3.5.4.Методика виміру ЧР в обладнанні у заводських умовах

Електричні схеми виміру ЧР поділяються на широкосмугові та вузькосмугові.

Широкосмуговою схемою виміру ЧР називається така схема у якої верхня частота смуги пропускання вимірювальної апаратури f_2 набагато більша ніжньої частоти пропускання f_1 . Вузькосмуговою схемою виміру називається така схема, для якої смуга пропускання вимірювальної апаратури f_2-f_1 у багато разів менша ніжньої частоти пропускання f_1 .

Преваги широкосмугової схеми є можливість спостереження загальної картини ЧР на екрані осцилографа, що дозволяє відрізнити реальні ЧР в ізоляції від завад. Крім того, у випадку ЧР, що відбуваються вглибині обмотки трансформатора, ослаблення сигналу ЧР при проходженні по обмотці для широкосмугової схеми значно менше, ніж для вузькосмугової, і не перевищує, як правило, одного порядку. У той же час вузькосмугова схема має кращі показники по зменшенню впливу завад на результати.

При вимірі ЧР у силових трансформаторах (практикується для класів 150 кВ і вище) обов'язковою є застосування широкосмугової електричної схеми виміру ЧР. Вимір вузькосмуговим вимірювальним пристроєм допускається як додатковий.

На рис. 3.26 наведена вимірювальна схема для трансформатора, збуджуваного напругою підвищеної частоти з боку обмотки низької напруги (НН). У якості ємності зв'язку C_0 використовується ємність вводу високої напруги (ВН) або середньої напруги (СН), а вимірювальна схема приєднується до виводу його вимірювальної обкладки (ПВН) або обкладки для виміру $\text{tg}\delta$ вводу.

Обов'язковими елементами вимірювальної схеми є наступні:

- вимірювальний резистор $R_{ш}$, на якому підлягає виміру спадання напруги, створюване імпульсами ЧР. Значення $R_{ш}$ знаходиться у межах від 50 до 1000 Ом;
- фільтр верхніх частот Φ , який має призначення відфільтровувати випробну напругу частотою 50 Гц та її гармонійні складові. Частота зрізу фільтру не повинна бути більшою 30 кГц, заглушування сигналу на частоті 1 кГц — не менше ніж 50 дБ, а на частоті випробної напруги — не менше 60 дБ (число дБ, яке означає ступінь заглушування сигналу у децибелах і дорівнює $20 \lg K$, де K – відношення амплітуд напруг на вході та виході фільтру);
- широкосмуговий підсилювач $У_{ш}$ із коефіцієнтом підсилення не меншим ніж 10^4 , з верхньою частотою пропускання 0,2—0,5 МГц і з атенюатором, що має ступені регулювання підсилення не більш ніж по 20 дБ;

- електронний осцилограф ЕО, який служить для візуального спостереження імпульсів ЧР і для виміру уявного заряду окремих імпульсів. Верхня частота пропускання підсилювача осцилографа повинна бути не менше, ніж у підсилювача $У_{ш}$;

- вимірник ІТ середнього струму ЧР і лічильник імпульсів Сч. Вони є взаємозамінними, оскільки показання лічильника при різних ступенях підсилення дають можливість визначити розрахунковим шляхом середній струм ЧР. Лічильник повинен мати роздільну здатність не більше 100 мкс, ємність накопичувальної пам'яті не менше ніж на 10^5 імпульсів. У якості лічильника можна використати вимірник середньої частоти імпульсів.

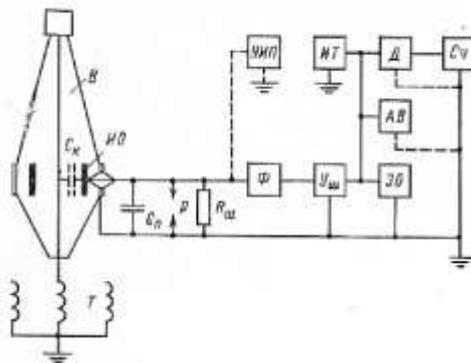


Рис. 3.26. Рекомендована схема виміру ЧР у трансформаторах.

T ~ випробовувана обмотка; C_k — ємність вводу; $C_{п}$ — ємність на вході вимірювальної схеми; P — пробивний запобіжник; $R_{ш}$ — вимірювальний резистор; Φ — фільтр верхніх частот; $У_{ш}$ — широкосмуговий підсилювач; $ЕО$ — електронний осцилограф; $АВ$ — імпульсний амплітудний вольтметр; $УИП$ — вузькосмуговий вимірювальний прилад; $ИТ$ — вимірник середнього струму ЧР; $Д$ — амплітудний дискримінацій; $Сч$ — лічильник імпульсів [17].

Елементи схеми, показані на рис.3.26 пунктиром, необов'язкові. Вузькосмуговий вимірювальний прилад УИП являє собою систему з резонансним підсилювачем та квазіпіковим вольтметром. Як правило, для цього використовують стандартний вимірник радіолавад. Ширина смуги пропускання складає 9 кГц при робочій частоті до 1 МГц. Імпульсний амплітудний вольтметр АВ служить для виміру уявного заряду, дублюючи в такий спосіб електронний осцилограф. Амплітудний дискримінацій Д, який включений перед лічильником, дає можливість одержати число імпульсів при різних ступенях дискримінації.

3.5.5. Методика випробувань ізоляції трансформаторів з виміром ЧР

Високовольтні випробування трансформаторів індукованою напругою промислової частоти допускається проводити згідно графіку (рис.3.27); вимір ЧР виконують при трьох рівнях напруги:

- 1) найбільша робоча напруга $U_{нр}$;
- 2) підвищена напруга $U_{пов}$, рівна 1,5 для класів 150—220 кВ; 1,4 $U_{нр}$ для класів 330—500 кВ; 1,3 $U_{нр}$ для класу 750 кВ;
- 3) випробувальна напруга $U_{исп}$

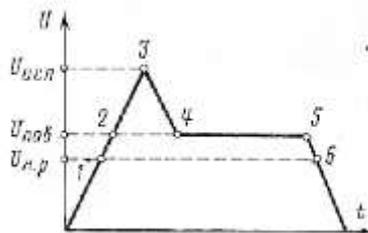


Рис. 3.27. Графік випробування ізоляції трансформатора з виміром ЧР.

Вимір ЧР при рівнях $U_{нр}$ і $U_{пов}$ роблять як на підйомі, так і на спаді випробної напруги. При рівні $U_{пов}$ після прикладання випробної напруги дають витримку 30—60 хв (при кваліфікаційних випробуваннях 60 хв). Ціль цієї витримки - переконатися, що немає тенденції до розвитку ЧР. При цьому підвищення напруги на 30—50% у порівнянні з найбільшою робочою частково компенсує обмеженість часу витримки. Вимірюють ЧР як на початку, так і наприкінці витримки (точки 4 та 5 на рис.3.27), а також не менш 3 разів у ході витримки. При випробній напрузі витримка повинна відповідати ГОСТ 1516.2 (§ 9-2,г); у точках 1, 2 і 6 на підйомі й на спаді напруги витримка визначається часом, необхідним для виміру ЧР, але не більше 10 хв.

Випробування за графіком рис. 3.27 роблять, як правило, пофазно, але можливе також одночасне випробування двох крайніх фаз. В останньому випадку ЧР вимірюють у кожній з них.

Крім зазначеного методу випробування ізоляції трансформаторів використовують й інші методи, а саме:

- при випробуванні індукованою напругою до $U_{исп}$ витримку 30-60 хв на спаді не роблять. Однак, після цього випробування трансформатор збуджується пофазно при підвищеній частоті за схемою досліду холостого ходу (XX) до напруги $U_{пов}$, при якій роблять витримку 30-60 хв (тривале випробування підвищеною напругою). Для трансформаторів класу 750 кВ нормована витримка 60 хв при збудженні до напруги $U_{пов}=1,3$

$U_{н.р}$ (після випробування однохвилинною напругою). Для шунтувальних реакторів класу 750 кВ нормована витримка тієї ж тривалості при напрузі $U_{пов}=1,3 U_{н.р}$.

3.5.6. Припустимі рівні ЧР

При випробуванні силових трансформаторів класів 150-500 кВ напругою промислової частоти ЧР у їхній внутрішній ізоляції не повинні перевищувати наступних рівнів за значенням певного заряду, Кл:

При найбільшій робочій напрузі $3 \cdot 10^{-10}$

При підвищеній напрузі $3 \cdot 10^{-9}$

При випробній напрузі $3 \cdot 10^{-8}$

Значення середнього струму й числа імпульсів ЧР в 1 с не нормуються, так само, як і показання вузькосмугового вимірювального приладу.

У трансформаторах класів 220—750 кВ при випробній напрузі, незважаючи на наявність екрана, може виникнути зовнішня стримерна корона, завади від якої перевищать рівень 10^{-7} Кл. У цьому випадку оцінку стану ізоляції роблять за результатами вимірів при $U_{н.р}$ і $U_{пов}$.

Чутливість вимірювальної схеми для вимірів ЧР при $U_{н.р}$, $U_{пов}$ і $U_{ісп}$ повинна бути настільки високою, щоб мінімальний зареєстрований уявний заряд не перевищував 1/2 відповідного граничного значення.

Крім умови, щоб уявний заряд ЧР не перевершував установлених граничних значень, при випробуванні трансформаторів повинна виконуватися вимога, щоб рівні всіх обмірюваних характеристик ЧР не зростали більш ніж на 10 дБ (приблизно в 3 рази) від витримки при $U_{пов}$. Порівнюють результати вимірів при тій самій напрузі до й після витримки, тобто в точках 1-6 і 4-5 (рис.3.27).

Якщо при випробуванні трансформатора будуть перевищені припустимі рівні ЧР або не виконана вимога про незростання параметрів ЧР, необхідно проаналізувати результати вимірів. Якщо є підстава віднести надмірну інтенсивність або різке зростання ЧР до таких, що спричинені завадами, то повинні бути вжиті заходи для їхнього усунення, після чого проводять повторне випробування трансформатора, до напруги $U_{пов}$. Якщо характер ЧР вказує, що їхнім джерелом є внутрішня ізоляція трансформатора, вдаються до відстою або повторному вакуумному заливанню масла для усунення повітряних включень, а якщо ці міри не знизять рівень ЧР - до огляду активної частини для знаходження дефекту.

Знаходження місця ЧР

Для швидкого виявлення дефекту, що викликає ЧР, бажано в ході вимірів виявити місце їхнього виникнення. Для цього в літературі пропонуються різні методи.

При акустичному методі виміру можна знайти та локалізувати зону ЧР, провівши виміри в різні точках на баку трансформатора з використанням декількох датчиків або одного датчика, по черзі переставляючи його в різні точки конструкції. За допомогою осцилографування визначають запізнювання приходу звукової хвилі в кожен із точок вимірів у порівнянні з електричним сигналом ЧР. Знаючи швидкість звуку в маслі (1,4 м/мс), знаходять по запізненню відстань зони ЧР від кожного датчика. Не менш ніж по трьох вимірах визначають положення зони ЧР у баку трансформатора. Однак наявність магнітопроводу, котушок і ізоляційних бар'єрів порушує прямолінійне поширення звукових хвиль, що може значно ускладнити знаходження місця ЧР.

При електричному методі виміру ЧР можна знайти відстань джерела ЧР від початку обмотки, визначивши за допомогою осцилографа запізнювання сигналу, що розповсюджується уздовж обмотки у порівнянні з початковим імпульсом ЧР, що передається через поздовжню ємність обмотки (швидкість хвилі для дискової обмотки в маслі складає близько 150 м/мкс). Цей метод застосовується тільки до нормальних дискових обмоток і не може бути використаний ні для багат шарових обмоток, ні для обмоток з переплетенням витків, де складова біжучої хвилі в імпульсній напрузі виражена дуже слабо.

Найбільш простий і універсальний спосіб визначення відстані до зони ЧР - це вимір напруги, створеної ЧР, на обох кінцях досліджуваної обмотки. Для автотрансформатора можна робити вимір за схемою рис.3.28 на вводах ВН і СН, тобто на початку й кінці обмотки ВН. При заземленій нейтралі ВН можна включати вимірювальний резистор r (див. рис.3.28) безпосередньо між нейтральним вводом і землею. Відстань від кінців обмотки до зони ЧР визначають по співвідношенню імпульсних напруг, які вимірюються на обох кінцях обмотки. Попередньо ця або однотипна обмотка повинна бути градуїрована шляхом подачі імпульсів на різні її точки.

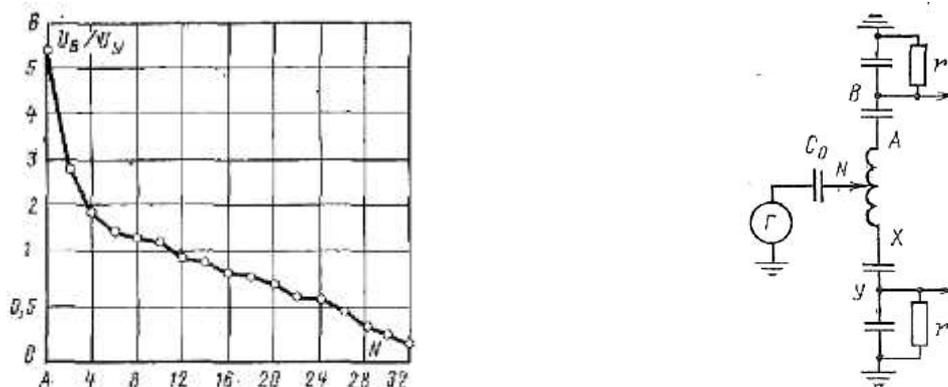


Рис. 3.28. Градуївальна крива для визначення співвідношення напруг від ЧР на кінцях

обмотки. G — генератор прямокутних імпульсів; C_0 —градувальна ємність; N — міжкатушечний перехід; A, X — кінці обмотки; B, Y -точки виміру.

Із градувальної кривої (рис.3.28) витікає, що, залежно від місця подачі на обмотку імпульсу, що імітує ЧР, співвідношення напруг на її кінці змінюється від 5,4 до 0,15. Такий метод визначення місця ЧР є досить орієнтовним.

3.5.7. Вимір ЧР в експлуатації

На працюючих трансформаторах ЧР вимірюють із метою своєчасного виявлення дефектів, що розвиваються, в ізоляції.

Основною особливістю вимірів ЧР в експлуатації є високий рівень завад як від коронуючих проводів, так і від джерел високочастотної напруги (високочастотний зв'язок, радіостанцій й т.п.). Це вимагає застосування спеціальних методів виміру. Рівень непереборних завад при вимірах без виводу трансформатора з експлуатації оцінюється значенням (1—5). $\cdot 10^{-8}$ Кл. Тому таким шляхом можна виявити ЧР порядку 10^{-7} Кл, які можна розглядати як передаварійні.

Вимір ЧР у трансформаторах сам по собі є досить складною технічною й алгоритмічною проблемою, але ще більш складною проблемою є нормування їхнього впливу на стан ізоляції. Під нормуванням будемо мати на увазі офіційно визначені рівні ЧР, перевищення яких повинно призводити до спрацювання систем аварійного захисту, визначення ступеня розвитку тих або інших дефектів ізоляції.

Відсутність конкретної загально визнаної нормативної технічної документації, у якій критерії стану ізоляції були б досить точно відбиті, свідчить про складність і багатогранність даного питання. Всі існуючі стандарти різних країн, включаючи вітчизняний, частіше визначають використовувані терміни, але не містять конкретних таблиць припустимих рівнів ЧР у трансформаторах.

У зв'язку з цим, практичним результатом відсутності нормативної бази по припустимих рівнях ЧР в устаткуванні є те, що реального ефекту від практичного впровадження пристроїв контролю ЧР не дуже багато. Існуюча інформативна база весь час розширюється і є сподівання, що найближчим часом такі критерії (хоча б для певних типів обладнання) будуть сформульовані, що дасть змогу формалізувати роботу автоматичних систем діагностики стану ізоляції за рівнем ЧР.

На сьогоднішній час необхідно зазначити, що всі стандарти по ЧР визначають деякий набір первинних «інтегральних» величин, які можуть розраховуватися або безпосередньо вимірюватися при випробуванні обладнання на рівень ЧР. Стандарти різних країн можуть

розрізнятися в деталях, але, в основному, це варіації того самого. Можна взяти стандарт будь-якої країни, і він буде майже повністю відповідати стандартам інших країн. Так американський стандарт D 1868-83 (Reproved 1998) “Standard Test Method for Detection and Measurement of Partial Discharge (Corona) Pulses in Evaluation of Insulation Systems”, європейський стандарт IEC Publication 60270 “High-voltage test techniques - Partial discharge measurements” та документ Російської Федерації, що має назву «Рекомендації з реєстрації часткових розрядів в ізоляції трансформаторного устаткування в експлуатаційних умовах» визначають характеристику ЧР як «умовний» заряд, який потрібно додатково миттєво інjektувати у вимірювальну схему, щоб відновити рівновагу, порушену виниклим імпульсом ЧР. Таким чином, що дуже важливо, ми не знаємо величину реального заряду імпульсу ЧР, наприклад, усередині газового включення, а вимірюємо тільки реакцію нашої вимірювальної схеми на цей розряд. Вимірюється такий заряд у пікокулонах (пКл). Якщо скласти всі заряди за одну секунду то вийде струм ЧР, тобто той струм, що протікає в схемі додатково за рахунок ЧР. У середньому цей струм є чисто активним і він характеризує втрати через ЧР.

Таким чином, система вимірів ЧР в експлуатації повинна розраховувати всі ці параметри, але оскільки питання критеріїв у стандартах не вирішене, то використати можна лише поняття тренду. Коли при тривалому спостереженні за устаткуванням є стійка тенденція до збільшення інтенсивності прояву ЧР, то маємо справу з дефектом, що розвивається. Якщо процес утворення ЧР носить стабільний характер, то практично при будь-якому рівні не слід говорити про наявність дефекту.

Використовувані в практиці системи вимірів рівня ЧР в експлуатації можуть мати неприпустимо низьку вірогідність діагностичних висновків з тієї причини, що в контролюючому приладі не реалізовані алгоритми, що розділяють між собою імпульси завад, привнесені в трансформатор ззовні, і дійсні ЧР. Саме із цієї причини, системи сигналізують про виявлені дефекти тоді, коли їх немає, і «пропускають» явно виражені дефектні стани.

Сигнали зовнішніх завад, у загальному випадку, не відрізняються від сигналів ЧР, тому що їхнім джерелом можуть бути ЧР у навколишньому обладнанні. У зв'язку з цим існують декілька методів чи прийомів боротьби з завадами – від екранування та застосування акустичних методів реєстрації до впровадження алгоритмів аналізу форми, тривалості та напрямку розповсюдження імпульсу.

Способи відмежування від завад залежать від способів виміру ЧР. В процесі експлуатації високовольтного обладнання застосовуються наступні системи, сигнали з яких формують відповідні канали вимірювань ЧР:

- електричний канал –забезпечує вимір ЧР за допомогою високочастотних трансформаторів струму, які працюють в діапазоні 0,5-30 МГц, та підключаються в залежності від вимог обладнання – або до виводу ПВН (пристрою для виміру напруги) на високовольтному ввіді, або встановлюються на нейтралі або шині заземлення;
- електромагнітний канал – забезпечує вимір ЧР за допомогою спеціальних антен у діапазоні 600-900 МГц, які встановлюються поблизу обладнання та не мають безпосереднього електричного контакту з устаткуванням;
- акустичний канал – забезпечує вимір ЧР по акустичним коливанням у діапазоні 100-200кГц за допомогою спеціальних мікрофонів, встановлених на баку обладнання.

У разі використання електричного каналу, одним із способів розділення сигналів завад і сигналів ЧР є окремий вимір сигналів зовнішніх завад при відсутності напруги на контрольованому об'єкті (вимір фону) [23]. Потім на об'єкт подається напруга й проводиться ще один вимір. У цьому випадку реєструється сума сигналів ЧР і зовнішніх завад (сигнал). Вирахування результатів цих вимірів дозволяє виділити тільки сигнали ЧР (сигнал - фон). На рис.3.29 показані результати вирахування фону. Як видно з рисунку після вирахування фону ефективна інтенсивність сигналів завад знизилася в кілька разів (інтенсивність сигналів ЧР не змінюється при вирахуванні) і стає видно, що зареєстровані сигнали дає негативна (або інверсна позитивна) корона, а не ЧР в об'єкті (фазовий кут -90^0 , один пік на періоді).

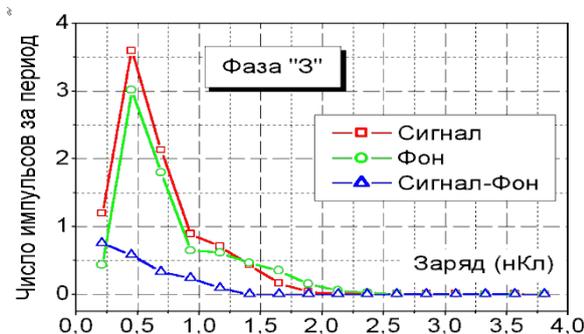


Рис. 3.29. dN/dQ залежності сигналу, фону й різниці сигнал-фон на фазі "С" групи 750 кВ (електричний канал).

Наведений метод не є ідеальним через те, що інтенсивність завад може змінюватися в часі, однак, як видно з наведених даних, дозволяє в значній мірі знизити їхній вплив і виділити сигнали ЧР із сигналів зовнішніх завад. Якщо ретельно вимірювати рівень фону як до, так і після експерименту, то стає можливим не тільки істотно знизити вплив завад, але й оцінити реальну похибку виміру інтенсивності сигналів ЧР.

Оскільки повністю виключити сигнали корони з результатів вимірів ЧР у такий спосіб неможливо, було запропоновано застосувати аналіз амплітудно-фазового розподілу сигналів

(амплітудно-фазової діаграми - АФД). Сигнали корони мають характерні АФД, що істотно розрізняються на позитивному й негативному напівперіодах напруги. Сигнали ЧР, як правило, мають практично симетричний розподіл. Існують і інші ознаки, що дозволяють досить надійно розрізняти сигнали ЧР від дефектів паперово-масляної ізоляції й корони шляхом аналізу їх АФД. Метод АФД є потужним засобом і дозволяє не тільки розділяти сигнали ЧР і корони, але й розрізняти сигнали ЧР від різних джерел (рис.3.30).

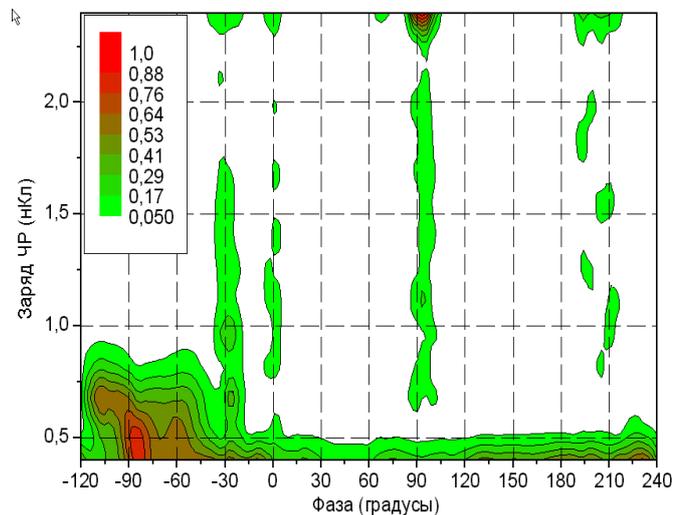


Рис.3.30.. АФД. Сигнали ЧР трифазного трансформатора АТДЦТН-200000/330/110, фаза «С».

На АФД чітко розрізняються сигнали від 6 джерел. Це сигнали позитивної корони фази С (фаза 90° , заряд більше 2.3 нКл), негативної корони фази С (фаза -90° , заряд до 1 нКл), позитивна корона фази В (фаза -30° , заряд більше 2.3 нКл), позитивна корона фази А (фаза 210° , заряд більше 2.3 нКл), міжфазна позитивна корона між близько розташованими фазами А та В (фаза 0° , заряд більше 2.3 нКл), міжфазна негативна корона між фазами В та С (фаза -60° , заряд 0.6 нКл).

При застосуванні електромагнітного методу виміру інтенсивності ЧР, як уже згадувалось, використовують антену для діапазону 600-900 МГц, розташовану на відстані 4-5 метрів від об'єкту. Сигнали корони, як правило, значно довші й повільніші, ніж сигнали ЧР, а значить мають різні частотні спектри. Це дозволяє значно зменшити або повністю виключити сигнали корони, проводячи виміри у діапазоні більш високої частоти. На рис.3.31 показано співвідношення сигналів ЧР від дефекту ізоляції й корони, отримані у двох частотних діапазонах - до 30 МГц (електричний канал) і в діапазоні частот 700 - 800 МГц (електромагнітний канал). Як видно з рисунка, у високочастотному діапазоні сигнали корони виявляються повністю подавленими, у той час як сигнали ЧР від дефекту паперово-масляної ізоляції надійно реєструються.

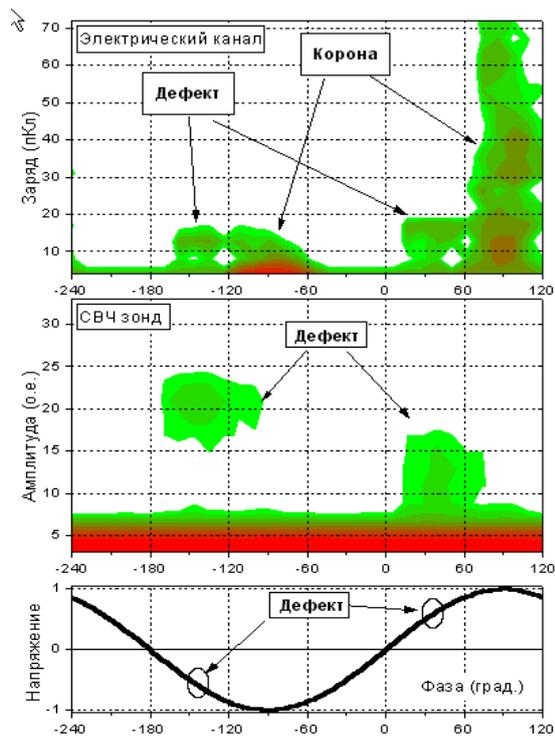


Рис.3.31. Сигнали ЧР ТТ ТФРМ-330 отримані з датчика електричного каналу, підключеного в коло заземлення нульової обкладки та з датчика електромагнітного каналу (СВЧ зонд) з відстані 5 м від об'єкта. Сигнали корони із зарядом більше 1 нКл повністю подавлені в електромагнітному каналі.

При застосуванні акустичних методів вимірів ЧР, незважаючи на його порівняно низьку чутливість і досить високий рівень імпульсних акустичних завад від елементів конструкції трансформатора, з'являється можливість істотно доповнити одержувану інформацію що й допомогти локалізувати джерело сигналів.

Істотну інформацію дає й вимір сигналів ЧР протягом досить тривалого часу. При цьому з'являється можливість реєстрації досить рідких спалахів сигналів ЧР, як своєчасного попередження про погіршення стану ізоляції устаткування і реєстрації процесів, викликаних комутацією устаткування, що дозволяє оцінити запас електричної міцності ізоляції.

Крім апаратних способів виключення завад з результатів вимірів ЧР, на практиці використовуються ряд алгоритмічних (або програмних) методів на рівні обробки вимірювальної інформації.

Всі алгоритми фільтрації імпульсів розділені на алгоритми виявлення вірогідності й аналізу одиничного імпульсу, що надійшов по одному каналу, і алгоритми синхронного, взаємного аналізу декількох імпульсів ЧР, що надійшли в прилад по декількох вхідних каналах одночасно.

В основі роботи алгоритмів автономної фільтрації імпульсів ЧР від завад лежить декілька основних визначень.

По-перше, імпульс, потенційно, вважається дійсним тільки в тому випадку, коли він має частотний діапазон від одного до десяти мегагерц. Саме в цьому діапазоні частот звичайно збуджуються імпульси від ЧР, що виникають в ізоляції трансформаторів.

По-друге, кожний імпульс, що прийшов з первинного датчика й має зазначений діапазон частот, у режимі реального часу, автоматично перевіряється на довжину переднього фронту, на мінімальну й максимальну тривалість, на наявність паузи після імпульсу, на відсутність періодичних коливань у завершальній частині імпульсу.

Після всіх цих перевірок, коли робиться припущення, що «зареєстрований імпульс дуже схожий на імпульс від ЧР в ізоляції», необхідно застосувати спеціалізовані алгоритми, метою яких є виявлення місця виникнення зареєстрованих ЧР. Всі ці алгоритми працюють на основі взаємного аналізу ЧР, які «прийшли» від декількох первинних датчиків, розташованих в різних місцях трансформатора.

Додаткову можливість для відмежування від завад дає «прив'язка» всіх імпульсів до синусоїди живильної мережі, з розбивкою всіх імпульсів по деяких фазових зонах, ширина яких варіюється від 7,5 до 15 градусів. Для цього реєстрацію всіх імпульсів необхідно виконувати з урахуванням фази робочої напруги на високовольтному пристрої, що також дозволяє, надалі, більш ефективно провести аналіз стану ізоляції.

Використання алгоритмів синхронного, взаємного аналізу декількох імпульсів ЧР дозволяє більш обґрунтовано ухвалювати рішення щодо того, що імпульс виник усередині трансформатора, а не прийшов ззовні, із системи, тобто не є шумовим. Крім того, за допомогою цього алгоритму можна більш диференційовано виявити місце виникнення проблемного місця в ізоляції трансформатора, наприклад, виявити дефектну фазу.

Використання зазначеного алгоритму полягає в практичному застосуванні простого й фізично обґрунтованого припущення про загасання імпульсу усередині контрольованого об'єкта. Чим більше буде відстань від місця виникнення імпульсу ЧР до конкретного вимірювального датчика, тим менше буде амплітуда зареєстрованого сигналу, відгук від реального імпульсу. Відповідно, порівнюючи амплітуди сигналів від одного, синхронно зареєстрованого імпульсу, можна досить вірогідно виділити зону його виникнення.

Ступінь загасання імпульсів від ЧР усередині контрольованого об'єкта, у точках розташування вимірювальних датчиків, може бути визначена експериментально, при первинному калібруванні об'єкта з використанням калібровочного генератора. Наприклад, калібровані імпульси подаються у фазу «А» трансформатора, при цьому виконується порівняння амплітуд сигналів з датчиків, установлених на всіх фазах. Загасання імпульсів ЧР

усередині трансформатора пропорційно відношенню амплітуд зареєстрованих каліброваних імпульсів. Далі вся процедура амплітудного калібрування повторюється з іншою фазою контрольованого трансформатора, і т.д. На підставі проведення експериментальних калібрувальних робіт може бути складена реальна матриця взаємного загасання імпульсів ЧР усередині трансформатора, виходячи зі співвідношення амплітуд сигналів від установлених датчиків ЧР. Теоретично, розрахунковим шляхом, скласти таку матрицю взаємних загасань досить складно, через високу трудомісткість, що виникає з необхідності обліку дуже великої кількості конструктивних і технологічних параметрів трансформатора.

Знання матриці коефіцієнтів загасання імпульсів усередині трансформатора дозволяє досить коректно диференціювати місце виникнення імпульсів ЧР. Особливо ефективно це відбувається при одночасному, синхронному вимірі амплітуд імпульсів по декількох каналах, мінімально по двох. При цьому основний канал, по якому реєструється сигнал, називається **вимірювальним**, а допоміжний, по якому реєструється імпульс порівняльної амплітуди, звичайно називають **шумовим**.

Для виявлення місця виникнення імпульсу ЧР по категоріях «усередині трансформатора», або «зовні трансформатора», до шумового каналу вимірювального приладу варто підключати датчики, розташовані на деякому віддаленні, наприклад на шинопроводі або на поруч розташованому високовольтному пристрої. Порівняння амплітуд сигналів від цих датчиків і «внутрішніх» датчиків іноді дозволяє вирішити зазначену проблему.

Аналіз місця виникнення імпульсів ЧР усередині трансформатора, з використанням шумових каналів, повинен виконуватись завжди тільки в режимі реального часу, синхронно, послідовно аналізуючи кожний імпульс.

Однак, використання матриць загасання не дозволяє відбудуватися від шкідливого впливу імпульсів корони, вплив якої в трансформаторах дуже великий. Причиною цього є те, що амплітуда імпульсів від коронних розрядів у трансформаторах багаторазово, іноді навіть у десятки й сотні разів, перевищує амплітуду «корисних» імпульсів від ЧР. Через це порівняння амплітуд таких імпульсів, зареєстрованих по декількох каналах синхронно, з використанням шумового каналу й матриць перенаведення, не завжди є ефективним.

Найбільш дієвим способом боротьби із впливом імпульсів від корони в трансформаторах є використання спеціалізованих датчиків корони, а також алгоритмів аналізу полярності імпульсів від ЧР, що надійшли в прилад по двох каналах одночасно. При цьому передбачається одночасне використання декількох датчиків реєстрації ЧР, що працюють на різних фізичних принципах. Оптимальним, наприклад, є одночасне використання двох датчиків, що реєструють електричну й магнітну складову від того самого

імпульсу. Розташовуватися ці додаткові, опорні датчики ЧР, повинні в місцях максимального впливу коронних розрядів, там, де вони попадають усередину трансформатора, тобто поруч із вводами.

З усіма системами контролю ізоляції можна використати високочастотний датчик струму, що реєструє сигнал від ЧР з ємнісного дільника, яким є маслonaповнений ввід трансформатора. Такий датчик ЧР, по своїй фізичній природі, реєструє наведений у ввіді трансформатора сигнал, пропорційний напруженості електричного поля від імпульсу струму ЧР.

Для реєстрації магнітної складового поля від імпульсів ЧР у трансформаторах необхідно використати спеціалізований датчик корони, який монтується поруч із кожним контрольованим вводом трансформатора таким чином, щоб він був не вище монтажного металевго корпусу вводу, і не виступав над металевими конструкціями трансформатора, тим самим не створював умов для виникнення додаткових розрядів.

Сигнали з цих датчиків синхронно обробляються. Ознакою того, що імпульс, передбачуваний як імпульс від ЧР, насправді являється імпульсом корони, є, наприклад, збіг полярності сигналів від двох датчиків. Такий імпульс не реєструється. Ознакою для реєстрації «дійсного» імпульсу ЧР, що виник усередині трансформатора, є розбіжність фаз сигналів від двох датчиків. Використання для селекції імпульсів від корони полярності сигналів від двох датчиків може бути більш ефективним прийомом, ніж використання шумових каналів і матриць перенаведення.

Крім цього, потрібно зазначити, що кожен із вищеописаних алгоритмів розпізнавання імпульсів ЧР не є абсолютним, використання кожного з них дозволяє, лише тією чи іншою мірою, підвищити вірогідність підсумкового діагностичного висновку.

Таким чином, при створенні реєстрації ЧР в процесі роботи енергоустановки, необхідно:

- забезпечити апаратну можливість реалізації електричного каналу (частоти до 30 МГц), електромагнітного каналу (частоти від 500 до 900 МГц) і акустичного каналу (частоти, як правило, від 80 до 200 кГц);
- реєструвати не тільки амплітуду (заряд), але й фазу сигналів (для одержання АФД);
- забезпечити реєстрацію й запам'ятовування даних протягом досить тривалих інтервалів часу в автоматичному режимі;
- забезпечити реалізацію алгоритмів розпізнавання імпульсів ЧР та імпульсів корони та імпульсних завод іншого походження.