

АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ОСОБЛИВОТІ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИТУ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА АВТОТРАНСФОРМАТОРІВ 330-750 кВ

Тимохін О.В., к.т.н. ст. викл., Пляс О.В., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Силові трансформатори (Т) та автотрансформатори (АТ) на підстанціях напругою 330-750 кВ відносяться до основного і особливо відповідального електроустаткування та призначенні для перетворення однієї величини змінної напруги і струму до іншої величини напруги і струму тієї ж частоти без зміни потужності. Від надійного функціонування цього електроустаткування залежить якісне електропостачання електроенергії споживачам та функціонування енергосистеми в цілому. Релейні захисти Т та АТ, як основного і особливо відповідального устаткування підстанцій має ряд особливостей.

Мета роботи. Розглянути види пошкоджень та особливості РЗ Т та АТ 330-750 кВ та провести розрахунок основного захисту для АТДЦНТ-125000/330/115/11 кВ, як об'єкту захисту.

Матеріали і результати дослідження. Аналіз пошкоджень Т та АТ та їх особливості показав, що незважаючи на те що Т та АТ не мають рухомих частин (окрім регулюючих пристроїв «регулювання під напругою» (РПН) та «переключення без збудження» ПБЗ) в процесі експлуатації мають місце пошкодження та порушення нормального режиму роботи Т та АТ.

А саме до основних пошкоджень Т та АТ слід віднести:

- міжфазні, одно-, дво- та трифазні короткі замикання (КЗ) в обмотках Т та АТ;

- одно- та двофазні КЗ на землю;

- міжвиткові замикання у обмотках Т та АТ;

- замикання між фазами та між фазами на землю на вводах Т та АТ;

- перекриття ввідних ізоляторів на бак [1, 2, 6].

Також при роботі Т та АТ можуть виникати порушення нормального режиму роботи Т та АТ, що як правило теж потребують дій РЗ, а саме:

- проходження через Т та АТ надструмів внаслідок пошкодження іншого електроустаткування, що електрично пов'язані з Т та АТ;

- пошкодження масла у масляних Т та АТ, що призводить до погіршення його діелектричних властивостей, підвищення тиску всередині баку Т чи АТ та виділення горючих газів;

- пониження рівня масла у баку Т та АТ внаслідок розгерметизації баку Т та АТ [4, 5].

Релейний захист (РЗ) є найважливішою частиною автоматики електроустановок і енергосистем. Її основне завдання полягає в тому, щоб швидко визначити ушкоджену ділянку електричної системи швидко видати керуючий сигнал на його відключення. Додаткове завдання релейного захисту полягає в сигналізації про виникнення ненормальних режимів.

Щодо РЗ Т та АТ 330-750 кВ характерні:

- застосування двох комплектів основних захистів;
- використання вимикачів з пофазним приводом для забезпечення аварійного вимкнення та наступного увімкнення лише однієї пошкодженої фази ЛЕП;

- обов'язкове становлення систем пожежогасіння [5].

Для Т та АТ використовуються РЗ від наступних видів аварійних і ненормальних режимів роботи:

- багатофазних замикань в обмотках і на їхніх виводах;
- внутрішніх ушкоджень (виткових замикань в обмотках і “пожежі сталі” магнітопроводу);
- однофазних замикань на землю;
- надструмів в обмотках, обумовлених зовнішніми КЗ;
- надструмів в обмотках, обумовлених перевантаженням (якщо вона можлива);
- підвищення тиску в баку Т або АТ;
- зниження рівня масла [1, 3, 4, 5].

Розрізняють основні та резервні РЗ. До основних РЗ трансформаторів та автотрансформаторів відносять диференціальний струмовий захист (ДСЗ) трансформатора, газовий захист трансформатора, газовий захист РПН, струмова відсічка, що встановлюється із сторони живлення на трансформаторах малої потужності, ДСЗ ошикування нижчої напруги АТ, ДСЗ ошикування вищої та середньої напруг АТ [3, 5, 4].

Газовий захист Т або АТ як правило містить 2 елементи: сигнальний та вимикаючий. Сигнальний діє на сигнал при низькому газоутворенні і при пониженні рівня масла. Захист діє на відключення Т або АТ по всіх вводах із заборною автоматичного повторного включення (АПВ) при інтенсивному газоутворенні і при русі масла між баком та розширювачем із швидкістю 0,6-1,5 м/с [1, 5].

Газовий захист РПН виконується із застосуванням струмового реле, що встановлюється між баком РПН та розширювачем і діє на відключення Т або АТ по всіх вводах із заборною АПВ [1].

Диференціальний захист Т та АТ реагує на всі види КЗ (за виключенням однофазних замикань на землю в обмотках 6-10-35 кВ) в зоні, що обмежена трансформаторами струму (ТС) і діє на відключення Т або АТ по всіх вводах із заборною автоматичного повторного включення (АПВ).

Диференціальний захист ошикування вищої (середньої) напруги АТ охоплює зону між вбудованими ТС АТ і виносними ТС вимикачів та діє без витримки часу на відключення АТ із усіх сторін без заборони АПВ АТ.

Диференціальний захист кіл низької напруги Т та АТ захищає зону до якої входять лінійний трансформатор, реактор та ошикування кіл низької напруги від вбудованих ТС АТ до виносних ТС у комірці вводу низької напруги. діє на відключення Т або АТ по всіх вводах із АПВ [1, 3, 5].

До резервних РЗ відносять максимально-струмовий захист (МСЗ) з пуском за напругою або без пуску за напругою, а на АТ транзитних підстанцій напругою 220-750 кВ в якості резервних РЗ використовують дистанційні захисти (ДЗ) та направлені струмові захисти нульової послідовності (НСЗНП).

МСЗ, як правило, виконується з 2-ма витримками часу: з меншою витримкою для сторони 6-10-35 кВ, та більшою для відключення трансформатора з усіх сторін.

Дистанційні захисти призначені для відключення міжфазних коротких замикань (КЗ), а НСЗНП – для відключення одно- та двофазних КЗ на землю. Як правило, на вищій та середній стороні АТ встановлюється двоступенева ДЗ і 3-х ступенева НТЗНП [1, 5].

Для ДЗ та НТЗНП передбачене оперативне прискорення першої та другої ступенів, що вводиться оперативним персоналом при виведенні з роботи диференціального захисту трансформатора, диференціального захисту ошикування вищої напруги АТ та диференціального захисту шин середньої напруги. Робиться це з метою прискорення дії резервних захистів при близьких зовнішніх КЗ або КЗ в самому АТ за умов виведення з роботи основних захистів.

Також на АТ 330-750 кВ при використанні вимикачів із пофазним керуванням передбачають захист від неповнофазного режиму, що виникає при включенні вимикача однією або двома фазами. Захист діє на вимикання всіх трьох фаз [5, 6].

В якості захисту від перенавантаження використовується струмовий захист, що діє на сигнал із витримкою часу при перенавантаженні за струмом будь-якої із обмоток трансформатора [6].

Виходячи із проведеного аналізу для дослідного АТ – АТДЦНТ-125000/330/115/11 кВ, що встановлено на ПС 330/110/10 кВ «Черкаська» було обрано релейний термінал Siemens 7UT87, що реалізує основний перелік захистів АТ. А саме: диференціальний захист, диференціальний захист ошикування, захист від перенавантажень, захист від струмів зворотної послідовності, МСЗ від міжфазних КЗ, струмовий захист нульової послідовності. Для основного диференціального захисту було проведено розрахунки уставок спрацювання на основі схеми первинних приєднань та характеристик ТС приєднань, та розрахункових значень струмів КЗ.

Проектом ПС 330/110/10 кВ «Черкаська» передбачено дві групи ТС приєднань із різними коефіцієнтами трансформації – 600/5 та 1000/5. Максимальне значення вторинного навантаження для цих ТС наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку уставок.

Тип ТС	Ктт	Z навантаження, Ом	
		3-ф. к.з.	1-ф. к.з.
ТВ-110/18	600/5	2.17	3.8
ТВ-110/18	1000/5	2.8	5.3

Розрахунковий струм трифазного КЗ на шинах 330 кВ ПС 330/110/10 кВ «Черкаська» становить – 22,396 кА та 16,12 кА для однофазного КЗ. Мінімальний струм двофазного КЗ при КЗ на шинах в режимі випробування – 2880 А. Найбільший допустимий струм – 408 А.

Для розрахунку уставок обрано за базовий ТС приймається ТС з $K_{mm} = 100/5$, $K_{норм} = 1$. Для ТС з $K_{mm} = 600/5$ та розраховується нормалізуючий коефіцієнт ТС як:

$$K_{норм} = \frac{600/5}{1000/5} = 0,6 \quad (1)$$

Уставка спрацювання по диференціальному струму розраховується як:

$$\begin{aligned} I_{с.з} &= k_{відл} \cdot I_{max.ном} = 1,2 \cdot 1000 = 1200 \text{ А} \\ k_{ч} &= I_{КЗ.min} / I_{10\%} = 2880 / 1200 = 2,4 \geq 2 \end{aligned} \quad (2)$$

де $k_{відл}$ – коефіцієнт відлаштування від стрибків струму намагнічування, який становить 1-1,3.

Для вибір коефіцієнта гальмування k_m потрібно визначити найбільше значення коефіцієнта завантаження ТС:

$$U = I_{КЗ.max.розр} / I_{10\%} \quad (3)$$

де $I_{10\%}$ визначається для ТС з найбільшим вторинним навантаженням ($Z_{н.max}$).

При $K_{mm} = 600/5$, $Z_{н.max} = 2,17 \text{ Ом}$ для трифазного КЗ, та $Z_{н.max} = 3,8 \text{ Ом}$ для однофазного КЗ.

При $Z_{н} = 3,8 \text{ Ом}$ по кривим граничної кратності знаходимо $I_{10\%} = k \cdot I_{ном} = 18 \cdot 600 = 10800 \text{ А}$, тоді

$$U = 22380 / 10800 = 2,07 \quad (4)$$

При $K_{mm} = 1000/5$, $Z_{н.max} = 5,3 \text{ Ом}$ для трифазного КЗ, та $Z_{н.max} = 2,8 \text{ Ом}$ для однофазного КЗ.

При $Z_{н} = 5,3 \text{ Ом}$ по кривим граничної кратності знаходимо $I_{10\%} = k \cdot I_{ном} = 14,5 \cdot 1000 = 14500 \text{ А}$, тоді

$$U = 22380 / 14500 = 1,54 \quad (5)$$

Прийmemo $U = 2,07$, тоді

$$K_m = \frac{U}{4\sqrt{U-1}} = \frac{2.07}{4\sqrt{2.07-1}} = 0.5 \quad (6)$$

Виконаємо контроль диференційного струму. Струм спрацювання (Іс.з.) $I_{c.z} = 0,05 \cdot 1000 = 50A$ для $K_{mm} = 1000/5$ та $I_{c.z} = 0,05 \cdot 600 = 30A$ для $K_{mm} = 600/5$.

Висновки. Аналіз пошкоджень Т та АТ 330-750 кВ показав, що для вирішення задачі захисту Т та АТ 330-750 кВ необхідний комплекс релейних захистів, до яких входять основні захисти, серед яких диференціальний струмовий захист, газовий захист, газовий захист РПН, струмова відсічка, диференціальний струмовий захист ошинування нижчої напруги АТ, диференціальний струмовий захист ошинування вищої та середньої напруг АТ, та резервні захисти, до яких належать максимально-струмовий захист з пуском або без пуску за напругою, дистанційні захисти та направлені струмові захисти нульової послідовності. Враховуючи особливу відповідальність Т та АТ 330-750 кВ передбачається резервування комплектів релейних захистів для кожного Т та АТ 330-750 кВ. Якості основного захисту АТДЦНТ-125000/330/115/11 кВ було обрано диференціальний захист, що реалізовано на базі терміналу Siemens 7UT87 та розраховано уставки спрацювання для нього.

Перелік посилань

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения Учебник для вузов. 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2006. – 639 с.
2. Голота А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах. Навчальний посібник. - Київ: - 2006. – 571 с.
3. Чернобровов Н.В. Релейная защита. Учебное пособие для техникумов. Изд. 4-е, перераб. и доп. - Москва – Энергия – 1971 - 624 с.
4. Релейний захист [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org>
5. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. - Київ - Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
6. Защита и электроавтоматика силовых трансформаторов и автотрансформаторов (АТ) [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://foraenergy.ru/zashhita-i-elektroavtomatika-silovykh-transformatorov-i-avtotransformatorov-at/>