

СПОСОБИ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ПОХИБОК ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ В ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ НА РОБОТУ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

*Буханенко О.І., студент, Дмитренко О.О., к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем*

Вступ. Проблема забезпечення належного функціонування електромагнітних трансформаторів струму (ТС) в перехідних режимах неодноразово обговорювалася. Небезпека перехідних режимів роботи ТС з аперіодичними складовими в первинних струмах полягає в тому, що при цьому похибки ТС є суттєво вищими, ніж в усталеному режимі. Перший момент насичення ТС, навантаження на який обрано за умовою 10% похибки в усталеному режимі, може виникнути практично через 2-3 мс після початку короткого замикання (КЗ). Для запобігання насичення ТС в перехідних режимах потрібно збільшення площі перетину жил контрольних кабелів, що є нереальним з багатьох причин.

Похибки ТС мають найбільший вплив на роботу поздовжніх диференціальних захистів (ДЗ), що у свою чергу впливає на виникнення небезпеки їх неселективного спрацьовування при КЗ поза зоною дії. В інших пристроях захисту ці похибки призводять зазвичай до уповільнення в спрацьовуванні.

В останнє десятиліття практично всі нові пристрої ДЗ реалізуються на основі мікропроцесорній елементній базі, що дає нові можливості, в тому числі і щодо забезпечення належного функціонування ДЗ в перехідних режимах. У доповіді наводиться порівняльний аналіз напрямків і методів забезпечення належного функціонування мікропроцесорних поздовжніх диференціальних захистів в перехідних режимах КЗ поза зоною дії, що супроводжується насиченням магнітопроводів ТС.

Мета роботи. Розглянути можливі методи вдосконалення характеристик вимірювальних трансформаторів струму для диференційного захисту енергетичних об'єктів.

Матеріали дослідження. Відомі наступні напрямки забезпечення належного функціонування ДЗ в перехідних режимах при КЗ поза зоною дії:

- Розробка та впровадження нових типів ТС.
- Вдосконалення характеристик існуючих захистів (зокрема, вибір коефіцієнтів гальмування поздовжніх диференціальних захистів, що мають характеристику гальмування у вигляді ламаної лінії, з урахуванням похибок ТС в перехідних режимах).
- Компенсація похибок насичених ТС.

Розробка і впровадження нових типів ТС. Цей напрямок вимагає розробки та освоєння у виробництві спеціальних ТС. Виключення насичення ТС може бути досягнуто також шляхом розмагнічування магнітопроводу, особливої побудови ТС, введення немагнітного зазору, застосування магнітопроводу з частковим зазором та ін. Слід також зазначити, що при

широкому впровадженні нових типів перетворювачів струму виникає необхідність заміни великої кількості ТС, встановлених на діючих електростанціях і підстанціях, що представляє собою серйозну техніко-економічну задачу. Із зазначеної причини має розвиватися і інший напрямок робіт - розробка ДЗ, практично нечутливих до похибок ТС в перехідних режимах.

Вдосконалення характеристик існуючих захистів. Оптимізація параметрів гальмівної характеристики ДЗ пов'язана з деяким зниженням швидкодії і чутливості пристроїв ДЗ при КЗ в зоні дії і не дає можливості подальшого їх вдосконалення в напрямку підвищення ефективності функціонування. Пропозиції щодо застосування додаткових елементів в диференціальній ланцюга, використання ознаки КЗ поза зоною дії і диференційно-фазного принципу досить докладно були досліджені в [1], де показано, що додаткові резистори та дроселі в ланцюгах диференціальних струмів не завжди забезпечують повноцінну відокремлення від підвищених похибок ТС і можуть призводити до перенапруг у вторинних колах ТС при КЗ в зоні дії. Напівпровідникові ключі в комутованих реле схильні до впливу електромагнітних завад. Загальним недоліком зазначених заходів є їх придатність тільки в схемах захистів шин з ТС, які мають однакові номінальні струми і коефіцієнти трансформації. Використання факту випередження струмами в плечах ДЗ диференціального струму є важкою задачею в захисті трансформаторів і автотрансформаторів, що мають РПН (через наявність струму небалансу $I'_{нб}$) [2]. Таким чином, дані заходи, не володіють універсальністю і не у всіх випадках забезпечують необхідну ефективність функціонування зазначених захистів.

Компенсація похибок насичених ТС. Суть методу компенсації похибок ТС (відновлення первинного струму ТС) при насиченні магнітопроводу в найпростішому випадку полягає в обчисленні за вибірками вторинного струму дискретних значень намагнічуючого струму і наведеного до вторинного ланцюга ТС первинного струму.

Можливість компенсації похибок можна пояснити розглядом роботи ТС з апроксимацією спрямленої в насиченій частині характеристики намагнічування (СХН), схема заміщення якого наведена рис. 1а. Вираз для миттєвого значення вторинного струму ТС з СХН при синусоїдальному первинному струмі і активному характері вторинного ланцюга в проміжку, коли ТС насичений, має вигляд:

$$i_2 = \frac{\omega L}{\sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_{0S}^2}} I_{m1} \sin\left(\omega t + \arctg\left(\frac{1}{\omega T_2}\right)\right) + A_2 e^{\left(\frac{-t-t_s^n}{T_2}\right)}$$

Аналогічно для намагнічуючого струму:

$$i_0 = \frac{\omega L}{\sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_{0S}^2}} I_{m1} \sin\left(\omega t - \arctg(\omega T_2)\right) + A_2 e^{\left(\frac{-t-t_s^n}{T_2}\right)}$$

де R_2 і L_{os} - активний опір вторинного ланцюга і індуктивність намагнічуючої гілки ТС в насиченій частині характеристики; T_2 - постійна часу вторинного контуру насиченого ТС; A_2 - амплітуда експоненційної складової струму, що виникає внаслідок насичення магнітопроводу [3].

Таким чином при відомому вторинному струмі ТС з СХН, обчисливши амплітуду і фазу періодичної складової цього струму, знаючи R_2 і L_{os} , можна знайти амплітуду і фазу намагнічуючого і - шляхом геометричного підсумовування зазначених струмів - приведеного первинного струмів. При цьому аперіодичні складові у вторинному і струмі намагнічування можна не враховувати, так як вони при підсумовуванні взаємно компенсуються. Аналогічним чином можна показати можливість компенсації похибок ТС з СХН в перехідному режимі КЗ.

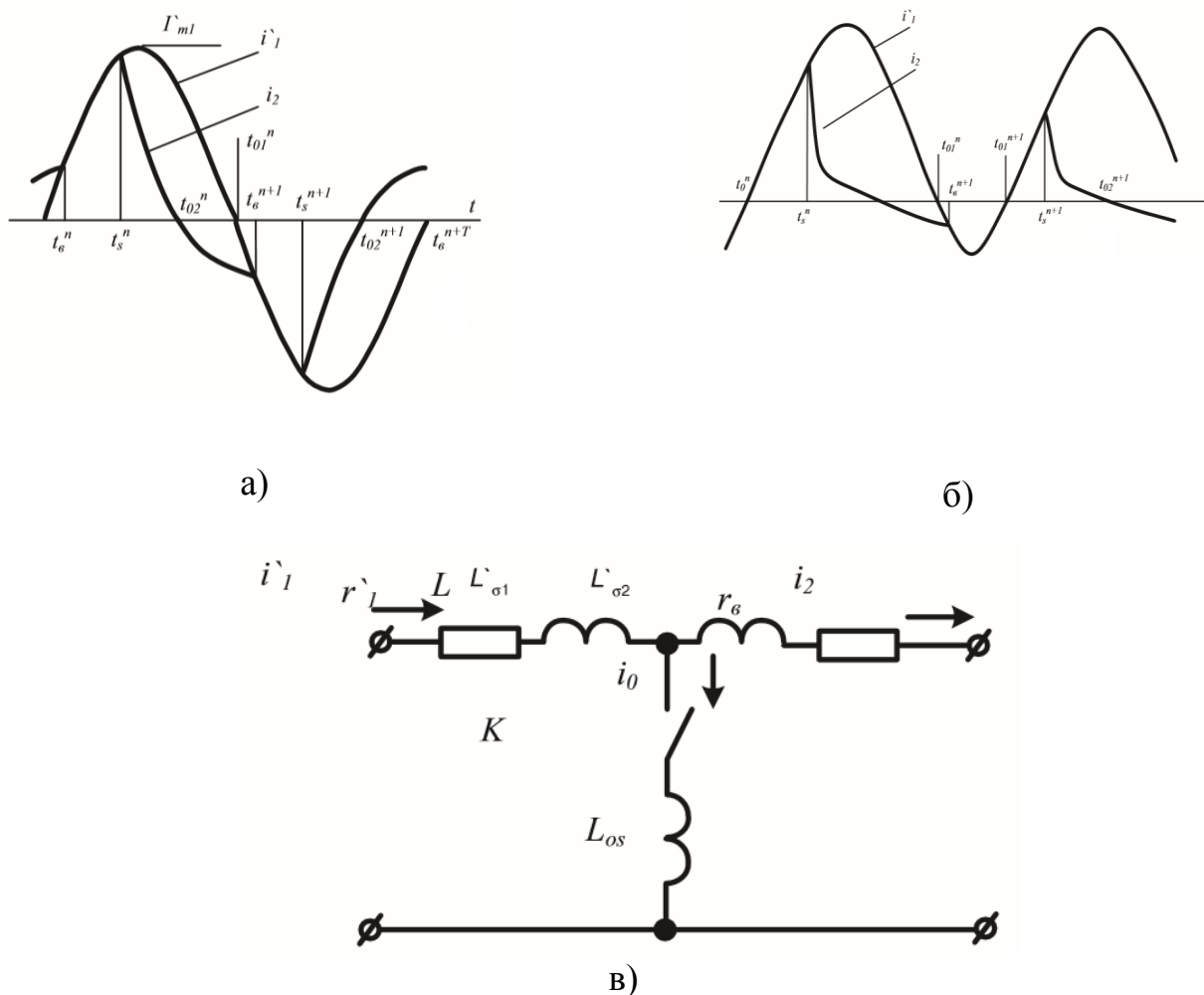


Рисунок – 1 Криві струмів ТС з СХН при синусоїдальному первинному струмі (а) і в перехідному режимі (б), схема заміщення ТС з СХН (в)

Основними труднощами при виконанні компенсації похибок ТС в режимі насичення магнітопроводу є:

- випадковий характер значення залишкової магнітної індукції в ТС, що ускладнює визначення моменту досягнення потокозчепленням вторинної обмотки ТС потокозчеплення насичення Ψ_s ;

- При характеристиці намагнічування ТС, близької до ідеальної прямокутної кривої (ПХН), компенсація похибок практично неможлива, так як вторинний струм ТС в режимі насичення близький до нуля і похибка обчислення струму намагнічення надмірно висока.

Є ряд пропозицій щодо подолання першої проблеми, проте найбільш зручно (при реалізації ДЗ за допомогою мікропроцесорної техніки) в перший момент насичення ТС за допомогою амплітудно-частотного критерію, прирівняти поточне значення потокозчеплення вторинної обмотки в його математичній моделі потокозчепленню насичення з урахуванням знаку зазначеного поточного значення. Очевидно, що компенсацію похибок ТС можна здійснювати за допомогою використання і більш складних видів апроксимації їх характеристик намагнічування.

Висновки. Аналіз показав, що найбільш ефективними напрямками забезпечення належного функціонування ДЗ в перехідних режимах при насиченні ТС є: розробка захистів, які враховують особливості трансформації ТС в перехідних режимах і компенсація похибок насичених ТС. Виробники мікропроцесорних пристроїв релейного захисту приділяють велику увагу проблемі забезпечення належного функціонування ДЗ об'єктів електроенергетики, особливо, збірних шин, в умовах насичення ТС, що підтверджується наявністю алгоритмів, що реалізують правильну роботу захистів з швидкодією порядку півперіоду промислової частоти в умовах, коли тривалість зазначених ділянок становить 2-3 мс.

Реалізація методів компенсації похибок насичених ТС до теперішнього часу не отримала практичного розвитку, хоча такий шлях у багатьох випадках не поступається за можливостями зазначеного вище напрямку розробки захистів, які враховують особливості трансформації ТС. Компенсація погрешностей ТС додатково може забезпечити стійку роботу ДЗ на ділянках насиченого стану ТС, якщо останні задовольняють критерію застосовності СХН.

Перелік посилань

1. Кужеков С.Л., Синельников В.Я. Защита шин электростанций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.
2. М. Власов, А. Сердцев. Высоковольтные оптические преобразователи для систем измерений и анализа качества электрической энергии. - Энергорынок, № 10 (35) 2006, с. 43–46.
3. Гречухин В.Н. Анализ результатов испытаний цифрового трансформатора тока - Электро. – 2001. – №3. – С. 42–45.