

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ СТРУМУ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

Рудевич Н. В.

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

В статті розглянуто підвищення точності перетворення високовольтних вимірювальних трансформаторів струму за допомогою електронної компенсації.

Постановка проблеми. Точність перетворення струму високої напруги залежить від точності високовольтних вимірювальних трансформаторів струму (ВВТС) та пристроїв введення струму, які знаходяться в вимірювальному пристрої. Зазвичай, у якості пристроїв введення струму використовують трансформатори струму з електронною компенсацією похибки, що дозволяє отримати похибки на рівні 0.05%. Високовольтні вимірювальні трансформатори струму, які сьогодні експлуатуються в електроенергетичних системах, працюють в класах точності 0.2, 0.5 і їх похибки є визначальними при вимірюванні електричної енергії та потужності [1]. Підвищення точності існуючих вимірювальних трансформаторів за рахунок конструктивного та технологічного вдосконалення досягло меж сьогоднішніх можливостей. Отримання більш високої точності можливе у разі застосування електронної компенсації похибки.

Аналіз останніх досліджень. Існуючі схемні рішення не використовуються для високовольтних вимірювальних трансформаторів струму, оскільки основний елемент схем компенсації – операційний підсилювач (ОП), не в змозі забезпечити потужність, що вимагають діючі стандарти. Відома робота [2], яка пов'язана з компенсацією похибки високовольтного вимірювального трансформатора струму за допомогою корекції пристрою введення струму (рис.1).



Рисунок 1 – Схема високовольтного вимірювального трансформатора струму з електронною корекцією пристрою введення струму

Різниця напруг вторинної обмотки ВВТС і індикаційної обмотки W_3 додаткового вимірювального трансформатора струму ДВТС підключена до входу ОП таким чином, що вихід ОП створює таке значення струму в W_4 , що напруга на вході ОП дорівнюється нулю. При виборі параметрів ДВТС такими, що індукції в осердях ДВТС і ВВТС однакові, напруженості їх магнітних полів теж однакові, а оскільки струм є тільки в обмотці W_4 , приєднаній до ОП, то згідно з закону повного струму для ДВТС, струм i_3 визначається із співвідношення:

$$i_3 = \frac{H_2 l_2}{W_4} = \frac{H_1 l_2}{W_4} = \frac{H_1 l_1 l_2 W_1}{W_4 l_1 W_1} = \frac{l_2 W_1}{l_1 W_4} i_\mu, \quad (1)$$

де H_1, H_2 – напруженість магнітного поля осердя ВВТС, ДВТС відповідно;

l_1, l_2 – довжина лінії магнітного поля осердя ВВТС, ДВТС відповідно

W_1, W_4 – кількість витків первинної обмотки ВВТС, ДВТС відповідно;

i_μ струм намагнічування ВВТС, $i_\mu = \frac{H_1 l_1}{W_1}$.

Таким чином, i_3 пропорційн струму намагнічування ВВТС.

Оскільки напруги на індикаційних обмотках ДВТС і ВВТС рівні, то по закону електромагнітної індукції:

$$W_2 S_1 \frac{dB_1}{dt} = W_3 S_2 \frac{dB_2}{dt}. \quad (2)$$

Для рівності $\frac{dB_1}{dt} = \frac{dB_2}{dt}$, згідно з (2) необхідно, щоб:

$$W_2 S_1 = W_3 S_2, \quad (3)$$

де S_1, S_2 – поперечний переріз осердя ВВТС, ДВТС відповідно;

W_3 – кількість витків індикаційної обмотки ДВТС;

W_2 – кількість витків вторинної обмотки ВВТС;

тоді $H_2 = H_1$ та $i_3 W_4 = H_1 l_1 = H_2 l_1$.

Згідно з закону повного струму для ВВТС та трансформатора струму (ТС) пристрою введення струму (ПВС) відповідно:

$$i_2 = \frac{i_1 W_1}{W_2} - \frac{H_1 l_1}{W_2}, \quad (4)$$

$$i_4 = \frac{i_3 W_5}{W_7} + \frac{i_2 W_6}{W_7}, \quad (5)$$

де W_5, W_6 – кількість витків первинних обмоток ТС ПВС;

W_7 – кількість витків вторинної обмотки ТС ПВС;

i_1 – вимірювальний струм;

i_2 – вторинний струм ВВТС та первинний струм ТС ПВС;

i_4 – вторинний струм ТС ПВС.

При підстановці (4) в (5) маємо:

$$i_4 = \frac{i_3 W_5}{W_7} + \frac{i_1 W_1 W_6}{W_2 W_7} - \frac{H_1 l_1 W_6}{W_2 W_7}. \quad (6)$$

Для виконання $i_4 = i_1 \frac{W_1 W_6}{W_2 W_7}$ необхідно щоб:

$$\frac{i_3 W_5}{W_7} = \frac{H_1 l_1 W_6}{W_2 W_7}. \quad (7)$$

При підстановці (1) в (7) маємо:

$$\frac{l_2 W_5}{W_4} = \frac{l_1 W_6}{W_2}. \quad (8)$$

Отже, при виконанні співвідношень (8) та (3) має місце компенсація струму намагнічування ВВТС, а отже і помилки ВВТС, і на виході ПВС буде сигнал пропорційний вимірюваному струму.

Для впровадження запропонованого пристрою на об'єктах електроенергетичних систем, необхідно включити в стандарти на трансформатори струму додатковий вихід по напрузі в межах (5÷10) В, що обмежує його використання сьогодні.

Мета статті. Актуальною є задача підвищення точності перетворення високовольтних вимірювальних трансформаторів струму за допомогою електронної компенсації зі збереженням їх уніфікованих виходів, які нормуються діючими стандартами.

Основні матеріали дослідження. На рис. 2 наведена схема пристрою для перетворення струму високої напруги, а саме високовольтного вимірювального трансформатора струму з електронною компенсацією похибки [3].

Різниця напруг додаткової вторинної обмотки ВВТС W_4 і вторинної обмотки ДВТС W_6 підключена до входу ОП таким чином, що вихід ОП створює таке значення струму в первинній обмотці W_5 , що напруга на вході ОП дорівнюється нулю. Оскільки струм є

тільки в обмотці W_5 , приєднаній до ОП, то згідно з закону повного струму для ДВТС, струм i_3 визначається із співвідношення:

$$i_3 = \frac{H_2 l_2}{W_5}, \quad (9)$$

де H_2 – напруженість магнітного поля осердя ДВТС;

l_2 – довжина лінії магнітного поля осердя ДВТС;

W_5 – кількість витків первинної обмотки ДВТС.

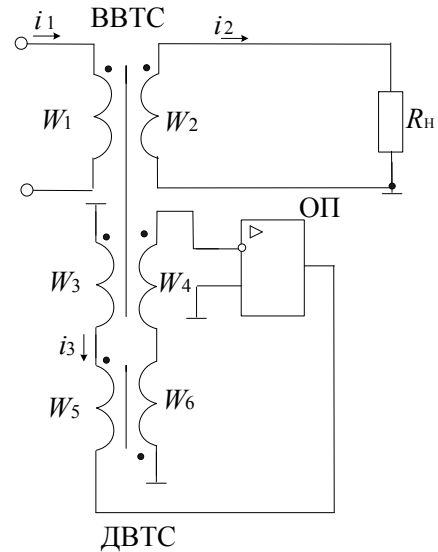


Рисунок 2 – Схема пристрою для перетворення струму високої напруги

Оскільки напруги на додатковій вторинній обмотці ВВТС та вторинній обмотці ДВТС рівні, то по закону електромагнітної індукції:

$$W_4 S_1 \frac{dB_1}{dt} = W_6 S_2 \frac{dB_2}{dt}. \quad (10)$$

Для рівності $\frac{dB_1}{dt} = \frac{dB_2}{dt}$, згідно з (10) необхідно, щоб:

$$W_4 S_1 = W_6 S_2, \quad (11)$$

де S_1, S_2 – поперечний переріз осердя ВВТС, ДВТС відповідно;

W_4, W_6 – кількість витків додаткової вторинної обмотки ВВТС, та вторинної обмотки ДВТС.

У разі виготовлення осердь ВВТС та ДВТС з однакових феромагнітних матеріалів $H_1=H_2$, отже

$$i_3 = \frac{H_2 l_2}{W_5} = \frac{H_1 l_2}{W_5}.$$

Згідно з закону повного струму для ВВТС:

$$i_1 W_1 + i_3 W_3 = i_2 W_2 + H_1 l_1, \quad (12)$$

де W_1, W_3 – число витків первинних обмоток ВВТС;

W_2 – число витків вторинної обмотки ВВТС;

i_1 – вимірюваний струм;

i_2 – вторинний струм ВВТС;

H_1 – напруженість магнітного поля осердя ВВТС;

l_1 – довжина лінії магнітного поля осердя ВВТС.

При підстановці (9) в (12) маємо:

$$i_1 W_1 + \frac{H_1 l_2}{W_5} W_3 = i_2 W_2 + H_1 l_1. \quad (13)$$

Для виконання $i_1 = \frac{i_2 W_2}{W_1}$ необхідно щоб:

$$\frac{l_2}{W_5} = \frac{l_1}{W_3}. \quad (14)$$

Отже, при виконанні співвідношень (14), (11) та виготовленні осердь ВВТС і ДВТС з однакового феромагнітного матеріалу має місце компенсація струму намагнічування ВВТС, а отже і похибки ВВТС.

Зазвичай ВВТС має декілька вторинних обмоток, які використовуються для підключення пристроїв релейного захисту і автоматики та пристроїв вимірювання. Додаткові первинні і вторинні обмотки ВВТС необхідно намотати на те осердя, де знаходиться обмотка, до якої підключаються вимірювальні пристрої. В такому випадку високовольтний трансформатор струму необхідно метрологічно атестувати разом з додатковими обмотками та ДВТС.

Розміри ДВТС та додаткових обмоток можуть бути значно меншими за розміри ВВТС. Так, наприклад, для трансформаторів струму типу ТФЗМ – 35У1, ТФН – 110 придатним є типорозмір осердя ДВТС ОЛ-28 (28 – внутрішній діаметр тороїдального осердя, мм).

Додаткові обмотки та ДВТС можуть виготовлювати на тому ж заводі, що і високовольтний трансформатор і все разом поставляти на об'єкти електроенергетичної системи.

На електричних станціях та підстанціях ДВТС та ОП повинні знаходитись біля високовольтного трансформатору. В такому випадку з'являється проблема підводу живлення постійною напругою до операційного підсилювача на відкритих розподільчих пристроях.

Висновки. Запропонований пристрій дозволяє одержати струм, пропорційний вимірюваному струму з високою точністю завдяки операційному підсилювачу малої потужності. Введення додаткової первинної обмотки в ВВТС, дозволяє отримати необхідну силу намагнічування $i_3 W_3 = H_1 l_1$, при цьому значення струму i_3 може бути зменшено за рахунок збільшення кількості витків обмотки W_3 . При такому

виконанні зберігається стандартний вихід високовольтного вимірювального трансформатора струму. Запропонований пристрій не потребує змінення в стандартній конструкції ВВТС і може бути застосований для діючих ВВТС, при цьому розміри ДВТС можуть бути значно меншими за ВВТС. Навіть якщо в процесі створення пристрою для діючого ВВТС не вдасться 100 % забезпечити ідентичність феромагнітних матеріалів ВВТС та ДВТС, все одно буде скомпенсована значна частина похибки високовольтного трансформатора.

Отже, в ситуації, коли тисячі електромагнітних вимірювальних трансформаторів струму, що сьогодні експлуатуються в електроенергетичних системах, працюють в класах точності 0,2, 0,5 і їх похибки є визначальними при вимірюванні енергії та потужності, використання запропонованого рішення є ефективним.

Список використаних джерел

1. Назаров В. В. Об эффективности использования измерительных трансформаторов повышенной точности / В. В. Назаров, С. В. Рябчук // Промэлектро. – 2006. – №5. – С. 7–8.

2. Пат. 84069 Україна, МПК⁶ G 01 R 19/00, H 01 F 19/00. Пристрій для вимірювання струму / Кизилів В. У., Рудевич Н. В.; заявник та патентовласник Кизилів В. У. – № а 2006 12841; заявл. 05.12.2006; опубл. 10.09.2008, Бюл. №17.

2. Заявка на винахід №а 201007392 від 14.06.2010. Пристрій для перетворення струму / Кизилів В. У., Рудевич Н. В.; заявник та патентовласник Кизилів В. У.

Аннотація

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Рудевич Н. В.

В статье рассмотрено повышение точности преобразования высоковольтных измерительных трансформаторов тока с помощью электронной компенсации.

Abstract

CURRENT TRANSFORMATION OF HIGH VOLTAGE EXACTNESS INCREASE

N. Rudevich

In the article the increase of exactness of transformation of high-voltages measuring transformers of current is considered by electronic indemnification.