

МОДЕЛЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОХИБКИ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ

Побудовано модель систематичної складової похибки високовольтного вимірювального трансформатора напруги, яка може бути скомпенсована обчислювальними засобами. Приведено спосіб використання моделі для підвищення точності засобів вимірювання потужності та обліку електроенергії.

1. Вступ

Підвищені $\delta U, \%$ гі систем вимірювання потужності і обліку електроенергії у високовольтних колах до рівня сучасної $0,8U_n$ г обмежується впливом похибок первинних вимірювань $0,2$ цих перетворювачів, в тому числі похибок високовольтних вимірювальних трансформаторів напруги (ТН). Дослідження таких похибок показали, що у їх складі домінуюче значення мають систематичні складові, які, в принципі, можна скомпенсувати відповідними поправками і тим самим підвищити точність систем вимірювання потужності 100 обліку 300 грошен 500 [1]. С, ВА зність такого підходу вже була $0,2$ нстроена для інших типів вимірювальних перетворювачів – трансформаторів ст [2,3].

2. Постановка задачі

Відомо, що $0,4$ влення ефективної процедури компенсації може бути здійснене шляхом використання $0,6$ частивостей моделі похибки вимірювальних ТН. Однак у літературі не опи модель, $1,2U_n$ для вирішення задачі компенсації систематичної складової похибки високовольтних вимірювальних ТН. Створенню такої моделі присвячена дана стаття.

3. Модель похибки

Рис.1. Типовий графік амплітудної похибки ТН

Вираз для похибки δU , згідно з її загальноприйнятим визначенням, можна представити наступною формулою:

$$\delta U(\%) = \frac{\hat{U}_1 - U_1}{U_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де U_1 - значення напруги на високовольтній обмотці ТН,

\hat{U}_1 - її виміряне значення на виході низьковольтної обмотки.

Вираз (1) можна подати у вигляді

$$\Delta \psi_u, \text{град}, \% \quad U_1 = \frac{\hat{U}_1}{1 + 0.01 \cdot \delta U} \quad (2)$$

або у вигляді ряду

$$U_1 = \hat{U}_1 (1 + 0.01 \cdot \delta U), \quad (3)$$

у якому знехтувано членами ряду степені 2 і вище.

Режим експлуатації високовольтних ТН, при U_n му нормуються їх параметри, знаходиться в межах

де U_n, S_{2n} - відповідні 5 інальні значення напруги у високовольтній обмотці і споживаної потужності у низьковольтній обмотці. У цих межах характеристики похибок вимірювального ТН можна вважати лінійними. Прикладами таких характеристик можуть бути експериментальні залежності, зняті для конкретного ТН типу НКФ110, які подані на рис.1,2.

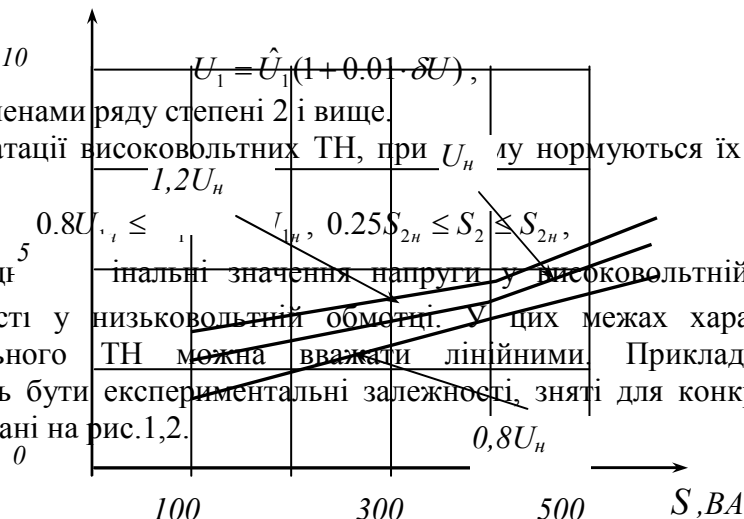


Рис.2. Типовий графік кутової похибки ТН

Межі нормування режимів експлуатації ТН і позначення похибок для кожного з нормованих режимів, прийняті у даній статті, подані у таблиці 1.

Таблиця 1

Позначення похибок для нормованих режимів експлуатації ТН

Напруга у високовольтній обмотці U (у % від $U_{1н}$)	Навантаження (у % від $S_{2н}$) при $\cos\varphi_2 = 0.8$	Похибки ТН по напрузі δU у %
80	25	$\delta U(0.8U_{1н}, 0.25S_{2н})$
80	100	$\delta U(0.8U_{1н}, S_{2н})$
120	25	$\delta U(1.2U_{1н}, 0.25S_{2н})$
120	100	$\delta U(1.2U_{1н}, S_{2н})$

Експериментальні дані показують, що похибки δU визначаються одночасно впливом двох параметрів S_2 та U_1 , а залежність похибки від цього впливу з високою точністю підтримується лінійною. Цей вплив показано на рис.3,4,5 на прикладі серійного трансформатора типу НКФ 110.

Лінійний характер залежності похибки від факторів впливу дає підставу шукати вираз для похибки як функцію $\delta U(U_1, S_2)$ у такому вигляді:

$$\delta \hat{U} = aS_2 + cU_1 + g, \tag{4}$$

де a, c, g - коефіцієнти, які необхідно визначити.

Рівняння (4) – це рівняння площини, яка визначена у тому випадку, якщо задані координати трьох її точок, що не лежать на одній прямій. Координати цих трьох точок задані відповідно першим, другим і третім рядком таблиці 1. Тоді рівняння площини у координатній формі матиме вигляд:

$$\begin{vmatrix} U_1 - 0.8U_{1н} & 0 & 0.4U_{1н} \\ S_2 - 0.25S_{2н} & 0.75S_{2н} & 0 \\ \delta \hat{U} - \delta \hat{U}_1 & \delta \hat{U}_2 - \delta \hat{U}_1 & \delta \hat{U}_3 - \delta \hat{U}_1 \end{vmatrix} = 0, \tag{5}$$

де

$$\begin{aligned} \delta \hat{U}_1 &= \delta \hat{U}(0.8U_{1н}, 0.25S_{2н}), \\ \delta \hat{U}_2 &= \delta \hat{U}(0.8U_{1н}, S_{2н}), \\ \delta \hat{U}_3 &= \delta \hat{U}(1.2U_{1н}, 0.25S_{2н}). \end{aligned}$$

Після необхідних перетворень, формули для коефіцієнтів a, c, g можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} a &= \frac{4}{3S_{2н}}(\delta \hat{U}_2 - \delta \hat{U}_1), \\ c &= \frac{2.5}{U_{1н}}(\delta \hat{U}_3 - \delta \hat{U}_1), \\ g &= 3.33\delta \hat{U}_1 - 0.33\delta \hat{U}_2 - 2\delta \hat{U}_3. \end{aligned} \tag{6}$$

Якщо формулу для $\delta\hat{U}$ у вигляді (4) підставити у вираз (2), врахувавши, що

$$\delta\hat{U} = aS_2 + cU_1 + g \approx aS_2 + c\hat{U}_1 + g, \quad (7)$$

оскільки U мало відрізняється від \hat{U} , а значення c порівняно мале, то вираз (2) матиме вигляд:

$$U_1 = \hat{U}_1 [1 - 0.01(aS_2 + c\hat{U}_1 + g)]. \quad (8)$$

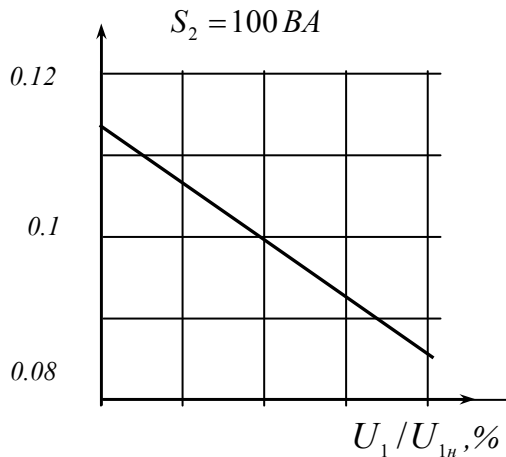


Рис.3. Вплив на амплітудні похибки ТН параметрів S_2 та U_1

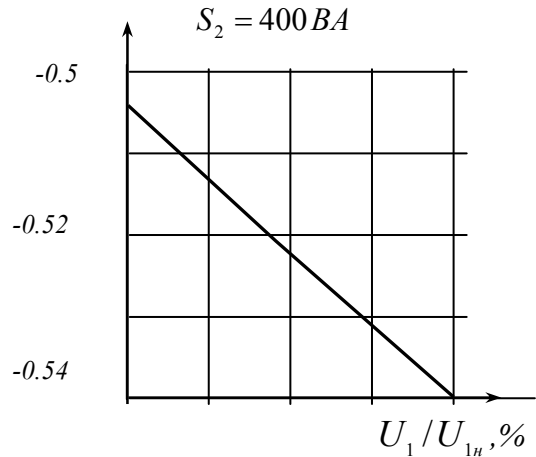


Рис.4. Вплив на амплітудні похибки ТН параметрів S_2 та U_1

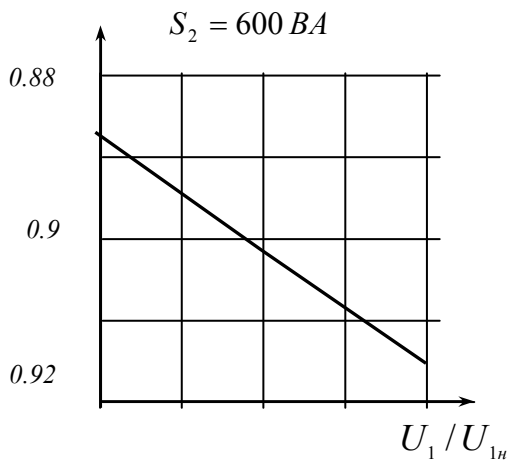


Рис.5. Вплив на амплітудні похибки ТН параметрів S_2 та U_1

Вираз

$$\delta\hat{U} = aS_2 + c\hat{U}_1 + g$$

є моделлю похибки вимірювального ТН, яка придатна для розв'язання поставленої задачі. Застосування цього виразу у вигляді поправки до формули (8) дає змогу отримати скоректоване значення вимірюваної величини на виході ТН. Це скоректоване значення можна отримати розрахунковим шляхом, без додаткових вимірювальних експериментів, якщо для визначення коефіцієнтів a, c, g у формулі для моделі похибки використати дані чергової повірки ТН або значень похибок, записаних у паспортах на заводі-виробнику.

Далі наведено приклад використання моделі похибки для розрахунку скоректованого значення напруги на виході трансформатора НКФ 110, його похибки взято з паспорта і подано у таблиці 2.

Таблиця 2

Значення похибок нормованих режимів експлуатації трансформатора НКФ 110

U_1 у % від U_{1n}	S_2 , ВА	$\delta\hat{U}_1$, %
80	100	0,31
80	400	-0,22

120	100	0,23
120	400	-0,3

За даними таблиці 2 та формулою (6) можна визначити значення коефіцієнтів a, c, g :

$$a = \frac{4}{3 \cdot 400}(-0.22 - 0.31) = -1.77 \cdot 10^{-3},$$

$$c = \frac{2.5}{220}(0.23 - 0.31) = -9.1 \cdot 10^{-4},$$

$$g = 0.33(10 \cdot 0.31 - 6.06 \cdot 0.23 + 0.22) = 0.636.$$

Підставивши ці значення у формулу (8), отримаємо скоректоване значення вимірної напруги у вигляді:

$$U_1 = \hat{U}_1 [1 - 0.01((-9.1) \cdot 10^{-4} \hat{U}_1 + (-1.77) \cdot 10^{-3} S_2 + 0.65)].$$

Якщо виміряне значення напруги, наприклад, 100 В , то скоректоване значення буде таким:

$$U_1 = 100 \cdot [1 - 0.01((-9.1) \cdot 10^{-4} \cdot 100 + (-1.77) \cdot 10^{-3} \cdot 100 + 0.65)] = 99.6 \text{ В}.$$

Таким чином, використавши властивості похибки вимірювального ТН, розрахунковим шляхом можна підвищити точність вимірювання напруги на вході схеми обліку електроенергії або точність вимірювання потужності з використанням наведеного у прикладі ТН.

Висновки

Запропоновані у статті модель похибки вимірювального ТН та спосіб її використання мають суттєві практичні переваги. Розроблена модель дає змогу підвищити точність систем вимірювання потужності та обліку електроенергії у високовольтних колах без додаткових вимірювальних експериментів, розрахунковим шляхом, тобто не виводячи ТН з експлуатації, що у високовольтних мережах пов'язано з суттєвими труднощами. При цьому корекція точності може здійснюватись автоматично, за допомогою обчислювальних засобів, в режимі реального часу [1].

There has been built a model of the removable by computing means error systematic component of high-voltage measuring voltage transformers. There have been introduced a way of this model application for power measuring precision enhancement and power consumption accounting.

Література

1. П.Євтух. Автоматична компенсація систематичних похибок при вимірюваннях потужності в колах з вимірювальними трансформаторами струму та напруги. // Вимірювальна техніка та метрологія. Вип. 56. - Львів, 2000. - С. 27-28.
2. Євтух П.С., Літков В.О. Про алгоритм корекції похибок вимірювальних трансформаторів струму. // Енергетика та електрифікація. - Київ, 1995, - №5. - С. 38-40.
3. Євтух П.С. Вибір поправок для автоматичної компенсації похибок результатів вимірювань в колах з трансформаторами струму та напруги. // Електроенергетичні та електромеханічні системи. Вісник національного університету „Львівська політехніка”. №403. - Львів, 2000. - С. 48-50.

Одержано 12.11.2003 р.