

ЗАСТОСУВАННЯ ЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ ПОХИБКИ ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НАПРУГИ

Застосовано відому модель похибки високовольтного вимірювального трансформатора напруги для побудови методики визначення режиму роботи з мінімальною похибкою такого трансформатора. Режим роботи з мінімальною похибкою може бути визначений при відхиленні від номінальної напруги експлуатації.

Підвищення точності високовольтних вимірювальних трансформаторів напруги (ТН) дає змогу підвищити до рівня сучасних вимог точність оцінювання споживаної потужності та обліку електроенергії у високовольтних колах електромереж. Для розв'язання завдання підвищення точності застосовується лінійна модель характеристик похибок по напрузі для цих трансформаторів, які мають систематичні складові, що за величиною перевищують їх випадкові складові, тому їх вплив на точність вимірювання є більш суттєвим. Запропоновано методику налаштування режиму роботи ТН таким чином, щоб мінімізувати його похибку по напрузі. Для цього використовуються отримані з паспортних даних або результатів перевірки ТН залежності похибки по напрузі δU від зміни напруги високовольтної обмотки в межах від $0.8U_{1н}$ до $1.2U_{1н}$ при певних значеннях опору навантаження низьковольтної обмотки. За цими даними будемо залежності похибки δU від зміни опору навантаження низьковольтної обмотки в межах від $0.25Z_{2н}$ до $Z_{2н}$ при певних значеннях напруги високовольтної обмотки (рис.1). В результаті отримуємо таке оптимальне значення опору навантаження Z_{2opt} , при якому похибка мінімальна ($\delta U = 0$) для номінального значення напруги високовольтної обмотки.

Користуючись цією ж методикою можна визначити поле значень похибок δU для різних значень навантаження Z_2 у низьковольтній обмотці при зміні напруги високовольтної обмотки. Оскільки ця похибка має систематичний характер, то її можна скомпенсувати.

Саме для вирішення задачі підвищення точності у працях [1,2,3] була побудована лінійна модель характеристик похибок по напрузі та по куту втрат для таких трансформаторів. Встановлено, що ці похибки

мають складову систематичного характеру, яка за величиною значно перевищує їх випадкові складові, тому саме вона суттєво впливає на точність вимірювальних ТН. Постає задача практичного застосування лінійних моделей високовольтних вимірювальних ТН. Варіант вирішення цієї задачі поданий у даній статті.

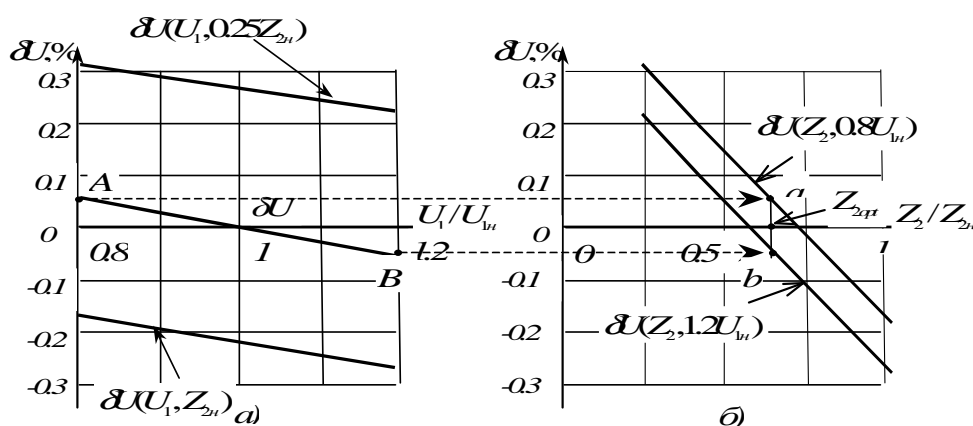


Рис.1. Похибка по напрузі ТН

Моделі характеристики похибки високовольтних ТН подані у працях [1,2] і на основі експериментальних даних підтверджено, що вони мають лінійний характер в залежності від факторів впливу. Відповідний вираз для похибки як функції параметрів режиму роботи трансформатора має вигляд:

$$\delta U = aS_2 + cU_1 + g, \quad (1)$$

де δU - похибка трансформатора по напрузі, a, c, g - коефіцієнти, що визначаються за формулами:

$$a = \frac{4}{3S_{2н}} (\delta U_2 - \delta U_1), \quad c = \frac{2.5}{U_{1н}} (\delta U_3 - \delta U_1),$$

$$g = 3.33\delta U_1 - 0.33\delta U_2 - 2\delta U_3, \quad (2)$$

де $\delta U_1, \delta U_2, \delta U_3$ - позначення похибок для нормованих режимів експлуатації ТН, що взяті з паспортних даних чи результатів перевірки трансформатора:

$$\delta U_1 = \delta U(0.8U_{1н}, 0.25S_{2н}), \quad \delta U_2 = \delta U(0.8U_{1н}, S_{2н}),$$

$$\delta U_3 = \delta U(1.2U_{1н}, 0.25S_{2н}).$$

Вираз для δU свідчить, що залежності похибки від напруги у високовольтній обмотці при зміні опору навантаження вторинної обмотки можна подати у вигляді паралельних прямих, які будуються для різних значень опору навантаження Z_2 . Експериментальні дані з високим ступенем точності підтверджують такий характер залежності.

Ця властивість дає змогу використати модель характеристики похибки для настроювання режимів роботи ТН таким чином, щоб похибка була мінімальною.

Застосування моделі похибки ТН для знаходження режиму роботи з мінімальною похибкою

Методику настроювання режиму ТН на роботу з мінімальною похибкою розглянемо на прикладі високовольтного трансформатора напруги НКФ110, для якого ставиться вимога забезпечити мінімальне значення систематичної складової похибки по напрузі, наблизивши її до нуля. На рис 1а приведені залежності похибки δU від відношення напруги високовольтної обмотки до номінального значення цієї напруги $U_1/U_{1н}$ при двох різних значеннях опору навантаження вторинної обмотки $Z_2 = 0.25Z_{2н}$ та $Z_2 = Z_{2н}$ ($Z_{2н}$ - номінальне значення опору вторинної обмотки), що отримані з паспортних даних трансформатора.

Побудуємо аналогічні залежності похибки δU від зміни опору навантаження трансформатора – від відношення опору навантаження вторинної обмотки до номінального значення цього опору $Z_2/Z_{2н}$ при двох різних значеннях напруги у високовольтній обмотці $U_1 = 0.8U_{1н}$ та $U_1 = 1.2U_{1н}$ (рис.1б). З побудованих залежностей видно, що при номінальному навантаженні вторинної обмотки ($Z_2/Z_{2н} = 1$) похибка δU не є мінімальною і становить відповідно -0.18 для $U_1 = 0.8U_{1н}$ та -0.28 для $U_1 = 1.2U_{1н}$. Тому необхідно знайти таке значення опору навантаження Z_{2opt} , при якому похибка δU буде мінімальною.

Застосування лінійної моделі похибки вимірювального ТН дає змогу запропонувати просту методику визначення Z_{2opt} , при якому похибка вимірювання буде мінімальною. Суть цієї методики полягає у наступному. На рис.1а будуємо пряму паралельну $\delta U(U_1, 0.25Z_{2н})$ та $\delta U(U_1, Z_{2н})$, що перетинає вісь абсцис в точці для якої напруга високовольтної обмотки номінальна ($U_1/U_{1н} = 1$), при цьому похибка $\delta U = 0$. З графіку видно, що при $U_1 = 0.8U_{1н}$ $\delta U = 0.05\%$ (точка А, рис.1а), а при $U_1 = 1.2U_{1н}$ $\delta U = -0.05\%$ (точка В, рис.1а). Спроектуємо ці точки на рис.1б, тобто знайдемо значення опору навантаження Z_2 , при якому для напруг високовольтної обмотки, що складають $0.8U_{1н}$ та $1.2U_{1н}$ похибки становитимуть відповідно 0.05% (точка а, рис.1б) та -0.05% (точка б, рис.1б). З'єднавши точки а та б, отримаємо пряму, що перетинає вісь абсцис в точці Z_{2opt} з мінімальною похибкою

($\delta U = 0$). Отже, мінімальне значення похибки δU при номінальній напрузі високовольтної обмотки буде при значенні опору навантаження $Z_{2opt} = 0.7Z_{2н}$. Тому вибравши саме такий режим роботи ТН ми мінімізуємо похибку трансформатора по напрузі. Аналогічно можна знайти Z_{2opt} при інших напругах експлуатації ТН, відмінних від номінальної.

Застосування моделі похибки ТН для оцінювання змін похибки у діапазоні можливих режимів експлуатації

Користуючись тією ж методикою можна визначити поле значень похибок δU для різних значень навантаження Z_2 у низьковольтній обмотці при зміні напруги високовольтної обмотки в межах від $0.8U_{1н}$ до $1.2U_{1н}$.

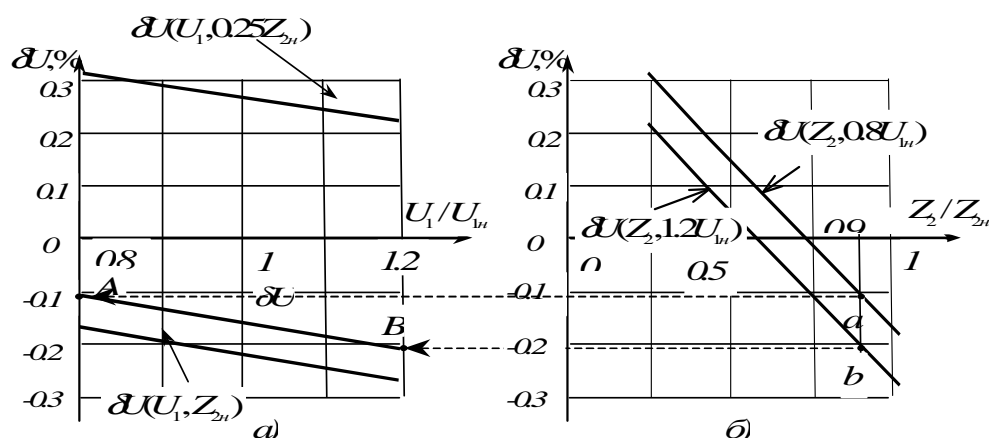


Рис.2. Похибка по напрузі ТН

Наприклад, при опорі навантаження $Z_2 = 0.9Z_{2н}$ та напрузі $U_1 = 0.8U_{1н}$ $\delta U = -0.11\%$ (точка а, рис.2б), а при напрузі $U_1 = 1.2U_{1н}$ і тому ж опорі навантаження $\delta U = -0.21\%$ (точка б, рис.2б). Спроекуємо ці точки на рис.2а, отримаємо відповідно точку А, для якої при $U_1 = 0.8U_{1н}$ похибка по напрузі становить -0.11% та точку В, для якої при $U_1 = 1.2U_{1н}$ похибка по напрузі становить -0.21% . З'єднавши точки А та В отримаємо пряму $\delta U(U_1, 0.9Z_{2н})$ – поле значень похибок по напрузі при опорі навантаження $0.9Z_{2н}$. З рис.2а видно, що при номінальній напрузі високовольтної обмотки значення похибки становить -0.15% , оскільки вона має систематичний характер, то її можна скомпенсувати.

Висновки

В статті наведено приклад практичного застосування моделі похибки високовольтних вимірювальних (ТН) для знаходження поля похибок при будь-якому значенні навантаження низьковольтної обмотки шляхом використання їх паспортних даних або даних останньої повірки. Подана методика дає змогу скомпенсувати систематичну складову цієї похибки та підвищити точність вимірювань за рахунок визначення оптимального значення опору навантаження, при якому ця похибка вимірювання є мінімальною.

There has been implemented a known model of high voltage measuring transformer tolerance to build up a technique to define its work mode with maximum tolerance. The work mode can be defined with a maximum tolerance at deviation from nominal work voltage.

Література

1. П.Євтух, Н.Куземко. Модель характеристики похибки високовольтних вимірювальних трансформаторів напруги. //Вісник ТДТУ.- 2004.- Т.9. – №1-С.107-111.
2. П.Євтух, Н.Куземко. Використання паспортних даних високовольтних вимірювальних трансформаторів напруги для підвищення їх точності. //Вісник ТДТУ.- 2004.- Т.9. – №2-С.89-93.
3. П.Євтух, Н.Куземко. Модель характеристики кутової похибки вимірювального трансформатора напруги та визначення її систематичної складової. //Вісник Національного університету „Львівська політехніка”.- 2004.– №500-С.19-24.