

# АНОРМАЛЬНІ РЕЖИМИ РОБОТИ ТРИФАЗНИХ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПРИ РОБОТІ З ГЕНЕРАТОРНИМИ УСТАНОВКАМИ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;  
<sup>1</sup> ТОВ «Екоенергопроміль».

## *Анотація*

*У роботі досліджено аномальні режими роботи трифазного силового трансформатора з групою з'єднання «трикутник – зірка з нейтраллю» при роботі її з генераторними установками зі сторони, де обмоти з'єднанні у зірку з нейтраллю. Показано, що причини виникнення таких режимів пов'язані з протіканням струмів нульової послідовності в обмотках трансформатора.*

**Ключові слова:** трифазний силовий трансформатор, струми нульової послідовності, несиметрія напруг.

## *Abstract*

*The work investigates emergency modes of operation of a three -phase power transformer with a group of "triangle - a star with a neutral" when working with generator installations from the side where the connection into a star with neutral. The causes of such modes have been shown to leakage of zero sequence currents in the transformer windings.*

**Keywords:** three -phase power transformer, zero sequence currents, voltage asymmetry.

## Вступ

Трифазні силові трансформатори з групою з'єднань "зірка з нулем - трикутник" широко застосовуються в системах електропостачання промислових підприємств для живлення електричних машин та інших потужних споживачів. У такому разі напруга живлення від розподільчих мереж 6-10 кВ подається до обмоток трансформатора, з'єднаних трикутником, а споживачі приєднуються до низької сторони 0,4 кВ, обмотки якої з'єднані у зірку з нейтраллю. Така система має ряд переваг, детально описаних у [1]. Однак, останнім часом, досить часто на низькій стороні трансформатора у системі електропостачання встановлюють генеруючі потужності. Це можуть бути фотоелектричні станції, біогазові енергетичні установки або дизель-генераторні установки, які почали масово встановлювати після кризи електропостачання, пов'язаних з російською агресією.

Таким чином утворена система електропостачання може працювати паралельно з мережею або автономно, живлячись власними генеруючими потужностями частково або повністю відповідно, а трансформатор має джерело енергії на низькій стороні, де утворена чотирипровідна мережа.

Проте, в такій системі спостерігається виникнення аварійних режимів роботи, пов'язаних з циркулюванням струмів нульової послідовності у трансформаторі. Нульова послідовність струмів може виникнути через несиметричну генерацію фазних напруг на низькій стороні трансформатора, або за рахунок спотворення форми напруги живлення. Це може призвести до перевантаження обмоток трансформатора та пошкодження ізоляції., що можуть призвести до зниження надійності і тривалості експлуатації трансформатора.

Метою пропонованої роботи є дослідження причин виникнення струмів нульової послідовності у трансформаторі з групою з'єднань "зірка з нулем - трикутник" та пов'язаних з ними аварійних режимів роботи, що дасть змогу запропонувати методи запобігання таким режимам.

## Результати дослідження

Приклад описаної системи електропостачання поданий у вигляді однолінійної схеми, поданої на рис. 1. У ній трансформатор Т з групою з'єднань обмоток «трикутник – зірка з нейтраллю» працює

при живленні від системи С зі сторони високої напруги (ВН) (6-10 кВ) та встановленими генеруючими потужностями Г на стороні низької напруги (НН) (0,4 кВ). У такій системі електропостачання можуть бути споживачі на обох сторонах трансформатора, при чому значна кількість споживачів на низькій стороні є частотно керованими асинхронними приводами, тобто є джерелами вищих гармонік.

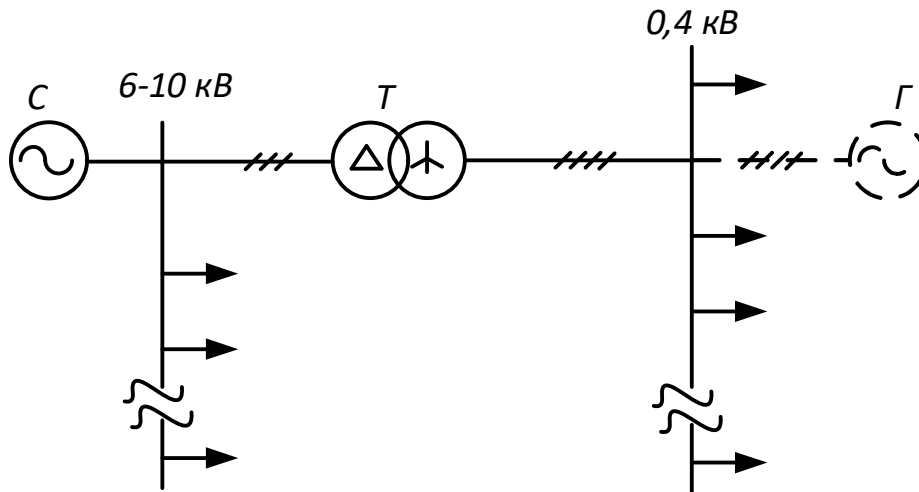


Рис. 1 Однолінійна схема системи електропостачання

Електричне коло на низькій стороні є трифазним колом з нейтраллю. В таких колах, як відомо, можуть протікати струми нульової послідовності [2]. Джерелами таких струмів можуть бути несиметрія трифазної системи напруг генеруючих установок, яка виникає внаслідок недосконалості виробництва електричних машин. Трифазну систему векторів напруг генератора можна розкласти на симетричні складові прямої, зворотної та нульової послідовності. Напряга нульової послідовності визначається:

$$U_{\Gamma 0} = \frac{1}{3}(U_{\Gamma A} + U_{\Gamma B} + U_{\Gamma C}). \quad (1)$$

Іншим джерелом струмів нульової послідовності може бути спотворення форми напруги на низькій стороні нелінійними споживачами. У такому разі несинусоїдна напруги матиме гармонічні складові кратні трьом, що також мають нульову послідовність.

В сумі ці два джерела напруги нульової послідовності через незначний опір лінії електропередач, під'єднаний до обмоток НН трансформатора, з'єднаними у зірку з нейтраллю. Протікаючи через обмотки НН ці струми створюють в осерді магнітний потік нульової послідовності, який індукуює в обмотках ВН систему ЕРС нульової послідовності, що у випадку з'єднання цих обмоток трикутником замикаються на власний опір обмоток. Таким чином спрощену схему заміщення нульової послідовності такого кола можна подати у вигляді, як на рис. 2.

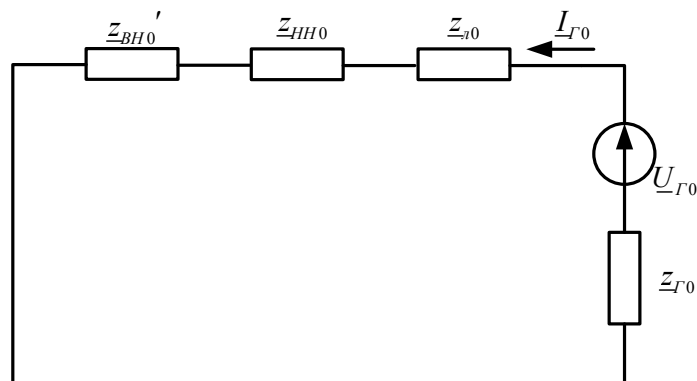


Рис. 2. Спрощена схема заміщення нульової послідовності

В поданій схемі  $Z_{\Gamma 0}$ ,  $Z_{Л0}$ ,  $Z_{НН0}$ ,  $Z_{ВВ0}'$  - деякі комплексні опори, приведені до НН, що характе-

ризують активний та індуктивні опори обмоток генератора, лінії, обмоток НН та ВН трансформатора Т. Струм в такому колі обмежується невеликими за значенням вказаних опорів:

$$I_{Г0} = \frac{U_{Г0}}{Z_{Г0} + Z_{ГЛ0} + Z_{ГНН0} + Z_{ГВВ0}}, \quad (2)$$

а трансформатор працює практично в режимі короткого замикання щодо струмів нульової послідовності і вказані струми навіть за незначних значень напруги нульової послідовності можуть досягати близьких до номінальних для трансформатора. Тому такі режими роботи трансформатора є аномальними.

Зокрема експерименти, проведені засобами електронного моделювання електричних кіл програмного застосування Мігосар (рис. 3) показали, що навіть за незначної несиметрії напруги в межах допустимих нормативними документами 5% призводить до значних перевантажень обмоток трансформатора.

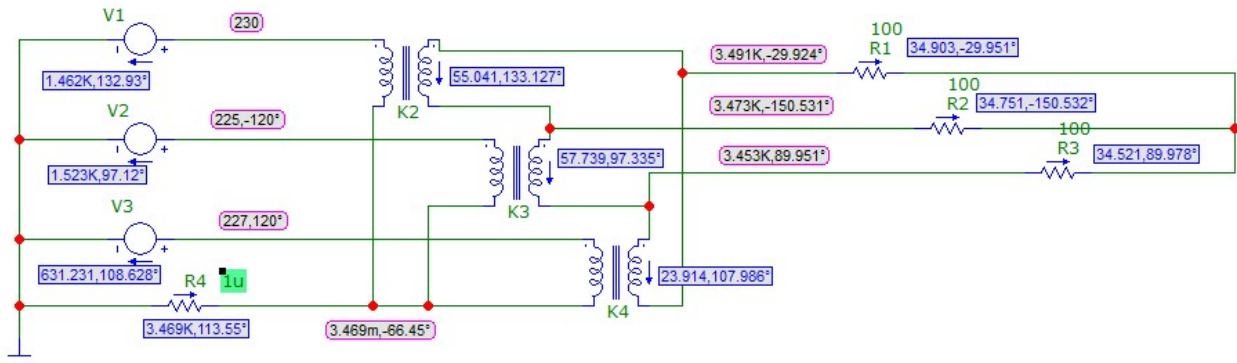


Рис. 3 Електронна модель трансформатора ТМ630/6/0,4 при роботі з несиметричною напругою генерації.

І хоч подана модель є занадто ідеалізована, де не враховані опори генератора та ліній, але показує, що лінійні струми НН складають 1462, 1523 та 631 А при номінальному значенні 909 А, а струм нейтралі 3469 А. При цьому фазні напруги генератора складають 230, 225, 227 В, тобто максимальне відхилення складає 5 В.

## Висновки

Отже, у роботі досліджено режими роботи трифазного силового трансформатора з групою з'єднання «трикутник – зірка з нейтраллю» при роботі її з генеруючими установками зі сторони, де обмотки з'єднанні у зірку з нейтраллю. Показано, що в системі електропостачання з такими схематичними рішеннями можуть виникати аномальні режими роботи, пов'язані з протіканням струмів нульової послідовності. Для уникнення таких режимів необхідна розробка більш досконалих математичних та імітаційних моделей, які дозволять досліджувати вплив різних чинників на їх протікання, що, в свою чергу, дасть змогу пошуку методів їх запобігання або зменшення негативного впливу в реальних системах електропостачання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вольдек А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек. – М.: Энергия, 1978. – 832
2. Ю. О. Карпов, С. Ш. Кацев, В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький, *Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами. Підручник*. Вінниця: ВНТУ, 2011, 377 с.

**Коваль Андрій Миколайович** — кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних електромеханічних систем та комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: koval.a.m@vntu.edu.

**Кухарчук Василь Васильович** — доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерних електромеханічних систем та комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Печенюк Дмитро Вікторович** директор, ТОВ «Екоенергопроміль».

**Andriy M. Koval**— Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Computer Electric Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, E-mail: koval.a.m@vntu.edu.

**Vasyl V. Kukarchuk** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa.

**Dmytro Pechenyuk** – Director, LLC "Ecoenergovramine".