

# **АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ ТА НАПРУГИ**

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*В роботі розглянуто особливості будови вимірювальних трансформаторів струму та напруги, їх призначення та принцип дії. Проаналізовано умови застосування вимірювальних трансформаторів струму та напруги.*

**Ключові слова:** *вимірювальний трансформатор струму, вимірювальний трансформатор напруги, конструктивні особливості, принцип роботи, умови застосування.*

## **Abstract**

*The work considers the features of the structure of current and voltage measuring transformers, their purpose and principle of operation. The conditions of application of current and voltage measuring transformers are analyzed. are considered. The application conditions of electromagnetic current and voltage transformers are analyzed.*

**Keywords:** *measuring current transformer, measuring voltage transformer, design features, principle of operation, application conditions.*

## **Вступ**

Електроенергетична галузь зазнала значних збитків під час широкомасштабного вторгнення. Масовані обстріли по об'єктам енергетики нанесли шкоду та руйнування більше ніж 60% інфраструктури держави в галузі електроенергетики. Постраждали теплові та гідроелектростанції, магістральні та розподільчі мережі, теплоелектроцентралі, підстанції з різними типами напруги та інші об'єкти інфраструктури. В надскладних умовах також працюють атомні станції. Тому, на сьогодні надзвичайно важливою задачею є забезпечення захисту усіх об'єктів енергетики, а також відновлення пошкоджених електростанцій, ліній електропередачі, трансформаторних підстанцій та інших елементів електроенергетичної інфраструктури [1].

Відомо, що напруга в електротехнічних установках може досягати великих значень, від декількох сотень кіловольт та вище. Струми в таких установках також можуть дорівнювати кілька кілоампер, і навіть можуть досягати ще більших значень. Оскільки для безпосереднього вимірювання струму та напруги в таких установках необхідне дороговартісне та громіздке обладнання, тому доцільним рішенням в даному випадку є застосування вимірювальних трансформаторів струму та напруги. Вони створюють стандартну шкалу вторинних номінальних струмів і напруг, а також ізолюють вторинні вимірювальні кола від первинних силових кіл, з метою забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу електроустановки при обслуговуванні приладів з великими значеннями струмів та напруг.

## **Основна частина**

Вимірювальні трансформатори струму використовують з метою зменшення струмів до зручних для вимірювань значень, а також для ізоляції приладів обліку електричної енергії, реле від кіл з високою напругою. Ізолюють високовольтні силові кола від вторинних вимірювальних кіл з метою створення безпечної роботи вимірювальних кіл, обліку електроенергії, керування [2, 3].

До вимірювальних трансформаторів струму підключають пристрої релейного захисту і автоматики, лічильники електроенергії, амперметри, за допомогою яких вимірюють струми в електричних установках. Від трансформаторів струму залежить, чи вірно спрацює релейний захист у разі аварії або при особливому режимі роботи електрообладнання, а також точність вимірювання параметрів, обліку електроенергії.

Трансформатори струму за призначенням вторинних обмоток поділяють на: трансформатори струму для обліку електричної енергії, релейного захисту та автоматики, керування і сигналізації, лабораторні. Залежно від місця експлуатації, трансформатори струму розрізняють наступні: для зовнішньої експлуатації, закритої експлуатації, вбудовані в електричні апарати, накладні, переносні. Способи ізоляції в них бувають: з сухою ізоляцією, газоподібною ізоляцією, комбінованою ізоляцією. За способом розташування трансформатори струму поділяють на: опорні, прохідні, роз'ємні, шинні, вбудовані. Залежно від будови первинної обмотки, бувають багатовиткові та одновиткові трансформатори струму, а також шинні [4].

За своєю конструкцією, електромагнітний трансформатор струму являє собою типовий трансформатор, в якому первинну обмотку включають послідовно зі струмовим колом силового обладнання, а до вторинної обмотки підключають пристрої релейного захисту та автоматики, амперметри, лічильники електроенергії, як показано на рисунку 1. Осердя в них виконуються із трансформаторної сталі.

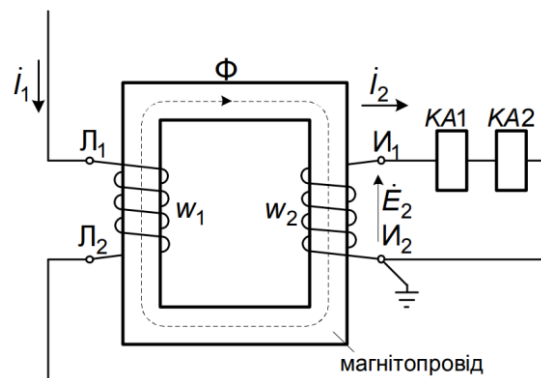


Рисунок 1 – Принцип дії трансформатора струму

За нормального режиму роботи, у первинній обмотці трансформатора струму з кількістю витків  $w_1$  протікає струм  $I_1$ , створюючи намагнічувальну силу  $F_1$ , під дією якої в магнітопроводі утворюється магнітний потік  $\Phi_1$ , що індукуює у вторинній обмотці з кількістю витків  $w_2$  електрорушійну силу. Під дією цієї ЕРС у вторинній обмотці протікає струм  $I_2$ , який створює намагнічувальну силу  $F_2$ , яка, відповідно, утворює магнітний потік  $\Phi_2$ . Намагнічувальні сили первинної та вторинної обмоток, та магнітні потоки векторно підсумовуються і утворюють результуючий магнітний потік  $\Phi$ , що створюється намагнічувальною силою  $I_\mu \cdot w_1$ , тобто струм намагнічення  $I_\mu$  є складовою струму первинної обмотки  $I_1$ . Отже, струм вторинної обмотки  $I_2$  відрізняється від струму первинної обмотки на величину струму намагнічення  $I_\mu$ .

Задля зручності і безпеки вимірювань у трансформаторах струму застосовується шкала вторинних номінальних струмів – це струми 1 та 5А відповідно. В енергосистемах України, в електричних установках напругою 330 кВ і вище застосовуються трансформатори струму з номінальним вторинним струмом рівним 1А, а для нижчих напруг застосовують трансформатори струму з номінальним вторинним струмом 5А. Завдяки використанню шкали вторинних номінальних струмів, реле і вимірювальні прилади виконують на струми 1 або 5А, які підключають до вторинної обмотки трансформатора струму, при цьому один із виводів, з метою безпечної експлуатації обов'язково заземлюють.

Режим роботи вимірювального трансформатора струму є близьким до режиму короткого замикання у вторинній обмотці, при цьому величина струму намагнічення не перевищує десятої частини струму у вторинній обмотці. При розімкненні вторинної обмотки струм намагнічення  $I_\mu$  стрибкоподібно зростає, через що зростає магнітний потік, що призводить до зростання втрат в осерді, перегріву магнітопроводу і з'являється загроза пожежі. Також, зростає ЕРС у вторинній обмотці, що несе загрозу обслуговуючому персоналу. Через це, суворо заборонено розмикати вторинну обмотку трансформатора струму під час його експлуатації. Також, трансформатор струму заборонено вмикати у лінію без підключеного до нього вимірювального приладу, при потребі від'єднання вимірювального приладу від вторинної обмотки, спочатку необхідно її закортити.

Трансформатори струму залежно від місця застосування вибирають за напругою установки, номінальним струмом, конструкцією та класом точності, електродинамічною стійкістю [4].

Величина номінального струму повинна бути якомога ближчою до робочого струму установки, оскільки недовантаження первинної обмотки призводить до зростання похибок вимірювання.

Відповідно до своєї конструкції, трансформатори струму типу ТЛМ, ТПЛК застосовуються в КРУ, для ВРУ застосовуються ТФН, ТФЕМ, для великих значень струмів використовують трансформатори типу ТШЛ, на виводах силових трансформаторів напругою 35 кВ і більше застосовуються вбудовані трансформатори струму ТВС, ТВ.

Залежно від області застосування, клас точності 0,5 використовується для підключення лічильників фінансових розрахунків зі споживачами, а клас точності 1 використовують для решти технічних вимірювальних приладів.

Вимірювальні трансформатори напруги застосовуються для перетворення високих значень напруги до нижчих, зручніших для вимірювань, а також для ізоляції високовольтних силових кіл від вторинних вимірювальних кіл.

Трансформатори напруги активно використовуються у розподільних установках високої та середньої напруги, і необхідні для передачі сигналів пристроям релейного захисту та автоматики, вимірювальним приладам. Виконуються трансформатори напруги зазвичай однофазними, і встановлюються у розподільних пунктах у комплекті із трьох одиниць одночасно.

Залежно від свого призначення розрізняють наступні трансформатори напруги: вимірювальні, захисні, подвійного призначення, узгоджувальні. За кількістю фаз їх поділяють на: однофазні, трифазні. За способом охолодження: сухі, масляні, з литою ізоляцією. За кількістю обмоток трансформатори напруги бувають: двохобмоткові, трьохобмоткові. Залежно від місця установки розрізняють трансформатори напруги: зовнішньої установки, внутрішньої установки, для комплектних розподільних установок.

Трансформатор напруги являє собою трансформатор, в якому осердя виконується із трансформаторної сталі, первинну обмотку якого підключають до силових кіл високої напруги, а до вторинної обмотки приєднують навантаження – лічильники електроенергії, пристрої релейного захисту та автоматики, як продемонстровано на рисунку 2.

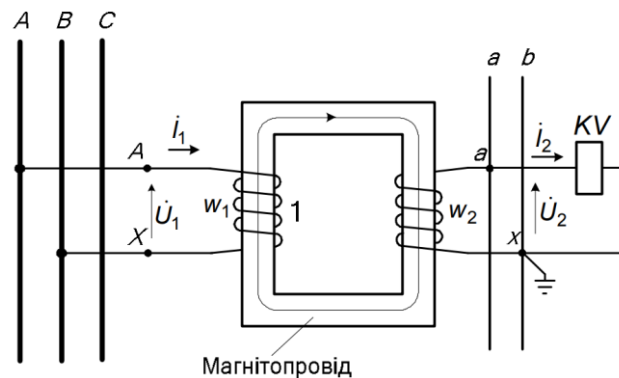


Рисунок 2 – Принцип дії трансформатора напруги

Первинну обмотку трансформатора напруги ізолюють від вторинної згідно з класом напруги устаткування. Задля безпеки обслуговуючого персоналу один із виводів у вторинній обмотці заземлюється, завдяки чому трансформатор напруги ізолює реле і прилади обліку від силового кола високої напруги. Режим роботи трансформатора напруги наближений до режиму холостого ходу.

Як і у трансформаторі струму, при нормальному режимі роботи, по первинній обмотці трансформатора напруги, що має кількість витків  $w_1$ , протікатиме струм  $I_1$ . Даний струм утворює намагнічувальну силу  $F_1$ , під дією якої в магнітопроводі утворюється магнітний потік  $\Phi_1$ , що індукватиме у вторинній обмотці, що має кількість витків  $w_2$ , електрорушійну силу. Коли вторинна обмотка замкнена на навантаження, під дією ЕРС у вторинній обмотці протікає струм  $I_2$ , що створює намагнічувальну силу  $F_2$ , утворюючи при цьому магнітний потік  $\Phi_2$ , який протидіє магнітному потоку первинної обмотки  $\Phi_1$ . Намагнічувальні сили, що створюються первинною та вторинною обмотками, а також магнітні потоки обмоток, векторно додаються і створюють результуючий магнітний потік  $\Phi$ .

У трансформаторах напруги для зручності застосовується стандартна шкала вторинних номінальних напруг: лінійна – 100В; фазна –  $100/\sqrt{3}$ В;  $100/3$ В – на вторинних обмотках, що мають

схему з'єднання «розімкнений трикутник». Для первинних обмоток також застосовується шкала стандартних напруг: 3; 6; 10; 15; 20; 24; 27; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750 кВ.

Трансформатори напруги обирають за напругою установки, конструкцією, схемою з'єднання обмоток, класом точності, вторинним навантаженням [3].

Залежно від класу напруги установки, до 18 кВ використовуються трансформатори напруги як трифазні, так і однофазні, а на вищі напруги лише однофазні. На напругу до 18 кВ застосовуються трансформатори напруги типу НОС, НОМ, ЗНОМ, НТМК, а на напругу вище 110 кВ використовують трансформатори типу НКФ та ємнісні дільники напруги НДЄ.

### Висновки

Отже, вимірювальні трансформатори струму та напруги широко застосовуються для ізоляції первинних силових кіл від вторинних вимірювальних кіл, з метою безпечної роботи вимірювальних кіл, облікових приладів, пристроїв сигналізації та керування. Так як для безпосереднього вимірювання струмів та напруг у високовольтних електроустановках необхідне дороге та громіздке обладнання, трансформатори струму використовуються також для зменшення струмів до зручних для вимірювань значень, а трансформатори напруги – для зменшення величини високої напруги до зручнішої для вимірювань величини, завдяки чому відпадає необхідність використання дорожчого обладнання.

Традиційні електромагнітні трансформатори струму та напруги активніше застосовуються в Україні в порівнянні зі своїми аналогами, такими як оптико-електронні перетворювачі, котушка Роговського. В цих приладах відсутні недоліки електромагнітних перетворювачів, такі як насичення магнітопроводу та ферорезонанс. Проте їх вартість поки що значно перевищує ціну традиційних вимірювальних перетворювачів, тому перевага надається саме традиційним електромагнітним трансформаторам струму та напруги.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://blog.youcontrol.market/ieliektroienierghietika-ukrayini-stan-i-pierspiektiv/>
2. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська Політехніка», 2013 – 533 с.
3. Лежнюк, П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій : навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тепля. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.
4. Лесько В. О. Електричні апарати: Навчальний посібник. / В. О. Лесько, С. В. Кравчук, О. В. Сікорська – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 145 с.

**Кочик Вадим Михайлович** – студент групи 1ЕЕ-206, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [vadimkochik211@gmail.com](mailto:vadimkochik211@gmail.com)

**Остра Наталя Вікторівна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [natalyaostra@ukr.net](mailto:natalyaostra@ukr.net)

**Kochyk Vadym M.** – student groups 1EE-20b, Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [vadimkochik211@gmail.com](mailto:vadimkochik211@gmail.com)

**Ostra Natalia V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the department of electric power stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: [natalyaostra@ukr.net](mailto:natalyaostra@ukr.net)