



Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

УДК 621.314.2:621.3.013:631.1

Підвищення ефективності трансформаторів і реакторів як чинник модернізації енергозабезпечення сільських територій

Ставинський А.А.

професор кафедри електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет
Україна, м. Миколаїв

Анотація: У роботі розглянуто сучасні підходи до підвищення ефективності та надійності трансформаторів і реакторів шляхом удосконалення конструкції їх активної частини. Проаналізовано недоліки традиційних електромагнітних систем із круговими формоутворюючими контурами стрижнів і обмоток, зокрема підвищену матеріаломісткість, складність виготовлення та недостатню електродинамічну стійкість. Обґрунтовано доцільність використання багатограних (шестигранних і восьмигранних) контурів, які забезпечують зменшення згинальних деформацій у провідниках, локалізацію механічних напружень та підвищення електричної міцності ізоляції. Встановлено, що застосування таких конструкцій дозволяє збільшити коефіцієнт заповнення магнітопроводу, знизити втрати електроенергії та скоротити матеріальні витрати. Показано, що впровадження запропонованих технічних рішень сприяє підвищенню енергоефективності та надійності електропостачання, що є важливим чинником модернізації аграрного сектору України та сталого розвитку сільських територій.

Ключові слова: трансформатор, реактор, електромагнітна система, електродинамічна стійкість, енергоефективність, магнітопровід, обмотка, багатограний контур, аграрний сектор, електропостачання.

Актуальність дослідження: Сучасний розвиток українського села безпосередньо залежить від надійності та енергоефективності електропостачання. Енергетична інфраструктура аграрного сектору базується на широкому використанні трансформаторів і реакторів, які забезпечують передачу та розподіл електроенергії. В умовах реформування аграрної галузі особливої актуальності набувають питання зменшення енергетичних втрат, підвищення надійності обладнання та зниження матеріаломісткості електротехнічних пристроїв.

У представлений роботі розглянуто інноваційний підхід до вдосконалення трансформаторів і реакторів, що полягає у зміні геометрії активних елементів електромагнітних систем. Такий підхід відповідає меті конференції, оскільки сприяє

підвищенню енергоефективності аграрного виробництва, зниженню витрат та забезпеченню сталого розвитку сільських територій.

Аналіз проблеми та існуючих рішень: Традиційні конструкції трансформаторів і реакторів протягом десятиліть базуються на використанні кругових форм поперечних перерізів стрижнів і обмоток [1]. Такий підхід забезпечує достатньо високий коефіцієнт заповнення магнітопроводу ($K_{fc}=0,927\dots0,931$), проте має низку недоліків:

- складність технології виготовлення;
- підвищена матеріаломісткість;
- наявність значних механічних напружень у провідниках;
- обмежена електродинамічна стійкість.

Особливо критичною є проблема електродинамічної стійкості (ЕДС), адже понад 14% відмов трансформаторів пов'язані саме з її недостатнім рівнем.

Згідно з дослідженнями, сумарні деформації в обмотках визначаються як:

$$\varepsilon = \varepsilon_b + \varepsilon_{ed}$$

де

ε_b — деформації від згину провідника;

ε_{ed} — деформації від електродинамічних сил.

У традиційних кругових обмотках ці складові накладаються по всій довжині провідника, що призводить до зниження механічної міцності та надійності ізоляції.

Інноваційне рішення полягає у використанні багатогранних формоутворюючих контурів (шестигранних та восьмигранних) для стрижнів і обмоток трансформаторів [2].

Основна ідея полягає в заміні криволінійних ділянок обмоток на прямолінійні відрізки, які перетинаються під кутами (переважно 120°). Це дозволяє:

- усунути згинальні деформації на більшій частині провідника;
- локалізувати напруження лише у кутових зонах;
- підвищити механічну та електричну міцність обмоток.

У багатогранних обмотках деформації концентруються лише в місцях вигину, що дає змогу цілеспрямовано посилювати ізоляцію та встановлювати додаткові опорні елементи (вертикальні прокладки, стяжки тощо).

Застосування шестигранних формоутворюючих контурів у конструкції стрижнів і обмоток трансформаторів дозволяє досягти практично повного заповнення поперечного перерізу магнітопроводу з коефіцієнтом $K_{fc}=0,998\dots0,9998$ що суттєво перевищує показники традиційних кругових конструкцій. Така геометрія забезпечує більш раціональне використання електротехнічної сталі, сприяє зменшенню магнітних втрат і підвищенню енергоефективності пристрою. Водночас спрощується технологія виготовлення магнітопроводів, оскільки використання однакових за шириною листів дозволяє реалізувати принцип безвідходного виробництва, що є економічно доцільним для серійного виготовлення. Крім того, шестигранна форма сприяє підвищенню електродинамічної стійкості обмоток завдяки зменшенню згинальних деформацій провідників і більш рівномірному розподілу механічних навантажень, що в підсумку підвищує надійність і довговічність трансформаторного обладнання.

Використання восьмигранних формуютьючих контурів у конструкціях трансформаторів і реакторів також забезпечує суттєве покращення їх техніко-економічних характеристик, хоча коефіцієнт заповнення магнітопроводу в цьому випадку є дещо нижчим і становить $K_{fc}=0,90\dots0,93$. Разом із тим така геометрія дозволяє оптимізувати структуру магнітопроводу за рахунок зменшення кількості типорозмірів листів електротехнічної сталі, що спрощує виробничий процес і знижує його трудомісткість. Восьмигранні конструкції забезпечують більш гнучкі можливості компонування елементів магнітопроводу, зокрема при застосуванні комбінованих перерізів, що сприяє ефективнішому використанню матеріалів. Крім того, як і у випадку шестигранних контурів, досягається зменшення згинальних деформацій провідників обмоток, що позитивно впливає на електродинамічну стійкість і загальну надійність роботи електротехнічного обладнання [3].

Значення для розвитку аграрного сектору: Підвищення ефективності та надійності трансформаторів і реакторів має важливе значення для розвитку аграрного сектору України, оскільки електроенергетична інфраструктура є базовою складовою функціонування сучасного сільського господарства. Використання енергоефективних та конструктивно вдосконалених електротехнічних пристроїв дозволяє зменшити втрати електроенергії, знизити експлуатаційні витрати та підвищити стабільність електропостачання, що особливо актуально для віддалених сільських територій. Це сприяє безперебійній роботі технологічного обладнання, такого як насосні установки, системи зрошення, вентиляції, зберігання та переробки сільськогосподарської продукції. У результаті підвищується енергоефективність виробництва, знижується собівартість продукції та створюються передумови для впровадження інноваційних технологій у сільському господарстві. Таким чином, удосконалення трансформаторів і реакторів є важливим чинником модернізації енергетичної інфраструктури аграрного сектору та сталого розвитку сільських територій України.

Висновок: Проведений аналіз показав, що традиційні конструкції трансформаторів і реакторів із круговими формуютьючими контурами мають обмеження щодо підвищення ефективності та надійності через наявність значних механічних і електродинамічних навантажень в обмотках.

Застосування багатогранних контурів, зокрема шестигранних і восьмигранних, є перспективним напрямом удосконалення електромагнітних систем, оскільки дозволяє зменшити згинальні деформації провідників, підвищити електродинамічну стійкість і більш раціонально використовувати матеріали. Це сприяє зниженню втрат електроенергії та матеріаломісткості конструкцій.

Впровадження запропонованих рішень забезпечує підвищення надійності та спрощення технології виготовлення трансформаторів і реакторів, що є важливим для їх широкого застосування.

У контексті розвитку аграрного сектору України це сприяє підвищенню енергоефективності та надійності електропостачання, зниженню витрат виробництва та створенню умов для сталого розвитку сільських територій.

Список використаних джерел:

1. Possibilities of improving the transformers and reactors on the basis of multiple counters of the rods / A. Stavinskiy et al. *Proceedings of the international conference on modern electrical and energy systems*,. 2017. P. 176–179.
2. Radial stability evaluation and cumulative test of transformer windings under short-circuit condition / Z. Li et al. *Electric power systems research*. 2023. Vol. 217. P. 109112. URL:<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109112>.
3. Research on nonlinear vibration of transformer winding based on static analysis of axial pressing process / L. Jun et al. *Scientific reports*. 2025. Vol. 15, no. 1. URL:<https://doi.org/10.1038/s41598-025-18779-0>.

Abstract: The paper considers modern approaches to increasing the efficiency and reliability of transformers and reactors by improving the design of their active part. The disadvantages of traditional electromagnetic systems with circular shape-forming contours of rods and windings are analyzed, in particular, increased material consumption, complexity of manufacturing and insufficient electrodynamic stability. The feasibility of using multifaceted (hexagonal and octagonal) contours is substantiated, which provide a reduction in bending deformations in conductors, localization of mechanical stresses and an increase in the electrical strength of insulation. It is established that the use of such structures allows to increase the filling factor of the magnetic core, reduce electricity losses and reduce material costs. It is shown that the implementation of the proposed technical solutions contributes to increasing energy efficiency and reliability of power supply, which is an important factor in the modernization of the agricultural sector of Ukraine and the sustainable development of rural areas.

Keywords: transformer, reactor, electromagnetic system, electrodynamic stability, energy efficiency, magnetic circuit, winding, multifaceted circuit, agricultural sector, power supply.

УДК. 621.316

Аналіз впливу вибору апаратів керування та захисту на ефективність роботи електродвигуна

Вахоніна Л.В., доцент

Мардзявко К.О., асистент

Миколаївський національний аграрний університет

Анотація. У цій роботі досліджується вплив правильного та неправильного вибору апаратів керування та захисту на роботу електродвигуна. Проведено математичне моделювання основних параметрів, таких як пусковий струм, втрати електроенергії, навантаження на мережу та температурний режим двигуна. Порівняно два варіанти керування: із застосуванням плавного пуску та частотного регулювання (правильний вибір) і без них (неправильний вибір). Результати розрахунків показують значні переваги використання сучасних засобів керування, що сприяє підвищенню енергоефективності та зниженню навантаження на електромережу.

Ключові слова: електродвигун, апарати керування, захист електродвигуна, пусковий струм, плавний пуск, частотне регулювання, втрати електроенергії, навантаження на мережу, енергоефективність.

Вступ. У сучасній електротехніці ефективне використання електроенергії та забезпечення надійної роботи електрообладнання є пріоритетними завданнями. Одним із ключових аспектів досягнення цих цілей є правильний вибір апаратів керування та захисту [1]. Вони дозволяють оптимізувати роботу електричних систем, запобігати