

**МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА  
ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЯ**

**«ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
НАУКИ І ОСВІТИ  
В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ»**



**ВИПУСК 109**

**30 вересня 2024 р.**

**м. Переяслав**

УНІВЕРСИТЕТ ГРИГОРІЯ СКОВОРОДИ  
В ПЕРЕЯСЛАВІ

Рада молодих учених університету

Матеріали

Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції

**«ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
НАУКИ І ОСВІТИ В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ»**

30 вересня 2024 року

Вип. 109

Збірник наукових праць

Переяслав – 2024

УДК 001+37(100)  
ББК 72.4+74(0)  
Т 33

Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»: Зб. наук. праць. Переяслав, 2024. Вип. 109. 183 с.

**ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР:**

**Коцур В. П.** – доктор історичних наук, професор, академік НАПН України

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

**Воловик Л. М.** – кандидат географічних наук, доцент

**Гузун А. В.** – кандидат біологічних наук, доцент

**Євтушенко Н. М.** – кандидат економічних наук, доцент

**Кикоть С. М.** – кандидат історичних наук (відповідальний за випуск)

**Носаченко В. М.** – кандидат педагогічних наук, доцент

**Руденко О. В.** – кандидат психологічних наук, доцент

**Садиков А. А.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент (Казахстан)

**Скляренко О. Б.** – кандидат філологічних наук, доцент

**Халматова Ш. С.** – кандидат медичних наук, доцент (Узбекистан)

**Юхименко Н. Ф.** – кандидат філософських наук, доцент

Збірник матеріалів конференції вміщує результати наукових досліджень наукових співробітників, викладачів вищих навчальних закладів, докторантів, аспірантів, студентів з актуальних проблем гуманітарних, природничих і технічних наук

*Відповідальність за грамотність, автентичність цитат, достовірність фактів і посилань несуть автори публікацій*

©Університет Григорія Сковороди  
в Переяславі

©Рада молодих учених університету

## **НЕСИМЕТРІЯ НАПРУГИ, СТРУМІВ У ТРИФАЗНИХ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖАХ ТА НАСЛІДКИ ДЛЯ УСТАТКУВАННЯ**

*В роботі проаналізовано причини виникнення несиметрії струмів і напруг у трифазних колах та визначений вплив несиметрії напруги та струмів на роботу електричних низьковольтних мереж і електроустаткування*

***Ключові слова:** несиметрія, напруга, струм, низьковольтна мережі, електроустаткування.*

**Постановка проблеми.** В електроенергетиці постачальник і споживач мають спільний вплив на якість електроенергії. Споживання струму з низькою якістю негативно впливає на якість напруги мережі, приводить до погіршення техніко-економічних показників передачі електроенергії, зростанню втрат активної потужності, зниженню надійності. Низька якість напруги мережі приводить до зниження ефективності роботи електрообладнання споживача і постачальника.

Вимоги до якості електроенергії викладені в державному стандарті України [1]. Покращення якості електроенергії дозволяє підвищити енергоефективність і енергозбереження, які є пріоритетним напрямками розвитку науки і техніки в Україні і світі.

Рішення задач, пов'язаних з проблемами симетричного розподілення струмів в трифазних системах електропостачання є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень.** Однією з основних причин виникнення несиметрії напруги є несиметричне споживання струмів, викликаних несиметрично розподіленими однофазними навантаженнями. При наявності нейтрального проводу таке навантаження призводить також до збільшення струмів нейтралі.

Основним способом рішення цієї проблеми є симетрування напруги і струмів за допомогою пасивних елементів. Серед них найбільше розповсюдження отримало підключення конденсаторів з несиметрично розподіленими ємностями по фазах. Однак цей спосіб не дозволяє здійснити плавне регулювання струмів компенсації, і як наслідок, має низьку ефективність для рішення задач симетрування [3, 4].

Другим способом симетрування є компенсатор на основі паралельно зустрічно включених тиристорів з послідовним включеними дроселями, але вони мають суттєвий недолік – значне спотворення струмів, виникнення вищих гармонік струмів, які погіршують роботу електроустаткування. В зв'язку з цим аналіз і розробка методів і засобів симетрування струмів в системах енергопостачання є актуальною задачею.

**Мета статті.** Зробити аналіз впливу несиметрії напруги та струмів у трифазних колах, визначити причини їхнього впливу на електрообладнання.

**Основні матеріали дослідження.** Вплив несиметрії струмів на систему електропостачання можна охарактеризувати наступними наслідками.

Несиметрія струмів призводить до виникнення несиметрії напруги у трифазних колах, яка в свою чергу для однофазного споживача проявляється відхиленням напруги (провали напруги, перевищення номінального значення напруги), а для симетричних і несиметричних навантажень приводить до виникнення додаткових струмів прямої і зворотної послідовності.

Для динамічного навантаження (асинхронних електродвигунів), опори яких залежні від ковзання і різні для прямої і зворотної послідовностей, викликає додаткові втрати активної потужності [2].

Несиметрія струмів та напруги викликає збільшення втрат у розподільному обладнанні мережі. Несиметричні струми зворотної і нульової послідовностей викликають додатковий нагрів у різному обладнанні, зокрема, в розподільних трансформаторах, що зменшує строк їх експлуатації. Зменшити втрати активної потужності від несиметрії струмів у розподільних трансформаторах можна за рахунок схеми з'єднання. Крім того, схема з'єднання обмоток розподільного трансформатора також суттєво впливає на несиметрію напруги. Більшість трансформаторів, що встановлені у мережах, мають схему «зірка-зірка з нулем» ( $Y/Y_0$ ). Такі трансформатори дешевші, але у них великий внутрішній опір струмам нульової послідовності  $Z_0$ . Для зниження несиметрії напруги, що викликає трансформатор, доцільно застосовувати схеми з'єднання «трикутник-зірка з нулем» ( $\Delta/Y_0$ ) або «зірка-зигзаг» ( $Y/Z_0$ ) [5].

Протікання несиметричних струмів веде до зниження ефективності передачі потужності у випадку, якщо одна фаза завантажена до номінального значення, а дві інші ледь завантажені. В цьому випадку не можна підключити будь-яке трифазне навантаження. В цьому випадку передана потужність трифазної мережі відповідає третині від номінальної.

Несиметричне навантаження в мережах з нейтральним проводом на практиці завжди призводить до виникнення струму в нейтралі. А це додаткові втрати активної потужності і виникнення напруги зміщення нейтралі (напруги нульової послідовності). Крім струму у нейтральному проводі, через нейтральний провід течуть струми третьої і інших непарних гармонік, кратних трьом. Струми вищих гармонік викликаються нелінійними навантаженнями, які в теперішній час складають більшу частину навантажень [6].

Несиметрія струмів надає додатковий ефект на загрузку нейтрального проводу, що викликає його перевантаження і перегорання (обриву), що призводить до виходу з ладу електротехніки з боку споживача, а також є дуже небезпечним від враження струмом для людини.

Від несиметрію струмів виникають аварійні режими мережі: перевантаження ліній електропередачі, в результаті чого збільшується ризик виникнення аварійних режимів мережі: перевищення номінального струму у фазах лінії, протікання великих струмів в нейтралі.

Причин, що викликають несиметрію струмів, багато. По-перше, це підключення однофазних навантажень до трифазної енергосистеми. Потужне однофазне навантаження викликає сильну несиметрію. Прикладом такого навантаження є електропоїзди. Підключення такого навантаження викликає великі струми зворотної послідовності, що викликають втрати в обмотках тягових трансформаторів на 25 % вище, ніж струмами прямої послідовності.

Наявність незалежних однофазних споживачів (побутових споживачів) теж викликає несиметрію струмів: об'єктивно (на стадії проектування електромереж споживачів «рівномірно» розподіляють між фазами) і суб'єктивно (включення і відключення споживачів спостерігається у довільному порядку).

Характер трифазної установки теж впливає на несиметрію споживаних струмів: наприклад, трифазні дугогасні електропечі. В таких печах величина спожитого струму по кожній фазі залежить від розподілення зануреної шихти і носить випадковий характер аж до різкої несиметрії.

Різні значення повних опорів у лініях електропередачі теж є причиною несиметрію струмів. Цьому причиною є: відсутність транспозиції проводів в лінії електропередачі, електромагнітний зв'язок між лініями при передачі по одних опорах двох різних незв'язаних кіл, наявність високочастотних загороджувачів і нерівномірне розподілення паразитних ємностей у довгих лініях.

Аварійні режими у лініях електропередачі (обрив фази або коротке замикання фаз між собою на землю) теж є причиною несиметрію струмів.

Виникнення несиметричної напруги можливе із-за зовнішніх факторів: аварії на сусідніх ділянках, споживання потужностей і сусідніх ділянках мережі з різко вираженою

несиметрію, а також порушення правил в організації електропостачання призводить до несиметрії напруг і струмів в мережі. В цьому випадку компенсація струмів несиметрії, що викликані несиметрією напруг є зайвою, оскільки ці струми компенсації не дають корисного ефекту, а тільки додатково завантажують пристрій компенсації.

Постачальник електроенергії повинен надавати споживачу якісну напругу, що визначено нормами ДСТУ, але на практиці, домогтися цього може бути дуже складною задачею. Одним з рішень цієї проблеми є установка пристрою симетрування напруги на стороні споживача [6].

При стабільному графіку навантажень зниження систематичної несиметрії струмів в мережі може бути досягнуто вирівнюванням навантажень по фазам шляхом переключення частини навантаження з перевантаженої фази на ненавантажену. Але такий спосіб не завжди дозволяє знизити несиметрію струмів до необхідного значення. В зв'язку з цим розроблені пристрої по зниженню несиметрії струмів, такі як конденсаторні установки, що працюють в несиметричному режимі і установки на основі схеми Штейнмеца і її модифікацій.

Конденсаторні установки не тільки є джерелом реактивної потужності, широко використовуються для регулювання реактивної потужності і підтримки рівня напруги в енергетичних системах, але і володіють симетруючим ефектом. Для цього необхідне керування комутаційною апаратурою, що дозволяє підключати конденсаторні батареї на несиметричному режимі. Конденсаторні установки для симетрування струмів мають ряд недоліків: при їх підключенні стрибки струму; невисока точність компенсації і ступінчасте регулювання; при симетруванні завжди генерується реактивна потужність; можуть виникати перехідні процеси і неможливість симетрування в динамічних режимах роботи мережі.

Симетрування струмів за допомогою схеми Штейнмеца застосовують для зниження струмів несиметрії, які викликані при живленні однофазного навантаження лінійною напругою. Пристрої, виконані на схемою Штейнмеца теж мають недоліки.

З появою потужних силових напівпровідникових приборів, широке використання отримав компенсатор на основі тиристорно-реакторної групи.

Ситуація в цій області суттєво змінилася з розробкою і освоєнням виробництва повністю керованих силових електронних ключів, що дало змогу активної фільтрації і керування реактивною потужністю та іншими видами неактивних потужностей, включаючи потужності несиметрії. Для рішення задачі покращення якості струму найбільше розповсюдження отримали пристрої, виконані на основі мостового напівпровідникового перетворювача напруги з конденсатором на стороні постійного струму і дроселями на стороні змінного струму. Однак в цих пристроях недосліджені процеси впливу несиметрії струмів на завантаження силової елементної бази в режимах імпульсної модуляції.

В наступний час активно досліджуються і розробляються компенсатори реактивної потужності на основі тиристорно-реакторної групи в поєднанні з конденсатором, що дозволяють знизити несиметрію струмів і підвищити якість електроенергії для споживачів.

**Висновки.** Аналіз впливу несиметрії струмів у трифазних колах і причин їх виникнення показав, що актуально розробляти компенсатори потужності несиметрії, що дозволяють знизити не тільки несиметрію струмів, а і підвищити якість електроенергії для споживачів. Це дозволить суттєво витрати електроенергії, підвищити енергоефективність і енергозбереження електроустаткування.

### ДЖЕРЕЛА ТА ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. в Украине с 01.01.2000.

2. Romanova V., Khromov S. Effect of asymmetry of supply voltages on asynchronous motor operation modes. E3S Web of Conferences vol.58 / International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2018). Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185803013>.

3. Попова І.О., Квітка С.О., Вовк О.Ю. Дослідження несиметричного режиму на роботу динамічного індуктивного навантаження. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол.ред д.т.н. В.М.Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, Т.1. С.179-187. DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-179-187.

4. Стьопін Ю.О., Кушлик Р.В., Перова Н.П. Дослідження роботи асинхронних двигунів при несиметрії напруг в усталених режимах. *Енергетика і автоматика*. 2014. № 3. С. 141-146.

5. Kurashkin S., Popova I., Popryaduhin V.S., Kovalov O.V. Mathematical model of asynchronous motor diagnosis / Science progress in European countries: new concepts and modern solutions. Proceedings of the 6th International conference. ORT Publishing. Stuttgart, Germany. 2019. PP. 361-366.

6. Попова І.О. Аналіз параметрів обмоток динамічного навантаження при несиметрії напруги. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації / Матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (30 квітня 2024 р., університет Григорія Сковороди у Переяславі): зб. наук. праць. Переяслав, 2024. Вип.104. С. 167-169.*

**УДК 519.6:656.1.5**

*Євген Сугаль  
(Кам'янське, Україна)*

### **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ПРИ НЕСИМЕТРИЧНОМУ ЖИВЛЕННІ**

При проектуванні асинхронних двигунів (АД) і електроприводів на їх основі необхідно перевіряти їх експлуатаційні властивості як в симетричних режимах роботи, так і в динамічних. При цьому першочерговим завданням є розрахунок статичних характеристик, на підставі яких можна визначити граничні механічні та теплові навантаження двигуна з метою формулювання обмежень, що є основою розробки системи захисту та автоматики при їх експлуатації.

У цій роботі було розроблено метод обліку насичення магнітопроводу та витіснення струму в стрижнях короткозамкнутого ротора в математичній моделі двигуна. Для обліку насичення використовувалися розраховані на основі геометричних даних двигуна характеристики намагнічування основним магнітним потоком і шляхів розсіювання потоків обмоток статора і ротора. Для обліку явища витіснення струму в обмотці ротора стрижні разом з короткозамикаючими кільцями розбивалися по висоті на кілька шарів, в результаті на роторі виходило кілька обмоток, між якими існували взаємоіндуктивні зв'язки як за рахунок основного потоку, так і розсіювання потоків.

Реальна короткозамкнена обмотка приводилася до еквівалентної трифазної за загальноприйнятою методикою. У розробленій математичній моделі процеси в асинхронному двигуні описувалися системою нелінійних диференціальних рівнянь електромагнітної рівноваги, складених у нерухомих трифазних координатних осях. Рішенням цієї системи в режимі, що встановився, були періодичні залежності струмів, які визначалися шляхом вирішення крайової задачі.

