

6. Chaker N., Ben Salah I., Tounsi S., Neji R. Design of axial-flux motor for Traction application. Electromagnetic Analysis & Applications, 2009, noz., pp73-83.
7. Mushid F.C., Dorrell D.G. Review of axial flux induction motor for automotive applications. IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis. 20 April 2017. DOI:[10.1109/WEMDCD.2017.7947738](https://doi.org/10.1109/WEMDCD.2017.7947738). Corpus ID: 27556509
8. Ставинський А.А. Проблема і напрямки подальшої еволюції пристроїв електромеханіки. Електротехніка і електромеханіка. 2004, №1, с.57-61.
9. Ставинський А.А. Особливості призначення і використання спеціальних електричних машин. Електротехніка і електромеханіка. 2008, №1, с.44-48.

Abstract. *Based on a review of information sources, the intensification of the use of special asynchronous motors with an external rotor and axial clearance in mobile transport objects has been determined. The possibility of improving such motors based on replacing flat and spiral-cylindrical layers of magnetic core steel with conical-planar and conical-cylindrical structures has been shown.*

Keywords: *transport facilities, special electric motors, external rotor, axial clearance, improvement.*

УДК. 621.314

АНАЛІЗ СТАНУ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Віталій Мардзявко

асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. *У роботі здійснено узагальнений аналіз сучасних підходів до перетворення електромагнітних систем із використанням трансформаторів для формування багатофазних режимів живлення. Проаналізовано обмотувальні та конструктивні методи створення фазових зсувів, встановлено їхні переваги та обмеження. Показано, що конструктивні рішення з оптимізованою просторовою організацією активної частини трансформатора забезпечують найвищу симетрію ЕРС та мінімальні гармонічні спотворення, тоді як обмотувальні схеми вирізняються технологічною доступністю та гнучкістю. Визначено актуальні проблеми, пов'язані з вищими гармоніками, тепловими режимами та низькими значеннями коефіцієнта потужності, що вказує на необхідність подальшої оптимізації систем перетворення числа фаз.*

Ключові слова: *трансформаторні перетворювачі, багатофазні системи, фазове перетворення, обмотувальні методи, конструктивні методи, електромагнітна система, гармонічні спотворення, симетрія ЕРС.*

Сучасна електроенергетика перебуває у стані активного технічного переосмислення, що пов'язано з переходом на нові принципи формування, передачі та перетворення електричної енергії. Традиційні трифазні системи, які десятиліттями забезпечували основні потреби промисловості, транспорту та енергопостачання, нині стикаються з низкою обмежень: високим рівнем гармонічних спотворень, нерівномірністю навантаження, складністю компенсації реактивної потужності та недостатньою гнучкістю при змінних робочих режимах.

Одним із напрямів вирішення цих проблем є використання багатофазних систем живлення, створених на основі спеціалізованих трансформаторів. Перетворення числа фаз за допомогою трансформаторних систем дозволяє підвищити ефективність енергопередачі, зменшити пульсації напруги та струму, покращити електромагнітну сумісність і стабільність роботи потужних електроприймачів.

Метою роботи є аналіз сучасних підходів і тенденцій у сфері перетворення електромагнітних систем на основі трансформаторів, а також оцінка ефективності різних методів формування багатофазних систем живлення з урахуванням конструктивних та електромагнітних характеристик.

У процесі аналізу сучасних підходів до побудови багатофазних електромагнітних систем на основі трансформаторів було встановлено, що основним напрямом розвитку є підвищення енергоефективності, стабільності та електромагнітної симетрії вихідних параметрів шляхом удосконалення конструкцій і схем з'єднання обмоток.

Залежно від принципу реалізації процесу перетворення електричної енергії всі розглянуті рішення можна поділити на **дві основні групи - обмотувальні та конструктивні методи**.

Обмотувальні методи перетворення фаз базуються на створенні необхідного фазового зсуву між вихідними напругами за рахунок зміни схеми з'єднання обмоток, кількості витків і напрямку намотування котушок. Такі рішення дозволяють формувати системи з непарною кількістю фаз ($3 \rightarrow 5$, $3 \rightarrow 7$) без радикальної модифікації магнітопроводу, що робить їх технологічно доступними для впровадження на базі серійних трансформаторів.

Аналіз [1-3] експериментальних і модельних досліджень показав, що застосування багатофазних трансформаторів із правильно підібраними параметрами обмоток дає змогу отримувати рівномірно розподілені фазові кути (для п'ятифазної системи — по 72°) та мінімізувати амплітуду вищих гармонік у вихідному сигналі. Зокрема, у трансформаторі типу «трифазно-п'ятифазний» зафіксовано зменшення пускового струму з 7,04 А до 4,32 А, коефіцієнт потужності системи на рівні 0,324–0,39 та стабільну форму напруг при живленні п'ятифазного асинхронного двигуна. Отримані результати підтверджують, що зміна конфігурації обмоток є ефективним способом створення багатофазних систем для середньої потужності, де важлива гнучкість і простота конструкції. Основними перевагами методу є компактність, технологічна доступність, можливість реалізації на базі серійних трансформаторів і адаптивність до змінних режимів навантаження. Водночас недоліки полягають у підвищеній

чутливості до точності намотування, нерівномірності фазових кутів при зміні температури та наявності реактивних складових у навантаженні, що знижує коефіцієнт потужності системи.

Конструктивні методи [4] формування багатофазності передбачають зміну просторової структури активної частини трансформатора з метою створення природного фазового зсуву електрорушійних сил (ЕРС). У ході дослідження було проаналізовано три базові схеми конструкцій трансформаторних перетворювачів числа фаз (ТПФ) [4]. Перша — трифазна система з обмотками на ярмах, яка забезпечує формування фазових зсувів шляхом розміщення первинних і вторинних обмоток на різних елементах магнітопроводу. Така схема дозволяє здійснювати регулювання напруги поперечним підмагнічуванням і є ефективною для зварювальних і регульованих джерел живлення. Друга — система з проміжними стрижнями, що включає додаткові магнітні елементи для формування багатофазних вихідних ЕРС (6, 9, 12 фаз) без складних схем керування. Її основна перевага полягає у високій симетрії вихідних фаз і зниженні магнітного розсіювання. Третя — осьова електромагнітна система з обертовим магнітним полем, яка є сучасним рішенням для потужних і високочастотних систем. Завдяки спеціальному розташуванню концентрованих або розподілених котушок формується природна симетрія ЕРС, що не залежить від навантаження. Такий підхід забезпечує найкращу якість електроенергії та мінімальні гармонічні спотворення.

Порівняльний аналіз трьох варіантів конструкцій показав, що найвища симетрія ЕРС досягається в осьових системах, найкраща компактність — у конструкцій з ярмовими обмотками, можливість керування напругою реалізується лише у схемах із поперечним підмагнічуванням, а найвища якість енергії характерна для систем з обертовим магнітним полем. Таким чином, ефективність перетворення трифазного живлення у багатофазне значною мірою визначається просторовою організацією активної частини трансформатора, а не лише схемою з'єднання обмоток.

Аналіз показав, що ефективне перетворення трифазного живлення у багатофазне забезпечується двома основними підходами: обмотувальним та конструктивним. Обмотувальні методи дозволяють формувати непарні системи фаз без значних змін трансформатора, забезпечуючи компактність та адаптивність до навантажень, проте чутливі до точності намотування. Конструктивні методи, шляхом зміни просторової організації активної частини, створюють природні фазові зсуви, забезпечуючи високу симетрію, мінімальні гармоніки та стабільність при змінних режимах. Найефективнішими є осьові системи з обертовим магнітним полем, тоді як схеми з ярмовими обмотками або проміжними стрижнями забезпечують компактність та можливість регулювання напруги.

Проведений аналіз також дозволив виявити низку актуальних технічних проблем. Більшість існуючих схем не враховують вплив вищих гармонік на вихідну напругу, що може призводити до перевантажень, перегрівів та зниження ефективності системи. Недостатньо досліджено теплові режими роботи багатофазних систем, особливо при високих струмових навантаженнях. Крім того, низький коефіцієнт потужності (0,32–0,39), зафіксований у більшості

експериментальних моделей, вказує на необхідність удосконалення схем компенсації реактивної енергії.

Список використаних джерел

1. Pham Ai Quoc, Pham Cong Duy. Manufacturing of a transformer for converting 3-phase to 6-phase electric power source. *Journal of Science and Technology*. 2024. Т. 72. С. 1–10.
2. Analysis and Comparative Study of Six Phase Transmission System. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2016. Т. 5. С. 1351–1361.
3. T. M. I. Bin Tuan Yacob, Z. B. Zakaria. Study of six phase transmission line using the autotransformer conversion. *2011 IEEE Student Conference on Research and Development*, м. Cyberjaya. 2011.
4. Ставинський А., Ставинський Р., Плахтирь О. Способи забезпечення спеціальних вимог до силового електрообладнання на основі трансформаторів і трансформаторних перетворювачів з просторною структурою. *Електротехніка і електромеханіка*. 2005. № 4. С. 30–36.

Abstract. *The paper provides a generalized analysis of modern approaches to the transformation of electromagnetic systems using transformers to form multiphase power supply modes. The winding and design methods for creating phase shifts are analyzed, their advantages and limitations are established. It is shown that design solutions with optimized spatial organization of the active part of the transformer provide the highest EMF symmetry and minimal harmonic distortions, while winding schemes are distinguished by technological accessibility and flexibility. Current problems associated with higher harmonics, thermal modes and low power factor values are identified, which indicates the need for further optimization of phase number conversion systems.*

Keywords: *transformer converters, polyphase systems, phase transformation, winding methods, design methods, electromagnetic system, harmonic distortion, EMF symmetry.*

УДК 621.313.33

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНОГО НАСОСА FP129/5 У СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ГІДРОТРАНСПОРТУ ГРАНУЛ ПОЛІПРОПІЛЕНУ

Фученко Сергій

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Робота присвячена модернізації нерегульованого електропривода погрузного насоса FP129/5 у складі системи охолодження та гідротранспорту гранул поліпропілену лінії P129. Об'єктом є замкнений контур*