

# СПОСОБИ ПОЛЕГШЕННЯ ПУСКУ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Досліджено способи зниження пускових струмів в асинхронних двигунів, що дозволяє зменшити початковий струм та навантаження на систему живлення.*

**Ключові слова:** асинхронні двигуни, трифазна мережа, частотне керування, напруга живлення.

## **Abstract**

*Methods of reducing starting currents in asynchronous motors, which allows to reduce the starting current and the load on the power supply system have been studied.*

**Keywords:** asynchronous motors, three-phase network, frequency control, supply voltage.

## **Вступ**

Основні проблеми, пов'язані з пуском асинхронного двигуна, полягають у збільшенні струму під час розгону, що може призвести до перевантаження системи живлення і пошкодження обладнання. Також можуть виникати проблеми зі стабільністю пускового процесу, який може бути нестабільним і не передбачуваним, викликаний спадом напруги при зростаючому струмі. У зв'язку з цим виникає потреба аналізу способів зниження пускових струмів в асинхронних двигунів, що дозволяє зменшити початковий струм та навантаження на систему живлення [1, с. 97].

## **Результати дослідження**

Загальний вигляд асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (далі – АДКЗ) показаний на рис. 1. У пазах статора розміщена обмотка, що утворює фазні зони, зсунуті в просторі на  $120^\circ$ . При підключенні обмотки статора до трифазної мережі, напруги фаз якої зсунуті на  $120^\circ$ , виникає магнітне поле, що обертається у статорі з кутовою швидкістю:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$$

де  $\omega_0$  - швидкість ідеального холостого ходу АД, рад/с;  $f_1$  - частота мережі, Гц;  $p$  – число пар полюсів.

Частота обертання поля статора у обертах за хвилину  $n_0$  визначається за формулою:

$$n_0 = \frac{60f_1}{p}$$

Для стандартної частоти  $f_1 = 50$  Гц вона залежить від конструкції машини й може становити 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/хв [2, с. 7-8].

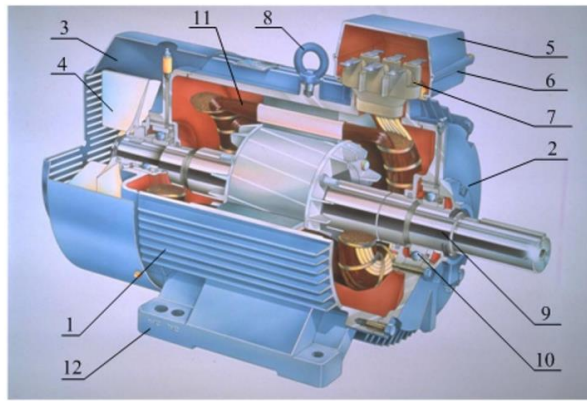


Рис. 1. Загальний вигляд асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

1 - статор; 2 - підшипниковий щит; 3 - кришка вентилятора; 4 - вентилятор; 5 - кришка; 6 - клемна коробка; 7 - клемна панель; 8 - рем-болт; 9 - ротор; 10 - підшипник; 11 – обмотка статора; 12- лапи

Очевидна перевага асинхронних двигунів полягає у простоті їх конструкції (немає щіток і колектора) та невибагливості в експлуатації. Необхідність трифазного живлення – основний недолік машин цього типу. Трифазна мережа являє собою сукупність трьох однофазних ліній живлення, але зі строго певним зсувом фаз, рівним  $120^{\text{Про}}$ . Тому обмотки двигуна фізично розташовуються один щодо одного з тією ж кутовою відстанню, що струм послідовно протікає по першій, другій і третій обмотці. Це, власне, створює момент, що крутить, змушуючи ротор обертатися.

При прямому пуску двигуна з короткозамкненим ротором пусковий струм перевищує номінальний в 4-8 разів. Стрибок пускового струму для двигунів великої потужності викликає зниження напруги живильної мережі, що погано позначається на роботі інших споживачів. Тому пряме включення в мережу асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором обмежується. Такий пуск дозволяється для двигунів, номінальна потужність яких становить не більше 25 % потужності живильного трансформатора. Існує два способи зниження напруги в короткозамкнених асинхронних двигунів: (1) перемикання обмотки статора з “зірки” на “трикутник”; (2) зниження напруги автотрансформатором.

**Розглянемо більш детально перший варіант.** Будь-який асинхронний двигун працює в одному з режимів – зірка або трикутник, званих так через спосіб з'єднання обмоток машини. У першому випадку воно нагадує трипроменеву зірку, а в другому – трикутник.

При з'єднанні обмоток зіркою, незважаючи на міжфазні 380, до кожної обмотки прикладено лише 220 В одній фазі. Цим продиктовані скромні пускові струми. Нестача схеми полягає в обмеженні потужності машин, що зумовлює її використання для малопотужних двигунів.

В обмотках, з'єднаних за схемою трикутник, кінець кожної з них з'єднаний з початком іншої, що пояснює 380 В, що діють, між ними. Це обумовлює великі струми і, зрозуміло, ускладнює можливість підключення потужних двигунів понад 7,5 кВт [3].

При пуску обмотки статора з'єднані “зіркою” і статор рубильником включається в мережу. По досягненню ротором номінальної швидкості обмотки статора перемикаються на з'єднання “трикутник” – цим закінчується пусковий режим.

Так, нехай  $U_{\text{л}}$  – лінійна напруга;  $U_{\text{ф}}$  і  $U_{\Delta}$  – фазні напруги при з'єднанні обмоток “зіркою” і “трикутником”;  $I_{\text{лф}}$ ,  $I_{\text{фф}}$ ,  $I_{\text{лΔ}}$ ,  $I_{\text{фΔ}}$  – пускові струми в лінії й фазах статора при підключенні його “зіркою” і “трикутником”. Тоді при з'єднанні обмотки “зіркою”:

$$I_{\text{фф}} = I_{\text{лΔ}} = \frac{U_{\text{ф}}}{z} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}z}.$$

Якщо вмикати двигун у мережу при з'єднанні обмотки статора “трикутником”, то

$$I_{\text{фΔ}} = \frac{U_{\Delta}}{z} = \frac{U_{\text{л}}}{z} \text{ і } I_{\text{лΔ}} = I_{\text{фΔ}}\sqrt{3} = \sqrt{3} \frac{U_{\text{л}}}{z}.$$

Одержимо:

$$\frac{I_{\text{лΔ}}}{I_{\text{лф}}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}z} \frac{z}{\sqrt{3}U_{\text{л}}} = \frac{1}{3}$$

Таким чином, пусковий струм у лінії при з'єднанні статора "зіркою" в 3 рази менше, ніж при з'єднанні "трикутником". Це досить важлива перевага розглянутого способу пуску. Однак при з'єднанні обмоток статора "зіркою" фазна напруга в  $\sqrt{3}$  раз менша, ніж при з'єднанні "трикутником". Оскільки момент пропорційний квадрату напруги ( $M \sim U^2$ ), то пусковий момент  $M_{\text{пуск}}$  теж зменшується в 3 рази. Тому розглянутий спосіб пуску в хід застосовують там, де навантажувальний момент при пуску значно менший номінального [4].

Щодо регулювання швидкості асинхронного двигуна. Швидкість обертання асинхронного двигуна можна регулювати зміною параметрів: частотою струму, числом пар полюсів, опором роторного і статорного кола та величиною напруги на статорі тощо. Однак, частотне керування приводом стало свого роду технічним стандартом. Широке розповсюдження частотно-керований привод отримав завдяки досягненням у області силової електроніки і мікропроцесорної техніки. Саме на основі силових транзисторів з ізольованим затвором побудовані сучасні перетворювачі частоти (далі – ПЧ) напругою до 1000 В. Таке поєднання асинхронного двигуна та ПЧ дало змогу отримати високі енергетичні та динамічні показники регулювання приводу.

Частотне керування асинхронного двигуна має найкращі показники регулювання швидкості порівняно з іншими способами. Єдиним стримуючим фактором тут є висока, поки що, вартість ПЧ. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості у широкому діапазоні (це двозонне регулювання), а одержані статичні МХ мають високу жорсткість. Частотний спосіб має важливу властивість - сталість ковзання при регулюванні швидкості (цього немає при реостатному регулювання). За цієї обставини втрати потужності ( $\Delta P = P \cdot s^2$ ) незначні, тобто цей спосіб економічний [1, с. 37-41].

При проектуванні частотно-керованого електроприводу дуже важливо зробити правильний вибір ПЧ. Від цього залежатиме ефективність роботи ПЧ і усього електроприводу в цілому. Якщо потужність перетворювача буде занадто завищена, він не зможе в належній мірі забезпечити захист двигуна, а сам перетворювач буде недовантажений, не говорячи вже про те, що капітальні витрати на придбання перетворювача будуть великі. З іншого боку, якщо потужність перетворювача мала, він не зможе забезпечити високодинамічний режим роботи АД і через перевантаження може вийти з ладу [1, с. 69].

## Висновки

З проведеного дослідження випливає, що найбільш дієвим способом зниження напруги в короткозамкнених асинхронних двигунів є перемикання обмотки статора з "зірки" на "трикутник". При цьому, пусковий струм у лінії при з'єднанні статора "зіркою" в 3 рази менше, ніж при з'єднанні "трикутником". Однак при з'єднанні обмоток статора "зіркою" фазна напруга в  $\sqrt{3}$  раз менша, ніж при з'єднанні "трикутником".

Щодо регулювання швидкості асинхронного двигуна, то частотне керування асинхронного двигуна має важливу властивість – сталість ковзання при регулюванні швидкості, за цієї обставини втрати потужності незначні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сорокін М. С. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПОКРАЩЕННЯ ПУСКУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ. URL: <http://surl.li/ofyih> (дата звернення 13.12.2023).
2. ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ПРИВОДОМ: Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни „Основи електропривода” для студентів напряму підготовки 6.100101 – „Енергетика та електротехнічні системи в АПК” / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Ніжин.: 2011. 98 с.
3. Схема Зірка-Трикутник підключення електродвигуна. *Chastotnik*. URL: <http://surl.li/ofyjlj> (дата звернення 13.12.2023).
4. Способи пуску асинхронних двигунів. StudFiles. URL: <http://surl.li/ofyng> (дата звернення 13.12.2023).

**Богдана Володимирівна Гаврилюк** – студентка групи ЕЕ-21б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [gavrulykbog@gmail.com](mailto:gavrulykbog@gmail.com)

**Бабенко Олексій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. [oleksij\\_babenko@ukr.net](mailto:oleksij_babenko@ukr.net).

**Bogdana V. Gavrylyuk** - Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [gavrulykbog@gmail.com](mailto:gavrulykbog@gmail.com)

**Babenko Oleksii V.** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [oleksij\\_babenko@ukr.net](mailto:oleksij_babenko@ukr.net).