

## ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ ЧАСТОТИ НАПРУГИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ З МАСИВНИМИ ТОРЦЕВИМИ ФЕРОМАГНІТНИМИ ЕКРАНАМИ ЕЛЕМЕНТІВ РОТОРНОГО КОНТУРУ

Красношарпа Н. Д., Блащук О. О., Божок О. В.

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*

*Проведено порівняльний аналіз енергетичних характеристик асинхронних електроприводів при відхиленні частоти напруги живлення.*

**Постановка проблеми.** Якість електричної енергії може суттєво впливати на ефективність роботи приймачів. Показники якості електроенергії встановлюються державним стандартом ДСТУ EN 50160:2014, згідно з яким номінальна частота напруги електропостачання має бути 50 Гц, а середнє значення частоти основного складника напруги, яку виміряно на проміжку 10 с за нормальних робочих умов для систем, що синхронно підключені до об'єднаної енергосистеми, має бути в межах  $50 \text{ Гц} \pm 1\%$  (49,5 – 50,5 Гц) протягом 99,5 % часу за рік. Проте, в реальних умовах у кінцевих споживачів ці норми виконуються не завжди, особливо у сільській місцевості, що впливає на продуктивність роботи обладнання та втрати енергії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В публікаціях розглядаються два основні аспекти впливу відхилення частоти напруги. Перший – технологічний, пов'язаний із зміною продуктивності обладнання. Зокрема, в публікації [1] відмічається, що до збитків в рослинництві (виращування в теплицях та зберігання продукції) призводить лише відхилення величини напруги, а відхилення частоти не призводить до суттєвих фінансових втрат. Також зниження частоти, яке переважно обумовлюється дефіцитом потужності, призводить до зменшення швидкості обертання найбільш розповсюджених асинхронних двигунів, і, як наслідок, зниження їх продуктивності.

Другий аспект зниження частоти – електромагнітний. Зниження частоти на 1 % призводить до зростання втрат в електричних мережах на 2 % [2].

В сільському господарстві на сьогоднішній день використовується значна кількість нерегульованих асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, які працюють з частими пусками. Головним недоліком таких електроприводів, як відомо, є великі пускові струми при відносно невеликих значеннях моменту. В таких випадках можуть використовуватись асинхронні машини спеціальних конструкцій, які забезпечують обмеження величини струму при збільшенні пускового моменту.

**Мета статті.** Пропонується дослідити вплив відхилення частоти мережі живлення на енергетичні показники нерегульованого асинхронного електропривода з модифікованим ротором, який забезпечує покращені пускові характеристики.

**Основні матеріали дослідження.** Сформувати механічну характеристику асинхронного двигуна, близьку до екскаваторного типу, в нерегульованому електроприводі можливо, зокрема, при використанні

машини із масивними торцевими феромагнітними екранами елементів роторного контуру поз робочим повітряним зазором [3].

Ескіз конструкції такого двигуна представлений на рис. 1.

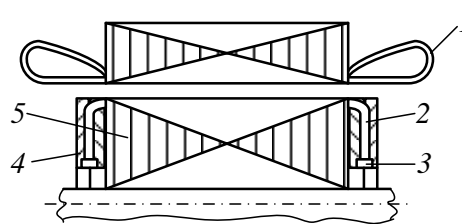


Рисунок 1 – Ескіз конструкції АД з двосторонніми феромагнітними екранами фрагментів роторної обмотки: 1 – трифазна статорна обмотка, 2 – подовжені частини стрижнів ротора, 3 – короткозамикаюче кільце, 4 – феромагнітні диски екрани, 5 – ротор АД

Асинхронну машину такого типу доцільно використовувати в електроприводах, що працюють з частими пусками. Феромагнітне екранування подовжених стрижнів короткозамкненої роторної обмотки дозволяє сформувати механічну характеристику, близьку до екскаваторного типу з обмеженням величини пускового струму. Застосування таких двигунів дозволяє підвищити динамічні показники та зменшити втрати енергії в пускових режимах [3].

Проводились дослідження [4], які показали, що при відхиленні величини напруги від номінального значення в межах, що допускаються діючими державними стандартами, електропривод із запропонованим модифікованим двигуном також має кращі енергетичні показники в пускових режимах, ніж із серійним.

Так як екранування обмоток здійснюється поза робочим повітряним зазором, то можна прийняти, що величина магнітних втрат в серійному та модифікованому двигунах одного типу при зміні частоти напруги живлення буде змінюватись однаково. Дослідимо вплив відхилення частоти на величину змінних втрат в обох двигунах. Дослідження будемо проводити за допомогою відомої математичної моделі асинхронного двигуна в  $\alpha, \beta$ -координатах. В параметри роторного контуру модифікованого двигуна додатково вводяться активний та індуктивний еквівалентні опори, які враховують поглинання енергії електромагнітного поля масивним торцевими екранами [4]

$$\left. \begin{aligned} u_{1\alpha} &= r_1 i_{1\alpha} + L_1 \frac{di_{1\alpha}}{dt} + L_0 \frac{di'_{2\alpha}}{dt}; \\ u_{1\beta} &= r_1 i_{1\beta} + L_1 \frac{di_{1\beta}}{dt} + L_0 \frac{di'_{2\beta}}{dt}; \\ 0 &= r'_2 i'_{2\alpha} + \frac{d}{dt}(L'_2 i'_{2\alpha}) + p\omega L'_2 i'_{2\beta} + L_0 \frac{di_{1\alpha}}{dt} + p\omega L_0 i_{1\beta}; \\ 0 &= r'_2 i'_{2\beta} + \frac{d}{dt}(L'_2 i'_{2\beta}) - p\omega L'_2 i'_{2\alpha} + L_0 \frac{di_{1\beta}}{dt} - p\omega L_0 i_{1\alpha}; \\ M &= pL_0(i_{1\beta} i'_{2\alpha} - i_{1\alpha} i'_{2\beta}); \\ M - M_c &= J_\Sigma \frac{d\omega}{dt}, \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\text{де } \frac{d}{dt}(L'_2 i'_2) = \frac{dL'_2}{dt} i'_2 + L'_2 \frac{di'_2}{dt};$$

$u_{1\alpha}, u_{1\beta}, i_{1\alpha}, i_{1\beta}$  – напруги і струми статора відповідно;

$i'_{2\alpha}, i'_{2\beta}$  – приведені струми ротора;

$r_1, r'_2$  – активні опори статорного і роторного контурів відповідно;

$L_1, L'_2$  і  $L_0$  – власні та взаємна індуктивності статорного і роторного контурів відповідно;

$M, \omega$  – електромагнітний момент та швидкість обертання ротора двигуна;

$M_c$  – статичний момент навантаження;

$J_\Sigma$  – сумарний приведений момент інерції електропривода;

$p$  – кількість пар полюсів.

Дослідження проведемо для асинхронного двигуна 4A160S2Y3 потужністю 15 кВт. Модифікований двигун додатково має масивні торцеві феромагнітні екрани стрижнів роторної обмотки з осьюовою довжиною 0,033 м та радіальною товщиною 0,0075 м. Порівняння здійснювалось для електропривода із сумарним моментом інерції, що дорівнює чотирикратному моменту інерції асинхронного двигуна, та з постійним статичним моментом навантаження, рівним номінальному моменту двигуна. Результати дослідження представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння енергетичних показників

Частота, Гц	Час пуску, с	Витрати активної енергії, Дж	Витрати повної енергії, Дж
Серійний асинхронний двигун			
50	3,87	$1,59 \cdot 10^5$	$3,73 \cdot 10^5$
49,5	3,38	$1,43 \cdot 10^5$	$3,31 \cdot 10^5$
50,5	4,09	$1,79 \cdot 10^5$	$4,15 \cdot 10^5$
Модифікований асинхронний двигун			
50	1,26	$4,14 \cdot 10^4$	$9,65 \cdot 10^4$
49,5	1,23	$4 \cdot 10^4$	$9,52 \cdot 10^4$
50,5	1,37	$4,49 \cdot 10^4$	$1,23 \cdot 10^5$

Порівняння показників при частотах 49,5 Гц та 50,5 Гц із аналогічними параметрами при частоті 50 Гц показує, що при зниженні частоти скорочується час пуску внаслідок зменшення кінцевої швидкості і зменшуються втрати енергії з одночасним зниженням продуктивності обладнання, а при збільшенні частоти – навпаки. Однак по відношенню до номінального режиму роботи в електроприводі з модифікованим двигуном ці відхилення є меншими.

**Висновки.** З отриманих результатів слідує, що в електроприводі з модифікованим асинхронним двигуном зростання втрат енергії при збільшенні частоти напруги живлення буде меншим ніж при застосуванні серійного асинхронного двигуна.

#### Список використаних джерел

1. Синявський О. Ю., Савченко В. В. Вплив відхилення показників якості електроенергії на технологічну складову збитку в рослинництві [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/viewFile/8322/7874>.

2. Влияние отклонения частоты [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.sonel.ru/ru/biblio/article/quality-voltage/influence-deviation-frequency/>.

3. Красношапка Н. Д. Підвищення енергетичної ефективності нерегульованих асинхронних електроприводів при роботі з частими пусками / Н. Д. Красношапка, В. С. Бовкунович // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний наукововиробничий журнал. – Кременчук: КрНУ. – 2015. – Вип. 3/2015 (31). – С. 89–95.

4. Красношапка Н. Д. Вплив відхилення напруги на енергетичні показники електроприводів з асинхронними двигунами з масивними феромагнітними екранами / Н. Д. Красношапка, М. В. Пушкар // "Електртехнічні та комп'ютерні системи". – 2016. – № 22 (98). – С. 129–133.

#### Аннотация

### ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ЧАСТОТЫ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С МАССИВНЫМИ ТОРЦЕВЫМИ ФЕРРОМАГНИТНЫМИ ЭКРАНАМИ ЭЛЕМЕНТОВ РОТОРНОГО КОНТУРА

Красношапка Н. Д., Блащук А. А., Божок О. В.

*Проведен сравнительный анализ энергетических характеристик асинхронных электроприводов при отклонении частоты напряжения.*

#### Abstract

### IMPACT OF FREQUENCY DEVIATIONS VOLTAGE ON ENERGY START MODE PARAMETERS OF INDUCTION MOTOR ELECTRIC DRIVES WITH MASSIVE FERROMAGNETIC SHIELDS OF ROTARY ELEMENTS CONTOUR

N. Krasnoshapka, A. Blashchuk, O. Bozhok

*A comparative analysis of the energy characteristics of asynchronous electric drives with a voltage frequency deviation.*