

**ЄГОРОВ ОЛЕКСІЙ БОРИСОВИЧ** ✉ – кандидат технічних наук, доцент кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2599-1624>; e-mail: [diaskk67@gmail.com](mailto:diaskk67@gmail.com).

**КУНДЕНКО МИКОЛА ПЕТРОВИЧ** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5841-4367>; e-mail: [n.p.kundenko@ukr.net](mailto:n.p.kundenko@ukr.net).

**ЄГОРОВА ОЛЬГА ЮРІЙВНА** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8593-1557>; e-mail: [Olha.Yehorova@khi.edu.ua](mailto:Olha.Yehorova@khi.edu.ua).

**ЮЙМІН ДУН** – аспірант кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2621-5651>; e-mail: [dongyuming0315@163.com.ua](mailto:dongyuming0315@163.com.ua).

## ПОЛІПШЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННО-РЕАКТИВНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ІЗ ЗОВНІШНІМ РОТОРОМ ШЛЯХОМ КОНСТРУКТИВНОГО УДОСКОНАЛЕННЯ

У статті досліджено питання поліпшення динамічних характеристик синхронно-реактивного двигуна із зовнішнім ротором. Актуальність проблеми обумовлена зростанням використання синхронно-реактивних двигунів, що є однією з помітних тенденцій сучасної електроенергетики та електроприводу. Це зумовлене як технологічними, так і економічними факторами, пов'язаними з глобальним переходом до енергоефективних і ресурсозберігаючих рішень. Синхронно-реактивні двигуни забезпечують на 10–15% вищий ККД порівняно з традиційними асинхронними двигунами, на відміну від двигунів з постійними магнітами, вони не потребують рідкоземельних елементів. На практиці виникають коливання та відхилення частоти обертання через низку факторів: при різких змінах моменту навантаження, внаслідок нестабільності частоти живлення, при пуску та перехідних процесах. Проблема стабілізації частоти обертання синхронно-реактивних двигунів є однією з ключових при їх використанні в електроприводах, особливо в системах із змінним навантаженням та вимогами до високої точності кутової швидкості ротору. В роботі проаналізовано процеси протікання динамічного перехідного процесу синхронно-реактивного двигуна з зовнішнім ротором, запропоновано технічне рішення, що дозволяє зменшити час переходу від однієї частоти обертання ротору до іншої, проведені електромагнітні розрахунки та порівняння їх результатів з результатами випробувань дослідного зразка. Запропоноване конструктивне удосконалення зовнішнього ротора забезпечує прискорення переходу між робочими режимами та ефективне зменшення коливань ротора, характерних для синхронних реактивних двигунів. Встановлено, що для синхронно-реактивного двигуна потужністю 1000 Вт тривалість перехідного процесу скорочується приблизно у 3 рази порівняно з базовою конструкцією без додаткової обмотки, тоді як амплітуда коливань частоти обертання зменшується у 4,3 рази.

**Ключові слова:** синхронно-реактивний двигун; зовнішній ротор; коливання частоти обертання; струм; короткозамкнена обмотка.

**Вступ.** У сучасних умовах зростаючої автоматизації виробничих процесів підвищується попит на електродвигуни, що використовуються як приводи вентиляторів і насосних систем. До таких двигунів висуваються вимоги щодо економічності, високої технологічності виготовлення, надійності та простоти експлуатації. Їхня потужність зазвичай досягає кількох кіловат. У повній мірі цим критеріям відповідають синхронні реактивні двигуни.

Синхронні реактивні двигуни (СРД) характеризуються відсутністю обмотки збудження, а також відносною простотою й технологічністю конструктивного виконання, що забезпечує їм низку переваг порівняно з іншими типами синхронних і асинхронних електричних машин. Завдяки цьому вони розглядаються як перспективні для застосування в діапазоні потужностей до 10 кВт. Такі двигуни не потребують використання постійних магнітів, не мають електричних втрат у роторній обмотці та здатні відповідати найвищим класам енергоефективності [1, 2].

Переваги СРД, наведені у [3], у порівнянні з асинхронними машинами, можуть бути сформульовані таким чином:

- конструкція ротора відзначається простотою та не потребує обов'язкового застосування пускової обмотки;
- характерним є низький момент інерції, що сприяє покращенню динамічних характеристик;
- забезпечується робота з синхронною частотою обертання за відносно простої системи керування, а також спрощується реалізація безсенсорних алгоритмів керування;
- досягається ефективне регулювання швидкості в широкому діапазоні, зокрема вище номінального значення, у зоні сталої потужності.

Водночас до недоліків СРД слід віднести значну частку реактивної складової струму, що зумовлює збільшення повного струму в обмотках статора порівняно з асинхронними двигунами (АД) аналогічної потужності, а також знижену стійкість у перехідних та динамічних режимах роботи [4].

Енергетичні характеристики СРД та індукційних двигунів проаналізовано у роботі [5]. На сучасному етапі провідні виробники пропонують СРД у складі електроприводів із частотними перетворювачами, що

© О. Б. Єгоров, М. П. Кунденко, О. Ю. Єгорова, Д. Юймін, 2026



Ця робота ліцензується відповідно до *Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)*  
**Конфлікт інтересів:** Автори заявили про відсутність конфлікту

забезпечує суттєвий енергозберігаючий ефект, зокрема в установках вентиляторного та насосного типу.

Аналітичні аспекти дослідження пульсацій електромагнітного моменту та причин їх виникнення в машинах змінного струму розглянуто у [6], тоді як чисельне моделювання цих явищ методом кінцевих елементів наведено у [7]. Різноманітні підходи до зменшення негативного впливу пульсацій моменту в СРД, запропоновані різними авторами, висвітлено у [8, 9]. Отримані результати свідчать про високу складність зазначеної проблеми, особливо з урахуванням таких факторів, як втрати в сталі магнітопроводу, варіації частоти живлення, анізотропія магнітних властивостей статора, а також конструктивні особливості ротора.

Важливим висновком цих досліджень є встановлення суттєвого магнітного зв'язку між статором і ротором, який значною мірою визначається геометрією пазів статора, а також кількістю та конфігурацією немагнітних каналів у роторі. Водночас у проаналізованих роботах відсутні комплексні підходи до покращення динамічних характеристик синхронних реактивних двигунів. Зокрема, у [10] питання мінімізації пульсацій електромагнітного моменту розглядається виключно в контексті варіювання геометричних параметрів ротора.

Для забезпечення всебічного аналізу функціонування СРД доцільно розглядати його як цілісну електромеханічну систему з урахуванням конструктивних особливостей статора і ротора, а також динаміки їх електромагнітної взаємодії.

Водночас аналіз наявних наукових джерел свідчить про відсутність достатніх досліджень, присвячених СРД із зовнішнім ротором. У процесі експлуатації таких двигунів, зокрема як приводів вентиляторних і насосних установок, мають місце постійні зміни навантаження, що спричиняє варіації частоти обертання ротора. За умов протікання перехідних режимів спостерігаються коливальні процеси ротора відносно синхронної швидкості обертання, зумовлені різкими змінами навантаження. У науковій літературі це явище визначається як «коливання ротора» [11].

**Мета статті.** Аналіз характеристик СРД із зовнішнім ротором з метою розробки конструктивних удосконалень для зниження коливань швидкості обертання ротора та прискорення перехідних режимів роботи СРД.

**Методи та результати дослідження.** Складність моделювання СРД у нерухомій системі координат полягає в урахуванні зміни параметрів (індуктивності) фаз статора при повороті ротора. З цієї причини рівняння синхронних двигунів з  $L_d \neq L_q$  зазвичай розглядаються в системі координат, що обертається разом із ротором. Віссю  $d$  у роботі береться вісь найбільшої магнітної провідності ротора. Віссю  $q$  - вісь найменшої магнітної провідності ротора (рис. 1).

Інтерпретуючи картину для внутрішнього ротора на конструкцію із зовнішнім ротором, можна подати кути як на рис. 2.

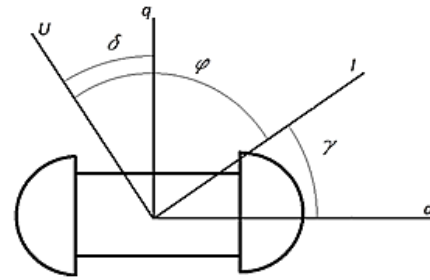


Рисунок 1 – Визначення співвідношення між кутами  $\phi$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$  для 2-полюсного ротора

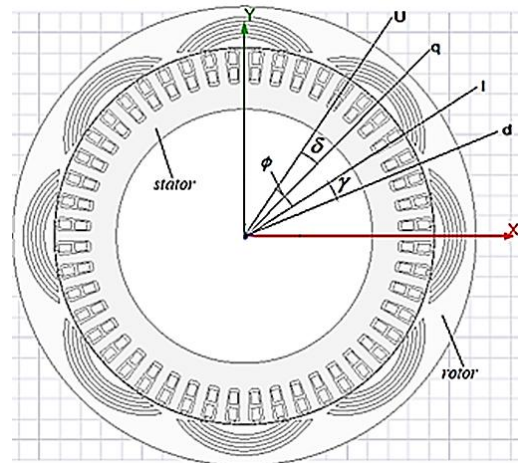


Рисунок 2 – Співвідношення між кутами  $\phi$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$  для зовнішнього 12-полюсного двигуна із зовнішнім ротором

Система рівнянь СРД у осях  $d$  і  $q$ , що обертаються, має вигляд:

$$L_d \frac{di_d}{dt} = U_d - (r + x)i_d + L_q \omega i_q$$

$$L_q \frac{di_q}{dt} = U_q - (r + x)i_q + L_d \omega i_d$$

$$M = \frac{m}{2} p (L_d - L_q) i_d i_q$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_j}{J} \quad (1)$$

де  $U_d$ ,  $U_q$ ,  $i_d$ ,  $i_q$  – відповідно, напруги та струми статорної обмотки по осях  $d$  і  $q$ ;

$L_d$ ,  $L_q$  – повні індуктивності статора по осях  $d$  і  $q$ , що визначаються як  $L = L_{ad} + L_{os}$ ,  $L_q = L_{aq} + L_{os}$ , де  $L_{ad}$ ,  $L_{aq}$  – взаємні індуктивності статора та ротора по  $d$  та  $q$ ,  $L_{os}$  – індуктивність розсіювання статора;

$r$  – активний опір фази статора;

$\omega$  – кутова частота обертання зовнішнього ротора;

$p$  – кількість пар полюсів;

$m$  – кількість фаз двигуна, що дорівнює 3;

$M$  – електромагнітний момент двигуна;

$M_j$  – момент навантаження,

$J$  – результуючий момент інерції двигуна і механізму.

В обмотці статора СРД формуються як активна, так і реактивна складові струму, величини яких

змінюються зі зростанням механічного навантаження. При цьому для СРД характерною є домінуюча реактивна складова струму навантаження, на відміну від АД, де переважає активна складова. Наявність повітряних бар'єрів на осі зовнішнього  $q$  ротора СРД викликає додатковий реактивний струм в обмотці статора при збільшенні механічного навантаження.

Корисна потужність  $P_2$  і крутний момент ротора  $M$  визначаються наступним чином:

$$P_2 = 3I_Y^2 \frac{r_Y}{tg(\gamma)}$$

$$M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{3I_Y^2 \frac{r_Y}{tg(\gamma)}}{\omega} \quad (2)$$

СРД із зовнішнім ротором, які застосовуються як приводи вентиляторних і насосних установок, часто працюють у динамічних режимах. Ці режими характеризуються змінами моменту навантаження на зовнішній ротор або регулювання частоти напруги живлення обмотки статора. Зміна частоти напруги живлення проводиться системою управління, для регулювання продуктивності вентиляторної або насосної установки.

Для АД зміни режимів роботи, тобто. перехід з одного режиму роботи в інший, протікають досить швидко. Цьому сприяє короткозамкнена обмотка ротора, струми в якій, при взаємодії з магнітним полем статора, створюють додаткові обертальні моменти, гальмівний або прискорювальний, в залежності від динамічного режиму (рис. 3, залежність 1). Якщо частота напруги менше частоти обертання ротора, то створюваний момент спрямований проти обертання ротора, якщо навпаки – момент спрямований за напрямом обертання ротора.

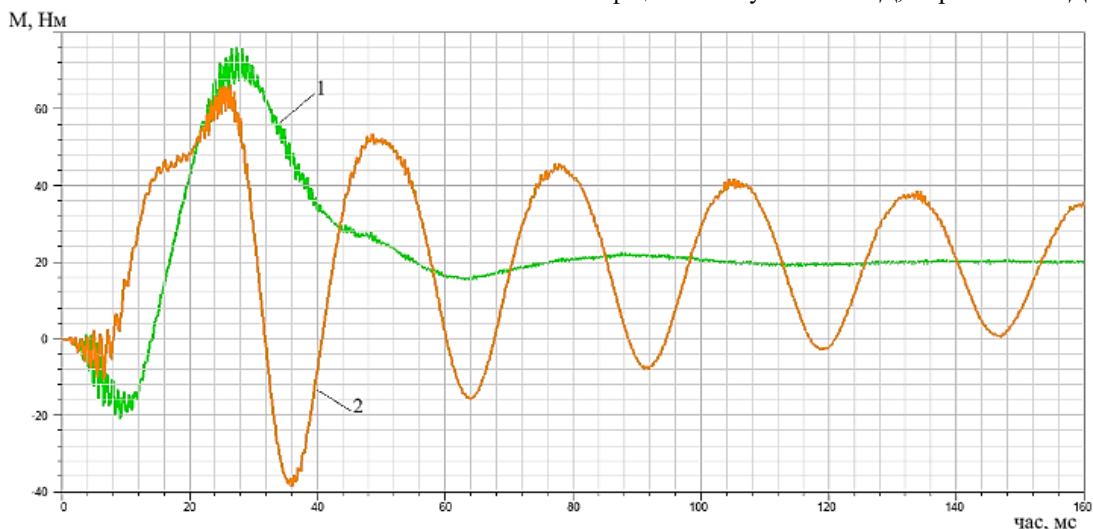


Рисунок 3 – Зміна крутного моменту ротора при переході від частоти обертання 400 об/хв до 480 об/хв  
1 – асинхронний двигун; 2 – синхронно-реактивний двигун

Для СРД перехід з одного режиму роботи в інший протікає більш тривало (рис. 3, залежність 2), так як момент обертання ротора створюється магнітним потокозчепленням завдяки геометрії повітряних бар'єрів на роторі. При переході від одного режиму роботи, наприклад від частоти обертання ротора 400 об/хв до іншого режиму (480 об/хв), можна спостерігати різні динамічні характеристики асинхронних і синхронно-реактивних двигунів. На рис. 3 і 4 показані розрахункові залежності зміни моменту, що обертає, і частоти обертання зовнішнього ротора при такому переході для двигунів АД і СРД однакового габариту і потужності (1000 Вт), з частотою напруги живлення для АД 50 Гц, для СРД 48 Гц, з числом полюсів 12.

Очевидна перевага швидкості протікання динамічного процесу під час переходу на різні частоти обертання ротора АД над СРД.

Можна відзначити подібність схеми заміщення СРД, зі схемою заміщення АД (рис. 5). Є первинна гілка, далі ланцюг розгалужується: є гілка з параметрами, які не залежать від навантаження («контур намагнічування») та гілка, параметри якої залежать від величини навантаження  $\gamma$ .

При аналізі схем можна також помітити відмінність у поведінці СРД: якщо навантажувальний струм АД має практично тільки активну складову ( $r_r/s \gg x_{\sigma r}$ ), то навантажувальний струм СРД буде мати також значну реактивну складову ( $r_Y/tg(\gamma)$  і  $x_Y$  – співвідносні величини). При близьких значеннях індуктивності контуру, що намагнічує ( $L_d$  – для СРД,  $L_m$  – для АД), необхідність створення додаткового реактивного струму при збільшенні навантаження призводить для номінального режиму до зниження коефіцієнта потужності СРД, порівняно з АД.

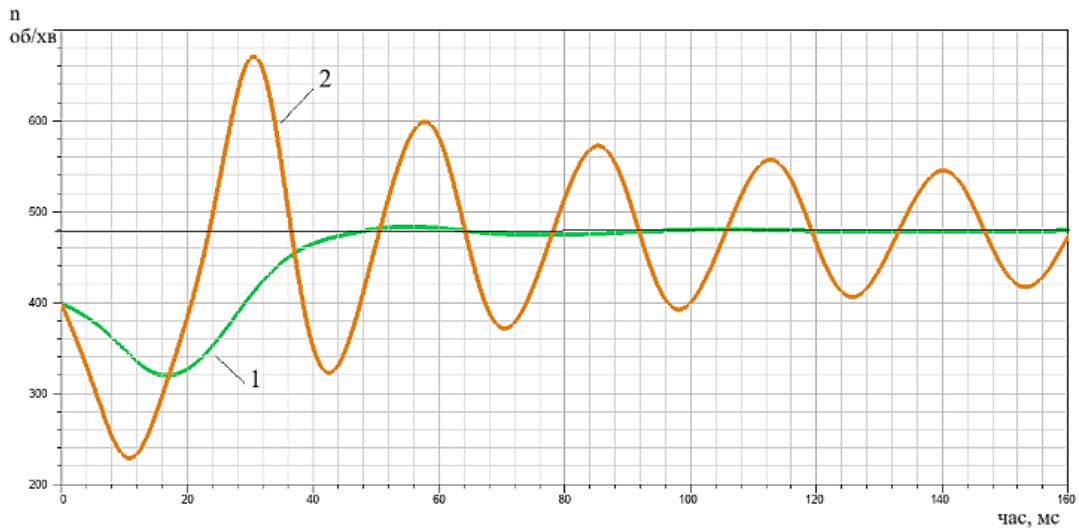


Рисунок 4 – Зміна частоти обертання ротора при переході від 400 об/хв до 480 об/хв  
1 – асинхронний двигун; 2 – синхронно-реактивний двигун

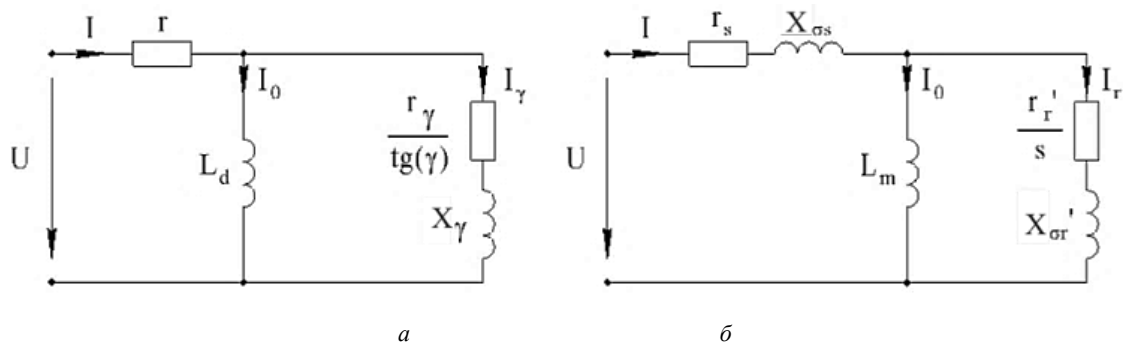


Рисунок 5 – Схеми заміщення

*a* – СРД із параметрами, що залежать від кута  $\gamma$ ; *б* – АД з параметрами, що залежать від ковзання  $s$

Досліджувався СРД (рис. 6) із зовнішнім ротором потужністю 1000 Вт для приводу вентиляторної установки з номінальною частотою обертання ротора 480 об/хв, зовнішнім діаметром ротора 220 мм, довжиною аксіальної статора і ротора 86 мм.

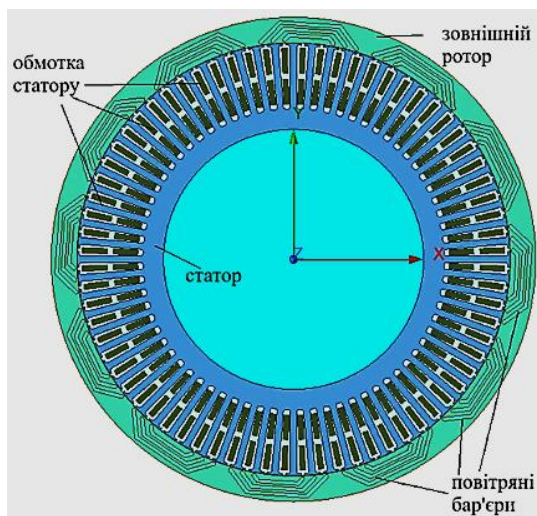


Рисунок 6 – Розрахункова модель СРД, що створена в Ansys Maxwell

За допомогою програми Ansys Maxwell було розраховано СРД потужністю 1000 Вт з визначенням його геометричних та електромеханічних параметрів. За результатами розрахунків було виготовлено дослідний зразок (рис. 7) та проведені його випробування, результати яких представлені в табл. 1.

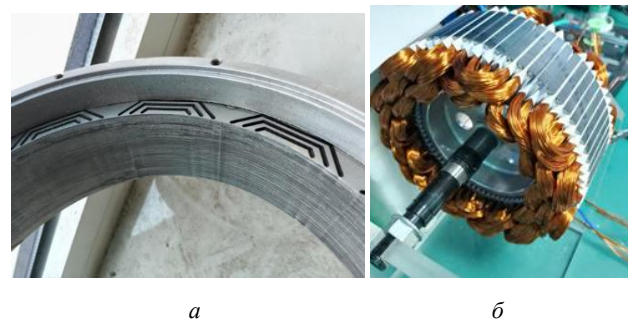


Рисунок 7 – Виготовлені ротор (а) та статор (б) дослідного зразка

Проаналізовано результати розрахунків динамічних режимів роботи цього двигуна (рис. 3 і 4 крива 2). Було поставлено завдання скоротити час переходу від одного режиму, що встановився, обертання ротора до іншого шляхом внесення конструктивних змін в зовнішній ротор СРД.

Таблиця 1 – Результати розрахунків та випробувань двигуна потужністю 1000 Вт

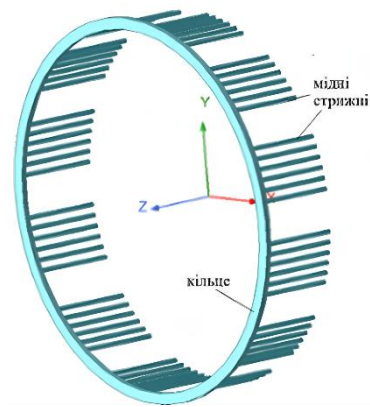
Параметри	Розрахункові дані	Дані за випробуванням
Частота живлення, Гц	48,0	48,0
Частота обертання ротора, об/хв	480,0	480,0
ККД, %	86,5	86,2
Фазний струм, А	22,0	22,6
Коефіцієнт потужності, в.о.	0,58	0,56
Обертальний момент, Нм	19,9	19,9

Запропоновано в повітряні бар'єри виготовленого ротора встановити короткозамкнену мідну обмотку, що складається зі стрижнів, що розташовані в повітряних бар'єрах (рис. 8).

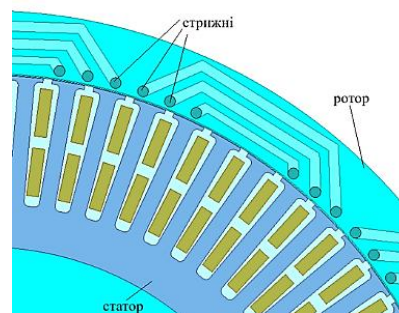
Розрахунки показали, що необхідно встановити 72 стрижні діаметром 2,1 мм і замкнути їх з двох боків мідними кільцями перетином 18 мм<sup>2</sup> (рис. 9).

Розрахунки та випробування модернізованого СРД показали, що встановлення додаткової обмотки в роторі дозволило прискорити перехід від одного режиму обертання ротора до іншого та уникнути коливань ротора, які характерні для синхронно-реактивних двигунів. В номінальному режимі роботи при однакових значеннях частоти обертання ротора і частоти обертання поля статора в стрижнях обмотки струми відсутні і характеристики мотора відповідають даним іншому. На рис.10 наведено розрахунок такого динамічного переходу від частоти 350 об/хв до 480 об/хв.

Двигун з додатковою обмоткою (залежність 1) швидше переходить на нову частоту обертання: за 85 мс проти 264 мс для ротора без обмотки. Надалі амплітуда коливань частоти обертання ротора значно менше амплітуди коливань частоти обертання ротора без обмотки (залежність 2). Проведені випробування дослідного зразка підтвердили результати розрахунків.



а

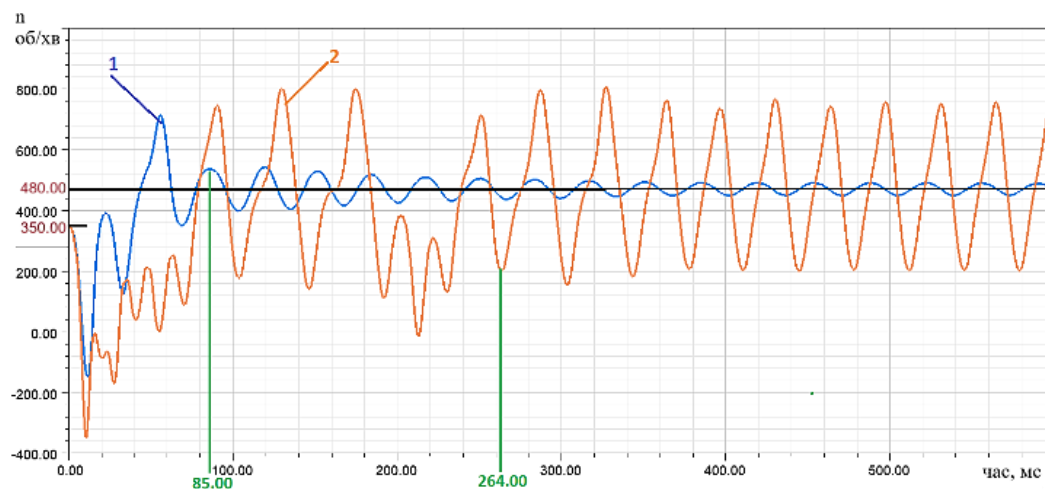


б

Рисунок 8 – Додаткова обмотка (а) та розташування стрижнів в роторі СРД (б)



Рисунок 9 – Етапи виготовлення ротора СРД з додатковою обмоткою

Рисунок 10 – Часові залежності частоти обертання ротора при переході від 350 об/хв до 480 об/хв  
1 – СРД з ротором з додатковою обмоткою; 2 – СРД з ротором без обмотки

Проведено розрахунок додаткового моменту, який створює короткозамкнена обмотка в динамічному режимі. Створено розрахункову модель у програмі Ansys Maxwell (рис. 11), в якій на роторі розміщена лише короткозамкнена обмотка з параметрами, що відповідають обмотці, яка встановлена в ротор СРД на рис. 8.

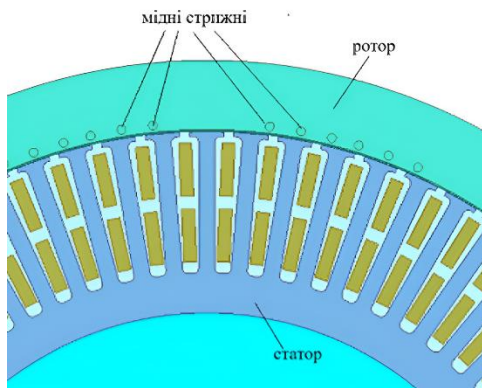


Рисунок 11 – Розрахункова модель у Ansys Maxwell для визначення характеристик додаткової обмотки ротора СРД

Досліджувався динамічний процес переходу від частоти обертання ротора 350 об/хв до 480 об/хв з визначенням крутного моменту, який створюється короткозамкнутою обмоткою ротора. Залежності моменту та частоти обертання від часу представлені на рис. 12.

Із наведеної залежності випливає, що електромагнітний момент, який створюється додатковою обмоткою, виникає лише в інтервалі часу, коли частота обертання ротора є меншою за синхронну частоту обертання магнітного поля статора. У міру наближення частоти обертання ротора до синхронної (480 об/хв) значення цього моменту зменшується і при досягненні синхронізму дорівнює нулю.

Струми в стрижнях додаткової обмотки визначаються різницею між частотою обертання ротора та синхронною частотою обертання магнітного поля статора. На рис. 13 представлено часову залежність струму в одному зі стрижнів додаткової обмотки під час перехідного процесу, що супроводжується зміною частоти обертання ротора в діапазоні від 350 до 480 об/хв.

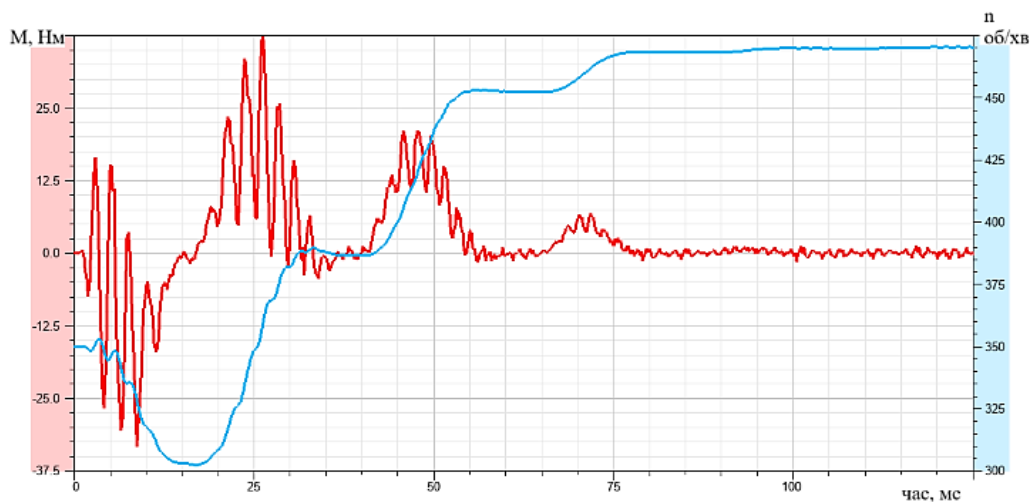


Рисунок 12 – Часові залежності моменту та частоти обертання ротору при переході від 350 об/хв до 480 об/хв

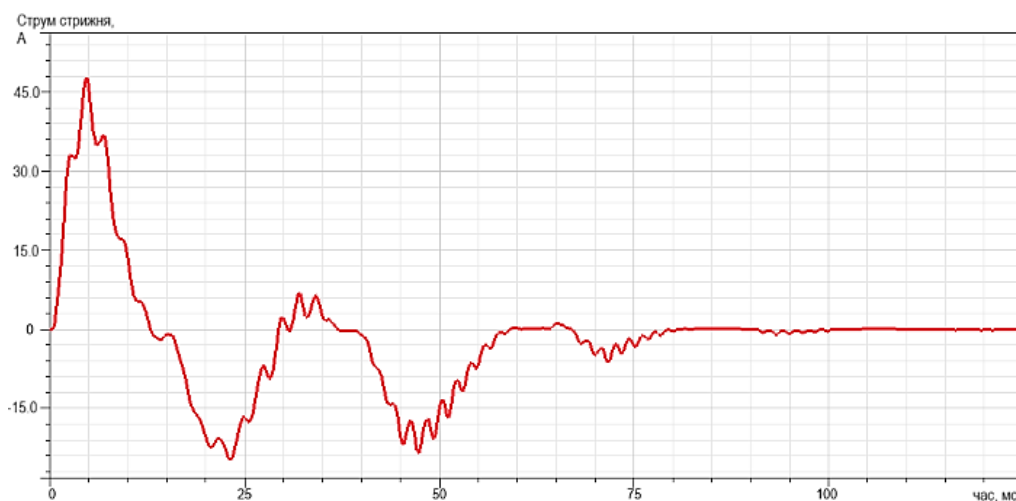


Рисунок 13 – Залежність струму в одному стрижні додаткової обмотки ротора від часу переходу від частоти обертання ротора 350 об/хв до 480 об/хв

Результати проведених досліджень свідчать, що густина струму в умовах перехідних режимів не перевищує 14,6 А/мм<sup>2</sup>. З огляду на короткочасний характер динамічного режиму, а також відсутність ізоляції в додатковій обмотці ротора, такі значення щільності струму є допустимими і не впливають негативно на надійність та безвідмовність роботи електродвигуна.

**Висновки.** Запропоноване конструктивне удосконалення зовнішнього ротора забезпечує прискорення переходу між режимами роботи СРД та ефективне зменшення коливань ротора, характерних для синхронних реактивних двигунів. Встановлено, що для двигуна потужністю 1000 Вт тривалість перехідного процесу скорочується приблизно у 3 рази порівняно з базовою конструкцією без додаткової обмотки, тоді як амплітуда коливань частоти обертання зменшується у 4,3 рази.

### Список літератури

1. Three-Dimensional thermal and stress analysis of synchronous reluctance motor by an improved hybrid method / J. Liu et al. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2025. Vol. 41, no. 1. P. 539–551. DOI: <https://doi.org/10.1109/tec.2025.3585139>.
2. Design and validation of a high-efficiency synchronous reluctance motor / T. He et al. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2025. Vol. 61, no. 3. P. 3711–3722. DOI: <https://doi.org/10.1109/tia.2025.3540735>.
3. Lipo T., Krause P. Stability analysis of a reluctance-synchronous machine. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*. 1967. PAS-86, no. 7. P. 825–834. DOI: <https://doi.org/10.1109/tpas.1967.291749>.
4. The influence of the phase angle between the rotor magnetic axis and the stator winding current vector on the synchronous reluctance motor efficiency / O. Iegorov et al. *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 23–25 September 2019. P. 62–65. DOI: <https://doi.org/10.1109/mees.2019.8896480>.
5. Experimental comparison of induction and synchronous reluctance motors performance / A. Boglietti et al. *Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005 Industry Applications Conference, 2005.*, Hong Kong, China, 2–6 October 2005. 2005. P. 474–479. DOI: <https://doi.org/10.1109/ias.2005.1518350>.
6. Technology comparison of induction motor and synchronous reluctance motor / H. Karkkainen et al. *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Beijing, 29 October – 1 November 2017. 2017. P. 2207–2212. DOI: <https://doi.org/10.1109/iecon.2017.8216371>.
7. Mynar Z., Vaclavek P., Blaha P. Synchronous reluctance motor parameter and state estimation using extended kalman filter and current derivative measurement. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2021. Vol. 68, no. 3. P. 1972–1981. DOI: <https://doi.org/10.1109/tie.2020.2973897>.
8. Improving the accuracy of determining the parameters of induction motors in transient starting modes / O. Iegorov et al. *Energetika*. 2020. Vol. 66, no. 1. P. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v66i1.4295>.
9. The air barriers optimal geometry determination for a synchronous reluctance motor outer rotor / O. Iegorov et al. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 3–7 October 2022. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/khpiweek57572.2022.9916324>.
10. Synchronous reluctance machines: a comprehensive review and technology comparison / M. Murataliyev et al. *Proceedings of the IEEE*. 2022. Vol. 110, no. 3. P. 382–399. DOI: <https://doi.org/10.1109/jproc.2022.3145662>.
11. Model validation of synchronous motors with a new standstill measurement technique / A. Credo et al. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 4537–4548. DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2023.3235408>.

Надійшла (Received) 29.04.2026

Прийнята (Accepted) 11.05.2026

Оублікована (Published) 29.05.2026

**IEGOROV OLEKSIY** ✉ – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Alternative Power Engineering and Electrical Engineering, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2599-1624>; e-mail: [diaskk67@gmail.com](mailto:diaskk67@gmail.com)

**KUNDENKO MYKOLAY** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Heat Engineering and Energy Efficient Technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5841-4367>; e-mail: [n.p.kundenko@ukr.net](mailto:n.p.kundenko@ukr.net)

**IEGOROVA OLGA** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat Engineering and Energy Efficient Technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8593-1557>; e-mail: [Olha.Yehorova@khp.edu.ua](mailto:Olha.Yehorova@khp.edu.ua).

**YUMING DONG** – graduate student of the Department of Heat Engineering and Energy Efficient Technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2621-5651>; e-mail: [dongyuming0315@163.com.ua](mailto:dongyuming0315@163.com.ua)

## IMPROVEMENT OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A SYNCHRONOUS REACTIVE ELECTRIC MOTOR WITH AN EXTERNAL ROTOR THROUGH DESIGN IMPROVEMENT

The article investigates the issue of improving the dynamic characteristics of a synchronous jet engine with an external rotor. The relevance of the problem is due to the increasing use of synchronous jet engines, which is one of the notable trends in modern electric power engineering and electric drives. This is due to both technological and economic factors associated with the global transition to energy-efficient and resource-saving solutions. Synchronous jet engines provide 10–15% higher efficiency compared to traditional asynchronous engines, unlike permanent magnet engines, they do not require rare-earth elements. In practice, fluctuations and deviations in the rotational speed occur due to a number of factors: during sudden changes in the load moment, due to instability of the supply frequency, during start-up and transient processes. The problem of stabilizing the speed of synchronous jet engines is one of the key ones when using them in electric drives, especially in systems with variable loads and requirements for high accuracy of the rotor angular velocity. The work analyses the processes of the dynamic transient process of a synchronous jet engine with an external rotor, proposes a technical solution that allows reducing the transition time from one rotor speed to another, performs electromagnetic calculations and compares their results with the results of tests of a prototype. The proposed structural improvement of the external rotor provides acceleration of the transition between operating modes and effective reduction of rotor oscillations characteristic of synchronous jet engines. It is established that for a synchronous jet engine with a power of 1000 W, the duration of the transient process is reduced by approximately 3 times compared to the basic design without an additional winding, while the amplitude of the oscillations of the rotational speed is reduced by 4.3 times.

**Keywords:** synchronous jet motor; external rotor; frequency fluctuations; current; short-circuited winding.