

Енергетичний аналіз перехідних процесів асинхронних двигунів ліфтів

А. О. Бойко¹, доктор технічних наук, професор

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0048-9259>; e-mail: a.o.boyko@op.edu.ua;
Scopus Author ID: 57202752287; Websites & social links: <https://op.edu.ua/staff/32211>

О. В. Найденко¹, кандидат технічних наук, доцент

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5684-5617>; e-mail: avnaidenko@op.edu.ua;
Scopus Author ID: 57362920200

С. М. Заброцький¹, аспірант

ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-7899-7150>; e-mail: zabroczkijoo@gmail.com

В. В. Іванов¹, аспірант

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-1820-4418>; e-mail: vadziliyviktorovich@gmail.com

С. А. Малішевський¹, аспірант

ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-4477-5048>; e-mail: s.malishevskiy@gmail.com

¹ Національний університет «Одеська політехніка»

Анотація. У статті проведено аналіз особливостей енергетики ліфтових двошвидкісних асинхронних двигунів у динамічних режимах. Досліджено режими роботи при варіативних моментах навантаження та інерції, характерних для ліфтового електроприводу. Встановлено, що облік електромагнітних перехідних процесів істотно впливає на енергетичні показники пуску, гальмування та реверсу, особливо за нульових початкових електромагнітних умовах. Показано, що формування керуючих впливів дозволяє скоротити тривалість перехідних процесів і знизити енергетичні втрати. Визначено, що зменшення перехідних моментів за рахунок змінного кута включення вентилів тиристорної системи управління значно покращує енергетику перехідних процесів у ліфтових двигунах. Економія енергії, що досягається, нелінійно залежить від обраного значення кута управління вентилів і має екстремум. Результати забезпечують наукову основу для розробки алгоритмів управління, які забезпечують високу динаміку та енергоефективність роботи редукторних ліфтових лебідок традиційної конструкції в умовах змінних експлуатаційних параметрів.

Ключові слова: енергетика, ліфтовий асинхронний двигун, електропривід, перехідні процеси, тиристорне керування, початкові електромагнітні умови.

Цитування статті: Бойко А. О., Найденко О. В., Заброцький С. М., Іванов В. В., Малішевський С. А. (2026). Енергетичний аналіз перехідних процесів асинхронних двигунів ліфтів. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*, 45(121), с.6-14. doi:<https://doi.org/10.15276/eltecs.45.121.2026.1>

Вступ

Необхідним умовам типових оптимальних діаграм руху мінімально задовольняють пасажирські ліфти з лебідками з черв'ячними редукторами, двошвидкісними асинхронними двигунами (АД) і нерегульованими системами управління. Такі ліфтові лебідки завдяки широкому застосуванню характеризуються як «лебідки традиційної конструкції» [1]. В даний час, пасажирськими ліфтами з подібними лебідками в Україні масово обладнані житлові багатоповер-

хові будинки, які будувалися з початку 70-х років минулого століття.

Тиристорні системи управління лебідками «традиційної конструкції» застосовуються як заміна релейно-контакторних систем управління. Їх основні переваги полягають у простоті схем управління, високій надійності безконтактної апаратури, достатньої плавності пускогальмівних перехідних процесів, практичній відсутності налагоджувальних робіт при введенні в експлуатацію та в ході експлуатації, простоті

© Бойко А. О., Найденко О. В., Заброцький С. М., Іванов В. В., Малішевський С. А., 2026

Ця стаття відкритої доступу за ліцензією CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.uk>)

експлуатації. При цьому в переважній більшості випадків йдеться про нерегульовані тиристорні системи управління асинхронними двошвидкісними ліфтовими двигунами [2]. Застосовувані тиристорні системи управління фактично виконують функції безконтактних комутаційних пристроїв - пускачів, що забезпечують пуск, гальмування та обертання двошвидкісних ліфтових асинхронних двигунів в обох напрямках з урахуванням заданих вимог.

1 Аналіз літератури та постановка проблеми

Особливістю енергетики перехідних процесів асинхронних ліфтових електроприводів у некерованих режимах є наявність вільної складової електромагнітного моменту [3,4]. Вільна складова значно впливає на ефективність перетворення енергії та багаторазове коливальне загаює перетворення енергії між статором та ротором асинхронного двигуна [5]. Найчастіше коливання електромагнітного моменту призводять до коливального обміну енергією між контурами двигуна і погіршення енергетичних показників [6]. Але, можливі й протилежні випадки, коли дія електромагнітного перехідного моменту покращує енергетику процесу [7]. Тому алгоритми тиристорного управління, що забезпечують зменшення інтенсивності електромагнітних процесів або, навпаки, їх спеціального формування, сприяють поліпшенню як динаміки, так і енергетики електроприводу ліфтів [8].

Метою досліджень є аналіз особливостей енергетики перехідних процесів ліфтових двошвидкісних асинхронних двигунів з тиристорною системою управління.

2 Основний матеріал дослідження

Енергетика процесу пуску. Розглянемо вплив електромагнітних перехідних процесів на енергетику прямого некерованого пуску обмотки високої швидкості ліфтового асинхронного двигуна АСС 92-6/24 з нульовими початковими електромагнітними умовами з двократним моментом інерції. При пуску вхолосту в обмотці ротора виділяється енергія втрат ΔA_{M2} , що дорівнює кінетичній енергії електроприводу, накопиченої за час пуску [9]. В обмотці статора за цей час виділиться енергія ΔA_{M1} , пропорційна енергії втрат в обмотці ротора і відношенню опорів обмоток

$$A_{M1} = \Delta A_{M2} \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

Тут і далі чисельні вирази енергії втрат приводяться у відносних одиницях, де за основу прийнята кінетична енергія електроприводу при синхронній швидкості.

Якщо за час пуску прийняти час досягнення синхронної швидкості, то втрати в обмотці ротора становлять 1,342, тобто на 34,2% більше, ніж теоретично очікувані. Втрати в обмотці статора за цей час (1) склали 1,33. Справжні втрати обмотці статора, визначені інтегруванням його квадратичних струмів, склали 1,735. Різниця у втратах пояснюється урахуванням в останньому випадку вільної складової струму статора і наявністю в ньому складової струму намагнічування, що не враховується виразом (1). Досягнення швидкістю значення синхронної, також означає закінчення процесу пуску. Далі йде процес перерегулювання та затухаючі коливання щодо синхронної швидкості. За час згасання в обмотці статора виділяється додатково ще 2.3% та в роторі до 1% енергії. Вказані цифри збільшення втрат в обмотках двигуна можна вважати типовими.

Зі зростанням моменту інерції відносно збільшення втрат стає менше, оскільки збільшується база, за якою розраховується енергія, хоча абсолютні значення втрат збільшуються майже пропорційно до збільшення інерційності. Наприклад, при сумарному моменті інерції 8, 20 і 50 $J_{дв}$ відносні втрати в роторі становлять 1,23; 1,064 та 1,018 відповідно. Таким чином, електромагнітні перехідні процеси сприяють збільшенню втрат при пуску і поліпшенню енергетики пуску в усіх випадках є актуальним завданням, навіть при значному, до 20 - 50-кратному збільшенню моменту інерції приводу. При керованому пуску очікується, що у зв'язку зі зменшенням, або повною ліквідацією вільних складових струму, енергетика може бути поліпшена [10].

Відомі три найбільш поширені способи управління пуском АД: безударний пуск, пуск з постійним значенням кута включення вентилів тиристорного пускача і пуск зі змінним кутом включення. Відповідно до алгоритму безударного пуску спочатку проводиться включення двох фаз обмотки статора на лінійну напругу з кутом 90 ел. град. щодо цієї напруги, а потім, через чверть періоду, коли настає максимум фазної напруги третьої фази мережі, проводиться підключення третьої фази обмотки статора. При такому детермінованому пофазному включенні аперіодична складова струму намагнічування не виникає, відповідно відсутні і перехідні складові електромагнітного моменту [11]. Осцилограми пуску двигуна, прямого некерованого та безударного, наведені на рисунках 1, 2, відповідно.

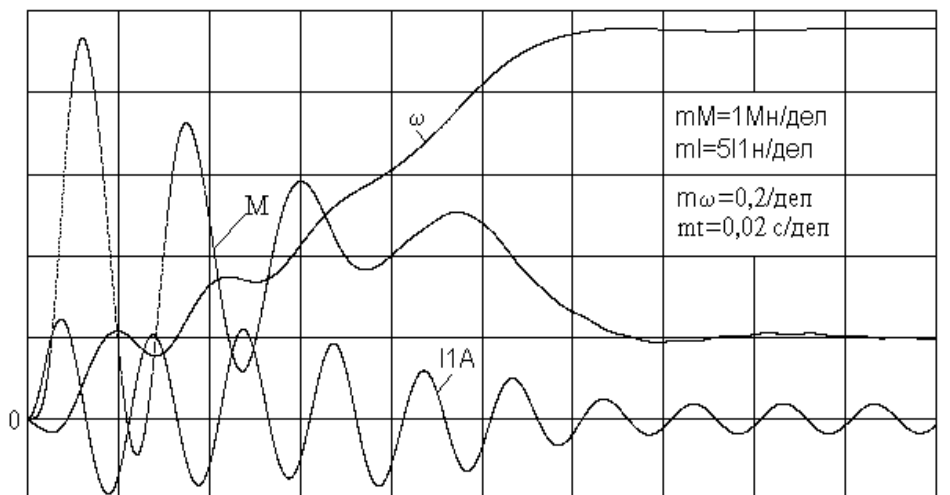


Рис.1 - Осцилограми координат АД при прямому пуску від мережі,
 $M_c = 1M_n, J_{сум} = 2J_{дв}$

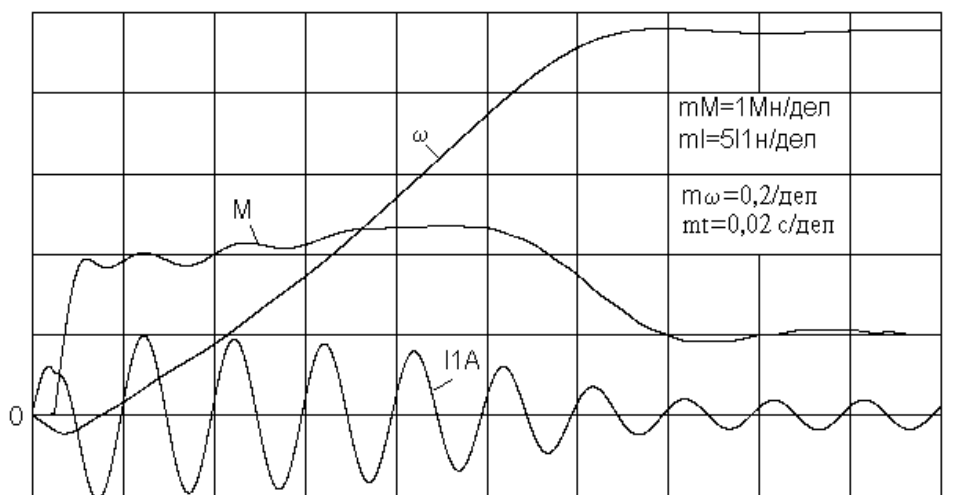


Рис.2 - Осцилограми координат АД при керованому безударному пуску,
 $M_c = 1M_n, J_{сум} = 2J_{дв}$

Особливістю способу є те, що протягом 0,005с або чверті періоду, АД знаходиться в двофазному режимі живлення, момент його дорівнює нулю, а пуск (зміна швидкості) починається тільки після підключення до мережі третьої фази обмоток [12]. Такий пуск можна назвати пуском з ненульовими початковими електромагнітними умовами (ПЕМУ). Втрати в обмотках, при цьому значно зменшені в порівнянні з прямим пуском. Наприклад, для ліфтового двигуна АСС 92-6/24, втрати в роторі збільшені лише на 12,2%. В них «міститься» 5,7% втрат під час двофазного включення двигуна, коли пуск ще не почався. І все ж таки, це ~5% втрат у роторі і, відповідно в статорі АД, які можна вважати додатковими по відношенню до класичного виразу втрат. Особливістю способу є те, що час безударного пуску, навіть з урахуванням часу двофаз-

ного включення, для двигунів з висотою осі 100 мм практично не змінюється. Для двигунів з висотою осі 160 та 280 мм воно зменшується порівняно з прямим некерованим пуском [7].

Пригнічення перехідних моментів за рахунок введення постійного або змінного кута включення вентилів значно покращує енергетику пуску. Економія енергії, що досягається, нелінійно залежить від обраного значення кута α і має екстремум. Наприклад, при постійному куті управління найкращі результати дає $\alpha = 75$ ел. град. При лінійній зміні кута із заданим часом 0,2 с найкращі результати дає випадок з початковим значенням кута 60 ел. град.

Тут, очевидно, треба вибирати максимальне поєднання ступеня зменшення перехідних моментів зі збільшенням кута управління та ступеня впливу вищих гармонік струмів. При плавному

пуску під навантаженням час знаходження АД в області підвищених ковзань збільшується, втрат обмоток зростають і можуть перевищити втрати при прямому пуску, тому тиристорний плавний пуск під навантаженням слід застосовувати обережно, щоб уникнути зайвих втрат (табл. 1). Очевидно, виграшним у цих випадках стає безударний пуск.

Таблиця 1 - Енергетика процесу плавного пуску вхолосту двигуна АСС 92-6/24 ($J_{\Sigma} = 2J_{дв}$)

α , ел. град.	$t_{п}$, с	$\frac{\Delta A_{M1,2}}{\Delta A_{M1,2н}}$	$\frac{\Delta A_{M1}}{\Delta A_{M1н}}$	$\frac{\Delta A_{M2}}{\Delta A_{M2н}}$
70	0,2389	3,233	1,967	1,266
80	0,2915	3,348	2,136	1,212
90	0,4237	3,515	2,215	1,300
100	0,8001	3,624	2,299	1,325

Енергетика процесу реверсу. Процес реверсу складається із двох етапів. У першому проводиться гальмування до нульової швидкості в режимі противмикання, у другому - розгін або пуск у протилежний бік. Теоретично енергія втрат в обмотці ротора за час гальмування противмиканням вхолосту повинна становити триразове значення кінетичної енергії приводу. Таке уявлення відповідає противмиканню з нульовими початковими електромагнітними умовами, хоча завдяки першому піку електромагнітного моменту і більш інтенсивному гальмуванню, на практиці, енергія втрат може виявитися меншою. Наприклад, для ліфтового двигуна АСС 92-6/24 при противмиканні без додаткового моменту інерції перший пік моменту становить $4,6M_n$ і втрати в роторі $\Delta A_{M2} = 2,15$. При $J_{\Sigma} = 5J_{дв}$ вже $\Delta A_{M2} = 3,26$ і тільки при $J_{\Sigma} = 20$ втрати в роторі наближаються до теоретичних чотирикратних. Розглянутий випадок противмикання з нульовими ПЕМУ можна розглядати як теоретичний. Реально процес реверсу починається з незагаслим магнітним полем, оскільки мінімальна пауза, необхідна для закривання тиристорів ТПН однієї групи та відкривання іншої групи становить половину періоду напруги мережі або 0,01 с. За цей час магнітний потік практично не згасає по абсолютній величині, але значно змінюється фаза або кут між узагальненим вектором напруги мережі та вектором потокозчеплення ротора. При прямому підключенні до мережі зі змінним порядком чергування фаз в АД збуджується електромагнітний момент великої амплітуди, наприклад для двигуна, що розглядається, він становить $9,7M_n$. При такому імпульсі моменту, АД, навіть з великим моментом інерції інтенсивно гальмується [12]. Причому цей процес не має нічого

спільного з процесом параметричного регулювання, так як значне зменшення швидкості відбувається під дією одного імпульсу моменту при незмінному ковзанні або ковзанні, що змінюється незначно. В результаті втрати в обмотці ротора АД виявляються набагато меншими за очікувані. Так, при гальмуванні АСС 92-6/24 без додаткової інерційності втрати в обмотці ротора $\Delta A_{M2} = 1,2$, що втричі менше від очікуваних і близькі до теоретичних втрат при пуску. Збільшення моменту інерції дещо нівелює цей ефект, але навіть за його значного збільшення втрати залишаються меншими, ніж при реверсі АД з нульовими ПЕМУ. Наприклад, за $J_{\Sigma} = 2; 5; 10$; втрати у роторі становлять 1,893; 2,971; 3,563. Аналогічна залежність і в обмотці статора АД.

Особливістю процесу реверсу є швидке згасання електромагнітних перехідних моментів, тому під час підходу до нульової швидкості двигун фактично працює статичної механічної характеристики [13]. Тому енергетика другого етапу реверса-розгону у зворотний бік має бути ближчою до ідеального теоретичного випадку, ніж у розглянутих випадках пуску. Справді, починаючи з сумарного моменту інерції $J_{\Sigma} = 2$ і вище, енергетика розгону не залежить від початкових електромагнітних умов противмикання, а втрати виявляються ближче до класичної одиниці. Наприклад, за $J_{\Sigma} = 2; 5; 10; 20$ втрати в роторі за час розгону становили 1,18; 1,11; 1,019; 1,014; 1,009. Різниця у втратах у випадках з нульовими та ненульовими ПЕМУ проявляється у третьому-четвертому порядку значень. При $J_{\Sigma} < 2J_{дв}$ починає проявлятися дія незатухаючих електромагнітних моментів. Це особливо проявляється, якщо реверс АД починався за ненульових початкових електромагнітних умов.

У табл. 2 наведено характерні значення енергетики противмикання з ненульовими ПЕМУ та розгону ЕМС за різних сумарних моментів інерції.

Таблиця 2 - Втрати енергії під час противмикання та розгону двигуна АСС 92-6/24 при реверсі з ненульовими ПЕМУ

Режим	Параметр	Сумарний момент інерції електроприводу		
		$3J_n$	$2J_n$	J_n
Противключення	ΔA_{M2}	1,894	1,452	1,119
	$t_{пр}, с$	0,0537	0,0322	0,0212
Розгін	ΔA_{M2}	1,134	1,519	1,727
	$t_p, с$	0,0827	0,0509	0,0402

Дані таблиці ще раз підтверджують, що наявність електромагнітних перехідних моментів

прискорює процес гальмування противмиканням та зменшує втрати в АД, але погіршує енергетику розгону та збільшує його час.

Втрати в обмотці ротора за час розгону при різних значеннях моменту інерції досягають кількох максимумів і мінімумів. Причому максимальні значення можуть набагато перевищувати втрати за будь-яких інших розглянутих процесах пуску. При зміні параметрів двигуна, поточного моменту навантаження чи моменту інерції дані табл. 2 зміняться, але загальний характер зміни енергетики збережеться. Цікавим представляється розгляд балансу втрат у ланцюзі ротора АД за час реверсу, не поділяючи його на етапи. Так, для ліфтового двигуна АСС 92-6/24 при реверсі з ненульовими ПЕМУ і сумарних моментах інерції 1; 2; 5; 10; 20; 50 реальна енергія втрат у роторі 2,846; 2,971; 3,541; 3,801; 3,988; 3,977, замість розрахункового чотириразового значення.

Керований процес реверсу можна здійснювати за аналогією з пуском трьома способами, проте на практиці широко використовується тільки один - з кутом включення вентилів, що змінюється у часі [7]. Постійний кут включення, хоч і послабить дію перехідних складових моменту на початковому етапі, але надалі лише затягуватиме процес. Причому, як і при звичайному пуску, існує загроза "застрягання" двигуна. Безударний реверс теоретично можливий, але для цього необхідно послабити амплітуду залишкового магнітного потоку майже в два рази і зробити підключення двигуна при певному взаємному розташуванні узагальнених векторів потокозчеплення ротора і напруги мережі. Останнє не становить труднощів, що стосується першого, то природне спадання магнітного потоку не завжди прийнятне через велику тривалість, а штучне його гасіння вимагатиме ускладнення схеми силової частини електроприводу. Тому раціональним є введення на деякий час фазового управління з метою зменшення вільних складових струмів і потоків з подальшим плавним повним відкриванням вентилів. Час дії фазового управління залежить від величини двох основних інерційностей - електромагнітної та електромеханічної. У будь-якому випадку, зі збільшенням потужності та габариту двигуна цей час необхідно збільшувати. Для аналізованого у прикладах випадку двигуна з $M_c = 0$, для ефективного придушення перехідних моментів досить запровадити фазове управління тимчасово до 0,1с. Дані розрахунків процесу реверсу наведено у табл. 3.

Відомо, що при противмиканні з ненульовими ПЕМУ для суттєвого зменшення перехідних складових потрібно більш глибоке регулю-

Таблиця 3 - Відносини втрат при керованому реверсі двигуна АСС 92-6/24 з ненульовими ПЕМУ

Начальний кут управління	$\frac{\Delta A_{M1,2}}{\Delta A_{M1,2H}}$	$\frac{\Delta A_{M1}}{\Delta A_{M1H}}$	$\frac{\Delta A_{M2}}{\Delta A_{M2H}}$	t_p, c
140	9,450	5,201	4,249	0,284
100	8,893	5,013	3,880	0,243
60	8,219	4,691	3,528	0,225
0	7,516	4,059	3,457	0,193

вання кута включення порівняно, наприклад, з пуском. Так, запровадження початкового кута 120 ел. град. обмежує амплітуду моменту до 4,5, що більше, ніж амплітуду моменту під час пуску. Лише ввівши $\alpha_{поч} = 150$ ел. град., можна досягти зменшення амплітуди моменту до $2M_n$. З іншого боку, значне зменшення перехідних складових наближає енергетику реверсу до класичного випадку, коли енергія втрат в обмотці ротора прагне чотириразового значення і збільшує час реверсу. З проведеного фізичного експерименту випливає, що чим більше будуть пригнічені перехідні складові струмів та моментів, тим більше стають час реверсу та втрати в обмотках. Останнє не завжди справедливо щодо втрат. Наприклад, при $\alpha_{поч} = 100$ ел. град. спостерігаються мінімальні порівняно з іншими випадками втрати в АД. Тут, як і при пуску, у необхідних випадках при формулюванні вимог до алгоритму реверсу, слід вибирати компромісне рішення, враховуючи допустимі значення трьох величин: часу процесу, амплітуди імпульсу моменту та втрат в обмотках.

Висновки

Аналіз особливостей енергетики в динамічних режимах ліфтових двошвидкісних асинхронних двигунів дозволив виявити основні закономірності формування керуючих впливів з подальшою можливістю формування оптимальних процесів по швидкодії та мінімізації втрат. Електромагнітні перехідні процеси сприяють збільшенню втрат при пуску. Покращення енергетики пуску в усіх випадках є актуальним завданням, навіть при значному, до 20 - 50 - кратному збільшенню моменту інерції електроприводу.

Зменшення перехідних моментів за рахунок введення постійного або змінного кута включення вентилів значно покращує енергетику пуску двигунів. Економія енергії, що досягається, нелінійно залежить від обраного значення кута управління вентилів і має екстремум.

Наявність гальмівного статичного моменту на валу ліфтового двошвидкісного двигуна при

реверсі зменшує час і втрати на першому етапі реверсу, при противмиканні, і збільшує їх на другому етапі - розгоні в протилежний бік.

Не підтверджується припущення, що вплив моменту навантаження асинхронних двигунів на усереднені втрати за цикл може бути компенсованим, а енергетика реверсу з реактивним характером навантаження буде близька до енергетики вхолосту. Насправді, в діапазоні моментів інерції від 1 до 10 $J_{дв}$ втрати в обмотках при реверсі з номінальним моментом в 1,5 ... 1,8 разів менше, ніж при реверсі вхолосту. Час реверсу АД під навантаженням завжди менше, ніж у холосту.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів стосовно поточного дослідження, включаючи фінансові, особисті, авторські чи будь-які інші, які могли б вплинути на дослідження, а також на результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося за рахунок особистих коштів авторів.

Список використаної літератури

1. Neeraj, N. and Pathirikkat, G. (2016). Energy efficient multiquadrant drive for induction motors. [online] *2016 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, IEEE, Coimbatore, India, pp.1023–1034. doi:<https://doi.org/10.1109/ICCCI.2016.7480030>.
2. Бойко А. О., Семенюк В. Ф., Соколов Я. О., Зубак В. В. (2020). Особливості підвищення ефективності ліфтових лебідок традиційної конструкції. *Підйомно-транспортна техніка*, 1(62), с.29-43. Доступно за адресою: <https://ptt-journals.net/files/2020-1-62-03.pdf> [Доступ отримано 19 березня 2026].
3. Nabyarimana, M. and Dorrell, D.G. (2017). Methods to reduce the starting current of an induction motor. [online] *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)*, Chennai, India, pp.34–38. doi:<https://doi.org/10.1109/ICPCSI.2017.8392319>.
4. Langlang Gumilar, Arif Nur Afandi, Sujito and M. Rodhi Faiz (2021). Starting Induction Motor at Different Voltage Levels in the Electrical Power System. [online] *2021 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT)*, IEEE, Malang, Indonesia, pp.269-273. doi:<https://doi.org/10.1109/IEIT53149.2021.9587354>.
5. Lee, K., Lukic, S. and Sara, A. (2016). A universal restart strategy for induction machines, *2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Milwaukee, WI, USA, pp.1344–1359. doi:<https://doi.org/10.1109/ECCE.2016.7854802>.
6. Ongun, E. and Demir, A. (2017). Improving the performance and energy efficiency of elevators by direct-landing elevator position control system. *2017 4th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE)*, IEEE, Ankara, Turkey, pp. 834–849. doi:<https://doi.org/10.1109/ICEEE2.2017.7935825>.
7. Langlang, G., Dezetty, M., Mokhammad, S. and Stieven, N., R. (2020). Transient in Electrical Power System under Large Induction Motor Starting Condition. *2020 2nd International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS)*, Manado, Indonesia, pp.1-5, doi:<https://doi.org/10.1109/ICORIS50180.2020.9320791>

Наявність даних

В тексті статті доступні усі дані, як у числовій, так і в графічній формах.

Використання штучного інтелекту

Автори заявляють про використання інструменту штучного інтелекту: ChatGPT model (OpenAI GPT-5, версія 2025), номер 5.0.1. Інструмент штучного інтелекту використовувався при формуванні структурних елементів «Анотація», «Висновки», надані інструментом штучного інтелекту, зменшили вплив лексичних та граматичних помилок.

Внесок авторів

Бойко А. О.: наукове керівництво, розробка методології, формування початкової версії тексту, загальне адміністрування та фінансування; *Найденко О. В.*: концептуалізація та дослідження, візуалізація матеріалу, редагування основного тексту статті; *Заброцький С. М.*: формування та оформлення списку літератури; *Іванов В. В.*: формування анотації та вступу; *Малішевський С. М.*: формування та редакція загальних висновків.

8. Michaelides, A. and Nicolaou, T. (2017). Starting and running the induction motor with a variable capacitor. *2017 14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)*, Oradea, Romania, pp.87-90. doi:<https://doi.org/10.1109/EMES.2017.7980388>
9. Jiang, X., Namokel, M., Hu, C., Tian, R. and Dong, J. (2019). Research on Energy Saving Control of Elevator. *2019 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS)*, Chengdu, China, pp.1–5. doi:<https://doi.org/10.1109/iccais46528.2019.9074551>.
10. Zhang, Y. and Dong, J. (2022). Design and Implementation of Energy Saving Elevator Control System based on Single Chip Microcomputer. *2022 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)*, Dalian, China, pp.236–240. doi:<https://doi.org/10.1109/aeeeca55500.2022.9918820>.
11. Андриющенко, О., А., Бойко, А., А., Бабийчук, О., Б. (2010). Анализ энергетической эффективности электроприводов пассажирских лифтов. *Вісник національного технічного університету «ХПИ», Харків: [НТУ «ХПИ»]*, 28, с.503-504. Доступно за адресою: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/20406b87-e2b7-48d6-83ec-b2aca5764247> [Доступ отримано 19 березня 2026].
12. Андриющенко О. А., Бойко А. О., Бібік А. В., Бабийчук О. Б. (2012). Энергетичні показники електроприводу пасажирського ліфту з двошвидкісним асинхронним двигуном. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи, Кременчук, [КрНУ]*, 3(19), pp.205-208. Доступно за адресою: https://ees.kdu.edu.ua/statti/2012_3_205.pdf [Доступ отримано 19 березня 2026]
13. Mathew, S., Mogre, P., Chouthai, R., Karandikar, P. B. and Kulkarni, N. R. (2017). Supercapacitor based energy recovery system for an elevator. *2017 International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3)*, Mumbai, India, pp.2034-2049. doi:<https://doi.org/10.1109/icac3.2017.8318788>

References

1. Neeraj, N. and Pathirikkat, G. (2016). Energy efficient multiquadrant drive for induction motors. [online] *2016 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, IEEE, Coimbatore, India, pp.1023–1034. doi:<https://doi.org/10.1109/ICCCI.2016.7480030>.
2. Boyko, A. A., Semenyuk, V. F., Sokolov, Ya. A., Zubak, V. V. (2020). Osobennosti povishensja effektivnosti liftovih lebedok tradizionnoy konstrukzii [Features of increasing the efficiency of elevator winches of traditional design]. *Pidyomno-transportna tekhnika [Lifting and transport equipment]*, 1(62), pp.29-44. Available at: <https://ptt-journals.net/files/2020-1-62-03.pdf> [Accessed 19 Mar. 2026].
3. Habyarimana, M. and Dorrell, D.G. (2017). Methods to reduce the starting current of an induction motor. [online] *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)*, Chennai, India, pp.34–38. doi:<https://doi.org/10.1109/ICPCSI.2017.8392319>.
4. Langlang Gumilar, Arif Nur Afandi, Sujito and M. Rodhi Faiz (2021). Starting Induction Motor at Different Voltage Levels in the Electrical Power System. [online] *2021 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT)*, IEEE, Malang, Indonesia, pp.269-273. doi:<https://doi.org/10.1109/IEIT53149.2021.9587354>.
5. Lee, K., Lukic, S. and Sara, A. (2016). A universal restart strategy for induction machines, *2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Milwaukee, WI, USA, pp.1344–1359. doi:<https://doi.org/10.1109/ECCE.2016.7854802>.
6. Ongun, E. and Demir, A. (2017). Improving the performance and energy efficiency of elevators by direct-landing elevator position control system. *2017 4th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE)*, IEEE, Ankara, Turkey, pp. 834–849. doi:<https://doi.org/10.1109/ICEEE2.2017.7935825>.
7. Langlang, G., Dezetty, M., Mokhammad, S. and Stieven, N., R. (2020). Transient in Electrical Power System under Large Induction Motor Starting Condition. *2020 2nd International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS)*, Manado, Indonesia, pp.1-5, doi:<https://doi.org/10.1109/ICORIS50180.2020.9320791>
8. Michaelides, A. and Nicolaou, T. (2017). Starting and running the induction motor with a variable capacitor. *2017 14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)*, Oradea, Romania, pp.87-90. doi:<https://doi.org/10.1109/EMES.2017.7980388>

9. Jiang, X., Namokel, M., Hu, C., Tian, R. and Dong, J. (2019). Research on Energy Saving Control of Elevator. *2019 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS)*, Chengdu, China, pp.1-5. doi:<https://doi.org/10.1109/ICCAIS46528.2019.9074551>.

10. Zhang, Y. and Dong, J. (2022). Design and Implementation of Energy Saving Elevator Control System based on Single Chip Microcomputer. *2022 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)*, Dalian, China, pp.236-240. doi:<https://doi.org/10.1109/AEECA55500.2022.9918820>.

11. Andryushchenko, O., A., Boyko, A., A., Babiychuk, O., B. (2010). «Analysis of the energy efficiency of electric drives of passenger elevators» [Analiz energeticheskoy effektivnosti elektroprivodov passajirskih liftov]. *Bulletin of the National Technical University [Visnik nationalnogo tehničnogo universitetu] "KhPI", Kharkiv: [NTU "KhPI"]*, 28, pp.503-504. Available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/20406b87-e2b7-48d6-83ec-b2aca5764247> [Accessed 19 Mar. 2026]

12. Andryushchenko, O. A., Boyko, A. A., Bibik, A. V., Babiychuk, O., B. (2012). «Energy indicators for the electric drive of a passenger elevator with a double asynchronous motor» [Energetichni pokazniki elektroprivodu passajirskogo liftu z dvoshvidkisl'nim asinhronnim dvigunom]. *Electromechanical and energy saving systems [Elektromehanichni s energozberigajuchi sistemi]*, No. 3 (19), Kremenchuk, [KrNU], 205 - 208. Available at: https://ees.kdu.edu.ua/statti/2012_3_205.pdf [Accessed 19 Mar. 2026]

13. Mathew, S., Mogre, P., Chouthai, R., Karandikar, P. B. and Kulkarni, N. R. (2017). Supercapacitor based energy recovery system for an elevator. *2017 International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3)*, Mumbai, India, pp.2034-2049. doi:<https://doi.org/10.1109/icac3.2017.8318788>

Отримано (Received) 30.09.2025

Отримано після доопрацювання (Received after revision) 18.02.2026

Прийнято (Accepted) 19.03.2026

Опубліковано (Published) 23.04.2026

Energy Analysis of Transient Processes of Asynchronous Elevator Motors

Andrii Boiko¹, *Dr. of Science, Professor*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0048-9259>; e-mail: a.o.boyko@op.edu.ua;
Scopus Author ID: 57202752287; Websites & social links: <https://op.edu.ua/staff/32211>

Olena Naidenko¹, *Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5684-5617>; e-mail: avnaidenko@op.edu.ua;
Scopus Author ID: 57362920200

С. М. Заброцький¹, *Postgraduate Student*

ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-7899-7150>; e-mail: zabroczkijoo@gmail.com

В. В. Іванов¹, *Postgraduate Student*

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-1820-4418>; e-mail: vadziliyviktorovich@gmail.com

С. А. Малішевський¹, *Postgraduate Student*

ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-4477-5048>; e-mail: s.malishevskiy@gmail.com

¹*Odesa Polytechnic National University*

Abstract. *The work the article analyzes the features of the energy of two-speed elevator induction motors in dynamic modes. The operating modes with variable moments of load and inertia, typical for an elevator electric drive, are investigated. It is found that taking into account electromagnetic transient processes significantly affects the energy indicators of starting, braking and reversing, especially under zero initial electromagnetic conditions. It is shown that the formation of control actions allows reducing the duration of transient processes and reducing energy losses. The results provide a scientific basis for the development of control algorithms that ensure high dynamics and energy efficiency of gear elevator winches of traditional design under conditions of changing operating parameters.*

Keywords: *power engineering, elevator induction motor, electric drive, transient processes, thyristor control, initial electromagnetic conditions.*

Article citation: Boyko A. O., Naidenko O. V., Zabrotskyi S. M., Ivanov V. V. and Malishevskiy S. A. (2026). Energy analysis of transient processes of asynchronous elevator motors. *Electrotechnic and Computer Systems*, 45(121), pp. 6-14.
doi:<https://doi.org/10.15276/eltecs.45.121.2026.1>

Про авторів (About the authors)



Бойко Андрій Олександрович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Національний університет «Одеська політехніка»; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна.
E-mail: a.o.boyko@op.edu.ua; тел.: +380 48 705 8581

Andrii Boiko, Dr. of Science, Professor, Professor of Department of Electricity and Energy Management, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine.
E-mail: a.o.boyko@op.edu.ua; ph.: +380 48 705 8581

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0048-9259>



Найденко Олена Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Національний університет «Одеська політехніка»; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна.
E - mail: avnaidenko@op.edu.ua, тел.: +380 48 705 7388

Olena Naidenko, Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professor of Department of Electricity and Energy Management, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine.
E-mail: avnaidenko@op.edu.ua; ph.: +380 48 705 7388

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5684-5617>



Заброцький Сергій Миколайович, аспірант кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Національний університет «Одеська політехніка»; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна.
E-mail: zabroczkijoo@gmail.com; тел.: +380 48 705 8548

Serhii Zabrotskyi, Postgraduate Student of Department of Electricity and Energy Management, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine.
E-mail: zabroczkijoo@gmail.com; ph.: +380 48 705 8548

ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-7899-7150>



Іванов Василь Вікторович, аспірант кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Національний університет «Одеська політехніка»; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна. E-mail: vadzilyiviktorovich@gmail.com; тел.: +380 48 705 8423

Vasyly Ivanov, Postgraduate Student of Department of Electricity and Energy Management, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine.
E-mail: vadzilyiviktorovich@gmail.com; ph.: +380 48 705 8423

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-1820-4418>



Малішевський Сергій Анатолійович, аспірант кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Національний університет «Одеська політехніка»; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна.
E-mail: s.malishevskiy@gmail.com; тел.: +380 48 705 8423

Serhii Malishevskiy, Postgraduate Student of Department of Electricity and Energy Management, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine.
E-mail: s.malishevskiy@gmail.com; ph.: +380 48 705 8423

ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-4477-5048>