

УДК: 621.314.2:621.316.9

<https://doi.org/10.31713/vt1202622>

Маланчук Є. З. [1; ORCID ID: 0000-0001-9352-4548],

д.т.н., професор,

Стець С. Є. [1; 0000-0003-0063-5009],

к.т.н., доцент

Полховський І. П. [1; 0009-0001-3293-6116],

аспірант

¹Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне

ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗІ SIEMENS S-1200

У дослідження представлено комплексний аналіз енергоефективності та динамічних характеристик двох частотних перетворювачів – Siemens SINAMICS G120 та SEW-Erodribe Movimax MDX61B – в системі автоматизованого керування асинхронним електродвигуном на базі ПЛК Siemens S7-1200. Експерименти проводилися на асинхронному двигуні в режимі холостого ходу з фіксованим часом розгону і гальмування та охоплювали широкий діапазон швидкостей – від 100 до 1500 об/хв. Перевірялась енергоефективність у режимі очікування, сталому режимі та динамічних режимах роботи окремо для частотного перетворювача SINAMICS G120 (струм втрат 0.0015-0.0024 А) та частотного регулятора Movimax MDX61B (струм втрат 0.004 А) з врахуванням стрибкоподібних навантажень на електричну мережу та на механічні елементи конструкції електроприводу. Визначались залежності значень струму холостого ходу електроприводу від швидкості на практично всьому діапазоні можливих швидкостей. Аналізувались особливості вольт-герцових характеристик та алгоритмів керування частотних перетворювачів. Робота має практичну цінність для інженерів-проектувальників.

Ключові слова: частотний перетворювач; сила струму; електродвигун; алгоритми керування; контролер Siemens S7-1200; TIA Portal.

Сучасна промисловість характеризується посиленням вимог до енергоефективності та технологічності виробничих процесів. Ключову роль у цьому відіграють системи автоматизованого електроприводу, на які припадає значна частка споживання електроенергії [1]. Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, завдяки своїй надійності та низькій вартості, залишаються основним елементом виконавчих механізмів. Однак їхнє ефективне керування швидкістю неможливе без застосування частотних перетворювачів (ЧП), які перетворюють мережеву напругу постійної частоти в напругу з регульованою амплітудою та частотою [2].

Вибір частотного перетворювача є важливим завданням, що включає оцінку енергоефективності, динамічних якостей, функціональності та вартості. На ринку присутні чисельні рішення від провідних виробників. В даній роботі ми використали Siemens SINAMICS G120 та SEW-Eurodrive Movimax MDX61B. Незважаючи на їхню поширеність, порівняльні експериментальні дослідження, що охоплюють одночасно статичні та динамічні режими в ідентичних умовах, є обмеженими. Часто існуючі роботи ґрунтуються на даних з каталогів, в той час, коли реальна поведінка перетворювача в автоматизованій системі може суттєво відрізнятись.

Актуальність дослідження полягає у проведенні комплексного експериментального аналізу двох популярних моделей ЧП, інтегрованих в єдину систему керування з метою отримання об'єктивних даних щодо їх енергетичних та динамічних характеристик.

Метою роботи є порівняльна оцінка енергоефективності, стабільності параметрів та динамічних якостей частотних перетворювачів Siemens SINAMICS G120 та SEW-Eurodrive MDX61B при керуванні трифазним асинхронним двигуном у режим холостого ходу, зокрема при фіксованому часі розгону.

Основним принципом частотного керування є підтримка постійного відношення напруги до частоти (V/f) для незмінного магнітного потоку в повітряному проміжку електродвигуна [3]. Це дозволяє зберігати момент двигуна постійним у робочому діапазоні швидкостей. Класична вольт-частотна (V/f) характеристика має низькочастотну компенсацію спаду напруги на статорному опорі, що забезпечує здатність до створення необхідного моменту на низьких швидкостях.

Сучасні ЧП реалізують не лише базове V/f керування, але його оптимізовані варіанти, а також векторне керування. Під вольт-



частотною (вольт-герцовою) характеристикою розуміємо закон керування частотно-регульованим приводом (ЧРП) з метою підтримки постійного магнітного потоку у двигуні та його номінального моменту, тобто напруга (U) повинна змінюватися пропорційно частоті (f): $U/f = \text{const}$.

Вибір алгоритму та його параметри суттєво впливають на:

- *Енергоефективність*: в режимі холостого ходу та невеликих навантаженнях оптимізовані алгоритми можуть знижувати магнітний потік двигуна, зменшуючи втрати в сталі та, відповідно, струм холостого ходу.
- *Стабільність струму*: якісне керування має забезпечувати стабільне значення намагнічуючого струму незалежно від швидкості обертання.
- *Динамічні характеристики*: параметри розгону/гальмування – час і форма характеристики розгону безпосередньо впливають на пускові струми та механічні навантаження.

До складу експериментального стенду (Рис. 1) увійшли:

1. Об'єкт дослідження: асинхронний трифазний двигун RAVEO RT1A 562-4 [4].
2. Система керування: програмований логічний контролер Siemens S7-1200 (CPU 1214C) та панель керування SIMATIC KTP700 Basic PN, через яку здійснювався зв'язок з ПЛК та збір даних.
3. Частотні перетворювачі: siemens SINAMICS G120 з силовим модулем PM240-2 [5], та SEW-Eurodrive Movimax MDX61B [6].
4. Система моніторингу: вбудовані апаратні засоби ЧП для вимірювання струму та енкодер (модель RVP510) для контролю швидкості обертання.
5. Комунікаційна інфраструктура: мережа PROFINET забезпечила синхронний обмін даними між ПЛК, обома ЧП та панеллю керування.

Результати вимірювань виявили значну різницю в енергоефективності частотних перетворювачів в режимі простою. SINAMICS G120 споживав струм в діапазоні 0.0015-0.0024 А, в той час як SEW MDX61B демонстрував стабільне значення 0.004 А. Ця різниця свідчить про більш ефективну конструкцію силових ключів, схем живлення та управління драйвером у частотному

перетворювачі Siemens. Для систем із тривалими періодами простою цей параметр надає перевагу SINAMICS G120.

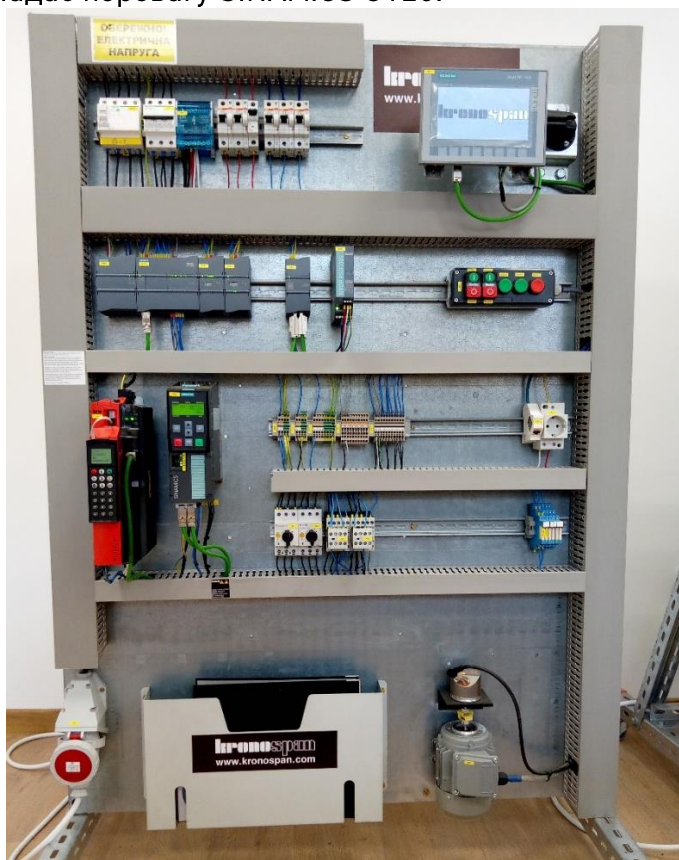


Рис. 1 Навчальний стенд для дослідження

Табл. 1

Порівняльні дані струмів холостого ходу в усталеному режимі

Швидкість, об/хв	Струм SINAMICS G120, A	Струм SEW MDX61B, A	Відхилення SEW від SINAMICS, %
100	0.619	0.505	-18.4%
300	0.619	0.500	-19.2%
500	0.608	0.504	-17.1%
700	0.609	0.511	-16.1%
900	0.565	0.516	-8.7%
1100	0.564	0.517	-8.3%
1300	0.566	0.490	-13.4%
1500	0.548	0.489	-10.8%

Аналіз експериментальних даних підтверджує принципово різні підходи до керування двигуном, але також було виявлено важливі особливості:

- SINAMICS G120 проявляє чітку виражену залежність струму від швидкості (рис. 2), що є характеристикою класичної V/f характеристики. Значення струму залишаються відносно високими та стабільними (~ 0.619 А) в діапазоні низьких і середніх швидкостей (100-700 об/хв), що пояснюється компенсацією падіння напруги на статорі. Проте, починаючи з 900 об/хв, спостерігається чіткий тренд на зниження струму до 0.548 А на 1500 об/хв. Це пов'язано з тим, що на вищих швидкостях двигун працює в умовах, ближчих до номінального магнітного потоку, у зв'язку з цим зменшується струм холостого ходу.
- SEW MDX61B демонструє складну нелінійну залежність струму від швидкості (рис. 3). Значення струму змінюються в діапазоні від 0.489 А до 0.517 А. Спостерігається тенденція до незначного зростання струму в діапазоні від 100 до 1100 об/хв з подальшим помітним зниження на вищих швидкостях (1300, 1500 об/хв). Така поведінка може свідчити про складний адаптивний алгоритм керування магнітним потоком, який оптимізує енергоспоживання в різних діапазонах швидкостей для зменшення втрат у сталі.

Важливо зауважити, що загальний рівень струму холостого ходу у SEW MDX61B є нижчим протягом усього діапазону швидкостей, що свідчить про його вищу енергоефективність у сталому режимі роботи без навантаження.

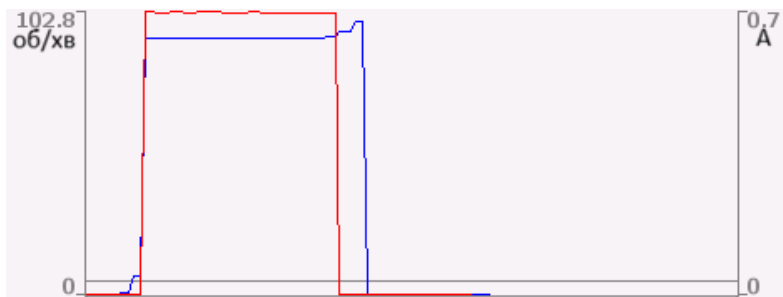


Рис 2. Графік залежності струму від швидкості для ЧП SINAMICS G120 на заданій швидкості обертання 300 об/хв. Синій графік – сила струму, червоний – швидкість обертання.

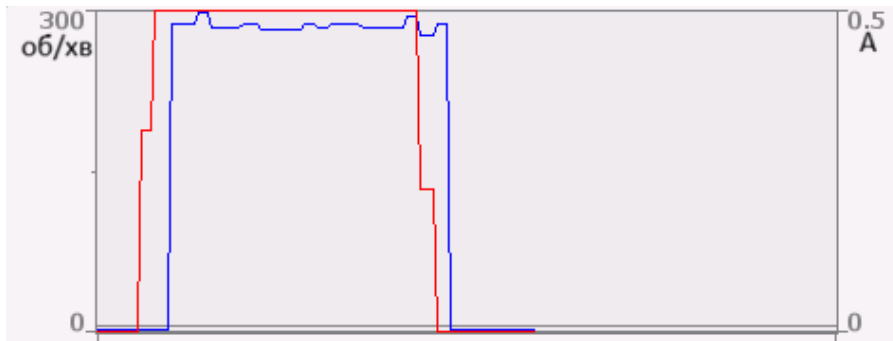


Рис 3. Графік залежності струму від швидкості для ЧП SEW MDX61B на заданій швидкості обертання 300 об/хв. Синій графік – сила струму, червоний – швидкість обертання.

Частотний перетворювач SINAMICS G120 навіть при встановленому часі розгону в 2 секунди демонструє більш жорстку динаміку. При розгоні до 300 об/хв фіксувалися пускові струми до 0.74 А. Це свідчить про те, що внутрішній контур керування струмом SINAMICS G120 дозволяє швидше насичувати двигун енергією для досягнення заданого прискорення. Така поведінка може бути бажаною для механізмів з великим моментом інерції, де потрібен швидкий вихід на режим, що створює додаткові навантаження на мережу живлення та механічні частини.

ЧП SEW MDX61B характеризується плавною та більш «м'якою» динамікою. При аналогічному розгоні до 300 об/хв пускові струми не перевищували 0.56 А. Алгоритм керування MDX61B, ймовірно, має більш жорсткі обмеження на швидкість наростання струму або використовує інший закон керування при розгоні. Це позитивно впливає на експлуатаційні характеристики: зменшуються динамічні навантаження на підшипники та корпус електродвигуна, а також знижується ймовірність спрацювання захисного обладнання мережі від струмових ривків.

Проведене експериментальне дослідження дозволило отримати об'єктивну порівняльну характеристику двох популярних моделей частотних перетворювачів – Siemens SINAMICS G120 з силовим модулем PM240-2 та SEW-Eurodrive Movimax MDX61B – у однакових умовах експлуатації. Отримані результати свідчать про те, що SINAMICS G120 та SEW MDX61B реалізують різні підходи до керування асинхронним двигуном, що обумовлює їх різні експлуатаційні характеристики.

У контексті енергоефективності частотні перетворювачі демонструють різну поведінку в залежності від режиму роботи.



Siemens SINAMICS G120 виявився значно ефективнішим у режимі очікування, споживаючи лише 0.0015-0.0024 А проти стабільних 0.004 А у SEW MDX61B. Ця перевага робить його кращим вибором для систем із тривалими періодами простою. Однак у сталому режимі роботи ситуація змінюється – SEW MDX61B демонструє нижчі значення струму холостого ходу в усьому діапазоні дослідження (100-1500 об/хв), показуючи на 8-19% кращі результати енергоспоживання. Поведінка ЧП SEW MDX61B на високих швидкостях є більш незвичною – спостерігається зниження струму, що може свідчити про використання спеціальних алгоритмів оптимізації магнітного потоку.

У динамічних режимах, при однаковому часі розгону тривалістю 2 секунди, частотні перетворювачі також демонструють різний характер роботи. SINAMICS G120 забезпечує більш жорстку динаміку з вищими пусковими струмами, що може бути корисним для механізмів з високими вимогами до швидкодії. На противагу цьому, SEW MDX61B характеризується більш плавною роботою з меншими пусковими струмами, що зменшує навантаження (струмові ривки) в мережі.

Різниця зазвичай закладена в алгоритмах керування та налаштуваннях внутрішніх контурів регулювання. Навіть при ідентичному часі розгону два перетворювачі можуть поводитися по-різному через:

- тип керування (Скалярне (V/f) керування розганяє двигун лінійно, але може допускати «просідання» моменту під навантаженням; Векторне керування динамічно підлаштовує струм, забезпечуючи стабільний момент навіть на низьких обертах);

- форму кривої розгону (За замовчуванням встановлена лінійна характеристика, але використання S-кривої робить початок і кінець розгону плавними, що зменшує ривки та механічні удари);

- функцію форсування напруги Boost (Якщо активований стартовий підйом напруги, один ПЧ може дати різкий поштовх на старті, тоді як інший без цієї функції буде розганятися повільно до досягнення певних обертів);

- точність автоналаштування (ПЧ, який краще «знає» параметри обмоток двигуна, точніше компенсує ковзання, що робить динаміку розгону чіткішою).

Висновки

Встановлено, що перетворювач SINAMICS G120 має більшу енергоефективність у режимі очікування (струм втрат 0.0015-0.0024 А) в порівнянні з MDX61B (0.004 А). У сталому режимі SEW MDX61B демонструє меншу залежність значень струму холостого ходу від швидкості (близько 0.504 А) на практично всьому діапазоні швидкостей, що свідчить про використання високоякісних алгоритмів керування. На противагу, SINAMICS G120 проявляє чітко виражену залежність струму від швидкості (зменшення від 0.619 А до 0.548 А), що пояснюється особливістю його V/f характеристики.

У динамічних режимах при однаковому часі розгону SINAMICS G120 з вищими пусковими струмами, що забезпечують більш жорсткий розгін, тоді як SEW MDX61B забезпечує більш плавну динаміку з меншими стрибкоподібними навантаженнями на мережу та механічні частини приводу.

Отримані результати підкреслюють, що вибір оптимального частотного перетворювача має ґрунтуватися на реальному аналізі вимог конкретного технологічного процесу. Для систем з тривалими паузами та високими вимогами до динаміки доцільним є вибір SINAMICS G120, тоді як для застосувань, де пріоритетними є мінімальне енергоспоживання в сталому режимі та плавність роботи, слід віддати перевагу SEW MDX61B.

Перспективним напрямом подальших досліджень є аналіз характеристик перетворювачів під різними видами механічного навантаження на електродвигуні. Також актуальним залишається дослідження енергоефективності при зміні налаштувань параметрів частотних перетворювачів.

Метою подальших досліджень є порівняння характеристик частотних перетворювачів під змінним навантаженням, аналіз гармонік струму та оцінка їх впливу на якість електроенергії в мережі.

1. Каталог електродвигунів RAVEO. URL: https://www.raveo.cz/productmanager/wp-content/uploads/2023/01/ac-motory-raveo-2016-11_0.pdf (дата звернення 27.09.2025).
2. SINAMICS G120: Installation Manual for PM240-2 Power Modules. URL: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:48fca72b-670d-40f6-aa0d-f25cef30e33c/SINAMICSG120-Manual-de-instalacao-PM240-2-EN_original.pdf (дата звернення 28.09.2025).
3. MOVIDRIVE MDX61B/MDX60B: інструкція з експлуатації. – SEW-EURODRIVE, 2023. URL: <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16838017.pdf> (дата

звернення 27.09.2025). 4. Експериментальні дані дослідження. URL: https://drive.google.com/drive/folders/1okbtEYKP66xNRHUUnTlcCVw_K0ZpKq_xqP?usp=drive_link (дата звернення 27.09.2025).

REFERENCES

1. Kataloh elektrodvyhuniv RAVEO. URL: https://www.raveo.cz/productmanager/wp-content/uploads/2023/01/ac-motory-raveo-2016-11_0.pdf (data zvernennya 27.09.2025).
2. SINAMICS G120: Instruktsiya z montazhu sylovykh moduliv PM240-2. URL: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:48fca72b-670d-40f6-aa0d-f25cef30e33c/SINAMICSG120-Manual-de-instalacao-PM240-2-EN_original.pdf (data zvernennya 28.09.2025).
3. MOVIDRIVE MDX61B/MDX60B: instruktsiya z ekspluatatsiyi. – SEW-EURODRIVE, 2023. URL: <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16838017.pdf> (data zvernennya 27.09.2025).
4. Eksperymental'ni dani doslidzhennya. URL: https://drive.google.com/drive/folders/1okbtEYKP66xNRHUUnTlcCVw_K0ZpKq_xqP?usp=drive_link (data zvernennya 27.09.2025).

Malanchuk E. Z. [1; ORCID ID: 0000-0001-9352-4548],

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Stets S. E. [1; 0000-0003-0063-5009],

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Ph.D)

Polkhovsky I. P. [1; 0009-0001-3293-6116],

student

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF FREQUENCY CONVERTERS IN THE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF AN ELECTRIC DRIVE BASED ON SIEMENS S-1200

This study provides a comprehensive experimental analysis and comparative evaluation of two widely used frequency converters — Siemens SINAMICS G120 (with PM240-2 power module) and SEW-Eurodrive Movimax MDX61B. The research is driven by the increasing industrial demand for energy efficiency and high-performance automated electric drives, which account for a significant portion of global electricity consumption. The core objective of the work is to assess energy efficiency, parameter stability, and dynamic qualities of these converters when controlling a three-phase asynchronous motor in idle (no-load) mode. The experimental setup was built around a RAVEO RT1A 562-4 induction motor controlled by a Siemens S7-

1200 (CPU 1214C) programmable logic controller (PLC). Data acquisition and monitoring were facilitated through a SIMATIC KTP700 Basic PN HMI panel and integrated hardware tools within the converters, connected via a PROFINET network for synchronous data exchange. The testing methodology involved operating the motor across a wide speed range (100 to 1500 rpm) with a fixed acceleration and deceleration time of 2 seconds. The findings reveal significant differences in performance across three main operational modes:

Standby Mode: The Siemens SINAMICS G120 demonstrated superior energy efficiency with a loss current of 0.0015–0.0024 A, compared to a stable 0.004 A for the SEW MDX61B. This suggests a more efficient design of power switches and driver control circuits in the Siemens model, making it preferable for systems with long idle periods.

Steady-State Idle Mode: Contrary to standby results, the SEW MDX61B proved more efficient during active rotation, showing 8% to 19% lower idle currents across the entire speed range. The study attributes this to a complex adaptive flux control algorithm that optimizes energy consumption by reducing steel losses. In contrast, the SINAMICS G120 follows a classic V/f characteristic with higher, more speed-dependent currents (0.619 A to 0.548 A).

Dynamic Regimes: During a 2-second ramp-up to 300 rpm, the SINAMICS G120 exhibited "tougher" dynamics with peak currents reaching 0.74 A, indicating rapid energy saturation for high-inertia mechanisms. The SEW MDX61B provided "softer" dynamics with peak currents not exceeding 0.56 A, which reduces mechanical stress on bearings and belts while preventing power grid surges.

In conclusion, the research highlights that the choice of a frequency converter must align with specific technological requirements. The SINAMICS G120 is recommended for applications requiring high dynamics and having long standby intervals, whereas the SEW MDX61B is ideal for processes prioritizing steady-state energy savings and mechanical longevity. Future research will focus on performance under variable mechanical loads and harmonic analysis.

Keywords: frequency converter; current strength; electric motor; control algorithms; Siemens S7-1200 controller; TIA Portal.

Отримано: 16 січня 2026 року
Прорецензовано: 22 лютого 2026 року
Прийнято до друку: 27 березня 2026 року



© 2026 [Malanchuk E. Z., Stets S. E., Polkhovsky I. P.]. Licensee [NUWEE]. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org).