

Дослідження енергоефективності частотних перетворювачів при автоматизованому керуванні асинхронним електроприводом

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.119>

Іван Полховський

Національний університет водного господарства та
природокористування
м. Рівне, Україна
polkhovskiy_vg24@nuwm.edu.ua

Євгеній Маланчук

Національний університет водного господарства та
природокористування
м. Рівне, Україна
e.z.malanchuk@nuwm.edu.ua

Сергій Стець

Національний університет водного господарства та
природокористування
м. Рівне, Україна
s.e.stets@nuwm.edu.ua

Анотація—В роботі проведений порівняльний аналіз енергоспоживання двох частотних перетворювачів Siemens SINAMICS G120 і SEW-Eurodrive MDX61B при регулюванні швидкості обертання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в режимі холостого ходу. На основі проведеного експерименту досліджені залежності струму споживання двигуна від швидкості обертання ротора в статичних і динамічних режимах та встановлені особливості алгоритмів керування частотою змінного струму.

Keywords—перетворювач частоти змінного струму; автоматизований асинхронний електропривод; енергоефективність; програмований логічний контролер

I. ВСТУП

Системи автоматизованого керування електроприводом є невід'ємною складовою сучасного промислового виробництва. Ключовими елементами таких систем виступають частотні перетворювачі (ЧП), що забезпечують регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів шляхом зміни частоти та амплітуди напруги живлення [1]. Вибір конкретного типу перетворювача суттєво впливає на динамічні характеристики, енергоефективність та інтегрованість приводу в систему автоматизації. Незважаючи на широкий спектр пропозицій від провідних виробників, таких як Siemens, ABB та SEW-Eurodrive, вибір оптимального рішення часто ґрунтується на суб'єктивних або економічних критеріях через брак об'єктивних експериментальних даних. Актуальність даного дослідження полягає у проведенні прямого порівняльного аналізу характеристик популярних моделей ЧП в однакових умовах експлуатації.

II. МЕТА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є дослідження ефективності використання та стабільності параметрів двох моделей частотних перетворювачів: SINAMICS G120 [2] та SEW-Eurodrive Movimax MDX61B [5], інтегрованих в єдину систему керування на базі ПЛК Siemens S7-1200 [4]. Об'єктом дослідження обрано асинхронний електродвигун RAVEO RT1A 562-4 [3]. Експериментальний лабораторний стенд (рис. 1) мистив у своєму складі:

- Програмований логічний контролер: Siemens S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC), що виконував функції формування завдання для швидкості обертання та здійснював збір даних.
- Досліджувані частотні перетворювачі:
 - Siemens SINAMICS G120 з силовим модулем PM240-2 (6SL3210-1PB13-0AL0);
 - SEW-Eurodrive Movimax MDX61B (MDX61B0005-5A3-4-0T/DFE32B).
- Систему моніторингу: енкодер для вимірювання швидкості обертання та вбудовані засоби ЧП для вимірювання струму.

Зв'язок ПЛК з перетворювачами був реалізований через єдину промислову мережу PROFINET.



Рисунок 1. Експериментальний лабораторний стенд.

Вимірювання струму, споживаного двигуном, проводилося безпосередньо частотними перетворювачами з подальшим зчитуванням та передачею через ПЛК на ПК. Експеримент передбачав циклічну зміну швидкості двигуна (від 0 до 1500 об/хв) для оцінки як статичних, так і динамічних характеристик.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

У режимі очікування (0 об/хв) виявлено суттєву різницю у власному струмі споживання ЧП. Перетворювач SINAMICS G120 продемонстрував значення в діапазоні 0.0015 – 0.0024 А, тоді як SEW MDX61B – стабільно 0.004 А. Ця різниця свідчить про нижчі втрати в силовому модулі частотного перетворювача Siemens у режимі простою, що може бути важливим для систем з тривалими паузами в роботі.

Дослідження в усталеному режимі при заданій швидкості обертання двигуна проводилися без навантаження. Результати вимірювань представлені в Таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ 1. ПОРІВНЯННЯ СТРУМІВ ХОЛОСТОГО ХОДУ У СТАЛОМУ РЕЖИМІ

Швидкість, об/хв	Струм SINAMICS G120, А	Струм SEW MDX61B, А
100	0.635	0.496
300	0.655	0.474
500	0.621	0.474
700	0.567	0.474
900	0.544	0.475
1200	0.528	0.474
1500	0.521	0.474

Аналіз даних виявив принципово різні характеристики: - перетворювач SEW MDX61B демонструє високу стабільність значень струму (0.474 А) майже у всьому діапазоні швидкостей (рис. 2), що вказує на оптимізовані алгоритми керування; - для перетворювача SINAMICS G120 (рис. 3) спостерігається чітко виражена залежність струму від швидкості: зі зростанням обертів від 100 до 1500 об/хв струм плавно зменшується з 0.635 А до 0.521 А. Така поведінка може бути пов'язана з особливостями реалізації V/f характеристики.

У динамічних режимах (розгін та гальмування) обидва частотні перетворювачі продемонстрували коректну роботу без небезпечних викидів струмів.

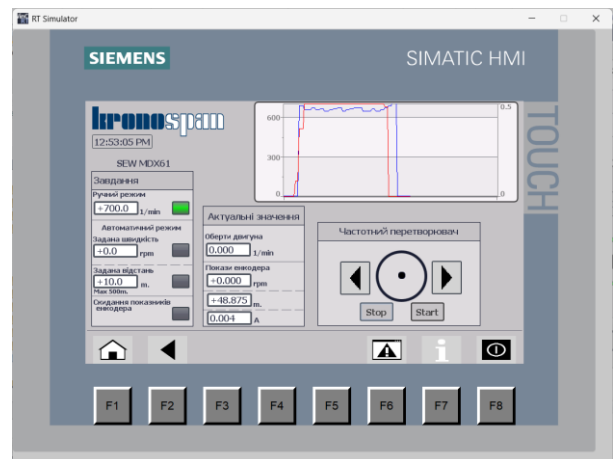


Рисунок 2. Графік залежності швидкості обертання (червоний графік) та струму двигуна (синій графік) від часу для частотного перетворювача SEW MDX61B на швидкості 700 об/хв [6].

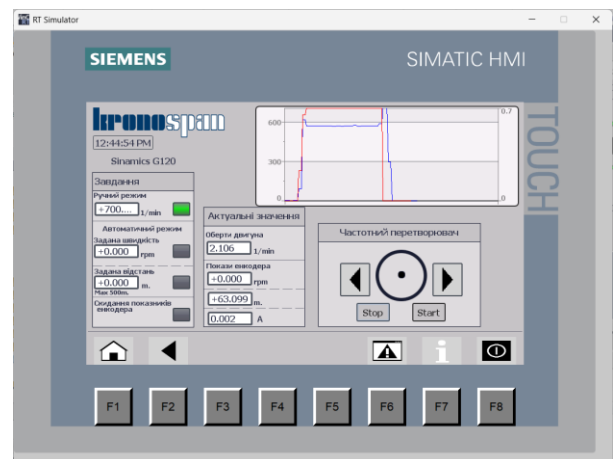


Рисунок 3. Графік залежності швидкості обертання (червоний графік) та струму двигуна (синій графік) від часу для частотного перетворювача SINAMICS G120 на швидкості 700 об/хв [6].

Дослідження перетворювачів в динаміці також виявили деякі відмінності у споживанні електроенергії, а саме:

- SINAMICS G120: Забезпечував різкий розгін із вищим пусковим струмом (до 0.74 А при розгоні до швидкості 300 об/хв)
- SEW MDX61B: характеризувався більш плавною динамікою з меншими пусковими струмами (до 0.57 А при аналогічному

розгоні до швидкості 300 об/хв), що позитивно впливає на механічні частини приводу та зменшує навантаження на мережу.

IV. ВИСНОВКИ

Проведені експериментальні дослідження дозволили отримати об'єктивні порівняльні дані щодо характеристик частотних перетворювачів Siemens SINAMICS G120 та SEW-Eurodrive Movimax MDX61B.

У режимі очікування перетворювач SINAMICS G120 виявився більш енергоефективним, демонструючи значно нижчі струми втрат. Це робить його кращим вибором для систем із тривалими періодами простою.

В усталеному режимі роботи перевага за критерієм стабільності споживання струму належить перетворювачу SEW MDX61B, який підтримував практично незмінне значення струму в широкому діапазоні швидкостей, що свідчить про високоякісні алгоритми керування.

У динамічних режимах вибір залежить від вимог технологічного процесу: SINAMICS G120 забезпечує швидший розгін, а SEW MDX61B – більш плавну роботу. Дані параметри можна налаштовувати на частотному перетворювачі окремо, змінюючи час розгону та гальмування.

Таким чином, вибір оптимального частотного перетворювача для технологічних процесів з автоматизованим асинхронним електроприводом змінного струму є багатокритеріальним завданням. Отримані результати вказують на те, що при проектуванні і використанні систем частотного

керування швидкістю двигунів змінного струму сам частотний перетворювач потребує проведення додаткових досліджень і налаштувань з метою створення енергоефективних, надійних та продуктивних систем автоматизованого електроприводу.

Подальші стендові дослідження енергоефективності перетворювачів частоти плануються для режиму навантаження з різними обертовими моментами та видами самого навантаження електродвигуна.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Ковальов О. В., Семенов О. О. Електропривід змінного струму: навчальний посібник [Електронний ресурс] / О. В. Ковальов, О. О. Семенов. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 183 с. Retrieved from <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/29209/9300.pdf?sequence=3>
- [2] Siemens AG. SINAMICS G120 Operating Instructions PM240-2 Power Modules. Retrieved from https://cache.industry.siemens.com/dl/files/104/109801104/att_1077039/v1/G120_PM240-2_hw_inst_man_0621_en-US.pdf
- [3] Raveo. *AC MOTORY* [Електронний ресурс]. – 2016. Retrieved from https://www.raveo.cz/productmanager/wp-content/uploads/2023/01/ac-motory-raveo-2016-11_0.pdf
- [4] Siemens AG. SINAMICS G120 Operating Instructions PM240-2 Power Modules. Retrieved from https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:48fca72b-670d-40f6-aa0d-f25cef30e33c/SINAMICSG120-Manual-de-instalacao-PM240-2-EN_original.pdf
- [5] SEW-EURODRIVE. MOVIDRIVE® MDX60B/61B System Manual. Retrieved from <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16838017.pdf>
- [6] Папка на Google Диску: Експериментальні результати досліджень. Retrieved from https://drive.google.com/drive/folders/1okbtEYKP66xNRHUnTlcCVw_K0ZpKqxqP