

Вип. 1, 2019

УДК 621.316.925

**В. О. Місюренко,**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електромехатроніки та комп’ютеризованих електромеханічних систем  
e-mail: vmissur@eta.lviv.ua,

**М. Б. Семенюк**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електромехатроніки і комп’ютеризованих електромеханічних систем  
mykola.semenyuk@gmail.com

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ ATV340 ДЛЯ ЗАДАЧ СИНХРОНІЗАЦІЇ ШВИДКОСТЕЙ МЕХАНІЧНО НЕ ЗВ’ЯЗАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МЕХАНІЗМІВ**

<http://doi.org/>

© Місюренко В. О., Семенюк М. Б., 2019

Здійснено порівняльний аналіз характеристик слідкуючого електроприводу, який подано асинхронним і синхронним механічно не зв’язаними електроприводами. В такій системі один електропривід працює у режимі ведучого приводу, а інший – у режимі веденого.

Для виконання порівняльного аналізу характеристик слідкуючого асинхронного електроприводу розроблено експериментальну установку, яка складається із асинхронного електроприводу на базі перетворювача частоти серії ATV340 та механічно не зв’язаного синхронного електроприводу на базі Lexium 32C. Для передавання даних між електроприводами використано входи/виходи РТО-РТІ перетворювачів частоти.

Описано технологію реалізації задачі синхронізації швидкостей електроприводів на базі перетворювачів частоти ATV340 та Lexium 32C, наведено дослідження впливу параметрів регулятора швидкості (частоти) перетворювача частоти ATV340 на точність та якість процесу синхронізації швидкостей. Зокрема, збільшення до певних значень коефіцієнта підсилення контуру швидкості зменшує динамічну похибку швидкості, а зростання параметра STA усуває перерегулювання та коливність перехідного процесу.

Проведені експериментальні дослідження показали, що у разі використання бездавачевого векторного керування перетворювач частоти ATV 340 може працювати в слідкуючому режимі, однак у перехідних режимах розгону та гальмування спостерігається часове запізнення реакції приводу, яке неможливо ліквідувати наявними засобами програмного забезпечення. Використання електроприводу Lexium 32C у слідкуючому режимі забезпечує синхронізацію швидкості з високою точністю як у перехідних режимах, так і в усталеному режимі роботи.

Вважаємо, що доцільно здійснити дослідження слідкуючого електроприводу на базі перетворювач частоти ATV 340 у випадку реалізації замкненої системи регулювання за швидкістю.

**Ключові слова:** *перетворювач частоти; ATV 340; Lexium 32C; слідкуючий електропривід; асинхронний електропривід; сервопривід.*

### **Вступ**

Перетворювач частоти серії Altivar 340 виробництва компанії Schneider Electric запущено на ринок Україні навесні 2018 р. Компанія-виробник позиціонує його як перетворювач частоти для високодинамічних електроприводів промислових механізмів [1, 2]. Попередній аналіз технічних характеристик та функціональних можливостей перетворювача частоти ATV340 дає підстави зробити висновок, що використання ATV340 в асинхронних електроприводах дає змогу отримати характеристики, які наближаються до характеристик сервоприводів типу Lexium 32 [3]. Проте треба зазначити, що ATV340 істотно дешевший від Lexium 32. Тому з економічного погляду доцільно використовувати перетворювач частоти ATV340 у таких випадках, коли функціональні можливості сервоприводу Lexium 32 значно перевищують вимоги (потреби) механізму.

Одна із типових задач сервоприводів – синхронізація швидкостей багатодвигунних механізмів, які механічно не зв'язані. Задача синхронізації швидкостей двох і більше електроприводів потребує забезпечення однакових (або в певному співвідношенні) швидкостей як у перехідних, так і в усталених режимах роботи. Ця задача передбачає використання одного із електроприводів як ведучого (Master), інших – як ведених (Slave). Ведучий привід відпрацьовує у часі відповідний закон регулювання швидкості та передає миттєве значення цієї швидкості на ведений привід, котрий повинен відстежувати швидкість ведучого приводу із певною наперед заданою точністю (похибкою). Це характерне завдання слідкуючого електроприводу.

У перетворювачі частоти ATV 340 передбачено можливість використання векторного частотного керування як у розімкненій, так і в замкненій за швидкістю системі за використання енкадера. В програмному середовищі перетворювача частоти передбачено окреме меню для оптимізації регулятора швидкості, котре надає доступ та можливість налагодження численних параметрів, котрі впливають на статичні та динамічні характеристики електроприводу. На жаль, в інструкції з програмування [3] відсутні чіткі рекомендації стосовно методології налаштування системи для розімкненого та/або замкненого контуру швидкості. Тому для перевірки можливостей та особливостей використання ПЧ типу ATV340 і як ведучого, і як веденого, автори створили експериментальну установку на базі двох приводів: Lexium 32C та ATV340. На цій установці виконано низку експериментів, основні результати яких наведено в статті.

### **Аналіз останніх досліджень**

Однією із основних вимог, котрі ставлять до слідкуючого приводу, є мінімізація похибки відстеження швидкості, котра виникає через запізнення реакції контуру швидкості, зумовлене наявністю механічної інерції системи. Для подолання запізнення у слідкуючих електроприводах використовується комбінований принцип керування [4]. У сучасній літературі такий принцип зараховують до так званого предиктивного, або випереджуючого, керування [5]. Цей принцип успішно застосовують для керування високоінерційними процесами [6]. У сучасних перетворювачах частоти із мікропроцесорним керуванням його також застосовують. Перетворювач частоти ATV 340 не є винятком. У ньому передбачено можливість уведення від задавальної дії контуру швидкості додаткового сигналу для безпосереднього коригування динамічного моменту двигуна [1].

### **Формування цілей статті**

Мета викладеного в статті результатів дослідження така:

- перевірити можливість та особливість використання перетворювача частоти ATV 340 для задач синхронізації механічно не зв'язаних електроприводів;
- дослідити вплив параметрів регулятора швидкості (частоти) перетворювача частоти ATV340 на точність та якість процесу синхронізації швидкостей.

## Виклад основного матеріалу

## Організація роботи та налаштування двох приводів у режимі “ведучий-ведений”

Для передавання даних про миттєву швидкість з одного електроприводу на інший під час сумісної роботи в режимі “Ведучий – ведений” використано входи/виходи РТО-РТІ, котрі конструктивно виконано в обох перетворювачах у вигляді роз’ємів RJ45 (рис. 1). Застосування цього інтерфейсу, на відміну від аналогового зв’язку, забезпечує більшу завадостійкість та вищу роздільну здатність сигналу.

Синхронна робота двох приводів передбачає певну організацію команд та задання частоти. Ведучий електропривод повинен формувати команди “Пуск/стоп” та задавати параметри тахограми руху, а ведений електропривод, перебуваючи у режимі “Run”, повинен відстежувати тахограму руху ведучого електроприводу. Додамо, що у веденого електроприводу повинна бути відімкнена функція давача інтенсивності (для випадку ATV340 це забезпечується налаштуванням ACC та DEC на значення “нуль”, а у приводі Lexium 32C функції “ramp v enable” присвоюється значення OFF).

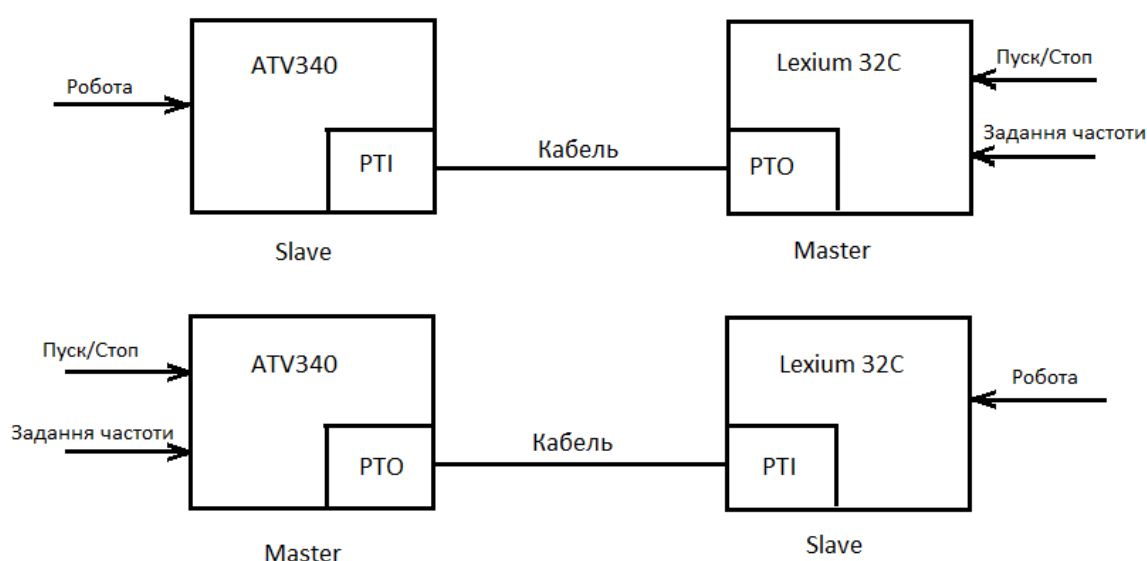


Рис. 1. Організація роботи двох приводів у режимі “ведучий – ведений”

Нижче в табл. 1, 2 наведено основні параметри налаштування приводів, необхідні для конфігурування режимів роботи “Master (ведучий)” та “Slave (ведений)”.

Таблиця 1

## Перетворювач частоти ATV340U07N4E

Код	Параметр	Режим Master	Режим Slave
ACC	Прискорення, с	0,5 – 1,5	0
DEC	Сповільнення, с	0,5 – 1,5	0
LSP	Мін. частота, Гц	0	0
HSP	Макс. частота, Гц	50	50
FrI	Джерело задання частоти	HMI	RTIA
PTIM	Призначення РТІ	–	Сигнал А/В
PTIH	Макс. частота сигналу, Гц	–	100 000
PTIL	Мін. частота сигналу, Гц	–	0
PTOM	Призначення РТО	Присвоєння параметра двигуна	–
PTOE	Параметр двигуна	Частота двигуна	–
PTOU	Макс. частота імпульсів, Гц	204800	–
PTOV	Мін. частота імпульсів, Гц	0	–

Перетворювач частоти ATV 340 живить асинхронний двигун виробництва Lenze:  $P_n = 0,55$  кВт,  $U_n = 380$ В,  $n_n = 1400$  об./хв. Асинхронний двигун не має давача швидкості (енкодера), тому в перетворювачі частоти ATV 340 активовано так званий бездавачевий закон векторного керування.

Асинхронний двигун механічно з'єднаний із двигуном постійного струму, котрий використовувався винятково як додаткова обертова маса, момент інерції якої в сім разів перевищує момент інерції привідного асинхронного двигуна. Цей факт є несприятливим чинником для роботи приводу в режимі Slave, тобто для випадку відстеження швидкості приводу Master. У цих умовах досліджено можливість мінімізації динамічної похибки регулятора швидкості перетворювача частоти ATV 340.

Таблиця 2

**Сервоперетворювач LEXIUM 32C, референс LXN32CD18M2(версія v.01.26.03)**

Код	Параметр	Режим Master	Режим Slave
IO_default Mode	Профіль роботи	Velocity	Electronic Gear
IO_Gear_Mode	Режим роботи профілю Gear	—	Velocity Synchronization
AI1_v_scale	Масштабування анал. входу	3000 (1usr_v)	—
Gearnum	Чисельник коеф. редукції	—	32
PTI_signal_type	Тип сигналу на вході РТІ	—	A/B Signals
PTO_mode	Призначення РТО	Esim pAct Enc 1	—
Ramp_v_enable	Активування задавача інтенсивності прискорення	Profile ON	Profile OFF
Ramp_v_acc	Темп прискорення швидкості	1800 (1usr_a)	—
Ramp_v_dec	Темп сповільнення швидкості	1800 (1usr_a)	—

Установка із сервоприводом Lexium 32C виконана як переносний демонстраційний стенд. До його складу входить власне перетворювач, котрий живить вентильний високомоментний двигун типу BSH055Mx1Axx із давачем SinCosWith HiFa:  $P_n = 0,314$  кВт,  $U_n = 220$ В,  $n_n = 4000$  об./хв,  $n_{\max} = 9000$  об./хв. Механічне навантаження на двигун відсутнє.

Сервопривід Lexium 32C – це високоточний та високодинамічний електропривід для реалізації задач синхронізації швидкостей чи переміщень двох чи більше механізмів або точного позиціонування робочого органа механізму. Детальний опис функціональних можливостей та особливостей програмування та налагодження цього сервоприводу наведено в [3].

Для проведення експерименту використано лабораторну установку, реалізовану відповідно до рис. 1. Налаштування електроприводів ATV340 та Lexium 32C, а також осцилографування процесів синхронізації швидкостей здійснено з використанням програмного продукту SoMove. Ця програма, встановлена на комп'ютері, уможливорює налаштування, діагностику та тестування електроприводів виробництва компанії Schneider Electric. У програмі реалізовано функцію осцилографа, що дає змогу виконувати у реальному масштабі часу осцилографування перехідних процесів, а також оброблення та аналіз отриманих кривих перехідного процесу.

### Результати експериментальних досліджень

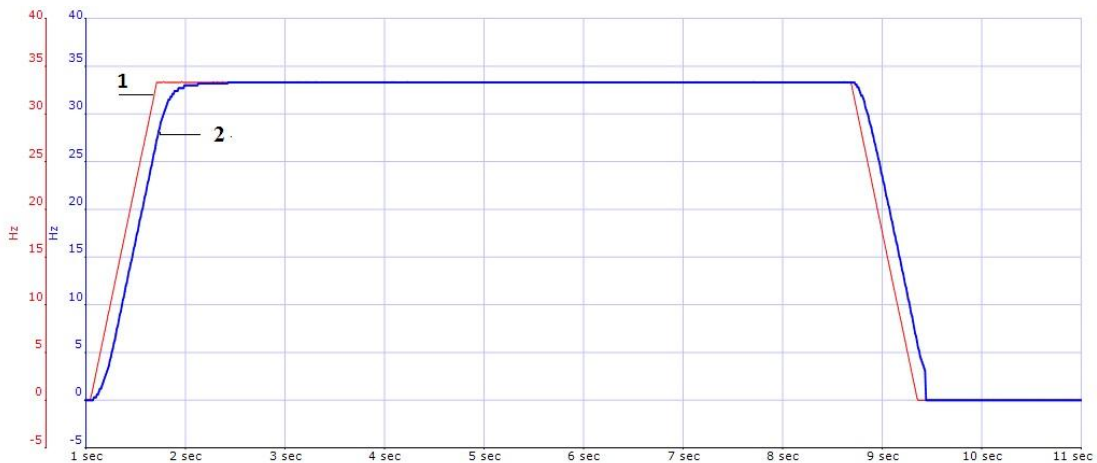
#### 1. Дослідження приводу ATV340 у режимі роботи "Slave".

Програмне забезпечення перетворювача ATV340 дає змогу оптимізувати роботу регулятора швидкості. Для випадку векторного бездавачевого керування необхідно вибрати так званий стандартний тип контуру швидкості (меню "Motor control", підменю "Spd Loop Optimization" та встановити параметр "Speed loop type" як Standart (стандартний режим роботи контуру швидкості).

У цьому режимі є доступ до параметрів контуру частоти, які визначають коефіцієнт підсилення контуру – параметр FLG, та його стабільності – параметр stA. На рис. 2 наведено осцилограми відпрацювання заданої тахограми руху для різних значень цих коефіцієнтів.



а



б

Рис. 2. Осцилограми відпрацювання електроприводом ATV 340 тахограми руху:  
1 – задана тахограма руху; 2 – тахограма, відтворена веденим приводом ATV 340;  
а – параметри налаштування STA=10, FLG=15; б – параметри налаштування STA=20, FLG=20

Проведені дослідження підтвердили, що збільшення до певних меж коефіцієнта підсилення контуру (параметр FLG) зменшує динамічну похибку швидкості (часову затримку на етапах розгону та гальмування), а зростання параметра STA зменшує та навіть усуває перерегулювання та коливність перехідного процесу. Подальше зростання коефіцієнта підсилення FLG призводить до появи автоколиваний, тому усунути цілком динамічну похибку за допомогою цього параметра неможливо.

Отже, можна стверджувати, що у разі використання бездавачевого векторного керування асинхронним двигуном перетворювач частоти ATV340 неспроможний усунути так звану похибку слідкування. Можна очікувати, що використання зовнішнього зворотного зв'язку за швидкістю та вибір режиму High Performance Speed Loop дасть змогу мінімізувати динамічну похибку. Однак в межах цієї роботи такої задачі ми не досліджували через відсутність асинхронного двигуна з вбудованим давачем швидкості (положення).

## 2. Дослідження приводу Lexium 32C у режимі роботи "Slave"

Для ілюстрації ефективності дії зовнішнього зворотного зв'язку за швидкістю проведено дослідження роботи сервоприводу Lexium 32C у слідкуючому режимі, а роль головного приводу виконував ATV 340. Осцилограми відпрацювання тахограми руху наведено на рис. 3.

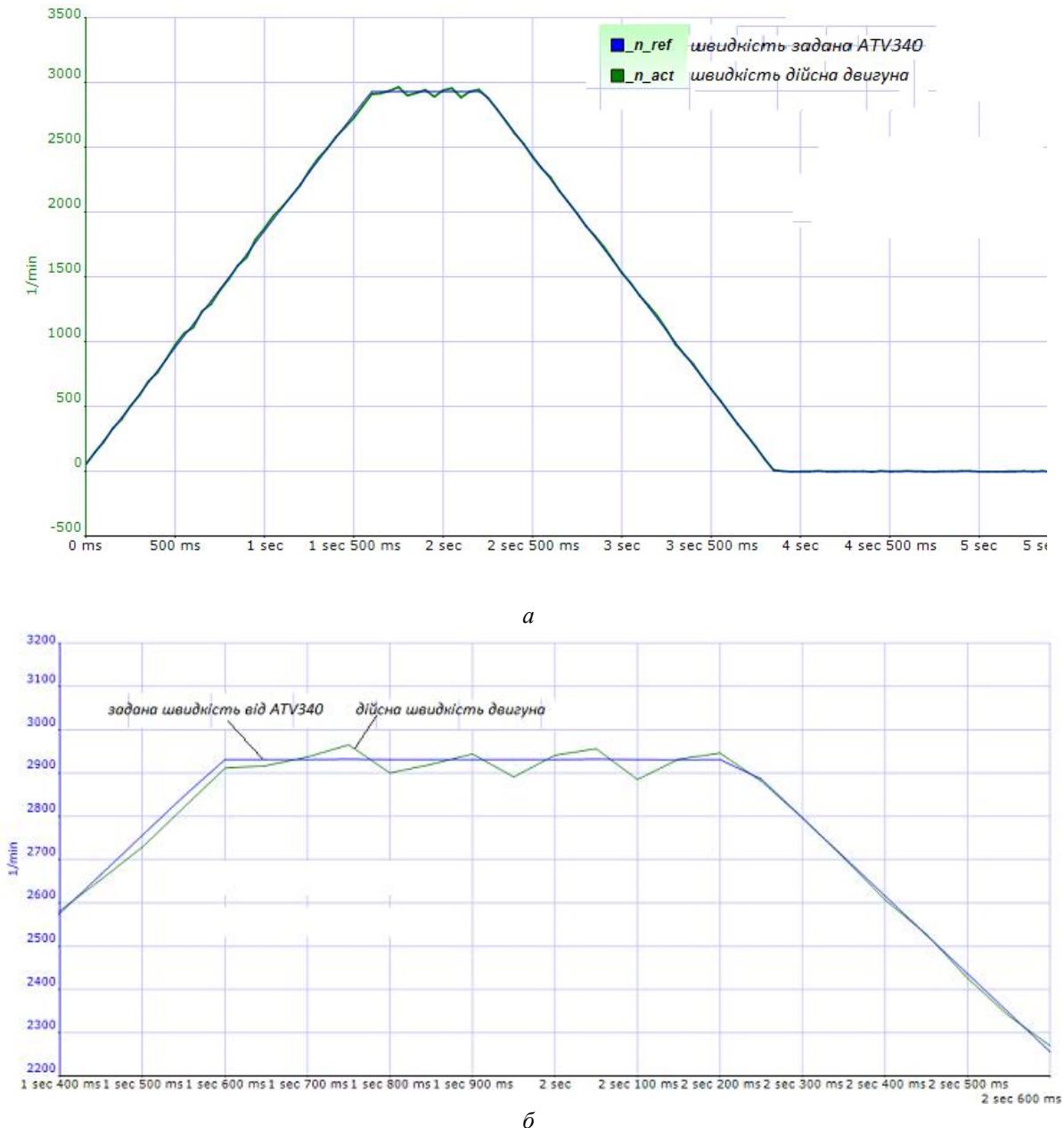


Рис. 3. Тахограма руху приводу Lexium 32C, веденого приводом ATV340:  
а – тахограми руху двох приводів; б – збільшений фрагмент тахограми руху

Короткий аналіз осцилограм, наведених на рис. 3, показує, що електропривід Lexium 32C забезпечує синхронізацію швидкості із високою точністю як у перехідних режимах, так і в усталеному режимі роботи. На збільшеному фрагменті тахограми руху (рис. 3, б) видно, що в усталеному режимі роботи спостерігаються низькочастотні коливання з частотою близько 6–7 Гц та розмахом близько 54 об./хв. Ці коливання виникли за умови вибору коефіцієнта підсилення регулятора швидкості на рівні  $KP_n = 0,005 \text{ A/(1/хв)}$ . Якщо цей коефіцієнт зменшити до значення  $KP_n = 0,001–0,002$ , коливання повністю зникають..

### Висновки

1. Наявність у досліджуваних перетворювачів частоти інтерфейсу РТІ/РТО дає змогу легко об'єднати їх у каскад “Master” – “Slave” та реалізувати режим синхронізації швидкості із можливістю налаштування певного співвідношення між швидкостями.

2. Проведені експериментальні дослідження підтвердили можливість реалізації режиму синхронізації швидкостей у разі використання перетворювача частоти ATV340. В усталеному режимі роботи ATV340, працюючи в режимі “Slave”, забезпечує достатньо високу точність синхронізації, однак у перехідних режимах роботи спостерігається часове запізнення його реакції на зміну швидкості. Численні експерименти зі зміною параметрів контуру частоти та швидкості дали змогу зменшити цю похибку, проте ліквідувати її в режимі бездавачевого векторного керування неможливо.

3. У програмному забезпеченні ПЧ передбачено функцію оптимізації контуру швидкості. Запропоновано два варіанти використання цього контуру (т. зв. нормальний та високоточний) із численними змінними параметрами, котрі можна використати для покращення динаміки роботи системи. Однак відсутні будь-які пояснення щодо вибору структури цього контуру швидкості. На нашу думку, нормальний режим потрібно використовувати за відсутності зовнішнього зворотного зв'язку за швидкістю, а у разі високоточного режиму роботи контуру швидкості можливий ефект виникнення зовнішнього зворотного зв'язку за швидкістю (двигун із енкодером). Підтвердженням цього висновку є досліди, котрі показали, що перемикання режиму роботи контуру швидкості не привели до суттєвих змін у реакції приводу, налаштованого на векторне керування у розімкненій системі (закон VVC).

4. Для детальнішого аналізу можливостей електроприводу ATV340 для реалізації задач синхронізації та позиціонування експериментальні дослідження необхідно продовжити. Перспективними вважаємо дослідження для варіанта використання замкненої системи регулювання за швидкістю. Треба також зауважити, що нещодавно з'явилася практична можливість оновлення програмного забезпечення перетворювача частоти. Доцільно здійснити це оновлення та оцінити його ефективність з погляду реалізації задач синхронізації швидкостей та позиціонування.

### References

1. *Altivar machine ATV340. Variable speed drives for asynchronous and synchronous motors. Programming Manual. Altivar Machine ATV340 Manual. 2016. 142 p.*
2. *Altivar Machine ATV340. Variable Speed Drives Installation Manual. 2019. 152 p.*
3. *Lexium 32C. Servo Drive. User Guide. – 2019. – 452 p.*
4. *Domanov, V. Y. Analiz y sintez invariantnoi systemy upravleniya elektropriyivodom / V. Y. Domanov, A. V. Domanov, D. H. Murzakov [Analysis and synthesis electric drive invariant control system]. Samar Issuu. 2015, vol. 17, No. 2–4, pp. 761–764 [in Rus.].*
5. *Régulation et commande des systèmes asservis (réf, Internet 42394). www.techniques-ingenieur.fr*
6. *Pitina G. F. Realizatsiya printsipa upravleniya po prognozu v avtomaticheskikh sistemah regulirovaniya // G. F. Pitina [Implementation of the principle of forecasting control in automatic control systems] XII Vserossiyskoe soveshanie po problemam upravleniya 2014, pp. 200–211 [in Rus.].*

**V. O. MISURENKO,**

Lviv Polytechnic National University,  
Department of Electromechanics and Computerized Electromechanical Systems  
e-mail: vmissur@eta.lviv.ua,

**M. B. SEMENIUK**

Lviv Polytechnic National University,  
Department of Electromechanics and Computerized Electromechanical Systems  
mykola.semenyuk@gmail.com

**RESEARCH OF THE POSSIBILITIES OF USING THE ATV340 FREQUENCY CONVERTER  
FOR SPEED SYNCHRONIZATION MECHANICALLY UNCONNECTED ELECTRICAL DRIVES**

© Misurenko V. O., Semeniuk M. B., 2019

A comparative analysis of the characteristics of a position tracking system, which is represented by asynchronous and synchronous mechanically unconnected electric drives, has been described in the article. The one electric drive operates in the Master mode and the other works in the Slave mode in such systems.

An experimental stand of position tracking system, which consists of asynchronous drive and servodrive, is designed to perform a comparative analysis of the characteristics of this system. The asynchronous drive is based on the ATV340 frequency convertor and servodrive is represented by Lexium 32 C. The data transfer between the drivers is carried out by PTO/PTI inputs/outputs of the frequency converters.

A solution of the speed synchronization between induction drive (ATV340) and servodrive (Lexium 32C) has been described in the article. The research of the influence of the ATV340 speed (frequency) controller on the accuracy and quality of the speed synchronization process has been given. Increasing to a certain value of the gain coefficient of the speed loop reduces the dynamic error of the speed, and the increasing of the STA parameter eliminates over-regulation and transient oscillation.

Experimental researches have been shown that the ATV 340 frequency converter can operate in the position tracking mode in the case of sensorless vector control, however, there is a temporary delay of the drive response in transient acceleration and deceleration modes, which cannot be eliminated by using of the available software. The Lexium 32C in the position tracking mode can synchronize speed with high precision in both transient and steady state modes.

It should be noted that it is advisable to conduct a research of the position tracking system, which is based on the ATV 340 frequency converter, in the case of using a closed speed control system.

*Key words: frequency converter; ATV 340; Lexium 32C; position tracking system; induction drive; servodrive.*