

**О.О. ЧЕПЕЛЮК, В.Є. ПОЖИДАЄВ**

## ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Розроблено лабораторний стенд для дослідження режимів роботи перетворювача частоти для керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором напругою 380-400 В. Описано конструкцію лабораторного стенду та його електричну схему. Розроблено методичні вказівки для проведення лабораторної роботи з дослідження режимів роботи перетворювача частоти. Наведено склад та структуру методичних вказівок. В електронній версії розроблених методичних вказівок використано гіперпосилання на технічну документацію досліджуваного перетворювача частоти у мережі Internet. Для демонстрації можливостей лабораторного стенду приведено окремі результати досліджень режимів роботи перетворювача частоти.

**Ключові слова:** лабораторний стенд, перетворювач частоти, асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, панель керування, макрос, цифровий вхід, цифровий вихід, аналоговий вхід, аналоговий вихід, релейний вихід.

**О.О. СЕПЕЛИУК, V.Y. POZHIDAEV**

## LABORATORY STAND FOR RESEARCHING THE MODES OF OPERATION OF THE FREQUENCY CONVERTER OF A THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR WITH A SHORT-CIRCUITED ROTOR

A laboratory stand was developed for researching the modes of operation of a frequency converter for controlling a three-phase asynchronous motor with a short-circuited rotor with a voltage of 380-400 V. The design of the laboratory stand and its electrical circuit are described. Methodical instructions for carrying out laboratory work on the study of operating modes of the frequency converter have been developed. The composition and structure of methodical instructions are given. In the electronic version of the developed methodological instructions, a hyperlink to the technical documentation of the investigated frequency converter on the Internet is used. To demonstrate the capabilities of the laboratory stand, separate results of research into the modes of operation of the frequency converter are presented.

**Keywords:** laboratory bench, frequency converter, induction motor with short-circuited rotor, control panel, macro, digital input, digital output, analog input, analog output, relay output.

**Вступ.** Перетворювачі частоти - це електротехнічні пристрої які використовуються для контролю швидкості  $i$ /або моменту трифазних асинхронних двигунів змінного струму з короткозамкненим ротором шляхом регулювання частоти електричного струму (напруги) живлення електродвигуна, що дозволяє управляти механізмами зі змінним або постійним моментом навантаження, такими як насоси, вентилятори, конвеєри, міксери, екструдери, центрифуги та ін. в різних галузях промисловості.

Ці пристрої є останнім досягненням в області обладнання для управління і захисту асинхронних двигунів, а також прикладом комплексного підходу до розробки сучасного електротехнічного обладнання.

Сучасні перетворювачі частоти мають мікропроцесорне керування і є універсальними пристроями для різноманітних областей застосування та мають дуже широкий функціонал, що потребує не лише при їх розробці, але й при виборі, введенні та під час експлуатації досить високої кваліфікації фахівців із відповідними знаннями принципів і режимів роботи перетворювачів частоти та з практичними навичками з їх вибору, встановлення, підключення, налаштування режимів роботи і експлуатації.

Для отримання перерахованих вище знань та умінь під час підготовки фахівців з електротехнічного напрямку у вищих навчальних закладах є доцільним поєднувати теоретичне вивчення перетворювачів частоти з практичними дослідженнями цих пристроїв у навчальних лабораторіях, що потребує створення лабораторних стендів для дослідження режимів роботи перетворювачів частоти та методичних вказівок до проведення відповідних лабораторних робіт. При створенні таких

стендів найкраще використовувати сучасні універсальні перетворювачі частоти з найбільш широким функціоналом.

**Мета роботи** - розробка лабораторного стенду для дослідження режимів роботи перетворювача частоти напруги для трифазного двигуна з короткозамкненим ротором та методичних вказівок до проведення відповідної лабораторної роботи.

**Опис конструкції лабораторного стенду.** В якості об'єкту дослідження було обрано багатофункціональний трифазний перетворювач частоти ACS580-01-02A6-4 виробництва компанії АВВ [1].

Такий перетворювач виконано з проміжним контуром постійного струму на базі інверторів напруги на основі силових IGBT-транзисторів, його структурна силова схема наведена на рис. 1.

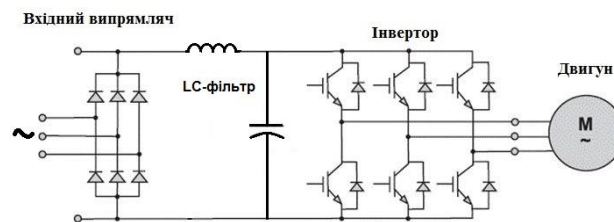


Рис. 1 – Спрощена схема перетворювача частоти з проміжним контуром постійного струму

Змінна напруга мережі перетворюється за допомогою діодного випрямляча, а потім згладжується індуктивно-емнісним фільтром. Інвертор на основі IGBT-транзисторів здійснює зворотне перетворення з постійного струму на змінний, забезпечуючи формування вихідного сигналу з необхідними значеннями напруги і

частоти. В інверторі застосовується метод високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). У цьому випадку вихідний сигнал перетворювача являє собою послідовність імпульсів напруги постійної амплітуди і змінюваної тривалості, яка на індуктивному навантаженні, якою є обмотка статора двигуна, формує струми синусоїдальної форми – рис. 2.

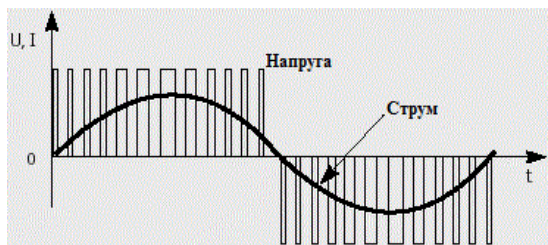


Рис. 2 – Вихідний сигнал перетворювача частоти

Принципова електрична схема лабораторного стенду для дослідження режимів роботи вказаного перетворювача частоти наведена на рис. 3.

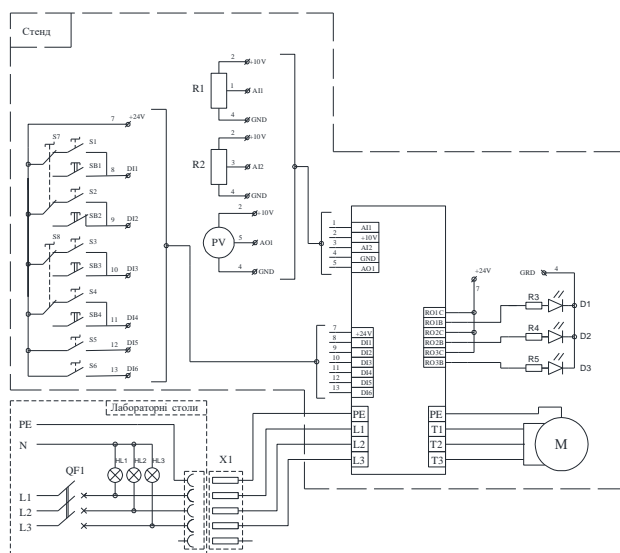


Рис. 3 – Електрична схема лабораторного стенду

Стенд втілює в собі «мобільну концепцію», суть якої полягає у тому, що він виконаний на окремому ДСП-каркасі (див. рис. 4) і для подачі на нього напруги живлення він з'єднується зі стаціонарним лабораторним столом гнучким кабелем за допомогою трифазної вилки X1, що робить його мобільним (переносним), дуже спрощує його обслуговування та підвищує зручність користування ним.

На рис. 4 представлено встановлений на лабораторному столі лабораторний стенд.

До складу лабораторного стенду входить перетворювач частоти ACS580-01-02A6-4, до якого підключені асинхронний двигун з короткозамкненим ротором М, виносна (дистанційна) панель керування (у збільшеному вигляді наведена на рис. 6) та цифровий вольтметр PV. Усі стаціонарні підключення провідників всередині стенду виконані з дотриманням відповідних вимог безпеки. До складу виносної панелі керування входять: кнопки SB1 - SB4; двопозиційні перемикачі (тумблери) S1 - S8; потенціометри R1, R2; світлодіоди

D1 - D3 з обмежувальними резисторами R3 - R5.



Рис. 4 – Розташування лабораторного стенду на лабораторному столі

На лабораторному столі автоматичний вимикач QF1 здійснює підключення до трифазної мережі живлення напругою 380-400V та захист від короткого замикання під'єднаного через трифазну розетку X1 мобільного стенду, сигнальні лампи HL1 - HL3 сигналізують про наявність напруги відповідних фаз у X1.

Для дистанційного керування перетворювач частоти має 2 аналогові входи AI1, AI2, 2 аналогові виходи AO1, AO2, 6 цифрових входів DI1 - DI6 та 3 релейні виходи з перемикаючими контактами RO1, RO2, RO3, їх розташування показано на рис. 5. Для подачі керуючих сигналів (аналоговий пропорційний 0...+10V та імпульсний чи постійний сигнал керування +24V) на відповідні аналогові та цифрові входи перетворювача частоти, використовуються потенціометри R1, R2, перемикачі S1 - S8, кнопки SB1 - SB4, що вмонтовані в виносну панель керування.

Аналогові входи AI1, AI2 підключено відповідно до потенціометрів R1 та R2, які в свою чергу підключені з одного боку до землі (GND), а з іншого - до опорного джерела живлення напругою +10V, яка надходить з перетворювача частоти. При відповідних налаштуваннях перетворювача частоти за допомогою потенціометра R1 буде здійснюватися регулювання частоти напруги живлення двигуна (обертів двигуна), R2 - крутного моменту двигуна.

Аналогові виходи AO1, AO2 підключаються до вольтметрів для зняття аналогових сигналів, пропорційних, в залежності від налаштувань, вихідній частоті, струму двигуна, тощо. В лабораторному стенді використовується один вихід - AO1, його підключено до цифрового вольтметра PV.

До релейних виходів RO1, RO2, RO3 підключені світлодіоди D1, D2, D3 для сигналізування статусу перетворювача частоти: "Готовий працювати", "Працює", "Відмова".

До цифрових входів DI1 - DI6 перетворювач частоти підводиться керуюча напруга +24V через кнопки SB1 - SB4 та/або двопозиційні перемикачі (тумблери) S1 - S8. Кнопки SB1 - SB4 забезпечують подачу імпульсних сигналів керування на цифрові входи DI1 - DI4, перемикачі S1 - S6 – постійних сигналів на цифрові входи DI1 - DI6, перемикачі S7 - S8 – змінюють вид можливого сигналу керування на цифрових входах DI1 - DI4 (постійний чи імпульсний).

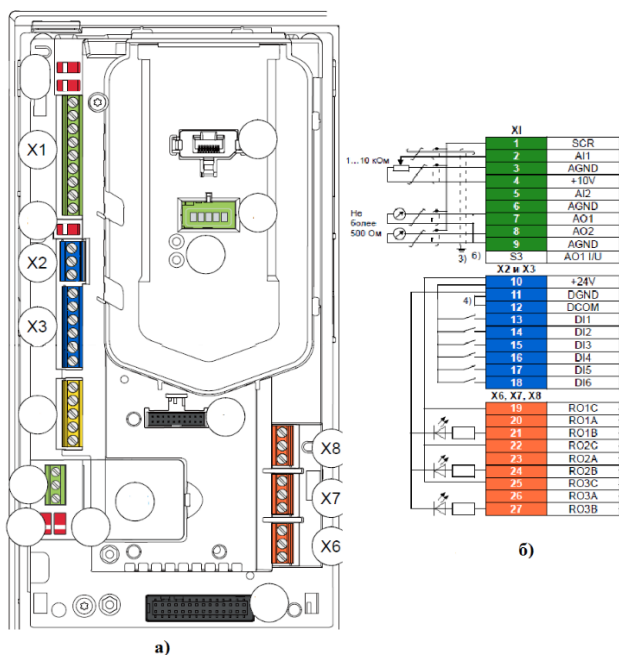


Рис. 5 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти без передньої кришки (а) та позначення клем аналогових, цифрових та релейних входів/виходів (б)

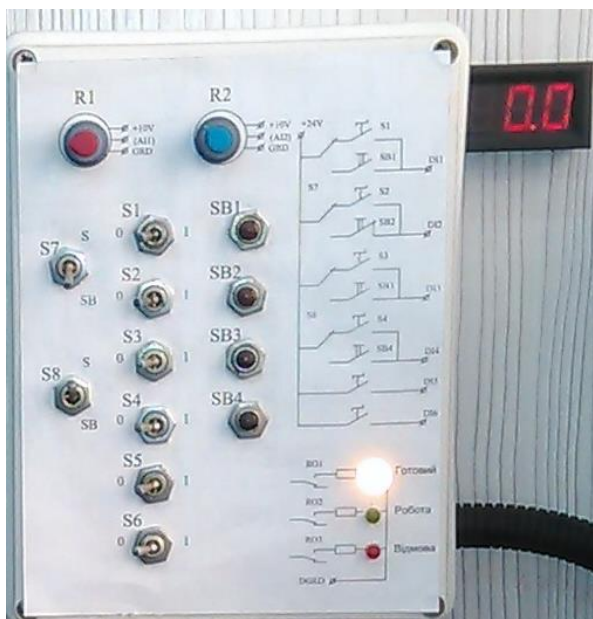


Рис. 6 – Зовнішній вигляд виносної панелі керування

Цифрові входи можуть бути функціонально запрограмовані та використовуватися для сприйняття імпульсних або постійних сигналів керування, для активації функцій (пуск, зміна напрямку обертання і т.і.), які встановлюються в перетворювачі частоти відповідними макросами.

Налаштування для всіх аналогових та цифрових входів/виходів здійснюються програмно: вбудованими макросами та/або доповнюються вручну в меню місцевої панелі керування – рис. 7. Окрім налаштувань параметрів роботи перетворювача частоти, місцева панель керування також дозволяє здійснювати керування перетворювачем, та виводити на екран панелі обрану поточну інформацію у цифровому чи графічному вигляді.

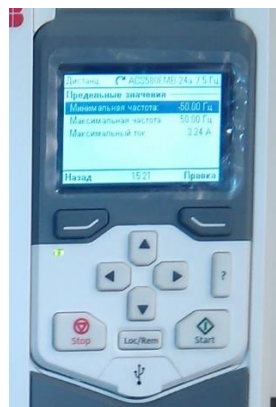


Рис. 7 – Зовнішній вигляд місцевої панелі керування

Структура інтерфейсу місцевої панелі керування представляє собою багаторівневе розгалужене меню. На рис. 8, для прикладу, наведено фрагмент структури багаторівневого меню налаштувань. Уся структура цього меню та особливості налаштувань описані у керівництві по налаштуванню [2].

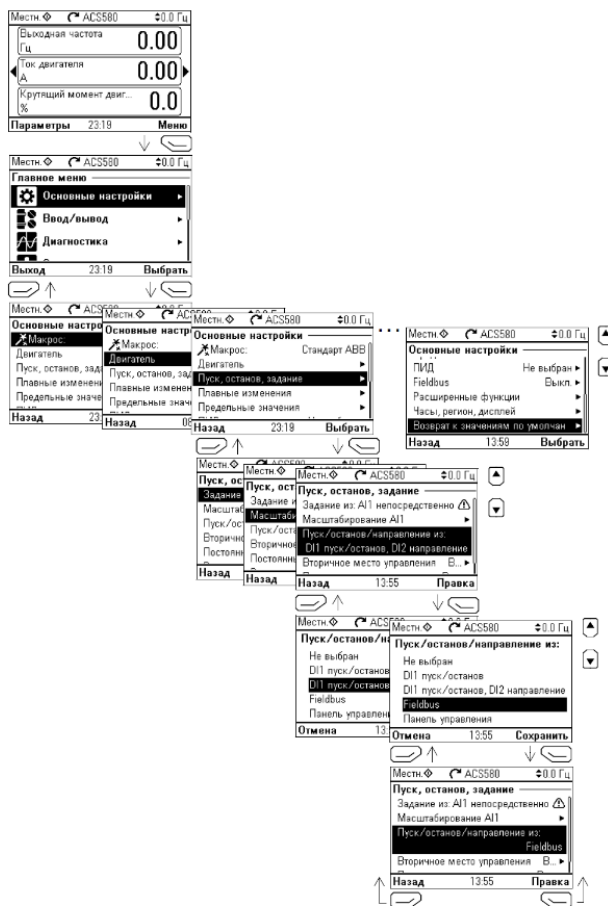


Рис. 8 – Фрагмент структури меню місцевої панелі керування перетворювача частоти ACS580-01-02A6-4

Особливістю перетворювачів частоти серії ACS580 є те, що вони є універсальними пристроями для різноманітних областей застосування і мають дуже широкий функціонал і тому вони відповідно мають досить об'ємну технічну документацію з їх номенклатури, технічних характеристик, встановлення та налаштування [3], що потребує досить багато часу для її пошуку та вивчення. Так, для прикладу, керівництво по монтажу

та вводу в експлуатацію даного перетворювача [4] має об'єм більше 400 сторінок, а керівництво по мікропрограмному забезпеченню (налаштуванню) [2] – більше 600 сторінок. Вказані документи доступні користувачам на відповідному сайті виробника. З огляду на дану обставину, для отримання практичних знань та навичок з вибору перетворювачів частоти, їх встановлення, підключення, налаштування режимів роботи і експлуатації та оптимізації часу студентів при підготовці до даної лабораторної роботи було розроблено методичні вказівки до проведення відповідних досліджень у яких використано гіперактивні посилання на технічну документацію виробника, розташовану на відповідному Internet-сайті. Вказані посилання доступні при використанні студентами електронної версії методичних вказівок з комп'ютерів, планшетів чи смартфонів.

### **Склад та структура методичних вказівок для лабораторної роботи.**

Для проведення лабораторної роботи з дослідження режимів роботи перетворювача частоти були складені методичні вказівки, стисло описані нижче.

Методичні вказівки включають в себе: титульний лист, основну частину, список використаних джерел інформації та два додатки А та Б у яких наведені контрольні запитання за темою лабораторної роботи та правила оформлення звіту про виконання лабораторної роботи.

Метою лабораторної роботи є ознайомлення з призначенням, характеристиками, принципом дії, особливостями вибору, встановлення та підключення перетворювачів частоти, а також набуття практичних навичок по налаштуванню перетворювача частоти.

Предмет дослідження – перетворювач частоти ACS580-01-02A6-4 та технічна документація на вказаний пристрій.

Методологічно вивчення перетворювачів частоти студентами складається з наступних етапів.

#### 1) Лекційна підготовка.

- Включає в себе ознайомлення з призначенням, характеристиками, принципом дії, особливостями вибору, встановлення та підключення перетворювачів частоти.

#### 2) Самостійна робота студента включає у себе наступні етапи роботи.

- Додаткове опрацювання лекційного матеріалу.
- Ознайомлення з інформаційними матеріалами та технічною документацією виробника на вказаний пристрій.
- Теоретичну підготовку до роботи в лабораторії згідно методичних вказівок.
- Підготовку відповідей на контрольні запитання, наведені у Додатку А методичних вказівок.
- Аналіз результатів дослідів, що виконувалися у лабораторії.
- Оформлення звіту про виконання лабораторної роботи.

#### 3) Робота студента у лабораторії передбачає наступні етапи.

- Отримання допуску до лабораторної роботи.
- Отримання дозволу на увімкнення лабораторного стенду.

- Виконання дій з досліджуванним об'єктом відповідно до методичних вказівок; спостереження за факторами, що впливають на досліджуваний об'єкт; проведення дослідів та запис результатів вимірів.

- Захист звіту про виконання лабораторної роботи.

В методичних вказівках передбачено виконання наступних завдань.

1. Ознайомитися з призначенням і принципом дії перетворювача частоти.

2. Ознайомитися з будовою та основними технічними характеристиками перетворювача частоти ACS580-01-02A6-4.

3. Ознайомитися з особливостями монтажу та підключення перетворювача частоти.

4. Ознайомитися з панеллю керування та структурою меню налаштувань перетворювача частоти.

5. Ознайомитися з функціями перетворювача частоти.

6. Ознайомитися з електричними схемами підключення та керування перетворювача частоти.

7. Ознайомитися з можливими макросами налаштувань перетворювача частоти.

8. Ознайомитися з електричною схемою та зовнішнім виглядом лабораторного стенду.

9. Виконати первинне налаштування перетворювача частоти для початку роботи з місцевої панелі керування.

10. Виконати програмування основних параметрів електродвигуна з місцевої панелі керування.

11. Виконати програмування роботи перетворювача частоти з місцевої панелі керування, здійснити запуск та зупинку двигуна.

12. Виконати програмування цифрових входів перетворювача частоти.

13. Виконати програмування аналогових входів перетворювача частоти.

14. Виконати програмування контактів вихідних реле перетворювача частоти.

15. Виконати програмування аналогового виходу перетворювача частоти.

16. Здійснити запуск, регулювання обертів та зупинку двигуна з виносної панелі керування у відповідності до налаштувань у п.12-15.

17. Виконати налаштування виводу на екран місцевої панелі керування параметрів розгону та зупинки електродвигуна та зняти відповідні параметри та залежності при роботі електродвигуна.

Завдання 1-8 відносяться до самостійної роботи, а завдання 9-17 до роботи за лабораторним стендом.

Якісна самостійна робота є визначальним чинником ефективного сприйняття змісту та заставою ефективного лабораторного заняття.

Кожне з завдань 10-17 лабораторних досліджень має по декілька варіантів виконання, що дозволяє більш широко дослідити різні режими роботи та функціонал перетворювача частоти. Окрім використання вбудованих стандартних макросів виробника (стандарт АВВ (2-провідне керування), 3-провідний, послідовне керування, потенціометр двигуна, ручний/авто, ручний/ПІД, ПІД, ПІД панелі, PFC) у роботі передбачена можливість їх зміни та доповнення.

### Результати проведення лабораторних досліджень режимів роботи перетворювача частоти.

Нижче, для демонстрації можливостей лабораторного стенду, наведено результати деяких варіантів виконання лабораторної роботи - рис. 9.

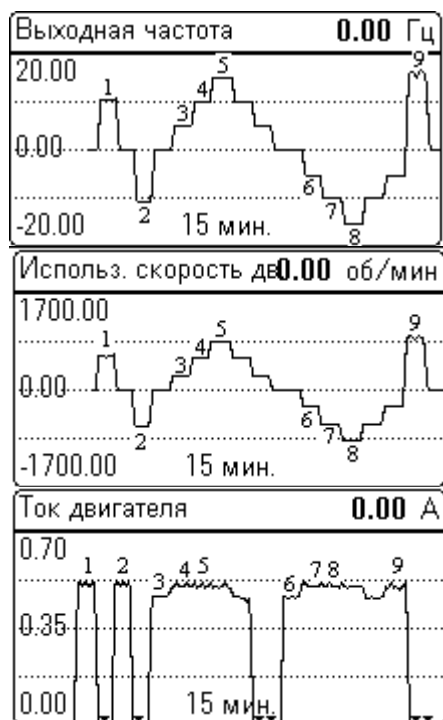


Рис. 9 – Графіки зміни вихідної частоти перетворювача, обертів та струму електродвигуна (макрос «Стандарт АБВ»): 1, 2 – прямий пуск та реверс; 3, 4, 5 – пуск ступінчастий на встановлених постійних частотах; 6, 7, 8 – реверс ступінчастий на встановлених постійних частотах; 9 – пуск на частоту, задану потенціометром.

### Висновки.

Розроблено лабораторний стенд та методичні вказівки до лабораторної роботи з дослідження режимів роботи перетворювача частоти.

У електронній версії методичних вказівок використано гіперпосилання на технічну документацію виробника у мережі Internet, що дозволить студентам оптимізувати час на ознайомлення з вказаною документацією.

### Відомості про авторів / About the Authors

**Чепелик Олександр Олександрович (Chepeliuk Oleksandr Oleksandrovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4522-9821>; e-mail: [chep1@i.ua](mailto:chep1@i.ua).

**Позхидяєв Володимир Євгенійович (Pozhidaev Volodymyr Yevheniiiovych)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістр (2019р.), кафедра електричних апаратів; м. Харків, Україна; e-mail: [pozhidaev746@gmail.com](mailto:pozhidaev746@gmail.com).

Дану роботу впроваджено у навчальний процес кафедри електричних апаратів НТУ «ХПІ», що покращує якість навчального процесу на кафедрі, завдяки роботі студентів з наявним високотехнологічним обладнанням та відповідною технічною документацією виробника.

### Список літератури:

- 1 Low voltage AC drives ABB. General purpose drives ACS580, 0.75 to 500 kW [Електронний ресурс] / <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000145061&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (10.10.2022).
- 2 Приводы для механизмов общего назначения ACS580, стандартная программа управления. Руководство по микропрограммному обеспечению [Електронний ресурс] / <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AXD50000019787&LanguageCode=ru&DocumentPartId=1&Action=Launch> (10.10.2022).
- 3 Приводы для механизмов общего назначения ACS580 [Електронний ресурс] / Сайт - <https://abbua.com.ua/ru/privodi-dlya-mekhanizmov-zagalnogo-priznachennya-acs580-abb> (10.10.2022).
- 4 Приводы ACS580-01 (0,75–250 кВт, 1,0–350 л. с.) Руководство по монтажу и вводу в эксплуатацию [Електронний ресурс] / <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AXD50000044834&LanguageCode=ru&DocumentPartId=1&Action=Launch> (10.10.2022).

### References (transliterated):

- 1 Low voltage AS drives ABB. General purpose drives ACS580, 0.75 to 500 kW [Yeletkronniy resurs] / <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000145061&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (10.10.2022).
- 2 Privody dlya mekhanizmov obshchego naznacheniya ACS580, standartnaya programma upravleniya. Rukovodstvo po mikroprogrammnomu obespecheniyu [Yeletkronniy resurs] / <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AXD50000019787&LanguageCode=ru&DocumentPartId=1&Action=Launch> (10.10.2022).
- 3 Privody dlya mekhanizmov obshchego naznacheniya ACS580 [Yeletkronniy resurs] / Sayt - <https://abbua.com.ua/ru/privodi-dlya-mekhanizmov-zagalnogo-priznachennya-acs580-abb> (10.10.2022).
- 4 Privody ACS580-01 (0,75–250 kVt, 1,0–350 l. s.) Rukovodstvo po montazhu i vvodu v ekspluatatsiyu [Yeletkronniy resurs] / <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AXD50000044834&LanguageCode=ru&DocumentPartId=1&Action=Launch> (10.10.2022).

Надійшла (received) 25.10.2022