

141 ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 62-523.1

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276237

© Сьомка О.О.¹, Прус В.В.²

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Для підвищення рівня практичної підготовки здобувачів вищої освіти актуальним завданням є розробка та застосування лабораторного обладнання, яке дозволяє, поряд із вивченням принципу дії датчиків контрольованих електричних та технологічних параметрів (температура, освітлення, вологість та ін.), отримувати практичні навички в їх підключенні, програмуванні мікроконтролерів та цифровій обробці даних. В якості базового елементу вимірювальної системи обрано електронний вимірювальний пристрій на базі AVR-мікроконтролера, який дозволяє реалізувати ефективно поєднання програмної та апаратної частин. Програмна частина представляє собою умовно безкоштовну оболонку для програмування, що включає в себе текстовий редактор, адаптований для написання програмного коду мовою C++ (Wiring), компілятор і набір засобів для програмування апаратної частини. При цьому забезпечується підтримка усіх сучасних операційних систем, як то Linux, MacOS і Windows. Апаратна частина представлена платою на основі мікроконтролера, що містить програматор, стабілізатор напруги, сигнальні світлодіоди та USB-роз'єм для підключення до комп'ютера. Доведено, що проведення експериментальних досліджень з використанням подібних стендів дозволяє здобувачам вищої освіти, поряд з безпосереднім вимірюванням за допомогою різних датчиків фізичних величин, що характеризують параметри асинхронних двигунів, отримувати додатковий досвід щодо особливостей роботи з мікроконтролерами. Проведені дослідження довели відповідність розробленої модульної структури та її характеристик умовам лабораторних випробувань асинхронних двигунів та підтвердили можливість розширення її інформаційних можливостей та ефективної модернізації.

Ключові слова: електромеханотронний пристрій, інформаційно-вимірювальна система, мікроконтролери сімейства ATmega.

V.V. Prus, O.O. Somka. Development of information measurement system for experimental research of asynchronous motors. In order to increase the level of practical training of higher education students, an urgent task is the development and application of laboratory equipment, which allows, along with studying the principle of operation of sensors of controlled electrical and technological parameters (temperature, lighting, humidity, etc.), to acquire practical skills in connecting them, programming microcontrollers and digital data processing. As the basic element of the measuring system, an electronic measuring device based on an AVR-microcontroller was chosen, which allows implementing an effective combination of software and hardware parts. The software part is a conditionally free shell for programming, which includes a text editor adapted for writing program code in the C++ language (Wiring), a compiler and a set of

¹ канд. техн. наук, ст. викладач, Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського, м. Кременчук, ORCID: 0000-0003-1107-7858, oleksandrsmk@gmail.com

² д-р техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-2203-6878, viacheslav.prus@gmail.com

tools for programming the hardware part. At the same time, support is provided for all modern operating systems, such as Linux, MacOS and Windows. The hardware part is represented by a board based on a microcontroller containing a programmer, a voltage stabilizer, signal LEDs and a USB connector for connecting to a computer. It has been proven that conducting experimental studies using such stands allows higher education students, along with direct measurement with the help of various sensors of physical quantities characterizing the parameters of induction motors, to gain additional experience regarding the peculiarities of working with microcontrollers. The conducted studies proved the compliance of the developed modular structure and its characteristics with the conditions of laboratory tests of induction motors and confirmed the possibilities of expanding its information capabilities and effective modernization.

Key words: *electromechanotronic device, information and measurement system, ATmega family microcontrollers.*

Постановка проблеми. Характерною ознакою сучасності є стрімкий розвиток різновидів цифрових пристроїв поряд із зростанням їх функціональності. Щороку на ринку з'являються нові прилади, датчики, виконавчі механізми, а також побутова техніка й інші пристрої на їх основі, що належать до багатофункціональних зразків цифрового світу.

Для звичайних користувачів зазначене розширює можливості вибору нової техніки, використовуваної для покращення якості та комфорту їх життя, який здійснюється на основі аналізу певних корисних функцій. На відміну від цієї категорії, студенти електротехнічних напрямків підготовки не можуть вивчати пристрої тільки за набором функцій, вони мають знати і розуміти, як саме працює той чи інший пристрій, на яких фізичних принципах він базується, з яких елементів складається тощо. І у цьому плані мова найчастіше йде про електромеханотронні пристрої, що об'єднують комплексні технічні рішення в механіці, електротехніці, електроніці та програмуванні [1, 2].

Для дослідження роботи електронних вузлів існує безліч навчальних стендів, якими укомплектовано лабораторії більшості ЗВО. Вони охоплюють різні області, наприклад, кодування і декодування сигналів, вивчення напівпровідникових елементів, дослідження амплітудно-частотних характеристик пристроїв на їх основі і т.п. Здобувачі, працюючи на таких стендах, можуть отримати достатні знання у предметній області.

Усі сучасні цифрові прилади, так чи інакше, пов'язані з програмуванням мікроконтролерів, які забезпечують їх функціональність. Тому вивчення принципів функціонування різних типів мікроконтролерів, їх властивостей й особливостей застосування є ключем до розробки власних пристроїв. Одним з найпоширеніших типів використовуваних мікроконтролерів є AVR-мікроконтролери фірми Atmel. Перевагою таких мікроконтролерів і систем на їх основі є їх відносно низька вартість (~ 1,5 \$) у сукупності з розширеною функціональністю, а також їх доступність для початківців [3]. У розрізі поставлених задач актуальним напрямом є застосування зазначених схемних рішень у питаннях лабораторних випробувань електричних машин, які є невід'ємною складовою більшості електромеханотронних пристроїв. Саме для вирішення подібних проблем і розроблявся навчальний стенд.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуюча лабораторна база дисципліни «Електричні машини» є однією з основних форм з'єднання теорії та практики у процесі підготовки бакалаврів за освітніми програмами різних спеціальностей у ЗВО. Проведення лабораторних робіт сприяє закріпленню теоретичних знань, формуванню практичних навичок у роботі з електричними машинами, приводами та приладами керування ними, розширенню творчих здібностей та здатності здобувача до самостійної роботи.

На даний час при дослідженні електричних машин обов'язковим є широке застосування лабораторного експерименту. У ході його проведення не тільки відтворюються досліджувані явища, процеси чи закони, але і враховується залежність від супутніх умов і параметрів, що характеризують ці умови, проводяться необхідні вимірювання. У процесі експерименту передбачається активне втручання здобувачів у хід досліджуваного процесу/явища з метою досягнення його суті.

Серед засобів інформаційних технологій навчання найбільш перспективним і

пріоритетним напрямком застосування комп'ютерної техніки є її використання у якості інструментального засобу.

У зв'язку з цим, на даний час навчальний експеримент реалізується у трьох напрямках:

- модернізація традиційного вимірювального обладнання для виконання демонстраційного і лабораторного експерименту;
- комп'ютерне математичне моделювання;
- використання інтерфейсних блоків, сполучених з комп'ютерною технікою, і датчиків фізичних величин для демонстраційного лабораторного навчального експерименту.

Перший напрямок передбачає використання традиційного і вдосконаленого вимірювального обладнання. При цьому дослідження здобувачами фізичних явищ, процесів і законів здійснюється за допомогою реального або, як його ще називають, натурального експерименту з використанням вимірювального обладнання, яким традиційно оснащені лабораторії ЗВО.

Проведений аналіз базового курсу електричних машин показує, що у процесі його подання здобувачам використовуються, в основному, два типи моделей: фізичні, або так звані натурні моделі, і математичні моделі, покладені в основу дослідження фізичних процесів за допомогою комп'ютера.

Фізичний експеримент у процесі підготовки здобувачів передбачає комплексне використання традиційного обладнання, засобів нових інформаційних технологій навчання, комп'ютерного моделювання і вимірювально-обчислювальних систем, що забезпечує більш глибоке вивчення дисципліни й загальне підвищення якості навчання здобувачів.

На даний час навчальні заклади України на існуючій власній базі створюють стенди для проведення лабораторних робіт з використанням як традиційних моделей, так і комп'ютерних або віртуальних. При цьому доведено, що в результаті застосування лабораторних комплексів в процесі навчання істотно зростає якість освіти студентів.

Проведення лабораторного експерименту передбачає колективну діяльність, розвиває акуратність, відповідальність, вміння планувати свою діяльність і удосконалює самоконтроль. Успішне виконання роботи сприяє розвитку у здобувачів комунікативних здібностей.

Також у них розвивається здатність звертати увагу на деталі технічних пристроїв, усвідомлювати їх значимість і бачити ледь помітні несправності, недоліки в техніці. Безумовно, розвивається технічна пам'ять, технічне мислення, комбінаторна здатність і просторове уявлення.

Існуючі лабораторні стенди, виготовлювані на промисловому рівні, можна охарактеризувати як дрібносерійне виробництво через обмеженість їх партій.

Наведемо приклади існуючих розробок промислових підприємств за досліджуваним напрямком.

Стенд виробництва ТОВ ІСЦ «Учбова техніка». Підприємство виробляє навчально-лабораторний комплекс «Електричні машини» ЕМ1М-С-Р, призначений для виконання лабораторних робіт за дисциплінами «Електричні машини», «Електричні машини і основи електроприводу», «Основи електроприводу», «Теорія електроприводу» (одне робоче місце розраховане на 3-4 осіб). Використовуване обладнання дозволяє визначати параметри і знімати основні характеристики електроприводів різних типів. Зовнішній вигляд навчально-лабораторного комплексу ЕМ1М-С-Р представлений на рис. 1. Технічні характеристики комплексу наведені у таблиці 1.

Розроблюване ТОВ ІСЦ «Учбова техніка» навчальне лабораторне обладнання нового покоління має низку таких незаперечних переваг як:

- гнучка модульна структура;
- наочність результатів експериментування;
- надійний захист від перевантажень, коротких замикань і невмілого поводження;
- електробезпека;
- відповідність вимогам державних освітніх стандартів;
- розвинуте програмно-методичне забезпечення;
- привабливий ергономічний дизайн;
- промислове виготовлення.

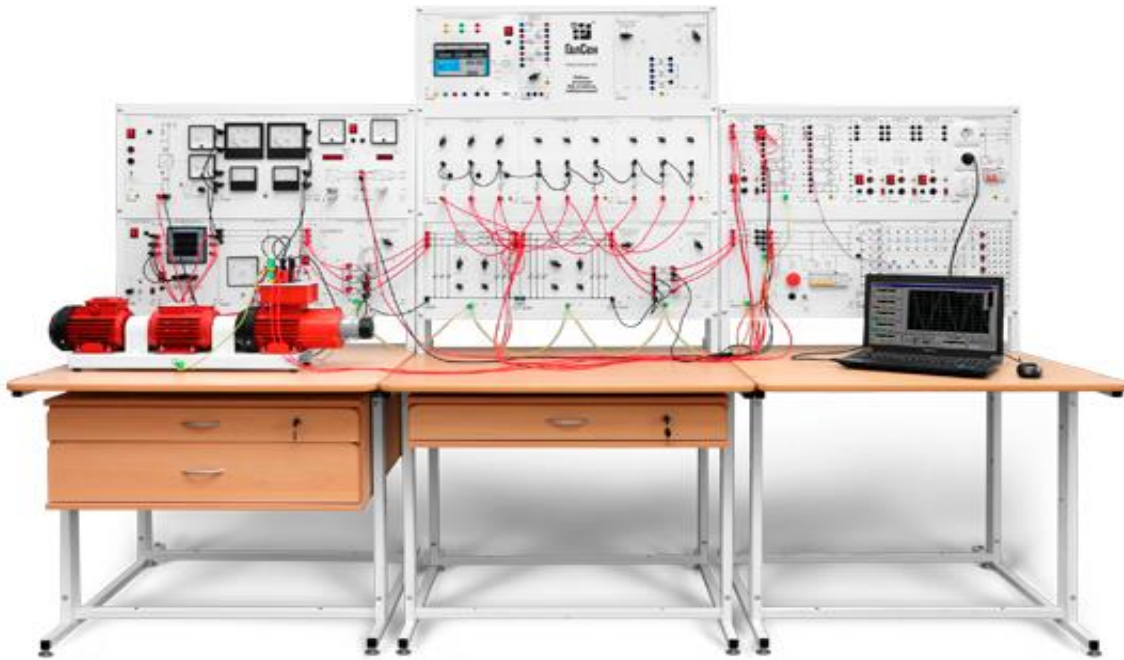


Рис. 1 – Зовнішній вигляд лабораторного комплексу EM1M-C-P

До складу стенду входять: джерело живлення двигуна постійного струму, збуджувач синхронної машини, перетворювач частоти, однофазне джерело живлення, трьохполюсний вимикач, реостат для кола ротора машини змінного струму, реостат збудження машини постійного струму, лінійний реактор, ємність навантаження, реостат, індуктивне навантаження, трифазна трансформаторна група, трифазний регульований автотрансформатор, вимірювач напруги і частоти, блок з трьох мультиметрів, вольтметр, багатофункціональні електровимірювальні прилади, лабораторний стіл з дворівневої рамою, лабораторний стіл з двосекційним контейнером і дворівневої рамою, електромашинний агрегат (з машиною постійного струму, машиною змінного струму і перетворювачем кутового переміщення), активне навантаження, показчик кута навантаження синхронної машини, показчик частоти обертання, трифазний джерело живлення, набір аксесуарів для комплексу EM1M-C-P, блок синхронізації [4].

Таблиця 1

Технічні характеристики лабораторного комплексу EM1M-C-P

Характеристики	Значення
Споживана потужність, Вт, не більше	500
Електроживлення: – від трифазної мережі змінного струму з робочим нульовим і захисним провідниками напругою, В – від однофазної мережі змінного струму з робочим нульовим і захисним провідниками напругою, В – частота, Гц	380 ± 38, 220 ± 22, 50 ± 0,5
Клас захисту від ураження електричним струмом	I
Габаритні розміри, мм, не більше – довжина (по фронту) – ширина (ортогонально фронту) – висота	2730x850x1900
Маса, кг, не більше	200

Стенд виробництва ТОВ НВП «Учтех-Профі». Підприємство виробляє лабораторний стенд «Електричні машини», виконання стендове комп'ютерне. Зовнішній вигляд навчально-лабораторного стенду EM–СК представлений на рис. 2. Технічні характеристики комплексу наведені в таблиці 2. Лабораторний стенд призначений для навчання студентів різних спеціальностей

середніх спеціальних і вищих навчальних закладів, які вивчають дисципліни «Електричні машини», «Електричні машини і основи електроприводу», «Основи електроприводу», «Теорія електроприводу».

Таблиця 2

Технічні характеристики лабораторного комплексу ЕМ-СК

Характеристики	Значення
Споживана потужність, Вт, не більше	750
Частота напруги живлення, Гц	50
Напруга електроживлення, В	3x380
Габаритні розміри, мм, не більше – довжина (по фронту) – ширина (ортогонально фронту) – висота	2300x1550x650
Маса, кг, не більше	250

До складу стенду входять: модулі живлення стенду; вимірювач потужності; додаткові опори; автотрансформатор; однофазні трансформатори; перетворювач частоти; тиристорний перетворювач; силовий електромашинний агрегат (машина постійного струму, асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором, енкодер), персональний комп'ютер, лабораторний стіл, комп'ютерний стіл, тумбочка-підставка під агрегат, програмне забезпечення (компакт-диск), комплект силових кабелів і сполучних проводів, технічний опис, методичні вказівки до проведення лабораторних робіт [5].

Наведені лабораторні стенди мають схожі характеристики, набір функцій, виконують по близьким принципам лабораторні роботи і відповідають на всі пред'явлені вимоги. Обмежуючим фактором на їх придбання є доволі висока вартість.



Рис. 2 – Зовнішній вигляд лабораторного комплексу ЕМ-СК

Використовуваний у роботі навчально-лабораторний стенд EV8031/AVR призначений для застосування в навчальних цілях з курсів програмування (мови Асемблер, С), а також як засіб розробки. Зовнішній вигляд представлений на рис. 3.

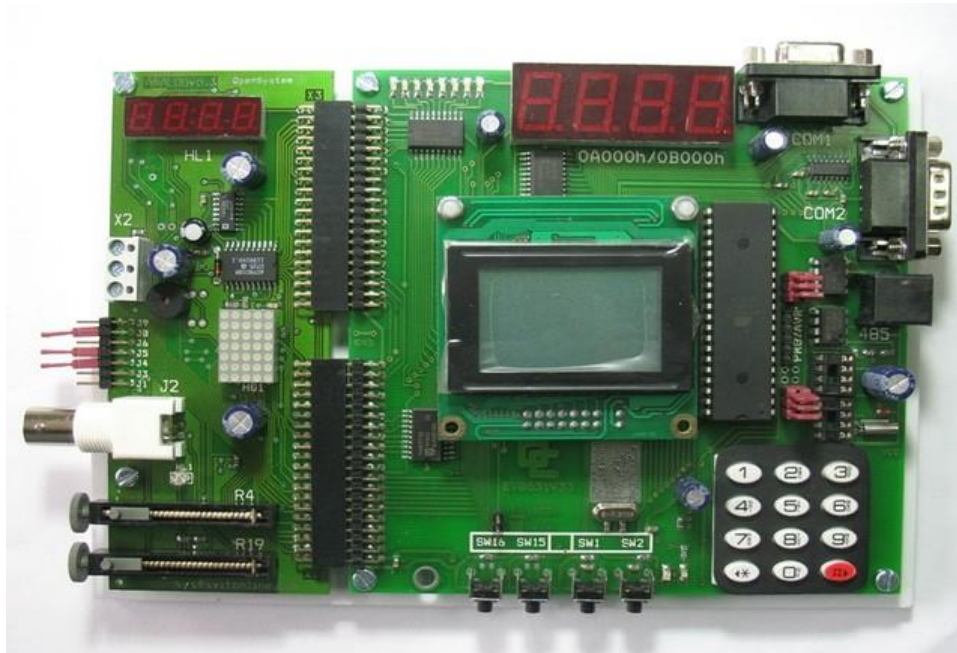


Рис. 3 – Навчально-лабораторний стенд EV8031/AVR

Мета статті. Розробка та експериментальна апробація інформаційно-вимірювальної системи для лабораторного стенду з експериментальних досліджень асинхронних двигунів.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні на ринку існують налагоджувальні мікропроцесорні комплекти, що дозволяють виконувати розробку прототипів пристроїв і створювати їх робочі макети. Один з таких комплектів – Arduino™. Arduino – це інструмент для проектування і прототипування електронних пристроїв, які більш щільно взаємодіють з навколишнім фізичним середовищем, ніж стандартні персональні комп'ютери, які фактично не виходять за рамки віртуальності. Arduino застосовується для створення електронних пристроїв з можливістю прийому сигналів від різних цифрових і аналогових датчиків, які можуть бути підключені до нього, і управління різними виконавчими пристроями. Вони являють собою платформу, призначену для «physical computing» з відкритим програмним кодом та сучасної середовищем для написання програмного забезпечення. Пристрої, засновані на Arduino, можуть працювати самостійно або взаємодіяти з програмним забезпеченням на комп'ютері [6]. Безперечна вигода від використання Arduino в навчанні пояснюється наступними факторами:

- економічна доступність;
- простота освоєння середовища розробки;
- великий вибір датчиків, пристроїв індикації і виконавчих механізмів;
- використання при розробці програмного забезпечення мови програмування C++;
- методичне забезпечення, великий вибір літератури, існує активна спільнота користувачів і безліч форумів з докладними інструкціями.

Так як проект Arduino розвивався спочатку як освітній, він відмінно підходить для використання як в аудиторній так і позааудиторній діяльності. Велика кількість реалізованих проектів доводить популярність платформи. На даний момент ця платформа набирає популярність і постійно вдосконалюється.

Використання інструментарію платформи дозволяє здобувачу отримати практичний досвід:

- створення програм для мікропроцесорних систем;
- тестування і налагодження мікропроцесорних систем;
- застосування мікропроцесорних систем;
- установки і конфігурування мікропроцесорних систем та підключення периферійних пристроїв;
- виявлення та усунення причин несправностей і збоїв периферійного обладнання.

Отриманий досвід показує, що використання платформи Arduino дозволяє підвищити ефективність навчального процесу, перш за все, його практичної складової, а також забезпечити необхідний рівень сформованості професійних компетенцій випускника технічного профілю, в діяльності якого значну частку займає розробка електричних і електронних схем різних пристроїв і проектування технічних об'єктів.

Для розробки навчального стенду була обрана середовище розробки Arduino IDE, за допомогою якого можна, ґрунтуючись лише на знаннях мови C++, вирішувати найрізноманітніші творчі завдання, пов'язані з програмуванням.

Завдяки Arduino IDE можна легко запрограмувати однойменні контролери. На сьогоднішній день за допомогою цього середовища конструюють всілякі навчальні, інтерактивні, експериментальні, розважальні проекти. Вікно розробки Arduino IDE представлено на рис. 4.



Рис. 4 – Вікно розробки Arduino IDE

Типовий контролер Arduino поєднує на одному кристалі функції процесора і периферійних пристроїв, містить ОЗП і (або) ПЗП. По суті, це однокристальний комп'ютер, здатний виконувати досить прості завдання [3].

Контролер відрізняється від інших мікропроцесорних комплектів інтегрованими в мікросхему пристроями вводу-виводу, таймерами й іншими периферійними пристроями. Загальний вигляд розробленого стенду на базі модуля Arduino UNO наведено на рис. 5.

Для початку роботи зі стендом необхідно приєднати вимірювальні прилади до об'єкта дослідження. Далі необхідно приєднати силові контакти до двигуна для забезпечення його живлення. Наступним кроком є підключення лабораторного стенду до мережі, для чого використовується блок живлення з напругою 220 В. Так як лабораторний стенд являє собою портативний вимірювальний прилад, є можливість забезпечити його живлення від USB порту персонального комп'ютера або від портативного джерела живлення. Але при застосуванні напруги живлення нижче 5В погіршується точність зняття даних, тому рекомендується використовувати стаціонарний блок живлення. Для подачі напруги на стенд натискається кнопка Power, що вмикає LCD дисплей і таким чином сигналізує, що стенд готовий до роботи. На даний час в меню реалізовано три пункти, перемикання між якими здійснюється за допомогою кнопки 2:

– перший дисплей відображає дані з модуля реального часу DS1302 RTC, що відображено на рис. 6, а;

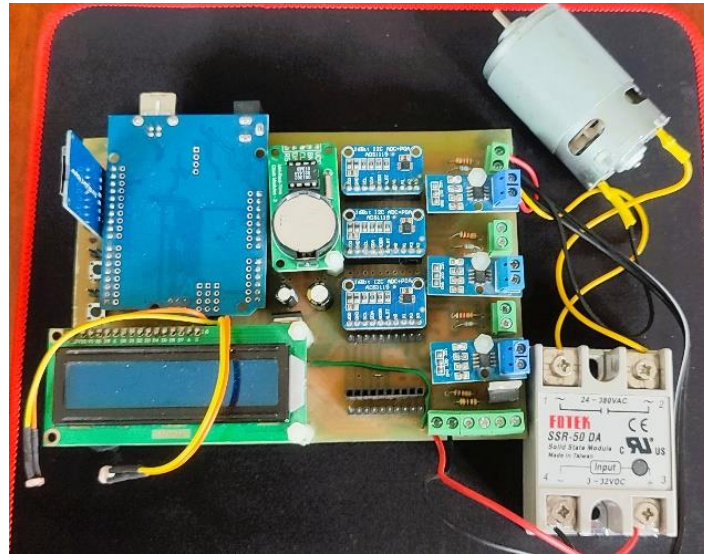


Рис. 5 – Загальний вигляд лабораторного стану

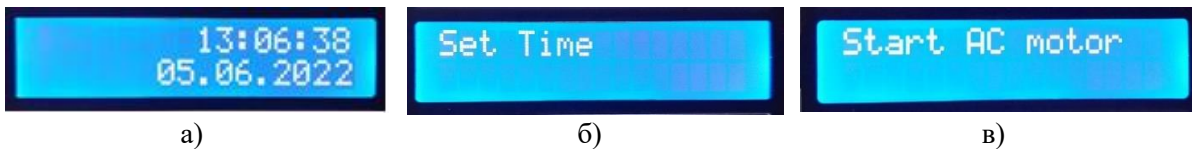


Рис. 6 – Дисплей лабораторного стану у різних режимах

– другий дисплей дає можливість налаштувати за необхідністю поточний час. Для цього необхідно натиснути кнопку 1, після чого часові налаштування скидаються до заводських. Для встановлення вірного часу необхідно натиснути кнопку 2, при кожному натисканні якої змінюється кількість годин, а для підтвердження натиснути кнопку 1. Після цього з’являється можливість налаштування хвилин. Налаштування відбувається за таким самим алгоритмом. Зовнішній вигляд дисплею у режимі налаштування представлений на рис. 6, б;

– третій дисплей дає можливість запуску досліджуваного двигуна. Для запуску досліджуваного об’єкту необхідно натиснути кнопку 1, після натискання вмикається зворотній відлік, при досяганні нуля на об’єкт подається напруга живлення, одночасно з цим починається зняття даних. Для зупинки досліду необхідно повторно натиснути кнопку 1. Зовнішній вигляд дисплею представлений на рис. 6, в.

При проведенні досліджень на дисплеї відображається в реальному часі вимірювані параметри:

- фазна напруга;
- фазний струм;
- температура корпусу.

Система передбачає можливість підключення стану до комп’ютера і спостереження досліджуваних параметрів на моніторі. Також при запуску ведеться запис даних на зовнішній накопичувач, що дає змогу більш точно побудувати характеристики. При цьому дані зберігаються в Excel форматі.

По закінченні досліду необхідно повторно натиснути кнопку Power та знеструмити блок живлення.

Система забезпечує можливість спостерігати вимірювальні параметри в реальному часі двома шляхами, а саме:

- на дисплеї стану;
- на моніторі комп’ютера.

Але більш точним способом є аналіз вже записаних на зовнішньому накопичувачі даних після проведення досліду. Приклад фрагменту таких даних відображений у таблиці 3.

Таблиця 3

Фрагмент формату даних, що записуються на зовнішній накопичувач

Voltage ADS1, V	Voltage ADS2, V	Voltage ADS3, V	Sensor temp, C°	Time_Ms, ms	Date, D/m/Y	Time_Real, h/m/s
0	25,67	-25,41	25,5	4418	05.06.2022	13:24:55
-5,68	27,15	-27,17	25,5	4546	05.06.2022	13:24:55
-15,07	27,51	-25,09	25,5	4673	05.06.2022	13:24:55
-22,72	24,75	-16,89	25,5	4798	05.06.2022	13:24:55
-27,36	5,85	-6,54	25,5	4926	05.06.2022	13:24:55
-27,39	-3,84	3,06	25,5	5094	05.06.2022	13:24:55
-22,11	-13,16	12,32	25,5	5219	05.06.2022	13:24:55
-12,88	-21,54	20,94	25,6	5354	05.06.2022	13:24:55

З отриманих даних можуть бути побудовані залежності:

- напруги від часу у виді графіку, представленого на рис. 8;
- струму від часу у виді графіку, представленого на рис. 9;
- температури корпусу від часу у виді графіку, представленого на рис. 10.

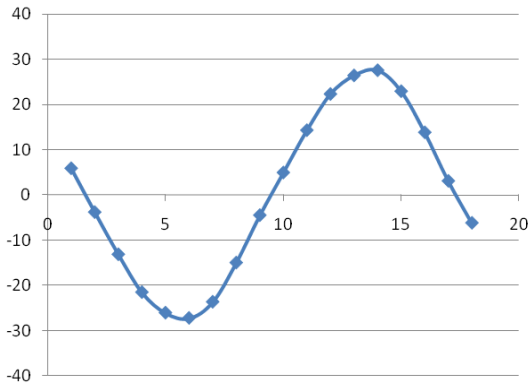


Рис. 8 – Графік залежності напруги від часу

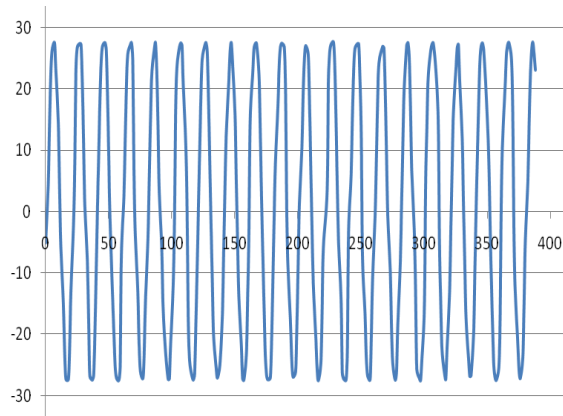


Рис. 9 – Графік залежності струму від часу

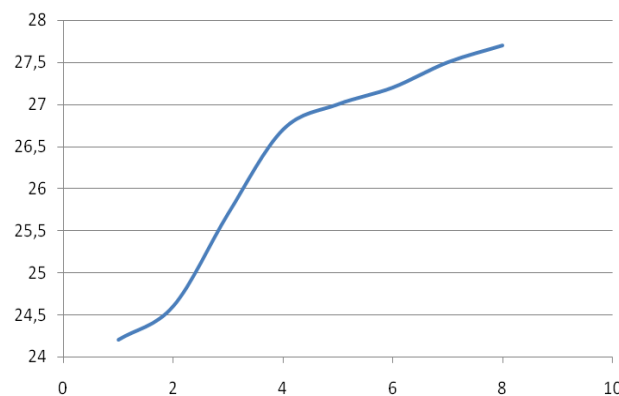


Рис.10 – Графік залежності температури корпусу від часу

Висновки

1. Проведений аналіз доступних на ринку лабораторних стендів дозволив визначити їх основний недолік, що полягає у високій вартості, складності обслуговування та, у більшості випадків, відсутності модульної структури, що виключає можливість швидко та безпечно замінити ушкоджений елемент, а також не дозволяє розширити або модернізувати лабораторний стенд.

2. Розроблена інформаційно-вимірювальна система, що включає в себе: AVR-мікроконтролер ATmega328, 16-бітний аналого-цифровий перетворювач ADS1115, модуль струму ACS712, рідкокристалічний дисплей LCD 1602 I2C, модуль MicroSD, твердотільні реле Fotek SSR-10DA, модуль температури DS18B20 та модуль реального часу DS1302 RTC.

3. Розрахована максимальна швидкість запису даних у розробленому лабораторному стенді, що відповідає виборці у 900 точок на секунду та задовольняє умовам проведення досліджень.

4. Отримані в процесі дослідження асинхронного двигуна експериментальні дані можна вважати достовірними, оскільки відносно відхилення від їх теоретичних значень, отриманих розрахунковим шляхом, знаходиться в межах 3-5%.

5. Розроблена інформаційно-вимірювальна система лабораторного стенду на базі мікроконтролера Atmega з експериментального дослідження асинхронного двигуна задовольняє вимогам його випробувань. Так як ця система має модульну структуру, в майбутньому це дає можливість розширення кількості досліджуваних параметрів, заміни ушкоджених елементів або модернізації усієї системи в цілому.

Перелік використаних джерел:

1. Osadchyy V. Laboratory Stand for Research of Energy Characteristics of Electric Vehicle Drives / V. Osadchyy, O. Nazarova, V. Brylysty I // 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – 2021. – Pp. 1-4. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598661>.
2. Osadchyy V. Laboratory Stand for Investigation of Liquid Level Microprocessor Control Systems / V. Osadchyy, O. Nazarova // 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). – 2020. – Pp. 1-4. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240868>.
3. Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://forum.arduino.ua/>.
4. Опис лабораторного комплексу ГалСен EM1M-S-R [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.galsen.ru/catalog/set/36/80/1154/>.
5. Типовий комплект навчального обладнання «Електричні машини», виконання стендове комп'ютерне, EM-SK [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://standlab.com.ua/product/ntcz-06-23-elektrychni-mashyny-z-mps/>.
6. GEEKMATIC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geekmatic.in.ua/articles>.

References:

1. Osadchyy V., Nazarova O., Brylysty V. Laboratory Stand for Research of Energy Characteristics of Electric Vehicle Drives. *2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2021, pp. 1-4. doi: 10.1109/MEES52427.2021.9598661.
2. Osadchyy V., Nazarova O. Laboratory Stand for Investigation of Liquid Level Microprocessor Control Systems. *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, 2020, pp. 1-4. doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240868.
3. Arduino Available at: <https://forum.arduino.ua> (accessed 15 July 2022). (Ukr.)
4. *Opis laboratornogo kompleksu GalSen EM1M-S-R* (Description of the laboratory complex GalSen EM1M-S-R) Available at: <http://www.galsen.ru/catalog/set/36/80/1154/> (accessed 15 July 2022). (Ukr.)
5. *Tipovii komplet navchal'nogo obladnannia «Elektrychni mashini», vikonannia stendo-ve komp'iuterne, EM-SK* (A typical set of educational equipment «Electric machines», desktop computer implementation, EM-SK) Available at: <https://standlab.com.ua/product/ntcz-06-23-elektrychni-mashyny-z-mps/> (accessed 30 July 2022). (Ukr.)
6. GEEKMATIC Available at: <https://geekmatic.in.ua/articles> (accessed 01 August 2022). (Ukr.)

Рецензент: О.С. Назарова
канд. техн. наук, доц., НУ «Запорізька політехніка»

Стаття надійшла 15.07.2022