



А. І. Головатий, В. М. Теслюк, Н. С. Ріпак

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ СТАБІЛІЗАТОРА ЗМІННОЇ НАПРУГИ З МІКРОКОНТРОЛЕРНИМ УПРАВЛІННЯМ

Розроблено апаратне та програмне забезпечення стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням на платформі Arduino. Розроблено принципову електричну схему і модель стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням. Складено алгоритм його роботи і програмне забезпечення на мові C у середовищі Arduino IDE для вбудованих систем на платформі Arduino. Стабілізатор змінної напруги побудовано за модульним принципом, що дає змогу швидко його модернізувати. Пристрій має можливість налаштування максимальної та мінімальної напруги мережі для спрацювання захисту. Стабілізатор змінної напруги дає змогу підтримувати напругу живлення на навантаженні у допустимих межах за значних її відхилень, має можливість налаштування діапазону напруги мережі для роботи стабілізатора, потенціометрами ручного налаштування. У стабілізаторі використано електронні силові ключі на MOSFET транзисторах, перемикання яких синхронізовано з роботою мережі живлення, що зменшує електромагнітні завади. Силовий модуль та мікроконтролерний модуль управління гальванічно розв'язані. Перемикання силових ключів відбувається в моменти переходу синусоїдальної напруги мережі через нуль. Швидкість спрацювання захисту навантаження від перенапруги та регулювання (стабілізації) напруги на навантаженні становить менше 20 мс. Інформаційні повідомлення про стан мережі живлення та напруги на навантаженні виводяться на рідкокристалічний дисплей (РКД) та в послідовний порт для віддаленого моніторингу. Стан мережі можна контролювати за світлодіодними індикаторами. У разі відхилення мережі за допустимі межі, спрацьовує звукова та візуальна сигналізація, інформація передається також у послідовний порт. У разі перевантаження стабілізатора по струму спрацьовує автоматичний вимикач. Автономне живлення плати управління дає змогу передавати аварійні повідомлення зв відсутності напруги в мережі. Пристрій має ширші можливості, дешевший порівняно з наявними стабілізаторами з такими ж характеристиками.

Ключові слова: плата Arduino Uno; мікроконтролер AVR ATmega328P; електронний силовий ключ MOSFET транзистор IRF840; символьний рідкокристалічний дисплейний модуль WH1602B-YGK-CTK; послідовний інтерфейс; мова програмування C; Arduino IDE.

Вступ / Introduction

На сьогодні вимоги до живлення електронної апаратури та електричних пристроїв істотно зросли. Також значно збільшилось споживання електроенергії та нерівномірність навантаження електромереж упродовж доби, що призводить до зміни напруги живлення вище від допустимих меж. Відповідно, використання стабілізаторів мережевої напруги стало потребою для кожного дому та в процесі живлення складних технічних систем. Це пов'язано з якістю електроенергії, яка постачається, а також з побутовою технікою, яка вимагає певної напруги мережі. Тому розроблення недорогого стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням є

актуальним інженерним завданням сьогодення.

З появою мікроконтролерів і платформ на їх основі стало можливим розробляти недорогі вимірювальні та управляючі системи. Такою системою може бути і стабілізатор змінної напруги з мікроконтролерним управлінням на платформі Arduino.

Об'єкт дослідження – розроблення стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням.

Предмет дослідження – моделі та засоби розроблення стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням на платформі Arduino.

Мета роботи – розробити апаратне і вбудоване програмне забезпечення стабілізатора змінної напруги з

Інформація про авторів:

Головатий Андрій Ігорович, канд. техн. наук, доцент, кафедра систем автоматизованого проектування.

Email: andrii.i.holovaty@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-6143-648X>

Теслюк Василь Миколайович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем управління.

Email: vasyi.m.teslyuk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5974-9310>

Ріпак Назарій Степанович, канд. техн. наук, асистент, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: nazariy.s.ripak@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-1184-990X>

Цитування за ДСТУ: Головатий А. І., Теслюк В. М., Ріпак Н. С. Розроблення стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням. Науковий вісник НЛТУ України. 2022, т. 32, № 1. С. 79–84.

Citation APA: Holovaty, A. I., Teslyuk, V. M., & Ripak, N. S. (2022). Development of microcontroller controlled ac voltage stabilizer. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(1), 79–84. <https://doi.org/10.36930/40320112>

мікроконтролерним управлінням на платформі Arduino, який дає змогу втримувати напругу на навантаженні у допустимих межах у разі значного коливання напруги в мережі.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні *завдання дослідження*: розробити структурну схему, алгоритм функціонування, а також модель макету стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Джерело живлення змінного струму, що використовується в електронних пристроях, може піддаватись негативному впливу у будь-який час, що може призвести до серйозних пошкоджень електронних пристроїв і важливого спеціалізованого електронного обладнання. Наявні проблеми, такі як якість електроенергії, напруга, стрибки та провали можуть мати негативний вплив на продуктивність роботи у побуті та промисловості. Окрім цього, ця проблема також виникає з повсякденним електричним обладнанням, таким як вентилятори, ноутбуки, кулери, холодильники та ін. Для усунення цієї проблеми, зазвичай, використовують стабілізатори напруги для захисту електронних пристроїв [4, 8].

AVS (*автоматичний стабілізатор напруги*) – це електронний пристрій, який автоматично регулює зміни вхідної напруги на заданому рівні. Регулятивне обладнання необхідне для підтримки стабільної напруги. AVS функціонує, передусім, для регулювання вхідної напруги, для отримання стабільного виходу та забезпечення захисту проти раптових коливань напруги, імпульсів тощо. Ці явища є небезпечними для складного обладнання та техніки [10].

На сьогодні виділяють такі основні типи стабілізаторів напруги: релейні, електронні сімісторні та тиристорні, електромеханічні / сервопривідні, ферорезонансні, інверторні (безступінчасті або безтрансформаторні) [11]. Проте в цих системах все ще є недоліки щодо гнучкості, ефективності тощо.

На цей час важливим є автоматичне регулювання напруги при взаємодії між системами та проведення електронного контролю. Це може бути використано для отримання бажаного результату, гнучким, простим і економічним способом [3, 7]. Для автоматизації системи та підвищення точності системи, розроблено стабілізатори напруги на основі мікроконтролера. Мікроконтролер – це апаратне забезпечення, яке функціонує як контролер електронних схем і може бути запрограмованим [5]. Він допомагає контролювати вхідну і вихідну напругу на стабілізаторі, виконуючи всі дії відповідно з програмою, що забезпечує належну точність і захищає пристрій від наявних проблем електропостачання [5].

Розробленню стабілізаторів змінної напруги з мікроконтролерним управлінням присвячено різні науково-технічні статті. Зокрема, у публікації [9] розроблено стабілізатор змінної напруги з мікроконтролерним управлінням, що використовує метод синусоїдної широтно-імпульсної модуляції (Sinusoidal PWM). Стабілізатор є AC/DC/AC типу. Отже, система випрямляє вхідну змінну напругу до належного рівня постійної напруги, а інтелектуальний модуль управління регулює ширину імпульсу вхідної напруги, щоб через фільтр отримати ідеальну синусоїдну напругу. Модуль управління побудований на мікроконтролері Microchip PIC16F877 і чіпі HIP 4080. Мікроконтролер генерує SPWM – сигнал, що

подається на чіп HIP 4080 для управління інверторним мостом на чотирьох силових MOSFET – транзисторах. З виходу інверторного моста через LC-фільтр отримують стабільну вихідну напругу.

У роботі [6] запропоновано розробку і реалізацію однофазного автоматичного регулятора напруги на базі мікроконтролера. Основними складниками регулятора є мікроконтролер PIC16F628, сімістор, підвищувальний трансформатор, схема перетину нуля і схема вимірювання напруги навантаження. В основі цієї конструкції лежить принцип управління фазою змінної напруги за допомогою сімістора. Імпульс тригера затримується мікроконтролером, щоб забезпечити потрібну напругу. Ця напруга завжди вимірюється і повертається до мікроконтролера через вимірювальний блок, щоб отримати неперервну систему управління.

У роботі [1] запропоновано конструкцію і розробку статичного автоматичного регулятора напруги для підтримки статичного рівня напруги. Цей регулятор напруги зменшує проблеми зі стабілізацією вхідної напруги і забезпечує постійну вихідну напругу 148-250 В до стабільної вихідної напруги 220 В, допустима потужність становить від 5 ВА до 100 ВА. Вся система автоматично управляється мікроконтролером dsPIC30F2010, а технологія IGBT використовується для швидкого переключення. Конструкція цієї системи простіша від конструкцій з аналоговою системою управління, і вона може працювати неперервно упродовж тривалого часу. За допомогою цього регулятора напруги можна захистити електрообладнання від аномальних стрибків напруги.

Наприклад, у роботі [2] розглянуто розроблення стабілізатора змінної напруги з управлінням на PIC мікроконтролері і з використанням силових електронних перетворювачів. Запропонована в роботі система призначена для підтримки необхідної постійної напруги незалежно від вхідної напруги і навантаження з використанням мікроконтролера. У наявній системі підвищення або пониження може здійснюватися за допомогою трансформаторів. Тому в цій системі будуть виникати втрати в обмотці, що зменшує точність і ефективність. Запропонована система використовує напівпровідникові елементи замість трансформаторів, реле і т.ін. Система виконує три основні функції, такі як: випрямлення, підвищувальне-понижувальне перетворення і функцію інвертора. Понижувально-підвищувальний перетворювач відіграє важливу роль у підтримці постійного рівня вихідної напруги. Перетворювач використовує польовий МОН-транзистор для підтримки необхідного постійного рівня вихідної напруги. Ця система управління зі зворотнім зв'язком, що вимірює вихідну напругу навантаження, порівнює цей вихід із заданим значенням і генерує сигнал, що використовується для регулювання імпульсу для MOSFET транзистора. У міру збільшення широтно-імпульсної модуляції польового МОН-транзистора, його напруга буде збільшуватися. Регулювання у запропонованій системі є миттєвим, тому воно підходить для задач, в яких потрібне точне регулювання потужності.

Найкращими підходами і технічними рішеннями серед описаних вище, для розв'язання поставлених завдань можна віднести методи, які описано в роботах [1, 6]. Методи дослідження ґрунтувалися на проведенні експериментів, їх опрацюванні та аналізі за допомогою

власно розроблених апаратно-програмних систем стабілізації змінної напруги. Розроблені системи є закритими, що не дає змоги розширювати та модифікувати їх функціональні можливості.

Отже, аналіз наявних підходів і технічних рішень привів до розроблення якісно нового недорогого стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням. Запропонований стабілізатор – це стабілізатор напруги вольтодобавкового типу з електронними транзисторними ключами. Для збільшення діапазону стабілізації вхідної напруги, або для підтримання більш стабільної напруги на виході можна збільшити кількість ступенів корекції, а саме вольтодобавкових обмоток і ключів їх комутації.

Такий стабілізатор змінної напруги з мікроконтролерним управлінням має бути побудований на доступних і недорогих комплектуючих, відкритому ПЗ та з

можливістю модифікації або розширення його функціональних можливостей.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

1. Проектування структури стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням. На рис. 1 зображено запропоновану структуру стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням. Пристрій містить апаратне і програмне забезпечення. Мікроконтролери використовують для керування електронними пристроями. По суті, це – однокристальний комп'ютер, здатний виконувати прості завдання. Використання однієї мікросхеми значно знижує розміри, енергоспоживання і вартість пристроїв, побудованих на базі мікроконтролерів.

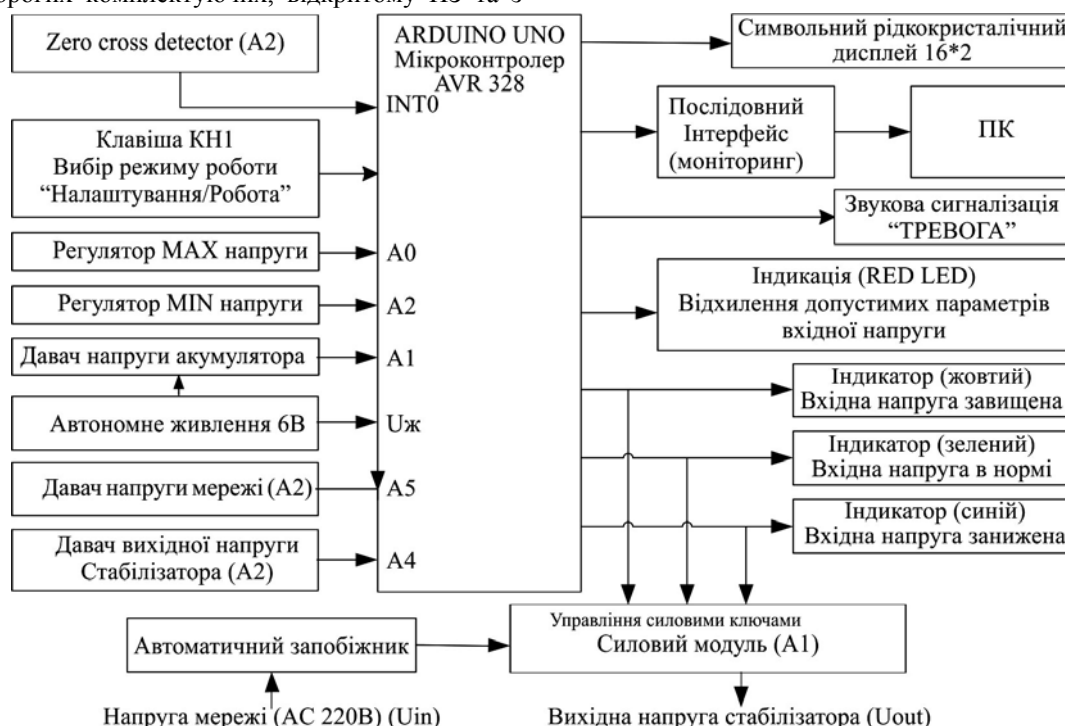


Рис. 1. Загальна структура стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням на платформі Arduino / General structure of the AC voltage stabilizer with microcontroller control based on Arduino platform

Апаратне забезпечення стабілізатора змінної напруги складається з модуля АЗ – апаратна платформа ARDUINO UNO з мікроконтролером AVR (Atmel ATmega328), який є основним модулем опрацювання даних, із символьним жовто-зеленим LCD – 16x2 для виводу поточної інформації, послідовного інтерфейсу для виводу інформації в термінал, звукової сигналізації "Тривога", індикації відхилення допустимих параметрів вхідної напруги, індикаторів стану напруги в мережі: зелений індикатор – напруга мережі в нормі; жовтий індикатор – напруга мережі завищена; синій індикатор – напруга мережі занижена, а також клавіші КН1 – вибору режиму "Налаштування/Робота", регулятори напруги вимикання стабілізатора, автономне живлення (аккумулятор), датчик напруги аккумулятора. Модуль АЗ керує силовим модулем А1, який має силовий трансформатор, твердотільні реле та автоматичний запобіжник на потрібний струм спрацювання.

Допоміжний модуль А2 містить детектор нуля, датчик напруги мережі, датчик вихідної напруги стабілізатора. Розроблена структура, у процесі її розроблення,

ґрунтується на модульному принципі, що забезпечує швидку модернізацію проектного виробу.

2. Розроблення моделі макету стабілізатора. На рис. 4 наведено апаратне забезпечення стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням на платформі Arduino. Модуль датчиків вимірює вхідну напругу мережі, вихідну напругу стабілізатора та момент переходу синусоїди вхідної напруги через нуль. Ці сигнали ADC1, ADC2, INT надходять на плату ARDUINO для опрацювання. Мікроконтролер опрацьовує виміряні напруги та переривання, формує вихідні сигнали J1, J2, J3 на вмикання та вимикання силових ключів Q1, Q2, Q3, Q4, Q7, Q8 через опторозв'язки U1, U2, U3. МК також вмикає світлодіоди D4, D5, D6.

Входи плати ARDUINO A0...A5 – це АЦП входи для вимірювання напруг. Піни 1 і 0 – використані для роботи з послідовним портом. Вхід 2 – опрацьовує зовнішнє переривання. Вхід 7 – опрацьовує натискання клавіші КН1. Вихід 10 – налаштовано, як ШИМ – вихід пищика LS1. Сигнали управління формуються на виходах 8, 9, 13.

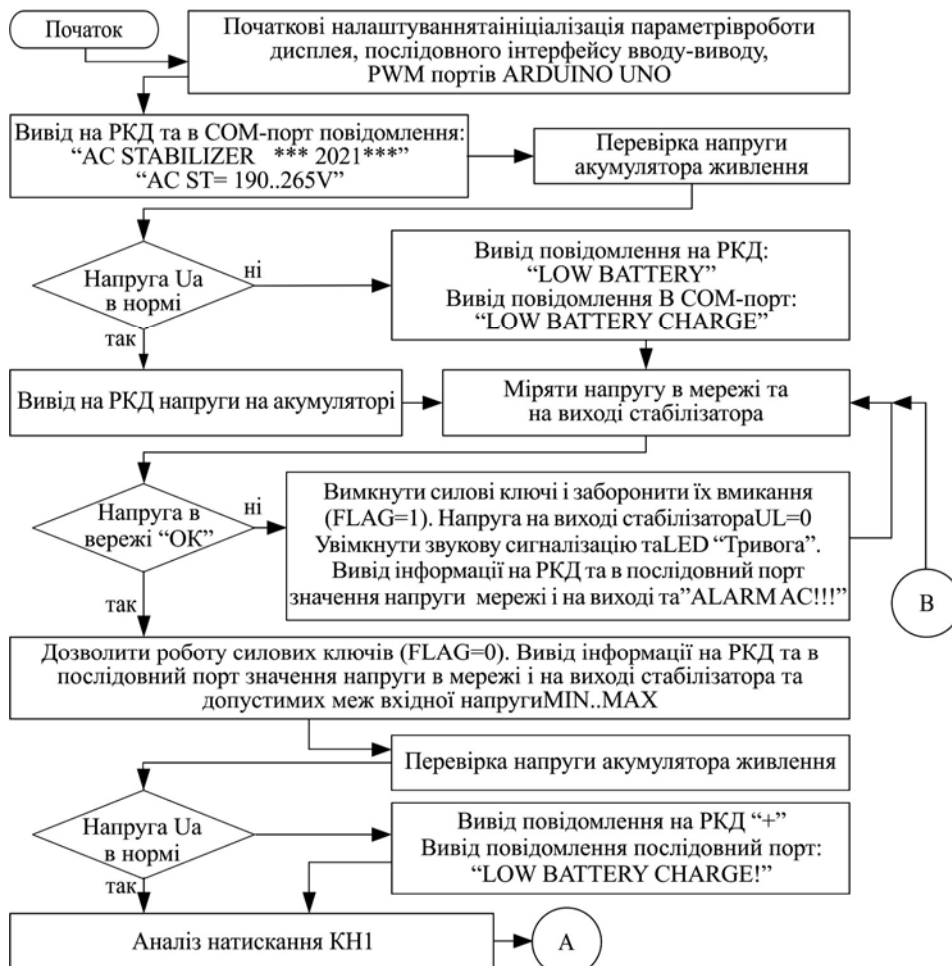


Рис. 2. Алгоритм роботи системи управління стабілізатором змінної напруги на платформі ARDUINO UNO (початок) / Algorithm of AC voltage stabilizer control system operation on ARDUINO UNO platform (beginning)

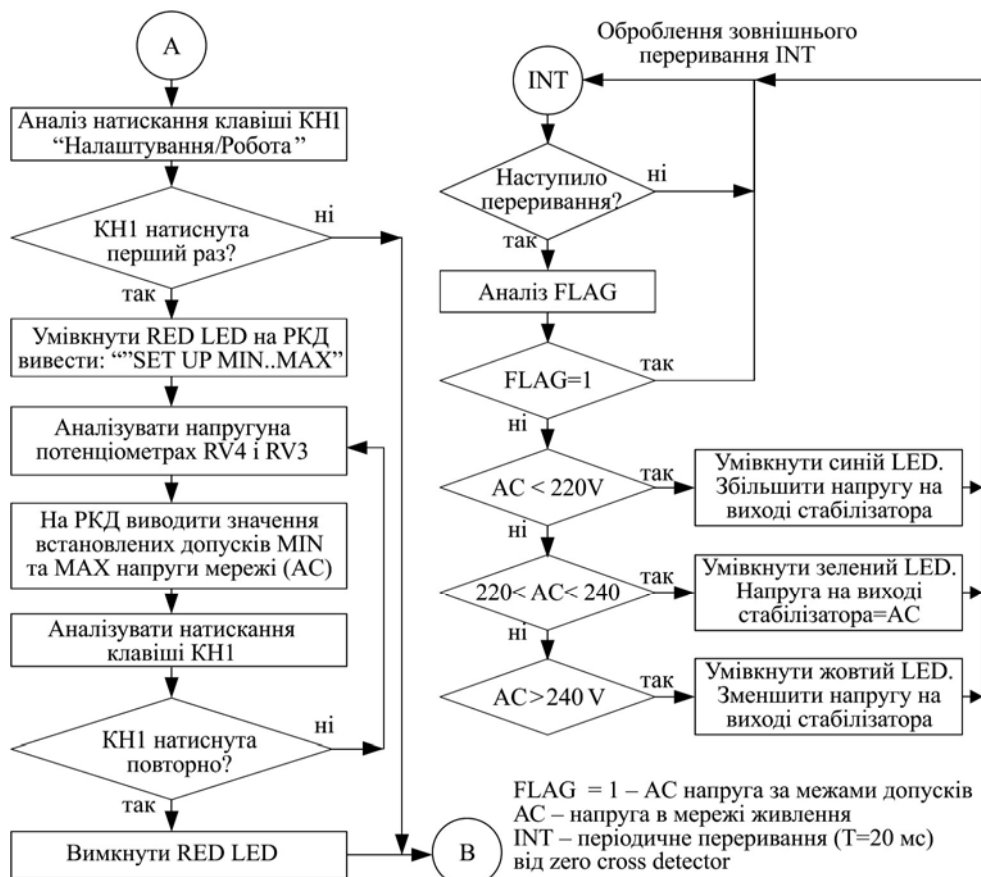


Рис. 3. Алгоритм роботи пристрою (кінець) / Operation algorithm of the device (end)

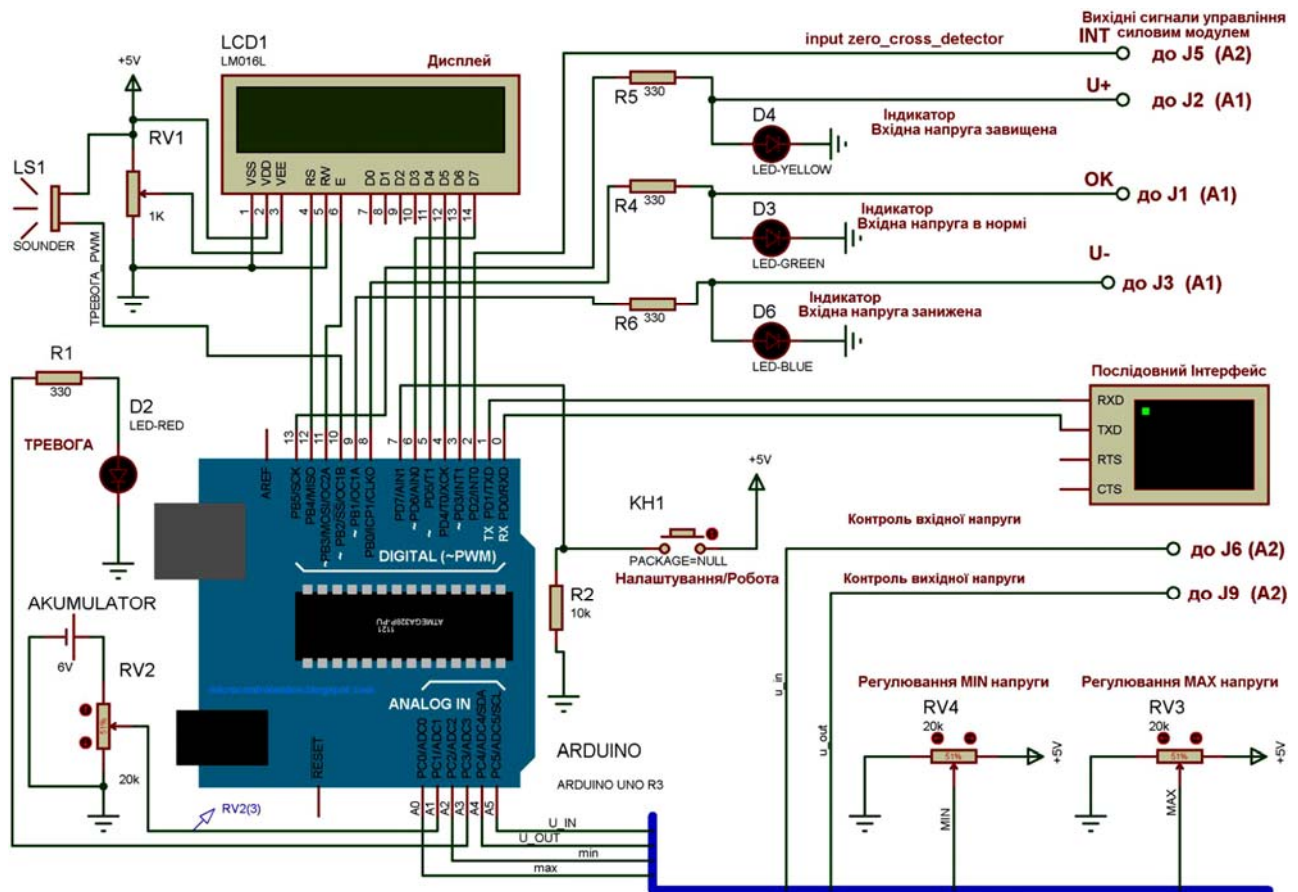


Рис. 4. Апаратне забезпечення системи управління стабілізатором змінної напруги (A3) / Hardware for control system of alternating voltage stabilizer (AC)

3. Алгоритм роботи стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням. Алгоритм роботи системи управління стабілізатором змінної напруги зображено на рис. 2, 3. При увімкненні живлення стартує виконання вбудованого ПЗ в МК AVR. ПЗ ініціалізує внутрішні програмні змінні, потім починається ініціалізація датчиків і периферії. Система ініціалізує АЦП, ШІМ вихід для управління пищиком LS, виходи для управління силовими ключами, РКД по 4 розрядній шині D0.D3. МК аналізує натискання клавіші меню KH1. Ініціалізація графічного РКД відбувається функцією `lcd.begin` (16, 2). Після завершення ініціалізації, система виводить на РКД текст-повідомлення "AC STABILIZER".

Далі розпочинається цикл вимірювань напруг на входах АЦП, на які під'єднано потенціометри управління та зчитування їх у МК, опрацювання вимірних значень, формування сигналів управління, аналіз натискання клавіші меню, вивід результатів вимірювання на РКД. Вивід відповідних сигналів (згідно з алгоритмом роботи), звукової індикації.

Особливу увагу під час розроблення програмного забезпечення приділено написанню управління силовими ключами. Налаштування та зміна параметрів реалізується з допомогою двох потенціометрів.

4. Моделювання та аналіз результатів роботи стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням. Скопійований скетч в Arduino (IDE) програма для МК ATmega328 є файлом типу hex, який з допомогою програматора або через USB – порт записується в МК. При вмиканні стабілізатора відбувається налаштування системи (РКД, АЦП, COM – порта). Силлові ключі управління вимкнуті. На виході стабілізатора

напруга відсутня. На РКД та на термінал послідовно виводяться так повідомлення (рис. 5).

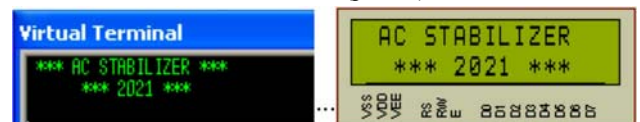


Рис. 5. Моделювання роботи стабілізатора змінної напруги / Simulation of the AC voltage stabilizer operation

Стабілізатор можна використовувати для автоматичного регулювання змінної напруги на навантаженні, яким може бути комп'ютерна техніка, чутлива до стрибків напруги в мережі живлення, телевізори, холодильники, пральні машини і т.ін. Для розроблення апаратного забезпечення стабілізатора змінної напруги запропоновано використати мікроконтролерну платформу Arduino UNO з мікроконтролером ATmega328. Мікроконтролери (МК) є основою багатьох сучасних виробів. З допомогою мікроконтролерів легше і дешевше реалізувати алгоритми роботи систем. МК може керувати різними пристроями, отримувати від них інформацію, виконувати математичні обчислення. МК містить багато модулів (регістрів, портів вводу-виводу, арифметичні і логічні пристрої, флеш-пам'ять і т.ін.), всі ці модулі реалізовано на одному кристалі МК. Мікроконтролери мають малі розміри і невелике енергоспоживання, мають режими енергозберігання, в яких практично енергії не споживають.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати таку наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблено фізичну модель стабілізатора

змінної напруги з мікроконтролерним управлінням на платформі Arduino, що дасть змогу утримувати напругу на навантаженні у допустимих межах у разі значного коливання напруги в мережі.

Практична значущість результатів дослідження – структурна схема, програмне та апаратне забезпечення стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням на платформі Arduino можна використати в навчальному процесі для виконання аналогічних проєктів, розроблення спеціалізованих пристроїв живлення з мікроконтролерним управлінням.

Висновки / Conclusions

Розроблено структурну схему стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням, яка використовує модульний принцип.

Розроблено модель макету та алгоритми функціонування стабілізатора змінної напруги з мікроконтролерним управлінням.

Стабілізатор змінної напруги дає змогу підтримувати живлення навантаження в дозволених межах. захищає навантаження від перенапруги та від аномального живлення. Має можливість налаштування максимальної та мінімальної напруги мережі для спрацювання захисту.

У пристрої використані електронні твердотільні реле на польових транзисторах, перемикання яких синхронізовано з роботою мережі живлення, що зменшує електромагнітні завади. Параметри тестування вхідної та вихідної напруг виводяться на рідкокристалічний дисплей та послідовний порт для моніторингу. Пристрій має світлодіодну та звукову сигналізацію, яка вмикається в разі аварійних відхилень напруги мережі. Автономне живлення плати управління дає змогу передавати аварійні повідомлення за відсутності напруги в мережі. Пристрій має ширші можливості, дешевший порівняно з наявними стабілізаторами з такими ж характеристиками.

Під час розроблення стабілізатора використано сучасну елементну базу. Основними її елементами є мікроконтролерна платформа ARDUINO UNO, високо-

вольтні MOSFET ключі, і ПКД 16x2 (Модель: WH1602B-YGK-CTK).

Спроектовано електричну принципову схему та створено модель стабілізатора змінної напруги. Розроблено алгоритм роботи і програмне забезпечення для МК AVR мовою C за допомогою інструментарію розроблення ПЗ для МК ARDUINO IDE.

References

1. Apple Mahmud, Iftekhhar Mahmud, A. R. M., Prama Debnath, & Imrat Rahman, S. M. (2019). Design and Implementation DSPIC & IGBT Based Static Automatic Voltage Regulator. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering* (IOSR-JEEE), 14(5), 65–71.
2. Dinesh, S., Narendranath, V., Sowndharya, K., & Tamilselvan, S. (2019). PIC Microcontroller Based AC Voltage Stabilizer Using Power Electronic Converters. *International Research Journal of Engineering and Technology* (IRJET), 6(3), 2193–2196.
3. Hoque, M. M. (2014). Design, implementation and performance study of programmable automatic voltage regulator. *Journal of Electrical Systems*, 10(4), 472–483.
4. Katalin, A. (2019). Voltage monitoring and supply controlling system. *Procedia Manufacturing*, 32, 380–384.
5. Microchip. (2003). PIC16F876A data sheet. 28/40/44-Pin enhanced flash microcontrollers. Chandler, Arizona, United States of America: Microchip Technology Incorporated.
6. Nang Kaythi Hlaing, & Lwin Lwin Oo. (2019). Microcontroller-based single-phase automatic voltage regulator. *3rd International Conference on Computer Science and Information Technology*, 9–10 July 2019, Chengdu, China, 380–389.
7. Rasheduzzaman, M., Hoque, M. M., Das, N. K., & Chakrabarty, J. P. (2008). Design and implementation of an automatic voltage regulator (for ceiling fan) using temperature sensor. *International Journal of Engineering*, 5(1), 207–211.
8. Standler, R. B. (2002). Protection of electronic circuits from over-voltages. New York: Courier Corporation.
9. Tarchanidis, K. N., Lygouras, J. N., & Botsaris, P. (2013). Voltage Stabilizer Based on SPWM technique Using Microcontroller. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 6(1), 38–43.
10. Venkatesh, S., & Muthiah, K. (2011). Power fluctuations-usage of servovoltage stabilizers in industries. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2(1), 283–289.
11. Yukita, K., Kobayashi, Y., Duy-Dinh, N., Matsumura, T., & Goto, Y. (2019). Suppression of PV output fluctuation using EV in an electric power system. *IFAC-PapersOnLine*, 52(4), 93–98.

A. I. Holovaty, V. M. Teslyuk, N. S. Ripak

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

DEVELOPMENT OF MICROCONTROLLER CONTROLLED AC VOLTAGE STABILIZER

In the paper, the hardware and software of the AC voltage stabilizer with microcontroller control has been developed. The electronic circuit and model of the AC voltage stabilizer with microcontroller control based on Arduino platform are developed in course of the research. Its operation algorithm and software have been compiled in C programming language using Arduino IDE for Arduino-based embedded systems. The simulation of the AC voltage stabilizer with microcontroller control based on the Arduino platform is run. The AC voltage stabilizer has been built based on the modular principle which enables quick upgrading of the developed device. The device is capable of adjusting the maximum and minimum network voltage for the protection operation. The AC voltage stabilizer also allows maintaining the supply voltage at the load within the acceptable range at the significant voltage deviations in the electrical network. It is also capable of adjusting the network voltage range for the stabilizer operation with manual potentiometers. The voltage stabilizer uses MOSFET-based electronic power switches. Their switching is synchronized with power supply that reduces electromagnetic interference. The power module and microcontroller module are galvanically isolated. Power key switching occurs when the sinusoidal voltage crosses zero. Overvoltage protection speed and output voltage stabilization speed at the load are less than 20 milliseconds. AC voltage and output voltage information are displayed on the LCD module and outputted to the serial port (COM-port) for remote monitoring. The AC voltage status can be monitored by LED indicators. When AC voltage is out of range, the audible and visual alarm occurs as well as the alarm information is outputted to the COM port. If the stabilizer overcurrent appears, the automatic circuit breaker will disconnect the load from AC power. The autonomous power supply of the control board enables sending emergency messages in the absence of network voltage. The device has a wider range of possibilities, it is cheaper compared to the existing stabilizers with the same characteristics.

Keywords: Arduino Uno board; AVR ATmega328P microcontroller; electronic power switch MOSFET IRF840; alpha-numeric LCD module WH1602B-YGK-CTK; serial interface; C programming language; Arduino IDE.