

РОЗРОБКА ТА СТВОРЕННЯ СУЧАСНОГО БЛОКА ЖИВЛЕННЯ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ESP32-WROOM-32U

Д. В. Кухаренко, І. Д. Федосов-Ніконов

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Україна, 39600, Кременчук, вул. Першотравнева, 20

E-mail: ilia.fednikon.i@gmail.com

Анотація: Лабораторний блок живлення є одним із найбільш важливих елементів будь-якої електронної лабораторії. Від точності регулювання напруги, стабільності струму та надійності роботи блока живлення безпосередньо залежить якість проведення налагоджувальних, вимірювальних та дослідницьких робіт. Тому розробка та побудова сучасного блока живлення, з використанням мікроконтролера ESP32-WROOM-32U, дозволили реалізувати цифрове керування його вихідними параметрами та системи захисту від перевантаження і короткого замикання, організувати відображення інформації на TFT LCD дисплеї, забезпечили контроль температури, струму та напруги.

Ключові слова: блок живлення, мікроконтролер, напруга, стабільність струму.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A MODERN POWER SUPPLY BASED ON THE ESP32-WROOM-32U MICROCONTROLLER

D. V. Kukhareenko, I. D. Fedosov-Nikonov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

20 Pershotravneva St., Kremenchuk, 39600, Ukraine

E-mail: ilia.fednikon.i@gmail.com

Annotation: A laboratory power supply is one of the most essential components of any electronics laboratory. The quality of adjustment, measurement, and research activities directly depends on the accuracy of voltage regulation, current stability, and the operational reliability of the power supply. Therefore, the development and implementation of a modern power supply based on the ESP32-WROOM-32U microcontroller made it possible to provide digital control of its output parameters and implement overload and short-circuit protection. The proposed design also enables information to be displayed on a TFT LCD and provides monitoring of temperature, current, and voltage.

Key words: power supply, microcontroller, voltage, current stability

Актуальність роботи полягає у необхідності створення сучасного багатofункціонального лабораторного блока живлення з цифровим керуванням, високою точністю стабілізації та можливістю розширення функціоналу за рахунок використання сучасних мікроконтролерних технологій.

Предметом дослідження є лабораторний блок живлення на базі мікроконтролера ESP32-WROOM-32U з цифровою системою керування параметрами вихідної напруги та струму.

Метою роботи є розробка лабораторного блока живлення на базі ESP32-WROOM-32U з реалізацією цифрового керування, контролю параметрів виходу, системи індикації та захисту.

Використання ESP32-WROOM-32U дозволяє значно підвищити ефективність системи, забезпечити автоматизацію процесів керування та реалізувати бездротовий моніторинг параметрів роботи пристрою.

На першому етапі проведено аналіз існуючих лабораторних блоків живлення, який показав, що сучасний ринок лабораторних джерел живлення активно переходить від традиційних аналогових систем до цифрових програмованих пристроїв із мікроконтролерним керуванням. Такі імпульсні системи забезпечують високу енергоефективність, компактність та широкий

33

діапазон регулювання параметрів, що робить їх більш перспективними для сучасних електронних пристроїв. Проведене маркетингове дослідження показало, що найбільш перспективними є цифрові лабораторні блоки живлення з мікроконтролерним керуванням, TFT LCD індикацією та підтримкою сучасних інтерфейсів зв'язку. Обґрунтовано вибір цифрового імпульсного лабораторного блока живлення як прототипу для подальшої модернізації. Для реалізації системи керування обрано мікроконтролер ESP32-WROOM-32U, який забезпечує високу продуктивність, підтримку Wi-Fi та Bluetooth, наявність PWM-модулів, ADC та сучасних інтерфейсів обміну даними.

На другому етапі виконано вибір та обґрунтування структурної та функціональної схем лабораторного блока живлення, розроблено та проаналізовано електричну принципову схему лабораторного блока живлення на базі ESP32-WROOM-32U відповідно до вимог нормативної документації. Сформовано основні функціональні блоки системи: вузол мережевого живлення, система захисту, імпульсний перетворювач напруги, вимірювальний блок, цифрова система керування, силовий вихідний каскад, система індикації та охолодження. Детально проаналізовано проходження струму через усі вузли схеми, починаючи від мережевого входу 230 В і закінчуючи вихідними клемми блока живлення. Розглянуто принципи роботи елементів захисту, зокрема запобіжника, варистора, ЕМІ-фільтра та NTC-терморезистора. Визначено, що їх використання дозволяє підвищити електробезпеку пристрою, зменшити вплив імпульсних перенапруг та забезпечити стабільну роботу системи. Окрему увагу було приділено роботі силового каскаду на базі MOSFET транзистора IRLZ44N. Встановлено, що використання PWM-керування від ESP32 дозволяє реалізувати плавне регулювання вихідної напруги та ефективне керування навантаженням. Також встановлено, що запропонована схема лабораторного блока живлення забезпечує: стабілізовану регульовану вихідну напругу, цифрове керування параметрами, контроль струму та напруги, захист від перевантаження, індикацію параметрів у реальному часі та автоматичне охолодження силових компонентів.

На третьому етапі роботи було виконано розробку конструкції лабораторного блока живлення на базі мікроконтролера ESP32-WROOM-32U та проведено основні компонувальні й теплові розрахунки пристрою. У процесі проектування визначено оптимальне взаємне розташування функціональних модулів, друкованих плат та елементів системи охолодження з урахуванням електричних, теплових та конструктивних вимог. Отримане значення коефіцієнта заповнення корпусу $K_z=0,306$ свідчить про достатній внутрішній об'єм корпусу та наявність необхідного простору для циркуляції повітря і тепловідведення. У результаті теплового розрахунку встановлено, що температура корпусу при природному охолодженні становить приблизно 61 °С, а температура всередині корпусу – близько 68 °С, що не перевищує допустимих значень для ESP32, TFT-дисплея, INA180A1 та інших електронних компонентів. Надійність лабораторного блока живлення на базі ESP32-WROOM-32U характеризується безвідмовністю, довговічністю, ремонтпридатністю та збережуваністю. Отримані у процесі роботи кількість можливих відмов за рік $p \approx 0,174$ відмов/рік та коефіцієнт готовності $K_r \approx 0,99998$ підтверджують високу експлуатаційну надійність розробленого пристрою.

На четвертому етапі роботи був виконаний аналіз технологічності конструкції лабораторного блока живлення на базі ESP32-WROOM-32U. Технологічність конструкції визначається сукупністю властивостей виробу, які забезпечують мінімальні витрати праці, часу та матеріальних ресурсів при виготовленні, складанні, монтажі, налагодженні та ремонті пристрою при збереженні необхідних технічних характеристик та показників надійності. Аналіз технологічності проводився на основі принципової електричної схеми, друкованої плати, специфікації елементів, складального креслення та конструкції корпусу. За основні конструктивні вузли виробу були прийняті модуль керування ESP32, модуль TFT LCD індикації, силовий модуль живлення, модуль вимірювання струму, система охолодження та друкована плата. Слід визначити, що значна частина елементної бази виконана у SMD-

корпусах, що забезпечує можливість автоматизованого монтажу методом поверхневого встановлення. Рівень автоматизації виробництва становить приблизно 72 %. Для визначення комплексного показника технологічності були визначені: коефіцієнт механізації та автоматизації підготовки ЕРЕ до монтажу $K_{м.п} = 0,719$, коефіцієнт автоматизації та механізації монтажу $K_{а.м} = 0,733$, коефіцієнт складності складання $K_{с.скл} = 1,0$, коефіцієнт механізації контролю та налаштування $K_{м.к.н} = 0,75$, коефіцієнт прогресивності формоутворення деталей $K_{ф} = 1$, коефіцієнт повторюваності ЕРЕ $K_{пов. ЕРЕ} = 0,045$, коефіцієнт точності обробки деталей $K_{тч} = 1,0$. Для електронних пристроїв серійного виробництва нормативний діапазон комплексного показника технологічності становить: 0.50...0.80. Розрахований комплексний показник технологічності $K = 0,748$, що відповідає вимогам нормативної документації. Комплексний показник технологічності K_p дорівнює 1,496, при нормативному значенні $K_p \geq 1$. Конструкція лабораторного блока живлення відповідає нормативним вимогам технологічності та придатна до серійного виробництва з високим рівнем автоматизації монтажу і контролю.

ВИСНОВКИ. У результаті виконання роботи було розроблено лабораторний блок живлення на базі мікроконтролера ESP32-WROOM-32U із цифровим керуванням, функціями вимірювання параметрів живлення та можливістю бездротового зв'язку. Розроблений лабораторний блок живлення характеризується стабільністю вихідних параметрів, високою функціональністю, компактністю та можливістю подальшого розширення програмного забезпечення. Використання мікроконтролера ESP32-WROOM-32U забезпечує реалізацію бездротового моніторингу та керування пристроєм через Wi-Fi або Bluetooth, що підвищує зручність експлуатації та відповідає сучасним тенденціям розвитку інтелектуальних електронних систем. Розроблений лабораторний блок живлення може бути рекомендований для використання у навчальних лабораторіях, сервісних центрах, дослідницьких установках та системах налагодження електронної апаратури.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ EN IEC 61558-1:2021. Безпечність силових трансформаторів, реакторів, блоків живлення і їх комбінацій. Частина 1. Загальні вимоги та випробування (EN IEC 61558-1:2019, IDT; IEC 61558-1:2017, IDT). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=95964
2. ДСТУ EN IEC 61204-7:2018. Джерела живлення імпульсні низьковольтні. Частина 7. Вимоги щодо безпеки (EN IEC 61204-7:2018, IDT; IEC 61204-7:2016, IDT). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91021
3. ДСТУ EN 61204:2016. Джерела живлення постійного струму низьковольтні. Робочі характеристики (EN 61204:1995; EN 61204:1995/A1:2001, IDT). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71787
4. Espressif Systems. ESP32-WROOM-32D & ESP32-WROOM-32U Datasheet. Version 2.7. 2026. https://documentation.espressif.com/esp32-wroom-32d_esp32-wroom-32u_datasheet_en.html
5. Yevsieiev V. Digital Twin in Modeling and Control of Collaborative Robots: Analysis, Comparison and Application Recommendations / V. Yevsieiev, S. Starikova // Computer-integrated technologies, automation and robotics 2026 : Proceedings of III st All-Ukrainian Conference, May 14-15, 2026. - Kharkiv .: [electronic version], 2026. - P. 89-92.
6. Hamdan, M., Ababneh, J., Hafez, M., Abu-Jassar, A., Yevsieiev, V., & Lyashenko, V. (2025, December). Collaborative Manipulator Adaptive Path Planning with Human Presence and Comfort Zone Consideration. In 2025 Asian Conference on Communication and Networks (ASIANComNet) (pp. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ASIANComNet68615.2025.11579621>