

УДК 004.72:[004.77:004.8]

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ СИСТЕМ В АВТОНОМНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ

Ванін Е. С.

e-mail: eldar.vanin@nure.ua

Науковий керівник - доц. Філіппенко І. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. АПОТ
м. Харків, Україна

The given work addresses the problem of power consumption optimization in microcontroller based systems used in autonomous intelligent devices. The increasing use of battery-powered and energy-constrained embedded systems makes energy efficiency a critical design requirement. The influence of processor core architecture, semiconductor manufacturing technology, and peripheral module configuration on power consumption is analyzed. Hardware and software optimization techniques, including low-power operating modes and peripheral power management, are discussed. The study emphasizes the importance of a comprehensive approach to energy optimization. The presented results can be applied to the design of energy-efficient autonomous intelligent devices.

Вступ. Збільшення кількості автономних інтелектуальних пристроїв з використанням мікроконтролерних систем зумовлює підвищені вимоги до енергоефективності. Джерела живлення автономних інтелектуальних пристроїв мають обмежені можливості, що робить питання оптимізації енергоспоживання мікроконтролерних систем одним з ключових при проектуванні автономних інтелектуальних пристроїв [1,2]. Метою цієї роботи є аналіз та систематизація методів підвищення енергоефективності мікроконтролерних систем. Для досягнення цієї мети розглядаються архітектурні, програмні та апаратні методи для зменшення споживання електроенергії.

Зміст дослідження. До архітектурних чинників, що впливають на енергоспоживання, відносяться архітектура ядра, технологічний процес та конфігурація периферійних модулів. Архітектура ядра визначає кількість тактів на виконання інструкції, розміри регістрів та підтримку режимів енергозбереження. Архітектури, в яких виконання інструкції триває меншу кількість тактів процесора, споживають меншу кількість електроенергії, оскільки процесор перебуває у стані активної роботи коротший час. Сучасні архітектури підтримують спеціальні режими енергозбереження (low-power, deep-sleep, standby), що дозволяє знижувати споживання у періоди простою без повного вимкнення при пристрою.

Програмні методи оптимізації включають зменшення кількості обчислень, оптимізацію алгоритмів обробки даних та використання переривань замість опитування, а також ефективне керування периферійними

модулями [3]. Периферійні модулі та засоби зв'язку часто є основними споживачами електроенергії у вбудованих системах. На кількість споживаної електроенергії периферійними модулями впливає час, коли ці пристрої є активними, та енергоефективність протоколів передачі даних. З цього виходить, що зменшення опитування сенсорів, вимкнення модулів на час, поки вони не використовуються, та використання енергоефективних протоколів передачі даних дозволяє суттєво скоротити споживання електроенергії в автономному інтелектуальному пристрої.

До програмних методів оптимізації відноситься використання операційних систем реального часу (RTOS). RTOS дозволяють більш ефективно керувати виконанням задач, використовуючи механізми планування, синхронізації та керування ресурсами. Завдяки використанню планувальника задач система може переводити процесор у режими зниженого енергоспоживання у періоди простою, коли відсутні активні задачі.

Прикладом такої системи є Zephyr RTOS – відкрита операційна система реального часу, яка активно використовується у вбудованих та IoT-пристроях. У Zephyr реалізовано підсистему керування живленням (Power Management), що дозволяє автоматично переводити мікроконтролер у режими sleep або deep sleep у періоди бездіяльності. Крім того, Zephyr підтримує механізм tickless kernel, який дозволяє уникати періодичних системних таймерних переривань і переводити процесор у режим сну на більш тривалий час.

До апаратних методів належать зменшення робочої напруги та частоти мікроконтролера, застосування енергоефективних стабілізаторів живлення, а також використання схем керування окремими функціональними блоками. Для кращої енергоефективності варто комбінувати апаратні та програмні засоби енергозбереження.

Висновки. Оптимізація енергоспоживання мікроконтролерних систем є комплексною задачею, яка потребує системного підходу на етапах апаратного та програмного проєктування. Поєднання апаратних, програмних та архітектурних методів оптимізації споживання електроенергії дозволяє значно підвищити енергоефективність автономних інтелектуальних пристроїв.

Список використаних джерел:

1. Optimize Performance and Power Consumption in Embedded Apps. Witekio. URL: <https://witekio.com/blog/power-consumption-embedded-application-development/> (дата звернення: 06.01.2026).
2. Microcontrollers Improve Power Efficiency of 8051-Based designs URL: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/microcontrollers-improve-power-efficiency-of-8051based-designs.html> (дата звернення: 06.01.2026).
3. Zephyr Project Documentation. Power Management [Електронний ресурс]. URL: <https://docs.zephyrproject.org/latest/services/pm/index.html> (Дата доступу: 08.03.2026).