

РЕЖИМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЗАГАЛЬНУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ

Онiщенко А.В.

Науковий керівник – к.т.н., асистент Волох А.В.

e-mail: andrii.onishchenko@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС,
студ. наук. гурток «Розробка вбудованих систем»,
м. Харків, Україна

Energy efficiency has always been a crucial issue in the design of microcontroller-based systems. This study investigates the implementation of Dynamic Frequency Scaling (DFS) technology and various microcontroller power-saving modes. The research evaluates these methods not only in terms of their instantaneous impact on energy consumption but also considers the overhead costs arising from time delays associated with resource reconfiguration during DFS transitions and entering/exiting power-saving modes.

При використанні мікроконтролерів (МК) у вбудованих системах та пристроях Інтернету речей (IoT) важливим питанням є їх робота з максимальною оптимізацією енергоефективності за рахунок використання різних режимів енергозбереження або динамічного масштабування частоти (DFS) [1]. Вказані технології дозволяють зменшити енергоспоживання МК, але, одночасно з цим, також впливають на час виконання програми і загальну продуктивність роботи системи. Тому при використанні цих технологій потрібно враховувати не тільки їх вплив на миттєве зменшення потужності споживання системи, але і на збільшення часу виконання програми, що особливо актуально для систем з короткими циклами активності [2]. Для дослідження різних технологій енергозбереження було обрано МК STM32F407, який підтримує роботу в діапазоні частот до 168 МГц, зміну частоти в реальному часі шляхом модифікації параметрів PLL (Phase-Locked Loop), а також має три режими енергозбереження: Sleep, Stop і Standby.

Для технології DFS додаткові затримки виникають під час переходу до пониженої частоти і під час повернення назад до її початкового значення. Додатковий вклад в затримку входу і виходу з режиму DFS вносить повторна ініціалізація HCLK, і пов'язаних з ним шин тактування периферії APB1, APB2. Використовуючи МК STM32F407 було експериментально перевірено і отримано, що тривалість переходу і виходу МК з режиму роботи під час активації технології DFS складає приблизно 2.3 мс в одну сторону. При чому така затримка майже не залежить від різниці частот до та після активації такої технології енергозбереження.

Режими енергозбереження МК STM32F407 відрізняються конфігурацією стабілізатора напруги (VCORE) та режимом роботи доменів живлен-

ня. Найменше енергоспоживання в Standby-режимі, найменший ефект на зменшення споживання має Sleep-режим. У Standby-режимі живлення присутнє тільки в Backup домені, дані в регістрах та RAM не зберігаються, пробудження за сигналом на пінах WKUP, подією RTC або зовнішнім скиданням (Reset). Режим Standby потребує повторної ініціалізації системного таймеру SysTick і задіяних периферійних блоків МК після пробудження. У Stop-режимі живлення в доменах і дані в регістрах зберігаються. Після виходу із Stop-режиму МК автоматично перемикається на внутрішній генератор HSI, тому потрібна повторна ініціалізація системного тактування (PLL). Sleep-режим є найшвидшим за часом пробудження, оскільки активною залишається більша частина системи. Вимірювання часу затримки на пробудження з кожного режиму показали наступні результати: Sleep – 0.675 мкс, Stop – 5.517 мкс, Standby – 263.1 мкс.

На основі отриманих експериментальних результатів можна сказати, що технологія DFS має значні накладні часові витрати на кожне перемикання, що складає приблизно 2.3 мс. Тому можливість використання такої технології потрібно ретельно зважувати з урахуванням збільшення загальної тривалості передування системи в активному режимі, до якого буде додано час входу та виходу зі стану, який активується завдяки DFS. Це особливо актуально, якщо система не може собі дозволити перебувати в стані переходу близько 2.3 мс. Схожі міркування стосуються і режимів енергозбереження, які відрізняються своєю ефективністю і різним часом повернення до нормального стану роботи МК. Sleep-режим має найменшу затримку виходу в активний стан, тому його використання спричиняє найменші додаткові накладні витрати, які впливають на енергоспоживання всієї системи. Він може використовуватися практично без обмежень. Режим Stop і Standby зменшують споживання МК сильніше, але потребують додаткових накладних витрат, пов'язаних з відновленням роботи МК після пробудження. Режим Stop доцільно використовувати, якщо МК перебуватиме в стані зниженого енергоживлення довше ніж приблизно 16 мс. Standby-режим тільки для роботи системи з довготривалими простоями та з урахуванням допустимості втрати даних з регістрів та RAM.

Список використаних джерел:

1. Lueangvilai A., Robertson C., Martinez C. A. Dynamic Frequency Controlling Technique for Power Management in Existing Commercial Microcontrollers // Journal of Computer Science and Engineering. 2012. V. 6. P. 79–88.
2. Adegbiya T., Rogacs A., Gordon-Ross A. Microprocessor Optimizations for the Internet of Things: A Survey // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. 2018. V. 37, P. 7–20.