

**МЕТОДИ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗУ ЗВУКУ НА
МІКРОКОНТРОЛЕРАХ STM32**

Данилов І. М.

e-mail: illia.danylov@nure.ua.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Рахліс Д. Ю.

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

The paper considers the implementation and comparative analysis of several digital sound synthesis methods on STM32 microcontrollers. The goal is to find a synthesis method that provides an optimal tradeoff between computational efficiency and audio quality. In order to accomplish this, the sound synthesis methods have to be implemented and the comparison criteria have to be defined. The paper compares methods such as sample playback, wavetable synthesis, and FM synthesis.

Вступ. При побудові інтерактивних систем реального часу на основі мікроконтролерів ключовою задачею є досягнення максимальної швидкодії та мінімізація витрат на пам'ять програми через обмеженість апаратних ресурсів платформи [1]. Відтворення звуку в подібних системах є важливою задачею та потребує ефективних методів програмної генерації звукового сигналу. *Мета дослідження* – мінімізація використання апаратних ресурсів системи при відтворенні звуку за рахунок знаходження оптимального методу генерації для вбудованої системи реального часу. Для досягнення мети були поставлені наступні *задачі*: програмна реалізація методів генерації звуку на мікроконтролерах серії STM32, визначення критеріїв для їх порівняння, побудова порівняльної характеристики методів. *Предмет дослідження* – обчислювальна складність алгоритмів, використання пам'яті, якість отримуваних звукових ефектів. Можливість відтворення різних форм хвилі, таких як синусоїда, меандр, пілкоподібна хвиля, шум та інші для досягнення різноманітних звукових ефектів, що можуть бути використані в мультимедійних застосунках на базі мікроконтролерів.

Зміст дослідження. Пропонується програмно реалізувати такі методи, як табличний синтез та FM-синтез, та порівняти їх за рядом ознак. Як основу для порівняння взято простий метод виведення попередньо згенерованих семплів з використанням технології прямого доступу до пам'яті (ПДП). Її застосування надає найбільшу можливу швидкодію, оскільки пересилання даних здійснюється в обхід ядра центрального процесора [2]. Недоліком даного методу є значне використання пам'яті контролера у порівнянні із такими, що передбачають генерацію в реальному часі.

На противагу відтворенню семплів, табличний синтез передбачає зберігання в пам'яті одиночного періоду хвилі, що відтворюється [3]. Виведення звукових сигналів різної частоти досягається за рахунок

варіювання інкременту, що використовується при індексації таблиці. Оскільки попередньо задана лише форма хвилі, а частота задається процедурно, можливо зменшити використання пам'яті в сотні разів у порівнянні з використанням семплів. За рахунок підстановки різних таблиць можливо симулювати відтворення різних інструментів, генерувати шум тощо.

При використанні FM-синтезу висота звуку задається шляхом модуляції частоти несучої хвилі іншою частотою (модулятором).

Використання частотної модуляції дозволяє створити багатий динамічний спектр сигналу та більш насичене звучання у порівнянні з табличним синтезом, але потребує обчислення тригонометричних функцій та використання чисел в дробовому форматі. За рахунок наявності блоку обчислень з плаваючою комою (FPU) в старших моделях мікроконтролерів STM32, зокрема, серії F3, можливо створити апаратно прискорену реалізацію FM-синтезу, що робить його використання у вбудованих системах більш привабливим. Також слід врахувати, що даний метод не передбачає зберігання статичних даних у пам'яті, що може бути бажаним для вбудованої системи.

Висновки. Оцінка використання апаратних ресурсів при реалізації методів генерації звуку дозволить визначити переваги та обмеження, пов'язані із застосуванням кожного із методів у різних сценаріях побудови мультимедійних систем на основі мікроконтролерів.

Список використаних джерел:

1. Данилов І. М., Піскарьов О. М. Створення інтерактивної гри для мікроконтролерів STM32 з використанням графічного дисплея // ITSBTU25 Інформаційні технології в сучасному світі: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, 29 квітня 2025 р. / Державний біотехнологічний ун-т. Харків, 2025. С. 45-46.

2. Martin T. The Insider's Guide to the STM32 ARM Based Microcontroller. London: TechBooks Ltd., 2019. 298 p. URL: <https://www.hitex.com/fileadmin/assets/download/insiders-guides/stm32/isg-stm32-v18d-scr.pdf> (дата звернення 22.12.25).

3. Mathews M. V., Boulanger R., Lazzarini V. The Audio Programming Book. Cambridge: MIT Press, 2010. 920 p.