

О.К. ДАНИЛЕЙКО, ст. викл., О.В. ІЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
Д.С. МОСКАЛЕНКО, магістрант
Криворізький національний університет

РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО ФІЛЬТРУ БАТТЕРВОРТА У МІКРОКОНТРОЛЕРІ RASPBERRY PI PICO

У сучасних вбудованих системах та системах збору даних мікроконтролери (МК) широко застосовуються для обробки аналогових сигналів з датчиків. Такі сигнали зазвичай містять шум, зумовлений вимірювальним середовищем та обмеженнями апаратної частини, що ускладнює аналіз даних і може призводити до помилкових рішень. Цифрова фільтрація безпосередньо у МК дозволяє підвищити якість сигналів, зменшити обсяг даних та знизити навантаження на зовнішні системи. Особливий інтерес становить реалізація фільтрів на недорогих платформах, таких як Raspberry Pi Pico на мікроконтролері RP2040.

Фільтр Баттерворта є одним із найпоширеніших типів цифрових фільтрів нижніх, верхніх або смугових частот. Його головна особливість – максимально гладка амплітудно-частотна характеристика у смузі пропускання без пульсацій. Основна область застосування – пригнічення високочастотного шуму при збереженні форми корисного сигналу. Він ефективний, коли фазові спотворення не є критичними. Цифровий фільтр Баттерворта реалізується як рекурсивний фільтр (ІІР) і описується різницеvim рівнянням, що пов'язує поточне значення виходу з поточним та попередніми значеннями входу та попередніми значеннями виходу. Коефіцієнти фільтра визначаються за заданими частотами дискретизації та зрізу. Для практичних реалізацій використовують фільтри другого або четвертого порядку, що забезпечують достатнє пригнічення шуму при низьких обчислювальних витратах.

При виборі фільтра для МК важливі обчислювальна складність, обсяг коду, вимоги до пам'яті та стабільність у реальному часі. Для порівняння розглянемо властивості поширених фільтрів. Фільтр ковзного середнього простий, але має значну затримку та слабе пригнічення шумів поза смугою, спотворюючи швидкозмінні сигнали. Фільтр Баттерворта забезпечує кращу частотну селективність при невеликому обсязі коду, потребуючи збереження лише кількох попередніх значень, що добре узгоджується з обмеженнями МК. Фільтр Калмана складніший, адаптивний, але потребує значних обчислень та налаштувань, що може бути надмірним для простих задач. Медіанний фільтр добре пригнічує імпульсні завади, але потребує сортування даних, що збільшує обчислювальні витрати.

Таким чином, фільтр Баттерворта є раціональним вибором для реалізації у простих МК, поєднуючи простоту, невеликий обсяг коду та високу ефективність пригнічення шуму. Для практичної реалізації обрано тестувальну плату Raspberry Pi Pico з характеристиками: ядро 2× ARM Cortex-M0+ до 133 МГц, 264 КБ SRAM, 2 МБ Flash, 12-бітний АЦП, низька ціна. Мікроконтролер RP2040 має достатні ресурси для реалізації фільтрів у реальному часі. Практична реалізація може бути виконана мовою C або MicroPython: значення з АЦП зчитуються з фіксованою частотою, після чого застосовується різницеве рівняння. Обчислювальна складність фільтра другого порядку незначна, що дозволяє застосовувати його в системах з обмеженим енергоспоживанням.

Таким чином, використання фільтра Баттерворта на Raspberry Pi Pico є ефективним рішенням для обробки сигналів у вбудованих системах, забезпечуючи баланс між якістю фільтрації, швидкодією та простотою реалізації. Це дозволяє підвищити достовірність вимірювань та розширити функціональність пристроїв на базі недорогих мікроконтролерів.

Отже, реалізація цифрового фільтра Баттерворта на мікроконтролері Raspberry Pi Pico є технічно простою та ефективною задачею, яка не потребує значних обчислювальних ресурсів. Завдяки низькій вартості та достатній продуктивності, дана платформа може бути рекомендована для використання в навчальному процесі при вивченні методів цифрової обробки сигналів. Перспективним напрямком є порівняння ефективності фільтра Баттерворта з іншими типами фільтрів