

ЦИФРОВІ СХЕМОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ В КАРДІОСТИМУЛЯТОРАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У дослідженні розглянуто технічні та функціональні аспекти сучасних кардіостимуляторів. Основну увагу приділено цифровій схемотехніці, яка забезпечує програмованість, адаптивність, обробку сигналів серця та вбудовану діагностику. Наведено приклади сучасних рішень, включаючи застосування ASIC та CMOS-технологій, а також бездротових модулів для моніторингу стану пацієнта.

Ключові слова: кардіостимулятор, цифрова схемотехніка, адаптивна стимуляція, аналіз ЕКГ, ASIC, CMOS, медичні імпланти.

Abstract

The article explores technical and functional aspects of modern pacemakers. Focus is placed on digital circuitry enabling programmability, adaptability, cardiac signal processing, and built-in diagnostics. Examples of contemporary implementations, including ASIC and CMOS technologies, as well as wireless modules for patient monitoring, are discussed.

Keywords: pacemaker, digital circuitry, adaptive pacing, ECG analysis, ASIC, CMOS, medical implants.

Вступ

Кардіостимулятори, зазвичай, застосовуються для корекції серцевого ритму при аритміях. Сучасні моделі відзначаються високою надійністю, точністю та адаптивністю, що стало можливим завдяки розвитку цифрової схемотехніки. Вони дозволяють не лише підтримувати стабільний ритм серця, а й здійснювати дистанційний контроль, зберігати дані ЕКГ і адаптувати роботу пристрою під фізіологічні потреби пацієнта.

Основна частина

Проаналізувавши типові структури кардіостимуляторів, слід зазначити, що переважно їх структура складається з кількох взаємопов'язаних блоків, які забезпечують точну і надійну роботу пристрою. Сенсорний модуль відповідає за реєстрацію електричної активності серця через електроди, що контактують із серцевим м'язом. Сигнал серця має малу амплітуду і містить шум, тому перед обробкою він проходить попередню фільтрацію. Далі сигнал надходить у аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), який переводить його у цифрову форму, що дозволяє цифровим схемам виконувати точний аналіз.

Цифровий блок обробки сигналів здійснює фільтрацію залишкових шумів, виявляє QRS-комплекси та аналізує інтервали між серцевими скороченнями. На основі отриманих даних логічний блок керування приймає рішення, чи необхідно генерувати стимулюючий імпульс. У сучасних моделях реалізовані алгоритми адаптивної стимуляції, що дозволяють підвищувати частоту стимуляції при фізичній активності пацієнта або знижувати її у стані спокою.

Вихідний каскад формує електричний імпульс із заданою амплітудою та тривалістю, достатньою для стимуляції серцевого м'яза, при цьому забезпечується мінімальне енергоспоживання. Система живлення, як правило, ґрунтується на батареях з цифровим контролем заряду, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання та продовжити термін служби пристрою до 7–10 років без заміни акумулятора.

Цифрові технології значно розширили функціональні можливості кардіостимуляторів. Програмованість пристрою дозволяє лікарю дистанційно змінювати параметри стимуляції, не вдаючись до заміни обладнання. Адаптивність дає змогу пристрою реагувати на стан пацієнта в

реальному часі, коригуючи частоту стимуляції залежно від фізичної активності або змін у ритмі серця. Вбудована пам'ять дозволяє накопичувати дані ЕКГ, що використовуються для аналізу роботи серця та оцінки ефективності лікування. Крім того, цифрові блоки здійснюють постійний контроль працездатності пристрою і можуть сигналізувати про будь-які несправності.

Сучасні реалізації включають спеціалізовані інтегральні схеми (ASIC) та наднизьковольтні CMOS-технології, які забезпечують високу надійність та енергетичну ефективність. Деякі моделі оснащені бездротовими модулями, що дозволяють передавати дані про роботу серця на моніторинг-станції у клініці, забезпечуючи дистанційний контроль стану пацієнта та своєчасну корекцію параметрів стимуляції.

Висновки

Цифрова схемотехніка забезпечує ефективність, безпеку та довготривалу експлуатацію кардіостимуляторів. Вона робить можливим програмування, адаптивну стимуляцію та віддалений моніторинг, поєднуючи медичну функціональність із сучасними цифровими технологіями. Впровадження ASIC, CMOS та бездротових рішень дозволяє значно підвищити автономність пристрою та комфорт пацієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mano M. M., Ciletti M. D. Digital Design: With an Introduction to the Verilog HDL. — Pearson, 2021.
2. Sutter B., et al. "AI-assisted logic optimization in FPGA design." IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2023.
3. Hinton G., LeCun Y., Bengio Y. "Deep learning for hardware optimization." Nature Machine Intelligence, 2022.
4. Brown S., Rose J. Field-Programmable Gate Arrays and Reconfigurable Computing. — Morgan Kaufmann, 2019.
5. Козлов В. П. Цифрова схемотехніка: теорія та практика. — Київ: КНУ, 2022.
6. Тарновський М. Г., Крупельницький Л. В. Аналогові та аналого-цифрові пристрої: електронний конспект лекцій комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс].
7. Азаров О. Д., Гарнага В. А., Клятченко Я. М., Тарасенко В. П. Комп'ютерна схемотехніка. Комп'ютерна схемотехніка [Текст] : підручник / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, Я. М. Клятченко, В. П. Тарасенко. — Вінниця : ВНТУ, 2018. — 230 с.
8. Li Z. Application of Integrated Circuits in Cardiac Pacemakers. — ResearchGate, 2023.
9. Parker B. Pacemaker Electronic Circuits. — Springer, 2020.
10. Sengupta A., et al. "Secure hardware IPs for implantable cardiac pacemaker." — Nature Scientific Reports, 2024.
11. Li S., et al. Integrated Circuits for Cardiac Pacemakers and Stimulation. — University of California eScholarship, 2022.
12. "Design and Implementation of Programmable Cardiac Pacemaker." — International Journal of Engineering Research and Applications, 2015.

Олійник Надія Ігорівна – студентка групи ІСП-23б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: nolijinik@gmail.com

Науковий керівник: **Тарновський Микола Геннадійович** – к.т.н., доцент, кафедра ОТ, ВНТУ, email: ntarn@vntu.edu.ua

Колесник Ірина Сергіївна – доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: iskolesnyk@gmail.com

Oliiynyk Nadiia I. - student, 1SP-23b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, email: nolijinik@gmail.com

Supervisor: **Tarnovsky Mykola Henadiyovych** - Associate Professor at the Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, email: ntarn@vntu.edu.ua

Kolesnyk Iryna Serhiivna - Associate Professor at the Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, email: iskolesnyk@gmail.com