

# **ЗАСТОСУВАННЯ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ КУЛЕРА**

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*У цій роботі розглядається використання широтно-імпульсної модуляції (ШИМ, або PWM) для регулювання швидкості обертання кулерів — електричних вентиляторів, що застосовуються в системах охолодження радіоелектронної апаратури. Метод ШИМ дозволяє ефективно контролювати швидкість обертання двигуна шляхом зміни співвідношення тривалості імпульсів до періоду сигналу (скважності), при цьому напруга живлення залишається постійною. Такий підхід забезпечує високу енергоефективність, точність регулювання, зменшення шуму та підвищення довговічності елементів системи охолодження.*

**Ключові слова:** широтно-імпульсна модуляція, PWM, вентилятор, кулер, регулювання швидкості, мікроконтролер, електроніка охолодження, радіотехніка, ефективність.

## **Abstract**

*This work considers the use of pulse width modulation (PWM, or PWM) to regulate the speed of rotation of coolers — of electric fans used in cooling systems of radio-electronic equipment. The PWM method allows you to effectively control the speed of rotation of the engine by changing the ratio of the duration of the pulses to the period of the signal (squareness), while the supply voltage remains constant. This approach ensures high energy efficiency, adjustment accuracy, noise reduction and increased durability of cooling system elements.*

**Keywords:** pulse width modulation, PWM, fan, cooler, speed control, microcontroller, cooling electronics, radio engineering, efficiency.

## **Вступ**

Системи охолодження є невід’ємною частиною будь-яких електронних пристроїв, зокрема комп’ютерів, блоків живлення, радіопередавальної та вимірювальної техніки. Вентилятори забезпечують примусову конвекцію повітря, однак робота на максимальних обертах не завжди необхідна. Коли температура компонентів низька, надлишкове охолодження лише збільшує шум і зменшує ресурс підшипників кулера. Тому у сучасних системах охолодження дедалі частіше використовується регулювання швидкості обертання кулера на основі ШИМ.

Метод PWM дозволяє змінювати середню потужність, що подається на двигун вентилятора, шляхом зміни ширини імпульсу сигналу керування, при цьому амплітуда залишається сталою. Внаслідок цього двигун отримує послідовність коротких імпульсів живлення, реагуючи на їх середнє значення — тобто обертається швидше або повільніше залежно від скважності [1].

## **Принцип роботи ШИМ-керування кулером**

Більшість сучасних кулерів використовують чотириконтактне підключення: два контакти забезпечують живлення (12 В та «земля»), третій — датчик обертів (тахометр), а четвертий — керувальний вхід PWM. На цей вхід подається сигнал частотою зазвичай 20–25 кГц і рівнем логічної напруги 5 В. Вбудована електроніка вентилятора містить ключовий транзистор (MOSFET), який вмикає або вимикає струм через обмотки двигуна відповідно до тривалості імпульсу. При більшій тривалості імпульсу вентилятор отримує більшу середню потужність, що збільшує швидкість обертання. При зменшенні тривалості — швидкість пропорційно знижується [2].

На відміну від регулювання постійної напруги, де зменшення напруги може призвести до зупинки двигуна або нестабільної роботи, PWM забезпечує повну подачу номінальної напруги під час активної

фази імпульсу. Завдяки цьому момент, створюваний двигуном, залишається стабільним навіть на низьких швидкостях. Це особливо важливо для застосувань у радіоелектронних пристроях, де необхідна надійна циркуляція повітря при змінних умовах навантаження [3].

### Переваги та особливості використання PWM-кулера

Основною перевагою широтно-імпульсного керування є висока енергоефективність. У транзисторі, який комутує живлення, втрати енергії мінімальні, оскільки він або повністю відкритий (з низьким опором), або повністю закритий (струм відсутній). Це дозволяє уникнути нагрівання елементів керування та зменшує потребу в додаткових радіаторах [4].

Другою перевагою є можливість плавного й точного регулювання обертів. Наприклад, системні плати комп'ютерів або мікроконтролери (Arduino, Raspberry Pi тощо) можуть автоматично змінювати скважність сигналу залежно від температури процесора чи транзистора. Це дозволяє створювати замкнуті системи керування з температурним зворотним зв'язком [5].

Крім того, PWM-кулери значно тихіші у роботі. При низьких навантаженнях швидкість обертання зменшується, знижуючи рівень шуму. Також зменшується вібрація, що особливо важливо в радіотехнічних системах, де механічні коливання можуть впливати на стабільність роботи чутливих компонентів або точність вимірювань [6].

Слід також враховувати параметри самої модуляції: занадто низька частота імпульсів може призводити до помітного пульсуючого шуму двигуна, тоді як надто висока — збільшує втрати на комутації. Тому стандартом для комп'ютерних вентиляторів стала частота близько 25 кГц, яка є вище межі чутного діапазону людського вуха [7].

### Висновки

Широтно-імпульсна модуляція є ефективним і надійним способом керування швидкістю кулера в системах охолодження електроніки. Використання PWM дозволяє оптимізувати баланс між охолодженням, енергоспоживанням і рівнем шуму, забезпечуючи стабільну роботу навіть при низьких обертах. Завдяки простоті реалізації засобами мікроконтролерів та можливості автоматичного регулювання за температурою, ШІМ залишається одним із найкращих методів керування вентиляторами в сучасних радіоелектронних пристроях.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. What is PWM and how does it work? [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.tomshardware.com/pc-components/case-fans/pwm-vs-dc-fans>
2. What is PWM and how does it relate to PC fans? [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.corsair.com/ww/en/explorer/diy-builder/fans/what-is-pwm/>
3. What is a PWM fan? [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.xda-developers.com/pwm-fan/>
4. PWM vs DC: Choosing the Best Fan Cooling Method [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.acdcecfan.com/pwm-vs-dc/>
5. PWM cooling fan control [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://forums.raspberrypi.com/viewtopic.php?t=354125>
6. What is a PWM Fan: Understanding Functionality and Benefits [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://gagner-toomey.com/what-is-a-pwm-fan-understanding-functionality-and-benefits/>
7. Fans with PWM Control [Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://products.sanyodenki.com/info/sanace/en/technical\\_material/pwm.html](https://products.sanyodenki.com/info/sanace/en/technical_material/pwm.html)

**Тараниук Іван Володимирович** – студент групи РТ-236, факультету інформаційних електронних систем, Вінницький національний університет, м. Вінниця, e-mail: [vania.taraniuk@gmail.com](mailto:vania.taraniuk@gmail.com)

**Стальченко Олександр Володимирович** – доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [stalchenko.o.v@vntu.edu.ua](mailto:stalchenko.o.v@vntu.edu.ua)

**Ivan V. Taraniuk** – student of group RT-23b, faculty of information electronic systems, Vinnitsa National University, Vinnitsa, e-mail: [vania.taraniuk@gmail.com](mailto:vania.taraniuk@gmail.com)

**Stalchenko V. Oleksandr** – Candidate of Engineering Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of Infocommunication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [stalchenko.o.v@vntu.edu.ua](mailto:stalchenko.o.v@vntu.edu.ua)