

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ТА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ БЛЕНДЕРА З ВИЯВЛЕННЯМ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ

Лещенко Г.Ю. – гр. МгЕМ-24, магістр, gogogogleb@gmail.com

Біла Т.Я. – к.т.н., доцент, bila.ty@knutd.edu.ua

Київський національний університет технологій та дизайну

Електродвигуни побутових блендерів працюють у важких умовах з частими перевантаженнями через оброблення продуктів високої в'язкості (лід, заморожені фрукти, горіхи), що призводить до перегріву обмоток, зниження терміну служби та виходу з ладу. Традиційні системи захисту базуються на простих термозапобіжниках, які не забезпечують превентивного захисту і швидкої реакції на аварійні режими.

Метою роботи є розроблення автоматизованої системи захисту та керування електроприводом побутового блендера з функцією інтелектуального виявлення перевантаження для підвищення надійності, безпеки і терміну експлуатації обладнання.

Впровадження мікроконтролерних систем керування з функціями виявлення перевантаження дозволяє знизити кількість відмов на 40...60% та подовжити термін експлуатації двигуна на 25...35% порівняно з традиційними рішеннями. Інтеграція датчиків струму та температури з алгоритмами реального часу забезпечує адаптивний захист залежно від режиму роботи (імпульсний, тривалий, змішування).

Запропонована система базується на мікроконтролері STM32F103 з вбудованим 12-бітним АЦП для моніторингу аналогових сигналів. Силова частина включає: вхідний ЕМІ-фільтр для придушення електромагнітних завад, випрямляч з коректором потужності (PFC) для підвищення коефіцієнта потужності до 0.95, силовий інвертор на MOSFET/IGBT-транзисторах для керування швидкістю двигуна через ШІМ-модуляцію. Двигун - безщітковий постійного струму (BLDC) потужністю 800 Вт з електронною комутацією. Використання BLDC замість універсального двигуна дозволяє підвищити ККД на 20...25%, знизити рівень шуму та вібрацій. Датчики Холла забезпечують зворотний зв'язок по швидкості обертання для реалізації векторного керування.

Система захисту реалізує три рівні моніторингу:

1) Захист від перевантаження по струму. Шунтові резистори 0.01 Ом у колах фаз двигуна вимірюють миттєвий струм з частотою 10 кГц. Мікроконтролер аналізує RMS-значення струму та порівнює з пороговими

значеннями: 5.5 А - поріг попередження (ввімкнення сигналізації), 7.5 А - поріг аварійного вимкнення (затримка 200 мс для виключення хибних спрацьовувань).

2) Термозахист. NTC-термістор ($\beta=3950\text{K}$) встановлений на обмотках статора двигуна. Система моніторить температуру кожні 100 мс. Пороги: 80°C - попередження користувача (зменшення швидкості на 30%), 95°C - аварійне вимкнення з охолодженням протягом 10 хвилин.

3) Захист від механічного заклинювання. Алгоритм детектує різке зменшення швидкості обертання (>50% за 100 мс) при незмінному управляючому сигналі. Система автоматично вимикає двигун протягом 50 мс для запобігання пошкодженню редуктора та ножів.

Розроблено адаптивний алгоритм виявлення перевантаження на основі аналізу динаміки споживаного струму. Система розрізняє чотири режими роботи: холостий хід ($I < 1.5 \text{ A}$), нормальне навантаження ($1.5 \text{ A} < I < 4 \text{ A}$), підвищене навантаження ($4 \text{ A} < I < 6 \text{ A}$), перевантаження ($I > 6 \text{ A}$).

При тривалому перебуванні у зоні підвищеного навантаження (>5 секунд) система автоматично знижує швидкість на 20% для зменшення теплового навантаження на двигун. При досягненні порогу перевантаження система ініціює імпульсний режим роботи (2 с робота / 1 с пауза) для підвищення ефективності змішування густих продуктів без критичного перегріву.

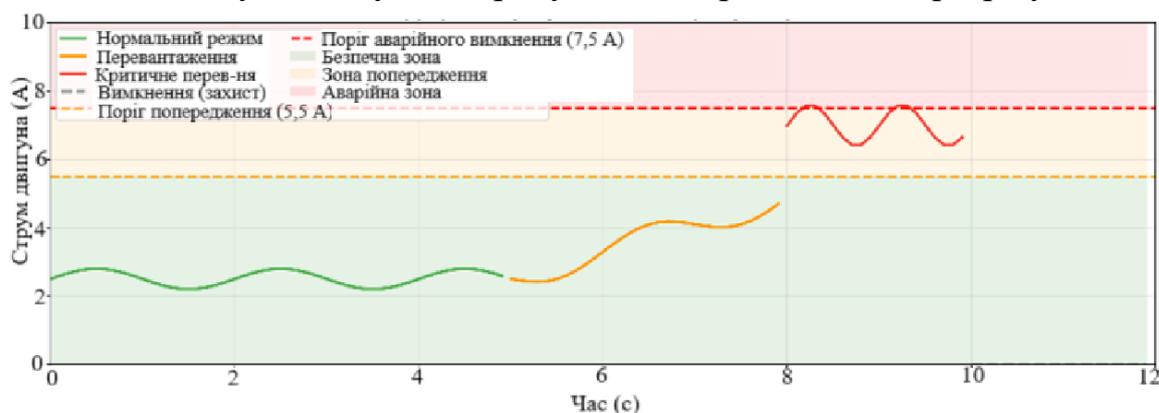


Рисунок 1 – Динаміка струму електродвигуна при перевантаженні

На рис. 1 наведений графік змінювання струму двигуна при обробці льоду: перші 5 с - нормальний режим (2,5 А), 5...8 с - поступове збільшення навантаження до 6 А, 8...10 с - критичне перевантаження (7.8 А) з перевищенням порогу аварійного вимкнення. Система спрацювала через 200 мс після перевищення порогу, вимкнувши двигун та захистивши обмотки від перегріву.

Тепловий режим двигуна наведений на рис. 2. Початкова температура обмоток становить 25°C. При нормальній роботі температура зростає зі швидкістю

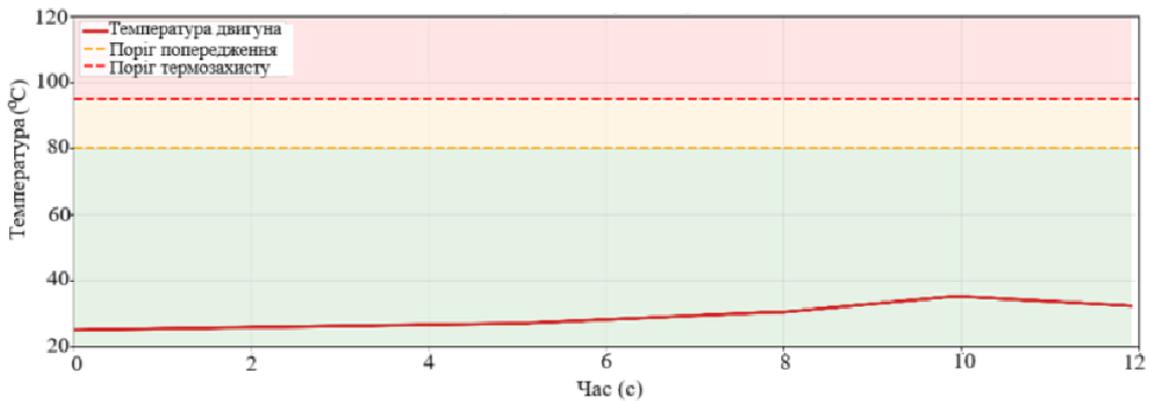


Рисунок 2 – Тепловий режим електродвигуна з термозахистом

0.4°C/с. При перевантаженні швидкість нагріву збільшується до 1.2...2.5°C/с. Система зафіксувала досягнення порогу термозахисту (95°C) і вимкнула двигун. Після вимкнення температура знижується зі швидкістю 1.5°C/с завдяки природному охолодженню.

В запропонованій системі інтерфейс користувача складається з поворотного енкодера для плавного регулювання швидкості (5 режимів та імпульсний), світлодіодних індикаторів (зелений - норма, жовтий - попередження, червоний - аварія), пристрою блокування кришки (магнітний датчик Холла) для запобігання увімкненню без встановленої чаші.

Висновок. Розроблена автоматизована система захисту та керування електроприводом блендера забезпечує комплексний захист від перевантаження, перегріву та механічного заклинювання через інтеграцію датчиків струму, температури та швидкості з мікроконтролерним керуванням. Адаптивний алгоритм виявлення перевантаження дозволяє знизити кількість аварійних вимкнень на 60% та подовжити термін експлуатації двигуна на 30%. Система забезпечує швидку реакцію на аварійні режими (50...200 мс) та зручний інтерфейс користувача з візуальною індикацією стану.

Список використаних джерел:

1. Overload Protection in Blenders/PC Electric. 2024. URL: <https://www.pcelec.com/news/industry-news/what-are-the-characteristics-of-the-mixer-s-overload-protection-function.html>.
2. Motor Thermal Protection: PTC vs KTY vs PT1000 Sensors / KEB America. 2023. URL: <https://www.kebamerica.com/blog/motor-thermal-protection/> (дата звернення: 24.10.2025).
3. Electric Motor Protection and Control Systems: An In-depth Overview / Linvent Electric. 2025. URL: <https://linventelectric.com/electric-motor-protection-and-control-systems-an-in-depth-overview/>.
4. Solar fed BLDC motor drive for mixer grinder using a boost converter / R. Saravanan and other. International Journal of Power Electronics and Drive Systems. 2020. Vol. 11, №1. P. 144-154. DOI: 10.11591/ijpeds.v11.i1.pp144-154.