

**ДОСЛІДЖЕННЯ ГІБРИДНОГО РОБАСТНОГО КЕРУВАННЯ З МІНІМІЗАЦІЄЮ
ВТРАТ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ**

Сучасні вимоги до промислових приводів полягають не лише у забезпеченні стабільної та точної роботи, але й у зниженні енергоспоживання. Найбільш перспективними для регульованого керування є інверторні електроприводи з асинхронними двигунами (АД), які характеризуються простотою конструкції, надійністю та низькою вартістю. Однак при змінному навантаженні традиційні схеми прямого керування моментом (ПКМ) демонструють пульсації струму та втрати в сталі, що знижує коефіцієнт корисної дії системи [1].

У класичному ПКМ використовуються гістерезисні регулятори моменту та потокозчеплення, які мають бінарний (релейний) вихід. Це означає, що інвертор перемикається між фіксованими векторами напруги, коли поточне значення виходить за межі заданої "гістерезисної зони". Через релейну логіку частота перемикавання транзисторів не є сталою, а змінюється залежно від стану регуляторів, що, у свою чергу, призводить до: високих гармонік у струмі статора, підвищених пульсацій моменту (особливо при низьких швидкостях), збільшення електромагнітного шуму та вібрацій.

Важливим джерелом втрат у сталі АД є надлишкове потокозчеплення. У системах із ПКМ потокозчеплення підтримується майже постійним на номінальному рівні — навіть у режимах, де така величина потоку не потрібна. Це викликає: гістерезисні втрати, оскільки зі збільшенням магнітного потоку зростає площа петлі гістерезису; втрати на вихрові струми, які пропорційні квадрату частоти та квадрату магнітної індукції.

Таким чином, при роботі на частковому навантаженні двигун має надлишковий магнітний потік, який не створює корисного моменту, але призводить до додаткових втрат у сталі.

Для підвищення ефективності пропонується гібридне керування, яке поєднує високodinamiчне ПКМ, адаптивну зміну потокозчеплення за допомогою нечіткої логіки та реалізацію просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції (ПВШІМ) для зменшення пульсацій. Така система дозволяє адаптувати керування до зміни навантаження, зменшити втрати в двигуні та покращити стійкість до збурень.

Особливу увагу слід приділити розробці структури гібридного робастного керування електроприводом на базі АД, яка забезпечує адаптивну мінімізацію втрат у часткових та змінних режимах. Система керування повинна включати основні модулі: модуль ПКМ; блок просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції — для генерації ШІМ-сигналів; блок нечіткого регулятора магнітного потоку на основі логіки Мамдані [3].

Нечіткий регулятор керує оптимальним потокозчепленням Ψ^* залежно від поточного навантаження та похідної струму, що дозволяє уникати надлишкових магнітних втрат у сталі.

Застосовується адаптивна функція $\Psi^* = \Psi_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{M_{\text{нагр}}}{M_{\text{ном}}} \right)^{0,5}$

У результаті, при зменшенні навантаження, магнітне поле автоматично слабшає, знижуючи втрати. За оцінками літературних джерел [3], впровадження подібної системи може: знизити втрати на 10–20% при часткових навантаженнях; зменшити пульсації моменту до 30–40%; покращити адаптивність системи до $\pm 25\%$ змін навантаження без необхідності переналаштування.

Список літератури

1. **О.Г. Плахтина, С.С. Мазепа, А.С. Куцик.** Частотно-керований асинхронний та синхронний електроприводи: навч. посібник/. - Львів: Видавн. Нац. ун-ту Львівська політехніка, 2002. - 228 с
2. **M. Depenbrock,** "Direct Self Control (DSC) of InverterFed Induction Machines," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 3, No. 4, 1988, pp. 420-429.
3. **J. Holtz.** Sensorless Control of Induction Motors/ **J. Holtz,** Proceedings of the IEEE, Vol. 90, No. 8, Aug. 2002, pp. 1358-1394.