

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні сучасні підходи до підвищення ефективності роботи та надійності асинхронних двигунів (АД), проведено порівняльний аналіз найбільш дієвих способів підвищення ефективності АД та реальних прикладів їх застосування.

Ключові слова: електродвигун, асинхронний двигун, коефіцієнт корисної дії, частотний перетворювач, контролер-оптимізатор.

Abstract

The main modern approaches to improving the efficiency and reliability of asynchronous motors are considered, a comparative analysis of the most effective methods for improving the efficiency of asynchronous motors and real examples of their application has been carried out.

Keywords: electric motor, asynchronous motor, efficiency factor, frequency converter, controller-optimizer.

Вступ

Незважаючи на високу ефективність сучасних електромеханічних перетворювачів, в процесі їх роботи виникають втрати магнітної, електричної та механічної енергії, що супроводжуються виділенням тепла, підсиленням шуму та вібрацій. Це зумовлено тертям рухомих елементів, перемагнічуванням магнітопроводу та осердя якоря електродвигуна у змінному магнітному полі, стрибками навантажень тощо.

Метою роботи є визначення способів мінімізації цих втрат і, відповідно, підвищення коефіцієнту корисної дії електродвигуна.

Огляд основних підходів до підвищення ККД асинхронних двигунів

Згідно загальноприйнятої класифікації, електричні машини бувають синхронними (з однаковою частотою обертання ротора і магнітного поля) та асинхронними (в яких магнітне поле обертається з більш високою швидкістю, ніж ротор). Електродвигуни останнього типу отримали більш широке поширення: близько 90% з усіх двигунів на планеті є асинхронні двигуни (АД). Вони застосовуються в усіх галузях промисловості, сільського господарства тощо. Така популярність пояснюється тим, що дані механізми прості у виготовленні, надійні, відносно недорогі та не потребують значних експлуатаційних витрат. Крім того, ККД АД значно вище, ніж у синхронного.

Проте, подібні пристрої мають і суттєві недоліки. До них слід віднести:

- високий пусковий струм;
- недостатній пусковий момент АД;
- неузгодженість механічного моменту на валу приводу з механічним навантаженням (що призводить до лавиноподібного підвищення сили струму і надлишкових механічних навантажень під час пуску та зниження ККД в періоди пониженого навантаження);
- неможливість точного регулювання швидкості АД тощо.

Всі ці фактори призводять до того, що ефективність роботи АД суттєво знижується.

Ключовими факторами, що впливають на ККД двигуна є ступінь його завантаження відносно номінального рівня, конструкція, модель, ступінь зносу, відхилення напруги в мережі живлення від номінального значення. Також ККД двигуна може помітно знизитися після його перемотування [1].

Підвищення ККД АД може бути досягнуто за рахунок використання більш якісних матеріалів і удосконалення конструкції. Це дозволить знизити втрати та підвищити ефективність використання АД. Наприклад, чим чистішою є мідь в обмотці, тим менший її опір, а більш якісна магнітна сталь дозволяє

зменшити втрати на перемагнічування. Підвищити ККД двигуна дозволить більш тонкий шар ізоляції обмоток, робота над удосконаленням таких матеріалів ведеться постійно. Ще одним перспективним напрямком є робота над зміною геометрії зубців осердя двигуна, що дозволить збільшити концентрацію магнітного поля і уникнути втрат за рахунок розсіювання енергії [2].

Для підвищення ефективності роботи АД, необхідно забезпечувати його завантаження на рівні не менше 75% від номіналу, підвищувати коефіцієнт потужності, регулювати напругу і де можливо – частоту струму живлення. Реалізація цих заходів забезпечується використанням спеціального обладнання, що дозволяє підвищити ККД електродвигуна.

Такі засоби поділяються на частотні перетворювачі, що змінюють швидкість обертання двигуна шляхом зміни частоти струму живлення, а також - пристрої плавного пуску, що обмежують швидкість зростання пускового струму та його максимальне значення.

Порівнюємо сучасні рішення для підвищення ККД АД з точки зору ефективності роботи та економічної доцільності.

Частотні перетворювачі для асинхронних двигунів

Одним з найбільш дієвих засобів підвищення ефективності роботи АД є частотний перетворювач, який трансформує однофазну або трифазну напругу з частотою 50 Гц в напругу з необхідною частотою (зазвичай від 1 Гц до 300-400 Гц, інколи до 3000 Гц) і амплітудою.

До складу перетворювача частоти входять:

1. Мікропроцесор, що забезпечує керування електронними ключами, контроль роботи обладнання, його діагностику та захист;

2. Схеми, що функціонують в режимі ключів і відкривають тиристори або транзистори. Дещо ефективнішими вважаються тиристорні перетворювачі частоти, оскільки вони можуть працювати з високими напругами і струмами та мають ККД до 98%. Проте, при не надто високих потужностях ця перевага незначна.

Існує два класи приладів залежно від будови і принципів роботи:

1. З безпосереднім зв'язком. Такі перетворювачі представляють собою випрямлячі. Система здійснює відмикання тиристорів і підключення до обмотки в мережі, в результаті чого утворюється вихідна напруга з частотою 0-30 Гц і обмеженим діапазоном керування швидкістю обертання приводу. Такі пристрої не можуть застосовуватися при оснащенні потужного устаткування, що використовується для регулювання багатьох технологічних параметрів.

2. З проміжною ланкою постійного струму. В подібних пристроях відбувається подвійне перетворення енергії: вхідна напруга випрямляється, фільтрується і згладжується, а потім за допомогою інвертора знову трансформується в напругу з необхідною амплітудою і частотою. Подібне перетворення може дещо знижувати ККД обладнання, але такі перетворювачі частоти мають широке застосування завдяки можливості давати на виході напругу з високою частотою.

Найбільшу популярність отримали пристрої другого типу, що забезпечують гнучке регулювання обертів АД.

Ефективність того чи іншого перетворювача значним чином залежить від відповідності його функціональних можливостей цілям використання. Таким чином, для обладнання електроприводів насосів і вентиляторів використовують перетворювачі з невисокою перевантажувальною здатністю і часто з U/f -керуванням, які при необхідності можуть підвищувати початкове значення вихідної напруги з метою збільшення моменту двигуна на низьких частотах.

Більш досконалими є пристрої з векторним керуванням, які регулюють не тільки частоту і амплітуду вихідної напруги, а й фази струму, що протікає через обмотки статора АД. Вони встановлюються на прокатні стани, конвеєри, підйомне, пакувальне обладнання тощо.

Якщо необхідно виконувати контрольоване гальмування двигуна, використовується функція сповільнення, яка забезпечує зупинку механізму за рахунок зміни частоти до потрібного рівня. Проте, якщо вимагається інтенсивне сповільнення, може знадобитись частотний перетворювач, обладнаний вбудованим або зовнішнім блоком гальмування. В режимі динамічного гальмування двигун переходить в генераторний режим і трансформує механічну енергію в електричну, яка повертається в коло постійного струму і або розсіюється в вигляді тепла на опорі гальмівного резистора, або повертає енергію в мережу шляхом рекуперації. Такий підхід актуальний для станкового і конвеєрного обладнання.

Частотний перетворювач з оберненим зв'язком дозволяє підтримувати постійну швидкість обертання при змінному навантаженні з більш високою точністю, ніж перетворювач без оберненого зв'язку, тим самим підвищуючи якість технологічного процесу в замкнених системах. Такі пристрої використовуються в робототехніці, дерево- та металообробці, в системах високоточного позиціонування.

Таким чином, перетворювач частоти для АД, принцип роботи якого описаний вище, забезпечує зниження витрат електроенергії, плавний запуск приводу і високу точність регулювання, підвищує пусковий момент і стабілізує швидкість обертання при змінному навантаженні. Все це в поєднанні дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії машини. До недоліків таких пристроїв можна віднести високу вартість, а також створення електромагнітних завад в процесі роботи [3].

Пристрої плавного пуску: контролери-оптимізатори

Для забезпечення плавного пуску, розгону і зупинки АД використовуються пристрої плавного пуску. Вони обмежують швидкість збільшення пускового струму протягом певного проміжку часу.

Традиційні пристрої плавного пуску не вирішують задачу підвищення ККД. Крім того, вони можуть застосовуватись тільки для керування приводами з невеликим навантаженням на валу. Однак, сьогодні існують різновиди пристроїв плавного пуску, що дозволяють підвищити енергоефективність двигунів шляхом узгодження крутного моменту з моментом навантаження і, як наслідок, зниження споживання електроенергії при мінімальних навантаженнях на 30-40%. Такі пристрої називають контролерами-оптимізаторами. Вони призначені для приводів, що не потребують зміни швидкості обертів АД.

Зокрема, щоб знизити енергоспоживання ескалатора за допомогою перетворювача частоти, необхідно було б зменшити його швидкість, але це неможливо, тому що тоді підйом пасажирів вимагатиме більше часу. А контролери-оптимізатори дозволяють знизити енергоспоживання без зміни швидкості електроприводу в тих випадках, коли він недовантажений.

Контролери-оптимізатори – це регулятори напруги живлення АД, що здійснюють контроль за фазами струму і напруги. Вони забезпечують повне керування приводом на всіх етапах роботи і захищають його від підвищеної та пониженої напруги, перевантаження, обриву або порушення чергування фаз тощо. Контролери-оптимізатори узгоджують значення крутного механічного моменту, що розвивається АД, зі значенням механічного моменту навантаження на його валу за рахунок зміни напруги живлення. При цьому швидкість обертання ротора АД залишається незмінною, а коефіцієнт потужності підвищується. Таке обладнання є функціонально завершеним і не потребує під'єднання додаткових пристроїв.

При роботі приводу в режимі динамічно змінюваних навантажень контролер забезпечує припинення відбору потужності з мережі живлення в моменти, коли напівпровідникові переходи тиристорів (керованих діодів) закриті, тобто не пропускають електричний струм. Тиристири відкриваються при надходженні управляючих імпульсів, затримка подачі яких визначається ступенем навантаження приводу, а закриваються при переході струму через нуль.

Контролери-оптимізатори забезпечують підвищення ККД дробарок, вентиляторів, стрічкових транспортерів, обробних верстатів, крутильних агрегатів, лебідок та іншого обладнання, що використовується в промисловості, сільському господарстві тощо. Одночасно, такі пристрої запобігають перевантаженню кронштейнів при запуску мішалок, нейтралізують гідроудари в трубопроводах, забезпечують плавний запуск потужно навантаженого обладнання, на що не здатні звичайні пристрої плавного пуску.

Контролери-оптимізатори оперативно реагують на зміну напруги (швидкість реакції контролера-оптимізатора на зміну навантаження складає соті долі секунди), знижують витрати електроенергії на 30-40%, зменшують вплив реактивного навантаження на мережу, підвищують ККД приводу, дозволяють зменшити витрати на конденсаторні компенсуючі пристрої, продовжують термін служби обладнання і підвищують екологічність виробництва. Крім того, вони відрізняються більш доступною ціною ніж перетворювачі частоти. Єдиним обмеженням для застосування контролера є неможливість його використання в тих випадках, коли необхідно змінювати швидкість обертання АД [4].

Висновки

Вибір пристрою для підвищення ККД АД того чи іншого електроприводу визначається особливостями роботи обладнання. Таким чином, якщо швидкість приводу потрібно змінювати, то єдиним можливим рішенням є застосування перетворювача частоти. Якщо швидкість обертання двигуна змінювати не можна або робити це не обов'язково, то кращим рішенням буде використання контролерів-оптимізаторів, які мають більш доступну вартість, ніж перетворювачі частоти.

Особливість сьогодення полягає в тому, що економити доводиться не тільки на витратах електроенергії, а й на самих засобах економії і підвищення енергоефективності. Тому, перед тим, як зробити вибір на користь того чи іншого пристрою, що підвищує ККД АД, важливо прорахувати окупність вкладень та обрати оптимальне рішення, використовуючи досвід професіоналів в даній сфері – розробників і виробників [1].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Как повысить КПД электродвигателя [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kp.ru/guide/asinkhronnyi-ielektrodvigatel.html> - Назва з екрану;
2. КПД электродвигателей и что влияет на его значение [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cable.ru/articles/id-1322.php> - Назва з екрану.
3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. – М.:Академия, 2006. – 265 с.
4. Муравлева О.О. Энергоэффективные асинхронные двигатели для регулируемого электропривода / О.О. Муравлева. – Томский политехнический университет, 2005.
5. Muravlev O.P., Muravleva O.O., Vekhter E.V. Energetic Parameters of Induction Motors as the Basis of Energy Saving in a Variable Speed Drive // The 4th Intern. Workshop Compatibility in Power Electronics CP 2005. – June 1-3, 2005, Gdynia, Poland, 2005. – P.61-63.
6. Nailen, R. L. (2002). "Just how important is drive motor efficiency?" Electrical apparatus, Barker Publications, Inc., Chicago, 32.

Опольський Ярослав Віталійович — студент групи 2СІ-146, факультет комп'ютерних систем і автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: opolsky.yarik@gmail.com

Науковий керівник: **Васюра Анатолій Степанович** — професор кафедри АІВТ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Opolskiy Yaroslav V. — student of group 2SE-14, Faculty of Computer Systems and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: opolsky.yarik@gmail.com

Supervisor: **Vasura Anatoliy St.** — Professor of Department of Automation and Information Measuring Devices, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia