

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Сотнік О. В., к.т.н., доц. e-mail: sotnikolga11@btu.kharkiv.ua
Державний біотехнологічний університет

Актуальність дослідження. Електричні приводи (ЕП) є найбільшими споживачами електроенергії у світі, на їх частку припадає біля 70 % всієї виробленої енергії [1, 2]. Основний елемент ЕП є електричні двигуни (ЕД), вони використовуються у всіх галузях: у промисловості, сільському господарстві, для побутових потреб тощо. Найпоширенішими на сьогоднішній день, через їх простоту конструкції та дешевизну, є асинхронні двигуни (АД) з короткозамкненим ротором (КЗ). До того ж ККД АД вище, ніж у двигунів інших типів та досягає 95 %. Через широкий спектр використання ЕП з АД, постає питання ефективного їх використання. Енергоефективні ЕД, це такі АД з КЗ, в яких за рахунок збільшення маси активних матеріалів, їх якості, а також за рахунок спеціальних прийомів проектування вдається підняти на 1-2% (потужні двигуни) або на 4-5% (невеликі двигуни) номінальний ККД при деякому збільшенні ціни двигуна, вони володіють підвищеною надійністю, більш низькими показниками по шуму і вібрації [2]. Тому, дослідження енергоефективності ЕП з АД є актуальним, а задля всебічного огляду питання, треба розглядати енергоефективність в цілому в ЕП. Комплекс заходів для ЕП: в ЕД, в перетворювачах частоти (ПЧ), в пускачах двигунів – це оптимальне поєднання для максимального підвищення енергоефективності. Застосування енергоефективних ЕП дозволить більш раціонально використовувати енергетичні ресурси, заощаджувати на фінансах, а якщо дивитись в цілому, то даний захід допоможе скоротити викиди парникових газів у світі.

Мета дослідження. Аналіз шляхів підвищення енергоефективності електричних приводів з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором.

Основні матеріали дослідження. Питання енергозбереження у ЕД та і в цілому в ЕП виникли ще від початку винаходу ЕД. Трифазний АД, винайдений Михайлом Доливо-Добровольським 1889 році, показав ККД 95%. З того часу показники ККД трифазного АД вдалося покращити лише на один-два відсотки. Подорожання вартості енергоносіїв відбувається з кожним роком і вже стало світовим трендом. Тому гостро стоїть інтерес до енергозберігаючих технологій.

Відповідно до проведених авторами досліджень, ціна двигуна становить менше ніж 2% сумарних витрат на життєвий цикл. Так, якщо двигун працює 4000 годин щорічно протягом 10 років, то на електроенергію припадає приблизно 97% всіх витрат на весь життєвий цикл. Ще близько одного відсотка припадає на монтаж та ТО. Тому збільшення ККД двигуна середньої потужності на 2% дозволить окупити збільшення вартості енергозберігаючого АД вже за 3 роки, залежно від режиму роботи [2].

Світове суспільство намагаючись привернути увагу до даної проблеми розробляє спонукаючі заходи. Таким заходом є розроблення нових стандартів зокрема, стандарт ІЕС 60034-30-1 [3-5] регламентує енергоефективність одношвидкісних ЕД змінного струму, що живляться від мережі. Для ЕД зі змінною швидкістю, діє стандарт ІЕС 60034-30-2 [3-5]. В Україні діють вітчизняні стандарти ДСТУ EN 60034-30-1:2022 та ДСТУ CLC ІЕС/TS 60034-30-2:2022. Відповідно нових стандартів є система класифікації ЕД змінного струму, де є п'ять рівнів енергоефективності [3-5]: ІЕ1 – стандартна ефективність; ІЕ2 – висока ефективність; ІЕ3 – преміальна ефективність; ІЕ4 – супер преміальна ефективність; ІЕ5 – ультра преміальна ефективність. Відповідно до регламенту ЄС640/2009 з 1 липня 2021 р. енергоефективність трифазних ЕД з номінальною потужністю від 0,75 кВт до 1000 кВт, за деякими виключеннями, має відповідати класу ефективності ІЕ3 або вище. А вже з 1 липня 2023 р. набув чинності третій етап європейських правил екодизайну для двигунів – (ЄС) 2019/1781 та (ЄС) 2021/341 – енергоефективність трифазних ЕД з номінальною вихідною потужністю від 75 кВт до 200 кВт повинна буде відповідати класу ІЕ4 або вище [3-5].

Для підвищення енергоефективності потрібно розглядати систему ЕП як єдине ціле та обирати оптимальне рішення. У багатьох випадках застосування пускачів ЕД залишається найефективнішим рішенням енергоспоживання. В ЕП, що мають постійну швидкість обертання, застосування пускачів є актуальним, також це відноситься і до систем де швидкість є фіксованою, а навантаження можуть бути різними. Як відомо, в момент пуску кратність пускового струму в АД перевищує номінальне значення в середньому 5-7 разів, хоч час розгону не триває довго, але подання повної напруги призводить до виникнення високого пускового струму та струму перевантаження з руйнівними падіннями напруги в електромережі та потужними імпульсними моментами в механічних компонентах. Зокрема це стосується систем з ЕД класу ІЕ3 або ІЕ4, оскільки пусковий струм у такого обладнання вищий, ніж у стандартних АД.

Пускачі двигунів, своєю чергою, також мають бути здатні витримувати високий пусковий струм для уникнення випадкового розмикання та передчасного зносу. Проте якщо потрібна змінна швидкість, ефективнішим варіантом зазвичай є ПЧ. Вони дозволяють досягти найбільшої економії енергії в машинах і системах, де залежність між швидкістю й моментом є не лінійною, а квадратичною, як у відцентрових насосах або вентиляторів. Ключовим фактором енергозощадження є наявність кубічної залежності між швидкістю й потужністю (наприклад, коли насос, що працює зі швидкістю 50 % від максимальної, споживає лише 1/8 потужності, яка потрібна за максимальної швидкості). При цьому навіть незначне зменшення швидкості призводить до суттєвої економії енергії. За таких обставин, для економії слід використовувати лише ПЧ, призначені для експлуатації з двигунами класів ІЕ3 та ІЕ4. Для трифазних АД співвідношення активного та індуктивного опору з підвищенням класу енергоефективності змінюється, що, своєю чергою, веде до зміни векторів струму. Застосування ПЧ, не оптимізованих для двигунів класу ІЕ4, може мати певні негативні ефекти. В найгіршому випадку двигун взагалі не запуститься, а навіть у разі запуску може працювати із шумом, відсутністю плавності та належного електромагнітного моменту. В деяких випадках навіть можуть спрацювати захисні механізми, що допомагають уникнути пошкодження двигуна чи приводу. Наприклад, у випадку з трифазним АД система захисту може виявити коротке замикання й зупинити весь агрегат, хоча насправді жодної проблеми немає. Лише шляхом адаптації відношень опорів та правильної реакції системи керування можна забезпечити надійну роботу в усьому діапазоні швидкості, навіть за умов змінного навантаження.

Висновок. Для виходу на максимальний рівень енергоефективності необхідно проаналізувати всю приводну систему. Лише належне поєднання енергоефективних АД і правильно підібраних пускачів чи ПЧ дозволить створити рішення, що стане енергоефективним і водночас економічним.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сотнік О. В., Величко І. А., Сотнік О. В. Теоретичне обґрунтування запасу потужності асинхронних двигунів електропривода сільськогосподарських машин. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Вісник ХНТУСГ. Х.: ХНТУСГ. 2018. Вип. 195. С. 130 –131.

2. Gundabattini, Edison, Kuppan, Ravi, Solomon, Darius Gnanaraj, Kalam, Akhtar, Kothari, DP and Abu Bakar, Rosli A review on methods of finding losses and cooling methods to increase efficiency of electric machines / Ain Shams Engineering Journal, 2021. 12 (1). pp. 497-505. ISSN 2090-4479

2. IEC60034-2-1, 2nd Ed.: Rotating electrical machines - Part 2-1: Standard method for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles), 2013.

3 IEC60034-30, 1st Ed.: Rotating electrical machines - Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code), 2008.

4. Дзеніс С., Шайда В., Юр'єва О. Шляхи подолання бар'єру при переході асинхронних двигунів до класу енергоефективності ІЕ5 / Вісник НТУ «ХП». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика, 2024. № 1 (11), С. 60–67.
<https://doi.org/10.20998/2079-3944.2024.1.11>