

АЛГОРИТМИ ЗАОЩАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ: ДЕТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Антипчук Богдан Олександрович

викладач спеціальних дисциплін

Житомирський агротехнічний фаховий коледж

м. Житомир, Україна

Анотація. Економія електроенергії має значний вплив на фінансові результати підприємств і домогосподарств, тому вирішення цього питання є вкрай важливим. Однак проблему енергозбереження слід розглядати не лише з фінансової точки зору, а й у контексті зменшення навантаження на електричну мережу та продовження терміну служби електрообладнання. Для вирішення цих завдань необхідно розробити системний підхід до експлуатації електричних двигунів, зокрема алгоритм економії електричної енергії. У цій статті детально аналізується питання покращення роботи електродвигунів з метою досягнення максимальної енергоефективності.

Ключові слова: електричний двигун, електроенергія, швидкість обертання, широтно-імпульсна модуляція, момент навантаження, роботизовані системи, перехідний процес.

Що ж слід розуміти під алгоритмом заощадження електроенергії двигунами? Насамперед, це метод або набір методів управління електродвигуном, що має на меті підвищення його ефективності та зменшення витрат електроенергії. У таких алгоритмах можуть застосовуватися різноманітні технології та принципи для оптимізації роботи електродвигунів в залежності від їхнього поточного навантаження на двигун або умов його експлуатації.

Основні складові алгоритмів економії електроенергії для електродвигунів можуть включати: регулювання швидкості обертання двигуна, контроль

моменту навантаження на двигун, використання режимів очікування, оптимізація перехідних процесів, реактивне управління енергією.

Зупинимось детальніше на кожній складовій цього алгоритму. І так, регулювання швидкості обертання двигуна передбачає зміну швидкості обертання двигуна в залежності від навантаження, що може значно знизити енергоспоживання, оскільки електродвигуни, що працюють на постійній швидкості, іноді використовують більше потужності, ніж потрібно.

Для асинхронних двигунів синхронна швидкість обертання:

$$n_{\text{синх}} = \frac{60 * f}{p}, (1)$$

де $n_{\text{синх}}$ – синхронна швидкість обертання (об/хв); f – частота мережі живлення (Гц); p – число пар полюсів статора.

Швидкість ковзання:

$$s = \frac{n_{\text{синх}} - n}{n_{\text{синх}}}, (2)$$

де s – ковзання; $n_{\text{синх}}$ – синхронна швидкість обертання (об/хв); n – фактична швидкість обертання ротора (об/хв).

Фактична швидкість обертання ротора:

$$n = n_{\text{синх}} * (1 - s), (3)$$

де n – фактична швидкість обертання ротора (об/хв); s – ковзання; $n_{\text{синх}}$ – синхронна швидкість обертання (об/хв).

Для асинхронних двигунів (змінний струм) зазвичай регулювання швидкості обертання виконується за допомогою частотних перетворювачів (інверторів). Переваги такого частотного регулювання полягають у зменшенні швидкості обертання, що сприяє зниженню енергоспоживання, оскільки потужність двигуна пропорційна кубу швидкості ($P \sim n^3$) для вентиляторів, насосів та подібних механізмів, а це дає значну економію електроенергії, особливо, якщо двигун працює при частковому навантаженні. Звичайно, частотний перетворювач сам споживає певну кількість енергії, але це незначна втрата з урахуванням того, яку кількість електроенергії можна заощадити.

Швидкість обертання для двигунів постійного струму:

$$n = \frac{U - I_a * R_a}{k * \Phi}, (4)$$

де U – напруга живлення; I_a – струм якоря ; R_a – опір якоря; k - конструктивна константа двигуна; Φ – магнітний потік.

Для двигунів постійного струму швидкість можна регулювати шляхом зміни напруги або використанням широтно-імпульсної модуляції.

При зменшенні напруги споживання енергії знижується, оскільки двигун вимагає меншої кількості енергії для функціонування на нижчих швидкостях.

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) дає змогу регулювати середню напругу, що подається на двигун, з мінімальними енергетичними втратами. Сигнал ШІМ формується з послідовності імпульсів, які мають визначену частоту та змінний робочий цикл (співвідношення тривалості імпульсу до загального періоду).

ШІМ також дозволяє підтримувати струм в межах, необхідних для конкретного режиму роботи, що виключає ризик перегріву або перевантаження двигуна.

Ще перевага ШІМ у тому, що завдяки імпульсному характеру сигналу, енергетичні втрати під час регулювання швидкості зменшуються до мінімуму. У порівнянні з традиційними методами зниження напруги, які використовують резистори або лінійні регулятори, імпульсні методи є більш ефективними, оскільки не призводять до значного розсіювання енергії у вигляді тепла.

Також ШІМ забезпечує швидку та точну регуляцію швидкості обертання двигуна, що робить його підходящим для різноманітних застосувань – від простих вентиляторів до складних роботизованих систем.

Проте є один незначний недолік: застосування широтно-імпульсної модуляції генерує високочастотні гармоніки, що можуть викликати електромагнітні перешкоди, тому може знадобитись встановлення додаткових фільтрів для зменшення їхнього впливу на інші електронні пристрої.

Розглянемо контроль моменту навантаження на двигун – процес, що включає вимірювання, аналіз та регулювання моменту сили, який виникає на

валу двигуна внаслідок прикладеного механічного навантаження. Цей аспект управління двигунами є важливим для забезпечення ефективної, стабільної та безпечної роботи системи.

Є кілька методів контролю моменту навантаження на двигун: прямий контроль моменту (застосовується в частотних перетворювачах, де здійснюється вимірювання та регулювання моменту двигуна безпосередньо за допомогою датчиків струму та напруги, що забезпечує високу точність і швидкий відгук); векторне керування (двигун керується за допомогою векторного представлення електромагнітних процесів, що дає змогу незалежно контролювати як момент, так і швидкість); контроль моменту через датчики навантаження (датчики монтуються на валу двигуна або в місці кріплення навантаження, забезпечуючи точні дані про фактичний момент); контроль моменту через моделювання (математична модель системи дає змогу виконувати розрахунки моменту без використання фізичних датчиків, що сприяє зниженню витрат і є корисною в складних системах).

Контроль моменту є надзвичайно важливим, оскільки гарантує захист двигуна та обладнання від перевантажень і ушкоджень та дозволяє уникати раптових стрибків моменту, які можуть завдати шкоди механізмам.

Цей метод забезпечує двигуну роботу на оптимальному рівні потужності та знижує енергетичні втрати, особливо в системах з варіативним навантаженням.

У разі раптового зростання або зменшення моменту система здатна зупинити двигун, щоб запобігти пошкодженням, що важливо під час аварійних ситуацій.

Контроль моменту сприяє оптимізації функціонування двигунів і механізмів, гарантуючи їхню надійність та тривалий термін служби.

Наступна складова алгоритмів економії електроенергії – використання режимів очікування, коли двигун здатен автоматично переходити в економічний режим або навіть вимикатися, якщо не використовується або працює з низьким навантаженням протягом визначеного часу. Для цього

можуть використовуватися таймери або автоматичні системи керування.

Регулювати швидкість двигуна, знижуючи її в періоди очікування, дозволить застосування частотних перетворювачів, що мінімізує енергоспоживання без повного вимкнення двигуна.

Щоб оцінювати навантаження та потребу в роботі двигуна, можна застосовувати інтелектуальні системи, що дозволить двигуну переходити в енергоефективний режим очікування.

Оптимізуючи режим очікування в роботі двигуна, можна зменшити споживання електроенергії під час простою, зменшити механічний знос обладнання, знизити температуру і механічне навантаження, що продовжить термін служби двигуна.

Перехідні процеси в електродвигуна – це зміни в їхніх електричних і механічних характеристиках під час запуску, зупинки, зміни режимів роботи або навантаження. Ці процеси є важливою складовою роботи електродвигунів і можуть впливати на їхню енергоефективність. Оптимізація таких процесів допомагає зменшити втрати електроенергії, продовжити термін експлуатації обладнання та знизити витрати на його обслуговування.

Під час перехідних процесів відбуваються енергетичні втрати через:

- значне перевищення номінальних значень струмів під час запуску електродвигуна;
- вібрації та пікові навантаження;
- невірне налаштування параметрів системи управління;
- нерівномірне обертання ротора;
- зростання реактивної складової струму;
- коливання фазних струмів і напруг.

Щоб запобігти цим енергетичним втратам, потрібно застосовувати плавний пуск, використовуючи частотних перетворювачі та пускачі із плавним запуском; адаптувати швидкість обертання двигуна до потреб технологічного процесу дозволяють частотні перетворювачі, а системи з автоматичним регулюванням мінімізують вплив перехідних процесів; використовувати

двигуни із високим ККД (клас енергоефективності IE3, IE4); використовувати конденсаторні батареї або інші пристрої для компенсації реактивної потужності; забезпечити стабільність напруги в мережі; регулярно проводити діагностику обмоток та контактів, усувати забруднення та не допускати перегрів електродвигуна.

І остання складова алгоритму економії електроенергії для електродвигунів – реактивне управління енергією.

Перед тим як перейти до управління реактивною енергією в електродвигунах, важливо зрозуміти, що це таке. Реактивна енергія є формою енергії, яка постійно переміщується між джерелом живлення та електричним навантаженням. На відміну від активної енергії, що перетворюється на корисну роботу (наприклад, обертання валу двигуна), реактивна енергія не виконує жодної корисної роботи, а лише генерує магнітне поле, необхідне для функціонування електродвигуна.

Управління реактивною енергією сприяє підвищенню коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$), що є ключовим показником ефективності споживання електричної енергії, а зменшення реактивної енергії сприяє стабілізації напруги в електричній мережі:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}, (5)$$

де P – активна потужність (кВт); S – повна потужність (кВА).

Існує кілька ключових способів управління реактивною енергією в електродвигунах: 1) паралельно до електродвигуна підключаються конденсатори, які компенсують його реактивну потужність; 2) використовувати інвертори для зміни частоти і напруги живлення двигуна, це дозволить оптимізувати роботу двигуна в широкому діапазоні навантажень; 3) на великих підприємствах використовувати синхронні компенсатори, які забезпечать високу точність регулювання і можуть працювати як генератори або споживачі реактивної потужності. Реактивне управління енергією забезпечить зниження втрат і підвищення коефіцієнта потужності, зменшить перенавантаження на двигун й підвищить якість електропостачання. Реактивне управління енергією є

ключовим елементом ефективного використання електроенергії в промисловому секторі. Використання сучасних методів управління реактивною енергією дає змогу суттєво зменшити витрати на електрику, підвищити надійність електропостачання та покращити екологічні показники виробництва. Алгоритми економії електроенергії, що використовуються в електродвигунах, набувають дедалі більшого значення в сучасному світі, де енергоефективність є одним із основних аспектів сталого розвитку. Оптимізація функціонування електродвигунів дає змогу: зменшити витрати на електроенергію, знизити навантаження на енергосистему, скоротити викиди парникових газів, продовжити термін служби електродвигунів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В. Основи електропривода. Теорія і практика. : навч. посібник. Ч. 1 / А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Вінниця : ВНАУ, 2020. 387 с.
2. Закладний О. М. Електропривод : навч. посібник / О. М. Закладний, В. В. Прокопенко, О. О. Закладний. Київ : КПІ, 2008. 316 с. : іл.
3. Електропривод : підручник / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П.І. Савченко [та ін.] ; за ред. Ю. М. Лавріненка. 2-ге вид., доповн. і переробл. Київ : Ліра-К, 2009. 504 с.
4. Кінаш А. Т. Електротехніка. Електричні машини : навч. посібник / А. Т. Кінаш. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 152 с.
5. Коренькова Т. В. Автоматизований електропривод типових промислових механізмів. Практикум і тестові завдання : навч. посібник / Т. В. Коренькова, В. Г. Ковальчук, А. П. Калінов. 2-ге вид., переробл. і доповн. Кременчук : КНУ ім. М. Остроградського, 2023. 190 с.