

КОНТРОЛЬ ТА АНАЛІЗ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ РЕЖИМІВ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Вступ. Електропривод є ланкою, що зв'язує систему електропостачання з технологічними установками. У деякій мірі електропривод виконує роль регулятора цих зв'язків.

Сучасний автоматизований електропривод є складною функціонально - взаємозалежною за елементами системою, що являє собою конструктивну єдність електромеханічного перетворювача енергії (двигуна) і електричного перетворювача, які утворюють енергетичний (силовий) канал, а також пристроїв керування перетвореною енергією й інформаційно-вимірювальних пристроїв. Електропривод забезпечує перетворення електричної енергії в механічну відповідно до алгоритму роботи технологічної установки.

Сфера застосування електричного привода в промисловості, на транспорті й у побуті постійно розширюється. На даний час понад 60% всієї виробленої у світі електричної енергії споживається електричними двигунами. У деяких галузях промисловості споживання електроенергії електроприводом сягає 80% [1, 2]. За самими скромними оцінками на одного жителя Землі припадає більше 10 електричних двигунів, з яких принаймні один вимагає якісного регулювання швидкості. Отже, ефективність енергозберігаючих технологій значною мірою визначається ефективністю електропривода. Тим часом про економічність привода говорити рано, хоча б у силу малих фактичних значень його коефіцієнтів завантаження, що має місце у більшості випадків.

Електроприводи зі складним, складно керованим технологічним процесом складають невелику частку від загального числа. Основна ж їх частина — прості, зазвичай нерегульовані масові пристрої, як наприклад, вентилятори, насоси, конвеєри, підйомні крани, механізми в переробній промисловості, будівництві і т.д. Саме ці об'єкти є основними споживачами електроенергії і тут можлива реальна її економія.

Енергозбереження в електроприводі є частиною загального процесу ефективного використання електроенергії визначається трьома процесами:

- енергоспоживанням;
- енерговикористанням споживаної енергії;
- енергоуправлінням процесу енергоспоживання.

Енергоспоживання - процес формування складових потужності на вході перетворювача при роботі електропривода. Цей процес характеризується залежностями активної, реактивної потужності перетворення від швидкості і моменту двигуна.

У питаннях енергоспоживання необхідне чітке уявлення про характер перетворення енергії, складові потужності, про показники якості електроенергії, їх вплив на характеристики електромеханічних перетворювачів.

Енерговикористання - використання потужності, споживаної з мережі. Цей показник характеризує якість сторони процесу енергоспоживання. Він показує, наскільки ефективно використання споживаної електроенергії, яка частина її належить до втрат, а яка - до корисної потужності, що йде на вал робочої машини, як розподіляються втрати, що визначають робочий режим електродвигуна, його температуру і надійність.

У питаннях енерговикористання найважливішим є баланс складових потужності, що дозволяє виявити механізми старіння електроустаткування на додачу до відомих і пов'язаних в основному з термічним характером впливу енергопроцесів на робочі й експлуатаційні характеристики.

Енергоуправління - процес формування режимів енергоспоживання за допомогою технічних пристроїв і систем, що впливають на кола керування електроприводом та перетворювальними пристроями, що живлять ці кола. До енергоуправління слід віднести керування перерозподілом втрат в електричних двигунах, оптимізацію втрат, мінімізацію нагрівання активних частин електричної машини, зниження рівнів споживаної реактивної потужності і генерування гармонік струму.

Такий енергетичний підхід, що базується на спільності процесів енергоспоживання, енерговикористання і енергоуправління, пов'язує в єдиний електромеханічний комплекс елементи, що розглядалися раніше без взаємозв'язку: енергосистема, споживач (електропривод) і технологічна установка.

Розглянемо процеси, що впливають на енергозбереження в електроприводі, і визначальні тенденції його розвитку:

- збільшення енергоємних технологій при зростаючій складності одержання енергії, дефіциті доступних енергоресурсів. Добути тонну палива і виробити відповідну кількість електроенергії приблизно вдвічі дорожче, ніж заощадити. Надалі ця різниця зростатиме;
- ускладнення технолога, що призводить до збільшення частки регульованого чи керованого по пуску електропривода. Закінчується дискусія про можливі варіанти регульованого електропривода - практично однозначно вибір робиться на користь електропривода змінного струму;

- зростаючі вимоги створення умов для безаварійної роботи електропривода за рахунок підвищення ефективності контролю режимів енерговикористання електричних машин, енергопостачальних мереж;
- бурхливий розвиток перетворювальної техніки (тиристорів, що зачиняються, і силових транзисторів) та засобів керування (мікроелектроніки, мікропроцесорної техніки і т.д.);
- поява доступних кожному інженеру потужних обчислювальних засобів, що відкривають нові можливості раціонального проектування й оптимізації електропривода.

Тому актуальною є задача розробки і широкого впровадження енергозберігаючих заходів і засобів промислового електропривода.

Одним з механізмів втілення енергозбереження в життя є енергетичний менеджмент. Дотепер в енергетичному менеджменті деталізоване управління раціональним використанням енергії не поширювалося на конкретного технологічного споживача, його режими роботи. В першу чергу розглядалось підприємство в цілому, певна технологічна лінія. І якщо навіть контроль конкретного обладнання, наприклад, електропривода, відбувався, то він не був постійним і безперервним та відбувався по факту, не в реальному часі, коли неефективне споживання вже мало місце значний проміжок часу.

Однак останнім часом енергетичний менеджмент набув нових рис, а саме, він почав поширюватися на кінцевого споживача [1]. І це є новим стандартом в методології енергетичного менеджменту, коли вводиться такий високий ступінь деталізації, безперервний контроль за споживанням енергії і відповідно оперативне реагування на погіршення енергоефективності.

При проектуванні технологічного процесу при виборі електропривода не зверталась увага на його економічність протягом усього строку життя, а за основу брали відповідність його умовам технологічного процесу. На новому етапі розвитку енергетичного менеджменту повинна розглядатися не просто оцінка завантаження привода, і не тільки його стандартні характеристики та енергоефективність в даний момент часу, а робитися оцінка його економічності за увесь строк служби. Це і розглядає індустріальний енергоменеджмент.

Постановка задачі дослідження. У зв'язку з цим особливої ваги набуває робота, направлена на створення систем, що забезпечували б контроль області економічної роботи шляхом порівняння "ідеального" режиму функціонування системи з діючим режимом в реальному часі (рис. 1).

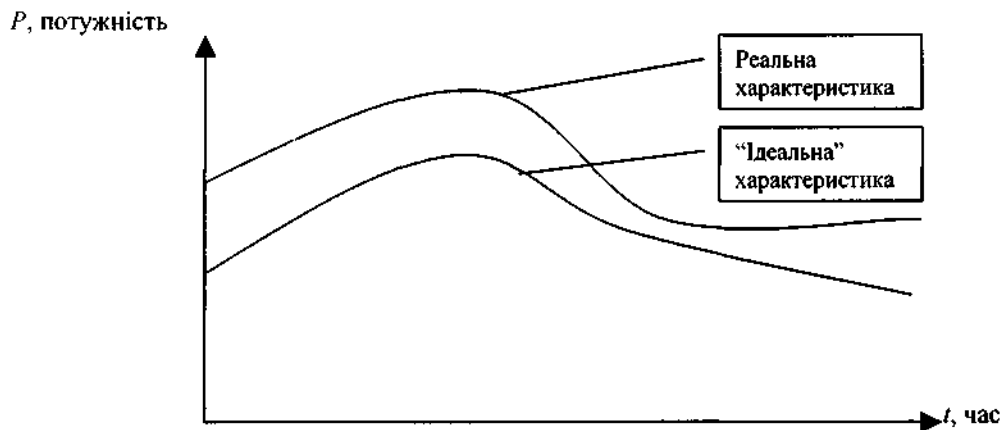


Рис. 1. Порівняння "ідеального" режиму функціонування системи з діючим режимом в реальному часі

В результаті багатьох чинників, зокрема таких, як робота привода з недовантаженням, недостатнє технічне обслуговування, нерациональне керування технологічним процесом, якихось випадкових факторів, реальне споживання енергії завжди буде відмінним від теоретично ідеального. Таким чином контроль та оцінка вказаних розходжень між фактичним та ідеальним споживанням енергії і є предметом цієї роботи. Сам собою контроль, звичайно, не зекономить енергію, але за його допомогою можна визначити, де і коли ми повинні вжити заходів для усунення неефективного використання енергії. Існують межі, при яких роботу електропривода можна вважати енергоефективною. Ці межі залежать від технологічного процесу, параметрів роботи привода тощо. Тобто постає задача визначення меж області енергоефективної роботи електропривода для різних технологічних процесів.

Енергоефективність привода зараз оцінюється аперіодично, наприклад при проведенні енергоаудиту. В роботі ставиться задача безперервного, постійного контролю за економічністю споживання електроенергії приводом. Дана робота не ставить собі за мету побудову ідеальної математичної моделі привода, адже це є сферою фахівців в галузі електропривода, ми лише використовуємо їх досвід. Тобто існує необхідність розробки високопродуктивних, компактних і економічних систем контролю та аналізу енерговикористання приводом.

В експлуатації, в основному, доводиться мати справу з режимами, не нормованими стандартами. Найбільш характерним є режим з швидкозмінним навантаженням, коли двигун періодично входить у режим перевантаження, повертаючись потім на номінальний, або входячи у режим роботи з

навантаженням меншим номінального.

Вибір оцінки електропривода зумовлений функціональним призначенням та умовами його роботи в технологічному процесі. У зв'язку з цим доцільно виділити дві групи електроприводів.

До першої групи віднесемо електроприводи, для яких основним є статичні режими роботи з постійним навантаженням або навантаженням, що повільно змінюється. До другої групи віднесемо електроприводи, які працюють головним чином в динамічних режимах, що пов'язані з відпрацюванням швидкозмінних керуючих дій та збурень. Відмічені фактори визначають відмінність у методах вирішення задач контролю енергоефективності привода.

Фізичний процес електроспоживання є неперервною функцією часу. Для вимірювання та подальшої обробки даних про ефективність електроспоживання за допомогою цифрових технічних засобів необхідно перетворити досліджуваний процес у дискретну форму. Правильний вибір інтервалу дискретизації дозволить з достатнім ступенем точності відновити значення досліджуваної функції в інтервалах між замірами. В даній роботі нас цікавить поведінка безперервного процесу електроспоживання, вищого за деяке введене обмеження, яке є межею області економічної роботи привода. Тобто при організації контролю енергоефективності за період часу необхідно вибрати такий крок дискретизації, щоб зафіксувати перевищення певних значень. Очевидно, що задача вирішується тривіально, шляхом вибору достатньо малого кроку дискретизації. Але зайва обробка інформації, пов'язана з вимірюваннями, непотрібна як з точки зору функціонування системи, так само і з точки зору формування вихідної інформації. Тобто необхідно вибрати такий крок дискретизації, щоб забезпечити мінімальний обсяг оброблюваної інформації і в той же час зафіксувати перевищення значень області енергоефективності, забезпечуючи необхідну точність вимірювань. Таким чином, виникає задача визначення кроку дискретизації.

Основною метою роботи є дослідження та розробка методів та засобів контролю й аналізу енергоефективності електропривода в реальному часі за умов дії нових стандартів енергоменеджменту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Визначити шаг дискретизації для контролю енергоефективності електропривода.
2. Обґрунтувати та запропонувати систему ведення бази даних.
3. Дослідити та розробити методи визначення області економічної роботи та її меж для будь-яких технологічних процесів на базі електропривода.
4. Розробити та дослідити технічні засоби контролю енергоефективності електропривода.

Матеріали дослідження. Сьогоднішній стан розвитку технічних засобів дозволяє вирішити ці завдання на апаратному рівні за допомогою мікроконтролерів. Мікроконтролер має містити енергетичну модель електромеханічного пристрою, що враховує чотири складові: мережі, перетворювальний пристрій, двигун і технологічний механізм у площинах споживання енергії, її використання і енергоуправління.

Зростаючі можливості мікропроцесорної техніки призвели до того, що при масовому виробництві виробів з обсягом випуску не менш 10000 штук на рік, виявляється можливим і економічно доцільним створення потужних, однокристальних систем контролю, аналізу, керування приводами, технологічними процесами на базі мікроконтролерів. Їхня вартість при обмежених інтерфейсних функціях не буде перевищувати 10-20\$ [3].

Основні витрати при розробці таких систем припадають не на створення апаратної частини контролера, а на розробку алгоритмічного й програмного забезпечення. Тому роль фахівців в області теорії електропривода істотно зростає. Для оцінки економічної ефективності слід зважати на такі показники, як строк окупності, дисконтований строк окупності, чиста приведена вартість, внутрішня норма прибутковості. Окремо слід відмітити, що за основу економічних розрахунків встановлення такої системи слід приймати економічну вигоду на протязі всього життєвого циклу функціонування системи.

Застосування програмних алгоритмів контролю й аналізу ефективної роботи системи дозволяє істотно прискорити строки розробки апаратної частини й створити універсальну конструкцію пристрою. При цьому для конкретного застосування змінюються тільки настройки програми (програмні рішення дозволяють легко адаптувати систему до конкретного завдання) і набір датчиків.

Забезпечується можливість прямого введення в мікроконтролер сигналів різних зворотних зв'язків (незалежно від типу сигналу: аналоговий чи цифровий) з подальшою програмно-апаратною обробкою всередині мікроконтролера [4].

Поява мережевих інтерфейсів, вбудованих у сучасні мікроконтролери, дозволяє вирішити завдання обміну інформацією між контролерами та персональним комп'ютером у реальному часі й поєднання декількох контролерів у локальну мережу, що дуже важливе при комплексній автоматизації виробництва.

Рис. 2 демонструє функціональну схему взаємозв'язків такої системи в реальному технологічному процесі.

Перспективні системи контролю та аналізу електроприводів повинні розроблятися з орієнтацією на комплексну автоматизацію технологічних процесів і погоджену роботу кількох приводів у складі промислової мережі. Керування мережею бере на себе керуюча ЕОМ.

Потужна мікропроцесорна техніка в поєднанні з принципово новими пристроями для вимірювання дають змогу проводити постійний контроль за станом як силового обладнання, так і пристроїв керування із постачання необхідної інформації обслуговуючому персоналу.

До мікроконтролера надходить інформація з технологічних датчиків. Сучасне устаткування для протоколювання подій фіксує велику кількість параметрів, які надходять на вхід контролера для

подальшої обробки.

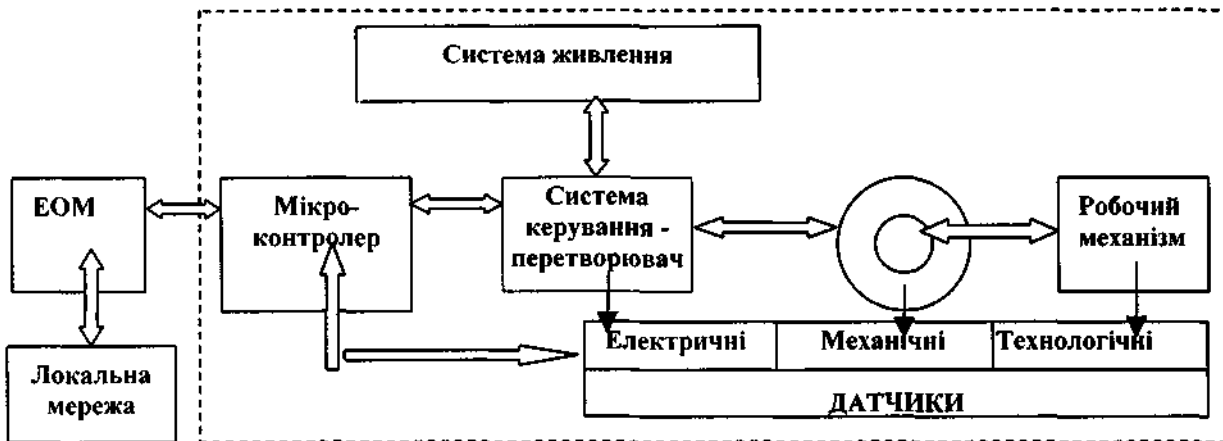


Рис. 2. Функціональна схема взаємозв'язків системи обміну інформацією в реальному технологічному процесі

В загальному вигляді вимірюваними є фізичні величини:

- електричні (струм, напруга, потужність і т.п.);
- механічні (момент, швидкість, переміщення і т.п.);
- технологічні (тиск, продуктивність і т.п.).

До датчиків ставляться вимоги лінійності характеристик, високої точності, чутливості, швидкодії, надійності, відсутності зворотної дії на вимірювану величину, стабільності характеристик у часі й при зміні умов навколишнього середовища, достатньої захищеності від перешкод.

Математичне перетворення застосовується до сигналу для того, щоб одержати про нього додаткову інформацію, недоступну у вихідному вигляді. При обробці сигналів автори рекомендують використовувати такий математичний апарат, як вейвлет-аналіз.

Аналіз і обробка нестаціонарних (у часі) або неоднорідних (у просторі) сигналів різних типів являє собою основне поле застосування вейвлет-аналізу. Вейвлетний аналіз - це особливий тип лінійного перетворення сигналів і відображуваних цими сигналами фізичних даних про процеси й фізичні властивості природних середовищ та об'єктів. Базис власних функцій, за яким проводиться розкладання сигналів, має багато спеціальних властивостей і можливостей [5].

На відміну від традиційно застосовуваних для аналізу сигналів перетворення Фур'є, вейвлет-перетворення забезпечує двовимірне розгорнення досліджуваного одновимірного сигналу, при цьому частота й координата розглядаються як незалежна змінна. У результаті з'являється можливість аналізувати властивості сигналів одночасно у фізичному (час, координата) і в частотному просторі. Сказане легко узагальнюється на неодномірні сигнали або функції. Хоча поняття вейвлета й вейвлет-розкладання є порівняно новими, вони вже знайшли широке застосування в обробці сигналів.

Асинхронні двигуни, як правило, розраховані на термін служби 15 - 20 років без капітального ремонту за умови правильної їх експлуатації. Під правильною експлуатацією АД розуміється його робота відповідно до номінальних параметрів, зазначених в паспортних даних електродвигуна. Однак у реальному житті має місце значне відхилення від номінальних режимів експлуатації. Це, передусім, низька якість напруги живлення й порушення правил технічної експлуатації: технологічні перевантаження, умови навколишнього середовища (підвищені вологість, температура), зниження опору ізоляції, порушення охолодження.

Застосування подібного інструменту контролю й аналізу дозволяє здійснювати попереджувальне обслуговування електроустановки. Насиченість парку електричними машинами, що були в ремонті свідомо визначає досить високі витрати на ремонт електроустаткування. При цьому висока аварійність електричних машин визначається не стільки низькою якістю ремонту, скільки зміною характеристик конструкційних матеріалів (насамперед електротехнічної сталі), що призводять до перерозподілу втрат у двигуні і зміни теплового балансу та зниження реальної навантажувальної спроможності.

У результаті аварій щорічно виходять із ладу до 10% застосовуваних електродвигунів. Наприклад, 60% свердловинних електронасосних агрегатів виходять з ладу частіше одного разу на рік. Вихід з ладу АД призводить до важких аварій і значних матеріальних збитків через простой обладнання, затрати на усунення наслідків аварій і ремонт електродвигуна, що вийшов з ладу. Ремонт електричної машини потужністю до 1 кВт обходиться в 250-300 грн. Крім цього, робота на аварійних режимах призводить до підвищеного енергоспоживання та збільшення споживаної реактивної потужності.

Перехід до цифрових систем моніторингу привода на базі спеціалізованих мікроконтролерів дозволить забезпечити новий, недосяжний раніше рівень показників енергоефективності. Переваги такого підходу полягають у тому, що:

- створюється стратегія постійного контролю енергоефективності в реальному часі;
- створюється історія стану й поведінки системи; це дозволяє виявити тенденції, що формуються, для вживання попереджувальних профілактичних заходів. Зокрема, наприклад, попередження незапланованих зупинок є вкрай важливим ресурсозберігаючим завданням. Також попереджувальне обслуговування сприяє зниженню сумарного часу простою критично важливого устаткування;
- інформується відповідальний персонал у режимі реального часу про вже існуючі і виникаючі проблеми шляхом одержання повідомлень на термінали персональних комп'ютерів;
- підвищується надійність і термін служби привода (до 20 років і більше);
- швидко і якісно інтегрується привод в систему комплексної автоматизації виробництва за допомогою уніфікованих інтерфейсів сполучення із системами керування більш високого рівня й відповідних засобів програмної підтримки;
- формуються достовірні дані для прийняття таких відповідальних рішень, як придбання нового обладнання, планування розширення системи;
- є місцева й дистанційна діагностика, тобто вбудований і віддалений (по мережі моніторинг стану привода);
- є інтерактивний дружній інтерфейс із людиною-оператором мовою краши використання привода: відображення на вбудованому дисплеї інформації про поточний стан привода й значення спостережуваних змінних;
- існує можливість попередження аварійних ситуацій у технологічному устаткуванні. Дані, зібрані в ході моніторингу, допомагають поставити точний діагноз причин, що трапились у випадку аварій: що відбулося, чому, які елементи й параметри призвели до аварії;
- існує проста адаптація до конкретної технології або специфіки застосування привода;
- універсальність мікроконтролерів незалежно від типу виконавчого двигуна, структури силового каналу, типів використовуваних датчиків зворотних зв'язків;
- є можливість використання найоптимальніших математичних моделей, структур і алгоритмів, які раніше були недоступні;
- існує простота відновлення програмного забезпечення: системи на базі мікроконтролерів із флеш-пам'яттю можуть швидко змінювати при необхідності секції і алгоритм і регульовані змінні.

Ефект при застосуванні запропонованої розробки мікроконтролерів досягається за рахунок таких факторів:

- економляться енергоресурси;
 - збільшуються терміни служби технологічного обладнання;
 - знижуються витрати на планові та попереджувальні ремонтні роботи;
 - забезпечується достовірне контролю за станом технологічних процесів.
- Висновок.** Електропривод споживає понад 60% виробленої електроенергії і ця цифра постійно зростає. В багатьох випадках двигуни працюють неефективно, виконують технологічну функцію без врахування енергоефективності. Отже, заходи з енергозбереження мають в цій галузі значний резерв.
- Існує необхідність створення системи контролю параметрів привода та аналізу ефективності його роботи шляхом порівняння ідеальної характеристики з реальною з метою подальшого вживання заходів стосовно економії електроенергії.
- Ця технологія апаратно повинна базуватися на сучасному мікроконтролері, що здатен отримувати інформацію з датчиків, аналізувати її за спеціальною програмою та в реальному часі розв'язувати складні математичні рівняння, мати інтерфейс взаємодії з системою керування, персональним комп'ютером тощо. Програмно це рішення повинно базуватися на алгоритмах, що здатні вести базу даних, аналізувати отримані характеристики будь-якого технологічного процесу, у складі якого є електропривод, на предмет ефективності використання електроенергії двигуном в реальному часі. Тобто на виході така система "ставити діагноз" стосовно раціонального використання енергоресурсів.

Література.

1. Матеріали конференції INDUSTRIAL ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY MANAGEMENT STANDARDS - UNIDO. Vienna, Austria - March 2007.
2. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. - К: Кондор, 2005. -408 с.
3. Козаченко В.Ф. Микроконтроллеры: руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления.-М.: Издательство ЭКОМ, 1997.- 688с: илл.
4. Козаченко В.Ф. Основные тенденции развития встроенных систем управления двигателями и требования к микроконтроллерам. Chipnews. Инженерная микроэлектроника. 2005. №5. С.7-15.
5. Смоленцев М. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. - М.: ДМК Пресс, 2005. - 304с.