



Як отримати максимальну економію електроенергії



НА НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ?

Постійний ріст цін на енергоносії стимулює водоканали і підприємства житлово-комунального комплексу впроваджувати енергозберігаючі технології, до яких відноситься і частотно-регульований електропривод.

Якщо років п'ять назад доводилося переконувати деяких керівників в доцільності використання частотного регулювання, то сьогодні в наш сертифікований сервісний центр по діагностиці і ремонту перетворювачів частоти все частіше звертаються з запитанням, як оптимізувати роботу частоно-регульованого електроприводу насосних агрегатів на отримання максимальної економії електроенергії? Для цього необхідно знати силову перетворювальну техніку і регульований електропривод змінного струму, необхідно враховувати електромагнітну сумісність і параметри мережі живлення, умови експлуатації, характерні і специфічні режими роботи приводного механізму і технологічного процесу в цілому, і, на кінець, вміти оптимально поєднувати все це при налаштуванні енергозберігаючих станцій управління насосними агрегатами (СУНА).

В цій статті, на прикладі енергозберігаючих насосних станцій, розглянемо основні чинники, які суттєво впливають на пряму економію електроенергії і на непряму економію фінансових і матеріальних ресурсів.

Майже все, що висвітлено в цій статті в певній мірі відноситься і до енергозберігаючих станцій управління вентиляторів і кондиціонерами, компресорними, вакуумними, холодильними і котельними установками, повітродувками для очисних споруд, центрифугами і шаровими млинами і т.і., які випускає наше підприємство.

Денисенко К.І., Дорошенко А.А., Інститут електродинаміки НАН України
Поліщук С.Й., Кутрань І.С., НВП "Техносервіспривід"

■ ПЕРЕВАГИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Частотно-регульований електропривод насосних агрегатів привернув увагу водоканалів і підприємств ЖКГ, в першу чергу, можливістю виключення "людського" фактору з процесу регулювання тиску в мережах водо-

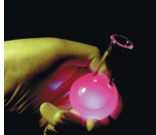
постачання і в автоматичному режимі підтримувати його на заданому рівні незалежно від розходу.

Відсутність гідроударів і збільшення в 2-3 рази терміну експлуатації насосів займали другу сходинку в оцінці ефективності частотного регулювання, а на економію електроенергії, років 10 назад, практично ніхто не звертав увагу – електроенергія була дешевою. Сьогодні

ситуація докорінно змінилася, і питанням економії електроенергії надається першочергове значення.

Економію електроенергії на насосних станціях отримують за рахунок:

- оптимального вибору режиму роботи насоса;
- експлуатації електродвигуна і перетворювача частоти з найбільшим ККД;



- використання оптимальних за конів регулювання технологічними процесами.

Розглянемо більш детально кожен складову енергозбереження на насосних станціях.

■ ВІДЦЕНТРОВИЙ (ЦЕНТРОБЕЖНИЙ) НАСОС І ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Почнемо з теорії, згідно якої ідеальний насос витратить в чотири рази менше енергії на перекачування одного і того ж об'єму рідини, працюючи на половинній швидкості ніж на повній, але час роботи, при цьому, збільшується в двічі.

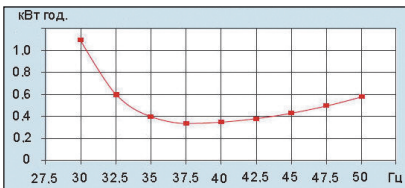
Враховуючи цю обставину можна припустити, що реальний насос, який працює в повторно-короткочастотному режимі, або в режимі дроселювання також може дати економію електроенергії, якщо його продуктивність регулювати за допомогою зміни швидкості. Це припущення підтверджується на практиці і досвід експлуатації реальних насосів, при частотному регулюванні швидкості (продуктивності), свідчить про те, що реальна економія електроенергії становить 25–40% в залежності від режиму роботи насосної станції.

Коли ж мова заходить про економію 60%, а інколи і 80%, то мають на увазі, що з впровадженням частотного приводу одночасно міняють і насосне обладнання на сучасне, більш ефективне.

Якщо ваш насос працює постійно і його продуктивність не регулюється, то економія електроенергії можлива тільки за рахунок оптимального вибору насосного обладнання і зменшення гідродинамічних втрат в трубопроводах.

■ ЗАКОНИ РЕГУЛЮВАННЯ І ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Для автоматичного підтримання тиску, розходу, рівня і т.і. стандартно використовують ПІД-регу-



Графік залежності питомих витрат електроенергії

лятри, які змінюють вихідну частоту і напругу перетворювача частоти таким чином, щоб регулюємих параметр підтримувався з заданною точністю, а на режим роботи насоса "не звертають" увагу. Наприклад, при оцінці ефективності частотно-регульованого електроприводу станції підкачки багатопверхового будинку було встановлено:

- при розході 8 кубічних метрів води за годину насос працював на частоті 28 Гц і витрати електроенергії становили 1,2 кВт·год.;
- при розході 14 м³·год. насос працював на частоті 37 Гц, а витрати електроенергії становили 1,6 кВт·год.

Нескладно підрахувати, що для даного конкретного випадку режим роботи насоса на частоті 37 Гц на 30% ефективніший ніж при роботі на 28 Гц.

Побудований графік залежності питомих витрат електроенергії на перекачування одного кубічного метра води (кВт год/м³) від швидкості насоса свідчить про те, що найбільшу економію електроенергії отримаємо при роботі насоса в діапазоні частот 35–45 Гц.

Для кожного конкретного випадку необхідно експериментальним шляхом визначити оптимальний частотний діапазон, в якому питомі витрати електроенергії на перекачування води будуть найменшими, і по мірі можливості, працювати в цьому діапазоні. Практичне використання такого "інтелектуального" режиму роботи насосної станції КНС і артезіан-

ської насосної станції детально описано в нашому журналі за №3–4 і №5–6, відповідно статті "Энергосберегающие технологии для предприятий ЖКХ и не только..." і "Экономия электроэнергии в системах водоснабжения на основе артезианских скважин".

Каскадне включення насосів використовується для оптимізації режимів роботи насосних агрегатів при змінному графіку споживання води з метою отримання максимальної економії електроенергії. Потужність насосів повинна бути різною, наприклад – 25 кВт, 50 кВт, 100 кВт, 200 кВт і т.д.

Бажано, щоб всі насоси працювали в оптимальному частотному діапазоні, а для цього вони повинні бути оснащені перетворювачами частоти. Якщо такої можливості нема, то використовуйте режим обходу перетворювача частоти, при якому один перетворювач частоти по черзі працює з одним із насосів, а при необхідності проводить частотний пуск інших насосів. Детальніше



Каскадне включення насосів



про режим обходу на сайті www.tsdservice.com.ua

Вибір режиму роботи насосних станцій залежить від вас, а для інформації відмітимо, що в імпортних станціях водо підготовки ліній розливу алкогольних і безалкогольних напоїв всі насоси оснащено перетворювачами частоти, а виробники цих ліній вміють рахувати всі витрати.

■ ВХІДНИЙ СТРУМ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ І ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

При аналізі ефективності частотно-регульованого електроприводу насосних агрегатів ми звернули увагу на те, що лічильники старого зразку (дискові) не показують споживання реактивної потужності, що цілком закономірно, тому, що коефіцієнт реактивної потужності ($\cos \phi$) перетворювача



Вхідний струм перетворювача частоти

частоти $> 0,98$. Незважаючи на це, сучасні електронні лічильники чомусь показують споживання реактивної енергії. В чому ж справа?

Річ в тому, що лічильники старого зразку (дискові) вимірюють тільки першу гармоніку, а електронні вимірюють всі гармоніки до 50-тої включно. Саме наявність вищих гармонічних складових напруги і струму приводить до споживання реактивної потужності. Звідки ж беруться ці гармоніки?

Вхідний струм перетворювачів

частоти суттєво відрізняється від синусоїдального (на малюнку червона крива) внаслідок чого в мережі живлення генеруються непарні і не кратні 3 гармоніки – 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25 і т.д.

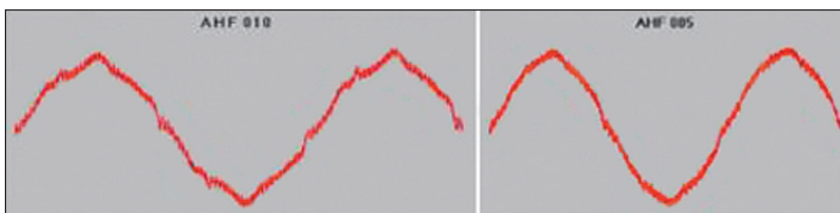
Наука і практика свідчать про те, що на точність вимірювання електричної енергії впливають більш ніж 30 складових, 20 з яких виникають за рахунок вищих гармонічних складових напруги і струму в мережах електропостачання.

Встановлено, що при використанні в сучасних лічильниках трансформаторів струму і напруги класу 0,2 в нормальних умовах похибка вимірювання становить $\pm 0,5\%$, а за рахунок вищих гармонік сумарна похибка збільшується до $\pm 3,5\%$. При використанні трансформаторів струму і напруги класу 1,0 похибка вимірювання становитиме вже $\pm 2,2\%$, а за ра-

вача частоти, або в ланці постійного струму, які суттєво зменшують рівень гармонічних складових (голуба крива на мал. 1).

Якщо потужність перетворювача частоти становить більше 40% потужності трансформатора живлення, то на вході перетворювача частоти необхідно встановити вхідний фільтр гармонік. Враховуючи те, що не всі постачальники перетворювальної техніки знають про це, і щоб не потрапити у складне становище, ви повинні взяти це попередження на замітку.

Пасивні фільтри гармонік Danfoss VLT AHF010 і AHF005 дають можливість отримати практично синусоїдальний вхідний струм перетворювача частоти з коефіцієнтом нелінійних спотворень 10% і 5% відповідно. Перетворювач частоти підключають послідовно з фільтром гармонік.



Осцилограми струму фільтра гармонік VLT AHF010 і AHF005

хунок вищих гармонік сумарна максимальна похибка лічильників активної і реактивної енергії збільшується до $\pm 13,3\%$.

Вищі гармонічні складові не тільки збільшують похибку вимірювання лічильників, а і розігрівають силові трансформатори мережі живлення і конденсатори компенсаторів реактивної потужності.

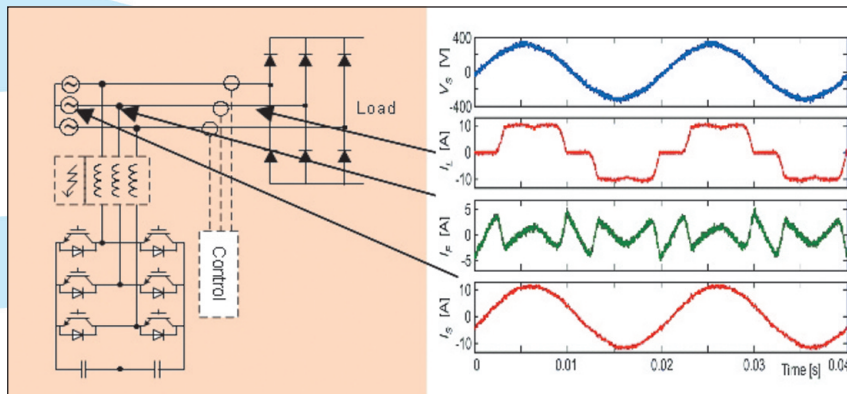
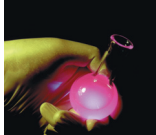
Якщо не вжито ніяких заходів до покращення форми вхідного струму, то максимальна потужність перетворювача частоти не повинна бути більшою 10% від потужності трансформатора живлення.

Для покращення форми вхідного струму використовують силові дроселі на вході перетворю-

Активний фільтр гармонік Danfoss VLT Active filter дозволяє формувати синусоїдальний струм, який споживається з мережі живлення, незалежно від типу навантаження і може одночасно працювати в режимі компенсатора реактивної потужності. Активний фільтр підключається паралельно до мережі живлення і має менші розміри у порівнянні з будь-яким пасивним фільтром.

Електрична схема і діаграми струмів дають уяву про принцип роботи такого фільтра.

Компенсація реактивної потужності самий дешевий і самий ефективний спосіб енергозбереження. Готове рішення окупається



Електрична схема і діаграми струмів VLT Active filter

через півроку і крім економії грошових ресурсів дає можливість розвантажити силовий трансформатор і пускорегулюючу апаратуру, збільшити пропускну спроможність системи електропостачання і уникнути глибоких провалів напруги на віддалених об'єктах – водозабірні станції, КНС, очисні споруди і т.д.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) сучасних перетворювачів частоти сягає 98%. При частотному управлінні, в деяких випадках, виникає підвищений шум електродвигуна і для його зменшення рекомендують збільшувати частоту комутації силових транзисторів перетворювача частоти. Варто пам'ятати, що при збільшенні частоти комутації збільшуються і динамічні втрати на силових ключах, приблизно 7% на кожний 1 кГц. Якщо, наприклад, частоту комутації збільшити з 3 кГц до 8 кГц, то ККД перетворювача частоти становитиме тільки 65%.

А що ж робити, коли не хочеться зменшувати ККД і підвищений шум мотора насторожує? В таких випадках використовують спеціальний режим управління, при якому частота комутації силовими ключами в невеликих межах хаотично змінюється, що значно зменшує шум двигуна не збільшуючи частоту комутації. Такий режим називають "випадкова частота-ШИМ", або "білий шум-ШИМ".

Якщо ваш ПЧ не має такого режиму роботи, то спробуйте замінити двигун, або на виході перетворювача частоти встановити синусоїдальний фільтр (sin-фільтр).

Автоматична адаптація двигуна дає можливість виміряти реальні параметри двигуна, які використовуються системою управління перетворювача частоти для розрахунку оптимального відношення вихідної напруги до вихідної частоти для даного конкретного навантаження. Не пошкодуйте 10-20 хвилин на проведення адаптації, яка дасть можливість отримати більшу економію електроенергії.

Автоматична оптимізація енергоспоживання – що це за режим?

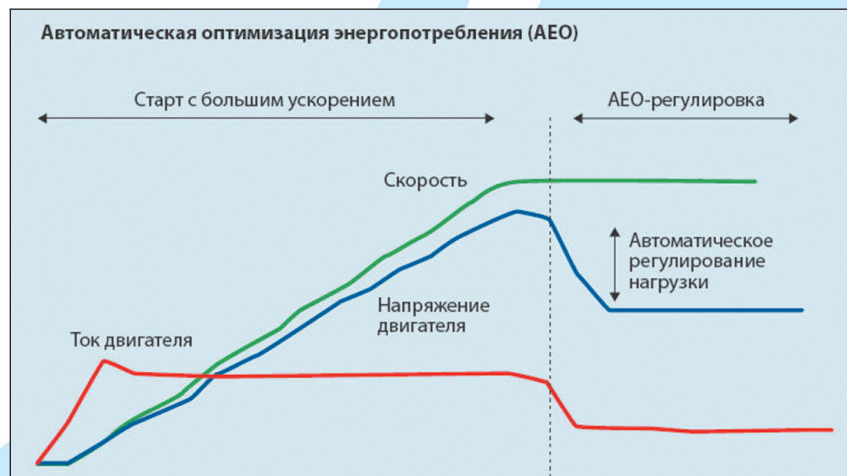
При експлуатації перетворювачів частоти дехто звернув увагу на ту обставину, що при ручному виборі відношення U/f можна отримати більшу економію електроенергії.

Ця обставина пояснюється похибкою математичних обчислень і неідеальністю математичної моделі двигуна, яка використовується системою управління перетворювача частоти і тим, що датчики струму і напруги мають інструментальну похибку.

Враховуючи цю обставину компанія Данфосс в своїх перетворювачах частоти передбачила режим автоматичної оптимізації енергоспоживання (АОЕ), який наглядно проілюстрований на графіку.

Після того, як перетворювач частоти відпрацює завдання і швидкість стане сталою (вертикальна пунктирна лінія), включається режим АОЕ, в якому напруга змінюється в функції найбільшої економії електроенергії. На графіку видно, що при сталій швидкості зменшується напруга і струм, а відповідно зменшується і потужність, яка споживається двигуном з мережі живлення.

Потужність перетворювача частоти в нашому розумінні, це



Автоматична оптимізація енергоспоживання



потужність з якою перетворювач частоти може працювати тривалий час. Заводи-виробники трактують це по іншому – перетворювач частоти може працювати на номінальній потужності деякий час, після чого потужність повинна зменшитися, інакше він перегріється і спрацює тепловий захист.

Це саме можна сказати і по іншому, якщо двигун тривалий час працює на номінальній швидкості, то для чого тоді потрібний перетворювач частоти? Воно то так, але в часи пік насосні станції працюють з максимальним навантаженням, а повітродувки очисних споруд практично весь час працюють на частотах 42–47 Гц. Якщо взимку такі режими проходять непомітно, то влітку часто виникають проблеми – спрацьовує аварійний тепловий захист. Для інформації відмітимо, що надійність електронних компонентів зменшується вдвічі на кожні 10°C перегріву.

Щоб уникнути подібних непорозумінь необхідно уважно підійти до вибору потужності перетворювача частоти.

Специфічні режими роботи приводних механізмів необхідно враховувати при розробці станцій управління насосними агрегатами. Наприклад, в станціях управління глибинним насосом артезіанської свердловини, які виготовляє наше підприємство, передбачено автоматичний пуск з початковим реверсом, швидкий розгін до мінімально допустимої швидкості з автоматичним зниженням темпу розгону в момент спрацьовування зворотних клапанів і т.д.

Обмежувачі перенапруги (ОПН) не дають прямої економії електроенергії, а використовуються з метою захисту перетво-

рювача частоти від грозових і комутаційних перенапруг.

Згідно ГОСТ 13109-97 "Норми якості електроенергії в системах електроживлення загального призначення" імпульсна грозова напруга в мережі 380 В може сягати 6 кВ, а імпульсна комутаційна напруга – 4,5 кВ.

Щоб уникнути комутаційних перенапруг бажано перетворювач частоти живити від окремого трансформатора, і по можливості уникати прямих пусків потужних насосів.

Економлячи на ОПН ви можете втратити значно більше на ремонті перетворювача частоти, економія це, чи ні – вирішуйте самі.

Швидкодіючі запобіжники також не дають прямої економії, але установка їх на вході перетворювача частоти обов'язкова. Дехто бере під сумнів доцільність їх використання, мотивуючи тим, що в них вже встановлено автоматичні вимикачі і звичайні запобіжники. На жаль, ні автоматичний ви-

микач, ні звичайні запобіжники неспроможні захистити силові напівпровідники перетворювача частоти в аварійних режимах.

Пристрої плавного пуску не дають прямої економії електроенергії, але дають можливість зменшити рівень пускових струмів, зменшити механічні перенавантаження двигуна і насоса, зменшити гідроудари в водогоні і зменшити перенавантаження на запірну і регулюючу арматуру. В результаті збільшується термін роботи обладнання, зменшуються витрати на ремонти, а це також економія, хоча і не пряма.

І на завершення, декілька слів, щодо правильного вибору технічних засобів. Первинним, з нашого погляду, тут повинні стояти технічні питання, а вже потім ціновий аспект. Тільки такий комплексний підхід дозволить отримати найкращі економічні показники при впровадженні енергозберігаючого обладнання.



НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД

**Сертифікований сервісний центр
по діагностиці та ремонту перетворювачів частоти**

Розробка та виготовлення:

- станції управління насосними агрегатами ВНС
- станції управління насосними агрегатами КНС
- артезіанські насосні станції, насосні станції підкачки
- пожарні насосні станції, мобільні насосні станції
- станції управління повітродувками очисних споруд
- компенсатори реактивної потужності
- поставка насосів, перетворювачів частоти, пристроїв плавного пуску, датчиків, запобіжників, силових фільтрів, комплектуючих для сигової електроніки

03680, м. Київ, пр. Перемоги 56, офіс 335, для пошти: 04211, м. Київ 211, а/с 141
т./ф.: (044) 454-24-62, (044) 456-19-57, (044) 458-47-66, моб. +38 (095) 284-96-62
e-mail: service@danfoss.com.ua http://www.tsdrive.com.ua