

О.В. Григоров, д-р техн. наук, С.О. Губський, А.О. Окунь, Харків, Україна

ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПО РЕКОНСТРУКЦІЇ ПРИВОДІВ І СИСТЕМ КЕРУВАННЯ КРАНІВ

У статті розглядаються приклади технічних рішень по реконструкції приводів із застосуванням системи керування, як на основі тиристорного приводу з імпульсним регулюванням швидкостей, так і на основі частотного регулювання крановими електроприводами.

В статье рассматриваются примеры технических решений по реконструкции приводов с использованием системы управления, как на основе тиристорного привода с импульсным регулированием скоростей, так и на основе частотного регулирования крановыми электроприводами.

O.V. GRIGOROV, S.O. GUBS'KIJ, A.O. OKUN'

TECHNICAL DECISIONS ON RECONSTRUCTION OF DRIVES AND CONTROL SYSTEMS OF CRANES

In article examples of technical decisions on reconstruction of drives with control system use, as on basis of a thyristors drive with pulse regulation of speeds, and on the basis of frequency regulation crane electric drives are considered.

Постановка проблеми. Парк кранів старіє. За даними Держгірпромнагляду України кількість кранів, що відпрацювали нормативний строк становить 83 %, [1]. В середньому виводиться із експлуатації лише 1,2-1,4 % в рік [2].

Однією з основних причин, що призводять до лімітування довговічності кранів є недосконала конструкція приводів і систем керування кранів.

Існуючі системи керування приводів кранів, як правило, оснащені електроприводами на базі асинхронних двигунів з фазним ротором і релейно-контактними системами керування з реостатним методом регулювання швидкості. Основною перевагою таких електроприводів є простота їх використання, низька вартість і ремонтпридатність. Однак ці електроприводи не позбавлені й досить істотних недоліків:

- неможливість одержання необхідної посадкової швидкості;
- відсутність режиму силового спуска порожнього гака й легких вантажів;
- відсутність електричного гальмування в електроприводах механізмів пересування;
- низька зносостійкість релейно-контакторної апаратури;
- більші втрати енергії при пуску й гальмуванні електроприводів в інтенсивному режимі роботи.

Аналіз останніх досліджень. У промислово розвинених країнах техніка частотно-регульованих приводів використовується вже більше 30 років. Протягом усього цього часу закладалися наукові й методичні основи, розробля-

лися технічні й програмні засоби керування електроприводом, удосконалювалися технологічні процеси й устаткування, змінювалася елементна база силових електронних елементів. Якщо на початку свого шляху перетворювачі частоти будувалися на основі тиристорних пристроїв, то тепер повсюдно використовуються транзисторні силові ключі (т.зв. IGBT технологія, уперше розроблена компанією «TOSHIBA» на початку 80-х).

У нашій країні існує більш ніж десятилітній досвід впровадження й експлуатації систем із частотним регулюванням. Пророблено ідеологічні, організаційні й схемотехнічні аспекти їх застосування. Розроблені й апробовані різні методики по визначенню економічного ефекту від впровадження частотно-регульованих приводів, з розрахунку необхідної потужності перетворювача.

Аналіз ситуації в секторі електроприводів великої потужності, виконаний по ряду публікацій у закордонних і вітчизняних виданнях, показав, що створення й початок широкого впровадження сучасних перетворювачів частоти для електродвигунів з напругою 3-10 кВ за кордоном припало на початок 90-х років минулого століття. У 2001–2003 р. про аналогічні розробки повідомили й вітчизняні виробники.

Невирішені частини загальної проблеми. Багато кранових електроприводів не відповідають сучасним вимогам.

Використовувати систему з частотним керуванням приводів кранів найбільш правильно, але не завжди це доцільно в економічному плані.

Мета статті. Розглянути приклади технічних рішень по модернізації різних систем керування кранових приводів.

Основний матеріал. Одним із шляхів реконструкції систем керування кранів є застосування електропривода на тиристорах при імпульсному регулюванні швидкостей механізмів крана [3]. Ця система була використана на ВАТ «Дніпровський ВТОРМЕТ».

На цьому підприємстві працюють крани магнітогрейферного типу виробництва Узловського машзаводу. Крани спроектовані для роботи у важкому режимі роботи, але аналіз умов роботи та перевірені розрахунки показали, що вони працюють у вельми важкому режимі роботи.

Магніто-коерцитивний неруйнівний контроль металоконструкцій кранів ВАТ «Дніпровський ВТОРМЕТ» показав, що їх металоконструкції працюють в контрольованому режимі експлуатації [4], а швидкість наростання коерцитивної сили, за час експлуатації, характерна для дуже важкого режиму навантаження [5]. Було встановлено, що це все є наслідком незадовільного стану підкранових колій та роботи оператора крана на противовключеннях. Це все призводило до тріщиноутворення в надбуксових зонах кінцевих балок кранів, виходу з ладу механізмів пересування та головного підйому, розривів вантажних канатів.

Застосована система електропривода на тиристорах з імпульсним регулюванням швидкостей механізмів крана на ВАТ «Дніпровський ВТОРМЕТ»

не дозволяє роботу на противовключеннях, контролює плавний перехід з однієї швидкості на іншу, виключає перевантаження привода (при перевантаженні на 140 % від номінальної вантажопідйомності відбувається інформування оператора та вимкнення через деякий час привода).

Робота з промисловим зразком модернізованої системи електропривода на тиристорах з імпульсним регулюванням швидкостей механізмів на крані грейферному (ВАТ «Дніпровський ВТОРМЕТ») показала, що до модернізації за один рік вийшли з ладу електродвигуни, у тому числі:

- на механізмі підйому;
- на механізмі замикання грейфера;
- на механізмі пересування моста;
- на механізмі пересування візка.

При впровадженні модернізованої системи керування приводами крана на основі тиристорного приводу з імпульсним регулюванням швидкостей вихід з ладу електродвигунів припинився.

Проведені повторні заміри коерцитивної сили показали, що швидкість наростання H_c (А/см) знизилася та не перевищує 0,1 А/см за рік у найнебезпечніших зонах металоконструкції. Тобто, були знижені динамічні навантаження й відповідно сповільнений подальший розвиток процесів втоми металу.

Системи керування приводами крана на основі тиристорного приводу з імпульсним регулюванням швидкостей є досить енергетично затратними і не мають таких переваг в плавному регулюванні швидкості та обертових моментів на валах електроприводів як системи частотного керування приводами кранів.

Наступним етапом еволюції систем керування крановими приводами є частотне регулювання. Цей розвиток зумовлений зростаючими технологічними вимогами до якості виробничих процесів. А використання систем керування приводами крана на основі тиристорного приводу з імпульсним регулюванням швидкостей цим технологічним вимогам не відповідають.

Найчастіше промислові підприємства, де встановлені крани, змінюють технологію виробництва й номенклатуру продукції, що випускається, роблять перепланування виробничих і складських приміщень. У результаті цього мостовий кран, який спочатку призначений для обслуговування складу металу, може, наприклад, використатися для точних монтажних операцій, а крани, керовані з кабіни, переводяться на керування з підлоги або по радіо-каналу та ін. [6].

Основними цілями модернізації є:

- розширення діапазону регулювання швидкості;
- підвищення плавності перехідних процесів;
- виключення швидкозношуваної релейно-контакторної апаратури;
- зменшення втрат енергії;

- перевід крана на керування з підлоги за допомогою підвісного пульта або по радіоканалу;
- необхідність сполучення системи керування краном із системою керування верхнього рівня.

Важливо зазначити, що ретрофіт, тобто застосування вже встановленого встаткування, придатного для подальшого використання, але потребуючого відновлення, дозволяє істотно знизити витрати на модернізацію.

Завдяки убудованим функціям частотно-регульованого асинхронного електропривода його можна легко інтегрувати в електропривод підйомно-транспортних машин.

Діапазон регулювання швидкості може досягати 100:1 при векторному керуванні без застосування датчика швидкості. Це особливо важливо при модернізації, коли використовується вже встановлений двигун, що не має вбудованого датчика швидкості. Слід зазначити, що для більшості кранів мостового типу максимально необхідний діапазон не перевищує 20:1.

Крановий привод з частотно-регульованим керуванням має такі функції:

- підйом з підвищеною швидкістю, що необхідна для кранів з великою висотою підйому (баштові й деякі мостові крани). У цьому випадку максимальна швидкість підйому й опускання визначається автоматично залежно від маси вантажу. При цьому легкі вантажі й порожній гак переміщуються з більшою швидкістю, ніж вантажі, близькі до номінального;
- керування гальмом для видачі сигналу на відкриття гальма (по досягненні двигуном необхідного моменту) і сигналу на накладення гальма (при зниженні швидкості до мінімального рівня). Існують різновиди функції для механізмів підйому й горизонтального переміщення вантажу. Для коректування струму зняття гальма залежно від ваги вантажу може використовуватися функція заміру ваги, при цьому задіюється зовнішній датчик маси вантажу (наприклад, із складу обмежника вантажопідйомності);
- час пуску й гальмування для кранових механізмів звичайно не перевищує 6 с. У процесі розгону й/або гальмування електропривода можлива зміна часу пуску й гальмування зовнішнім сигналом або по досягненні певної вихідної частоти перетворювача. Профілі кривих пуску й гальмування дозволяють вибрати найбільш оптимальний для конкретного механізму закон зміни швидкості;
- позиціонування по кінцевих вимикачах, що дозволяє підключати контакти останніх безпосередньо до логічних входів перетворювача. Кінцеві вимикачі можуть використовуватися для попереднього зниження швидкості й зупинки. При цьому можуть використовуватися як короткі, так і довгі копії;
- обмеження моменту електродвигуна при векторному керуванні, що дозволяє формувати механічну характеристику «екскаваторного типу». Момент може перебувати в межах ≈ 0 -220 % від номінального моменту електродвигуна

на, причому для рухового й генераторного режиму роботи обмеження моменту може задаватися індивідуально;

- гальмування електропривода за допомогою використання гальмового резистору або блока рекуперації. В електроприводах механізмів підйому й пересування за низької й середньої інтенсивності роботи доцільніше використовувати гальмовий резистор. Для електроприводів середньої й великої потужності інтенсивного режиму роботи може бути економічно доцільне повернення енергії гальмування в живильну мережу за допомогою пристрою рекуперації. Якщо на крані є кілька частотно-регульованих електроприводів, вони можуть бути об'єднані по ланцюгах постійного струму й живитися від загального блоку гальмування/рекуперації;

- обмеження перенапруги на затискачах електродвигуна. Це доцільно при використанні встановлених до модернізації електродвигунів, особливо в тих випадках, коли довжина кабелю між перетворювачем і двигуном досить велика. Перенапруги обмежуються введенням спеціального алгоритму широтно-імпульсної модуляції без застосування додаткових фільтрів;

- мультидвигун, може застосовуватися при почерговому живленні двох або трьох електроприводів крана з різними двигунами від одного перетворювача частоти. При цьому для кожного двигуна програмуються свої установки захисту й настроювання регуляторів, а перемикання здійснюється при зупиненому двигуні;

- мультиконфігурація, застосовується у випадку, коли для одного електропривода необхідно мати дві або три настроювані конфігурації, наприклад для режиму керування баштовим краном з кабіни або з монтажного пульта. Перемикання також здійснюється при зупиненому двигуні;

- змінного комплексу параметрів, застосовується для зміни режиму працюючого електропривода. Кількість параметрів може досягати трьох комплектів.

Робота асинхронних двигунів у системах частотного регулювання має свої особливості [7]. Насамперед, при частотному керуванні значно знижуються втрати енергії у двигунах при пуско-гальмівних режимах. Це дозволяє переходити на більш високооборотні електроприводи, і при проектуванні двигунів основну увагу приділяти зниженню втрат в обмотках двигуна в номінальному режимі.

Використання частотно-регульованого асинхронного електропривода в системах керування кранів дозволяє:

- значно (до 40%) знизити енергоспоживання крана, що особливо актуально при постійно зростаючих тарифах на енергоносії;

- зменшити майже вдвічі пускові струми і як наслідок ударні навантаження за рахунок можливості здійснити плавний пуск/зупинку двигуна, що приводить до збільшення строків експлуатації механічних вузлів (редукторів, валів, шестірень, муфт і т.д.) а також самої металоконструкції;

підвищити коефіцієнт використання потужності електродвигунів (ККД близький до одиниці);

- підвищити комфортні показники при русі крана й довговічність механічного встаткування завдяки плавності перехідних процесів;

- захистити двигун від перевантажень за струмом, перегріву, витоків на землю й від обривів у ланцюгах живлення двигунів;

- знизити експлуатаційні витрати на капітальний ремонт устаткування за рахунок значного зниження динамічних навантажень в елементах кінематичного ланцюга;

- змінювати швидкості й прискорення руху механізмів крана відносно конкретних технологічних завдань;

- збільшити точність позиціонування шляхом використання малих (доводочних) швидкостей, і як наслідок – збільшення продуктивності.

Але використання частотно-регульованого асинхронного електроприво-да в системах керування кранів має ряд недоліків:

- суттєва вартість модернізації;

- складність а подекуди і неможливість передачі рекуперованої електроенергії в мережу через недосконалість енергетичної системи України;

- електромагнітні перешкоди. В основі даної технології лежить ідея розподілу керуючої напруги на окремі прямокутні імпульси, що здійснюється за допомогою надшвидких напівпровідникових ключів, що створюють широкий спектр високочастотних перешкод. Відбувається випромінювання перешкод, а також їх поширення по всіх контурах. Щоб обмежити рівень перешкод, необхідна установка додаткових фільтрів;

- різкі стрибки напруги скорочують термін служби двигунів. Сучасні напівпровідникові ключі, які використовуються в регульованих електроприводах, відрізняються винятково високою швидкістю переходу з відкритого стану в закритий, що проявляється в різких стрибках напруги. Це явище призводить до надмірних навантажень на ізольовані мідні проводи обмоток двигуна й, як наслідок, до передчасного зносу ізоляційного шару;

- стрибки напруги, які виникають в результаті перевідзеркалення хвиль, що може призвести до пробію ізоляції на обмотках двигуна;

- можливе пошкодження підшипників. Асиметрія в конструкції двигуна, особливо між парами полюсів, призводить до появи потенціалу на осі двигуна, навіть якщо напруга живлення – чистий синусоїдальний сигнал. Ця напруга викликає низькочастотний струм через підшипники й заземлення. Хоча останні досягнення в області точного виготовлення практично усунули проблему, після появи нових регульованих електроприводів з високочастотними перемикачами проблема знову стала актуальною. Виникаюча в результаті електроерозія призводить до швидкого виходу з ладу доріжок і підшипників через їх знос. Для вирішення цієї проблеми спеціально розробляються стабілізатори підшипникових струмів і синусоїдальні фільтри.

Висновки. Сьогодні технології вантажопідйомних операцій потребують високих параметрів приводів і систем керування кранів. Застосування приводів крана на основі тиристорного привода з імпульсним регулюванням швидкостей та частотно-регульованого асинхронного електропривода дозволяє задовольнити ці вимоги.

Приводи з частотно-регульованим керуванням найбільш оптимальні. Але, при виборі шляху реконструкції потрібно звертати увагу на те що витрати на модернізацію систем керування приводами крана на основі тиристорного привода з імпульсним регулюванням швидкостей в 1,7-1,9 разів нижче витрат (на кВт потужності) при застосуванні частотних електроприводів. Тому шлях реконструкції потрібно обирати оцінюючи економічну доцільність та технологічні вимоги.

Потрібно також зазначити, що ефективність і економічність електроприводів з частотно-регульованим керуванням у значній мірі залежать від правильності вибору номінальних параметрів їх основних елементів, тобто двигуна й перетворювача частоти.

Поряд з наведеними в цій статті прикладами (рішеннями) реконструкції приводів і систем керування кранів є досить перспективним застосування мотор-варіаторів в кранових механізмах. Але, поки що, вони знайшли своє застосування лише в ліфтах зарубіжних констукцій.

Список використаних джерел: 1. Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2010. – №2–3. – С. 18. 2. Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2009. – №3. – С. 17–18. 3. Модернизация систем управления приводов кранов на ломоперерабатывающих предприятиях / А. И. Иордан, В. А. Попов, С. А. Губский. Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2007. – №12. С. 30–34. 4. МВ 0.00-7.01-05 – К. : 2005. – 77 с. 5. Котельников В. С. Практика магнитной диагностики подъемных сооружений при проведении экспертизы промышленной безопасности / В. С. Котельников, Б. Е. Попов и др. // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2003. – №3 – С. 22–23. 6. Schneider Electric. Проектирование электроприводов крановых механизмов. – 2009. – № 12. 7. Schneider Electric. Методика по силовому расчету частотно-регулируемых электроприводов крановых механизмов. – 2007. – № 7.

Поступила до редколегії 07.04.2011

Bibliography (transliterated): 1. Pod'emnye sooruzhenija. Special'naja tehnika. – 2010. – №2–3. – S. 18. 2. Pod'emnye sooruzhenija. Special'naja tehnika. – 2009. – №3. – S. 17–18. 3. Modernizacija sistem upravlenija privodov kranov na lomopererabatyvajuwih predprijatijah / A.I. Jordan, V.A. Popov, S.A. Gubskij. Pod'emnye sooruzhenija. Special'naja tehnika. – 2007. – №12. S. 30–34. 4. MV 0.00-7.01-05 – K.: 2005. – 77 s. 5. Kotel'nikov V.S. Praktika magnitnoj diagnostiki pod'emnyh sooruzhenij pri provedenii jekspertizy promyshlennoj bezopasnosti / V.S. Kotel'nikov, B.E. Popov i dr. // Pod'emnye sooruzhenija. Special'naja tehnika. – 2003. – №3 – S. 22–23. 6. Schneider Electric. Proektirovanie jelektroprivodov kranovyh mehanizmov. – 2009. – № 12. 7. Schneider Electric. Metodika po silovomu raschetu chastotno-reguliruemyh jelektroprivodov kranovyh mehanizmov. – 2007. – № 7.