

ОСОБЛИВОСТІ ВИНИКНЕННЯ І УСУНЕННЯ ПЕРЕКОСІВ МОСТОВИХ КРАНІВ З РОЗДІЛЬНИМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМ ПРИВОДОМ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕСУВАННЯ

Наведено результати дослідження причин виникнення додаткових навантажень і енергетичних втрат, характерних для роботи роздільного механізму пересування мостових кранів з частотним керуванням. Запропоновані практичні рекомендації щодо усунення негативних явищ при роботі частотно-регульованого приводу механізмів пересування мостових кранів.

Ключові слова: механізм пересування, переко́с, частотне регулювання.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Проблема переко́сів мостових кранів нараховує близько 150 років і залишається актуальною на сьогоднішній день. Механізми пересування кранів чинять суттєвий вплив на термін служби їх металоконструкції. Виникнення переко́сів при обладнанні мостових кранів частотно-регульованим приводом з короткозамкненими двигунами, також вказує на актуальність проблеми. Переко́си мостових кранів з частотним приводом можна вивчати в різних аспектах. В даній роботі будуть розглядатися лише питання виникнення додаткових навантажень і втрат енергії.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Окрім досліджень присвячених безпосередньо роздільному приводу пересування мостових кранів, як наприклад роботи [1, 5], теоретичне підґрунтя для вивчення проблеми можна знайти в роботах із загальної теорії електроприводу [2, 3, 4], присвячених кінематично зв'язаним приводам.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проблема переко́сів кранів з роздільним приводом достатньо складна і, не дивлячись на відносно великий об'єм досліджень, не знайшла остаточного вирішення.

Постановка завдання. Метою дослідження є розробка практичних рекомендацій щодо зменшення динамічних навантажень і додаткових енерговитрат пов'язаних з переко́сами мостового крану на основі аналізу механічних характеристик механізмів пересування обладнаних роздільним частотно-регульованим приводом.

Виклад основного матеріалу дослідження. При вивченні багатодвигунових електроприводів припускається, що всі двигуни мають однакову швидкість ідеального холостого ходу. Таким чином механічні характеристики всіх приводів виходять з однієї точки на вісі ординат $\omega = \omega_0$ (тобто $n = n_{сирхр}$). Це припущення може бути прийнято для вивчення переко́сів крана з асинхронним приводом з фазним ротором.

У роздільному частотному приводі кожен двигун, як правило, має свій частотний перетворювач. Зміна частоти струму, як параметру регулювання, означає зміну швидкості ідеального холостого ходу. Похибка регулювання кожного перетворювача, або недостатня синхронізація їх роботи може привести до появи на виході електродвигуна різних за величиною швидкостей. Розглянемо перерозподіл навантаження електродвигунів (рисунок 1) за умови, що M_{1c} , M_{2c} – статичні моменти опору пересування сторін крана відповідно для першого і другого приводів, зведені до

валів електродвигуна; $n_{1.x.x}$, $n_{2.x.x}$ – швидкості електродвигунів на холостому ході при відсутності навантаження; M_{\max} – максимальний момент, що розвивається кожним двигуном.

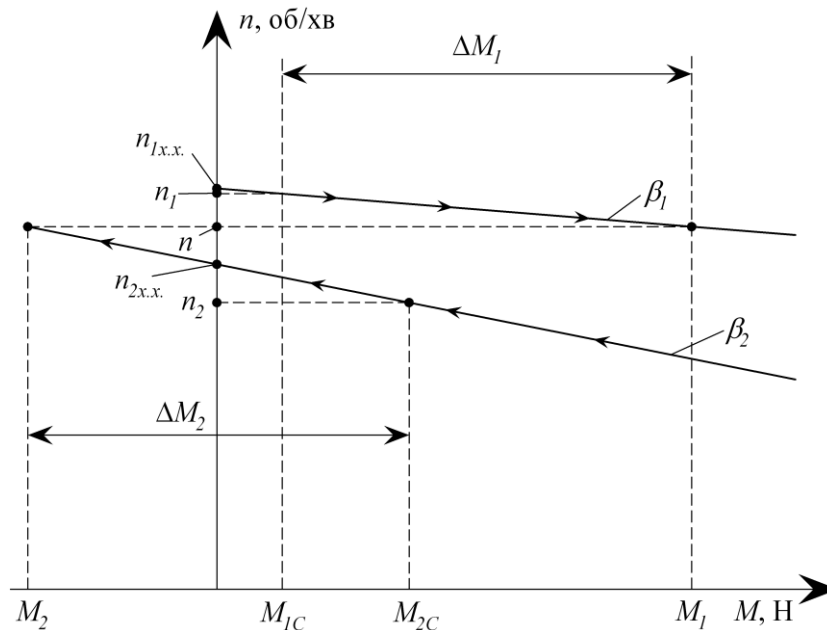


Рисунок 1 – Укрупнена схема навантаження приводів

Пересування крана можливо, коли швидкість пересування обох сторін крана однакова внаслідок зв'язку через металоконструкцію, тобто $V_1 = V_2 = V$. Крім того, необхідно, щоб сума моментів електродвигунів дорівнювала сумі статичних моментів опору пересування сторін крана, тобто $M_1 + M_2 = M_{1c} + M_{2c}$, де M_1 і M_2 – моменти, що розвиваються електродвигунами.

Зрівняльні моменти, що виникають на електродвигунах, повинні бути однаковими, тобто $\Delta M_1 = \Delta M_2$, а момент, що розвивається кожним електродвигуном, не може бути більше, ніж M_{\max} , що визначається налаштуванням запобіжних пристроїв електропривода, тобто $M = M_c + \Delta M \leq M_{\max}$. Швидкість пересування крана n і перерозподіл навантаження електроприводів можна знайти за рисунком 1.

На відміну від електромеханічного привода з фазним ротором ми припускаємо, що $n_{1.x.x} \neq n_{2.x.x}$. Розглядаючи рисунок 1 – можна бачити, що $\Delta M_1 = (n_1 - n)\beta_1$; $\Delta M_2 = (n - n_2)\beta_2$, де n_1 , n_2 – значення кутової швидкості, з яким міг би обертатися кожен з приводів, навантажений моментами M_{1c} і M_{2c} , якби обидва приводи не були зв'язані через металоконструкцію моста.

За умови, що $\Delta M_1 = \Delta M_2$; $(n_1 - n)\beta_1 = (n - n_2)\beta_2$

$$n = \frac{n_1 \frac{\beta_1}{\beta_2} + n_2}{1 + \frac{\beta_1}{\beta_2}}; n_1 = n_{1.x.x} - \frac{M_{1c}}{\beta_1}; n_2 = n_{2.x.x} - \frac{M_{2c}}{\beta_2};$$

$$n = \frac{n_{1x.x} - \frac{M_{1c}}{\beta_1} + n_{2x.x} - \frac{M_{2c}}{\beta_2}}{1 + \frac{\beta_1}{\beta_2}} = \frac{1}{\beta_2 + \beta_1} \left[(n_{1x.x}\beta_1 + n_{2x.x}\beta_2) - (M_{1c} + M_{2c}) \right].$$

Виразимо M_c через силу опору пересування крану $\sum W$ і одержимо:

$$n = \frac{1}{\beta_2 + \beta_1} \left[(n_{1x.x}\beta_1 + n_{2x.x}\beta_2) \cdot (\sum W_1 + \sum W_2) \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{i\eta} \right].$$

Припустивши $n_{1x.x} = n_{2x.x} = n_0$, що має місце в електромеханічному приводі з фазним ротором, приходимо до формули, отриманої В.П. Балашовим:

$$n = n_0 - \frac{1}{\beta_2 + \beta_1} (\sum W_1 + \sum W_2) \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{i\eta}.$$

Знайдемо величину зрівняльного моменту, що розвивається електродвигунами за умови $n_{1x.x} \neq n_{2x.x}$.

Підставляючи значення n у вираз для ΔM , одержимо:

$$\Delta M_1 = \Delta M_2 = \Delta M = \frac{1}{1 + \frac{\beta_1}{\beta_2}} \left[\beta_1 (n_{1x.x} - n_{2x.x}) + \frac{\beta_1}{\beta_2} M_{c2} - M_{c1} \right].$$

Виразивши M_c через $\sum W$, будемо мати

$$\Delta M = \frac{1}{1 + \frac{\beta_1}{\beta_2}} \left[\beta_1 (n_{1x.x} - n_{2x.x}) + \left[\frac{\beta_1}{\beta_2} \sum W_2 - \sum W_1 \right] \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{i\eta} \right].$$

За умови $n_{1x.x} = n_{2x.x}$ приходимо до формули, отриманої В.П. Балашовим для роздільного електромеханічного привода:

$$\Delta M = \frac{1}{1 + \frac{\beta_1}{\beta_2}} \left[\frac{\beta_1}{\beta_2} \sum W_2 - \sum W_1 \right] \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{i\eta}.$$

Далі визначимо умови, при якому зрівняльний момент електродвигунів дорівнює нулю:

$$n_{1x.x} - n_{2x.x} = \frac{M_{1c}}{\beta_1} - \frac{M_{2c}}{\beta_2}; \quad n_{2x.x} = n_{1x.x} - \frac{M_{1c}}{\beta_1} + \frac{M_{2c}}{\beta_2}.$$

На рисунку 1 значення $n_{2x.x}$, при якому $\Delta M = 0$, позначено $n'_{2x.x}$. У випадку $n_{1x.x} = n_{2x.x}$ одержуємо умову рівності нулю зрівняльного моменту:

$$\frac{M_{1c}}{\beta_1} = \frac{M_{2c}}{\beta_2}.$$

Аналізуючи рисунок 1 і вищезгадані формули можна зробити кілька важливих висновків. По-перше, величина зрівняльного моменту при $n_{1x.x} \neq n_{2x.x}$ в загальному випадку більше, ніж при $n_{1x.x} = n_{2x.x}$. По-друге, при однаковій різниці $n_{1x.x} - n_{2x.x}$, величина зрівняльного моменту збільшується зі зменшенням абсолютних значень $n_{1x.x}$, $n_{2x.x}$. Це залежить від збільшення жорсткостей механічних характеристик електроприводів при зменшенні кутової швидкості обертання двигунів. Як видно з рисунку 1, у цьому випадку при незначних зовнішніх навантаженнях M_{1c} , M_{2c} один із

приводів β_1 працює в режимі спрацьовування запобіжних пристроїв. Втрати енергії при цьому пропорційна зменшенню числа обертів приводу Δn . Одержання такого режиму небажано, тому що це приведе до необґрунтованих перевантажень і втрат енергії в системі.

У відповідності з розглянутими формулами, при будь-якому розподілі зовнішніх навантажень M_{1c} і M_{2c} , жорсткості механічних характеристик β_1 і будь-якої кутової швидкості $n_{1x,x}$ в роздільному частотно-регульованому приводі завжди можна знайти швидкість $n_{2x,x}$, коли $\Delta M = 0$. Тому роздільний частотно-регульований привод перспективний для механізмів пересування вантажопідйомних машин, у яких величина зрівняльного моменту і сили, що перекошують, можуть мати вирішальне значення (перевантажувачі, козлові крани).

Існує думка, що найкращим способом синхронізації руху сторін крана є синхронізація за пройденим шляхом, через введення зворотного зв'язку. Але забезпечення умов пересування, при яких зусилля перекоосу крана і зрівняльні моменти між приводами дорівнюють нулю, не може бути забезпечене лише при синхронізації за пройденим шляхом. Радикальним способом забезпечення синхронної роботи механізмів пересування крану є введення в схему керування електроприводами зв'язку між блоками керування частотних перетворювачів за яким передається модульований синхронізований сигнал, що впливає на один з приводів в сторону збільшення чи зменшення параметру регулювання.

Причиною нерівномірного навантаження механізмів є також незначна різниця статичних механічних характеристик двигунів. Фактичні характеристики двигунів приводів опор крану відрізняються від номінальних в сторону зменшення їх жорсткості [5]. Для дослідження виникнення додаткових втрат енергії за цих умов, припустимо що двигуни мають однакову швидкість холостого ходу (рисунок 2). Тоді моменти двигунів можна виразити наступним чином:

$$M_{c1} = M_{c.сep} + \Delta M_c ; M_{c2} = M_{c.сep} - \Delta M_c ,$$

де $M_{c.сep}$ – середнє значення статичного моменту,

$$M_{c.сep} = (M_{c1} + M_{c2}) / 2 ;$$

ΔM_c – відхилення статичного моменту від середнього.

Для оцінки впливу нерівномірності поділу навантажень на втрати енергії, виразимо змінні втрати енергії в двигунах через механічні величини:

$$\Delta P_m = M \cdot \omega_0 \cdot S \cdot (1+a), \text{ де } a = R_1 / R'_2 .$$

Враховуючи, що робота двигуна в режимі руху відбувається на лінійній ділянці механічної характеристики, то ковзання двигуна можна з достатньою точністю виразити через його момент:

$$S = \frac{M}{\beta \cdot \omega_0} .$$

Тоді $\Delta P_m = \frac{(1+a)}{\beta} \cdot M^2$. Втрати в міді в номінальному режимі роботи двигуна

(при $M = M_{ном}$) складуть $\Delta P_m = \frac{(1+a)}{\beta} \cdot M_{ном}^2$, а втрати в міді при роботі двигуна з

моментом, відмінним від номінального $\Delta P_m = \Delta P_{m.ном} \left(M / M_{ном} \right)^2$.

Як показано в [4], втрати в міді першого двигуна складуться $\Delta P_M = \Delta P_{M.ном} \left(\frac{M_{с.сеп} + \Delta M_c}{M_{ном}} \right)^2$, другого $\Delta P_M = \Delta P_{M.ном} \left(\frac{M_{с.сеп} - \Delta M_c}{M_{ном}} \right)^2$, а сумарні втрати в обох двигунах – $\Delta P_{M\Sigma} = 2\Delta P_{M.ном} \frac{M_{с.сеп}^2 + \Delta M_c^2}{M_{ном}^2}$.

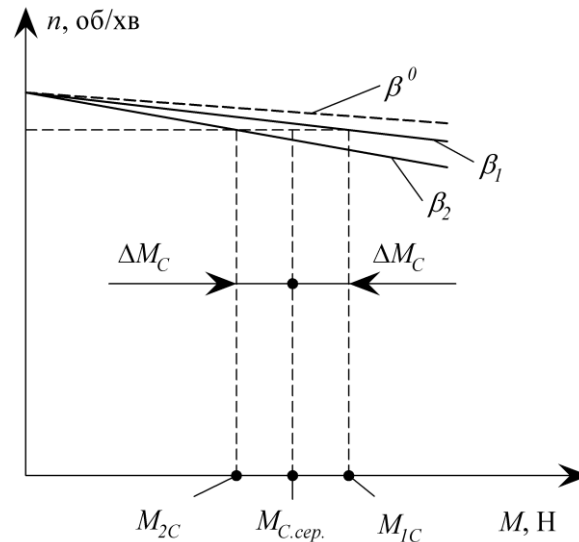


Рисунок 2 – Укрупнена схема розподілення моменту навантаження між двома паралельно працюючими двигунами при однаковій синхронній швидкості β^0 – номінальна жорсткість механічної характеристики двигуна за каталогом, β_1, β_2 – фактичні жорсткості механічних характеристик електродвигунів механізмів пересування

Якщо двигуни завантажені однаково, то сумарні втрати в двох двигунах $\Delta P_{M\Sigma} = 2\Delta P_{M.ном} \frac{M_{с.сеп}^2}{M_{ном}^2}$, тобто менше на величину додаткових втрат $\Delta P_{M\Sigma} = 2\Delta P_{M.ном} \frac{\Delta M_c^2}{M_{ном}^2}$.

Висновки

1. Визначено причини виникнення додаткових навантажень і енергетичних втрат, характерні для роботи механізму пересування мостових кранів при частотному керуванні.

2. Висловлені міркування дають можливість зробити наступні практичні рекомендації для створення системи керування двома роздільними частотно-регульованими приводами. Система керування повинна забезпечити $n_{1x.x} = n_{2x.x}$ у всьому діапазоні швидкостей. Синхронність роботи механізмів пересування крану повинна забезпечуватись не лише зворотнім зв'язком за пройденим шляхом, а й введенням зв'язку між блоками керування частотних перетворювачів для формування більш точного сигналу завдань на електроприводи. Система керування, що забезпечує $\Delta M = 0$ може розглядатися як перспективна.

Література

1. Лобов, Н. А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути / Н. А. Лобов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 232 с.

2. Ключев, В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода / В. И. Ключев. – М.: Энергия, 1971. – 320 с.
2. Ключев, В.И. Теория электропривода. Учеб. для вузов / В. И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
4. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. – М.: АСАДЕМА, 2004. – 202 с.
5. Балашов, В.П. Раздельный привод в механизмах передвижения мостовых кранов / В.П. Балашов. – М.: ОНТИ ВНИИПТМАШ, 1959.

Надійшла до редакції 27.10.2012
© В.В Стрижак

В.В. Стрижак, аспирант

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ ПЕРЕКОСОВ МОСТОВЫХ КРАНОВ С РАЗДЕЛЬНЫМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ПРИВОДОМ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Приведены результаты исследования причин возникновения дополнительных нагрузок и энергетических потерь, характерных для работы отдельного механизма передвижения мостовых кранов с частотным управлением. Предложены практические рекомендации по устранению негативных явлений при работе частотно-регулируемого привода механизмов передвижения мостовых кранов.

Ключевые слова: механизм передвижения, перекос, частотное регулирование.

V.V. Stryzhak, Graduate

National technical university “Kharkiv polytechnic institute”

FEATURES OF OCCURRENCE AND ELIMINATION OF WARPS OF BRIDGE CRANES WITH THE SEPARATE FREQUENCY-REGULATED DRIVE OF THE MECHANISM OF MOVEMENT

Results of research of the reasons of occurrence of additional loadings and power losses, characteristic for work of the separate mechanism of movement of bridge cranes with frequency management are resulted. Practical recommendations about elimination of the negative phenomena at work of a frequency-regulated drive of mechanisms of movement of bridge cranes are offered.

Key words: mechanism of movement, warp, frequency-regulation.