

КОРЕКЦІЯ ШВИДКІСНИХ РЕЖИМІВ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗНОГО ДОЗУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ СУМІШІ

Запропоновано систему зв'язного дозування компонентів суміші на базі частотно-регульованого асинхронного електроприводу третього покоління. Обґрунтовано способи та алгоритми корекції механічних характеристик електродвигунів дозаторів безперервної дії, з метою зменшення витрат електроенергії та покращення якісних технологічних параметрів.

Умовні позначення

U_1, f^* - середньоквадратична напруга і частота мережі живлення;

r_1, r_2' - активні опори обмоток статора і ротора;

l_1, l_2 - індуктивності розсіювання обмоток статора і ротора;

s - ковзання електродвигуна;

ω - відносна частота обертання ротора;

x_M - індуктивний опір взаємодії електродвигуна.

Значення вказаних величин приведені у відносних одиницях [4].

Одним із ефективних способів підвищення збалансованості кормових сумішей є використання систем регулювання технологічного процесу з використанням ведучого дозатора [1].

З метою зменшення енерговитрат на одиницю кінцевого продукту та підвищення якості суміші застосовується частотно-регульований електропривод дозаторів безперервної дії [2].

У зв'язку з різною жорсткістю характеристик асинхронних електродвигунів, які використовуються в зв'язних системах дозування, недостатньо точно відпрацьовуються завдання зміни швидкості, що призводить до похибки в дозуванні.

В даний час на ринку технічних пропозицій відсутні розробки, які могли б реалізувати сучасні технологічні задачі з точки зору оперативного забезпечення вказаної проблеми. Поява в серійному виробництві частотно-регульованого асинхронного електроприводу третього покоління дає можливість створювати економічно доцільні системи зв'язного дозування кормових компонентів[3].

Метою даної роботи є обґрунтування способів корекції механічної характеристики електродвигунів.

Нами розроблена система керування процесом приготування кормосумішей (рис.1), яка дозволяє коректувати жорсткість механічних характеристик асинхронних електродвигунів зміною напруги або частоти живлення конкретного двигуна [3]. Різниця в частоті обертання валів найпоширеніших електродвигунів, встановлених на дозаторах (4A80B4Y3, 4A90L4Y3, 4A100S4Y3), в номінальних режимах навантаження сягає 1-1,5%. Ця похибка суттєва в рецептах, коли протягом секунди потрібно «відпрацювати» необхідну дозу компонента.

Розглянемо можливості названих корекцій за діапазонами зміни швидкості і енергетичними характеристиками.

У [4] отриманий вираз у відносних одиницях залежності моменту асинхронного електродвигуна від його параметрів, напруги і частоти живлення мережі. Якщо

знехтувати відношенням $\frac{r_1}{x_M}$, то це рівняння запишеться у вигляді:

$$\mu = \frac{3u_1^2 r_2'}{(f^* - \nu) \left[r_1 + (1 + l_1) \frac{r_2'}{s} \right]^2 + (l_1 + l_1 l_2 + l_2)^2 f^{*2}} \quad (1)$$

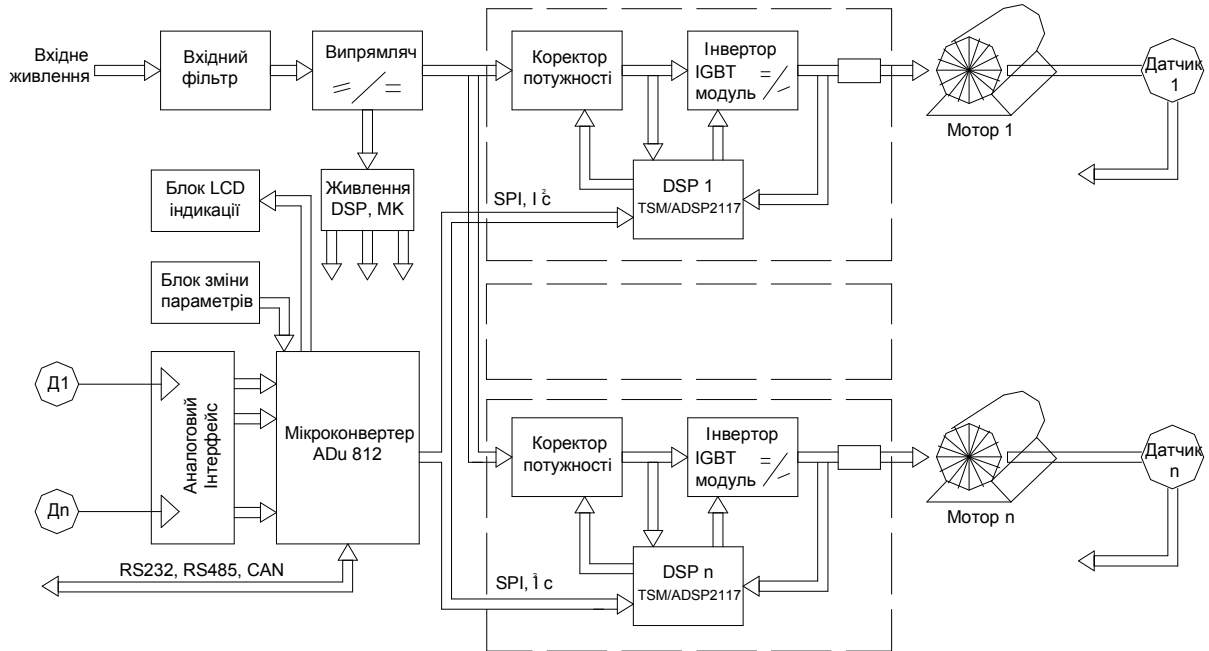


Рис.1. Структурна схема системи зв'язного дозування

З (1) видно, що обертовий момент асинхронного електродвигуна можна змінювати шляхом регулювання напруги живлення u_1 та її частоти f^* , а також змінною відносного або абсолютного ковзання частоти обертання ротора.

Оскільки при корекції зміна координат електропривода відносно невелика, то замінивши повні диференціали кінцевими приростами відповідних величин, визначимо рівняння, які характеризують види корекцій, що розглядаються.

Враховуючи, що частотна корекція виконується для $u = const$,

$$\Delta\mu = \frac{\partial\mu}{\partial f^*} \Delta f^* + \frac{\partial\mu}{\partial \nu} \Delta\nu, \quad (2)$$

а корекція за напругою при $f^* = const$,

$$\Delta\mu = \frac{\partial\mu}{\partial u} \Delta u + \frac{\partial\mu}{\partial \nu} \Delta\nu. \quad (3)$$

Оскільки в результаті застосування будь-якої корекції електродвигун повинен реалізувати новий обертовий момент $\mu_1 = \mu \pm \Delta\mu$ при новій частоті обертання ротора $\nu_1 = \nu + \Delta\nu$, то:

$$\frac{\partial\mu}{\partial f^*} \Delta f^* = \frac{\partial\mu}{\partial u} \Delta u. \quad (4)$$

Якщо прийняти, що загальний опір електродвигуна

$$z = \sqrt{\left[r_1 + (1 + l_1) r_2' \frac{f}{(f - \nu)} \right]^2 + f^2 (l_1 + l_1 l_2 + l_2)^2},$$

коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{r_1 + (1 + l_1) \frac{r_2'}{s}}{\sqrt{\left[r_1 + (1 + l_1) \frac{r_2'}{s} \right]^2 + \left[f^* (l_1 + l_2 + l_1 l_2) \right]^2}}, \quad (5)$$

$$\sin \varphi = \frac{f^* (l_1 + l_2 + l_1 l_2)}{\sqrt{\left[r_1 + (1 + l_1) \frac{r_2'}{s} \right]^2 + \left[f^* (l_1 + l_2 + l_1 l_2) \right]^2}},$$

a

для $\frac{\nu}{f - \nu} = \frac{1 - s}{s}$ коефіцієнт корисної дії дорівнюватиме

$$\eta = \frac{r_2' \frac{(1 - s)}{s}}{r_1 + (1 + l_1) \frac{r_2'}{s}}, \quad (6)$$

то вираз $\frac{\partial \mu}{\partial f^*}$ можна подати у вигляді

$$\frac{\partial \mu}{\partial f^*} = \frac{\mu}{(f^* - \nu)} \cdot A, \quad (7)$$

де $(2\eta \cos^2 \varphi - 2s \sin^2 \varphi - 1) = A$.

Частинна похідна моменту за напругою

$$\frac{\partial \mu}{\partial u} = \frac{2 \cdot 3 r_2 u_1}{(f^* - \nu) \left[f^* (l_1 + l_2 + l_1 l_2) \right]^2 + f^{*2} \left[r_1 + (1 + l_1) \frac{r_2'}{s} \right]^2} = \frac{2\mu}{u_1}. \quad (8)$$

Частинна похідна моменту за частотою обертання ротора після перетворення і з урахуванням значень за виразами (1), (5), і (6) має вигляд:

$$\frac{\partial \mu}{\partial \nu} = - \frac{\mu f^*}{(f^* - \nu) \nu} \cdot B, \quad (9)$$

де $B = 2(1 + l_1) \cdot \eta \cos^2 \varphi - 1 + s$.

З урахуванням (7) і (8) умова рівності вихідних механічних параметрів двигуна (4) при частотній корекції і корекції за напругою запишеться наступним чином

$$\Delta f^* = \frac{2(f^* - \nu)}{A \cdot u} \Delta u = \frac{2f_2^*}{A \cdot u} \Delta u \quad \text{або} \quad \Delta u = \frac{A \cdot u}{2f_2^*} \Delta f^*, \quad (10)$$

де $f_2^* = f^* - \nu$.

Значення коректуючого сигналу за напругою знаходиться з виразу (3) після підстановки значень частинних похідних моменту за напругою і частотою обертання ротора, визначених виразами (8) і (9),

$$\Delta u = \frac{u}{2} \left(\frac{\Delta \mu \cdot \nu \cdot s + B \cdot \Delta \nu \cdot \mu}{\mu \cdot \nu \cdot s} \right). \quad (11)$$

Оскільки при застосуванні корекції електродвигун реалізує новий обертовий момент μ_1 при частоті обертання ν_1 , то це спонукає зміну потужності на валу електродвигуна

$$\Delta P_2^* = \mu_1 \nu_1 - \mu \nu = (\mu + \Delta\mu)(\nu + \nu) - \mu \nu = \Delta\mu \nu + \mu \Delta\nu$$

від попереднього значення $P_2^* = \mu \nu$. З урахуванням вищевикладеного вираз (11) запишемо у вигляді

$$\Delta u = \frac{u}{2} \frac{\frac{\Delta\mu \nu + \Delta\nu B \frac{\mu}{s}}{\Delta\mu \nu + \Delta\nu \mu} (\Delta\mu \nu + \Delta\nu \mu)}{P_2^*} = \frac{u}{2} \frac{K \Delta P_2^*}{P_2^*}, \quad (12)$$

де $K = \frac{\Delta\mu \nu + \Delta\nu B \frac{\mu}{s}}{\Delta\mu \nu + \Delta\nu \mu}$.

Значення зміни частоти живлення $f_1^* = f^* + \Delta f^*$ або коректуючий сигнал за частотою при умові рівності вихідних механічних параметрів електродвигуна визначається за виразом (2) з урахуванням значень частинних похідних за (7) і (9)

$$\Delta f^* = \frac{k(f^* - \nu) \Delta P_2^*}{A P_2^*} = \frac{k f_2^* \Delta P_2^*}{A P_2^*}. \quad (13)$$

Оцінимо енергетичні характеристики електродвигуна для цих корекцій і визначимо режими роботи електропривода, при яких доцільне застосування корекції за напругою або частотою.

Оскільки як коефіцієнт потужності, так і коефіцієнт корисної дії залежать від частоти напруги живлення і абсолютної частоти ковзання ротора, то знайдемо частинні похідні вказаних параметрів від цих частот. Частинна похідна за частотою живлення буде мати вигляд

$$\frac{\partial \cos \varphi}{\partial f^*} = -\sin^2 \varphi \cos \varphi \left(\frac{(1+l_1)\eta}{f^* - \nu} - \frac{1}{f^*} \right), \quad (14)$$

а за абсолютною частотою ковзання

$$\frac{\partial \cos \varphi}{\partial (f^* - \nu)} = -\cos \varphi \sin^2 \varphi \frac{(1+l_1)\eta}{s \nu}. \quad (15)$$

Частинну похідну коефіцієнта корисної дії за частотою запишемо

$$\frac{\partial \eta}{\partial f^*} = -\frac{\eta}{f \cdot s} + \frac{(1+l_1)\eta^2}{f \cdot s} = -\eta \frac{1-(1+l_1)\eta}{f \cdot s}, \quad (16)$$

а за абсолютною частотою ковзання

$$\frac{\partial \eta}{\partial (f^* - \nu)} = -\frac{\eta}{f^* - \nu} + \frac{\eta^2 f^* (1+l_1)}{\nu (f^* - \nu)} = -\frac{\eta}{f^* - \nu} + \frac{(1+l_1)\eta^2}{\nu s}. \quad (17)$$

Враховуючи те, що при корекції напруги $f^* = const$, а $f_2^* = var$ зміна η і $\cos \varphi$ надасть їм вигляду $\Delta \cos \varphi_u = \frac{\partial \cos \varphi}{\partial f_2^*} \Delta f_2^*$; $\Delta \eta_u = \frac{\partial \eta}{\partial f_2^*} \Delta f_2^*$.

При зміні напруги нова абсолютна частота ковзання дорівнюватиме

$$f_{2_u}^* = f^* - \nu_1 \text{ а її зміна } \Delta f_{2_u}^* = f_{2_u}^* - f_2^* = f^* - \nu_1 - f^* + \nu = -\Delta \nu,$$

а зміна $\cos \varphi$ і ККД при корекції напругою:

$$\Delta \cos \varphi_u = \cos \varphi \sin^2 \varphi \frac{(1+l_1)\eta}{\nu s} \Delta \nu; \Delta \eta_u = \frac{\partial \eta}{\partial f_2^*} \Delta f_2^* = \left(\frac{\eta}{f^* - \nu} - \frac{(1+l_1)\eta^2}{\nu s} \right) \Delta \nu. \quad (18)$$

При частотній корекції $f^* = \text{var}$ і $f_2^* = \text{var}$, тому зміна коефіцієнта потужності дорівнює

$$\Delta \cos \varphi_f = \frac{\partial \cos \varphi}{\partial f^*} \Delta f^* + \frac{\partial \cos \varphi}{\partial f_2^*} \Delta f_{2_f}^*. \quad (19)$$

При корекції за частотою абсолютна частота ковзання

$$f_{2_f}^* = f_1^* - \nu_1 = f^* - \nu_1 + \Delta f^*,$$

а її зміна $\Delta f_{2_f}^* = f_{2_f}^* - f_2^* = f^* - \nu_1 + \Delta f^* - f^* + \nu = \Delta f^* - \Delta \nu$.

Різниця між частотами абсолютного ковзання при корекції за частотою і напругою дорівнює

$$f_{2_u}^* - f_{2_f}^* = \Delta f^* - \Delta \nu + \Delta \nu = \Delta f^*.$$

Підставляючи в (19) значення частинних похідних за виразами (14) і (15) та значення зміни абсолютної частоти ковзання, отримаємо

$$\Delta \cos \varphi_f = \cos \varphi_u - \left(\frac{(1+l_1)}{\nu} \eta + \frac{1}{f^*} \right) \Delta f^* \cos \varphi \sin^2 \varphi. \quad (20)$$

Зміна коефіцієнта корисної дії при частотній корекції

$$\Delta \eta_f = \Delta \eta_u - \eta \left(\frac{2}{f^* - \nu} - \frac{(1+l_1)\eta}{\nu f^*} \right) \Delta f^*. \quad (21)$$

Якщо співставити вирази для $\cos \varphi$ і η при корекції за напругою, при умові $\Delta f^* > 0$, $\Delta f_2^* > 0$, і при корекції за частотою, відповідно, вирази (18) і (20) та (18) і (21), то можна зробити висновок, що корекція за напругою енергетично більш ефективна ніж за частотою оскільки

$$\Delta \cos \varphi_u > \Delta \cos \varphi_f \text{ і } \Delta \eta_u > \Delta \eta_f.$$

За вищевикладеними залежностями для оцінки енергетики електродвигунів при корекції жорсткості механічних характеристик зміною частоти і напруги нами проведені розрахунки для електродвигунів приводів дозаторів 4A100S4Y3 (1434 об/хв.) і 4A80B4Y3 (1413 об/хв.). Дослідження показали, що корекція за напругою електродвигуна 4A100S4Y3 збільшує коефіцієнт корисної дії на 4,1 %, а коефіцієнт потужності на 7,3 %. В той же час корекція за частотою зменшує ці показники, а струм електродвигуна при цьому практично на 20 % перевищує номінальний.

Корекція за частотою для $\Delta P_2 > 0$, менш ефективна в енергетичному плані, є причиною збільшення струму в електродвигуні, і в цьому випадку непридатна. Корекція за напругою у випадку $\Delta P_2 > 0$ дозволяє отримати вищі значення коефіцієнтів потужності і корисної дії електродвигуна та не призводить до збільшення струму вище номінального.

Подальше підвищення якості систем зв'язного регулювання буде проводитись на основі модернізації адаптивних систем керування технологіями приготування

багатокомпонентних сумішей.

The algorithms of a correction of high-speed conditions of a drive, governed on frequency, in systems of a connected batching of components of a mixture are obtained.

Література

1. Корчемний М.О., Федорейко В.С., Гаран Є.В. Підвищення якості приготування кормосуміші шляхом зв'язного регулювання продуктивності дозаторів.//Вісник Тернопільського технічного університету.Тернопіль.: ТДТУ, 2002.-Том 7. -№2.-С.50-54.
2. Федорейко В.С., Гаран Є.В. Енергоефективність приготування багатокомпонентних кормових сумішей.//Праці Таврійської державної агротехнічної академії,-Мелітополь.: ТДАТА,2002.- Вип 5. - С.26-30.
3. Федорейко В.С., Паламар М.І. Оптимізоване керування роботою асинхронних двигунів у потокових лініях. Збірник матеріалів VII наукової конференції ТДТУ ім. І.Пулюя "Прогресивні матеріали, технології в машино-приладобудуванні ",- Тернопіль.: ТДТУ, 2003.-С.103-104.
4. Корчемний М. О., Федорейко В.С. Методика комп'ютерного моделювання електромеханічних і електромагнітних процесів електроприводів сільськогосподарських машин // Науковий вісник Національного аграрного університету. - К.: НАУ, 2001. - №41. -С. 190-200.

Одержано 05.01.2004 р.