

УДК 621.313.333

О.М. ВАСІЛЕВСЬКИЙ^а, Ю.А. ЧАБАНЮК^б

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ НЕСИНХРОННОСТІ ОБЕРТАНЯ СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

^аВінницький національний технічний університет
95, Хмельницьке шосе, м.Вінниця, Україна

^бФізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка
Національної академії наук України, Львів, Україна

Анотація. Розглянуто питання побудови та моделювання системи контролю несинхронності обертання на основі якої реалізовано адаптивний алгоритми контролю несинхронності обертання, який дозволяє підвищити точність синхронізації частот обертання силових електромеханічних перетворювачів. Проведено дослідження роботи розробленої системи і встановлено, що експериментальна зведена похибка несинхронності обертання не перевищує 0,4 %

Аннотация. Рассмотрены вопросы разработки, и моделирования системы контроля асинхронности вращения на основании которой реализован адаптивный алгоритм контроля асинхронности вращения, который позволяет повысить точность синхронизации частот вращения силовых электромеханических преобразователей. Проведены исследования работы разработанной системы и установлено, что экспериментальная сведенная погрешность асинхронности вращения не превышает 0,4 %

Abstract. The questions of development, and modeling of the monitoring system of difference of rotations are considered. The adaptive algorithm of the control of difference of rotations is realized on the basis of the system. The algorithm allows to increase accuracy of synchronization of rotation frequencies of power electromechanical converters. It is determined that the experimental error of difference of rotation does not exceed 0,4%.

АКТУАЛЬНІСТЬ

На сьогоднішній день велику увагу приділяють підвищенню якості продукції, що в свою чергу потребує розвитку систем контролю та діагностики силових електромеханічних перетворювачів (ЕМП). Нестабільність роботи електроприводів залежить від властивостей механізмів та не ідеальності виготовлення електричних і механічних елементів в процесі експлуатації. На практиці досить часто виникає задача побудови систем контролю за синхронним обертанням декількох силових ЕМП. Суть цієї задачі полягає в забезпеченні відносної синхронності по частоті обертання, а також забезпечення високої точності і швидкодії синхронізації. Як правило, при цьому вимоги до точності синхронізації вищі, ніж до точності підтримки абсолютного значення частоти обертання. Сучасний стан засобів вимірювальної техніки розкриває додаткові можливості для підвищення точності обробки сировини. Разом з тим комплексний підхід до одночасної зміни частот обертання асинхронних ЕМП від 0 до 5000 об/хв, вимірювання частот обертання під час розгону, гальмування і реверсу та контролю несинхронності обертання ЕМП раніше не використовувався. Тому обґрунтування і розробка системи контролю несинхронності обертання ЕМП, що дозволяє підвищити синхронізацію частот обертання при розгоні, реверсі та динамічному гальмуванні є актуальною науковою проблемою.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Безупинний ріст вимог до ефективності сучасного промислового виробництва, разом із широким впровадження сучасних технологій, обумовлює необхідність пошуку нових рішень щодо підвищення якості випускаючої продукції. На сьогоднішній день системи контролю несинхронності обертання

асинхронних ЕМП на високих кутових швидкостях, що здатні забезпечити підвищену точність синхронізації, ще мало досліджені. Відомі роботи [1, 2] в яких розглядаються системи контролю несинхронності обертання силових ЕМП постійного струму при умові однакового навантаження на двигуни, які не дозволяють працювати на частотах до 5000 об/хв і забезпечувати при цьому високу точність синхронізації частот обертання.

Мета роботи. Метою роботи є розробка структурної схеми, моделювання та дослідження похибок вимірювань системи контролю несинхронності обертання асинхронних ЕМП середньої потужності, яка б дозволила підвищити точність синхронізації частот обертання на високих кутових швидкостях, що в 1,5 – 2 рази перевищують номінальну частоту обертання.

РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НЕСИНХРОННОСТІ ОБЕРТАННЯ ЕМП

Розвиток мікропроцесорної техніки привів до широкого використання електроприводів разом з ЕМП змінного струму, до створення нових систем контролю за процесом синхронізації частот обертання. Порівняно із ЕМП постійного струму, електроприводи на базі асинхронних ЕМП мають значно нижчу вартість, просту конструкцію, і тому широко використовуються на практиці.

Інформацію про несинхронність обертання силових ЕМП пропонується отримувати за допомогою системи, яка складається із двох вимірювальних каналів (ВК) частоти обертання до складу яких входять: сенсори кутової швидкості, підсилювачі, аналого-цифровий перетворювач (ADC) та мікроконтролер (МС) в якому обробляються і порівнюються виміряні частоти обертання головного ЕМП₁ та допоміжного ЕМП₂, після чого, при появі різниці між частотами обертання, допоміжний ЕМП повинен підстроюватись під головний через послідовний інтерфейс за допомогою частотних регуляторів (ЧР). Використання ЧР дозволяє змінювати частоти обертання ЕМП від нуля і до заданого максимального значення, а також здійснювати синхронізацію частоти обертання ЕМП в режимі розгону, гальмування та реверсу, і зменшити дію пускових струмів до номінальних значень. Структурну схему запропонованої системи контролю несинхронності обертання силових ЕМП представлено на рис.1. Вона повинна працювати наступним чином. Здавачем частот (ЗЧ), через ЧР₁ необхідно задавати частоту обертання головного ЕМП₁, який за технологією повинен змінювати частоту обертання ЕМП від 0 до 80 Гц. За допомогою сенсорів кутової швидкості необхідно вимірювати частоти обертання кожного із ЕМП, після чого підсилити та перетворити у цифровий код для обробки та порівняння в мікроконтролері (МС) виміряних частот обертання головного та допоміжного ЕМП. Якщо несинхронність обертання (різниця між частотами обертання) перевищуватиме допустиму межу, то МС повинен сформувати сигнал для ЧР₂, який зменшить чи збільшить частоту обертання допоміжного ЕМП₂ на величину його відхилення від головного ЕМП.

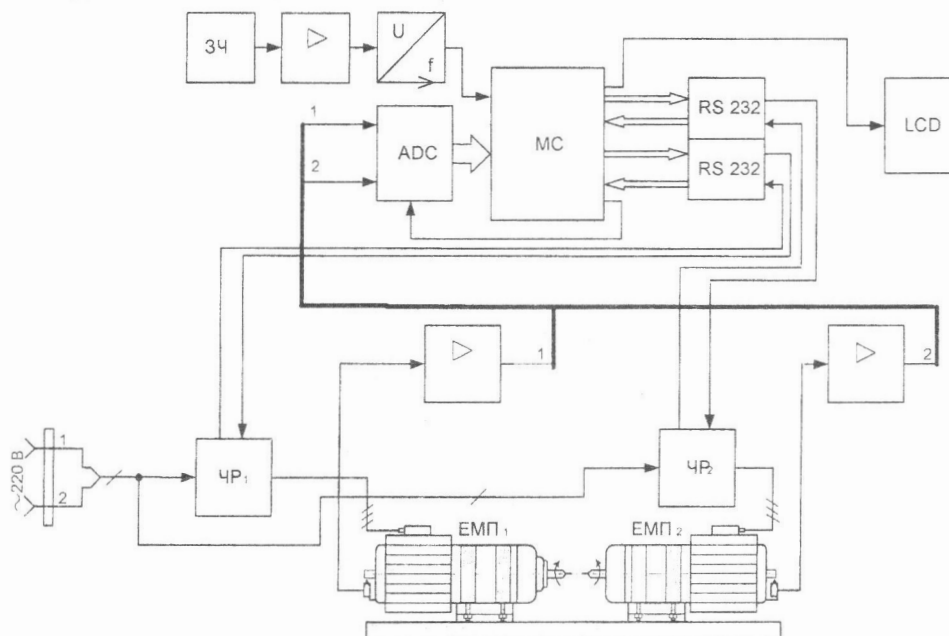


Рис. 1. Структурна схема системи контролю несинхронності обертання силових ЕМП

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ НЕСИНХРОННОСТІ ОБЕРТАННЯ ЕМП ТА ЇЇ АНАЛІЗ

Для моделювання використаємо параметри асинхронного ЕМП типу 4А50А4 з наступними паспортними даними: номінальна напруга $U_n=220\text{В}$; номінальний струм $I_n=0,27\text{ А}$; синхронна швидкість обертання $n_0 = 3000\text{ об/хв}$; кутова частота напруги статора $\omega=314\text{рад/с}$; момент інерції $J=0,000189\text{кг}\cdot\text{м}^2$; момент опору $M_c=0,8\text{ Н}\cdot\text{м}$; кількість пар полюсів $p=2$; активний опір статора $R_1=152,9\text{ Ом}$; активний опір ротора $R_2=192\text{ Ом}$; індуктивність головного потоку $L_m=2,66\text{Гн}$; індуктивність статора $L_1=3,175\text{ Гн}$; індуктивність ротора $L_2=3,095\text{ Гн}$ [3].

Математичні моделі блоків, з яких складається система контролю несинхронності обертання силових ЕМП доцільно розглядати у вигляді передатних функцій, використання яких дозволяє розглядати перехідні процеси при відхиленнях від початкових координат. Передатну функцію електромагнітної частини ЕМП запишемо у вигляді [4]:

$$W_{el}(p) = \frac{\frac{3}{2} p_n k_1^2 \frac{U_{1\alpha}^2}{\Omega_1 R_2'} (T_{el} p + 1) - M_{пoc} \frac{S}{S_{кр}^2} (T_{el} p + 2)}{(T_{el} p + 1)^2 + \left(\frac{S}{S_{кр}}\right)^2} \quad (1)$$

де p_n - кількість пар полюсів ЕМП; k_1 - коефіцієнт електромагнітного зв'язку статора; R_2' - активний опір обмоток статора; Ω_1 - кутова частота напруги статора; $U_{1\alpha}$ - напруга статора; $S = \frac{\omega_1 - p_n \omega}{\omega_1}$ -

ковзання ЕМП; ω_1 - кутова частота напруги статора; $S_{кр} = \frac{R_2'}{L_2'' \Omega_1}$ - критичне ковзання ЕМП; L_2'' - повна

індуктивність статора; $T_{el} = \frac{L_2''}{R_2}$ - електромагнітна постійна часу ЕМП; $M_{пoc}$ - електромагнітний момент ЕМП.

А передатну функцію механічної частини ЕМП записано у вигляді:

$$W_M(p) = \frac{\frac{3}{2} p_n^2 \cdot k_1^2 \cdot U_{1\alpha}^2}{J \cdot \Omega_1^2 \cdot R_2' \cdot p} \quad (2)$$

де J - момент інерції ЕМП.

Для зміни частот обертання асинхронних ЕМП при моделюванні використано передатну функцію ПІД-регулятора, яка має вигляд:

$$W_e(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} + \frac{T_d p}{1 + T_\phi p}\right) \quad (3)$$

де T_i - постійна часу інтегрування; T_d - постійна часу диференціювання; K_p - пропорційний коефіцієнт.

При підстановці паспортних даних у рівняння (1) - (3) отримаємо $M_{пoc}=1,7\text{ Нм}$, $T_m = 0,0175\text{ с}$. Значення моменту інерції та моменту опору допоміжного ЕМП відповідає паспортним даним, а для головного ЕМП момент інерції складає $J'=0,0003\text{ кг}\cdot\text{м}^2$, а моментом опору $M'_c=1\text{ Н}\cdot\text{м}$. Тоді механічна стала часу T'_m головного ЕМП складає: $T'_m = 0,028\text{ с}$.

В систему контролю несинхронності обертання входять сенсори кутової швидкості Д1 та Д2, які ввімкнені у коло зворотного зв'язку. Для контролю несинхронності обертання ЕМП виходи з датчиків заведено на суматор, який визначає різницю частот обертання між головним і допоміжним ЕМП. Визначена величина відхилення ΔK подається на суматор який підстроює допоміжний ЕМП під головний.

На основі передатних функцій (1) - (3) побудовано модель системи контролю несинхронності обертання ЕМП, яка представлена на рис. 2. Комп'ютерне моделювання роботи розробленої системи контролю проведено в пакеті MATLAB з розширенням SIMULINK.

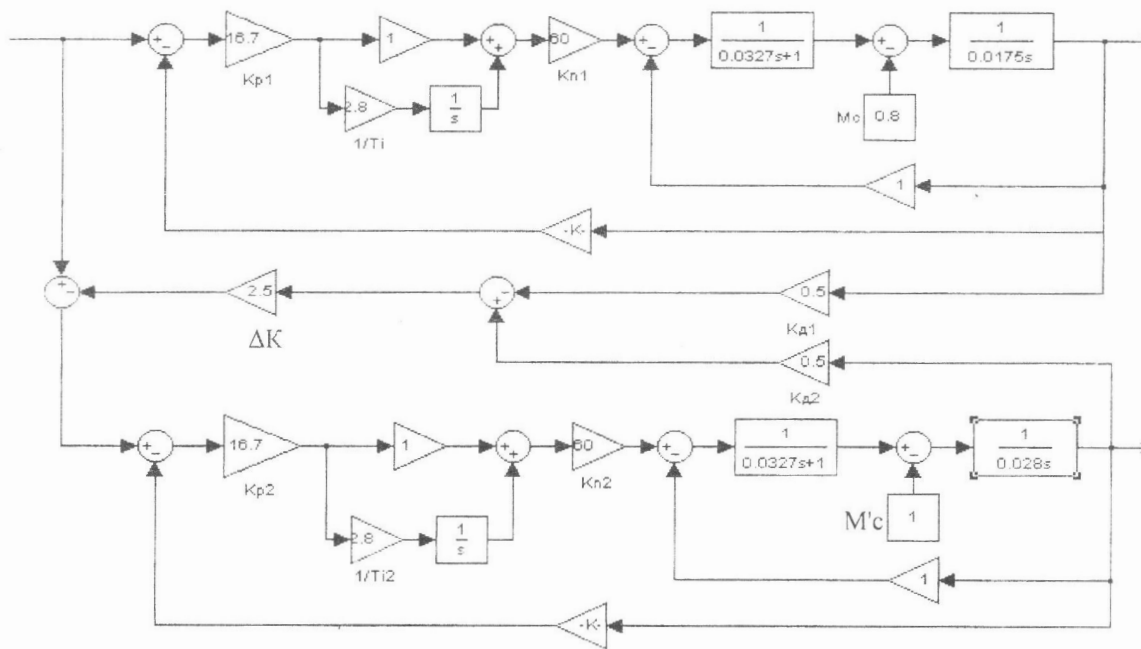


Рис. 2. Модель системи контролю несинхронності обертання силових ЕМП

Результати роботи розробленої моделі при номінальних значеннях електромагнітних і механічних параметрів ЕМП та при відхиленні їх від допустимих меж представлено на рис. 3. Вони свідчать про те, що в системі відбувається контроль несинхронності обертання ЕМП, тобто допоміжний ЕМП постійно підстроюється під головний. Як видно з рис. 3, б під час відхилення від номінальних значень, в сторону збільшення, несинхронність обертання ЕМП в динамічному режимі збільшується приблизно до 15 об/хв, а по закінченню перехідного процесу до 3 об/хв, що майже в 3 рази більше ніж при контролі несинхронності обертання на номінальних параметрах ЕМП (рис. 3, а).

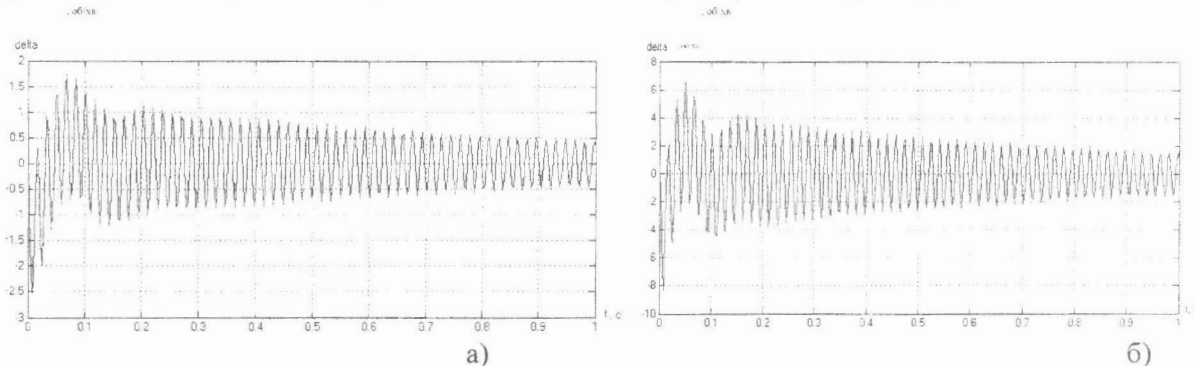


Рис. 3. Процес контролю несинхронності обертання ЕМП: а) – при номінальних параметрах ЕМП; б) – при відхиленні електромагнітних та механічних параметрів

На основі проведеного моделювання роботи системи контролю несинхронності обертання ЕМП встановлено такі основні особливості: розроблена система контролю дозволяє проводити контроль несинхронності обертання в широкому діапазоні – від 0 до 5000 об/хв, з достатньо високою точністю; на несинхронність обертання ЕМП значною мірою впливають електромагнітні і механічні параметри, відхилення яких призводить до збільшення несинхронності обертання ЕМП та зношення механізмів в процесі подальшої експлуатації. Абсолютна похибка несинхронності обертання ЕМП при роботі на номінальних параметрах складає 1 – 4 об/хв, а при відхиленні електромагнітних і механічних параметрів від допустимих меж вона становить 4 – 15 об/хв., а зведена похибка несинхронності не перевищує 0,3 %.

Для підвищення точності синхронізації частот обертання розроблено адаптивну систему контролю несинхронності обертання ЕМП, в якій на відміну від попередньої запропоновано блок адаптивної синхронізації, до складу якого входить еталонна модель ПІД-регулятора, блоки фільтрації нижніх та верхніх частот і регулятор контуру самонастройки, який виконано у вигляді інтегратора з

передатним коефіцієнтом k_i .

Передатні функції фільтрів нижніх $W_{фнч}(p)$ та верхніх $W_{фвч}(p)$ частот записано у вигляді:

$$W_{фнч}(p) = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_B} \cdot p + 1}; W_{фвч}(p) = \frac{1}{\frac{2 \cdot \pi \cdot f_H}{1} \cdot p + 1}, \quad (4)$$

де f_B і f_H – максимальна і мінімальна частоти обертання РС.

Блок-схему запропонованої адаптивної системи контролю промодельовано в пакеті MATLAB з розширенням SIMULINK і представлено на рис. 4.

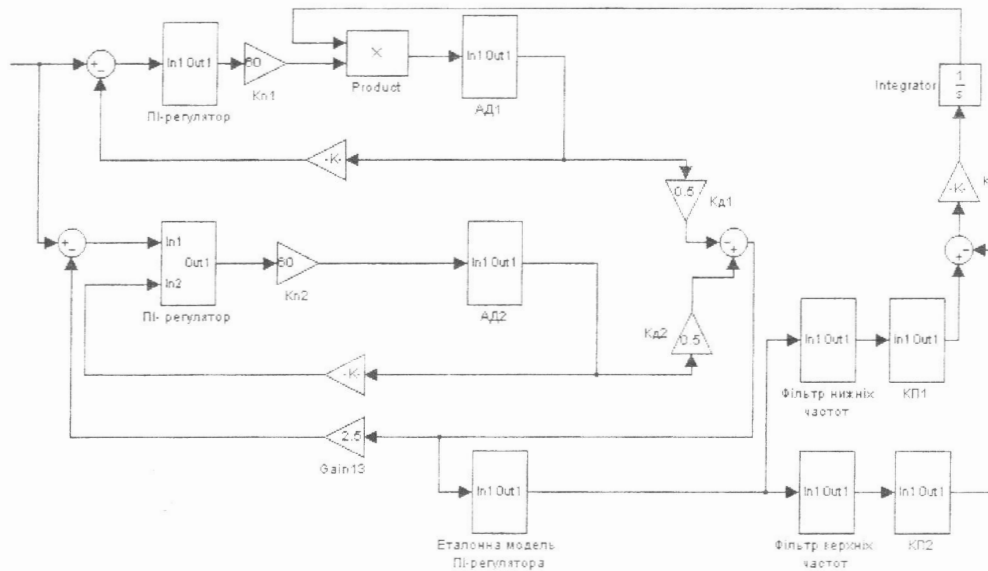


Рис. 4. Модель адаптивної системи контролю

Результати роботи розробленої адаптивної системи контролю представлено характеристиками зміни несинхронності обертання на рис. 5.

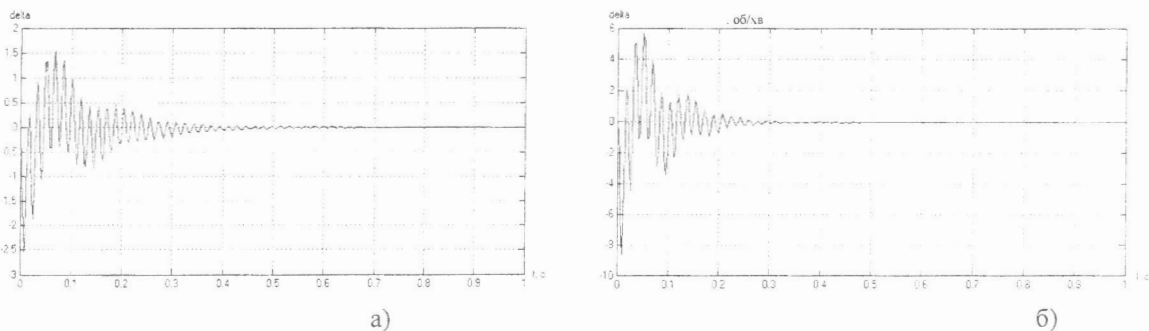


Рис. 5. Характеристики несинхронності обертання ЕМП: а) – при номінальних параметрах; б) – при відхиленні електромагнітних та механічних параметрів

Як видно з отриманих характеристик (рис. 5), несинхронність обертання при використанні адаптивної системи контролю значно зменшилась в порівнянні з несинхронністю, що зображена на рис. 3. Після закінчення перехідного процесу несинхронність обертання практично прямує до нуля навіть при такому ж як і на рис. 3, б відхиленні електромагнітних та механічних параметрів від допустимих меж (рис. 5, б). Проведені дослідження показали, що розроблена адаптивна система дозволяє синхронізувати частоти обертання в динамічному режимі з абсолютною похибкою 14 об/хв. Отримані результати (рис. 5) свідчать про те, що несинхронність обертання можна адаптувати за 0,3 с.

Отже, проведенні дослідження показали, що використання розробленої адаптивної системи контролю несинхронності обертання ЕМП дозволяє підвищити точність синхронізації частот обертання РС у 1,5-2 рази, що наглядно видно із отриманих на рис. 3 та рис. 5 характеристик роботи моделей.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСИНХРОННОСТІ ОБЕРТАННЯ ЕМП ТА ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ

Несинхронність обертання силових ЕМП трьох незалежних досліджень, які проводились на основі розробленої апаратно-програмної структурної схеми (рис. 1) в статичних режимах роботи наведено на рис. 6.



Рис. 6. Експериментальні дослідження несинхронності обертання ЕМП

Вони свідчать про те, що несинхронність обертання у діапазоні роботи від 0 до 80 Гц змінюється хаотично (випадковим чином), причому, на нижніх частотах вона має менші значення, а на максимальних частотах – з'являється тенденція до її збільшення, але загалом можна вважати, що система контролю несинхронність обертання силових ЕМП синхронізує частоти обертання двох асинхронних ЕМП на високих кутових швидкостях, і тим самим підтверджує справедливості розробленої теорії. Проведені багаторазові спостереження несинхронності обертання, показали, що максимальна абсолютна похибка несинхронності не перевищує 20 об/хв. Тому, можна вважати, що експериментальна зведена похибка несинхронності обертання силових ЕМС середньої подужності в робочому діапазоні частот складає:

$$\gamma_{зв} = |\Delta_{\max}| / N_{\max} \cdot 100\% = |-20| / 5000 \cdot 100\% = 0,4\% . \quad (5)$$

Таким чином, проведені дослідження свідчать про те, що несинхронність обертання ЕМП є „періодично-нестационарною”. Також можна сказати, що експериментальні дослідження непогано збігаються із теоретично отриманими характеристиками, а гранично допустима зведена похибка несинхронності обертання згідно із експериментальними дослідженнями в робочому діапазоні частот не перевищує 0,4 %.

ВИСНОВКИ

Отже, розроблено та досліджено систему контролю несинхронності обертання ЕМП, яка дозволяє синхронізувати частоти обертання в робочому діапазоні частот від 0 до 80 Гц із зведеною похибкою, що не перевищує 0,4%. Проведено моделювання системи контролю несинхронності обертання ЕМП та отримано характеристики зміни процесу синхронізації, які свідчать про те, що похибка моделі не перевищує 0,3%. Встановлено, що на несинхронність обертання ЕМП значною мірою впливає відхилення електромагнітних та механічних параметрів. Для зменшення несинхронності обертання запропоновано адаптивну систему контролю, яка дозволяє підвищити точність синхронізації частот обертання та вносити корекцію при відхиленні в процесі експлуатації електромагнітних та механічних параметрів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Барышников В.Д., Куликов С.Н. Автоматизированные электроприводы машин бумагоделательного производства. – Л. Энергоиздат, 1990. – 144 с.
2. Шёнфельд Р., Хабигер Э. Автоматизированные электроприводы.- Л. Энергоиздат, 1989.- 464 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 248 с.
4. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю. Васілевський О.М. Математичне моделювання системи керування асинхронними електродвигунами // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк: Видавництво ДонНТУ, 2003. – № 64. – С. 71 – 77.

Надійшла до редакції 28.10.2005 р.

ВАСІЛЕВСЬКИЙ О. М. – інженер кафедри метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ЧАБАНЮК Ю. А. – Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка, Львів, Україна.