

ДОСЛІДЖЕННЯ ПУСКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЕНСОВАНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Р.М. Чуєнко, кандидат технічних наук

Проведено порівняння пускових характеристик серійного та компенсованого асинхронних двигунів.

Компенсований асинхронний двигун, пусковий момент, пусковий струм, час пуску, осцилограма.

Постановка проблеми. Застосування внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності (ВЄКРП) асинхронного двигуна (АД) призводить до зміни його параметрів, що в свою чергу впливає на пускові характеристики компенсованого асинхронного двигуна (КАД). Зокрема у КАД можуть змінюватися величини пускових струмів та електромагнітного моменту, що впливає на експлуатаційні характеристики двигуна. Тому дослідження пускових режимів КАД є актуальною задачею, пов'язаною із загальною науково-технічною проблемою створення енергоефективних електротехнічних комплексів на базі КАД.

Аналіз останніх досліджень. У якості об'єкта досліджень обрано серійний АД типу 4А71В2 із власними параметрами [1] та створений на його основі КАД.

Для моделювання процесу пуску необхідно знати величину механічного моменту інерції двигуна. Момент інерції розраховується за формулою

$$J = mR^2 / 2 = \rho\pi R^2 LR^2 / 2 = \rho\pi R^4 L / 2, \quad (1)$$

де $R = 0,0322$ м – радіус ротора, L – еквівалентна довжина ротора, $\rho = 7800$ кг/м³ еквівалентна густина матеріалу ротора. Відстань між підшипниками складає 0,157 м, з урахуванням довжини вихідних кінців валу приймаємо $L = 0,19$ м. Тоді маємо:
 $J = \rho\pi R^4 L / 2 = 7800 \cdot \pi \cdot 0,0322^4 \cdot 0,19 / 2 = 0,0025$ кг·м².

Метою досліджень є порівняльний аналіз пускових характеристик серійного АД та створеного на його основі КАД.

Модернізація АД із використанням ВЄКРП передбачає наявність в кожній фазі статора двох симетричних паралельних гілок, в одну з яких включається компенсувальна ємність C [2]. При цьому ЕРС та МРС фази обмотки статора КАД порівняно із АД, а також основний магнітний потік (потік взаємоіндукції) залишаються

без змін. Тому і індуктивний опір взаємоіндукції x_m між обмотками статора і ротора не змінюється. Не змінюються також параметри роторної обмотки. Подальший чисельний аналіз процесу пуску серійного АД та КАД проводився із використанням схем заміщення, зображених на рис. 1.

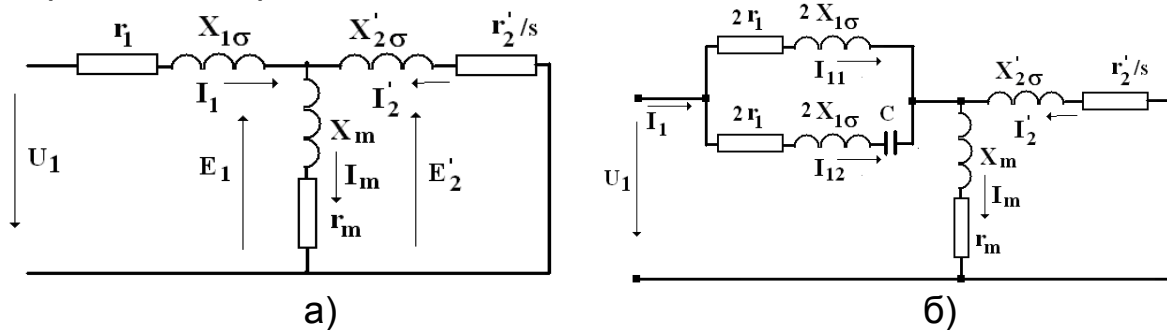


Рис. 1. Схеми заміщення фази АД (а) та КАД (б).

Дві паралельні гілки обмотки статора (рис. 1, б) можна представити у вигляді еквівалентного опору обмотки статора КАД:

$$z_{1\sigma\text{КАД}} = r_{1\text{КАД}} + jx_{1\sigma\text{КАД}} \quad (2)$$

Після перетворень отримаємо наступні вирази для активної і реактивної складової еквівалентного опору:

$$r_{1\text{КАД}} = \frac{r_1 \left[r_1^2 - x_{1\sigma} (x_{1\sigma} - x_c / 2) \right] + r_1 \left[x_{1\sigma} + (x_{1\sigma} - x_c / 2) \right] \cdot \left[(x_{1\sigma} - x_c / 4) \right]}{r_1^2 + (x_{1\sigma} - x_c / 4)^2},$$

$$x_{1\sigma\text{КАД}} = \frac{- \left[r_1^2 - x_{1\sigma} (x_{1\sigma} - x_c / 2) \right] \cdot \left[(x_{1\sigma} - x_c / 4) \right] + r_1^2 \left[x_{1\sigma} + (x_{1\sigma} - x_c / 2) \right]}{r_1^2 + (x_{1\sigma} - x_c / 4)^2}, \quad (3)$$

де $x_c = 1/\omega C$ - реактивний опір ємності.

Якщо підставити в отримані вирази (1) чисельні значення параметрів серійного АД $r_1 = 11,5$ Ом і $x_{1\sigma} = 4,78$ Ом, то отримаємо наступні чисельні значення для КАД (в Ом) :

$$r_{1\text{КАД}} = \frac{23x_c^2 - 436,7x_c + 28537,6}{x_c^2 - 38,24x_c + 2481,6}, \quad x_{1\sigma\text{КАД}} = \frac{9,56x_c^2 - 803,1x_c + 11862,05}{x_c^2 - 38,24x_c + 2481,6}. \quad (4)$$

Як видно з виразів (2), опір ємності впливає не тільки на реактивний опір обмотки статора КАД, але й на її активний опір (рис. 2).

З рис. 2 видно, що з ростом реактивного опору ємності в діапазоні значень $X_c = (0 \dots 20)$ Ом активний опір КАД збільшується в 1,19 раз, а реактивний зменшується, переходячи при $X_c = 20$ Ом в зону від'ємних значень, що можна трактувати, як набуття еквівалентним опором обмотки статора КАД ємнісного характеру.

При подальшому збільшенні X_c еквівалентний активний опір $r_{1\text{КАД}}$ монотонно збільшується до величини $r_{1\text{КАД}} = 2r_1 = 23$ Ом, а

еквівалентний індуктивний опір $x_{1\sigma\text{КАД}}$ при $X_C = 65$ Ом знову стає позитивним в прямує до величини $x_{1\sigma\text{КАД}} = 2x_{1\sigma} = 9,56$ Ом.

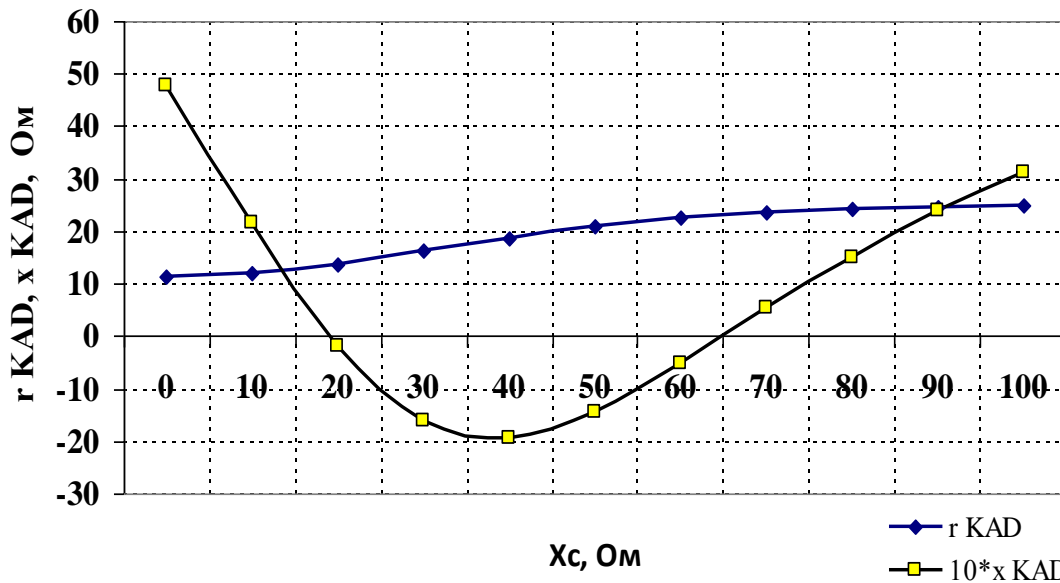


Рис. 2. Функції параметрів $r_{\text{КАД}}$ і $x_{1\sigma\text{КАД}}$ в залежності від опору ємності X_C .

Збільшення еквівалентного активного опору обмотки статора КАД при зростанні X_C можна пояснити впливом коливальних процесів обміну енергією між власною індуктивністю основної обмотки та компенсальною ємністю додаткової обмотки без транзитної передачі енергії в ротор, тобто без електромеханічного перетворення енергії. Наприклад, при виникненні ідеального резонансу струмів в паралельно з'єднаних ємності і індуктивності (при відсутності власних активних опорів паралельних гілок) вхідний активний опір такої схеми є нескінченно великим.

Порівняльний аналіз пускових характеристик серійного АД і КАД виконаємо в рамках обчислювального комплексу MATLAB – SIMULINK. В основі математичної моделі короткозамкнутого асинхронного двигуна, що використовується в пакеті MATLAB – SIMULINK для аналізу динамічних режимів, лежить наступна система диференціальних рівнянь, яка записана в еквівалентній двофазній d - q системі координат:

$$V_{1d} = i_{1d}r_1 + \frac{d\psi_{1d}}{dt} - \omega\psi_{1q}, \quad V_{1q} = i_{1q}r_1 + \frac{d\psi_{1q}}{dt} + \omega\psi_{1d};$$

$$0 = i_{2d}'r_2' + \frac{d\psi_{2d}'}{dt} - (\omega - p\omega_R)\psi_{2q}', \quad 0 = i_{2q}'r_2' + \frac{d\psi_{2q}'}{dt} + (\omega - p\omega_R)\psi_{2d}'; \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_R}{dt} = \frac{1}{2J}(T_e - T_c), \quad \frac{d\theta_R}{dt} = \omega_R; \quad T_e = 1,5p(i_{1q}\psi_{1d} + i_{1d}\psi_{1q}) \quad (6)$$

де $\psi_{1d} = L_1 i_{1d} + L_m i_{2d}$, $\psi_{1q} = L_1 i_{1q} + L_m i_{2q}$, $\psi_{2d} = L_2 i_{2d} + L_m i_{1d}$, $\psi_{2q} = L_2 i_{2q} + L_m i_{1q}$ – магнітні потокозчеплення фаз статора і ротора; $L_1 = L_{1\sigma} + L_m$, $L_2 = L_{2\sigma} + L_m$ – власні індуктивності статора і ротора (приведена); $L_{1\sigma}$, $L_{2\sigma}$, L_m – індуктивності розсіювання статора, ротора (приведена), та взаємна індуктивність між статором і ротором; ω_R – кутова швидкість обертання ротора; ω – кутова частота напруги живлення; p – кількість пар полюсів; J – механічний момент інерції ротора АД; T_e – зовнішній момент опору на валу АД; θ_R – кут повороту ротора. В моделі використовуються перетворення, які дозволяють в разі необхідності перейти від двофазної системи обмоток до трифазної.

Вихідні дані двигуна відповідають схемі заміщення (рис. 1, а). При моделюванні КАД використовуються еквівалентні параметри обмотки статора, які визначаються за допомогою виразів (3), (4).

В рамках підсистеми SIMULINK формується стандартна електрична схема для дослідження пуску асинхронного двигуна при його прямому включенні в мережу (рис. 4). Джерела живлення відповідають номінальним фазним напругам обмотки статора. Система віртуальних осцилографів дозволяє отримувати та візуалізувати розрахункові осцилограми струмів статора, електромагнітного моменту і швидкості обертання ротора.

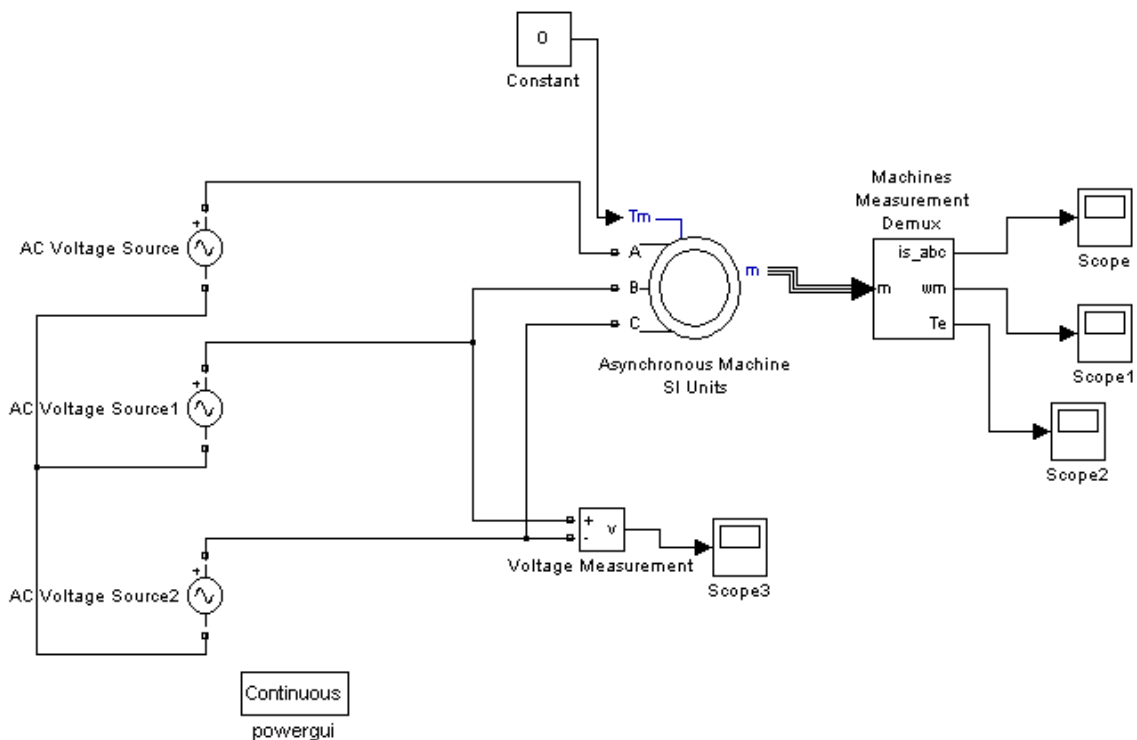


Рис. 4. Схема для дослідження асинхронного двигуна у середовищі Simulink.

Початковими умовами є: ковзання ротора $s = 1$, струми у всіх контурах двигуна дорівнюють нулю, до обмотки статора прикладена незмінна за амплітудою трифазна система напруг, зовнішній момент опору дорівнює нулю.

Результати досліджень. Характер розрахункових осцилограм пуску серійного АД типу 4А71В2 (рис. 5) відповідає фізичним уявленням щодо динаміки пуску двигуна. Зокрема спостерігаються коливання струму статора, які після завершення розгону ротора закінчуються протіканням струму холостого ходу. Спостерігаються також коливання електромагнітного моменту. Оскільки розглядається пуск при умові, що зовнішній момент опору на валу дорівнює нулю ($T_m = 0$), то після завершення розгону електромагнітний момент також зменшується до нуля.

Амплітуда пускового (ударного) струму АД (рис. 5,а) складає 12,2 А, а пускового (ударного) моменту (рис. 5,б) – 7 Нм. Час розгону до номінальної швидкості при заданому моменті інерції ротора (рис. 5, в) дорівнює 0,23 с.

Відношення амплітуди пускового струму до номінального складає $12,2 / 2,47 = 4,94$, а відповідно пускового моменту $7 / 3,75 = 1,87$. Дані величини на 6-11% відрізняються в меншу сторону від даних, наведених в довіднику [1].

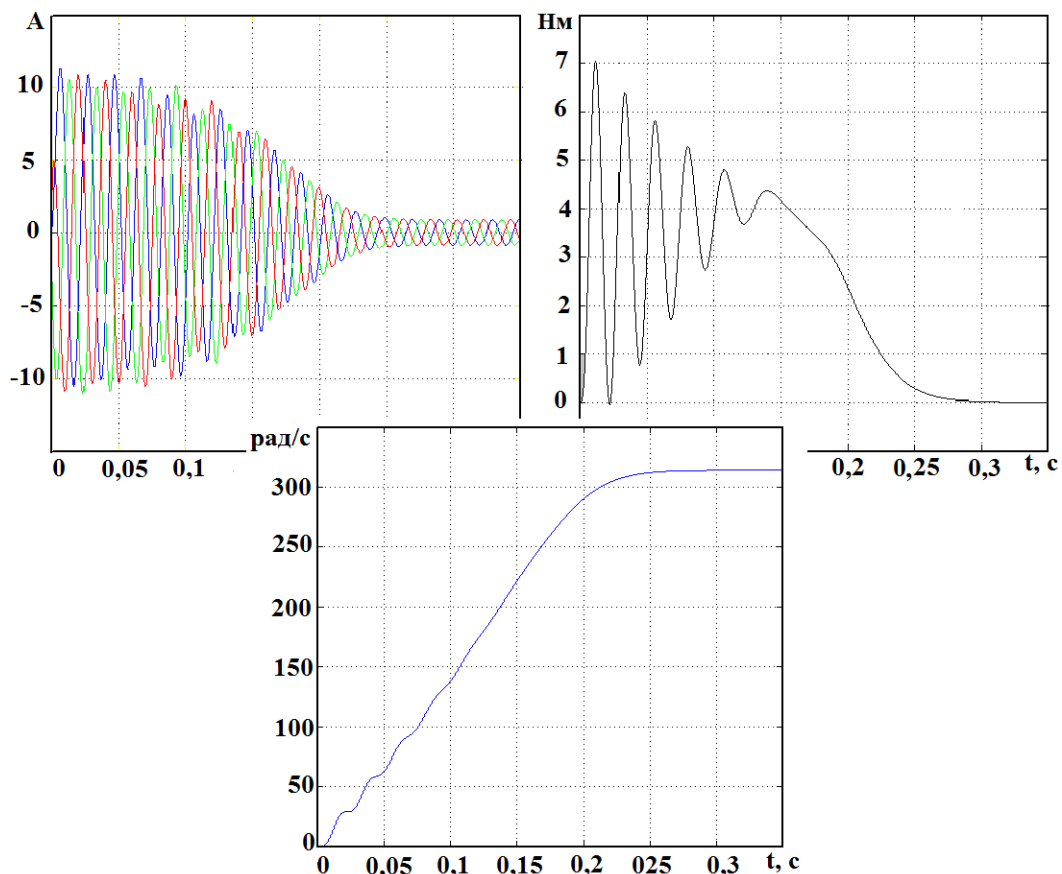


Рис. 5. Результати моделювання процесу пуску серійного АД.

Пуск КАД. Характер зміни у часі осцилограм пускового струму, моменту та обертів КАД (рис. 6) залишається подібним до осцилограм серійного АД. Але у порівнянні з серійним АД амплітуда ударного струму обмотки статора складає 12,98 А, а електромагнітного моменту 7,53 Нм.

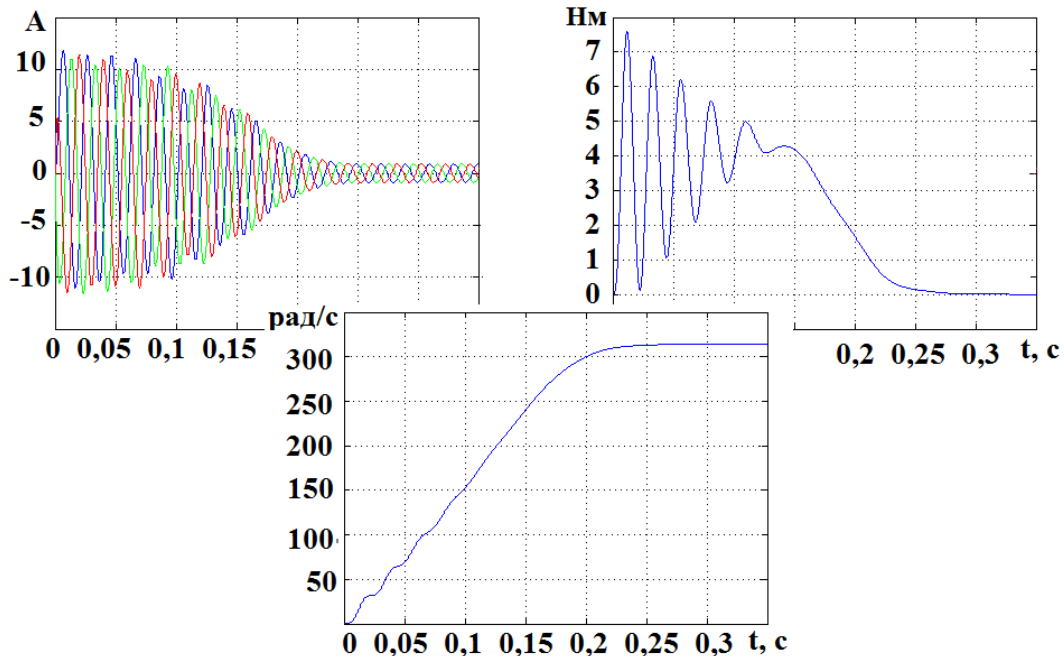


Рис. 6. Результати моделювання процесу пуску КАД.

Розрахункові залежності амплітуд ударного струму, електромагнітного моменту і часу пуску КАД в залежності від величини ємнісного опору компенсуючої ємності в діапазоні значень $X_C = (0 \dots 20)$ Ом (рис. 7) свідчать, що на початковій стадії зміни X_C в діапазоні значень $0 < X_C < 8$ Ом спостерігається невелике покращення пускових характеристик КАД: амплітуда пускового струму збільшується з 12,2 А до 12,98 А, (на 6,4%), амплітуда електромагнітного моменту збільшується з 7 Нм до 7,53 Нм (на 7,6%), а час пуску зменшується з 2,3 с до 2,1 с (на 9,5%). Це пояснюється зменшенням еквівалентного реактивного опору розсіювання обмотки статора $x_{1\sigma\text{КАД}}$ не зважаючи на збільшення активної складової опору $r_{1\text{КАД}}$ (рис. 2).

При подальшому збільшенні опору ємності $X_C > 8$ Ом збільшення величини $r_{1\text{КАД}}$ призводить до зменшення ударного струму і моменту, що в свою чергу збільшує час пуску двигуна. Зокрема, при $x_c = 18$ Ом час пуску КАД у порівнянні з серійним АД збільшується на 13,6%. Оптимальний вибір величини X_C виконується виходячи з оптимальних характеристик КАД в номінальному сталому режимі роботи. Але отримані результати дозволяють оцінити

можливі зміни пускових характеристик КАД в широкому діапазоні зміни зазначеного опору ємності.

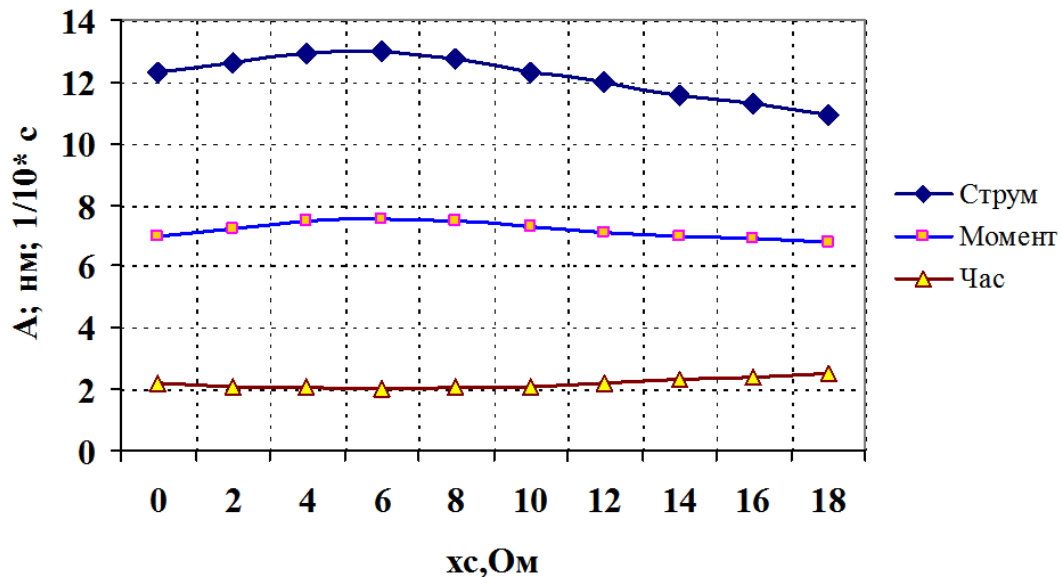


Рис. 7. Залежності амплітуд ударного струму, електромагнітного моменту і часу пуску КАД від X_C .

Висновки

1. Виконання КАД з двома симетричними паралельними гілками, в одну з яких включено компенсуючу ємність, не призводить до недопустимого збільшення пускового струму і електромагнітного моменту, величини яких призводили б до зменшення експлуатаційного ресурсу КАД у порівнянні з аналогічним серійним АД.

2. Пускові характеристик КАД суттєво залежать від величини опору компенсуючої ємності. Максимальне збільшення пускового струму при широкій варіації величини X_C спостерігається на рівні (5...7)%, електромагнітного моменту (6...8)%, а відповідне зменшення часу пуску КАД складає (8...10)%.

3. При значному збільшенні опору X_C (малій величині компенсуючої ємності) спостерігається погіршення пускових характеристик КАД: у порівнянні з серійним АД час пуску КАД зростає на (14 ... 20)% і більше.

Список літератури

1. Асинхронные двигатели серии 4А / [Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И., Соболенская Е.А.]. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
2. Мишин В.И. Эффект внутренней емкостной компенсации реактивной мощности в асинхронных двигателях / В.И. Мишин, Р.Н. Чуенко, В.В. Гаврилюк // Электротехника. – 2009. – №8. – С. 30–36.

3. Мишин В.И. Особенности физических процессов в компенсированном асинхронном двигателе. Научно-практический журнал национального технического университета „ХПИ” / Мишин В.И., Чуенко Р.М., Кулинич А.Н. // Электротехника і електромеханіка. – Харків. – 2005. – №2. – С. 48–53.

Проведено сравнение пусковых характеристик серийного и компенсированного асинхронных двигателей.

Компенсированный асинхронный двигатель, пусковой момент, пусковой ток, время пуска, осциллограмма.

Comparison of starting characteristics of serial and compensated induction motors is carried out.

Compensated induction motor, starting current, starting torque, start-up time, oscillogram.

УДК 621.752(031)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РУХУ ЗЕРНОВИХ ЧАСТИНОК ПО ВІБРУЮЧОМУ ПОХИЛОМУ РЕШЕТІ

***Ю.В. Човнюк, кандидат технічних наук
М.М. Бондар, кандидат педагогічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
Т.П. Федорина, кандидат педагогічних наук
О.Г. Ярмоленко, магістр
Ніжинський агротехнічний інститут***

Наведена математична модель та здійснений аналіз режимів руху зернових частинок впродовж вібруючого похилого решета, котре здійснює поступальні коливання по еліптичним траєкторіям паралельно площині найбільшого сходження.

Модель, режим, рух, решето.

Постановка проблеми. Вібраційне переміщення оброблюваного матеріалу є основним елементом технологічного процесу багатьох вібраційних машин та пристроїв. Наприклад, особливістю технологічного процесу, виконуваного вібраційними зерноочисними машинами (та решетами) з неперфорованими робочими органами є те, що компоненти насінневих сумішей, котрі мають різні фізико-механічні властивості: фрикційні, пружні, а також

© Ю.В. Човнюк, М.М. Бондар, Т.П. Федорина, О.Г. Ярмоленко, 2012