

УДК 621.312/314

А.М. Панченко

## ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В ЗАГАЛЬМОВАНОМУ АСИНХРОННОМУ ДВИГУНІ

*Запропоновано описання перехідних режимів в асинхронному двигуні, що дозволяє встановити нові закономірності процесу пуску та запропонувати спосіб зменшення величин ударних струмів.*

### Постановка проблеми та аналіз літератури

В існуючій літературі математичні описання роботи асинхронних електричних двигунів у найпростішому варіанті розглядаються, виходячи з їх схем заміщення. У більш складних випадках математична модель асинхронного двигуна подається з використанням рівнянь Парка-Горева. Як перший, так і другий варіанти математичного подання роботи асинхронного двигуна не дозволяють з достатньою для практики точністю визначити значення струму в процесі пуску двигуна, коли його ротор загальмований.

Пропонується представити асинхронний двигун у процесі пуску як трансформатор, математичне описання якого відповідає рівнянням:

$$\begin{cases} U_0 \sin(\omega t + \psi_0) = L_1 i_1' + i_1 r_1 - M i_2'; \\ M i_1' = L_2 i_2' + i_2 r_2, \end{cases} \quad (1)$$

не спрощуючи його до рівняння першого порядку, що дає змогу більш точно враховувати ряд параметрів електричних машин.

Відомі способи описання роботи електричних двигунів з моменту подачі напруги й до моменту початку руху ротора, що використовуються в [1 – 6], не дають чіткої відповіді на те, як впливає потік розсіювання на перехідні процеси в трансформаторі та електричній машині. Досить приблизно визначається вплив на ударний момент параметрів двигуна. Відсутня методика визначення впливу на перехідний процес неодночасного вмикання фаз двигуна (внаслідок інерційності механічного вимикача).

**Мета статті** – довести можливість вивчення електромагнітного перехідного процесу в загальмованому асинхронному двигуні за допомогою подання його математичного описання.

### Основний матеріал

Оскільки у загальмованого асинхронного двигуна відсутня обертова електрорушійна сила, він може бути представлений як трифазний трансформатор. Разом з тим асинхронний двигун відрізняється від

трансформатора відносно більшим коефіцієнтом розсіювання, що свідчить про необхідність врахування понадперехідних струмів у перехідному процесі.

Використовуючи отримані в [7] розв'язки рівняння (1), з'ясуємо вплив на величину ударного струму значення коефіцієнта розсіювання, яке змінюється в межах від 0,00001 до 0,3.

Результати відповідних розрахунків наведені на рис. 1. Характер зміни кривих залежить певним чином як від параметрів двигуна (індуктивних та активних опорів обмоток статора і ротора), так і від моменту вмикання напруги. На графіках менші значення ударних струмів відповідають трансформаторам, більші – асинхронним двигунам.

Оскільки ми вважали, що асинхронний двигун з нерухомим ротором відповідає трифазному трансформатору, то процес пуску можна розглядати як процес вмикання навантаженого трансформатора на синусоїдальну напругу. Момент  $F$ , що виникає при проходженні струму по одній із фаз статора і по відповідній ділянці ротора, пропорційний струмам статора і ротора, куту між цими струмами та коефіцієнту взаємоіндукції. Залежно від математичного апарату авторами [1 – 6] наводяться вирази для визначення моменту  $F$ , якщо струми представляються в комплексах відповідно до теорії поля, що обертається [1], а саме:

$$F = M I_1 I_2 \sin \psi, \quad (2)$$

де  $M$  – коефіцієнт взаємоіндукції між фазною обмоткою статора і ротора;

$I_1, I_2$  – модулі комплексів струмів статора і ротора;

$\psi$  – кут між комплексами струмів.

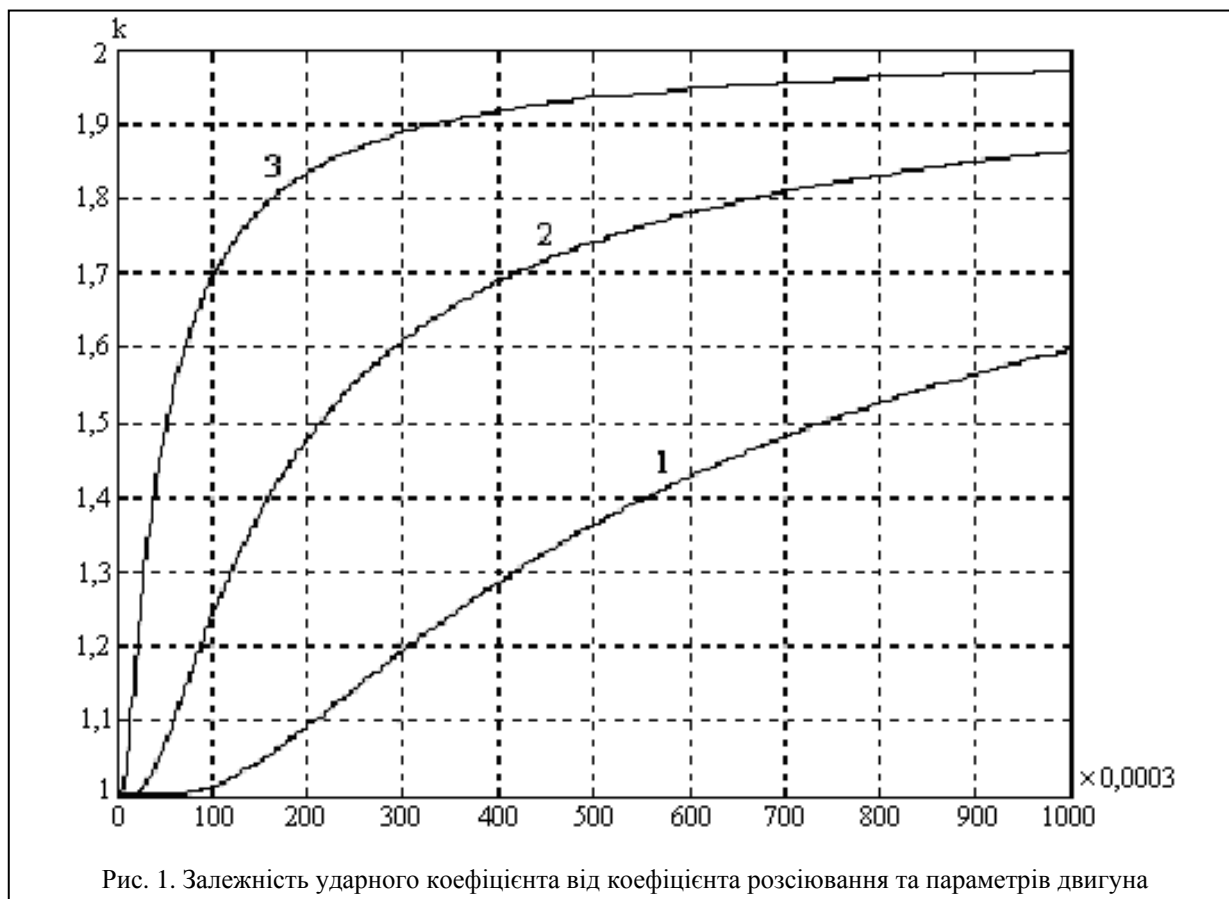
Використовуючи рухому систему координат з відповідними осями  $d$  і  $q$  [8], отримаємо

$$F = M (i_q^s i_d^r - i_d^s i_q^r), \quad (3)$$

де  $i_q^s, i_d^r, i_d^s, i_q^r$  – струми статора і ротора за відповідними осями;

$s, r$  – індекси, які відповідають статору і ротору.

Використаємо отримані в [7] миттєві значення



струмів первинної та вторинної обмоток. Момент, що діє на нерухомий ротор з моменту вмикання напруги і до тієї миті, коли електромагнітний момент зрівняється з моментом опору двигуна, маємо у вигляді

$$F = M i_1(t) i_2(t), \quad (4)$$

де  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  – миттєві значення струмів статора і ротора однієї фази двигуна;

$M$  – коефіцієнт взаємодукції між фазою ротора і статора при нерухомому роторі.

Таким чином на ротор відповідно до кількості фаз одночасно діє три різних моменти, а оскільки ми використовуємо миттєві значення струмів, то результуючий момент визначається шляхом складання миттєвих значень моментів за кожною із фаз.

На рис. 2. штрихованими лініями наведені моменти, що діють на ротор відповідно в фазах А, В і С. Результуючий момент, що дорівнює сумі моментів, показаний суцільною лінією. Слід зауважити, що моменти за кожною з фаз залежать від фази вмикання напруги, але їх сума завжди залишається незмінною. Таким чином, характер зміни результуючого моменту в загальмованому роторі не залежить від фази вмикання.

Як правило, асинхронні двигуни вмикаються в мережу автоматами, де з'єднання полюсів забезпе-

чується їх механічним переміщенням, а це потребує певного часу в межах 0,01...0,001 с. Одночасне спрацювання механічних полюсів також неможливо, отже при комутації завжди буде певна розбіжність у часі. Такі явища будуть ініціювати специфічні перехідні процеси, які були розглянуті в [9].

На рис. 3 несучільними лініями зображені моменти, що виникають внаслідок затримки спрацювання механічного вимикача за кожною з фаз на час, який дорівнює 0,002, 0,005, 0,008 с відповідно. Суцільною лінією показан результуючий електромагнітний момент, що виникає на валу асинхронного двигуна. Оскільки в механічних вимикачах тривалість затримки спрацювання носить випадковий характер, то прогнозування характеру пускового моменту малоімовірно. У разі використання напівпровідникових вимикачів, які дозволяють виконувати комутацію в фіксовані моменти часу, можливо зменшити величину пускового моменту.

На рис. 4 наведені результуючі графіки моментів асинхронного двигуна при комутації вимикача з різними затримками в часі. Проведені дослідження показали, що змінюючи затримки в часі за кожною з фаз можна підібрати таку комбінацію затримок вмикання, яка дозволить мінімізувати пусковий момент.

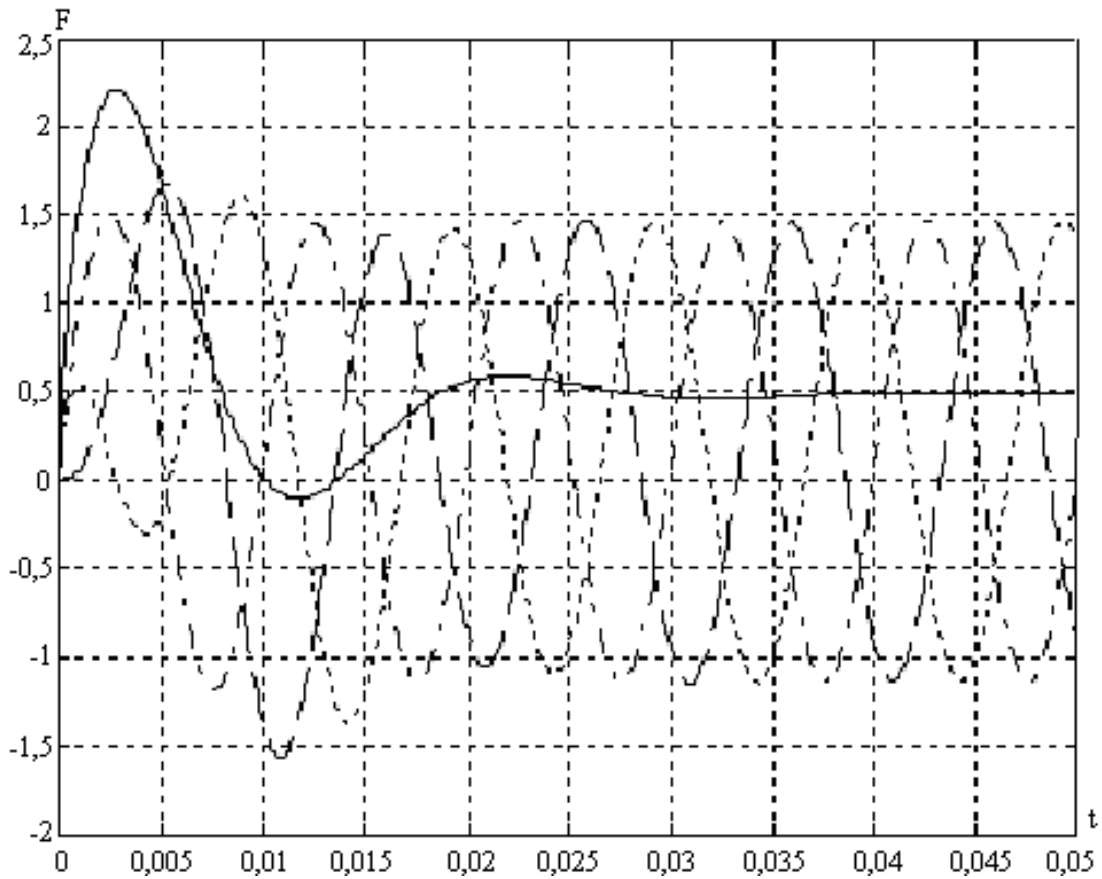


Рис. 2. Моменти, що виникають при вмиканні напруги на загальмованому роторі

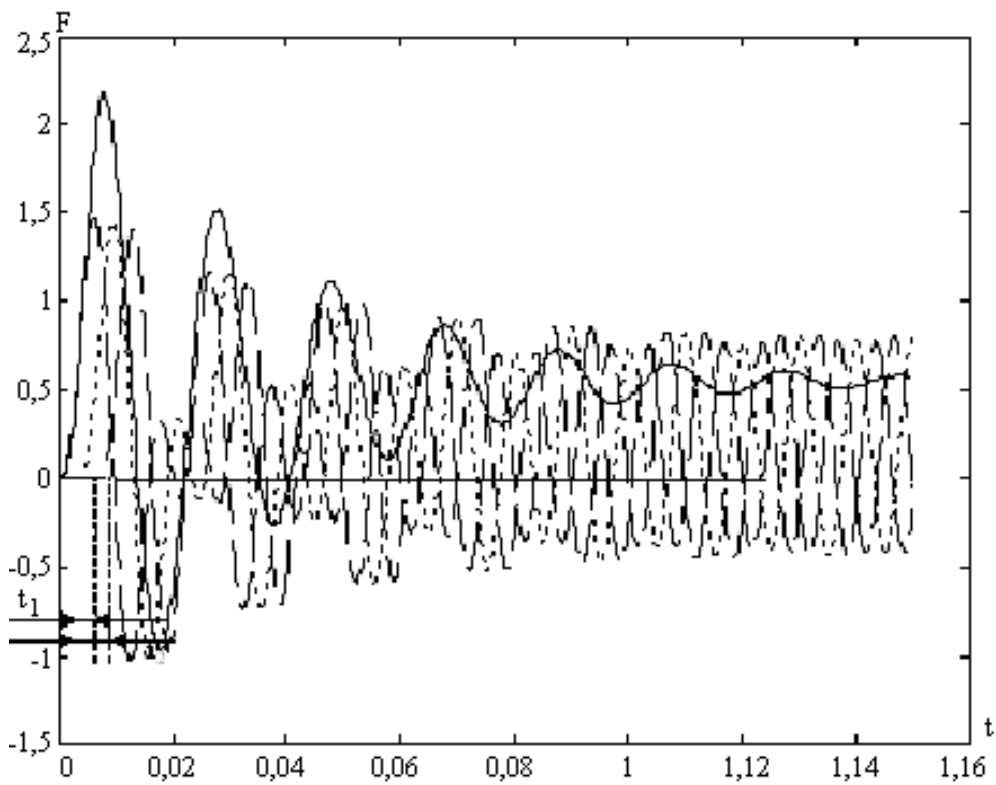


Рис. 3. Залежність електромагнітного моменту від затримки спрацювання механічного вимикача

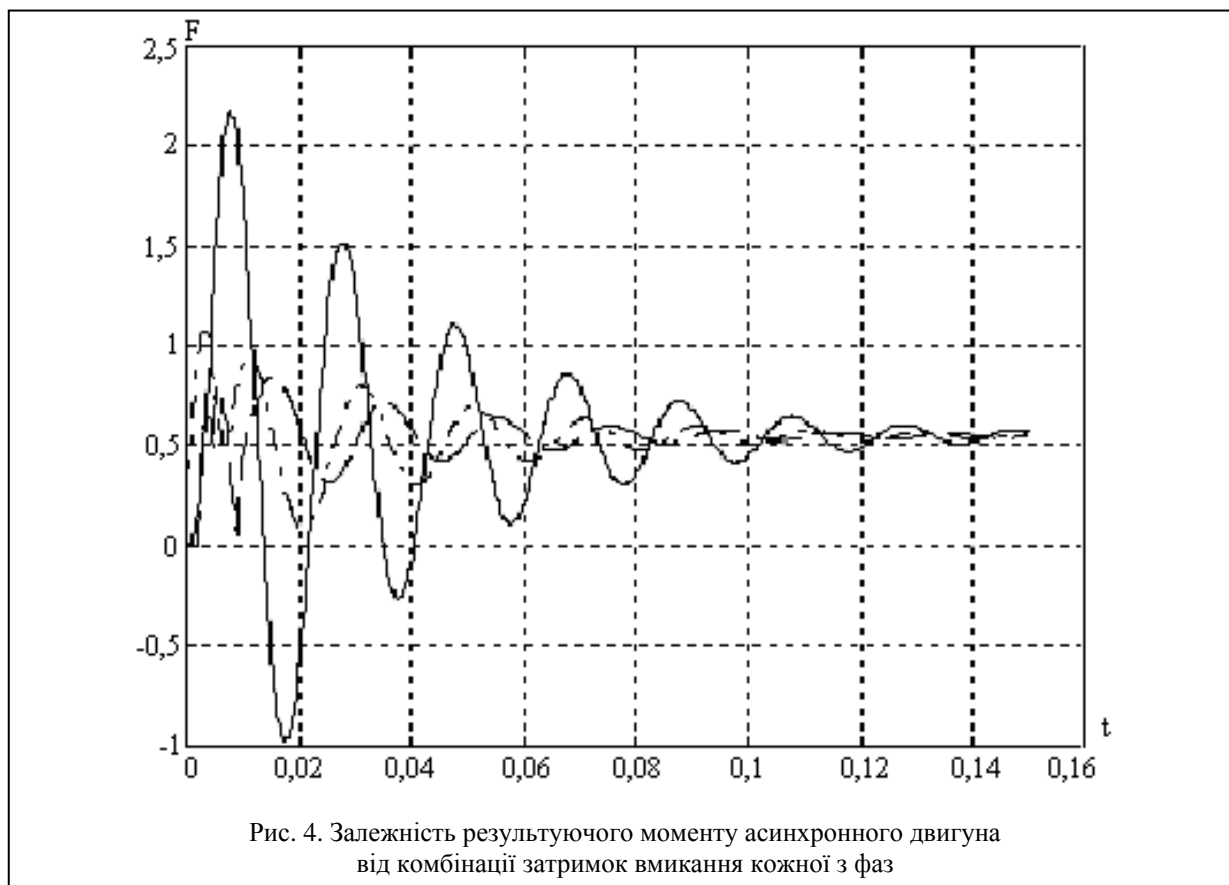


Рис. 4. Залежність результуючого моменту асинхронного двигуна від комбінації затримок вмикання кожної з фаз

### Висновок

Знаючи параметри асинхронного двигуна і користуючись математичним описанням загальмованого ротора на базі виразу (1), можна отримати закони змінування струму з моменту вмикання до моменту, коли електромагнітний момент зрівняється з моментом опору. Максимальні значення струмів припадають якраз на цей проміжок часу, і вони є найбільш важливими для розрахунків систем управління пуском асинхронного двигуна. Використання затримок спрацювання комутаційної апаратури дає змогу мінімізувати як ударні струми, так і максимальний обертовий момент.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шуйский В.П. Расчет электрических машин. – Л.: Энергия, 1968. – 731 с.
2. Пиотровский Л.М. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 503 с.
3. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 926 с.

4. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 839 с.
5. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1936. – 743 с.
6. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высш. шк., 2001. – 403 с.
7. Панченко А.М. Особенности вмикання навантаженого трансформатора // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ, 2003. – № 6(36). – С. 48 – 54.
8. Копылов И.П. Применение вычислительных машин в инженерно-экономических расчетах. – М.: Высшая школа, 1980. – 260 с.
9. Панченко А.М. Дослідження перехідних процесів при наявності затримки спрацювання механічного вимикача // Авиационно-космическая техника и технология: Науч.-техн. журнал. – № 5(21). – С. 23 – 27.

Надійшла 03.02.2006

Рецензент: д-р техн. наук професор Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба.