

В. С. Маляр, О. Є. Гамола, В. С. Мадай, І. Р. Гавдьо
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної та загальної електротехніки,
кафедра електричних машин і апаратів

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

© Маляр В. С., Гамола О. Є., Мадай В. С., Гавдьо І. Р., 2016

Розглядається проблема розрахунку перехідних процесів в асинхронних двигунах, які живляться від однофазної мережі із конденсаторами в одній фазі. В основу розробленого алгоритму покладено математичну модель асинхронного двигуна високого рівня адекватності, в якій враховується явище витіснення струму в стержнях ротора і насичення магнітопроводу.

Ключові слова: асинхронний двигун, однофазне живлення, перехідний процес, ємність конденсаторів.

The problem of calculation of transients in asynchronous motors which works from single-phase network with capacitors in a single phase is examined. The basis of the algorithm is a mathematical model of induction motors with the high level of adequacy. This model takes into account the phenomena of skin effect in the bars of the rotor and magnetic core saturation.

Key words: asynchronous motor, single-phase network, transient phenomena, capacitors capacitance.

Постановка задачі

Асинхронні двигуни (АД) як найпоширеніший тип двигунів у різних електроприводах достатньо повно досліджені. Їх аналіз має в своїй основі добре розвинений набір математичних моделей від найпростіших до доволі складних, зокрема польових. Крім того, у практиці виникає потреба в дослідженні АД в умовах однофазного живлення, що може бути зумовлене втратою живлення однієї фази. Оскільки струм в одній фазі при цьому не протікає, то магнітне поле стає не обертовим, а пульсуючим, яке можна розглядати як результат накладання двох однакових полів, що обертаються в різні боки. Кожне з них взаємодіє зі струмами ротора і утворює свій момент, а електромагнітний момент АД є результатом їх сумісної дії. Якщо живлення фази втрачено під час обертання ротора, то ці моменти будуть різними за величиною, а їхня різниця визначатиме результуючий момент на валу двигуна. Отже, двигун може в умовах втрати однієї фази працювати, але з меншим навантаженням, хоча такий режим є аномальним. Крім того, існує потреба в однофазних двигунах, оскільки з різних причин трифазна мережа є не скрізь. Для цього в промисловості випускають однофазні АД, які мають додаткову обмотку, в яку для створення зсуву за фазою струму використовують конденсатори [1, 4, 10]. Зрештою застосування трифазних обмоток в АД з однофазним живленням дає змогу використовувати різні схеми живлення обмоток і отримувати характеристики, не гірші від виготовлених спеціально однофазних двигунів [3, 6, 7].

Аналіз останніх досліджень

Застосування трифазних двигунів при однофазному живленні потребує поглибленого дослідження різних аспектів їх функціонування і в усталених, і в перехідних режимах роботи. Зокрема, ємність конденсаторів, необхідна для успішного пуску, може бути зовсім невдалою для роботи в номінальному режимі. Крім того, наявність конденсаторів може зумовити появу резонансу. Проте робота трифазних

АД при однофазному живленні досліджена недостатньо, що зумовлено складністю математичного опису процесів, які відбуваються при цьому в двигуні. Методи аналізу, засновані на теорії двох полів, що обертаються в різні боки, мають важливе методологічне значення, однак виконання розрахунків з їх використанням мають доволі обмежене застосування внаслідок низької точності. Це зумовлено тим, що вони мають у своїй основі метод накладання, який теоретично обґрунтований лише для лінійних об'єктів. Це саме стосується і відомого методу симетричних складових, який донині використовується в багатьох математичних моделях [4, 6]. Отже, проблема дослідження процесів, які виникають в асинхронних електроприводах у разі вмикання в обмотку статора АД конденсаторів, має важливе практичне значення, а розроблення математичних моделей, придатних для їх ефективного аналізу, є актуальним завданням.

Постановка задачі

Вибрати ємність конденсаторів для пуску однофазних конденсаторних АД можна за наближеними методиками розрахунку статичних характеристик. Крім того, проблема дослідження роботи АД у динамічних режимах залишається невирішеною до цих пір, тому цій проблемі приділяється значна увага [1, 3–5]. Однак в основі цих досліджень є електричні заступні схеми, елементами яких є активні та індуктивні опори обмоток АД [2], значення яких у динамічних режимах внаслідок насичення магнітопроводу та витіснення струму в стержнях короткозамкненої обмотки ротора змінюються в широких межах. Оскільки урахування насичення сталі та витіснення струмів за допомогою коефіцієнтів забезпечує достовірність результатів лише в ustalених режимах роботи АД, для дослідження повної картини явищ методами математичного моделювання необхідно мати високого рівня адекватності математичні моделі, які б давали достовірні результати. Складність процесів зумовлена нелінійністю взаємоіндуктивних зв'язків між рухомими контурами АД, активні і індуктивні опори яких змінні і визначаються сукупністю координат АД, якими є струми контурів та швидкість обертання ротора, а отже, методи аналізу, що мають в своїй основі заступні схеми АД, не забезпечують достовірності визначення параметрів у динамічних режимах, а похибки у параметрах можуть призвести до неправильних результатів.

Метою роботи є розроблення математичної моделі для дослідження перехідних процесів у трифазному асинхронному двигуні, який живиться від однофазної мережі.

Алгоритм розв'язування задачі

Об'єктом дослідження є АД з короткозамкненим ротором, трифазна обмотка статора якого живиться від однофазної мережі (рис. 1) схемою. Процеси розглядаються в нерухомих трифазних координатних осях, причому обмотка статора подана реальними контурами, а обмотка ротора замінена еквівалентною трифазною. З метою врахування витіснення струму короткозамкнена обмотка ротора еквівалентується n обмотками, утвореними в результаті розбиття стержнів по висоті на n елементарних [8].

Процеси в АД у разі живлення від однофазної мережі описуються нелінійною системою диференціальних рівнянь (ДР) електромагнітної рівноваги, яку в нерухомих трифазних координатних осях можна подати у вигляді векторного рівняння

$$A \frac{d\mathbf{y}}{dt} = \mathbf{B} \mathbf{x}, \quad (1)$$

в якому відповідні матриці та вектори мають такий зміст:

$$A = \text{diag} \left(\begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & -1 & \\ \hline & 1 & -1 \\ \hline & & \\ \hline \end{array} ; \dots ; \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & -1 & \\ \hline & 1 & -1 \\ \hline & & \\ \hline \end{array} ; \boxed{1} ; \boxed{1} \right);$$

Зокрема на рис. 2 наведено часові залежності струмів фаз (у відносних одиницях) під час пуску без навантаження двигуна 4A160M6Y3 для двох значень ємності конденсаторів (500мкФ і 1000 мкФ), а на рис. 3 – швидкості обертання ротора. Як видно з цих рисунків, збільшення ємності конденсаторів призводить до пришвидшення часу запуску АД, однак при цьому значно зростають струми, особливо у фазі з конденсатором. Крім того, в усталеному режимі виникають коливання швидкості ротора, амплітуда яких зростає зі збільшенням ємності конденсаторів (рис. 2).

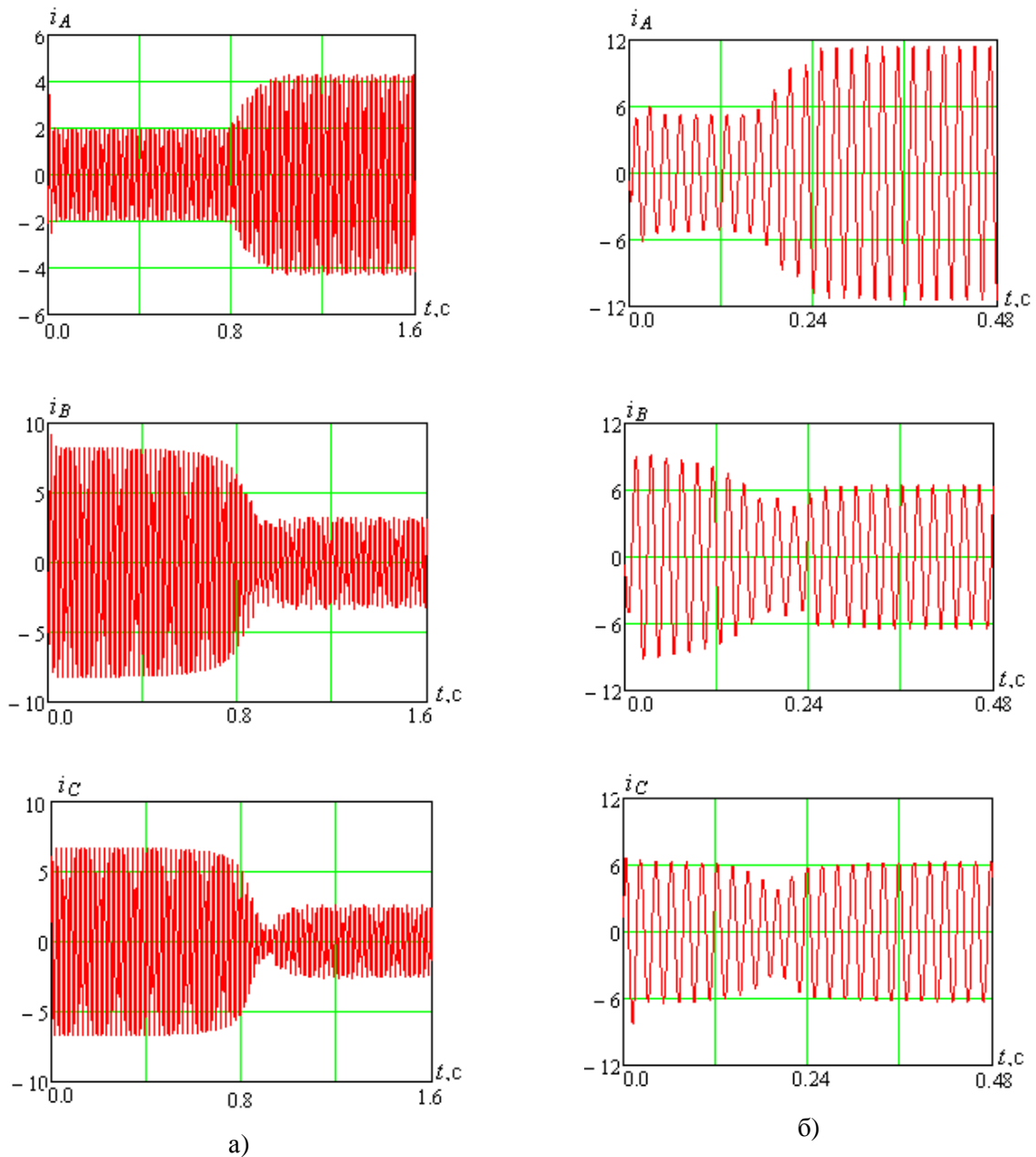


Рис. 2. Залежності струмів фаз двигуна 4A160M6Y3 під час пуску з конденсатором ємністю $C=500$ мкФ (а) та $C=1000$ мкФ (б)

Виконані розрахунки пускових режимів для двигуна малої потужності 4A80B2Y3 ($P=2,2$ кВт, $U=220$ В, $I=4,7$ А; $2p=2$) (рис. 4, а) показали, що робота АД в номінальному режимі при незмінній пусковій ємності неможлива внаслідок великих механічних коливань ротора. Уникнути їх можна за допомогою переходу після розгону двигуна на іншу величину ємності. Результати такого переходу наведено на рис. 4, б, де накид номінального навантаження відбувається після розгону двигуна одночасно зі зміною ємності конденсатора 300 мкФ на 100 мкФ.

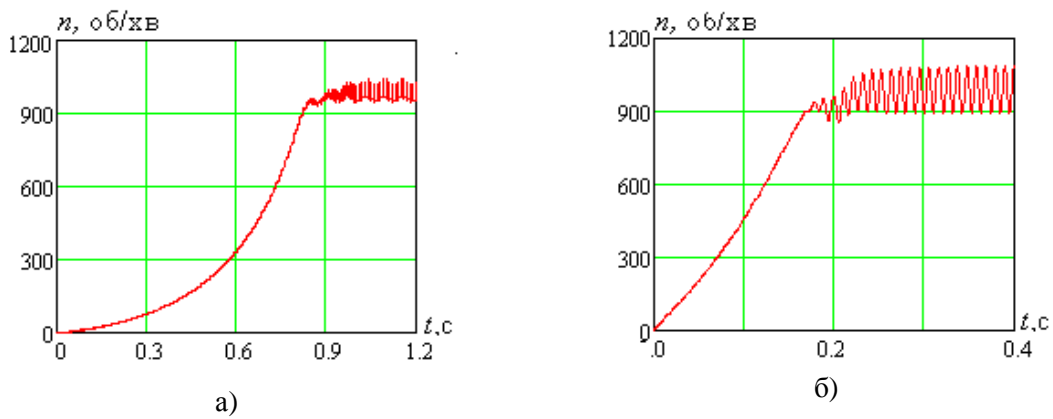


Рис. 3. Залежності швидкості обертання ротора двигуна 4A160M6Y3 під час пуску з конденсатором ємністю $C=500\text{мкФ}$ (а) та $C=1000\text{мкФ}$ (б)

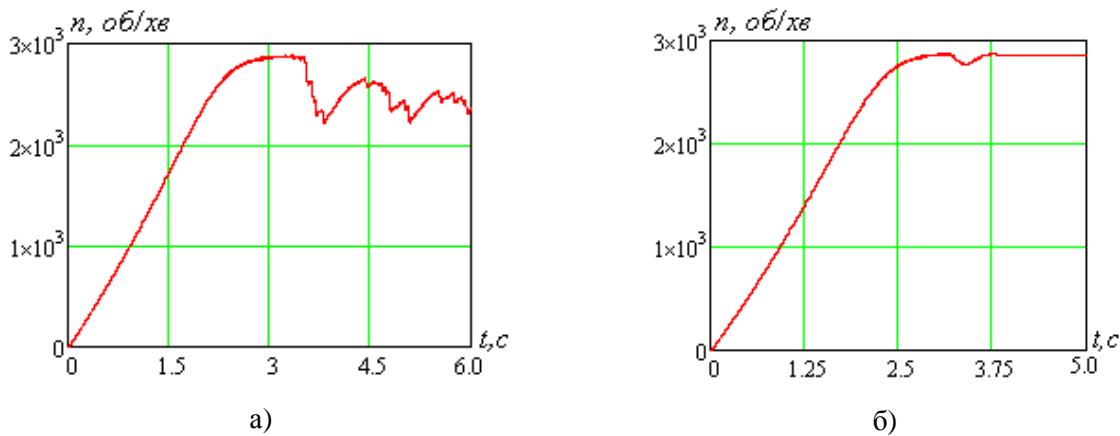


Рис. 4. Часові залежності швидкості обертання ротора під час пуску без навантаження двигуна 4A80B2Y3 з конденсатором ємністю 300мкФ (а) і накиду номінального навантаження після розгону двигуна одночасно зі зміною ємності конденсатора 300мкФ на 100мкФ (б)

Висновки

Вибір необхідного для пуску АД значення ємності конденсаторів потребує перевірки поведінки двигуна в пускових режимах, оскільки при цьому можуть виникати механічні коливання ротора, за яких робота двигуна без зміни ємності конденсаторів стає неможливою. Внаслідок несиметрії статорного кола АД дослідити процеси, які відбуваються, неможливо з високою достовірністю на основі спрощених математичних моделей.

Розроблений алгоритм і складена на його основі програма розрахунку перехідних процесів у трифазному АД, який живиться від однофазної мережі, дають змогу досліджувати динаміку процесів пуску двигуна з різними значеннями ємності конденсаторів. Їх можна використати і для аналізу однофазних конденсаторних двигунів.

1. Анализ переходных процессов однофазного асинхронного конденсаторного двигателя при повторных включениях / К. А. Алмыкулов, В. Я. Беспалов, Л. Б. Баскин, Г. Т. Курманова // Известия вузов. Электромеханика. – 1982. – № 8. – С. 909–913. 2. Бешта А.С. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя при несимметричном питании статоров // А. С. Бешта, А. А. Семин // Электромеханические и энергосберегающие системы – 2014. – Вып. 2. – С.10–16. 3. Беспалов В. Я. Динамические показатели трехфазных асинхронных двигателей, включаемых в однофазную сеть / В. Я. Беспалов, Ю. А. Мощинский, А. П. Петров // Электротехника. – 2000. – № 1. – С. 13–19. 4. Мощинский Б. А. Математическая модель асинхронного конденсаторного двигателя по методу симметричных составляющих с использованием стандартного программного обеспечения / Мощинский Б. А., Петров А. П. // Электричество. – 2001. – № 7. – С. 43–48. 5. Мощинский Ю. А.

Математические модели трехфазных асинхронных двигателей, включаемых в однофазную сеть / Ю. А. Мощинский А. П. Петров // *Электричество*. – 2000. – № 2. – С. 40–95. 6. Петров А. П. Исследование асинхронных конденсаторных двигателей с трехфазными обмотками: дис... канд техн. наук: спец. 05.09.01 “Электромеханика и электрические аппараты” / А. П. Петров. – М.: МЭИ, 1999. – 179 с. 7. Торопцев Н. Д. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором / Н. Д. Торопцев. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 128 с. 8. Фильц Р. В. Алгоритм расчета переходных процессов в асинхронной машине с учетом насыщения и вытеснения тока / Р. В. Фильц, Е. А. Онышко, Е. Г. Плахтына. Преобразователи частоты для электропривода. – Кишинев: Штиинца, 1979. – С. 11–22. 9. Фильц Р. В. Математические основы теории электромеханических преобразователей / Р. В. Фильц. – К.: Наук. думка, 1979. – 208 с. 10. Шуруб Ю. В. Математическая модель асинхронного конденсаторного двигателя с тиристорным управлением / Ю. В. Шуруб // *Технічна електродинаміка*. – 1999. – № 4. – С. 52–56.

УДК 681.586 – 45.29.33

В. Мороз, В. Оксентюк, П. Болкот, К. Снітков
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електроприводу і комп’ютеризованих електромеханічних систем,
СКБ електромеханічних систем

ВПЛИВ РОЗРЯДНОСТІ ДАНИХ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА В ІНДУКЦІЙНИХ ДАВАЧАХ КУТА

© Мороз В., Оксентюк В., Болкот П., Снітков К., 2016

Проаналізовано точність методу визначення фази з індукційного давача кута повороту залежно від розрядності вхідних цифрових даних, які отримані з давача за допомогою аналого-цифрового перетворювача. Метод визначення фази ґрунтується на відомому методі з використанням функцій арктангенса і арккотангенса, для яких знайдено максимальні та усереднені похибки залежно від розрядності вхідних цифрових даних. Досліджено впливи розрядності вхідних цифрових даних і кількість інтервалів інтегрування на точність інтегральних реалізацій функції арктангенса числовими методами знаходження означеного інтегралу різних порядків.

Ключові слова: давачі кута повороту, індукційні давачі, математична обробка даних, методи визначення фази, обробка сигналів, реалізація функцій обчислення арктангенса.

The accuracy analysis method for determining the signal phase of the induction encoder depending on the digit capacity of the input data obtained from the sensor via analog-to-digital converter presented in this article. The phase determining method based on a known method using the invers tangent and invers cotangent functions, which found the maximum and RMS errors depending on the digit capacity of the input data. The impact of input data's digit capacity and the number of intervals on the accuracy of the invers tangent function integrated implementations was investigate for numerical definite integral formulas of different orders.

Key words: angle sensors, arctangent function calculation, induction sensors, mathematical data processing, phase detection method, signal processing.

Постановка проблеми

Незважаючи на поширене застосування оптичних еncoderів у системах позиціонування, індукційні електромеханічні перетворювачі до цього часу є одним з популярних елементів позиційних систем керування. Це пояснюється перевагами останніх у зв'язку з доволі простою конструкцією,