

Е. М. НЕМЦЕВ

Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
eduard.niemtsev@donntu.edu.ua

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ ПРИ НАЯВНОСТІ УШКОДЖЕНЬ СТРИЖНІВ РОТОРА

У статті на основі створеної у програмному середовищі MATHCAD моделі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Для зменшення або усунення негативного впливу різноманітних факторів на протікання технологічних процесів найкращим підходом у теперішній час є застосування засобів та заходів діагностування роботи двигунів за допомогою методів моделювання. У результаті моделювання були отримані графічні залежності, що відображають зміну основних параметрів роботи асинхронного двигуна і дають змогу аналізувати їх зміну впродовж часу модулювання. Було показано наявність пульсацій режимних параметрів та аперіодичних складових, що викликані перехідними процесами. Проведені дослідження процесу пуску двигуна без навантаження та під навантаженням показало збільшення часу пуску, причому пульсуючий характер досліджуваних параметрів спостерігається лише на початковій ділянці. Час пуску двигуна також збільшується при наявності ушкоджених стрижнів у короткозамкненому роторі. Пульсуючий характер основних діагностичних параметрів може бути використаний у якості критерію для визначення наявності ушкоджень у короткозамкненій обмотці ротора асинхронного двигуна.

Ключові слова: асинхронний двигун, MATHCAD, модель, короткозамкнений ротор, стрижень ротора, електромагнітна схема, узагальненого вектору струму, швидкість обертання, крутний момент.

Електричні двигуни набули широкого застосування у різних галузях, а спожита цими технічними пристроями енергія складає майже половину енергії, що виробляється з різних джерел. Серед усіх електродвигунів, що знаходяться у експлуатації, частка асинхронних складає близько 30%. Конструктивна простота цих двигунів впливає на технологічні та експлуатаційні втрати, зменшує збитки при проведенні ремонтних та відновлювальних робіт і різноманітних порушеннях технологічних процесів.

Основними несправностями у асинхронних двигунах є ушкодження обмоток статора і ротора. Ці несправності виникають внаслідок зміни (спотворення) форми та амплітуди напруги живлення, технологічний перегрів обмоток, механічні пошкодження. Зазначені чинники призводять до прискореного зношування ізоляції обмоток, конструктивних складових частини двигунів, підвищених значень втрат потужності та загалом – до можливості виникнення передаварійних і аварійних ситуацій та погіршення техніко-економічних показників роботи електроприводів [1].

Серед означених діагностичних параметрів роботи двигуна окремо можна розглядати наявність пошкоджень стрижнів короткозамкнутого ротора асинхронного двигуна – своєчасна діагностика цих ушкоджень та виведення двигуна у ремонт дозволяє уникнути аварійних ситуацій з асинхронними двигунами [2].

Зазначений вид діагностування направлено на контроль стану стрижнів ротора, серед основних способів можна відзначити:

- визначення амплітудно-частотного спектра струмів статора [3],
- виявлення наявності пульсацій струму при штучному короткому замиканні в обмотці статора [4],
- використання діагностичних кривих [5],
- виділення відповідних гармонічних коливань у вібраційних рухах ротора [6].

Мета роботи. Реалізація моделювання режимів роботи асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у програмному середовищі Mathcad для виявлення найбільш інформативних параметрів для діагностики.

У роботі [7] розглядається модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у програмному середовищі Mathcad – для моделювання була використана повна система диференціальних рівнянь, яка записана для контурів статора, ротора і для рівняння руху ротора. Отримана модель дозволяє побудувати графічні залежності, що відображають зміну основних параметрів роботи асинхронного двигуна з метою їх аналізу. Отримані дані також дають можливість діагностування стану асинхронних двигунів при наявній зміні величин окремих параметрів.

Для аналізу роботи моделі асинхронного двигуна в середовищі MathCad задаємось початковими даними складових схеми заміщення, представленої у [7] (у відносних одиницях):

Потужність двигуна – 400 кВт, напруга живлення 6 кВ (у відносних одиницях) наступні: $R_s = 0,00933$, $X_s = 0,0524 + 0,03i$, $X_m = 2,34$, $\cos(\varphi) = 0,84$, $\eta = 0,92$, $R_{r1} = 0,0211$, $X_{r1} = 0,2149$, $R_{r2} = 0,275$,

$X_{r2} = 0,351$.

Результати розрахунку режиму пуску асинхронного двигуна представимо у вигляді графіків (на осі абсцис час вказаний у секундах).

На рис. 1 показано зміну узагальненого вектору струму статора двигуна, на рис. 2 – зміну кутової швидкості обертання ротора двигуна, на рис. 3 – зміну обертового моменту під час пуску асинхронного двигуна для різних умов – без навантаження чи під навантаженням, без наявності та з наявністю ушкоджених стрижнів. Максимальні значення відповідних величин при різних випадках наведено у табл. 1.

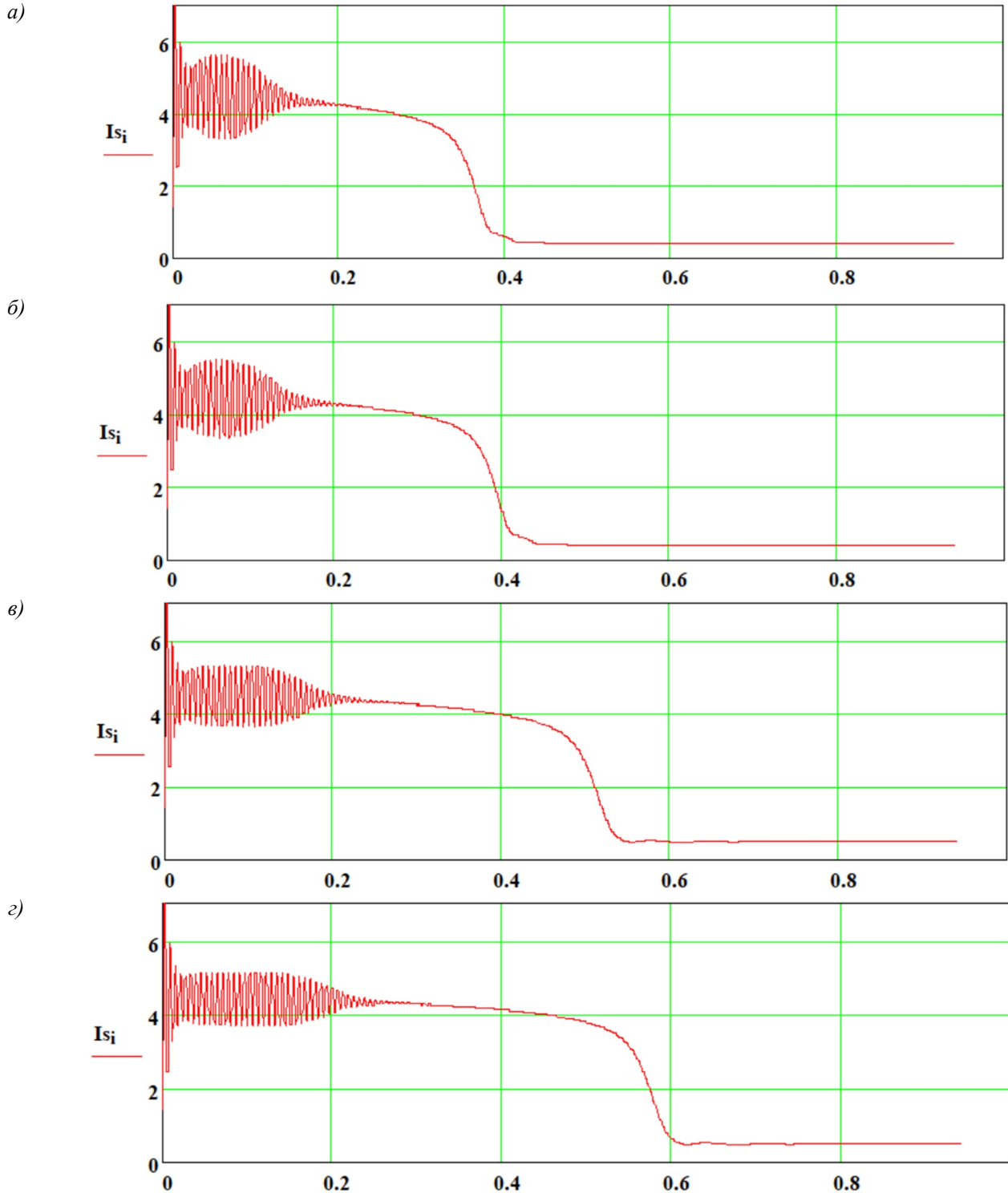


Рисунок 1 – Модуль узагальненого вектору струму статора двигуна: а – без навантаження, без ушкоджених стрижнів, б – без навантаження, з ушкодженими стрижнями, в – під навантаженням, без ушкоджених стрижнів, з – під навантаженням, з ушкодженими стрижнями

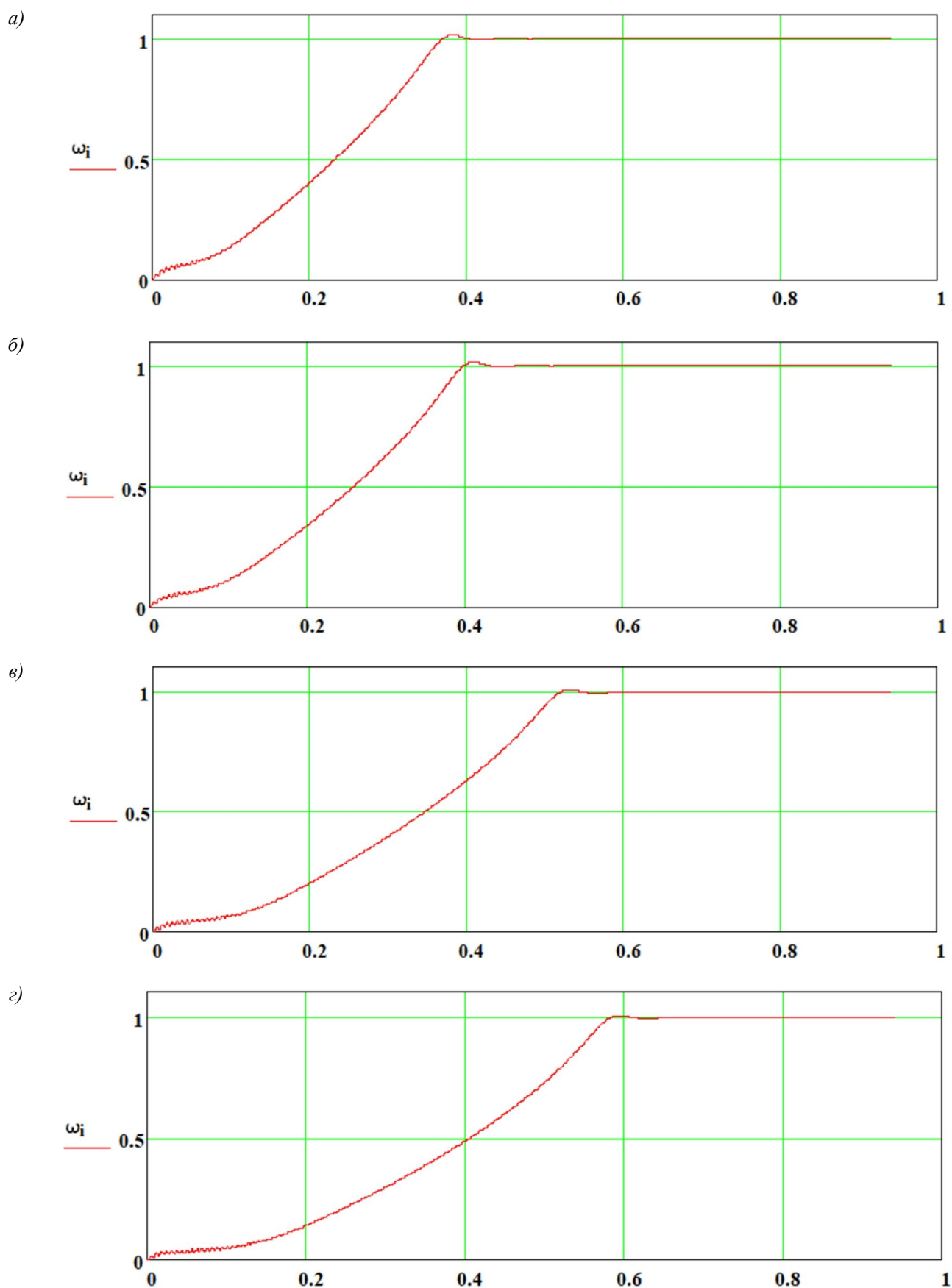


Рисунок 2 – Кутова швидкість обертання ротора двигуна: а – без навантаження, без ушкоджених стрижнів, б – без навантаження, з ушкодженими стрижнями, в – під навантаженням, без ушкоджених стрижнів, г – під навантаженням, з ушкодженими стрижнями

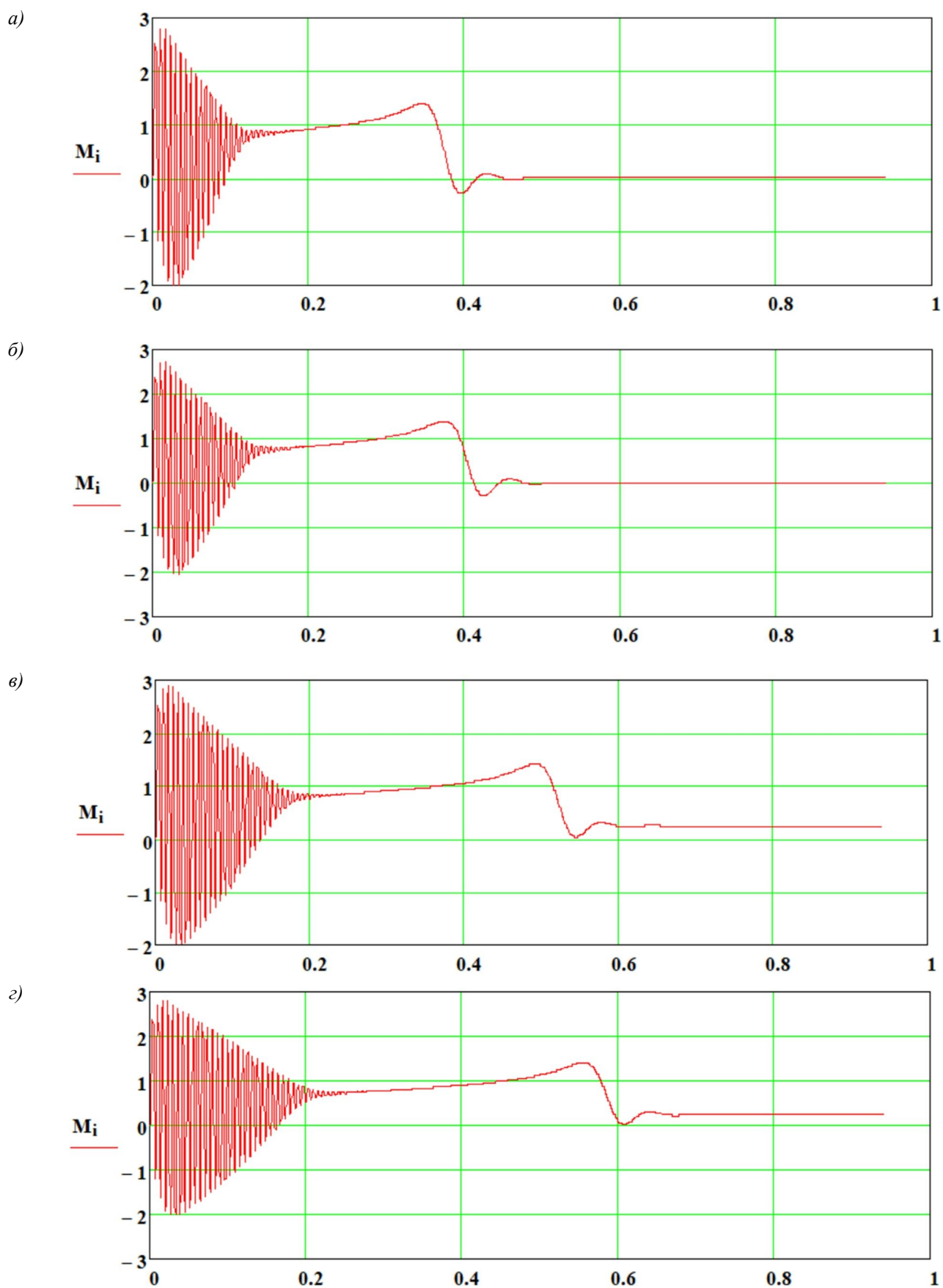


Рисунок 3 – Крутний момент двигуна: а – без навантаження, без ушкоджених стрижнів, б – під навантаженням, без ушкоджених стрижнів, в – без навантаження, з ушкодженими стрижнями, г – під навантаженням, з ушкодженими стрижнями

Таблиця 1 – Максимальні значення величин, що характеризують роботу двигуна

Показник	Випадок по рис. 1 – 3			
	а)	б)	в)	г)
Модуль узагальненого вектору струму	7,1	7,4	7,2	7,5
Крутний момент двигуна	2,75	2,75	2,90	2,91
Час пуску	0,41	0,44	0,57	0,62

Висновки

Моделювання процесу пуску асинхронних двигунів з короткозамкненими роторами дозволяє спостерігати існування аперіодичних складових, що викликані перехідними процесами.

Порівняння осцилограм холостого пуску двигуна та пуску під навантаженням дозволяє зробити висновки про те, що час пуску збільшується, а пульсуючий характер спостерігається лише на початковій ділянці. Наявність ушкоджених стрижнів у короткозамкненому роторі також збільшує час пуску двигуна.

Пульсуючий характер основних діагностичних параметрів може бути використаний у якості критерію для визначення ушкоджень у короткозамкненій обмотці ротора асинхронного двигуна.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лябук М.Н. Электричні машини: навч. посіб. / М.Н. Лябук. – Луцьк: ЛДТУ, 2005. – 445с.
2. Математическое моделирование асинхронных двигателей при повреждениях стержней короткозамкнутого ротора / В.Ф. Сивокобыленко, В.А. Павлюков, Р.П. Сердюков В.И. Бондаренко С.П. Яременко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2009. - № 9(158). – с. 222-226.
3. Петухов В.С. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока / В.С. Петухов, В.А. Соколов // Новости электротехники. – 2005. – № 1(31). – с. 50-52.
4. Вовк О.Ю. Метод періодичного діагностування асинхронних двигунів/О.Ю. Вовк, Л.М. Безменнікова, С.О. Квітка // Праці ТДАТУ. – 2010. – № 10, Т4. – с. 39-46.
5. Диагностика стержней двухклеточных и глубокопазных короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей / В.Ф. Сивокобыленко, Д.И. Кузьменко, С.П. Яременко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика», випуск 10 (180). – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – с. 4-8.
6. Русов В.А. Спектральная вибродиагностика / В.А. Русов. – Пермь: ВПФ "Вибро-центр", 1996. - Вып 1. – 196 с.
7. Модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у програмному середовищі Mathcad / Е.М. Немцев // Наукові праці Донецького національного технічного університету Серія: Електротехніка і енергетика. Всеукраїнський науковий збірник №1(19) – 2(20)'2018, Покровськ: ДВНЗ ДонНТУ, с. 75 – 81.

REFERENCES

1. Lyabuk M.N. Electric cars: navch. / M.N. Lyabuk. - Lutsk.: LDTU, 2005. --- 445s.
2. Mathematical modeling of asynchronous motors in case of damage to the rods of a squirrel-cage rotor / V.F. Sivokobylenko, V.A. Pavlyukov, R.P. V.I. Serdyukov Bondarenko S.P. Yaremenko // Science of the Donetsk National Technical University. - 2009. - No. 9 (158). - p. 222-226.
3. Petukhov V.S. Diagnostics of the condition of electric motors. Method of spectral analysis of current consumption / V.S. Petukhov, V.A. Sokolov // News of electrical engineering. - 2005. - No. 1 (31). - p. 50-52.
4. Vovk O.Yu. Method of periodic diagnostics of asynchronous motors / O.Yu. Vovk, L.M. Bezmennikova, S.O. Quote // Pratsi TDATU. - 2010. - No. 10, T4. - from. 39-46.
5. Diagnostics of rods of two-cell and deep-groove squirrel-cage rotors of asynchronous motors / V.F. Sivokobylenko, D.I. Kuzmenko, S.P. Yaremenko // Science of the Donetsk National Technical University. Series: «Electrical Engineering and Power Engineering», issue 10 (180). - Donetsk: DVNZ "DonNTU", 2011. - p. 4-8.
6. Rusov V.A. Spectral vibration diagnostics / V.A. Rusov. - Perm: VPF "Vibro-Center", 1996. - Issue 1. - 196 p.
7. Model of an asynchronous motor with a short-circuited rotor at the Mathcad software center / E.M. Numcev // Science of the Donetsk National Technical University Series: Electrical Engineering and Power Engineering. All-Ukrainian Science Zbirnik №1 (19) - 2 (20) '2018, Pokrovsk: Donetsk National Technical University, Donetsk National Technical University, p. 75 - 81.

E. NIEMTSEV

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Analysis of operating modes of squirrel-cage induction motors in the presence of damage to the rotor rods. The article determines that the main faults in induction motors are damage to the stator and rotor windings, which occur due to changes and distortions in the shape and amplitude of the supply voltage, technological overheating of the windings, mechanical damage. These factors lead to accelerated wear of the insulation of the windings, structural components of the motors, increased values of power losses and the occurrence of pre-emergency and emergency situations. Among the specified diagnostic parameters of engine operation it is possible to consider separately existence of damages of cores of a short-circuited rotor which timely diagnostics demands removal of the engine in repair and will allow to avoid emergency situations with induction motors. To diagnose the control of the rotor rods are quite diverse: determining the amplitude-frequency spectrum of stator currents, detecting the presence of current ripples in an artificial short circuit in the stator winding, the use of diagnostic curves, the selection of appropriate harmonic oscillations in the vibration of the rotor. To reduce or eliminate the negative impact of various factors on the course of technological processes, the best approach at present is the use of tools and measures to diagnose the operation of engines using modeling methods. Based on the model of an induction motor with a short-circuited rotor created in the MATHCAD software environment, graphical dependences were obtained that reflect the change of the main parameters of the induction motor operation and allow to analyze their change during the modulation time. The presence of pulsations of regime parameters and aperiodic components caused by transients was shown. Studies of the process of starting the engine without load and under load showed an increase in start-up time, and the pulsating nature of the studied parameters is observed only in the initial section. The engine start time also increases in the presence of damaged rods in the short-circuited rotor. The pulsating nature of the main diagnostic parameters can be used as a criterion for determining the presence of damage in the short-circuited winding of the rotor of an induction motor.

Key words: *asynchronous motor, MATHCAD, model, squirrel-cage rotor, rotor bar, electromagnetic circuit, generalized current vector, rotation speed, torque.*