

УДК 621.314

## РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З МАСИВНИМ ФЕРОМАГНІТНИМ РОТОРОМ З УРАХУВАННЯМ ЗОВНІШНІХ КІЛ

**О. С. Манукян**

Дніпродзержинський державний технічний університет  
вул. Дніпробудівська, 2, м. Дніпродзержинськ, 51900, Україна. E-mail: krtr.ua@gmail.com

Надано математичну модель асинхронного двигуна з масивним феромагнітним ротором з урахуванням зовнішніх кіл. Двигун представлено у вигляді польової моделі. Показано результати моделювання пуску й реверсу асинхронного двигуна з урахуванням часу замикання контактів контакторів при реверсі. Математична модель дає змогу досліджувати як симетричні, так і несиметричні режими роботи двигуна.

**Ключові слова:** асинхронний двигун, масивний феромагнітний ротор, силові ключі, зовнішні кола.

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С МАССИВНЫМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ РОТОРОМ С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ЦЕПЕЙ

**А. С. Манукян**

Днепродзержинский государственный технический университет  
ул. Днепростроевская, 2, г. Днепродзержинск, 51900, Украина. E-mail: krtr.ua@gmail.com

Представлена математическая модель асинхронного двигателя с массивным ферромагнитным ротором с учетом внешних цепей. Двигатель представлен в виде полевой модели. Показаны результаты моделирования пуска и реверса асинхронного двигателя с учетом времени замыкания контактов контакторов при реверсе. Математическая модель позволяет исследовать как симметричные, так и несимметричные режимы работы двигателя.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, массивный ферромагнитный ротор, силовые ключи, внешние цепи.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Асинхронні двигуни з масивним феромагнітним ротором (АД з МФР) у даний час знаходять застосування в приводах з підвищеною частотою обертання, що вимагають більшого пускового моменту, а також в автономних енергосистемах, в приводах з покращеними віброшумовими характеристиками або повторно-короткочасними режимами роботи. Основним режимом роботи таких двигунів є динамічний режим.

При дослідженні динамічних режимів АД з МФР у більшості випадків обмежуються ланцюговою моделлю з постійними або нелінійними електромагнітними параметрами. Використання польової моделі АД з МФР із зовнішніми колами дозволяє врахувати роботу перетворювачів та накопичувачів енергії, комутаційного обладнання й дослідити динамічні режими в зовнішніх колах з урахуванням геометричних параметрів АД.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** При розробці математичної моделі прийнято, що розглядається АД з МФР у площині й не враховуються торцеві частини. Польову математичну модель побудовано на основі геометричних параметрів двигуна.

Для проведення моделювання використано двигун типу 4AA63A4У3 з МФР, виготовлений із Ст3. Обмотку статора представлено планарно в одній площині з відповідним заданим напрямом струму в кожному з пазів. Побудована геометрична модель двигуна розбивається на кінцеву кількість елементів, за якими потім і розраховується розподіл електричного й магнітного полів. Обмотки статора в зовнішній схемі, розробленій для математичної моделі, представлено згідно із зазначеними напрямками струму в останній. Опір реальної обмотки враховано резисторами, які ввімкнено послідовно з джерелом гармонійного трифазного струму. Розроблена схема для моделювання АД у режимі короткозамкненого (КЗ) ротора із заданими параметрами, що представлено на рис. 1, експортується в польову модель.

Алгоритм тестового програмного середовища ANSOFT MAXWELL автоматично генерує «сітку» з трикутників на об'єкт, але їх кінцеву кількість можна встановлювати власноруч, від цього безпосередньо залежить точність розрахунків.

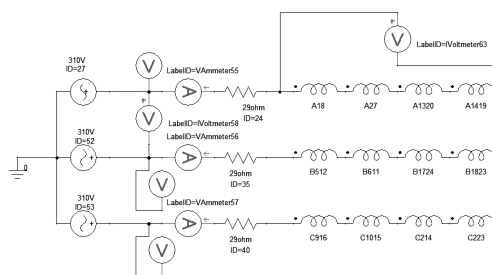


Рисунок 1 – Схема живлення АД від мережі 380 В у Maxwell Circuit Editor

У результаті проведеного моделювання в режимі короткого замикання отримано розподіл магнітної індукції в поперечному перерізі АД з МФР (рис. 2).

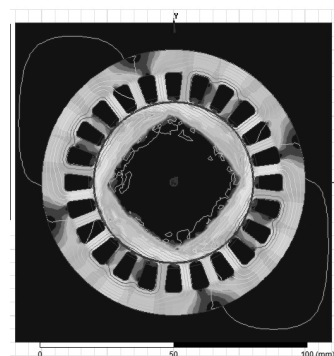


Рисунок 2 – Розподіл магнітної індукції в режимі короткого замикання

На рис. 3 зображено розподіл магнітної індукції в АД з МФР у режимі ідеального холостого ходу.

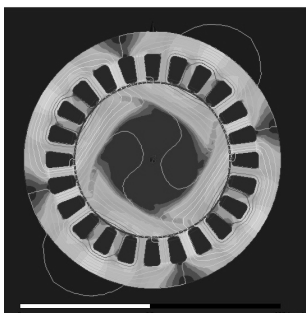


Рисунок 3 – Розподіл магнітної індукції в режимі ідеального холостого ходу

За допомогою розробленої моделі й відповідної зовнішньої схеми живлення відтворено пуск АД з МФР, вихід АД на номінальну швидкість та реверс. Відповідну схему живлення для режиму реверса зображено на рис. 4. Режим реверсу в схемі реалізовано завдяки використанню спеціальних генераторів-лічильників, які керують силовими ключами. Перші три лічильники відраховують час, протягом якого обертання ротора АД досягає свого номінального значення, як тільки швидкість обертання становитиме 1500 об/хв, вмикаються інші три генератори-лічильники, що через відповідні ключі в зворотному напрямку подають в обмотки АД трифазну напругу живлення, тим самим змінюючи напрям обертання останнього. При цьому перші три переходять у стан «логічного нуля».

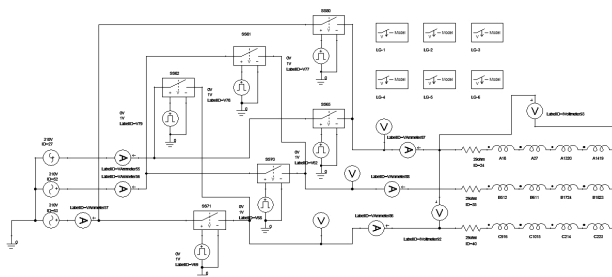


Рисунок 4 – Модель для реалізації реверсу АД у середовищі Maxwell Circuit Editor

На рис. 5 зображено графіки перехідних процесів в АД у режимі пуску та реверсу.

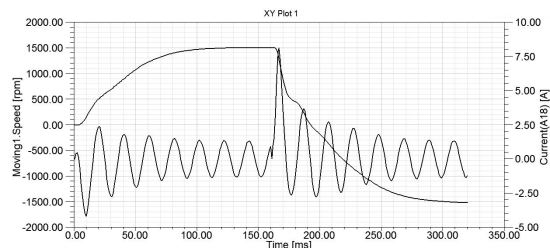


Рисунок 5 – Динамічні характеристики АД з МФР при пуску та реверсі

З наданих рисунків можна помітити, що струм в АД під час перемикання фаз виріс майже втричі (рис. 5). У момент перемикання напруги фаз помічено деякий сплеск, обумовлений індуктивністю самого двигуна.

Для відтворення захисту силових ключів від короточасних сплесків напруги, що з'являються під час перемикання ключів, у період реверсу фаз у зовнішній схемі живлення закладено затримку в 0,01 с.

**ВИСНОВКИ.** У ході роботи розроблено польову математичну модель АД з МФР у нелінійному програмному середовищі з урахуванням зовнішніх кіл. Використання зовнішніх кіл дає змогу провести дослідження як симетричних, так і несиметричних режимів роботи двигуна (врахувати асиметрію напруги за фазами, зсуву за фазами, обрив і замикання фаз) та врахувати особливості роботи комутаційної апаратури (неодновременність замикання контактів комутаційної апаратури).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Сьянов А.М. Характеристики асинхронного двигателя с массивным ферромагнитным ротором из специального чугуна // *Праці інституту електродинаміки НАНУ*. – К.: ІЕД НАН України. – 2002. – № 1/2002 (2). – С. 72–75.
2. Моделирование электромагнитных полей в электротехнических устройствах / Под ред. докторов техн. наук А. Степанова, Р. Сикоры. – К.: Техніка, 1990. – 188 с.

### THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF INDUCTION MOTOR MASSIVE FERROMAGNETIC ROTOR WHILE TAKING INTO ACCOUNT AN EXTERNAL CIRCUITS

**O. Manukyan**

Dneprodzerzhinsk State Technical University

vul. Dniprobudyvska, 2, Dneprodzerzhinsk, 51900, Ukraine. E-mail: krrt.ua@gmail.com

This paper presents a mathematical model of induction motor with solid ferromagnetic rotor taking into account the external circuit. Engine is presented in the form of a field model. Shown are the simulation results of start and reverse induction motor taking into account the time-circuit contactor contact when reversing. The mathematical model allows to investigate both symmetric and asymmetric modes of operation of the engine.

**Key words:** induction motor, a massive ferromagnetic rotor, power switches, the external circuit.

#### REFERENCES

1. Syanov A.M. Characteristics of the induction motor with solid ferromagnetic rotor of a special cast iron // *Proceedings of the Institute of Electrodynamics NASU*. – K.: IED NAS of Ukraine, 2002. – № 1. – PP. 72–75. [in Russian]
2. A. Stepanov. *Simulation of electromagnetic fields in electrical devices* / Edited by doctors of technical sciences A. Stepanova, R. Sikory. – K.: Tehnika, 1990. – 188 p. [in Russian]

Стаття надійшла 1.06.2012.

Рекомендовано до друку  
к.т.н., доц. Старостінін С.С.