

Бондаревський С.Л.

кандидат технічних наук, доцент;

Галайчук В.В.

студент,

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Розвиток методів і засобів комп'ютерного моделювання завжди відбувався в напрямку спрощення діалогу людини з обчислювальною системою, наближення мови програмування (моделювання) до інженерної [1]. Наразі, бурхливий розвиток ЕОМ дозволяє вирішувати практично будь-які задачі з використанням спеціального програмного забезпечення. В цьому випадку актуальним постає питання правильного вибору програмного забезпечення та методу моделювання, від яких залежить точність, час і багато інших параметрів розрахунку.

Наразі існує ряд методів розрахунку, що істотно розрізняються як за своїми можливостями (точністю, вимогами до швидкодії і оперативної пам'яті ЕОМ), так і за складністю їх практичної реалізації. Найбільшого поширення набули такі методи, що широко застосовуються на практиці [2], а саме: метод кінцевих різниць, метод кінцевих елементів (МКЕ), метод граничних елементів, метод інтегральних рівнянь, метод еквівалентних зарядів, гібридний метод, тощо.

Зі згаданих методів за основу подальших досліджень було обрано МКЕ, тому що він є базовим для переважної більшості сучасних програмних комплексів. МКЕ – це чисельний метод розв'язку диференціальних рівнянь з частковими похідними та інтегральних рівнянь, що виникають при розв'язку більшості задач прикладної фізики. Метод широко використовується в будівництві та машинобудуванні, гірничій справі, а також в різних задачах математичної фізики – теплопровідності, фільтрації, поширення хвиль, механіки деформованого твердого тіла, процесів дифузії, теплообміну, гідродинаміки, електродинаміки [3].

Серед сучасних потужних програмних пакетів в області електроінженерії, що працюють на базі МКЕ, найбільшого поширення отримали «Elcut», «FEMM», «ANSYS Maxwell» [4-6].

Дослідимо результати роботи вищезгаданих програм у два етапи: на першому проаналізуємо дискретизацію довільної геометрії при налаштуваннях програм за замовчуванням; на другому – розрахунок магнітної індукції в повітряному зазорі асинхронного двигуна (АД).

На рис. 1 – рис. 3 наведено дискретизацію (тріангуляцію) тестової геометрії, вибір якої обумовлено наявністю в ній фігур з гладкою границею (коло) і багатокутного елемента (трикутника), гострим кутом орієнтованим у бік кола, з відстанню між ними значно меншою за їх геометричні розміри.

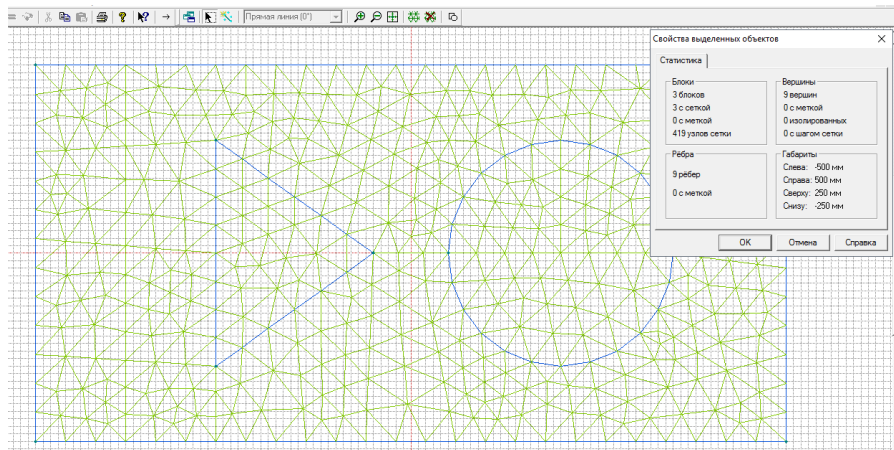


Рис. 1. Результат дискретизації в програмі «Elcut»

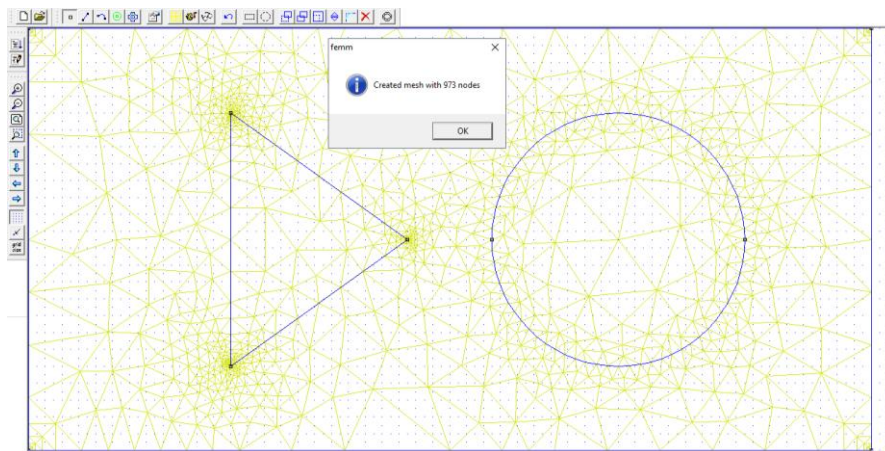


Рис. 2. Результат дискретизації в програмі «FEMM»

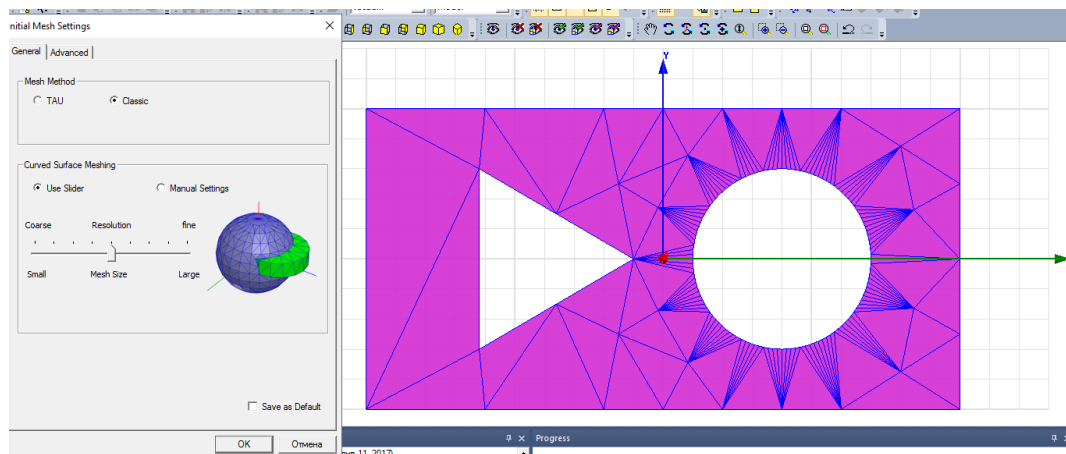


Рис. 3. Результат дискретизації в програмі «ANSYS Maxwell»

Аналізуючи отримані результати, слід зазначити, що кожне програмне забезпечення розбиває тестову геометрію на довільну кількість дискретних елементів, сукупність яких створює, так звану, сітку. Чим більша кількість вузлів у сітці, тим точніше буде результат розрахунку, проведений за більший час.

Програма «Elcut» розбиває тестову геометрію на елементи практично однакового розміру, тим самим не акцентуючи увагу на загострені елементи в геометрії (дивись рис. 1). Особливістю програми є можливість розраховувати

задану геометрію як суцільний об'єкт, так і обирати область для дослідження певної складової геометрії.

У програмі «FEMM» розв'язок задачі здійснюється з більшою точністю ніж у попередній програмі, тому що кількість вузлів сітки майже у два рази більше (дивись рис. 2), але відповідно час на розрахунок дещо більший. Крім того, програма оптимізовано розбиває зони, що є граничними для елементів тестової геометрії.

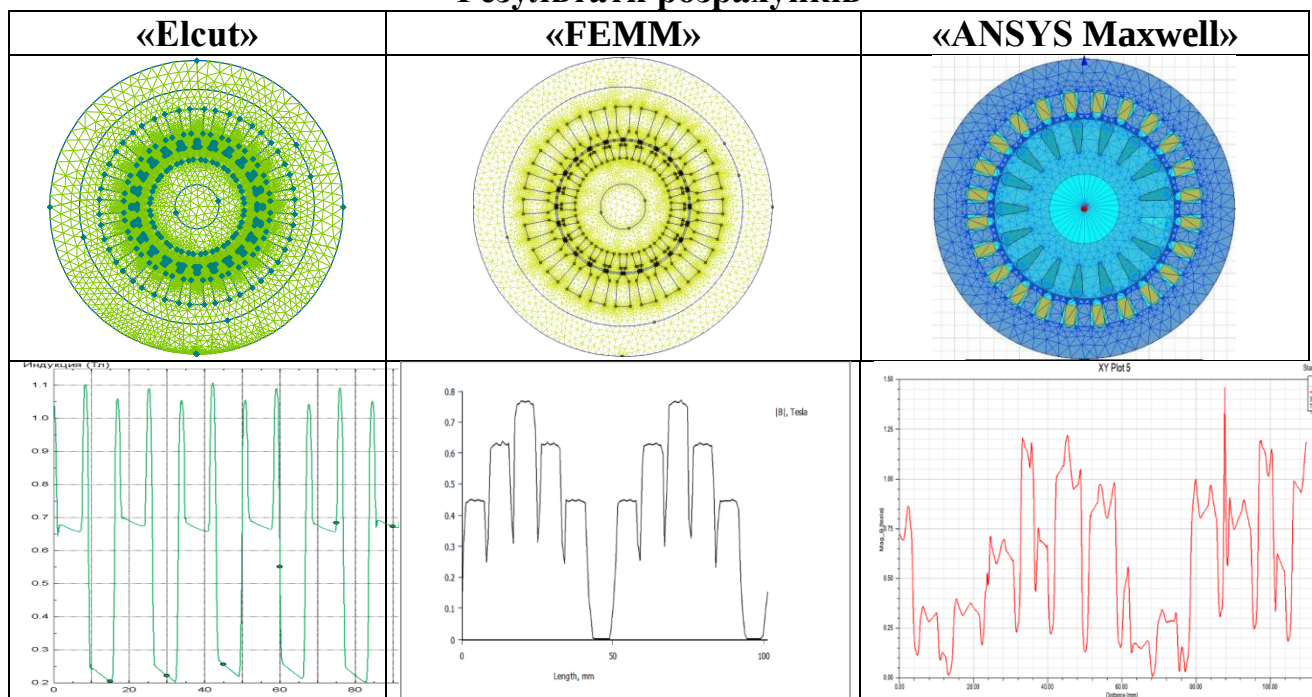
Програмний пакет «ANSYS Maxwell» надає можливість завдання різного часу розрахунку (регульований параметр «Resolution») та кроку сітки (кількості вузлів та елементів триангуляції на досліджуваному об'єкті), який може бути дрібним, середнім та великим. На рис. 3. наведено триангуляцію для «середнього» значення, в якому, порівняно з попередніми програмами, значно краще розбита погранична область, але «знехтувано» останньою частиною геометрії. Отже триангуляція за замовчуванням не є припустимою і потребує ручної корекції параметрів дискретизації.

Звісно, вищезгадані програми дозволяють проаналізувати не тільки «легкі» за своєю геометрією об'єкти. Завдяки їх використанню можна реалізувати розрахунок будь-якого реального об'єкту або його частин.

На другому етапі досліджень використано геометрію АД типу 4A71A4Y3. Результати розрахунку у вигляді триангульованої геометрії та графіку зміни магнітної індукції вздовж повітряного зазору (розглянуто половину кола зазору) зведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків



Аналіз отриманих результатів показує, що для складної геометрії сітка триангуляції є рівномірною (параметри триангуляції не за замовчуванням), а кількість елементів дискретизації складає: «Elcut» – 28256 шт, «FEMM» – 68694

шт., «ANSYS Maxwell» – 6626 шт. Важливою особливістю останньої програми є те, що вона створює окрему сітку для ротора і обертає її навколо осі машини, тим самим імітує поворот ротора з реальним прискоренням, що дозволяє розраховувати динаміку машини з перехідними процесами.

І якщо з задачею тріангуляції всі пакети справилися «на відмінно», то значення магнітної індукції потребує окремого обговорення. З таблиці видно, що, по-перше, максимальне значення індукції варіюється в межах 0,8-1,1 Тл, а, по-друге, криві розподілу кардинально відрізняються, хоча кількість «впадин/випадів» строго відповідає кількості пазів – 12 шт. З іншого боку візуальний розподіл магнітної індукції повторює форму синусоїди, що відповідає дійсному розподілу її в двигуні.

Таким чином, при комп'ютерному моделюванні необхідно використовувати декілька програмних продуктів та/або методів розрахунку, щоб упевнитися у точності розрахунку та унеможливити відхилення отриманих результатів. Крім того, обов'язковим кінцевим етапом технічного розрахунку є натурний (фізичний) експеримент для підтвердження або спростування результатів комп'ютерного моделювання.

Список використаних джерел:

1. Дослідження можливостей пакету Comsol Multiphysics. – Режим доступу: http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/16608/2/VseukrStud_2016v1_Chorniy_D-Research_on_opportunities_of_139.pdf
2. Шевченко С. Ю. Анализ методов расчета электрических полей установок высоких напряжений / С. Ю. Шевченко, А. А. Окунь // Електротехніка і електромеханіка. – 2010. – Вип. 4. – С. 59–62.
3. Основные определения метода конечных элементов. – Режим доступу: <http://www.stroitmeh.ru/lect31.htm>
4. Elcut. Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. – Режим доступу: <http://elcut.ru/demo/manual.pdf>
5. Finite Element Method Magnetics: Documentation. – Режим доступу: <http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>
6. Ansys Maxwell. – Режим доступу: <http://ansoft-maxwell.narod.ru/documentation.html>