

ПІДХОДИ ЩОДО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ІНДУКТОР - ПАКЕТ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СТАЛІ

Мірошникова А.О., асист.

Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600

E-mail: miroshnykova@mail.ru

Вступ. Відомий спосіб локальної діагностики осердь статорів асинхронних двигунів (АД), що дозволяє виявляти ділянки з ослабленим пресуванням і короткозамкненими листами [1]. Під час діагностики зубці статора АД підлягають локальному змінному перемагнічуванню, у ході якого контролюються сигнали струму та напруги вимірювального індуктора. За значеннями вимірюваних сигналів розраховуються діагностичні параметри і формується висновок про наявність і вид пошкоджень. Чутливість діагностичних параметрів до пошкоджень визначається умовами проведення діагностики:

- частотою і амплітудою напруги живлення вимірювальних індукторів;
- наявністю і величиною повітряного проміжку між індуктором та зубцем [2].

Для обґрунтування і визначення оптимальних значень зазначених параметрів необхідна математична модель, яка б описувала електромагнітні процеси у системі пакет електротехнічної сталі (ЕТС) – вимірювальний індуктор.

Мета роботи. Метою досліджень є розробка математичної моделі системи пакет ЕТС – вимірювальний індуктор, яка б дозволяла враховувати нелінійність властивостей пакету ЕТС, величину повітряного проміжку між індуктором та зубцем, зміну властивостей пакету ЕТС на пошкоджених ділянках.

Матеріал і результати дослідження. Відповідно до способу діагностики у магнітній системі вимірювальний індуктор-зубець статора АД створюється квазістаціонарне електромагнітне поле, тобто змінне електромагнітне поле, яке характеризується періодичною зміною параметрів у часі.

Для розрахунку подібних електромагнітних систем застосовуються як аналітичні та чисельні методи теорії поля, так і методи теорії кіл [3, 4].

Колові методи відрізняються простотою та наочністю розрахунків, однак дають більшу похибку при розрахунках порівняно з польовими методами. Втрата точності обумовлюється заміною картини трьохвимірною магнітного поля спрощеною; потоки немагнітного простору, що оточують магнітопровід, розбиваються на окремі групи; спрощується напрям ліній індукції.

Аналітичні методи дозволяють по кінцевій формулі отримати чисельний результат для будь-яких значень змінних і простежити зв'язок між кожною змінною та результатом. Однак через складнощі математичного характеру класичні аналітичні методи дозволяють вирішувати відносно невелике коло задач і придатні лише для простих

випадків.

Чисельні методи базуються на перетворенні диференційного рівняння у часткових похідних у систему алгебраїчних рівнянь, яка вирішується за допомогою ЕОМ. Завдяки комп'ютеризації розрахунків чисельні методи знайшли широке застосування у багатьох технічних галузях. Найчастіше використовують метод кінцевих елементів, переваги якого полягають у можливості аналізу об'єктів складної геометрії і вирішенні трьохвимірних задач.

Для розрахунку магнітної системи вимірювального індуктора та зубця методом кінцевих елементів була використана програма ANSYS 11.0, яка дозволяє проводити лінійний та нелінійний аналіз стаціонарних та перехідних процесів. Програма має зручний інтерфейс і надає можливість здійснювати розрахунки в інтерактивному режимі. Додатковою перевагою є сумісність з іншими програмними пакетами і здатність працювати на різних платформах.

Магнітна система, що розглядається, має неоднорідну структуру. Створюваний магнітний потік проходить по колу, до складу якого входять магнітопровід вимірювального індуктора, пакет зубця, а також оточуючий немагнітний простір. Геометрія системи, побудована в програмному середовищі ANSYS 11.0, представлена на рис. 1.

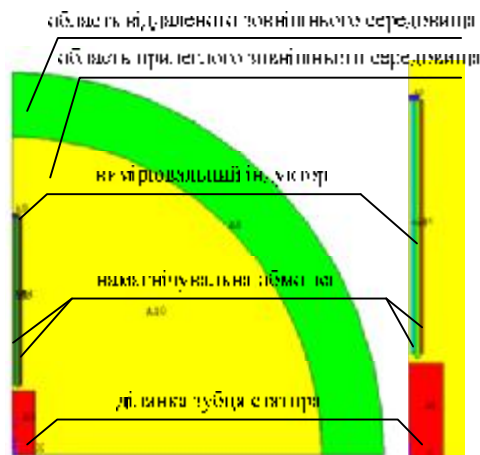


Рисунок 1 – Побудова геометрії магнітної системи в програмному середовищі ANSYS 11.0

Виходячи з умови симетричності системи, розрахунок здійснювався для 1/2 просторової моделі.

Моделювання відтворює безконтактний спосіб тестування: відстань між індуктором та зубцем складає 0,5 мм.

Параметри матеріалів індуктора та зубця задавалися у формі ВН-характеристик, що є

необхідним для урахування нелінійності їх властивостей (рис. 2, 3).

T1		0
H	B	
1	1000	1.54
2	2500	1.65
3	5000	1.75
4	10000	1.85
5	30000	2.05

Рисунок 2 – Крива намагнічування матеріалу індуктора (сталь 2013)

T1		0
H	B	
1	1000	1.459
2	2500	1.583
3	5000	1.658
4	10000	1.773
5	30000	1.95

Рисунок 3 – Крива намагнічування матеріалу зубця статора (пакет шихтованої сталі 2013)

Неоднорідність магнітних характеристик зубця внаслідок шихтування враховується за допомогою коефіцієнта заповнення пакета сталлю k_{st} [5]. Різниця значень магнітної індукції в сталі і шихтованому пакеті складає:

$$\Delta B = B \cdot (1/k_{st} - 1).$$

Даний підхід справедливий для неушкодженої ділянки зубця. Для імітації пошкоджень площину зубця слід розбивати на підплощини з різними значеннями магнітної проникності.

Намагнічувальна обмотка вимірювального індуктора представлена в моделі у формі двох прямокутних областей, що відтворюють поперечний перетин обмотки (таб. 1).

При розрахунках область віддаленого зовнішнього середовища розбивається на кінцеві елементи типу INFIN 110, який дозволяє враховувати поширення електромагнітного поля у безкінечність (рис. 4). Щільність сітки на цій ділянці найменша, оскільки немає потреби у високій точності розрахунків в даній області і є можливість таким чином зекономити обчислювальні ресурси.

Таблиця 1 – Параметри намагнічувальної обмотки

Назва параметру	Значення
Площа поперечного перетину	$3,12 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$
Кількість витків	66

Струм в поперечному напрямку	2 А
Частота струму	50 Гц
Коефіцієнт заповнення	0,8
Питомий опір матеріалу обмотки	$0,0172 \cdot 10^{-6} \text{ Ом/м}$
Відносна магнітна проникність	1

Всі інші ділянки моделі розбиваються на кінцеві елементи типу PLANE 53, який призначений для аналізу низькочастотних магнітних кіл. Елементи такого типу дозволяють враховувати нелінійність магнітних характеристик середовища.

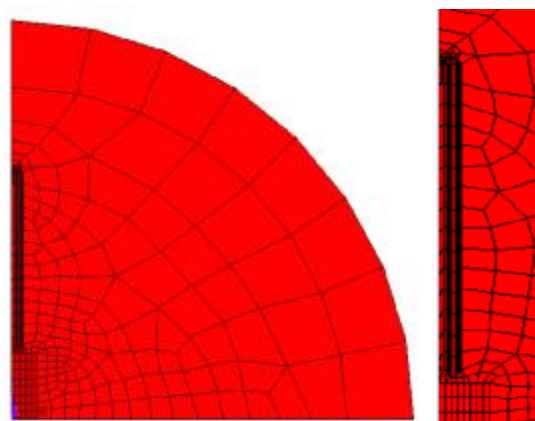


Рисунок 4 – Побудова мережі кінцевих елементів

Основними граничними умовами, на які опирається розрахунок моделі, є граничні умови безкінечності, що прикладаються до крайніх вузлів області віддаленого зовнішнього середовища, і потік-паралельна гранична умова, яка прикладається до вертикальної осі системи.

Результати розрахунків представлені на рис. 5-7.

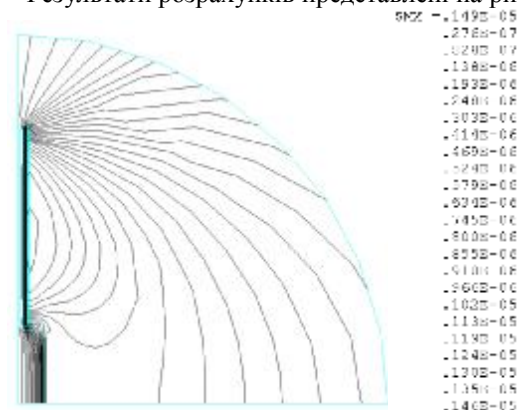


Рисунок 5 – Силові лінії магнітного поля

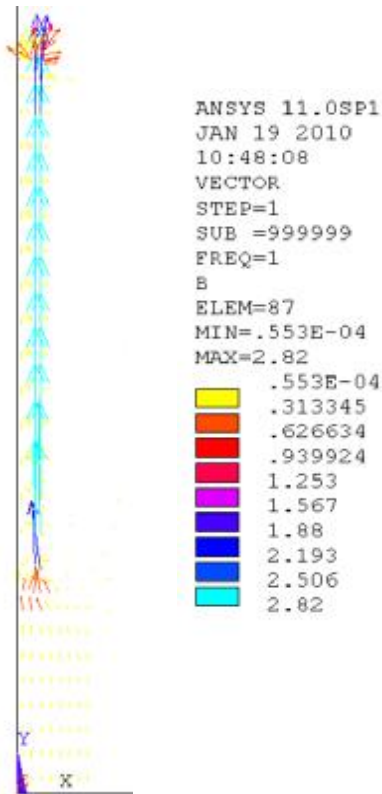


Рисунок 6 – Векторна картина поля

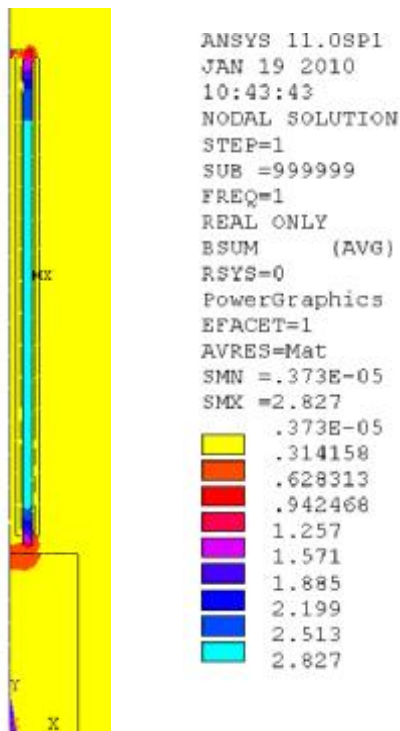


Рисунок 7 – Зонава картина поля

На рис. 5 представлена картина розподілу у двохвимірному просторі ліній магнітного потоку (лінії постійного векторного магнітного потенціалу).

Векторна картина поля відображає результати розрахунку векторів магнітної індукції (рис. 6).

Зонава картина поля дозволяє простежити зміну модуля магнітної індукції вздовж всієї траєкторії магнітного потоку і визначити модуль магнітної індукції, що наводиться у зубці статора (рис. 7). Щільність сітки на цій ділянці дозволяє враховувати вплив на картину найменших ушкоджень (до 0,5 мм).

Висновки. Розроблена модель надає можливість наочно відтворити електромагнітні процеси, що виникають у системі пакет ЕТС – вимірювальний індуктор в ході діагностики. Модель враховує нелінійність характеристик магнітопроводів, які входять до її складу, і дозволяє простежити зміну магнітного потоку на кожній ділянці системи.

Таким чином отримано базовий варіант моделі, параметри якої можна варіювати в залежності від задачі дослідження:

- для аналізу контактного та безконтактного режимів діагностики змінним параметром буде відстань між площинами індуктора та зубця;
- для дослідження впливу різних видів пошкоджень площина зубця має бути розбита на окремі підплощини з різним значенням магнітної проникності;
- при визначенні впливу амплітуди та частоти живлення необхідно змінювати однойменні параметри обмотки.

В подальшому отримані результати моделювання у поєднанні з експериментальними даними будуть використані для обґрунтування умов проведення та режимів локального діагностування шихтованих осердь.

ЛІТЕРАТУРА

1. Суторміна А.О., Прус В.В. Діагностика шихтованих пакетів сталі та сердечників електричних машин локальним індукційним методом при зміні амплітуди та частоти напруги живлення // Зб. наукових праць КДПУ: Випуск 4/2006 (39). – Кременчук: КДПУ, 2006. С. 130 -138.
2. Прус В.В., Суторміна А.О. Обґрунтування раціональних режимів локальної діагностики сердечників електричних машин // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг. 2008. – Вип. 21.
3. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа ANSYS: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр “Академия”, 2006. – 288 с.
4. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: Магнитные цепи, поля и программа FEMM. – М.: Изд. центр “Академия”, 2005.
5. Гандшу В.М. Представление шихтованных сердечников в задачах расчета магнитных полей // Интернетресурс: <http://www.tor.ru/elcut/articles>