

УДК.621.3.011.729:681.3

Зіновкін В.В.¹, Пирожок А.В.², Мелешко І.А.³, Третьяков А.В.⁴,
Шаханов А.Є.⁵, Матяш Д.О.⁵

¹ д-р. техн. наук., проф. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

³ викл. НУ «Запорізька політехніка»

⁴ асп. НУ «Запорізька політехніка»

⁵ студ. гр. Е-311 НУ «Запорізька політехніка»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОТУЖНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Потужне трансформаторне устаткування найбільш поширено використовується в промисловості для живлення різних технологічних процесів та перетворюючих пристроїв. Для одночасного живлення декількох технологічних процесів використовуються трансформатори з розчепленими низьковольтними обмотками. Таким чином енергія від первинних обмоток одночасно передається до декількох вторинних обмоток, які можуть знаходитись як в режимах навантаження, так і при відключенні від споживача. При цьому, при живленні деяких технологічних установок (дугових сталеплавильних печей, приводів прокатних станів, перетворювачів та ін.) показники якості електричної енергії суттєво змінюються і трансформатор

працює в режимах, параметри яких (струм, напруга, магнітний потік) суттєво перевищують такі, що обмежуються нормативно-технічною документацією. Це призводить до формування нестационарних електромагнітних процесів, перевантаженням активних і неактивних деталей конструкції та аварійним відключенням. Такі умови експлуатації суттєво впливають на терміни надійності трансформаторів загального призначення. Тому на практиці виконується декілька методів щодо їх модернізації для більш жорстких умов роботи. З цією метою доцільно виконати відповідні електромагнітні дослідження і інженерні розрахунки для визначення методів і технічних рішень покращення надійної роботи. Вирішення завдання ускладнюється необхідністю врахування змінних навантажень та вірогідного характеру струму і напруги.

Для вирішення цих питань використовуються різні методи проектування оптимальних конструктивних рішень трансформаторного устаткування як загального так і спеціального призначення. Але на стадіях приймально-здавальних випробувань виявляється, що конструктивне рішення потребує певної доробки внаслідок неузгодженості із вимогами надійної роботи. Для вирішення більш складних завдань і оптимального варіанта трансформаторів спеціального призначення використовуються методи фізичного моделювання. В якості моделі використовується зменшена копія потужного трансформатора з відображенням характерних конструктивних рис. Таким чином, отримані результати експериментального дослідження в повній мірі відображають характер протікання електромагнітних процесів в реальному конструктивному варіанті. Використання цього метода свідчить про наступне:

- існуючі методики не в повній мірі відповідають таким, що мають місце в реальному трансформаторному устаткуванні;
- вони не враховують характерні риси електротехнологічного процесу та його вплив на формування та протікання нестационарних електромагнітних процесів;
- точність отриманих результатів залежить від ступеня лінеаризації не лінійності залежності магнітного потоку в магнітній системі від магнітного поля розсіювання;
- процеси перезбудження магнітної системи взагалі не відображаються;
- розрахунок кожного із параметрів виконується по відповідним інженерним методикам і отримання одного із результатів використовується для розрахунку іншого;
- електромагнітна стійкість трансформаторів розраховується тільки для режимів короткого замикання, що принципово не можливо розповсюджувати на три фази в силу їх взаємного фізичного стану (1200).

Таким чином, використання фізичного моделювання вимагає досить великих коштів, кваліфікованих фахівців і є досить довгостроковим при використанні. Це спонукає до розробки нових узагальнених методів розрахунку електромагнітних процесів в трансформаторах як спеціального, так і загального призначення.

Мета роботи полягає в розробці узагальненої математичної моделі нестационарних електромагнітних процесів в трансформаторах спеціального призначення із можливим використанням для модернізації трансформаторів загального призначення.

Наукова новизна відзначається розробкою нелінійної математичної моделі нестационарних електромагнітних процесів в трансформаторах спеціального призначення із врахуванням характерних рис різкозмінних навантажень, що дозволяє використовувати для модернізації трансформаторів загального призначення.

Результати дослідження полягають в наступному. Пропонується узагальнена дискретна (в залежності від кількості обмоток системи збудження електромагнітного поля розсіювання) математична модель нестационарних електромагнітних процесів в багато обмоточних трансформаторах спеціального призначення з врахуванням нелінійних залежностей та характерних рис навантаження, які призводять до погіршення термінів надійності устаткування. При побудові математичної моделі враховуються наступні визначальні положення:

- електромагнітна індукція в стрижні магнітної системи відображає ступінь зчеплення всіх обмоток системи збудження електромагнітного поля розсіювання і нелінійні властивості;
- нелінійні властивості магнітної індукції відображають ступінь перезбудження магнітної системи;
- в режимах короткого замикання потужність електричної енергії первинної обмотки (що живиться від мережі) розподіляється між іншими з врахуванням їх характерних рис (класу напруги, потужності);
- вплив вищих гармонік (несинусоїдальності) враховується шляхом використання відповідних коефіцієнтів еквівалентності.

Нелінійні властивості магнітної індукції враховуються шляхом кускової апроксимації поліномами або показовими залежностями.

Узагальнена математична модель електромагнітних процесів представляє собою систему диференціальних рівнянь кількість яких залежить від кількості обмоток в системі збудження електромагнітного поля розсіювання. Кожне із рівнянь складається із складових взаємної індуктивності. Їх кількість відображає електромагнітний зв'язок із визначальними параметрами трансформатора.

Нелінійні властивості, що відповідають магнітним характеристикам відповідної електротехнічної сталі, із якої складається магнітна система, можливо апроксимувати кусковими поліномами або показовими функціями. Подальші перетворення полягають у формуванні узагальненого рішення диференційних рівнянь з врахуванням похідних від часу струму і магнітного потоку. Рішення цих рівнянь отримуємо у вигляді матриці в якій враховуються електромагнітні зв'язки між відповідними показниками (первинної обмотки та двох розщеплених).

Подальші перетворення призводять до більш складних розрахунків, складність яких полягає в ступені отримання відповідної точності.

Даний метод використано при модернізації потужного трансформатора типу ТРДН-63МВА з олійним примусовим охолодженням. Дослідження показали необхідність посилення пресуючи засобів системи збудження електромагнітного поля розсіювання та ізоляційних властивостей високовольтних обмоток. При цьому в низьковольтних обмотках фази «В» наслідки дії нестационарних електромагнітних процесів проявились вагоміше. Робоча версія такого стану пояснюється тим, що при живленні дугової сталеплавильної печі типу ДСН-50 мало місце несиметричне навантаження яке пов'язано із станом відповідного електрода (більш вигорів) та якістю металевого брухту. Повторення експерименту планується в найближче можливий час і суттєво залежить від технічних можливостей.

Доцільно відзначити, що запропоновану науково-технічну математичну модель можливо суттєво удосконалити шляхом використання нових методів математичної статистики та теорії вірогідності.

На підставі аналізу отриманих результатів можливо зробити наступні висновки.

1. Запропонована узагальнена дискретна математична модель дозволяє враховувати значно більшу кількість обмоток в системі збудження поля розсіювання;

2. Методологічний підхід побудови дискретної математичної моделі доцільно модернізувати для дослідження електромагнітних процесів в синхронних машинах;

3. Вважається необхідним більш ретельно розглянути можливість використання сучасних фізико-математичних методів вирішення нелінійних інтегро-диференційних рівнянь в поєднанні із мікропроцесорними і програмними засобами;

4. Дискретну математичну модель доцільно модернізувати до використання в автоматизованих системах діагностики поточного технічного стану електротехнічного устаткування.