УДК 621.3.01:519.876.5

Тиховод С.М.[1], Драпак О.М.[2]
[1] д-р. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"
[2] студ. гр. Е-219М НУ "Запорізька політехніка"

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

Різка зміна режиму роботи силового трансформатора (наприклад, включення його під номінальну напругу, коротке замикання) призводить до перехідного процесу в його електромагнітної системі. Перехідний процес може протікати так, що магніторовід входить в повне насичення, а кидок струму може в десятки разів перевищити номінальне значення. Тому завдання оцінки перехідних процесів при різкій зміні режиму роботи силового трансформатора з феромагнітним осердям є актуальною.

В даний час таку оцінку широко проводять за допомогою моделювання електромагнітних процесів в схемах заміщення трансформатора і електричного кола, в яке він включений. Трансформатор розглядається як електромагнітне коло, що містить пов'язані між собою вітки різної природи. За електричним віткам протікає електричний струм, а по магнітним віткам - магнітний потік. Електричні струми, що протікають по обмотках, створюють відповідно до закону повного струму магніторушійних сили, і це враховується введенням в коло джерел напруги, керованих струмом (ДНУС). У дану годину таку оцінку широко проводять за допомогою моделювання електромагнітніх процесів в схемах заміщення трансформатора и електричного кола, в яке він включений. Трансформатор розглядається як електромагнітне коло, что містіть пов'язані между собою вітки різної природи. У електричних вітках протікає електричний струм, а по магнітнім віткам - магнітний потік. Електричні струми, что протікають по обмотках, створюють відповідно до закону полного струму магніторушійніх сили, и це враховується введенням в коло джерел напруги, керованих струмом (ДНУС). Для моделювання динамічних електромагнітних процесів в таких схемах заміщення розроблена спеціалізована програма COLO. Останнім часом в трансформаторобудуванні знаходить широке застосування холоднокатана текстурована електротехнічна сталь. Ця сталь в порівнянні з гарячекатаної сталлю має більше значення магнітної проникності і більшого значення магнітної індукції насичення. При цьому залежність *B (H)* холоднокатаної текстурованої сталі має вигляд різко змінюється функції від нуля до магнітної індукції насичення. Це призводить до появи тенденції розбіжність обчислювального процесу при моделюванні.

Поставлена задача вирішена за допомогою програмного комплексу COLO, розробленого за участю авторів цієї статті [1]. Програма COLO призначена для розрахунку часових залежностей струмів, магнітних потоків, електричних і магнітних напруг в будь-яких елементах взаємопов'язаних електричних та магнітних нелінійних кіл. Вебер-амперні характеристики нелінійних магнитопроводов задаються масивами опорних точок магнітних напруг і магнітних потоків. Тому визначення напруги по заданому струму в проміжних точках в процесі обчислень виконується з використанням сплайн-інтерполяції. Масиви опорних точок кривих намагнічування отримують експериментально, а експериментальні точки завжди мають деякий розкид. Цей розкид може бути причиною розходження ітераційного процесу, який виконується на кожному кроці інтегрування. У програмі COLO характеристики нелінійних елементів обробляються спеціальними сплайн-функціями, що викликаються з Spline Toolbox системи Matlab.

У SplineToolbox передбачена робота не з самими характеристиками, а з їх pp-формами (наборами коефіцієнтів сплайн-інтерполяції), що спрощує апроксимацію і прискорює обчислення. Отримати pp-форму в системі Matlab можна за допомогою оператора: pp = csapi (MB, MH), де MB, MH - вектора опорних точок для B і H кривої намагнічування сталі. У SplineToolbox є також можливість використання згладжує сплайна з заданим коефіцієнтом згладжування. Однак для різко змінюється функції використання згладжує сплайна призводить до неадекватного результату. Якщо згладжує сплайн застосувати до логарифму залежності *lnH (B),* то отримана апроксимація виконується адекватно і при цьому згладжується розкид експериментальних точок кривої намагнічування. Це призводить до поліпшення стійкості чисельного методу, що застосовується при моделюванні електромагнітного процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тиховод С. М., Корнус Т.М., Паук Ю.И., Тарчуткин А.Л. Разработка алгоритма и программы расчета переходных процессов в нелинейных электрических цепях. / Електротехніка та електроенергетика. - 2003. - №1.

2. Тиховод С.М. Моделирование переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения. Електротехніка та електроенергетика. – 2014. – №2.