

УДК621.318.1

Ганчев О.В.¹, Липкань О.П.¹

¹студ. гр. Е-914м НУ «Запорізька політехніка»

ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА РЕАКТОРІВ

Трансформатори та реактори є складними електромагнітними пристроями, процеси в яких описуються системою алгебраїчних та системою нелінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних, які встановлюють залежності між електричними, магнітними та конструктивними параметрами. Величина цих параметрів, ступінь їх впливу на електромагнітні процеси в значного ступеня залежить від режиму роботи трансформатора. Очевидно, що врахувати всі залежності та явища при розрахунку електромагнітних процесів пристроїв з трансформаторами та реакторами неможливо.

Так, при низьких частотах визначальними параметрами трансформатора є електричний опір його обмоток та індуктивності, що залежать від числа витків обмоток, кривої намагнічування магнітопроводу та його розмірів. При збільшенні частоти стають помітними втрати енергії на перемагнічування магнітопроводу, зменшується індуктивності через витіснення магнітного

поля із пластин сталі магнітопроводу вихровими струмами і збільшується роль ємностей, обумовлених електричними полями, виникаючими в обмотках.

При аналізі перетворювальних пристроїв одними з основних параметрів трансформатора є індуктивні та активні опори обмоток. Іноді необхідно враховувати втрати від вихрових струмів, гістерезисні втрати, нелінійність характеристик намагнічування. Тому для вирішення широкого кола завдань аналізу пристроїв силової електроніки необхідні моделі трансформаторів та реакторів різного рівня ідеалізації.

Звичайною формою моделей компонентів схем є електричний ланцюг, складений з нелінійних та лінійних резистивних гілок, ємностей, індуктивностей та залежних джерел. Зручною формою для відображення перетворювальних пристроїв є кусково-лінійна динамічна система. При вирішенні багатьох завдань аналізу пристроїв силової електроніки можна обійтися найпростішими моделями трансформаторів та реакторів. Так, реактор зазвичай представляють індуктивністю і резисторами, ввімкеними послідовно і паралельно. При зміні частоти або насичення сталі магнітопроводу характеристики цих схем істотно відрізняються один від одного, особливо по залежності втрат від змінного параметра. Втрати реактора зазвичай набагато менше його реактивної потужності. Тому $R_1 \ll \omega \cdot L_1, R_2 \ll \omega \cdot L_2, L_1 \approx L_2$ і можна в першому наближенні вважати напругу на реактивному опорі L_1 або струм L_2 рівним відповідно напруги на реакторі чи струму в ньому. Тоді втрати за схемою рисунок 1а пропорційні квадрату струму в реакторі, а за схемою рисунок 1б – квадрату напруги.

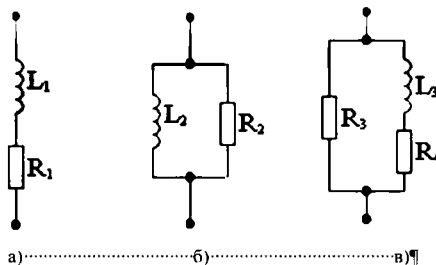


Рисунок 1 – Схеми заміщення реактора

Основні втрати в обмотці пропорційні квадрату струму і враховуються послідовно активним активним опором (рис. 1,а). Втрати від вихрових струмів у пластинах сталі магнітопроводу та проводи обмотки, пропорційні квадрату напруги, враховуються паралельним активним опором (рис. 1,б). Гістерезисні втрати і втрати в масивних провідних деталях можна врахувати за допомогою двох опорів R_3 та R_4 (рис. 1,в).

Індуктивність реактора зі сталлю може різко змінюватися при насичення магнітної системи або її частин. Для режимів, пов'язаних з сильним насиченням сталі, зазвичай вдається уявити нелінійну магнітну характеристику шматково-лінійною (рис. 2,а). Кожна точка її зламу відповідає насичення однієї з частин магнітної системи. Для розрахунку таку характеристику подають у вигляді суми декількох більш простих характеристик. На схемі заміщення цьому відповідає ряд послідовно включених індуктивностей (рис. 2,б).

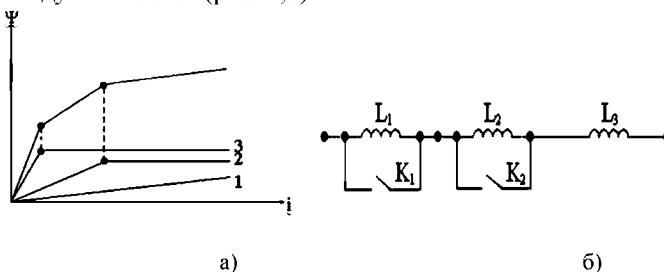


Рисунок 2 – Характеристика намагнічування (а) та схема заміщення насиченого реактора (б)

В реальних пристроях буває достатньо розглядати насичення всього магнітопроводу відразу або однієї його ділянки, а схема заміщення міститиме одну або дві індуктивності з одним ключем.

Користуючись викладеними способами, можна досить просто врахувати у схемі заміщення складні явища. Наприклад опором, ввімкненим паралельно індуктивності, яка відповідає індуктивності насичення, можна врахувати вихрові струми у проводах обмоток та інших частинах реактора, що насичується. Однак слід пам'ятати, що облік багатьох другорядних чинників призводить до ускладнення постановки завдання, схеми заміщення та її розв'язання.