УДК 621.311.1; 621.315.62

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОЗВИТКУ ФЕРОРЕЗОНАНСУ В ПОВІТРЯНИХ МЕРЕЖАХ З ТРАНСФОРМАТОРАМИ НАПРУГИ ТИПУ НАМИ

Котиш А.І., к.т.н., доц., Плєшков П.Г., к.т.н., доц.
Кіровоградський державний технічний університет
Україна, 25006, Кіровоград, пр-т Університетський 8, КДТУ, кафедра "Електропостачання промислових підприємств і сільського господарства"
тел. (0522) 597-461, E-mail: epp@kdtu.kr.ua

Статтю присвячено питанню вирішення проблеми надійного функціонування антирезонансних трансформаторів напруги типу НАМИ в повітряних мережах з ізольованою нейтраллю. Визначені граничні умови розвитку феррорезонансу в мережах 10 кВ, контроль ізоляції в яких здійснюється зазначеними трансформаторами напруги.

Статья посвящена вопросу решения проблемы надежного функционирования антирезонансных трансформаторов напряжения типа НАМИ в воздушных сетях с изолированным нейтраллю. Определены граничные условия развития феррорезонанса в сетях 10 кВ, контроль изоляции в которых осуществляется рассмотренными трансформаторами напряжения.

Одним із заходів по упередженню пошкодження трансформаторів напруги (ТН) в мережах з ізольованою нейтраллю (6 - 35 кВ) вважається використання антирезонансних ТН типів НАМИ-6, НАМИ-10 й НАМИ-35 замість застарілих НТМИ, ЗНОМ, ЗНОЛ [1].

Заводами виробниками гарантується, що трансформатор НАМИ не вступає в резонанс з ємністю шин і ліній будь якої довжини, а також витримує без обмеження тривалості як усі види однофазних замикань на землю в мережі, в тому числі і дугових, так і підвищення напруги, по причині виникнення феррорезонансу між ємністю мережі й іншими трансформаторами.

Однак експлуатуючи організації застосовують антирезонансні ТН типу НАМИ в дуже незначній кількості, по причині їх вартості, тому немає надійних даних про досвід їх експлуатації. Хоча в ряді енергосистем відмічалося про вихід з ладу зазначених ТН при певних умовах експлуатації.

Трансформатори НАМИ мають спеціальну схему з'єднання обмоток (рис. 1).

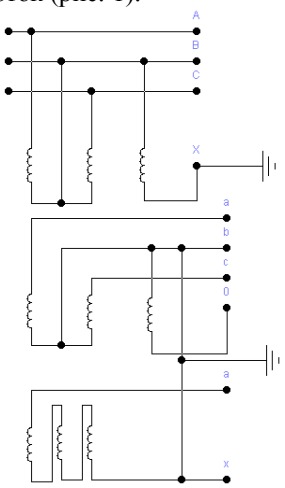

Рис.1. Схема з'єднання обмоток ТН типу НАМИ

Фактично в баці антирезонансного ТН розміщуються два трансформатора (трьохфазний і однофазний), які мають окремі магнітопроводи. В нейтраль високовольтної обмотки трьохфазного трансформатора приєднаний однофазний трансформатор, що вимірює напругу нульової послідовності. Запобіганню феррорезонансу сприяє той факт, що в контур нульової послідовності входить тільки одна індуктивність намагнічування однофазного трансформатора, і цей феррорезонансний контур не має джерела е.р.с.

В даній роботі проведена аналітична оцінка можливості виникнення феррорезонансу ТН типу НАМИ – 10 з ємністю приєднаної мережі.

Для цієї цілі була знята вольт-амперна характеристика заземленої фази ТН НАМИ-10 (рис.1) в діапазоні від нуля до фазної напруги мережі промислової частоти.

Характер отриманої залежності вирізняється явно вираженою нелінійністю і задовільно апроксимується (за допомогою пакету програм Mathcad) з точністю 97–98% наступною функцією:

$$I_m = 0{,}048 + 19{,}321U - 3{,}333U^2 - 0{,}25U^3 \qquad (1)$$

Таке описання характеристики дає можливість на відміну від графічних рішень феррорезонансних процесів [2] аналітично вирахувати граничні значення параметрів реальних мереж, при яких стає можливим феррорезонанс.

При роботі ТН паралельно його фазі ввімкнена фазна ємність мережі (рис.2).

Величина ємнісного струму має лінійну залежність від величини прикладеної напруги:

$$I_C = kU \qquad (2)$$

де k - фазна ємнісна провідність мережі, мА/кВ;
U - фазна напруга заземленої фази, кВ.

Результуючий струм схеми на рис. 2 виразиться залежністю:

$$I = I_m - I_C = 0{,}048 + 19{,}321U - 3{,}333U^2 + 0{,}25U^3 - kU \quad (3)$$

Феррорезонансний зрив [2] із зміною фази струму проходить при досягненні залежністю (3) екстремальної точки М (рис. 3).

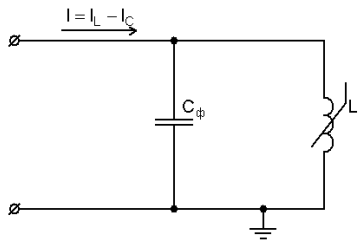

Рис. 2. Розрахункова схема, щодо встановлення границі початку розвитку феррорезонансу

Сказане вище є необхідною умовою розвитку феррорезонансу і його невід'ємною рисою.

Вираз (3) дозволяє провести аналіз умови виникнення феррорезонансу для схеми на рис. 2 в діапазоні робочих напруг. Точка М (точка феррорезонансної нестійкості) відповідає точці екстремуму графіка функції (3).

Диференціюючи (3) по величині напруги і прирівнюючи першу похідну до нуля, отримаємо, що при зміні напруги $0<U<U_\phi$ (U_ϕ - фазна напруга мережі) коефіцієнт k змінюється в межах $4{,}06<k<19{,}321$ [мА/кВ].

Така ємнісна провідність відповідає фазній ємності приєднаної мережі $0{,}013<C_\phi<0{,}062$ мкФ, що в свою чергу відповідає ємнісному струму однофазного замикання $0{,}024<I_C<0{,}116$ А.

У випадку, якщо C_ϕ перевищить вказане значення, то для розвитку феррорезонансу буде потрібна напруга більша ніж фазна напруга мережі, тобто при ємності C_ϕ більше вказаної, феррорезонанс на основній частоті при металевому замиканні на землю неможливий.

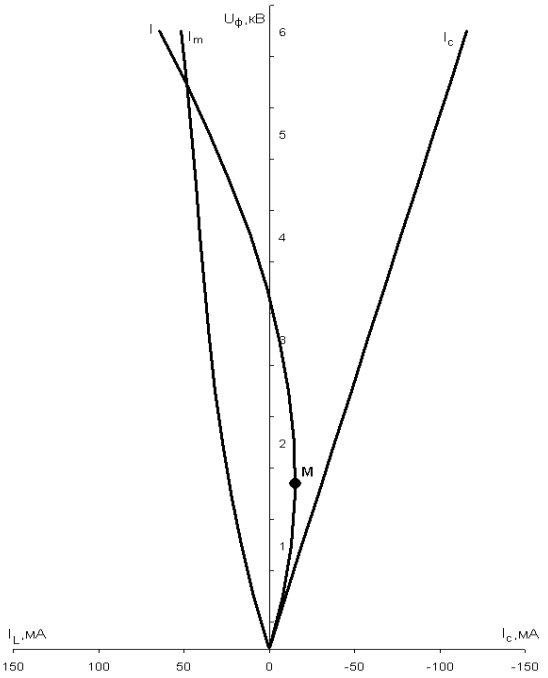

Рис. 3. Феррорезонанс струмів

В табл. 1 наведені результати розрахунків можливості розвитку феррорезонансу на частоті 50 Гц по описаній вище методиці.

Як видно з розрахунків, для трансформаторів напруги НАМИ-10 феррорезонанс, а як наслідок і його пошкодження можливе при достатньо реальних умовах експлуатації.

Таблиця 1

Тип ТН	$U_{ном}$, кВ	Фазна ємність при якій можливий феррорезонанс, мкф	Струм, при якому можливий феррорезонанс, А	Відповідна довжина приєднаних ПЛ, км
НАМИ-10	10	0,013-0,062	0,024-0,116	1,5-7,2

ЛІТЕРАТУРА

[1] Плєшков П.Г., Котиш А.І. Один з шляхів запобігання пошкодження трансформаторів напруги в повітряних мережах 10-35 кВ //Електротехніка і електромеханіка. - 2002. - №3. - с. 66-67.

[2] Нейман Л.Г., Калантаров П.Л. Теоретические основы электротехники. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959, ч. II.

Надійшла 23.09.2003