

Systems // Tamkang Journal of Science and Engineering. – 2005. – Vol. 8, No 2. – P. 147–153. 5. Trishan Efram, Jonathan W. Kimball, Philip T. Krein, Patrick L. Chapman and Pallab Midya. Dynamic Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays Using Ripple Correlation Control // IEEE Transactions on power electronics. September 2006. – Vol. 21, N 5. 6. Jawad Ahmad, and Hee-Jun Kim. A Voltage Based Maximum Power Point Tracker for Low Power and Low Cost Photovoltaic Applications // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2009. – 60. 7. Yan Hong Lim and D.C.Hamill. Simple maximum power point tracker for photovoltaic arrays // Electronics letters 25th. – May 2000. – Vol. 36, N. 11. 8. Sachin Jain and Vivek Agarwal. A New Algorithm for Rapid Tracking of Approximate Maximum Power Point in Photovoltaic Systems // IEEE Power Electronic Letters. – March 2004. – Vol. 2, N 1.

УДК 621.3.013.62; 621.314.21; 621.314.222.8

М.Й. Олійник, О.Л. Никонець, Н.Г. Мальцева
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедри ЕПМС, ЕС

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ ЗІ СХЕМОЮ З’ЄДНАННЯ ОБМОТОК “ЗІРКА – ЗІРКА З УЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛІЮ” ЗА ДІЇ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕНАПРУГ

© Олійник М. Й., Никонець О. Л., Мальцева Н. Г., 2011

Дослідженнями на математичній моделі трансформатора обґрунтовані зміни в схемах та параметрах випробувальної хвилі під час проведення типових імпульсних випробувань. Доведено, що під час дії імпульсної хвилі на обмотках трансформатора розвиваються внутрішні коливні перенапруги, величина яких небезпечна для виткової ізоляції.

Ключові слова: трансформатор, електромагнітні процеси, перенапруги, математична модель, розподільна мережа.

Changes and parameters of the test surge pulse for procedure or typical surge tests have been proved by transformer simulations. It was shown, that under surge pulse the dangerous internal oscillating overvoltages are developed on winding isolation.

Key words: elektromagnetic transients, overvoltages, mathematical model, distribution grid.

Постановка проблеми

Не зважаючи на те, що хвильові процеси в обмотках трансформаторів за дії імпульсних перенапруг доволі добре вивчені, розроблені відповідні технічні рішення для вирівнювання напруги вздовж обмотки та обмеження амплітуди імпульсних перенапруг, обґрунтовані необхідні рівні ізоляції, досвід експлуатації [1] свідчить, що за дії імпульсних перенапруг виникає до 20,8 % всіх ушкоджень трансформаторів розподільчої мережі. Це зумовлює необхідність поглибленого вивчення взаємозв'язків між електричними процесами в ізоляції та електромагнітними процесами в обмотках трансформаторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У [2] синтезована математична модель трифазного трансформатора 20/0,4 кВ потужністю 20 кВА, яка адекватно відтворює перехідні електромагнітні процеси в реальному трансформаторі за дії внутрішніх перенапруг з різними частотами вільних складових. У [3] доведено, що синтезована модель дає змогу отримати достовірні кількісні характеристики впливу на елементи ізоляції не тільки внутрішніх, але й імпульсних перенапруг мережі.

У [3] зроблено такі висновки: імпульсні випробування ізоляції трансформаторів зі з'єднанням обмотки ВН за схемою «зірка» без виведеної нейтралі за нормами чинного стандарту не гарантують надійної їх експлуатації; режим роботи обмотки НН під час імпульсних випробувань трансформатора істотно впливає на умови роботи як головної, так і виткової ізоляції; норми випробувальних напруг для трансформаторів зі з'єднанням обмотки ВН за схемою «зірка» без виведеної нейтралі повинні бути скоректовані як за амплітудою імпульсної хвилі, так і за її тривалістю.

Задачі досліджень

З'ясувати причини пошкодження поздовжньої (виткової) ізоляції за дії імпульсних перенапруг та запропонувати обґрунтовані норми випробувальних імпульсних напруг для трансформаторів зі з'єднанням обмотки ВН за схемою «зірка» без виведеної нейтралі.

Виклад основного матеріалу досліджень

Результати дослідів для оцінювання впливу значення ємності, під'єднаної до обмотки НН трансформатора на значення напруг, що виникають на обмотках НН за дії на ізоляцію нейтралі обмотки ВН стандартного імпульсу, наведені на рис. 1.

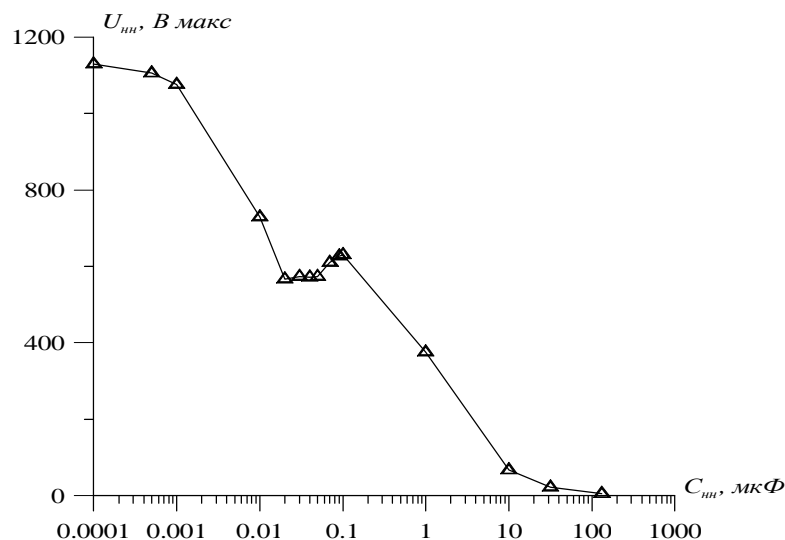


Рис. 1. Вплив значення ємності, під'єднаної до обмотки НН трансформатора на значення напруги, що виникає на обмотках НН під час випробування ізоляції нейтралі обмотки ВН стандартним імпульсом відповідно до ГОСТ 1516.3-96

Значення ємності 100 мкФ відповідає режиму закорочених обмоток НН, а значення менші, ніж 0,001 мкФ – режиму розімкнутих обмоток НН. За значень ємності в діапазоні 0,01–0,1 мкФ перенапруги на обмотці НН стабільні та перебувають на рівні двократних від номінальної напруги. Обговорюючи результати математичного дослідження рис. 1, треба наголосити, що режим неробочого ходу (або близький до нього) – це поширений режим, який може виникати під час експлуатації трансформатора. Тому, якщо в результаті дії індукованої імпульсної хвилі перенапруг на обмотці НН з'явиться перенапруга, на яку ізоляція обмотки НН ніколи не розраховувалась, відбудеться пошкодження трансформатора. Наведене доводить, що рекомендація проводити випробування тільки з закороченою обмоткою НН – хибна. Причина появи небезпечних перенапруг – резонансні явища, обумовлені індуктивністю обмотки НН та ємностями між обмотками ВН та НН. У [3] виявлено, що резонансна частота дорівнює 72460 Гц.

Імпульсні перенапруги з порівняно великою амплітудою можуть бути обумовлені дією індукованих грозових перенапруг одночасно на трьох провадах (фазах) лінії електропередавання. Хвилі індукованої напруги на лінії мають більшу тривалість (до декількох сотень мікросекунд) та

пологий фронт [4] порівняно зі стандартною випробувальною хвилею. Цей факт протирічить вимогам [5], за якими випробування ізоляції нейтралі обмоток ВН повинні проводитись з використанням стандартної хвилі «1,2/50».

На рис. 2 наведені результати експерименту, аналогічні наведеним в [3], але за дії реальних хвиль індукованих перенапруг з параметрами «10,5/500». Як бачимо з рис. 2, розвиток резонансних перенапруг в трансформаторі призвів до збільшення напруг на нейтральному виводі обмотки ВН до 124 кВ (за амплітуди повної хвилі – 105 кВ). Таке збільшення цілком узгоджується з даними [6] для трансформаторів малої потужності.

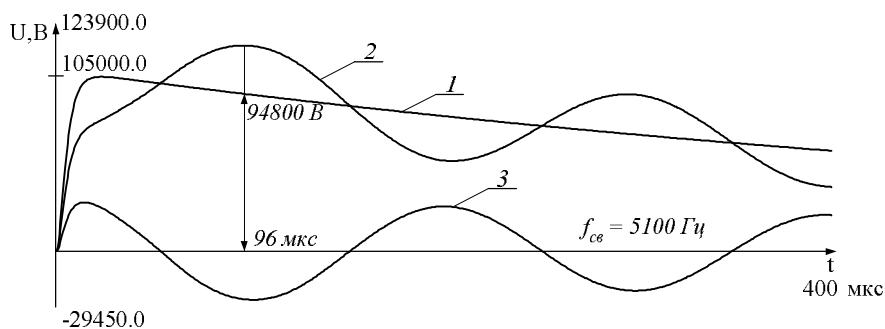


Рис. 2. Напруги на елементах ізоляції трансформатора за дії імпульсної повної хвилі на закорочені обмотки фаз А, В, С (обмотки НН закорочені):
1 – напруга імпульсу; 2 – напруга в нейтралі обмотки ВН; 3 – напруга на обмотках ВН

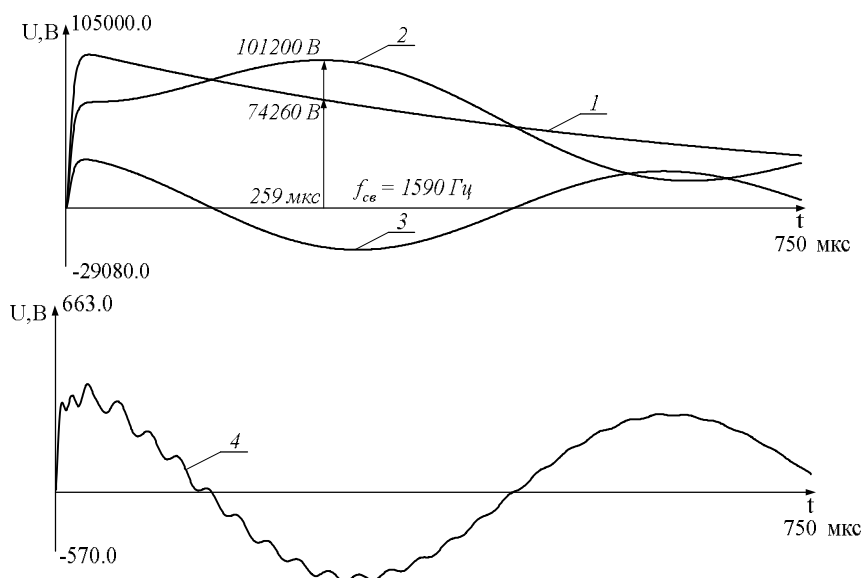


Рис. 3. Напруги на елементах ізоляції трансформатора за дії імпульсної повної хвилі «10,5/500» на закорочені обмотки фаз А, В, С (обмотки НН розімкнені):
1 – напруга імпульсу; 2 – напруга в нейтралі обмотки ВН; 3 – напруга на обмотках ВН;
4 – напруга на обмотках НН

На рис. 3 наведені результати експерименту, аналогічного з експериментом, результати якого подані на рис. 2, але у режимі розімкнених обмоток НН. Через зменшення частоти вільних коливань напруга в нейтралі обмотки ВН досягла свого максимального значення в момент часу $t = 259$ мкс. Значення напруги повної хвилі за цей час зменшилось до 74,26 кВ. Тому максимум напруги на нейтралі обмотки ВН не перевищив максимального значення напруги повної хвилі. Значення напруги на обмотках НН в два рази перевищило значення номінальної напруги.

Наступна серія математичних експериментів виконувалася за дії зрізаної (рис. 4, 5) та повної стандартної хвилі на одну обмотку ВН (фаза В) (рис. 6, 7).

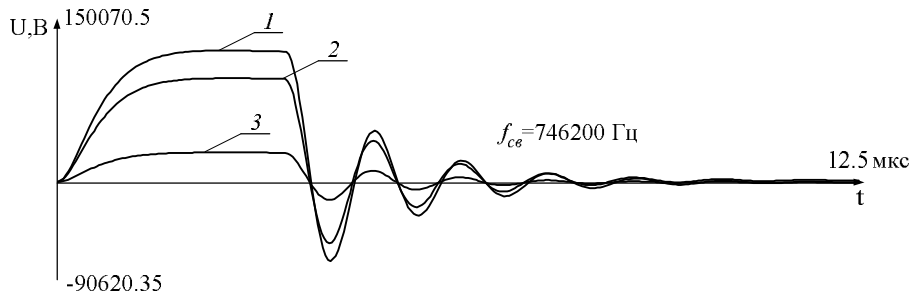


Рис. 4. Напряги на елементах ізоляції трансформатора за дії імпульсної зрізаної хвилі на обмотку фази В (фази А і С – закорочені):
 1 – напруга імпульсу; 2 – напруга на обмотках ВН (обмотка НН закорочена);
 3 – напруга в нейтралі обмотки ВН

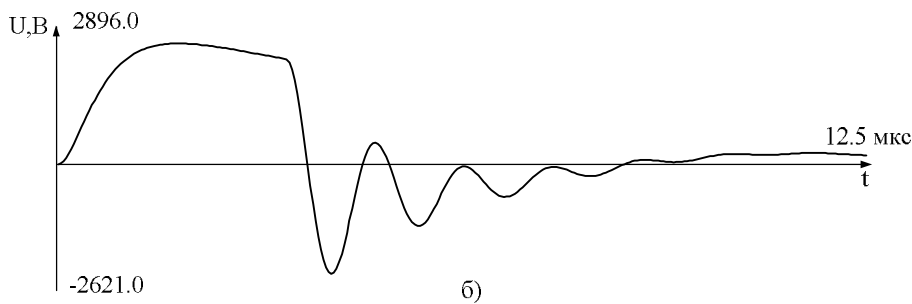
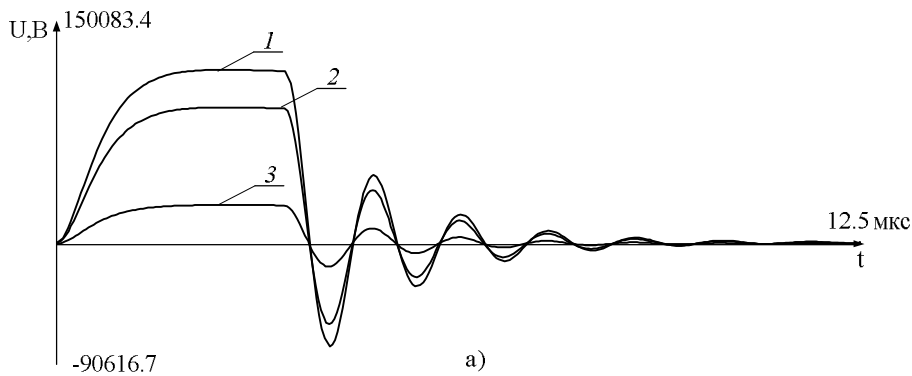


Рис. 5. Напруга на елементах ізоляції трансформатора за дії імпульсної зрізаної хвилі на обмотку фази В (фази А і С – закорочені):
 а – напруги на обмотці ВН; 1 – напруга імпульсу; 2 – напруга на обмотках ВН;
 3 – напруга в нейтралі обмотки ВН; б – напруга на розімкнених обмотках НН

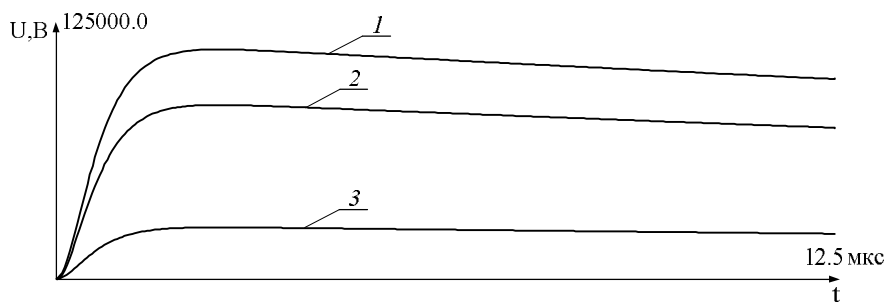
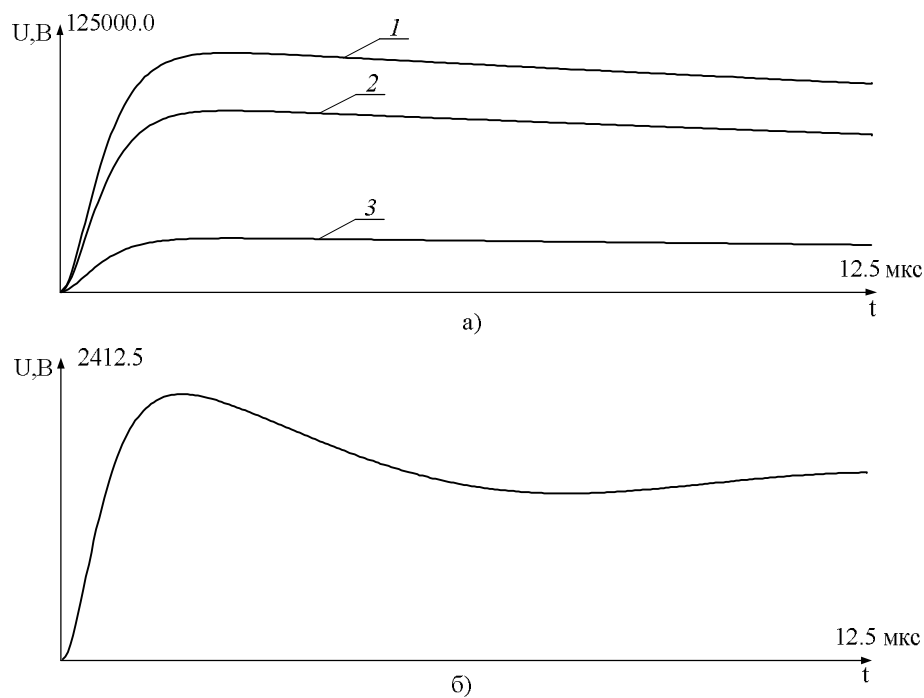


Рис. 6. Напруги на елементах ізоляції трансформатора за дії імпульсної повної хвилі на обмотку фази В (фази А і С – закорочені):
 1 – напруга імпульсу; 2 – напруга на обмотках ВН; 3 – напруга в нейтралі обмотки ВН



*Рис. 7. Напруги на елементах ізоляції трансформатора за дії імпульсної повної хвилі на обмотку фази В (фази А і С – закорочені):
а – напруги на обмотці ВН; 1 – напруга імпульсу;
2 – напруга на обмотках ВН; 3 – напруга в нейтралі обмотки ВН; б – напруга на обмотках НН, навантажених конденсаторами ємністю 0,0001 мкФ на фазу*

Як бачимо з рис. 4, напруга на елементах трансформатора за формою повторює форму стандартної зрізаної хвилі, а за значеннями розподілилася між нейтраллю та обмоткою ВН в співвідношенні 23 та 77 %. Розмикання обмоток НН не змінило значень перенапруг на обмотках ВН, але призвело до появи небезпечних перенапруг на обмотках НН, кратність яких досягла 8,93 (рис. 5, б).

З рис. 6 та рис. 7 видно, що за дії повної стандартної хвилі напруга між нейтраллю та обмоткою фази «В» розподіляється в тій самій пропорції, що і в досліді зі зрізаною хвилею. Напруга на розімкнутій обмотці НН зменшилась у співвідношенні амплітуд хвиль, що діяли на трансформатор.

Отже, для трансформатора зі схемою обмотки ВН «зірка» без виведеної нейтраллі, для забезпечення на обмотці ВН тих самих дій, що і для трансформатора з виведеною нейтраллю, напругу імпульсної хвилі потрібно збільшити в 100/77 раз.

Стандартні імпульсні випробування не повністю враховують наявність на обмотках трансформатора робочої напруги під час експлуатації. За однакової прикладеної хвилі перенапруги, що виникають на елементах внутрішньої ізоляції трансформатора під час експлуатації, можуть бути істотно більшими, ніж під час стандартних випробувань. За дії повної хвилі випробувальної напруги це явище стосується як поздовжньої, так і головної ізоляції. За дії зрізаної хвилі – практично тільки поздовжньої ізоляції. Окремі дослідження показали, що за наявності робочої напруги і дії хвилі імпульсних перенапруг амплітуди вільних коливань напруги на обмотках трансформатора збільшуються до трикратних значень номінальної напруги, що небезпечно для виткової ізоляції.

Висновки

1. Типові імпульсні випробування ізоляції трансформаторів, які проводяться за закорочених обмотках НН повинні доповнюватись випробуваннями з розімкненими обмотками НН. Амплітуду імпульсної хвилі треба збільшити у співвідношенні 100/77.

2. Імпульсні випробування ізоляції нейтралей обмотки ВН для трансформаторів з обмотками з'єднаними в «зірку» повинні проводитись з використанням імпульсної хвилі з параметрами «10,5/500».

3. Наявність робочої напруги на обмотках трансформатора за дії на нього в експлуатації імпульсних перенапруг розрахункової величини призводить до виникнення на обмотках трансформаторів внутрішніх коливань перенапруг, величина яких перевищує допустимі для поздовжньої ізоляції значення, що може призвести до його пошкодження.

1. Ахметшин Р.С., Рыбаков Л.М. *Технические средства диагностирования силовых трансформаторов 10/0,4 кВ на основе частотных характеристик* // *Электричество*. – М., 2005. – № 5. 2. Конторович Л.Н., Молнар М.М., Никонець О.Л. *Математична модель трифазного трансформатора для частот вільної складової внутрішніх перенапруг мережі* // *Новини енергетики*. – 2010. – № 3. 3. Олійник М.Й., Никонець О.Л., Ліщак І.В., Мальцева Н.Г. *Аналіз ефективності імпульсних випробувань трансформатора розподільчої мережі зі з'єднанням обмотки ВН за схемою «зірка»* // *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. – 2010. – № 67: *Електроенергетичні та електромеханічні системи*. – С. 76–80. 4. Долгинов А. И. *Перенапряжения в электрических системах*. – М., Л.: ГЭИ, 1962. – 512 с. 5. ГОСТ 1516.3-96 *Межгосударственный стандарт, электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции*. – К.: Госстандарт Украины, 1999. 6. Сапожников А.В. *Уровни изоляции электрооборудования высокого напряжения. Нормы и методы испытания электрической прочности*. – М.: Энергия, 1969. – 269 с.

УДК 621.372

С.Й. Рендзіняк, Ю.Я. Козак

Національний університет «Львівська політехніка»,
кафедра ТЗЕ

ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКРЕТНИХ МАКРОМОДЕЛЕЙ НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ ПІДСИСТЕМ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ДІАКОПТИЧНИМИ МЕТОДАМИ

© Рендзіняк С.Й., Козак Ю.Я., 2011

Запропоновано застосування діакоптичного підходу до аналізу перехідних процесів у різномірних електричних колах, які складаються з нелінійних динамічних підсхем, поданих дискретними макромоделями, і підсхем з компонентами з зосередженими параметрами. Цей метод реалізовано у програмному комплексі, адекватність результатів чисельних експериментів показано на тестовому прикладі.

Ключові слова: діакоптика, нелінійна динамічна система, дискретна макромодель.

In the paper the diakoptic approach to the transient analysis in heterogeneous electrical circuits consisting of nonlinear dynamic subcircuits submitted discrete macromodels and subcircuits with lumped parameters is proposed. This method is implemented in software system, the adequacy of numerical experiments are shown in the test example.

This paper is devoted to the solving task of property prediction on the basis of analogical inference.

Key words: diakoptic, nonlinear dynamic system, macromodel.

Вступ

Проектування і аналіз сучасних динамічних систем, які містять велику кількість компонент часто різної фізичної природи, вимагає значних обчислювальних ресурсів. Це зумовлено як