

ЕЛЕКТРОНІКА І ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 378.14+621.31

О.Н. ВОЙЦЕХОВСЬКИЙ

Херсонський національний технічний університет

Н.Л. ДОН, С.О. САВЧЕНКО

Херсонський політехнічний коледж

Одеського національного політехнічного університету

**МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТРАНСФОРМАТОРА
В СЕРЕДОВИЩІ MULTISIM**

Проаналізовано моделі режимів роботи трансформатора. Запропоновано методика використання комп'ютерних моделей у середовищі Multisim при вивченні режимів роботи трансформатора на лабораторному практикумі з електричних машин у вищих навчальних закладах. Пропонується методичне забезпечення до віртуальної лабораторної роботи.

Ключові слова: режими роботи трансформатора, Multisim, лабораторний практикум.

А.Н. ВОЙЦЕХОВСКИЙ

Херсонский национальный технический университет

Н.Л. ДОН, С.А. САВЧЕНКО

Херсонский политехнический колледж

Одесского национального политехнического университета

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА
В СРЕДЕ MULTISIM**

Проанализированы модели режимов работы трансформатора. Предложена методика использования компьютерных моделей в среде Multisim при изучении режимов работы трансформатора в лабораторном практикуме по электрическим машинам в высших учебных заведениях. Предлагается методическое обеспечение к виртуальной лабораторной работе.

Ключевые слова: режимы работы трансформатора, Multisim, лабораторный практикум.

A.N. VOYTSEKHOVSKIY

Kherson National Technical University

N.L. DON, S.A. SAVCHENKO

Kherson Polytechnic College of

Odessa National Polytechnic University

**THE DESIGN OF MODES OF OPERATIONS OF TRANSFORMER
IN ENVIRONMENT OF MULTISIM**

The model of the modes of operations of the transformer is analyzed. Methods of computer models using in the environment of Multisim of the studying of the modes of transformer operations at the laboratory practical work from electric machines are offered in higher educational establishments. The methodical providing is offered to virtual laboratory work.

Keywords: modes of operations of transformer, Multisim, laboratory practical work.

Постановка проблеми

Розробка електротехнічного пристрою супроводжується фізичним чи то математичним моделюванням. Фізичне моделювання завжди супроводжується значними матеріальними витратами через виготовлення макетів та їх апробацію. Нерідко фізичне моделювання просто неможливо провести через надвичайну складність пристрою. В цьому випадку застосовується математичне моделювання з використанням засобів та методів обчислювальної техніки, особливо якщо модель дозволяє усунути проблеми, що виникають при проведенні вимірювань на реальних об'єктах.

Необхідність модельних уявлень полягає в тому, що жоден процес не може бути описаний з урахуванням усіх умов та обставин, що супроводжують це явище. Звичайно, вивчення різних моделей трифазних трансформаторів у ВНЗ обмежується лише лекційними викладами і рідко виноситься до

лабораторного практикуму. Цей матеріал важко засвоюється студентами, оскільки в підручниках йому виділений порівняно малий об'єм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використання інформаційних технологій в освітньому процесі вищого навчального закладу, зокрема при проведенні лабораторних робіт з дисципліни «Електричні машини» із застосуванням віртуальної комп'ютерної лабораторії дозволяє покращити якість вивчення принципів роботи та особливостей електричних машин та електромагнітних пристроїв [1].

У віртуальних комп'ютерних лабораторіях активно застосовується обчислювальний експеримент, для проведення якого можна ефективно використовувати програмний продукт National Instruments – Multisim (Electronic Workbench), в ньому досить зручно моделювати роботу як силового обладнання, ліній електропередач в номінальних та аварійних режимах, так і самі пристрої електромеханіки [2].

Програмний пакет Multisim дозволяє моделювати електричні схеми пристроїв та візуально представляти результати у вигляді осцилограмм, графіків характеристик, показів віртуальних вимірювальних приладів, що сприяє кращому розумінню принципів функціонування реальних схем контролю та керування технологічними процесами виробництва [3].

Формулювання мети дослідження

Слід зазначити, що у більшості технічних вишів на лабораторному практикумі з електричних машин способи ввімкнення трифазних трансформаторів “у натурному виконанні” не вивчаються як через низку причин матеріального характеру, так і внаслідок складності реалізації відповідного лабораторного обладнання. Саме тому в курсі електричних машин з метою усунення вище зазначеного недоліку пропонується методична розробка лабораторної роботи “Дослідження способів ввімкнення трифазних трансформаторів” та відповідне віртуальне лабораторне обладнання.

Викладення основного матеріалу дослідження

Трансформатором називається статичний індуктивний перетворювач, що має дві або більше індуктивно зв'язаних взаємо нерухомих обмоток і призначений для перетворення за допомогою магнітного поля однієї (первинної) системи змінного струму в іншу (вторинну), що має інші характеристики, зокрема, напругу та струм [4,5]. Трансформатори виготовляються за технічними умовами або згідно вимог стандартів і призначені виробником для виконання певних функцій по перетворенню електричної енергії. При номінальних параметрах трансформатор може як загодно довго працювати, не перегріваючись вище від допустимих норм. В паспорті трансформатора вказують наступні номінальні величини:

- номінальна первинна лінійна напруга U_{1H} ;
- номінальна вторинна лінійна напруга U_{2H} на розімкненій вторинній обмотці при живленні первинної обмотки напругою U_{1H} , номінальної частоти;
- номінальний лінійний струм I_{1H} первинної обмотки;
- номінальну потужність S_H ;
- номінальний лінійний струм вторинної обмотки I_{2H} ;
- схема і група сполучень обмоток;
- напруга короткого замикання.

Мета лабораторної роботи - вивчення особливостей роботи трифазних трансформаторів при з'єднанні обмоток зіркою, трикутником і зигзагом.

Перед початком моделювання в середовищі Multisim студент повинен самостійно опрацювати лекційний матеріал з теми роботи, вивчити основні теоретичні положення та методику розрахунку, виконати розрахунок параметрів установки для моделювання схеми пристрою, розглянути інструкції до роботи в середовищі Multisim [3].

За бажанням викладач може надати вже готову схему для дослідження трансформатора або запропонувати студентам в рамках підготовки до лабораторної роботи самостійно створити файл з досліджуваною моделлю трансформатора.

Модель трифазного трансформатора при ввімкненні зіркою чи трикутником наведена на рис.1.

Модель містить:

- генератор напруги (U_A, U_B, U_C);
- досліджуваний трифазний трансформатор, що фактично складається із трьох однофазних трансформаторів T_1, T_2, T_3 , вторинні обмотки якого можна з'єднувати зіркою чи трикутником перемиканням S_1, S_2, S_3 ;
- вольтметри U_{21}, U_{22}, U_{PE3} для визначення напруги на першій, другій частинах вторинного кола та результуючої напруги;
- осцилограф – для визначення зсуву фаз між напругою генератора і U_{PE3} .

- опори навантаження R_H , що комутують за допомогою перемикачів S_4, S_5, S_6 в зірку чи трикутник (бажано встановити навантаження симетричним, тобто в кожній фазі опори R_H покласти однаковими);
- вольтметри U_2 і U_{bc} для визначення фазної та лінійної напруги на вторинній обмотці трансформатора;
- амперметри I_1, I_2 і I_L відповідно для визначення фазного струму первинної обмотки, вторинної обмотки та лінійного струму;
- осцилограф для визначення кута зсуву фаз між напругою та струмом.

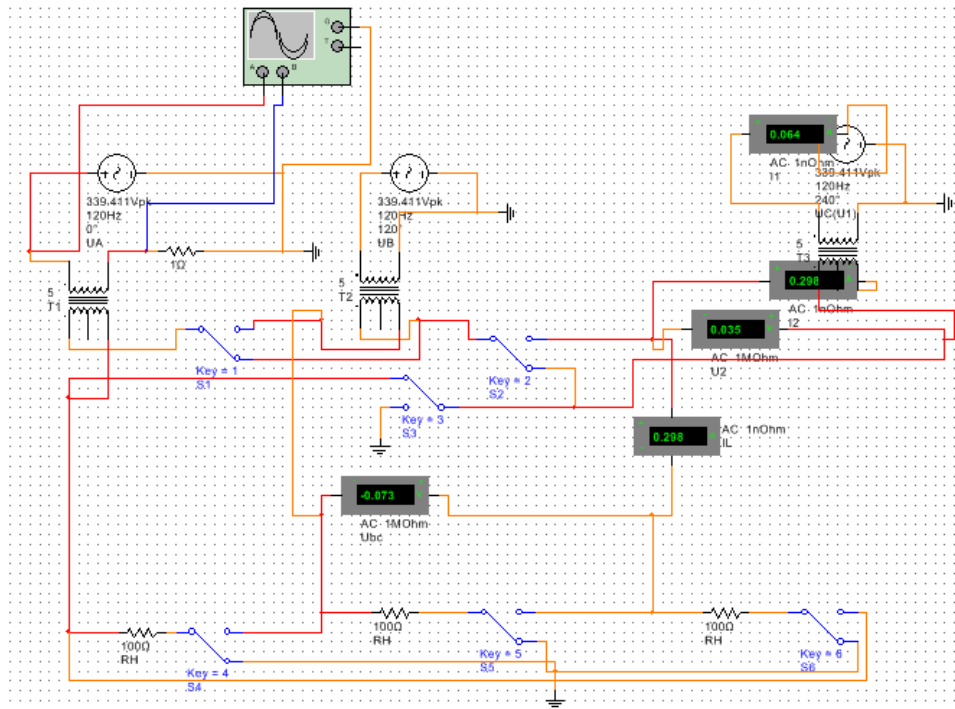


Рис. 1. Модель трифазного трансформатора при ввімкненні зіркою чи трикутником

Після складання схеми необхідно задати напругу генераторів $U_A=U_B=U_C=U_1$, для чого слід послідовно відкрити діалогове вікно кожного джерела напруги (рис.2) і внести відповідні корективи.

Аналогічно задаються параметри моделі трансформатора через панель Transformer Properties. Натискання EDIT відкриває панель Sheet1 (рис. 3) з основними характеристиками трансформатора: N – коефіцієнт трансформації; R_1, R_2 – опори обмоток; L_E – індуктивність розсіяння ($L_E = 0,1$ Гн); L_M – індуктивність намагнічування ($L_M = 5$ Гн).

Під час моделювання роботи схеми слід наголосити, що навіть у віртуальному лабораторному практикумі слід зважати на перехідні процеси і дочекатись усталеного режиму роботи трансформатора.

Студенту слід запропонувати з'єднати вторинні обмотки трансформатора зіркою за допомогою перемикачів S_1, S_2 і S_3 , з використанням клавіш 1, 2 і 3. Спосіб з'єднання навантаження (зірка чи трикутник) має відповідати з'єднанню вторинних обмоток. Комутація навантаження виконується перемикачами S_4, S_5 і S_6 .

За стандартною методикою [2,3] слід визначити кут зсуву фази (φ_1) між векторами напруги та струму в одній фазі А (зі використанням осцилограми). Для цього слід підвищити чутливість осцилографа за каналом В, підвести візирні лінії (рис.4) і визначити інтервал часу $T_2 - T_1$.

Аналогічну послідовність дій слід виконати при дослідженні роботи трифазного трансформатора із з'єднанням вторинних обмоток трикутником за допомогою перемикачів S_1, S_2 і S_3 , із використанням клавіш 1, 2 і 3. При цьому слід зазначити, що спосіб з'єднання навантаження (зірка чи трикутник) має відповідати способу з'єднання вторинних обмоток. Комутація навантаження виконується перемикачами S_4, S_5 і S_6 .

Всі описані вище розрахунки та побудови виконуються і для з'єднання трикутником.

Модель трифазного трансформатора при ввімкненні обмоток зигзагом наведена на рис.5.

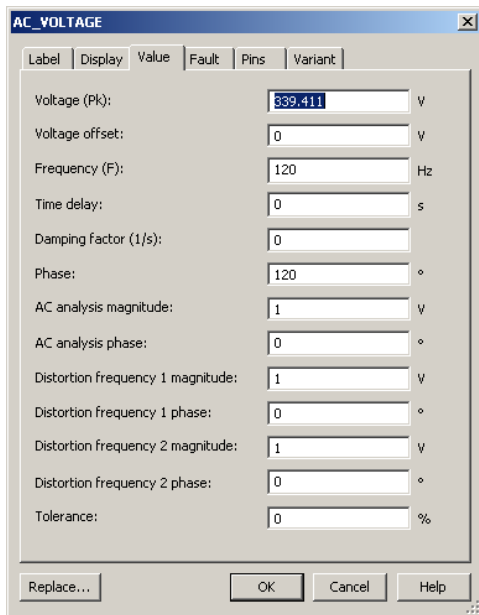


Рис. 2. Діалогове вікно джерела напруги

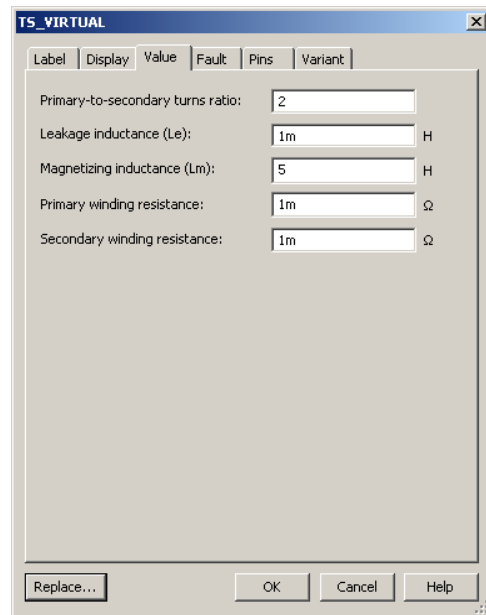


Рис. 3. Панель Sheet1 моделі трансформатора

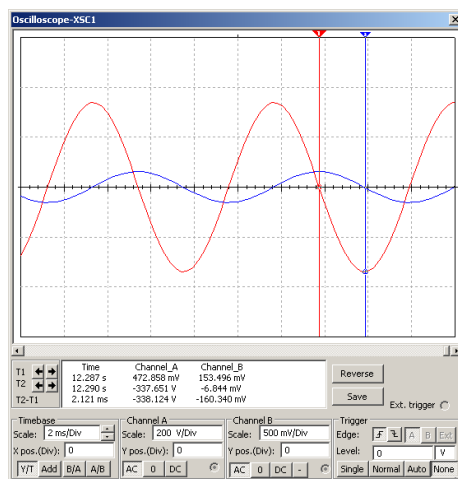


Рис. 4. Осцилограма для визначення фазового зсуву в моделі схеми з'єднання зіркою

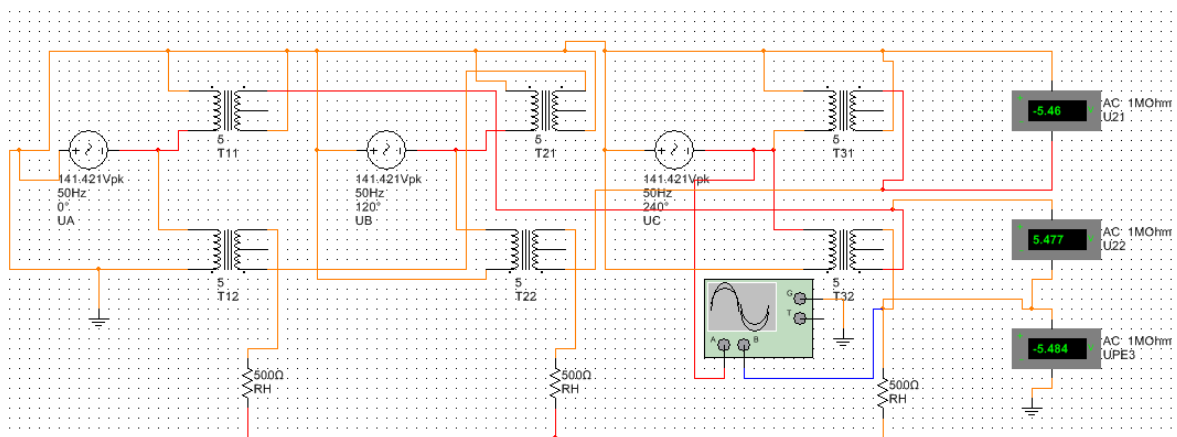


Рис. 5. Модель трифазного трансформатора при ввімкненні зигзагом

Модель містить:

- генератори напруги (U_A, U_B, U_C);
- дві частини обмотки вторинного кола трансформатора в кожній фазі (фаза а – T_{11}, T_{12} ; фаза b – T_{21}, T_{22} ; фаза с – T_{31}, T_{32});
- вольтметри U_{21}, U_{22}, U_{PE3} для визначення напруги на першій, другій частинах вторинного кола та результуючої напруги;
- осцилограф – для визначення зсуву фаз між напругою генератора і U_{PE3} .

Як і в попередньому етапі, викладач може запропонувати студенту самому змоделювати режим роботи трансформатора, або може надати вже готову схему для дослідження.

Студент згідно до варіанту має встановити параметри генераторів (U_1, f) і трансформаторів (R_1, R_2, N), опір навантаження $R_H=500$ Ом (за вказівкою викладача).

Після ввімкнення схеми слід визначити покази вольтметрів U_{21}, U_{22} та U_{PE3} . За стандартною методикою слід визначити фазовий зсув (φ) між вектором напруги первинної обмотки та результуючим вектором напруги на вторинній обмотці за осцилограмою (рис.6), що дозволить побудувати векторну діаграму для даного типу з'єднання. До речі, визначений зсув фаз (φ) між вектором первинної обмотки та результуючим вектором напруги має співпасти з кутом, отриманим в результаті побудови за експериментальними значеннями напруги: U_{21}, U_{22} і U_{PE3} .

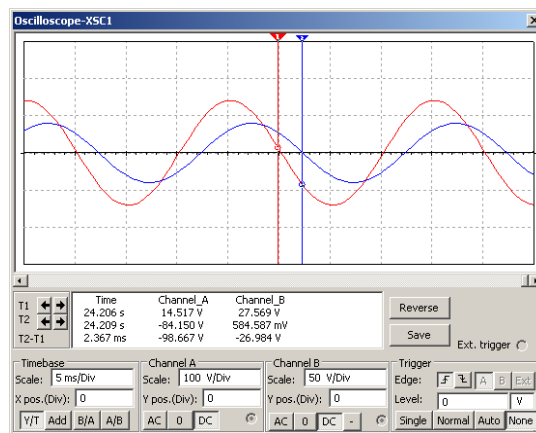


Рис. 6. Осцилограма для визначення фазового зсуву в моделі схеми з'єднання загзагом

Обов'язково слід запропонувати студентам визначити та пояснити виникнення похибки за результатами побудови.

В рамках лабораторної роботи студент сам має впевнитись у достовірності отриманих результатів шляхом перевірки співвідношень поміж фазними та лінійними струмами та напругами. Лише після цього з використанням досліджуваної схеми та показів вимірювальних приладів можна запропонувати студенту побудувати векторну діаграму та безпосередньо визначити групу з'єднання трифазного трансформатора.

Таким чином, програмний пакет Multisim дозволяє моделювати електричні схеми пристроїв та візуально представляти результати у вигляді осцилограмм, графіків характеристик, показів віртуальних вимірювальних приладів, що сприяє кращому розумінню принципів функціонування реальних схем контролю та керування технологічними процесами виробництва.

Висновки

Досконале вивчення способів ввімкнення трифазних трансформаторів дозволить давати більш наочне та глибоке пояснення основним поняттям електромеханіки.

Використання у викладанні дисципліни «Електричні машини» подібних моделей є важливим елементом освітнього процесу при поясненні понятійного апарату та схем реалізації, які не завжди можливо досліджувати за допомогою прямого лабораторного експерименту. Лабораторний практикум можна виконувати як в комп'ютерних класах навчального закладу, так і вдома на персональному комп'ютері, що є особливо актуальним під час дистанційного навчання.

Вважаємо, що запропонована методична розробка лабораторної роботи може бути використана при підготовці та проведенні лабораторного практикуму з електричних машин у технічному вищому навчальному закладі.

Список використаної літератури

1. Дон Н.Л. Використання інформаційних технологій в організації навчального процесу з дисципліни «Електричні машини» / Н.Л. Дон // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2015. – №1(52). – С.141-145.
2. Семёнов А.С. Исследование режимов работы однофазного трансформатора путем математического моделирования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 5-3. – С. 391-395.
3. Хернтер М.Е. Электронное моделирование в Multisim / М.Е. Хернтер. – М.: ДМК, 2010. – 488с.
4. Загірняк М. В. Електричні машини: підручник / М.В.Загірняк, Б.І.Невзлін. – 2-ге вид., перероб. і доповн. – Київ: Знання, 2009. – 399 с.
5. Онушко В. В. Електричні машини: навч. посібник / В. В. Онушко, О. В. Шефер. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 487 с.