Т. В. Савенчук[1]

РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ ВИСОКОГО ПОРЯДКУ З СИНУСОЇДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ НАПРУГИ

[1] Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано приклад розрахунку перехідного процесу високого порядку з несинусоїдними джерелами напруги операторним методом з використанням потужного математичного пакету Wolfram™ Mathematica.

Ключові слова: перехідні процеси, операторний метод розрахунку, включення СЕС в мережу, Mathematica.

Abstract

An example of high order transient analysis with the non-sinusoidal voltage sources using the operator method and the powerful mathematical software Wolfram ™ Mathematica.

Keywords: the transitional process, operator method, the inclusion of solar station, Mathematica.

Вступ

З дисципліни ТОЕ відомо, що будь-яка комутація (включення або відключення) якого-небудь елементу мережі (трансформатора, електродвигуна, конденсаторної батареї, повітряній або кабельній лінії і так далі) викликає перехідний процес. Перехід мережі від режиму до комутації до режиму після комутації супроводжується змінами струмів в елементах і напруги на них. Як правило, цей перехід має вид затухаючих коливань, в процесі яких напруги та струми в устаткуванні мережі можуть досягати величин значно більших, за номінальні. Визначення законів зміни цих напруг та струмів в перехідних режимах є актульною науково-прикладною задачою.

Метою даного дослідження є розрахунок перехідних процесів в електричних колах з відносно великою кількістю віток, що містять реактивні елементи . Особливістю даного дослідження є те, що системи рівнянь таких перехідних процесів мають високий порядок, також певної нетривіальності додає наявність синусоїдних джерел напруги.

Результати дослідження

Поставлена задача розрахувати перехідний струм у первинній обмотці трансформатора напруги, що позначений на заступній схемі мережі (рисунок 1.) як I_2, при включенні на паралельну роботу з енергосистемою сонячної електростанції.

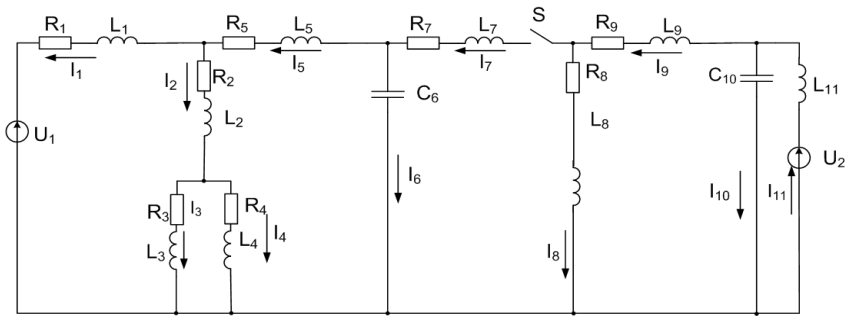


Рисунок 1. – Заступна схема мережі.

Зважаючи на складність схеми та, відповідно високий порядок системи рівнянь для розрахунку перехідного процесу, доцільним буде використання операторного методу розрахунку, що в свою чергу потребує складання операторної схеми заміщення, зображеної на рисунку 2.

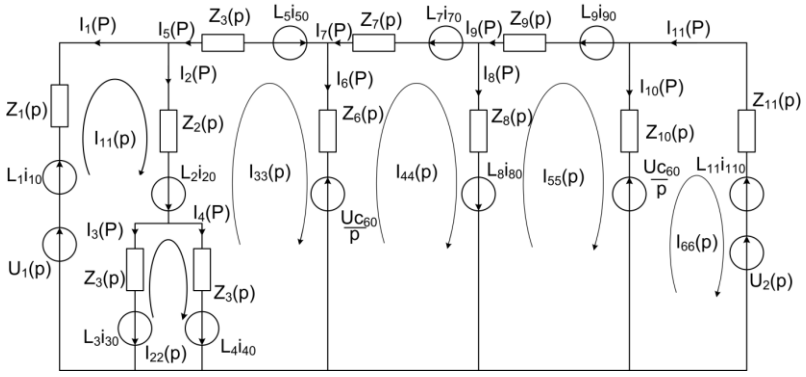


Рисунок 2 – Розрахункова схема в операторній формі.

Дана схема складена з урахуванням незалежних початкових умов (струмів в індукнивностях та напруг на ємностях, які розраховуються з усталеного режиму роботи схеми до комутації, виконаного символічним методом.

Джерела синусоїдної напруги для подальшого розрахунку замінюються їх операторними зображеннями, за допомогою прямого перетворення Лапласа:

$$u(s) = L[u(t)] = u_m \sin(\omega \cdot t). \tag{1}$$

Система рівнянь в операторній формі для розрахунку даного перехідного процесу методом контурних струмів матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} I_{11}\cdot((L_1\cdot s+R_1)+(L_2\cdot s+R_2)+(L_3\cdot s+R_3))-I_{22}\cdot(L_3\cdot s+R_3)-I_{33}\cdot(L_2\cdot s+R_2)= \\ =U_1+L_1\cdot I_{10}+L_2\cdot I_{20}+L_3\cdot I_{30} \\ I_{22}\cdot((L_3\cdot s+R_3)+(L_4\cdot s+R_4))-I_{11}\cdot(L_3\cdot s+R_3)-I_{33}\cdot(L_4\cdot s+R_4)=L_4\cdot I_{40}-L_3\cdot I_{30} \\ I_{33}\cdot((L_2\cdot s+R_2)+(1/(C_6\cdot s))+(L_4\cdot s+R_4)+(L_5\cdot s+R_5))-I_{11}\cdot(L_2\cdot s+R_2)- \\ -I_{22}\cdot(L_4\cdot s+R_4)-I_{44}\cdot(1/(C_6\cdot s))=-L_4\cdot I_{40}-L_2\cdot I_{20}+L_5\cdot I_{50}-(U_{C6}/s) \\ I_{44}\cdot((1/(C_6\cdot s))+(L_7\cdot s+R_7)+(L_8\cdot s+R_8))-I_{33}\cdot(1/(C_6\cdot s))-I_{44}\cdot(L_8\cdot s+R_8)= \\ =(U_{c6}/s)-L_7\cdot I_{70}+L_8\cdot I_{80} \\ I_{55}\cdot((L_8\cdot s+R_8)+(L_9\cdot s+R9)+(1/(C_{10}\cdot s)))-I_{44}\cdot(L_8\cdot s+R_8)-I_{66}\cdot(1/(C_{10}\cdot s))= \\ =-(U_{C10}/s)-L_8\cdot I_{80}-L_9\cdot I_{90} \\ I_{66}\cdot((1/(C_{10}\cdot s))+(L_{11}\cdot s))-I_{55}\cdot(1/(C_{10}\cdot s))=(U_{c10}/s)-L_{11}\cdot I_{110}-U_2 \end{cases} \tag{2}$$

Для обчислення даної системи в силу її складності, будемо використовувати систему комп'ютерної математики Wolfram™ Mathematica.

Оскільки для розрахунку даної схеми використовується метод контурних струмів, то шуканий струм потрібно виразити після розрахунку, через знайдені контурні струми:

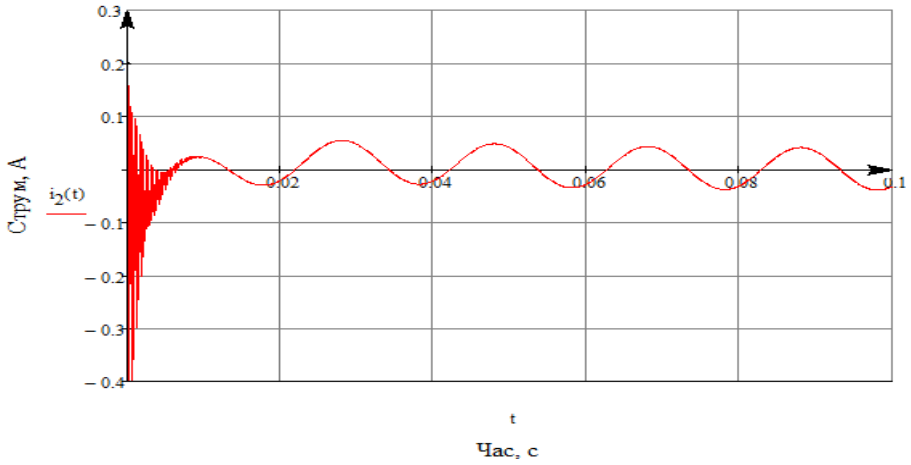
$$I_2(s) = I_{11}(s) - I_{33}(s). \tag{3}$$

В силу значної об'ємності результат даного виразу не приводиться.

Наступним кроком буде запис шуканого струму, як функції часу, за допомого зворотного перетворення Лапласа з урахуванням числових значень параметрів кола:

$$\begin{aligned} i_2(t) = L^{-1}[I_2(s)] = &-239,213\cdot e^{-20634\cdot t}+239,213\cdot e^{-20633,9\cdot t}-6,82362\cdot e^{-11229,8\cdot t}- \\ &-7,16698\cdot e^{-11228,5\cdot t}-4,50157\cdot e^{-78,2618\cdot t}+3,90903\cdot e^{-78,488\cdot t}+0,4989\cdot e^{-65,32\cdot t}+ \\ &+0,04\cdot\sin(100\cdot\pi\cdot t-55,845^\circ)+e^{-632,223\cdot t}0,237\cdot 2\cdot\sin(3,18309\cdot 10^6\cdot t-90,136^\circ) \end{aligned} \tag{4}$$

Як бачимо, знайдений струм має примусову складову – синусоїдну функцію з частотою мережі живлення. Вільна складова містить аперіодичні експоненціальні та періодичну затухаючу функції Для наочного представлення результатів розрахунку побудуємо графік перехідного процесу:



. . . . . .

Висновки

В ході роботи був розрахований перехідний процес високого порядку з синусоїдними джерелами напруги.

Позитивних результатів було досягнено з допомогою систем комп'ютерної алгебри Wolfram™ Mathematica; вона дозволяє виконувати складні математичні розрахунки відносно просто. Це дало можливість розв'язати надскладну систему рівнянь

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацив. Теоретичні основи електротехніки. Підручник. ВНТУ, Вінниця, 2011.
2. Cliff Hastings, Kelvin Mischo, Michael Morrison. Hands-On Start to Wolfram Mathematica: And Programming with the Wolfram Language. Wolfram Media, Incorporated, 2015. 470.
3. Гунько І.О. Оптимальне керування режимами електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії з використанням Smart Grid технологій : дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук. : 05.14.02 : захищена 17.03.17 / Гунько Ірина Олександрівна; М-во освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2017. – 177 с.

Тетяна Вікторівна Савенчук — студент групи 1Е-14б факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Науковий керівник: ***Андрій Миколайович Коваль*** — асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Науковий консультант: ***Гунько Ірина Олександрівна*** — асистент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Tetiana Savenchuk V. — Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Supervisors: ***Koval Andrii M.*** — assistant, Department of Theoretical Electrical Engineering and electromeasurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Science consultant: ***Hunko Irina O.*** — assistant, Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.