

В. С. Андрійченко
Н. В. Сачанюк-Кавецька

Математичне моделювання електроенергетичних процесів як міст між фундаментальною та інженерною підготовкою

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У цих тезах розглядається проблема розриву між фундаментальною математичною підготовкою та її практичним застосуванням у вищій освіті студентів факультету електроенергетики та електричних систем. Автором обґрунтовано роль математичного моделювання як головного інтеграційного містка, що трансформує абстрактні теоретичні методи у прикладні інженерні навички.

Ключові слова: вища математика, математичне моделювання, електроенергетика, інженерна освіта, міжпредметні зв'язки, перехідні процеси, комп'ютерно-орієнтоване навчання.

Abstract

These theses address the problem of the gap between fundamental mathematical training and its practical application in higher education of students of the Faculty of Electrical Power Engineering and Electrical Systems. The author substantiates the role of mathematical modeling as the main integration bridge that transforms abstract theoretical methods into applied engineering skills.

Keywords: advanced mathematics, mathematical modeling, electric power engineering, engineering education, interdisciplinary links, transient processes, computer-oriented learning.

Вступ

Модернізація вищої енергетичної освіти в Україні вимагає підготовки інженерів нового покоління, здатних проектувати та обслуговувати високотехнологічні інтелектуальні енергосистеми (Smart Grid). Фундаментом такої підготовки є вища математика. Проте сучасні тенденції свідчать про зниження рівня математичної культури абітурієнтів та брак мотивації студентів молодших курсів через надмірну абстрактність викладання фундаментальних дисциплін. Традиційна методика навчання вищої математики на інженерних факультетах часто відірвана від майбутньої професійної діяльності студентів. Як наслідок, виникає серйозний розрив: студенти факультету електроенергетики та електричних систем сприймають математичний апарат лише як набір формул для складання іспиту, а не як реальний інструмент розв'язання інженерних задач. Це призводить до труднощів під час вивчення базових профільних дисциплін, зокрема теоретичних основ електротехніки (ТОЕ) [1, 2]. Ефективним шляхом подолання цього розриву є впровадження наскрізного математичного моделювання. Воно виступає інтеграційним містком, оскільки переводить реальні фізичні процеси в електричних мережах (зміна напруги, колювання струму, перехідні режими) на мову математичних рівнянь. Це дозволяє студенту з першого курсу бачити практичну цінність математичних абстракцій.

Особливої актуальності проблема набуває в умовах цифрової трансформації енергетичної галузі, розвитку концепцій Smart Grid, цифрових двійників та автоматизованих систем керування [3]. Усі зазначені технології базуються на математичних моделях різного рівня складності, що потребує якісної математичної підготовки майбутніх інженерів.

Основна частина

Ефективна підготовка інженера-енергетика неможлива без чіткої синхронізації фундаментальних і професійних дисциплін. Традиційно вища математика викладається на першому курсі, тоді як «Теоретичні основи електротехніки» (ТОЕ) та спецкурси розпочинаються пізніше. Проблема полягає в

тому, що під час вивчення математичних тем студенти не бачать їхнього фізичного змісту, а переходячи до інженерних кафедр, часто забувають необхідний інструментарій.

Математичне моделювання дозволяє усунути цей часовий і смисловий розрив. Воно демонструє, що математичні структури є точним відображенням законів фізики, які керують сучасними енергосистемами.

Для демонстрації студентам практичної цінності математики доцільно інтегрувати в інженерний курс наступні базові розділи [4]:

Лінійна алгебра (Матричний аналіз). Розрахунок режимів роботи складних, розгалужених електричних мереж із великою кількістю вузлів та ліній неможливий вручну. Студенти мають розуміти, що системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), які вони розв'язують на математиці (методами Гаусса, Крамера чи за допомогою оберненої матриці), є основою для методів контурних струмів та вузлових потенціалів у ТОЕ. Матриці є зручним математичним інструментом для формалізації структури електричних мереж та опису взаємозв'язків між їхніми елементами.

Диференціальні рівняння. Опис перехідних процесів в електричних колах (наприклад, пуск потужного електродвигуна, вимкнення ліній, аварійні короткі замикання) повністю базується на звичайних диференціальних рівняннях (ЗДР). Наприклад, для найпростішого послідовного контуру (резистор, котушка індуктивності, конденсатор) процес зміни заряду описується лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням другого порядку:

$$L \frac{d^2 q(t)}{dt^2} + R \frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{C} q(t) = u(t). \quad (1)$$

Для демонстрації практичного застосування математичного апарату було розглянуто моделювання перехідного процесу в RLC-колі після підключення джерела напруги. За допомогою MATLAB/Simulink досліджено вплив величини опору на характер коливань струму (див. табл. 1).

Таблиця 1 Моделювання перехідного процесу у RLC-колі за допомогою MATLAB/Simulink за різних значень опору

Опір R	Характер процесу
5 Ом	значні коливання
20 Ом	слабкі коливання
50 Ом	аперіодичний процес

Встановлено, що зі збільшенням опору амплітуда коливань зменшується, а система швидше переходить у стаціонарний режим. Вплив активного опору на перехідний процес у RLC-колі подано на рис. 1.

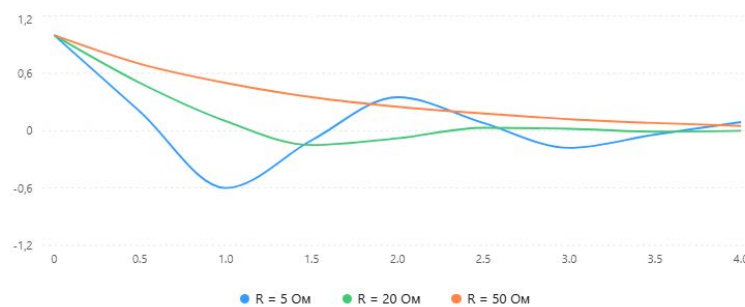


Рисунок 1 Вплив активного опору на характер перехідного процесу в RLC-колі

Як видно з рисунка 1, зі збільшенням активного опору кола зменшується амплітуда коливань струму та прискорюється встановлення стаціонарного режиму. При малому опорі спостерігається коливальний режим із повільним затуханням, тоді як при великих значеннях опору процес наближається до аперіодичного.

Важливу роль у підготовці майбутніх енергетиків відіграє **теорія комплексних чисел**. Комплексне представлення змінного струму дозволяє значно спростити аналіз електричних кіл синусоїдального струму. Операції над комплексними числами стають математичною основою розрахунку активної, реактивної та повної потужності.

Невід'ємною складовою сучасного математичного моделювання є використання спеціалізованого програмного забезпечення (*MATLAB/Simulink*, *Mathcad*). Впровадження комп'ютерних симуляцій дозволяє змістити акцент із механічного розв'язання рівнянь на аналіз отриманих результатів. Студент отримує можливість:

1. Самостійно скласти диференціальне рівняння або систему матриць для електричного кола.
2. Змоделювати цей процес у *MATLAB*.
3. Графічно побачити, як зміна параметрів системи (наприклад, збільшення опору) миттєво змінює графік перехідного струму чи напруги.

Висновки

Впровадження математичного моделювання у навчальний процес студентів факультету електроенергетики та електричних систем є ефективним розв'язанням проблеми відірваності теорії від практики. Воно дозволяє трансформувати вищу математику з «абстрактної дисципліни для іспиту» на живий інструмент інженерного мислення. Наочний зв'язок між розділами математики (лінійна алгебра, диференціальні рівняння) та базовими інженерними курсами доводить, що математичне моделювання виступає природним інтеграційним містком. Це значно підвищує якість засвоєння як фундаментального, так і профільного матеріалу. Використання сучасного програмного забезпечення зміщує фокус із рутинних паперових обчислень на аналітичну роботу. Перехід до наскрізного моделювання та синхронізація навчальних планів фундаментальних і випускаючих кафедр є необхідною умовою для підготовки сучасних інженерів-енергетиків. Це формує фахівців нового типу, готових до роботи з інтелектуальними енергосистемами (Smart Grid) та цифровими двійниками реальних об'єктів.

Проведений аналіз показав, що математичне моделювання може бути ефективним інструментом інтеграції фундаментальної та професійної підготовки майбутніх інженерів-енергетиків. Встановлено, що використання моделей електричних кіл дозволяє демонструвати практичне застосування лінійної алгебри, диференціальних рівнянь та методів комп'ютерного моделювання вже на початкових етапах навчання. Це сприяє формуванню стійкої мотивації до вивчення математичних дисциплін та розвитку інженерного мислення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зайцев О. В. Математичне моделювання в електроенергетиці: навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. 185 с.
2. Ключко В. І., Бондаренко Н. В. Комп'ютерно-орієнтоване навчання вищої математики як чинник фундаменталізації інженерної освіти. Інформаційні технології і засоби навчання. 2020. Т. 76, № 2. С. 143–156.
3. Пирч Н. М. Міжпредметні зв'язки вищої математики та теоретичних основ електротехніки у вищих технічних навчальних закладах. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. Вип. 28(5). С. 153–157.
4. Chernykh I. V. Power System Modeling and Simulation in MATLAB/Simulink. IEEE Transactions on Power Systems. 2023. Vol. 38, No. 4. P. 3120–3129.

Андрійченко Владислав Сергійович, студент першого курсу, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, andrijcenkovlad@gmail.com

Сачанюк-Кавецька Наталія Василівна, к. т. н., доцент, Вінницький національний технічний університет, кафедра вищої математики, skn1901@gmail.com

Науковий керівник: Сачанюк-Кавецька Наталія Василівна - к. т. н., доцент, Вінницький національний технічний університет, кафедра вищої математики, skn1901@gmail.com

Andrijchenko Vladyslav S. first-year student, Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrijcenkovlad@gmail.com

Sachaniuk-Kavets`ka Natalia V. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, skn1901@gmail.com

Supervisor: Sachaniuk-Kavets`ka Natalia V. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, skn1901@gmail.com