

# АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ, ЩО СКЛАДАЄТЬСЯ З ЧОТИРЬОХ ТРАНСФОРМАТОРІВ, ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ТА ЕКВІВАЛЕНТНОГО АКТИВНО-ІНДУКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Львівський національний аграрний університет

## Анотація

Запропоновано, на основі узагальненого міждисциплінарного (інтердисциплінарного) методу математичного моделювання, який ґрунтується на модифікації інтегрального варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського математичну модель локальної електроенергетичної системи, ключовим елементом якої є довга лінія із розподіленими параметрами.

**Ключові слова:** математична модель, електроенергетична система, перехідні процеси.

## Abstract

Is proposed based on the generalized multidisciplinary (interdisciplinary) method of mathematical modeling, based on the modification of the integral variational principle of Hamilton-Ostrogradskii mathematical model of the local power system, a key element of which is a long line with distributed parameters.

**Keywords:** mathematical model, power system, transients.

## Вступ

Нині апарат математичного моделювання з використанням ЕОМ є одним із ефективних та дешевих способів дослідження перехідних електромагнітних процесів в елементах електроенергетичних систем із розподіленими та скупченими параметрами. Дослідження згаданих процесів є актуальною науковою задачею, адже перебіг останніх має значний вплив на електричні апарати, які працюють у цій системі.

Метою роботи є покращення методів математичного моделювання перехідних електромагнітних процесів у електроенергетичних системах, ключовим елементом яких є довгі лінії електропередач.

## Варіаційна модель системи

Ключовим елементом модифікованого принципу Гамільтона-Остроградського є розширений неконсервативний лагранжіан [1]:

$$L^* = \tilde{T}^* - P^* + \Phi^* - D^* \quad (1)$$

де  $L^*$  – модифікована функція Лагранжа,  $\tilde{T}^*$  – кінетична коенергія,  $P^*$  – потенціальна енергія,  $\Phi^*$  – енергія дисипації,  $D^*$  – енергія сторонніх непотенціальних сил.

Лінія в загальному випадку розглядається як система з розподіленими параметрами. Тоді елементи модифікованої функції Лагранжа будуть не енергетичними функціями, а їхніми відповідними густинами [2]. Отже, функціонал дії за Гамільтоном-Остроградським буде мати наступний вигляд [1]:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \left( L^* + \int_l L_l dl \right) dt, \quad I = \int_l L_l dl, \quad \text{тут } L^* = 0, \quad (2)$$

де  $S$  – дія за Гамільтоном-Остроградським,  $L_l$  – лінійна густина модифікованої функції Лагранжа,  $I$  – енергетичний функціонал.

Схему локальної електроенергетичної системи зображено на рис. 1. Ключовим елементом даної схеми є довга лінія із розподіленими параметрами. Неусталені електромагнітні процеси, які проходять у цій лінії і входять у коло наших зацікавлень.

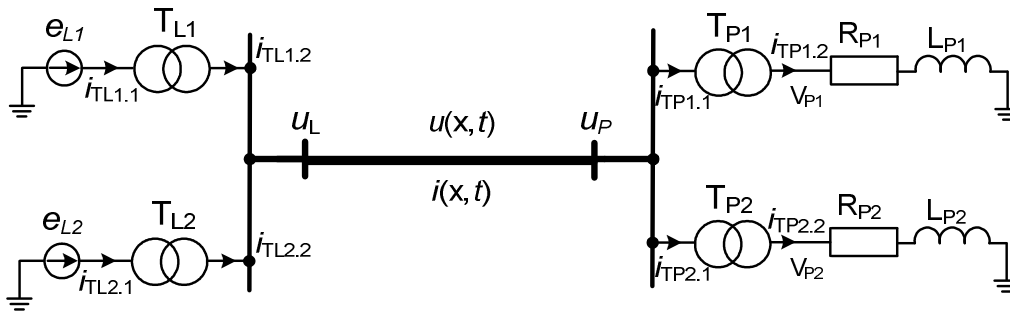


Рис. 1. Схема локальної електроенергетичної системи

Ми не будемо записувати виведення рівнянь для дослідження перехідних процесів у довгих лініях, оскільки це було зроблено нами у праці [3, 4], а лише запишемо кінцеве рівняння:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = (C_0 L_0)^{-1} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - (g_0 L_0 + C_0 R_0) v - g_0 R_0 u \right), \quad \frac{\partial u}{\partial t} = v. \quad (3)$$

Дискретизуючи рівняння (1) за методом скінченних різниць отримаємо [1]:

$$\frac{dv_j}{dt} = (C_0 L_0)^{-1} \left( \frac{u_{j-1} - 2u_j + u_{j+1}}{(\Delta x)^2} - (g_0 L_0 + C_0 R_0) v_j - g_0 R_0 u_j \right), \quad u_1 = u(x, t)|_{x=0}, \quad u_N = u(x, t)|_{x=l}, \quad (4)$$

$$\frac{du_j}{dt} = v_j, \quad j = 2, \dots, N-1. \quad (5)$$

Сумісний розв'язок рівнянь (4) та (5) дає змогу отримати розподіл електромагнітної хвилі напруги вздовж лінії електропередач.

### Висновки

Використання варіаційних підходів до моделювання неусталених електромагнітних процесів дозволяє уникнути декомпозиції єдиної системи, натомість формувати кінцеві рівняння стану виключно з єдиного енергетичного підходу шляхом побудови розширеної функції Лагранжа.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чабан А. В. Принцип Гамільтона-Остроградського в електро-механічних системах : монографія. / А. В. Чабан. – Львів : В-во Тараса Сороки, 2015. – 464 с.
2. Шимони К. Теоретическая электротехника / К. Шимони. – М. : Мир, 1964. – 776 с.
3. Математичне моделювання перехідних процесів у лінії Лехера в стані неробочого ходу / А. В. Чабан [та ін.] // Електротехніка і Електромеханіка. – 2016. – № 3. – с. 30-35.
4. Model matematyczny dwuprzewoj linii zasilania z wykorzystaniem modyfikowanej zasady Hamiltona / Andriy Czaban [and other] // Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe. – 2016. – Nr 1. – pp. 31-36.

**Чабан Андрій Васильович** — д-р. техн. наук, професор кафедри електротехнічних систем, Львівський національний аграрний університет

**Левониук Віталій Романович** — асистент кафедри електротехнічних систем, Львівський національний аграрний університет

**Chaban Andriy V.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor department of electrical systems, Lviv National Agrarian University, Lviv, email : [atchaban@gmail.com](mailto:atchaban@gmail.com);

**Levoniuk Vitaliy R.** — assistant department of electrical systems, Lviv National Agrarian University, Lviv, email : [bacha1991@ukr.net](mailto:bacha1991@ukr.net);