

**SECTION 6. ELECTRIC POWER ENGINEERING,  
ELECTRIC ENGINEERING AND  
ELECTROMECHANICS**

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-230-2-9>

**THE NON-STANDARD ANALYSIS IN THE ELECTRICAL  
ENGINEER: DIFFICULT CIRCUIT OF THE DIRECT CURRENT  
WITH IDEAL INDUCTANCE**

**НЕСТАНДАРТНИЙ АНАЛІЗ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ:  
СКЛАДНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ІДЕАЛЬНИМИ  
ІНДУКТИВНОСТЯМИ**

**Katsyv S. Sh. Каців С. Ш.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computerised Electromechanical Systems and Complexes Vinnytsa National Technical University* кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницький національний технічний університет

**Kukharchuk V. V. Кухарчук В. В.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Computerised Electromechanical Systems and Complexes Vinnytsa National Technical University* доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницький національний технічний університет

**Madyarov V. G. Мадьяров В. Г.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Computerised Electromechanical Systems and Complexes Vinnytsa National Technical University Vinnitsa, Ukraine* кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницький національний технічний університет м. Вінниця, Україна

**Вступ**

При розв'язанні деяких задач з теоретичної електротехніки іноді виникає необхідність розкриття невизначенностей типу  $\frac{0}{0}$ , наприклад

при аналізі кіл постійного струму з ідеальними реактивними елементами. Складність розрахунків в таких колах полягає в тому, що на постійному струмі опір ідеальної індуктивності ( $x_L = \omega L$ ) прямує до нуля, а опір ідеальної ємності ( $x_C = \frac{1}{\omega C}$ ) – до нескінченності. Зазвичай,

для розв’язання таких задач одночасно із законами електротехніки використовують енергетичні характеристики індуктивностей та ємностей, що значно ускладнює аналіз таких кіл, особливо для складних схем. Тому є актуальним застосування математичного апарату *нестандартного аналізу*, який дозволить використати відомі уніфіковані методи для розрахунку таких кіл. Аксиоматика нестандартного аналізу наведена в [1].

Особливістю нестандартного аналізу є те, що в ньому можна безпосередньо оперувати з *нескінченно малими числами* як зі звичайними.

Оскільки коло постійного струму можна розглядати як коло синусоїдного змінного струму, частота якого дорівнює нулю, то розв’язання таких задач можна застосувати символічний метод за умови  $\omega = \alpha$ , де  $\alpha$  – нескінченно мале (або нескінченно велике) число.

### Аналіз електричних кіл постійного струму з ідеальними індуктивностями

Прийнявши  $\omega = \alpha$ , для комплексного опору індуктивності можна записати:  $\underline{Z}_L \approx j\alpha L$ .

В роботах [2, 3] були розглянуті відносно прості електричні схеми, для яких застосування методів нестандартного аналізу не дає значного вигаду з точки зору складності розрахунків. Для схеми, яка буде розглянута далі, інші методи практично неконкурентноздатні.

В колі постійного струму (рис. 1) визначити струми в усіх вітках. Параметри схеми:  $U = 100$  В,  $r = 10$  Ом,  $L_1 = 0.2$  Гн,  $L_2 = 0.15$  Гн,  $L_3 = 0.1$  Гн,  $L_4 = 0.05$  Гн,  $L_5 = 0.025$  Гн.

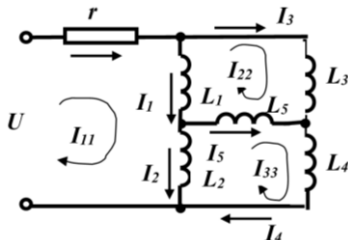


Рис. 1. Складне коло постійного струму

Проведемо цей розрахунок методом контурних струмів. За аналогією з прикладами, розглянутими в [2; 3] очевидно, що вхідний опір цього кола дорівнює опору резистора, тобто  $\underline{Z}_{ex} \approx r$ .

З цього випливає, що контурний струм першого контуру відомий  $\underline{I}_{11} = \frac{U}{r} = 10$  А, а система контурних рівнянь виглядатиме так

$$\underline{I}_{11}\underline{Z}_{21} + \underline{I}_{22}\underline{Z}_{22} + \underline{I}_{33}\underline{Z}_{23} = 0, \quad \underline{I}_{11}\underline{Z}_{31} + \underline{I}_{22}\underline{Z}_{32} + \underline{I}_{33}\underline{Z}_{33} = 0.$$

Підставивши вирази для першого контурного струму, а також контурних та спільних опорів, отримаємо

$$\frac{U}{r}(-j\alpha L_1) + \underline{I}_{22}(j\alpha L_1 + j\alpha L_3 + j\alpha L_5) + \underline{I}_{33}(-j\alpha L_5) = 0,$$

$$\frac{U}{r}(-j\alpha L_2) + \underline{I}_{22}(-j\alpha L_5) + \underline{I}_{33}(j\alpha L_2 + j\alpha L_4 + j\alpha L_5) = 0.$$

Після низки алгебраїчних перетворень отримаємо контурні струми

$$\underline{I}_{22} = \frac{\frac{UL_1}{rL_5}(j\alpha L_2 + j\alpha L_4 + j\alpha L_5) + \frac{U}{r}j\alpha L_2}{\frac{L_1 + L_3 + L_5}{L_5}(j\alpha L_2 + j\alpha L_4 + j\alpha L_5) - j\alpha L_5} =$$

$$= \frac{\frac{UL_1}{rL_5}(L_2 + L_4 + L_5) + \frac{U}{r}L_2}{\frac{L_1 + L_3 + L_5}{L_5}(L_2 + L_4 + L_5) - L_5} = 6.724 \text{ А},$$

$$\underline{I}_{33} = \frac{\frac{UL_1}{rL_5}(L_2 + L_4 + L_5) + \frac{U}{r}L_2}{\frac{L_1 + L_3 + L_5}{L_5}(L_2 + L_4 + L_5) - L_5} \frac{L_1 + L_3 + L_5}{L_5} - \frac{UL_1}{rL_5} = 7.414 \text{ А}.$$

Далі легко знайти струми у вітках:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{11} - \underline{I}_{22} = 3.276 \text{ А}, \quad \underline{I}_2 = \underline{I}_{11} - \underline{I}_{33} = 2.586 \text{ А},$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{22} = 6.724 \text{ А}, \quad \underline{I}_4 = \underline{I}_{33} = 7.414 \text{ А}, \quad \underline{I}_5 = \underline{I}_{33} - \underline{I}_{22} = 0.69 \text{ А}$$

### Висновки

1. Авторами вперше виділено клас нестандартних електротехнічних задач, спрямованих на аналіз електричних кіл постійного струму, до складу яких входять ідеальні індуктивності. Показано, що розв'язок виділеного класу задач стандартними методами теоретичної електротехніки є занадто складним або взагалі практично неможливим.

2. Для вирішення окресленої проблеми запропоновано поширити методи нестандартного аналізу на задачі аналізу електричних кіл з ідеальними реактивними елементами. Переваги такого підходу підтверджені на прикладі розрахунку електричного кола з індуктивностями.

3. З метою розширення сфери застосування методів нестандартного аналізу необхідно виділити подібні задачі із різноманітних галузей науки і техніки, в яких використовується диференціальне обчислення і граничні переходи і розв'язання яких стандартними підходами обмежене, або взагалі неможливе.

### Література:

1. Кухарчук В. В., Каців С. Ш. Розвиток ідей та методів нестандартного аналізу. *Сучасний рух науки* : тези доп. XIII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 18-19 жовтня 2021 р. Дніпро. Україна. 2021. 254 с.

2. Каців С. Ш., Кухарчук В. В., Мадьяров В. Г. Застосування методів нестандартного аналізу в електротехніці: кола постійного струму з ідеальними індуктивностями. *Integration of Education, Science and Business in Modern Environment: Winter Debates* : III Міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 3-4 лютого 2022 р. Дніпро. Україна. 2022. С. 261–263.

3. Каців С. Ш., Кухарчук В. В., Мадьяров В. Г. Нестандартний аналіз в електротехніці: кола постійного струму з ідеальними індуктивностями та магнітним зв'язком. *Electrical and Power Engineering and Electromechanics (EPEE 2022)*. Odesa, Ukraine, May 12, 2022: proceedings. Odesa Military Academy. 2022. P. 44 – 45.

4. Карпов Ю. О., Каців С. Ш., Козловський А. В. Розширення області застосування символічного методу розрахунку електричних кіл за рахунок використання методів нестандартного аналізу (частина 2). *Вісник Інженерної Академії України*. 2013. № 2. С. 262–265.