

## **АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ФЕНОМЕНОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ**

Національний університет «Львівська політехніка»<sup>1</sup>  
ТзОВ «ЕЛЕКС»<sup>2</sup>

Моделювання перехідних процесів у складних електроенергетичних системах, які описують тисячами диференціальних рівнянь, є складною задачею навіть для сучасного рівня обчислювальної техніки і методів розв'язування звичайних диференціальних рівнянь. Проблема полягає в тому, що у випадку застосування числових методів на поведінку досліджуваної системи накладається поведінка використаного числового методу – внаслідок дискретизації числовими інтеграторами неперервної моделі динамічної системи в отриманій цифровій моделі з'являються додаткові нулі та полюси результуючої дискретної передатної функції та відповідні зміни в амплітудних і фазних частотних характеристиках порівняно з аналоговим прототипом (вихідна система звичайних диференціальних рівнянь). У результаті складність цифрової моделі електроенергетичної системи зростає у кілька разів порівняно з математичною моделлю, що подана диференціальними рівняннями. Іншою проблемою, що вимагає вирішення, є реалізація обчислень перехідних процесів в електроенергетичних системах у реальному часі або й у десятки, сотні разів швидше для оперативного керування системами.

Використання феноменологічного способу аналізу стійкості електроенергетичних систем ґрунтується на факті, що поведінка реальної системи високого порядку найчастіше незначно відрізняється від поведінки системи нижчого порядку. Таким чином, перевагою такого способу комп'ютерного моделювання є відчутна економія часу під час процесу розрахунку комп'ютерної моделі внаслідок зниження порядку системи.

Досягти адекватності цифрових моделей електроенергетичних систем відповідно до їх опису системами звичайних диференціальних рівнянь та їх вищої швидкодії можна шляхом заміни вихідної моделі (прототипу) імітаційною (феноменологічною) моделлю нижчого порядку.

Відтворення поведінки синхронного турбогенератора зі системою збудження, що навіть у спрощеному вигляді має п'ятий порядок, на основі феноменологічного підходу можливе з використанням імітаційних моделей нижчих порядків, які б забезпечували достатню інженерну точність відображення перехідних процесів прототипу.

У зв'язку з коливним характером перехідних процесів у моделі-прототипі мінімальний порядок імітаційної феноменологічної моделі повинен бути не менше другого, що відповідає парі комплексно-спряжених полюсів. Максимальне відхилення перехідної функції такої моделі від перехідної функції прототипу не перевищує 8.1%, а інтегральна середньоквадратична похибка не більша 0.7%.

Вищу точність відтворення перехідної характеристики прототипу забезпечує імітаційна модель третього порядку. Максимальне відхилення перехідної функції феноменологічної моделі третього порядку від перехідної функції прототипу не перевищує 5.8%, а інтегральна середньоквадратична похибка не більша 0.19%.

Використання феноменологічного підходу до аналізу стійкості електроенергетичних систем дає змогу отримати високоточну комп'ютерну модель досліджуваної системи з широкою областю числової стійкості та максимальною швидкодією.

**Коновал Володимир Семенович** – к.т.н., доцент, Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри електроенергетики та систем управління, e-mail volodymyr.konovall@eleks.com, тел.: (032)-258-25-00.

**Мороз Володимир Іванович** – д. т. н., професор, Національний університет "Львівська політехніка", професор кафедри електроприводу і комп'ютеризованих електромеханічних систем, e-mail: Volodymyr.I.Moroz@lpnu.ua, тел.: (032)-258-26-20.