

## АДАПТАЦІЯ МАКРОМОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХНІХ СКЛАДОВИХ ДО ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ

П.Г.Стахів, докт.техн.наук, О.П.Гоголюк, канд.техн.наук,  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна.

*Проаналізовано наявні програмні засоби математичного моделювання перехідних процесів електроенергетичних систем та труднощі, які виникають під час їхнього застосування. Розглянуто узагальнену альтернативну процедуру створення макромоделей елементів ЕЕС і їхніх груп за єдиним універсальним алгоритмом ідентифікації та способи їхньої адаптації до доступних комп'ютерних засобів математичного моделювання їхніх перехідних процесів. Бібл. 3.*

**Ключові слова:** електроенергетична система, моделювання, макромодель, програмне середовище.

Математичне та комп'ютерне моделювання електроенергетичних систем (ЕЕС), які містять блоки керування чи вузли електроніки у своїй структурі, є важливим етапом на шляху створення, конструювання та верифікації численних електротехнічних систем. З розвитком сучасних програмних засобів деталізовані моделі електроенергетичних, електромеханічних та електронних модулів можуть бути введені в бібліотеки певних комерційних комп'ютерних програм та цифрових симуляторів, призначених для дослідження перехідних процесів. На сучасному етапі для комп'ютерного симулювання процесів у електричних системах використовується низка програмних пакетів. У світовій практиці значного поширення набули такі програми аналізу перехідних процесів, як ЕМТР (EMTP/ATP, MicroTran, PSCAD/EMTDC), EUROSTAG, RE та одна з найпотужніших універсальних систем MATLAB у комбінації із програмою візуального імітаційного та математичного моделювання динамічних систем SIMULINK [1].

Використання деталізованих моделей часто призводить до значного збільшення витрат комп'ютерного часу, що, в свою чергу, обмежує розмір системи, яку можна практично змоделювати за їхньою допомогою через обмеження на кількість елементів у її структурі. Тому важливо та доцільно розробити моделі (макромоделі) складних ЕЕС, починаючи з менших підсистем (чи окремих елементів), які можуть бути введені в їхню структуру. Під час побудови моделі складної системи пропонується поєднувати детальні математичні моделі окремих елементів з макромоделями їхніх складових чи окремих елементів.

На підставі наведених вище міркувань може бути запропонована узагальнена альтернативна процедура створення макромоделей елементів електроенергетичних систем і їхніх груп за єдиним універсальним алгоритмом ідентифікації та розглянута необхідність їхньої адаптації до доступних засобів комп'ютерних засобів математичного моделювання їхніх перехідних процесів.

Пропонується створювати макромоделі елементів у вигляді системи різницевих рівнянь у формі Коші, сформованих на підставі методів ідентифікації лінійних і нелінійних моделей динамічних систем [2, 3]. Такий підхід дозволяє отримувати макромоделі мінімального порядку, які забезпечують бажану адекватність опису динамічних характеристик елемента у визначеному класі сигналів. Оскільки наявні системи моделювання та симулювання перехідних процесів не оперують дискретними відліками електричних сигналів, то, відповідно, існує потреба заміни дискретних макромоделей на неперервні. Зауважимо, що вибір для переходу від дискретного рівняння стану до неперервного, наприклад, методу Ейлера в загальному випадку, не є обов'язковим, однак для такої форми запису рівнянь у формі змінних стану цей метод є найбільш зручним. При цьому властиві йому недоліки можна усунути вдалим вибором кроку дискретизації.

Для того, щоб можна було використовувати макромоделі у формі змінних стану у вигляді “чорної скриньки”, у програмах типу ATP необхідно додатково створити процедуру зв'язку рівнянь макромоделі із модулем формування цифрової математичної моделі заступної схеми електричної системи. Дискретні макромоделі компонент для аналізу ЕЕС (неперервні рівняння у вигляді змінних стану) у середовищі програми ATP можуть бути відображені за допомогою заступної схеми, складеної з типових ідеальних елементів бібліотеки електричних кіл, та із застосуванням діакоптичного підходу. Перший метод передбачає схемну інтерпретацію неперервного рівняння стану за допомогою засобів, наявних у програмі (керовані джерела струмів і напруг, керовані резистори та вимикачі). Інший шлях для реалізації дискретних макромоделей у програмі ATP полягає у використанні діакоптичного підходу [1], який, у певній мірі, реалізовано у цьому програмному середовищі. Він полягає у незалежному інтегруванні окремих частин аналізованої схеми (зокрема окремих компонент, описаних дискретними макромоделями) і подальшого узгодження отриманих розв'язків.

У середовищі MATLAB/Simulink існує спеціалізований пакет System Identification Toolbox, призначений для аналізу та ідентифікації систем. За допомогою цього пакету можна побудувати модель лінійного стаціонарного динамічного об'єкту у формі змінних стану на основі наявних масивів реакцій “вхід-вихід” досліджуваного об'єкту як для неперервного, так і дискретного часу. В загальному випадку оцінювання параметрів моделі заданої структури здійснюється шляхом мінімізації вибраного критерію якості моделі (зазвичай, це се-

редньоквадратичне відхилення реакцій виходів досліджуваного об'єкту та його моделі). Створена модель може бути збережена в робочій області системи MATLAB та надалі використана.

Оскільки практично усі об'єкти ЕЕС мають нелінійну природу, значну складність, і, відповідно, велику вимірність, необхідно створювати нелінійні макромоделі їхніх об'єктів у вигляді "чорної скриньки" у формі змінних стану і вводити їх як окремі моделі у власну бібліотеку макромоделей елементів за допомогою програмних засобів Simulink. Засоби середовища MATLAB/Simulink дозволяють застосовувати математичні макромоделі як у дискретній, так і в неперервній формі. Композицію макромоделей окремих елементів з традиційною математичною моделлю ЕЕС найпростіше здійснювати за допомогою рівнянь ємнісних перетинів.

У середовищі Simulink дискретну макромодель можна безпосередньо сформулювати за допомогою підмоделі Subsystem шляхом програмування математичних виразів, відповідних до структури нелінійної макромоделі.

Таким чином, сумісне використання математичних моделей та макромоделей окремих елементів ЕЕС чи їхніх складових може суттєво збільшити вимірність системи, яка підлягає моделюванню та пришвидшити його за рахунок саме невеликої вимірності макромоделей, що є перспективним щодо використання цього підходу для моделювання складних об'єктів у реальному режимі часу або необхідності створення альтернативного шляху паралельному моделюванню режимів та процесів динамічних об'єктів.

1. Chiniforoosh S., Jatskevich J., Yazdani A. and other. Definitions and Applications of Dynamic Average Models for Analysis of Power Systems // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2010. – Vol. 25. – № 4. – Pp. 2655–2669.

2. Stakhiv P., Rosolowski E., Hoholiuk O. Features of electrical power systems modeling with components described by discrete macromodels in ATP environment // Техн. електродинаміка. Тем. випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2002. – Ч.1. – С. 23–28.

3. Стахів П.Г., Гоголюк О.П. Пришвидшений розрахунок перехідних процесів з використанням дискретних макромоделей компонент на прикладі електроенергетичних систем // Техн. електродинаміка. Тематичний випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2008. – Ч.6. – С. 17–21.

УДК 621.3.011.72

**АДАПТАЦИЯ МАКРОМОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ К ПРОГРАММНЫМ СРЕДСТВАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**П.Г. Стахий, докт. техн. наук, О.П. Гоголюк, канд. техн. наук,**

**Национальный университет "Львовская политехника",**

**ул. С. Бандеры, 12, Львов, 79013, Украина.**

*Проанализированы доступные программные средства математического моделирования переходных процессов электроэнергетических систем и трудности, которые возникают при их использовании. Рассмотрены обобщенная альтернативная процедура создания макромоделей элементов ЭЭС и их групп с использованием единого универсального алгоритма идентификации, а также способы их адаптации к доступным компьютерным средствам математического моделирования их переходных процессов. Библ. 3.*

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, моделирование, макромодель, программная среда.

**ADAPTATION OF MACROMODELS OF ELECTRICAL SYSTEMS AND THEIR COMPONENTS TO PROGRAM TOOLS FOR TRANSIENT PROCESSES MODELING**

**Stakhiv P., Hoholiuk O.,**

**Lviv Polytechnic National University,**

**12, S. Bandera str., Lviv, 79013, Ukraine.**

*Analysis of the existing software tools intended for mathematical modelling of electric power system transient processes and difficulties that arise during their application are analyzed. A generalized alternative procedure to create separate macromodels of the electric power system elements and their groups using the universal algorithm of their identification and approaches to adapt them to the available software of mathematical modelling of transient processes are considered. References 3.*

**Key words:** electric power system, modeling, macromodel, program tools.

1. Chiniforoosh S., Jatskevich J., Yazdani A. and other. Definitions and Applications of Dynamic Average Models for Analysis of Power Systems // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2010. – Vol. 25. – № 4. – Pp. 2655–2669.

2. Stakhiv P., Rosolowski E., Hoholiuk O. Features of electrical power systems modeling with components described by discrete macromodels in ATP environment // Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Problemy suchasnoi elektrotekhniki." – 2002. – Vol.1. – Pp. 23–28. (Ukr)

3. Stakhiv P., Hoholiuk O. Accelerated calculation of transient processes using discrete macromodels of component on example of electric power systems // Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Problemy suchasnoi elektrotekhniki". – 2008. – Vol.6. – Pp. 17–21. (Ukr)

Надійшла 03.02.2012

Received 03.02.2012