

УДК 621.31

О.Б. Єгоров

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ДО ПИТАННЯ РОЗРАХУНКУ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

У статті пропонується метод аналізу динамічних режимів у локальних об'єктах на основі алгоритмічного підходу. Метод передбачає почергове моделювання структурних елементів досліджуваної системи

**Ключові слова:** мережа, вузол навантаження, вузол генерації.

### Вступ

Як відомо, підвищення надійності роботи електричної системи нерозривно пов'язане з підвищенням ефективності керування її режимами. Автоматичне керування режимами роботи електричної системи є ієрархічною системою й здійснюється погодженими діями персоналу різних рівнів керування. Для вищих по шаблі керування рівнів характерний поділ функцій персоналу по групах технологічних завдань. Наприклад, центральний диспетчерський пункт включає у своєму складі персонал за розрахунками режимів, по оптимізації режимів і оперативний персонал. У службі релейного захисту частина персоналу виконує розрахунки по проектуванню й аналізу роботи релейних захистів. Інформаційне й прикладне програмне забезпечення також носить функціональний характер (розрахунок струмів КЗ, розрахунок сталого режиму, оптимізація режиму й т.д.). Розрахункові моделі в цих програмах звичайно охоплюють всю енергосистему з наступною корекцією гілок і вузлів для обліку різних режимів. Слід також зазначити, що основні засоби керування розташовані в нижній ланці на рівні електричних станцій, систем електропостачання, підстанцій.

Розпад єдиної енергосистеми ЄСР на об'єднані енергосистеми окремих країн СНД внесло додаткові проблеми в процес керування, серед яких можна відзначити наступні:

– не оптимальна структура електричних станцій (відсутність ГАЕС і ін. електричних станцій, які призначені для покриття пікових навантажень);

– необхідність створення оптимальних режимів роботи в умовах нової конфігурації електричної системи;

– незначне число електричних станцій, що працюють на місцевому паливі.

У зв'язку з переходом на ринкові відносини в енергетику України відбулися структурні зміни з використанням різних форм власності.

У відзначених умовах роль автоматизованої системи керування локальними об'єктами зростає, у тому числі й з метою одержання максимального прибутку.

У таких умовах функціонування електричної системи, як ніколи раніше, залежить від якості роботи оперативного персоналу. Загальновідомою є необхідність істотного поліпшення взаємодії персоналу із засобами обробки інформації, особливо це, стосується динамічних режимів коли в стресових ситуаціях необхідна обробка значних обсягів інформації.

Для ефективної інформаційної підтримки рішень персоналу локальних об'єктів електричної системи необхідно виконувати аналіз технологічних завдань, що є сукупністю функціональних. Персонал повинен оперативно оцінити ефективність ухваленого рішення. Така оцінка можлива тільки при використанні моделювання, що дозволяє оперативно формувати різні варіанти моделей.

В [1, 2] інших наведені результати аналізу принципів побудови й особливостей повної й основних спрощених моделей перехідних і сталих процесів у складних електроенергетичних системах. Однак при аналізі не повною мірою розглядаються питання моделювання на основі сучасних інформаційних технологій. Аналіз ряду комплексів програм, які в різному ступені дозволяють моделювати сталі режими роботи, електромагнітні й електромеханічні перехідні процеси, дозволяє зробити висновок, що питанням створення єдиної моделі об'єкта моделювання приділяється недостатньо уваги.

В АСДУ на рівні енергосистеми використовується програмне забезпечення, що чітко визначає специфіку математичних моделей елементів системи використовуваних для рішення завдань у відповідній службі. При цьому складається математична модель, що описує всю систему в цілому. Як результат є система диференційно-алгебраїчних рівнянь режими, що описує, всієї системи в цілому. При цьому можливо використання еквівалентних окремих ділянок системи. Цей підхід не дозволяє оперативно створювати багатofункціональні (адаптивні) моделі для рішення великого кола завдань.

При моделюванні технологічних завдань використовуються математичні моделі елементів, отримані після певних етапів подання елемента електричної системи й перетворення інформації про властивості

елемента, виконуваних іншими програмами або вручну. Ці математичні моделі забезпечують реалізацію логічної схеми конкретного завдання. Цей підхід, що вичерпав свої можливості, є причиною твердих математичних моделей і гальмом підвищення ефективності математичного моделювання.

Комплекси програм, застосовувані сьогодні, використовують зовнішні логічні моделі відповідно до сучасних інформаційних технологій, що приводить до певних труднощів взаємодії користувача з ПЕОМ при проведенні різноманітних досліджень. Це обумовлено об'єктивними факторами.

Застосування ПЕОМ розвивалося по двох напрямках використання. Перший напрямок - застосування обчислювальної техніки для виконання чисельних розрахунків, які занадто довго або взагалі неможливо робити вручну. Становлення цього напрямку сприяло інтенсифікації методів чисельного рішення складних математичних завдань, розвитку класу мов програмування, орієнтованих на зручний запис чисельних алгоритмів. Другий напрямок - це використання засобів обчислювальної техніки в автоматизованих інформаційних системах. Другий напрямок виникло трохи пізніше першого. Це пов'язане з тим, що на зорі обчислювальної техніки комп'ютери мали обмежені можливості в частині пам'яті (зовнішньої й головним чином ОЗП), що було не дуже істотно для чисто чисельних розрахунків. Навіть якщо програма повинна обробити великий обсяг інформації, при програмуванні можна продумати розташування цієї інформації в зовнішній пам'яті, щоб програма працювала якнайшвидше.

Для підвищення ефективності керування локальними об'єктами електричної системи (електричні станції, системи електропостачання, лінії зв'язку, ділянки мережі, підстанції) на основі математичного моделювання, необхідно:

- використання методів автоматичного формування адаптивних моделей локальних об'єктів при використанні еквівалентів локальних об'єктів, що примикають;

- створення багатофункціональних моделей, що забезпечить інтеграцію різних завдань при моделюванні для ухвалення рішення.

- спрощення математичної моделі без прийняття додаткових допущень, що знижують точність моделювання. Як відомо, ускладнення математичної моделі супроводжується підвищенням вимог вірогідності вихідних даних. У нових умовах функціонування локальних об'єктів електричної системи ускладняться форми одержання інформації від суміжних об'єктів, аж до висновку відповідних договорів.

**Метою дійсної статті** є розгляд моделювання режимів локальних об'єктів на єдиній інформаційній моделі в рамках автоматизованої система керування режимами електричних систем.

## Результати досліджень

Пропонується математична електричної системи, заснована не на загальній системі рівнянь для всієї системи в цілому, а на сукупності елементів підсистеми: генератори, вузли навантаження, мережа, для яких розглядаються системи рівнянь. При цьому спрощується не тільки рішення технологічного завдання без прийняття яких-небудь допущень, що знижують точність, але створюються умови для ефективного використання автоматично побудованих за допомогою графічного інтерфейсу математичних моделей об'єктів електричної системи. Це дозволить розширити коло розв'язуваних завдань, які ставляться до завдань оперативного протиаварійного керування.

Вихідний сталий режим роботи електричної мережі описується системою алгебраїчних рівнянь, отриманих за допомогою методу вузлових напруг (1).

При дослідженні перехідних режимів використовується математична модель наступного виду:

$$G \cdot U = I + I' + I_{\Delta}, \quad (1)$$

де  $G$  – матриця провідностей;  $U$  – вектор миттєвих значень напруг у вузлах;  $I$  – вектор миттєвих значень струмів у вузлах, обумовлений рішенням диференціальних рівнянь, що описують генератори або двигуни, підключені у вузлах;  $I'$  – вектор добуток похідних струмів на постійні часі, обумовлений як відношення збільшення струму за інтервал до тривалості інтервалу;  $I_{\Delta}$  – вектор струмів, що залежить від наявності зв'язку з балансуємим вузлом (складові визначаються за правилом: дорівнює 0, якщо вузол не має зв'язку з балансуємим вузлом, у протилежному випадку дорівнює добутку провідності на напруги балансуємого вузла).

На кожному інтервалі  $d$  при відомих значеннях

$i_m^{k-1}$ ,  $\frac{di_{m-n}^{k-1}}{dt}$  перебувають напруги у вузлах, струми

$$u^k = G^{-1} [I + I' + I_0],$$

в гілках:

$$i_{m-n}^k = \frac{L_{m-n}}{r_{m-n}} \cdot \frac{di_{m-n}^{k-1}}{dt} + \frac{u_m^k}{r_{m-n}} - \frac{u_n^k}{r_{m-n}}.$$

При цьому струми, що задають, у вузлах знаходяться на підставі рішення систем рівнянь, що описують перехідні процеси в генераторах, двигунах. Похідні токи можна визначити так:

маємо

$$\frac{di_{m-n}^k}{dt} = \frac{i_{m-n}^k - i_{m-n}^{k-1}}{\Delta t};$$

$$L_{m-n} \frac{di_{m-n}}{dt} + r_{m-n} i_{m-n} = u_m - u_n$$

або

$$-\frac{L_{m-n}}{r_{m-n}} \cdot \frac{di_{m-n}}{dt} + \frac{u_m - u_n}{R_{m-n}} = i_{m-n},$$

де  $i_{m-n}$  – миттєве значення струму;  $L_{m-n}$  – індуктивність  $m-n$ ;  $r_{m-n}$  – активний опір  $m-n$ ;  $u_m - u_n$  – миттєве значення напруги у вузлах тип.

На підставі першого закону Кірхгофа для кожного вузла можна записати:

$$\sum_{n=1}^{\ell} \left( \frac{u_m}{r_{m-n}} - \frac{u_n}{r_{m-n}} - \frac{L_{m-n}}{r_{m-n}} \cdot \frac{di_{m-n}}{dt} \right) = i_m,$$

де  $i_m$  – миттєве значення струму, що задає, у вузлі  $m$  (генератори, навантаження);

$\ell$  – число вузлів у схемі. Уведемо позначення:

$$g_{m-n} = \frac{1}{r_{m-n}}; \quad -\sum_{n=1}^{\ell} g_{m-n} = g_{nn}; \quad g_{nn} = -\sum_{n=1}^{\ell} \frac{1}{r_{m-n}};$$

$$\frac{L_{m-n}}{r_{m-n}} \cdot \frac{di_{m-n}}{dt} = i'_{m-n};$$

$$i'_n = \sum_{n=1}^{\ell} \frac{L_{m-n}}{r_{m-n}} \cdot \frac{di_{m-n}}{dt}.$$

З урахуванням позначень для кожної фази це рівняння було записано в матричному виді (1). Рівняння вирішуються для кожної фази окремо, що дозволяє виконати розрахунок перехідних режимів при наявності несиметрії в мережі.

Для визначення миттєвих значень струму генератора використовують або повні рівняння Парка-Горева для генераторів, розташованих поблизу місця збурювання, або спрощена модель для генераторів, вилучених від місця збурювання :

Система рівнянь доповнюється диференціальними рівняннями, що описують роботу систем автоматичного регулювання швидкості агрегату й порушення генератора.

Крім того, система рівнянь доповнюється нерівностями, що реалізують обмеження по струму статора й порушення для генераторів і по реактивній потужності для статичних тиристорних компенсаторів. Після введення збурювання виконується переформування матриці вузлових провідностей, тому що генераторні гілки, які раніше були задані потужностями, тепер необхідно представити у вигляді блоків систем диференціальних рівнянь.

На кожному кроці чисельного інтегрування розраховуються струми у вузлах з генераторами й двигунами, потім похідні струмів, потім рішенням рівняння (1) напруга вузлів, струми в гілках, потім знову виконується інтегрування диференціальних рівнянь. Число блоків рівняння для опису генераторів і систем їхнього регулювання стільки, скільки, скільки є в досліджуваній схемі генераторних гілок.

## Висновок

Для аналізу статичної стійкості реалізований метод обважнення режиму. Автоматично вводяться збурювання в схему шляхом зміни кутів ЕДС на невелику величину, рівну 5% від значення кута вихідного сталого режиму. Виконується переформування матриці вузлових провідностей, тому що генераторні гілки, які раніше були задані потужностями, тепер необхідно представити ЕДС і об'єднати з гілками, що примикають, а також виключити генераторні вузли. Після цього виконується чисельне інтегрування рівнянь для всіх генераторних гілок. По зміні кута робиться вивід про статичну стійкість режиму системи.

При моделюванні складних систем, що включають у себе синхронні машини, часто буває необхідно передбачати ті або інші зміни первинної схеми під час перехідного процесу. Звичайно варто передбачати відключення окремих машин, елементів навантаження, ліній і т.п. При наступних операціях, таких як повторне включення, для правильного відображення процесів у відключених машинах змінного струму використані схеми моделювання у вигляді "джерел струму".

## Список літератури

1. Баринов В.А. Режимы энергосистем: Методы анализа и управления / В.А. Баринов, С.А. Совалов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 440 с.
2. Лысяк Г.Н. Математическое моделирование установившихся режимов электрических систем переменного-постоянного тока / Г.Н. Лысяк, В.Н. Стряпан, А.В. Данилюк. – К.: УМК ВО, 1990. – 104 с.

Надійшла до редколегії 16.11.2010

Рецензент: канд. техн. наук, доцент П.Ф. Буданов, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

## К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А.Б. Егоров

В статье предлагается метод анализа динамических режимов в локальных объектах на основе алгоритмического подхода. Метод предусматривает поочередное моделирование структурных элементов исследуемой системы

**Ключевые слова:** сеть, узел нагрузки, узел генерации.

## TO THE QUESTION OF CALCULATION OF DYNAMIC MODES OF ELECTRIC SYSTEM

A.B. Yegorov

In article the method of the analysis of dynamic modes in local objects on the basis of the algorithmic approach is offered. The method provides serial modeling of structural elements of investigated system

**Keywords:** a network, loading knot, generation knot.