

## Проблеми керування режимами сучасних електричних мереж

*Розглянуто фактори, які визначають вибір методів керування режимами сучасних електричних мереж. Виконано систематизацію задач оптимізації, а також показаний їхній зв'язок з режимною безпекою. Наведено результати досліджень в області аналізу установлених режимів електричних мереж різного рівня ієрархії, зроблені рекомендації для корекції аномальних режимів і введення їх в допустиму область.*

*Рассмотрены факторы, определяющие выбор методов управления режимами современных электрических сетей. Выполнена систематизация задач оптимизации, показана их связь с режимной безопасностью. Приведены результаты исследований в области анализа установленных режимов электрических сетей различного уровня иерархии, сделаны рекомендации по коррекции аномальных режимов и введению их в допустимую область.*

Об'єктивні тенденції розвитку привели не тільки до збільшення розмірів і ускладнення структури сучасних електричних мереж, але й обумовили їхнє перетворення в єдину технологічну систему по забезпеченню транспорту та необхідних перетворень параметрів електричної енергії. В цілому, можна зробити висновок, що електричні мережі набули характерних рис великих штучних систем кібернетичного типу, оскільки характерними рисами їх стану стали: постійна зміна в певних границях існування; стохастичні варіації параметрів та зовнішніх збурень; складність внутрішніх та зовнішніх взаємозв'язків, які часто мають нелінійний характер; наявність адаптивних властивостей з розвинутими зворотними зв'язками та інше. Як наслідок, весь час збільшується складність задач керування режимами, в сучасних мережах під впливом ряду факторів ця проблема піднялась на якісно новий рівень. До таких факторів, зокрема, належать:

— великі масштаби загального виробництва електроенергії джерелами розподіленими по значній території та різного підпорядкування, але об'єднані спільним режимом та оперативним керуванням;

— жорсткий взаємозв'язок у часі процесів виробництва, перетворення, транспорту та споживання електроенергії;

— стохастичний характер формування електричних навантажень, які зумовлені широким спектром споживачів;

— тісний зв'язок та залежність від умов функціонування всього паливно-енергетичного комплексу;

— зростання протиріч між високим ступенем нерівномірності споживання енергії та малою маневреністю атомних та потужних теплових електростанцій;

— необхідність впровадження нових засобів керування в електричних мережах;

— зміни в зв'язку з розвитком в просторі та часі динамічних властивостей електроенергетичних систем: збільшення ступеня зв'язності, застосування нових перспективних засобів поперередження каскадного розвитку аварій, підвищення надійності та живучості.

Взагалі, шляхи вирішення проблем керування режимами електричних мереж на новому рівні можна умовно поділити на екстенсивні та інтенсивні. Екстенсивний шлях — це реконструкція систем електропостачання, побудова нових ліній та підстанцій, збільшення номінальної напруги, заміна застарілого обладнання. Інтенсивний розвиток — це проведення фундаментальних теоретичних досліджень і активне впровадження їх результатів: застосування багатofункціональних пристроїв корекції параметрів, які забезпечують електромагнітну сумісність систем електропостачання різних груп та ефективність аномальних режимів; використання засобів впливу не тільки на величину модуля напруги, але й на фазу; впровадження гнучких керованих систем електропередач [1] та інше.

Оптимальним є поєднання елементів екстенсивного та інтенсивного напрямків, але для науки, зрозуміло, першочерговий інтерес полягає на шляху інтенсивного розвитку, тим більше, що перспективи екстенсивного добре вивчені і проблема тільки в загальному економічному становищі країни. Найважливішою складовою частиною вирішення фундаментальної проблеми ефективного керування електричними мережами є задача аналізу і оптимізації режимів. Слід відзначити, що в наш час вона вимагає для свого розв'язку залучення складного математичного апарату, який не може бути реалізований без використання ци-

фрових засобів фізичного та математичного моделювання.

Відомо, що багатофазна система ефективно функціонує лише тоді, коли всі ланки симетричні та лінійні, а режим — стабільний. Для цих умов були розроблені та отримали широке розповсюдження традиційні методи розрахунку та оптимізації нормальних режимів в електричних мережах [2]. Вирішення оптимізаційних задач зводиться до побудови деякого алгоритму, що дозволяє відшукувати екстремальні значення вибраного критерію при виконанні заданих обмежень, а також визначати величини керуючих впливів, які необхідні для досягнення екстремуму.

З тези системного підходу про різноманіття типів зв'язків системи витікає, що будь-яка складна задача керування допускає не одне, а декілька розчленовувань. Методи оптимізації усталених режимів електроенергетичних систем можна класифікувати в залежності від того, які зв'язки враховуються. При багатокритеріальній оптимізації як критерії приймаються до уваги декілька характеристик режиму електричної мережі. Слід відзначити, що значення критеріїв окремих підзадач принципово не можуть бути зіставлені між собою, а їх залежності від параметрів системи й режиму найчастіше суперечливі. При комплексній оптимізації розглядають залежність цільової функції від декількох параметрів, що змінюються, тобто вона в певному сенсі є оберненою до задачі багатокритеріальної оптимізації. Координована оптимізація враховує наявність жорстких причинно-наслідкових зв'язків між параметрами режимів різних електричних мереж. Цей вид оптимізації ґрунтується на одному з найважливіших проявів системного підходу — принципі координації, який стверджує, що для оптимального функціонування системи в цілому досить погодити локальні критерії ефективності між собою й із глобальним критерієм, причому локальні критерії можуть не збігатися із частковим оптимумом даної підсистеми. На відміну від багатокритеріальної оптимізації, локальні критерії зазвичай мають однаковими як сутність, так і вагу. Для електроенергетики характерна ієрархічна система керування режимами. Координовану оптимізацію режимів електричних мереж одного рівня називають поперечною, а різних — поздовжньою.

Така система вирішення оптимізаційних задач до певного часу задовольняла потреби оперативного керування режимами. Методи аналізу та керування нормальними і аварійними режимами електричних мереж енергосистем, які використовуються в такій системі, базуються на відтворенні структур навантажень традиційними схемами заміщення із симетричними та лінійними параметрами. Це дозволяє при аналізі та оптимізації режимів як загальні межові умови використовувати тільки показники частоти і напруги.

Але за час, що минув з моменту створення

класичної системи електропередачі, суттєво змінився склад та характер споживачів, режими їх роботи [3]. І традиційний підхід до задач аналізу та оптимізації режимів електричних мереж не в повній мірі відповідає сучасному етапу розвитку електроенергетики, для якого характерним є безперервне зростання питомої ваги та енергоємності споживачів електроенергії з пофазною різницею параметрів, високою швидкістю їх зміни та нелінійністю функціональних залежностей. Часто й нові елементи електричних мереж енергосистем мають суттєву несиметрію і нелінійність характеристик. Всі ці джерела спотворень нормального режиму на практиці призводять до того, що в електричних мережах розвинутих країн світу, в тому числі й Україні, відхилення від нормального режиму стали постійно діючими факторами, які суттєво знижують ефективність роботи як самих мереж, так і споживачів, що живляться від них. Справа в тому, що в електричних мережах з джерелами спотворень з'являються крім активної і реактивної потужностей, обумовлених прямою послідовністю основної частоти, також потужність спотворення і пульсуюча потужність, обумовлені відповідно вищими гармонічними складовими і несиметрією параметрів. Як відомо, вони приводять до появи зустрічних аномальних потоків потужності, що викликають додаткові втрати електроенергії в мережах, зростають споживання неспотворюючим навантаженням, порушення технологічних процесів у споживачів. А слід пам'ятати, що якраз в останній час зростає питома вага особливо вимогливих споживачів, з підвищеною відповідальністю їх функціонування (наприклад, засоби цифрової електронної техніки).

Як наслідок, в сучасних умовах існує нагальна потреба у розробці нових моделей і методів аналізу та оптимізації режимів, забезпеченні умов електромагнітної сумісності в електричних мережах і системах [4]. Оптимальне управління електромагнітними процесами і режимами в електричних системах різного ієрархічного рівня з джерелами спотворень необхідно розглядати як науковий напрямок в електроенергетиці, що має великі перспективи для вирішення комплексу важливих для практики задач [5]. Фундаментом цього напрямку є теорія електромагнітних процесів в багатофазних системах з джерелами спотворень [4, 6], використання якої дозволяє розробити та запровадити комплекс методів, математичних моделей і програмних засобів для аналізу та оптимізації режимів сучасних електричних мереж. Особливо слід відзначити, як практичний результат використання цієї теорії, розробку коригуючих фазозсувних пристроїв з мінімальним опором нульової послідовності, що параметрично забезпечують електромагнітну сумісність устаткування в мережах [7].

Взагалі можна зробити висновок, що реалізувати режим, оптимальний з точки зору традиційної постановки задачі, в сучасній електрич-

ній мережі неможливо, оскільки постійно спостерігаються значні варіації параметрів. Тому в дійсності ці мережі завжди функціонують у певній зоні безпечного відхилення параметрів усталеного режиму від базових значень. Межі цієї зони визначаються ступенем забезпечення надійності та безперебійності електропостачання, вимогами до живлення споживачів електричною енергією відповідної якості з найменшими втратами [8]. Поняття режимної безпеки пов'язане зі станом захисту електроенергетичної системи від загрози розвитку системних аварій, які виникають під впливом збурень режиму в нормальних і аномальних умовах експлуатації і супроводжуються пошкодженням цінного основного обладнання, припиненням електропостачання на значних територіях і на тривалий час, необхідністю витрати великих ресурсів для ліквідації наслідків. Розширення зони безпеки вимагає додаткових витрат на спорудження нових ліній електропередач та підстанцій, підсилення їх конструкції та ін. Для оцінки можливості виникнення негативних наслідків (та доцільності відповідних додаткових витрат) як для споживача, так і для структурних елементів електричної мережі, необхідно визначити основні показники, що відповідають за режимну безпеку. Критичні значення показників визначають границі нормального, аномального та кризового станів, тобто границі ефективного та безпечного існування режиму. Першочерговою задачею досліджень в галузі режимної безпеки є виявлення загрози виходу усталеного режиму за дозволені межі хоча б по критичному показнику. Доцільно також виділити передкризовий стан, коли значення показників наближаються до критичних.

Одним з узагальнених показників режимної безпеки є надійність. Забезпечити вимоги до надійності електропостачання в сучасних умовах можна не тільки дублюванням об'єктів електричних мереж та їх функцій, а й впровадженням нових принципів моніторингу і діагностики. Так, з метою підвищення надійності енергопостачання були проведені фундаментальні дослідження стану ізоляції розподільних мереж та методів контролю [9]. З цією метою були розроблені теоретичні основи, стратегія та принципи побудови сучасної системи діагностування, виконано дослідження факторів, що впливають на стан ізоляції, та встановлено кількісний вплив найсуттєвіших з них. Це дало можливість запропонувати ряд нових методів раннього діагностування стану ізоляції, що базуються на порівняльній оцінці значень фазових кутів між струмами витоку досліджуваних ліній з подальшим формуванням і аналізом матриці їх взаємних кутів. Виконано комплекс досліджень роботи датчиків струму і напруги нульової послідовності в широкому діапазоні частот та моделювання каналу нульової послідовності. Проведені дослідження дозволили встановити, що лише використання залежності фазового кута вихідної

напруги від опору ізоляції кабельних ліній дозволяє з високим ступенем достовірності діагностувати зміну стану ізоляції як у діапазоні низьких, так і високих значень опору. З метою підвищення точності та достовірності діагностування розроблено методику застосування дискримінантного аналізу для врахування передісторії, експлуатаційно-геометричних показників та впливу факторів довкілля. Це також дозволяє поєднати уніфікованість вимірювань з індивідуальним підходом до визначення працездатності кожної лінії.

Для запобігання виникнення аварій доцільним є також застосування методів прогнозування електросенергетичних процесів в основному обладнанні. З метою прогнозування стану ізоляції було реалізовано метод експоненційного згладжування з постійним підстроюванням параметра згладжування під динаміку часового ряду. Такий підхід дозволив з високою достовірністю отримувати як короткочасні прогнози, так і терміни граничної експлуатації обладнання електричних мереж. Комплексна стратегія діагностування стану ізоляції обладнання електричних мереж, що включає визначення поточного фактичного стану та прогнозування на заданий час з урахуванням впливу всіх факторів, дозволить поступово перейти від системи планово-попереджувального обслуговування і ремонту до обслуговування за технічним станом.

Іншу групу узагальненої характеристики режимної безпеки електричної мережі утворюють показники якості електроенергії (ЯЕ). Перш за все, необхідна відповідність балансів генерації і споживання (як потужності, так і енергії), оскільки, як відомо, одним з найбільш важливих загальносистемних критеріїв режимної безпеки є такий показник як відхилення частоти електричного струму. Робота електроенергетичної системи з номінальним рівнем частоти вважається неодмінною умовою безпеки режиму.

Не менш важливі для безпеки й підтримання в докритичній зоні показники ЯЕ, що характеризують напругу. В Інституті електродинаміки НАН України тривалий час проводяться дослідження, пов'язані з рішенням найважливіших аспектів цієї проблеми [3, 4, 6, 7]. Результати, цілий ряд яких є піонерськими, дозволяють істотно поліпшити положення з ЯЕ в електричних мережах України, підвищити надійність і ефективність роботи всіх ланок електроенергетичних систем. До них належать:

- роботи зі створення високоефективних коригуючих пристроїв для мереж низької напруги, що забезпечують обмеження до припустимих значень усіх показників ЯЕ і надійне функціонування силового й електронного устаткування низьковольтних мереж;

- розробка схемно-технічних рішень по комплексному обмеженню несиметрії і несинусоїдальності напруги на тягових підстанціях залізниць на змінному струмі;

— роботи зі створення високоефективних коригуючих пристроїв для глибокого обмеження несинусоїдальності струму й напруги у мережах із частотно-регульованим приводом;

— розробка симетруючих пристроїв для широкого класу однофазних навантажень (індукційні і каналні печі, потужні установки електрошлакової плавки, руднотермічні і графітировочні печі, хлоратори, печі опору і т.п.);

— алгоритми оптимального використання статичних джерел реактивної потужності, призначених для роботи в мережах із динамічними навантаженнями, що змінюються по фазах (дугові печі, електровози перемінного струму, прокатні стани і т.п.);

— методики оцінки втрат енергії в електричних мережах і зниження терміну служби електроустаткування при погіршенні ЯЕ.

Одним із найважливіших показників якості електричної енергії в електричних мережах є відхилення напруги, але коли ці відхилення виходять за межі технічно припустимих для устаткування, то говорять вже про перенапруги. Усі виникаючі в електричних мережах перенапруги можна підрозділити на дві групи:

— тривалі, обумовлені певним несприятливим сполученням схеми, параметрів і режиму мережі;

— короткочасні, що виникають у результаті атмосферних і комутаційних процесів.

Тривалі перенапруги можуть існувати в електричній мережі значний час (практично доти, поки дія захисту від підвищення напруги, регуляторів напруги або втручання персоналу не приведе до зміни схеми та режиму). Комутаційні перенапруги характеризуються тривалістю до кількох сотих часток секунди. Тривалі перенапруги звичайно усуваються за допомогою спеціальних засобів керування в ланках генерації, передачі і розподілу електроенергії, а короткочасні — вентильними розрядниками або нелінійними обмежувачами перенапруг. Особливе місце займають тривалі перенапруги, що викликані резонансними явищами. Як показують практичний досвід і теоретичні дослідження, вони не можуть бути обмежені традиційними засобами, які ефективно використовують для знешкодження короткочасних перенапруг.

Наявність в електричних колах нелінійних елементів у вигляді трансформаторів або реакторів призводить до можливості виникнення в них ферорезонансних процесів [10]. Причому, в залежності від параметрів резонансних контурів, ферорезонансні явища виникають як на основній частоті, так і на вищих і нижчих гармоніках. Ферорезонансні явища на основній частоті в електричних мережах при несиметричних режимах небезпечні не тільки тим, що стрибки струму призводять до стрибкоподібного збільшення перенапруг. Одночасно зі стрибком, перекидання фази струму призводить до великої асиметрії і навіть переважання напруги оберненої послідовності на вторинній обмотці знизуючого трансформатора. Це може призвести

до припинення роботи сильно завантажених або до зміни напрямку обертання слабо завантажених асинхронних двигунів.

Небезпека виникнення ферорезонансу останнім часом безупинно зростає. Можна відзначити зв'язок між нею та розширенням кабельних мереж високої напруги в міських районах, а також появою сучасних силових трансформаторів із малими втратами в осерді. Останній фактор спричиняє ріст загрози нетрадиційних ферорезонансів. Зростання аварійності внаслідок ферорезонансів зумовлене також збільшенням числа відключень фідерів споживачів, особливо коли при цьому вимикаються дугогасні реактори. Погіршує становище й застосування сучасної компактної комутаційної апаратури з елегазовим наповненням. Тому, як при проектуванні нових електричних мереж, так і при модернізації існуючих, необхідно звертати особливу увагу на можливість появи ферорезонансів.

З метою запобігання ушкодженню дорогого устаткування, розвитку системних аварій і захисту від нещасних випадків на підстанціях електричних мереж повинні застосовуватися спеціальні заходи по виявленню та припиненню ферорезонансних процесів. При розробці заходів щодо запобігання ферорезонансу варто передбачати запобігання його появі або придушення (при його виникненні) як при оперативних переключеннях, так і автоматичних відключеннях вимикачів від дії релейного захисту й автоматики. Основні засоби боротьби з ферорезонансом, запропоновані в результаті досліджень, виконаних в Інституті електродинаміки НАН України:

— виключення можливості утворення ферорезонансного контуру;

— розладнання ферорезонансного контуру, що утворюється із джерела живлення, елементами схеми та індуктивностей трансформаторів;

— зниження добротності ферорезонансного контуру вмиканням у нього резистора (постійної добавки в коло нульової послідовності);

— використання захисного відключення;

— застосування ємнісних трансформаторів напруги замість електромагнітних трансформаторів напруги;

— застосування вимикачів без ємнісних ділянок напруги.

До проведення заходів щодо запобігання ферорезонансу в розподільних устроях електростанцій і підстанцій необхідно визначити можливість виникнення ферорезонансу, а також оцінити його наслідки. Аналіз має бути здійснений або на математичній моделі, або експериментально. Виявлення схем розподільних пристроїв, у яких можливий ферорезонанс, повинне виконуватися для нормальних і "ремонтних" схем, а також для схем, що виникають у процесі оперативних переключень і після автоматичних відключень від дії релейного захисту та автоматики. При виявленні схем розподільних пристроїв, у яких можливий ферорезо-

нанс, необхідно враховувати виникнення неповнофазних режимів, які викликаються неповнофазними комутаціями вимикачів при оперативних переключеннях і автоматичних відключеннях.

Резонансні перенапруги можуть виникати також у колах з індуктивностями реакторів і розподіленими ємностями ліній. Шунтові реактори призначені для компенсації зарядної потужності магістральних ліній електропередачі з метою обмеження підвищення рівнів напруги в режимі мінімального навантаження енергосистеми, а також зниження перенапруг у динамічних процесах. Величини розподілених ємностей визначаються довжиною і геометрією ліній: розщепленням фаз, взаємним розташуванням проводів і тросів, висотою підвіски їх над землею, видом транспозиції й ін. Як показує досвід, коли ступінь компенсації шунтовими реакторами зарядної ємності лінії наближується до 100% або перевищує його, на відключеній у результаті однофазного автоматичного повторного включення (ОАПВ) фазі можуть виникати значні резонансні перенапруги, що обмежуються тільки втратами на корону. Тому для ЛЕП зі ступенем компенсації зарядної потужності більше 80% необхідно виконувати аналіз можливих перенапруг на фазі, що відключається ОАПВ, і вживати відповідних запобіжних заходів [11]. Зокрема, виконаний комплекс досліджень з моделювання процесів у лінії електропередачі 750 кВ Рівненська АЕС— підстанція "Західноукраїнська" та аналізу перенапруг у режимі ОАПВ дозволив розробити рекомендації щодо вибору параметрів і місця розташування шунтових і компенсаційних реакторів, налагодити на ВАТ "Запоріжтрансформатор" серійний випуск останніх. Це забезпечило успішний запуск ЛЕП — 750 кВ в експлуатацію і зробило можливим видачу потужності з шин Рівненської АЕС при введенні в дію нового блоку 1000 МВт. Зараз розроблена система обмеження перенапруг реалізована у проєкті нової підстанції "Київська-750", до якої будуть підключені п'ять ЛЕП 750 кВ.

Істотний вплив на процес керування режимами електричних мереж має інформаційне забезпечення. Рішення, що приймаються на основі недостовірної, неповної або несвоєчасної інформації, не можуть бути оптимальними. В рамках фундаментальних досліджень в області передачі інформації по електричних мережах сформовані основи передачі інформації за допомогою трифазних сигналів високої частоти та субгармонійних сигналів прямої, зворотної та нульової послідовності фаз [12]. Доведено високу ефективність та завадостійкість передачі інформації за допомогою трифазних субгармонійних сигналів прямої, зворотної та нульової послідовності фаз. Також досліджено спосіб фазового кодування субгармонійних сигналів з метою збільшення ємності передачі інформації. Це дозволило запропонувати для реалізації в діючих електричних мережах нових методів формування

трифазних інформаційних сигналів та субгармонійних сигналів різної послідовності фаз. Узагальнення експериментальних результатів зробило можливим формування основних положень теорії передачі субгармонійних фазоманіпульованих сигналів прямої, зворотної та нульової послідовності фаз в електричній мережі, що відкрило широкі перспективи для розробки принципово нових систем передачі інформації з високою завадостійкістю та швидкістю.

Важливою є також своєчасність керуючих впливів на режим електричної системи, яку може забезпечити телекерування. В результаті фундаментальних досліджень процесу передачі сигналів керування по електричних мережах різного класу напруги були створені теоретичні основи використання силових мереж для цієї мети. Запропоновано пасивний метод формування сигналів, при якому з мережі споживається струм топальної частоти. Це дозволило суттєво спростити конструкцію та підвищити надійність засобів передачі команд. А реалізація частотного кодування з використанням нестандартного спектру парних гармонічних складових забезпечила високий ступінь захисту систем телекерування від завад. В цілому все це дало можливість розробити та запровадити у виробництво ряд систем телемеханіки, зокрема, для аварійного циркулярного розвантаження, диспетчерського керування, телеконтролю за пристроями добування нафти.

Загалом, актуальними задачами на найближчу перспективу досліджень процесів керування режимами сучасних електричних мереж можна вважати:

- розробку принципів адаптації загальних методів аналізу до умов функціонування конкретних об'єктів електричних мереж;
- створення адекватних математичних моделей, що дозволяють з необхідними точністю та швидкістю виконувати аналіз режиму з метою перевірки приналежності його допустимій області, а також забезпечувати короткотермінове прогнозування тенденцій зміни значень показників енергетичної безпеки;
- розробку системи показників для аналізу режимної безпеки та їх класифікацію по групах, які пов'язані з головними цілями функціонування електроенергетичних систем;
- виявлення функціональних залежностей між показниками безпеки режиму для визначення головного в даних умовах критерію, який потребує особливої уваги та контролю;
- розробка методу та структурних схем аналітичного визначення критичних значень величин показників енергетичної безпеки з метою більш чіткого та об'єктивного аналізу;
- визначення критичного для даних умов показника режимної безпеки та забезпечення його перманентного моніторингу;
- розробка комплексу загальних та спеці-

альних заходів, які направлені на введення показників безпеки режиму в допустимі границі.

Вирішення проблеми керування режимами електричних мереж дасть можливість забезпечити виконання вимог, які висувають сучасне і перспективні покоління споживачів до постачання їх енергією.

1. *Постолатий В.М., Быкова Е.В., Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И.* Применение управляемых гибких электропередач переменного тока для оптимизации режимов электроэнергетических систем // Техн. электродинамика. — 2003. — №4. — С. 50 — 54.
2. *Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И., Баженов В.А.* Оптимизация режимов электрических сетей. — К.: Наук. думка, 1992. — 145 с.
3. *Кузнецов В.Г., Куренный Э.Г., Лютый А.П.* Электромагнитная совместимость. Несимметрия и несинусоидальность напряжения. — Донецк: Норд-Пресс, 2005. — 251 с.
4. *Шидловский А.К., Кузнецов В.Г.* Повышение качества электрической энергии в электрических сетях. — К.: Наук. думка, 1985. — 268 с.
5. *Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И., Шполянский О.Г.* Адаптивная оптимизация режимов систем электроснабжения с источниками искажений // Техн. электродинамика. Тем. вып. 1. "Моделирование электронных, энергетических та технологических систем". — 1999. — Ч. 1. — С. 7—11.
6. *Шидловский А.К., Кузнецов В.Г., Николаенко В.Г.*

Оптимизация несимметричных режимов систем электроснабжения. — К.: Наук.думка, 1987. — 176 с.

7. *Кузнецов В.Г., Григорьев А.С., Данилюк В.Б.* Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях. — К.: Наук.думка, 1992. — 240 с.
8. *Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И., Шполянський О.Г.* Критерії режимної безпеки електроенергетичної системи України // Повинні енергетиків. — 2001. — № 7. — С. 53—62.
9. *Кошман В.И., Кузнецов В.Г., Сабарно Л.Р.* Диагностика и прогнозирование поврежденной кабельных линий городских электрических сетей // Сб.научн.тр. "Научно-практические проблемы моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций". — 2000. — Вып. 3. — С. 37—42.
10. *Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И.* Сучасні методи аналізу феро-резонансних процесів // Праці Інституту електродинаміки НАН України. — 2002. — № 3. — С. 27—31.
11. *Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И., Боровик Ю.М., Яндульський А.С.* Предупреждение резонансных перенапряжений в линиях 750 кВ // Техн. электродинамика. Тем. вып. "Силовая электроника та енергоефективність". — 2002. — Ч. 1. — С. 95—98.
12. *Кошман В.И., Кузнецов В.Г., Сабарно Л.Р.* Частотне кодування субгармонійних сигналів у системах телекерування // Техн. электродинамика. Тем. вып. "Проблеми сучасної електротехніки". — 2006. — Ч. 5. — С. 121—123.

Надійшла 02.04.2007

УДК 621.311.001.18

В.М.Авраменко, докт.техн.наук, В.О.Крилов, канд.техн.наук, В.Л.Прихно, канд.техн.наук, П.О.Черненко, канд.техн.наук (Ін-т електродинаміки НАН України, Київ)

## Проблеми моделювання та керування режимами електроенергетичних систем

*Надано огляд теоретичних і практичних результатів у створенні методів моделювання і програмних засобів автоматизації диспетчерського керування електроенергетичними системами, одержаних у відділі аналізу режимів ЕЕС Інституту електродинаміки НАН України з початку 80-х років по теперішній час.*

*Представлен обзор теоретических и практических результатов в создании методов моделирования и программных средств автоматизации диспетчерского управления электроэнергетическими системами, полученных в отделе анализа режимов ЭЭС Института электродинамики НАН Украины с начала 80-х годов по настоящее время.*

Дослідження в напрямку моделювання, автоматизації та керування режимами електроенергетичних об'єктів та систем виконувалися у створеній і очолюваній професором Л. В. Цукерником лабораторії електростанцій та енергосистем, яка діяла в Інституті електротехніки АН УРСР з моменту його створення в 1947 р. У 1963 р., коли інститут отримав назву Інститут електродинаміки, на базі лабораторії було створено два відділи — відділ авто-

матизації електричних систем та відділ моделювання електричних систем. Останній до 1980 р. очолював Л. В. Цукерник. З 1981 р. завідувачем відділу, який став називатися відділом аналізу режимів електроенергетичних систем, став В. М. Авраменко. В 2006 р. цей відділ було об'єднано із створеним в 1995 р. відділом моделювання електроенергетичних об'єктів. Об'єднаний відділ одержав назву відділу моделювання електроенер-

© Авраменко В.М., Крилов В.О., Прихно В.Л., Черненко П.О., 2007