

ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ УМОВ ОПТИМАЛЬНОСТІ НОРМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Лежнюк П.Д., Лук'яненко Ю.В.

Вінницький державний технічний університет

lukian@vstu.vinnica.ua

The problems dealing with power flux and voltage control in electric system are considered. The suggested system of automatic control is based on the principle of optimum modes similarity. The method of criterial modelling is applied for analysis and generalization of optimization results into control rules.

Першопричиною неоптимальності нормальних режимів (НР) електроенергетичних систем (ЕЕС) і, як наслідок, додаткових втрат електроенергії в них є неоднорідність як конструктивний параметр. Неоднорідність ЕЕС негативно впливає також на статичну і динамічну стійкість. На сьогодні розроблено цілий ряд режимних заходів, направлених на компенсацію негативного впливу неоднорідності на режими ЕЕС. В [1] вони систематизовані і зведені в типовий перелік. Згідно цьому переліку розрізняють організаційні і технічні заходи. Перші з них, такі що не потребують значних капітальних вкладень, привертають до себе особливу увагу. Загальним недоліком їх є те, що вони, по-перше, направлені на усунення наслідків, а не причин, а по-друге, техніко-економічний ефект від них досягається тільки за умови постійного й активного впровадження їх оперативним персоналом. Впровадження технічних заходів пов'язане з конструктивними змінами в ЕЕС і, як правило, прилучається до розробки нових проектів і реконструкції електричних мереж. Характерним їх недоліком є локальність, тобто при їх розробці не враховується загальносистемний ефект, в тому числі вплив на неоднорідність системи.

Пропонується новий підхід, відмінною рисою якого є орієнтація на усунення причин неоптимальності ЕЕС і створення в ній умов квазіоптимальності. Досягається це двома шляхами: зменшенням неоднорідності ЕЕС в результаті реконструкції електричних мереж, а також компенсації дії неоднорідності в процесі експлуатації з застосуванням засобів автоматизації.

Такий підхід передбачує реалізацію наступних принципів [2-4]:

- зміна норм і стратегії проектування електричних мереж. Суть їх - кожне рішення і крок по реконструкції ЕЕС має бути не локальним, а націленим на досягнення системного ефекту, тобто наближати ЕЕС до однорідного стану;
- оцінка неоднорідності ЕЕС як характеристики, що визначає економічність її нормальних режимів, здійснюється на основі узагальненого показника неоднорідності. За допомогою його формуються умови оптимальності втрат електроенергії в ЕЕС;
- орієнтація на повну автоматизацію процесу оптимального керування нормальними режимами ЕЕС на базі сучасної обчислювальної техніки;
- формування локальних адаптивних систем автоматичного керування (САК) за місцевими параметрами з постійною корекцією налагоджувальних параметрів для досягнення загальносистемного критерію оптимальності, тобто децентралізація керування без втрат переваг централізованого керування. Функціонування САК узгоджується з діями по реконструкції та удосконаленню електричних мереж;
- формування розрахункової моделі ЕЕС, яка забезпечує спостережність і керованість по окремих її областях корекції (підсистемах) і в перспективі забезпечує керованість системи в цілому;
- створення програмного забезпечення АСДУ, яке б дозволяло доводити результати розрахунків до законів керування і налагоджувальних параметрів САК;
- використання для розрахунків і формування законів керування узагальнюючих методів теорії подоби, зокрема критеріального методу, які утворюють методологічну єдність всіх етапів оптимізації режимів ЕЕС – від математичного моделювання, пошуку і прийняття оптимального рішення до його практичної реалізації включно;
- врахування факторів, які впливають на результати оптимізації і ефективності їх практичної реалізації, на етапі розрахунків і формування законів керування. До таких факторів впершу чергу відносяться надійність і технічний ресурс регульовальних пристроїв (РП), врахування збитків, що викликаються відхиленнями напруги у вузлах від її оптимального значення, оцінка і використання реального регульовального ефекту окремих РП;
- попередній аналіз на чутливість критерію оптимальності до всіх РП, ранжування останніх по регульовальному ефекту і відповідна координація їх роботи в ЕЕС шляхом встановлення відповідних допусків на їх режимні параметри;
- керування з метою компенсації неоднорідності ЕЕС здійснюється у відносних одиницях, тобто в закони керування входять відносні значення керувальних параметрів. За базисні параметри приймаються відповідні параметри оптимального режиму.

У відповідності з цими принципами розв'язок задач проектування, реконструкції і експлуатації ЕЕС має здійснюватись на основі єдиного комплексного підходу. Сутність цього підходу полягає в тому, що проектні і

експлуатаційні задачі повинні бути взаємоуязані і зорієнтовані на техніко-економічну ефективність кінцевого результату. Економічність процесу транспортування і розподілу електроенергії визначається мірою оптимальності режимів ЕЕС, яка залежить від багатьох чинників. Оптимальне керування нормальними режимами ЕЕС повинно постійно адаптуватись до умов експлуатації, що динамічно змінюються. Ці зміни можуть бути викликані реконструкцією електричних мереж зі зміною топології і січення проводів, встановленням джерел реактивної потужності, автоматизацією регулювання напруги і потоків потужності тощо.

Оптимізацію режимів неоднорідної ЕЕС можливо здійснювати або зниженням міри неоднорідності, або примусовою зміною потокорозподілу і наближенням його до природного потокорозподілу в однорідній ЕЕС. В першому випадку ліквідується причина, тобто сама неоднорідність, в другому - лише її наслідки: неефективний потокорозподіл. При першому способі забезпечується оптимальність режиму незалежно від навантаження, а при другому - необхідні пристрої для контролю за зміною параметрів режиму і відповідного керування потокорозподілом.

Таким чином процес компенсації негативного впливу неоднорідності ЕЕС може відбуватись в різних напрямках. В одному - під час проектування або реконструкції електричної мережі вибираються або змінюються параметри ЕЕС в напрямку зменшення неоднорідності ЕЕС з врахуванням технічних обмежень і дискретності цих параметрів, а в іншому - розвиваючи САК режимами ЕЕС, створюються умови для підтримування режиму в оптимальній області.

При розв'язанні проектних задач і оцінці доцільності оптимізаційних заходів в ЕЕС необхідно аналізувати значну кількість можливих варіантів. Вибір найкращого з них має бути однозначним. Відомі [5, 6] критерії оптимальності є багатомірними (у вигляді векторів або матриць) і без додаткового аналізу не дають однозначної оцінки. Цей недолік відсутній в узагальнюючому системному показнику неоднорідності, який є числом і дозволяє однозначно порівнювати варіанти запропонованих рішень [7]. У відповідності з умовами оптимальності режимів ЕЕС, сформульованими в [7], показник неоднорідності для порівняння проектних рішень має вигляд:

$$\mu = N x_B r_B^{-1} M_1,$$

де N - друга матриця з'єднань; x_B , r_B - діагональні матриці реактивних і активних опорів віток; M_1 - транспонована перша матриця з'єднань.

Метризація множини $\{\mu\}$ дозволяє кількісно визначити величину неоднорідності ЕЕС через відстань (розбіжність) між неоднорідністю віток, рознесеною по контурах ЕЕС, та неоднорідністю контурів, розподіленій по вітках ЕЕС. Ця відстань може бути визначена через евклідову норму матриці матриці μ :

$$d_\mu = \|\mu\|_e = [\text{tr}(\mu \mu^T)]^{1/2}, \quad (1)$$

де d_μ - узагальнений показник неоднорідності ЕЕС.

Цей показник дозволяє реалізовувати перші два принципи. Разом з тим показник неоднорідності, як це буде показано далі, входить в закон оптимального управління параметрами нормального режиму ЕЕС [3]. При чому задача оптимального управління нормальними режимами ЕЕС в пропонованому підході ставиться і розв'язується, як задача теорії управління динамічними системами з квадратичним критерієм якості (у нашому випадку це сумарні втрати потужності):

мінімізувати функцію керування

$$F(u) = \int_{t_0}^{t_k} [x^T(t) H x(t) + u^T(t) L u(t)] dt \Rightarrow \min \quad (2)$$

в просторі станів системи

$$\frac{dx}{dt} = A x(t) + B u(t); \quad x(t_0) = x_0; \quad (3)$$

$$y(t) = C x(t) + D u(t), \quad (4)$$

де $x(t)$, $y(t)$, $u(t)$ - відповідно вектори стану, керування і спостереження; A , B , C , D , H , L - матриці постійних коефіцієнтів, що визначаються параметрами ЕЕС; t_0 , t_k - початок і кінець інтервалу часу, на якому мінімізується функція керування; x_0 - початкове значення вектора стану.

В даній моделі

$$x(t) = \begin{bmatrix} j(t) \\ \dot{U}_\Delta(t) \\ \dot{U}_\delta \end{bmatrix}; \quad y(t) = \begin{bmatrix} \dot{S}_B(t) \\ i_B(t) \\ \dot{U}(t) \end{bmatrix}; \quad u(t) = \dot{E}_{3p}(t),$$

де $\dot{J}(t) = \hat{U}_d^{-1}(t)\hat{S}(t)$ - вектор струмів у вузлах ЕЕС; $\dot{U}_d(t)$ - діагональна матриця вузлових напруг; $\dot{S}(t) = P + jQ$ - вектор потужностей у вузлах; $\dot{U}_\Delta(t)$ - вектор напруг вузлів відносно базисного; U_δ - напруга базисного вузла; $\dot{U}(t)$ - вектор напруг вузлів; $\dot{E}_{зр}(t)$ - вектор зрівновальних е.р.с. в контурах; $\dot{S}_B(t) = P_B + jQ_B$, $\dot{I}_B(t)$ - вектори потужностей та струмів у вітках ЕЕС, в яких здійснюються телевиміри.

В такій постановці задачі розв'язок має вид закону оптимального керування:

$$U(t) = -\pi Y'(t) \quad (5)$$

де π - матриця зворотного зв'язку, елементи якої в нашому випадку мають зміст критеріїв подібності; $Y'(t)$ - визначальна сукупність параметрів режиму системи, яка забезпечує керуваність даної області корекції. В [7] показано, що в вираз для критеріїв подібності π входить матриця системних показників неоднорідності ЕЕС v , яка визначається:

$$v = N_\alpha X_{B\alpha} \Gamma_{B\alpha}^{-1} - X_K \Gamma_K^{-1} N_\alpha,$$

де X_K , Γ_K - матриці активних і реактивних опорів базисних контурів; індекс "а" вказує, що параметри відносяться до дерева схеми ЕЕС.

Для однозначної оцінки доцільності і ефективності оптимального управління НР ЕЕС можна скористатися узагальненим показником неоднорідності. Аналогічно (1) він визначається:

$$d_v = \rho(N_\alpha X_{B\alpha} \Gamma_{B\alpha}^{-1}; X_K \Gamma_K^{-1} N_\alpha) = \|v\|_e = [\text{tr}(v v_t)]^{1/2}. \quad (6)$$

Якщо в якості керувальних пристроїв застосовуються трансформатори і автотрансформатори зв'язку електричних мереж ЕЕС, то закон керування має наступний вигляд:

$$k'(t) = 1 - \pi_a^E J_{*p}^E(t), \quad k''(t) = -\pi_p^E J_{*a}^E(t), \quad (7)$$

де $k'(t), k''(t)$ - вектори дійсних і уявних складових коефіцієнтів трансформації трансформаторів.

Закон оптимального керування (6) може бути реалізований САК схема, якої представлена на рис. 1.

Представлена схема САК є двоконтурною системою керування НР ЕЕС з імітаційною моделлю [3]. Реалізація такої схеми відповідає вимогам до керування НР ЕЕС, в її рамках можуть застосовуватись багато із напрацьованих і використовуваних на сьогодні в АСДУ алгоритмів і програм. Вона досить просто реалізується на практиці за допомогою сучасних мікропроцесорних систем.

В даній схемі в першому (основному) контурі здійснюється автоматичне керування окремими регульовальними пристроями за допомогою пристроїв автоматичного контролю та керування функціонуванням (АККФ) РП. Вони діють за законами керування (5), (7). В другому контурі (контурі адаптації) в залежності від міри відхилення поточного режиму ЕЕС від оптимального та рішення диспетчера можуть змінюватись налагоджувальні параметри АККФ РП або виконуватись пряме керування параметрами РП. Таким чином формуються локальні адаптивні САК за місцевими параметрами (перший контур) з постійною корекцією налагоджувальних параметрів для досягнення загальносистемного критерію оптимальності (другий контур), що дозволяє децентралізувати керування без втрат переваг централізованого керування. Включення в другий контур імітаційної моделі дозволяє оперативному персоналу аналізувати, визначати і коригувати налагоджувальні параметри САК, а також дає можливість "програвати" стани ЕЕС і оцінювати наслідки керуючих дій, в тому числі автоматичних. В рамках задач, які розв'язуються за допомогою імітаційної моделі, реалізуються принципи врахування факторів, що впливають на результати оптимізації і ефективність їх практичної реалізації, на етапі розрахунків і формування законів керування, а також здійснюється попередній аналіз на чутливість критерію оптимальності до всіх РП, ранжування останніх за реальним регульовальним ефектом і відповідна координація їх роботи в ЕЕС шляхом встановлення відповідних допусків на їх режимні параметри. Останнє реалізується введенням допустимої зони нечутливості критерію оптимальності [3]. Величина цієї зони визначає область рівноекономічних оптимальних режимів і задає ефективність дій РП по введенню режиму ЕЕС в область оптимальності.

Значне місце в практичній реалізації імітаційної моделі займають засоби візуалізації процесу імітування і прийняття рішень. Це в першу чергу пов'язане з необхідністю порівнювати значну кількість варіантів рішень і необхідністю оперативно вносити корегуючі зміни у вхідні дані імітатора в умовах обмеження часу під час оперативного керування НР ЕЕС. Ця проблема може бути розв'язана за допомогою спеціалізованого графічного середовища, в якому здійснюється візуалізація поточного стану ЕЕС і розрахованих оптимальних параметрів режиму, а також визначаються і корегуються закони оптимального керування САК [9].

Таким чином реалізація запропонованих принципів і розглянутого підходу щодо компенсації негативного впливу неоднорідності дозволить поступово перейти до повної автоматизації процесу оптимального керування нормальними режимами ЕЕС. Це дозволить поетапно формувати і реалізовувати умови оптимальності нормальних режимів ЕЕС шляхом поступового і послідовного зменшення неоднорідності електричних мереж до економічно доцільного значення, що призведе до покращення техніко-економічних показників ЕЕС.

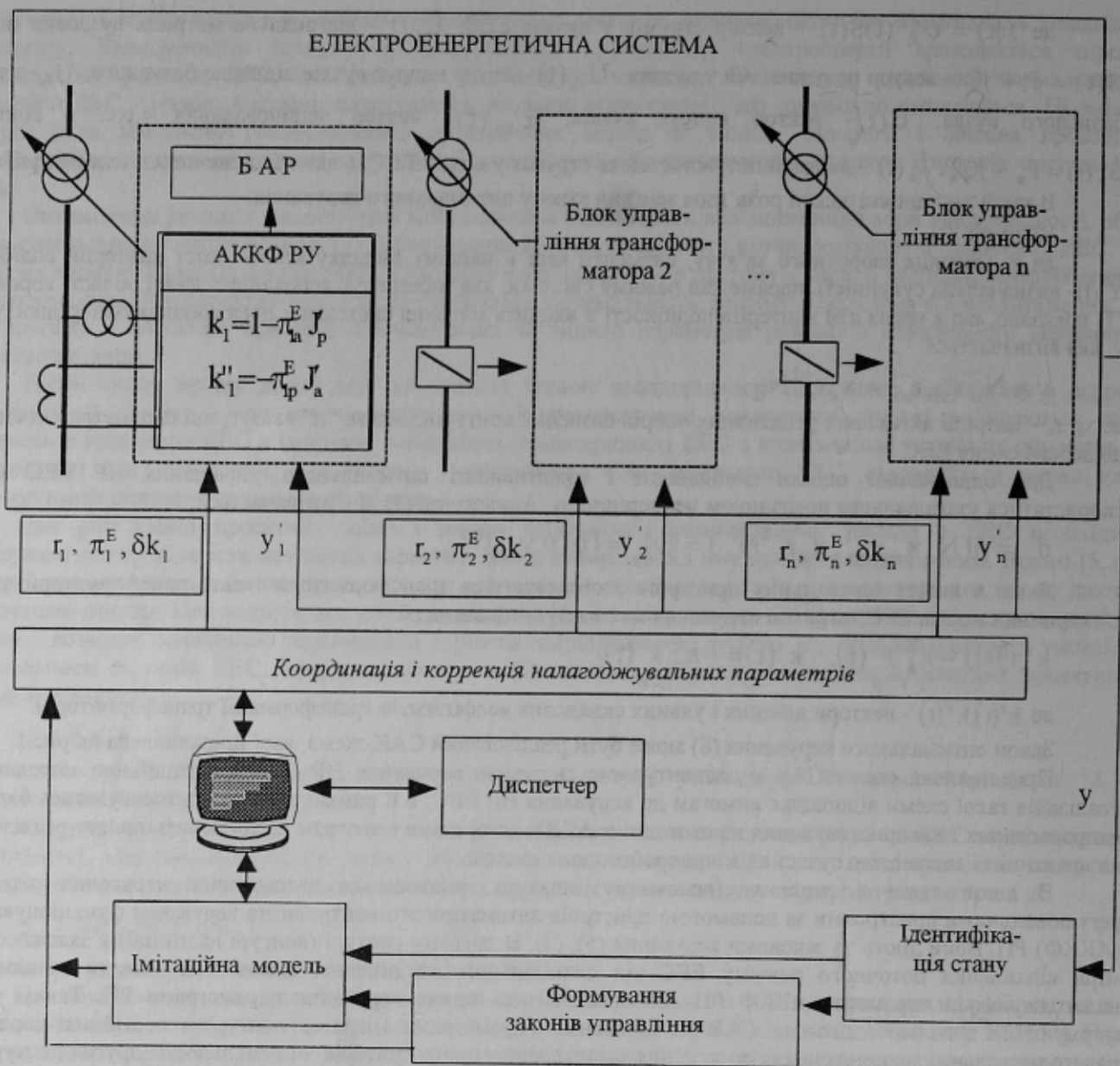


Рисунок 1 - Структурна схема оптимального управління

ЛІТЕРАТУРА

1. Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений. - М.: СПО Союзтехэнерго, 1987. - 84 с.
2. Астахов Ю.Н., Лежнюк П.Д. Применение теории подобия в задачах управления нормальными режимами электроэнергетических систем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - №5. - 1990. - С. 3-11.
3. Лук'яненко Ю.В., Гайдамака В.М., Рамзи Хаддад. Оптимальне керування потоками потужності в ЕЕС на підставі критеріальних залежностей та результатів аналізу їх на чутливість // Вісник Державного університету «Львівська політехніка». - №372. - 1999. - С. 100-107.
4. Лежнюк П.Д., Лук'яненко Ю.В., Кулик В.В. Розв'язання задач оптимального керування нормальними режимами електричних систем з використанням об'єктно-орієнтованого аналізу // Вісник ВПІ. - №1. - 1999. - С. 30-35.
5. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И., Баженов В.А. Оптимизация режимов электрических сетей. - К.: Наукова думка, 1992. - 216 с.
6. Кижнер С.И., Чебан В.М. Управление потокораспределением в неоднородной сети // Сб. трудов Ленингр. политех. ин-та. Электроэнергетика, вып 357. - 1977. - С. 7-11.
7. Лежнюк П.Д., Оболонський Д.І., Пауткіна Л.Р. Моделювання впливу неоднорідності електричної системи на оптимальність її режиму // Вісник ВПІ. - 1996. - № 4. - С. 44-49.
8. Воротицкий В.Э., Лежнюк П.Д., Серова И.А., Methodика и программа оценки эффективности применения РПН и АРПН в замкнутых электрических сетях // Электрические станции. - №1. - 1992. - С. 60-66.
9. Лежнюк П.Д., Лук'яненко Ю.В. Відображення нормального режиму електричної системи в графічному середовищі для прийняття оптимальних рішень // Вісник ВПІ. - 1994. - №3. - С. 40-44.