

О. Б. Бурикін, асп.

КЕРУВАННЯ ТРАНЗИТНИМИ ВТРАТАМИ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто питання керування транзитними втратами потужності в електроенергетичних системах. Наведено задачі визначення та керування втратами потужності від транзитних та взаємних перетоків. Запропоновано новий підхід у формуванні законів оптимального керування транзитними втратами потужності з використанням методу розрахунку та розподілу втрат потужності від взаємних перетоків у об'єднаних електричних мережах на основі методу накладання з використанням лінеаризації математичної моделі.

Вступ

Електроенергетична система (ЕЕС) України є складним багатовимірним об'єктом з нелінійним характером. Розвиток науково-технічного прогресу і розщеплення вертикально інтегрованої конструкції енергетичної галузі, ще більше ускладнили структуру ЕЕС загостривши необхідність вирішення наявних проблем та проблем набутих внаслідок переходу на новий, якісніший рівень функціонування.

Загострення наявних проблем транспортування та розподілу електроенергії внаслідок підвищеного рівня технічних втрат [1] викликано збільшенням втрат електроенергії, що протягом багатьох десятиліть в мережах України були достатньо стабільними та не перевищували 10 % об'єму відпущеної електроенергії. Останніми роками, внаслідок різних об'єктивних та суб'єктивних причин вони зросли до 13,5 % [2], що майже вдвічі перевищує аналогічні показники західних країн.

Складний фінансовий стан електроенергетичної галузі не дозволяє проводити достатню модернізацію обладнання об'єктів мережі та обладнання, що генерує електроенергію. Однак, Національна енергетична програма передбачає проведення заходів скерованих на вирішення проблем транспортування та розподілу електроенергії, як шляхом реконструкції існуючих мереж, так і шляхом підвищення ефективності керування ЕЕС [2, 3].

Для забезпечення підвищення ефективності керування було проведено реформування енергетичної галузі, в процесі якого, на базі восьми енергооб'єднань за територіальною ознакою було сформовано 27 енергопостачальних компаній [4]. Деретуляція енергетичної галузі створила декілька рівнів конкуренції між енергопостачальними компаніями, що мають за основну мету покращання своєї економічної ефективності та зацікавлені в зменшенні втрат електроенергії у власних мережах.

Однак, в результаті проведеної реформи більшість енергетичних суб'єктів стали транзитерами, передаючи своїми мережами електроенергію сусіднім енергопостачальним компаніям [4]. Не дивлячись на те, що для перших така передача носить наскрізний характер, саме вони несуть витрати по обслуговуванню та ремонту своїх транзитних мереж. Крім цього, в локальних електричних мережах існують взаємні перетоків потужності між мережами окремих енергетичних суб'єктів.

Таким чином, в зв'язку із збільшенням втрат електроенергії від транзитних перетоків потужностей для окремих енергопостачальних компаній та посиленням взаємовпливу електричних мереж об'єднаної ЕЕС виникає необхідність розробки нових шляхів розв'язання задач зі зменшення втрат.

Задачі визначення та керування втратами потужності від транзитних та взаємних перетоків

Розглянемо випадок, коли потужність з системи А (передавальна система) передається в систему С (приймальна система), через електричні мережі системи В (транзитна система або транзитер) (рис. 1). Протікаючи мережами системи транзитера ця потужність на-

що протікають в її вітках, виділення втрат від транзитних перетоків потужності у складнозамкнених електричних мережах є досить складним процесом.

Методи розрахунку втрат від транзитних перетоків потужності

На даний момент в інженерній практиці різних країн використовується ряд методів, що дозволяють виконувати розрахунок втрат, як з однозначно заданою інформацією, так і з імовірно-статистичним оцінюванням втрат (регресійний аналіз) [5–7]. Вони є загально визнаними та фізично обґрунтованими. Похибка визначення загальних втрат по кожній вітці мережі для вказаних методів, як правило, є припустимою. Однак, однозначної методики розподілу втрат між учасниками енергообміну на даний час не існує.

У технічній літературі описано три групи методів розподілу втрат потужності:

1. Пропорційні методи (Pro Rata Procedures), що базуються на припущенні про рівні внески у втрати мережі генерацій і споживачів. Дані методи, як правило, не враховують особливості потокорозподілу та структуру електричної мережі (ЕМ) [6].

2. Так звані, граничні методи (Marginal procedures), що базуються на коефіцієнтах приросту втрат на передачу потужності (Incremental transmission loss (ITL) coefficients) [6, 8].

3. Дольові методи (Proportional Sharing Procedures), що базуються на визначенні потокорозподілу та лінеаризованому розподілі втрат від кожного учасника енергообміну [6, 9–11].

Отже, для розв'язання задач пов'язаних з втратами від транзитних перетоків можливе використання методу розрахунку та розподілу втрат потужності від взаємних перетоків у об'єднаних електричних мережах на основі методу накладання з використанням лінеаризації математичної моделі, шляхом визначення розрахункових струмових навантажень [11].

Метод дозволяє розподілити складові втрат потужності у вітці, оперуючи струмами, що викликаються в ній навантаженнями кожної з ЕЕС, в залежності від їх адміністративного розподілу, і базується на основних поняттях електротехніки та загальноприйнятих методах розрахунку усталеного режиму.

Використання даного методу на відміну від інших, дозволяє оцінювати ефективність керувальних впливів на транзитні перетоки потужності, а розв'язання задач керування транзитними втратами потужності на базі даного методу розрахунку та розподілу втрат дозволить створити умови для ефективної діяльності всіх суб'єктів електроенергетичної системи.

З метою оцінки впливу транзитних перетоків в ЕМ вищих класів напруг на режими роботи енергосистеми загалом, було виконано ряд розрахунків на прикладі фрагмента електричних мереж 110...750 кВ Південно-Західної ЕЕС (див. рис. 1). На рис. 1 також подано потокорозподіл в ЕМ, що аналізується, до введення транзиту потужності.

Далі для заданої ЕМ було імітовано протікання транзиту потужності величиною 1000 МВт шляхом введення відповідної потужності генерації у мережі А (вузол 599) та потужності споживання у мережі С, що має зв'язок з вузлом 808 електроенергетичної системи В.

Результати розрахунків (табл.) підтверджують, що збільшення перетоку потужності системоутворювальних мереж за рахунок введення транзиту, призводить до суттєвого збільшення втрат потужності у мережах всіх класів напруги електричної системи, а отже завантаження мереж нижчих класів напруги транзитними перетоками. Таким чином, процес керування транзитними перетоками потужності в ЕЕС повинен враховувати зміни параметрів ЕМ всіх класів напруг, тобто доцільно використовувати такий критерій оптимального керування:

$$\min \{ \Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{вн}} + \Delta P_{\text{нн}} \}.$$

Результати розрахунків

Мережа	Втрати без транзиту потужності, МВт	Втрати з транзитом потужності, МВт	Втрати від транзиту потужності, МВт	Оптимальні втрати з транзитом потужності, МВт	Величина зменшення втрат від керування, %
110 кВ	2,642	3,863	1,221	1,956	49,366
330 кВ	22,079	26,328	4,249	23,996	8,857

Зменшення втрат потужності та наближення потокорозподілу ЕЕС до оптимального, з огляду на наведений вище критерій керування можна досягти шляхом перерозподілу тра-

нзитного перетоку потужності у бік завантаження системоутворювальної мережі за рахунок наявних РП. Останнє, можливо за рахунок використання законів оптимального керування у вигляді критеріальних залежностей [12].

Для ілюстрації можливостей керування транзитними втратами потужності за рахунок наявних регулювальних пристроїв (РП), виконано ряд розрахунків усталеного режиму з варіюванням положень РП автотрансформаторів 750/330кВ (826-827 та 808-809). Укрупнені показники подано у таблиці.

Графічна залежність втрат потужності в ЕМ 330 кВ системи В від зміни повздовжньої та поперечної складової коефіцієнта трансформації вказаних вище регулювальних пристроїв, за наявності транзиту потужності, показана на рис 2а та 2б відповідно.

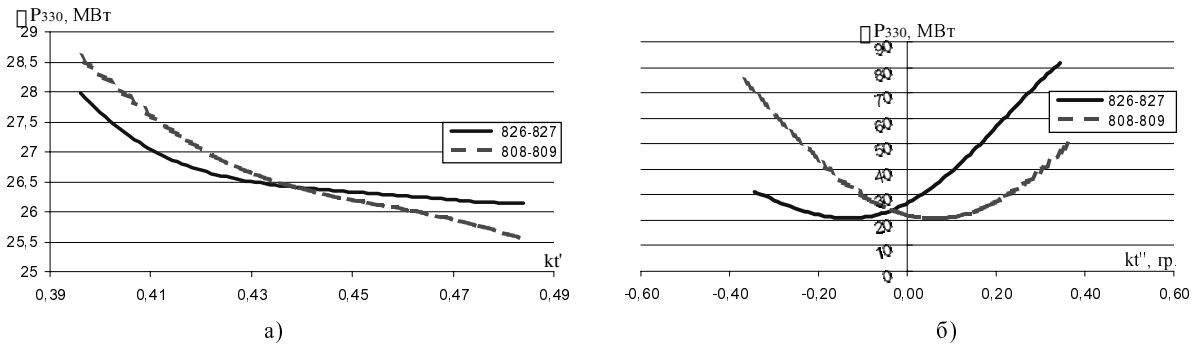


Рис. 2. Залежності втрат потужності у мережі 330 кВ від зміни:

а) повздовжньої складової коефіцієнта трансформації б) поперечної складової коефіцієнту трансформації

Розрахунки усталеного режиму та оцінка транзитних втрат потужності за методом, описаним в [11] з використанням наявних регулювальних пристроїв показали, що втрати потужності у мережах електричної системи мають низьку чутливість до зміни активних коефіцієнтів трансформації, тому регулювання поточкорозподілу за рахунок такого впливу є недоцільним.

Аналіз транзитних втрат потужності із зміною поперечної складової коефіцієнта трансформації трансформаторів 826-827 та 808-809 доводить, що втрати потужності у мережах електричної системи досить чутливі до зміни реактивних коефіцієнтів трансформації. Тому регулювання поточкорозподілу за рахунок поперечної складової коефіцієнта трансформації дозволить наблизити режим ЕЕС до оптимального, з огляду на потреби енергопостачальної компанії.

Закон оптимального керування нормальними режимами ЕЕС з метою компенсації неоднорідності враховуючи фактор часу, записується у вигляді коефіцієнтів трансформації для системи автоматичного керування [12]

$$\mathbf{k}_{*a}(t) = 1 - \pi_a^E \mathbf{J}_{*p}^E(t); \quad \mathbf{k}_{*p}(t) = -\pi_p^E \mathbf{J}_{*a}^E(t),$$

де $\mathbf{J}_{*a}^E, \mathbf{J}_{*p}^E$ – елементи векторів, що визначаються як відношення активних і реактивних

складових вузлових струмів поточного і базисного режимів; π_a^E, π_p^E – матриці критеріїв подібності для нормальних режимів роботи ЕЕС.

Наведені критеріальні співвідношення пов'язують вектори оптимальних комплексних коефіцієнтів трансформації та параметри поточного режиму ЕЕС через матриці постійних коефіцієнтів (критеріїв подібності) та характеризують залежність втрат у ЕЕС від неоднорідності її параметрів.

Зважаючи на результати проведених експериментів закон оптимального керування нормальними режимами ЕЕС з урахуванням фактору часу для керування транзитними втратами потужності може бути поданий аналогічно наведеному вище:

$$\mathbf{k}_{*a}(t) = 1 - \pi_{ta}^E \mathbf{J}_{*tp}^E(t); \quad \mathbf{k}_{*p}(t) = -\pi_{tp}^E \mathbf{J}_{*ta}^E(t),$$

де π_{ta}^E, π_{tp}^E – матриці коефіцієнтів зворотного зв'язку системи автоматичного керування транзитними перетоками потужності, що мають фізичний зміст критеріїв подібності поточного та умовно оптимального режимів ЕЕС; $\mathbf{J}_{*ta}^E(t), \mathbf{J}_{*tp}^E(t)$ – елементи векторів, що визна-

чаються як відношення активних і реактивних складових вузлових струмів поточного і базисного режимів для вузлів, що ініціюють транзитні перетоки потужності.

Переваги подібного підходу полягають у створенні передумов для автоматизації процесу керування транзитними перетоками потужності та взаємовпливом ЕМ різних класів напруги, використовуючи локально виміряні параметри.

Висновки

1. Збільшення перетоку потужності системоутворювальних мереж за рахунок введення транзиту, призводить до суттєвого збільшення втрат потужності у мережах всіх класів напруги електричної системи.

2. Процес керування транзитними перетоками потужності в ЕЕС повинен враховувати зміни параметрів електричних мереж всіх класів напруг.

3. Втрати потужності у мережах електричної системи найчутливіші до зміни реактивних коефіцієнтів трансформації. Тому регулювання поточкорозподілу необхідно проводити за рахунок поперечної складової коефіцієнта трансформації, що дозволить наблизити режим ЕЕС до оптимального, з огляду на потреби енергопостачальної компанії.

4. Керування транзитними втратами потужності можливе з використанням критеріального підходу, що дозволить враховувати зміни параметрів ЕМ всіх класів напруг та досягнути загальносистемного ефекту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабушкин В. М., Бондаренко Э. А., Черемисин И. М. Современное состояние энергетики Украины и проблемы ее развития // Электрические сети и системы. — 2003. — № 2. — С. 3—7.
2. Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень / Шидловський А. К., Стогній Б. С., Кулик М. М. та ін. — Київ: Українські енциклопедичні знання, 2004. — 468 с.
3. Яндульский А. С., Гинайло А. В., Мартинюк М. В. Синтез системы управления промышленной электрической подстанции // Электрические сети и системы. — 2004. — № 3. — С. 9—16.
4. Костышена Н. Некоторые экономические аспекты применения нормативного технологического расхода электроэнергии // Энергетическая политика Украины. — 2003. — № 7—8 — С. 80—82.
5. Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. — М: ЭНАС, 2003. — 280 с.
6. J. Conejo, J. M. Arroyo, N. Aiguacil, and A. L. Guijarro, «Transmission Loss Allocation: A Comparison of Different Practical Algorithms», Power Systems, IEEE Trans. Power Syst. — Vol. 17. — P. 571—576, Aug. 2002
7. Таласов А. Г. Потери на транзит электроэнергии и их распределение между участниками энергообмена // Электрические станции. — 2002. — № 1. — С. 20—25.
8. F. D. Galiana, A. J. Conejo, and I. Kockar, «Incremental transmission loss allocation under pool dispatch» IEEE Trans. Power Syst.. — Vol. 17. — P. 26—33, Feb. 2002.
9. Стогній Б., Павловський В. Определение транзитных потерь мощности в фрагментированных электрических сетях областных энергоснабжающих компаний // Энергетическая политика Украины. — 2004. — № 5. — С. 60—65.
10. D. Kirschen, R. Allan, and G. Strbac, «Contributions of individual generators to loads and flows» IEEE Trans. Power Syst. — Vol. 12. — P. 52—60, Feb. 1997.
11. Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Бурикин О. Б. Функціональна залежність складових втрат потужності у вітках електричної мережі від потужності у вузлах // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2005. — № 4. — С. 30—38.
12. Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Кравцов К. І. Моделирование та формування умов самооптимізації режимів електроенергетичної системи // Технічна електродинаміка / Тематичний випуск: проблеми сучасної електротехніки, ч. 3. — 2002. — С. 96—101.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом VIII Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2005, 24—27.10.2005 р)

Надійшла до редакції 10.11.05
Рекомендована до друку 22.11.05

Бурикін Олександр Борисович — аспірант кафедри електричних станцій та систем.

Вінницький національний технічний університет