

УДК 621.311.1

П. Д. Лежнюк, д-р. техн. наук, проф.; Н. В. Семенюк

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ Й ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІД ТРАНЗИТНИХ ПЕРЕТОКІВ

Проведено огляд наявного інформаційного забезпечення та запропоновано методу адресного визначення втрат активної потужності в передавальній системі, спричинених транзитом потужності до навантаження кожного зі споживачів.

Вступ

Сучасна електроенергетична система нашої країни — це складний, просторово рознесений ієрархічний об'єкт з багатьма зв'язками, який функціонує в умовах змінної структури, параметрів і режимів роботи із чисельними зовнішніми і внутрішніми збуреннями як систематичного, так і випадкового походження. Це все зумовлює високу складність задач керування та статистичного збору інформації — на сучасному етапі вже неможливо забезпечити їх розв'язання без відповідного інформаційного та програмного забезпечення. У 70-х рр. ХХ ст. було розпочато активне застосування АСДУ, АСКОЕ [1, 2], формування ієрархічних телеінформаційних мереж, які забезпечують передачу телеметричної інформації від енергооб'єктів до енергосистем; стрімкий розвиток засобів обчислювальної техніки і розробка методів і програмного забезпечення для оперативного керування режимами і їх планування.

В часи існування єдиної енергосистеми зниження втрат в електромережах було спільною задачею підвищення економічності роботи енергосистеми, і цей підхід, в принципі, актуальний і сьогодні — позаяк не кожне локальне зниження втрат в мережі підвищує економічність роботи енергосистеми у цілому. Але в умовах ринкового формування цін на електроенергію критерії оптимального функціонування різних суб'єктів ОРЕ можуть навіть суперечити один одному. В сучасних умовах переходу до двосторонніх договорів та балансуючого ринку електроенергії на перший план виходять задачі отримання максимального прибутку від продажу електроенергії, або мінімум затрат на енергоносії, які використовуються для виробництва, передачі і розподілу електроенергії, мінімум ціни на електроенергію. Однією з основних передумов їх вирішення є якісна оперативна інформація про технологічний стан мережі.

До галузевого інформаційного забезпечення постають нові вимоги — встановлення адресності і перетоків електроенергії, і технологічних втрат на її передачу; вироблення якісно нових підходів до оперативного керування та оптимізації технологічних процесів в частині передачі електричної енергії. Враховуючи сучасний рівень технічної оснащеності, це все може бути здійснено як з вигодою для окремо взятих енергокомпаній, так і для досягнення загальносистемного ефекту.

Як відомо, економічний аспект закупки електроенергії на ОРЕ не зовсім відповідає фізичним процесам її генерування та передачі [3], і при значних обсягах передавання електроенергії мережами енергосистеми в суміжні мережі зростають обсяги технологічних втрат.

Методологічні принципи економічних коефіцієнтів нормативних технологічних втрат електроенергії (НТВЕ), введені постановою НКРЕ [5] у 2006 р., які закладені в основу розрахунку визначення об'єму нормативних витрат електроенергії в мережах енергопостачальних компаній, мають економічний характер. Згідно зі запропонованим у ній підходом, кожна з енергокомпаній, мережі якої використовуються нею ж та однією чи кількома суміжними енергокомпаніями, всі нормативні витрати електроенергії, затверджені протоколом НТВЕ, розподіляють між собою та суміжними енергокомпаніями *пропорційно* об'ємам електроенергії, які віддаються споживачам цієї енергокомпанії та суміжним енергокомпаніям. Потім проводиться «взаємний обмін» частинами нормативних витрат електроенергії та визначається частина витрат, яка відповідає обсягам передачі електроенергії виключно для «своїх» споживачів.

У цій статті розглядаються питання, пов'язані з можливістю фізично обґрунтованого підходу до розрахунку втрат потужності й електроенергії від транзитних перетоків, підвищен-

ням ефективності функціонування електричних мереж за умови можливості відслідковування транзитів поставки електроенергії від конкретного поставника до конкретного споживача, а також відповідного інформаційного забезпечення поставлених задач.

Особливості методів визначення втрат від транзитних перетоків

На сьогодні у світі не існує АСКУЕ [6], які б дозволяли диференційовано визначати в структурі навантаження конкретного споживача частку електроенергії, яка виробляється конкретним генератором для випадку складно замкненої електричної мережі. З суто технічного погляду, поки неможливо якимось чином «помітити» електричну енергію для подальшого відслідковування шляху її проходження.

Реальнішим видається застосування розрахункових методів визначення транзитів перетікання потужності на основі телевимірюваної технологічної інформації в режимі реального часу з подальшим розв'язанням задачі оцінки стану. Пропоновані розрахункові методи на основі матричного і графового підходів у разі застосування дають суттєву похибку хоча б лише через те, що підґрунтям для розрахунку, слугують і суто економічні припущення, які не мають технічного пояснення та не можуть бути строго доведені. Тому їх застосування для обчислення кількості споживаної електроенергії для визначення розміру платежів завжди буде викликати у суб'єктів ОРЕ певні сумніви. В [5] ці втрати пропонується визначати методом лінеаризації усталених режимів, розрахованих для заданих часових зрізів, с подальшим використанням методу накладання. Похибка такого розрахункового методу включатиме лише похибку побудови розрахункової схеми, похибку телевимірювань та похибку інтегрування електричної потужності аналогічно до застосовуваних на практиці методів сальдованого обчислення втрат. Проте, оскільки кількість учасників енергообміну зростає, то можуть виникати труднощі із забезпеченням розрахунку серій режимів по кількості енергосуб'єктів мережі у кожний часовий зріз, що викликати особливі труднощі у випадку застосування такого методу в розподільчих мережах з великою кількістю споживачів.

Визначення оптимального значення втрат від транзитних перетоків

Втрати активної потужності dP за наявності е. р. с. неврівноваженості в хордах графа мережі можуть бути обчислені за відомою формулою

$$dP = \operatorname{Re}(\hat{J}^T \hat{U} - \hat{I}_\beta^T \hat{E}_{\text{ну}}), \quad (1)$$

де \hat{J}^T — транспонований вектор вузлових струмів; \hat{U} — вектор вузлових напруг відносно базисного вузла; \hat{I}_β^T — транспонований вектор струмів у хордах.

Зручно буде представити втрати активної потужності у вигляді суми двох складових

$$dP = dP_{\min} + \delta P_{\text{дод}}, \quad (2)$$

де dP_{\min} — мінімальне значення втрат активної потужності; $\delta P_{\text{дод}}$ — додаткові втрати в замкненій мережі.

$$dP_{\min} = \hat{J}^T M^{T-1} (R_e - R_e N^T R_k^{-1} N R_e) M^{-1} \hat{j}; \quad (3)$$

$$\delta P_{\text{дод}} = (\hat{E}_{\text{ну}} - \hat{E}_{\text{зр}})^T G_k^T (\hat{E}_{\text{ну}} - \hat{E}_{\text{зр}})^T, \quad (4)$$

де \hat{J}^T , \hat{j} , $\hat{E}_{\text{ну}}^T$, $\hat{E}_{\text{ну}}$, $\hat{E}_{\text{зр}}^T$, $\hat{E}_{\text{зр}}$ — відповідно вектори вузлових струмів, е. р. с. неурівноваженості і зрівнювальних е. р. с. (транспонований спряжений і дійсний); M — матриця з'єднань графа замкненої мережі, зведена до квадратної за допомогою введення додаткових вузлів; N — друга матриця з'єднань; R_b , $R_k = N R_b N^T$ — відповідно квадратні матриці активних опорів віток і контурів мережі; $G_k = \operatorname{Re}(N Z_b N^T)^{-1}$ — матриця активних контурних провідностей.

Розглянемо матрицю струмів у вітках (за наявності у схемі задавальних струмів і е. р. с.) у вигляді двох доданків, один з яких визначається задавальними струмами, інший — контурними струмами. При цьому в незалежних замкнутих контурах схеми виникає небаланс напруг; для того, щоб його компенсувати, треба ввести додаткові контурні струми (крім вихідних контурних струмів, які пов'язані з наявністю е. р. с. у вітках схеми). Тоді друге рівняння Кірхгофа запишеться у вигляді [8]

$$E_k = N \dot{Z}_B \dot{I}_B = N \dot{Z}_B M^{-1} \dot{J} + N \dot{Z}_B N^T \dot{I}_k = N \dot{Z}_B M^{-1} \dot{J} - N \dot{Z}_B N^T \dot{Y}_k N \dot{Z}_B M^{-1} \dot{J}$$

або
$$E_k = N \left(\dot{Z}_B - \dot{Z}_B N^T \dot{Y}_k N \dot{Z}_B \right) M^{-1} \dot{J}, \quad (5)$$

звідки очевидно, що опір $Z_H = \dot{Z}_B - \dot{Z}_B N^T \dot{Y}_k N \dot{Z}_B$ зумовлює наявність додаткової контурної е. р. с., спричиненою неоднорідністю схеми мережі. Для однорідної мережі активні опори віток, що відповідатимуть мінімально можливому рівню втрат у цій мережі, визначатимуться як

$$R_{\min} = R_B - R_B N^T \left(N R_B N^T \right) N R_B. \quad (6)$$

Відповідно, мінімально можливі втрати для цієї мережі при економічному перерозподілі потужностей, який визначається лише активними опорами елементів мережі і може бути обчислений за R_{\min} -схемою, обчислюємо за допомогою стандартних прийомів матричної алгебри, струми у вітках виражаємо через задавальні вузлові струми

$$dP_{\min} = \hat{J}^T M^{T^{-1}} R_{\min} M^{-1} \dot{J} \quad \text{або} \quad dP_{\min} = \hat{J}^T \mathfrak{R} \dot{J}. \quad (7)$$

Матрицю $\mathfrak{R} = M^{T^{-1}} R_{\min} M^{-1}$ можна визначити, як \mathfrak{R} — матрицю економічних вузлових опорів схеми, яка складається зі значень вхідних і загальних опорів ланцюгів схеми.

\mathfrak{R} матиме розмірність $[n \times n]$, де n — кількість вузлів мережі. Це дає можливість проаналізувати та точно визначити втрати активної потужності в передаючій системі, спричинені транзитом потужності до навантаження кожного з споживачів. Наприклад, якщо мережа споживача електричної енергії підключена до k -го вузла передавальної мережі, то втрати, спричинені перетіканням потужності у згаданий k -й вузол можна обчислити як

$$dP_{\min} \langle k \rangle = \hat{J}_k \sum_{j=1}^n \left(\dot{J}_j \mathfrak{R}_{k,j} \right) + \hat{J}_k \sum_{j=1}^{k-1} \left(\dot{J}_j \mathfrak{R}_{j,k} \right) + \hat{J}_k \sum_{j=k+1}^n \left(\dot{J}_j \mathfrak{R}_{j,k} \right) + \sum_{i=1}^{k-1} \left[\hat{J}_i \sum_{j=1}^{k-1} \dot{J}_j \mathfrak{R}_{j,i} \right] + \sum_{i=1}^{k-1} \left[\hat{J}_i \sum_{j=k+1}^n \dot{J}_j \mathfrak{R}_{j,i} \right] + \sum_{i=k+1}^n \left[\hat{J}_i \sum_{j=1}^{k-1} \dot{J}_j \mathfrak{R}_{j,i} \right]. \quad (8)$$

Використовуючи замість безрозмірного коефіцієнта трансформації контурну е. р. с. невіноваженості $\dot{E}_{\text{чв}} = (1 - k_t)U = 0$, обчислимо додаткову складову втрат активної потужності, викликану неоднорідністю схеми електричної мережі. Після перетворень

$$\dot{E}_{\text{чв}} = G_k^{-1} H \dot{J} \quad (9)$$

та врахування (4) додаткові втрати активної потужності можна характеризувати опором A

$$A = \left(-G_k^{-1} H \right)^T G_k \left(-G_k^{-1} H \right). \quad (10)$$

Знову ж таки, в загальному випадку, додаткові втрати для будь-якого іншого вузла k -схеми з n вузлів

$$\delta P_{\min} \langle k \rangle = \hat{J}_k \sum_{j=1}^n \left(\dot{J}_j A_{k,j} \right) + \hat{J}_k \sum_{j=1}^{k-1} \left(\dot{J}_j A_{j,k} \right) + \hat{J}_k \sum_{j=k+1}^n \left(\dot{J}_j A_{j,k} \right) + \sum_{i=1}^{k-1} \left[\hat{J}_i \sum_{j=1}^{k-1} \dot{J}_j A_{j,i} \right] + \sum_{i=1}^{k-1} \left[\hat{J}_i \sum_{j=k+1}^n \dot{J}_j A_{j,i} \right] + \sum_{i=k+1}^n \left[\hat{J}_i \sum_{j=1}^{k-1} \dot{J}_j A_{j,i} \right]. \quad (11)$$

Форми запису (8), (11) дають можливість проаналізувати та точно визначити *оптимальні* та *додаткові* (спричинені неоднорідністю) втрати активної потужності в передавальній системі, спричинені транзитом потужності до навантаження кожного зі споживачів, через задавальні струми у вітках, тобто, без розрахунку усталеного режиму та обчислення струмів у вітках мережі.

Висновки

Фізично обґрунтований підхід до розрахунку оптимальних та додаткових втрат потужності й електроенергії від транзитних перетоків дає змогу підвищувати ефективність функціонування електричних мереж, позаяк забезпечує можливості відслідковування транзитів поставки електроенергії від конкретного поставника до конкретного споживача.

Сучасне інформаційне забезпечення галузі не дає змоги виділяти транзитні втрати з загальних технологічних втрат, хоча приріст втрат електроенергії від транзитних перетікань деколи може бути співрозмірним з ефектом від організаційно-технічних заходів, які впроваджує персонал енергосистеми.

Оскільки транзитні втрати неможливо визначити простим сальдуванням балансу електроенергії або виміряти засобами обліку, застосування запропонованого підходу на практиці забезпечить точний розподіл втрати на передачу, базуючись на фізичних законах та реальному використанні системоутворюючої мережі споживачами електроенергії. Алгоритм оцінки міри використання мережі користувачем ефективний і точний, базуючись на ньому, можна пропонувати чесні і прозорі правила оплати за транзит.

Впровадження в Україні концепції ОРЕ вимагає дати відповідь на питання узгодження економічних договорів та фізичних шляхів проходження електроенергії. Для того, щоб забезпечити свою конкурентоспроможність, енергосистеми-транзитери повинні мати відшкодування за використання мереж, співрозмірне з мірою цього використання. Запропонований метод підрахунку може використовуватись для визначення ціноутворюючого фактора під час укладання двосторонніх договорів на балансуєчому ринку для ще більшої лібералізації ринку електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / [В. А. Баринев, А. З. Гамм, Ю. Н. Кучеров и др.]; под общей ред. Ю. Н. Руденко, В. А. Семенова. — М. : МЭИ, 2000. — 648 с.
2. Программно-вычислительный комплекс оценивания состояния энергосистем в реальном времени / Ю. А. Гришин, И. Н. Колосок, Е. С. Коркина [и др.] // Электричество. — 1999. — № 2. — С. 8—16.
3. Костышена Н. М. Экономический коэффициент нормативного технологического расхода электроэнергии как эквивалент стоимости этого расхода / Н. М. Костышена // Электрические сети и системы. — 2006. — № 5. — С. 47—52.
4. Постанова НКРЕ — 654 від 25.05.2006 «Про затвердження Положення про порядок подання, визначення та затвердження економічних коефіцієнтів нормативних технологічних витрат електроенергії» // Офіційний вісник України. — 2006. — № 22. — 1701 с.; Інформаційний Бюлетень НКРЕ. — 2006 р. — № 6.
5. Бурикі О. Б. Визначення втрат потужності від транзитних перетікань в електричних мережах мережах / О. Б. Бурикі, В. А. Видмиш, П. П. Медяний // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Електронне наукове фахове видання. — 2010. — № 1.
6. Клипков С. И. Особенности определения адресности передачи электроэнергии в электроэнергетических системах переменного тока [Электронный ресурс] / С. И. Клипков, А. И. Рижкевич, А. В. Семенов. — Режим доступа : <http://oik.energy.gov.ua/sti/graf/pdf/addressing.pdf>.
7. Лежнюк П. Д. Моделирование влияния неоднородности электрической системы на оптимальность її режимів / П. Д. Лежнюк, Д. І. Оболонський, Л. Р. Пауткіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 1996. — С. 44—49.
8. Математические задачи электроэнергетики / под ред. В. А. Веникова. — М. : Высшая школа, 1981. — 320 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 27.11.11

Лежнюк Петро Дем'янович — завідувач кафедри електричних станцій та систем.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Семенов Надія Віталіївна — інженер 1 категорії служби релейного захисту та автоматики.

Донбаська електроенергетична система, Горлівка