

О. Б. Бурикін, к.т.н.; В. А. Видмиш; П. П. Медяний

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ ВІД ТРАНЗИТНОГО ПЕРЕТІКАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

У статті запропоновано методику визначення втрат потужності від транзитних перетікань у мережах електричної системи. В основу методики покладено метод накладання. Розрахунки виконано на базі струморозподілу для лінійної моделі нормального режиму ЕС, яка повністю еквівалентна початковій нелінійній моделі для заданого моменту часу.

Ключові слова: електроенергетична система, транзит потужності, розподіл втрат потужності.

Вступ

В умовах паралельної роботи електричних систем (ЕС) у складі об'єднаних енергетичних систем (ОЕС) України для реалізації міжсистемного ефекту, раціонального використання енергоресурсів, а також для покриття дефіцитів потужності й електроенергії в окремих регіонах постає необхідність у значних перетіканнях електроенергії транзитом через мережі енергосистем. При цьому з'являються додаткові (порівняно з режимом без транзиту електроенергії) технологічні витрати електроенергії в мережах транзитера – втрати електроенергії від транзитних перетікань [1].

Останні не враховуються як окрема характеристика економічності режиму роботи ОЕС України в цілому, оскільки оптимальні режими розробляються службою оптимізації електричних режимів НЕК «Укренерго» за критерієм мінімуму сумарних витрат палива з урахуванням сумарних втрат в основних магістральних (системоутворювальних) електричних мережах.

Отже, приріст (або зменшення) втрат електроенергії від транзитних перетікань мережами транзитера порівняно з початковим значенням може бути викликаний зміною величини транзиту електроенергії з економічних міркувань, а також аварійними ситуаціями в суміжних енергосистемах.

Ще одним випадком впливу на величину втрат електроенергії від транзитних перетікань є зміна напруги в контрольних точках транзитної енергосистеми за рахунок оптимізації її режимів за реактивною потужністю та коефіцієнтами трансформації. Така оптимізація в межах однієї енергосистеми може суперечити оперативним вказівкам служби оптимізації НЕК «Укренерго» щодо ведення режимів, оскільки зменшення втрат електроенергії в транзитній енергосистемі може призводити до зростання загальносистемних втрат і, як наслідок, сумарних витрат палива.

Отже, на обсяги транзитних перетікань і, відповідно, на втрати електроенергії від них, практично не впливають диспетчерські служби енергосистеми, через мережі якої вони проходять [2].

Водночас, технологічні витрати електроенергії в мережах енергосистем є одним із планових показників. За результатами їх виконання, відповідно до колективного договору між адміністрацією і трудовим колективом, оцінюється ефективність роботи персоналу та здійснюється преміювання.

Отже, для об'єктивної оцінки діяльності персоналу енергосистеми зі зниження технологічних витрат електроенергії в мережах необхідно виділити з балансових втрат втрати електроенергії від транзитних перетікань як такі, що об'єктивно не можуть бути зменшені наявними засобами.

Втрати електроенергії від транзитних перетікань не можна виміряти лічильниками або

визначити з балансу електроенергії. Їхні значення можна знайти розрахунковим шляхом, виходячи з обсягів та характеру транзитного перетікання, а також режимів електричних мереж енергосистеми.

Співвідношення допустимих і транзитних втрат електроенергії в мережах енергосистем

Розрахунки допустимих втрат електроенергії в мережах енергосистем виконують для визначення обґрунтованого рівня втрат електроенергії за звітними балансовими і схемно-режимними даними роботи ліній протягом звітного періоду. Для отримання кінцевої величини втрат необхідно підсумувати втрати, спричинені навантаженням споживачів, втрати на корону і втрати у вимірювальних трансформаторах [3]. Під час розрахунку втрат на корону використовуються дані Гідрометцентру та типові залежності питомих втрат на корону від напруги та впливу навколишнього середовища. Втрати електроенергії у вимірювальних трансформаторах обчислюють, виходячи з їх кількості й нормативних значень середніх втрат. Для обчислення навантажувальної складової втрат електроенергії за звітними даними використовують метод поелементного розрахунку або його модифікації. При цьому втрати, пов'язані з транзитом електроенергії, входять у навантажувальні, але в окрему складову частину їх не виділяють.

Відповідно до зазначених складових частин допустимих втрат намічають впровадження організаційно-технічних заходів, таких як, оптимізацію схеми електричної мережі, застосування пристроїв регулювання напруги та компенсації реактивної потужності, заміну вимірювальних трансформаторів, які не відповідають класу точності через відсутність проектного навантаження, тощо.

Як показують розрахунки [4], зміна втрат електроенергії від транзитних перетікань у багатьох випадках, є розмірною з ефектом від організаційно-технічних заходів, які впроваджує персонал енергосистеми. Збільшення транзитного перетікання потужності відповідно до оперативних вказівок з оптимального ведення режимів може призвести до нівелювання ефекту від впровадження зазначених заходів і необ'єктивно знизити ефективність роботи персоналу енергосистеми.

Отже, виділення втрат електроенергії від транзитних перетікань у окрему складову за допомогою існуючих розрахункових методів є актуальним оскільки дозволить сформулювати більш ефективну систему матеріального заохочення працівників енергосистем.

Визначення втрат потужності в ЕС від транзитних перетікань

Задачу визначення втрат електроенергії від транзитних перетікань можна представити, як задачу визначення відповідних складових частин втрат у вітках заступної схеми ЕС, якими передається транзитна електроенергія. У [4] розроблено метод виділення втрат потужності від взаємних перетоків на основі коефіцієнтів розподілу втрат потужності, який базується на використанні виразу:

$$\Delta \dot{S}_i = 3 \cdot \left(\sum_{j=1}^m I_{ij}'^2 \mu_j' + \sum_{j=1}^m I_{ij}''^2 \mu_j'' \right) \cdot \dot{Z}_i, \quad (1)$$

де $\mu_j' = 1 + \frac{\sum_{\eta=1, \eta \neq j}^m I_{i\eta}'}{I_{ij}'}$, $\mu_j'' = 1 + \frac{\sum_{\eta=1, \eta \neq j}^m I_{i\eta}''}{I_{ij}''}$ – коефіцієнти впливу; \dot{Z}_i – опір і-ої вітки; I_{ij}' , I_{ij}'' – активна та реактивна складові струму в і-й вітці від струму навантаження j-го вузла.

З (1) видно, що втрати потужності у вітках заступної схеми ЕС, спричинені струмом j-го вузла, залежать не тільки від протікання через них струмового навантаження цього вузла, але і від значень інших часткових струмів, що протікають цією віткою, тобто спостерігається взаємовплив часткових струмів. Міра цього впливу характеризується коефіцієнтами μ_j' і μ_j'' .

Застосовуючи цей метод для визначення втрат потужності від окремого транзитного перегітання, необхідно враховувати, що до появи транзиту втрати потужності від взаємовпливу струму, спричиненого транзитною потужністю та струмів навантаження були нульові. Тобто, транзит потужності зумовлює як додаткові втрати від протікання струму транзиту, так і втрати від взаємовпливу. Тому втрати потужності від транзиту повинні включати втрати від власне струмового навантаження транзиту та взаємовпливу струмів основного та транзитного струморозподілу.

Розглянемо приклад схеми електричної мережі з транзитом потужності з вузла 1 до вузла 4 (рис. 1). Струмові навантаження вузлів електричної мережі визначено, завдяки використанню відомих з розрахунку режиму напруги \hat{U} та потужності навантаження \hat{S} вузлів схеми. Поперечна складова заступної схеми еквівалентується в розрахункових навантаженнях вузлів.

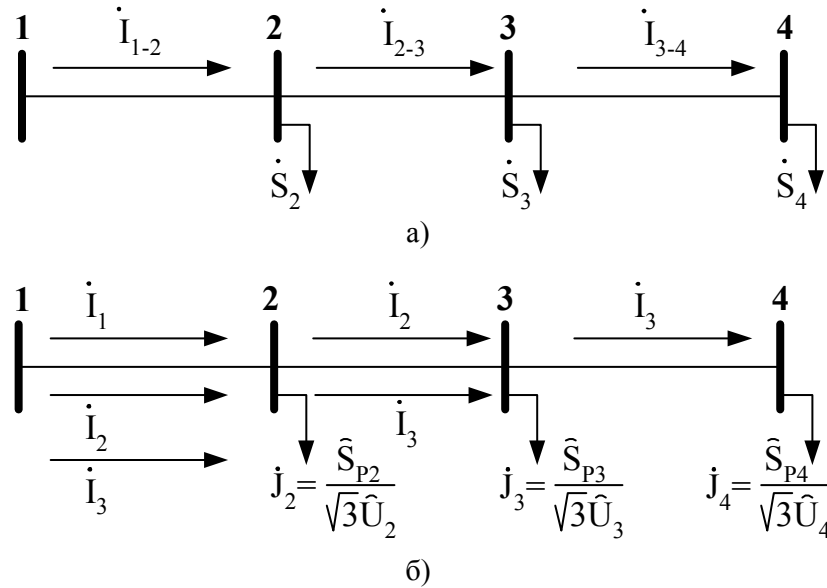


Рис. 1 Схема найпростішого випадку транзиту потужності

Згідно з методом накладання лінії 1 - 2 будуть протікати узгодженоспрямовані часткові струми \dot{I}_1, \dot{I}_2 , зумовлені навантаженням окремих споживачів, та \dot{I}_3 , спричинений протіканням транзитної потужності. У цьому випадку часткові струми (див. рис. 1 б) дорівнюють відповідним задаючим струмам $\dot{I}_1 = \dot{J}_2, \dot{I}_2 = \dot{J}_3, \dot{I}_3 = \dot{J}_4$. Отже, втрати потужності у даній ЛЕП 1 - 2 визначаються:

$$\Delta \dot{S} = 3 \cdot |\dot{I}_{1-2}|^2 \cdot \dot{Z}_{1-2} = 3 \cdot |\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3|^2 \cdot \dot{Z}_{1-2}.$$

Для дійсної площини рівняння набуде вигляду:

$$\Delta \dot{S} = 3 \cdot [(I'_1 + I'_2 + I'_3)^2 + (I''_1 + I''_2 + I''_3)^2] \cdot \dot{Z}_{1-2}, \tag{2}$$

де I', I'' – дійсні та уявні складові часткових струмів.

Виконавши ряд алгебраїчних перетворень, цей вираз можна звести до вигляду (2):

$$\Delta \dot{S} = 3 \cdot [I_1'^2 + 2I_1'I_2' + I_2'^2 + I_1''^2 + 2I_1''I_2'' + I_2''^2 + I_3'^2 + 2I_1'I_3' + 2I_2'I_3' + I_3''^2 + 2I_1''I_3'' + 2I_2''I_3''] \cdot \dot{Z}_{1-2}, \tag{3}$$

де виділяються складові від транзитного перегітання (з урахуванням взаємовпливу) та струмів навантаження:

$$\begin{aligned}\Delta\dot{S}' &= 3 \cdot \left[(I_1' + I_2')^2 + (I_1'' + I_2'')^2 \right] \cdot \dot{Z}_{1-2}; \\ \Delta\dot{S}_{mp} &= 3 \cdot \left[I_3'^2 + 2I_1'I_3' + 2I_2'I_3' + I_3''^2 + 2I_1''I_3'' + 2I_2''I_3'' \right] \cdot \dot{Z}_{1-2},\end{aligned}\quad (4)$$

або

$$\begin{aligned}\Delta\dot{S}' &= 3 \cdot \left| \dot{I}_{1-2} - \dot{I}_3 \right|^2 \cdot \dot{Z}_{1-2}; \\ \Delta\dot{S}_{mp} &= 3 \cdot \left[I_3'^2 + 2I_3'(I_1' + I_2') + I_3''^2 + 2I_3''(I_1'' + I_2'') \right] \cdot \dot{Z}_{1-2},\end{aligned}\quad (5)$$

де $\Delta\dot{S}'$ – втрати потужності від струмових навантажень вузлів електричної мережі транзитера без транзиту; $\Delta\dot{S}_{mp}$ – втрати потужності від транзиту.

Після спрощень, виконавши заміну $(I_1' + I_2') = (I_{1-2}' - I_3')$, $(I_1'' + I_2'') = (I_{1-2}'' - I_3'')$ та $I_3' = J_4'$, $I_3'' = J_4''$, отримаємо:

$$\Delta\dot{S}_{mp} = 3 \cdot \left[J_4'^2 \left(2 \frac{I_{1-2}'}{J_4'} - 1 \right) + J_4''^2 \left(2 \frac{I_{1-2}''}{J_4''} - 1 \right) \right] \cdot \dot{Z}_{1-2}.\quad (6)$$

Узагальнимо вираз виду (6) за аналогією до (1) на довільну кількість часткових струмів, що протікають по елементу електричної мережі:

$$\Delta\dot{S}_{mpi} = 3 \cdot (J_{mp}'^2 \mu_{mpi}' + J_{mp}''^2 \mu_{mpi}'') \cdot \dot{Z}_i,\quad (7)$$

де $\mu_{mpi}' = \left(2 \frac{I_i'}{J_{mp}'} - 1 \right)$, $\mu_{mpi}'' = \left(2 \frac{I_i''}{J_{mp}''} - 1 \right)$ – коефіцієнти втрат потужності від транзитного перетікання; I_i' , I_i'' – активна та реактивна складові частини сумарного струму в i -й вітці; n – кількість віток, по яких протікає транзитна потужність.

Вираз (7) є справедливим для випадку визначення втрат потужності від одного окремого транзитного перетікання, оскільки результат містить також втрати потужності від взаємовпливу, спричинені цим транзитом.

В якості транзитного перетікання потужності, що використовується для визначення J_{mp} , приймається менше із значень сумарної потужності, яка отримується енергосистемою або видається нею в суміжні енергосистеми, або у відповідності до існуючих домовленостей між учасниками енергообміну.

У випадку протікання мережею транзитера декількох транзитів виникає взаємовплив як між власне струмами транзитних перетікань, так і між струмами навантаження мережі транзитера і транзитними перетіканнями, що вимагає використання методики [3] й виразу (1).

Для визначення втрат електроенергії можливі два варіанти проведення розрахунків: коли відбувається постійний моніторинг втрат за даними телевимірювань і коли розрахунки здійснюються з використанням характеристик графіків навантажень [5]. В останньому варіанті здійснюється розрахунок втрат потужності для режиму максимальних навантажень ΔP_{max} або для середніх навантажень ΔP_{cp} . Використовуючи вказані втрати потужності розраховують втрати електроенергії ΔW для періоду T за відповідними формулами:

$$\Delta W = \Delta P_{max} \tau,\quad (8)$$

$$\Delta W = \Delta P_{cp} T k_{\phi}^2,\quad (9)$$

де τ – число годин найбільших втрат; k_{ϕ}^2 – коефіцієнт форми графіка навантажень.

Висновки

1. Параметри транзитних перетікань і відповідно втрати електроенергії від них практично не можуть коригуватися регульовальними засобами енергосистеми, через мережі якої вони проходять, а також не можуть бути виміряні лічильниками або визначені з балансу електроенергії. Зазначена складова втрат може визначатися розрахунковим шляхом, виходячи з обсягів і характеру транзитного перетікання, а також режимів основної мережі енергосистеми.

2. Збільшення транзитного перетікання потужності відповідно до оперативних вказівок щодо ведення режимів енергосистеми може призвести до нівелювання ефекту від впровадження організаційно-технічних заходів. Тому виділення втрат електроенергії від транзитних перетікань у окрему складову за допомогою розрахункових методів дозволить адекватно оцінювати роботу зі зниження технологічних витрат електроенергії в мережах енергосистем.

3. Модифікований метод визначення втрат потужності від окремого транзитного перетікання базується на фізично обґрунтованій схемі розрахунку втрат та основних поняттях електротехніки й загальноприйнятих методах розрахунку усталеного режиму. На відміну від багатьох інших методів, він дозволяє визначити втрати потужності від транзитного перетікання для заданого моменту часу на основі результатів розрахунку поточного режиму електричної мережі та вимірної (заданої) потужності транзиту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнюк П. Д. Додаткові втрати електроенергії як результат взаємовпливу електричних мереж / Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Бурикін О. Б., Поліщук А. Л. // Енергетика: проблеми та перспективи. Погляд громадськості – К.: ГРІФРЕ. – 2007. – № 4. – С. 180 – 184.
2. Указания о расчете расхода электроэнергии на транзитные межсистемные перетоки: РД 34.09.252 / Министерство энергетики и электрификации СССР. – Офіц. изд. – М.: ЦДУ ЕЭС СССР, 1979. – 8 с.
3. Методичні вказівки з аналізу технологічних витрат електроенергії та вибору заходів щодо їх зниження: ГНД 34.09.204-2004 / М-во палива та енергетики України. – Офіц. вид. – К.: ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2004. – 159 с.
4. Лежнюк П. Д. Взаємовплив електричних мереж в процесі оптимального керування їх режимами / Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Бурикін О. Б. – Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 123 с. – ISBN 978-966-641-253-2.
5. Железко Ю. С. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. // Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. – М.: ЭНАС, 2008. – 280 с. – ISBN 978-5-93196-910-7.

Бурикін Олександр Борисович – к. т. н., старший викладач кафедри електричних станцій та систем.

Видмиш Володимир Андрійович – асистент кафедри електричних станцій та систем.

Медяний Павло Павлович – магістрант кафедри електричних станцій та систем.

Вінницький національний технічний університет.