

ВПЛИВ ТРАНЗИТНИХ ПЕРЕТОКІВ ПОТУЖНОСТІ НА ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

О.А. Буславець¹, О.Б. Бурикін^{2*}, канд.техн.наук, П.Д. Лежнюк², докт.техн.наук

¹ – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України,
вул. Хрещатик, 30, Київ, 01601, Україна,

² – Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна.

e-mail: buslavets@ukr.net, lpd@inbox.ru, mr.burykin@mail.ru

Розглянуто питання підвищення техніко-економічної ефективності роботи електричних мереж в умовах електропостачання за двосторонніми договорами і в умовах балансуючого ринку електроенергії за рахунок врахування впливу транзитних перетоків потужності на втрати електроенергії від різних незалежних виробників. Втрати електроенергії від транзитних перетоків і надання для них адресності пропонується визначати за аналітичними виразами. Значення в них напруги та потужностей генерування і споживання у вузлах уточнюються за даними оперативно-інформаційного комплексу. Бібл. 4.

Ключові слова: електрична мережа, втрати від транзитних перетоків електроенергії, адресність втрат потужності.

Останнім часом суттєво покращується інформаційне забезпечення електричних мереж енергосистем. Впровадження сучасних оперативно-інформаційних керуючих комплексів (ОІКК) та програмного забезпечення дозволяють ставити нові задачі щодо планування і реалізації оптимальних режимів [2]. Уточнюються розрахункові моделі визначення і планування (нормування) втрат електроенергії в електричних мережах. Одним із напрямків вдосконалення методики планування втрат електроенергії в нових умовах є визначення втрат від транзитних перетоків і надання їм адресності. Виділивши ці втрати з сумарних втрат в електричних мережах, стає можливим аналізувати причини, що впливають на їхні значення, і обґрунтовувати заходи щодо їхнього зменшення [3]. Мета даної роботи – показати, що втрати від транзитних перетоків можуть визначатися не тільки статистичним, а й аналітичним методом, коли видно вплив кожного елемента мережі на втрати електроенергії в ній. У магістральних мережах умови для цього практично створені, а у розподільних мережах для забезпечення необхідної у ринку електроенергії точності необхідно розвивати інформаційне забезпечення.

Електричні мережі передавальних компаній та постачальників об'єднані на паралельну роботу, що через їхню неоднорідність ускладнює передачу електроенергії. Це проявляється у взаємовпливі режимів магістральних і розподільних мереж, що негативно позначається на перетоках потужностей між електричними мережами систем різної напруги, а також на адресних перетоках потужності за двосторонніми договорами. Результатом взаємовпливу режимів електричних мереж є додаткові втрати електроенергії, які необхідно враховувати під час розв'язання задачі визначення ціни за електроенергію для кожного споживача з врахуванням втрат потужності при її передачі цьому споживачеві від різних незалежних виробників енергії. Тобто перехід до нової концепції функціонування та розвитку ринку електричної енергії передбачає розподіл втрат потужності між споживачами (залежно від їхнього впливу на режими роботи електричної мережі) з метою врахування їх у тарифах на електроенергію.

Одним із шляхів розв'язання цієї задачі є визначення технічних витрат електроенергії (ТВЕ) в електричних мережах від адресних перетоків потужності. Це значення може бути закладене у двосторонніх договорах з метою отримання науково обґрунтованої структури прогнозних та звітних значень технологічних витрат електроенергії в електричних мережах постачальників за відповідний розрахунковий період на основі офіційних звітних даних про технічні параметри елементів мереж та структуру балансу електроенергії.

На сьогодні нормативні характеристики ТВЕ в електричних мережах розробляються на основі звітних технічних даних електричних мереж за базовий рік та схем нормального режиму електричної мережі кожного ступеня напруги на розрахунковий період, у якій враховані заплановані на цей період заходи зі зниження ТВЕ, та не залежить від режимних факторів та обсягів передачі електроенергії [1, 4]. Заплановані характеристики ТВЕ є постійними для розрахункового періоду (року), для якого вони розроблені. Розроблення характеристик ТВЕ електричних мереж ступенів напруги 110 і 150 кВ, особливо у разі наявності у них замкнених контурів, доцільно виконувати у вигляді розрахункової схеми мережі і технічних даних ЛЕП та трансформаторів кожного ступеня напруги.

Обчислення технічних розрахункових втрат електроенергії у структурі ТВЕ за розрахунковий період у кожній ділянці ЛЕП та кожному трансформаторі електричних мереж ступенів напруги 110 і 150 кВ (поелементний розрахунок) виконуються на підставі конкретних нееквівалентованих параметрів цих елементів, обсягів перетоків активної і реактивної енергій через ці елементи, фактичних значень напруг чи підтверджених офіцій-

но електроенергетичною системою даних про середньоексплуатаційні рівні напруги в усіх центрах живлення, а також з врахуванням втрат електроенергії в інших елементах мережі.

Враховуючи існуючий підхід до розроблення характеристик ТВЕ для обчислення розрахункових втрат електроенергії в електричних мережах від транзитних перетоків потужності, можна скористатися представленим у [3] методом, в якому втрати потужності від транзитних перетоків і надання їм адресності пропонується знаходити шляхом лінеаризації усталених режимів, розрахованих для заданих часових зрізів, з наступним використанням методу накладання. Такий підхід дозволяє визначити, від яких джерел електроенергії (незалежних виробників електроенергії) та у якій кількості передається електроенергія до заданого вузла (споживача). По суті, задача знаходження складової втрат електроенергії від адресних перетоків є задачею визначення відповідних складових у вітках мережі, якими передається адресна електроенергія за двосторонніми договорами. Показано, що втрати у вітках схеми мережі залежно від потужності у вузлах мережі складають

$$\Delta \dot{S}_b = \dot{A}_k \dot{S} + \Delta \dot{S}_{nb}, \quad (1)$$

де \dot{S} – вектор потужностей у вузлах; \dot{A}_k – матриця коефіцієнтів розподілу втрат потужності у вітках розрахункової схеми мережі від потужностей вузлів з урахуванням коефіцієнтів трансформації трансформаторів зв'язку; $\Delta \dot{S}_{nb}$ – вектор-стовпець втрат потужності у вітках схеми від ЕРС незбалансованих коефіцієнтів трансформації.

У (1) кожний рядок матриць \dot{A}_k та $\Delta \dot{S}_{nb}$ визначається

$$\dot{A}_{ki} = (\dot{U}_t \dot{M}_{\Sigma ki}) \hat{C}_{ki} \dot{U}_d^{-1}; \quad \Delta \dot{S}_{nbi} = (\dot{U}_t \dot{M}_{\Sigma ki}) \hat{D}_{bi} \dot{U}_b, \quad (2)$$

де \dot{A}_{ki} – вектор-рядок матриці коефіцієнтів розподілу втрат потужності для i -ї вітки мережі від потужності в її вузлах з урахуванням комплексних коефіцієнтів трансформації; $\Delta \dot{S}_{nbi}$ – втрати в i -й вітці від ЕРС незбалансованих коефіцієнтів трансформації трансформаторів зв'язку; \dot{U}_t – транспонований вектор напруг у вузлах; $\dot{M}_{\Sigma k}$ – матриця зв'язків віток з вузлами схеми з урахуванням коефіцієнтів трансформації; \dot{U}_d – діагональна матриця напруг у вузлах; \hat{C}_k – спряжена матриця струморозподілу з урахуванням трансформаторних зв'язків; \hat{D}_b – спряжена матриця провідностей, яка формує зрівнювальні струми від незбалансованих коефіцієнтів трансформації у замкнутих контурах; \dot{U}_b – вектор-стовпець напруг балансуючих вузлів.

Варто відзначити, що коефіцієнти розподілу втрат залежать від значень напруги у вузлах, що визначаються навантаженнями й генеруванням у вузлах схеми, а також від параметрів схеми, які за певних припущень приймаються постійними, але такими вони не є, оскільки залежать від температури навколишнього середовища та навантаження. Врахування цих факторів дозволяє стверджувати, що нелінійність залежності втрат від параметрів режиму зберігається.

Можливі два варіанти визначення нормативних адресних втрат електроенергії. Коли здійснюється постійний моніторинг втрат за даними ОІКК верхнього рівня і коли розрахунки втрат електроенергії виконуються на період T з використанням характеристик графіків навантажень. У першому варіанті при зміні режиму електричних мереж необхідно перераховувати матрицю коефіцієнтів розподілу втрат у вітках, тому що значення її елементів залежать від напруги у вузлах. При цьому визначення матриці коефіцієнтів розподілу втрат потужності характеристики ТВЕ виконується шляхом прямого розрахунку за розрахунковий період із використанням фактичних даних про надходження енергії від різних джерел та віддачу електроенергії сусіднім ліцензіатам-передавачам та споживачам. Розрахунок ведеться з використанням інформації про потоки активної і реактивної енергії (потужності), отриманої за допомогою ОІКК. Як часто необхідно перераховувати матрицю \dot{A}_k , залежить від тривалості розрахункового періоду.

Для формування розрахункової моделі, за допомогою якої обчислюють матрицю коефіцієнтів розподілу втрат потужності в ЛЕП, трансформаторах та інших елементах за розрахунковий період (місяць), розробляють базовий режим розрахункового періоду на основі параметрів елементів розрахункової схеми, що є найбільш близькою до схеми нормального режиму розрахункового періоду (місяця) за структурою навантажень та поточкорозподілу. Під час підготовки базового режиму для розрахункового періоду за основу вибирається один із характерних режимів (зимовий максимум, літній максимум, літній мінімум, паводковий режим і т.ін.), розроблений на підставі даних контрольних вимірювань. Під час розробки базового режиму розрахункового місяця у розрахункову схему вибраного базового режиму необхідно внести корективи з метою врахування особливостей схеми та режиму роботи мережі у розрахунковому періоді, наприклад, відключення чи включення вузлів і віток, корекція значень напруг у вузлах основних центрів живлення та ін.

В іншому варіанті здійснюється розрахунок втрат потужності для режиму максимального адресного перетікання ΔP_{\max} або для середнього значення потужності, переданої i -му споживачеві згідно з домовленим графіком ΔP_{cp} . Втрати електроенергії від адресних потоків ΔW за період T визначаються

$$\Delta W = \Delta P_{\max} \tau, \quad \text{або} \quad \Delta W = \Delta P_{cp} T k_{\phi}^2, \quad (3)$$

де τ – число годин найбільших адресних втрат; k_{ϕ}^2 – коефіцієнт форми графіка навантажень i -го споживача, для якого визначається його участь у сумарних втратах.

У першому випадку, щоб скористатися формулою (1) для визначення втрат, потрібно знати матрицю \dot{A}_k , яка визначається за результатами розрахунку усталеного режиму. Для цього, як відомо, потрібен відповідний об'єм інформації. Вона формується в базі даних ОІКК. У другому випадку ΔP_{\max} і $\Delta P_{\text{ср}}$ у (3) також визначаються за результатами розрахунку усталеного режиму. Для визначення τ і k_{ϕ}^2 потрібно знати планований графік споживання потужності й відхилення від нього реального графіка, який в умовах ринку з різних причин може істотно відрізнятися від договірної. Таким чином, похибка визначення втрат електроенергії залежить від точності параметрів електричної мережі і параметрів її режиму, а також від умов електроспоживання. Для контролю й оптимального керування адресними потоками потужності в електричних мережах і визначення адресних втрат електроенергії потрібні подальший розвиток й удосконалення існуючого інформаційного і програмного забезпечення.

1. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2009. – 465 с.
2. Кириленко А.В., Прихно В.Л., Черненко П.А. Двухуровневый программный комплекс для решения задач оперативного управления электроэнергетическими системами // Техн. электродинамика. Тем. вып. "Проблеми сучасної електротехніки". – 2008. – Частина 3. – С. 33–38.
3. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурыкин О.Б. Взаемовлияние электрических сетей в процессе оптимального управления их режимами. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 123 с.
4. ГНД 34.09.104-2003. Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0.38-150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних витрат електроенергії. – К., 2004. – 128 с.

УДК 621.311.1

ВЛИЯНИЕ ТРАНЗИТНЫХ ПЕРЕТОКОВ МОЩНОСТИ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

О.А. Буславец¹, А.Б. Бурыкин², канд.техн.наук, П.Д. Лежнюк², докт.техн.наук

¹ – Министерство энергетики и угольной промышленности Украины, ул. Крещатик, 30, Киев, 01601, Украина,

² – Винницкий национальный технический университет, Хмельницкое шоссе, 95, Винница, 21021, Украина.

e-mail: buslavets@ukr.net, lpd@inbox.ru, mr.burykin@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы повышения технико-экономической эффективности работы электрических сетей в условиях электроснабжения по двусторонним договорам и в условиях балансирующего рынка электроэнергии за счет учета влияния транзитных перетоков мощности на потери электроэнергии от разных независимых производителей. Потери электроэнергии от транзитных перетоков и предоставление им адресности предлагается определять в аналитическом виде. Значения напряжения, мощности генерирования и потребления узлов уточняются по данным оперативно-информационного комплекса. Библ. 4.

Ключевые слова: электрическая сеть, потери от транзитных перетоков энергии, адресность потерь мощности.

THE IMPACT OF TRANSIT OVERFLOWS OF POWER ON LOSSES IN THE POWER GRIDS

O. Buslavets¹, O. Burykin², P. Lezhnyuk²

¹ – Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, Khreshchatyk str., 30, Kyiv, 01601, Ukraine,

² – Vinnytsia National Technical University,

Khmelnytske Shose, 95, Vinnytsia, 21021, Ukraine.

e-mail: buslavets@ukr.net, lpd@inbox.ru, mr.burykin@mail.ru

The article deals with the increase of technical and economic efficiency of electrical grids operation in conditions of energy supply under the bilateral contracts and in conditions of balancing power market, taking into account the impact of transit overflows of power on electricity losses from various independent producers. Electric energy losses from transit overflows and provide for them by targeting proposes that the analytical expressions. Meaning they voltages and power generation and consumption in the nodes according to specified operational and information complex. Reference 4.

Key words: electrical power network, transit power flow losses, power losses targeting.

1. Zhelezko J.S. Electricity losses. Reactive power. Power Quality: Guidelines for practical calculations. – Moskva: ENAS, 2009. – 465 p. (Rus)
2. Kyrylenko A.V., Prykhno V.L., Chernenko P.A. Split-level program complex for power systems operational management tasks solving // Tekhnichna Elektrodynamika. Тем. выпуск "Problemy suchasnoi elektrotekhniki". – 2008. – Part 3. – Pp. 33–38. (Rus)
3. Lezhnyuk P.D., Kulyk V.V., Burykin O.B. United power system electric networks interference in the process of their modes optimum control: Monografiya. – Vinnytsia: Universum-Vinnytsia, 2008. – 123 p. (Ukr)
4. SND 34.09.104-2003. Methodological guidance for power balance structuring in electric networks of 0.38-150 kV, analyze its components and technological electricity expenses rationing. – Kyiv, 2004. – 128 p. (Ukr)

Надійшла 03.02.2016
Остаточний варіант 11.04.2016