



УДК 621.31.1.017

© 2007

Академік НАН України Г. Г. Півняк, О. В. Волков,  
О. Г. Мирошніченко

### Уточнений розрахунок втрат електроенергії в енергосистемі

*The refined calculations of the electric power losses in an energy system caused by the power transmission to a separate energy-consumer are performed.*

При ринкових умовах господарювання стало особливо важливим і актуальним завдання формування об'єктивного тарифу оплати електроенергії (е/е). Зокрема, даний тариф повинен об'єктивно враховувати транспортні втрати (у вигляді електричних втрат енергії в ділянках енергосистеми) при передачі е/е до окремого електроспоживача (ЕСп). Методи ж розрахунку вказаних втрат, що існують нині, є неточними і наближеними і викликають справедливую критику в науково-технічній літературі [1]. Дана робота присвячена уточненому розрахунку втрат активної потужності (ВАП) у довільній ділянці енергосистеми (ЕС) і загальних втрат е/е в енергосистемі, викликаних передачею електроенергії до окремого ЕСп.

Визначимо загальні (сумарні) ВАП  $\Delta P_m$  у довільній  $m$ -й ділянці енергосистеми (ДЕС), викликані протіканням по ньому загальної (сумарної) АП  $P_m$ . Для уточненого розрахунку вказаних втрат скористаємося методом, запропонованим у роботі [2] (стосовно визначення ВАП, що викликаються реактивною потужністю окремого ЕСп). Згідно з даним методом, згадані загальні ВАП  $\Delta P_m$  визначаються із співвідношень:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_m &= CP_m = d_{m0}\lambda_m P_m; \\ d_{m0} &= \frac{\Delta P_{m0}}{P_{m0}}; \quad \lambda_m = \frac{|P_m|}{P_{m0}}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $P_{m0}$  і  $\Delta P_{m0}$  — контрольне значення АП в  $m$ -й ДЕС ( $d_{m0} > 0$ ) і відповідне їй виміряне значення сумарних ВАП для цієї ділянки;  $C$  — постійна величина для даної ділянки енергосистеми (що враховує собою напругу на ділянці і сумарний активний опір даної ділянки);  $d_{m0}$  — нормоване значення економічного еквівалента активної потужності (ЕЕАП) для  $m$ -ї ДЕС;  $\lambda_m$  — поточне значення коефіцієнта завантаження по АП розглядуваної  $m$ -ї ДЕС.

Зведемо перше співвідношення з (1) до такого еквівалентного вигляду:

$$\Delta P_m = (\text{sign } P_m) d_{m0} \lambda_m P_m, \quad (2)$$

що враховує два можливі напрями (дві полярності) АП  $P_m$  в  $m$ -й ДЕС. При цьому у відповідних до вузла ДЕС за позитивний ( $P_m \geq 0$ ) прийнято напрям АП до вузла, а в ДЕС, що відходять, навпаки, від вузла [3].

Із залежності, одержаної в роботі [3], розрахуємо складову  $P_{m(n)}$  у складі загальної АП  $P_m$   $m$ -ї ДЕС, викликану впливом активної потужності  $P_n$  окремого  $n$ -го ЕСП:

$$P_{m(n)} = \xi_m \eta_s P_n, \quad (3)$$

де  $\xi_m$  — коефіцієнт розподілу по АП у  $s$ -му вузлі (до якого підключена  $m$ -та відповідна ДЕС);  $\eta_s$  — передавальний коефіцієнт по АП до  $s$ -го вузла (від вузла, до якого підключений  $n$ -й електроспоживач). Співвідношення для розрахунку коефіцієнтів  $\xi_m$  і  $\eta_s$  наведені в [3].

Загальне (сумарне) значення АП  $P_m$  в  $m$ -й ДЕС складається з суми складових  $\dots P_{m(n)}$ ,  $P_{m(N)}$  АП, викликаних в  $m$ -й ДЕС дією усіх  $1, 2, \dots, n, \dots, N$  електроспоживачів відповідно:

$$P_m = P_{m(1)} + P_{m(2)} + \dots + P_{m(n)} + \dots + P_{m(N)}. \quad (4)$$

Після підстановки (4) у (2) обчислимо загальне значення ВАП в  $m$ -й ДЕС:

$$\begin{aligned} \Delta P_m &= (\text{sign } P_m) d_{m0} \lambda_m [P_{m(1)} + P_{m(2)} + \dots + P_{m(n)} + \dots + P_{m(N)}] = \\ &= \Delta P_{m(1)} + \Delta P_{m(2)} + \dots + \Delta P_{m(n)} + \dots + \Delta P_{m(N)}, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $\dots, \Delta P_{m(n)}, \dots, \Delta P_{m(N)}$  — складові загальних ВАП, що викликаються окремим впливом відповідно 1-го, 2-го,  $\dots$ ,  $n$ -го,  $\dots$ ,  $N$ -го ЕСП.

Зважаючи на (3) і (5), визначимо складову ВАП, викликану в  $m$ -й ДЕС дією АП  $P_n$  окремого  $n$ -го ЕСП, у вигляді:

$$\Delta P_{m(n)} = (\text{sign } P_m) d_{m0} \lambda_m P_{m(n)} = (\text{sign } P_m) d_{m0} \lambda_m \xi_m \eta_s P_n. \quad (6)$$

Позитивне значення складової ВАП  $\Delta P_{m(n)}$  свідчить про те, що  $n$ -й ЕСП своєю АП  $P_n$  створює у розглядуваній  $m$ -й ДЕС втрати активної потужності (тому зобов'язаний у подальшому провести відповідну плату енергопостачальній компанії за збиток, що завдається цими втратами). Негативне ж значення ВАП  $\Delta P_{m(n)}$  означає, що своєю АП  $P_n$   $n$ -й ЕСП, що розглядається, зменшує втрати активної потужності в  $m$ -й ДЕС (за допомогою компенсації складових активних потужностей протилежного знаку, викликаних в даній ДЕС іншими електроспоживачами). В останньому випадку, очевидно,  $n$ -й ЕСП не повинен проводити сплату за втрати активної потужності в  $m$ -й ДЕС, але цьому ЕСП слід здійснити доплату (із коштів, що стягуються з інших електроспоживачів) за послуги по компенсації активної потужності останніх (оскільки дані послуги привели до фактичного зменшення ВАП в  $m$ -й ДЕС і, як наслідок, в усій енергосистемі в цілому).

Виходячи з (6), знайдемо загальні втрати активної потужності, що викликаються в усіх ділянках енергосистеми дією АП  $P_n$  окремого  $n$ -го ЕСП:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\Sigma(n)} &= \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \Delta P_{m(n)} = D_n P_n, \\ D_n &= \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M (\text{sign } P_m) d_{m0} \lambda_m \xi_m \eta_s, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де  $M$  — загальна кількість відповідних ділянок для  $s$ -го вузла енергосистеми;  $S$  — загальна кількість вузлів в енергосистемі;  $D_n$  — сумарне значення ЕЕАП для  $n$ -го електроспоживача.

З урахуванням останнього розрахуємо загальні втрати активної е/е  $\Delta E_n$  в енергосистемі, викликані за розглядуваний період часу  $t_p$  дією активної потужності  $P_n$  окремого  $n$ -го ЕСП:

$$\Delta E_n = \int_0^{t_p} \Delta P_{\Sigma(n)} dt = \int_0^{t_p} D_n P_n dt. \quad (8)$$

При цьому поточне значення АП  $P_n$  окремого  $n$ -го ЕСП може бути знайдено через контрольовані (електричними лічильниками) поточні значення  $WP_n$  споживаної ним активної е/е у вигляді:

$$P_n = \frac{d(WP_n)}{dt} \approx \frac{\Delta(WP_n)}{\Delta t}. \quad (9)$$

При використанні сучасних систем автоматизованого контролю і знімання показань лічильників е/е розрахунок згаданих загальних втрат  $\Delta E_n$  електроенергії, викликаних в енергосистемі дією активної потужності  $P_n$   $n$ -го ЕСП, можна здійснювати, враховуючи (8) і (9), із співвідношення:

$$\Delta \Theta \approx \sum_{i=0}^{t_p} D_{ni} \Delta(WP_{ni}), \quad (10)$$

де індексом “ $i$ ” позначено сумарне значення економічного еквівалента активної потужності  $D_{ni}$  та зміну активної потужності, що відносяться до  $i$ -го часового інтервалу дискретності ( $\Delta t_i$ ) автоматизованого контролю активної е/е в ділянках і вузлах енергосистеми.

Отримані уточнені залежності для розрахунку втрат електроенергії в енергосистемі при передачі електроенергії до окремого ЕСП враховують (на відміну від усіх відомих): по-перше, поточне завантаження ділянок енергосистеми активною потужністю; по-друге, справедливий розподіл активної потужності в ділянках енергосистеми (запропоноване в [3]); по-третє, можливу взаємокомпенсацію активних потужностей в ділянках енергосистеми (при протилежних знаках вказаних складових, викликаних впливом різних електроспоживачів); по-четверте, будь-яку схемну конфігурацію енергосистеми (зокрема, з послідовним, послідовно-паралельним або кільцевим з'єднанням в ній ділянок).

1. Держский В. Г. Тарифная политика и потери электроэнергии в распределительных сетях // Сети и системы. — 2003. — № 4. — С. 25–30.
2. Волков А. В., Мирошниченко О. Г. Расчет потерь в энергосистеме, вызванных реактивной мощностью отдельного электропотребителя // Техн. електродинаміка. — 2005. — № 5. — С. 62–69.
3. Півняк Г. Г., Волков О. В., Мирошниченко О. Г. Розподіл електричної активної потужності окремого електроспоживача на ділянках енергосистеми // Доп. НАН України. — 2007. — № 10. — С. 86–90.

Національний гірничий університет, Дніпропетровськ  
Запорізький національний технічний університет

Надійшло до редакції 28.03.2007