

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ЕКВІВАЛЕНТІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ЗАМКНЕНИХ МЕРЕЖ

В даний час найбільш актуальною задачею в електроенергетиці є зниження технологічних втрат електричної енергії. Нормовані технологічні втрати в мережах електроенергетичних компаній України становлять 15...18%, що майже у два рази більше, ніж у мережах енергосистем колишнього СРСР (9...10% за станом на 1990 р.) і в 2,5...3 рази порівняно із західними країнами [1].

Основним заходом для вирішення даної проблеми є широке впровадження в електричних мережах споживачів і енергокомпаній (ЕК) оптимальної (за критерієм мінімальних втрат) компенсації реактивної потужності. Із [2] виходить, що при впровадженні всіх відомих заходів зниження технологічних втрат електричної енергії в електричних мережах на КРН приходить біля 80%. Але впровадження КРН натикається на ряд невирішених питань. До цих пір відсутній ряд нормативних документів (методика системного розрахунку компенсації реактивних навантажень, методика розрахунку плати за перетікання реактивної енергії між суб'єктами оптового ринку та ін.). Єдиним документом, який був розроблений для вирішення такої потужної проблеми, є "Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами", яка була розроблена та впроваджена в 1998 - 2002 роках [3]. Але ця „Методика...” виявилась далеко недосконалою. Розглянемо таке поняття методики, як економічний еквівалент реактивної потужності (ЕЕРП). В методиці були розроблені програмні комплекси для визначення ЕЕРП в мережах регіональних енергосистем ( $D_1$ ) і обласних енергопостачальних компаній ( $D_2$ ).

Математичний апарат для розрахунку економічних еквівалентів реактивної потужності (ЕЕРП) для електричних мереж довільної конфігурації та різних класів напруги було висвітлено друком [4-9]. Цей математичний апарат був прийнятий за основу розробниками "Технологічних умов впровадження та використання методики розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії

між енергопостачальною організацією та її споживачами" [10].

Згідно з цими умовами числове значення ЕЕРП для конкретного вузла електричної мережі в характерному електричному режимі розраховується як часткова похідна від сумарних втрат активної потужності за реактивною потужністю цього вузла. Як відомо, електричні мережі енергосистем поділяються на замкнені системоутворювальні 750...220 кВ та розподільчі розімкнені мережі 110...10 кВ. Відповідно до цього розподілу, ЕЕРП також поділяють на дві складові:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_n} = \frac{\partial \Delta P_1}{\partial Q_n} + \frac{\partial \Delta P_2}{\partial Q_n} = D_1 + D_2 = D, \quad (1)$$

де  $\Delta P_1$ ,  $\Delta P_2$  - складові втрат в виділених частинах схеми;

$Q_n$  - реактивна потужність конкретного вузла;

$D_1$ ,  $D_2$  - складові ЕЕРП для цього вузла.

За формулою (1) визначається швидкість зміни втрат  $\Delta P$  при зміні  $Q$  або коефіцієнт питомої зміни втрат активної потужності при зміні реактивної потужності, а не ЕЕРП [11]. Це є одним з основних недоліків чинної "Методики...". Поняття "економічний еквівалент реактивної потужності" більше відповідає величині, розрахована за формулою (2) [11]:

$$D = \frac{\Delta P}{Q}, \quad (2)$$

де  $\Delta P$  - середні втрати активної потужності за розрахунковий період від передавання по мережі реактивної потужності  $Q$ .

За підходом розробників „Методики...” перевірити правильність розрахунків  $D_1$  не можливо через відсутність відповідних публікацій. До того ж наслідком їхнього підходу є штучне завищення величини ЕЕРП, як мінімум у два рази [11]. Тому запропоновано більш простий метод визначення ЕЕРП. Методика визначення  $D_2$  викладена в роботі [11]. Далі пропонується методика визначення  $D_1$ .

Основою розрахунку  $D_1$  є визначення

матриці втрат активної потужності по реактивних навантаженнях споживачів для замкнених мереж.

Відомо, що сумарні втрати активної потужності в замкненій мережі по активних і реактивних навантаженнях визначаються за формулою [12]:

$$\Delta P = \Delta P_a + \Delta P_p = \frac{10^{-3}}{U_n^2} \cdot (P_n^t R_y P_n + Q_n^t R_y Q_n), \quad (3)$$

відповідно по реактивних навантаженнях

$$\Delta P_p = \frac{10^{-3}}{U_n^2} (Q_n^t \cdot R_y \cdot Q_n), \quad (4)$$

де  $Q_n^t$  - транспонована матриця реактивних навантажень, кВАр;

$Q_n$  - матриця-стовпець реактивних навантажень, кВАр;

$R_y$  - матриця вузлових опорів, Ом. [12].

Матриця вузлових опорів  $R_y$  визначається як обернена матриця вузлових провідностей [13]:

$$R_y = Y_y^{-1}. \quad (5)$$

В свою чергу

$$Y_y = M \cdot Y_a \cdot M_t \quad (6)$$

де  $Y_a$  - діагональна матриця провідності віток;

$M$  - перша матриця інцидентії;

$M_t$  - транспонована перша матриця інцидентії.

Оскільки вихідною інформацією є інформація про опори віток, а не про їх провідності, то діагональна матриця провідностей визначається з виразу:

$$Y_a = R_a^{-1}, \quad (7)$$

де  $R_a$  - діагональна матриця активних опорів віток схеми заміщення мереж підсистеми, Ом.

Тоді матриця-стовпець втрат активної потужності по реактивних навантаженнях споживачів при відсутності інформації про фактичні рівні напруги на вводах підстанцій буде визначатись за формулою:

$$\Delta P_{1p} = \frac{10^{-3}}{U_n^2} (Q_n^d \cdot R_y \cdot Q_n), \quad (8)$$

де  $U_n$  - базова номінальна напруга, до якої приведені опори віток схеми заміщення мереж підсистеми, кВ;

$Q_n^d$  - діагональна матриця реактивних навантажень вузлових підстанцій, кВАр;

$Q_n$  - матриця-стовпець реактивних навантажень вузлових підстанцій, кВАр.

У випадку, коли є інформація про фактичні середні рівні напруги за період максимуму активних навантажень енергопостачальної компанії (ЕК), матриця-стовпець втрат активної потужності по реактивних навантаженнях вузлів буде визначатися за формулою:

$$\Delta P_{1p} = C_d \cdot \left[ Q_n^d \cdot R_y \cdot Q_n \right], \quad (9)$$

де  $C_d$  - діагональна матриця коефіцієнтів  $10^{-3} / U_{\phi i}^2$  ( $U_{\phi i}$  - фактичний середній рівень напруги за період максимуму активних навантажень ЕК в  $i$ -ому вузлі мереж підсистеми).

Значення ЕЕРП ( $D_{1i}$ ), розраховане для низької сторони підстанцій 750/500/330/220/110 визначається із виразу:

$$D_{1i} = \frac{\Delta P_{1pi}}{Q_i}, \quad (10)$$

де  $\Delta P_{1pi}$  -  $i$ -й елемент матриці  $\Delta P_{1p}$  (інакше, величина втрат активної потужності в мережах кільця, яка зумовлена реактивними навантаженнями  $i$ -ої підстанції), кВт;

$Q_i$  - реактивне навантаження  $i$ -ої підстанції кільця, кВАр.

Тоді величина першої складової ЕЕРП ( $D_{1j}$ ), що характеризує частину впливу реактивного навантаження конкретного споживача ( $j$ -го промислового підприємства) на величину втрат від передавання реактивної енергії по мережах 220...750 кВ визначається із виразу:

$$D_{1j} = D_{1i} \cdot \frac{Q_{jcn}}{Q_i} \quad (11)$$

де  $Q_{jcn}$  - реактивне навантаження конкретного споживача ( $j$ -го промислового підприємства).

### Приклад

#### Визначити:

- першу складову ЕЕРП ( $D_{1j}$ ) на ввіді підстанцій, які отримують живлення від лінії 220 кВ, яка в свою чергу живиться від п/ст 330/220/35 кВ. Лінія виконана проводом марки АС-185. На рис. 1 показана схема, в якій за споживачів прийняті реактивні навантаження відповідних п/ст 220/35/10 та 220/10. Вузол 0- балансуєчий, решта - навантажувальні. Навантаження

підстанцій і опори ділянок електричної мережі наведені в таблицях 1 і 2 відповідно. Враховані втрати реактивної потужності неробочого ходу і навантажувальні в силових трансформаторах. Також враховані і рознесені по кінцях ліній втрати реактивної потужності в ЛЕП та їх генерація. В розрахунку використана базова номінальна напруга, до якої приведені опори віток схеми (220кВ).

- першу складову ЕЕРП ( $D_{1j}$ ) для споживача, який живиться від підстанції ТРДН - 32000/220 (вузол 3). Реактивне навантаження споживача складає 1575кВАр.

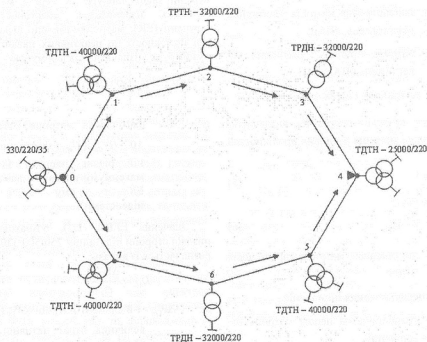


Рис. 1. Електрична схема мережі 220 кВ

Таблиця 1

Навантаження підстанцій

№ вузла	Марка трансформатора	$P_{act}$ кВт	$Q_{act}$ кВАр
1	ТДТН-40000/220	25200	16300
2	ТРДН-32000/220	23700	14500
3	ТРДН-32000/220	27500	15900
4	ТДТН-25000/220	19000	14700
5	ТДТН-40000/220	26000	16700
6	ТРДН-32000/220	22700	14800
7	ТДТН-40000/220	26900	15300

Таблиця 2

## Параметри повітряних ліній

Лінія	Довжина лінії, км	Активний опір лінії, Ом
0-1	110	16,94
1-2	102	15,708
2-3	146	22,484
3-4	130	20,02
4-5	135	20,79
5-6	103	15,862
6-7	138	21,252
7-0	150	23,1

Таблиця 3

Результати розрахунку  $D_{II}$ 

№ вузла	Реактивне навантаження відповідної п/ст, кВАр	Реактивне навантаження вузла Q з врахуванням втрат та генерації в ЛЕП і трансформаторах, кВАр	$\Delta P_{IP} = f(Q_i)$ , кВт	ЕЕРП ( $D_{II}$ ), кВт/кВАр
1	16300	7563,51	33,756	0,0045
2	14500	985,16	6,056	0,0061
3	15900	1385,64	11,222	0,0081
4	14700	2094,69	19,406	0,0092
5	16700	6513,00	62,362	0,0095
6	14800	1700,15	13,053	0,0077
7	15300	1703,69	7,476	0,0044

Розрахунок  $D_{II}$  виконано за допомогою стандартних програм "Mathcad" та "Excell". Результати розрахунків показані в табл.3.

Першу складову ЕЕРП ( $D_{II}$ ) для споживача, який живиться від підстанції ТРДН - 32000/220 (вузол 3), розрахуємо за допомогою формули (11):

$$D_{IJ} = D_{II} \cdot \frac{Q_{Jcn}}{Q_I} = 0,0081 \cdot \frac{1575}{15900} = 0,0008 \text{ кВт/кВАр.}$$

## Висновки

1. Занижені значення ЕЕРП ( $D_{II}$ ) пояснюються генерацією реактивної потужності в повітряних лініях 220 кВ, які компенсують значну долю реактивного навантаження підстанцій, втрат реактивної потужності в трансформаторах (неробочого ходу і навантажувальних) та індуктивних втрат в лініях.
2. Запропоновано метод розрахунку першої складової ЕЕРП ( $D_{II}$ ), який ґрунтується на визначенні матриці втрат активної потужності за реактивними навантаженнями споживачів. Це дозволяє суттєво

підвищити точність розрахунків, як мінімум, в два рази, і зменшити обсяг обчислювальної роботи.

3. Отримані значення ЕЕРП ( $D_{II}$ ) можуть служити критерієм черговості впровадження компенсуючих установок (КУ) при обмежених фінансових ресурсах (в першу чергу КУ установлюються в тих вузлах, в яких значення ( $D_{II}$ ) є більшим) (див. табл.3).

## Література

1. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии - М.: Энергоатомиздат, 1985.-224 с.
2. Омельчук А.О., Козирський В.В. Компенсация реактивної потужності як загальносистемна проблема. Промислова електроенергетика та електротехніка.- 2004.-№4.-С. 31-39.
3. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами. - Офіційний вісник України. - 2002. -№6.
4. Зельбург А.М. Экономика электроснабжения промышленных предприятий - М.:

- «Высшая школа», 1973. - 270 с.
- Веников В.А., Идельчик В.И. Электрические станции, сети и системы. Методы оптимизации управления планированием больших систем энергетики. - Т.-М.: ВИНТИ, 1974. -208 с.
  - Гераскин О.Г. Матричные формулы для определения производных от потерь мощности по активным и реактивным мощностям узлов электрической сети. - Известия Вузов СССР. - Энергетика, 1981. -№8.-С. 3-8.
  - Притыка И.П., Синьков В.М. и др. Экономические режимы работы подстанций 35/10 кВ с двумя трансформаторами различной мощности.- Энергетика и электрификация, 1982. -№2. -С. 25-27.
  - Щербина Ю.В., Голота А.Д., Мионов М.А. Экономическое управление компенсацией реактивных мощностей в электрических сетях потребителя в современных условиях. - Энергетика и электрификация, 1993, - №2.- С. 36-40.
  - Щербина Ю.В. Банин Д.Б. и др. Новая методика расчета платы за перетоки реактивной электроэнергии между электроснабжающей организацией и её потребителями.- Энергетика и электрификация, 1997. - №4.- С. 49-52.
  - Технологічні умови впровадження та використання методики розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами. - Промислова електро-енергетика та електротехніка. - Інформаційний збірник. -1999.
  - Рогальський Б.С., Нанака О.М. Про використання економічних еквівалентів реактивної потужності для визначення плати за перетікання реактивної електроенергії між енергопостачальними компаніями і їх споживачами. - Промислова електроенергетика та електротехніка.- 2004-№4.-С. 44-51
  - Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. -М.: Энергоиздат, 1981. -200 с.
  - Мельников Н.А. Матричный метод анализа электрических цепей. М.:Энергия,1972.- 232 с.