

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОПЛАТИ ЗА ПЕРЕДАВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

¹Вінницький національний технічний університет

Запропоновано систему оплати за реактивну електроенергію, за якої досягається прозорість розрахунків, повніша відповідність оплати та втрат електричної енергії та одночасно врахування динаміки їх змін зі зміною реактивного навантаження.

Ключові слова: реактивна електроенергія, компенсація реактивної потужності, тариф за реактивну електроенергію.

Розгляд проблеми і постановка завдання

Плата за спожиту реактивну електроенергію промислових та непромислових споживачів (у разі відсутності її генерування) відповідно до чинної «Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії...» визначається за формулою [1, 2]

$$P_j = W_{Q_{\text{сп.}j}} D_j c_0 \left(1 + C_{\text{баз}} (\text{tg } \phi_j - \text{tg } \phi_{\text{гр}})^2 \right), \quad (1)$$

де $W_{Q_{\text{сп.}j}}$ — фактичне споживання реактивної електроенергії; D_j — економічний еквівалент реактивної потужності; c_0 — прогнозована оптова ринкова ціна на закупівлю електроенергії з оптового ринку електроенергії (ОРЕ), доведена електропередавальним організаціям Постановою НКРЕ для визначення роздрібних тарифів на електричну енергію споживачам в розрахунковому періоді, грн/кВт·год.; $C_{\text{баз}}$ — нормативний коефіцієнт стимулювання капітальних вкладень у засоби КРП в електричних мережах споживача; $\text{tg } \phi_j$ — фактичне значення коефіцієнта реактивної потужності j -го споживача, що визначається відношенням фактичного споживання реактивної електроенергії $W_{Q_{\text{сп.}j}}$ до фактичного споживання активної електроенергії W_j ; $\text{tg } \phi_{\text{гр}}$ — граничне значення коефіцієнта реактивної потужності. Причому друга складова плати, що визначається доданком $(\text{tg } \phi_j - \text{tg } \phi_{\text{гр}})^2$, враховується, якщо $\text{tg } \phi_j \geq \text{tg } \phi_{\text{гр}}$.

Врахування електричної віддаленості споживачів здійснюється за допомогою економічного еквівалента реактивної потужності (ЕЕРП) D_j , що характеризує втрати активної потужності від реактивного перетікання до точки обліку в розрахунковому режимі (кВт/квар) і розраховується окремо для кожного j -го споживача за формулою

$$D_j = \frac{\Delta P_s^{(1)} - \Delta P_s^{(2)}}{\Delta Q_j} \approx \frac{\partial \Delta P_s}{\partial Q_j}, \quad (2)$$

де $\Delta P_s^{(1)}$, $\Delta P_s^{(2)}$ — сумарні втрати активної потужності в розрахунковій схемі для двох суміжних режимів, з реактивним навантаженням, відповідно Q_j та $Q_j + \Delta Q_j$, кВт; Q_j — реактивне навантаження j -го споживача підсистеми; ΔQ_j — малий приріст реактивного навантаження j -го споживача підсистеми, квар.

Оскільки питання оплати за перетікання реактивної електроенергії в електричних мережах електропередавальних організацій промисловим та непромисловим споживачам відноситься до регулювання у сфері діяльності природних монополій, то визначена плата повинна компенсувати втрати електропередавальних організацій і враховувати їх прибуток за надані послуги щодо пере-

давання реактивної електроенергії. Такого поділу вказана Методика не забезпечує.

Крім того, плата повинна ефективно стимулювати споживачів до зменшення споживання реактивної електроенергії. Для цього в ціні повинні бути закладені складові, які відшкодовують витрати електропередавальних організацій і складові, які штрафують споживачів за неприйняття заходів щодо компенсації реактивної потужності у випадку її надмірного споживання. При цьому усі складові плати повинні бути визначеними і доведеними до електропередавальних організацій та споживачів для контролю та ефективного використання.

Матеріали та результати дослідження

Втрати активної потужності, що зумовлені передаванням реактивної потужності j -му споживачу, можна визначити з використанням кусочно-лінійної апроксимації для двох ділянок характеристики втрат, що розділені значенням реактивної потужності навантаження, прийнятим для розрахункового режиму [3—5]. У такому випадку втрати активної потужності, що відносяться на баланс окремого споживача, за пропорційного їх розподілення між споживачами [6, 7], можна визначити за формулою

$$\Delta P_j = \frac{Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n Q_i R_{ij} + \frac{2\Delta Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n Q_i R_{ij} + \frac{\Delta Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n \Delta Q_i R_{ij}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (3)$$

де ΔQ_j — приріст реактивної потужності навантаження j -го споживача підсистеми; Q_i , ΔQ_i — реактивні потужності навантажень та їх прирости усіх споживачів підсистеми $i = 1, \dots, n$, включаючи j -го споживача; U — напруга мережі.

Для вибору розрахункового режиму можна використати граничне значення коефіцієнта реактивної потужності $\operatorname{tg} \phi_{\text{гр}}$, яке для мереж різних номінальних напруг може бути встановлено індивідуально, наприклад, для мереж 10 кВ це значення може бути взятим в діапазоні 0,1...0,15, а для мереж напругою 110 кВ — в діапазоні 0,3...0,4.

Розрахунок базового режиму для визначення плати за перетікання реактивної електроенергії можна виконати з використанням активних навантажень споживачів. Це можуть бути помісячні обсяги споживання електроенергії або середні значення активної потужності споживачів. Розрахункові значення реактивних потужностей та їх приростів для окремих споживачів можна визначити за формулами

$$Q_j = P_j \operatorname{tg} \phi_{\text{гр}}; \quad \Delta Q_j = P_j (\operatorname{tg} \phi_j - \operatorname{tg} \phi_{\text{гр}}), \quad (4)$$

де P_j — фактичне значення активної потужності j -го споживача.

Для врахування першої складової втрат можна використати коефіцієнт пропорційного розподілення втрат [8]

$$d_j = \frac{1}{U^2} \sum_{i=1}^n R_{ij} Q_i, \quad j = 1, \dots, n, \quad (5)$$

який для j -го споживача можна визначити як j -й елемент вектора

$$\mathbf{d} = \mathbf{U}_d^{-2} \mathbf{R} \cdot \mathbf{Q} = \mathbf{U}_d^{-2} \mathbf{R} \cdot \mathbf{P} \cdot \operatorname{tg} \phi_{\text{гр}}, \quad (6)$$

де \mathbf{U}_d — діагональна матриця напруг мережі; \mathbf{P}, \mathbf{Q} — вектори активних і реактивних потужностей споживачів; \mathbf{R} — матриця вузлових активних опорів мережі.

Приріст сумарних втрат потужності в разі збільшення відносно розрахункового режиму реактивного навантаження будь-якого споживача ΔQ_j має такий вигляд:

$$\delta P_j = \frac{2\Delta Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n Q_i R_{ij} + \frac{\Delta Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n \Delta Q_i R_{ij}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (7)$$

де $\delta P_j = \Delta P_s^{(1)} - \Delta P_s^{(2)}$ — приріст сумарних втрат активної потужності в розрахунковій схемі для двох режимів, які відрізняються приростами реактивних потужностей споживачів і відносяться на баланс j -го споживача.

Останній вираз можна записати у такому вигляді:

$$\delta P_j = \Delta Q_j \left(2d_j + \sum_{i=1}^n k_i (\operatorname{tg} \phi_i - \operatorname{tg} \phi_{\text{гр}}) \right), \quad j=1, \dots, n. \quad (8)$$

де k_i — коефіцієнт, який характеризує відношення взаємного вузлового опору R_{ij} споживача до його опору навантаження $R_i = U^2/P_i$ в розрахунковому режимі $k_i = R_{ij}/R_j = R_{ij}P_i/U^2$, де P_i — активна потужність навантаження споживача, яка була прийнята для розрахункового режиму.

Втратам активної потужності (3) відповідає нарахування плати за перетікання реактивної електроенергії споживачів за формулою

$$\Pi_j = \left[W'_{Q_{\text{сп.}j}} d_j + W''_{Q_{\text{сп.}j}} \left(2d_j + \sum_{i=1}^n k_i (\operatorname{tg} \phi_i - \operatorname{tg} \phi_{\text{гр}}) \right) \right] c_0, \quad (9)$$

де $W'_{Q_{\text{сп.}j}}$, $W''_{Q_{\text{сп.}j}}$ — споживання реактивної електроенергії, відповідно, в розрахунковому режимі і внаслідок приросту реактивного навантаження відносно розрахункового режиму. Вказані величини визначають за фактичним споживанням активної та реактивної електроенергії ($W'_{Q_{\text{сп.}j}} = W_j \operatorname{tg} \phi_{\text{гр}}$; $W''_{Q_{\text{сп.}j}} = W_{Q_{\text{сп.}j}} - W'_{Q_{\text{сп.}j}}$, де W_j , $W_{Q_{\text{сп.}j}}$ — споживання активної та реактивної електроенергії, що визначені за показами лічильників).

У зв'язку зі складністю врахування останньої складової (9) в [3—5] запропоновано нарахування плати здійснювати за спрощеною формулою

$$\Pi_j = \left[W'_{Q_{\text{сп.}j}} d_j + W''_{Q_{\text{сп.}j}} C_{\text{баз}} \left(2d_j + k_j (\operatorname{tg} \phi_j - \operatorname{tg} \phi_{\text{гр}}) \right) \right] c_0, \quad (10)$$

де k_j — коефіцієнт, який характеризує відношення власного вузлового опору R_{jj} споживача до його опору навантаження $R_j = U^2/P_j$ в розрахунковому режимі $k_j = R_{jj}/R_j = R_{jj}P_j/U^2$, де P_j — активна потужність навантаження споживача, яка була прийнята для розрахункового режиму.

Введення коефіцієнта $C_{\text{баз}}$ дозволяє компенсувати додаткові втрати, які кумулятивно зростають у разі перевищення граничного значення коефіцієнта реактивної потужності не одним, а декількома (усіма) споживачами. В мережах 10 кВ з малим значенням $\operatorname{tg} \phi_{\text{гр}}$ таке спрощення може призвести до істотних помилок розрахунків.

Більш точно коефіцієнт розподілення втрат k_j , що зумовлений приростами реактивної потужності відносно базового значення, можна визначити аналогічно d_j з формул (5), (6) відносно активних потужностей споживачів:

$$k_j = \frac{1}{U^2} \sum_{i=1}^n R_{ij} P_i, \quad j=1, \dots, n. \quad (11)$$

який для j -го споживача можна визначити як j -й елемент вектора

$$\mathbf{k} = \mathbf{U}_d^{-2} \mathbf{R} \cdot \mathbf{P}. \quad (12)$$

Розглянемо заступну R -схему мережі напругою 10 кВ (рис. 1) з такими даними: $R_1 = R_2 = R_3 = 1$ Ом, $P_1 = P_2 = 1,0$ МВт, $P_3 = 0,4$ МВт, $\operatorname{tg} \phi_{\text{гр}} = 0,15$.

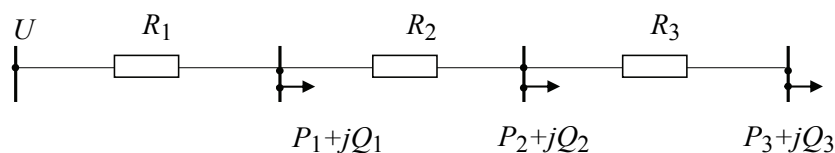
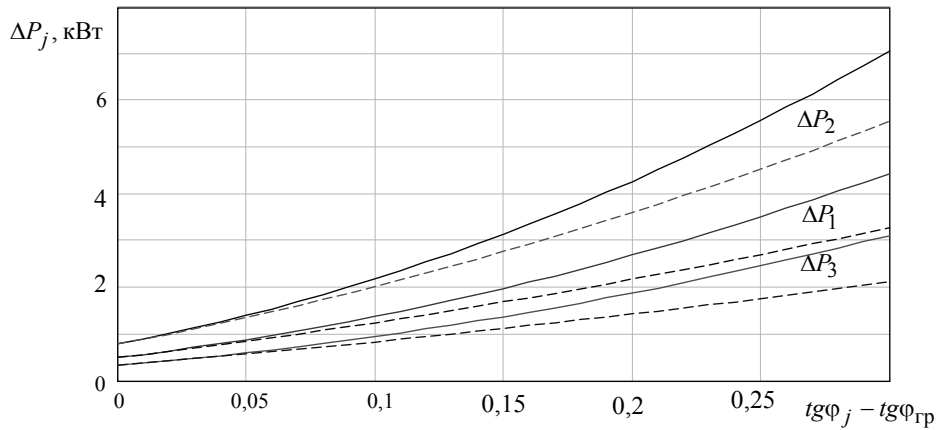


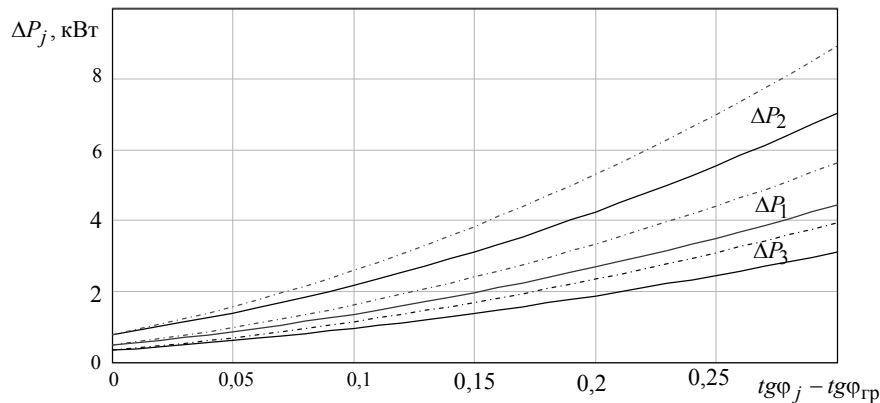
Рис. 1. Заступна R -схема мережі

Залежності плати за спрощеною (штрихові лінії) і уточненою (суцільні лінії) методиками визначення k_j для трьох споживачів наведені на рис. 2.

Рис. 2. Залежності втрат потужності за спрощеною і уточненою методиками визначення k_j

Порівняння плати за спрощеною і уточненою методиками визначення k_j для трьох споживачів вказує на доцільність уточнення, оскільки помилка визначення плати за будь-яких співвідношень реактивних навантажень зумовлена лише неточністю врахування напруги у вузлах живлення споживачів. У такому випадку потреба введення коефіцієнта $C_{\text{баз}}$ з метою компенсації додаткових втрат, зумовлених збільшенням реактивних навантажень споживачів, відпадає.

Отже, в разі прийняття запропонованої методики коефіцієнт $C_{\text{баз}}$ можна використати виключно для регулювання доходу енергопостачальних організацій (рис. 3). Уведення $C_{\text{баз}} = 1,3$ забезпечує рівномірну, майже 30 %, добавку до плати, яку енергопостачальна організація повинна використати для модернізації своїх мереж з метою зменшення витрат на передавання електроенергії.

Рис. 3. Залежності втрат потужності та їх оцінок у разі, якщо $C_{\text{баз}} = 1,3$

Застосування формул (10), (6) і (12) істотно спрощує розрахунки плати за перетікання реактивної електроенергії, робить їх відповідними реальним втратам і прозорими.

Висновки

Застосування запропонованого підходу забезпечує побудову справедлившої системи оплати і може бути рекомендоване для використання в «Методиці обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між енергопостачальними організаціями та її споживачами».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами. Затверджена наказом Міністерства палива та енергетики України від 17 січня 2002 р. № 19. Зареєстрована в Міністерстві юстиції України 1 лютого 2002 р. за № 93/6381 / Міністерство палива та енергетики України // Офіційний вісник України. — 2002. — № 6.

2. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами. Проект наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 20 лютого 2012 р. / Міністерство палива та енергетики України.

3. Мельничук Л. М. Механізми удосконалення системи оплати за передавання реактивної електроенергії / Л. М. Мельничук // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2013. — № 3 (34). — С. 101—105.
4. Мельничук Л. М. Визначення економічного еквівалента реактивної потужності та механізми його застосування в системі оплати за передавання реактивної електроенергії / Л. М. Мельничук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. — 2014. — № 1 (25). — С. 95—101.
5. Мельничук Л. М. Удосконалення системи оплати за передавання реактивної електроенергії / Л. М. Мельничук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2014. — № 1 (46). — С. 180—183.
6. Рогальський Б. С. Визначення та розподілення втрат електричної енергії між споживачами / Б. С. Рогальський, Л. М. Мельничук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2004. — № 1. — С. 38—41.
7. Мельничук Л. М. Визначення та розподілення втрат електричної енергії між споживачами з урахуванням їх графіків навантажень / Л. М. Мельничук // Енергетика та електрифікація. — 2006. — № 5. — С. 19—21.
8. Рогальський Б. С. Про використання економічних еквівалентів реактивної потужності для визначення плати за передавання реактивної електроенергії між енергопостачальними компаніями і їх споживачами / Б. С. Рогальський, О. М. Нанака // Промислова електроенергетика та електротехніка. — 2004. — № 4. — С. 44—51.

Рекомендована кафедрою відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 4.04.2016

Мельничук Людмила Михайлівна — канд. екон. наук, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, e-mail: l.m.melnychuk@ukr.net.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

L. M. Melnychuk¹

Improvement of Method of Payment for the Transfer of Reactive Power

¹Vinnitsia National Technical University

There has been offered the system of payment for reactive power, which provides the transparency of calculations, a complete line of payment and electricity losses, taking into account the dynamics of their changes by changing reactive loads.

Keywords: reactive power, reactive power compensation, tariff for reactive power.

Melnychuk Liudmyla M. — Cand. Sc. (Econ.), Assistant Professor of the Chair of Renewable Energy and Transport systems and Electrical Systems, e-mail: l.m.melnychuk@ukr.net

Л. М. Мельничук¹

Усовершенствование методики платы за передачу реактивной электроэнергии

¹Винницкий национальный технический университет

Предложена система оплаты за реактивную электроэнергию, при которой достигается прозрачность расчетов, более полное соответствие оплаты и потерь электрической энергии и одновременно учета динамики их изменений при изменении реактивной нагрузки.

Ключевые слова: реактивная электроэнергия, компенсация реактивной мощности, тариф за реактивную электроэнергию.

Мельничук Людмила Михайловна — канд. екон. наук, доцент кафедры возобновляемой энергетики и транспортных электрических систем и комплексов, e-mail: l.m.melnychuk@ukr.net