

УДК 621.316

Б. С. Рогальський, д. т. н., проф.;
Л. Н. Добровольська, к. т. н., доц.;
О. М. Нанака, асп.;
О. О. Бірюков, к. е. н.

ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ПЛАТИ ЗА РЕАКТИВНУ ЕНЕРГІЮ В ОСОБЛИВИХ СИТУАЦІЯХ

Проведено аналіз нормативних документів щодо плати за споживання реактивної електроенергії. Запропоновано нові, досконаліші підходи визначення плати за реактивну енергію в особливих ситуаціях.

Вступ

Згідно з [1] до особливих ситуацій в мережах споживача можна віднести: відсутність приладів обліку активної і реактивної електроенергії; застосування для компенсації реактивної потужності (КРП) нерегульованої батареї конденсаторів (БК); відсутність БК; відсутність приладів обліку і БК.

Основною метою розробленої і затвердженої Мінпаливенерго «Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами» є стимулювання споживача до компенсації реактивних навантажень (КРН) і, як наслідок цього, зниження втрат електроенергії в мережах енергопостачальних компаній (ЕК) і споживачів. Але, як показують розрахунки і аналіз їх результатів, плата за реактивну енергію, наприклад, за наявності у споживача засобів КРП та відсутності обліку, більша за плату у випадку, коли засоби КРП відсутні. Виходить, що чинна методика стимулює не впровадження засобів КРП, а їх демонтаж.

Причиною такої парадоксальної ситуації є прийняття в методиці низки недостатньо обґрунтованих, а то й помилкових, підходів.

Тому метою роботи є розробка нових підходів до визначення плати за реактивну енергію в особливих ситуаціях, які б обґрунтовували не демонтаж та відключення компенсуючих установок (КУ), а їх установку в мережах споживачів.

Нові підходи та пропозиції щодо удосконалення розрахунку плати за реактивну електроенергію в особливих ситуаціях

Згідно з [1], за відсутності у споживача приладів обліку реактивної енергії і наявності БК, генерована в мережу енергопостачальної компанії реактивна енергія визначається за формулою:

$$W_{p.r.} = Q_k t_{n.p.}, \quad (1)$$

де Q_k — сумарна потужність компенсуючих установок, зафіксована в договорі на поставку електроенергії, кВАр; $t_{n.p.}$ — число годин неробочого часу споживача, год.

В [1] зазначено, що збитки енергопостачальних компаній (ЕК) від генерації реактивної енергії споживачами в їх мережі виникають у години нічних провалів добових графіків електричних навантажень. Звідси виходить, що величина $t_{n.p.}$ не може бути більшою 8 годин (дійсно, в періоди пікових і позапікових навантажень ступінь КРП менша одиниці, тому в такі періоди не можуть виникати збитки в мережах ЕК від перенапруги при незначній генерації реактивної потужності в їх мережі). В той же час при однозмінній роботі підприємства в розрахунках використовується величина $t_{n.p.} = 16$ год., що завищує оплату за генерацію у два рази.

Таке визначення $W_{p.r.}$, на нашу думку є не зовсім точним, оскільки навіть в неробочий час, як показує досвід, існує хоч незначне, але споживання реактивної електроенергії (втрати холостого

ходу в трансформаторах та лініях 6(10) кВ, насосні станції, котельні та інше). Встановлено, що коли підприємство не працює споживання реактивної електроенергії приблизно складає до 30 % від максимуму споживання в робочий час [2].

Для розрахунку плати за споживану реактивну енергію використовується формула [1]

$$\Pi_1 = \sum_{i=1}^n (W_{p.cп.i} + KW_{p.r.i})DT, \quad (2)$$

де n — кількість точок розрахункового обліку реактивної енергії; $W_{p.cп.i}$ — споживання реактивної енергії в i -й точці обліку за розрахунковий період, кВАр·год; $W_{p.r.i}$ — генерація реактивної енергії в мережу ЕК в i -й точці обліку за розрахунковий період, кВАр·год; $K = 3$ — нормативний коефіцієнт врахування збитку ЕК від генерації реактивної енергії споживачем в її мережу; D — сумарний економічний еквівалент реактивної потужності, кВт/кВАр; T — тариф на активну електроенергію за розрахунковий період, грн/кВт·год.

В [1] не наведено обґрунтування необхідності введення в формулу (2) коефіцієнта K і його величини. Стверджувалось, що коефіцієнт K відображає збитки ЕК від генерації реактивної енергії споживачами в її мережу в період нічного провалу електричних навантажень (тобто збитки від перенапруги). Необхідно зазначити, що генерація реактивної енергії споживачами в мережу ЕК не є основною причиною перенапруг в період зони «ніч». Частка плати за генерацію, за даними облenerго, складає від 3 до 5 % від всієї плати за реактивну енергію. Треба мати на увазі, що це плата за «розрахункову генерацію» (за форм. (1)), фактична генерація менша. В [3] встановлено норми допустимих перевантажень силових конденсаторів. В період зони «ніч» споживачі вимушені їх відключати, щоб запобігти передчасному виходу їх з ладу.

Основною причиною підвищення рівнів напруги в період зони «ніч» є суттєве зниження активних і реактивних навантажень (в 1,5 ... 2,5 рази порівняно з 1990 роком) і, як наслідок, значна генерація реактивної потужності високовольтними ЛЕП 35 — 750 кВ. В той же час облenerго мають обмежені можливості вирішення цієї проблеми. РПН силових трансформаторів в автоматичному режимі не використовуються. Регулювання напруги за допомогою споживачів-регуляторів реактивної потужності не введено в дію (через відсутність відповідних нормативних документів: з визначення технічних значень вхідних реактивних потужностей і розрахунку скидки Π_3 [1]). Ширшого використання синхронних компенсаторів і реактування високовольтних ЛЕП вимагає капітальних вкладень. Вимкнення нерегульованих БК на системних підстанціях дозволило деякою мірою покращити якість напруги у відповідних вузлах ЕК, але, з іншого боку, призвело до зниження рівня КРП і підвищення технологічних втрат електроенергії (коефіцієнт оснащення мереж КУ складає 0,45...0,55).

Із вищевикладеного випливає, що проблема перенапруги в період зони «ніч» зумовлена в основному зовнішнім чинником (спадом виробництва) і внутрішніми проблемами ЕК з регулювання напруги. Вкладом споживачів у створення цієї проблеми можна знехтувати і з формули (2) вилучити коефіцієнт K , а споживачам залишити відшкодування збитків ЕК, зумовлених зворотними перетоками реактивної енергії ($W_{p.r}DT$) і ширше залучити до регулювання напруги протягом доби (слід зазначити, що з відновленням виробництва основний чинник буде втрачати вплив на цю проблему). Тоді формула (2) запишеться у вигляді

$$\Pi_1 = \sum_{i=1}^n (W_{p.cп.i} + W_{p.r.i})DT. \quad (3)$$

В [4] доведена некоректність визначення додаткової плати Π_2 від величини Π_1 в складі якої є плата за генерацію реактивної енергії. Враховуючи таке зауваження, а також пропозиції, наведені в [5], пропонується Π_2 визначати формули:

$$\Pi_2 = \sum_{i=1}^n W_{p.cп.i}DT \left[(a_n - a_\phi) + (K_0 - 1) \right], \quad (4)$$

де a_n — нормативне (оптимальне) значення ступеня КРП (величина a_n визначається ЕК і задається споживачу), в. о.; a_ϕ — фактичне значення ступеня КРП (визначається зі звітних даних під-

приємства і за необхідності перевіряється інспектором енергоінспекції), в. о.; K_0 — коефіцієнт відхилення фактичного поточкорозподілу реактивної потужності від оптимального значення ($K_0 \geq 1, K_{0,опт} = 1$), в. о.

Можлива ситуація, коли на підприємстві є регульована БК, а облік відсутній або він тимчасово не здійснюється через вихід із ладу відповідних приладів. Застосовувати для такого споживача формулу (1) для визначення генерації реактивної енергії в мережу ЕК було б неправомірним, оскільки регульовальний пристрій дозволяє уникати генерації і режим роботи установки можна перевірити візуально з інформації, яка подається на інформаційне табло регульовального пристрою. У такому випадку в «Договорі на постачання електроенергії» (ДПЕ) або в «Приписі інспектора» можуть бути зазначені терміни встановлення обліку і в разі невиконання вимог ЕК може бути застосована формула (1) для розрахунку плати за генерацію.

Якщо у споживача цілодобовий безперервний режим роботи, то для нього застосовуються формули [1]:

$$Q'_k = Q_k + 0,3P_{с.д.в/в}; \tag{5}$$

$$W'_{р.г.} = Q'_k t_k - \text{tg}\phi_n W_a, \tag{6}$$

де Q_k — сумарна встановлена потужність конденсаторних установок, у тому числі пристроїв технологічної КРП, в електричній мережі споживача, зафіксована в ДПЕ, кВАр; $P_{с.д.в/в}$ — сумарна встановлена потужність високовольтних (6(10) кВ) синхронних двигунів в електричній мережі споживача, зафіксована в ДПЕ, кВт; W_a — споживання активної електроенергії за розрахунковий період, кВт · год; t_k — календарна кількість годин у розрахунковому періоді, год; $\text{tg}\phi_n = 0,8$ — нормативний коефіцієнт потужності.

У формулі (5) не обґрунтований коефіцієнт 0,3 ($\text{tg}\phi$ групи синхронних двигунів). У відповідності з [6] визначається оптимальне значення сумарної реактивної потужності високовольтних синхронних двигунів, яку економічно доцільно використовувати для компенсації реактивних навантажень (КРН) підприємства, з формули:

$$Q_{д.о.} = \frac{Z_{1к} - Z_{1д}}{2Z_{2д}}, \tag{7}$$

де $Z_{1к}$ — питомі затрати на генерацію реактивної потужності батареями конденсаторів, грн/кВАр; $Z_{1д}$ — питомі затрати на генерацію реактивної потужності синхронними двигунами, які залежать в першому степені від генерованої потужності, грн/кВАр; $Z_{2д}$ — питомі затрати на генерацію реактивної потужності синхронними двигунами і її передавача у відповідний вузол мережі, які залежать в другому степені від генерованої і передаваної реактивної потужності, грн/кВАр².

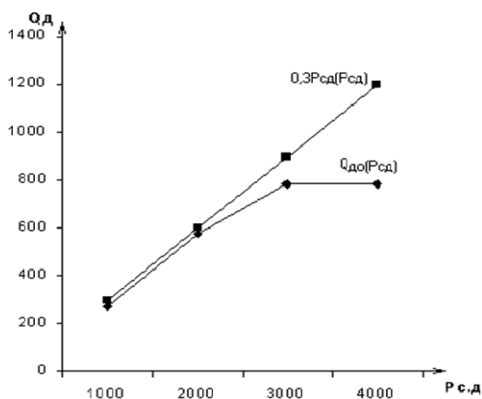


Рис. 1. Залежність реактивної потужності високовольтних синхронних двигунів (Q_d), від сумарної встановленої потужності високовольтних синхронних двигунів в електричній мережі споживача, зафіксована в ДПЕ

Практичні розрахунки показують, що складова формули (5) $0,3P_{с.д.в/в}$ та величина $Q_{д.о.}$, яка визначається з формули (7) суттєво відрізняються, що впливає з графіків, показаних на рис. 1.

Відносна похибка розрахунку досягає 35 %, що суттєво впливає на плату за реактивну електроенергію (П).

Приклад

Визначимо плату за реактивну електроенергію для промислового підприємства, на якому відсутній облік генерації реактивної електроенергії, наявності компенсуювальних установок (КУ) та коли КУ відсутні, з формул, наведених в [1] та з запропонованих формул:

- режим роботи підприємства однозмінний;
- споживання активної електроенергії за місяць з показань лічильника виявилось $W_a = 230000$ кВт · год;

— споживання реактивної електроенергії за місяць (в якому 31 календарний та 21 робочий дні) з показань лічильника виявилось $W_{p.cп} = 50000$ кВАр·год;

— середньовідпускний тариф $T = 0,072$ грн/кВт·год;

— середньостатистичне значення економічного еквівалента реактивної потужності (ЕЕРП), зафіксоване в Додатку до ДПЕ на постачання електроенергії (ДПЕ), $D = 0,058$ кВт/кВАр;

— в електромережі підприємства встановлена БК потужністю $Q_k = 100$ кВАр;

— максимум реактивного навантаження складає $Q_m = 119,9$ кВАр;

— економічно обґрунтоване значення рівня компенсації реактивних навантажень, визначене на основі системного підходу, складає $a_n = 0,915$;

— коефіцієнт відхилення фактичного потокорозподілу від оптимального значення, визначений з даних підприємства – $K_0 = 1,8$.

Згідно з [1] основна плата за споживання і генерацію реактивної електроенергії Π_1 визначається з формули (2). Оскільки на підприємстві відсутній облік генерації реактивної енергії, то

$$W_{p.g.} = Q_k t_{n.p.} = 100 \cdot 576 = 57600 \text{ кВАр·год};$$

$$t_{n.p.} = 31 \cdot 24 - 21 \cdot 8 = 576 \text{ год};$$

$$\Pi_1 = (50000 + 3 \cdot 57600) \cdot 0,058 \cdot 0,072 = 930,413 \text{ грн.}$$

Надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами КРП

$$\Pi_2 = \Pi_1 C_{баз} (K_\phi - 1).$$

Коефіцієнт K_ϕ визначається з табл. 1 [1] в залежності від фактичного коефіцієнта потужності $\text{tg}\phi$. В свою чергу $\text{tg}\phi = \frac{W_{p.cп}}{W_a} = \frac{50000}{230000} = 0,217$. З табл. 1 [1] видно, що розрахований коефіцієнт потужності входить в зону нечутливості надбавки. З врахуванням цього $\Pi_2 = 0$.

Повна плата за реактивну енергію, згідно з формулою [1] складає

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 = 930,413 + 0 = 930,413 \text{ грн.}$$

Розглянемо яка буде нараховуватись плата за реактивну електроенергію для цього ж підприємства при відсутності на підприємстві засобів КРП. Враховуючи те, що БК потужністю 100 кВАр відсутня, споживання реактивної енергії підприємством зростає до величини

$$W_{p.cп.} = 50000 + 100 \cdot 21 \cdot 8 = 66800 \text{ кВАр·год.}, \text{ тоді}$$

$$\Pi_1 = 66800 \cdot 0,058 \cdot 0,072 = 278,957 \text{ грн}; \quad \Pi_2 = 278,957 \cdot 1(1,0016 - 1) = 0,46 \text{ грн},$$

де $K_\phi = 1,0016$ визначений з табл. 1 [1] для $\text{tg}\phi = \frac{66800}{230000} = 0,29$.

Повна плата $\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 = 278,957 + 0,45 = 279,403$ грн.

Далі виконаємо знову ж таки розрахунок плати за реактивну енергію, але з запропонованих формул:

— при наявності на підприємстві КУ:

$$\Pi_1 = (50000 + 57600) \cdot 0,058 \cdot 0,072 = 449,338 \text{ грн},$$

де $W_{p.g.} = Q_k t_{n.p.} = 100 \cdot 576 = 57600$ кВАр·год.

$$\begin{aligned} \Pi_2 &= W_{p.cп.} DT \left[(a_n - a_\phi) + (K_0 - 1) \right] = \\ &= 50000 \cdot 0,058 \cdot 0,072 \cdot \left[(0,915 - 0,834) + (1,8 - 1) \right] = 183,953, \end{aligned}$$

де $a_\phi = \frac{Q_k}{Q_m} = \frac{100}{119,9} = 0,834$.

Тоді $\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 = 449,338 + 183,953 = 633,29$ грн;

— при відсутності на підприємстві КУ:

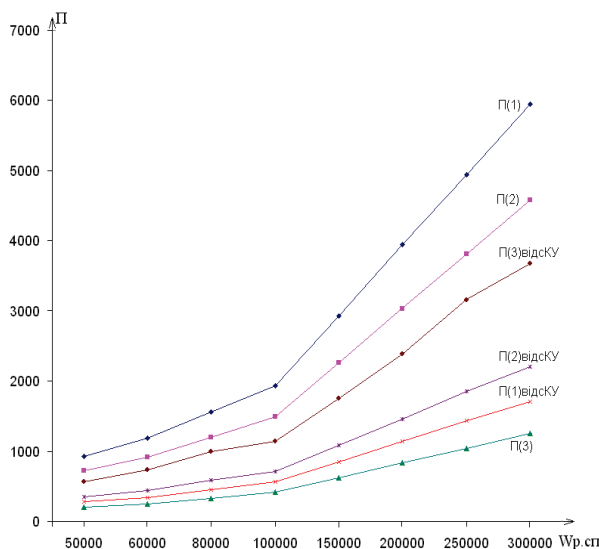
$W_{p.сп.} = 66800$ кВАр·год., $W_{p.г.} = 0$, відповідно і $a_{\phi} = 0$. З врахуванням цього

$$\Pi_1 = 66800 \cdot 0,058 \cdot 0,072 = 278,957 \text{ грн};$$

$$\Pi_2 = 66800 \cdot 0,058 \cdot 0,072 \cdot [(0,915 - 0) + (1,8 - 1)] = 478,411 \text{ грн.}$$

Повна плата $\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 = 278,957 + 478,411 = 757,368$ грн.

Виконуючи аналогічні розрахунки при збільшенні споживання активної та реактивної електроенергії, для одно-, дво- та тризмінного режиму роботи підприємства, отримуємо залежності, що показані на рис. 2.



Залежність плати за споживання і генерацію реактивної електроенергії при збільшенні споживання реактивної електроенергії для різних режимів роботи підприємства за наявності та відсутності засобів КРП

Рис. 2. Згідно з методом, викладеним в [1]

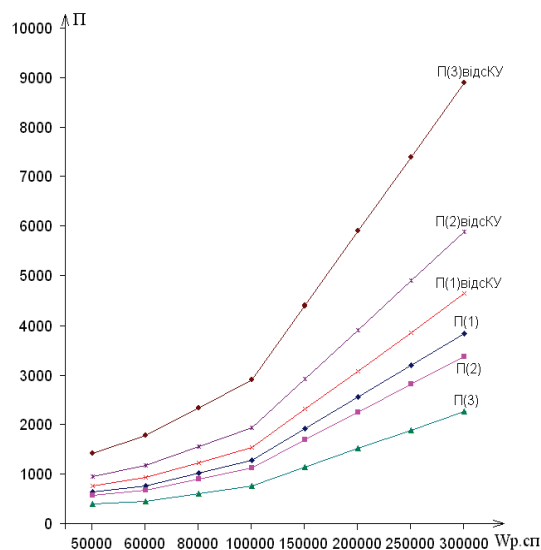


Рис. 3. Відповідно запропонованому підходу

З результатів розрахунку та наведених залежностей випливає, що згідно з методом розрахунку плати, наведеному в [1], компенсація реактивних навантажень не вигідна для підприємства (крім тризмінного безперервного режиму роботи підприємства за рахунок того, що можливі випадки при яких $Q'_k t_k \leq \text{tg}\phi_n W_a$, тоді генерація реактивної електроенергії в мережу ЕК приймається рівною нулю, або у випадку коли $Q'_k t_k > \text{tg}\phi_n W_a$, за умови, що значення генерованої потужності в мережу ЕК незначне) на відміну від запропонованого підходу, який обґрунтовує вигідність КРП. З цього випливає, що чинна «Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами» не стимулює споживача до компенсації реактивних навантажень, а навпаки, спонукає його до відключення, демонтажу КУ та приладів обліку реактивної електроенергії.

Висновки

Запропоновано нові підходи нарахування плати за реактивну електроенергію в особливих ситуаціях, які стимулюють споживача до КРП, на відміну від підходів чинної «Методики...» [1].

За наявності в мережах споживача високовольтних СД, на відміну від запропонованого в «Методиці...» добутку коефіцієнта 0,3 і встановленої потужності високовольтних СД, який завищує або занижує розрахункову генерацію, і, відповідно, плату, запропоновано визначення оптимального значення сумарної реактивної потужності, яку економічно доцільно використовувати для КРП.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами // Офіційний вісник України. — 1998. — № 1. — С. 174—193. — (Нормативний акт Міністерства Енергетики України).
2. Временные указания по расчету уровней напряжения в электрических сетях промышленных предприятий / Тяжпромэлектротехника. — 1974. — 63 с.
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. — [1 вид.]. Офіційне вид. — Харків: Вид-во «Індустрія»: М-во палива та енергетики України, 2007. — 272 с.
4. Владимиров Ю. В. О методике расчетов оплаты за перетоки реактивной электроэнергии между энергоснабжающей организацией и потребителями / Ю. В. Владимиров, И. И. Смилянский // Энергетика и Электрофикация. — 2002. — № 11. — С. 31—34.
5. Рогальський Б. С. Про надбавку до плати за реактивну енергію за недостатнє оснащення мереж споживача засобами компенсації реактивної потужності / Б. С. Рогальський, О. М. Нанака // Промислова електроенергетика та електротехніка. Промелектро. — 2004. — № 5. — С. 41—44.
6. Рогальський Б. С. Щодо відгуку на статтю «Використання синхронних двигунів для забезпечення технічних значень вхідних реактивних потужностей, заданих енергопостачальною компанією» / Б. С. Рогальський, Ю. В. Грицюк, О. М. Нанака, І. П. Сосенко // Промислова електроенергетика та електротехніка. Промелектро. — 2008. — № 1. — С. 47—51.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Надійшла до редакції 28.09.08
Рекомендована опублікування 10.10.08

Рогальський Броніслав Станіславович — професор, **Нанака Олена Миколаївна** — аспірантка, **Бірюков Олександр Олександрович** — доцент.

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет;

Добровольська Любов Наумівна — завідувач кафедри електропостачання.

Луцький національний технічний університет