

П. Д. Лежнюк, д. т. н., проф.; Ю. В. Грицюк, к. т. н.; В. М. Пірняк
РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ Й НАПРУГИ В
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ЯК ДОПОМІЖНА ПОСЛУГА

Проаналізовано чинники впливу реактивної потужності на техніко-економічні показники електричної мережі. Показано, що витрати на виробництво, передачу та регулювання реактивної потужності в ринкових умовах повинні відшкодовуватися.

Ключові слова: електричні мережі, реактивна потужності, регулювання напруги, допоміжні послуги.

Вступ

Реактивна потужність в електричних мережах багато в чому визначає значення їхніх техніко-економічних показників. Сьогодні проблему реактивної потужності особливо гостро обговорюють як енергетики, так і споживачі електроенергії. Опубліковано багато наукових статей і нормативних документів щодо цієї проблеми. Проте спостерігається певна односторонність у розгляді місця й ролі реактивної потужності в електричних мережах. Серед задач, які виникають із генеруванням, передачею і споживанням реактивної потужності, найбільше приділяють увагу впливу її на втрати активної потужності (електроенергії) в електричних мережах. Наприклад, методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії, іншими словами, компенсації реактивної потужності, розробляють, виходячи практично з урахування тільки цього чинника. Разом із тим реактивна потужність суттєво впливає й на інші параметри режимів та параметри електричних мереж. При чому цей вплив може бути вагомим і в технічному, і в економічному сенсі ніж збільшення втрат електроенергії, зумовлене перетіканням реактивної потужності.

Реактивна потужність в електричній мережі, яка містить активні опори R , індуктивність L і ємність C , забезпечує (супроводжує) передачу до споживачів активної потужності, що генерується на електричних станціях. Повна потужність, яка передається, може бути подана як комплексний вектор Пойтинга $\vec{S} = [\dot{E}\hat{H}]$ і визначена як [1]

$$-\oint_{\downarrow} \vec{S} d\vec{s} = \int_{\downarrow} \gamma E^2 dV + j2\omega \int_{\downarrow} \left(\frac{\mu H^2}{2} - \frac{\epsilon E^2}{2} \right) dV, \quad (1)$$

де \vec{S} – вектор повної потужності; \dot{E} – вектор напруженості електричного поля; \hat{H} – спряжений вектор напруженості магнітного поля; μ – магнітна проникність середовища об'ємом V ; ϵ – діелектрична проникність; γ – електрична провідність.

В (1) перший складник є активною потужністю P , а другий – реактивною потужністю Q . Отже, теорема Умова-Пойтинга може бути записана ще й так [1]

$$-\oint_{\downarrow} \vec{S} d\vec{s} = P + jQ,$$

де реактивна потужність Q дорівнює різниці між магнітною і електричною енергіями кола, помноженої на 2ω .

У кожному елементі електричної системи, у якому здійснюється перетворення електричної енергії (генерування, споживання, передача), обов'язково наявне магнітне, електричне або електромагнітне поле. Це – технологічна необхідність. З (1) видно, що за наявності в кожному елементі електричної системи магнітної або електричної енергії за певних умов при передачі їхня різниця, тобто реактивна потужність, може мінімізуватися або

навіть може бути зведена до нуля. За таких умов, які прийнято називати компенсацією реактивної потужності під час її передачі, мінімізується вплив реактивної потужності на техніко-економічні показники електричної мережі. Під час переходу до ринку електроенергії і електропостачання за двосторонніми угодами чинники впливу реактивної потужності на техніко-економічні показники електричних мереж повинні отримувати економічну оцінку [2, 3].

У цій статті проаналізовано наслідки від передачі реактивної потужності в електричних мережах у сучасних економічних умовах, коли керування реактивною потужністю і пов'язане з цим регулювання напруги розглядають як платну послугу.

Вплив реактивної потужності на роботу електричних мереж

На рис. 1 наведено перелік найважливіших чинники впливу реактивної потужності на процес передачі електроенергії.



Рис. 1. Чинники впливу реактивної потужності на електричну мережу

Необхідність передачі реактивної потужності від електростанцій до споживачів впливає на конструктивні параметри електричної мережі, оскільки призводить до збільшення струму і, відповідно, до збільшення перерізу проводів, здорожчання опор повітряних ЛЕП і т. д. У випадку, коли лінії вже в експлуатації, компенсація реактивної потужності дозволяє збільшити ними на відповідну величину передачу активної потужності. Передбачивши встановлення компенсуючих установок (КУ) в електричних мережах на стадії їхнього проектування, можна зменшити витрати, зменшивши переріз проводів і потужність трансформаторів на частину, необхідну для передачі реактивної потужності.

Передача реактивної потужності елементами електричної мережі викликає додаткові втрати активної потужності (електроенергії) та втрати напруги. Для покриття додаткових утрат електроенергії повинна бути передбачена додаткова установлення потужність на електростанціях, а для підтримання напруги в допустимому діапазоні в електричних мережах

повинні бути передбачені додаткові засоби регулювання напруги. Це, очевидно, вимагає додаткових капіталовкладень.

Витрати на покриття впливу реактивної потужності на режими електричної мережі можна виділити точні та передбачувані. Точні витрати визначаються параметрами мережі й можуть бути розраховані на підставі законів електротехніки. Це витрати на компенсацію втрат активної потужності (електроенергії) в електричній мережі. Точні витрати складаються з капіталовкладень, сталих та змінних видатків, які пов'язані з впливом реактивної потужності на втрати електроенергії та обслуговуванням засобів компенсації реактивної енергії. Керування процесом відшкодування витрат в електричній мережі, зумовлених утратами електроенергії, здійснюють згідно зі спеціальними методиками, наприклад [4].

Складніше з передбачуваними витратами на реактивну потужність. Передбачувані витрати включають синхронні генератори, коли, завдяки додатковій реактивній енергії, необхідній ЕЕС, вони змінюють запланований графік напруги та втрачають дохід від відпуску активної електроенергії. Ці витрати є прихованими видатками. Утрати активної потужності в синхронних генераторах залежать від генерування ними реактивної потужності [5, 6]:

$$\Delta P = \frac{D_1}{Q_i} Q + \frac{D_2}{Q_i^2} Q^2, \quad (2)$$

де D_1, D_2 – постійні для цього генератора величини, які залежать від потужності й ККД генератора; Q_n – номінальна реактивна потужність генератора; Q – поточне значення реактивної потужності генератора.

Цими втратами часто безпідставно нехтують, оскільки вважають, що вони не значні. Наприклад, для генератора Т-2-50-2 з $Q_n=31$ Мвар, $D_1=36,7$ кВт і $D_2=62,1$ кВт $\Delta P_i=98,8$ кВт, а при $Q=1,1 \cdot Q_n$ $\Delta P_{1,1}=115,5$ кВт, при $Q=1,2 \cdot Q_n$ $\Delta P_{1,2}=133,5$ кВт. Тобто, якщо для збільшення напруги в електричній мережі необхідно збільшити реактивну потужність генератора на 20 %, це призведе до збільшення втрат активної потужності в генераторі на 34,7 кВт, або на 35%. При цьому на 20% зменшується генерування активної потужності.

Додаткові втрати активної потужності залежно від реактивної потужності виникають не тільки в обмотках генераторів, а й у підвищувальних трансформаторах електростанцій та в пристроях енергосистеми, які задіяні в балансуванні реактивної потужності (шунтувальні реактори, синхронні компенсатори, СТК тощо). Втратами в них також, як правило, нехтують під час оцінювання витрат електропередавальних організацій на регулювання реактивної потужності й напруги. Очевидно, що в ринкових умовах електрогенерувальні й електропередавальні організації не готові на це погодитися.

Реактивна потужність, яку видають електростанції системи, пов'язана з напругою на шинах навантаження U_n і збудженням генераторів: $E \equiv i_{збудж}$. Для радіальної мережі, сумарний опір якої x , справедлива залежність [7]

$$U_n^2 = \left(E - \frac{Q_n + \Delta Q}{E} x \right)^2 - \left(\frac{Px}{E} \right)^2, \quad (3)$$

де $P = P_n + \Delta P$ – активна потужність електропередачі; P_n, Q_n – активна і реактивна потужності навантаження; $\Delta P, \Delta Q$ – утрати активної і реактивної потужностей в мережі й генераторі.

З (3) випливає, що регулювання напруги на шинах навантаження U_n і підтримування його заданого значення забезпечується регулюванням збудження генераторів $E \equiv i_{збудж}$, що, у свою чергу, означає регулювання реактивної потужності генераторів

$$Q_r = Q_n + \Delta Q = \frac{E^2}{x} - \frac{EU}{x} \cos \delta ,$$

де δ – кут між векторами E і U .

З останнього виразу випливає, що рівень напруги в мережі (на навантаженні) пов'язаний з балансом реактивної потужності або

$$\Delta U \approx f(\Delta Q) .$$

Увімкнення батарей конденсаторів (БК) на шини навантаження з метою компенсації реактивної потужності призводить не тільки до позитивних наслідків, тобто зменшення втрат електроенергії, а має й негативні наслідки – погіршує стійкість [7]. На рис. 2 показано залежності реактивної потужності й напруги до увімкнення БК (крива 1) і після включення БК (крива 2). Після увімкнення БК у складі навантаження з'являється від'ємний складник, що призводить до деформування характеристики $Q=f(U)$. Вона стає більш пологою, а запас стійкості зменшується, тому що

$$\frac{\delta Q_2}{\Delta U} \leq \frac{\delta Q_1}{\Delta U} .$$

Отже, компенсуючи реактивну потужність з метою зменшення втрат електроенергії, необхідно в системі передбачати регульовані джерела реактивної потужності, які за необхідності будуть коригувати характеристику $Q=f(U)$. Це означає також те, що у вузлах системи необхідно підтримувати певні співвідношення між активною і реактивною потужностями, тобто $tg \varphi$.

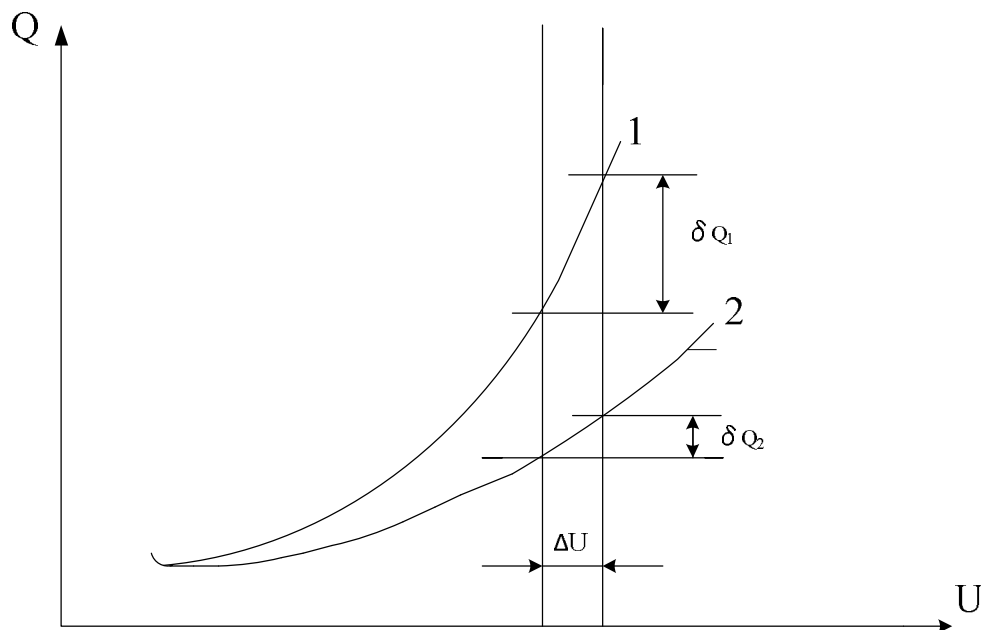


Рис. 2. До аналізу впливу БК на стійкість навантаження

Послуги з регулювання реактивної потужності

Під час створення ринку послуг з регулювання реактивної потужності і напруги постають перед неоднозначним розумінням того, що саме є послугою, яку надають і яку отримують, хто повинен бути її продавцем або покупцем. Це зумовлено як специфікою фізичної суті реактивної потужності, так і особливостями її генерування та споживання й можливостями локального регулювання рівнів напруги в мережі. При цьому недостатня оснащеність

засобами компенсації реактивної потужності призводить до труднощів у регулюванні напруги в окремих вузлах ЕЕС. Незадовільний стан засобів компенсації реактивної потужності в окремих вузлах електричної мережі призводить до того, що генератори електростанцій стають фактично єдиним ефективним засобом підтримки припустимих рівнів напруги в цих вузлах і прилеглих до них ділянок мережі. Будучи основним джерелом реактивної потужності в ЕЕС, генератори електростанцій водночас є важливим засобом регулювання напруги. У ринкових умовах регулювання напруги й реактивної потужності складають суть послуг, які надають для створення нормальних умов електропостачання. Їх поділяють на системні і допоміжні [2, 3].

Системні послуги призначені для забезпечення сталої роботи ЕЕС, надійності функціонування системи передачі електроенергії, якості та надійності постачання електроенергії від виробників споживачам у процесі оперативно-диспетчерського керування [2]. Системні послуги надаються системним оператором усім користувачам ЕЕС на підставі договору про приєднання й використання електричних мереж. Системний оператор є єдиним постачальником системних послуг, які надаються користувачам ЕЕС.

Допоміжні послуги (ДП) – це ідентифікований, персоніфікований, вимірюваний або визначений з відповідними витратами продукт, який надається суб'єктом електроенергетики або кваліфікованим споживачем електричної енергії та споживається безперервно, у режимі реального часу або у визначені фіксовані проміжки часу для забезпечення оптимально збалансованої та сталої роботи ЕЕС на підставі договору із системним оператором про надання послуги [2].

ДП щодо регулювання реактивної потужності виробниками – обов'язкові. Обов'язкові – це ті, надання яких може вимагатися від окремих суб'єктів ринку, а комерційні – це ті, які надаються суб'єктами ринку послуг на добровільних засадах. Обов'язкові ДП використовують для підтримки напруги й регулювання реактивної потужності виробниками. Це обов'язковий мінімум, який надається всіма ліцензіатами з виробництва. Інші ДП можуть залучатися для підтримки напруги й регулювання реактивної потужності понад обов'язковий мінімум. Комерційні ДП використовують для резервування можливостей засобів підтримки напруги й регулювання реактивної потужності виробниками і споживачами понад обов'язковий мінімум [2].

Висновки

1. Реактивна потужність є невід'ємним елементом виробництва, передачі і споживання електроенергії. Транспортування її електричними мережами викликає низку негативних явищ, які виявляються в погіршенні якості напруги та в збільшенні втрат електроенергії. Вона також впливає на стійкість вузлів навантаження, зменшує пропускну здатність мережі.

2. Виробництво й передача реактивної потужності пов'язані з витратами, які в ринкових умовах повинні відшкодовуватися. Оплата послуги за регулювання реактивної потужності й підтримку напруги в електричних мережах повинна формуватися не тільки за рахунок утрат електроенергії, викликаних передачею реактивною потужністю, але й з врахуванням інших чинників впливу реактивної потужності на електричну мережу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1967. – 775 с.
2. Ілка Левінгтон. Україна – впровадження концепції оптового ринку електроенергії // Електропанорама. – 2009. – № 1–3.
3. Никитин А.А., Олефир Д.А., Франчик Е.Н. Особенности развития балансирующего рынка и рынка вспомогательных услуг в ОЭС Украины // Електропанорама. – 2010. – № 1–4.
4. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між енергопередавальною організацією та її споживачами (затверджена наказом Мінпаливенерго України 17.01.2002 р. за №19 і

зарєєстрована Міністерством юстиції України 01.02.2002 р. за №93/6381).

5. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.

6. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.

7. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1985. – 536 с.

Лежнюк Петро Дем'янович – завідувач кафедри електричних станцій та систем.
Вінницький національний технічний університет.

Грицюк Юрій Віталійович – доцент кафедри електропостачання.
Луцький національний технічний університет.

Пірняк Віктор Михайлович – заступник начальника Вінницької обласної інспекції
Держенергонагляду.