

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ ЩОДО КОМПЕНСАЦІЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ВИСОКОЇ НАПРУГИ 10-35 кВ

В.М. Прокуда, О.В. Толстов, Національний гірничий університет, Україна

У статті поставлено та вирішено задачу оптимізації компенсації реактивної потужності в електричних мережах високої напруги 10-35 кВ. Наукова новизна роботи полягає в розробці математичної моделі визначення засобів компенсації реактивної потужності з урахуванням їх ефективності, що у відмінності від існуючих дозволяє визначати саме склад засобів для мінімізації економічних витрат.

Вступ. Реактивна потужність - негативне явище в електричних мережах усієї напруги. При збільшенні перетікань реактивної потужності зростає повний струм ліній, що спричиняє за собою зниження їх пропускної спроможності, а також величини напруги на затисках електроприймачів у споживачів.

Загальновідомо, що для компенсації реактивної потужності в мережах напруженем 10-35 кВ існують організаційні і технічні заходи. До організаційних заходів відносять:

- упорядкування технологічного процесу (УТП);
- вирівнювання графіка навантажень (ВГН).

До технічних заходів відносять:

- статичні конденсаторні батареї (СКБ);
- регульовані конденсаторні батареї і фільтрокомпенсуючі пристрої (РКБ);
- синхронні компенсатори (СК);
- активні фільтри (АФ).

Доцільний рівень компенсації реактивної потужності в нормативних документах визначається параметром $\cos\varphi=0,97$ в точці балансового розмежування мереж, адже при збільшенні коефіцієнта потужності з 0,9 до 0,99 повний струм збільшується на 3 %, а необхідна ємність конденсаторної батареї збільшується удвічі. (7)

Проте, як організаційні, так і технічні засоби вимагають певних капіталовкладень, і їх застосування вимагає техніко-економічного обґрунтування. Також, деякі заходи доцільно використовувати лише спільно. Приміром, нерегульовані батареї конденсаторів доцільно використовувати при вирівнюваному графіку навантажень. Додатковою складністю у визначенні економічно ефективних заходів щодо компенсації являється істотна розгалуженість електричних мереж, особливо напругою 10 кВ. Існуючі методики (1,4,6,8,9,10) визначають оптимальні рівні компенсації реактивної потужності, проте не визначають бажаний склад технічних заходів і засобів або йдеться тільки про компенсацію реактивної потужності за допомогою одного типу пристроїв (2,3).

Постановка завдання. Приймаючи критерієм ефективності мінімум приведених витрат, необхідно вирішити оптимізаційне завдання знаходження ефективних засобів компенсації реактивної потужності в загальному вигляді, і надалі для конкретних умов.

Основний матеріал. Технічними обмеженнями в рішенні задачі виступають:

- нормально допустимий рівень напруги на шинах споживача (ГОСТ 13109-97);
- коефіцієнт потужності $\cos\varphi=0,97$ в точці балансового розмежування мереж споживача і енергозабезпечуючої організації; менше значення коефіцієнта потужності передбачає плату за реактив, більше - недоцільні грошові витрати;
- існуючі графіки електричних навантажень.

Вартість кожного заходу або засобу компенсації визначимо як нелінійну функцію від величини генерованої реактивної потужності, а також точності стеження за коефіцієнтом потужності, що змінюється, :

$$Z_{c_{i,j}} = f(Q_{i,j}, q),$$

де – $q = 0.1$, причому значення 1 використовуємо для нерегульованих конденсаторних батарей, а 0 – для синхронних компенсаторів або фільтрокомпенсуючі пристрої з тиристроной

системою управління, здатних змінювати ємність плавно в широких межах. Для конденсаторних батарей з дискретним регулюванням x варіюється залежно від кроку регулювання.

У разі використання технічних заходів це будуть тільки приведені витрати на зниження реактивної потужності. Для вирішення завдання використаємо узагальнений граф мережі, який описується матрицею розміром $n \times m$. Окремий випадок графа представлений на рисунку 1:

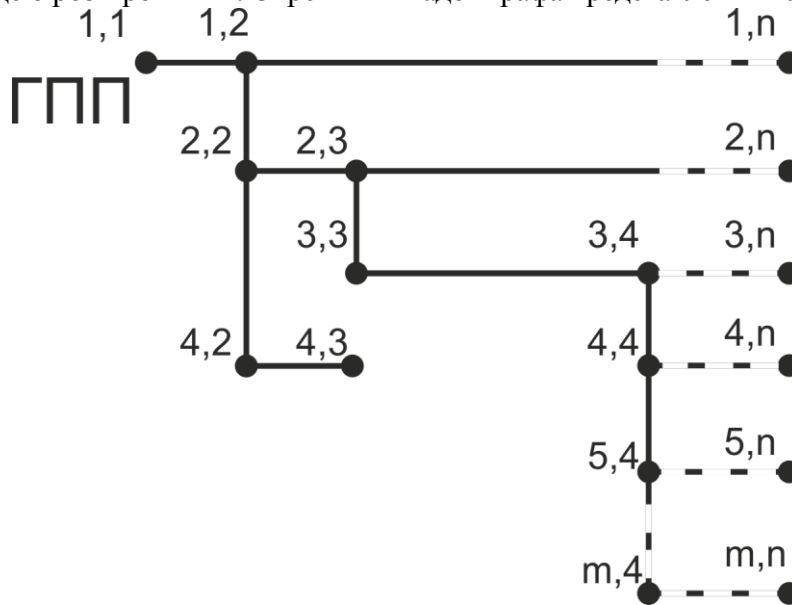


Рисунок 1. Узагальнений граф мережі

Визначимо залежності для формування математичної моделі.

Фактичний графік електричних навантажень вузлів враховуємо діапазоном зміни реактивної потужності і її динамікою :

$$Q_{i,j} = f(Q_{\max i,j}, k, d),$$

де k - коефіцієнт мінімуму реактивного навантаження; d - вигогідність зміни реактивної потужності на 50 кВА. 50 кВА приймаємо, оскільки це стандартний ступінь регулювання конденсаторних батарей 10 кВ.

Напруга і реактивна потужність у вузлах обчислюється по наступних залежностях:

$$Q_{i,j} = Q_{i-1,j} - Q_{n,i,j} \left(\frac{1+k_{i,j}}{2} \right) + a_1 Q_{ymn-i,j} + a_2 \cdot Q_{вгн-i,j} +$$

$$+ a_3 Q_{сбк-i,j} + a_4 Q_{рбк-i,j} + a_5 Q_{ск-i,j} + a_6 Q_{аф-i,j};$$

$$U_{i,j} = U_{i-1,j} - \frac{P_{i-1,j} R_{i,j} + Q_{i-1,j} X_{i,j}}{U_{i-1,j}};$$

$$P_{i,j} = P_{i-1,j} - P_{n,i,j},$$

де P_n і Q_n – активна і реактивна потужність, споживана у вузлі, кВт; R , X - опори лінії до відповідного вузла, Ом; U - напруга у вузлі, кВ. Для простоти представлення моделі вважаємо опори ліній зосередженими в кінцевих вузлах; a_1 - a_6 - кількість засобів або заходів компенсації певного типу по 1 квар.

Вартість втрат в моделі врахуємо наступним вираженням:

$$\Delta P_{i,j} = \Delta P_{i,j} c_{\Delta} = \frac{P_{i-1,j}^2 + Q_{i-1,j}^2}{U_{i-1,j}^2} R_{i,j} c_{\Delta} \times$$

$$\times \left(1 + d_{i,j} \left(a_1 q_{ymn-i,j} + a_2 q_{вгн-i,j} + a_3 q_{сбк-i,j} + a_4 q_{рбк-i,j} + a_5 q_{ск-i,j} + a_6 q_{аф-i,j} \right) \right)$$

де c_{Δ} - вартість електроенергії, грн./кВт*ч.

Математичну модель розробляємо на основі відомих рівнянь балансу потужності для вузлів:

$$\sum P_{вход.max} = \sum P_{исход.max}$$

$$\sum Q_{вход.max} = \sum Q_{исход.max}$$

Для будь-якого вузла справедлива рівність приведених витрат :

$$Z_{i,j} = Z_{c_{i,j}} \cdot E_H + (Z_{\Delta P_{i,j}} + K)$$

$$Z_{c_{i,j}} = a_1 \cdot Z_{ytn_{i,j}} + a_2 \cdot Z_{вгн_{i,j}} + a_3 \cdot Z_{сбк_{i,j}} +$$

$$+ a_4 \cdot Z_{рбк_{i,j}} + a_5 Z_{ск_{i,j}} + a_6 Z_{аф_{i,j}}$$

де E_H - коефіцієнт ефективності капіталовкладень; K – витрати на амортизацію і обслуговування.

Цільова функція має вигляд:

$$\sum_{i,j} Z_{i,j} \rightarrow \min$$

Рішення поставленої задачі шукатимемо одним із чисельних методів – методом штрафних функцій. Основне завдання методу штрафних функцій полягає в перетворенні завдання мінімізації функції з відповідними обмеженнями, накладеними на x , в завдання пошуку мінімуму без обмежень функції

$$Z = f(x) + P(x)$$

Функція $P(x)$ є штрафною. Необхідно, щоб при порушенні обмежень вона "штрафувала" функцію Z , тобто збільшувала її значення. В цьому випадку мінімум функції Z знаходитиметься усередині області обмежень. Функція $P(x)$, що задовольняє цій умові, може бути не єдиною. При рішенні сформульованої задачі необхідно визначити склад і кількість засобів компенсації, які приведуть до максимального зниження витрат, тобто значення коефіцієнтів a_1 - a_6 .

Наведемо приклад для магістральної мережі. Така мережа, як правило застосовується для живлення споживачів сільської місцевості третьої категорії надійності

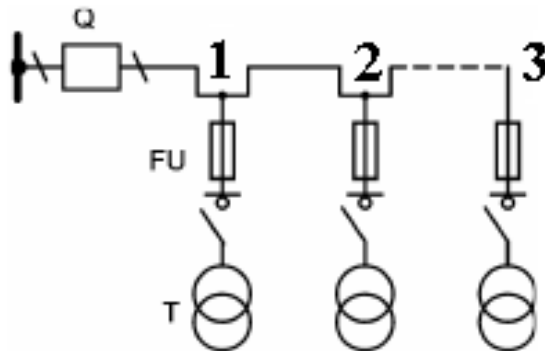


Рисунок 2. Однолінійна схема живлення споживачів

Вартості засобів компенсації і організаційних заходів апроксимовані, емпірично отриманими, функціями приведеним нижче.

упорядкування технологічного процесу, тис. грн.:

$$Z_{ytn_{i,j}} = f_{ytn}(Q_{i,j}, q) = 615 \cdot Q_{i,j}$$

вирівнювання графіка навантажень, тис грн.:

$$Z_{вгн_{i,j}} = f_{вгн}(Q_{i,j}, q) = 811 \cdot Q_{i,j}$$

статичні конденсаторні батареї, тис грн.:

$$Z_{сбк_{i,j}} = f_{сбк}(Q_{i,j}, 1) = 2Q_{i,j} + 0,1Q_{i,j}^{1/2}$$

регульовані конденсаторні батареї, тис. грн.:

$$Z_{p\acute{b}k_i,j} = f_{p\acute{b}k}(Q_{i,j}, 0,5) = 2,4Q_{i,j} + 0,15Q_{i,j}^{1/2}$$

синхронні компенсатори, тис. грн.:

$$Z_{ск_i,j} = f_{ск}(Q_{i,j}, 0) = 5,2Q_{i,j} + 0,4Q_{i,j}^{1/2}$$

активні фільтри, тис. грн.:

$$Z_{af_i,j} = f_{af}(Q_{i,j}, 0) = 4,6Q_{i,j} + 0,3Q_{i,j}^{1/2}$$

Фактичний графік електричних навантажень вузлів для і-ої комплектної трансформаторної підстанції:

$$Q_1 = f(220; 0,3; 0,2); Q_2 = f(617; 0,3; 0,8); Q_3 = f(512; 0,9; 0,3).$$

В результаті рішення задачі мінімізації набудемо значень для вузлів:

Перший вузол: $a_1=0; a_2=0; a_3=115; a_4=87; a_5=0; a_6=11.$

Другий вузол: $a_1=0; a_2=0; a_3=134; a_4=15; a_5=0; a_6=449.$

Третій вузол: $a_1=0; a_2=0; a_3=445; a_4=33; a_5=0; a_6=12.$

Висновки: отримана в статті математична модель дозволяє визначати, у відмінності від існуючих, не лише необхідну реактивну потужність засобів компенсації, але і склад технічних засобів, що реалізує мінімум приведених витрат.

Список літератури:

1. Розробка методу вибору пристроїв компенсації реактивної потужності за умови мінімальних зведених витрат / В. В. Попов, Д. І. Комарічина // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 1. - С. 77-82. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/etee_2013_1_15
2. Васюченко П. В. Управление потерями в электрических сетях с помощью регулируемых устройств продольной компенсации. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит [Текст] : общегос. науч. произв. и инф. журн. № 8 (126) / учредитель : ООО СВЭКО. — Х. : БЭТ, 2014.с 20-21.
3. Якунін О. А. Попереджувальне керування пристроями компенсації реактивної потужності та фільтрації гармонік / О. А. Якунін, О. С. Калугіна, Є. С. Беляк // Комунальне господарство міст. Сер. : Технічні науки та архітектури. - 2015. - Вип. 121. - С. 95-98. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2015_121_23
4. Бортник К. Я. Інноваційні технології в енергозбереженні по компенсації реактивної потужності / К. Я. Бортник // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. - 2014. - № 14. - С. 124-127. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kitonv_2014_14_20
5. Грицюк І. В. "Визначення економічно обґрунтованих рівнів компенсації реактивної потужності в електричних мережах з розосередженим генеруванням." Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво 15 (2014): 54-59.
6. Автоматическое управление компенсацией реактивной мощности / Дикань А.А., Владимиров Ю.В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХП». – 2013. – №.17 (990). – С. 65-67. Бібліогр.: 5 назв.
7. Бочаров М.К. Установки компенсации реактивной мощности типа укв-6,3/М.К.Бочаров, В.А. Гвоздев // Взрывозащищенное электрооборудование: сб.науч.тр.УкрНИИВЭ.-Донецк: ООО «АИР», 2013.-с 219-229.
8. Пірняк В. М. Розрахування економічних еквівалентів реактивної потужності для вузлів електричної мережі / В. М. Пірняк, П. Д. Лежнюк, О. Д. Демов, Ю. Ю. Півнюк. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. - 2013. - Вип. 3. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNTUV_2013_3_4
9. Ю.Л. Саенко Методы компенсации реактивной мощности в сетях с нелинейными нагрузками / Ю.Л. Саенко, Т.К. Бараненко, Е.В. Бараненко //Вестник Приазовского государственного технического университета : № 26.-Мариуполь: ПДТУ.,2013.-с.204-210
10. Мошенский И. В. Оптимизация потерь активной электроэнергии за счет компенсации реактивной мощности / И. В. Мошенский, И. Л. Лебединский, В. С. Ноздренков // Вісн. Сум. держ. ун-ту. Сер. Техн. науки. - 2013. - № 2. - С. 81-91.