

ОЦІНЮВАННЯ ПАЙОВОЇ УЧАСТІ СПОЖИВАЧІВ У ВТРАТАХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Дмитрієва О.М., Левшов О.В.

Донецький державний технічний університет

led@dgtu.donetsk.ua

It is appeared that the active method of the distribution of losses between an enterprise and another consumers proportionally the loading isn't correct. It is offered the method of the distribution of losses proportionally the squares of loads. An application of this method is illustrated an example of the line, which feeds some consumers of electrical energy.

Постановка задачі. При живленні декількох споживачів спільною лінією, радіальною чи магістральною, виникає необхідність у оцінюванні дольової участі кожного споживача у втратах електроенергії (коротко – втратах). Така задача зустрічається не тільки у взаємовідносинах енергопостачальної організації і споживачами, але і усередині підприємства – при госпрозрахунку між цехами. Звичайно розподіл втрат виконується пропорційно витратам електроенергії [1, 2]. Метою статті є обґрунтування способу розподілу втрат по квадратах витрат електроенергії.

Для короткості розглядаються втрати активної потужності, але отримані результати очевидним образом поширюються і на втрати реактивної потужності. Крім того, розрахункові формули будемо приводити тільки для ліній електропередачі. Якщо на ділянці мережі є трансформатор, то втрати в них додаються до втрат у лініях.

Аналіз виконаємо стосовно до підприємства (основного споживача), відносно до якого усі інші навантаження будуть зовнішніми. Лінію, для якої виконується розподіл втрат, будемо називати спільною.

Вхідні дані. Втрати потужності розраховуються за даними про споживання активної W і реактивної V електроенергії (у кВт·г і квар·г) споживачами за розрахунковий період T_p часу. У спільній лінії з номінальною напругою U_n у кВ і опором фази R у Ом втрати у кВт·г розраховується за формулою

$$\Delta W \approx \frac{10^{-3}}{U_n^2 T_p} R (W^2 + V^2) = a R A^2, \quad (1)$$

де позначено: $A^2 = W^2 + V^2$ у кВА·г, $a = 10^{-3} / (U_n^2 T_p)$ у (кВ²·г)⁻¹.

Формула (1) є приблизною, оскільки у ній фактично використовується середнє значення струму, хоча у загальному випадку втрати пропорційні квадрату ефективного струму. Розрахунки по цій формулі занижують втрати пропорційно квадрату відношення ефективного струму до середнього. Звичайно це відношення мало відрізняється від одиниці, тому розрахунок по витратах електроенергії не приводить до великих погрешностей. У протилежному випадку, при великій нерівномірності графіка навантаження, розрахунковий інтервал часу необхідно розбити на ділянки з малими діапазонами навантаження, визначаючи втрати для кожної ділянки роздільно з наступним сумуванням.

Для наочності обґрунтування способу, який пропонується, виконаємо на прикладі живлення підприємства (індекс «п») і одного зовнішнього споживача (рис. 1) при повній компенсації реактивної потужності. У цьо-

му випадку вхідними даними є величини W_n і W_1 , а формула (1) при $V = 0$ і $W = W_n + W_1$ дає

$$\Delta W = aR (W_n^2 + W_1^2 + 2W_n W_1). \quad (2)$$

Позначивши через β відношення W_1 / W_n , запишемо (2) у вигляді

$$\Delta W = aR W_n^2 (1 + \beta)^2. \quad (3)$$

Аналіз зручно виконувати у системі відносних одиниць (в.о., символ *), за базисну величину якої приймемо $aR W_n^2$. Тоді

$$\Delta W_* = \Delta W / aR W_n^2 = (1 + \beta)^2. \quad (4)$$

Існуючий спосіб. По спільній лінії при $V = 0$ передається активна електроенергія $W = W_n + W_1$. Задача полягає у визначенні долі підприємства у

втратах у цій лінії.

Введемо поняття коефіцієнта дольової участі α . При існуючому способі розділу втрат (символ ~) цей коефіцієнт визначається відношенням витрат електроенергії:

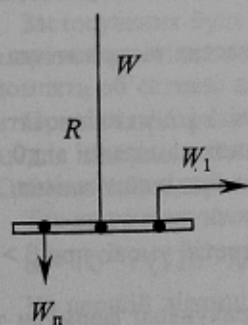


Рисунок 1

$$\tilde{\alpha} = W_n / (W_n + W_1) = 1 / (1 + \beta). \quad (5)$$

У виразі (2) перший доданок відноситься до підприємства, а другий – до зовнішнього споживача. Тому природно розділяти тільки третій доданок з коефіцієнтом (5). Такий підхід умовно назовемо «парціальним». У цьому випадку частка втрат для підприємства становить

$$\Delta \tilde{W}_n = aR(W_n^2 + 2\tilde{\alpha}W_nW_1) \quad (6)$$

або у в.о.

$$\Delta \tilde{W}_{n*} = (1 + 2\tilde{\alpha}\beta). \quad (7)$$

У практиці звичайно коефіцієнт пайової участі відносять до всіх доданків. При такому «цілісному» підході (індекс «ц») замість (6) і (7) використовуються формули:

$$\Delta \tilde{W}_{nc} = aR\tilde{\alpha}\Delta W, \quad \Delta \tilde{W}_{nc*} = \tilde{\alpha}(1 + \beta)^2. \quad (8)$$

Підстановка (5) у (7) і (8) дає наступні вирази:

$$\Delta \tilde{W}_{n*} = (1 + 3\beta) / (1 + \beta), \quad (9)$$

$$\Delta \tilde{W}_{nc*} = 1 + \beta. \quad (10)$$

Відношення двох величин

$$\Delta \tilde{W}_{nc*} / \Delta \tilde{W}_{n*} = (1 + \beta)^2 / (1 + 3\beta)$$

дорівнює одиниці лише при $\beta = 0$ і 1 . При $\beta < 1$ цілісний підхід дає меншу частку, ніж парціальний, а при $\beta > 1$ – більшу.

Пропонований спосіб. Оскільки втрати пропорційні квадрату повної потужності, пайову участь природно визначати через відношення повних потужностей. При $V = 0$, на відміну від (5), коефіцієнт пайової участі визначимо наступним виразом:

$$\alpha = W_n^2 / (W_n^2 + W_1^2) = 1 / (1 + \beta^2). \quad (11)$$

Підстановка (11) у (7) або (9) дає однаковий результат:

$$\Delta W_{n*} = \Delta W_{nc*} = (1 + \beta)^2 / (1 + \beta^2). \quad (12)$$

Це є принциповою перевагою пропонованого способу перед існуючим, який допускає різні підходи: (9) або (10).

Хоча парціальний і цілісний підходи еквівалентні, коефіцієнт (11) зручніше відносити до повних втрат, які визначаються аналогічно (8) – заміною $\tilde{\alpha}$ на α .

Зіставимо пропонований спосіб з існуючим при зміні навантаження зовнішнього споживача. При $W_n = \text{const}$ це рівносильне зіставленню залежностей від β відносних значень часток підприємства у втратах. Сформуємо умови, яким повинні задовольняти ці залежності.

По-перше, при відсутності зовнішнього навантаження, коли $\beta = 0$, усі втрати у спільній лінії створюються тільки підприємством, а тому крива $W_{n*}(\beta)$ повинна починатися з одиниці.

По-друге, при рівності навантажень підприємства і зовнішнього споживача, тобто при $\beta = 1$, на підприємство повинно приходиться половині втрат у лінії. Отже, крива повинна проходити через точку (1; 0,5). З урахуванням першої умови, на ділянці значень β від 0 до 1 крива повинна зростати.

По-третє, при подальшому збільшенні навантаження зовнішнього споживача частка підприємства повинна зменшуватися. Це означає, що при $\beta > 1$ крива повинна зменшуватися.

На рис. 2 показані криві 1-3, які розраховані по формулах (9), (10) і (11). Криві 1 і 2, які відносяться до існуючого методу, задовольняють лише першим двом умовам, хоча градієнт їх зростання на ділянці від 0 до 0,5 і різний: наприклад, пряма 2 зростає з постійним градієнтом, а крива 3 спочатку має більший градієнт, потім менший. У точці $\beta = 1$ для цієї кривої градієнт дорівнює нулю.

Принциповою хибодою існуючого методу є те, що криві 1 і 2 не задовольняють третій умові: при $\beta > 1$ вони зростають, а не зменшуються. Це доказує некоректність методу.

Загальний випадок. Якщо реактивна потужність не дорівнює нулю, то розрахункові формули трохи ускладнюються. Позначивши

$$\begin{aligned} A_n^2 &= W_n^2 + V_n^2, & A_1^2 &= W_1^2 + V_1^2, \\ A_{n1}^2 &= A_n^2 + A_1^2, & B_{n1}^2 &= 2(W_nW_1 + V_nV_1), \end{aligned}$$

замість (2) отримаємо

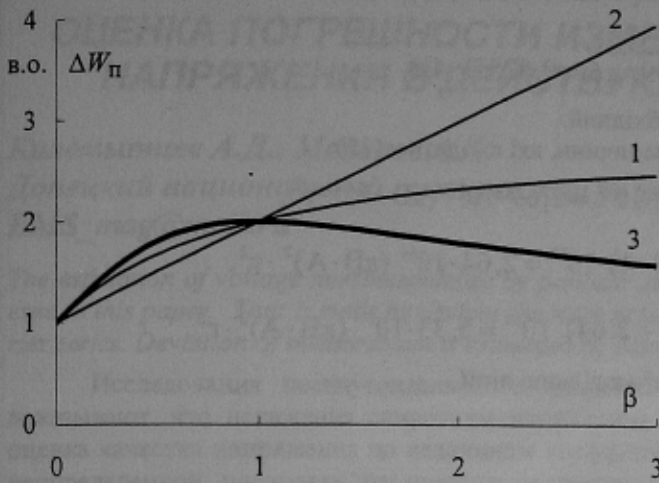


Рисунок 2 – Пай втрат електроенергії

При відносно малому навантаженні підприємства порівняно зі зовнішнім споживачем пай можна визначити лише за першим доданком у формулі (13):

$$\Delta W_n \approx aRA_n^2. \quad (17)$$

Якщо нехтовно малими вважати втрати менші за γ % від загальних втрат, то згідно (14) отримаємо рівняння

$$100/\gamma = 1 + \beta_x^2,$$

з якого знайдемо граничне значення

$$\beta_x = \sqrt{100/\gamma - 1}. \quad (18)$$

Наприклад, при $\gamma = 5$ % отримаємо $\beta_x = 4,4$.

Умова застосовності формули (17) має вигляд

$$\beta \geq \beta_x. \quad (19)$$

При існуючому способі розподілу умова більш жорстка: з урахуванням (5) отримаємо

$$\tilde{\beta} \geq \tilde{\beta}_x = 100/\gamma - 1.$$

При п'ятивідсоткової погрішності граничне значення дорівнює 19, а не 4,4.

Для підприємства важливим показником є відсоток втрат, який звичайно обчислюється по відношенню до активної електроенергії

$$\delta_n = 100\Delta W_n / W_n. \quad (20)$$

Границі ділянки мережі, у яких виконується розподіл втрат електроенергії, встановлюються на договірних підставах підприємства і енергопостачальної організації. На наш погляд, при цьому не повинні ураховуватися ділянки, для яких виконується умова (19).

Застосування будь якої методики розподілу втрат припускає прозорість енергоринка, тому що для контролю правильності договірних показників (наприклад, відсотка втрат) енергопостачальна організація повинна повідомляти об'єктивні дані про поточкорозподіли потужностей.

Приклад розрахунку. Підприємство живиться лінією 110 кВ. Місячні витрати електроенергії у ГВт·г і Гвар·г для підприємства і двох зовнішніх споживачів вказані на рис. 3. Опори ділянок лінії: $R_1 = 0,6$ і $R_2 = 1,2$ Ом. Оцінити пай підприємства у втратах електроенергії на двох ділянках лінії.

Так як розрахунковий час дорівнює 720 г, то

$$a = 10^{-3} / (110^2 \cdot 720) = 1,148 \cdot 10^{-10} \text{ (кВ}^2 \cdot \text{г)}^{-1}.$$

На першій ділянці зовнішнє навантаження дорівнює навантаженню транзиту. Перевіримо спочатку можливість використання формули (17), прийнявши $\gamma = 5$ %. Для цього розрахуємо величини:

$$A_n^2 = (10^2 + 3^2) \cdot 10^{12} = 1,09 \cdot 10^{14} \text{ (кВ} \cdot \text{А)}^2 \cdot \text{г}^2,$$

$$A_1^2 = (12^2 + 4^2) \cdot 10^{12} = 1,6 \cdot 10^{14} \text{ (кВ} \cdot \text{А)}^2 \cdot \text{г}^2,$$

$$\Delta W = aR(A_n^2 + B_{n1}^2) = aR(A_n^2 + A_1^2 + B_{n1}^2). \quad (13)$$

Коефіцієнт пайової участі визначимо як відношення

$$\alpha = A_n^2 / (A_n^2 + A_1^2). \quad (14)$$

При $V = 0$ формула (14) дає (11).

Пай підприємства у загальних втратах складе

$$\Delta W_n = \alpha \Delta W = \alpha a R A_n^2 (1 + \beta^2 + \beta_{n1}^2), \quad (15)$$

де позначено $\beta = A_1 / A_n$, $\beta_{n1} = B_{n1} / A_n$.

У системі в.о. базисною є величина aRA_n^2 , що дозволяє записати:

$$\Delta W_{n*} = \Delta W_n / (aRA_n^2) = \alpha(1 + \beta^2 + \beta_{n1}^2). \quad (16)$$

Система в.о. зручна для теоретичного аналізу впливу співвідношення активних і реактивних потужностей на пайову участь підприємства. Для практичних цілей розрахунок більш доцільно виконувати в іменованих одиницях.

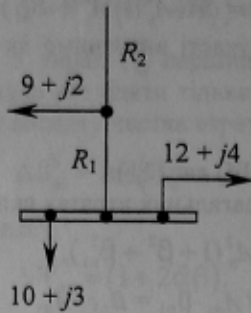


Рисунок 3

де множник 10^{12} перетворює $(\text{ГВ}\cdot\text{А})^2$ у $(\text{кВ}\cdot\text{А})^2$.

Величина

$$\beta = A_1 / A_n = \sqrt{1,09/1,6} = 0,825 \approx 4,4,$$

тому розподіл втрат необхідний.

Обчислимо інші величини, які входять у (13):

$$A_{n1}^2 = (1,09 + 1,6) \cdot 10^{14} = 2,69 \cdot 10^{14} (\text{кВ}\cdot\text{А})^2 \cdot \text{г}^2,$$

$$B_{n1}^2 = 2(10 \cdot 12 + 3 \cdot 4) \cdot 10^{12} = 2,64 \cdot 10^{14} (\text{кВ}\cdot\text{А})^2 \cdot \text{г}^2,$$

$$A_{n1}^2 + B_{n1}^2 = (2,69 + 2,64) \cdot 10^{14} = 5,33 \cdot 10^{14} (\text{кВ}\cdot\text{А})^2 \cdot \text{г}^2.$$

Втрати потужності на ділянці лінії

$$\Delta W = 1,148 \cdot 10^{-10} \cdot 0,6 \cdot 5,33 \cdot 10^{14} = 36713 \text{ кВт}\cdot\text{г}.$$

Коефіцієнт дольової участі (15)

$$\alpha = 1,09 / 2,69 = 0,405.$$

Пай (14) підприємства

$$\Delta W_n = 0,405 \cdot 36713 = 14869 \text{ кВт}\cdot\text{г}.$$

При існуючому способі розподілу коефіцієнт (5)

$$\tilde{\alpha} = 10 / (10 + 12) = 0,455,$$

що приводить до завищення пая підприємства на

$$(0,455 / 0,405 - 1) 100 = 12,3 \text{ \%}.$$

Розрахунки для другої ділянки аналогічні, лише с тією відмінністю, що зовнішнє навантаження дорівнює сумі навантажень транзиту і відгалуження: $21 + j6$ ГВ·А·г. У цьому випадку

$$\Delta W = 1,406 \cdot 10^5 \text{ кВт}\cdot\text{г}, \quad \alpha = 0,2, \quad \Delta W_n = 28120 \text{ кВт}\cdot\text{г}, \quad \tilde{\alpha} = 0,323.$$

На другій ділянці пай підприємства знизився з 0,405 до 0,2. Точно так само і при існуючому способі розподілу частка зменшилася з 0,455 до 0,323, але ступінь завищення долі підприємства збільшилася з 12,3 % до

$$(0,323 / 0,2 - 1) 100 = 61,5 \text{ \%}.$$

Процент втрат (20) обчислимо за сумою часток втрат:

$$\delta_n = 100 (14869 + 28120) / 10 \cdot 10^6 = 0,43 \text{ \%}.$$

Висновок. Розподіл втрат електроенергії слід робити по квадратах повних потужностей згідно з (14), а не пропорційно спожитій активній енергії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методика по визначенню втрат електроенергії в трансформаторах і лініях електропередач. – Київ: Міністерство енергетики України, 1998.

2. Система учета электропотребления в Киевоблэнерго / А.Э. Зоммер-и др. // Энергетика и электрификация. – 2000, № 2.