

УДК 621.311

Лежнюк П.Д.¹, Писклярова А.В.²

ОЦІНКА ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 0,38 кВ ЗА НЕПОВНОТИ ВИХІДНИХ ДАНИХ

В цій статті запропонований метод розрахунку втрат електроенергії засобами нечіткого логічного висновку Мамдані. Також показана можливість визначення похибки розрахунку втрат електроенергії за рахунок представлення нечітких значень останніх у вигляді альфа-рівнів.

В умовах стрімкого росту світових цін на нафту, природній газ та вугілля, посилюється інтерес до вирішення такої проблеми як вдосконалення та впровадження енергозберігаючих засобів та заходів. Однією зі складових даної проблеми є зменшення витрат електроенергії на її транспортування від джерела до безпосереднього споживача.

Причиною цього є економії коштів на проектах ліній електропередачі. Економія капіталовкладень під час спорудження розподільних мереж неодмінно призводить до подорожчання їх експлуатації, зокрема через великі втрати електроенергії в мережах та через погану її якість. виправити стан, який склався, можливо цілеспрямованою реконструкцією електричних мереж і впровадженням заходів по зменшенню втрат електроенергії та покращання її якості.

Для прийняття обґрунтованого рішення щодо реконструкції мереж та впровадження в процесі експлуатації заходів по зменшенню втрат електроенергії в них необхідно максимально точно визначати фактичні значення втрат електроенергії. Очевидно, що точність результатів розрахунків залежить від повноти інформаційного забезпечення.

Дана стаття присвячена вдосконаленню методів оцінки втрат електроенергії в розподільних мережах за недостатньої інформації засобами нечіткої логіки.

Результатом застосування такого методу є:

- розрахунок фактичного значення технічної складової втрат електроенергії;
- порівняння і оцінка фактичних втрат з запланованим значенням та розрахунок значення комерційних втрат електроенергії як результат балансування електроенергії на межі належності електричних мереж;
- визначення елементів з підвищеним значенням технічних та комерційних втрат електроенергії, а також основні їх причини;
- планування заходів щодо зниження як комерційної, так і технічної складових витрат електроенергії;
- прогнозування значення технічної складової на наступний розрахунковий період.

Враховуючи, що для країн пострадянського простору характерна велика протяжність розподільних мереж та низький рівень інформаційного забезпечення, знайшов широке застосування метод розрахунку технічних втрат електроенергії за узагальненими параметрами [1, 2]:

$$\Delta W = 32,25 \cdot k_L \cdot k_{\text{від}} \cdot k_N \cdot k_{\text{нес}} \cdot k_{\phi}^2 \cdot (1 + \text{tg}^2 \phi) \cdot \frac{W_F^2 \cdot L_F}{N_F^2 \cdot T \cdot U^2 \cdot F}, \quad (1)$$

де k_L – коефіцієнт, який враховує вплив на втрати розподілення навантаження вздовж лінії (його значення знаходиться в діапазоні 0,33 – 0,5);

k_{ϕ} – коефіцієнт форми графіка навантаження;

$k_{\text{нес}}$ – коефіцієнт збільшення втрат в лінії з несиметричним навантаженням по фазах мережі $k_{\text{нес}} = 1,15-1,55$ для ліній з розподіленим навантаженням. Для ліній з концентрованим навантаженням $k_{\text{нес}} = 1,05-1,1$;

¹ Вінницький національний технічний університет, д-р техн. наук, проф.

² Вінницький національний технічний університет, аспірант

k_N – коефіцієнт, який враховує взаємну відмінність густин струму на головних ділянках різних ліній (може знаходитись в діапазоні 1,04-1,16);

k_{oid} – коефіцієнт, який враховує зменшення втрат електроенергії при наявності відгалужень, густина струму в яких менша за густину в голові фідера;

$tg\varphi$ – коефіцієнт використання реактивної потужності;

W_F – сумарна енергія (кВт·год), яка відпущена лініями з проводами перерізом F , мм²;

L_F – сумарна довжина, км;

N_F – кількість фідерів, шт.;

T – тривалість розрахункового періоду, год.;

U – напруга, кВ;

F – значення перерізу проводу, мм².

На практиці коефіцієнти впливових факторів визначають у вигляді їх середніх значень, що значно підвищує похибку розрахунку.

Для більш точного та адекватного визначення коефіцієнтів впливових факторів з (1) пропонується ідентифікувати останні нечіткими базами знань «ЯКЦО-ТО» відповідно до [3]. Таким чином, ці коефіцієнти $\{k_\phi, k_{нес}, k_L, k_N, k_{oid}, k_{tg\varphi}\}$ є виходами. У вигляді входів пропонується використовувати наступний спектр впливових факторів, які представляють собою експертну інформацію.

1. Для k_ϕ^2 :

k_M – відносна кількість споживачів з мінімальним коефіцієнтом мінімуму, %;

t_m – відносна кількість споживачів з максимальним часом використання максимуму, %;

σ_r – частка споживачів з мінімальним коефіцієнтом одночасності, %.

2. Для $k_{нес}$:

F_0 – переріз нульового проводу у більшості фідерів, мм²;

F_f – переріз фазного проводу у більшості фідерів, мм²;

n_n – частка нерівномірно розподіленого по фазах навантаження, %.

3. Для k_{oid} :

n_L – частка довжини відгалужень, %;

n_e – відношення перерізів проводу відгалуження та головної ділянки, в.о.;

p – частка навантаження, приєднаного до відгалужень, %.

4. Для k_L :

d – частка навантаження, яке сконцентроване в кінці фідера, %;

5. Для k_N :

N_f – частка фідерів з однаковим перерізом проводу, %;

P_f – частка фідерів з неспіврозмірно різним навантаженням, %;

6. Для k_{tg} :

Q_c – відносне споживання реактивної потужності, %;

Q_k – частка скомпенсованої реактивної потужності, %.

Перераховані впливові фактори є експертною інформацією, тому адекватність її повинна попередньо перевірятися відповідно до [3].

Реалізації зазначеної вище ідентифікації коефіцієнтів впливових факторів нечіткими базами знань передбачає представлення останніх та впливових факторів у вигляді нечітких множин, а саме трьома термами «малий», «середній», «великий».

Для ідентифікації коефіцієнтів, засобами аналізу чутливості, сформульовані наступні правила (на прикладі коефіцієнта форми графіка навантаження) (табл. 1) [4].

Таблиця 1 – Нечітка база знань визначення k_ϕ

Якщо			Тоді
k_M	t_{\max}	σ_T	k_ϕ
В	В	–	В
В	С	В	В
С	С	В	В
М	В	С	В
М	В	М	С
М	С	М	М

Нечіткі логічні рівняння для складеної нечіткої бази знань будуть мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \mu^B(k_\phi^2) &= [\mu^B(k_M) \cap \mu^B(t_{\max})] \cup [\mu^B(k_M) \cap \mu^C(t_{\max}) \cap \mu^B(\sigma_T)] \cup [\mu^C(k_M) \cap \mu^C(t_{\max}) \cap \mu^B(\sigma_T)] \cup \\ &\cup [\mu^M(k_M) \cap \mu^B(t_{\max}) \cap \mu^C(\sigma_T)]; \\ \mu^C(k_\phi^2) &= [\mu^M(k_M) \cap \mu^B(t_{\max}) \cap \mu^M(\sigma_T)]; \\ \mu^M(k_\phi^2) &= [\mu^M(k_M) \cap \mu^C(t_{\max}) \cap \mu^M(\sigma_T)]. \end{aligned}$$

Відповідно до [4] нечіткий логічний висновок типу Мамдані реалізується:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left[\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp}) \text{ з вагою } w_{jp} \right] \longrightarrow y = d_j, \quad j = \overline{1, m},$$

де \cup та \cap – t -норма та s -норма, тобто операції над функціями належності, що відповідають нечітким логічним операціям ТА і АБО в базі знань Мамдані і реалізуються операціями знаходження мінімуму та максимуму;

k_j – кількість правил, які визначають терм вихідної змінної d_j ;

n – кількість вхідних змінних x_i (впливових факторів);

a_i^{jp} – терм впливового фактора;

y – вихідна змінна (коефіцієнт впливових факторів);

Представлена нечітка база знань може оптимізуватися за рахунок використання навчальних вибірок засобами методів оптимізації [4]. При цьому будуть змінюватися ваги кожного з представлених правил w_{jp} в табл. 1 та параметри функцій належності впливових факторів.

Операція дефазифікації відбувається по методу центра максимумів. В результаті отримуємо чітке значення коефіцієнта.

Завжди, під час розв'язку задачі розрахунку втрат електроенергії, виникає проблема оцінки похибки даного розрахунку. Зазвичай середньоквадратична методична похибка розрахунку визначається за правилом 3σ , тобто через інтервали невизначеності.

В даній роботі авторами пропонується оцінити похибку засобами представлення нечітких значень коефіцієнтів у вигляді альфа-рівнів (одиничного $[k_i, k_i]_1$ та нульового $[k_i, k_i]_0$). В результаті перемноження коефіцієнтів відповідно до (1) за правилами альфа-рівневого принципу узагальнення отримуємо втрати у вигляді альфа-рівнів. Таким чином, відповідно до [5] можна співставити одиничний альфа-рівень з інтервалом невизначеності, в який втрати попадуть з майже 100 % впевненістю експерта. Дефазифікація за методом центра максимумів дає можливість говорити про відсутність систематичної похибки.

Мінімальні значення втрат електроенергії

$$\Delta W_{p.\min} = \underline{\Delta W}^1 = 9,3 \cdot \prod_{i=1}^6 k_i \cdot \frac{W_F^2 \cdot L_F}{N_F^2 \cdot D \cdot F}.$$

Максимальні значення втрат електроенергії

$$\Delta W_{p.\max} = \overline{\Delta W}^1 = 9,3 \cdot \prod_{i=1}^6 \overline{k_i} \cdot \frac{W_F^2 \cdot L_F}{N_F^2 \cdot D \cdot F}.$$

де $\underline{\Delta W}^1$, $\overline{\Delta W}^1$ – мінімальне та максимальне значення втрат на одиничному альфа-рівні.

Методична похибка визначення втрат

$$\Delta W_p = \frac{\Delta W_{p.\max} - \Delta W_{p.\min}}{6 \cdot \Delta W_p} \cdot 100 \quad (2)$$

де ΔW_p – середнє значення втрат електроенергії. Значення втрат в даному випадку визначається дефазифікованими поправочними коефіцієнтами.

Висновки

В даній роботі показана можливість вдосконалення методів розрахунку втрат електроенергії в розподільних мережах засобами нечіткої логіки. Вперше показана можливість оцінки методичної похибки розрахунку втрат шляхом представлення нечітких значень втрат у вигляді альфа-рівнів.

Використання інтелектуальних технологій в задачах аналізу втрат електроенергії в розподільних мережах дає можливість:

– зменшити методичну похибку розрахунку втрат за рахунок уточнення значень коефіцієнтів впливових факторів з (1);

– оцінити методичну похибку розрахунку втрат (2), що полегшує вибір заходів по їх зниженню, за рахунок оцінки економічної доцільності їх впровадження.

Наведені положення підтверженні практичними розрахунками.

Перелік посилань

1. Железко Ю.С. Методы расчета технических потерь электроэнергии в сетях 380/220 В / Ю.С. Железко // Электрические станции. – 2002. – №1. – С. 14–20.
2. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
3. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. – М: Радио и связь, 1991. – 224 с.
4. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные системы / А.П. Ротштейн. – Винница: Універсум - Вінниця, 1999. – 320 с.
5. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад. – Москва: Радио и связь, 1990. – 288 с.

Рецензент: В.М. Кутін,
д-р техн. наук, проф., ВНТУ

Стаття надійшла 17.04.2008