

УДК 621.311.017

А. В. Писклярова, к. т. н.;

Д. С. Пискляров, асп.

## РОЗРАХУНОК ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

*Запропоновано розвиток методу розрахунку змінних втрат електроенергії в розподільних мережах низької напруги з використанням генетичної оптимізації, що дозволяє підвищити точність розрахунку.*

### Вступ

Технологічні витрати електроенергії на її транспортування (ТВЕ) є основним індикатором ефективності використання електричних мереж. Значення даного показника повинно прямувати до мінімуму. Тому не дивно, що останнім часом посилюється інтерес вітчизняних науковців до питань розробки заходів зі зниження ТВЕ (ЗЗВ). ТВЕ бувають нормативними та звітними [1]. Нормативне значення ТВЕ визначається як сума технічних розрахункових втрат  $\Delta W_{TP}$ , які розраховуються за виразом (1), сумарних нормативних витрат електроенергії на власні потреби  $\Delta W_{НПВ}$  та розрахункових витрат на плавлення ожеледі  $\Delta W_{ПЛО}$ .

$$\Delta W_{TP} = \Delta W_{ЗМ} + \Delta W_{TPn} + \Delta W_{ІНп}, \quad (1)$$

де  $\Delta W_{ЗМ}$  — змінні (навантажувальні) втрати електроенергії;  $\Delta W_{TPn}$  — умовно-постійні витрати електроенергії в розподільних трансформаторах;  $\Delta W_{ІНп}$  — умовно-постійні втрати електроенергії в інших елементах.

Ефективність заходів зі зниження ТВЕ визначається різницею ТВЕ до  $\Delta W_1$  і після  $\Delta W_2$  оптимізації та розраховується відповідно до [2] так

$$\delta W = K_{\Pi} (\Delta W_1 - \Delta W_2),$$

де  $K_{\Pi}$  — коефіцієнт, що враховує точність методу розрахунку втрат електроенергії.

Даний коефіцієнт  $K_{\Pi}$  розраховується таким чином

$$K_{\Pi} = 1 - \frac{\Delta}{50}, \quad (2)$$

де  $\Delta$  — відносне значення середньоквадратичної похибки методу розрахунку.

З виразу (2) випливає, що ефективність організаційних заходів залежить від похибки методу розрахунку. Попередній аналіз структури ТВЕ засвідчив, що саме похибка змінних втрат електроенергії є найбільшою та змінною. Похибка визначення інших складових вважається сталою. Дана стаття присвячена розрахунку змінних втрат електроенергії в розподільних мережах низької напруги, бо саме ці мережі вирізняються серед інших найвищим значенням ТВЕ та найнижчим рівнем спостережності.

### Постановка задачі

Змінні втрати електроенергії в низьковольтних мережах на практиці визначають методом за узагальненими параметрами

$$\Delta W = f(W_{\Sigma\text{відп}}, F, L, T, N, k_{\phi}, k_{\text{нес}}, k_{\text{від}}, k_L, k_N, \text{tg}\phi), \quad (3)$$

де  $k_L$  — коефіцієнт, який враховує вплив на втрати розподілення навантаження вздовж лінії;  $k_{\text{від}}$

— коефіцієнт, який враховує зменшення втрат за умови існування відгалужень, густина струму в яких менша за густину в голові фідера;  $k_N$  — коефіцієнт, який враховує відмінність густин струму на головних ділянках різних ліній;  $k_{\text{нес}}$  — коефіцієнт збільшення втрат в лінії з несиметричним навантаженням по фазах мережі;  $k_{\Phi}$  — коефіцієнт форми графіка навантаження;  $\text{tg } \phi$  — коефіцієнт реактивної потужності;  $F_i$  — переріз  $i$ -того проводу;  $L_i$  — довжина  $i$ -того проводу;  $W_{\Sigma}$  — сумарний відпуск електроенергії в мережу низької напруги;  $F_{\Sigma}$  — сума  $n$  — типів перерізів;  $T$  — розрахунковий період. Відносна похибка математичної моделі (3) може сягати 30 % за рахунок усереднення перерахованих вище коефіцієнтів впливних факторів.

Виходячи з того, що покращення рівня спостережності розподільних мереж низької напруги є задачею навіть не одного року і в той же час об'єми вихідної інформації поступово збільшуються, метою статті є розв'язок задачі параметричної ідентифікації зазначених коефіцієнтів впливних факторів за рахунок нової режимної інформації використовуючи генетичну оптимізацію.

### Результати досліджень

В роботі [3] для структурної ідентифікації коефіцієнтів впливних факторів були запропоновані 6 експертних нечітких баз знань, для яких входами були такі впливні фактори:  $k_H$  — відносна кількість споживачів з мінімальним коефіцієнтом нерівномірності, %;  $t_m$  — відносна кількість споживачів з максимальним часом використання максимуму, %;  $\sigma_{\Gamma}$  — відносна кількість споживачів з мінімальним коефіцієнтом одночасності, %;  $F_0$  — переріз нульового проводу,  $\text{мм}^2$ ;  $F_f$  — переріз фазного проводу,  $\text{мм}^2$ ;  $n_{\text{нер}}$  — відносне значення нерівномірно розподіленого по фазах навантаження, %;  $n_L$  — відносна довжина відгалужень, %;  $n_{\text{від}}$  — відношення перерізів проводу відгалуження та головної ділянки, в.о.;  $p$  — відносне значення навантаження, приєднаного до відгалужень, %;  $d$  — відносне значення навантаження, яке сконцентроване в кінці фідера, %;  $N_f$  — відносна кількість фідерів з однаковим перерізом проводу, %;  $p_f$  — відносна кількість фідерів з неспіврозмірно різним навантаженням, %;  $q_{\text{сп}}$  — відносне значення електроенергії спожитої промисловими споживачами, %;  $q_k$  — відносне значення скомпенсованої реактивної потужності, %. В результаті правомірним буде запис вхідних параметрів у вигляді такого вектору:

$$X = \{k_M, t_m, \sigma_{\Gamma}, F_0, F_f, n_{\text{н}}, n_L, n_{\text{в}}, p, d, N_f, p_f, q_c, q_k\}. \quad (4)$$

Виходами є коефіцієнти впливних факторів:

$$Y = \{k_{\text{нес}}, k_{\Phi}, k_{\text{tg}}, k_{\text{від}}, k_N, k_L\} \quad (5)$$

Нечіткі логічні правила, які формують нечіткі бази знань можуть бути оптимізовані коригуванням ваг відповідних правил та параметрів функції належності [4].

З врахування ваг правил нечітка база знань ідентифікації коефіцієнта форми графіка навантаження має такий вигляд:

якщо  $(k_M = B)$  і  $(t_m = B)$  і  $(\sigma_{\Gamma} = -)$  (з вагою  $w_{11}$ )

або  $(k_M = B)$  і  $(t_m = C)$  і  $(\sigma_{\Gamma} = B)$  (з вагою  $w_{12}$ )

або  $(k_M = C)$  і  $(t_m = C)$  і  $(\sigma_{\Gamma} = B)$  (з вагою  $w_{13}$ )

або  $(k_M = M)$  і  $(t_m = B)$  і  $(\sigma_{\Gamma} = C)$  (з вагою  $w_{14}$ ),

тоді  $k_{\Phi} = B$ , інакше

якщо  $(k_M = M)$  і  $(t_m = B)$  і  $(\sigma_{\Gamma} = M)$  (з вагою  $w_{21}$ ),

тоді  $k_{\Phi} = C$ , інакше

якщо  $(k_M = M)$  і  $(t_m = C)$  і  $(\sigma_{\Gamma} = M)$  (з вагою  $w_{31}$ ),

тоді  $k_{\Phi} = M$ .

Гаусова крива функції належності, якою апроксимуються функції належності вхідних та вихідних змінних нечітких баз знань має такий вигляд:

$$\mu_{\bar{q}}(q) = \exp\left(-\frac{(q-b)^2}{2 \cdot c^2}\right),$$

де  $b$  — координата максимуму,  $c$  — коефіцієнт концентрації,  $q$  — змінна.

Таким чином, математична модель нечіткої бази знань матиме такий вигляд з урахуванням всіх незалежних параметрів оптимізації:

$$k_{\Phi^*} = (F(k_M, t_m, \sigma_\Gamma), W, B, C),$$

де  $K_M = (k_{M1}, k_{M2}, \dots, k_{Mk})$ ;

$$t_{\max} = (t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mk});$$

$$\sigma_\Gamma = (\sigma_{\Gamma1}, \sigma_{\Gamma2}, \dots, \sigma_{\Gamma k});$$

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_6);$$

$$B = (b_1^{K_M}, b_2^{K_M}, b_3^{K_M}, b_1^{t_{\max}}, b_2^{t_{\max}}, b_3^{t_{\max}}, b_1^{\sigma_{\Gamma1}}, b_2^{\sigma_{\Gamma2}}, b_3^{\sigma_{\Gamma3}});$$

$$C = (c_1^{K_M}, c_2^{K_M}, c_3^{K_M}, c_1^{t_m}, c_2^{t_m}, c_3^{t_m}, c_1^{\sigma_{\Gamma1}}, c_2^{\sigma_{\Gamma2}}, c_3^{\sigma_{\Gamma3}}).$$

Кількість елементів хромосоми в нашому випадку буде дорівнювати

$$n = i + 6j = 24.$$

Сформований вектор  $(W, B, C)$ , повинен задовольняти обмеженням

$$w_i \in [\underline{w}_i, \bar{w}_i], \quad i = \overline{1,6}, \quad b_j \in [\underline{b}_j, \bar{b}_j], \quad c_j \in [\underline{c}_j, \bar{c}_j], \quad j = \overline{1,3},$$

де кількість обмежень на ваги правил визначена кількістю правил бази знань (наприклад, для  $k_{\Phi^*}$   $i = 6$ ), а кількість обмежень на коефіцієнти концентрації та координати максимуму функції належності  $j$  — кількістю термів.

В результаті розв'язання задачі оптимізації, вектор  $(W, B, C)$  забезпечує виконання такої цільової функції

$$\sum_{l=1}^M \left[ F((K_M, t_m, \sigma_\Gamma)^l, W, B, C) - k_{\Phi^*}{}^l \right]^2 = \min_{W, B, C},$$

де  $M$  — кількість пар навчальної вибірки  $((K_M, t_m, \sigma_\Gamma)^l, (k_{\Phi^*})^l)$ ,  $l$ — індекс пари,  $W, B, C$  — вектори незалежних змінних. Навчальна вибірка формується за результатами режимних вимірів або математичного моделювання.

Для оптимізації нечітких баз знань коефіцієнтів впливних факторів використовується звичайний генетичний алгоритм, основними етапами якого будуть: кодування та генерація хромосом, селекція за методом «колесо-рулетки» найкращих хромосом, схрещення у вигляді односточкового кросинговеру та мутації.

Для реалізації генетичної оптимізації в задачах підвищення точності розрахунку змінних втрат електроенергії в мережах низької напруги попередньо необхідно:

1. Перетворити вектор наявних вхідних даних у вектор факторів впливу (4):

$$\{W_{\text{ТПі}}, W_{\text{QTПі}}, W_{Fi}, W_{QFi}, W_i, N, F, L_i, n\} \Rightarrow \{X\}, \tag{6}$$

де  $L_i$  — довжина кожної ділянки;  $n$  — кількість фаз; режимна інформація про споживання кожного ТП-10/0,4  $W_{ТПi}$  ( $W_{QТПi}$ ) — активна (реактивна по годинах) або фідерів 0,38 кВ  $W_{Fi}$  ( $W_{QFi}$ ) — активна (реактивна по годинах);  $W_i$  — відпуск активної електроенергії кожному споживачу за розрахунковий період  $T$ , який фіксується контролерами протягом кожного місяця. Додатковим джерелом є знання експерта.

2. Перетворити вектор впливних факторів (4) у вектор коефіцієнтів впливних факторів (5):

$$\{X\} \Rightarrow \{Y\}.$$

Перетворення (5) виконується за допомогою таких виразів:

— відносна кількість споживачів з мінімальним коефіцієнтом мінімуму

$$k_M = \begin{cases} 20 \%, \text{ "тільки промисловість"}; \\ 40 \%, \text{ "більшість промисловості"}; \\ 60 \%, \text{ "однакове співвідношення"}; \\ 80 \%, \text{ "більшість населення"}; \\ 100 \%, \text{ "тільки населення"}; \end{cases}$$

— відносна кількості споживачів з максимальним часом використання максимуму

$$t_m = \begin{cases} 20 \%, \text{ "тільки населення"}; \\ 40 \%, \text{ "однакове співвідношення"}; \\ 60 \%, \text{ "більшість побут/промисловість"}; \\ 80 \%, \text{ "більшість двозмінної промисловості"}; \\ 100 \%, \text{ "тільки тризмінна промисловості"}; \end{cases}$$

— відносна кількість споживачів з мінімальним коефіцієнтом одночасності

$$\sigma_T = \begin{cases} 20 \%, \text{ "споживачі однієї категорії"}; \\ 40 \%, \text{ "більшість споживачів однієї категорії"}; \\ 50 \%, \text{ "половина споживачів однокової категорії"}; \\ 80 \%, \text{ "більшість споживачів різних категорій"}; \\ 100 \%, \text{ "споживачі представлені різними категоріями"}; \end{cases}$$

Наведені вище логічні системи сформовані відповідно до [5].

— перерізи нульового та фазного проводу у більшості фідерів, визначаються з поопорної схеми;

— відносне значення нерівномірно розподіленого по фазах навантаження

$$n_H = \left( \frac{|W_{CP} - W_A| + |W_{CP} - W_B| + |W_{CP} - W_C|}{W_A + W_B + W_C} \right) 100,$$

де  $W_{CP}$  — середньоарифметичне значення електроенергії, спожитої по фазах,

$W_A, W_B, W_C$  — електроенергія відпущена у фази А, В, С;

— відносна довжина відгалужень визначається за поопорними схемами

$$n_L = \left( 1 - \frac{L_M}{L_\Sigma} \right) 100,$$

де  $L_M$  — довжина магістральної ділянки,  $L_\Sigma$  — сумарна довжина фідера;

— відношення перерізів проводу відгалуження та головної ділянки визначається за даними поопорних схем так

$$n_B = \frac{F_{\text{від}}}{F_M};$$

— відносне значення навантаження приєднаного до відгалужень

$$p = \frac{\sum_{i=1}^k W_i}{\sum_{i=1}^l W_i} 100,$$

де  $k$  — кількість вузлів навантаження приєднаних до відгалужень,  $l$  — загальна кількість вузлів навантаження фідера;

— відносне значення навантаження, яке споживається населенням, також визначається за даними періодичних фіксацій споживання електроенергії окремих споживачів та за попорними схемами електричної мережі низької напруги

$$d_p = \frac{\sum_{i=1}^d W_i}{\sum_{i=1}^l W_i} 100,$$

де  $d$  — кількість вузлів, до яких приєднане населення;

— відносна кількість фідерів з однаковим перерізом проводу

$$N_f = \frac{n_0}{N} 100,$$

де  $n_0$  — кількість фідерів з однаковим перерізом проводу;

— відносна кількість фідерів зі значною різницею навантаження

$$p_f = \left( 1 - \frac{n_{\text{од}}}{N} \right) 100,$$

де  $n_{\text{од}}$  — кількість фідерів з приблизно однаковим навантаженням;

— відносне значення спожитої електроенергії промисловими споживачами

$$q_c = \frac{W_{Q_{\text{пр}\Sigma}}}{W_{Q_{F_i}}} 100,$$

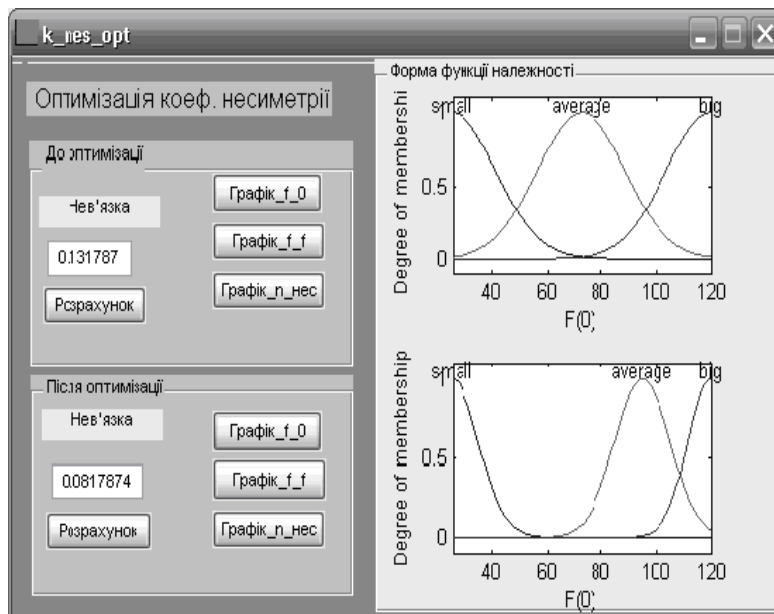
де  $W_{Q_{\text{пр}\Sigma}}$  — споживання реактивної електроенергії промисловими споживачами,  $W_{Q_{F_i}}$  — фактичне сумарне споживання реактивної електроенергії за звітний період;

— відносне значення скомпенсованої реактивної потужності

$$q_k = \frac{W_{Q_{Fk}}}{W_{Q_F}} 100 \approx \frac{Q_{\text{КП}} \cdot T}{E_F} 100,$$

де  $W_{Q_{Fk}}$  — реактивна електроенергія фактично компенсована,  $Q_{\text{КП}}$  — встановлена потужність компенсувальних пристроїв.

Розроблений метод оцінювання втрат електроенергії з використанням генетичної оптимізації практично реалізований у програмному модулі «Оцінка втрат електроенергії в електричних мережах напругою 0,38 кВ» (рис.), опис якого наведений в роботі [3].



Вікно оптимізації нечіткої бази знань ідентифікації коефіцієнта несиметрії

### Висновки

Виходячи з того, що кількість вихідної інформації з засобів обліку постійно збільшується в низьковольтних розподільних мережах, в роботі запропоновано новий підхід використання даної інформації в математичній моделі за узагальненими параметрами для зменшення похибки розрахунку втрат електроенергії з використання генетичної оптимізації. Запропонований підхід дозволив в середньому знизити відносну похибку розрахунку на 5—6 % та підвищити адекватність математичної моделі (3).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГНД 34.09.104-2003 Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0.38-150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних витрат електроенергії. — К., 2004. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
2. Методичні вказівки з аналізу технологічних витрат електроенергії та вибору заходів щодо їх зниження: ГНД 34.09.204-2004: Зат. Міністерством палива та енергетики України 09.06.2004: Термін дії встановлений з 09.06.2004 до 09.06.2009. — К.: 2004. — 159 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
3. Лежнюк П. Д. Оцінка втрат електроенергії в мережах 0,38 кВ в умовах низької достовірності вихідної інформації / П. Д. Лежнюк, А. В. Пислярова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — № 1. — С. 50—54.
4. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / Сергей Дмитриевич Штовба. — Москва: Горячая линия — Телеком, 2007. — 284 с.
5. Орлов И. Н. Электротехнический справочник: в 3 т. Т. 3. В 2 кн. Кн. 1. Производство и распределение электрической энергии [7-е изд., испр. и доп.] / И. Н. Орлов. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 880 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем

Надійшла до редакції 21.10.08  
Рекомендована до друку 20.11.08

**Пислярова Анна Валеріївна** — доцент; **Писляров Дмитро Сергійович** — аспірант.

Кафедра електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет