УДК 621.316.1

В.В. Зінзура, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

Задача багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричній мережі з глухозаземленою нейтраллю

Стаття присвячена розробці математичної моделі управління пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з ізольованою нейтраллю. Дана модель управління забезпечує зменшення не лише усталеного відхилення трьохфазної напруги, зменшення рівнів несиметрії по зворотній та нульовій послідовностях, а враховує й відхилення фазних напруг, що є досить актуальною задачею для мережі з однофазними споживачами.
відхилення напруги, несиметрія напруги, багатокритеріальна оптимізація, парето-оптимальна множина, утопічна точка

Вступ. В сучасних системах електропостачання досить часто спостерігаються завищені показники якості електричної енергії.

Одними з основних показників, що характеризують якість електричної енергії згідно ГОСТ-113109-97 є усталене відхилення напруги та коефіцієнти несиметрії по зворотній та нульовій послідовностях.

Понаднормове перевищення значень даних показників якості призводить до появи ряду негативних явищ: збільшення втрат електричної енергії, зношення ізоляції, вихід електроприймачів з ладу та ін.

Постановка проблеми. В низьковольтних мережах, що працюють в режимі з глухозаземленою нейтраллю, питома частка однофазних споживачів є досить значна. Для їх нормального функціонування необхідно, щоб значення відхилень фазних напруг не перевищували нормально допустимих значень, встановлених ГОСТ-113109-97. Найбільш дієвим та поширеним способом зниження рівнів показників якості електричної енергії до допустимих меж є застосування спеціальних технічних засобів регулювання та симетрування напруги. Проте дані засоби не завжди можливо використовувати, зважаючи на їх техніко-економічні показники. Одним із шляхів вирішення даної задачі є вдосконалення систем автоматичного управління пристроєм РПН силового трансформатора.

Аналіз публікацій. Питання одночасного зниження несиметрії напруг розглядалось в роботах [1], [2], [3], [4]. В роботі [3] сформульовано задачу багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги для трансформатора з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю. Проте в моделі управління, запропонованій в даній роботі не враховуються значення відхилення напруг окремих фаз мережі.

Метою статті. Розробка математичної моделі управління пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю, на основні математичного апарату багатокритеріальної оптимізації, яка б враховувала відхилення напруг кожної з фаз.

Основна частина. Задачу багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги, що враховує відхилення фазних напруг, можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} Q_1(\mathbf{K}) = |\Delta U_1(\mathbf{K})| = |U_1(\mathbf{K}) - U_{\text{ном}}| \to \min; \\ Q_2(\mathbf{K}) = U_2(\mathbf{K}) \to \min; \\ Q_3(\mathbf{K}) = U_0(\mathbf{K}) \to \min; \\ Q_4(\mathbf{K}) = |\Delta U_{A\text{ф}}(\mathbf{K})| = |U_{A\text{ф}}(\mathbf{K}) - U_{\text{ф.ном}}| \to \min; \\ Q_5(\mathbf{K}) = |\Delta U_{B\text{ф}}(\mathbf{K})| = |U_{B\text{ф}}(\mathbf{K}) - U_{\text{ф.ном}}| \to \min; \\ Q_6(\mathbf{K}) = |\Delta U_{C\text{ф}}(\mathbf{K})| = |U_{C\text{ф}}(\mathbf{K}) - U_{\text{ф.ном}}| \to \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega; \end{cases} \qquad (1)$$

де $\mathbf{Q}(\mathbf{K}) = \left(Q_1(\mathbf{K}),\ Q_2(\mathbf{K}),\ Q_3(\mathbf{K}), Q_4(\mathbf{K}),\ Q_5(\mathbf{K}),\ Q_6(\mathbf{K})\right)$ – *вектор критеріїв* управління;

$\mathbf{K} = (k_a, k_b, k_c)$ – вектор коефіцієнтів трансформації трансформатора у фазах A, B, C (*вектор управління*);

$\Delta U_1(\mathbf{K})$ – різниця значень модуля напруги прямої послідовності та номінальної напруги (пропорційний відхиленню напруги);

$U_2(\mathbf{K})$ – напруга зворотної послідовності;

$U_0(\mathbf{K})$ – напруга нульової послідовності;

$\Delta U_{A\text{ф}}(\mathbf{K})$, $\Delta U_{B\text{ф}}(\mathbf{K})$, $\Delta U_{C\text{ф}}(\mathbf{K})$ − різниця значень модулів фазних напруг у фазах A, B, C та номінальної фазної напруги;

$\Omega = \left\{\mathbf{K} \in \mathrm{R}^3 \,\middle|\, k_{i\min} \le k_i \le k_{i\max},\ i = a, b, c\right\}$ – область допустимих значень вектора коефіцієнтів трансформації трансформатора, яка визначається глибиною регулювання коефіцієнта трансформації (допустимий простір управління);

$k_{i\min}, k_{i\max},\ i = a, b, c$ – відповідно мінімальне та максимальне значення коефіцієнту трансформації трансформатора для кожної з фаз.

Як показано в роботі [2], найбільш доцільним способом розв’язку задачі багатокритеріальної оптимізації (1) є розв’язок її шляхом наближення до утопічної точки в просторі критеріїв, який проводиться в два етапи:

1 етап. Оптимізацією окремих критеріїв визначаються координати утопічної точки $Q_{\text{ут}} = (\Delta U_{1\text{ут}}, U_{2\text{ут}}, U_{0\text{ут}}, \Delta U_{A\text{ут}},\ \Delta U_{B\text{ут}},\ \Delta U_{C\text{ут}})$ в просторі критеріїв $\{\mathbf{Q}\} \subset \mathrm{R}^6$.

2 етап. Шляхом розв’язку задачі скалярної оптимізації відстані ρ від утопічної точки до парето-оптимальної множини розв’язків в просторі критеріїв знаходяться координати розв’язку задачі багатокритеріальної оптимізації $\mathbf{K}^{\text{opt}}$ в просторі управління $\Omega \subset \mathrm{R}^3$.

Задача знаходження аналітичних виразів для визначення координат утопічної точки $\Delta U_{1\text{ут}}$, $U_{2\text{ут}}$ детально описана в роботі [1], тому наведемо лише кінцеві вирази для її знаходження.

Вираз для знаходження $\Delta U_{1\text{ут}}$:

$$\Delta U_{1\text{ут}} = \begin{cases} 0, \operatorname{sign} \Delta U_1(\mathbf{K}_{\min}) \neq \operatorname{sign} \Delta U_1(\mathbf{K}_{\max}); \\ \left|\Delta U_1(\mathbf{K}_{\min})\right|, \operatorname{sign} \Delta U_1(\mathbf{K}_{\min}) = \operatorname{sign} \Delta U_1(\mathbf{K}_{\max}) = -1; \\ \left|\Delta U_1(\mathbf{K}_{\max})\right|, \operatorname{sign} \Delta U_1(\mathbf{K}_{\min}) = \operatorname{sign} \Delta U_1(\mathbf{K}_{\max}) = 1; \end{cases} \tag{2}$$

де $\mathbf{K}_{\min} = (k_{A\min}, k_{B\min}, k_{C\min})$, $\mathbf{K}_{\max} = (k_{A\max}, k_{B\max}, k_{C\max})$ − вектори мінімальних і максимальних коефіцієнтів трансформації трансформатора;

ΔU_1 − відхилення напруги прямої послідовності.

Вираз для знаходження $U_{2\text{ут}}$:

$$U_{2\text{ут}} = \begin{cases} U_2\left[\Phi_{2A}\left(k_{B\min}, k_{C\max}\right), k_{B\min}, k_{C\max}\right], \left(k'_{B2} < k_{B\min}\right) \wedge \\ \wedge \left\{\left[\left(k'_{A2} < k_{A\min}\right) \wedge (\xi_2 \leq 1)\right] \vee \left(k_{A\min} \leq k'_{A2} \leq k_{A\max}\right)\right\}; \\ U_2\left[\Phi_{2A}\left(k_{B\max}, k_{C\min}\right), k_{B\max}, k_{C\min}\right], \left(k'_{B1} > k_{B\max}\right) \wedge \\ \wedge \left\{\left[\left(k'_{A1} > k_{A\max}\right) \wedge (\xi_2 > 1)\right] \vee \left(k_{A\min} \leq k'_{A1} \leq k_{A\max}\right)\right\}; \\ U_2\left[k_{A\min}, \Phi_{2B}\left(k_{A\min}, k_{C\max}\right), k_{C\max}\right], \left(k'_{A2} < k_{A\min}\right) \wedge \\ \wedge \left\{\left[\left(k'_{B2} < k_{B\min}\right) \wedge (\xi_2 > 1)\right] \vee \left(k_{B\min} \leq k'_{B2} \leq k_{B\max}\right)\right\}; \\ U_2\left[k_{A\max}, \Phi_{2B}\left(k_{A\max}, k_{C\min}\right), k_{C\min}\right], \left(k'_{A1} > k_{A\max}\right) \wedge \\ \wedge \left\{\left[\left(k'_{B1} > k_{B\max}\right) \wedge (\xi_2 \leq 1)\right] \vee \left(k_{B\min} \leq k'_{B1} \leq k_{B\max}\right)\right\}; \\ U_2\left[k_{A\min}, k_{B\max}, \Phi_{2C}\left(k_{A\min}, k_{B\max}\right)\right], \left(\xi_2 > \dfrac{k_{B\max}}{k_{A\min}}\right) \wedge \\ \wedge \neg\left[\left(k'_{B2} < k_{B\max}\right) \vee \left(k'_{A1} > k_{A\min}\right)\right]; \\ U_2\left[k_{A\max}, k_{B\min}, \Phi_{2C}\left(k_{A\max}, k_{B\min}\right)\right], \left(\xi_2 < \dfrac{k_{B\min}}{k_{A\max}}\right) \wedge \\ \wedge \neg\left[\left(k'_{A2} < k_{A\max}\right) \vee \left(k'_{B1} > k_{B\min}\right)\right]; \\ 0, \left(\dfrac{k_{B\min}}{k_{A\max}} \leq \xi_2 \leq \dfrac{k_{B\max}}{k_{A\min}}\right) \wedge \neg\left\{\left[\left(k'_{A2} < k_{A\min}\right) \wedge \left(k'_{B2} < k_{B\max}\right)\right] \vee \right. \\ \vee \left[\left(k'_{A1} > k_{A\min}\right) \wedge \left(k'_{B1} > k_{B\max}\right)\right] \vee \left[\left(k'_{A2} < k_{A\max}\right) \wedge \right. \\ \left. \wedge \left(k'_{B2} < k_{B\min}\right)\right] \vee \left[\left(k'_{A1} > k_{A\max}\right) \wedge \left(k'_{B1} > k_{B\min}\right)\right]\right\} \end{cases} \tag{3}$$

де $U_{A\text{a}}$, $U_{A\text{p}}$, $U_{B\text{a}}$, $U_{B\text{p}}$, $U_{C\text{a}}$, $U_{C\text{p}}$ − активні та реактивні складові векторів напруг $\underline{U}_A$, $\underline{U}_B$, $\underline{U}_C$ відповідно;

$\Phi_{2A}\left(k_B, k_C\right)$, $\Phi_{2B}\left(k_A, k_C\right)$, $\Phi_{2C}\left(k_A, k_B\right)$ − розв'язки рівнянь $\partial U_2(\mathbf{K}) / \partial k_A = 0$, $\partial U_2(\mathbf{K}) / \partial k_B = 0$, $\partial U_2(\mathbf{K}) / \partial k_C = 0$ відповідно:

$$\Phi_{2A}\left(k_B, k_C\right) = \frac{2k_B k_C \times}{k_B U_{A\text{а}} U_{C\text{а}} + k_C U_{A\text{а}} U_{B\text{а}} + \sqrt{3} k_B U_{A\text{а}} U_{C\text{р}} - \sqrt{3} k_B U_{C\text{а}} U_{A\text{р}} -}$$
$$\frac{\times\left(U_{A\text{а}}^2 + U_{A\text{р}}^2\right)}{-\sqrt{3} k_C U_{A\text{а}} U_{B\text{р}} + \sqrt{3} k_C U_{B\text{а}} U_{A\text{р}} + k_B U_{A\text{р}} U_{C\text{р}} + k_C U_{A\text{р}} U_{B\text{р}}}; \quad (4)$$

$$\Phi_{2B}\left(k_A, k_C\right) = \frac{2k_A k_C \times}{k_A U_{B\text{а}} U_{C\text{а}} + k_C U_{A\text{а}} U_{B\text{а}} - \sqrt{3} k_A U_{B\text{а}} U_{C\text{р}} + \sqrt{3} k_A U_{C\text{а}} U_{B\text{р}} -}$$
$$\frac{\times\left(U_{B\text{а}}^2 + U_{B\text{р}}^2\right)}{-\sqrt{3} k_C U_{A\text{а}} U_{B\text{р}} + \sqrt{3} k_C U_{B\text{а}} U_{A\text{р}} + k_A U_{B\text{р}} U_{C\text{р}} + k_C U_{A\text{р}} U_{B\text{р}}}; \quad (5)$$

$$\Phi_{2C}\left(k_A, k_B\right) = \frac{2k_A k_B \times}{k_A U_{B\text{а}} U_{C\text{а}} + k_B U_{A\text{а}} U_{C\text{а}} - \sqrt{3} k_A U_{B\text{а}} U_{C\text{р}} + \sqrt{3} k_A U_{C\text{а}} U_{B\text{р}} +}$$
$$\frac{\times\left(U_{C\text{а}}^2 + U_{C\text{р}}^2\right)}{+\sqrt{3} k_B U_{A\text{а}} U_{C\text{р}} - \sqrt{3} k_B U_{C\text{а}} U_{A\text{р}} + k_A U_{B\text{р}} U_{C\text{р}} + k_B U_{A\text{р}} U_{C\text{р}}}; \quad (6)$$

ξ_2 – постійний коефіцієнт:

$$\xi_2 = \frac{U_{B\text{а}} U_{C\text{а}} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{B\text{р}} U_{C\text{а}} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{B\text{а}} U_{C\text{р}} + U_{B\text{р}} U_{C\text{р}}}{U_{A\text{а}} U_{C\text{а}} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{A\text{р}} U_{C\text{а}} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{A\text{а}} U_{C\text{р}} + U_{A\text{р}} U_{C\text{р}}}; \quad (7)$$

k'_{A1}, k'_{B1}, k'_{A2}, k'_{B2} – значення коефіцієнтів трансформації, отримані в результаті підстановки в рівняння системи (8) значень $k_{C\min}$, $k_{C\max}$ відповідно;

$$\begin{cases} k'_A = \dfrac{U_{A\text{а}} U_{B\text{а}} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{A\text{р}} U_{B\text{а}} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{A\text{а}} U_{B\text{р}} + U_{A\text{р}} U_{B\text{р}}}{U_{B\text{а}} U_{C\text{а}} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{B\text{р}} U_{C\text{а}} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{B\text{а}} U_{C\text{р}} + U_{B\text{р}} U_{C\text{р}}} k_C; \\[2ex] k'_B = \dfrac{U_{A\text{а}} U_{B\text{а}} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{A\text{р}} U_{B\text{а}} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{A\text{а}} U_{B\text{р}} + U_{A\text{р}} U_{B\text{р}}}{U_{A\text{а}} U_{C\text{а}} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{A\text{р}} U_{C\text{а}} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{A\text{а}} U_{C\text{р}} + U_{A\text{р}} U_{C\text{р}}} k_C. \end{cases} \quad (8)$$

Задача знаходження аналітичних виразів для визначення координати утопічної точки $U_{0\text{ут}}$ детально описана в роботі [3], тому наведемо лише кінцеві вирази для її знаходження:

$$
U_{0\text{ут}} = \begin{cases}
U_0\left[\Phi_{0A}\left(k_{B\min}, k_{C\max}\right), k_{B\min}, k_{C\max}\right], \left(k''_{B2} < k_{B\min}\right) \wedge \\
\wedge \left\{\left[\left(k''_{A2} < k_{A\min}\right) \wedge (\xi_0 \le 1)\right] \vee \left(k_{A\min} \le k''_{A2} \le k_{A\max}\right)\right\}; \\
U_0\left[\Phi_{0A}\left(k_{B\max}, k_{C\min}\right), k_{B\max}, k_{C\min}\right], \left(k''_{B1} > k_{B\max}\right) \wedge \\
\wedge \left\{\left[\left(k''_{A1} > k_{A\max}\right) \wedge (\xi_0 > 1)\right] \vee \left(k_{A\min} \le k''_{A1} \le k_{A\max}\right)\right\}; \\
U_0\left[k_{A\min}, \Phi_{0B}\left(k_{A\min}, k_{C\max}\right), k_{C\max}\right], \left(k''_{A2} < k_{A\min}\right) \wedge \\
\wedge \left\{\left[\left(k''_{B2} < k_{B\min}\right) \wedge (\xi_0 > 1)\right] \vee \left(k_{B\min} \le k''_{B2} \le k_{B\max}\right)\right\}; \\
U_0\left[k_{A\max}, \Phi_{0B}\left(k_{A\max}, k_{C\min}\right), k_{C\min}\right], \left(k''_{A1} > k_{A\max}\right) \wedge \\
\wedge \left\{\left[\left(k''_{B1} > k_{B\max}\right) \wedge (\xi_0 \le 1)\right] \vee \left(k_{B\min} \le k''_{B1} \le k_{B\max}\right)\right\}; \\
U_0\left[k_{A\min}, k_{B\max}, \Phi_{0C}\left(k_{A\min}, k_{B\max}\right)\right], \left(\xi_0 > \dfrac{k_{B\max}}{k_{A\min}}\right) \wedge \\
\wedge \neg\left[\left(k''_{B2} < k_{B\max}\right) \vee \left(k''_{A1} > k_{A\min}\right)\right]; \\
U_0\left[k_{A\max}, k_{B\min}, \Phi_{0C}\left(k_{A\max}, k_{B\min}\right)\right], \left(\xi_0 < \dfrac{k_{B\min}}{k_{A\max}}\right) \wedge \\
\wedge \neg\left[\left(k''_{A2} < k_{A\max}\right) \vee \left(k''_{B1} > k_{B\min}\right)\right]; \\
0, \left(\dfrac{k_{B\min}}{k_{A\max}} \le \xi_0 \le \dfrac{k_{B\max}}{k_{A\min}}\right) \wedge \neg\left\{\left[\left(k''_{A2} < k_{A\min}\right) \wedge \left(k''_{B2} < k_{B\max}\right)\right] \vee \right. \\
\vee \left[\left(k''_{A1} > k_{A\min}\right) \wedge \left(k''_{B1} > k_{B\max}\right)\right] \vee \left[\left(k''_{A2} < k_{A\max}\right) \wedge \left(k''_{B2} < k_{B\min}\right)\right] \vee \\
\left. \vee \left[\left(k''_{A1} > k_{A\max}\right) \wedge \left(k''_{B1} > k_{B\min}\right)\right]\right\}
\end{cases} \tag{9}
$$

де $\Phi_{0A}\left(k_B, k_C\right)$, $\Phi_{0B}\left(k_A, k_C\right)$, $\Phi_{0C}\left(k_A, k_B\right)$ − розв’язки рівнянь $\partial U_0(\mathbf{K}) / \partial k_A = 0$, $\partial U_0(\mathbf{K}) / \partial k_B = 0$, $\partial U_0(\mathbf{K}) / \partial k_C = 0$ відповідно:

$$
\Phi_{0A}\left(k_B, k_C\right) = -\frac{2 k_B k_C \left(U_{A\text{a}}^2 + U_{A\text{p}}^2\right)}{k_B U_{A\text{a}} U_{C\text{a}} + k_C U_{A\text{a}} U_{B\text{a}} + k_B U_{A\text{p}} U_{C\text{p}} + k_C U_{A\text{p}} U_{B\text{p}}}; \tag{10}
$$

$$
\Phi_{0B}\left(k_A, k_C\right) = -\frac{2 k_A k_C \left(U_{B\text{a}}^2 + U_{B\text{p}}^2\right)}{k_A U_{B\text{a}} U_{C\text{a}} + k_C U_{A\text{a}} U_{B\text{a}} + k_A U_{B\text{p}} U_{C\text{p}} + k_C U_{A\text{p}} U_{B\text{p}}}; \tag{11}
$$

$$
\Phi_{0C}\left(k_A, k_B\right) = -\frac{2 k_A k_B \left(U_{C\text{a}}^2 + U_{C\text{p}}^2\right)}{k_A U_{B\text{a}} U_{C\text{a}} + k_B U_{A\text{a}} U_{C\text{a}} + k_A U_{B\text{p}} U_{C\text{p}} + k_B U_{A\text{p}} U_{C\text{p}}}, \tag{12}
$$

ξ_0 – постійний коефіцієнт:

$$\xi_0 = \frac{U_{B\text{а}}U_{C\text{р}} - U_{B\text{р}}U_{C\text{а}}}{U_{A\text{р}}U_{C\text{а}} - U_{A\text{а}}U_{C\text{р}}}; \tag{13}$$

k''_{A1}, k''_{B1}, k''_{A2}, k''_{B2} – значення коефіцієнтів трансформації, отримані в результаті підстановки в рівняння системи (8) значень $k_{C\min}$, $k_{C\max}$ відповідно;

$$\begin{cases} k''_A = \dfrac{U_{A\text{а}}U_{B\text{р}} - U_{A\text{р}}U_{B\text{а}}}{U_{B\text{а}}U_{C\text{р}} - U_{B\text{р}}U_{C\text{а}}} k_C; \\ k''_B = \dfrac{U_{A\text{а}}U_{B\text{р}} - U_{A\text{р}}U_{B\text{а}}}{U_{A\text{р}}U_{C\text{а}} - U_{A\text{а}}U_{C\text{р}}} k_C. \end{cases} \tag{14}$$

Для вирішення задачі знаходження координат $\Delta U_{A\text{ут}}$, $\Delta U_{B\text{ут}}$, $\Delta U_{C\text{ут}}$ можна скористатись тією ж методикою, що і для знаходження $\Delta U_{1\text{ут}}$. Вираз для знаходження $\Delta U_{A\text{ут}}$, $\Delta U_{B\text{ут}}$, $\Delta U_{C\text{ут}}$ має вигляд:

$$\Delta U_{i\text{ут}} = \begin{cases} 0, \operatorname{sign} \Delta U_{i\text{ф}}(k_{i\min}) \neq \operatorname{sign} \Delta U_{i\text{ф}}(k_{i\max}); \\ \left|\Delta U_{i\text{ф}}(k_{i\min})\right|, \operatorname{sign} \Delta U_{i\text{ф}}(k_{i\min}) = \operatorname{sign} \Delta U_{i\text{ф}}(k_{i\max}) = -1; \\ \left|\Delta U_{i\text{ф}}(k_{i\max})\right|, \operatorname{sign} \Delta U_{i\text{ф}}(k_{i\min}) = \operatorname{sign} \Delta U_{i\text{ф}}(k_{i\max}) = 1; \end{cases} \tag{15}$$

В роботі [2] показано, що найбільш доцільним методом знаходження кінцевого розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги, що заснований на мінімізації чебишевської відстані до утопічної точки. Для задачі (1) даний метод знаходження кінцевого розв'язку можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} \max\left\{ \mu_1 \left|\dfrac{\Delta U_1(\mathbf{K}) - \Delta U_{\text{ут}}}{\beta_1}\right|,\ \mu_2 \left|\dfrac{U_2(\mathbf{K}) - U_{2\text{ут}}}{\beta_2}\right|,\ \mu_3 \left|\dfrac{U_0(\mathbf{K}) - U_{2\text{ут}}}{\beta_3}\right|,\right. \\ \left. \mu_4 \left|\dfrac{U_{A\text{ф}}(\mathbf{K}) - U_{A\text{ут}}}{\beta_4}\right|,\ \mu_5 \left|\dfrac{U_{B\text{ф}}(\mathbf{K}) - U_{B\text{ут}}}{\beta_5}\right|,\ \mu_6 \left|\dfrac{U_{C\text{ф}}(\mathbf{K}) - U_{C\text{ут}}}{\beta_6}\right| \right\} \to \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega, \end{cases} \tag{16}$$

де β_i – коефіцієнти, що враховують різнорідність критеріїв (зазвичай приймаються рівними максимальному відхиленню відповідного критерію);

μ_i – вагові коефіцієнти, що враховують важливість кожного з критеріїв.

Задача (16) є задачею скалярної оптимізації функції багатьох змінних. Для її вирішення доцільно скористатись одним із чисельних методів.

Висновки. В результаті проведеного дослідження:

1. Сформульовано математичну модель управління пристроєм РПН силового трансформатора, яка враховує відхилення фазних напруг.

2. Запропоновано метод розв'язку даної задачі багатокритеріальної оптимізації шляхом наближення до утопічної точки в просторі критеріїв;

Список літератури

1. Плєшков П. Г. Теоретичні засади оптимального керування пристроєм РПН силового трансформатора за векторним критерієм. / П. Г. Плєшков, В.В. Зінзура, М. В. Кубкін // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація /. – Вип. 24.Ч.2 – Кіровоград: КНТУ, 2011. -С. 164-173.
2. Зінзура В.В. Методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація /. – Вип. 25.Ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2012.- С. 350-360
3. Плєшков П.Г. Оптимальне керування пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю. / П. Г. Плєшков, В. В. Зінзура, М. В. Кубкін // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 117 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2011. – С. 97-99.
4. Бурбело М. Й. Застосування багатоцільової оптимізації для симетрування та зменшення відхилень напруг в електричних мережах / М. Й. Бурбело, А. М. Волоцький, О. В. Бабенко, О. В. Салій // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. − № 6. – С. 76 – 79.

В. Зинзура

Задача многокритериальной оптимизации регулирования напряжения в электрической сети с глухозаземленной нейтралью

Статья посвящена разработке математической модели управления устройством РПН силового трансформатора, который работает в сети с изолированной нейтралю. Эта модель управления обеспечивает уменьшение не только установившегося отклонения трехфазного напряжения, уменьшения уровней несимметрии по обратной и нулевой последовательностях, но и учитывает отклонение фазных напряжений, что является актуальной задачей для сети с однофазными потребителями.

V. Zinzura

Problem multiobjective optimization control voltage electric network with dead grounded neutral

The article is devoted to the development of a mathematical model of the control power transformer tap-changer, who works in a network with isolated neutral. This governance model provides not only a steady decrease in the deviation phase voltage, reducing the levels of asymmetry for negative and zero sequences, but the deviation of the phase voltages, which is an important task for the network with single-phase consumers.

.

Одержано 21.02.12