

УДК 621.316.13

П.Г. ПЛЄШКОВ, Ю.А. ЛЕВАНЦОВА, В.В. ЗІНЗУРА

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ НАПРУГ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РЕГУЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Запропоновано підхід до автоматичного керування режимами напруг розподільних електричних мереж, що містять силові трансформатори з безконтактними пристроями регулювання напруги під навантаженням, який базується на вирішенні задачі багатокритеріальної оптимізації. Розроблено структурну схему системи автоматичного керування та її комп'ютерну імітаційну модель. Результати проведених досліджень ефекту від застосування розробленої системи автоматичного керування показали, що застосування цієї системи дозволяє досягти одночасного зниження рівнів усталеного відхилення та несиметрії напруг в мережі.

Ключові слова: система автоматичного керування, багатокритеріальна оптимізація, розподільна електрична мережа.

Предлагается подход к автоматическому управлению режимами напряжений распределительных электрических сетей, которые содержат силовые трансформаторы с бесконтактными устройствами регулирования напряжения под нагрузкой, который базируется на решении задачи многокритериальной оптимизации. Разработана структурная схема системы автоматического управления и ее компьютерную имитационную модель. Результаты проведенных исследований эффекта от применения разработанной системы автоматического управления показали, что применение этой системы позволяет достичь одновременного снижения уровней установившегося отклонения и несимметрии напряжений в сети

Ключевые слова: система автоматического управления, многокритериальная оптимизация, распределительная электрическая сеть.

An approach is proposed to control the voltage regimes of distribution electrical networks containing power transformers with noncontact on-load tap changers, which is based on the solution of the multicriteria optimization problem. The structural scheme of the system of automatic control of voltage regimes of distribution electrical networks is developed, which is based on the solution of the problem of multicriteria optimization. A computer simulation model of the automatic control system was developed, through which the stability of the proposed system was studied. The study of the effect of the application of the developed system of automatic control of voltage regimes by computer simulation has shown that the application of the developed system of automatic control of voltage regimes of distribution electrical networks, allows, unlike existing ones, to achieve simultaneous reduction of the levels of steady deviation and voltage asymmetry due to phase change transformation transform coefficients according to the developed control law.

Keywords: automatic control system, multicriteria optimization, distribution electrical network.

Вступ. Характерною рисою сьогодення є загострення проблеми підвищення економічності та надійності роботи обладнання, що експлуатується промисловими підприємствами України. З цієї проблемою тісно пов'язане питання зниження рівнів показників якості електричної енергії (ПЯЕ), що характеризують відхилення та несиметрію напруг в розподільних електричних мережах (РЕМ). Тому задача розробки нових методів та засобів зниження рівня цих ПЯЕ які, з одного боку, були б досить ефективними, а з іншого – не вимагали б значних капіталовкладень є досить актуальною. Одним із шляхів вирішення даної задачі є удосконалення систем автоматичного керування режимами напруг РЕМ, що містять силові трансформатори, які оснащені регулюючими пристроями, насамперед пристроями регулювання напруги під навантаженням (РПН).

Слід зазначити, що стрімкий розвиток силовій електроніки в останні роки дозволив створити потужні силові напівпровідникові ключі, які розраховані на протікання відносно великих значень струмів. Однією із областей застосування таких напівпровідникових пристроїв є модернізація пристроїв перемикачів без збудження силових трансформаторів напругою 10/0,4 кВ та створення на їх основі безконтактних пристроїв РПН. Такі безконтактні пристрої РПН силових трансформаторів, окрім очевидних переваг (більш висока швидкодія, простота в обслуговуванні та ін.) мають ще одну: з їх допомогою можливо змінювати коефіцієнт трансформації силового трансформатора в кожній фазі окремо. Це дає змогу впливати не лише на рівні усталеного відхилення напруги, але і на рівні несиметрії напруг на стороні низької напруги (НН) силового трансформатора. В зв'язку з цим актуальним постає питання розробки системи автоматичного керування режи-

мами напруги РЕМ, яка б враховувала можливості безконтактного пристрою РПН до пофазної зміни коефіцієнта трансформації з метою одночасного зниження рівнів усталеного відхилення та несиметрії напруг.

Аналіз публікацій. Задача удосконалення САК режимами напруг РЕМ, що містять трансформатори з безконтактними пристроями РПН з метою одночасного зменшення рівнів відхилення та несиметрії напруг розглядалась в [1-5]. У роботі [3] запропоновано математичну модель керування режимами напруги РЕМ, що містять силові трансформатори з безконтактним пристроєм РПН силового трансформатора, в основу якої покладено математичний апарат багатокритеріальної оптимізації. У роботі [2] теоретично обґрунтовано метод розв'язку подібного класу задач керування. Проте, для визначення ефективності обраного методу розв'язку необхідно на основі запропонованої в [3] математичної моделі керування розробити САК режимами напруг, а також провести дослідження стійкості даної САК та визначити ефект від її застосування.

Мета роботи. Метою даної роботи є розробка та дослідження роботи САК режимами напруг РЕМ, що містять силові трансформатори із безконтактними пристроями РПН зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем», що базується на розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити структурну схему САК режимами напруг РЕМ, що містять силові трансформатори із безконтактними пристроями РПН зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем», що базується на розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації;
- створити комп'ютерні імітаційні моделі розро-

бленої САК;

- провести дослідження стійкості розробленої САК;
- визначити ефект від застосування розробленої САК.

Викладення основного матеріалу досліджень.

У роботі [3] сформульовано задачу керування режимами напруг РЕМ, що містять силові трансформатори із безконтактними пристроями РПН зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем»:

$$\begin{cases} |\Delta U_1(\mathbf{K})| = |U_1(\mathbf{K}) - U_{ном}| \rightarrow \min; \\ U_2(\mathbf{K}) \rightarrow \min; \\ U_0(\mathbf{K}) \rightarrow \min; \\ |\Delta U_{\phi i}(\mathbf{K})| \rightarrow \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega, \end{cases} \quad (1)$$

де $\mathbf{K} = (k_A, k_B, k_C)$ – вектор коефіцієнтів трансформації трансформатора у фазах А, В, С (вектор керування);

$U_1(\mathbf{K})$ – напруга прямої послідовності;

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

$U_{ном}$ – номінальна напруга мережі;

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

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

$\Delta U_{\phi i}(\mathbf{K}), i = A, B, C$ – значення відхилень фазних напруг фаз А, В, С.

$\Omega = \{\mathbf{K} \in \mathbb{R}^3 | k_{i \min} \leq k_i \leq k_{i \max}, i = A, B, C\}$ – об-

ласть допустимих значень вектора коефіцієнтів трансформації трансформатора, яка визначається величиною діапазону зміни коефіцієнта трансформації (допустимий простір керування);

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

Значення напруг та значення коефіцієнтів трансформації в співвідношення (1) підставляються у відносних одиницях, віднесених до номінальних значень.

Як показано в роботі [2], найбільш доцільним методом 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 $Q_{ут}(\Delta U_{1ут}, U_{2ут}, U_{0ут}, \Delta U_{\phi iут})$ в просторі критеріїв $\{Q\} \subset \mathbb{R}^6$.

2 етап. Шляхом розв'язку задачі скалярної оптимізації (мінімізації) відстані ρ від утопічної точки до парето-оптимальної множини розв'язків в просторі критеріїв знаходяться координати розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації \mathbf{K}^{opt} в просторі керування $\Omega \subset \mathbb{R}^3$.

Задачу знаходження аналітичних виразів для визначення координат утопічної точки $Q_{ут}(\Delta U_{1ут}, U_{2ут}, U_{0ут}, \Delta U_{\phi iут})$ детально описано в роботах [1, 3].

Для знаходження кінцевого розв'язку задачі (1) зважаючи на велику кількість критеріїв, найдоцільніше скористатись методом вирішення задач багатокри-

теріальної оптимізації, заснованим на мінімізації евклідової відстані від утопічної точки до множини парето-оптимальних розв'язків:

$$\begin{cases} \sqrt{\left(\frac{\Delta U_1(\mathbf{K}) - \Delta U_{1ут}}{k_{\Delta U1}}\right)^2 + \left(\frac{U_2(\mathbf{K}) - U_{2ут}}{k_{U2}}\right)^2 + \left(\frac{U_0(\mathbf{K}) - U_{0ут}}{k_{U0}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_a(\mathbf{K}) - \Delta U_{aут}}{k_{\Delta U\phi}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_b(\mathbf{K}) - \Delta U_{bут}}{k_{\Delta U\phi}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_c(\mathbf{K}) - \Delta U_{cут}}{k_{\Delta U\phi}}\right)^2} \rightarrow \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega, \end{cases} \quad (2)$$

де $k_{\Delta U1}, k_{U2}, k_{U0}, k_{\Delta U\phi}$ – вагові коефіцієнти, що враховують пріоритетність кожного з критеріїв оптимізації в задачі (1). В першому наближенні в якості значень вагових коефіцієнтів можливо прийняти нормовані нормально допустимі значення відповідних ПЯЕ згідно ГОСТ 13109-97.

Вираз (2) являє собою задачу скалярної умовної оптимізації функції багатьох змінних. Для її вирішення доцільно скористатись одним із відомих числових методів вирішення подібних задач, наприклад методом Нелдера-Міда.

На рис. 1 приведена узагальнена структурна схема САК режимами напруг РЕМ, що містять силові трансформатори із безконтактними пристроями РПН зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем».

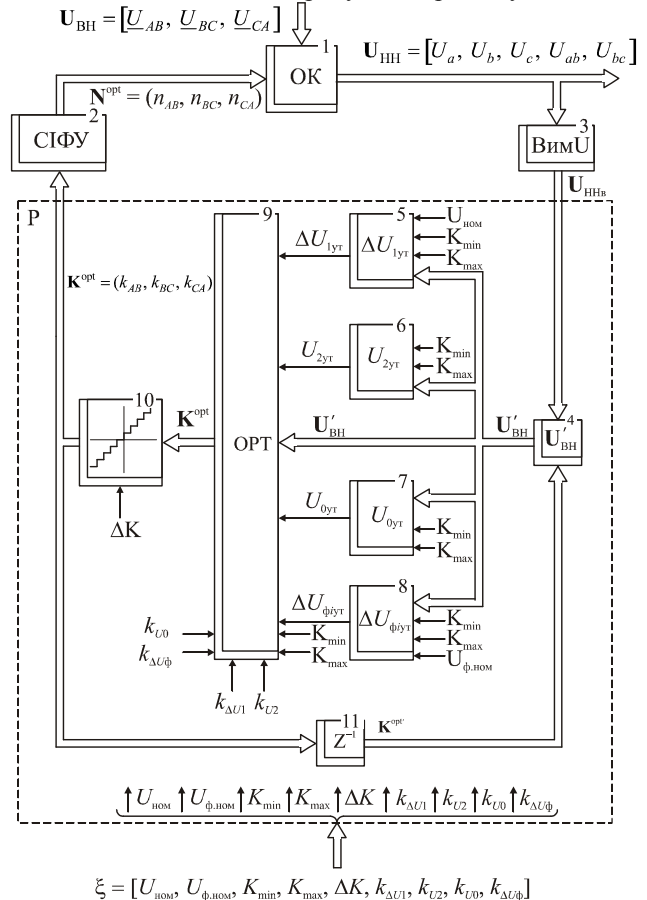


Рис. 1 – Узагальнена структурна схема САК режимами напруг РЕМ, що містять силові трансформатори із безконтактними пристроями РПН зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем»

На рис. 1: $\underline{U}_{ВН} = [\underline{U}_{AB}, \underline{U}_{BC}, \underline{U}_{CA}]$ – вектор комплексів фазних напруг на стороні ВН; $\underline{U}_{НН} = [\underline{U}_a, \underline{U}_b, \underline{U}_c, \underline{U}_{ab}, \underline{U}_{bc}]$ – вектор комплексів фазних та лінійних напруг на стороні НН; $\underline{U}_{ННв} = [U_a, U_b, U_c, U_{ab}, U_{bc}]$ – вектор вимірних діючих значень фазних та лінійних напруг на стороні НН; ξ – вектор задаючих параметрів; $\mathbf{K}^{opt} = (k_{AB}, k_{BC}, k_{CA})$ – оптимальний вектор керування; $\mathbf{N}^{opt} = (n_{AB}, n_{BC}, n_{CA})$ – вектор значень відгалужень обмотки силового трансформатора, що відповідають \mathbf{K}^{opt} ; $\mathbf{K}^{opt'}$ – оптимальний вектор керування, розрахований на попередньому кроці роботи САК; 1 – силовий трансформатор; 2 – система імпульсно-фазового керування напівпровідниковими ключами пристрою РПН; 3 – первинний вимірювальний перетворювач трьохфазної напруги; 4 – блок розрахунку вектору $\underline{U}'_{ВН} = [\underline{U}'_{AB}, \underline{U}'_{BC}, \underline{U}'_{CA}]$; 5, 6, 7, 8 – блоки розрахунку $\Delta U_{1ут}, U_{2ут}, U_{0ут}, \Delta U_{фiут}$ відповідно; 9 – блок визначення оптимального вектору керування \mathbf{K}^{opt} ; 10 – блок дискретизації значень коефіцієнтів трансформації; 11 – блок часової затримки сигналу.

САК, структурна схема якої зображена на рис. 1, працює наступним чином. Виміряне значення вектора $\underline{U}_{ННв}$ разом із значенням $\mathbf{K}^{opt'}$, надходить до блоку 4, в якому відбувається розрахунок вектора $\underline{U}'_{ВН}$. Далі значення $\underline{U}'_{ВН}$, разом із значеннями $U_{ном}, U_{ф.ном}, K_{мін}, K_{мак}$ надходять до блоків 5 і 6, 7, 8, в яких відбувається розрахунок $\Delta U_{1ут}, U_{2ут}, U_{0ут}, \Delta U_{фiут}$ відповідно. Після чого дані з блоків 4, 5, 6, 7, 8 разом із значеннями вектору ξ надходять до блоку 9, в якому визначається кінцевий розв'язок \mathbf{K}^{opt} задачі (1). Значення вектора \mathbf{K}^{opt} з блоку 9 надходить до блоку затримки сигналу 11 з якого на наступному кроці розрахунку надходить до блоку 4. Також, значення \mathbf{K}^{opt} разом із значенням ΔK надходять до блоку дискретизації 10, після якого надходить до виконавчого пристрою 2, який виконує перемикання відпайок обмоток трансформатора, встановлюючи регулюючі відгалуження \mathbf{N}^{opt} .

Для визначення ефекту від застосування розробленої САК, а також з метою дослідження її на стійкість було проведено розробку відповідної їй комп'ютерної імітаційної моделі. Загальний вигляд схеми комп'ютерної моделі САК в середовищі Matlab/Simulink наведено на рис. 2.

На рис 2: « U_{ABC} » – модель живлячої мережі (блок вихідних даних); « $U_{AB_BC_CA}$ » – блок вихідних даних; «Трансформатор» – модель силового трансформатора ТМН-2500/10 зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем»; «Вимірювач ВН» – модель вимірювача ПЯЕ на стороні ВН; «Вимірювач НН» – модель вимірювача ПЯЕ на стороні НН; «ДН» – модель дільника напруги; «Регулятор РПН» – модель пристрою прийняття керуючого рішення.

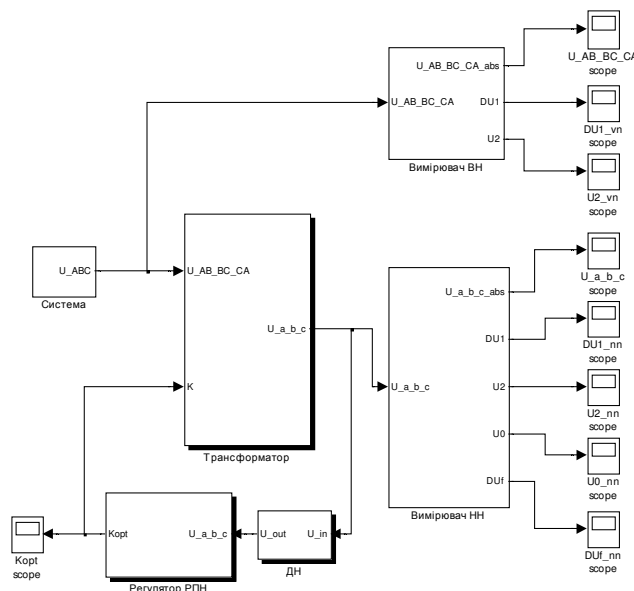


Рис. 2 – Схема узагальненої комп'ютерної імітаційної моделі САК режимами напруг РЕМ в середовищі Matlab Simulink

Так як розроблена САК є суттєво нелінійною, це практично унеможливує застосування для дослідження її стійкості традиційних алгебраїчних або частотних критеріїв.

Тому дослідження стійкості розробленої САК найдоцільніше провести шляхом аналізу перехідних процесів, які у випадку її стійкої роботи матимуть затухаючий характер.

Як відомо, для отримання перехідної характеристики $h(t)$ необхідно на вхід системи подати одиничний ступінчатий сигнал при нульових початкових умовах. Найдоцільніше отримати перехідні характеристики розробленої САК шляхом комп'ютерного моделювання, скориставшись її комп'ютерною імітаційною моделлю.

Графіки перехідних процесів в САК отримані шляхом комп'ютерного моделювання при їх аперіодичному характері наведені на рис. 3.

Як видно з графіків, що наведені на рис. 3, перехідний процес в САК, що виникає під дією ступінчатих збурень, має затухаючий характер, що свідчить про стійкість розробленої САК. Слід зазначити, що результати моделювання для випадку коливального характеру перехідного процесу також свідчать про достатній запас стійкості розробленої САК.

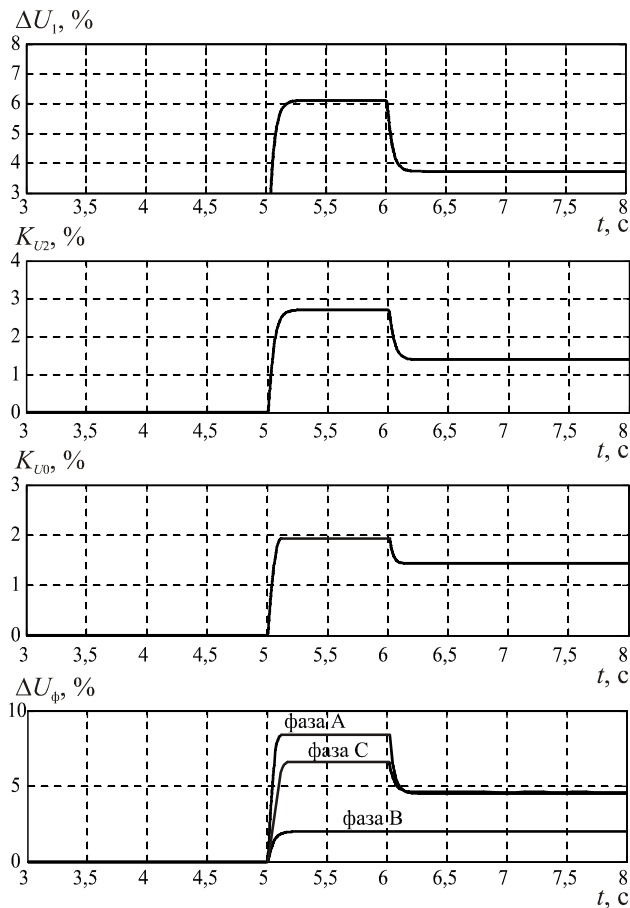


Рис. 3 – Графіки перехідних процесів САК

Як зазначалось вище, для визначення ефекту від застосування розробленої САК найдоцільніше скористатись розробленою її комп'ютерною моделлю. В якості вхідних параметрів для моделювання використовувались результати експериментальних замірів параметрів електричного режиму (лінійних та фазних напруг), проведених в розподільчих електричних мережах ПАТ «Кіровоградобленерго» за допомогою сучасного сертифікованого аналізатора мережі FLUKE 1744 Memobox.

В якості базової моделі для порівняння була обрана модель САК, блок прийняття керуючого рішення якої працює згідно відомого закону зустрічного регулювання напруги.

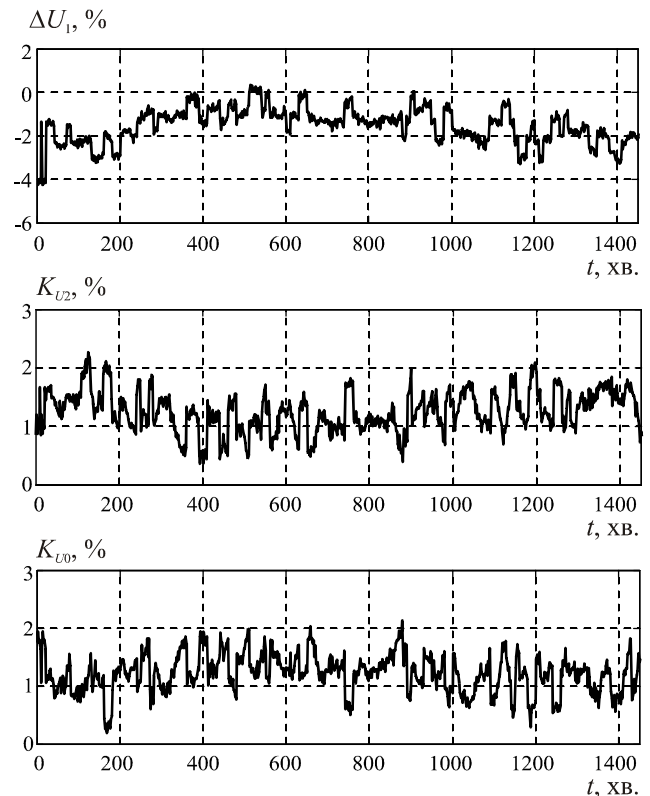
Комп'ютерне моделювання роботи САК режимами напруг РЕМ полягало в наступному. Для кожного вимірювання параметрів режиму розраховувались вектори керування та параметри режиму на стороні НН силового трансформатора, що встановлюються після регулювання, для двох випадків:

- при використанні в САК базової моделі блоку прийняття керуючого рішення;
- при використанні в САК розробленої в роботі моделі блоку прийняття керуючого рішення

Розроблені комп'ютерні моделі дозволяють розраховувати та запам'ятовувати значення ПЯЕ, що дало змогу провести їх подальшу статистичну обробку та представити їх у вигляді графіків. Для проведення моделювання було взято масив даних, період вимірювання яких склав одну добу.

Графічні залежності зміни усталеного відхилення трифазної напруги ΔU_1 , коефіцієнтів несиметрії по

зворотній K_{U2} та нульовій K_{U0} послідовностях, отримані в результаті комп'ютерного моделювання для варіанту запропонованої в роботі САК режимами напруг розподільних електричних мереж наведені на рис. 4.

Рис. 4 – Графіки зміни ΔU_1 , K_{U2} та K_{U0} на стороні НН силового трансформатора при роботі розробленої САК

Результати статистичної обробки ПЯЕ результатів комп'ютерного моделювання для базової та розробленої САК, а також результати статистична обробка вхідних даних наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати статистичної обробки ПЯЕ по варіантах моделювання, що розглядалися

№ з/п	ПЯЕ	Кількість потраплянь в норм. допуст. межі	Кількість не потраплянь в норм. допуст. межі	Інтегральна ймовірність $P(x < x_{нд.}), в.о.$
<i>Сторона ВН силового трансформатора</i>				
1.	ΔU_1	181	1259	0,13
2.	K_{U2}	949	491	0,66
<i>Сторона НН силового трансформатора (базова модель САК)</i>				
3.	ΔU_1	1440	0	1
4.	K_{U2}	847	593	0,66
5.	K_{U0}	1417	23	0,98
6.	ΔU_a	1440	0	1
7.	ΔU_b	1440	0	1
8.	ΔU_c	1440	0	1
<i>Сторона НН силового трансформатора (розроблена модель САК)</i>				
9.	ΔU_1	1440	0	1
10.	K_{U2}	1413	27	0,98
11.	K_{U0}	1436	4	0,99
12.	ΔU_a	1440	0	1
13.	ΔU_b	1440	0	1
14.	ΔU_c	1440	0	1

Як видно з результатів моделювання та подальшої статистичної обробки ПЯЕ, вихідний режим (напряг на стороні ВН силового трансформатора), характеризується значними відхиленнями від гранично допустимих значень ПЯЕ, встановлених ГОСТ 13109-97 як по ΔU_1 ($P(\Delta U_1 < 5\%) = 0,13$), так і по K_{U2} ($P(K_{U2} < 2\%) = 0,66$).

При застосуванні базової моделі спостерігається зниження лише рівня ΔU_1 на стороні НН ($P(\Delta U_1 < 5\%) = 1$), проте, рівні K_{U2} на стороні НН залишаються далеко за межами гранично допустимих значень ($P(K_{U2} < 2\%) = 0,66$). Результати моделювання запропонованої в роботі моделі САК показують, що при її застосуванні спостерігається одночасне зниження рівнів ΔU_1 ($P(\Delta U_1 < 5\%) = 1$) і K_{U2} ($P(K_{U2} < 2\%) = 0,98$) на стороні НН силового трансформатора. Значення відхилень фазних напруг ΔU_a , ΔU_b , ΔU_c як при застосуванні базової моделі так і при застосуванні запропонованої в роботі не перевищують нормально допустимі. Також, при застосуванні запропонованої САК спостерігається покращення значення K_{U0} ($P(K_{U0} < 2\%) = 0,99$) в порівнянні з базовою моделлю ($P(K_{U2} < 2\%) = 0,98$). З цього можна зробити висновок про ефективність запропонованої САК в порівнянні з базовою.

Висновки. В результаті проведених досліджень можливо зробити наступні висновки:

1. Задачу керування режимами напруг низьковольтних розподільних електричних мереж напругою 0,4 кВ найдоцільніше розглядати як задачу багатокритеріальної оптимізації.

2. Розроблена на основі розв'язку задачі керування структурна схема САК режимами напруг РЕМ дозволила створити її комп'ютерну імітаційну модель, яка дають змогу проводити аналіз роботи розробленої САК.

3. Аналіз перехідних процесів запропонованої в роботі САК режимами напруг РЕМ, проведений шляхом застосування її комп'ютерної імітаційної моделі показав, що перехідні процеси виявилися затухаючими як за аперіодичного, так і за коливального їх характеру. З цього можна зробити висновок про достатній запас стійкості запропонованої в роботі САК.

4. Аналіз ефекту від застосування розроблених САК режимами напруг РЕМ показав, що запропонована в роботі САК здійснює керування, за яких спостерігається зниження рівня не лише усталеного відхилення напруг, але і рівнів несиметрії напруг. Це, безумовно, свідчить про її більш високу ефективність в порівнянні з відомими САК режимами напруг РЕМ.

Список літератури

1. Пleshков П. Г. Теоретичні засади оптимального керування пристроєм РПН силового трансформатора за векторним критерієм / П. Г. Пleshков, 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. Зінзура В. В. Задача багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричній мережі з глухозаземленою нейтраллю. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 25.Ч.2 – Кіровоград: КНТУ, 2012. С. 227-234.
4. Зінзура В. В. Розробка та дослідження роботи системи автоматичного управління пристроєм РПН силового трансформатора // Вісник Національного технічного університету Харківський політехнічний інститут. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ ХПІ, 2012. – № 3. – С. 99-109.
5. Бурбело М. Й. Застосування багатокритеріальної 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.

References (transliterated)

1. Plieshkov P. H. Teoretychni zasady optimalnogo keruvannya prystroiem RPN sylovoho transformatora za vektornym kryteriiem. [Theoretical principles of optimal control of the OLTC of the power transformer by the vector criterion] *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannya, avtomatyzatsiia*. Vol. 24. Part.2. Kirovohrad: KNTU, 2011. 164-173.
2. Zinzura V. V. Metody rozv'iazku zadachi bahatokryterialnoi optymizatsii rehulivannya napruhy v elektrychnykh merezhakh [Methods of solving the problem of multicriteria optimization of voltage regulation in electric networks]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannya, avtomatyzatsiia*. Vol. 25. Part.1 Kirovohrad: KNTU, 2012. 350-360. Print.
3. Zinzura V. V. Zadacha bahatokryterialnoi optymizatsii rehulivannya napruhy v elektrychnii merezhi z hlukhozazemlenoiu neutralliu [The task of multicriterial optimization of voltage regulation in an electric network with a deeply grounded neutral]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannya, avtomatyzatsiia*. Vol. 25. Part.2 Kirovohrad: KNTU, 2012. 227-234. Print.
4. Zinzura V. V. Rozrobka ta doslidzhennia roboty systemy avtomatynchoho upravlinnia prystroiem RPN sylovoho transformatora [Development and research of the system of automatic control of the OLTCe of the power transformer]. *NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection*. – Kharkov : NTU "KhPI", 2012. – No 3. – P. 99-109.
5. Burbelo M. Y. Zastosuvannya bahatotsilovoi optymizatsii dlia symetruvannya ta zmenshennia vidkhylen napruh v elektrychnykh merezhakh [Multi-Purpose Optimization to Simulate and Reduce Voltage Deviations in Electric Networks]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. 2005. – No 6. – P. 99-109.

Надійшла (received) 05.09.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Оптимальне керування режимами напруг низьковольтних розподільних електричних мереж із використанням регулюючих пристроїв силових трансформаторів / П. Г. Пleshков, Ю. А. Леванцова, В. В. Зінзура // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 34 (1256). – С. 56-61. Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-3944.

Оптимальное управление режимами напряжений низковольтных распределительных электрических сетей с использованием регулирующих устройств силовых трансформаторов / П. Г. Плешков, Ю. А. Леванцова, В. В. Зинзура // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х. : НТУ "ХПІ", 2017. – № 34 (1256). – С. 56-61. Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-3944.

Optimal control of voltage modes of low-voltage distribution electric networks with use of regulatory devices of th power transformers / P. H. Plieshkov, Y. A. Levantsova, V. V. Zinzura // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No 34 (1256). – P. 56-61. Bibliography: 5. – ISSN 2079-3944.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Плешков Петро Григорович – кандидат технічних наук, професор, Центральноукраїнський національний технічний університет, завідувач кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту, м. Кропивницький, тел.: (0522) 39 04 61; e-mail: inbox@ets.kr.ua.

Плешков Петр Григорьевич – кандидат технических наук, профессор, Центральноукраинский национальный технический университет, заведующий кафедрой электротехнических систем и энергетического менеджмента, г. Кропивницкий, тел.: (0522) 39 04 61; e-mail: inbox@ets.kr.ua.

Plieshkov Petro Hryhorovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Full Professor, Central Ukrainian National Technical University, Head of the Department of "Electrical systems and energy management", tel.: (0522) 39 04 61; e-mail: inbox@ets.kr.ua.

Леванцова Юлія Анатоліївна – студентка, Центральноукраїнський національний технічний університет, кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту, м. Кропивницький, тел.: (0522) 39 04 61.

Леванцова Юлия Анатольевна – студентка, Центральноукраинский национальный технический университет, кафедра электротехнических систем и энергетического менеджмента, г. Кропивницкий, тел.: (0522) 39 04 61.

Levantsova Yuliia Anatoliivna – student, Central Ukrainian National Technical University, department of "Electrical systems and energy management", Kropyvnytskyi, tel.: (0522) 39 04 61.

Зинзура Василь Васильович – кандидат технічних наук, Центральноукраїнський національний технічний університет, доцент кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту, м. Кропивницький, тел.: (0522) 39 04 61; e-mail: vasilyzinzura@gmail.com.

Зинзура Василий Васильевич – кандидат технических наук, Центральноукраинский национальный технический университет, доцент кафедры электротехнических систем и энергетического менеджмента, г. Кропивницкий, тел.: (0522) 39 04 61; e-mail: vasilyzinzura@gmail.com.

Zinzura Vasily Vasilyevich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Central Ukrainian National Technical University, Associate Professor at the Department of "Electrical systems and energy management", Kropyvnytskyi, tel.: (0522) 39 04 61; e-mail: vasilyzinzura@gmail.com.