

УДК 621.311: 681.5

М.Ф. Бондаренко, д.т.н., проф.

З.В. Дудар, к.т.н., проф.

М.В. Збітнева, аспір.

Харківський національний університет радіоелектроніки

## МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ АНАЛІЗУ КОНФІГУРАЦІЇ МЕРЕЖІ

*Розглянуто предикатні моделі елементів і підстанцій електричних мереж. Для розв'язання задачі аналізу конфігурації електричної мережі запропоновано нові методи та алгоритми їх реалізації, які дають можливість розробки ефективного програмного забезпечення АСДУ.*

У рамках диспетчерського управління електричними мережами багато уваги приділяється розв'язанню комплексу завдань, пов'язаних з аналізом конфігурації мережі. Модернізація устаткування автоматизованих систем диспетчерського управління (АСДУ), зокрема, заміна застарілих щитів з мнемосхемами і моніторів з електронно-променевими трубками сучасними панелями на базі рідких кристалів (TFTP- Thin Film Tfansistors Panel, PDP – Plasma Digital Panel і т.і.) , дозволяє значно розширити можливості графічного відображення інформації і коло задач, автоматично розв'язуваних АСДУ.

Сумісність сучасних SCADA-систем [1] з високорівневими мовами програмування дає можливість розробляти ефективні спеціалізовані пакети прикладних програм для розв'язання конкретних задач диспетчерського управління.

У даній роботі розглянуто розв'язання наступних задач аналізу конфігурації мережі.

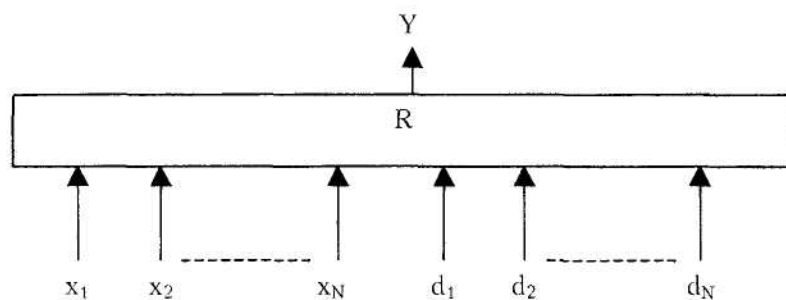
1. Задача виділення групи елементів за ознакою загальних властивостей. Далі будемо називати її А-задача.

2. Задача виявлення обриву електричної мережі (В-задача).

3. Задача формування системи рівнянь вузлових напруг (С-задача).

Для розв'язання цих задач нами розроблені математичні моделі [2] підстанції електричної мережі і елемента електричної мережі, що базуються на алгебрі кішцевих предикатів і предикатних операцій [3].

Предикатну модель елемента електричної мережі (Е-модель) показано на рис. 1, а предикатну модель підстанції мережі (П-модель) – на рис. 2.



*Рис.1. Модель елемента електричної мережі  
 $x_1, \dots, x_N$  – параметри-властивості;  $d_1, \dots, d_N$  – параметри-дії;  
 $y$  – параметр-результат*

Е-модель описується предикатом першого порядку  $R$ , аргументами якого є набір властивостей конкретного елемента електричної мережі і функції його активізації. При розробці моделі використано об'єктно-орієнтований підхід.

П-модель враховує послідовність з'єднання елементів, їхнє взаємне розташування і властивості, дозволяє стежити за динамікою зміни конфігурації мережі. До її складу входять наступні предикати:

предикат  $I$  містить: загальні властивості елементів гілок, з'єднаних з даним вузлом, та інформацію про місце їхнього з'єднання; покажчики на відповідні предикати  $Q$ ;

предикат Q містить: загальні властивості елементів однієї гілки; покажчики на відповідні предикати P;  
 предикат P містить: загальні властивості двох сусідніх елементів та інформацію про місце їхнього з'єднання; покажчики на предикати R цих елементів;  
 предикат R являє собою модель елемента електричної мережі.

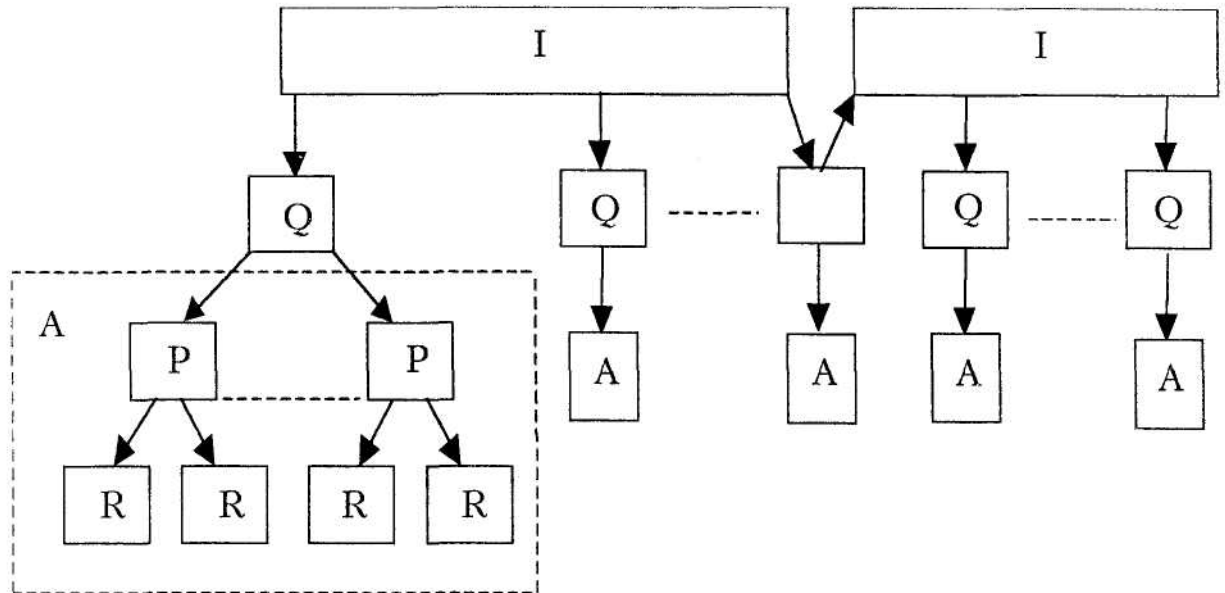


Рис. 2. Модель підстанції електричної мережі

Для розв'язання наведених вище задач розроблена група методів. Розглянемо метод знаходження загальних властивостей.

**Метод знаходження загальних властивостей**

Метод полягає у пошуку загальних властивостей для предикатів П-моделі в порядку P→Q→I при зміні властивостей рівня R. Перехід на більш високий рівень здійснюється при одержанні позитивного результату на поточному рівні. У даному випадку E-модель і П-модель описуються співвідношеннями (1)–(4).

Нехай:

Алфавіт змінних  $B = \{x_1, \dots, x_N, d\}$ ,  $x_1, \dots, x_N$  – змінні-властивості,  $d$  – змінна-дія. Тоді алфавіти букв:  $A_x = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ ,  $A_d = \{b_1, b_2, \dots, b_N\}$ . Кожна властивість  $x_i$  у даний момент часу  $t_i$  відповідає якомусь одному значенню  $a_i$ . Змінна-дія  $d$  є несуттєвою.

$$R(x_1, x_2, \dots, x_N, d) = x_1^{a_1} (d^{b_1} \vee d^{b_2} \vee \dots \vee d^{b_N}) \vee \dots \vee x_i^{a_i} (d^{b_1} \vee d^{b_2} \vee \dots \vee d^{b_N}) \vee \dots \vee x_N^{a_N} (d^{b_1} \vee d^{b_2} \vee \dots \vee d^{b_N}) = x_1^{a_1} \vee \dots \vee x_i^{a_i} \vee \dots \vee x_N^{a_N}; \tag{1}$$

$$P(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d), d) = R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d) \wedge R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d); \tag{2}$$

$$Q(P_1(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d)), \dots, P_N(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))) = P_1(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d), d) \wedge \dots \wedge P_N(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d), d); \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
& I(Q_1(P_1(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))), \dots, \\
& , P_N(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))), \dots, \\
& , Q_N(P_1(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))), \dots, \\
& , P_N(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d)))) = \\
& = Q_1(P_1(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))), \dots, \\
& , P_N(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))) \wedge \dots \wedge \\
& \wedge Q_N(P_1(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))), \dots, \\
& , P_N(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))). \quad (4)
\end{aligned}$$

Для даного методу розроблено алгоритм знаходження формул предикатів P, Q, I.

### Алгоритм знаходження формул предикатів P, Q, I

Вхідні дані: E-модель; П-модель; елементи зі зміненими значеннями властивостей.

Вихідні дані: загальні властивості елементів підстанції для конкретної ділянки мережі.

Нехай:

$I_i$  – поточний аналізований предикат I;  $Q_i$  – поточний аналізований предикат Q;  $P_i$  – поточний аналізований предикат P;  $R_i$  – поточний аналізований предикат R;  $R_x$  – предикат, у якого змінилося значення властивості (властивостей);  $mas_{R_x}$  – масив покажчиків на предикати  $R_x$ ;  $length_{mas_{R_x}}$  – довжина  $mas_{R_x}$ ;  $POS_{mas_{R_x}}$  – позиція  $R_x$  у  $mas_{R_x}$ .

#### ПОЧАТОК

- 1) **ДЛЯ** – кожного елемента  $mas_{R_x}$ ;
- 2) **ВИКОНАТИ**
- 3) – піднятися на P-рівень;
- 4) – обчислити формулу (2);
- 5) – **ЯКЩО** – формула (2)=1;
- 6) – **ТО** – піднятися на Q-рівень;
- 7) – обчислити формулу (3);
- 8) – **ЯКЩО** – формула (3) = 1;
- 10) – **ТО** – піднятися на I-рівень;
- 11) – обчислити формулу (4);
- 12) – **ІНАКШЕ** – перейти до кроку 14);
- 13) – **ІНАКШЕ** – перейти до кроку 14);
- 14) – **ЯКЩО** –  $POS_{mas_{R_x}} < length_{mas_{R_x}}$ ;
- 15) – **ТО** – перейти до кроку 3) з наступним елементом  $mas_{R_x}$ ;
- 16) – **ІНАКШЕ** – **КІНЕЦЬ**.

Розглянемо рішення A-задачі.

### Метод виділення елементів за ознакою загальних властивостей

A-задача полягає в пошуку множини елементів (O-множина), що мають загальні властивості. Виділення результуючого набору здійснюється за запитом оператора. Запит описується співвідношенням (5) у вигляді предиката першого порядку W.

Алфавіт змінних:  $B = \{x, y, d\}$ .

Алфавіти букв:

- $A_x = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ , де  $a_1, a_2, \dots, a_N$  – назва властивості;
- $A_y = \{c_1, c_2, \dots, c_N\}$ , де  $c_1, c_2, \dots, c_N$  – значення властивості;
- $A_d = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5\}$ ,

де  $b_1$  – функція зміни кольору елемента;  $b_2$  – функція малювання рамки навколо елемента;  $b_3$  – функція виводу у файл властивостей елемента;  $b_4$  – функція виводу на екран властивостей елемента;  $b_5$  – функція виводу на друк властивостей елемента.

$$W(x, y, d) = ((x^{a_1} \nabla y^{c_1}) \circ (x^{a_2} \nabla y^{c_2}) \circ \dots \circ (x^{a_n} \nabla y^{c_n})) \wedge d^{b_1}, \quad (5)$$

де  $\nabla - \wedge$  або  $\wedge \neg$ ;  $\circ$  – операція  $\vee$  або  $\wedge$ .

Формула (5) спрощується за допомогою законів заперечення, хибності та істинності [3].

Математичний опис Е-моделі і П-моделі представлено у вигляді співвідношень (6)–(9). Алфавіт змінних  $B = \{x_1, \dots, x_N, d\}$ ,  $x_1, \dots, x_N$  – змінні-властивості,  $d$  – змінна-дія, що являє собою предикат впізнання предмета. Алфавіти букв:  $A_{xi} = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ ,  $A_d = \{b_1, b_2, \dots, b_5\}$ .

$$R(x_1, x_2, \dots, x_N, d) = x_1^{a_1} (d^{b_1} \vee d^{b_2} \vee \dots \vee d^{b_5}) \vee \dots \vee x_i^{a_i} (d^{b_1} \vee d^{b_2} \vee \dots \vee d^{b_5}) \vee \dots \vee x_N^{a_N} (d^{b_1} \vee d^{b_2} \vee \dots \vee d^{b_5}); \quad (6)$$

$$P(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d)) = x_1^{a_i} \vee \dots \vee x_i^{a_i} \vee \dots \vee x_N^{a_j}; \quad (7)$$

$$Q(P_1(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))), \dots, P_N(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))) = x_1^{a_i} \vee \dots \vee x_i^{a_i} \vee \dots \vee x_N^{a_j}; \quad (8)$$

$$I(Q_1(P_1(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))), \dots, P_N(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))), \dots, Q_N(P_1(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d))), \dots, P_N(R_i(x_1, x_2, \dots, x_N, d), R_j(x_1, x_2, \dots, x_N, d)))) = x_1^{a_i} \vee \dots \vee x_i^{a_i} \vee \dots \vee x_N^{a_j}. \quad (9)$$

Співвідношення (7)–(9) отримуються на підставі формул (2)–(4).

Метод виділення елементів за ознакою загальних властивостей полягає в активізації вниз по моделі операції пошуку елементів О-множини спочатку в напрямку на ширину по I, а потім у глибину від I до R. Метод вимагає виконання наступних операцій:

- формування запиту:  
оператор задає формулу предиката W;
- перевірка на істинність запиту:  
кожна властивість, зазначена в предикаті W, послідовно підставляється у формулу поточного розглянутого рівня П-моделі. Після чого обчислюється значення формули (5);
- надання результатів запиту:  
знайдені елементи активізуються у відповідності до значень показника предиката впізнання предмета d.

Для даного методу розроблено алгоритм, що являє собою сукупність продукцій.

#### Алгоритм активізації елементів схеми підстанції за ознакою загальних властивостей

Вхідні дані: предикат W; Е-модель; П-модель.

Вихідні дані: активізовані елементи схеми підстанції.

Нехай:

$I_i$  – поточний аналізований предикат I;  $Q_i$  – поточний аналізований предикат Q;  $P_i$  – поточний аналізований предикат P;  $R_i$  – поточний аналізований предикат R;  $z^{d_i}$  – зазначена в предикаті W функція виділення.

#### ПОЧАТОК

1)ЯКЩО – поточна вершина – предикат I;

I – I<sub>i</sub> задовольняє запиту;

ТО – спуститись по покажчиках I<sub>i</sub> до всіх R<sub>i</sub> ∈ I<sub>i</sub>;

I – виділити R<sub>i</sub> ∈ I<sub>i</sub> за допомогою  $z^{d_i}$ .

ІНАКШЕ – спуститись по покажчиках I<sub>i</sub> до всіх Q<sub>i</sub> ∈ I<sub>i</sub>;

- 2)ЯКЩО** I – застосувати продукцію 2.  
**ТО** – поточна вершина – предикат Q; I – Q<sub>i</sub> задовольняє запити;  
 – спуститись по покажчиках Q<sub>i</sub> до всіх P<sub>i</sub> ∈ Q<sub>i</sub>;  
 I  
 – виділити R<sub>i</sub> ∈ Q<sub>i</sub> за допомогою z<sup>d<sub>i</sub></sup>;  
**ІНАКШЕ** – спуститись по покажчиках Q<sub>i</sub> до всіх P<sub>i</sub> ∈ Q<sub>i</sub>;  
 I  
 – застосувати продукцію 3.
- 3)ЯКЩО** – поточна вершина – предикат P;  
 I  
 – P<sub>i</sub> задовольняє запити;  
**ТО** – спуститись по покажчиках P<sub>i</sub> до всіх R<sub>i</sub> ∈ P<sub>i</sub>;  
 I  
 – виділити R<sub>i</sub> ∈ P<sub>i</sub> за допомогою z<sup>d<sub>i</sub></sup>;  
**ІНАКШЕ** – спуститись по покажчиках P<sub>i</sub> до всіх R<sub>i</sub> ∈ P<sub>i</sub>;  
 I  
 – застосувати продукцію 4.
- 4)ЯКЩО** – поточна вершина – предикат R  
 I  
 – R<sub>i</sub> ще не оброблявся;  
 I  
 – R<sub>i</sub> задовольняє запити;  
**ТО** – виділити R<sub>i</sub> за допомогою z<sup>d<sub>i</sub></sup>.
- 5)ЯКЩО** – не всі предикати I проаналізовані;  
**ТО** – перейти до наступної вершини графа;  
 I  
 – застосувати продукцію 1;  
**ІНАКШЕ** – **КІНЕЦЬ**.

Розглянемо рішення В-задачі.

### Метод виявлення обриву електричної мережі

В-задача зводиться до виявлення ділянок електричної мережі, де відсутній струм. В-задача охоплює такі ситуації:

- несправність елементів мережі, яка характеризується станами “Справний/Несправний”;
- відсутність контакту в місці з’єднання елементів мережі, яка характеризується станами “Є контакт/Немає контакту”;
- стан “Виключений” у комутаційних апаратів.

Математичний опис Е-моделі і П-моделі представлено формулами (10)–(13).

Нехай алфавіт змінних  $B = \{x, d\}$ ,  $x$  – змінна-властивість “Стан”,  $d$  – змінна-дія. Тоді алфавіти букв:  $A_x = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ , де  $a_1$  = “Включено”,  $a_2$  = “Виключено”,  $a_3$  = “Справний”,  $a_4$  = “Несправний”;  $A_d = \{b_1, b_2, \dots, b_5\}$ , де  $b_1$  – функція зміни кольору елемента,  $b_2$  – функція малювання рамки навколо елемента,  $b_3$  – функція виводу у файл властивостей елемента,  $b_4$  – функція виводу на екран властивостей елемента,  $b_5$  – функція виводу на друк властивостей елемента. Показник предиката впізнання  $d$  залежить від вибору оператора.

$$R(x, d) = x^{a_2} (d^{b_1} \vee d^{b_2} \vee \dots \vee d^{b_5}) \vee x^{a_4} (d^{b_1} \vee d^{b_2} \vee \dots \vee d^{b_5}). \quad (10)$$

Нехай:

Алфавіт змінних  $B = \{c_{ij}\}$ , алфавіт букв  $A = \{a_1, a_2\}$ , де  $a_1$  = “Є контакт”,  $a_2$  = “Немає контакту”.

$$P(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij}) = R_i(x, d) \vee R_j(x, d) \vee c_{ij}^{a_2}; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} Q(P_1(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij}), \dots, P_N(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij})) = \\ = P_1(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij}) \vee \dots \vee P_N(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij}). \end{aligned} \quad (12)$$

Нехай:

Алфавіт змінних  $B = \{c_{1..N}\}$ , алфавіт букв  $A = \{a_1, a_2\}$ , де  $a_1 = \text{“Є контакт”}$ ,  $a_2 = \text{“Немає контакту”}$ .

$$\begin{aligned} I(Q_1(P_1(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij}), \dots, P_N(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij})), \dots, \\ , Q_N(P_1(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij}), \dots, P_N(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij})), c_{1..N}) = \\ = Q_1(P_1(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij}), \dots, P_N(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij})) \vee \dots \vee \\ \vee Q_N(P_1(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij}), \dots, P_N(R_i(x, d), R_j(x, d), c_{ij})) \vee c_{1..N}^{a_2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Формула (14) дозволяє відповісти на запитання про наявність обриву на підстанції:

$$I_1 \vee I_2 \vee I_3 \vee \dots \vee I_{N-1} \vee I_N \equiv 1. \quad (14)$$

Таким чином, даний метод полягає в перевірці предикатної тотожності наявності обриву в мережі і послідовному переході з верхнього рівня моделі на нижній по предикатах, які вказують на наявність розриву, до ділянки з розривом ланцюга.

Метод вимагає виконання наступних операцій:

- видача команди на виявлення обриву:  
видача команди може бути виконана оператором або автоматично в реальному режимі часу;
- пошук обривів:  
пошук обривів починається з обчислення формули (14). Якщо тотожність виконується, то пошук ділянок здійснюється спочатку в напрямку в ширину по I, а потім - у глибину від I до R;
- надання результатів пошуку:  
ділянки, що містять обрив, виділяються функцією  $d^{b_i}$ .

Для реалізації методу розроблено алгоритм активізації ділянок з розривом мережі.

### Алгоритм активізації ділянок з розривом мережі

Вхідні дані: E-модель; П-модель.

Вихідні дані: активізовані ділянки схеми підстанції.

Нехай:

$I_i$  – поточний аналізований предикат I;  $Q_i$  – поточний аналізований предикат Q;  $P_i$  – поточний аналізований предикат P;  $R_i$  – поточний аналізований предикат R;  $d^{b_i}$  – зазначена оператором функція виділення.

#### ПОЧАТОК

- 1) **ЯКЩО** – тотожність (14) задовольняється;  
**ТО** – для тих предикатів I, що дорівнюють одиниці, виконати продукцію 2.
- 2) **ЯКЩО** –  $c_{1..N} = 1$  у  $I_i$ ;  
**ТО** – виділити точку з'єднання гілок вузла  $I_i$  за допомогою  $d^{b_i}$ ;  
**ІНАКШЕ** – для предикатів  $Q_i = 1$  предиката  $I_i$  перейти до відповідних предикатів  $P_i$  і виконати продукцію 3.
- 3) **ЯКЩО** –  $c_{ij} = 1$  у  $P_i$ ;

- ТО** - виділити точку з'єднання елементів предиката  $P_i$  за допомогою  $d^{b_i}$ ;  
**ІНАКШЕ** – **ЯКЩО** – предикат  $R_i = 1$ , на який вказує  $P_i$ ;  
**I**  
 – предикат  $R_i$  ще не оброблявся;  
**ТО** – виділити предикат  $R_i$  за допомогою  $d^{b_i}$ ;  
 4) **ЯКЩО** – не всі предикати  $I$ , які дорівнюють одиниці, проаналізовані;  
**ТО** – перейти до наступного предикату  $I$ ;  
**I**  
 виконати продукцію 2;  
**ІНАКШЕ** – **КІНЕЦЬ**.

Розглянемо рішення С-задачі.

### Метод формування системи рівнянь вузлових напруг

Для розрахунку усталеного режиму мережі використовується система рівнянь вузлових напруг, матрична форма запису яких має вигляд [4]:

$$\dot{Y}_Y \dot{U} = \dot{I} - \dot{Y}_\delta \dot{U}_\delta, \tag{15}$$

де  $\dot{Y}_Y$  – матриця власних і взаємних провідностей незалежних вузлів  $n$ ;

$\dot{U}$  – вектор-стовпець невідомих напруг незалежних вузлів;

$\dot{I}$  – вектор-стовпець струмів в незалежних вузлах;

$\dot{Y}_\delta$  – матриця взаємних провідностей незалежних вузлів щодо вузлів  $m$ , напруги в яких відомі (базисного вузла і вузлів, напруги в яких задані);

$\dot{U}_\delta$  – вектор-стовпець напруг вузлів джерел живлення.

З урахуванням активної і реактивної складових матриць  $\dot{Y}_Y, \dot{U}, \dot{U}_\delta, \dot{Y}_\delta, \dot{U}_\delta$ :

$$\dot{Y}_Y = G_Y - jB_Y, \tag{16}$$

$$\dot{U} = U' + jU'', \tag{17}$$

$$\dot{I} = I' + jI'' \tag{18}$$

система (15) має вигляд:

$$\begin{bmatrix} G_Y & B_Y \\ -B_Y & G_Y \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U' \\ U'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I' \\ I'' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} G_\delta & B_\delta \\ -B_\delta & G_\delta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U'_\delta \\ U''_\delta \end{bmatrix}. \tag{19}$$

Власні і взаємні провідності вузлів розраховуються шляхом послідовного нарощування суми при обході графа:

- взаємна провідність двох вузлів дорівнює взятій з протилежним знаком сумі провідностей гілок, що з'єднують ці вузли;
- власна провідність вузла дорівнює сумі провідностей гілок, які підключені до даного вузла.

Даний метод ґрунтується на предикатній чотирирівневій моделі схеми заміщення (СЗ-модель), яка може бути отримана з П-моделей шляхом необхідних перетворень. Суть методу полягає в скануванні рівнів  $Q$  і  $I$  з паралельним формуванням матриць системи рівнянь вузлових напруг.

Метод вимагає виконання наступних операцій:

- підрахунок числа незалежних вузлів  $n$  і вузлів  $m$ , напруга в яких відома;
- формування порожніх матриць – шаблонів із системи (15);



- паралельне формування матриць  $\dot{Y}_Y, \dot{I}, \dot{Y}_\delta, \dot{U}_\delta$  при обході в глибину графа СЗ-моделі.

Для даного методу пропонується наступний алгоритм.

### Алгоритм формування системи рівнянь вузлових напруг

Вхідні дані: властивості гілок: “Активна складова провідності”, “Реактивна складова провідності”; властивості незалежних вузлів: “Активна складова струму”, “Реактивна складова струму”, властивості вузлів, напруга в яких відома: “Активна складова напруги”, “Реактивна складова напруги”.

Вихідні дані: матриці  $\dot{Y}_Y, \dot{I}, \dot{Y}_\delta, \dot{U}_\delta$ .

Нехай:

$I_i$  – поточний аналізований предикат I;  $Q_i$  – поточний аналізований предикат Q;  $S$  – стік обходу;  $n$  – кількість незалежних вузлів;  $m$  – кількість вузлів, напруга в яких відома;  $n_{I_i}$  – номер  $I_i$  у схемі заміщення;  $n_{Q_i}$  – номер  $Q_i$  у схемі заміщення;  $I_{Q_i}$  – вузол, з якого перейшли на  $Q_i$ ;  $I_{nextQ_i}$  – вузол, на який перейшли з  $Q_i$ ;  $n_{I_{Q_i}}$  – номер  $I_{Q_i}$  у схемі заміщення;  $n_{I_{nextQ_i}}$  – номер  $I_{nextQ_i}$  у схемі заміщення;  $\{Q_1, \dots, Q_N\} \downarrow^{I_i}$  – множина покажчиків на гілки, на які посилається  $I_i$ , що зберігається в  $I_i$ .

#### ПОЧАТОК

- 1) **ЯКЩО** –  $m=0$ ;  
**АБО**  
 –  $n=0$ ;  
**АБО**  
 –  $n+m=1$ ;  
**ТО** – **КІНЕЦЬ**.  
**ІНАКШЕ** – обчислити  $m$  і  $n$ ;  
**I**  
 – сформувати шаблони  $\dot{Y}_Y, \dot{U}, \dot{I}, \dot{Y}_\delta, \dot{U}_\delta$ .

- 2) **ЯКЩО** – поточний предикат  $I_i$ ;  
**ТО** – помістити в  $S \{Q_1, \dots, Q_N\} \downarrow^{I_i}$  з вказівкою приналежності до  $I_i$ ; **I**  
 – **ЯКЩО** – властивість  $I_i$  “Активна складова напруги”  $\neq 0$ ;  
**ТО** – помістити в  $\dot{U}_\delta$  у позицію  $[n_{I_i} - n]$  значення властивості  $I_i$  “Активна складова напруги”;  
**I** – помістити в матрицю  $\dot{U}_\delta$  у позицію  $[n_{I_i} - n + m]$  значення властивості  $I_i$  “Реактивна складова напруги”;  
**ІНАКШЕ** – помістити в матрицю  $\dot{I}$ :  
 у позицію  $[n_{I_i}]$  значення властивості  $I_i$  “Активна складова струму”  
 і в позицію  $[n_{I_i} + n]$  значення властивості  $I_i$  “Реактивна складова струму”;

- ІНАКШЕ** – перейти до продукції 3.
- 3) **ЯКЩО** – поточний предикат  $Q_i$ ;  
**ТО** – **ЯКЩО** – властивість  $I_{Q_i}$  “Активна складова напруги” = 0;  
**ТО** – додати до існуючого в  $\dot{Y}_Y$  значення:



у позиції  $[n_{I_{Q_i}}, n_{I_{Q_i}}]$  і  $[n_{I_{Q_i}} + n, n_{I_{Q_i}} + n]$   
 значення [властивість  $Q_i$  “Активна складова провідності”]  
 і в позиції  $[n + n_{I_{Q_i}}, n_{I_{Q_i}}]$   
 значення [(властивість  $Q_i$  “Реактивна складова  
 провідності”)  $\times (-1)$ ]  
 і в позиції  $[n_{I_{Q_i}}, n + n_{I_{Q_i}}]$   
 значення [властивість  $Q_i$  “Реактивна складова провідності”];

**I** – додати до існуючого в  $\dot{Y}_Y$  значення:  
 у позиції  $[n_{I_{nextQ_i}}, n_{I_{nextQ_i}}]$  і  $[n + n_{I_{nextQ_i}}, n + n_{I_{nextQ_i}}]$   
 значення [властивість  $Q_i$  “Активна складова провідності”]  
 і в позиції  $[n + n_{I_{nextQ_i}}, n_{I_{nextQ_i}}]$   
 [(властивість  $Q_i$  “Реактивна складова провідності”)  $\times (-1)$ ]  
 і в позиції  $[n_{I_{nextQ_i}}, n + n_{I_{nextQ_i}}]$   
 значення [властивість  $Q_i$  “Реактивна складова провідності”];

**I**

– **ЯКЩО** – властивість  $I_{nextQ_i}$  “Активна складова напруги” = 0;

**ТО** – додати до існуючого в  $\dot{Y}_Y$  значення:  
 у позиції  $[n_{I_{Q_i}}, n_{I_{nextQ_i}}]$  і  $[n_{I_{nextQ_i}}, n_{I_{Q_i}}]$   
 і  $[n + n_{I_{Q_i}}, n + n_{I_{nextQ_i}}]$  і  $[n + n_{I_{nextQ_i}}, n + n_{I_{Q_i}}]$   
 значення [властивість  $Q_i$  “Активна складова  
 провідності”]  
 і в позиції  $[n + n_{I_{Q_i}}, n_{I_{nextQ_i}}]$  і  $[n + n_{I_{nextQ_i}}, n_{I_{Q_i}}]$   
 значення [(властивість  $Q_i$  “Реактивна складова  
 провідності”)  $\times (-1)$ ]  
 і в позиції  $[n_{I_{Q_i}}, n + n_{I_{nextQ_i}}]$  і  $[n_{I_{nextQ_i}}, n + n_{I_{Q_i}}]$   
 значення [властивість  $Q_i$  “Реактивна складова  
 провідності”].

4) **ЯКЩО** – поточний аналізований предикат  $Q_i$ ;

**ТО** – **ЯКЩО** – властивість  $I_{Q_i}$  “Активна складова напруги”  $\neq 0$ ;

**I**

– властивість  $I_{nextQ_i}$  “Активна складова напруги” = 0;

**ТО** – додати до існуючого в  $\dot{Y}_\sigma$  значення  
 у позиції  $[n_{I_{nextQ_i}}, n_{I_{Q_i}} - n]$   
 і  $[n_{I_{nextQ_i}} + n, n_{I_{Q_i}} - n + m]$  значення  
 [властивість  $Q_i$  “Активна складова провідності”]  
 і в позицію  $[n_{I_{nextQ_i}}, n_{I_{Q_i}} - n + m]$   
 значення [властивість  $Q_i$  “Реактивна складова провідності”]  
 і в позицію  $[n_{I_{nextQ_i}} + n, n_{I_{Q_i}} - n]$   
 значення [(властивість  $Q_i$  “Реактивна складова провідності”)  $\times (-1)$ ];

**АБО**

– **ЯКЩО** – властивість  $I_{nextQ_i}$  “Активна складова напруги”  $\neq 0$ ;

**I**

– властивість  $I_{Q_i}$  “Активна складова напруги” = 0;

**ТО** – додати до існуючого в  $\dot{Y}_\sigma$  значення :

у позиції  $[n_{I_{Q_i}}, n_{I_{\text{нед}Q_i}} - n]$   
 і  $[n_{I_{Q_i}} + n, n_{I_{\text{нед}Q_i}} - n + m]$  значення  
 [властивість  $Q_i$  "Активна складова провідності"]  
 і в позиції  $[n_{I_{Q_i}}, n_{I_{\text{нед}Q_i}} - n + m]$  значення  
 [властивість  $Q_i$  "Реактивна складова провідності"]  
 і в позиції  $[n_{I_{Q_i}} + n, n_{I_{\text{нед}Q_i}} - n]$  значення  
 [властивість  $Q_i$  "Реактивна складова провідності"  $\times (-1)$ ].

- 5) **ЯКЩО** – усі вершини графа СЗ-моделі проаналізовані;  
**ТО** – помножити на  $(-1)$  наступні елементи матриці  $\dot{Y}_Y$ :  
 $[k, k]$ ,  $[n + k, n + k]$ ,  $[n + k, k]$ ,  $[k, n + k]$ ,  
 де  $k$  приймає послідовно усі значення номерів незалежних вузлів;  
**I**  
 – **КІНЕЦЬ**.  
**ІНАКШЕ** – приступити до аналізу наступної вершини графа;  
**I**  
 – перейти до продукції 2.

Таким чином, запропоновані методи дозволяють автоматизувати вирішення задач аналізу конфігурації мережі і розробляти більш ефективні за критерієм часу вирішення пакети прикладних програм для АСДУ.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бунин В., Анопренко В., Ильин А. и др. SCADA-системы: проблема выбора. – Современные технологии автоматизации, 1999. – № 4. – С. 6–24.
2. Бондаренко М.Ф., Дудар З.В., Збітнєва М.В. Моделі електричних мереж і методи автоматичного формування їх топологій // Вісник ЖІТІ. – 2002. – № 1 (20). – С. 90–97.
3. Шабанов-Кушнарєнко Ю.П. Теория интеллекта: Математические средства. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. – 143 с.
4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.

БОНДАРЕНКО Михайло Федорович – доктор технічних наук, професор, ректор Харківського національного університету радіоелектроніки.

Наукові інтереси:  
 – автоматизовані системи диспетчерського управління.  
 Тел.: (0572) 43-30-58,  
 E-mail: swell@kture.kharkov.ua.

ДУДАР Зоя Володимирівна – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення ЕОМ Харківського національного університету радіоелектроніки.

Наукові інтереси:  
 – автоматизовані системи диспетчерського управління.  
 Тел.: (0572) 40-94-46,  
 E-mail: swell@kture.kharkov.ua.

ЗБІТНЄВА Майя Вячеславівна – аспірант кафедри програмного забезпечення ЕОМ Харківського національного університету радіоелектроніки.

Наукові інтереси:  
 – автоматизовані системи диспетчерського управління.  
 Тел.: (0572) 40-94-46,  
 E-mail: swell@kture.kharkov.ua.

у позиції  $[n_{I_{Q_i}}, n_{I_{\text{нес}Q_i}} - n]$   
і  $[n_{I_{Q_i}} + n, n_{I_{\text{нес}Q_i}} - n + m]$  значення  
[властивість  $Q_i$  "Активна складова провідності"]  
і в позиції  $[n_{I_{Q_i}}, n_{I_{\text{нес}Q_i}} - n + m]$  значення  
[властивість  $Q_i$  "Реактивна складова провідності"]  
і в позиції  $[n_{I_{Q_i}} + n, n_{I_{\text{нес}Q_i}} - n]$  значення  
[властивість  $Q_i$  "Реактивна складова провідності"  $\times (-1)$ ].

- 5) **ЯКЩО** – усі вершини графа СЗ-моделі проаналізовані;  
**ТО** – помножити на  $(-1)$  наступні елементи матриці  $\dot{Y}_r$ :  
 $[k, k]$ ,  $[n + k, n + k]$ ,  $[n + k, k]$ ,  $[k, n + k]$ ,  
де  $k$  приймає послідовно усі значення номерів незалежних вузлів;  
**I**  
– **КІНЕЦЬ**.  
**ІНАКШЕ** – приступити до аналізу наступної вершини графа;  
**I**  
– перейти до продукції 2.

Таким чином, запропоновані методи дозволяють автоматизувати вирішення задач аналізу конфігурації мережі і розробляти більш ефективні за критерієм часу вирішення пакети прикладних програм для АСДУ.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бунин В., Анопренко В., Ильин А. и др. SCADA-системы: проблема выбора. – Современные технологии автоматизации, 1999. – № 4. – С. 6–24.
2. Бондаренко М.Ф., Дудар З.В., Збітнєва М.В. Модели електричних мереж і методи автоматичного формування їх топологій // Вісник ЖІТІ. – 2002. – № 1 (20). – С. 90–97.
3. Шабанов-Кушнарєнко Ю.П. Теория интеллекта: Математические средства. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. – 143 с.
4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.

БОНДАРЕНКО Михайло Федорович – доктор технічних наук, професор, ректор Харківського національного університету радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– автоматизовані системи диспетчерського управління.

Тел.: (0572) 43–30-58,

E-mail: swell@kture.kharkov.ua.

ДУДАР Зоя Володимирівна – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення ЕОМ Харківського національного університету радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– автоматизовані системи диспетчерського управління.

Тел.: (0572) 40-94-46,

E-mail: swell@kture.kharkov.ua.

ЗБІТНЄВА Майя Вячеславівна – аспірант кафедри програмного забезпечення ЕОМ Харківського національного університету радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– автоматизовані системи диспетчерського управління.

Тел.: (0572) 40-94-46,

E-mail: swell@kture.kharkov.ua.