

**ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ У КЕРУЮЧИХ АВТОМАТАХ З ВИКОРИСТАННЯМ СИНХРОНІЗУЮЧИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ***ШКІЛЬ О.С., МІРОШНИК М.А., РОЖНОВА Т.Г., ПАХОМОВ Ю.В., КАРАМАН Д.Г.*

Розглядаються питання підвищення надійності функціонування систем логічного управління в системах газопостачання. Наводиться алгоритм роботи автоматичної газорозподільної станції, граф переходів керуючого автомата та його модель на мові опису апаратури. Для діагностування керуючого автомата пропонується проводити «неруйнівний» діагностичний експеримент з обходу всіх вершин (дуг) графа переходів автомата з використанням синхронізуючих послідовностей. Наводиться приклад побудови синхронізуючої послідовності та діагностичний експеримент з її використанням. Моделювання VHDL-моделі при проведенні діагностичного експерименту здійснювалося в середовищі Active-HDL.

**1. Вступ**

В даний час в електроенергетиці відбуваються суттєві зміни, пов'язані з впровадженням нових технологій автоматизації та енергозбереження. На рівні підприємств і територій використовуються автоматизовані системи керування технологічними процесами, які, в основному, керують інформаційними потоками. У системах енергота газопостачання широко використовуються спеціальні локальні системи управління і регулювання, розташовані на віддаленій місцевості, наприклад, на трансформаторних підстанціях, газорозподільних вузлах, пунктах обліку енергоспоживання тощо.

Системи автоматичного регулювання (САР) призначені для підтримки постійної або зміни по заданому закону деякої керованої величини. Системи автоматичного керування (САК) здійснюють сукупний вплив на об'єкт, обраний з безлічі можливих впливів, спрямованих на досягнення певного критерію керування. У загальному випадку САР і САК можуть будуватися як на основі локальних засобів автоматичного регулювання, так і з застосуванням цифрових систем автоматичного керування. Такі локальні системи, як правило, реалізуються на інтегральних схемах, виготовлених на замовлення, або мікроконтролерах.

Важливим завданням при побудові САК є забезпечення надійності їх функціонування, що неможливо без використання автоматичних систем технічного діагностування. При проектуванні сучасних систем технічного діагностування широко використовуються комп'ютерні технології автоматизованого проектування з застосуванням мов опису апаратури і сучасної технологічної бази. Даний підхід дозволить реалізувати систе-

му діагностування віддаленого пункту управління будь-якої енергетичної системи без участі людини і без відключення основної системи управління на тривалий час.

В електроенергетиці і газопостачанні досить поширені віддалені пункти управління, які працюють без / або з мінімальною участю людини, а також без використання персональних комп'ютерів. При цьому пристрої управління реалізуються на технологічній базі МК, ASIC або ПЛІС. Незалежно від способу технічної реалізації зазначені системи реалізують оригінальний алгоритм управління, описаний відповідною граф-схемою. При цьому виникає проблема діагностики правильного функціонування керуючого пристрою без використання показань реальних датчиків, тому що їх включення в режим діагностування може порушити процес функціонування критичних систем електроенергетики та газопостачання. Процес діагностування керуючого пристрою має йти в автономному режимі при відключенні систем управління на досить короткий час. Тому актуальною є задача розробки автоматичних апаратних засобів діагностування, які працюють в автономному режимі без участі людини і гарантують задану повноту діагностування.

Ефективність функціонування автоматизованих систем (АС) в значній мірі залежить від того, наскільки повно, при виборі методів і засобів контролю, були враховані особливості зазначених систем як об'єктів контролю. Без урахування цих особливостей АС практично неможливо встановити для кожної з них роль і місце контролю в управлінні її функціонуванням. Специфіка АС як об'єктів контролю впливає на вибір методів і видів контролю, а також показників якості їх функціонування. Вона знаходить своє відображення в принципах формалізації і змістовного опису процесів контролю, в принципах синтезу функцій працездатності АС.

Метою діагностування є забезпечення раціональної експлуатації електрообладнання при заданих показниках надійності і скорочення витрат на технічне обслуговування і ремонт (ТОР). Ця мета досягається шляхом управління технічним станом електрообладнання в процесі експлуатації, що дозволяє проводити ТОР відповідно до даних діагностування.

Основне завдання технічного діагностування полягає в отриманні достовірної інформації про технічний стан електро- та газообладнання в процесі експлуатації. Вона вирішується на основі вимірювання, контролю, аналізу і обробки кількісних і якісних значень параметрів обладнання, а також шляхом управління обладнанням відповідно до алгоритму діагностування.

Аналіз причин виникнення дефектів обладнання показує, що технічний стан кожного з них характеризується як тільки йому притаманними індивідуальними, так і загальними ознаками. Для кожного виду обладнання характерні свої типові дефекти, які багаторазово зустрічаються в експлуатації. Об'єднавши всі дефекти і ознаки їх появи в окремі групи, отримуємо структуру діагностування електрообладнання, що складається з трьох рівнів і підсистем: перевірки функціонування, виявлення дефектів, оцінки і прогнозування працездатності. При цьому на кожному наступному рівні використовуються результати попередніх.

До апаратурних засобів діагностування відносяться різні пристрої: прилади, пульти, стенди, спеціальні промислові комп'ютери. Апаратурні пристрої, які складають з об'єктом діагностування, конструктивно єдине ціле, є вбудованими апаратурними засобами діагностування. Прикладами подібних засобів можуть бути електровимірювальні прилади (струму, напруги, потужності, частоти та інші), пристрої індикації технічного стану елементів (реле, світловипромінюючі діоди, неонові лампи), пристрої контролю ізоляції. Якщо в схемах експлуатації електрообладнання не передбачено вбудовані засоби діагностування або їх виявляється недостатньо для діагностування з необхідною глибиною, то застосовують зовнішні апаратурні засоби діагностування, виконані окремо від конструкції обладнання, і підключаються до нього лише в процесі діагностування. Найпростішими прикладами зовнішніх апаратурних засобів можуть бути комбіновані прилади для вимірювання в колах постійного і змінного струму, тестери логічного стану, електронно-променеві та цифрові осцилографи, переносні вимірювальні комплекти.

Зовнішні спеціалізовані засоби діагностування – це пристрої, що використовуються, наприклад, для перевірки працездатності окремих елементів або вузлів електрообладнання на стадіях технічного контролю після виконання ремонтних робіт. При існуючому різноманітті вихідних форм опису проектів цифрових пристроїв (ЦП) можна виділити найбільш популярні в світі: аналітичні – мови опису апаратури (HDL), графічні або візуальні – ієрархічні цифрові структури і схеми, граф-схеми алгоритмів операційних або керуючих пристроїв (flow chart). Одним з поширених способів вихідного опису кінцевого керуючого автомата (КА) на мові опису апаратури є автоматний шаблон, тобто спеціальна структура HDL-коду, яка будується на основі графа переходів автомата (state diagram) або прямої структурної таблиці (ПСТ). Побудова графа переходів кінцевого автомата на основі інших способів опису

його функціонування є мистецтвом проектувальника і особливостями інструментальних засобів систем автоматизованого проектування радіоелектронної апаратури (САПР РЕА).

Найбільш складним і витратним етапом в сучасному циклі проектування ЦП є функціональна верифікація, тобто процес виявлення, локалізації та усунення помилок в системній моделі щодо специфікації, на що витрачається більше половини загального часу проектування. Основною формою опису проектів ЦП в САПР РЕА є мови опису апаратури, тому об'єктом верифікації є модель ЦП, написана на мові опису апаратури, тобто HDL-модель.

Можливі помилки проектування в HDL-моделях визначаються стилем опису HDL-коду. Помилкою проектування вважається визначення помилки в HDL-операторі, яка не відноситься до класу синтаксичних і порушує алгоритм функціонування моделі пристрою, заданий специфікацією. Виділення фрагментів HDL-коду, що описують поведінку кінцевих автоматів стилем «автоматний шаблон», дозволяє визначити помилку проектування типу «неправильний перехід у графі переходів автомата», що відповідає помилці у виборі поточного стану в операторі when, помилці вибору наступного стану в функції переходів (ai замість aj), помилці в операторі if() при аналізі вхідного сигналу, помилці в призначенні вихідного сигналу. Для проведення діагностичного експерименту (ДЕ) з пошуку помилок проектування реалізується стратегія обходу всіх дуг графа переходів кінцевого автомата, починаючи з початкової вершини. При цьому перевіряються всі поодинокі несправності переходів, а також справності функцій автомата, що забезпечують ці переходи [1].

ДЕ над HDL-моделлю кінцевого автомата полягає в подачі на неї вхідних впливів, відповідно до обраної стратегії обходу змістовного графа переходів, отриманні вихідних реакцій на Waveform і порівнянні отриманих реакцій з еталоном. На підставі цього робиться висновок про відповідність HDL-моделі специфікації. ДЕ проводиться з використанням системи верифікації HDL-моделей (TestBench) в середовищі проектування Active-HDL. При проведенні ДЕ в простих HDL-моделях КА подача вхідних впливів і порівняння отриманих реакцій з еталонами не представляє особливих труднощів, навіть в режимі візуального порівняння з Waveform, оскільки тестові дані подаються безпосередньо на входи автомата, а реакції знімаються з його виходів.

*Мета дослідження* – розробка процедур проведення «неруйнівних» діагностичних експериментів у моделях керуючих автоматів на мовах опису апаратури в системі пристроїв управління в газопостачанні.

## 2. Моделі керуючих автоматів у системах газопостачання

Сукупність об'єкта керування та технічних пристроїв, призначених для нього, називається системою автоматичного керування (регулювання) (САК, САР). Основне завдання САК полягає в тому, щоб на основі інформації про об'єкт виробити керуючі впливи, що дозволяють підтримувати об'єкт в стабільному стані або перевести його в новий стабільний стан. Технічні пристрої, що входять до САК, включають в себе: датчики; пристрої, що визначають закон функціонування об'єкта; регулятори, що виробляють керуючі впливи за необхідним законом керування; керівні органи і виконавчі механізми.

Як об'єкт керування (ОК) розглянемо автоматичну станцію газорозподілу (АГРС), розташовану, як правило, на віддаленій території без присутності кваліфікованого персоналу. Сучасна АГРС – це комплекс обладнання і вимірювальних приладів для регулювання розподілу газу [2].

Автоматична станція газорозподілу (або автоматична газорозподільна станція) призначена для зниження тиску газу, його одоризації, очищення від рідкої фракції і механічних домішок. АГРС працює в автоматичному режимі. З метою підвищення безпеки та надійності експлуатації обладнання на АГРС, а також для оперативного централізованого контролю технологічних параметрів встановлено комплекс телеметрії. Він складається з керуючого автомата, набору датчиків і табло індикації.

Спрощена функціональна схема роботи АГРС представлена на рис. 1 [3].

Інформація про роботу АГРС передається по бездротовому каналу зв'язку на цифрове табло індикації. Воно складається зі світлодіодів зеленого і червоного кольору, що відповідає робочому (зелений) і аварійному (червоний) режиму роботи обладнання АГРС.

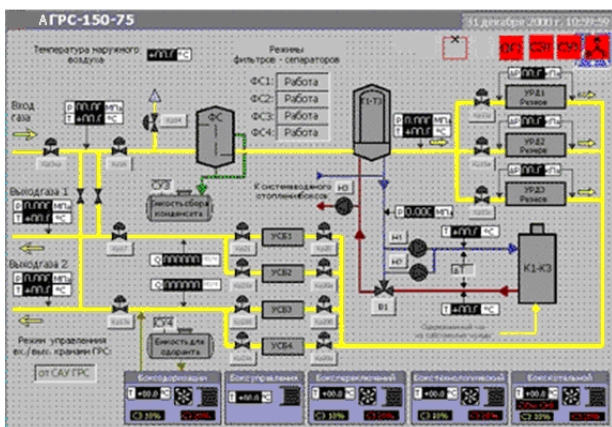


Рис. 1. Функціональна схема роботи АГРС

Словесний опис спрощеного алгоритму функціонування АГРС і опис використовуваних датчиків представлено нижче.

1) Датчик вхідного тиску  $P_1$  ( $X1$ ). Тиск на вході контролюється за допомогою аналогового датчика тиску  $P_1$  (зняття показань  $Y2$ ), який працює в діапазоні  $0,3\text{МПа} \leq P_1 \leq 0,5\text{МПа}$  ( $X1=1$ ). Якщо тиск більше або менше зазначеного, то  $X1=0$  і на табло індикації буде горіти світлодіод червоного кольору ( $Y8$ ).

2) Датчик температури  $T_1$  ( $X2$ ). Датчик температури  $T_1$  (зняття показань  $Y3$ ) працює в діапазоні  $10^\circ\text{C} \leq T_1 \leq 25^\circ\text{C}$  ( $X2=1$ ). При підвищенні або зниженні температури більше заданої ( $X2=0$ ) на табло індикації буде переданий аварійний сигнал ( $Y9$ ).

3) Датчик контролю максимального рівня газоконденсату  $H_1$  ( $X3$ ). Невід'ємною частиною обладнання АГРС є вузол очищення газу від рідких домішок і механічних частинок. Вузол очистки складається з двох сепараторів, які підключені до системи газопроводів паралельно, що дає їм можливість працювати незалежно один від одного. У сепараторі відбувається відділення газу від рідкої фракції. Очищений газ проходить через верхню частину сепаратора в газопровід і далі надходить на регулятор тиску. Контроль максимально можливого заповнення сепаратора здійснюється за допомогою датчика  $H_1$  (зняття показань  $Y4$ ), датчик  $H_1$  працює в діапазоні  $40\% \leq H_1 \leq 60\%$  ( $X3=1$ ). При досягненні рідкою фракцією рівня 60% – датчик сигналізує про переповнення ( $X3=0$ ), і на електромагнітний соленоїдний клапан скидання рідини надходить керуючий сигнал на його відкриття ( $Y12$ ). Рідина надходить в роздільну ємність для подальшої обробки та утилізації. Як тільки рівень рідини в сепараторі зменшиться до 40%, електромагнітний клапан закриється.

4) Датчик контролю мінімального рівня газоконденсату  $H_2$  ( $X4$ ). При досягненні рівня рідини 15% спрацює датчик  $H_2$  (зняття показань  $Y5$ ) мінімального рівня ( $X4=0$ ) і на табло індикації буде переданий аварійний сигнал ( $Y10$ ). Зниження рівня рідини в сепараторі до 15% ( $X4=1$ ) може відбутися тільки в разі зниження тиску на вході, тобто  $P_1 \leq 0,3\text{МПа}$ .

5) Датчик контролю вихідного тиску  $P_2$  після регулятора ( $X5$ ). Регулятор тиску на АГРС забезпечує зниження тиску газу до необхідного ( $P_2 = 0,1\text{МПа}$ ) і автоматично підтримує його в рамках цього тиску (зняття показань  $Y6$ ). Датчик вихідного тиску  $P_2$  після регулятора працює в діапазоні  $0,05\text{МПа} \leq P_2 \leq 0,125\text{МПа}$  ( $X5=1$ ). При підвищенні вихідного тиску  $P_2 \leq 0,125\text{МПа}$  ( $X5=0$ ) спрацьовує запобіжний скидний клапан ( $Y13$ ). Він буде відкритий до тих пір, поки не виконається умова  $P_2 \leq 0,125\text{МПа}$ . Якщо з якоїсь причини тиск не відповідає діапазону  $0,05\text{МПа} \leq P_2 \leq 0,125\text{МПа}$ , тоді аналізується датчик приводу аварійного відкриття клапана ЗСК при підвищенні тиску ( $X7$ ).

6) Датчик загазованості приміщення АГРС  $CH_4$  ( $X_6$ ). Загазованість приміщення АГРС може виникнути в разі витоків газу через фланцеві з'єднання або через сальникові ущільнення газового обладнання (зняття показань  $Y_7$ ). У безаварійному режимі  $X_6=1$ . Вибухонебезпечна концентрація газу в приміщенні знаходиться в межах від 5 до 15%. Датчик загазованості вже при концентрації 1% ( $X_6=0$  при  $CH_4 \geq 1\%$ ) передає аварійний сигнал на табло індикації ( $Y_{11}$ ).

7) Датчик приводу аварійного відкриття клапана ЗСК при підвищенні тиску ( $X_7$ ). Датчик контролює тільки підвищення тиску. При  $P_2 \geq 0,125$  МПа, що відповідає підвищенню тиску на 25% від робочого ( $X_7=0$ ), на табло індикації буде горіти світлодіод червоного кольору і спрацює звукова сигналізація ( $Y_{14}$ ). На рис. 2 представлена спрощена граф-схема алгоритму (ГСА) роботи АГРС. Для перетворення ГСА в автоматну модель, необхідно відзначити стани автомата. Як автоматну модель будемо розглядати автомат Мілі. Його станами на ГСА позначаються входи вершин, наступних за операторними вершинами [4]. На основі автоматної моделі Мілі будується граф переходів КА (рис. 3).

Граф переходів автомата представляється на мові опису апаратури VHDL в формі двопроцесного автоматного шаблону. VHDL-модель автомата Мілі представлена в лістингу 1.

Лістинг 1. VHDL-модель керуючого автомата АГРС

```

begin
State_CurrentState: process (clk,reset)
begin
if rising_edge(clk) then
if reset='1' then State <= A1;
else State <= NextState;
end if;
end if;
end process;

State_NextState: process (X, State)
begin
Y<= (others=>'0');
case State is
when "0001" =>
if (X(0)='1') then NextState <= A2;
Y(1) <= '1';
elsif (X(0) = '1') then NextState <= A1;
else NextState <= A1;
end if;
.....
when "0110" =>
if (X(4)='1') then NextState <= A7;
Y(6) <= '1';
elsif (X(4) = '0') then NextState <= A1;
Y(10) <= '1';
else NextState <= A1;
end if;
end if;
end process;

```

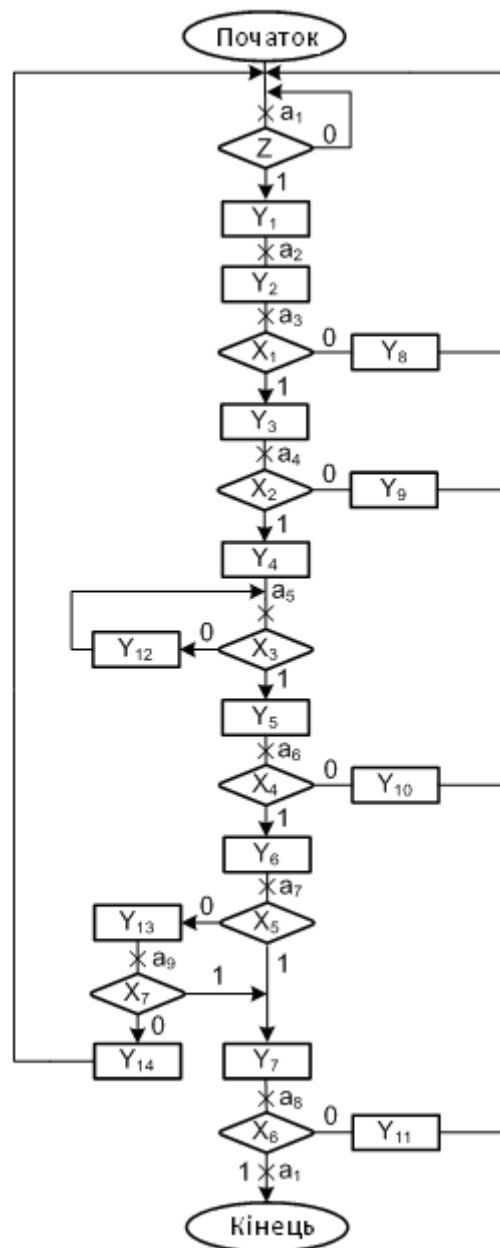


Рис. 2. Граф-схема алгоритму роботи АГРС

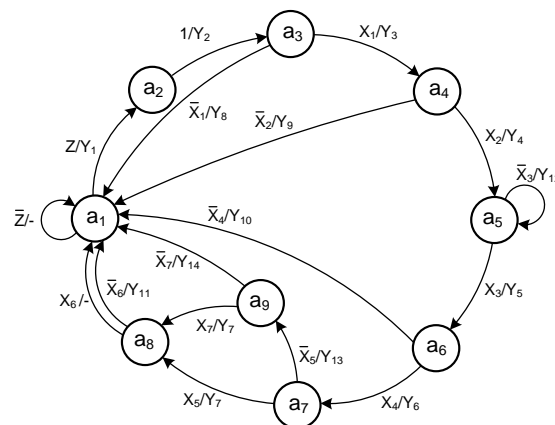


Рис. 3. Граф переходів керуючого автомата Мілі

### 3. Стратегія діагностування керуючого автомата

Діагностичний експеримент (ДЕ) над HDL-моделлю кінцевого автомата полягає в подачі на неї вхідних впливів, відповідно до обраної стратегії обходу змістовного графа переходів, отриманні вихідних реакцій на Waveform і порівнянні отриманих реакцій з еталоном. На підставі цього робиться висновок про відповідність HDL-моделі специфікації. ДЕ проводиться з використанням системи верифікації HDL-моделей (TestBench) в середовищі проектування Active-HDL. При проведенні ДЕ в простих HDL-моделях КА подача вхідних впливів і порівняння отриманих реакцій з еталоном не представляє особливих труднощів, навіть в режимі візуального порівняння з Waveform, оскільки тестові дані подаються безпосередньо на входи автомата, а реакції знімаються з його виходів.

Для побудови тесту реалізується стратегія обходу всіх дуг графа переходів кінцевого автомата починаючи з початкової вершини за умови допустимості наявності більш, ніж однієї дуги  $a_i \Rightarrow a_j$  (змішана стратегія). Даний підхід передбачає проведення так званого «неруйнівного» експерименту, в якому в кінці кожної перевірки автомат логічно або примусово повертається в початковий стан. При цьому перевіряються всі поодинокі несправності переходів, а також справності функцій автомата, що забезпечують ці переходи. ДЕ над HDL-моделлю кінцевого автомата полягає в подачі на неї вхідних впливів відповідно до обраної стратегії обходу змістовного графа переходів, отриманні вихідних реакцій у вигляді вихідних сигналів або списку станів автомата на Waveform, або списку обходу графа в файлі і порівнянні отриманих реакцій з еталоном візуальним або програмним шляхом. На підставі цього робиться висновок про відповідність HDL-моделі специфікації. ДЕ проводиться з використанням системи верифікації HDL-моделей (TestBench) в середовищі проектування Active-HDL моделі автоматів представлені на мові VHDL [1].

На підставі стратегії обходу всіх дуг графа КА (рис. 3) будується алгоритм діагностування з гарантованою повнотою щодо одиночних несправностей переходів (наприклад, перехід  $a1 - a2$  замість  $a1 - a3$ ). Він представлений на рис. 4 у вигляді бінарного дерева рішень [1].

За допомогою дерева рішень будуються варіанти обходу дуг графа. При цьому слід враховувати, що проводиться так званий «неруйнівний ДЕ», коли обхід дуг графа починається з початкової вершини і в ній же закінчується. Варіанти обходу графа переходів КА представлені на рис. 5.

На рис. 6 показаний результат моделювання ре-

жиму роботи керуючого автомата, який описує послідовність переходів A1-A2-A3-A4-A5-A6-A1. Перехід зі стану в стан відповідає за ініціацію блоків і датчиків, описаних в лістингу 1.

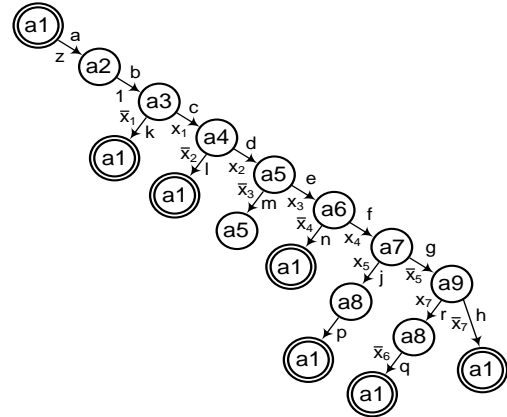


Рис. 4. Дерево рішень для графа переходів КА

```

a1 - a2 - a3 - a1;
a1 - a2 - a3 - a4 - a1;
a1 - a2 - a3 - a4 - a5 - a6 - a1;
a1 - a2 - a3 - a4 - a5 - a6 - a7 - a8 - a1;
a1 - a2 - a3 - a4 - a5 - a6 - a7 - a9 - a1;
a1 - a2 - a3 - a4 - a5 - a6 - a7 - a9 - a8 - a1.

```

Рис. 5. Варіанти обходу графа переходів КА

Відбувається ініціація автомата (запуск різних блоків для початку роботи УА ( $A1 - A2$ ;  $X(0) = 1 \Rightarrow Y1 = 1$ )) опитування датчика тиску ( $A3-A4$ ;  $Y2 = 1$ ), температури ( $A4-A5$ ;  $X(1) = 1 \Rightarrow Y3 = 1$ ) та газоконденсату ( $A5-A6$ ;  $X(3) = 1 \Rightarrow Y4 = 1$ ). Після опитування кожного датчика відбувається порівняння їх показників з необхідними для подальшої роботи. Позитивна перевірка ( $X(1) = X(2) = X(3) = 1$ ) показує, що показники не перевищують допустимі і автомат далі продовжує коректну роботу. Перевірка наступного датчика мінімального рівня газоконденсату не проходить ( $A6-A7$ ;  $X(4) = 0$ ) і виникає аварійна ситуація ( $Y(10) = 1$ ), яка повертає автомат в початковий стан (A1).

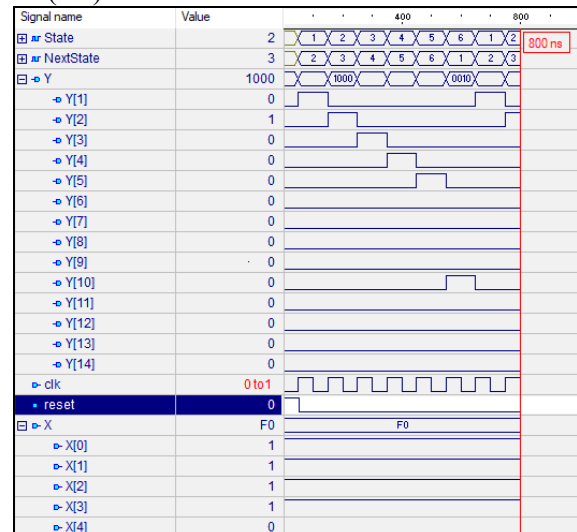


Рис. 6. Waveform роботи КА АГРС

#### 4. Проведення діагностичного експерименту

Основним завданням при проведенні «неруйнівного» діагностичного експерименту є можливість повернення автомата в початковий стан незалежно від результату чергової перевірки. Для цих цілей доцільно використовувати синхронізуючі послідовності кінцевих автоматів [5].

Вхідна послідовність автомата  $X_s$ , яка встановлює його в певний кінцевий стан незалежно від стану виходу і початкового стану, називається синхронізуючою послідовністю (СП).

Якщо автомат  $W = \langle X, A, Y, \delta, \lambda, a_0 \rangle$  заданий таблицею переходів-виходів або графом переходів, то з визначення випливає, що автомат синхронізує послідовність  $X_s$  таку, що  $\delta(a_i, X_j) = a_0, \forall a_i \in A, a_0 \in A$ . Множина переходів  $\delta(a_i, X_s) = a_0, \forall a_i \in A$  автомата визначає відображення множини його станів  $A$  в якийсь певний стан  $a_0$  при подачі на автомат вхідної послідовності  $X_s$ , тобто  $a_i \xrightarrow{X_s} a_0$ .

Синхронізуюча послідовність для заданого автомата може бути знайдена з синхронізуючого дерева, яке є деревом-наступником, побудованим за певними правилами [5]. На рис. 7 наведено фрагмент побудови синхронізуючих послідовностей для розглянутого автомата Мілі.

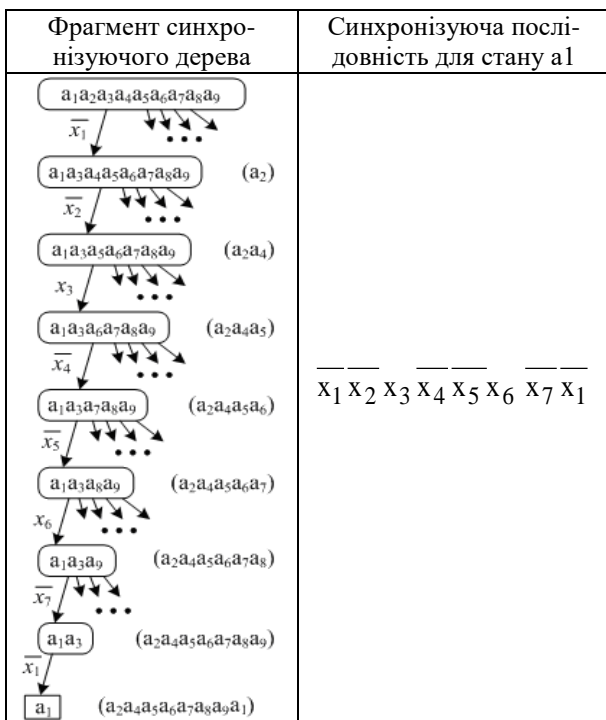


Рис. 7. Синхронізуючі послідовності для керуючого автомата АГРС

Виходячи з синхронізуючого дерева, визначимо синхропослідовність  $\overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \overline{x_4} \overline{x_5} \overline{x_6} \overline{x_7} \overline{x_1}$ , або (00100100)

Розглянемо помилкову VHDL-модель з помилкою проектування типу «помилкове призначення нового стану» (фрагмент коду на рис. 8).

```

when "0110" =>
  if (X(4)='1') then
    NextState <= A7; Y(6) <= '1';
  elsif (X(4) = '0') then
    NextState <= A4; Y(10) <= '1';
    --(замість nextstate <= a1)
  else NextState <= A1;
  end if;
  
```

Рис. 8. Фрагмент VHDL-моделі автомата з помилковим оператором призначення

Результати моделювання VHDL-моделі з помилкою призначення наведені на рис. 9.

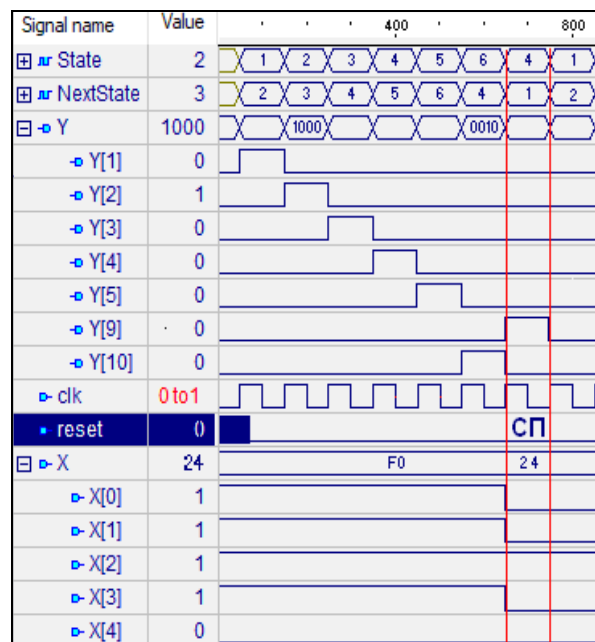


Рис. 9. Waveform для помилки призначення нового стану «a4 замість a1» з синхронізуючими послідовностями

На рис. 9 СП відповідає синхропослідовності 00100100 (в 16-річному коді 24), що показано на Waveform, в часовому інтервалі (650-750) ns.

Таким чином синхропослідовність повертає HDL-модель автомата в початковий стан, але для реального пристрою керування може бути визначена така синхропослідовність, яку фізично реалізувати неможливо на даній системі вхідних датчиків. Наприклад синхропослідовність  $\overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \overline{x_4} \overline{x_5} \overline{x_6} \overline{x_7} \overline{x_1}$  не може бути реалізована в стані A4, тому що реальний тепловий датчик не може в одному циклі роботи керуючого автомата попадати в робочий діапазон температур ( $x_2=1$ ), або виходити за його межі ( $x_2=0$ ).

Таким чином, в реальних системах логічного управління при діагностуванні систем керування доцільно використовувати інший підхід, а саме будувати систему імітації вхідних сигналів керуючого автомата при відключенні самих датчиків [2].

## 5. Висновки

Представлений метод автоматизованого комп'ютерного проектування цифрового пристрою локального управління (регулювання) в електроенергетиці і газопостачанні. Як приклад обраний контур регулювання автоматичної газорозподільної станції. На основі спрощеного алгоритму функціонування АГРС, представленого ГСА, складається автоматна модель у вигляді графа переходів кінцевого автомата Мілі. Граф переходів представляється на мові опису апаратури VHDL в формі двопроцесного автоматного шаблону. За допомогою графа переходів будується алгоритм діагностування пристрою управління за стратегією обходу всіх дуг графа, що гарантує його повноту. Даний підхід передбачає проведення так званого «неруйнівного» експерименту, в якому в кінці кожної перевірки автомат логічно або примусово повертається в початковий стан. Побудова «неруйнівного» експерименту забезпечується за рахунок побудови синхропослідовностей, які повертають автомат в початковий стан навіть при наявності помилок проектування або дефектів у керуючому автоматі. Наведений приклад проведення «неруйнівного» діагностичного експерименту при наявності помилки проектування в HDL-моделі автомата.

Наукова новизна роботи полягає в подальшому розвитку методів побудови тестових послідовностей для проведення «неруйнівного» діагностичного експерименту в керуючому автоматі що дозволило проводити неруйнівний діагностичний експеримент навіть для автоматів з несправностями функцій переходів.

**Література:** 1. Шкіль А.С. Диагностирование HDL-моделей микропрограммных автоматов / А.С. Шкіль, Э.Н. Кулак, А.С. Серокурова // АСУ и приборы автоматизации. 2015. Вып. 172. С. 22-31. 2. Miroshnyk M. A. Model of automated hardware diagnostics of remote energy systems management points / M. A. Miroshnyk, Y. V. Pakhomov // Світлотехніка та електроенергетика. Міжнародний науково-технічний журнал. 2017. №3. С. 3–9. 3. Нубарян С.М. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: Краткий курс лекций / С.М. Нубарян. Харьков: ХНАГХ, 2007. 147 с. 4. Баранов С.И. Синтез микропрограммных автоматов (граф-схемы и автоматы) / С.И. Баранов. Л.: Энергия, 1979. 232 с. 5. Мирошник М.А. Обнаружение ошибок проектирования в HDL-моделях конечных автоматов с использованием синхронизирующих последовательностей. / А.С. Шкіль, М.А. Мирошник, Э.Н. Кулак, А.С. Гребенюк, Д.Е. Кучеренко // Радиоэлектроника и информатика. 2016. №3 (74). С. 39-46.

## Транслітерований список літератури:

1. Shkil' A.S. Diagnostirovaniye HDL-modeley mikroprogrammnykh avtomatov / A.S. Shkil', E.N. Kulak, A.S. Serokurova // ASU i pribory avtomatiki.– 2015. Vyp. 172. С. 22-31.
2. Miroshnyk M.A. Model of automated hardware diagnostics of remote energy systems management points / M. A. Miroshnyk, Y. V. Pakhomov. // Light engineering and electric power. International scientific and technical journal. 2017. №3. С. 3–9.
3. Nubaryan S.M. Avtomatizatsiya sistem teplogazosnabzheniya i ventilyatsii: Kratkiy kurs lektsiy / S.M. Nubaryan. Khar'kov: KHNAAGKH, 2007. 147 с.
4. Baranov S.I. Sintez mikroprogrammnykh avtomatov (graf-skhemy i avtomaty) / S.I. Baranov. L.: Energiya, 1979. 232 с.
5. Miroshnik M.A. Obnaruzheniye oshibok proyektirovaniya v HDL-modelyakh konechnykh avtomatov s ispol'zovaniyem sinkhroniziruyushchikh posledovatel'nostey. / A.S. Shkil', M.A. Miroshnik, E.N. Kulak, A.S. Grebenyuk, D.Ye. Kucherenko // Radioelektronika i // Radioelektronika i informatika. 2016. №3 (74). С. 39-46.

Поступила в редколлегию 28.05.2018

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

**Шкіль Олександр Сергійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри АПОТ ХНУРЕ. Наукові інтереси: діагностика цифрових систем, дистанційна освіта. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. +380 (57) 702-13-26.

**Мірошник Марина Анатоліївна**, д-р техн. наук, проф. кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Українського державного університету залізничного транспорту. Наукові інтереси: діагностика цифрових систем, діагностування, апаратна криптографія, надійність, ПЛІС. Адреса: Україна, 61001, Харків, пл. Фейєрбаха, 7, тел. +380 (57) 710-30-61.

**Рожнова Тетяна Григорівна**, канд. техн. наук, ст. викладач кафедри АПОТ ХНУРЕ. Наукові інтереси: діагностика цифрових систем, дистанційна освіта. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. +380 (57) 702-13-26.

**Пахомов Юрій Васильович**, асистент кафедри експлуатації газових і теплових систем Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Наукові інтереси: тестопридатне проектування критичних систем логічного управління на основі кінцевих автоматів. Адреса: Україна, 61001, Харків, вул. Маршала Бажанова, 17, тел. +380 (57) -707-32-65.

**Караман Дмитро Григорович**, ст. викладач кафедри Автоматики та управління в технічних системах НТУ "ХПІ". Наукові інтереси: діагностування, апаратна криптографія, надійність, ПЛІС, FPGA. Адреса: Україна, 61001, Харків, вул. Кирпичова, 2, тел. +380 (57) -707-101, +380 (57) -7076-842.

**Shkil Alexander Sergeevich**. PhD, Associate Professor, Associate Professor of Design Automation Department, Kharkiv National University of Radioelectronics. Scientific education: diagnostics of digital systems, distance education. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, Nauka Avenue, 14, tel. +380 (57) 702-13-26.

**Miroshnyk Maryna Anatoliivna**, Dr. of Techn. Science, Professor, Professor of the Department of Specialized Computer Systems, Ukrainian State University of Transport Transport, Ukrainian State University of Railway Transport. Scientific education: diagnostics of digital systems, cryptography, reliability, FPGA. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, Nauka Avenue, 14, tel. +380(57)710-30-61.

**Rozhnova Tatyana Grigorievna** Associate Professor, Associate Professor of Design Automation Department, Kharkiv National University of Radioelectronics. Scientific education: diagnostics of digital systems. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, pl. Fejrbach, 7, tel. +380 (57) 702-13-26.

**Pakhomov Yuriy Vasilovych**, Assistant of the Chair exploitation of Gas and Thermal Systems, Kharkiv National University of Urban Economy. Scientific education: diagnostics of digital systems. Address: Ukraine, 61170, Kharkov, Marshal Bazhanov str., 17, tel. +380(57)-707-32-65.

**Karaman Dmytro Grygorovych**, Senior Lecturer of the Department of Automation and Control in Technical Systems National Technical University "Kharkov Plitechnical Institute". Scientific education: diagnostics, hardware cryptography, reliability, FPGA. Address: Ukraine, 61170, Kharkov, Kirpichov str., 17, tel. +380(57)-707-32-65.