

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Березницький Дмитро Олександрович**

УДК 681.518.5

**ДІАГНОСТУВАННЯ ДОПОМІЖНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА СИСТЕМ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХИСТІВ ЕНЕРГОБЛОКА ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

Спеціальність 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

Вінниця – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Грабко Володимир Віталійович**,  
Вінницький національний технічний університет,  
завідувач кафедри електромеханічних систем автоматизації в  
промисловості і на транспорті

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент  
**Гребченко Микола Васильович**,  
Донецький національний технічний університет,  
професор кафедри електричних станцій

доктор технічних наук, професор  
**Кутін Василь Михайлович**,  
Вінницький національний технічний університет,  
професор кафедри електричних станцій та систем

Захист відбудеться “15” травня 2009 р. о 12<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.05 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210, ГУК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий “ 10 ” квітня 2009 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В.Ц. Зелінський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В сучасних умовах економічного розвитку нашої держави однією із основних задач господарювання постає питання продовження експлуатації понад встановлений термін служби обладнання та устаткування, зокрема електроенергетичного, із забезпеченням надійності роботи. Ті капіталовкладення, що здійснюються на цей час в електроенергетичну галузь, є незначними і не вирішують загальної проблеми надійної експлуатації електрообладнання, яке в переважній більшості було введено в роботу ще у 70-80 роках минулого століття.

Саме тому за умови обмеженого фінансування здійснюється перехід на експлуатацію обладнання за технічним станом. Це особливо актуально, коли нормативний термін експлуатації вже вичерпано, а обладнання знаходиться ще у робочому стані. Але такий підхід вимагає застосування надійних засобів діагностування, ігнорування яких може мати важкі наслідки при виникненні аварійних ситуацій.

Як відомо, не існує єдиних підходів до визначення технічного стану різних видів електрообладнання, а тому для виявлення діагностичних ознак адаптуються відомі рішення. Слід зазначити, що в деяких випадках необхідна інформація подається в технічному паспорті на відповідне обладнання, що частково спрощує аналіз його функціонування та можливість автоматизації процесу діагностування.

До електрообладнання та устаткування теплової електростанції ставляться особливі вимоги по надійності роботи. Нормою стало виведення всіх параметрів режиму та технічного стану обладнання на екран комп'ютера автоматизованої системи керування технологічним процесом. Якщо параметри режиму роботи вимірювати та передавати порівняно просто, то інформацію про технічний стан обладнання в багатьох випадках отримати дуже складно. Важливу роль в генеруванні електроенергії має не тільки основне обладнання, але і допоміжне та керуюче, яке забезпечує надійність функціонування основного.

Так, до силових трансформаторів власних потреб електростанції (в тому числі і сухих трансформаторів) ставляться високі вимоги по надійності роботи. Їх особливістю є короткотривала робота в режимі перевантаження, що пов'язано з частими пусками енергоблоків теплових електростанцій. Але якщо питанням діагностування силових трансформаторів в нормальному режимі роботи присвячено багато публікацій, то підходи до визначення ступеню спрацювання технічного ресурсу ізоляції обмоток силових трансформаторів в режимі перевантаження розроблені недостатньо.

Не менша відповідальність за функціонування обладнання теплової електростанції покладається на засоби автоматизації. Наприклад, турбіна енергоблока містить 9 основних систем захисту і вихід будь-якої із них з ладу призводить до її аварійної зупинки. Тому діагностування технологічних систем автоматики займає одне з чільних місць в плані надійного функціонування компонент енергоблока.

Вказані проблеми обумовлюють актуальність наукової задачі – підвищення надійності функціонування елементів допоміжного та керуючого електрообладнання енергоблока теплової електростанції шляхом їх діагностування.

Дослідженню та створенню методів та засобів діагностування електрообладнання присвячена велика кількість робіт, авторами яких є Аракелян В.Г., Ванін В.Б., Голоднов Ю.М., Кучинський Г.С., Кутін В.М., Мокін Б.І., Таран В.П., Львов Ю.М., Стогній Б.С., Шинкаренко Г.В. та багато інших.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основний зміст роботи складають результати досліджень, що проводились протягом 2004-2008 років. Науково-дослідна робота виконувалась відповідно до наукового напрямку "Розробка математичних методів та моделей процесів, що протікають в енергетичних та електромеханічних системах, синтез інформаційно-вимірювальних систем автоматичного і автоматизованого керування цими процесами" кафедри "Електромеханічні системи

автоматизації в промисловості і на транспорті” у ролі виконавця за держбюджетною темою “Розробка математичних моделей і засобів підвищення надійності систем контролю та керування в електроенергетиці” (номер державної реєстрації 0104U010158), у ролі виконавця за держбюджетною темою “Розробка математичних моделей і засобів підвищення надійності та енергозбереження в транспортних системах” (номер державної реєстрації 0107U002089) та у ролі виконавця за госпдоговірною темою “Тепловізійне обстеження силового електрообладнання і розробка методики діагностування елементів електрообладнання блока генератор-трансформатор теплової електростанції” (номер державної реєстрації 0108U010000).

**Мета і завдання дослідження.** Метою даної дисертаційної роботи є підвищення рівня надійності функціонування елементів допоміжного та керуючого електрообладнання енергоблока теплової електростанції за рахунок їх діагностування і, як наслідок, підвищення надійності генерування електричної енергії.

Для досягнення мети необхідно розв’язати такі задачі:

- проаналізувати існуючі методи і засоби діагностування елементів допоміжного та керуючого електрообладнання енергоблока теплової електростанції, а саме діагностування силових трансформаторів власних потреб та технологічних захистів турбіни;
- розробити математичні моделі спрацювання робочого ресурсу, придатні для діагностування силових сухих трансформаторів власних потреб;
- розробити математичну модель для діагностування системи технологічного захисту турбіни;
- синтезувати структурні схеми пристроїв для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб та технологічного захисту турбіни;
- розробити алгоритми та функціональні схеми мікропроцесорних засобів для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб та технологічного захисту турбіни;
- оцінити похибку вимірювань синтезованих пристроїв.

**Об’єктом дослідження** є процеси, що протікають в силовому сухому трансформаторі власних потреб та в системі технологічного захисту турбіни і відображаються в автоматизованій системі керування технологічним процесом.

**Предметом дослідження** є засоби діагностування силового сухого трансформатора власних потреб та технологічного захисту турбіни.

**Методи дослідження.** В дисертації для вирішення і аналізу поставлених задач використані такі методи дослідження: методи технічної діагностики для формування підходів до визначення технічного стану обладнання, теорії кінцевих автоматів для синтезу структур пристроїв діагностування, теорії ймовірностей для знаходження помилок розроблених пристроїв, аналітичні можливості комп’ютерної алгебри для здійснення розрахунків математичних моделей.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

- вперше розроблено математичну модель для оцінки залишкового ресурсу силового сухого трансформатора власних потреб, працюючого в режимі перевантаження, за відомими температурою навколишнього середовища, перевантаженням та навантаженням, яке мало місце безпосередньо перед початком перевантаження, що дозволяє автоматизувати відслідковування процесу старіння ізоляції силового трансформатора;
- удосконалено математичну модель для побудови ресурсних характеристик силового сухого трансформатора власних потреб, працюючого в режимі перевантаження, що дозволяє визначити допустиму тривалість перевантаження за різних умов впливу на ізоляцію силового трансформатора;

- вперше розроблено математичну модель для діагностування системи технологічного захисту зниження вакууму турбіни, за допомогою якої враховуються всі можливі комбінації вхідних і вихідних сигналів об'єкта, що дозволяє своєчасно виявляти помилки в роботі захисту та запобігти аварійній ситуації;
- дістав подальший розвиток метод синтезу структурних схем пристроїв для діагностування електрообладнання на основі математичного апарату секвенцій, що дозволяє за мінімізованими виразами безпосередньо реалізувати структури пристроїв для діагностування електрообладнання.

**Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:**

- синтезовано структурну схему пристрою для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб з врахуванням роботи в режимі перевантаження, придатна для технічної реалізації у відповідності до запропонованої математичної моделі, що дає можливість відслідковувати процес старіння ізоляції силового сухого трансформатора і, як наслідок, підвищити надійність його роботи;
- синтезовано структуру пристрою для діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни енергоблоку теплової електростанції згідно розробленої математичної моделі, що запобігає виникненню відмови в роботі системи захисту та дозволяє підвищити надійність функціонування турбіни;
- запропоновано методику синтезу структурних схем пристроїв для діагностування систем захисту енергоблоку теплової електростанції, що дозволяє синтезувати з використанням математичного апарату секвенцій пристрої для діагностування інших технологічних захистів;
- розроблено алгоритми та функціональні схеми мікропроцесорних засобів, які розширюють функціональні можливості діагностування силового сухого трансформатора власних потреб і системи захисту зниження вакууму турбіни, що підвищує достовірність визначення технічного стану вказаного електрообладнання.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, впроваджено на підприємстві ВАТ “Західенерго” – Ладижинській ТЕС та в навчальний процес Вінницького національного технічного університету.

Підтвердженням впровадження результатів дисертаційної роботи є наявність відповідних актів.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, автором розроблена математична модель та алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою для її реалізації [2], а також синтезована структура пристрою діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни [1]; знайдені залежності [3], які дозволяють побудувати сімейство ресурсних характеристик для оцінки спрацювання робочого ресурсу ізоляції силового сухого трансформатора, працюючого в режимі перевантаження; виведені математичні залежності [4] математичної моделі, яка характеризує спрацювання робочого ресурсу силового сухого трансформатора, працюючого як в нормальному режимі роботи, так і в режимі перевантаження; реалізована структура пристрою для діагностування стану ізоляції силового сухого трансформатора з використанням математичного апарату секвенцій [5]; обґрунтовано застосування елементної бази та розроблені складові алгоритму роботи системи діагностування силового сухого трансформатора [6]. У роботах [8–10] автором запропоновані компоненти структур пристроїв для діагностування системи захисту технологічного об'єкта.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати виконаних в дисертації досліджень доповідались та обговорювались на VIII Міжнародній конференції “Контроль і управління в складних системах”, (Вінниця, 2005 р.), Міжнародній науково-технічній конференції “Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації”, (Кременчук, 2005 р.), XII Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми

автоматизованого електроприводу. Теорія і практика”, (Крим, 2005 р.), X ювілейній міжнародній науково-технічній конференції “Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації”, (Кременчук, 2008 р.), щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області на базі ВНТУ в 2004-2008 роках.

**Публікації.** Основний зміст роботи опублікований в 10 друкованих працях, в тому числі 6 статей у наукових журналах, що входять до переліку ВАК України, одні тези доповідей у збірнику праць науково-технічної конференції, 3 патенти України на корисну модель.

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (184 найменувань), трьох додатків. Основний зміст викладений на 122 сторінках друкованого тексту, містить 25 рисунків, 8 таблиць. Загальний обсяг роботи 153 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність проблеми досліджень, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Вказано мету та задачі досліджень. Приведено характеристику наукової новизни та практичного значення одержаних результатів, а також описано їх апробацію, публікації та впровадження.

**У першому розділі** проведено огляд та аналіз існуючих методів та засобів діагностування силових трансформаторів. Встановлено, що відомі методи та засоби діагностування спрямовані на дослідження силових трансформаторів в нормальному режимі роботи, а задача діагностування ізоляції обмоток в режимі перевантаження розв'язана не в повній мірі. Характерною роботою трансформаторів власних потреб енергоблока є забезпечення запусків потужних двигунів та іншого обладнання з короткотривалою роботою їх в режимі перевантаження.

Проаналізовано методи і засоби діагностування технологічних захистів енергоблока, на які покладено особливу відповідальність роботоздатності обладнання в разі виникнення ненормальних режимів роботи. Показано, що перевірка технологічних захистів здійснюється лише на етапі запуску енергоблока, хоча існує необхідність неперервної або періодичної перевірки їх роботоздатності.

На підставі проведеного аналізу сучасного стану проблеми діагностування силових трансформаторів здійснено класифікацію відповідних методів та засобів. В підсумку обґрунтовано і сформульовано мету і задачі дисертаційних досліджень.

**У другому розділі** розроблені математичні моделі для діагностування силового сухого трансформатора за станом ізоляції обмоток та для діагностування системи технологічного захисту турбіни.

Розроблена математична модель ресурсної характеристики силового сухого трансформатора, працюючого в режимі перевантаження, шляхом гіперболічної нормалізації паспортних даних із застосуванням методу найменших квадратів в поєднанні з зовнішнім критерієм Івахненко. Запропонована математична модель дозволяє визначати допустимий термін ввімкнення трансформатора в режимі перевантаження в залежності від навантаження, що передувало режиму перевантаження, та температури навколишнього середовища. На підставі зазначеної математичної моделі розроблена модель для діагностування стану ізоляції обмоток силового сухого трансформатора, яка дозволяє визначати спрацювання робочого ресурсу ізоляції трансформатора у вигляді послідовності імпульсів, частота яких змінюється в залежності від режимів навантаження та перевантаження. Вказана математична модель має вигляд

$$R = n_H - \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \frac{T_{mn}}{T_m} \quad (1)$$

за умови

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 1/f_{ijk}; \\ f_{ijk} = k_{ijk} \cdot k_{ij} \cdot k_i \cdot f_H; \\ k_{ij} = 1, \text{ якщо } k = 1; \\ k_i = 1, \text{ якщо } (i = 1 \vee j = 1); \\ k_i = k_{ij} = 1, \text{ якщо } (i = 1 \wedge k = 1) \vee (i = 1 \wedge j = 1) \vee (j = 1 \wedge k = 1); \\ k_i = k_{ij} = k_{ijk} = 1, \text{ якщо } (i = 1 \wedge j = 1 \wedge k = 1); \\ t^\circ = t_i^\circ, i = \overline{1, I}; \\ P = P_j, j = \overline{1, J}; \\ P^* = P_k^*, k = \overline{1, K}, \end{array} \right. \quad (2)$$

в якій  $t_i^\circ$  - поточне значення температури навколишнього середовища,  $P_j$  – поточне значення навантаження трансформатора безпосередньо перед моментом перевантаження,  $P_k^*$  - поточне значення перевантаження трансформатора,  $T_m$  – період частоти  $m$  – го значення, яка в даний момент характеризує швидкість спрацювання робочого ресурсу,  $T_{mn}$  –  $n$  – й період частоти  $m$  – го значення,  $\sum_{n=1}^N \frac{T_{mn}}{T_m}$  - кількість імпульсів частоти  $m$  – го значення,  $\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \frac{T_{mn}}{T_m}$  -

сумарна кількість імпульсів від чередування  $m$  – тих частот (вичерпаний ресурс),  $n_H$  – номінальна кількість імпульсів, що характеризує повний робочий ресурс,  $M, N$  – попередньо невідомі значення різної кількості частот та кількість імпульсів кожної з них відповідно.

В роботі також пропонується математична модель, за якою можна діагностувати систему захисту від зниження вакууму турбіни, як одну із найвідповідальніших систем, що входять у комплекс систем технологічних захистів.

Таблиця 1

**Позначення вхідних та вихідних сигналів системи технологічного захисту від зниження вакууму турбіни**

Вхід	Z7	сигнал „відкриття засувки ВП-7”
	Z8	сигнал „відкриття засувки ВП-8”
	OA	сигнал „відкриття всіх стопорних клапанів”
	VH	сигнал „рівень вакууму 600 мм”
	VL	сигнал „рівень вакууму 540 мм”
Вихід	OP	„вивід захисту”
	IP	„ввід захисту”
	NI	„заборона вводу захисту”
	W	„спрацювання захисту”

Позначивши вхідні та вихідні сигнали системи згідно таблиці 1, представимо комбінації вихідних сигналів, в залежності від ситуації, у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2

## Комбінації сигналів в залежності від технологічної ситуації

Вихідний сигнал	Відповідність ситуації
$NOP = OP \cdot \overline{IP} \cdot \overline{NI} \cdot \overline{W}$	Вивід захисту при наявності сигналів відкриття засувки ВП-7 і ВП-8 та відкриття всіх стопорних клапанів
$NOS = \overline{OP} \cdot \overline{IP} \cdot \overline{NI} \cdot \overline{W}$	Відсутність всіх сигналів на виході системи захисту
$NOW = \overline{OP} \cdot \overline{IP} \cdot NI \cdot \overline{W}$	Поява сигналу „заборона вводу” при наявності сигналу „рівень вакууму 600 мм” при відсутності сигналу „рівень вакууму 540 мм”
$INP = \overline{OP} \cdot IP \cdot \overline{NI} \cdot \overline{W}$	Ввід захисту при наявності сигналів з сенсорів „рівень вакууму 540 мм” та „рівень вакууму 600 мм”
$WRP = \overline{OP} \cdot \overline{IP} \cdot \overline{NI} \cdot W$	Спрацювання захисту

Для повного циклу діагностування система захисту повинна правильно відреагувати на тестові сигнали згідно послідовності

$$NOP1 \rightarrow NOS1 \rightarrow NOW \rightarrow NOP2 \rightarrow NOS2 \rightarrow INP1 \rightarrow \\ \rightarrow INP2 \rightarrow WRP \rightarrow NOP3 \rightarrow NOP4. \quad (3)$$

Узагальнена математична модель має вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} NOP1 = Z7 \cdot Z8 \cdot OA \cdot \overline{VH} \cdot \overline{VL}; \\ NOS1 = (\overline{Z7} \cdot \overline{Z8} \cdot \overline{OA} \cdot \overline{VH} \cdot \overline{VL}) \vee (Z7 \cdot \overline{Z8} \cdot \overline{OA} \cdot \overline{VH} \cdot \overline{VL}) \vee \\ (\overline{Z7} \cdot Z8 \cdot \overline{OA} \cdot \overline{VH} \cdot \overline{VL}) \vee (Z7 \cdot Z8 \cdot \overline{OA} \cdot \overline{VH} \cdot \overline{VL}) \vee (\overline{Z7} \cdot \overline{Z8} \cdot OA \cdot \overline{VH} \cdot \overline{VL}) \vee \\ \vee (Z7 \cdot \overline{Z8} \cdot OA \cdot \overline{VH} \cdot \overline{VL}) \vee (\overline{Z7} \cdot Z8 \cdot OA \cdot \overline{VH} \cdot \overline{VL}); \\ NOW = \overline{Z7} \cdot \overline{Z8} \cdot \overline{OA} \cdot VH \cdot \overline{VL}; \\ NOP2 = Z7 \cdot Z8 \cdot OA \cdot VH \cdot \overline{VL}; \\ NOS2 = \overline{Z7} \cdot \overline{Z8} \cdot \overline{OA} \cdot \overline{VH} \cdot VL; \\ INP1 = \overline{Z7} \cdot \overline{Z8} \cdot \overline{OA} \cdot VH \cdot VL; \\ INP2 = \overline{Z7} \cdot \overline{Z8} \cdot \overline{OA} \cdot \overline{VH} \cdot VL; \\ WRP = \overline{Z7} \cdot \overline{Z8} \cdot \overline{OA} \cdot \overline{VH} \cdot VL; \\ NOP3 = Z7 \cdot Z8 \cdot OA \cdot \overline{VH} \cdot VL; \\ NOP4 = Z7 \cdot Z8 \cdot OA \cdot VH \cdot VL. \end{array} \right. \quad (4)$$

Рис. 1. Граф функціонування блока обробки інформації

У третьому розділі на основі розроблених математичних моделей синтезовані структурні схеми пристроїв для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб та системи захисту зниження вакууму турбіни енергоблоку теплової електростанції. Обґрунтовано вибір математичного апарату секвенцій для синтезу цифрових компонент структурних схем пристроїв діагностування силового сухого трансформатора та систем технологічних захистів.

На рис. 1 наведено граф функціонування блока обробки інформації пристрою для діагностування силового сухого трансформатора у відповідності з математичною моделлю (1). Н – сигнал, який свідчить про виникнення режиму перевантаження в роботі силового трансформатора; N – сигнал, який відповідає спрацюванню ресурсу ізоляції в нормальному режимі роботи трансформатора; F<sub>1</sub> та F<sub>2</sub> – сигнали, якими відслідковують умовні перший та другий рівні перевантаження з різними швидкостями витрачання робочого ресурсу ізоляції. Вихідний сигнал Y характеризує повне витрачання робочого ресурсу ізоляції силового трансформатора власних потреб.

Даному графу відповідає секвенційний опис, який після мінімізації приймає вигляд



$$\left\{ \begin{array}{ll}
 F_1 \bar{T}_1 \tau_3 \vdash T_1; & (T_1 \vee T_2) \bar{H} \vee T_3 \bar{H} \vdash T_4; \\
 T_1 \tau_1 \vdash \bar{T}_1; & [(T_1 \vee T_2) \bar{H} \vee T_3 \bar{H}] T_4 \tau_4 \vdash T_5; \\
 F_2 \bar{T}_2 \tau_4 \vdash T_2; & [(T_1 \vee T_2) \bar{H} \vee T_3 \bar{H}] T_5 \tau_4 \vdash T_6; \\
 T_2 \tau_1 \vdash \bar{T}_2; & [(T_1 \vee T_2) \bar{H} \vee T_3 \bar{H}] T_6 \tau_4 \vdash T_7; \\
 N \bar{T}_3 \tau_2 \vdash T_3; & R \vdash \bar{T}_4 \bar{T}_5 \bar{T}_6 \bar{T}_7; \\
 T_3 \tau_1 \vdash \bar{T}_3; & T_4 T_5 T_6 T_7 \vdash Y.
 \end{array} \right. \quad (5)$$

У виразах (5) тригер  $T_1$  реалізує генератор тактових імпульсів з часовими затримками  $\tau_1$  і  $\tau_3$ , тригер  $T_2$  реалізує генератор тактових імпульсів з часовими затримками  $\tau_1$  і  $\tau_4$ , якими моделюються відповідно перший та другий режими перевантаження трансформатора.

Тригер  $T_3$  реалізує генератор тактових імпульсів з часовими затримками  $\tau_1$  і  $\tau_2$ , яким моделюється нормальний режим роботи трансформатора, тригери  $T_4 - T_7$  забезпечують підрахунок імпульсів, якими характеризується спрацювання робочого ресурсу ізоляції,  $\tau_1$  – тривалість імпульсів,  $\tau_2, \tau_3, \tau_4$  – тривалості пауз між імпульсами, причому  $\tau_1 \ll \tau_4 < \tau_3 < \tau_2$ .

Зазначимо, що  $S_i, i = 0, 22$  – стани, якими характеризується робота блока обробки інформації в залежності від різних рівнів перевантаження трансформатора.

На основі цієї системи секвенцій синтезована структурна схема блока обробки інформації пристрою для діагностування силового трансформатора, за якою здійснена реалізація структури пристрою для діагностування силового сухого трансформатора, і яка представлена на рис. 2.

На схемі: 1, 2, 3 – сенсори температури навколишнього середовища, напруги та струму трансформатора відповідно; 4, 29 – перетворювачі температури в напругу постійного струму; 5, 6, 7, 31 – нормуючі перетворювачі сигналів; 8, 13 – аналого-цифрові перетворювачі; 9 – блок обчислення потужності; 10, 11 – перетворювачі змінної напруги в постійну; 12 – блок задання найбільшої потужності, що відповідає нормальному режиму роботи трансформатора; 14, 36 – компаратори; 15, 18, 28 – генератори сигналів; 16, 22, 24, 30 – елементи І; 17 – регістр; 19, 26, 33 – лічильники імпульсів; 20 – функціональний перетворювач; 21 – комутатор; 23 – елемент НІ; 25 – елемент АБО; 27 – сенсор найвищої температури ізоляції трансформатора; 32 – аналоговий суматор; 34 – аналоговий функціональний перетворювач; 35 – цифро-аналоговий перетворювач; 37 – тригер; 38 – одновібратор.

Працює запропонований пристрій так. При подачі напруги живлення генератори сигналів 15, 18 та 28 починають формувати відповідні послідовності імпульсів. Блоки 3, 7, 11, 27-38 забезпечують визначення спрацювання по тепловому зносу робочого ресурсу ізоляції обмоток трансформатора, що працює в нормальному режимі роботи. Інтенсивність спрацювання ресурсу визначається у вигляді послідовності імпульсів, кількість надходження яких через комутатор, реалізований на елементах 22-25, в ресурсний лічильник 26, збільшується при підвищенні навантаження трансформатора.

Рис. 2. Структурна схема пристрою для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб

У блоках 1-10, 12-21 пристрою визначається спрацювання по тепловому зносу ресурсу ізоляції обмоток трансформатора, який працює в режимі перевантаження, за математичною моделлю (1). В залежності від співвідношень між температурою навколишнього середовища, рівнем перевантаження та навантаженням, що передувало початку перевантаження, цифровим кодом з виходу функціонального перетворювача 20 здійснюється передавання через комутатор 21 генераторів сигналів різних частот, реалізованих на елементах 18 та 19, на вхід лічильника 26 послідовностей імпульсів різної частоти, які і характеризують

спрацювання ресурсу ізоляції обмоток трансформатора.

Аналогічним чином синтезовано структури пристроїв для діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни.

Зокрема, структурна схема пристрою для діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни наведена на рисунку 3. На схемі: 1 – блок установки нуля; 2, 10 – елементи АБО; 3 – технологічний об'єкт-логічний блок системи захисту зниження вакууму турбіни; 4, 25 – регістри; 5, 25 – цифрові компаратори; 6, 15, 17, 21 – блоки затримки сигналу; 7, 16 – елементи ІІ; 8, 11, 22 – тригери; 9, 20 – елементи І; 12, 13 – електронні ключі; 14 – двійковий лічильник; 18 – формувач тестів; 19 – блок задання еталонних значень; 23 – індикатор контролю; 24 – індикатор несправностей.

Рис. 3. Структурна схема пристрою діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни

Запропонований пристрій працює так. При подачі напруги живлення блок установки нуля 1 коротким імпульсом через елемент АБО 2 встановлює в нульове положення двійковий лічильник 14, тригери 11 та 22.

За умови нормальної роботи логічного блока системи захисту зниження вакууму турбіни 3 через час, заданий в блоці 6, здійснюється відключення сенсорів від входів логічного блока та підключення до них виходів блока 18, в якому формується послідовність тестових сигналів. Одночасно за допомогою регістра 25 фіксується вихідний сигнал впливу системи захисту 3 на виконавчі механізми. Після успішного проходження першого тестового сигналу, про що свідчить поява логічної одиниці на виході цифрового компаратора 26, на вхід лічильника 14 надходить імпульс, внаслідок чого формується наступний тестовий сигнал. В разі співпадіння вихідного сигналу логічного блока з сигналом блока 19 перевірка працездатності системи захисту зниження вакууму турбіни продовжується. Якщо комбінація вихідних сигналів сенсорів змінюється, то режим перевірки працездатності припиняється і система технологічного захисту виконує покладені на неї функції. В разі виникнення пошкодження в логічному блоці системи захисту зниження вакууму турбіни 3 на етапі перевірки процес діагностування припиняється і на індикатор несправностей 24 подається сигнал.

У разі коректного завершення перевірки працездатності логічного блока після формування останнього тестового сигналу лічильник імпульсів 14 встановлюється в початковий стан і процес діагностування розпочинається знову.

**Четвертий розділ** присвячений розробці алгоритмів та функціональних схем мікропроцесорних засобів для діагностування досліджуваних об'єктів за запропонованими математичними моделями. Запропоновано у мікропроцесорному виконанні пристрої для діагностування силового сухого трансформатора та діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни.

На рис. 4 наведена структурна схема мікропроцесорного пристрою для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб. На схемі: 1, 2 – сенсори струму та напруги трансформатора відповідно; 3, 4 – сенсори температури навколишнього середовища та найбільшої температури ізоляції трансформатора відповідно; 5 – перетворювач змінного струму в змінну напругу; 6 – перетворювач змінної напруги в змінну напругу; 7 – нормуючі перетворювачі; 8 – мікроконтролер; 9 – клавіатура; 10 – дисплей; 11 – блок узгодження сигналів з ПЕОМ.

Рис. 4. Структура мікропроцесорного пристрою для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб

Робота пристрою полягає в циклічному опитуванні стану сенсорів 1 – 4 та обчисленню спрацювання робочого ресурсу ізоляції силового сухого трансформатора за запропонованою математичною моделлю. Клавіатура 9 та дисплей 10, як допоміжні засоби, необхідні для коригування поточних параметрів діагностування трансформатора, а блок узгодження сигналів з ПЕОМ 11 забезпечує передачу даних з мікроконтролера 8 в систему комплексного діагностування електрообладнання, інформація про поточний стан якої виводиться оперативному персоналу. Введення сенсора найбільшої температури ізоляції трансформатора 4 дозволяє визначати спрацювання ресурсу ізоляції трансформатора і у випадку, коли закінчився режим перевантаження трансформатора або взагалі трансформатор відключений аварійно чи оперативним персоналом.

Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб зображено на рис. 5.

Рис. 5. Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб

В блоках 1-5 здійснюється ініціювання системи, введення даних та перевірка режиму роботи трансформатора. В блоках 6 та 7 алгоритму здійснюється обчислення витрачання робочого ресурсу ізоляції трансформатора в нормальному режимі роботи у вигляді певної кількості імпульсів, що фіксуються за вибраний час. В блоках 8-30 здійснюється обчислення спрацювання робочого ресурсу в режимі перевантаження у відповідності до розробленої математичної моделі. Блок 31 алгоритму передбачає сповіщення оперативного персоналу про вичерпання робочого ресурсу ізоляції трансформатора.

В роботі здійснена реалізація мікропроцесорного пристрою для діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни як з використанням мікроконтролера фірми Atmel так і з реалізацією на базі промислового контролера LOGO фірми Siemens.

Структура узагальненого алгоритму роботи мікропроцесорного пристрою діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни зображена на рис.6.

Рис. 6. Структура узагальненого алгоритму роботи мікропроцесорного пристрою діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни

Здійснена оцінка похибок вимірювальних каналів пристрою для діагностування стану ізоляції силового сухого трансформатора власних потреб, яка не перевищує 1% по кожному каналу вимірювання. Також проведено оцінювання вірогідності контролю стану ізоляції обмоток силового сухого трансформатора власних потреб за помилками першого і другого роду.

**У додатках** наведено прикладну програму у середовищі MathCad 7 Pro для розрахунку та побудови ресурсних характеристик силового сухого трансформатора власних потреб, працюючого в режимі перевантаження; акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі наведено нове вирішення наукової задачі підвищення надійності роботи допоміжного та керуючого обладнання теплової електростанції і, як наслідок, підвищення надійності генерування електричної енергії шляхом діагностування трансформаторів власних потреб та систем технологічних захистів, що відрізняється від відомих розв'язанням задачі діагностування трансформаторів власних потреб в режимі перевантаження з врахуванням факторів впливу на процес старіння ізоляції обмоток та

розв'язанням задачі діагностування технологічного захисту турбіни шляхом виявлення помилок в його роботі.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи є такими.

*У галузі теоретичних та експериментальних досліджень:*

1. Розроблено математичну модель побудови ресурсних характеристик силового сухого трансформатора власних потреб, який працює в режимі перевантаження, що дозволяє отримувати повну картину про тривалість перевантаження за різних умов впливу на його ізоляцію обмоток.

2. Розроблено математичну модель для оцінки залишкового ресурсу силового сухого трансформатора власних потреб, працюючого в режимі перевантаження, за відомими температурою навколишнього середовища, перевантаженням та навантаженням, яке мало місце безпосередньо перед початком перевантаження, що дозволяє автоматизувати відслідковування процесу старіння його ізоляції обмоток.

3. На прикладі технологічного захисту зниження вакууму турбіни розроблена математична модель, за допомогою якої враховуються всі можливі комбінації вхідних і вихідних сигналів об'єкта діагностування, що дозволяє своєчасно виявляти несправності захисту та запобігти аварійній ситуації.

4. Дістав подальший розвиток метод синтезу структурних схем пристроїв для діагностування елементів допоміжного та керуючого електрообладнання на основі математичного апарату секвенцій, що дозволяє за мінімізованими виразами безпосередньо реалізувати структури пристроїв.

5. Дістали подальший розвиток алгоритмічне та апаратне забезпечення пристроїв діагностування елементів допоміжного та керуючого електрообладнання.

*У галузі практичного застосування:*

1. Синтезована структурна схема пристрою для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб з врахуванням роботи в режимі перевантаження, придатна для технічної реалізації у відповідності до запропонованої математичної моделі, що дає можливість відслідковувати процес старіння ізоляції силового сухого трансформатора і, як наслідок, підвищити надійність його роботи.

2. Синтезовано структуру пристрою для діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни енергоблоку теплової електростанції згідно розробленої математичної моделі, що дозволяє своєчасно виявляти можливі помилки в роботі системи захисту та підвищити надійність функціонування турбіни.

3. Запропонована методика синтезу структурних схем пристроїв для діагностування складових захисту енергоблоку теплової електростанції, що дозволяє синтезувати з використанням математичного апарату секвенцій пристрої для діагностування інших технологічних захистів.

4. Розроблено алгоритми та функціональні схеми мікропроцесорних засобів, які мають розширені функціональні можливості та дозволяють здійснювати діагностування силового сухого трансформатора власних потреб і системи захисту зниження вакууму турбіни, що в свою чергу дозволяє підвищити достовірність визначення технічного стану електрообладнання.

5. Створено пакет прикладних програм у середовищі MathCAD 7 Pro, який дозволяє за паспортними даними силового сухого трансформатора побудувати його ресурсну характеристику, придатну для автоматизації процесу діагностування його технічного стану.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Березницький Д.О. Синтез структури пристрою діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни / В.В. Грабко, Д.О. Березницький // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005. – № 4/2005(33). – С.101 – 105.

2. Березницький Д.О. Мікропроцесорна реалізація пристрою діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни / В.В. Грабко, Д.О. Березницький // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2005. - № 45. - С.430-431.

3. Березницький Д.О. Математична модель для побудови ресурсних характеристик силового трансформатора, який працює в режимі перевантаження / В.В. Грабко, Д.О. Березницький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. - №1. – С.55 - 58.

4. Березницький Д.О. Математична модель для діагностування силових трансформаторів в режимі перевантаження / В.В. Грабко, Д.О. Березницький // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – № 4/2008 (51). Частина 2. – С. 164 – 166.

5. Березницький Д.О. Синтез структури пристрою для діагностування силового трансформатора з врахуванням роботи в режимі перевантаження / В.В. Грабко, Д.О. Березницький //Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – 2008. – № 1(9). – С.197-203.

6. Березницький Д.О. Мікропроцесорна система для діагностування силового трансформатора з врахуванням роботи в режимі перевантаження / В.В. Грабко, Д.О. Березницький // Вимірювальна та обчислювальна техніка. – 2008. - №1. – С. 101-104.

7. Березницький Д. До питання діагностування систем захисту енергоблока електростанції / Д. Березницький // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2005): VIII-а міжнар. наук.-техн. конф., 24-27 жовт. 2005 р.: тези доп. – Вінниця: “УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2005. – С.137.

8. Пат. 16643 Україна, МПК G 05 В 23/02. Пристрій для діагностування системи захисту технологічного об'єкта / Грабко В.В., Березницький Д.О.; заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. - № u200602160; заявл. 27.02.2006; опубл. 01.08.2006, Бюл. №6.

9. Пат. 26971 Україна, МПК G 05 В 23/00. Пристрій для діагностування системи захисту технологічного об'єкта / Грабко В.В., Березницький Д.О.; заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. - № u200706536; заявл. 11.06.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл. №16.

10. Пат. 26977 Україна, МПК G 05 В 23/02. Пристрій для діагностування системи захисту технологічного об'єкта / Грабко В.В., Березницький Д.О.; заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. - № u200706554; заявл. 11.06.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл. №16.

## АНОТАЦІЯ

**Березницький Д.О.** Діагностування допоміжних трансформаторів та систем технологічних захистів енергоблока теплової електростанції. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця. - 2009.

Дисертація присвячена питанню підвищення рівня надійності функціонування елементів допоміжного та керуючого електрообладнання енергоблока теплової електростанції за рахунок їх діагностування. Розроблено математичні моделі спрацювання робочого ресурсу, придатні для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб, математичну модель для діагностування системи технологічного захисту турбіни. Удосконалено метод синтезу структурних схем пристроїв для діагностування електрообладнання.

Запропоновано мікропроцесорну реалізацію пристрою для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб з врахуванням роботи в режимі перевантаження та мікропроцесорні реалізації пристрою для діагностування системи зниження вакууму турбіни, а також алгоритми їх роботи.

Розроблені підходи та математичні моделі пройшли апробацію і впроваджені на підприємстві ВАТ “Західенерго” – Ладжинська ТЕС та в навчальний процес Вінницького національного технічного університету.

Ключові слова: діагностика, енергоблок теплової електростанції, сухий трансформатор власних потреб, математична модель, технологічний захист турбіни.

#### **АННОТАЦІЯ**

**Березницький Д.А.** Диагностирование вспомогательных трансформаторов и систем технологических защит энергоблока тепловой электростанции. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции, сети и системы. – Винницкий национальный технический университет, Винница. - 2009.

Диссертация посвящена вопросу повышения уровня надежности функционирования элементов вспомогательного и управляющего электрооборудования энергоблока тепловой электростанции за счет их диагностирования и, как следствие, повышение надежности генерирования электрической энергии.

Обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, научная новизна и практическая ценность работы; представлены сведения об апробации, публикациях и реализации работы.

Проведен анализ существующих методов и средств диагностирования силовых трансформаторов и устройств технологических защит энергоблока тепловой электростанции, что позволило определить основные недостатки существующих разработок и обосновать необходимость поиска новых решений в этой области.

Разработаны математические модели для диагностирования силового сухого трансформатора собственных нужд с учетом его работы в режиме перегрузки, математическая модель для диагностирования системы технологической защиты от снижения вакуума турбины.

В работе предложено фактическое исчерпание рабочего ресурса обмоток силового сухого трансформатора собственных нужд представить в виде последовательности импульсов, частота которых изменяется в зависимости от интенсивности влияния факторов воздействия.

Разработанные математические модели позволяют повысить надежность работы элементов вспомогательного и управляющего электрооборудования.

Доказана адекватность предложенных математических моделей.

Для синтеза структурных схем устройств диагностирования силовых сухих трансформаторов собственных нужд и системы технологической защиты от снижения вакуума турбины применен метод синтеза на основе математического аппарата секвенций. В соответствии с методом по математическим моделям построены графы функционирования устройств, выполнены и минимизированы секвенциальные описания графов.

Показано, что минимизированные выражения позволяют не только перейти к структурным схемам устройств, но и получить формализованные алгоритмы работы этих устройств в микропроцессорном исполнении. Причем такие алгоритмы содержат минимизированное количество шагов и удобны для программирования цифровых устройств.

Предложена техническая реализация разработанных в виде структуры микропроцессорного устройства для диагностирования силовых сухих трансформаторов собственных нужд, а также микропроцессорных устройств для диагностирования системы технологической защиты от снижения вакуума турбины. Разработаны алгоритмы работы каждого из устройств.

Осуществлена оценка погрешностей измерительных каналов устройства для диагностирования силовых сухих трансформаторов собственных нужд.

Разработанные подходы и математические модели прошли апробацию и внедрены на предприятии ОАО “Западэнерго” – Ладжинская ТЭС и в учебный процесс Винницкого

национального технического университета.

Ключевые слова: диагностика, энергоблок тепловой электростанции, сухой трансформатор собственных нужд, математическая модель, технологическая защита турбины.

#### ABSTRACT

**Bereznytsky D.O.** Diagnosing of auxiliary transformer and systems for technological protection in the power-generating units of heat power electric station. – A manuscript.

Thesis for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences on the speciality 05.14.02 – Electric power stations, nets and systems.- Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. - 2009.

Thesis is dedicated to the issue of improvement of reliability level of functioning of elements of auxiliary and main electrical equipment in the power-generating unit of heat power electric station. There had been developed the mathematical models for endurance wearing – out, fit for diagnosing of dry-type transformer power of own needs, mathematical model for diagnosing the systems of turbine technological protection. There had been improved the synthetic procedure for structural diagrams of devices designed for electric equipment diagnosing.

There had been suggested the microprocessing realization of the device for the diagnosing of dry-type transformer power of own needs taking into account the operation in the mode of overloading as well as the microprocessing realizations of the devices for the diagnosing the system of vacuum reduction in the turbine together with the algorithm for their operation.

The developed approaches and mathematical models were approbated and introduced with the enterprise Public Corporation “Zahidenergo” – Ladyzhyn thermoelectric power station, as well as in the educational process of Vinnytsia National Technical University.

Key words: diagnosing, power-generating units of heat power electric station, dry-type transformer power of own needs, mathematical model, turbine technological protection.

Підписано до друку 08.04.2009 р. Формат 29.7×42 1/4  
Наклад 100 прим. Зам. №2009-076  
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету.  
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59