

Методи та засоби діагностування трансформатора

Виконав: студент групи ЕПА-17м Левашов С.С.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є підвищення надійності роботи трансформатора шляхом розробки структури системи для діагностування його технічного стану в процесі функціонування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

- 1) здійснити аналіз існуючих методів та засобів для діагностування трансформаторів;
- 2) обрати найбільш ефективний метод діагностування трансформаторів та визначити найбільш інформативні параметри, що формуватимуть діагностичні ознаки його технічного стану;
- 3) розробити математичну модель для діагностування трансформатора;
- 4) синтезувати структуру пристрою для діагностування трансформатора.

Розв'язанню поставлених задач присвячена дана робота.

Об'єкт, предмет та методи дослідження

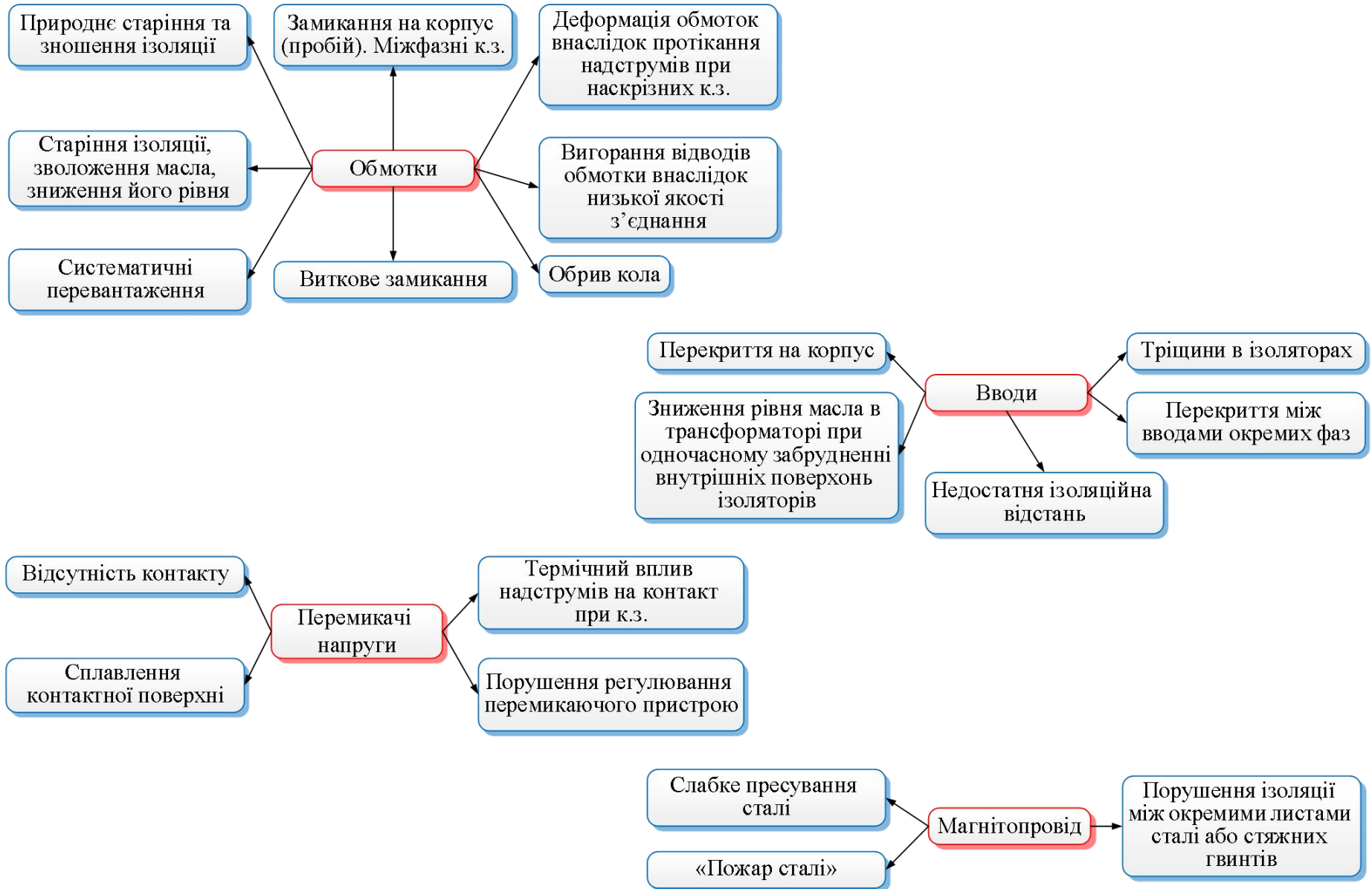
Об'єктом дослідження в роботі є процеси зміни технічного стану в трансформаторі.

Предметом дослідження є математичні моделі та структура пристрою для підвищення надійності функціонування трансформатора

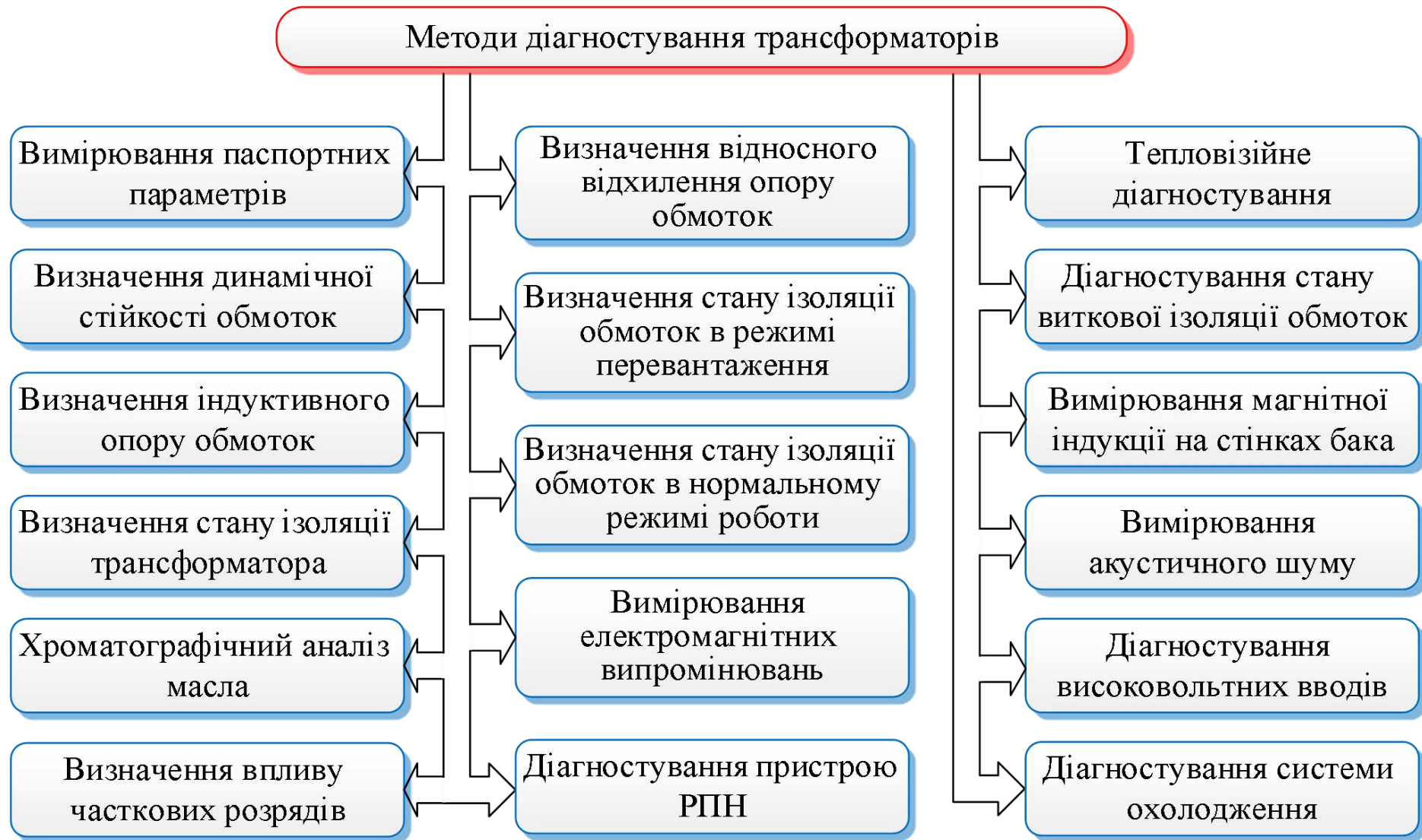
Методи дослідження:

- секвенційний апарат;
- математичне моделювання;
- теорія нечітких множин.

Класифікація причин виходу з ладу основних елементів трансформаторів



Класифікація методів діагностування трансформаторів



Засоби діагностування трансформаторів



Переносний прилад марки «AR 700» для аналізу акустичних сигналів



Аналізатор вібрації двоканальний «Діана-2М»



Система моніторингу трансформатора на основі вимірювального приладу марки TDM-Oil



Пристрій для діагностування Transfix DGA 500



Система моніторингу трансформатора на основі приладів TDM-M І ІНТЕГАЗ



Система моніторингу трансформатора на основі вимірювального приладу марки TDM-M



Блок низьковольтних вимірювань ПБНИ-3



Переносні діагностичні прилади серії TTR



Система діагностики трансформаторів ETP-System



Стационарна система марки «TIM-3»



Система діагностики трансформатора FRAX 101



Тепловізійні засоби діагностування трансформаторів



Цифровий аналізатор параметрів трансформаторів MI 3280



Вимірювач параметрів силових трансформаторів K540-3



Прилад для вимірювання параметрів силових трансформаторів Коефіцієнт



Стенд для електромагнітних випробувань трансформаторів СЭИТ-3

Діапазони зміни вхідних змінних та їх лінгвістичні оцінки

Параметри	Назва вхідного параметру	Діапазон зміни	Терми
x_1	Струм в обмотці трансформатора	$0 \dots I_{\max}$	низький (Н)
			середній (С)
			високий (В)
x_2	Напруга на обмотках	$0 \dots U_{\text{ном}}$	низька (Н)
			середня (С)
			висока (В)
x_3	Температура найбільш нагрітої точки обмоток	$t_{\text{об_min}} \dots t_{\text{об_max}}$	низька (Н)
			середня (С)
			висока (В)
x_4	Температура масла	$t_{\text{М_min}} \dots t_{\text{М_max}}$	низька (Н)
			середня (С)
			висока (В)
x_5	Температура навколишнього середовища	$-30 \text{ }^\circ\text{C} \dots +50 \text{ }^\circ\text{C}$	низька (Н)
			середня (С)
			висока (В)

Нечітка база знань та логічні рівняння для системи нечіткого виведення

Нечітка база знань для системи нечіткого виведення

Номер вхідної комбінації значень	Вхідні параметри					Вихідний параметр R
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	
1	Н	Н	Н	Н	Н	d_1
2	Н	Н	Н	Н	С	
3	Н	Н	Н	Н	В	
4	Н	С	Н	Н	В	
5	Н	Н	Н	С	Н	d_2
6	Н	Н	Н	С	С	
7	Н	Н	Н	С	В	
8	Н	С	Н	С	В	
9	С	С	Н	С	Н	d_3
10	С	С	С	С	С	
11	С	В	С	С	В	
12	В	В	В	В	В	d_4
13	В	С	В	В	В	
14	В	С	С	С	С	
15	В	С	С	С	Н	

Логічні рівняння:

$$\mu^{d_1}(d) = [(\mu^H(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^H(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \vee \mu^H(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^H(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \vee \mu^H(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^H(x_4) \cdot \mu^B(x_5))];$$

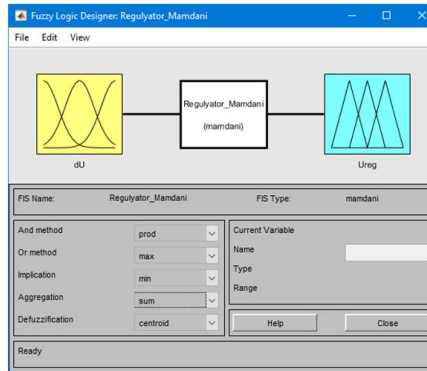
$$\mu^{d_2}(d) = [(\mu^H(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \vee \mu^H(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \vee \mu^H(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \vee \mu^H(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^B(x_5))];$$

$$\mu^{d_3}(d) = [(\mu^C(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \vee \mu^C(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \vee \mu^C(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^B(x_5))];$$

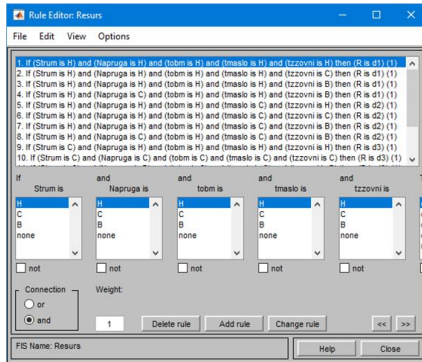
$$\mu^{d_4}(d) = [(\mu^B(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^B(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^B(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^H(x_5))].$$

Структура Fuzzy системи FIS

FIS Editor

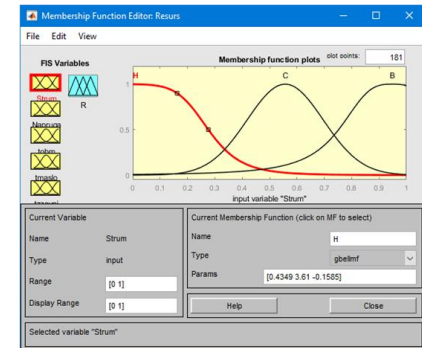


Rule Editor



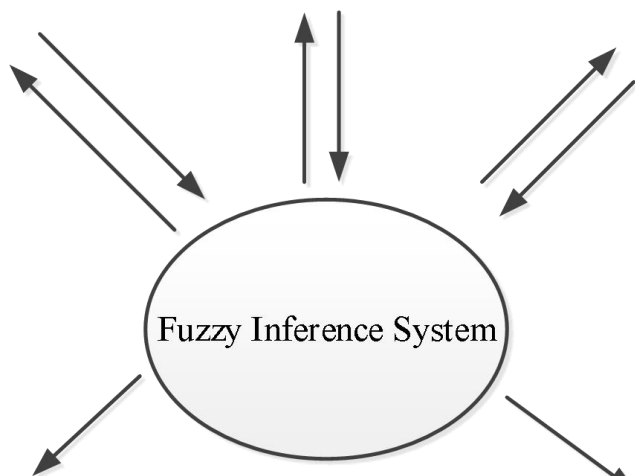
Редактор правил

Membership Function Editor

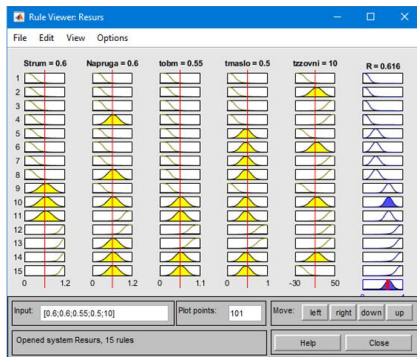


Редактор функцій належності

FIS редактор

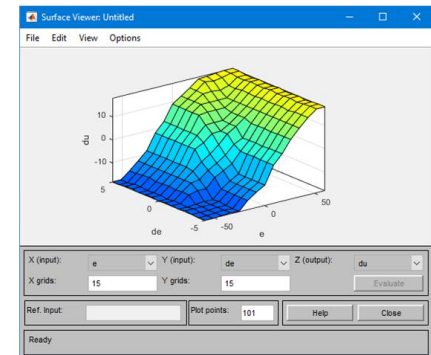


Rule Wiewer



Перегляд правил

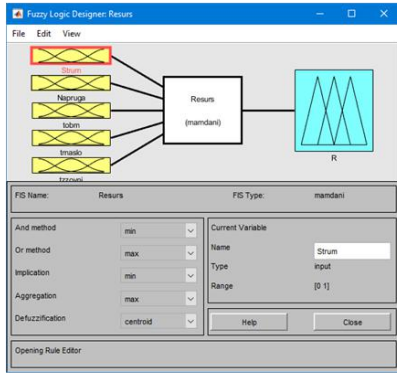
Surface Wiewer



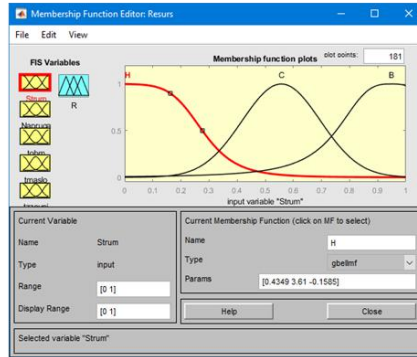
Перегляд поверхні

Інструменти лише для читання

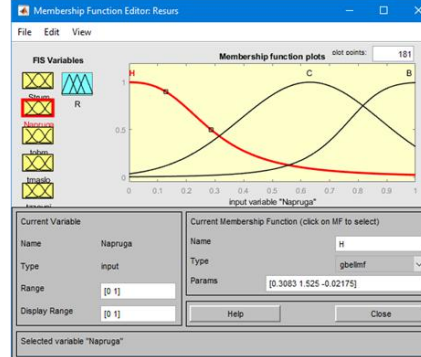
Параметри fuzzy-logic регулятора



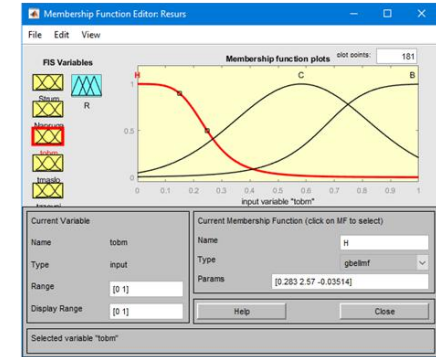
Графічний інтерфейс редактора FIS



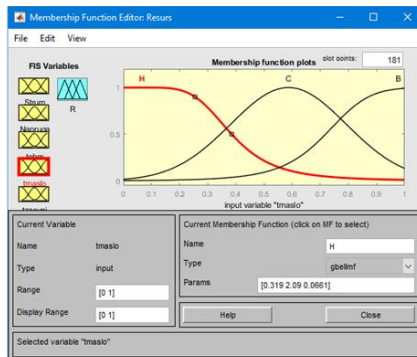
Параметри функцій належності вхідної змінної x_1 (струм в обмотці трансформатора)



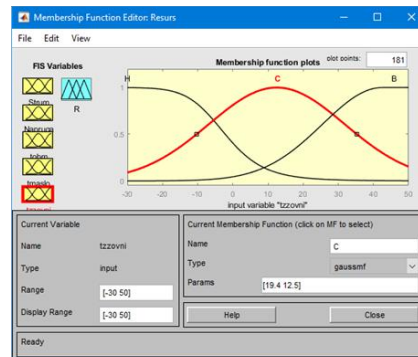
Параметри функцій належності вхідної змінної x_2 (напруга на обмотках)



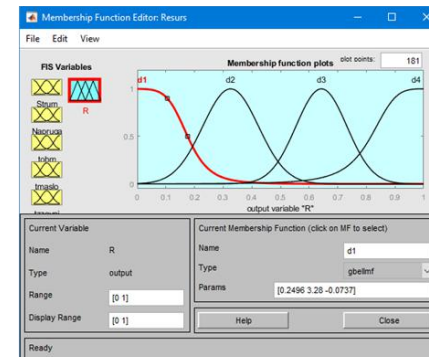
Параметри функцій належності вхідної змінної x_3 (температура найбільш нагрітої точки обмоток)



Параметри функцій належності вхідної змінної x_4 (температура масла)

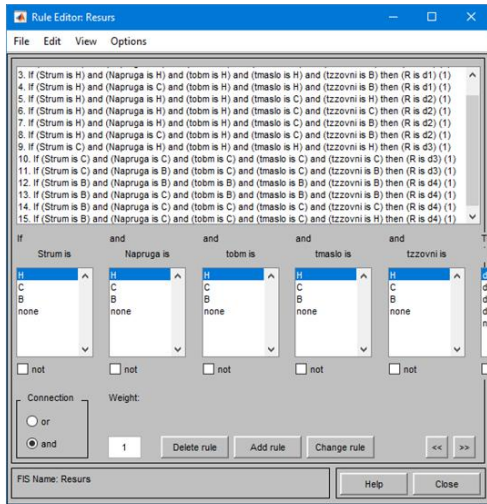


Параметри функцій належності вхідної змінної x_5 (температура навколишнього середовища)

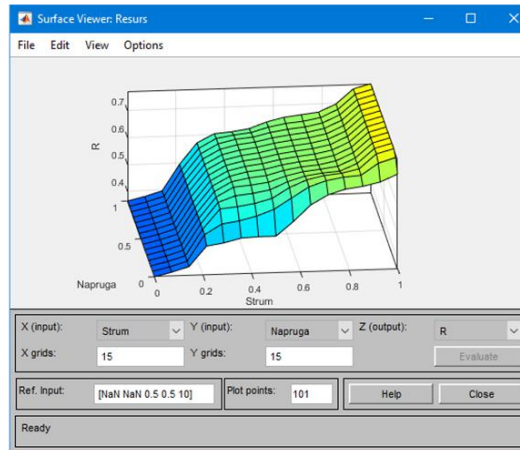


Параметри функцій належності вихідної змінної d (рівні зміни залишкового ресурсу)

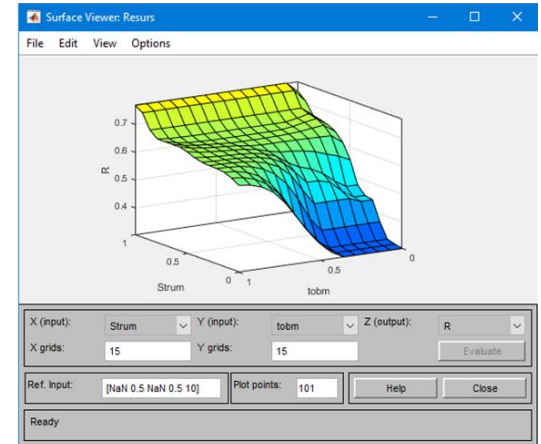
Результат роботи fuzzy-logic регулятора



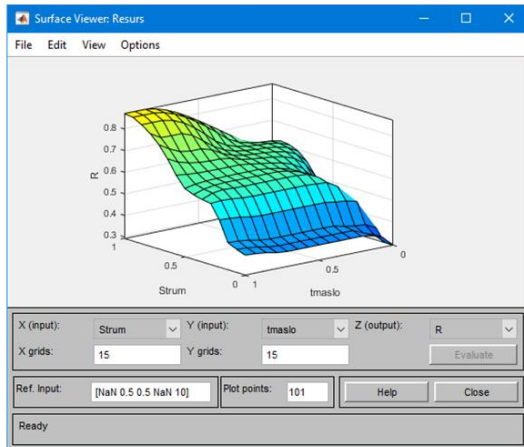
Правила fuzzy-logic регулятора



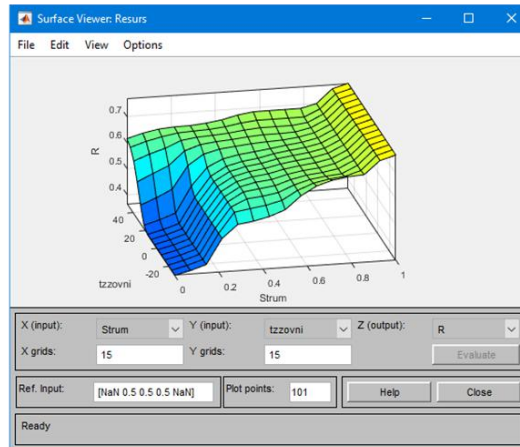
Зовнішній вигляд залежності $R = f(x_1, x_2)$



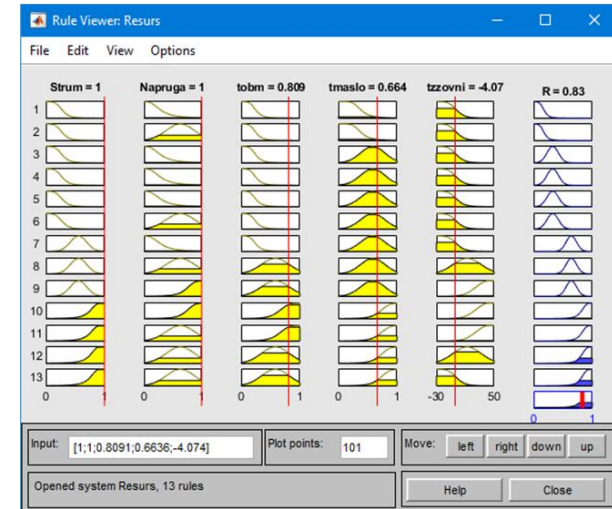
Зовнішній вигляд залежності $R = f(x_1, x_3)$



Зовнішній вигляд залежності $R = f(x_1, x_4)$

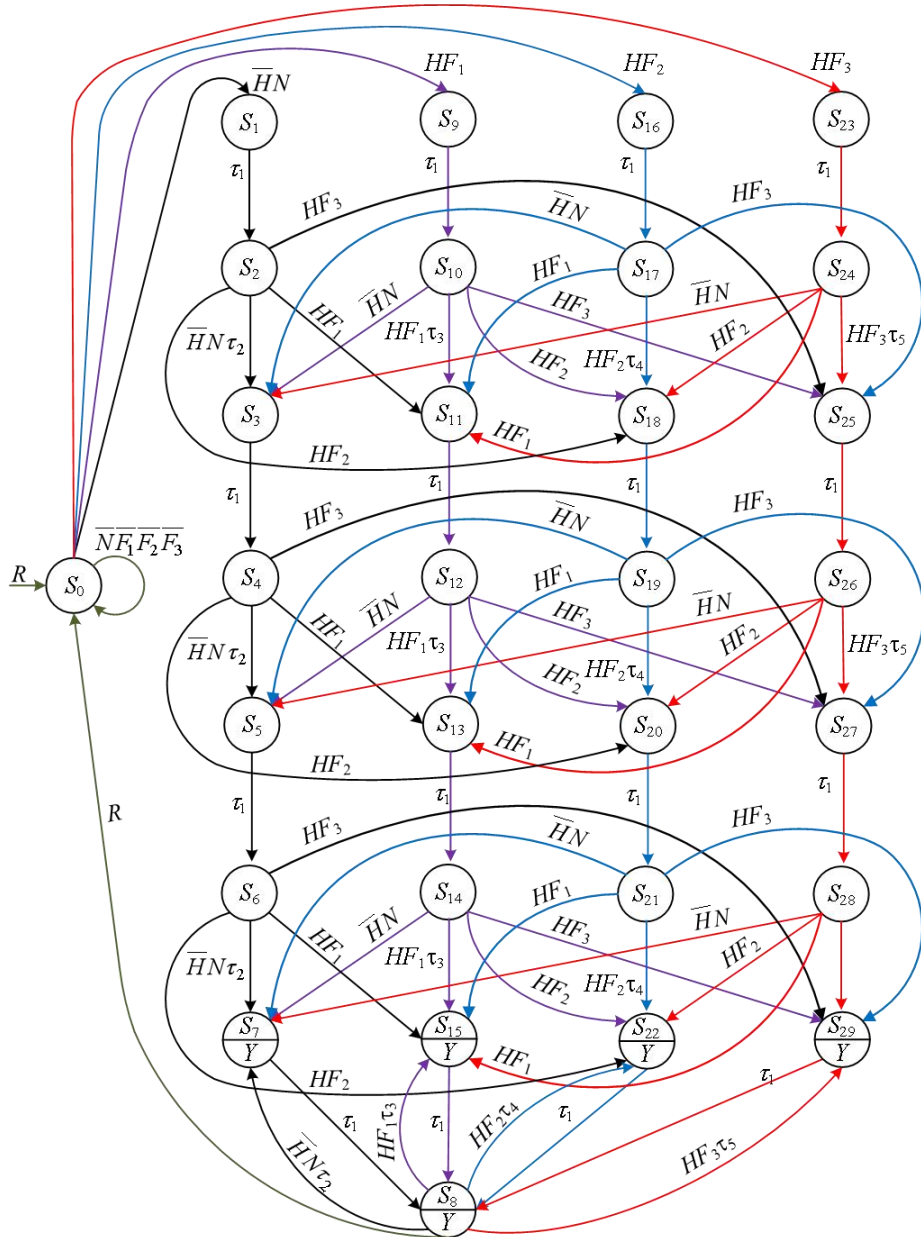


Зовнішній вигляд залежності $R = f(x_1, x_5)$



Значення вихідного сигналу регулятора при використанні алгоритму Mamdani та методу дефазифікації centroid

Граф функціонування блока обробки інформації



H – сигнал, який свідчить про виникнення режиму перевантаження в роботі трансформатора;

N – сигнал, який відповідає спрацюванню ресурсу нормальному режимі роботи трансформатора;

F_1, F_2, F_3 – сигнали, які характеризують перевантаження трансформатора по першому, другому та третьому параметру, відповідно;

R – сигнал початкового стану блока обробки інформації в момент подачі напруги живлення;

Y – вихідний сигнал, що характеризує повне витрачання робочого ресурсу трансформатора;

S_1, \dots, S_{29} – стани переходу системи

Секвенційна модель функціонування блока обробки інформації

$RS_0 \vdash S_0;$	$\tau_1 S_9 \vdash S_{10};$	$HF_3 \tau_5 S_{26} \vdash S_{27};$	$HNS_{10} \vdash S_3;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} \overline{T_6} \overline{T_7} \overline{T_8} \in S_2;$	$T_1 \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 \overline{T_7} \overline{T_8} \in S_{11};$
$\overline{NF_1} \overline{F_2} \overline{F_3} S_0 \vdash S_0;$	$HF_1 \tau_3 S_{10} \vdash S_{11};$	$\tau_1 S_{27} \vdash S_{28};$	$HF_2 S_{10} \vdash S_{18};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 \overline{T_7} \overline{T_8} \in S_3;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 \overline{T_7} \overline{T_8} \in S_{12};$
$\overline{NHS}_0 \vdash S_1;$	$\tau_1 S_{11} \vdash S_{12};$	$HF_3 \tau_5 S_{28} \vdash S_{29};$	$HF_3 S_{10} \vdash S_{25};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 \overline{T_7} \overline{T_8} \in S_4;$	$T_1 \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 \overline{T_8} \in S_{13};$
$HF_1 S_0 \vdash S_9;$	$HF_1 \tau_3 S_{12} \vdash S_{13};$	$\tau_1 S_{29} \vdash S_8;$	$\overline{HNS}_{24} \vdash S_3;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 \overline{T_7} \overline{T_8} \in S_5;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 \overline{T_8} \in S_{14};$
$HF_2 S_0 \vdash S_{16};$	$\tau_1 S_{13} \vdash S_{14};$	$HF_3 \tau_5 S_8 \vdash S_{29};$	$HF_1 S_{24} \vdash S_{11};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 \overline{T_8} \in S_6;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{15};$
$HF_3 S_0 \vdash S_{23};$	$HF_1 \tau_3 S_{14} \vdash S_{15};$	$HF_2 S_{24} \vdash S_{18};$	$HF_1 S_4 \vdash S_{13};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_7;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{16};$
$\tau_1 S_1 \vdash S_2;$	$\tau_1 S_{15} \vdash S_8;$	$HF_2 S_4 \vdash S_{20};$	$HF_1 S_6 \vdash S_{15};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_8;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{17};$
$\overline{NH} \tau_2 S_2 \vdash S_3;$	$HF_1 \tau_3 S_8 \vdash S_{15};$	$HF_3 S_4 \vdash S_{27};$	$HF_2 S_6 \vdash S_{22};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_9;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{18};$
$\tau_1 S_3 \vdash S_4;$	$\tau_1 S_{16} \vdash S_{17};$	$\overline{HNS}_{12} \vdash S_5;$	$HF_3 S_6 \vdash S_{29};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{10};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{19};$
$\overline{NH} \tau_2 S_4 \vdash S_5;$	$HF_2 \tau_4 S_{17} \vdash S_{18};$	$HF_2 S_{12} \vdash S_{20};$	$\overline{HNS}_{14} \vdash S_7;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{11};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{20};$
$\tau_1 S_5 \vdash S_6;$	$\tau_1 S_{18} \vdash S_{19};$	$HF_3 S_{12} \vdash S_{27};$	$HF_2 S_{14} \vdash S_{22};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{12};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{21};$
$\overline{NH} \tau_2 S_6 \vdash S_7;$	$HF_2 \tau_4 S_{19} \vdash S_{20};$	$\overline{HNS}_{26} \vdash S_5;$	$HF_3 S_{14} \vdash S_{29};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{13};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{22};$
$\tau_1 S_7 \vdash S_8;$	$\tau_1 S_{20} \vdash S_{21};$	$HF_1 S_{26} \vdash S_{13};$	$\overline{HNS}_{28} \vdash S_7;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{14};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{23};$
$\overline{NH} \tau_2 S_8 \vdash S_7;$	$HF_2 \tau_4 S_{21} \vdash S_{22};$	$HF_2 S_{26} \vdash S_{20};$	$HF_1 S_{28} \vdash S_{15};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{15};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{24};$
$\tau_1 S_{22} \vdash S_8;$	$HF_2 \tau_4 S_8 \vdash S_{22};$	$HF_2 S_{28} \vdash S_{22};$	$RS_8 \vdash S_0;$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{16};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{25};$
$\tau_1 S_{23} \vdash S_{24};$	$HF_1 S_2 \vdash S_{11};$	$S_7 \vee S_8 \vee S_{15} \vee S_{22} \vee S_{29} \vdash Y$		$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{17};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{26};$
$HF_3 \tau_5 S_{24} \vdash S_{25};$	$HF_2 S_2 \vdash S_{18};$			$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{18};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{27};$
$\tau_1 S_{25} \vdash S_{26};$	$HF_3 S_2 \vdash S_{25};$			$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{19};$	$\overline{T_1} \overline{T_2} \overline{T_3} \overline{T_4} \overline{T_5} T_6 T_7 T_8 \in S_{28};$

$$F_1 \overline{T_1} \tau_3 \vdash T_1;$$

$$T_4 \tau_1 \vdash T_4;$$

Результат мінімізації секвенційної моделі

$$T_1 \tau_1 \vdash T_1;$$

$$(T_1 \vee T_2 \vee T_3) H \vee T_4 \overline{H} \vdash T_5;$$

$$F_3 \overline{T_3} \tau_5 \vdash T_3;$$

$$[(T_1 \vee T_2 \vee T_3) H \vee T_4 \overline{H}] T_7 \tau_5 \vdash T_8;$$

$$F_2 \overline{T_2} \tau_4 \vdash T_2;$$

$$[(T_1 \vee T_2 \vee T_3) H \vee T_4 \overline{H}] T_5 \tau_5 \vdash T_6;$$

$$T_3 \tau_5 \vdash T_3;$$

$$R \vdash \overline{T_5} \overline{T_6} \overline{T_7} \overline{T_8};$$

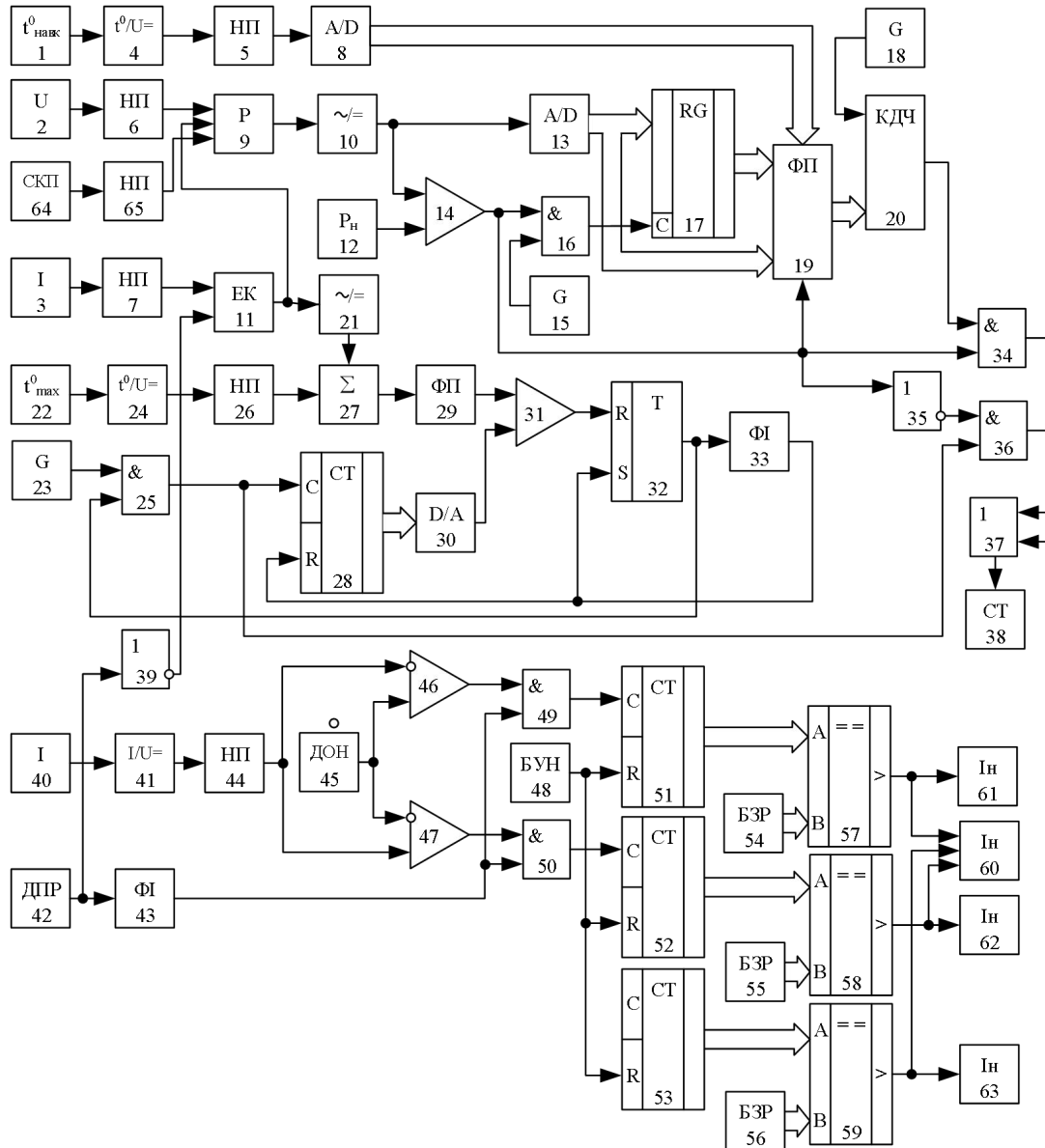
$$T_2 \tau_4 \vdash T_2;$$

$$[(T_1 \vee T_2 \vee T_3) H \vee T_4 \overline{H}] T_6 \tau_5 \vdash T_7;$$

$$NT_4 \tau_2 \vdash T_4;$$

$$T_5 T_6 T_7 T_8 \vdash Y.$$

Структурна схема пристрою для діагностування трансформатора



Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі отримано такий новий науковий результат:

– вперше розроблено математичну модель діагностування трансформатора з використанням теорії нечітких множин, яка на відміну від існуючих, дозволяє більш точно визначати залишковий ресурс трансформатора;

– синтезовано структуру пристрою для діагностування трансформатора, яка, на відміну від існуючих, дозволяє за рахунок введення в структуру пристрою додаткових блоків та зв'язків між ними підвищити точність його роботи.

Практичне значення одержаних результатів. Використання одержаних результатів дозволить підвищити надійність роботи трансформаторів, зменшити кількість простою технологічного обладнання через аварійні ситуації, обумовлені виходом з ладу трансформаторів.

Апробація результатів.

Основні положення та результати, виконаних у магістерській кваліфікаційній роботі досліджень, доповідались та обговорювались на конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2019)».

Основний зміст роботи опубліковано в 1 тезі.

Подано заявку на отримання патенту України на корисну модель.

Дякую за увагу!

Доповідь завершено.