

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту  
Зав. кафедрою електроенергетики

\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
тема **«Оптимізація роботи силових трансформаторів за допомогою  
нечіткої логіки та альтернативних джерел енергії»**

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТ-71

Корж П. С.

Керівник

Дяговченко І. М.

Суми – 2021

## Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроенергетики

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедрою електроенергетики

\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

### Завдання

#### на кваліфікаційну роботу бакалавра

Коржа Павла Сергійовича

1. Тема роботи «Оптимізація роботи силових трансформаторів за допомогою нечіткої логіки та альтернативних джерел енергії»

\_\_\_\_\_ затверджено наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

2. Термін здачі студентом завершеної роботи 31.05. 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи добовий графік навантаження електрозварювального цеху, добовий графік температури, вміст гармонічних складових в сигналі напруги.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)

– Вступ;

– Створення моделі роботи силового трансформатора в середовищі Simulink з використанням нечіткої логіки;

– Розробка правил нечіткої логіки, що враховують вплив гармонік напруги, температури та навантаження на роботу моделі трансформатора;

– Вибір сонячних панелей та конденсаторної батареї для покращення режиму роботи силових трансформаторів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним позначенням обов'язкових креслень)

– Схема розширеної моделі що враховує гармоніки напруги, температуру та навантаження.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури, яка стосується роботи трансформаторів та факторів, що впливають на їхній строк експлуатації. Переваги та галузь застосування нечіткої логіки	30.03.2020р.	
2	Створення спрощеної моделі в середовищі Simulink	10.04.2021р.	
3	Створення розширеної моделі в середовищі Simulink	22.04.2021р.	
4	Створення логіки розширеної моделі	10.05.2021р.	
5	Модернізація моделі за допомогою використання конденсаторної батареї та сонячних панелей.	15.05.2021р.	
6	Охорона праці	20.05.2021р.	
7	Оформлення пояснювальної записки	31.05.2021р.	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

с. 64, рис. 51

**Бібліографічний опис:** Корж П. С. Оптимізація роботи силових трансформаторів за допомогою нечіткої логіки та альтернативних джерел енергії [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка /Корж П. С.; наук. керівник І. М. Дяговченко. – Суми: СумДУ, 2021. – 64 с.

**Ключові слова:** нечітка логіка, силовий трансформатор, сонячна панель, конденсаторна батарея;

нечёткая логика, силовой трансформатор, солнечная панель, конденсаторная батарея;

fuzzy logic, power transformer, solar panel, capacitor bank.

**Мета роботи:** розробка та аналіз роботи силового трансформатора за допомогою нечіткої логіки. Надання порад щодо оптимізації роботи при застосуванні альтернативних джерел енергії.

**Актуальність роботи.** Розробка умов, які сприяють оптимізації роботи силового трансформатора та полегшенню контролю за його роботою. Застосування додаткових альтернативних джерел енергії з метою економічності роботи та зменшення енергетичних витрат.

**Об'єкт дослідження** – силовий трансформатор.

**Предмет дослідження** – методика оптимізації за допомогою нечіткої логіки та альтернативних джерел енергії.

**Методи досліджень:** системний аналіз факторів, що впливають на роботу електричних машин; математичне моделювання; загальні поняття теорії електричних машин

Короткий огляд: у роботі представлений підхід до оптимізації силових трансформаторів за допомогою нечіткої логіки та альтернативних джерел

енергії. На першому етапі в програмному середовищі Matlab-Simulink була розроблена модель трансформаторної підстанції електрозварювального цеху. В моделі були враховані фактори, які мають негативний вплив на роботу трансформаторів та призводять до перегріву їхніх обмоток. На другому етапі роботи були розроблені та промодельовані заходи для оптимізації роботи силових трансформаторів, спрямовані на збільшення коефіцієнту корисної дії, коефіцієнта потужності та коефіцієнта завантаження цих електричних машин. Для покращення названих показників на шинах 0,4 кВ електрозварювального цеху були встановлені конденсаторні батареї з можливістю ступеневого регулювання та сонячні панелі.

## Зміст

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. Фактори, які впливають на нормальну роботу трансформатора .....	9
РОЗДІЛ 2. Обґрунтування доцільності використання нечіткої логіки .....	13
2.1 Можливості нечіткої логіки .....	13
2.2 Обґрунтування доцільності вибору Fuzzy логіки .....	14
2.3 Опис математичної моделі для визначення нечіткого рішення .....	15
РОЗДІЛ 3. Моделювання роботи силового трансформатора в програмному середовищі Simulink.....	17
3.1 Створення спрощеної моделі в середовищі Simulink.....	17
3.2 Створення розширеної моделі в середовищі Simulink.....	23
3.3 Аналіз результатів моделювання роботи силового трансформатора .....	33
3.4. Модернізована модель з використанням конденсаторної батареї та сонячних панелей .....	37
РОЗДІЛ 4. Охорона праці .....	48
4.1 Інструкція з охорони праці під час монтажу силових трансформаторів .....	48
4.2 Вимоги безпеки перед початком роботи .....	49
4.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи .....	51
4.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи.....	53
4.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	54
Висновки .....	58
Список літератури .....	60
Додаток А. Правила логіки спрощеної моделі.....	62
Додаток Б. Схема розширеної моделі що враховує гармоніки напруги, температуру та навантаження.....	63
Додаток В. Таблиця логіки розширеної моделі, що враховує гармоніки напруги, температуру та навантаження .....	64

БР 3.6.141. 369.ПЗ				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
Р Розроб.		Корж П. С..		
Керівник Н		Дяговченко І.М.		
Консульт.				
Н. контр.				
Затверд.		Лебединський І. Л.		
<i>Оптимізація роботи силових трансформаторів за допомогою нечіткої логіки та альтернативних джерел енергії</i>				
		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			6	62
СумДУ, ЕТ-71				

## Вступ

Одним з найважливіших елементів електричної мережі промислових підприємств є силові трансформатори. Транзит та передача великих об'ємів електричної енергії неможлива без застосування силових трансформаторів, що зумовлює вживання правильної експлуатації та контролю стану цих електричних машин. Одним з багатьох чинників, що негативно впливають на роботу трансформатора, є висока температура, що призводить до перегріву. Негативними наслідками перегріву обмоток і магнітопроводу трансформатора можуть бути: погіршення стану ізоляції, значне зменшення тривалості служби, зниження коефіцієнту корисної дії.

В цій роботі для аналізу можливих негативних факторів та їхнього впливу на роботу трансформатора була використана нечітка логіка. Наразі в енергетичній галузі України порівняно мало впроваджених систем, що використовують нечітку логіку. Це пов'язано з тим, що основна увага до нечітких систем була зосереджена на дослідженнях, а не на реалізації. Застосування нечіткої логіки в енергосистемах було головним чином орієнтовано на контролери та системні стабілізатори. В цій роботі ми застосовуємо математичний інструмент нечіткої логіки для аналізу граничних станів (перевантаження, температурний перегрів) при роботі трансформатора, що є важливою та актуальною задачею, зважаючи на важкість створення точних чисельних моделей для прогнозування та аналізу режимів відмов.

У випускній кваліфікаційній роботі бакалавра представлено підхід до оптимізації силових трансформаторів за допомогою нечіткої логіки та альтернативних джерел енергії. На першому етапі в програмному середовищі Matlab-Simulink була розроблена модель трансформаторної підстанції електрозварювального цеху АТ «НВАТ ВВДІКомпресормаш». В моделі були враховані фактори, які мають негативний вплив на роботу трансформаторів та призводять до перегріву їхніх обмоток, а саме: (а) високі температури

									Арк
									7
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата	БР 3.6.141.369 ПЗ				

навколишнього середовища, (б) вищі гармоніки струму та напруги, що утворюються в розподільній мережі внаслідок роботи нелінійних навантажень електрозварювального цеху, (в) значна частка реактивної потужності у порівнянні з сумарним значенням. На другому етапі роботи були розроблені та промодельовані заходи для оптимізації роботи силових трансформаторів, спрямовані на збільшення коефіцієнту корисної дії, коефіцієнта потужності та коефіцієнта завантаження цих електричних машин. Для покращення названих показників на шинах 0,4 кВ електрозварювального цеху були встановлені конденсаторні батареї з можливістю ступеневого регулювання та сонячні панелі.

Розроблена модель аналізує параметри і фактори, які впливають на нормальну роботу трансформатора, та попереджає про наявність небезпечних факторів, що можуть привести до несправності його роботи.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						8
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		



## РОЗДІЛ 1. Фактори, які впливають на нормальну роботу трансформатора

До факторів, що негативно впливають на нормальну роботу силового трансформатора та призводять до його перегріву, можна віднести температуру навколишнього середовища, навантаження трансформатора понад номінальне значення, вищі гармоніки в сигналах напруги та струму. Відомо, що швидкість старіння ізоляції значною мірою залежить від температурного режиму трансформатора [1]. Режим роботи з постійною температурою масла, яка не перевищує гранично допустимої, істотно впливає на процеси проникнення кисню та вологи у трансформатор. Крім того, температура є основним фактором окислення масла. Слід окремо виділити такі фактори як коефіцієнт завантаження, що є основним показником, який характеризує повноту використання обладнання, та коефіцієнт потужності трансформатора, який показує відношення активної енергії до повної. Важливо при проектуванні мережі та виборі силових трансформаторів оптимізувати ці два параметри для отримання максимального коефіцієнта корисної дії. На рис. 1 показано залежність коефіцієнту корисної дії трансформатора від навантаження при різних коефіцієнтах потужності.

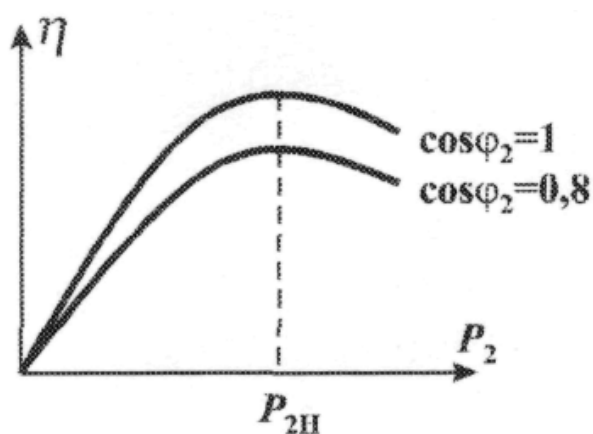


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнту корисної дії від навантаження при різних коефіцієнтах потужності

									Арк
									9
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата	БР 3.6.141.369 ПЗ				

На рис. 2 зображено графіки зміни реактивної потужності  $Q_T$  і коефіцієнта потужності  $\cos\varphi$  силового трансформатора залежно від величини коефіцієнта навантаження  $K_n$  [2].

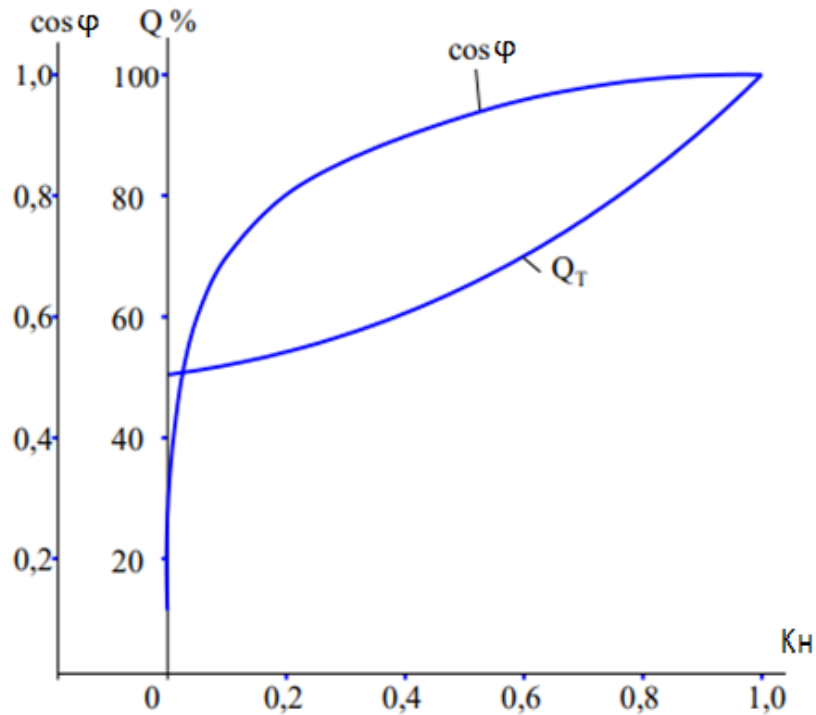


Рисунок 2 – Графіки зміни реактивної потужності  $Q_T$  і коефіцієнта потужності  $\cos\varphi$  силового трансформатора залежно від величини коефіцієнта навантаження  $K_n$

Перенавантаження трансформатора вище номінального значення потужності призводить до збільшення температури обмоток, відводів, ізоляції та масла, що можуть досягти недопустимих значень. Також при цьому індукція магнітного потоку розсіювання збільшується, викликаючи збільшення вихрових струмів, що нагрівають металеві частини. Це також сприяє збільшенню негативного впливу на вводи, перемикачі, приєднання відводів і трансформатори. Як наслідок, з'являється ризик пошкодження, пов'язаний з величиною струму і температури. Строк експлуатації електричної машини зменшується.

Вищі гармоніки напруги викликають у трансформаторах збільшення втрат на гістерезис, втрат, пов'язаних з вихровими струмами в сталі, та втрат в обмотках [3]. Скорочується також термін служби ізоляції. Збільшення втрат в обмотках найбільш важливо в перетворювальному трансформаторі, тому що наявність фільтру, який приєднується зазвичай до сторони змінного струму, не знижує рівень гармонік струму в трансформаторі. В такому випадку потрібно збільшувати потужність трансформатора. Негативний аспект впливу гармонік на потужні трансформатори полягає в циркуляції потроєного струму нульової послідовності в обмотках, з'єднаних в трикутник, що може призвести до їх перевантаження. Струми нульової послідовності створюють додаткове підмагнічування сталі, що призводить до погіршення характеристик електричних машин та додаткового нагріву їх сердечників [4].

Відомо, що при допустимих значеннях несиметрії напруги 2% і несинусоїдальності 5% строк служби трансформатора скорочується на 8% [3].

Трансформаторна підстанція, що розглянута у цій роботі, знаходиться в електрозварювальному цеху. Використовується два трансформатори ТМ-250/10/0,4, що розраховані на потужність 250 кВА та мають масляний тип охолодження, вид з боку РП 0,4 кВ (розподільний пункт) показаний на рис. 3. Однолінійна схема підстанції наведена на рис. 4.

При природному масляному охолодженні тепло передається навколишньому маслу, що, циркулюючи по баку й радіаторних трубах, передає його навколишньому повітрю.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						11
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		



Рисунок 3 – Вигляд трансформаторної підстанції

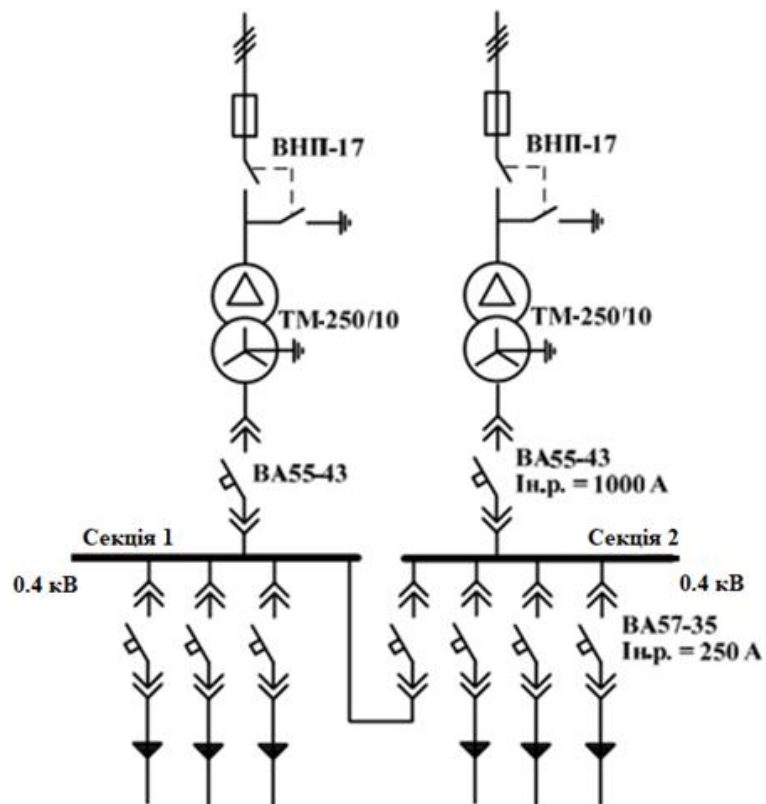


Рисунок 4 – Схема трансформаторної підстанції

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

## РОЗДІЛ 2. Обґрунтування доцільності використання нечіткої логіки

### 2.1 Можливості нечіткої логіки

У традиційній двовалентній логічній системі об'єкт є або не є членом набору. Ідея нечіткої логіки полягає у тому, що члени не обмежуються істинними чи хибними визначеннями. Параметри з нечіткої логіки розташовуються по їх ступеню належності до певного набору. Наприклад, набір значень температури може класифікуватися за допомогою набору з двох варіантів такі як «допустима» чи «не допустима». Для цього треба встановити граничну величину, при досягненні якої температура буде вважатися «не допустимою», а будь-яка температура менше цієї буде належати до категорії «допустима».

Наприклад, якщо точка, відносно якої ми визначаємо, до якої категорії віднести температуру, дорівнює  $+95\text{ }^{\circ}\text{C}$  (допустима температура трансформаторного масла при природному охолодженні трансформатора), тоді неважливо, якою саме є температура ( $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  чи  $+94\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Обидва параметри будуть належати до категорії «допустима». Якби в цій ситуації використовувався нечіткий набір, кожен член набору, або кожна температура, мали би ступінь приналежності до набору температури.

Функція, яка визначає ступінь належності параметра до відповідної категорії, називається функцією нечіткого членства. Вхідні дані нечіткої логіки використовуються елементами функцій для визначення значення вхідних даних. В моделі можна використовувати будь-яку кількість вхідних даних нечіткої логіки, і кожен з цих параметрів може мати декілька членських функцій. Набір членських функцій можна змінюваний для кожного типу вхідних даних для зміни їх впливу на кінцевий результат. Вихідні дані також мають набір функцій членства. Ці функції членства визначають можливі реакції та результати роботи системи.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		13

Нечіткий механізм виведення – це основа системи нечіткого логічного керування. Він заснований на правилах контролера, який використовує оператори «If – Then» для зв'язку вхідного сигналу з бажаним результатом. Вхідні параметри нечіткої логіки комбінуються на основі цих правил та ступеня належності до кожного набору функцій. Потім функціями вихідного членства маніпулюють на основі контролера для кожного правила. Зазвичай використовується декілька різних правил, оскільки вхідні дані, як правило, містяться не в одній функції членства. Потім усі вихідні функції-члени об'єднуються в одну топологію [5].

## 2.2 Обґрунтування доцільності вибору Fuzzy логіки

У випускній кваліфікаційній роботі бакалавра нечітка логіка була вибрана як інструмент аналізу завдяки її наступним перевагам:

1) можливість оперувати вхідними даними, заданими нечітко: наприклад, що безупинно змінюються в часі, значення, що неможливо задати однозначно;

2) можливість проведення якісних оцінок як вхідних даних, так і виведених результатів;

3) можливість проведення швидкого моделювання складних динамічних систем і їхній порівняльний аналіз із заданим ступенем точності.

Завдяки цим перевагам та зважаючи на важкість створення точних чисельних моделей для прогнозування та аналізу режимів відмов, інструмент нечіткої логіки якнайкраще підходить для аналізу граничних станів (перевантаження, температурний перегрів) при роботі трансформатора. Модель, побудована на основі нечіткої логіки, дозволить аналізувати параметри і фактори, які впливають на нормальну роботу трансформатора, допоможе запобігти виникненню несправності його роботи. Використовуючи сигнал контролеру, встановленого після нечіткої логіки, автоматика зможе завчасно запобігти перевантаженню трансформаторів.

									Арк
									14
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата					

### 2.3 Опис математичної моделі для визначення нечіткого рішення

В цій роботі для отримання нечіткого рішення було використано математичний алгоритм Мамдані, який є одним з перших і знайшов широке застосування в системах нечіткого виведення. Алгоритм був запропонований у 1975 році англійським математиком Е. Мамдані. За своєю сутністю цей алгоритм найбільшою мірою відповідає характеру поставленої задачі.

У моделі Мамдані математично взаємозв'язок між входами та виходом визначається нечіткою базою правил наступного формату:

IF

$$\{x_1 = a_{1,j}\} \text{ AND } \{x_2 = a_{2,j}\} \text{ AND } \dots \text{ AND } \{x_n = a_{n,j}\} \text{ OR} \\ \{x_1 = a_{1,j}\} \text{ AND } \{x_2 = a_{2,j}\} \text{ AND } \dots \text{ AND } \{x_n = a_{n,j}\} \text{ OR}$$

THEN

$$y = d_j, j = \overline{1, m}$$

Перетин двох нечітких множин (нечітке «І»):

$$AB: MF_{AB}(x) = \min(MF_A(x), MF_B(x))$$

Об'єднання двох нечітких множин (нечітке «АБО»):

$$AB: MF_{AB}(x) = \max(MF_A(x), MF_B(x))$$

Трикутна функція приналежності визначається трійкою чисел (a, b, c), і її значення в точці x обчислюється згідно з виразом





## **РОЗДІЛ 3. Моделювання роботи силового трансформатора в програмному середовищі Simulink.**

### **3.1 Створення спрощеної моделі в середовищі Simulink**

Нечітка модель для інструмента діагностики, що враховує наявність гармонічних спотворень, можливих перевантажень за потужністю, впливу температури навколишнього середовища, була реалізована в програмному середовищі Matlab за допомогою нечіткої логіки. Цей набір інструментів дозволяє створити вхідні дані функції, нечіткі правила управління та вихідні функції членства.

Для впровадження цієї системи в Simulink, вона повинна мати два різні входи. В нашому випадку це гармоніка напруги та температура. Температура використовується в аналізі, оскільки температура частини електричного обладнання збільшується зі збільшенням вмісту гармонічних спотворень. Ці вхідні параметри будуть оброблятися нечітким логічним контролером, який після аналізу даних та їх обробки встановлює ступінь небезпеки. Потім цей ступінь декодується в один із чотирьох можливих результатів:

- «проблеми відсутні»,
- «попередження»,
- «можлива проблема»,
- «невідкладна проблема».

Для даних температури ми використали добовий графік за літній день [7] зображений на рис. 5 (градуси Цельсія за віссю Y та час за віссю X).

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		17

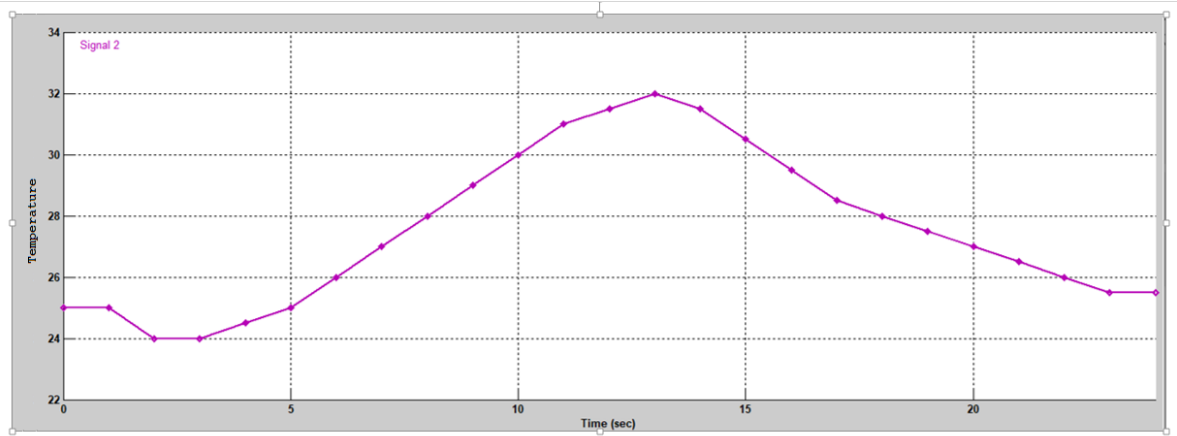


Рисунок 5 – Добовий графік температури

Для гармонік ми взяли генератор випадкових чисел, а амплітудні значення кожної – згідно ДСТУ (від 0 до верхньої межі). В підсумку маємо середні діючі значення коефіцієнту гармонічних спотворень за напругою за кожну годину.

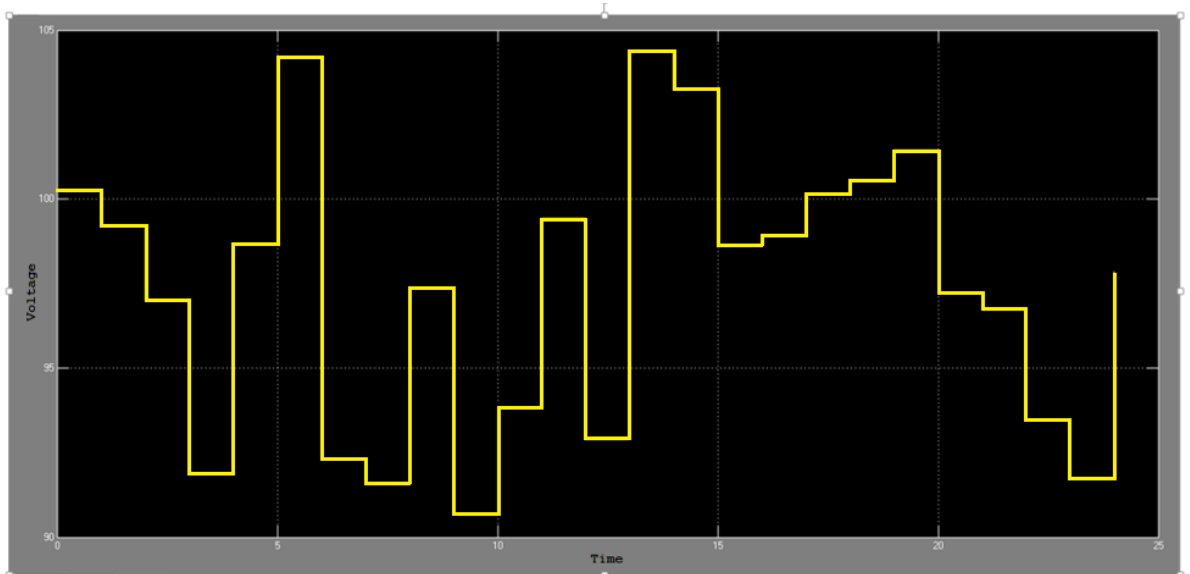


Рисунок 6 – Добовий графік гармонік напруги

На першому етапі була створена спрощена модель із двома змінними, як показано на рис. 7.





Вивід має чотири функції приналежності: немає проблем, попередження, можлива проблема і невідкладна проблема. Всі ці функції членства є трикутними та розподіляються рівномірно в діапазоні від 0 до 1. І зображені на рис. 10.

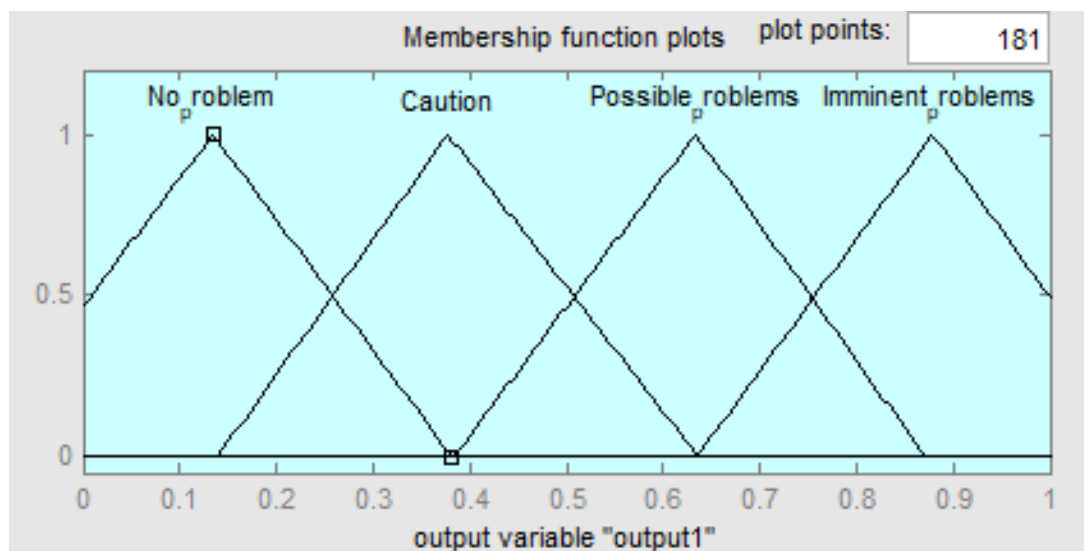


Рисунок 10 – Вхідна функція

Діапазони вхідних функцій тепер можна використовувати для визначення нечітких наборів членства. Дана модель нечіткої логіки має два входи та вивід, що вказує результат. Остаточну систему нечіткої логіки для спрощеної моделі зображено на рис. 11.

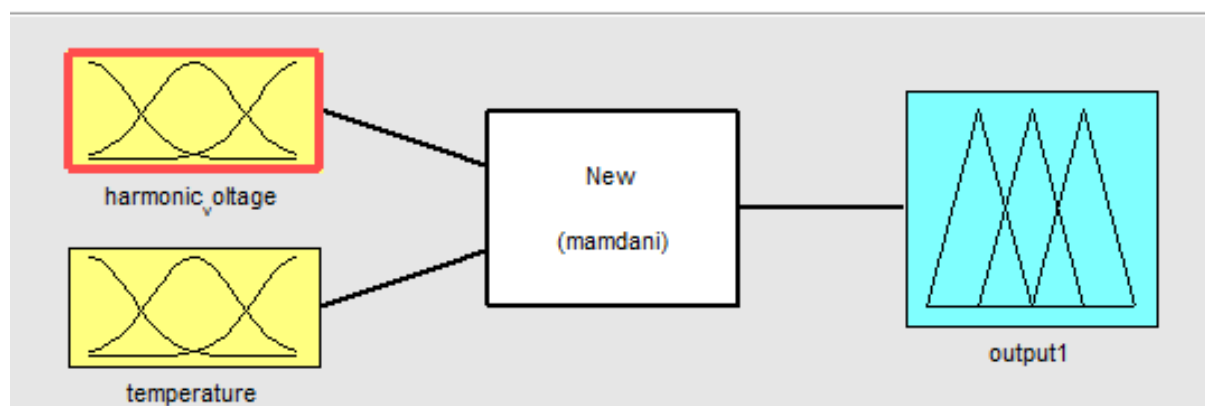


Рисунок 11 – Остаточна система нечіткої логіки

Після того, як всі функції вхідного та вихідного членства були визначені головним контролером, можна визначити правила. Нечіткі правила мають форму тверджень «якщо – тоді». Ці твердження розглядають всі вхідні дані та визначають результат. У цій системі збільшення напруги та підвищення температури призведе до невідкладної проблеми. Низька температура з відносно високою напругою не обов'язково буде безпосередньою проблемою. Правила, визначені для цієї системи, наведені в Додатку А.

Ці правила є визначальними елементами цієї системи. Їх можна графічно розглядати як карту правил (показано на рис. 12). Чи у вигляді 3D моделі (показано на рис. 13).

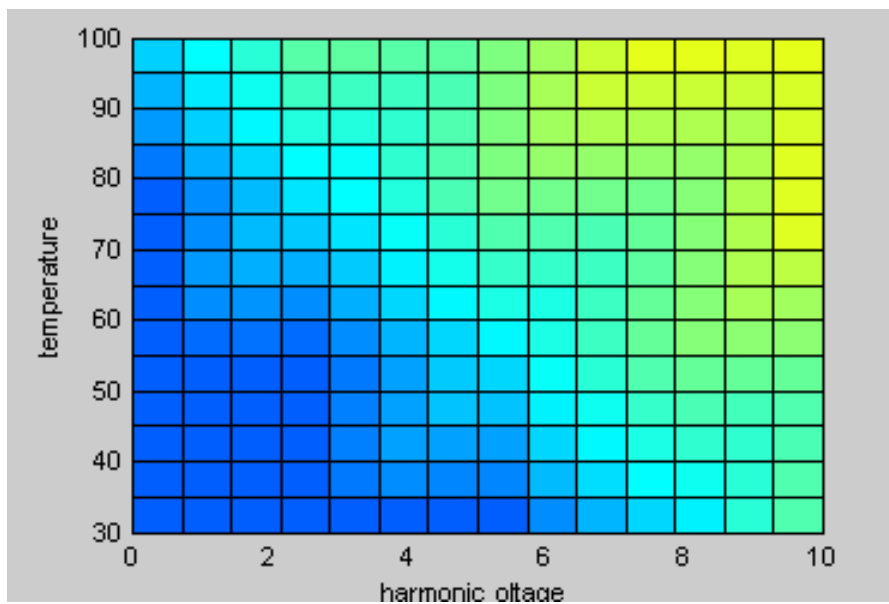


Рисунок 12 – Карта правил

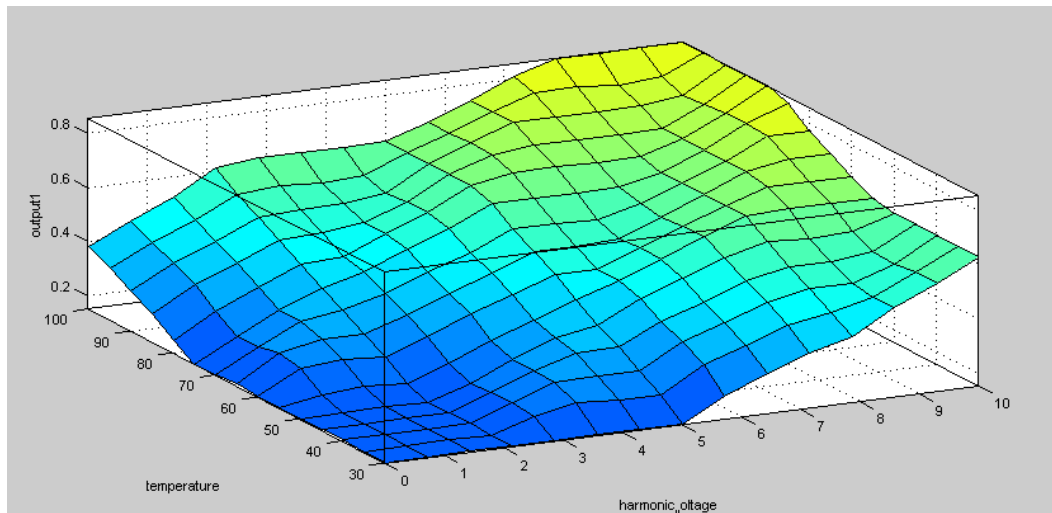


Рисунок 13 – 3D модель карти правил

Ця карта ілюструє реакцію системи на різні варіанти заданих параметрів. На карті темно-синій колір відповідає зоні, що не являє проблем, а світло-жовтий вказує на невідворотну проблему. Проміжні кольори показують поєднання нечітких варіантів між ними. Тепер, коли нечітка система управління була повністю визначена, вона експортується в Simulink модель. Данні, що ми отримали, можуть бути використані для подальшого аналізу.

### 3.2 Створення розширеної моделі в середовищі Simulink

Частина вхідних даних для цієї системи були показані раніше. Вони випадково сформовані та належать діапазону дійсних чисел. Система може бути змодельована за допомогою цих даних. Існує три різні вихідні параметри, які будуть вказувати вихідний сигнал нечіткого контролера. Ці результати можемо потім використовувати для обчислення функцій розподілу ймовірностей та / або для надсилання попередження тривоги до центрального апарату контролеру. За допомогою цього можна розробити налагоджений діагностичний інструмент, який аналізує та надає більше даних про ситуацію. У покращеній моделі до наступних даних також

додається параметр навантаження та доповнюються параметри гармонік напруги.

Для повного уявлення про вплив гармонік напруги на трансформатор та більш точних та реальних вхідних параметрів ми використовуємо блок S-function для розрахунку показів третьої, п'ятої, сьомої та одинадцятої гармоніки використовуючи формулу (4.1) з [8]:

$$\text{THD} = 100 \cdot \sqrt{\left(\frac{V_3}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{V_5}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{V_7}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{V_{11}}{V_1}\right)^2} \quad (4.1)$$

За допомогою внутрішнього функціоналу Matlab створюємо код, який показано на рис. 14.

```
*THD = 100 * sqrt((*harmonic_3 / *fundamental) *  
(*harmonic_3 / *fundamental) + (*harmonic_5 /  
*fundamental) * (*harmonic_5 / *fundamental) +  
(*harmonic_7 / *fundamental) * (*harmonic_7 /  
*fundamental) + (*harmonic_11 / *fundamental) *  
(*harmonic_11 / *fundamental));
```

Рисунок 14 – Формула для розрахунку коефіцієнту гармонічних спотворень за напругою

Після розрахунків ми отримуємо графіки для третьої, п'ятої, сьомої та одинадцятої гармоніки, що зображені на рис. 15. Використовуючи функціонал Matlab ми на рис. 16. На цьому графіку діючі значення основної гармоніки зменшені в десять разів для того, щоб можна було краще побачити значення третьої, п'ятої, сьомої та одинадцятої гармоніки. На рис. 17 зображений графік коефіцієнту гармонічних спотворень за напругою. Вхідні дані для моделювання надходять від генераторів випадкових чисел, які будуть генерувати випадкові числа в межах визначених раніше діапазонів.



Кожен генератор випадкових чисел має різне початкове значення, щоб отримати різний набір чисел.

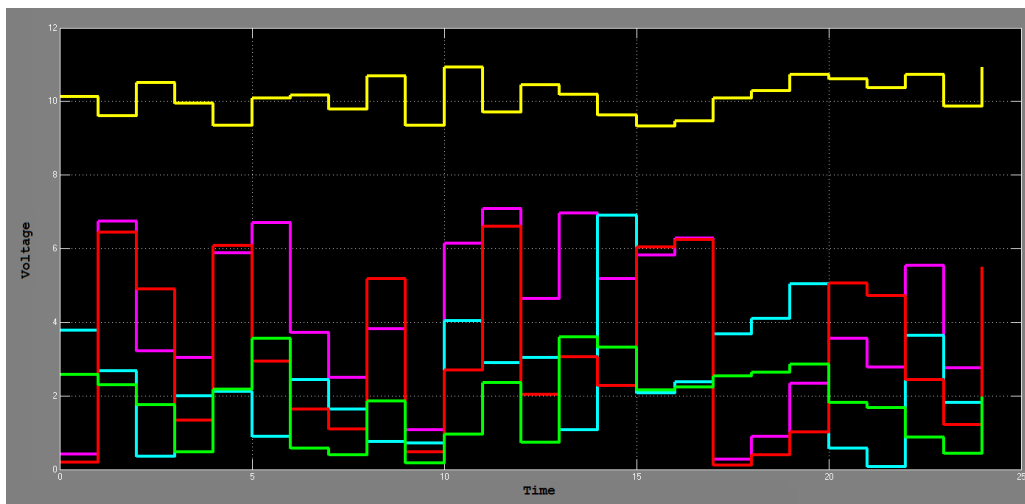


Рисунок 15 – Графіки вхідних гармонік напруги

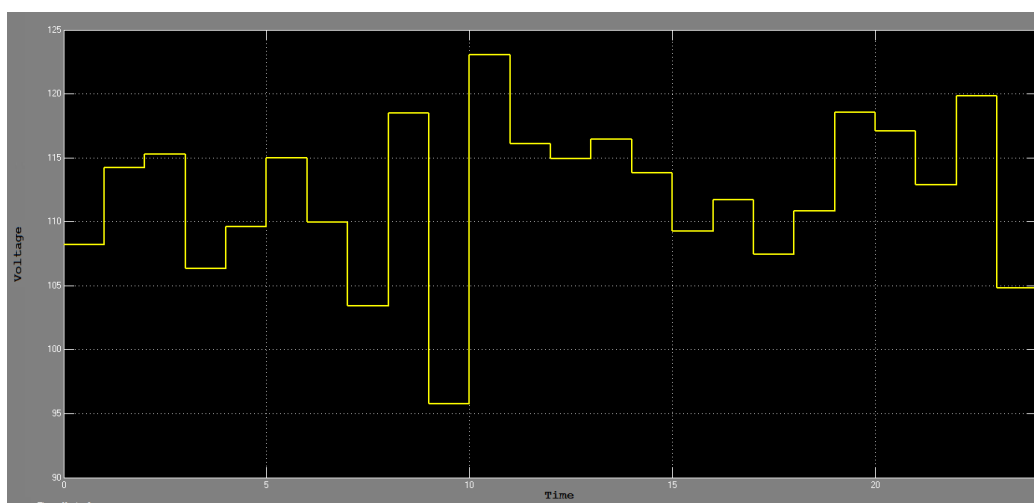


Рисунок 16 – Графік суми гармонік напруги

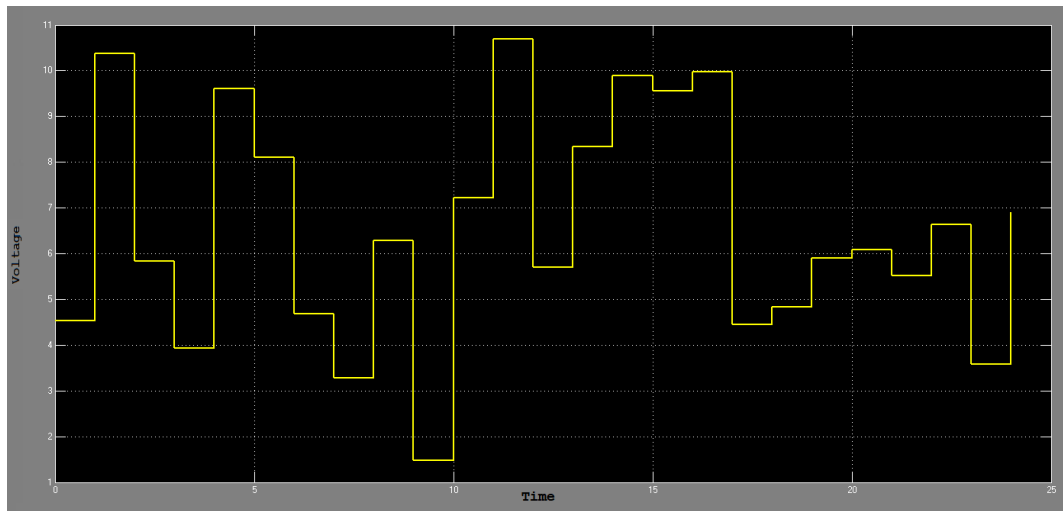


Рисунок 17 – Графік коефіцієнту гармонічних спотворень за напругою  
 Вхідна функція для навантаження знаходиться в діапазоні від 0 до 120 та має три функції належності: мала, середня і висока. Ці функції на рис. 18.

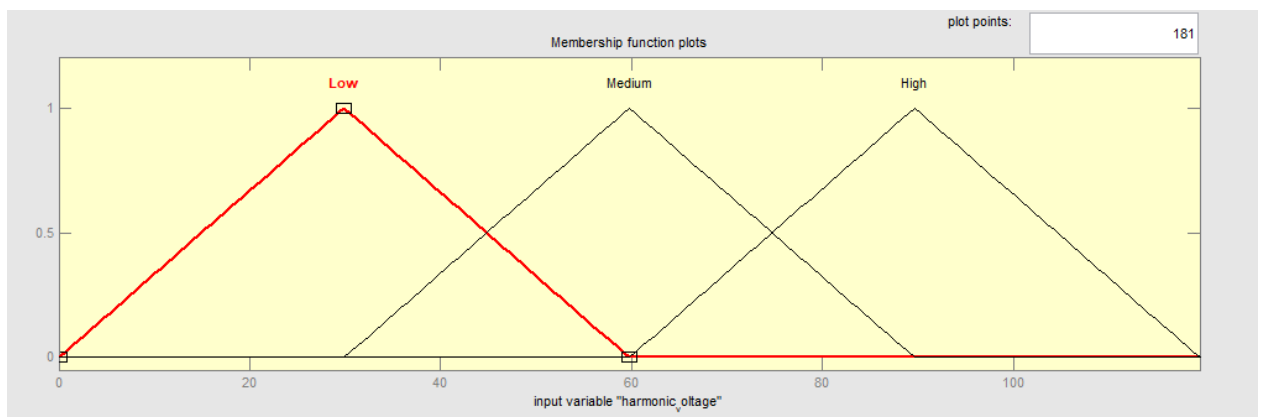


Рисунок 18 – Вхідна функція для навантаження

Для більш точного аналізу даних ми використали добовий графік навантаження з показами активного та реактивного навантаження що зображені на рисунках 19 та 20 відповідно

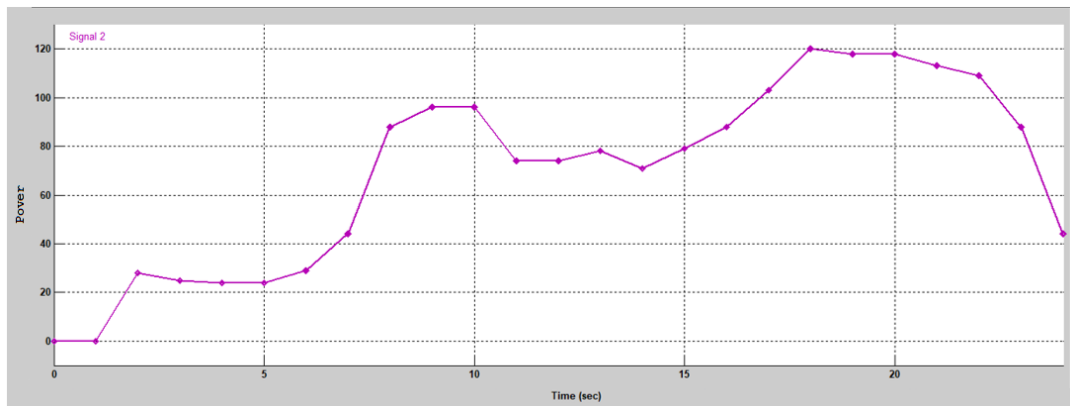


Рисунок 19 – Добовий графік активного навантаження

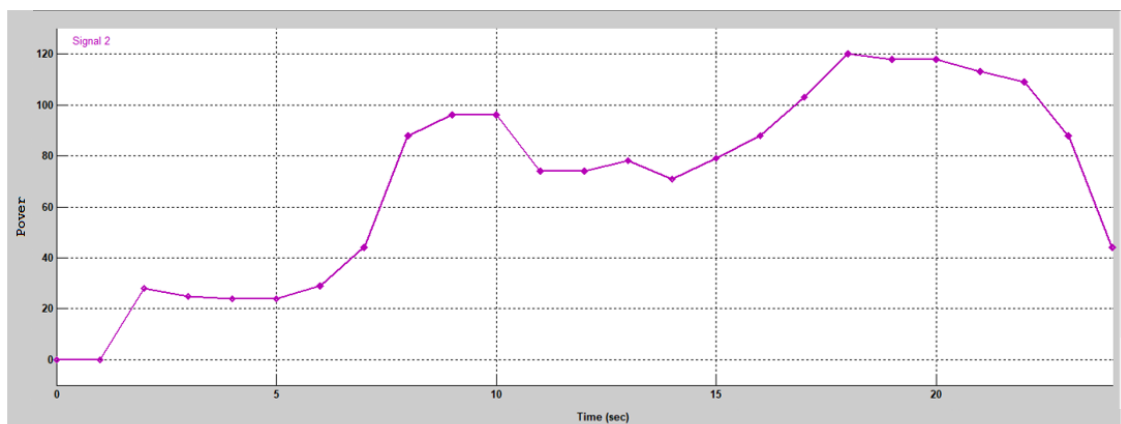


Рисунок 20 – Добовий графік реактивного навантаження

Далі для розрахунку повного навантаження та коефіцієнту потужності ми використовуємо блок S-function. Для цього ми задаємо їй два вхідні параметри: активна потужність і реактивна потужність, що позначені `real_power` та `reactive_power` відповідно. Для розрахунку повної потужності, що позначена `apparent` використовуємо формулу (4.2), а для розрахунку коефіцієнту потужності, позначеного як `power_factor`, – формулу (4.3) з [9]:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.2)$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (4.3)$$

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

Ці формули ми за допомогою внутрішнього функціоналу Matlab кодуємо, і вони мають вигляд, як показано на рис. 21.

Графік зміни повного добового навантаження та коефіцієнту потужності зображені на графіках 22 та 23 відповідно

```
a) *apparent = sqrt(*real_power *  
*real_power + *reactive_power *  
*reactive_power);
```

```
б) *power_factor = *real_power /  
sqrt (*real_power * *real_power +  
*reactive_power *  
*reactive_power);
```

Рисунок 210 – Формули для розрахунку а) повної потужності,  
б) коефіцієнту потужності

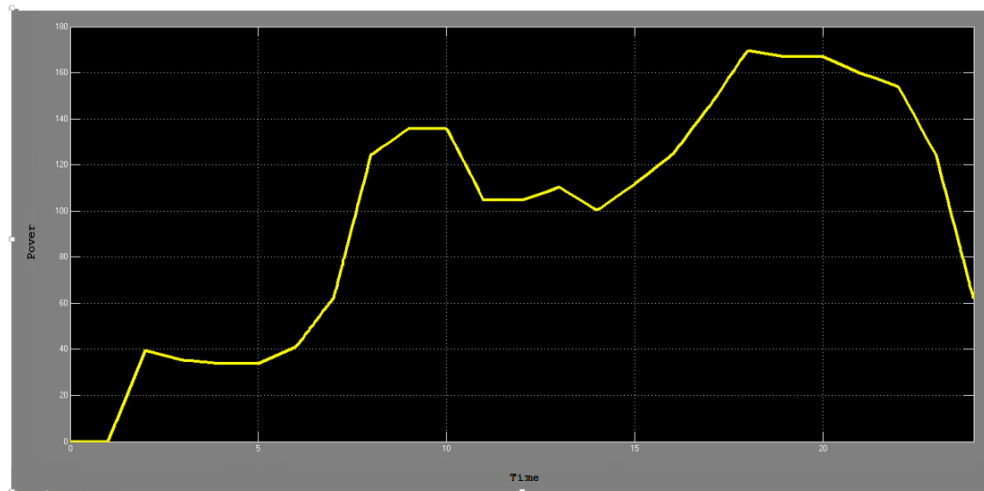


Рисунок 22 – Добовий графік повного навантаження

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

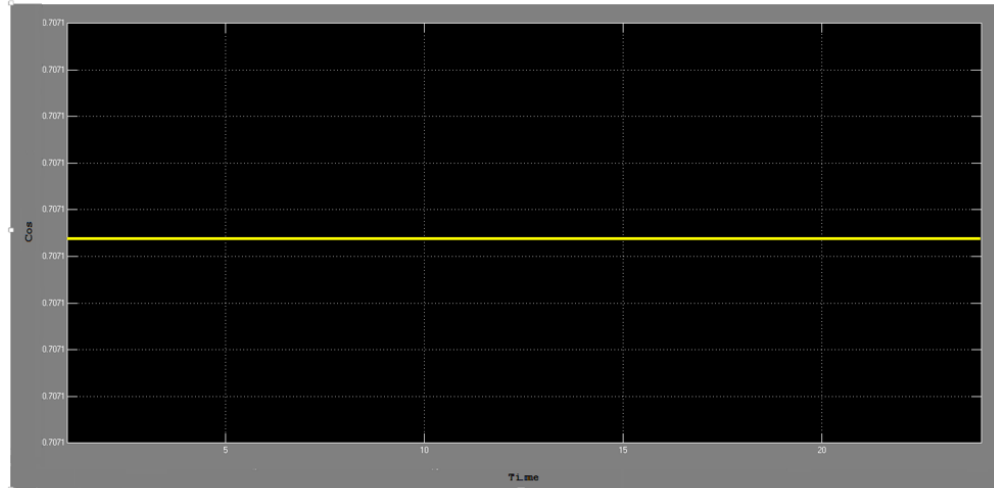


Рисунок 23 – Добовий графік коефіцієнту потужності

Для зменшення завантаження трансформаторів електрозварювального цеху можна застосувати наступні методи:

- а) компенсація реактивної складової потужності шляхом встановлення конденсаторних батарей – установок компенсації реактивної потужності (УКРМ);
- б) зменшення активної складової навантаження завдяки встановленню сонячних панелей на шинах НН трансформаторної підстанції;
- в) компенсація вищих гармонік за допомогою активних або пасивних фільтрів на шинах НН.

При встановленні конденсаторної батареї ми зменшимо вплив реактивної потужності на систему за рахунок збільшення коефіцієнту потужності. При встановленні сонячної панелі ми можемо зменшити навантаження на трансформатор за рахунок зменшення активної потужності, що буде протікати безпосередньо через трансформатор.

Для розширеної моделі ми створили нову карту правил з використанням нових вхідних параметрів представлена в Додатку В.

Використовуючи ці вхідні дані та базову (спрощену) модель, розроблену на попередньому етапі, маємо модель Simulink, що може

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						29
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

обробляти всі вхідні дані та дає відповідні вказівки для гармонік напруги, температури і перевантаження за потужністю. Розширену модель що враховує гармоніки напруги, температуру та навантаження можна побачити у Додатку А. Карта правил логіки зображена на рис. 24, а її 3D модель показана на рис. 25.

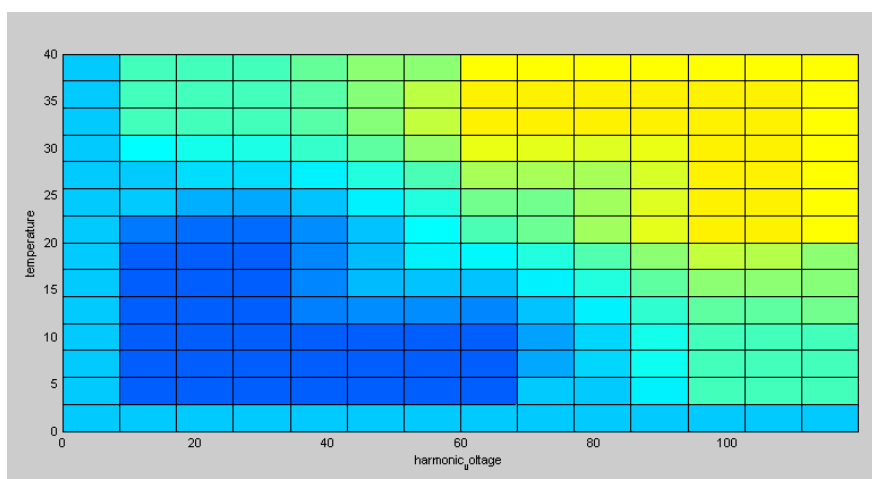


Рисунок 24 – Карта правил розширеної моделі для показання температури та гармонік напруги

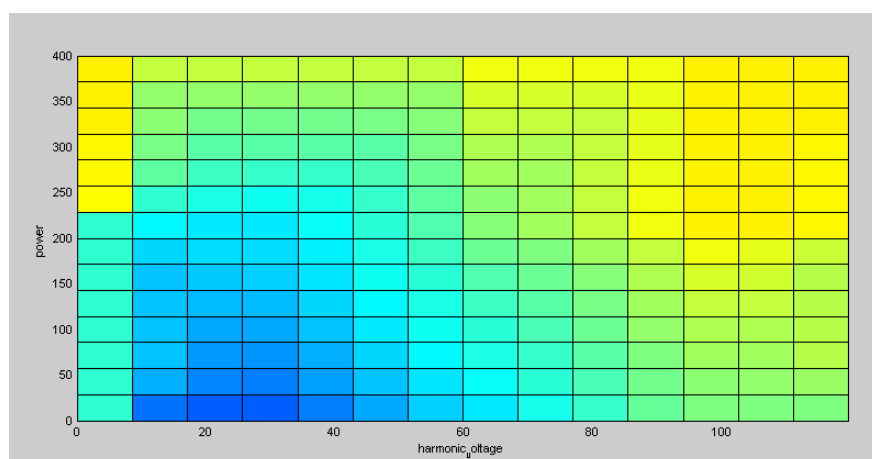


Рисунок 25 – Карта правил розширеної моделі для показання температури та навантаження напруги

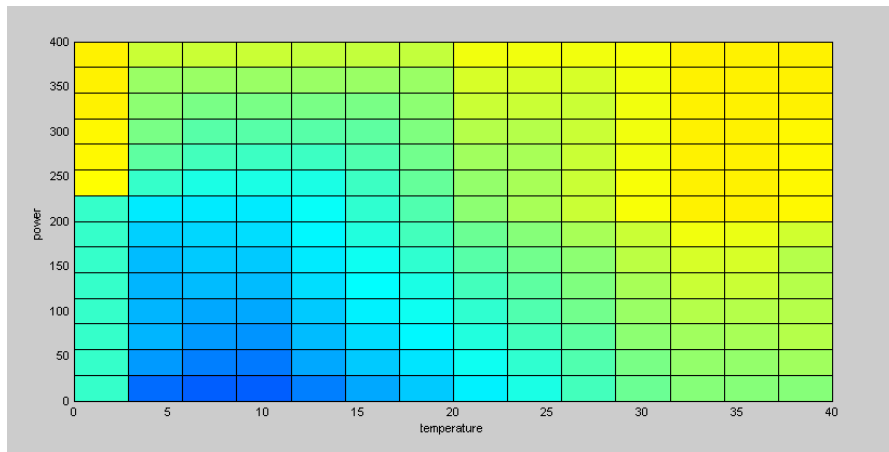


Рисунок 26 – Карта правил розширеної моделі для показання температури та навантаження

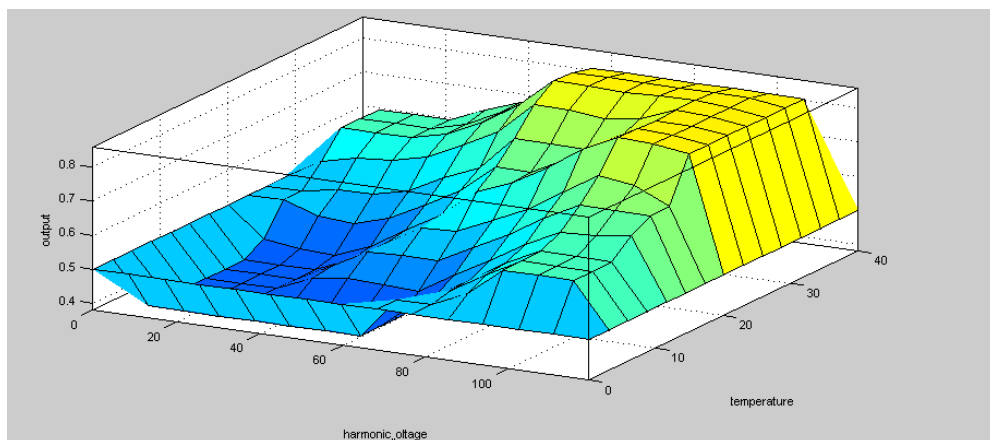


Рисунок 27 – 3D модель карти правил розширеної моделі для температури та гармонік напруги

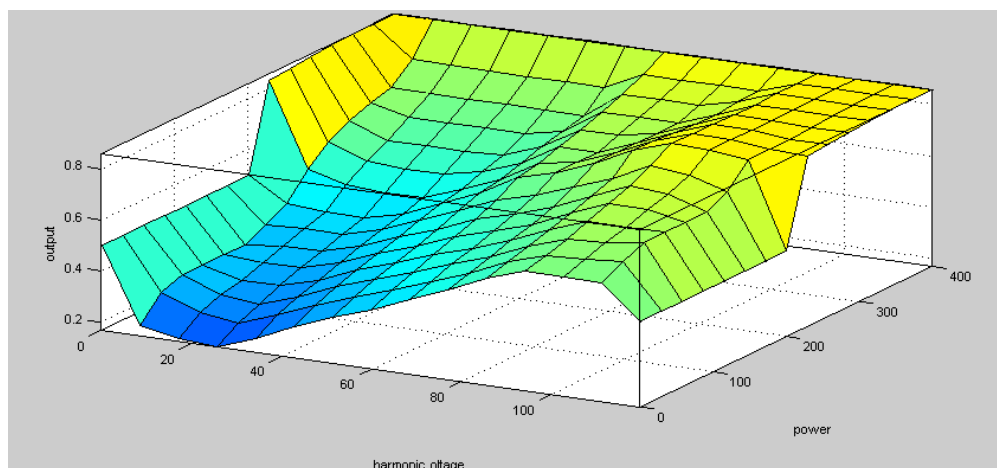


Рисунок 28 – 3D модель карти правил розширеної моделі навантаження та гармонік напруги

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

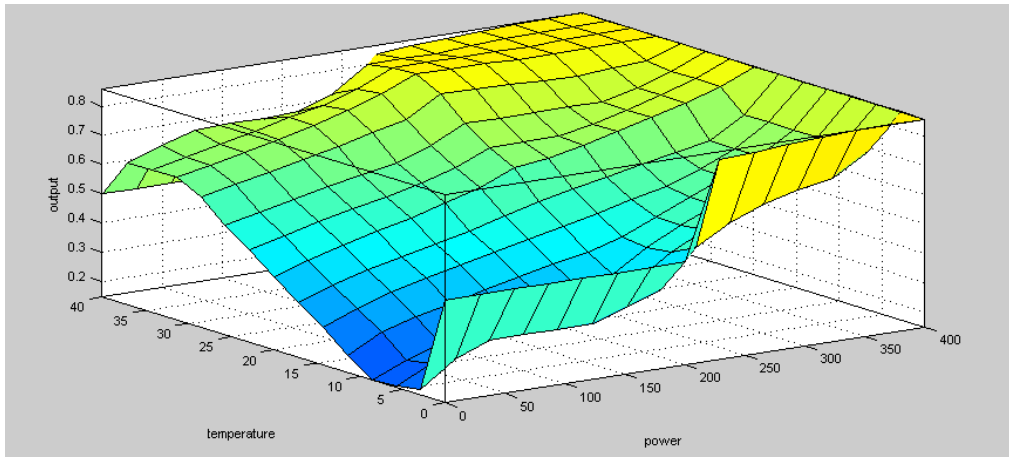


Рисунок 29 – 3D модель карти правил розширеної моделі навантаження та температури

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

БР 3.6.141.369 ПЗ

Арк

32









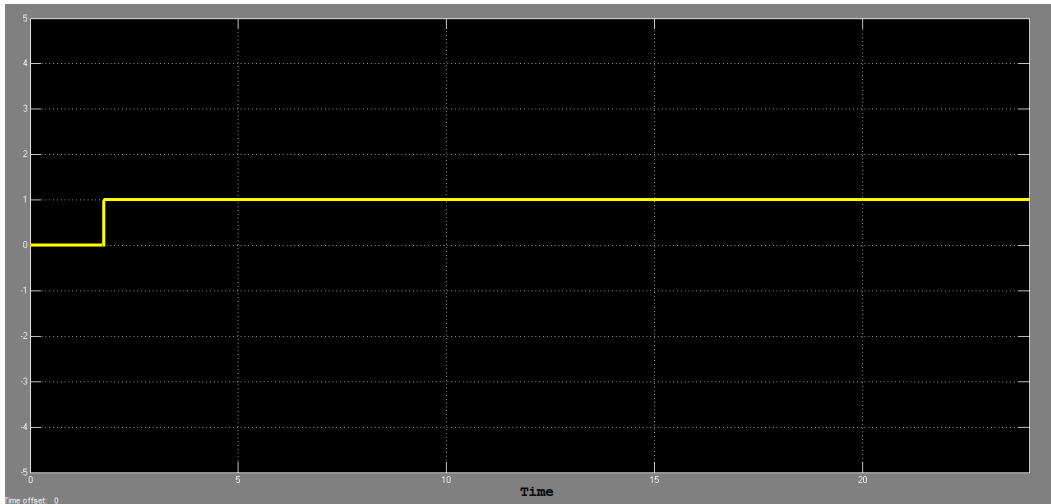


Рисунок 35 – Графік фіксування прояву сигналу «попередження»

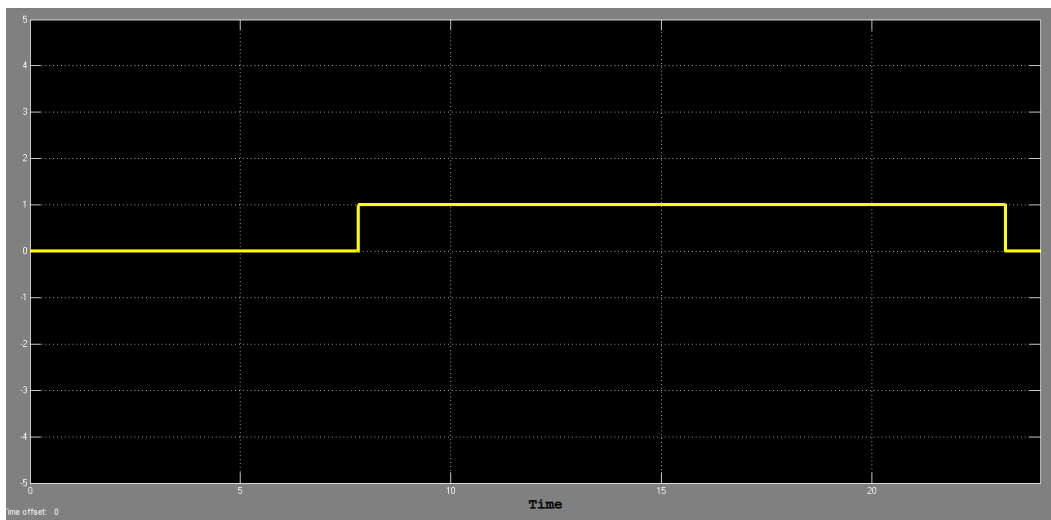


Рисунок 36 – Графік фіксування прояву сигналу «можливі проблеми»

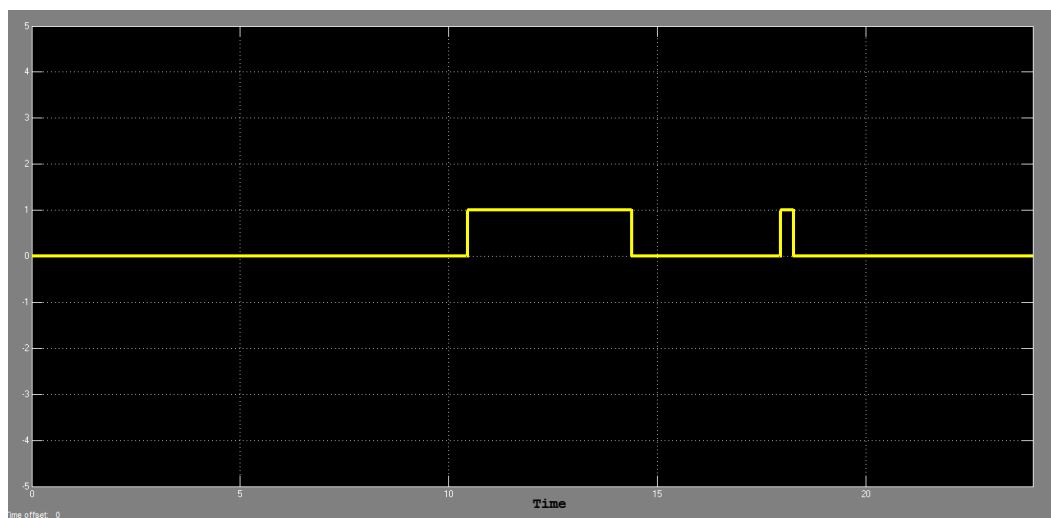


Рисунок 37 – Графік фіксування прояву сигналу «невідкладні проблеми»

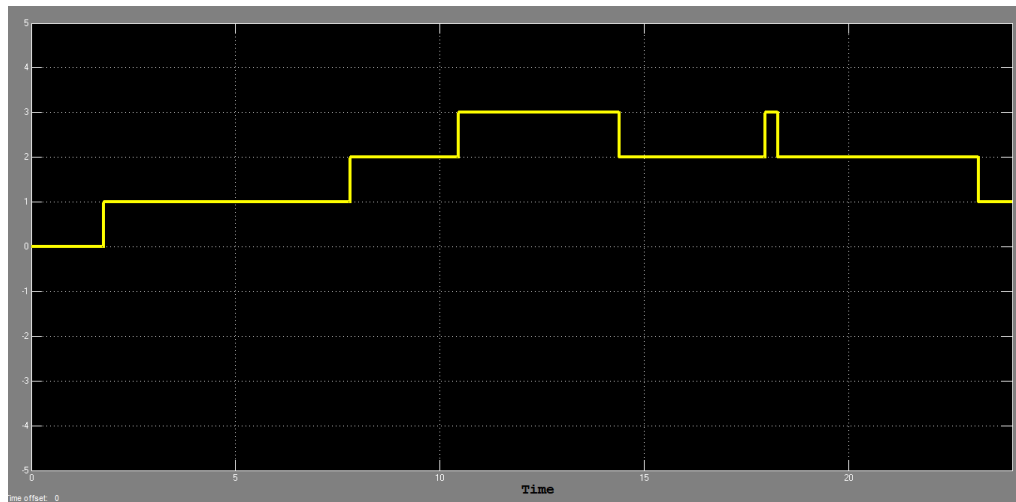


Рисунок 38 – Графік стану системи

### 3.4. Модернізована модель з використанням конденсаторної батареї та сонячних панелей

Для полегшення умов роботи трансформатора на шини після трансформатора можна встановити конденсаторні батареї та сонячні панелі. Тоді споживачі, за рахунок зменшення потреб в електроенергії з зовнішньої мережі, буде менше навантажувати трансформатор, а конденсаторні батареї, за рахунок зменшення реактивної енергії в системі, будуть покращувати якість коефіцієнту потужності та зменшувати величину повної потужності. Однолінійна схема після виконаних модернізацій зображена на рис. 39.

Для компенсації реактивної потужності для даного випадку ми використовуємо конденсаторну батарею, розрахунок потужності якої представлений в формулах (6.1) та (6.2) з [10], графік навантаження якої зображений на рис. 40.

$$Q_c = P \cdot (\tan(\arccos\varphi_1) - \tan(\arccos\varphi_2)) \quad (6.1)$$

$$Q_c = 100 \cdot (1.18 - 0.59) = 59.14 \text{ кВАр} \quad (6.2)$$

де  $Q_c$  – необхідна потужність конденсаторної батареї;

$P$  – споживана активна потужність;  
 $\cos \varphi_1$  – коефіцієнт потужності до установки компенсуючого приладу;  
 $\cos \varphi_2$  – бажаний коефіцієнт потужності після установки компенсуючого приладу.

Обираємо конденсаторну батарею УКРМ-0,4-64,8-7.2 У3 з номінальною потужністю кВАр та дев'ятьма ступенями регулювання по 7.5 кВАр.

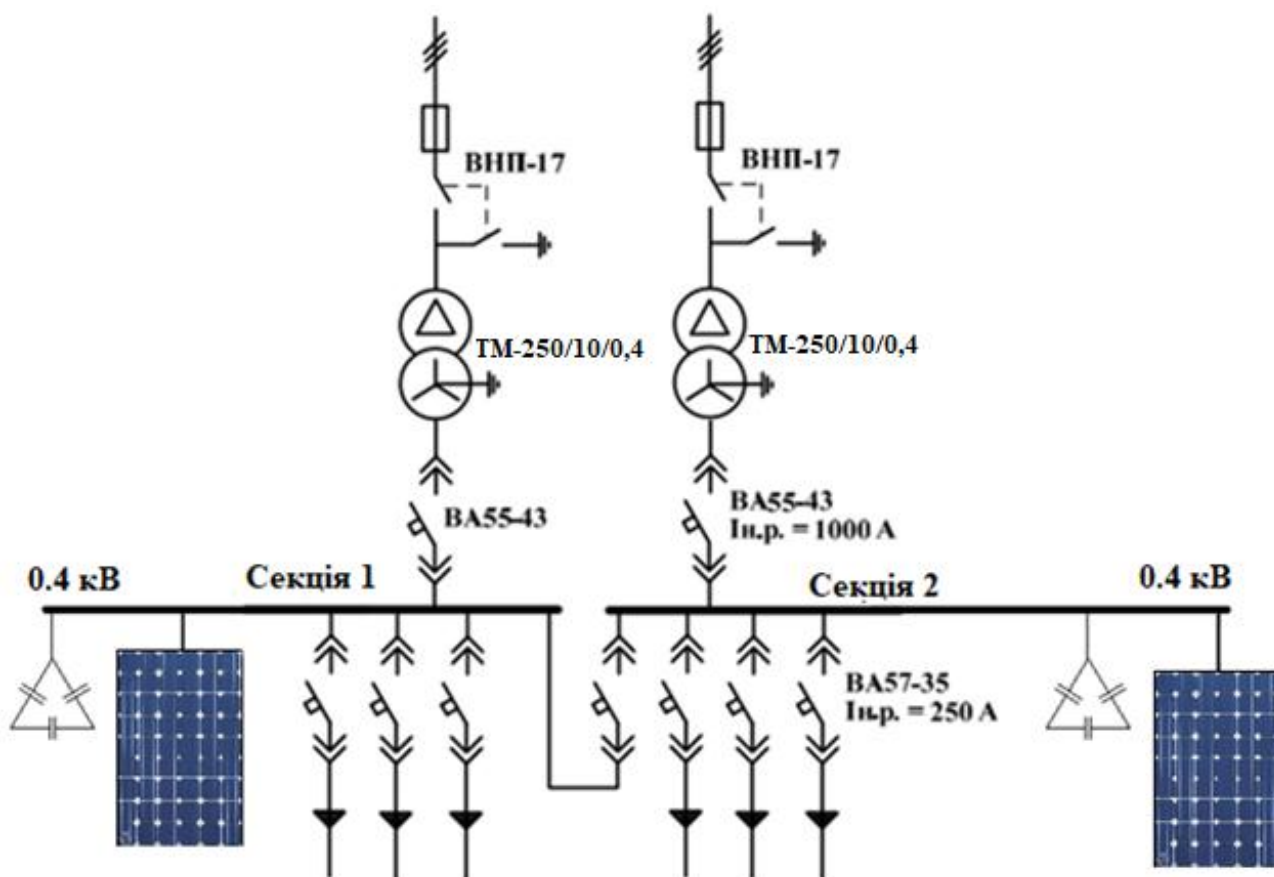


Рисунок 39 – Схема трансформаторної підстанції із використанням сонячної панелі та конденсаторної батареї

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

Установка призначена для підвищення коефіцієнта потужності електроустановок промислових підприємств і розподільних мереж, а також автоматичної підтримки його на заданому рівні. Таке автоматичне регулювання здійснюється спеціальним електронним регулятором реактивної потужності. Апаратура складається з модульних конденсаторних батарей. Конденсатори, які складають конденсаторні батареї, оснащені металізованим пластмасовим регенеруючим діелектриком, що має здатність самовідновлюватися після пробою в діелектрику, розрядними резисторами і роз'єднувачем для захисту від надлишкового тиску.

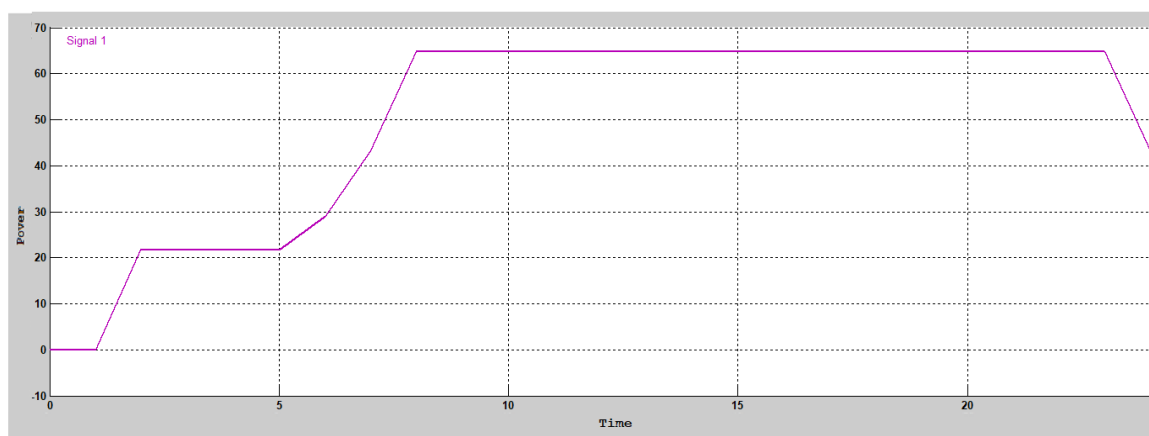


Рисунок 40 – Графік навантаження конденсаторної батареї

По типу фотоелектричного слою сонячні панелі поділяють на такі типи: кремнієві монокристалічні, полікристалічні, полімерні та інші.

Полікристалічні сонячні панелі мають нерівномірний по інтенсивності синій колір через різносторонню орієнтованість кристалів. Чистота кремнію, що використовується при виробництві декілька нижче ніж у монокристалічних аналогів. Різнонаправленість кристалів забезпечує високий коефіцієнт корисної дії при розсіяному світлі, що складає 12-18%. Він нижче, ніж у панелей з однонаправленими кристалами, але в умовах пахмурної погоди такі панелі являються більш ефективними.

Полікристалічні панелі не потребують постійної орієнтації на сонце, тому для їх розміщення активно використовується дахи домів та промислових будівель [11].

До їх переваг можна віднести:

1. висока ефективність в умовах розсіяного світла;
2. можливість стаціонарного монтажу на дахах будівель;
3. менша вартість порівняно з монокристалічними панелями;
4. довготривалість експлуатації.

Стандартна схема простої електростанції представлена на рис. 41.

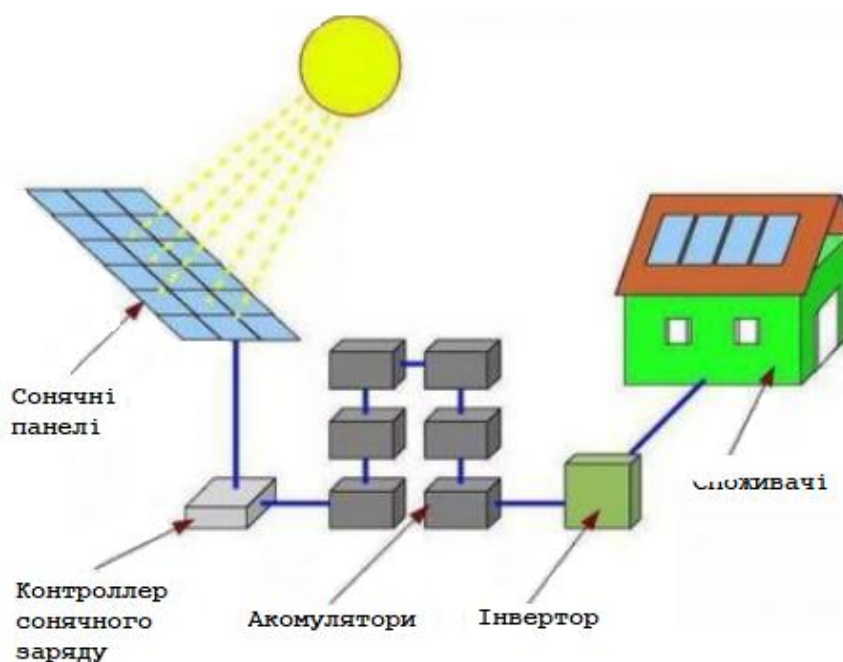


Рисунок 41 – Стандартна схема простої електростанції

Потужність сонячної панелі обираємо таку, щоб її робота не впливала негативно на навантаження трансформатора та коефіцієнт потужності. Експериментальним шляхом ми встановили, що її потужність може складати до 20 кВт.

В нашому випадку ми використовуємо сонячну панель Amerisolar AS-6P30 графік навантаження якої зображений на рис. 42.



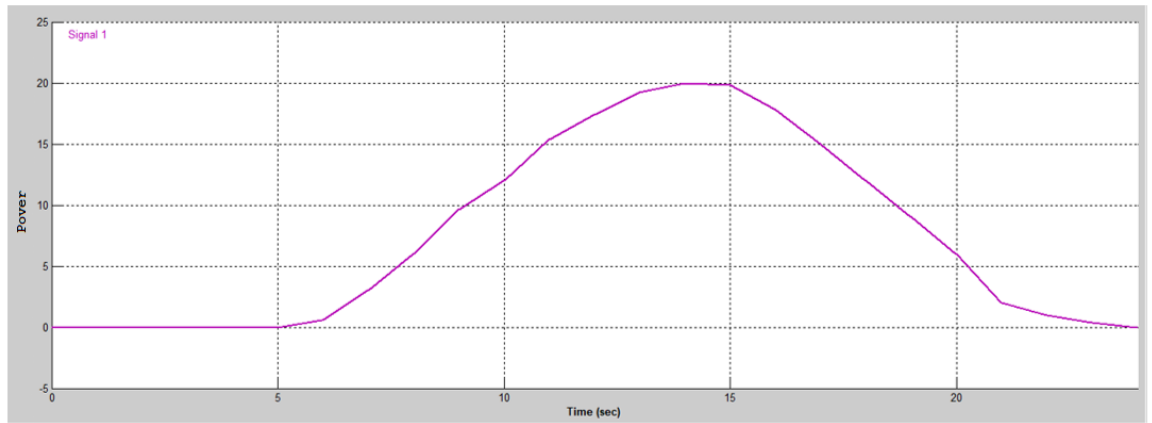


Рисунок 42 – Графік навантаження сонячної батареї

Дані прилади для компенсації ми підключили через ключ для ввімкнення їх в схему за необхідності. Це зроблено для того, аби завжди підтримувати необхідний коефіцієнт навантаження на трансформаторах.

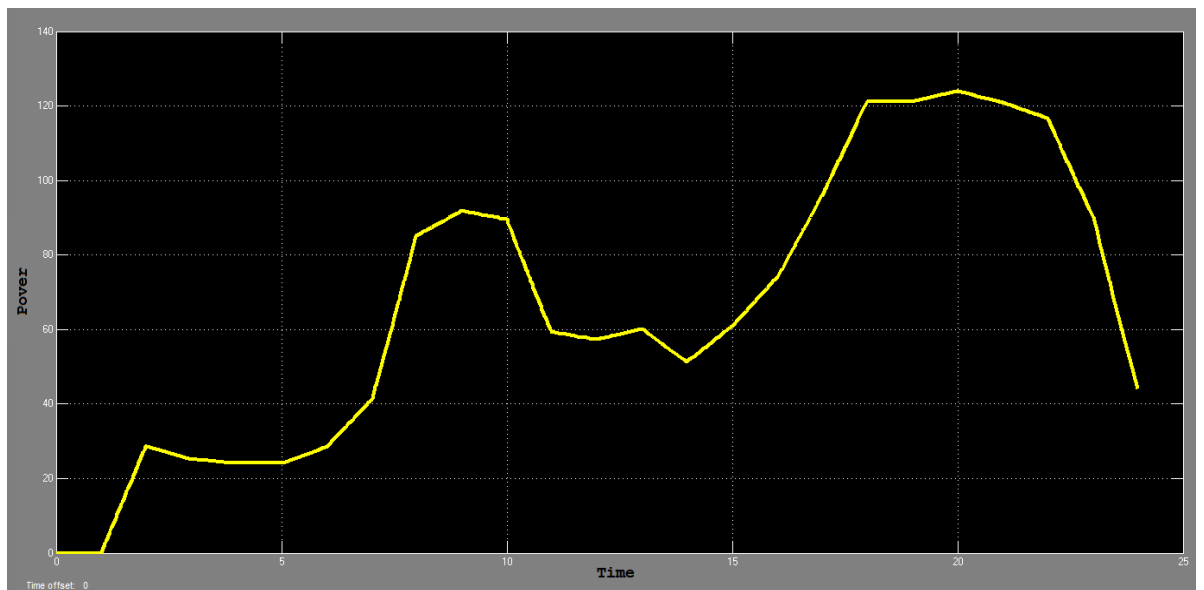


Рисунок 43 – Добовий графік повного навантаження після встановлення сонячної панелі та конденсаторної батареї

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

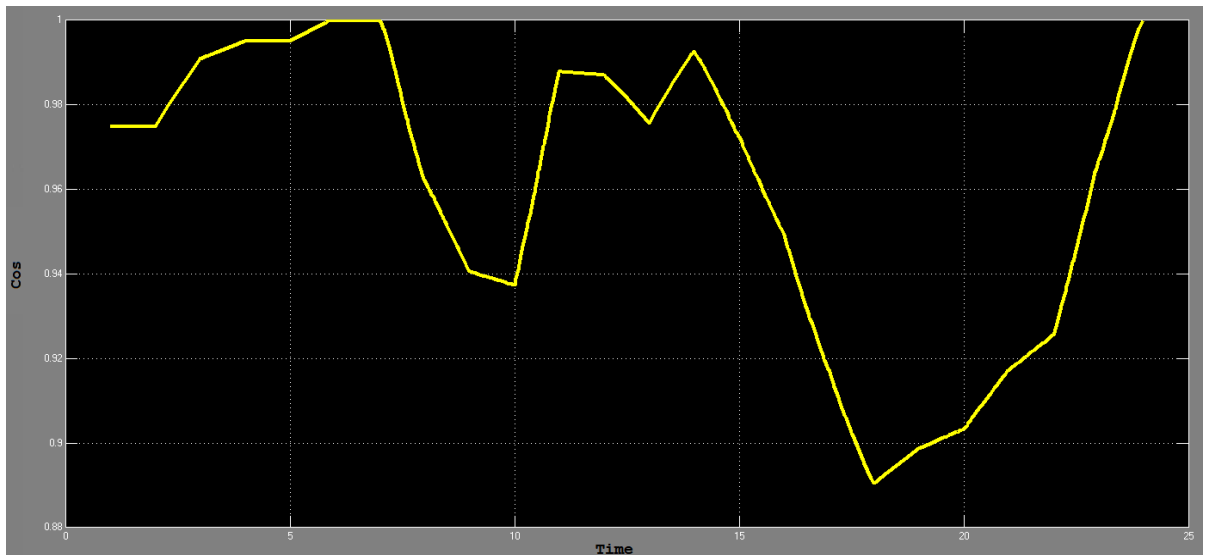


Рисунок 44 – Добовий графік коефіцієнту потужності після встановлення сонячної панелі та конденсаторної батареї

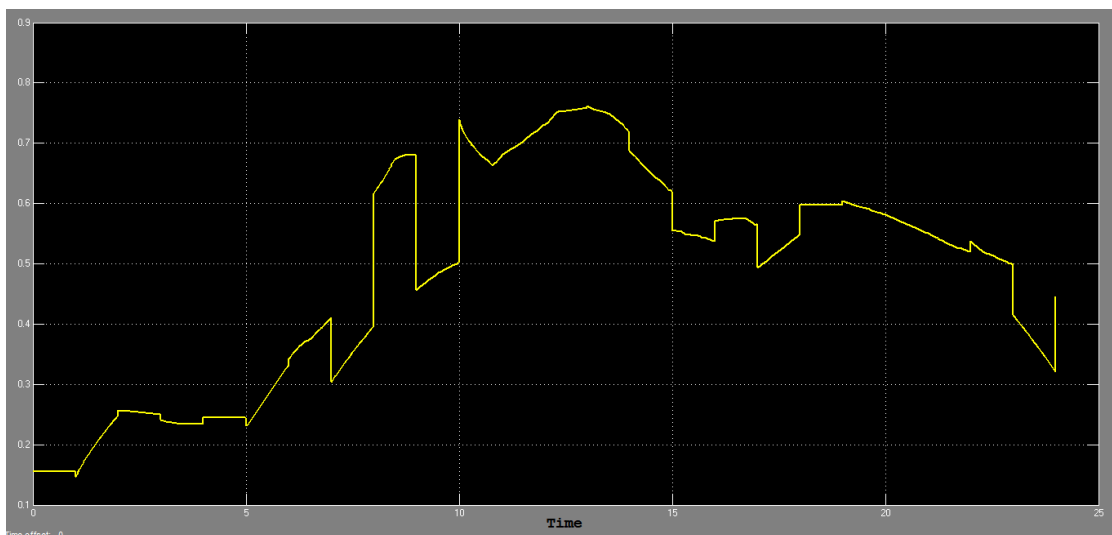


Рисунок 45 – Графік вихідних даних з блоку Fuzzy після встановлення сонячної панелі та конденсаторної батареї

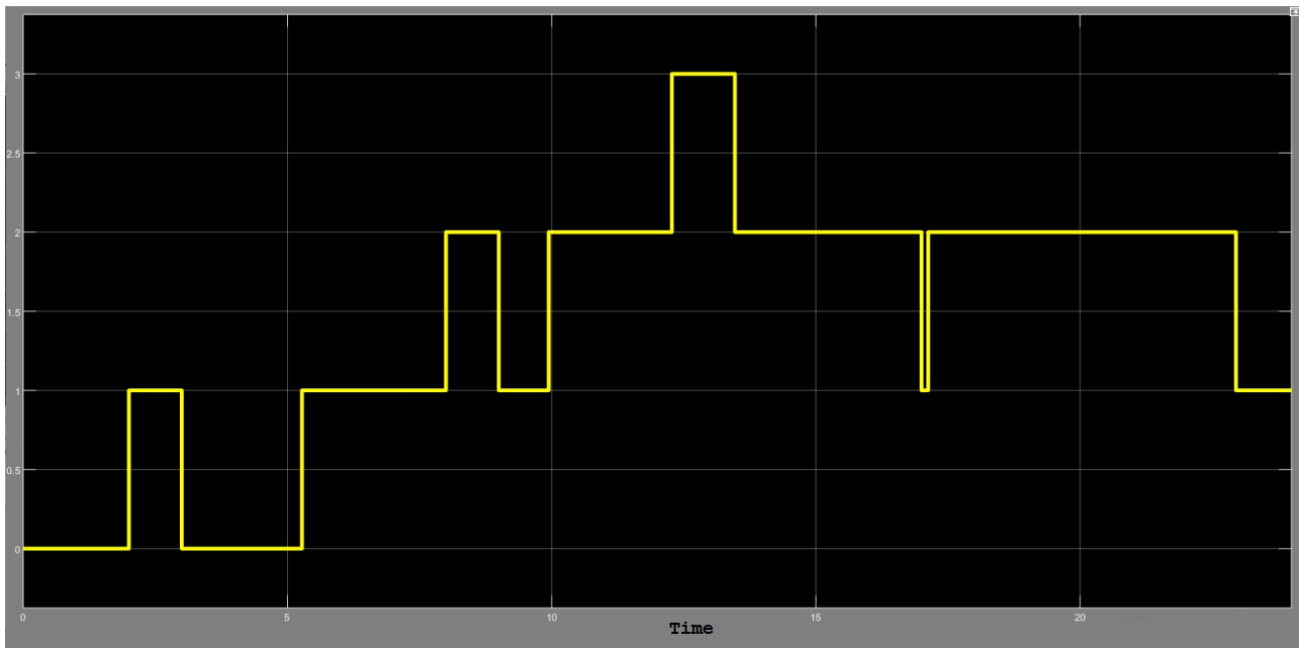


Рисунок 46 – Графік стану системи після встановлення сонячної панелі та конденсаторної батареї

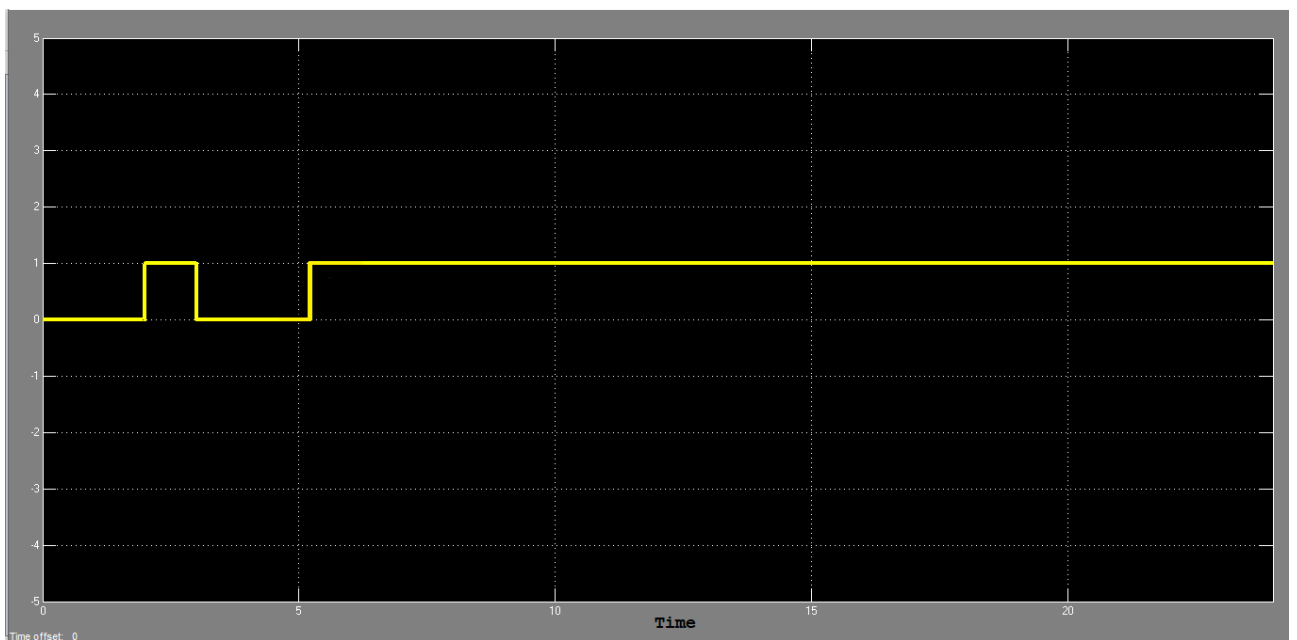


Рисунок 47 – Графік фіксування прояву сигналу «попередження» після встановлення сонячної панелі та конденсаторної батареї

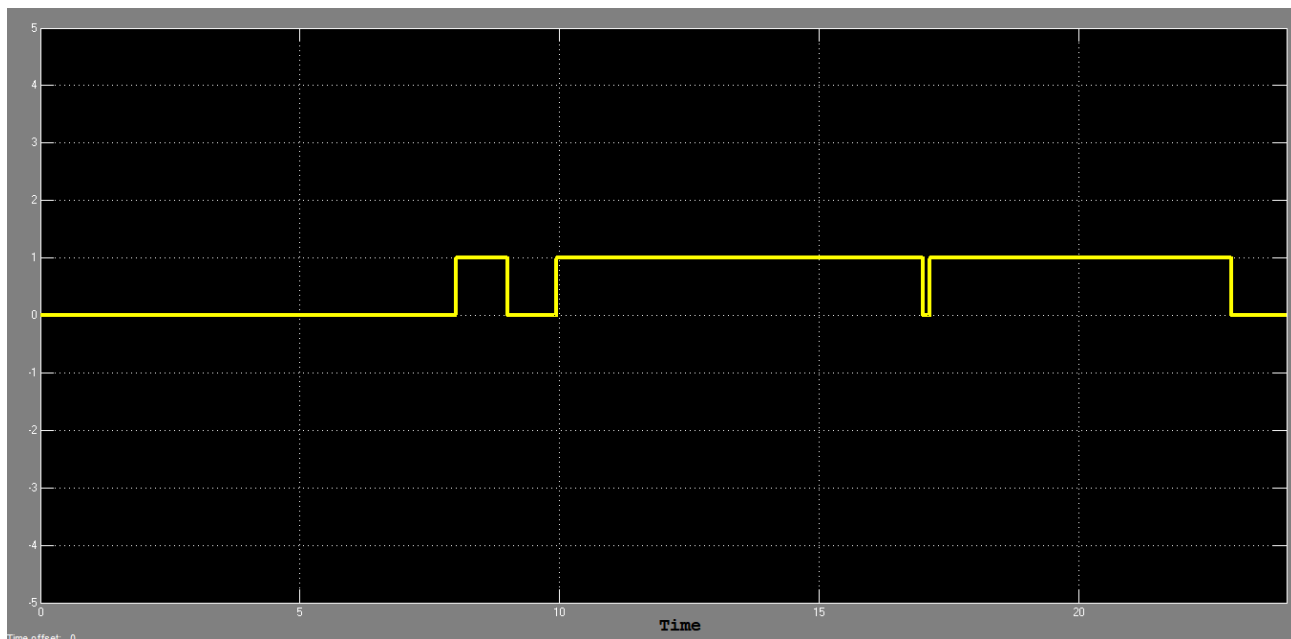


Рисунок 48 – Графік фіксування прояву сигналу «можливі проблеми» після встановлення сонячної панелі та конденсаторної батареї

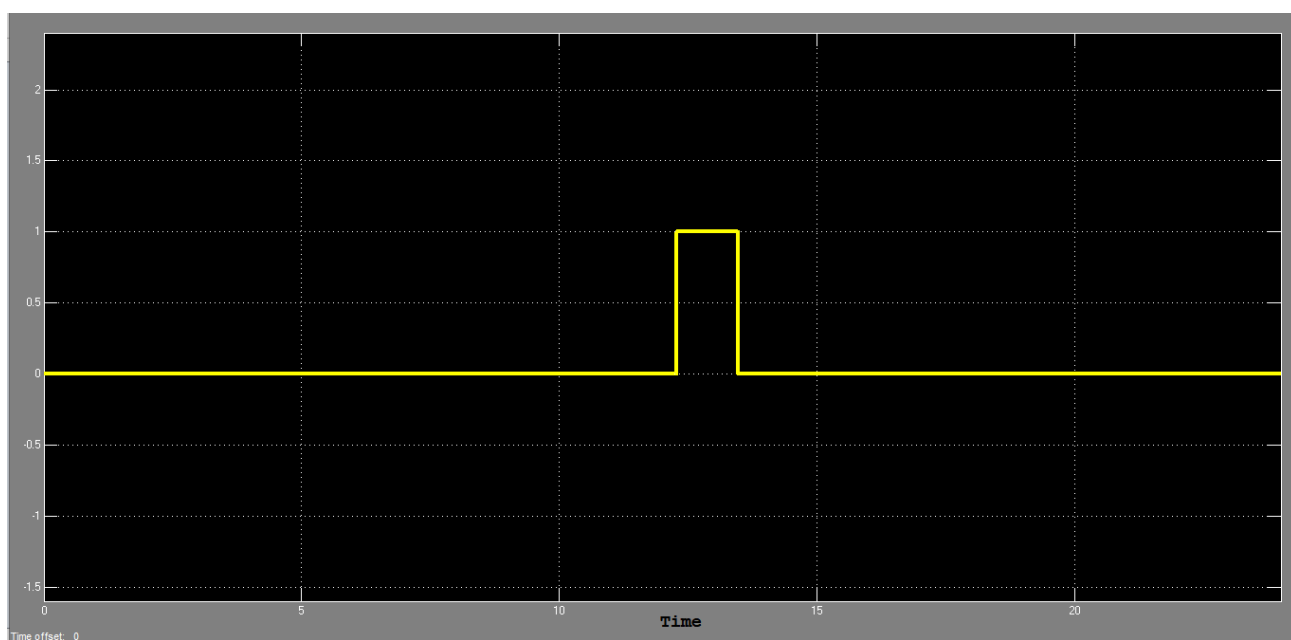


Рисунок 49 – Графік фіксування прояву сигналу «невідкладні проблеми» після встановлення сонячної панелі та конденсаторної батареї

Після аналізу даних після модернізації шляхом встановлення додаткових сонячних панелей та конденсаторної батареї, ми можемо сказати, що ці рішення значно покращили стан трансформатора. Як бачимо на рис. 38,

до встановлення компенсаційних пристроїв за час роботи трансформатора було зафіксовано приблизно 1.8 годин роботи без проблем, 7 годин в стані «попередження», 11.1 годин в стані «можливі проблеми» та 4.1 годин в стані «невідкладні проблеми».

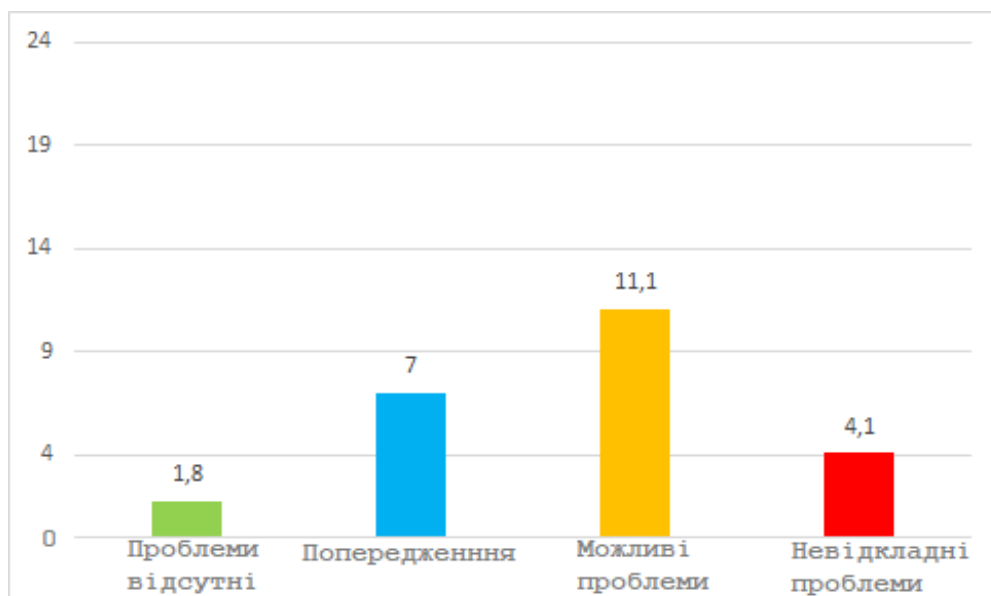


Рисунок 50 – Діаграма станів системи до встановлення компенсуючих пристроїв

Після встановлення сонячної батареї та конденсаторної батареї як показано на рис. 51, кількість невідкладних проблем за добу значно зменшилась, а кількість годин роботи трансформатора без проблем збільшилась, що показує доцільність використання даного методу.

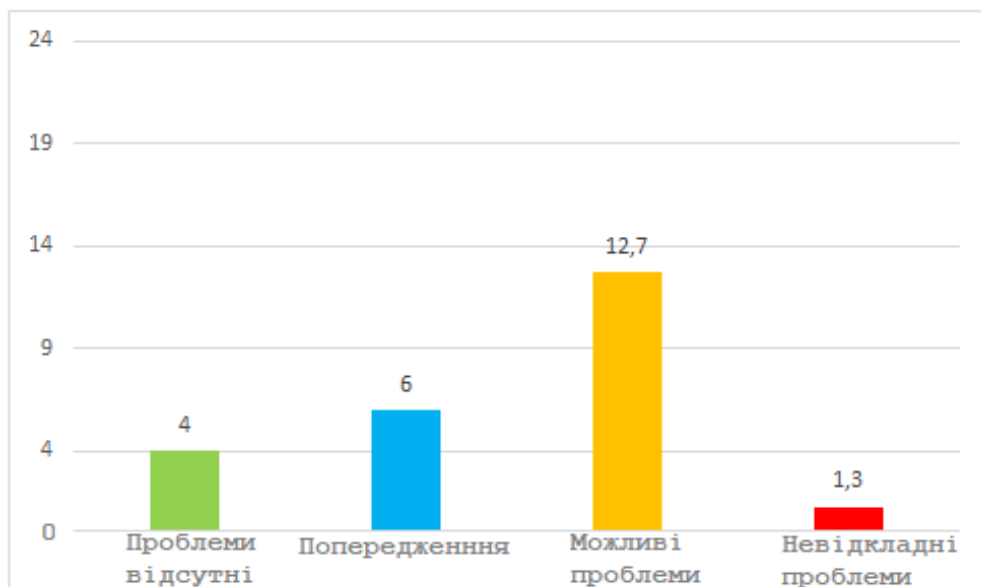


Рисунок 51 – Діаграма станів системи після встановлення компенсуючих пристроїв

Також установка компенсуючих приладів вплинула і на коефіцієнт потужності трансформатора. Як було видно на рис. 23 коефіцієнт навантаження мав значення 0.7071. Як бачило з формул (6.3) та (6.4) середній коефіцієнт потужності після модифікації схеми складає **0,885**, що на 25% відсотків вище ніж до цього.

$$\cos \varphi_{2 \text{ сеп}} = \frac{\sum \cos \varphi_2}{N} \quad (6.3)$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{2 \text{ сеп}} &= \\ &= \frac{0,96 \cdot 2 + 0,98 + 0,987 \cdot 2 + 0,963 + 0,953 + 0,862 + 0,84 + 0,835}{24} \\ &+ \frac{0,864 + 0,859 + 0,84 + 0,854 + 0,835 + 0,815 + 0,805 + 0,815}{24} \\ &+ \frac{0,82 + 0,835 + 0,841 + 0,86 + 0,88 + 0,995}{24} = \frac{20,495}{24} = 0,885 \end{aligned}$$

$$\frac{\cos \varphi_{2 \text{ сеп}}}{\cos \varphi_1} \cdot 100\% - 100\% \quad (6.4)$$

$$\frac{\cos \varphi_{2 \text{ сев}}}{\cos \varphi_1} \cdot 100\% - 100\% = \frac{0,885}{0,7072} \cdot 100\% - 100\% = 25.2\%$$

Вхідні дані для моделювання надходять від генераторів випадкових чисел, які будуть генерувати випадкові числа в межах визначених раніше діапазонів. Кожен генератор випадкових чисел має різне початкове значення, щоб отримати різний набір чисел.

Ця модель (див. Додаток Б). забезпечує основу для майбутніх додатків, які використовуватимуть реальні дані.

У будь-якому майбутньому додатку систему доведеться перелаштовувати, щоб вона відповідала вимогам цієї системи. Тобто створена нами модель досить універсальна тому її можна використовувати і для інших задач. Наприклад для оцінювання якості електроенергії, коректність показів

параметрів що отримуються, аналізу даних роботи приладу чи їх системи, аналіз типу споживача в залежності від його впливу на систему, більш точного аналізу початкових факторів при проектуванні нових електророзподільних мереж чи електростанцій та підстанцій. І це тільки деякі приклади і лише в електроенергетиці.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						47
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4. Охорона праці

### 4.1 Інструкція з охорони праці під час монтажу силових трансформаторів

Дія інструкції поширюється на всі підрозділи підприємства.

Інструкція призначається для проведення інструктажу працівників, які виконують роботи з монтажу силових трансформаторів та маслонаповнених електроапаратів на підприємстві.

Виконання робіт з монтажу силових трансформаторів дозволяється робітникам не молодше 18 років, які пройшли:

- медичний попередній огляд та визнані придатними виконувати роботи електромонтажного профілю;
- навчання в закладах освіти для виконання робіт з підвищеною небезпекою (у професійно-технічних училищах, навчально-курсівих комбінатах, центрах підготовки та перепідготовки робітничих кадрів, в організаціях) за затвердженою програмою;
- навчання та перевірку знань з електробезпеки;
- спеціальне навчання та атестацію з питань пожежної безпеки;
- вступний інструктаж у службі охорони праці;
- первинний інструктаж безпосередньо на робочому місці.

Робітники повинні бути проінструктовані щодо розпорядку на робочому місці, порядку переміщення по території об'єкта, про місце відпочинку під час технологічних та обідньої перерв, порядок закінчення роботи.

До початку робіт у комплексній бригаді проводиться первинний інструктаж з безпечного виконання робіт з основної та суміжних професій та ознайомлення з правилами надання першої допомоги.

Допущені мають виконувати тільки ті роботи, про безпечне виконання яких вони проінструктовані безпосередньо керівником.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						48
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		



Палити дозволяється тільки в спеціально відведених місцях, обладнаних урнами або ємностями з водою.

Роботи на висоті (при підйомі над поверхнею вище, ніж 1,3 м) виконуються тільки з риштувань або помостів.

#### 4.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

Керівник робіт зобов'язаний:

- перевірити ступінь готовності будівельних робіт;
- оцінити виробничі обставини, можливість взаємодії з іншими будівельно-монтажними організаціями у відповідності з проектом виконання робіт (ПВР); можливість застосування машин, механізмів, пристосувань, місця їх установки та порядок проїзду;
- узгодити з відповідними представниками та внести, при необхідності, уточнення в ПВР;
- ознайомити працюючих з ПВР та технологічними картами;
- здійснити первинний інструктаж, який стосується:
  - характеру та безпечних методів виконання робіт;
  - порядку проходів до кожного робочого місця;
  - наявності небезпечних зон та відкритих каналів і траншей, відкритих прорізів, отворів в перекриттях та стінах;
  - порядку розвантаження та складування матеріалів, устаткування та конструкцій;
  - місць та порядку підключення зварювальних трансформаторів, трансформаторів безпеки, електрифікованого інструменту, засобів електроосвітлення, випробувальних апаратів;
  - порядку і місць установки вантажних лебідок та інших механізмів в монтажній зоні;
  - порядку роботи з гідропідйомників, риштувань, підмостків;
  - наявності діючих електроустановок та заборонених зон;

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						49
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

- надання першої допомоги, виклику швидкої медичної допомоги та пожежної охорони, керівника робіт чи організації;

- перевірити наявність та термін дії посвідчень з охорони праці та електро- пожежобезпеки на право виконання спеціальних видів робіт (зварювання, користування пороховими інструментами, газозварювання, монтаж кабельної арматури);

- видати наряд-допуск операторам на виконання робіт підвищеної небезпеки з проведенням цільового інструктажу та записом до журналу реєстрації інструктажів з питань охорони праці. Підписи інструкторів та інструктованих в журналі обов'язкові;

- попередити працюючих, що з'єднання та від'єднання від мережі обладнання, механізмів, інструменту, інвентарних шаф тощо (крім оперативного вмикання і вимикання) в умовах будівельного майданчика виконуються тільки службою експлуатації власника електромережі, якщо немає іншої письмової домовленості з власником.

Електромонтажники зобов'язані:

- підготувати робоче місце: прибрати зайві предмети, звільнити проходи і проїзди, перевірити освітлення, надійність настилів та огорож, перекриття каналів та закриття прорізів;

- перевірити справність драбин, які повинні мати інвентарні номери, що відповідають реєстраційному обліку в журналі, а також тавро з датою наступного випробування;

- помости, риштування та площадки мостових кранів, які використовуються для монтажу силових трансформаторів та мереж, повинні мати по всьому периметру захисну огорожу заввишки не менше 1,1 м та суцільні настили;

- отримати необхідні для виконання робіт засоби індивідуального захисту, інструмент, пристосування і перевірити їх комплектність і справність;

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						50
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

- впевнитися у тому, що маслозбірна яма закрита настилом, підготовлені дренажі, працює вентиляція;
- перевірити наявність металевих ящиків з кришками для ганчір'я;
- впевнитися у тому, що рейкова колія і засоби для транспортування трансформатора від місця його складання до місця встановлення на фундамент підготовлені, а в приміщенні або на монтажному майданчику є вантажопідіймальні механізми чи пристосування відповідної вантажопідіймальності.

#### **4.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи**

- Забороняється виконання робіт з монтажу трансформаторів на відкритих трансформаторних підстанціях в тумані, при вітрі більше 6 балів (12 м/с), під час грози.
- Виводи первинних і вторинних обмоток трансформаторів необхідно закортити і заземлити на весь час проведення електромонтажних робіт. До початку сушіння трансформаторів електричним струмом корпуси (баки) трансформаторів слід заземлити (занулити).
- Працювати на трансформаторі слід з риштування, помостів чи драбини з площадками, обгородженими поручнями.
- Стропування трансформаторів необхідно виконувати за піднімальні скоби (гаки), які передбачені заводом-виробником; у разі відхилення стропа від вертикалі більше, ніж на 30°, слід застосовувати траверсу. Виконання робіт з вантажопідіймальними механізмами із стропування обладнання дозволяється особам, які пройшли навчання, атестовані і мають посвідчення стропальника у відповідності з вимогами ДНАОП 0.00-5.04-95 "Типова інструкція з безпечного ведення робіт для стропальників (зачіплювачів), які обслуговують вантажопідіймальні крани".

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						51
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		



трансформатора вийнята, відведена у бік і встановлена на дерев'яні підкладки, викладені горизонтально по ватерпасу.

- Виконувати зварювальні роботи на трансформаторі і маслоочисній апаратурі необхідно тільки після одержання дозволу на право виконання вогневих робіт.

- Під час паяння одного відводу на трансформаторі інші відводи слід ізолювати, щоб уникнути ураження працюючих наведеним електричним струмом.

- Забороняється виконувати зварювальні роботи або паяння в приміщенні, в якому працюють маслоочисні апарати.

- Забороняється охолоджувати деталі під час паяння водою.

- Щоб запобігти виникненню електричного заряду в процесі заливання або зливання масла з високовольтних трансформаторів, їх виводи слід заземлити.

- У процесі сушіння масла необхідно постійно слідкувати за відсутністю його витікання з бака трансформатора і додержанням температурного режиму.

- Місце сушіння трансформаторного масла повинно бути обгороджене. Не дозволяється стороннім особам перебувати в обгородженій зоні.

- Виконувати вогнебезпечні та інші роботи, не пов'язані з вимогами технологічного процесу, а також зберігати легкозаймисті матеріали в обгородженій зоні не допускається.

- Забороняється суміщення монтажних робіт на трансформаторі з роботами по його випробуванню.

#### **4.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи**

- Не залишати робоче місце до повного закріплення трансформатора (його частин) або іншого монтажного обладнання.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						53
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

- Прибрати зайві предмети, інструменти і пристосування.
- Віднести спецодяг і засоби індивідуального захисту в приміщення для їх зберігання.
- Сповістити безпосереднього керівника про несправності механізмів, пристроїв і інструменту, виявлені під час роботи.

#### 4.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

- У разі виникнення аварійної ситуації (вибух або займання трансформаторного масла, розрив стропа, монтажних петель тощо) слід припинити роботу.
- Огородити небезпечну зону, залишити її, не допускати в неї сторонніх осіб.
- Повідомити про аварійну ситуацію або нещасний випадок керівника робіт.
- Якщо є потерпілі, надати їм першу медичну допомогу; при необхідності, викликати швидку медичну допомогу.
- Перша допомога при нещасних випадках.
- Перша допомога при ураженні електричним струмом.

При ураженні електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроустановку від джерела живлення, а при неможливості відключення - відтягнути його від струмоведучих частин за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал.

При відсутності у потерпілого дихання і пульсу необхідно робити йому штучне дихання і непрямий (зовнішній) масаж серця, звернувши увагу на зіниці. Розширені зіниці свідчать про різке погіршення кровообігу мозку. При такому стані оживлення починати необхідно негайно, після чого викликати швидку медичну допомогу.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						54
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

У разі попадання кислоти або лугу на шкіру необхідно ретельно промити місце ураження водою на протязі 15-20 хвилин, після цього пошкоджену кислотою поверхню обмити 5 %- ним розчином питної соди, а обпечену лугом - 3%-ним розчином борної кислоти або 3 %- ним розчином оцтової кислоти.

У разі попадання на слизову оболонку очей кислоти або лугу необхідно очі ретельно промити водою на протязі 15-20 хвилин, обмити 5 %- ним розчином питної соди (у разі попадання кислоти), а обпечену лугом - 3 %- ним розчином борної кислоти або 3 %- ним розчином оцтової кислоти.

При опіках порожнини рота лугом необхідно полоскати рот 3 %- ним розчином оцтової кислоти або 3 %- ним розчином борної кислоти, при опіках кислотою - 5 %- ним розчином питної соди.

У разі попадання кислоти в дихальні шляхи необхідно дихати розпиленним за допомогою пульверизатора 10 %- ним розчином питної соди, при попаданні лугу - розпиленням 3 %- ним розчином оцтової кислоти.

Для надання першої допомоги при пораненні необхідно розкрити індивідуальний пакет, накласти стерильний перев'язочний матеріал, що міститься у ньому, на рану і зав'язати її бинтом.

Якщо індивідуального пакету якимсь чином не буде, то для перев'язки необхідно використати чисту носову хустинку, чисту полотняну ганчірку і т. ін. На те місце ганчірки, що приходитьсья безпосередньо на рану, бажано накапати декілька крапель настойки йоду, щоб одержати пляму розміром більше рани, а після цього накласти ганчірку на рану. Особливо важливо застосовувати настойку йоду зазначеним чином при забруднених ранах.

При переломах і вивихах кінцівок необхідно пошкоджену кінцівку укріпити шиною, фанерною пластинкою, палицею, картоном або іншим подібним предметом. Пошкоджену руку можна також підвісити за допомогою перев'язки або хустки до шиї і прибинтувати до тулуба.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						55
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

При переломі черепа (несвідомий стан після удару голови, кровотеча з вух або роту) необхідно прикласти до голови холодний предмет (грілку з льодом або снігом, чи холодною водою) або зробити холодну примочку.

При підозріванні перелому хребта необхідно потерпілого покласти на дошку, не підіймаючи його, чи повернути потерпілого на живіт обличчям униз, наглядаючи при цьому, щоб тулуб не перегинався, з метою уникнення ушкодження спинного мозку.

При переломі ребер, ознакою якого є біль при диханні, кашлю, чханні, рухах, необхідно туго забинтувати груди чи стягнути їх рушником під час видиху.

При опіках вогнем, парою, гарячими предметами ні в якому разі не можна відкривати пухирі, які утворюються, та перев'язувати опіки бинтом.

При опіках першого ступеня (почервоніння) обпечене місце обробляють ватою, змоченою етиловим спиртом.

При опіках другого ступеня (пухирі) обпечене місце обробляють спиртом або 3%-ним марганцевим розчином.

При опіках третього ступеня (зруйнування шкіряної тканини) накривають рану стерильною пов'язкою та викликають лікаря.

При кровотечі спочатку слід підняти поранену кінцівку вгору. Рану закрити перев'язочним матеріалом (із пакета), складеним у клубочок, придавити її зверху, не торкаючись самої рани, потримати на протязі 4-5 хвилин. Якщо кровотеча зупинилася, не знімаючи накладеного матеріалу, поверх нього покласти ще одну подушечку з іншого пакета чи кусок вати і забинтувати поранене місце (з деяким натиском).

У разі сильної кровотечі, яку не можна зупинити пов'язкою, застосовується здавлювання кровоносних судин, які живлять поранену область, за допомогою згинання кінцівок в суглобах, а також пальцями, джгутом або закруткою, У разі великої кровотечі необхідно терміново викликати лікаря.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
						56
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		



					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		57

## Висновки

У даній роботі в середовищі Matlab Simulink була створена модель, що на основі нечіткої логіки реагує на відповідні параметри роботи трансформатора та надає інформацію про його стан. Також надані поради щодо покращення умов експлуатації трансформатора за допомогою використання конденсаторних батарей та сонячних панелей.

Нечітка логіка є корисним інструментом для моніторингу стану роботи трансформатора. Розроблена модель може бути використана для контролю коефіцієнта завантаження та коефіцієнту потужності трансформатора, направлення керуючих сигналів на щит автоматичного керування для оптимізації режиму роботи трансформатора або, у випадку відсутності дистанційного автоматичного керування, для надання рекомендацій оператору щодо покращення режиму роботи трансформатора. У випадку відсутності автоматичного керування, черговий персонал може виконати оперативні перемикання, відповідно до рекомендацій алгоритму нечіткої логіки в ручному режимі. При використанні моделі легко встановити поточний стан обладнання, за допомогою індикаторів: «відсутність проблем», «попередження», «можлива проблема» і «невідкладна проблема», що значно полегшує контроль за ним.

Для покращення ККД і оптимізації роботи трансформатора застосували наступні методи: встановлення конденсаторних батарей та використання сонячних панелей. Запропонована модель дозволяє уникнути перевантажень трансформатора, викликаних гармоніками напруги, температурою навколишнього середовища, перевантаженням мережі, та продовжити його термін експлуатації. Також в процесі дослідження була підтверджена доцільність використання відновлювальних джерел енергії (сонячних панелей) для зменшення навантажень в розподільчій мережі промислового підприємства, що сприяє оптимізації режимів роботи силових трансформаторів.

									Арк
									58
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата	БР 3.6.141.369 ПЗ				

Використовуючи конденсаторну батарею типу УКРМ-0,4-64,8-7.2 УЗ та сонячні панелі Amerisolar AS-6P30 ми зменшили кількість годин в стані «невідкладні проблеми» на 2,8 години протягом доби, в стані «попередження можливі проблеми» – на 1 годину, збільшили час роботи системи с стані «можливі проблеми» на 1,6 годин, а в стані «відсутні проблеми» – на 2,2 годин. Коефіцієнт потужності трансформатора зріс на 25,2 відсотків.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		59

## Список літератури

- [1]. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций 1986. — 640 с.
- [2]. П. О. Василега. Електропостачання Підручник 2019. — 521 с.
- [3]. А.К. Шидловский А.Ф.Жаркин. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях 2005. — 211 с
- [4]. Шершень Олег Ігорович. Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективність на тему: «Вплив коливань частоти напруги в електричній мережі та точність визначення гармонічного аналізу» 2018. — 99 с
- [5]. B. R. Klingenberg and P. F. Ribeiro. Fuzzy logic application for time-varying harmonics 2009. — 13 с
- [6]. В. Дьяконов, В. Круглов. Математические пакеты расширения Matlab. Специальный справочник. — Санкт-Петербург: Питер, 2001 — 488 с
- [7]. Сайт гідрометеорологічного центру України <https://meteo.gov.ua/ua/>
- [8]. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначенстві Київ Мінекономрозвитку України 2014. — 32 с
- [9]. Лебединський І.Л. Конспект лекцій з дисципліни Теоретичні основи електротехніки м. Суми 2019
- [10] Сайт виробника конденсаторних батарей: <https://www.svaltera.ua>
- [11] Енергозбереження і енергоефективність - 1 конспект лекцій Київ 2014 — 107 с
- [12]. Перемітько В.В. Усенко Б.О. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування зварювальних цехів» для студентів спеціальності 7.05050401 - «Технології та устаткування зварювання» 2013. — 163 с
- [13]. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети 2001. — 201 с

									Арк
									60
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата					

[14]. Карамышев А.Н. Основы нечеткой логики. Учебно-методическое пособие к практическим занятиям и лабораторным работам 2018. — 43 с

[15]. Франсуа Шеври, Франсуа Гели. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 31 Нечеткая логика 2009. — 32 с

[16]. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД "Університетська книга", 2007. – 280 с.

					БР 3.6.141.369 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		61

## Додаток А. Правила логіки спрощеної моделі

Якщо гармоніки напруги:	Та температура:	То результат:
Дуже низькі	Нижче норми	Проблеми відсутні
Дуже низькі	Нормальна	Проблеми відсутні
Дуже низькі	Вище норми	Проблеми відсутні
Дуже низькі	Перегрівання	Попередження
Низькі	Нижче норми	Проблеми відсутні
Низькі	Нормальна	Проблеми відсутні
Низькі	Вище норми	Попередження
Низькі	Перегрівання	Можливі проблеми
Середні	Нижче норми	Проблеми відсутні
Середні	Нормальна	Попередження
Середні	Вище норми	Можливі проблеми
Середні	Перегрівання	Можливі проблеми
Високі	Нижче норми	Попередження
Високі	Нормальна	Можливі проблеми
Високі	Вище норми	Можливі проблеми
Високі	Перегрівання	Невідкладна проблема
Дуже високі	Нижче норми	Можливі проблеми
Дуже високі	Нормальна	Можливі проблеми
Дуже високі	Вище норми	Невідкладна проблема
Дуже високі	Перегрівання	Невідкладна проблема



**Додаток В. Таблиця логіки розширеної моделі, що враховує гармоніки напруги, температуру та навантаження**

<b>Гармоніки напруги</b>	<b>Температура</b>	<b>Навантаження</b>	<b>Результат</b>
Будь-які	Будь-яка	Високе	Невідкладна проблема
Низькі	Низька	Низьке	Проблеми відсутні
Низькі	Низька	Нормальне	Попередження
Низькі	Середня	Низьке	Проблеми відсутні
Низькі	Середня	Нормальне	Попередження
Низькі	Висока	Низьке	Попередження
Низькі	Висока	Нормальне	Можлива проблема
Нормальні	Низька	Низьке	Проблеми відсутні
Нормальні	Низька	Нормальне	Попередження
Нормальні	Середня	Низьке	Попередження
Нормальні	Середня	Нормальне	Можлива проблема
Нормальні	Висока	Низьке	Можлива проблема
Нормальні	Висока	Нормальне	Невідкладна проблема
Високі	Низька	Низьке	Попередження
Високі	Низька	Нормальне	Можлива проблема



Продовження додатку В

<b>Гармоніки напруги</b>	<b>Температура</b>	<b>Навантаження</b>	<b>Результат</b>
Високі	Середня	Низьке	Можлива проблема
Високі	Середня	Нормальне	Невідкладна проблема
Високі	Висока	Низьке	Можлива проблема
Високі	Висока	Нормальне	Невідкладна проблема