

**ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»**  
**Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій**  
**Кафедра електричної інженерії**

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

|             |                      |
|-------------|----------------------|
| _____       | О. КОЛЛАРОВ          |
| (підпис)    | (ініціали, прізвище) |
| «___» _____ | 2023 р.              |

**Кваліфікаційна робота**  
**бакалавра**

на тему Дослідження та оптимізація режимів роботи електричних мереж в умовах високих навантажень.

Виконала: студентка 3 курсу, групи ЕЛКЗ-19  
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

|                                                                |          |
|----------------------------------------------------------------|----------|
| ЮРЧЕНКО Євгенія                                                |          |
| (ім'я та прізвище)                                             |          |
| Керівник <u>Ст. викл. каф. «ЕлІн», Е. НЄМЦЕВ</u>               | (підпис) |
| (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) | (підпис) |

|                                                                |          |
|----------------------------------------------------------------|----------|
| Рецензент _____                                                |          |
| (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) | (підпис) |

Нормоконтроль:

\_\_\_\_\_ Е. НЄМЦЕВ  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(дата)

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент(-ка) \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(дата)

ЛУЦЬК – 2023 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД**  
**«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

**Кафедра електричної інженерії**

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**  
**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_  
(О. КОЛЛАРОВ )

«        » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ**  
**Євгенії ЮРЧЕНКО**

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Дослідження та оптимізація режимів роботи електричних мереж в умовах високих навантажень.

керівник роботи Едуард НЕМЦЕВ, ст. викл. каф. «ЕлІн»,  
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ 2

2. Строк подання студентом роботи 6 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Електрична мережа, котра включає  
джерело живлення із  $U_{\text{ном}}=110$  (кВ), три ТП: 110/35/10(кВ); 35/6 (кВ); 6/0.4 (кВ)  
У ланці навантаження знаходяться електроприймачі із  $n_{\text{кл}}=30$ , зазначена й  
величина потужності.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Проведення аналізу роботи електромереж при високому навантаженні.  
Дослідження методів прогнозування та уникнення їх тривалого протікання.

2. Розрахунок та вибір основних електричних компонентів обраної системи  
управління електромережі.

3. Складання та аналіз роботи математичної моделі досліджуваної системи.  
Впровадження інтелектуальних систем керування режимами мережі.

4. Огляд заходів, щодо виконання дій направлених на безпеку обслуговуючого  
персоналу електричної мережі, та електрообладнання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Дванадцять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ         | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|----------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Розділ 4.1–4.3 | Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.                 |                |                  |
| Розділ 4.4     | О. КОЛЛАРОВ, зав. каф. ЕлІн               |                |                  |
|                |                                           |                |                  |
| Нормоконтролер | Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф                  |                |                  |

7. Дата видачі завдання 8 травня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1.    | Розділ 1                      | 08.05–14.05.23                |          |
| 2.    | Розділ 2                      | 14.05–22.05.23                |          |
| 3.    | Розділ 3                      | 23.05–29.05.23                |          |
| 4.    | Розділ 4                      | 30.05–03.06.23                |          |
| 5.    | Охорона праці                 | 04.06–06.06.23                |          |
|       |                               |                               |          |

Студентка \_\_\_\_\_  
(підпис)

Євгенія ЮРЧЕНКО  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Едуард НЄМЦЕВ  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Є. ЮРЧЕНКО «Дослідження та оптимізація режимів роботи електричних мереж в умовах високих навантажень.» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023 р.

Протягом виконання дипломної роботи було досліджено та вирішено проблему різкого перевантаження електричних мереж. Це стало можливо завдяки проекту системи, котра виконує діагностику електромережі у реальному часі, а також за допомогою існуючої бази даних робить прогнозування майбутнім перевантаженням мережі.

Проте для того, аби втілити дану модель у життя, впровадження однієї тільки системи замало, під час виконання аналізу цього питання (на початку роботи), було встановлено, що варто також провести й певну модернізацію систем із автоматизації та релейного захисту. Вони будуть виконавчими елементами єдиної системи, де головними компонентами буде мікропроцесор із інтелектуальною системою.

Після обрання основних пристроїв, налаштування їх працездатності із другими компонентами системи, оптимізації, щодо часу опрацювання вхідної інформації й періоду надсилання команд комутаційним пристроям, була виконана та досліджена у заданих режимах математична модель у пакеті Matlab.

Ключові слова: ТРАНСФОРМАТОР, СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, МАТЛАВ, ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ, СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА, РОЗПОДІЛЬНІ МЕРЕЖІ, НАВАНТАЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНЕ, ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ, ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА

## ЗМІСТ

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Перелік умовних скорочень                                                                                  | 7  |
| ВСТУП                                                                                                      | 8  |
| 1. АНАЛІЗ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ІЗ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯМ. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ. | 11 |
| 1.1. Аналіз проблематики перевантаження електромереж, сучасні методи її вирішення.                         | 11 |
| 1.2. Аналіз основних графіків електричних навантажень, їх види та основні показники.                       | 15 |
| 1.3. Пристрій зі штучним інтелектом, як ядро управління електричними мережами.                             | 20 |
| 2. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР СУЧАСНИХ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ.                                            | 27 |
| 2.1 Вибір електричних компонентів досліджуваної мережі.                                                    | 27 |
| 2.2. Розрахунок й обрання комутаційної апаратури.                                                          | 39 |
| 2.2.1 Вибір пристрою розподіленої електричного постачання високої напруги.                                 | 39 |
| 2.2.2 Вибір роз'єднувачів й вимикачів у розподільчому пристрої низької напруги.                            | 42 |
| 3. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ПРИЛАДІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ І АВТОМАТИКИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ.                | 47 |
| 3.1 Вибір систем захист ліній із навантаженням.                                                            | 47 |
| 3.2 Реалізація пристрою керування навантаженням.                                                           | 57 |
| 4. РОЗРОБКА ТА ПЕРЕВІРКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ЗІ ПРИСТРОЄМ КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ.           | 61 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| ВИСНОВКИ                   | 64 |
| Список використаних джерел | 66 |
| ДОДАТОК А                  | 68 |
| ДОДАТОК Б                  | 69 |
| ДОДАТОК В                  | 80 |

## Перелік умовних скорочень

ЕЕ– електроенергія;

СЕС – системи електропостачання;

СРГ – система розподіленої генерації;

РП– режим перевантаження;

ГП – головна підстанція;

ШНМ – штучні нейронні мережі;

СДМ – система діагностики мережі;

СПН – система прогнозування навантаження.

## ВСТУП

Об'єктом дослідження у дипломній роботі виступає електромережа, основні режими в ній, система, котра виконує прогнозування перевантаження та виконує розподіл енергії.

Метою дипломної роботи є оптимізація режимів досліджуваної мережі із ціллю зниження уникнення протікання перевантаження енергосистеми.

Одним із головних чинників, котрий потребує зменшення до нерівномірного споживання енергії, є електромережі, котрі вже відпрацювали свій певний ресурс (знаходяться давно в експлуатації), котрі відповідно доволі важко сприймають різке і нерівномірне збільшення навантаження. Та відповідно потребують своєї модернізації. Для таких мереж, а відповідно й підприємств, що отримують живлення від них, оптимізація режимів споживання електрики послугує поштовхом до зменшення собівартості виробленої продукції, а також й збереження конкурентоспроможності серед інших підприємств. Тож як бачимо проблема вирішення питань із перевантаження виходить за рамки електроенергетики й впливає певним чином на інші галузі промисловості України. Тому й актуальність поставленого у дипломній роботі питання обумовлено покращенням передачі енергії в цілому від джерела живлення і до споживача, без додаткових втрат енергії.

Характерною рисою у функціонуванні розподільних мережевих систем та комплексів постачання електрики сьогодення виступає підвищений коефіцієнт щільності електроенергії, котра транспортується, як протягом нормальних, так при аварійних (або інших ненормальних) режимах роботи. В енергетиці України формуються поступово й класи інтелектуальних розподільних мереж, що призводить до зміни існуючої структури ієрархії на складні та розгалужені мережі, що означає випадки за яких великі електричні станції й цілі потужні вузли навантаження поєднуються із великою кількістю джерел енергії із малою потужністю (або й альтернативних) й таким же навантаженням.

Побудова подібних комплексів має мету впровадження більш сучасного й вдосконаленого силового електрообладнання (котре експлуатується в мережі), а також й більш сучасних технологій із транспортування та розподілу електричної енергії. Сьогодні відбувається інтенсивна робота із проектування засобів та вузлів технологічного керування режимами електромереж завдяки застосування спеціалізованих інформаційних, комунікаційних, мікропроцесорних комплексів й пристроїв автоматизації та релейного захисту, котрі у подальшому здатні стати центрами із обробки поточної інформації й подальшого впливу (керування) на силові елементи мережі.

Розвиток розподільних електричних мереж пов'язаний передусім із вирішенням двох основних завдань:

- Забезпечення задовільних параметрів якості напруги у вузлах системи електропостачання (СЕС).
- Оптимізації процесів, щодо розподілу потоків потужності, з урахуванням критерію мінімальних втрат потужності та витрат на генерацію та послідовуючу передачу електроенергії.

У сучасних умовах на ринку електроенергії, розв'язання складного завдання, щодо розподілу активних й реактивних потужностей в не цілком однорідних замкнених електромережах є доволі неефективним, та може призводити й до нераціонального розподілу самих потужностей, а звідси й до збільшення втрат електроенергії.

В свою чергу збільшення втрат пов'язане із передачею значних потоків реактивної потужності через електромережі від джерел, котре може спричиняти порушення параметрів стійкості енергосистеми внаслідок т.з. «лавини» напруги.

Що ж до вартості ЕЕ й потужності то вона визначається не тільки за витратами потужності, а ще й за ступенем завантаженості найбільш оптимальних із точки зору генерації електростанцій. Із метою зменшення втрат на виробництво ЕЕ та при цьому виконати проведення оптимального розподілу активних та реактивних значень потужності, котрі передаються електричними

мережами різної напруги, для складних розгалужених неоднорідних електромереж необхідно застосовувати примусовий розподіл потоків. Варто відзначити також, що оптимізація є необхідною, як під час нормальних, так і вже у режимах після протікання аварій, коли декотрі лінії електричного пересилання можуть виводяться у ремонтний стан, а топологія електромережі змінюється.

Випускна кваліфікаційна робота має обсяг 82 машинописні сторінки, яка складається із вступу, чотирьох основних розділів, переліку використаної літератури, котрий складається із 10 найменувань та загальних висновків. Також робота має 3 додатки, 9 таблиць та 26 рисунків.

## 1. АНАЛІЗ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ІЗ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯМ. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ.

1.1 Аналіз проблематики перевантаження електромереж, сучасні методи її вирішення.

Одним із варіантів вирішення проблематики основної теми роботи – перевантаження електричних мереж є зниження втрат й збільшення коефіцієнту пропускної спроможності самих мереж. Розв'язання такого завдання пов'язане, в першу чергу, із оптимізацією виробничого й технологічного процесу, що несе в собі наступні етапи [1, 3]:

1) Часове рознесення навантажень найбільших за потужністю електричних приймачів, із метою зниження пікових навантажень, в наслідок чого буде відбуватися й зниження втрат потужності й струму в мережі.

2) Зменшення у споживанні електричної енергії, котрі йдуть на власні потреби.

3) Певне обмеження роботи у холостому режимі електричних приймачів.

4) Розподіл навантаження протягом доби, наприклад, робота під час нічних змін, коли відбувається зменшення сумарного навантаження електричної мережі [3].

Як наслідок, виконання розглянутих вище заходів має місце вирівнювання графіка за навантаженням та поступове зменшення втрати електроенергії в мережах.

Разом із цим втрати величиною активної потужності ( $\Delta P$ ), котрі з'являються у елементі електромережі (до прикладу, повітряної чи кабельної лінії або трансформаторі), можуть залежати не тільки від самого значення активної потужності ( $P_d$ ), котре протікає мережею, а ще й від реактивної складової ( $Q_d$ ), що характеризує вираз (1.1).

$$\Delta P = \frac{(P_{\text{д}} + Q_{\text{д}}) \cdot R}{U_{\text{ном}}^2} \quad (1.1)$$

Саме через це важливим напрямом, щодо зменшення втрат за активною потужністю й енергії виступає компенсація й реактивної потужності.

Із метою вирішення завдання, щодо оптимізації режиму електромережі і зниження втрат варто мати інформацію про розподіл потоків за потужністю у гілках електромережі. Через роботу великої кількості приймачів та конфігураційні зміни електромережі, потоки за потужністю частіше є випадковими процесами, через це й визначення розподілу за потоком стає доволі важким завданням особливо, якщо це стосується кільцевих, розгалужених мереж [6, 8].

Також варто додати, що величина середньої активної потужності на підприємстві, під час найбільш завантаженого циклу(або зміни) для будь-якої силової групи приймачів, котрі працюють у однаковому режимі роботи, можливо визначити, як:

$$P_{\text{с.ц.}} = P_{\text{с.ном}} \cdot K_{\text{в.а.}} \quad (1.2)$$

де: –  $P_{\text{с.ном}}$  – величина номінальної сумарної активної потужності приймачів групи, що приведена для приймачів із режимом роботи - повторно-короткочасним;

–  $K_{\text{в.а.}}$  – значення коефіцієнту використання для групи приймачів.

Якщо визначати величину середньої реактивної потужності під час найбільш завантаженого циклу(або зміни) ( $Q_{\text{с.ц.}}$ ), тоді для будь-якої силової групи приймачів, із наявним струмом відставання (тобто навантаження має активно – індуктивний характер), котрі працюють у однаковому режимі роботи,

можливо визначити вже двома шляхами. Перший буде мати схожий вигляд, як і для активної потужності:

$$Q_{c.ц.} = Q_{c.ном} \cdot K_{в.а.} \quad (1.3.1)$$

де:  $Q_{c.ном}$  – величина номінальної сумарної реактивної потужності приймачів групи, що приведена для приймачів із режимом роботи - повторно-короткочасним;

А другий спосіб передбачає використання вже наявного коефіцієнту потужності групи приймачів

$$Q_{c.ц.} = Q_{c.ном} \cdot K_{в.а.} \quad (1.3.2)$$

Тоді відповідні значення струму та навантаження середньоквадратичні ( $I_{ск.}$ ,  $P_{ск.}$ ,  $Q_{ск.}$ ) за довільний інтервал часу можливо визначити за допомогою виразів (1.3)

$$\begin{aligned} I_{ск.} &= \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t I_{c.ц.}(t) dt}; \\ P_{ск.} &= \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t P_{c.ц.}(t) dt}; \\ Q_{ск.} &= \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t Q_{c.ц.}(t) dt} \end{aligned} \quad (1.3.3)$$

Найбільш розповсюдженим методом, котрий дозволяє обчислювати втрати в електромережі виступає метод опорів еквівалентних. У відповідності

до даного методу варто обчислити еквівалентний опір декотрого нерозгалуженого умовного ланцюга, де величина струму є рівною до струму на головній ділянці електромережі, а величина втрат відповідна дорівнює втратам у самій мережі [8].

В той же час на цьому етапі приймається припущення про те, що під час зміни струму та на усіх інших ділянках електромережі надалі струм змінюються пропорційно. Проте тоді варто додати (через припущення вище), що цей метод оцінки втрат потужності є доволі наближеним, і тому не дозволяє із високою точністю визначати розподіл потоку у електромережі сучасних підприємств промисловості, особливо якщо відбувається різка змінна навантажень, а також наявних різноманітних факторів, котрі впливають на сам технологічний процес.

Якщо підбивати підсумки проведеного аналізу [1-3], то можна відмітити, що переважна більшість алгоритмів й методів аналізу та розрахунку режимів електроенергетичних систем мають підґрунтя на застосуванні визначених (або детермінованих) моделей. В той же час характеристика процесу має чітке визначення при встановлених схемах й параметрах режиму [4, 9].

Дані моделі можуть характеризуватися високою швидкістю та точністю, усі фактори, котрі здійснюють вплив, ураховуються якомога точніше. Проте, для характерної оцінки якогось певного одного чи декількох показників на основі таких моделей, призводить до того, що кожен раз варто проводити розрахунки за розгорнутою схемою із відповідною початковою підготовкою виміру вихідних даних, а через це і збільшеним розрахунковим часом. Тоді аби оптимізувати час розрахунку стає неможливим ураховувати усі чинники впливу, а особливо ті що мають ймовірнісний характер. Тож і результат таких розрахунків виходить із закладеною на початку помилкою, що відповідно може відобразитися зменшенням ефективності та достовірності остаточного розв'язання поставленої задачі.

## 1.2 Аналіз основних графіків електричних навантажень, їх види та основні показники.

Навантаження електричні можуть бути класифіковані у залежності від споживання окремими пристроями; певними групами споживачів, котрі розміщені у цехах; групами об'єднаних цехів або ж усім загальним підприємством. Із метою вимірювання навантаження електричного, застосовуються вимірювальні прилади, і зміни у активній й реактивній потужності, як правило, записуються в вигляді кривої ступінчатої за даними лічильників відповідно активної та реактивної енергії, котрі фіксують показники через певні інтервали часу.

Графіки навантаження виступають корисним інструментом для аналізу роботи електричних установок, під час проектування електропостачальних систем, прогнозування електричного споживання, планування розкладу ремонтів й для забезпечення нормального режиму роботи [5].

Функції змін струму, активної й реактивної потужності за часом мають назву графіками навантаження, котрі розділяються на індивідуальні (для певних споживачів), а також групові (відповідно для спільної групи приймачів електрики) згідно із визначеною методикою [1, 7].

За елементами енергетичної системи, до котрої вони належать, розділити графіки можна на наступні групи:

- 1) графіки навантажень самих споживачів, які визначають на власне шинах підстанцій;
- 2) графіки мережевих навантажень, тобто на шинах вузлових та районних підстанцій;
- 3) графіки навантаження електричних станцій;
- 4) графіки навантаження усієї енергетичної системи, котрі характеризуються її результуючими навантаженнями.

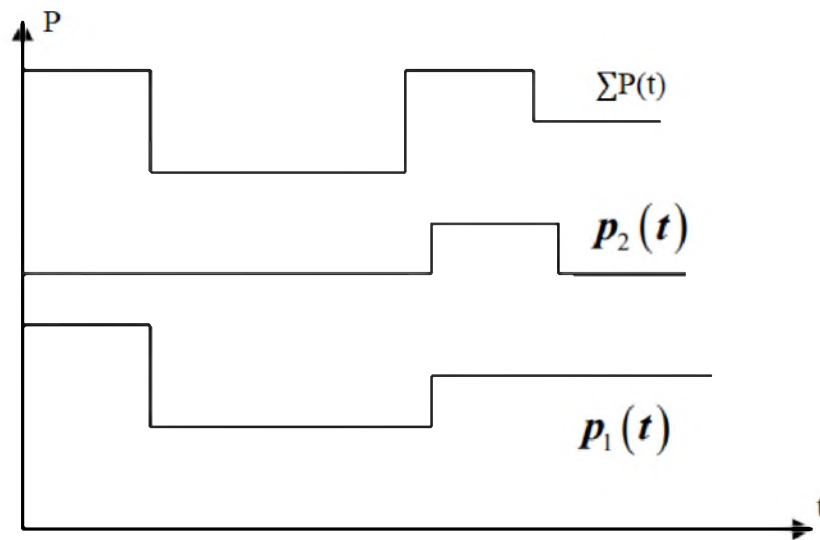


Рисунок 1.1 – Графіки індивідуальних та групових навантажень

Індивідуальні графіки (їх види показані на рис 1.2) використовуються для визначення навантаження електричних приймачів великої потужності. Під час проектування електричних систем постачання підприємств промисловості, зазвичай застосовуються групові графіки навантажень електричних – починаючи графіками групи споживачів, та завершуючи графіками навантаження для усього підприємства. Графіки навантаження можуть бути добовими, сезонними чи річними, в залежно від їх тривалості [4].

У кожній галузі промисловості існує унікальний графік електричних навантажень, котрий відображає специфічні особливості технологічних процесів виробництва.

Методи розрахунків й досліджень електричних навантажень включають у себе використання безрозмірних величин, таких як коефіцієнти за графіками навантаженнями. Ці коефіцієнти характеризують певні режими роботи електричних приймачів за потужністю та часом, і визначаються і як для індивідуальних, так і для групових графіків навантаження, включаючи як активну, так й реактивну складові [5].

Також окрім розглянутих вище показників, під час аналізу графіку навантажень, важливим параметром виступає:

$P_{\text{м.к(пiк)}}$  – короточасне максимальне навантаження, що триває всього декілька секунд, відоме як пікове навантаження. Дана величина є важливою під час розрахунку струму, котрий виникає у момент спрацювання максимуму навантаження.

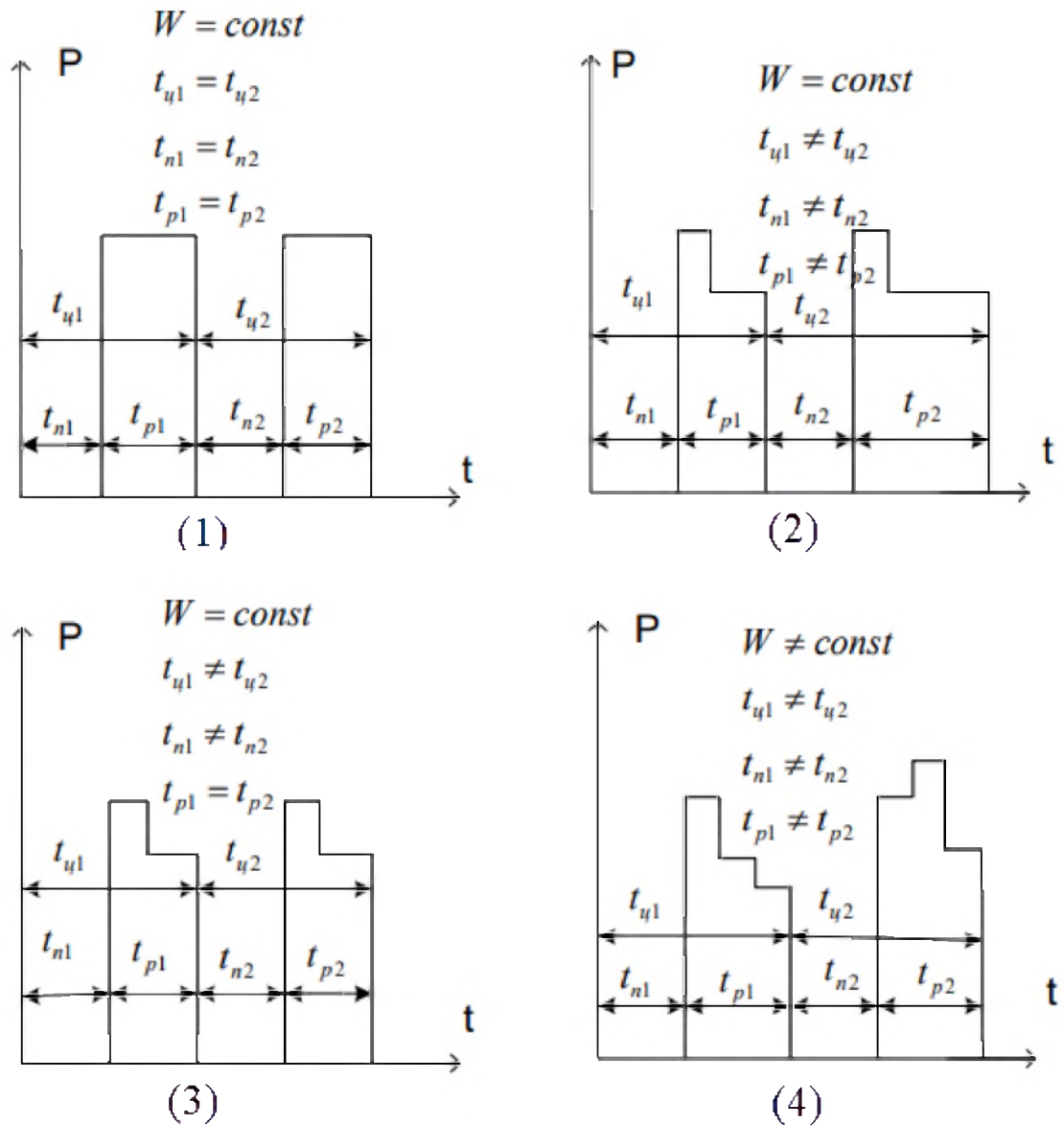


Рисунок 1.2 – Часові діаграми індивідуальних навантажень  $P(t)$ : 1 – періодичний; 2 – нециклічний; 3 – циклічний; 4 – нерегулярний

Окремо хотілось би приділити увагу різновидам графіків навантаження добових та річних, тому що саме навчання до прогнозування, котре буде виконуватися далі, передбачає застосування і першого виду і другого. Отже, у технічних розрахунках електрики, котра споживається за рік, застосовують

саме річний графік, приклад якого наведено на рис. 1.3 (б). При цьому будують графіки на основі добових за тривалістю, приклад якого наведено рис. 1.3 (а), вісь ординат графіків класифікують за спаданням від значення  $P_{\text{макс}}$  до  $P_{\text{мін}}$ . Тоді споживання активної енергії за рік можна визначити за наступним співвідношенням:

$$W_{\text{річн}} = T_{\text{м}} \cdot P_{\text{макс.нв}} [\text{кВт} \cdot \text{год}], \quad (1.4)$$

де  $T_{\text{м}}$  – кількісний показник годин застосування максимального значення активної потужності протягом роком, таки чином можливо описати період часу, де споживач буде працювати із найбільшим навантаженням ( $P_{\text{макс.нв}}$ ), незалежно від того, чи є графік навантаження змінним протягом року ( $T_{\text{м}} = 8760$  годин), буде витрачено однакову кількість електроенергії.

Квадратичне значення ординати за річним графіком виступає мірою втрат за активною електроенергією протягом року та дорівнює:

$$\Delta W_{\text{річн}} = \tau_{\text{в}} \cdot \Delta P_{\text{макс}}, \quad (1.5)$$

де  $\Delta P_{\text{макс}}$  – найбільші втрати активної потужності, що виникають за рік;

–  $\tau_{\text{в}}$  – кількісний показник годин максимальних втрат, котрий виступає таким умовним часом, за який витрати енергії у лінії із  $P_{\text{макс.нв}}$  (максимальним навантаженням) є еквівалентними для втрат енергії у тій же лінії під час звичайного роботи режиму у момент мінливого графіку навантаження [7].

Наближено  $\tau_{\text{в}}$  можна визначити за виразом:

$$\tau_{\text{в}} = \left( T_{\text{м}} \cdot 10^{-4} + 0.124 \right)^2 \cdot 8760 [\text{год}] \quad (1.6)$$

Для знаходження величин розрахункових навантажень спочатку проводять розрахунки для нижчих рівнів напруги електропостачальної системи, а потім переходять вже й до вищих рівнів, розглядаючи певні групи електричних приймачів й окремі вузли схеми. Поступово розрахункові навантаження визначаються у ланці із розподільними пунктами (РП) й головними розподільними пристроями (ГРП) із боку нижчої (НН) напруги. Після цього відповідно до отриманих значень можна обрати переріз розподільних мереж й ліній живлення, потужність й кількість трансформаторів на підстанції, значення перерізу шин у РП та ГРП засобів захисту й комутаційних апаратів [3, 8].

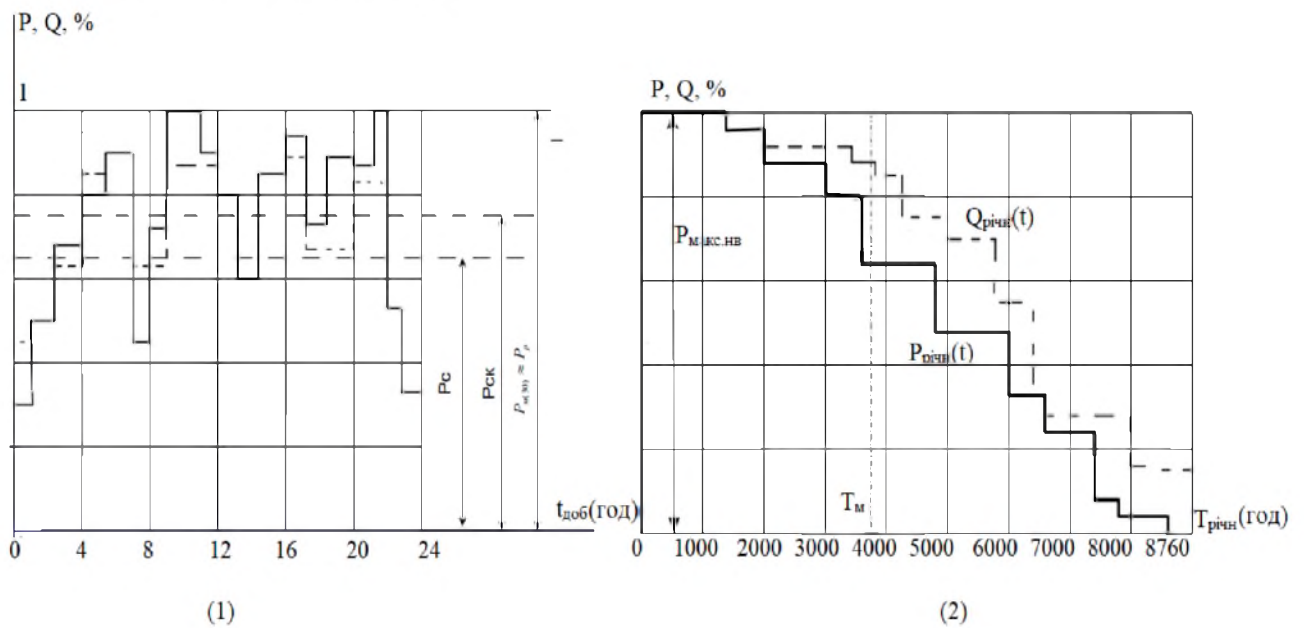


Рисунок 1.3 – Графік добового (1) та річного (2) навантаження під час потужності активної (P) та реактивної (Q)

Розрахункові навантаження визначаються різними методами на різних етапах проектування та у залежності від мети розрахунку та наявної бази вихідних даних. До методів визначення розрахункових навантажень можуть входити наступні підходи:

1) метод питомих показників виробництва; метод визначення розрахункових навантажень, котрий ґрунтується на визначенні споживчих показників електроенергії на одиницю продукції.

2) метод величини коефіцієнту попиту;

3) метод впорядкованих графіків(або діаграм).

Під час досліджень електричних навантажень переважно застосовують методи ймовірно-статистичні. І саме у цю категорію, якомога краще вписуються пристрої зі штучним інтелектом, а особливо штучні нейронні мережі [6].

1.3 Пристрій зі штучним інтелектом, як ядро управління електричними мережами.

В наш час при вирішенні проблематики постає доволі значна кількість сучасних пристроїв та засобів, котрі дозволяють вирішити завдання. Таке розповсюдження стало можливим, в першу чергу у зв'язку із суттєвим розвитком обчислювальної цифрової техніки, зростаючою в останні роки кількістю спеціалізованих програмних засобів та певними дослідженнями й результатами у галузі штучного інтелекту. Одним із основних точних й прогресивних методів вирішення поставленої в роботі задачі, згідно з аналізу [4-7] виступають штучні нейронні мережі.

Взагалі перед тим як остаточно обрати метод керування розподілу навантаження, варто звернутися до практичного дослідження [6], де порівнювалися різні методи регулювання навантаження, так була побудована математична модель електричної мережі та виконанні три практичні досліді їх принцип та результати наступні:

1) Режим роботи без застосування пристрою компенсації. Створення математичної моделі такої мережі потрібно пере усім, як підґрунтя для порівняння за ефективністю спроектованих оптимізаційних методів. Окрім

того, цей режим має місце для міських підстанцій, із яких багато не мають пристроїв компенсації [4, 6].

2) Режим моделювання електромережі зі застосуванням компенсуючим пристроєм, котрий встановлений на головній підстанції (ГП). Під час установалення пристроїв компенсації на шинах напругою 10 (кВ) у [13] прогнозування за потужністю відбувається завдяки алгоритму, котрий передбачає повну базу даних для прогнозування й подальшої компенсації за реактивною потужністю.

3) Режим моделювання електромережі із застосуванням пристроєм компенсації, який встановлений на ГП й підстанціях, котрі є підключеними до розподільної мережі кільцевого типу. Установка пристроїв тільки на головних ділянках надає змогу покращити характеристику режиму реактивної потужності у електромережі, у той же момент зменшивши додаткові витрати, котрі викликані перетіканням реактивної потужності. Проте доволі часто цього виявляється недостатньо, через те, що навіть у момент досягнення прийнятного показника коефіцієнту потужності у точці, де відбувається розмежування балансового перетікання за реактивною потужністю на ділянці електромережі кільцевого типу, може призвести до зростання втрат завдяки відповідному зростанню втратам електрики. Тоді із цієї причини є доцільним установалення пристроїв компенсації у різних ланках кільцевої ділянки електромережі [5].

Тоді у роботі [10] вказується, що вирішити описану вище проблематику покликана штучна нейронна мережа. Саме вона із цілого списку інтелектуальних пристроїв керування (серед яких наприклад є й системи із фазі-логікою) здатна виконувати прогнозувати електричного навантаження під час неповних даних.

При цьому у роботі [7, 10] вказується й необхідність у виборі точки установки пристрою компенсації за оптимального, у тому числі й із економічної точки зору, місця. Тому були опрацьовані можливі всі варіанти й обрано оптимальний для зменшення втрат.

Тож можна розглянути зв'язок, підключення та застосування штучний нейронних мереж для вирішення завдання із розрахунку та зниження втрат на досліджуваній у дипломній роботі ділянці електричної мережі, схему заміщення якої представлено на рис. 1.4.

Дана електрична мережа має і як радіальні відгалуження, так і кільцеві ланки із декількома виводами, котрі отримують живлення від двох секційних шин напругою 6 (кВ).

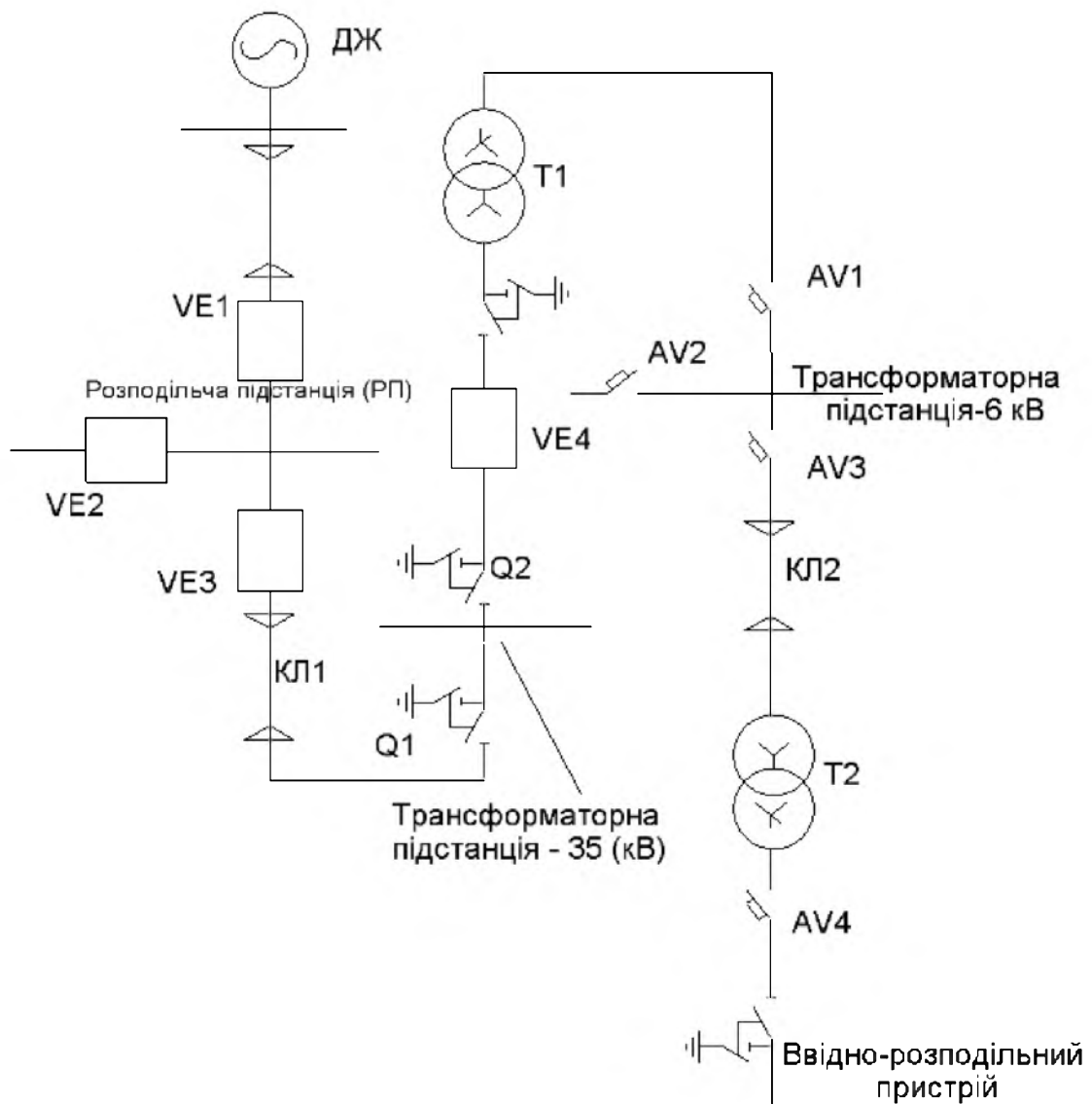


Рисунок 1.4 – Схема заміщення досліджуваної електромережі

Якщо розглядати штучні нейронні мережі (ШНМ), тоді варто виокремити, що існує декілька десятків різноманітних архітектур мереж, при цьому багато із них мають доведену математично ефективність. Найбільш популярні й досліджені серед них виступає багатошаровий перцептрон, що являє собою ШНМ із загальною регресією.

Після аналізу була запропонована ШНМ (багатошаровий перцептрон) схематично топологію якої представлена на рисунок 1.5.

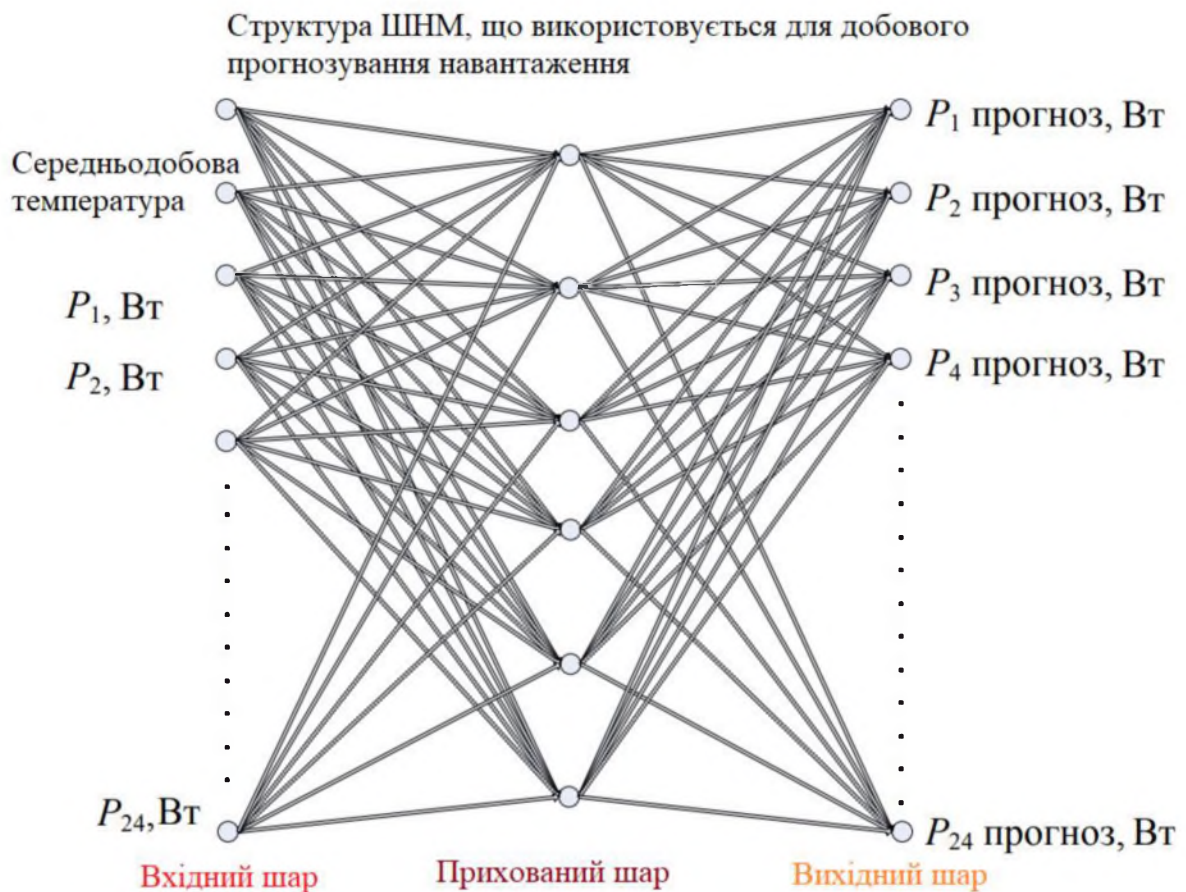


Рисунок 1.5 – Оптимальна топологічна схема ШНМ для здійснення прогнозування електричних навантажень

Для виконання поставленої у роботі задачі завдяки застосуванню ШНМ варто обрати конфігурацію самої нейронної мережі і встановити оточення, де ця мережа буде працювати. У формуванні оточення мова йде про реалізацію таких етапів:

- 1) Формування навчального набору даних.
- 2) Навчання ШНМ;
- 3) Тестування ефективності робіт ШНМ.

Як навчальну вибірку (базу) пропонується використовувати базу архівних даних по днях електричного навантаження досліджуваної енергосистеми або якщо такої немає промоделювати аварійні режими за допомогою мат. моделі.

Отже ШНМ (рис. 1.5) являє собою тришаровий перцептрон. Так у вхідному шарі ШНМ міститься 24 нейрони із добовими значенням потужності та ще 2 із параметрами середовища – час доби та зовнішня температура (об'єм вхідних змінних), у прихованому шарі шість нейронів (вони повинні бути визначені експериментальним шляхом під час налаштування мережі, кількість можна встановлювати самостійно, але це буде позначатися на швидкодії й точності), та у вихідному шарі знаходяться 24 нейрони, що відповідає кількості годин протягом доби. Вхідними параметрами виступають погодинні значення за навантаження ( $P_i$ , де  $i$  відповідно поточний час) для доби, котра йде перед тою для котрої і відбувається прогноз  $P_1$  (Вт), а також величина середньодобової температури. На рис. 1.6 представлені основні етапи навчання досліджуваної ШНМ.

Надалі стоїть задача навчити спроектовану штучну нейронну мережу, а це відповідно означає необхідність підібрати такі вагові значення, аби мережа працювала належним чином, тобто помилково не виходила за певні межі точності.

Був проведений також і аналіз, щодо оптимального методу навчання у спроектованих штучних нейронних мережах, що використовуються на практиці, при цьому встановлено, що наприклад кількість ваг може сягати й декілька тисяч й тому саме навчання є насправді складним процесом. Однак є певні оптимальні межі і для багатьох архітектур ШНМ виконано спеціальні навчальні алгоритми, котрі дозволяють виконувати налаштування ваг штучних нейронних мереж заданим чином (тобто майже автоматично). Одним із

найбільш ефективних серед цих алгоритмів постає метод із зворотнім поширення помилки, котрий застосовується, до прикладу, для навчання багатoshарового перцептрону (структуру якого представлено на рис. 1.5).

Власне ж навчання відбувається за такою послідовністю: спершу має бути створена певні база із даними (як описано вище), котра містить приклади відпрацювання електромережі. При чому такі приклади мають містити і інформацію про нормальний режим роботи і про перевантаження, а особливо цікавими є перехідні режими поміж ними [10].

Надалі при передаванні прикладі до входу штучної нейронної мережі, отримується від неї певний зворотній сигнал (або відповідь), вона спершу не обов'язково може бути вірною (про це буде сигналізувати графік навчання й помилок). При цьому, саме навчання слід проводити зв'язно на тих результатах, де вірна (бажана) відповідь буде відомою заздалегідь. Тоді знаходячи різницю поміж реальною та бажаною відповідями ШНМ, отримуємо вектор помилки.

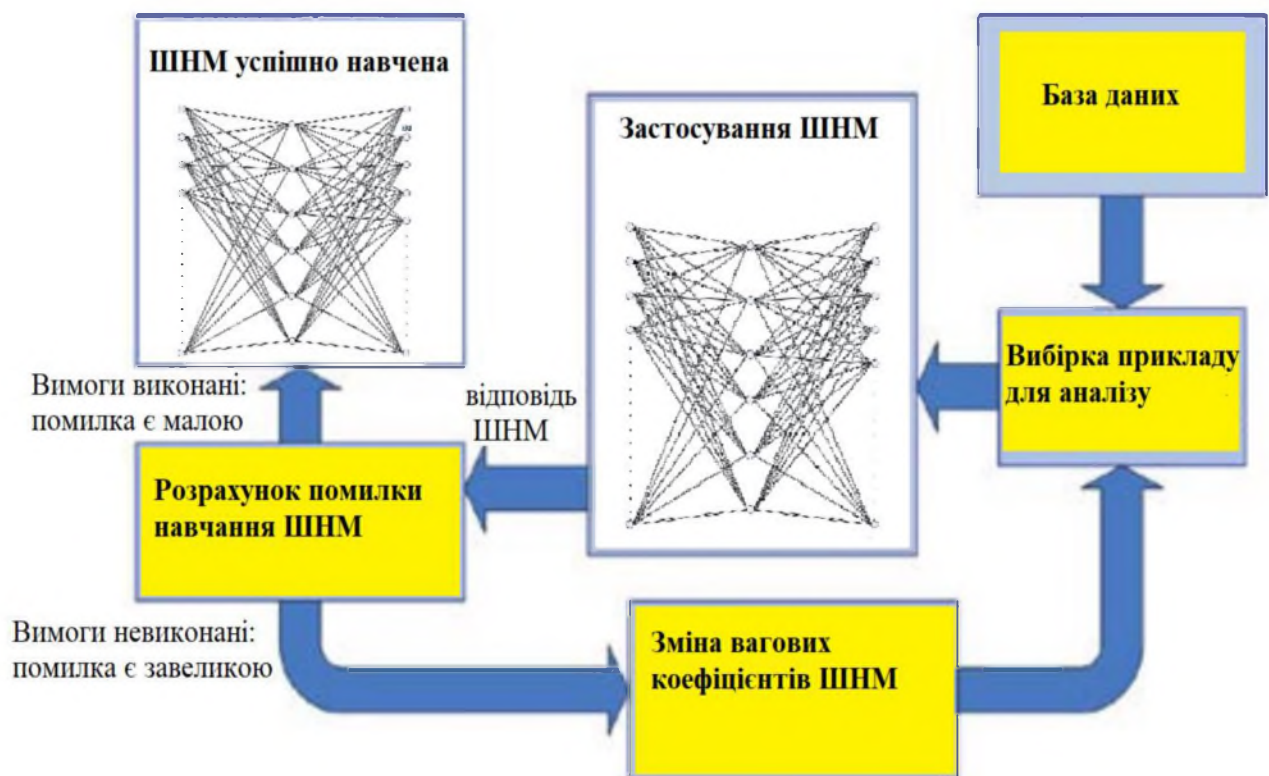


Рисунок 1.6 – Основні етапи навчання проектованої ШНМ [10]

Метод навчання ШНМ – алгоритм зворотного розповсюдження помилки представляє собою певний набір формул, що дозволяють вираховувати певні необхідні поправки до ваг ШНМ на основі вектору помилки, описаного вище.

Один і той же приклад може бути застосований багато разів для навчання ШНМ. Після повторної передачі прикладів вагові коефіцієнти мережі стабілізуються, і мережа вже достовірно відповідає на задані приклади з бази даних, що й буде свідчити про успішне навчання ШНМ [6, 8].

## 2. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР СУЧАСНИХ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ.

### 2.1 Вибір електричних компонентів досліджуваної мережі.

При виборі числа й потужності трансформаторів слід урахувати основні вимоги, щодо надійності електричного постачання споживачів. Для забезпечення надійної роботи самої підстанції у нормальних умовах й у режимах відключення трансформаторів або із метою планового ремонту або під час аварійних ситуацій, варто встановлювати не менше ніж два трансформатори із величиною потужності  $0.65 - 0.7$  від  $S_{\text{макс.нв}}$  – максимального навантаження власне підстанції. За умови, що на підстанції встановлено два трансформатори, тоді у разі відключення одного із них, наприклад, для планового ремонту чи у аварійній ситуації, допускається перевантаження залишку робочого трансформатора на 40% протягом 6 годин та на протязі 5 днів, при умові, що величина коефіцієнту початкового завантаження не перевищує 0.93 (або 93%) [4, 10].

При установці двох двообмотувальних трансформаторів на підстанції, номінальна потужність кожного із них визначається на основі їх максимального повного навантаження. Це означає, що номінальна потужність трансформатора  $S_{\text{ном.Т}}$  може бути визначена за такою формулою:

$$S_T = \frac{S_{\text{ном.Т}}}{k_{np}}, \quad (2.1)$$

де  $k_{np}$  – величина коефіцієнту за перевантаженням трансформатора,

обирається  $k_{np} = 1.4$

–  $S_T$  – потужність, котра проходить трансформатором під відключенні іншого

$$S_T = \frac{10000}{1.4} = 7143 \text{ (кВм)}, \quad (2.2)$$

Після проведення розрахунків, вирішено було обрати два однакових трансформатори ТДНС – 10000/35/6 (кВ) для нашого проекту мережі. Ці трансформатори є трифазними, із примусовою циркуляцією повітря й природною циркуляцією олії, вони мають негорючий діелектрик та є сухими. Основні характеристики обраного пристрою представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики трансформатору ТДНС – 10000/35/6 (кВ)

| Параметр                             | Значення і одиниця виміру         |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Потужність трансформатора номінальна | $S_{ном.Т} = 10000 \text{ (кВА)}$ |
| Напруга на високій стороні           | $U_{BH} = 35 \text{ (кВ)}$        |
| Напруга на нижчому боці              | $U_{HH} = 6 \text{ (кВ)}$         |
| Напруга короткого замикання          | $U_{KЗ} = 8 \text{ (\%)}$         |
| Струм холостого ходу                 | $I_{xx} = 0.65 \text{ (\%)}$      |

Надалі треба виконати перевірку трансформатору на предмет завантаження й аварійного перевантаження. Отже, величина коефіцієнту завантаження трансформаторів під час нормального режиму:

$$k_3 = \frac{S_{нв}}{S_{ном.Т} \cdot n_T} = \frac{9900}{10000 \cdot 2} = 0.495 < 0.7 \quad (2.3)$$

Значення коефіцієнт перевантаження трансформаторів під час аварійного режимі розраховується за (2.4).

$$k_n = \frac{S_{нв}}{S_{ном.Т} \cdot (n_T - 1)} = \frac{9900}{10000 \cdot (2 - 1)} = 0.99 < 1.7 \quad (2.4)$$

Із умов (2.4) бачимо, що вибраний тип трансформатору відповідає вимогам.

Тоді кількість трансформаторів, котра установлюються, згідно із проведеним розрахунком (2.1-2.4) два. І у під час виходу із ладу одного із них, інший здатен взяти повне навантаження на себе. Із боку 6 (кВ) є передбаченим роботу роздільну трансформаторів [7].

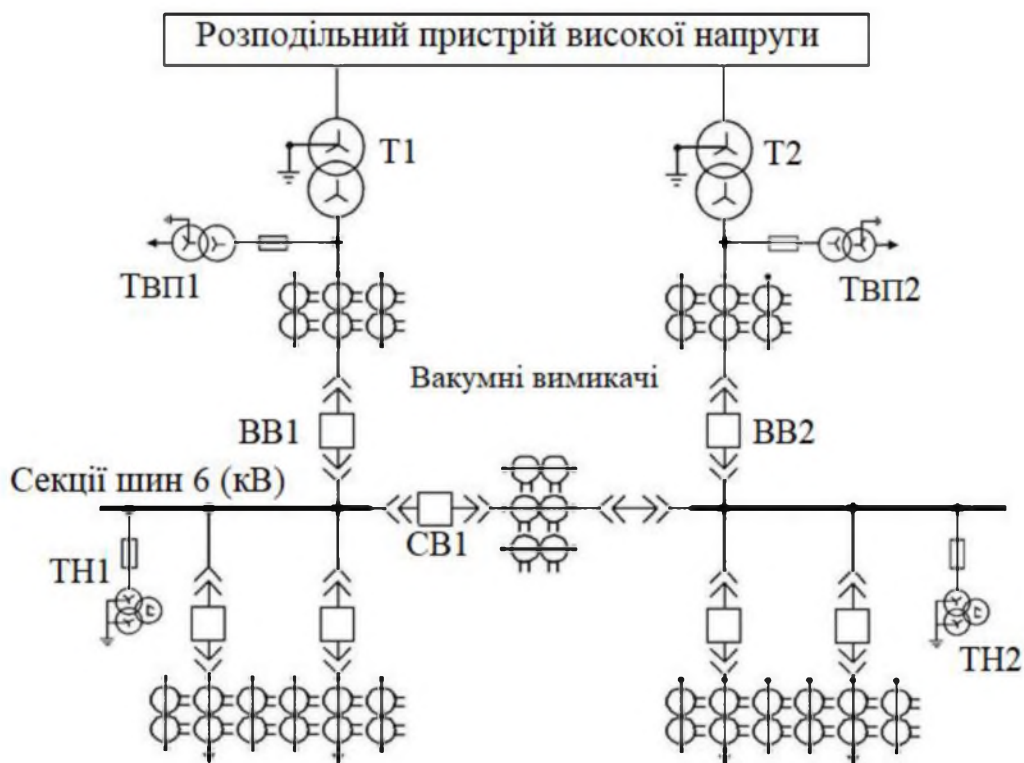


Рисунок 2.1 – Схема електроживлення із приладами виміру й захисту

Оперативні ланцюги, двигуни компресорів, двигуни систем охолодження трансформаторів, електричне опалення, освітлення, робота комутаційної апаратури, потреби на освітлення електричних шаф, сигналізація, зв'язок, система автоматичної ліквідації усі ці елементи виступають споживачами, котрі задовольняють власні потреби підстанції. Незважаючи на

те, що їх потужність є невеликою, вони все ж приєднуються до мережі 0.4 (кВ), яка отримує живлення від знижувальних трансформаторів.

У випадку використання двох трансформаторів із нерозщепленою обмоткою з боку низької напруги, зазвичай використовується схема із однією секцією, де розташований вимикач шин, котра є надійнішою й найпростішою у своєму виконанні. Із метою обмеження значення ( $I_{K3}$ ) струму під час короткого замикання, вимикач секційний повинен бути відкритий у момент нормальній роботі. Автоматичний пристрій регулювання збуджень вмикає секційний вимикач у момент відключення трансформатора.

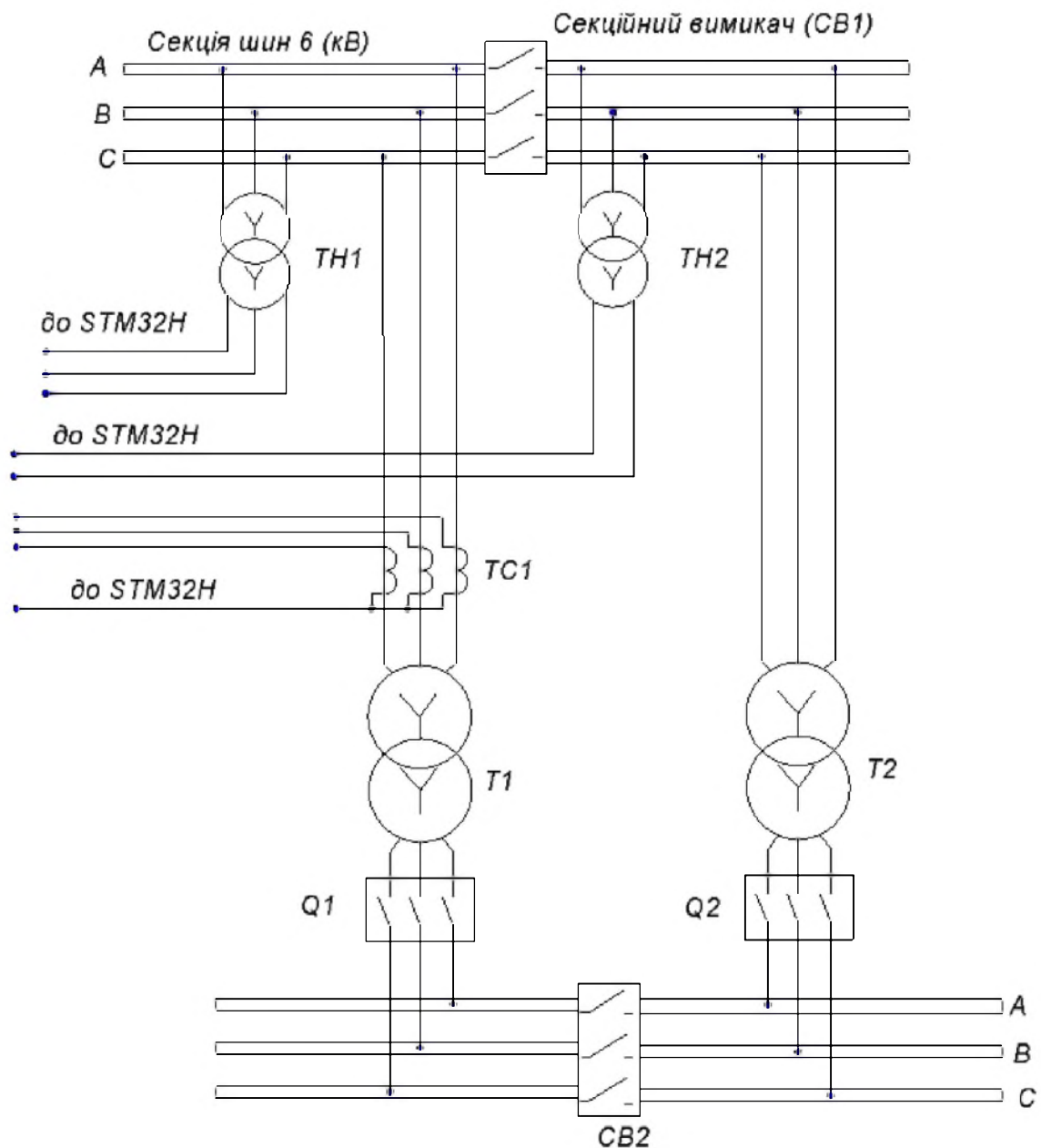


Рисунок 2.2 – Схема електромережі 6/0.4 кВ та виміри параметрів у ній

На рис. 2.2 показані схематичні лінії для виміру основних параметрів електромережі, котрі йдуть до плати керування (структуру якої представлено вже на рис. 2.3). Вона являє собою контролер серії STM32H на базі мікропроцесору Cortex.

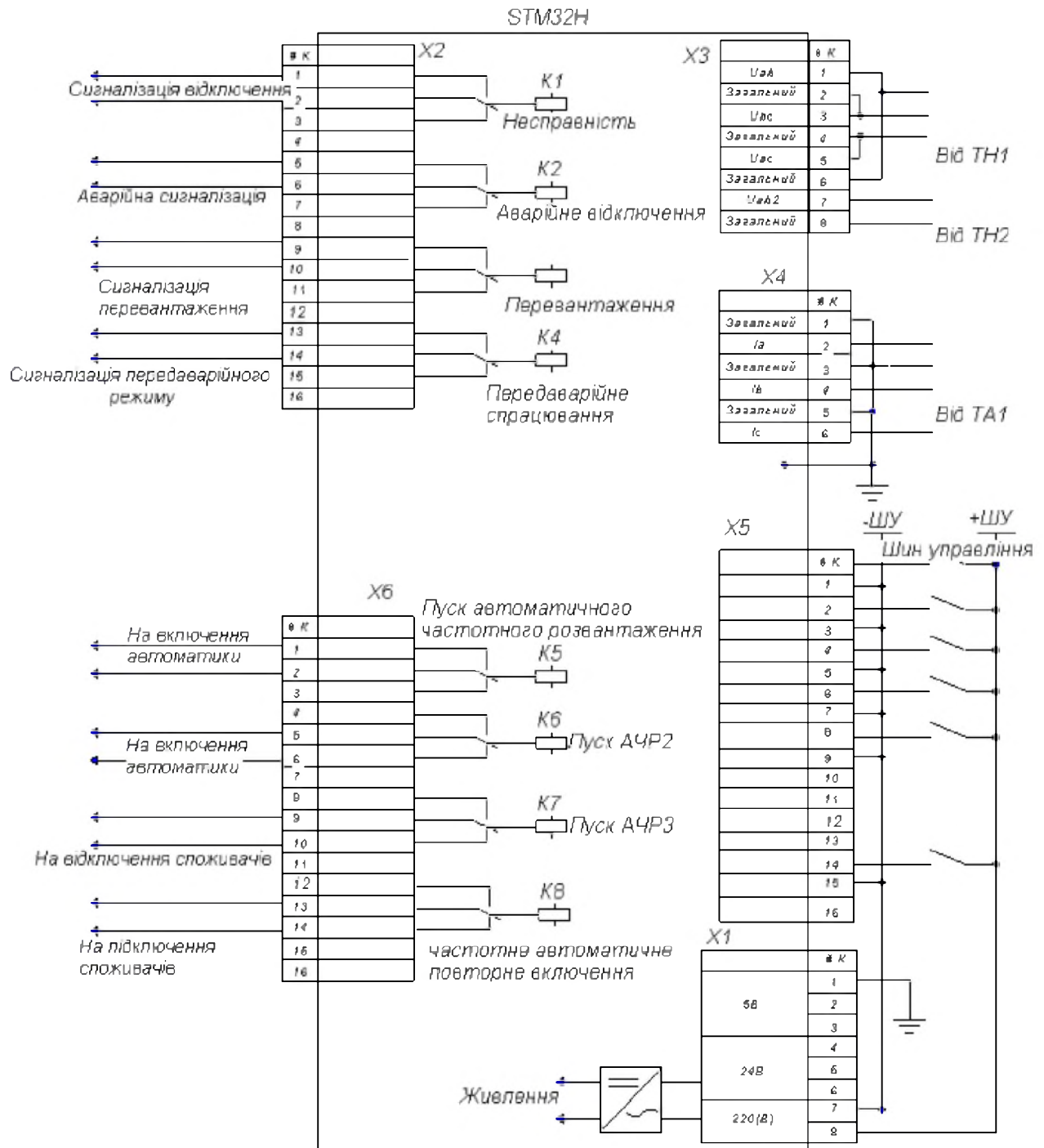


Рисунок 2.3 – Підключення контрольної плати до електромережі

Для вибору необхідної апаратури й перевірки елементів електричних установок, а також проектування й налагодження релейного захисту, обрання відповідних засобів й схем із струм захисту, а також для розрахунку струмообмежувальних й відповідних заземлюючих пристроїв варто провести розрахунок струмів у режимі короткого замикання.

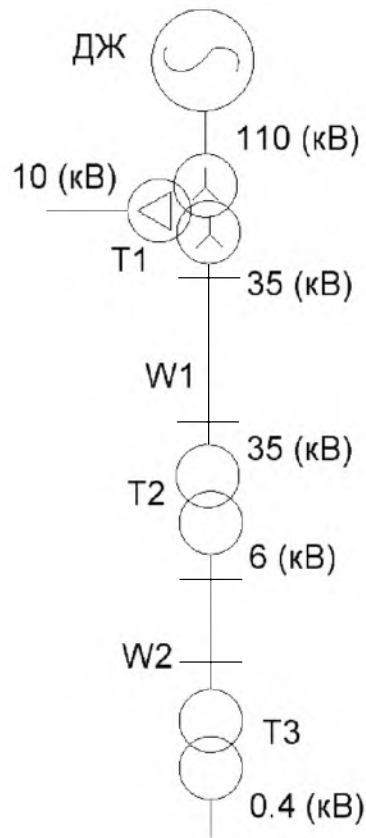


Рисунок 2.4 – Структурна схема головної знижувальної підстанції

За побудованою розрахунковою схемою (рис. 2.4) можна скласти схему заміщення для режиму максимального рис 2.5.1 та визначити параметри опорів, котрі входять до даної схеми.

Надалі можна скласти схему заміщення й для режиму мінімального, яку представлено на 2.5.2

На рис 2.5 представлені наступні елементи:  $X_1$  – величина опору системи;  $X_2$  – параметр опору із боку лінії 110 (кВ) на підстанції;  $X_3$  – величина опору із боку лінії 35 (кВ) у тяговій підстанції;  $X_4$  та  $X_5$  – показник опорів у лінії 35 (кВ);  $X_6$  – значення опору у трансформаторі знижувальної підстанції

35/6 (кВ);  $X_7$  – величина опору КЛ (кабельної лінії);  $X_8$  – параметр трансформатора ТМ-6/0.4 (кВ).

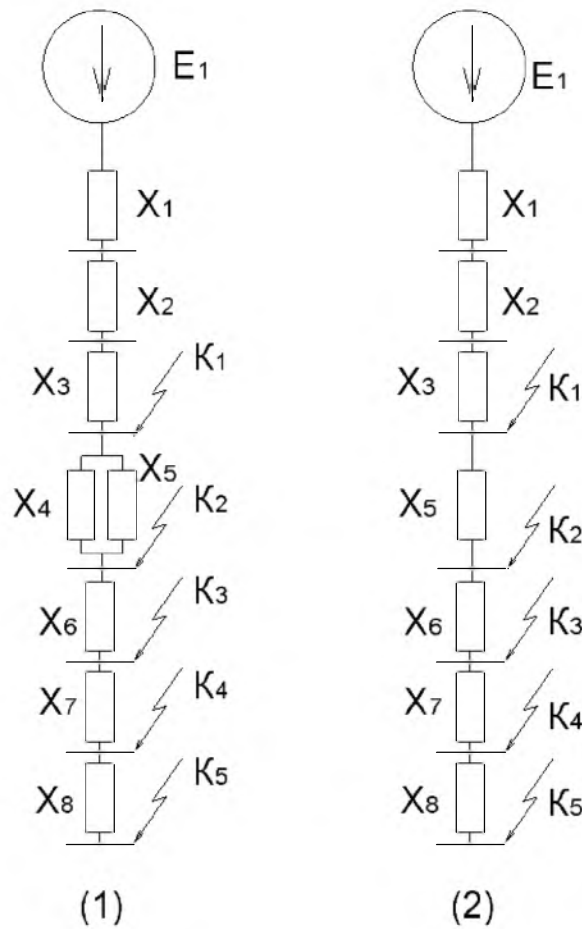


Рисунок 2.5 – Схема заміщення головної знижувальної підстанції

При розрахунках струмів режиму КЗ необхідно застосувати наступні припущення:

Величина номінальної потужності системи приймається нескінченною, тобто не урахується зміна величина струму протягом часу, що відображено у виразі:

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{K3}^{(3)}}{2} \quad (2.5)$$

Величина ж питомого реактивного опору ЛЕП (повітряних), приймається рівною  $x_0=0.4$  (Ом/км), при цьому активною складовою можна знехтувати, тобто  $r_0=0$  (Ом/км).

При розрахунках не береться до уваги величини опорів шин й з'єднань поміж споживачами і шинами.

Величини питомих опорів для кабельних ліній напругою 10 (кВ) визначаються згідно довідника [7].

Для трансформаторів знижувального типу вважається  $r_0=0$ , при цьому  $x$  буде вважатися рівним за відношенням до  $U_K$  (%). Для розрахунку у відносних одиницях треба обрати базисні умови, так за базову потужність беремо величину у  $S_6=1000$  (МВА).

Також, щодо приведення параметрів до елементів за схемою заміщення до однієї величини ступеня за напругою варто прийняти ЕРС енергосистеми рівним значенням до 1 (в.о.), тобто:  $E=1$ .

Під час розрахунку більше цікавить нас дослідна мережа 35/6 та 6/0.4 кВ, тому скористаємось даними, щодо станції із вхідного завдання до проекту, де  $E_{екв}=125$ (кВ),  $I_{кз}=10.85$  (кА),  $X_1=7.5$  (Ом) [6].

Для трьохфазного трансформатору 110/35/10 також є відомими параметри:

$$\begin{aligned} U_{к.з\ B-C} &= 11\ (%); \quad U_{к.з\ B-H} = 18\ (%); \\ U_{к.з\ C-H} &= 6.5\ (%); \end{aligned} \tag{2.6}$$

Тепер можна знайти напругу у режимі короткого замикання на високій стороні:

$$U_{\kappa.3.B} = 0.5 \cdot (U_{\kappa.3.B-H} + U_{\kappa.3.B-C} - U_{\kappa.3.C-H})$$

$$U_{\kappa.3.B} = 0,5(18 + 11 - 6.5) = 11.25 (\%)$$
(2.7)

Далі розрахуємо опір індуктивний із високої сторони трифазного трансформатора:

$$X_2 = \frac{U_{\kappa.3.B}(\%)}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{ном.Т}}$$
(2.8)

$$X_2 = \frac{11.25}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{25000} = 4.5 (Ом)$$

Напруга у режимі КЗ із боку середньої напруги буде становити:

$$U_{\kappa.3.C} = \frac{(U_{\kappa.3.C-H} + U_{\kappa.3.B-C} - U_{\kappa.3.B-H})}{2}$$

$$U_{\kappa.3.C} = \frac{(11 + 6.5 - 18)}{2} = -0.25 (\%) \approx 0 (\%)$$
(2.9)

Через те що  $U_{\kappa.3.C} = 0$  величиною індуктивного опору із боку середньої напруги трансформатору можна знехтувати  $X_3 = 0$ , і перейти до визначення опорів ліній  $W_1$  й  $W_2$

$$X_4 = X_5 = \frac{X_0 \cdot S_B \cdot l_W}{U_{ном.ВН}^2}$$
(2.10)

$$X_4 = X_5 = \frac{0.4 \cdot 1000 \cdot 15}{35^2} = 0.48 (Ом)$$

Далі вже переходимо до розгляду двох обмоткового трансформатору серії ТДНС 10000/35/6 (кВ), згідно табл. 2.1  $U_{кз} = 8\%$ .

$$X_6 = \frac{U_{к.з.В2}(\%) \cdot S_B}{100 \cdot S_{ном.Т2}} \quad (2.11)$$

$$X_6 = \frac{1000 \cdot 8}{10 \cdot 100} = 8 \text{ (Ом)}$$

Тоді для КЛ (кабельної лінії) величина опорів:

$$x_0 = 0.071 \left( \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right); \quad r_0 = 0.181 \left( \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right); \quad (2.12)$$

$$z_0 = 0.181 + j \cdot 0.071 \left( \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right)$$

Тоді під час перебігу максимального режиму:

$$z_7 = \frac{z_0 \cdot S_6 \cdot l_{КЛ}}{n \cdot U_{ном.НН}^2} \quad (2.13)$$

$$z_7 = \frac{(0.181 + j \cdot 0.071) \cdot 1000 \cdot 2.5}{2 \cdot 6.3^2} = 3.21 + j \cdot 1.75$$

А для мінімального режиму виконується умови:

$$z'_7 = \frac{z_0 \cdot S_{\bar{0}} \cdot l_{KL}}{n \cdot U_{ном.НН}^2} \quad (2.14)$$

$$z'_7 = \frac{(0.181 + j \cdot 0.071) \cdot 1000 \cdot 2.5}{6.3^2} = 6.42 + j \cdot 3.5$$

Тоді для трансформатору 6/0.4 (кВ), за таблицею  $U_{КЗ} = 6\%$ , а значення опору  $X_8$  для рис. 2.5 становить:

$$X_8 = \frac{U_{к.з.В_3}(\%) \cdot S_B}{100 \cdot S_{ном.Т_3}} \quad (2.15)$$

$$X_8 = \frac{1000 \cdot 6}{0.63 \cdot 100} = 53.7 \text{ (Ом)}$$

Далі користуючись схемою заміщення (рис. 2.5) та величинами опорів (2.8-2.15) можливо визначити величини струмів при режимі КЗ для максимального випадку.

Спершу знайдемо величини базисних струмів у ланці трансформатору 35/0.6 (кВ):

$$I_{б.ВН} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.Вн}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 16.78 \text{ (кА)} \quad (2.16)$$

$$I_{б.НН} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.НН}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 98.75 \text{ (кА)}$$

А вже тепер можливо через параметри із (2.16) віднайти максимальні струми у досліджуваних точках КЗ

$$\begin{aligned}
I_{\max.K_1}^{(3)} &= \frac{I_{\delta.BH} \cdot E}{(X_1 + X_2 + X_3)} = \frac{16.78}{(7.5 + 4.5)} = 1.398 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{\max.K_2}^{(3)} &= \frac{I_{\delta.BH} \cdot E}{(X_1 + X_2 + \frac{X_4}{2})} = \frac{16.78}{(7.5 + 4.5 + \frac{0.48}{2})} = 1.371 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{\max.K_3}^{(3)} &= \frac{I_{\delta.HH} \cdot E}{(X_1 + X_2 + \frac{X_4}{2} + X_6)} = \frac{98.75}{(7.5 + 4.5 + \frac{0.48}{2} + 8)} = 4.88 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{\max.K_4}^{(3)} &= \frac{I_{\delta.HH} \cdot E}{(X_1 + X_2 + \frac{X_4}{2} + z_7 + X_6)} = \frac{98.75}{\sqrt{(21.23)^2 + 3.5^2}} = 4.559 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{\max.K_5}^{(3)} &= \frac{I_{\delta.HH} \cdot E}{(X_1 + X_2 + \frac{X_4}{2} + X_8 + z_7 + X_6)} = \frac{98.75}{\sqrt{(74.93)^2 + 3.5^2}} = 1.316 \text{ (}\kappa A\text{)}
\end{aligned} \tag{2.17}$$

За аналогією до максимального режиму можливо знайти показники струмів й для мінімального, при цьому  $I_{\max.K_1}^{(3)} = I_{\min.K_1}^{(3)} = 1.398 \text{ (}\kappa A\text{)}$ :

$$\begin{aligned}
I_{\min.K_2}^{(3)} &= \frac{I_{\delta.BH} \cdot E}{(X_1 + X_2 + X_5)} = \frac{16.78}{(7.5 + 4.5 + 0.48)} = 1.345 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{\min.K_3}^{(3)} &= \frac{I_{\delta.HH} \cdot E}{(X_1 + X_2 + X_5 + X_6)} = \frac{98.75}{(7.5 + 4.5 + 0.48 + 8)} = 4.822 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{\min.K_4}^{(3)} &= \frac{I_{\delta.HH} \cdot E}{(X_1 + X_2 + X_5 + z_9 + X_6)} = \frac{98.75}{\sqrt{(23.58)^2 + 7.03^2}} = 4.015 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{\min.K_5}^{(3)} &= \frac{I_{\delta.HH} \cdot E}{(X_1 + X_2 + X_5 + X_8 + z_9 + X_6)} = \frac{98.75}{\sqrt{(78.47)^2 + 7.03^2}} = 1.254 \text{ (}\kappa A\text{)}
\end{aligned} \tag{2.18}$$

## 2.2 Розрахунок й обрання комутаційної апаратури.

### 2.2.1 Вибір пристрою розподіленої електричного постачання високої напруги.

Проведемо розрахунок навантаження на приєднаннях, котрі знаходяться на стороні високої напруги пристроїв розподільних, за умов [4] нормального робочого режиму:

$$I_{T.BH} = \frac{0.7 \cdot S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.ВН}} = \frac{0.7 \cdot 1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 0.1184 \text{ (кА)} \quad (2.19)$$

Тоді за умов відключення одного із трансформаторів:

$$I'_{T.BH} = \frac{1.4 \cdot S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.ВН}} = \frac{1.4 \cdot 1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 0.2368 \text{ (кА)} \quad (2.20)$$

Тож із метою обрання комутаційного пристрою (вимикачів вакуумних) варто знайти такі показники:

1) Час вимкнення самого вимикача:

$$\tau_{вм} = t_{с.в.} + t_{3.min} = 0.025 + 0.01 = 35(\text{мс}) = 0.035 \text{ (с)} \quad (2.21)$$

Параметри обраного вимикача представлені в табл. 2.2. Величина струму живлення ліній із боку ВН:

$$I_{жв.Л} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \cdot n_{Л} \cdot U_{ном.ВН}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 35 \cdot 10^3} = 0.084 \text{ (кА)} \quad (2.22)$$

Максимальні величини струмів за тривалого режиму у лінії розрахуємо за умовою про те, що навантаження проходить однієї лінії, при цьому інша гілка відключена:

$$I_{жв.Л} = \frac{S_{ном.Л}}{\sqrt{3} \cdot (n_{Л} - 1) \cdot U_{ном.ВН}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 0.168 \text{ (кА)} \quad (2.23)$$

Після цього варто виконати перевірку за термічною стійкістю:

$$\sigma_{mp} = t_{mp} \cdot I_{mp}^2 = 4 \cdot 25^2 = 1875 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} \quad (2.24)$$

Струм на цьому відрізку кола у режимі під навантаженням та із значення діючої складової струму режиму короткого замикання є однаковими [6].

Таблиця 2.2 – Параметри обраного вакуумного вимикача для установки в електромережі типу (ВВ-ЕЛ-35)

| Види проведеної перевірки параметру                  | Умови для вибору й перевірки     | Розрахункові параметри | Дані обраного типу вимикача |
|------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| За напругою установки, (кВ)                          | $U_{вст} \leq U_{ном.В}$         | 35                     | 35                          |
| За тривалим струмом, (кА)                            | $I_{max} \leq I_{ном.В}$         | 0.168                  | 0.63                        |
| Перевірка по здатності, що включає, кА               | $I_{П(0)} \leq I_{Вм}$           | 1.371                  | 25                          |
|                                                      | $i_g \leq i_{ном.В}$             | 3.72                   | 80                          |
| За відключення періодичної складової $I_{КЗ}$ , (кА) | $I_{П(\tau)} \leq I_{від.ном.В}$ | 1.371                  | 25                          |

|                                                       |                                  |       |      |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|-------|------|
| Перевірка за термічною стійкістю, (кА <sup>2</sup> с) | $B_k \leq t_{mp} \cdot I_{mp}^2$ | 1875  | 3000 |
| Перевірка за електродинамічною стійкістю, (кА)        | $i_e \leq i_{дин}$               | 3.72  | 25   |
|                                                       | $I_{П(0)} \leq I_{дин}$          | 1.371 | 80   |

На рис. 2.6 показано креслення із основними розмірами обраного типу вакуумного вимикача.

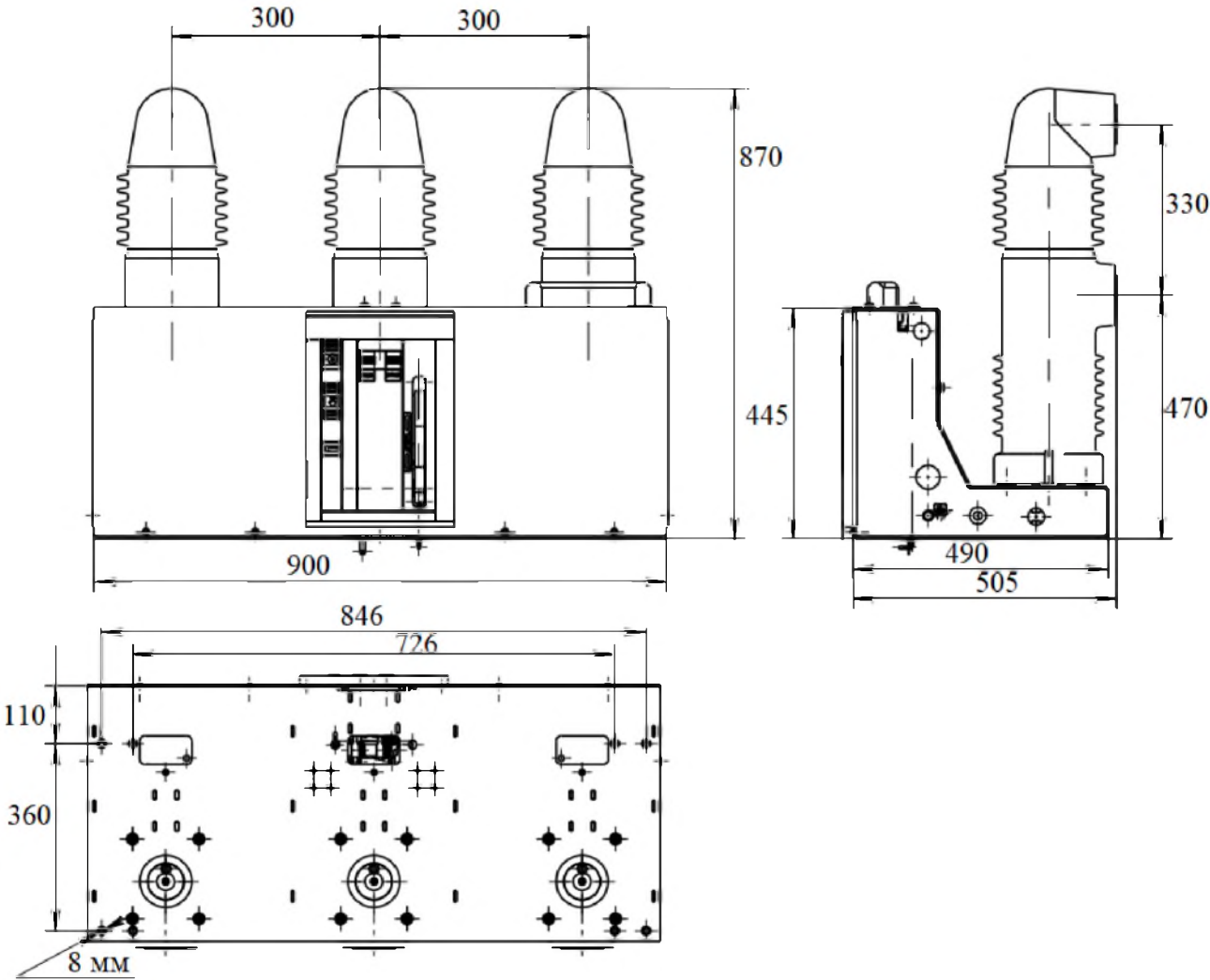


Рисунок 2.6 – Габаритні й приєднувальні розміри для вимикача серії BB-EL-35

2.2.2 Вибір роз'єднувачів й вимикачів у розподільчому пристрої низької напруги.

Обрання роз'єднувачів й вимикачів на боці меншої напруги здійснюється так само, як і вибір [6] із сторони більш високої чи середньої напруги.

$$I_{T.HH} = \frac{0.7 \cdot S_{ном.T}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.HH}} = \frac{0.7 \cdot 1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 0.686 \text{ (кА)} \quad (2.25)$$

Тоді у момент від'єднання одного електричного пристрою:

$$I'_{T.HH} = \frac{1.4 \cdot S_{ном.T}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.HH}} = \frac{1.4 \cdot 1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 1.374 \text{ (кА)} \quad (2.26)$$

А вже для відхідних ліній понижувальної напруги відіграє свою роль величина потужності навантаження ( $S_{нв}$ ) і кількості електричних приймачів ( $n_{en}$ ), тому із урахуванням завдання до роботи встановимо й величину даного струму:

$$I_{від.ЛП} = \frac{S_{нв}}{\sqrt{3} \cdot n_{en} \cdot U_{ном.HH}} = \frac{9.9 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 30 \cdot 6 \cdot 10^3} = 31.79 \text{ (А)} \quad (2.27)$$

Для визначення максимальних струмів за тривалого режиму для ЛП, припустимо, що кожен споживач має 2 лінії, проте одну з них відключено (для споживачів першої категорії), тоді:

$$I_{max.від.ЛП} = 2 \cdot I_{від.ЛП} = 2 \cdot 31.79 = 63.58 \text{ (А)} \quad (2.28)$$

Отже на лініях, що відходять і від яких отримують живлення споживачі навантаження, за результатами розрахунку (2.25–2.28) пропонується встановити вакуумні вимикачі ВВ/Tel 10-20/1600, зовнішній вигляд котрого наведено на рис. 2.7

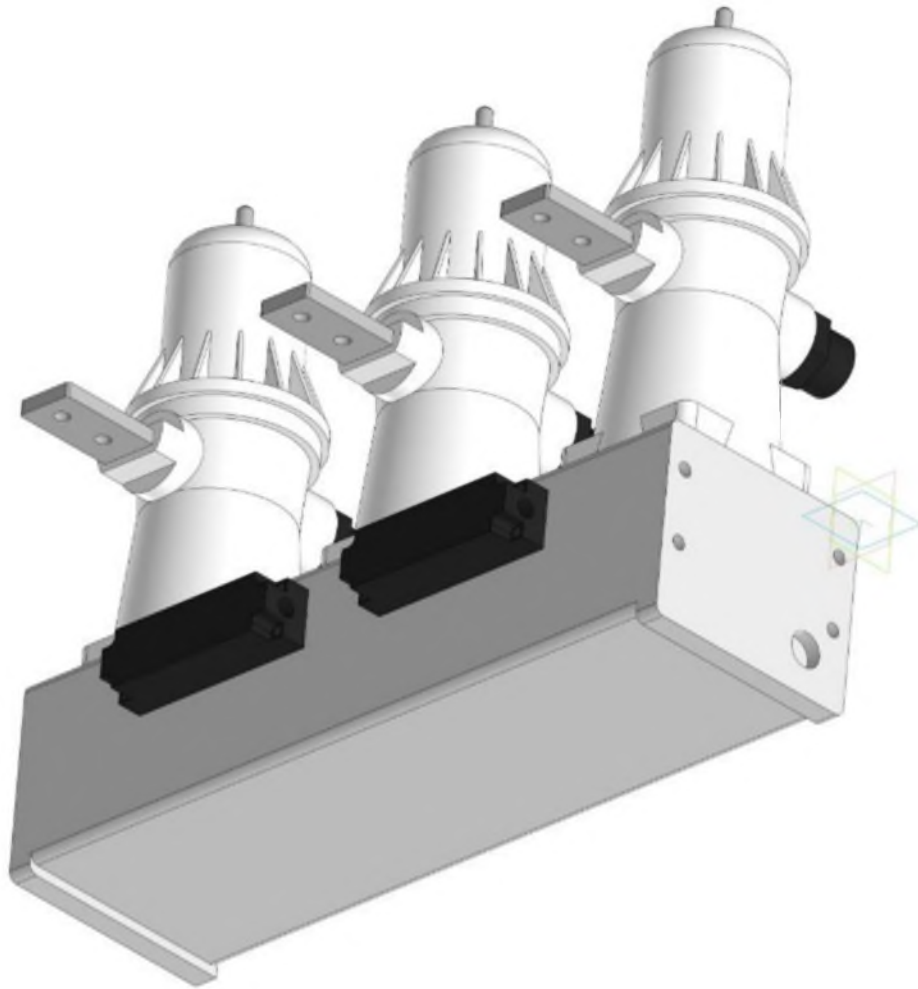


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд вимикачу у лінії навантаження

Значення максимальних струмів при тривалому режимі, величина періодичної складової  $I_{K3}$  у початковий час й показники струму ударного вимагають використання уніфікованих вакуумних вимикачів типу ВВ/Tel перед установкою. Відповідні дані про основні параметри цього вимикача наведені у табл. 2.3, там також представлені й формули розрахунку [4].

При цьому показник за термічної стійкістю даного вимикача становить :

$$\sigma_{mp}^{II} = t_{mp} \cdot I_{mp}^2 = 4 \cdot 20^2 = 1200 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} \quad (2.29)$$

Таблиця 2.3 – Основні параметри вакуумного вимикача для встановлення у лінії із навантаження типу (ВВ/Tel 10-20/1600)

| Види проведеної перевірки параметру                   | Умови для вибору й перевірки     | Розрахункові параметри | Дані обраного типу вимикача |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| За напругою установки, (кВ)                           | $U_{вст} \leq U_{ном.В}$         | 6                      | 10                          |
| За тривалим струмом, (кА)                             | $I_{max} \leq I_{ном.В}$         | 1.374                  | 1.6                         |
| Перевірка по здатності, що включає, кА                | $I_{П(0)} \leq I_{Вм}$           | 1.374                  | 20                          |
|                                                       | $i_e \leq i_{ном.В}$             | 4.88                   | 51                          |
| За відключення періодичної складової Ікз, (кА)        | $I_{П(\tau)} \leq I_{від.ном.В}$ | 1.371                  | 0.6                         |
| Перевірка за термічною стійкістю, (кА <sup>2</sup> с) | $B_k \leq t_{mp} \cdot I_{mp}^2$ | 1200                   | 1600                        |
| Перевірка за електродинамічною стійкістю, (кА)        | $i_e \leq i_{динн}$              | 4.88                   | 20                          |
|                                                       | $I_{П(0)} \leq I_{дин}$          | 1.374                  | 51                          |

Комплектно розподільчий пристрій типу . КРП 10(6) кВ на базі ВМП10 забезпечує прийом та послідуочий розподіл електрики трифазного змінного струму із частотою  $f_{EM}=50$  (Гц) й напругою 6(10) кВ. Даний вид обладнання використовуються як пристрій розподільний для промислових й міських об'єктів.

Основним комутаційним апаратом є відповідно, вимикач типу ВМП10, котрий установлений на викочувальному елементі. КРП даної серії проектується відділеними шафами із елементами для стикування шаф в розподільчий пристрій. Структуру обраного КРП із основними елементами наведено на рис. 2.8.

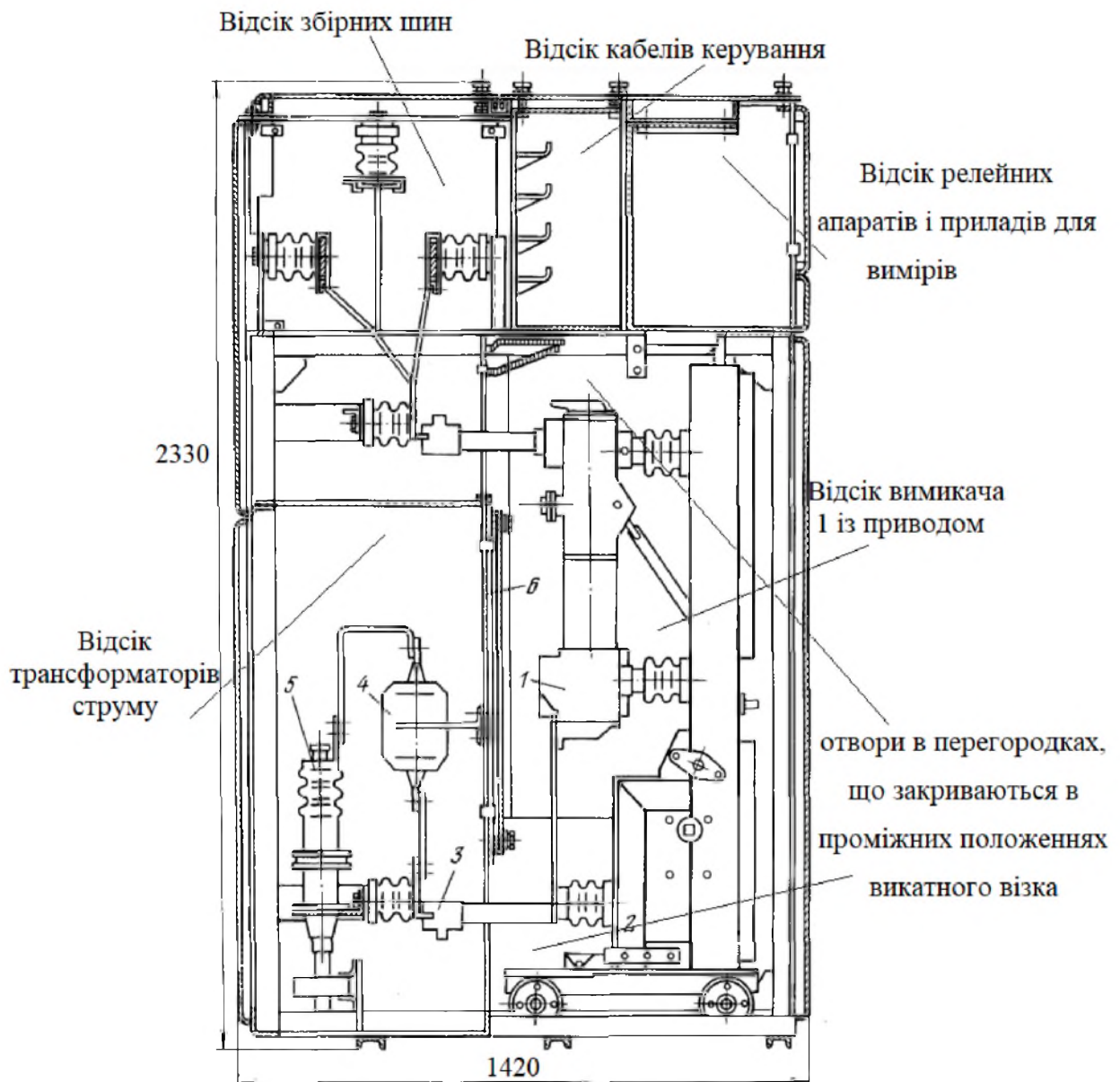


Рисунок 2.8 – Структурна схема КРП 10 (кВ)

На рис. 2.8 позначені наступні пристрої: 1–відсік вимикача; 2 – привод; 3 – роз'єднувачі; 4 – трансформаторів струму; 5 – кабель з кінцевим

розбиранням; 6 – металеві штори. Основні параметри обраного КРП представлені у табл. 2.4

Таблиця 2.4 – Параметри КРП 10 (кВ)

| Значення параметру | Найменування показників                                                        |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 6; 10 (кВ)         | Номінальна напруга, (кВ)                                                       |
| 12 (кВ)            | Робоча найбільша напруга                                                       |
| 1.6 (кА)           | Струм номінальний мереж камер із вимикачем вакуумним                           |
| 31.5 (кА)          | Струм номінальний відключення камер із вимикачем вакуумним                     |
| 52 (кА)            | Струм електрод. стійкості камер із вимикачем вакуумним                         |
| 20 (кА)            | Струм терм. стійкості камер із вимикачем вакуумним (тобто короткочасний струм) |

### 3. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ПРИЛАДІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ І АВТОМАТИКИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ.

#### 3.1 Вибір систем захист ліній із навантаженням.

Необхідно забезпечити на лініях, котрі відходять (із навантаженням), наступні заходи захисту:

- струмове відсічення (СВ) для запобігання пошкодження обладнання при перевищенні допустимих значень струму;
- максимальний струмовий захист для захисту від перевантажень;
- захист трансформатору від перевантаження Тр. власного споживання;
- дуговий захист для запобігання можливим наслідкам виникнення дуги при відключенні вимикача;
- захист від замикання на землю для захисту від КЗ;
- резервування відмови вимикача, шляхом забезпечення наявного запасного вимикача.
- застосування автоматичного повторного включення (для впровадження у ПЛ – повітряних ліній) для автоматичного відновлення електропостачання після тимчасового переривання, наприклад, у результаті грози;

Зазвичай на односторонньо живлених одиночних лініях від багатозначних замикань потрібно встановлювати струмовий захист із 2 ступенями. Перший ступінь має бути струмовим відсіканням, а другий – МСЗ із незалежною чи залежною витримкою часу [7].

Щоб виконати захист лінії від замикань однофазних на землю, варто встановити один із таких видів захистів:

- 1) Селективний захист, котрий визначає напрямок пошкодження та відрізняє його від інших напрямків, діє на сигнал.
- 2) Селективний захист, який визначає напрямок пошкодження і відрізняє його від інших напрямків, діє на відключення, якщо це необхідно з

точки зору безпеки. Захист має бути установлений на елементах живлення у всій зв'язаній електромережі.

3) Також можна використовувати пристрої контролю за станом ізоляції, де пошук ушкодженого елемента здійснюється спеціальними пристроями. Допускається пошук пошкодженого елемента через послідовне відключення приєднань [4, 8].

Для захисту від дугових замикань необхідно установити контроль за струмом.

При живленні зовнішніх споживачів на лініях варто передбачити селективну сигналізацію в разі однофазних замикань на землю.

Електроустановки пристрою РВВ повинні мати захист, котрий діє на вимкнення суміжних вимикачів при відмові одного з них, що сталася через пошкоджений елемент – трансформатор, лінію, шину [9].

Отже підсумовуючи зазначене вище, можна усі види захисту

Таблиця 3.1 – Види захисту й автоматики КЛ 6(кВ)

| Порядок спрацювання | Спосіб виконання                                           | Вид захисту                                                   |
|---------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1                   | трьох релейна, двохфазна                                   | СВ                                                            |
| 2                   | трьох релейна, двохфазна,<br>із зміною величини $\Delta t$ | МСЗ                                                           |
| 3                   | відключення вакуумного<br>та секційного вимикача           | Засіб резервного<br>забезпечення під час<br>відмови вимикача. |

Тоді у встановленому режимі встановився, значення максимального струму становить:

$$I_{p.\max} = \frac{S_{\text{ном}} \cdot n_T}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{630 \cdot 10^3 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 121.39 \text{ (A)} \quad (3.1)$$

Із (3.1) можна обрати за даними каталогу трансформатор струму серії ТПОЛ 10/300 [7].

Розглянемо детальніше кожний ступінь захист. Так першим є струмова відсічка і для неї відбудовано величину струму від максимального значення струму КЗ у кінці лінії:

$$I_{CB} = I_{\max.K_4}^{(3)} \cdot k_n = 4.559 \cdot 1.1 = 5.015 \text{ (кА)} \quad (3.2)$$

Далі знайдемо величину струм спрацьовування реле:

$$I_{CP.CB} = \frac{I_{CB}}{m_T} = \frac{5.015 \cdot 10^3}{\frac{200}{5}} = 125.4 \text{ (А)} \quad (3.3)$$

Тепер можна перейти до розгляду другої ступені – МСЗ, так захист починається із пускового режиму, а величина струму спрацьовування захисту становить:

$$I_{CЗ.МСЗ} = \frac{I_{p.\max} \cdot k_n \cdot k_{CЗ}}{k_{відс}} = \frac{121.39 \cdot 1.1 \cdot 1.2}{0.85} = 186.5 \text{ (А)} \quad (3.4)$$

При цьому струм спрацьовування реле у МСЗ складає:

$$I_{CP.МСЗ} = \frac{I_{CЗ.МСЗ}}{m_T} = \frac{186.5}{\frac{200}{5}} = 4.67 \text{ (А)} \quad (3.5)$$

Показник коефіцієнту чутливості для даного виду захисту становить:

$$k_{ч.МСЗ} = \frac{I_{\min.K_4}^{(3)}}{I_{СЗ.МСЗ}} = \frac{4015}{186.5} = 21.53 > 1.5 - \text{умова виконується} \quad (3.6)$$

Витримка за часом може бути прийнята більшою за ступінь селективності, аніж на розподільчому пункті й становить відповідно:

$$t_{КЛ} = t_{В.ПП} + \Delta t; \quad (3.7)$$

$$t_{В.ПП} = t_{Tp} + \Delta t$$

Витримка часу на захисті трансформатору становить:

$$t_{В.ПП} = 0.45 + 0.3 = 0.75 \text{ (с);} \quad (3.8)$$

$$t_{КЛ} = t_{В.ПП} + \Delta t = 0.75 + 0.3 = 1.05 \text{ (с)}$$

І останнім етапом у дослідженні часових характеристик КЛ 6 (кВ) є визначення параметрів засобу резервного забезпечення при відмові вимикача [3, 8]. Так час спрацювання цього захисту знаходиться у межах 0.2–0.35 (с), обираємо  $t_{СЗ.ЗРЗЖ} = 0.25$  (с), тоді струм спрацювання даного захисту становить:

$$I_{СЗ.ЗРЗЖ} = 0.1 \cdot I_{ном} = 0.1 \cdot 121.39 = 12.14 \text{ (А)} \quad (3.9)$$

Також треба дослідити й секційний вимикач, розташований КЛ 6 (кВ) показник потужності приєднань 30 підстанцій трансформаторних:

$$S_T = k_n \cdot (n_{Tp} \cdot S_{Tp}) = 10 \cdot 2 \cdot 630 = 12.6 \text{ (МВА)} \quad (3.10)$$

Тоді максимальний робочий струм, котрий протікає через секційний вимикач:

$$I_{p.\max(CB)} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{12.6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 1.21 \text{ (кА)} \quad (3.11)$$

Із (3.11) можливо обрати за даними каталогу трансформатор струму серії ТПОЛУ 10/3000(5) [7].

Тепер виконаємо розрахунок за етапами захисту, як для КЛ

$$I_{C3.MC3(CB)} = \frac{I_{p.\max(CB)} \cdot k_n \cdot k_{C3}}{k_{відс}} = \frac{1.21 \cdot 10^3 \cdot 1.1 \cdot 1.2}{0.85} = 1.884 \text{ (кА)} \quad (3.12)$$

Зважаючи на те, що схема у яку з'єднані блоки захисту й трансформаторів струму являє неповну зірка із додатковим реле, величина струмового спрацьовування реле становить:

$$I_{CP(CB)} = \frac{I_{C3.MC3(CB)} \cdot k_{cx}}{n_T} = \frac{1.884 \cdot 10^3}{\frac{400}{5}} = 23.55 \text{ (А)} \quad (3.13)$$

Знову перевіряємо виконання вимоги за коефіцієнтом чутливості для захисту СВ, що становить:

$$k_{ч.MC3(CB)} = \frac{I_{\min.K_3}^{(3)}}{I_{C3.MC3(CB)}} = \frac{4015}{1884} = 2.13 > 1.5 \text{ - умова виконується} \quad (3.14)$$

Використовуючи захист зі незалежною витримкою в часі, беремо до розрахунку витримку часу на величину ступені селективності вищою (тобто на 0.3( с) ), аніж захист у КЛ:

$$t_{CB}=1.05+0.3=1.35 \text{ (с)} \quad (3.15)$$

Обрання уставок увімкнення резерву, спрацювання напруги відбудовується у найменшій залишкової напрузі КЗ й від напруги під час самозапуску ЕД:

$$U_c=(0.3 \div 0.4) \cdot U_n \quad (3.16)$$

$$U_c=0.3 \cdot U_n = 0.3 \cdot 6 \cdot 10^3 = 1.8 \text{ (кВ)}$$

Тоді показник напруги спрацювання становить:

$$U_{c(CB)} = \frac{U_c}{n_n} = \frac{1800}{60} = 30 \text{ (В)} \quad (3.17)$$

$$n_n = U_n \frac{1}{100} = 6000 \frac{1}{100} = 6$$

Значення часової витримки часу увімкнення резерву має бути вищою за максимальну витримку:

$$t_{ABP} = t_{CB} + 3 \quad (3.18)$$

$$t_{ABP} = 1.35 + 3 = 4.35 \text{ (с)}$$

Тоді витримка у часі засобу резервного забезпечення при відмові ВВ обираємо 0.25 (с)

може бути прийнята рівною (0,2-0,3), що покращує умови збереження стійкості енергосистеми і зменшує витримки часу резервних захистів.

$$t_{BB.ПП.} = 0.25 \text{ (с);} \quad (3.19)$$

$$I_{CЗ.ЗРЗЖ(СВ)} = 0.1 \cdot I_{ном} = 0.1 \cdot 124.5 = 12.45 \text{ (А)}$$

Щодо трансформаторів, то для них потрібно передбачати релейний захист для запобігання наступних видів пошкоджень, а також й ненормальних режимів роботи, як:

- а) багатофазних замикань у обмотках й на виводах [4];
- б) замикань виткових у обмотках;
- в) замикань однофазних на землю у обмотці й на виводах, коли трансформатор з'єднаний із мережею із глухозаземленою нейтраллю;
- г) струмів у обмотках, котрі спричинені навантаженням.
- д) струмів у обмотках, котрі спричинені зовнішніми короткими замиканнями [7].

Мають бути забезпечені наступні види захисту трансформатора:

- 1) Один комплект із диференціального струмового захисту для виявлення багатофазних замикань у обмотках й на виводах.
- 2) Резервний захист із боку вищої й нижчої напруги для додаткової безпеки.
- 3) Газовий захист для виявлення виткових замикань у обмотках.
- 4) Диференціальний струмовий захист шин низької напруги для виявлення замикань однофазних на землю, приєднаних до електромережі із глухозаземленою нейтраллю.
- 5) Захист від перевантаження [4].

Газові реле мають включатися через термінал із диференційного захисту й термінал із резервного захисту із боку вищої напруги, що вимагає наявності реле із двома контактами, котрі виконують відключення.

У табл. 3.2 наведені види захисту й автоматики для трансформатору 35/6 (кВ).

Таблиця 3.2 – Види захисту й автоматики для трансформатору 35/6 (кВ)

| Порядок спрацювання | Спосіб виконання | Вид захисту                                             |
|---------------------|------------------|---------------------------------------------------------|
| 1                   | Трьох фазна      | Диференційний захист трансформатора                     |
| 2                   | —                | Газовий захист                                          |
| 3                   | —                | МСЗ                                                     |
| 4                   | Трьох фазна      | Захист від перевантаження                               |
| 5                   | —                | Струмівий захист з орієнтацією на нульову послідовність |

Також варто розрахувати основні показники й для захисту трансформатору 6/0.4 (кВ).

$$I_{p.\max(T)} = \frac{1.4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1.4 \cdot 630 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 84.97 \text{ (A)} \quad (3.20)$$

Тут можна обрати трансформатор струму серії ТПОЛ 10/200, у якого  $k_{ТС}=100/5$

$$I_{CB(T)} = I_{\max.K_s}^{(3)} \cdot k_n = 1.316 \cdot 1.15 = 1.513 \text{ (кА)} \quad (3.21)$$

Далі знайдемо струму спрацювання реле:

$$I_{CP(T)} = \frac{I_{CB(T)}}{k_{TC}} = \frac{1.513}{\frac{100}{5}} = 75.67 \text{ (A)} \quad (3.22)$$

Спрацювання струму захисту із реле МСЗ визначається за первинними двома умовами:

1) За умовою, що захист не відпрацює при підвищенні струму після відключення від попереднього обладнання у момент аварії:

$$I_{C3(T)} = \frac{I_{p.\max(T)} \cdot k_{cz} \cdot k_n}{k_e} = \frac{84.97 \cdot 2 \cdot 1.2}{0.85} = 239.92 \text{ (A)} \quad (3.23)$$

Тоді величина струму спрацювання захисту трансформатору складатиме:

$$I_{C3(T)} = \frac{I_{C3.MC3(T)}}{k_e} = \frac{239.92}{\frac{100}{5}} = 11.97 \text{ (A)} \quad (3.24)$$

2) За забезпечення достатнього значення чутливості у кінці лінії об'єкта, котрий захищається (або основної зони):

$$k_{ч.MC3(T)} = \frac{I_{\min.K5}^{(3)}}{I_{C3.MC3(T)}} = \frac{1254}{239.92} = 5.23 > 1.5 \text{ - умова виконується} \quad (3.25)$$

Ще однією важливою складовою в контексті дипломної роботи є захист від перевантаження, для цього приймемо, що захист від перевантаження зроблений одноступеневим, тому:

$$I_{C3(T)} = \frac{I_{p.\max(T)} \cdot k_n}{k_e} = \frac{84.97}{0.85} = 99.97 \text{ (A)}$$

(3.26)

$$I_{CP(T)} = \frac{I_{C3(T)}}{k_{TC}} = \frac{99.97}{20} \approx 5 \text{ (A)}$$

Отже розрахувавши показники приладів захисту для трансформатору можна розрахувати й показники трансформатору 35/6 (кВ) за аналогією із попереднім [8].

Так величини струмів для ВН й НН можна знайти за (3.27)

$$I_{ном.ВН(T)} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.ВН}} = \frac{10000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 165.15 \text{ (A)}$$

(3.27)

$$I_{ном.НН(T)} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.НН}} = \frac{10000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 963.39 \text{ (A)}$$

Для захисту трансформаторів необхідно мати пристрої релейного захисту, котрі забезпечують захист від різних видів ненормальних режимів роботи ушкоджень, зокрема:

- однофазних замикань на землю у обмотці й на виводах, що приєднані до мережі із глухозаземленою нейтраллю;
- багатофазних замикань у обмотці й на виводах;
- виткових замикань у обмотці;
- струмів в обмотках, обумовлених навантаженням;
- струмів у обмотках, котрі виникають через зовнішні КЗ;
- зменшення рівня олії у трансформаторі [9].

У табл. 3.3 наведені види захисту й автоматики для трансформатору 6/0.4 (кВ).

Таблиця 3.3 – Види захисту й автоматики для трансформатору 6/0.4 (кВ)

| Порядок спрацювання | Спосіб виконання                               | Вид захисту                                             |
|---------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1                   | трьох релейна, двохфазна                       | МСЗ                                                     |
| 2                   | –                                              | СВ                                                      |
| 3                   | –                                              | Газовий захист                                          |
| 4                   | TN у нульовому проводі                         | СЗНП (струмовий захист нульової послідовності)          |
| 5                   | –                                              | Захист від перевантаження                               |
| 6                   | Відключення вимикача (із контролем за струмом) | Засіб резервного забезпечення під час відмови вимикача. |

Необхідно забезпечити такі захисти на осередках виводу:

- комбінований пуск за напругою із МСЗ;
- захист від мінімальної напруги;
- захист від дуги;
- пристрій резервного забезпечення у разі відмови вимикача.

### 3.2 Реалізація пристрою керування навантаженням.

У роботі за результатами аналізу проведеного у першому розділі, була побудована й блок-схема алгоритму за яким відбувається навчання штучної нейронної мережі, котрий представлений на рис. 3.1

Так на перших етапах (в блоках 1, 2 та 3) відбувається увстановлення початкових умов, зчитуються параметрів за навантаженням та нормалізація – перетворення у відносні величини  $P_i$ , котрі знаходяться у діапазоні меж  $0 \leq P_i \leq 1$ , де  $i$  змінюється від 1 до 24.

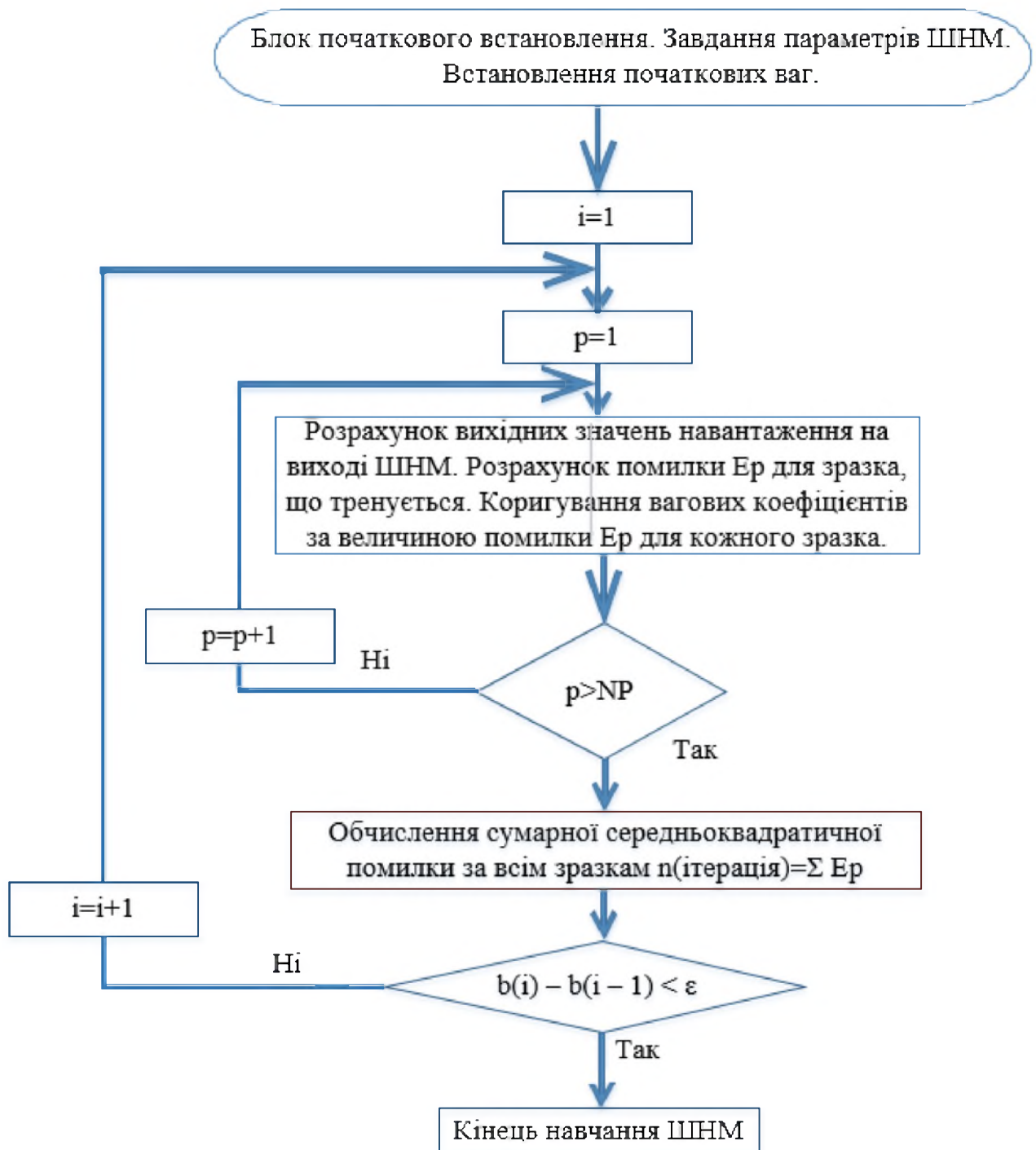


Рисунок 3.1 – Блок-схема тренування ШНМ

Тоді показники сигналів на входах й виходах нейронів у прихованому шарі (структура ШНМ рис 1.5) та вихідного шару визначається у блоці 4 (рис. 3.1) за наступними формулами:

$$n_j = \sum_{i=1}^{24} P_i \cdot W_{ji}, \text{ де } j=1,2,\dots,n;$$

$$P_i = \frac{1}{e^{-(n_j+\theta_j)} + 1};$$

(3.28)

$$n_m = \sum_{j=1}^{24} P_j \cdot W_{mj}, \text{ де } m=1;$$

$$P_j = \frac{1}{e^{-(n_m+\theta_m)} + 1}$$

де  $W_{ji}$  та  $W_{mj}$  – значення вагових коефіцієнтів поміж відповідним нейронами шару  $i$  та  $j$ , а також шару  $j$  та  $k$ ;

$P_i$ ,  $P_j$  – значення вихідних сигналів шару  $j$  та  $k$ ;

$n_j$  та  $n_m$  – значення сигналу на входах шару  $j$  та  $k$ ;

$\theta_m$ ,  $\theta_j$  – кореляція помилки [8, 10].

Далі проводиться обчислення похибки для кожного прикладу, котрий проходить етап навчання:

$$E_T = \frac{(\varepsilon_k - \delta_p)^2}{2} \quad (3.29)$$

де  $\varepsilon_k$  – значення бажане навантаження вихідне;

$\delta_p$  – значення розрахункового навантаження (фактичного);

Після обчислення градієнтного спуску ШНМ у координатній площині простору ваг  $W_{ji}$  та  $W_{mj}$ , а також виконання їх коригування, знаходиться сумарна помилка у всіх зразках (за рис. 3.1 – блок 7), а після цього відбувається перевірка виконання за умовами точності (за рис. 3.1 – блок 8). Тоді, якщо

умова точності розрахунків виконана, процес навчання завершується. У протилежному випадку, процес навчання повторюється [10].

Важливо також зазначити, що штучна нейронна мережа отримує всю потрібну інформацію із навчальної вибірки, тому й якість навчання ШНМ залежить безпосередньо від кількості прикладів наявних в навчальній вибірці, а також того, наскільки добре вони описують саме завдання. Загалом, для повноцінного навчання ШНМ, як було проаналізовано ще у першому розділі, необхідно мати кілька десятків, а краще сотні прикладів.

В роботі реалізовано навчання ШНМ із метою прогнозування навантаження у електроспоживанні через застосування блоку «Neural Network Toolbox» в пакеті моделювання Matlab.

4. РОЗРОБКА ТА ПЕРЕВІРКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ  
ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ЗІ ПРИСТРОЄМ КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ.

Перед тим як досліджувати загальну електричну мережу, було розроблено й навчено ШНМ, котра досліджувалась у 3 розділі. Так на рис. 4.1 представлено вікно тренування, де можна побачити час навчання, кількість повторень, метод та фінальний результат середньо квадратичної помилки.

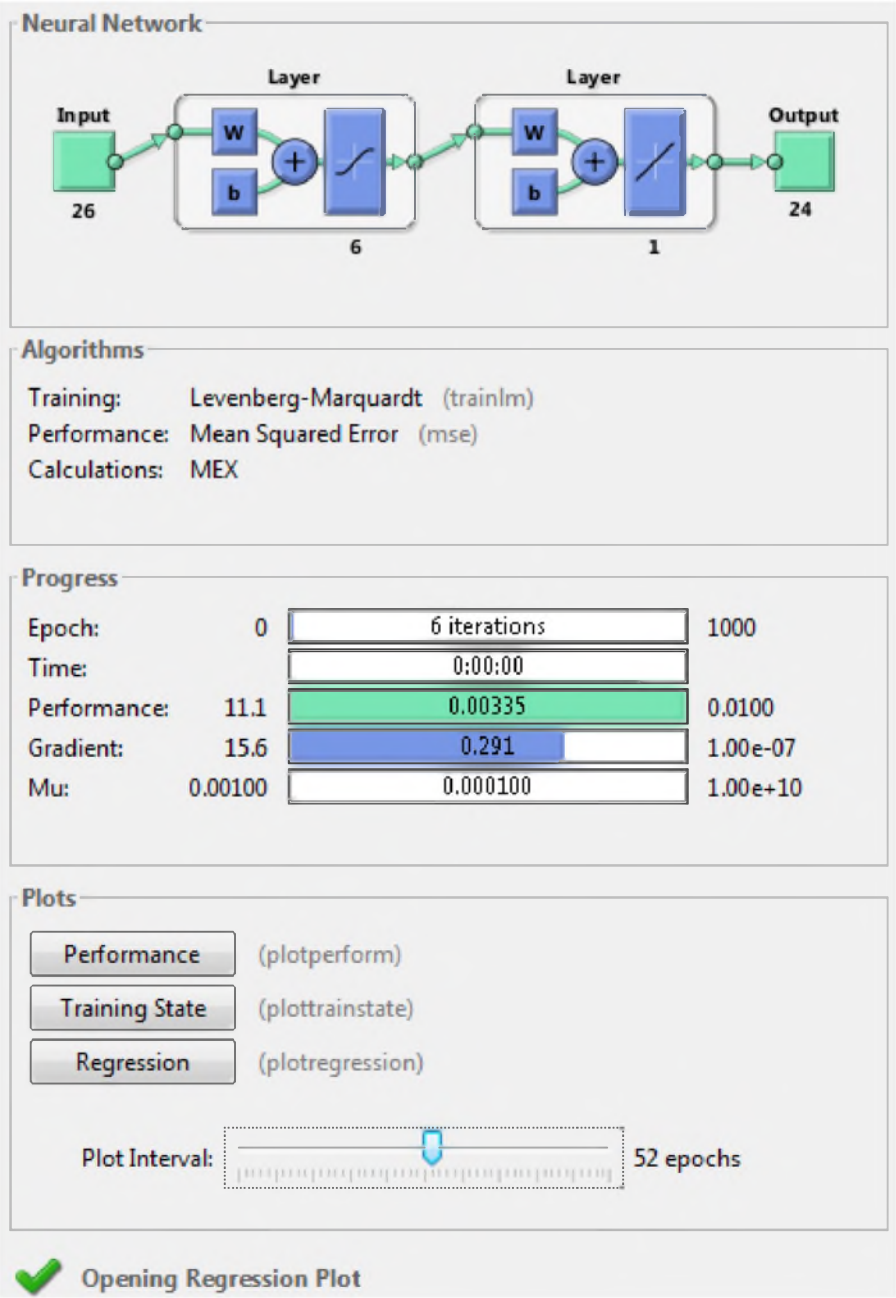


Рисунок 4.1 – Вікно навчання ШНМ, основні параметри

Тепер можна об'єднати електромережу із системою діагностики і прогнозування перевантаження, представлену на рис. 4.2.

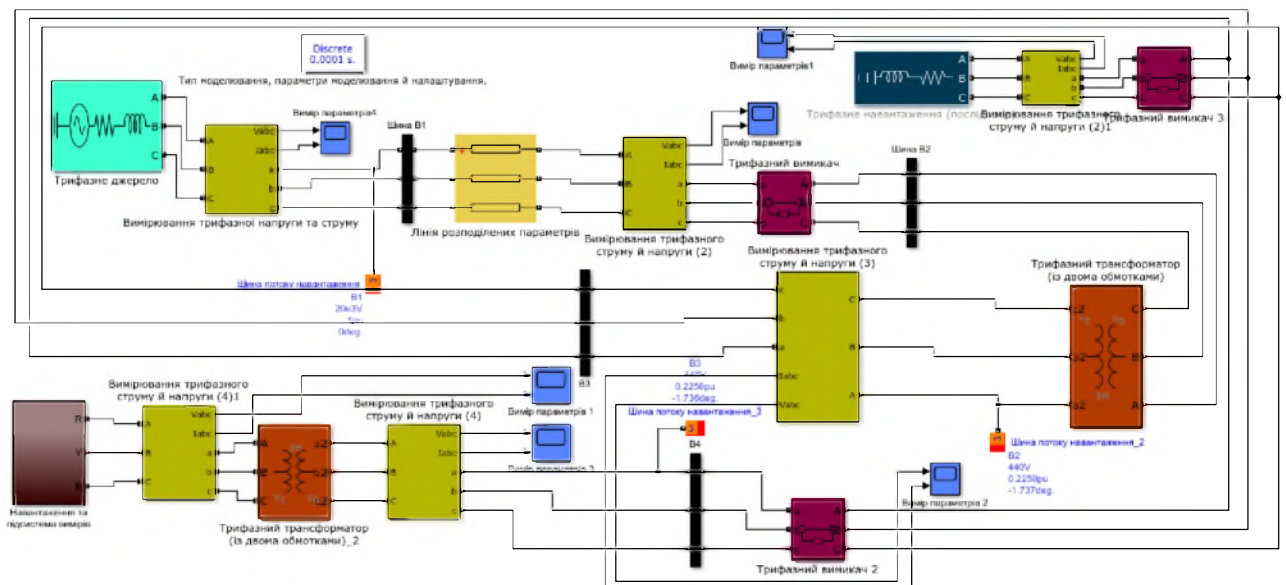


Рисунок 4.2 – Загальна модель досліджуваної електричної мережі

На рис. 4.3–4.5 представлені електричні діаграми у різних точках електромережі – біля джерела живлення, у лінії електропересилання та у самих приймачах електрики. Котрі доводять, що під час зміни навантаження (котру було змодельовано)

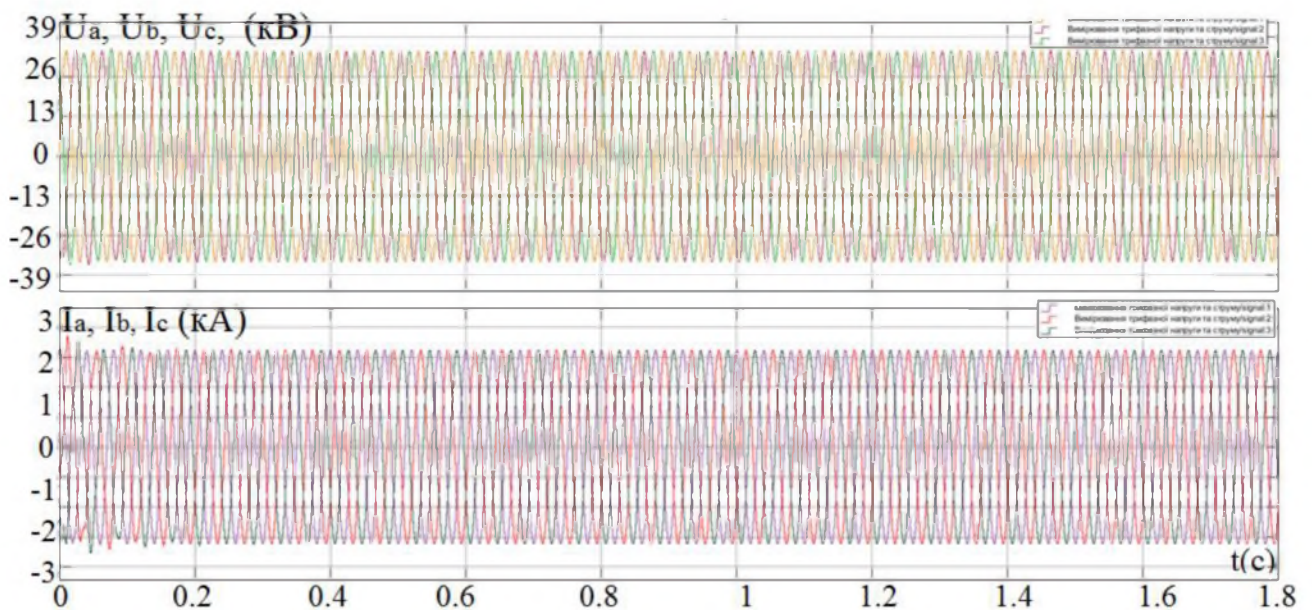


Рисунок 4.3 – Осцилограма електричних параметрів (біля джерела живлення)

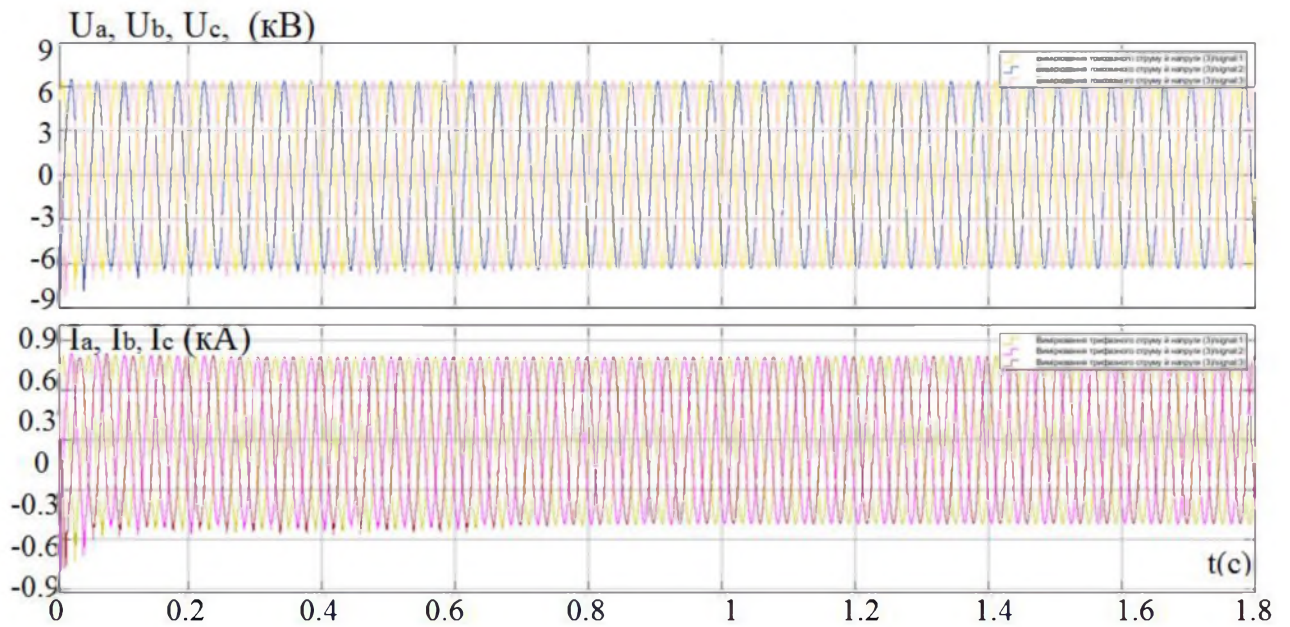


Рисунок 4.4 – Осцилограма електричних параметрів (у лінії електропередавання)

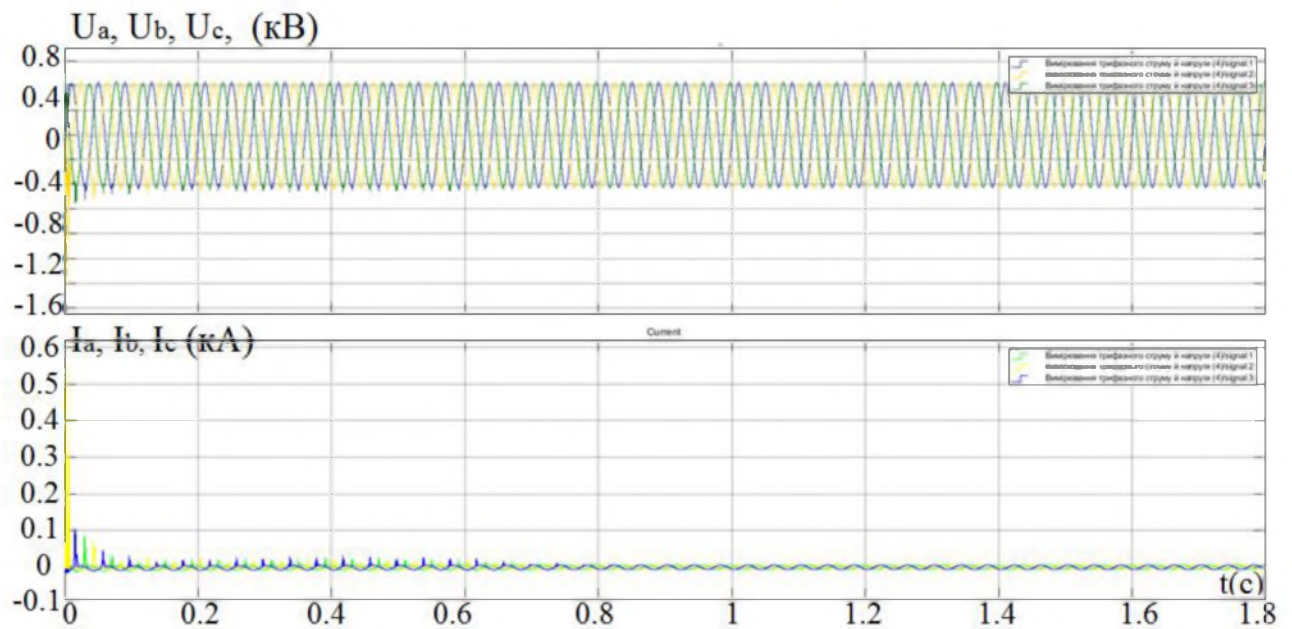


Рисунок 4.5 – Осцилограма електричних параметрів (біля приймачів)

## ВИСНОВКИ

В науковій роботі було досліджено й розв'язане питання перевантаження електричних мереж. Як виявилось в ході аналізу більшість випадків збільшення навантаження відбуваються у певні години протягом дня, та із певною циклічністю, якщо розглядати характер зміни навантаження протягом року. Тож відповідно було зроблено висновок, що збільшення навантаження у переважній кількості випадків, можна спрогнозувати, якщо використовувати у електричній мережі відповідні системи, котрі виконують діагностику із прогнозуванням (спираючись на параметри мережі в реальному часі).

Тоді було досліджено схожі сучасні розв'язання цієї проблеми, у наукових працях, як в Україні так і у країнах ЄС. Після порівняння трьох основних систем, через висвітлені у першому розділі переваги (а саме – постійне перенавчання, доступність та простота у виконанні й подальшому обслуговуванні) вибір було зроблено у бік штучні інтелектуальні мережі, а саме ШНМ. Їх застосування дозволило отримати наступні позитивні результати:

На основі сучасних методів машинного навчання й застосування штучних нейронних мереж розроблено методи оптимізації режиму реактивної потужності на промислових підприємствах із метою зменшення втрат.

Досліджено ефективність запропонованих методів на моделі електричної мережі із ділянками радіальними й кільцевими. Використання цих методів дозволяє підвищити ефективність та зменшити витрати на додаткове обладнання для досліджуваної (або модельованої) електромережі.

Методи із виконання прогнозу й оптимізації застосована у дипломній роботі є найбільш ефективними для прогнозування змінених динамічна навантажень на сучасній підстанції.

Використання запропонованого підходу забезпечує значне зменшення помилки прогнозування порівняно із традиційними методами.

Проте, варто додати, що втілити дану модель на практиці, із впровадження однієї тільки ШНМ замало, при аналізі було встановлено, що необхідно провести певну модернізацію систем із автоматизації та релейного захисту мережі, що й було зроблено протягом другого й третього розділу роботи

Після вибору основного обладнання, систем контролю й захисту, проведення оптимізації, була створена й досліджена загальна математична модель у пакеті Matlab.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. М. Й. Олійник, М. С. Сегеда, В. Г. Лисяк, «Режими систем пересилання й споживання електричної енергії» навч. посібник, місто. Львів: 2021 р., видавництво. «Львівської політехніки», – 304 с. ISBN 978-966-941-681-0
2. Н. Б. Дьяченко, М. С. Сегеда, А. Б. Козовий, «Лінії електропересилання, трансформатори, а також обчислення їх параметрів» навчальний посібник, видав. Львівської політехніки, місто Львів: 2020 р. 176 с.
3. Лозинський О. Ю., Марущак Я. Ю., Лозинський А. О., Цяпа В. Б., Паранчук Я. С., «Синтез лінійних оптимальних динамічних систем» Навчальний посібник / місто Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016 рік. 392 с.
4. А. В. Журахівський, З. М. Бахор., А. Я. Яцейко та інші «Оптимізація режимів електроенергетичних систем» навч. пос. м. Львів : вид. Львівської політехніки, 2018 р. 180 с.
5. А. В. Журахівський, З. М. Бахор «Проектування підстанцій електромереж» Навчальний посібник. м. Львів: в. Львівської політехніки, 2017 рік, 308 с.
6. В. М. Волков «Проектування засобів за вимірюванням прохідної потужності»: навчальний посібник – м. Харків.: в. ХТУРЕ, 2000 рік. – 160 с. УДК 621.317.8
7. П. П. Орнатський, “Автоматичні зміни і прилади: (Аналогові й цифрові): Підручник для ВНЗ за спеціальністю `Інформатика та вимірювальна техніка` - п'яте вид. перероблене й доповнене . – м. Київ.: Вища школа, 1986 р. - 504 с.
8. Ю. І. Бакалін, «Енергозбереження й енергетичний менеджмент : навчальний посібник для ВНЗ - друге видання . видав. ХІУ – м. Харків :, 2002 р. – 199 с.

9. В. М. Буряк «Експлуатація електрообладнання систем електропостачання : Навчальний посібник - друге вид.,перероблено та виправлено . – м. Харків. : під редакцією А. М. Тимченко , 2008 р. - 483 с. УДК: 621.311.

10. Ю. Л. Саєнко, В. В. Любарцев, ПДТУ, «Застосування нейронних мереж при оптимізації режиму реактивної потужності у розгалужених електричних мережах.» ISSN 2307-4221 Електрифікація транспорту, № 12. – 2016.

ДОДАТОК А.

«ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО  
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ»

Студентки групи ЕЛКз – 19, ЮРЧЕНКО Є.

| Призначення<br>документа | Документ | Умовні<br>позначення | Зміст зауваження |
|--------------------------|----------|----------------------|------------------|
|                          |          |                      |                  |

Дата \_\_\_\_\_

Підпис \_\_\_\_\_  
(ПІБ)

## ДОДАТОК Б

## «Охорона праці й захист обслуговуючого персоналу при роботі у електричних мережах напругою понад 1 (кВ)»

В умовах сучасного виробництва, яке нерозривно пов'язане з використанням електроенергії, особливого значення набуває питання електробезпеки.

Електробезпека - це система організаційних, технічних заходів й засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого й небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля й статичної електрики.

Електробезпека на підприємстві забезпечується завдяки дотриманню вимог, викладених у таких актах законодавства України:

Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (далі - ПБЕЕП), затверджені наказом Державний нагляд охорон праці від 09.01.1998 № 4;

Правила безпечної експлуатації електроустановок, дія яких поширюється на працівників, які виконують роботи в електроустановках Міністерства енергетики України, затверджені наказом Державний нагляд охорон праці України від 06.10.1997 р. № 257;

Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (далі — ПТЕЕП), затверджені наказом Міністерство паливної енергетики України від 25.07.2006 № 258 (у редакції наказу від 13.02.2012 № 91), якими унормовані організаційні й технічні вимоги до експлуатації електроустановок;

Правила експлуатації електрозахисних засобів, затверджені наказом Міністерства праці й соціальної політики України від 05.06.2001 № 253, в яких наведено перелік засобів захисту, вимоги до них, обсяги й норми випробувань, порядок застосування, зберігання, а також норми комплектування засобами захисту електроустановок й виробничих бригад;

Правила влаштування електроустановок (далі — ПУЕ), які визначають будову, принципи влаштування, особливі вимоги до окремих систем, їх елементів, вузлів й комунікацій електроустановок (наказ Міністерства енергетики й вугільної промисловості України від 24.07.2017 № 476);

\* ДСТУ 2843-94 «Електротехніка. Основні поняття. Терміни й визначення», який встановлює терміни й визначення основних понять з електробезпеки;

Правила пожежної безпеки в Україні затверджені наказом МВС від 30.12.2014 № 1417.

Побутові електроприлади в умовах виробництва експлуатують відповідно до експлуатаційної документації підприємств-виробників й ПТЕЕП (п. 1.5 розд. I ПТЕЕП).

Б.1. Вимоги до персоналу, який здійснює обслуговування електроустановок.

Вимоги до персоналу, який здійснює обслуговування електроустановок  
Персонал, який здійснює експлуатацію електроустановок в Україні, поділяють на електротехнічний, електротехнологічний й неелектротехнічний.

Електротехнічний персонал складається з:

- адміністративно-технічного - керівники й фахівці, які забезпечують організацію робіт;

- оперативного, який здійснює оперативне управління й обслуговування електроустановок (огляд, підготовку робочих місць, допуск й нагляд за працюючими тощо);

- ремонтного - забезпечує технічне обслуговування, ремонт, монтаж, налагодження й випробування електроустановок;

- оперативно-ремонтного – підготовленого персоналу для оперативного обслуговування електроустановок.

Електротехнологічний персонал обслуговує:

- електротехнологічні установки (електрозварювання, електроліз, електротермія тощо);
- установки, під час роботи яких потрібне постійне регулювання електроапаратури й електроприводів;
- ручні, переносні або пересувні електричні приймачі.

Неелектротехнічний персонал - це персонал, який обслуговує виробниче обладнання, яке живиться електрострумом (верстати, електроінструменти, інші електрифіковані агрегати), а також особи, які за специфікою роботи можуть контактувати з таким обладнанням (слюсарі, прибиральниці тощо).

## Б.2. Причини виникнення електротравм.

Електричні травми виникають внаслідок дії технічного чи атмосферного електричного струму. Як свідчить статистика, більшість нещасних випадків, які фіксуються при обслуговуванні електрообладнання, трапляються з організаційних причин, основними серед яких є:

- недостатня навченість персоналу, який обслуговує електроустановки;
- порушення правил улаштування й безпечної експлуатації електроустановок й правил експлуатації електрозахисних засобів;
- випадковий дотик до неізольованих струмоведучих частин електроустановки;
- хибна подача напруги в установку, де працюють люди;
- неправильне розташування пускової апаратури й розподільчих пристроїв, захаращеність підходів до них;
- порушення правил виконання робіт у охоронних електричних зонах;
- несправність ізоляції, що призводить до подачі струму на металеві невідповідні частини обладнання;
- обрив заземлюючого провідника;

- порушення правил експлуатації електрозахисних засобів чи виконання робіт без індивідуальних засобів електрозахисту;
- виконання електромонтажних й ремонтних робіт під напругою;
- застосування проводів й кабелів, що не відповідають умовам виробництва й використовуваної напруги;
- низька якість електроз'єднань у процесі монтажу й ремонту;
- недооцінка небезпеки при обриві й падінні дроту на землю в ситуації, коли працівник знаходиться близько до місця витоку струму (крокова напруга);
- живлення кількох споживачів від загального пускового пристрою із захистом запобіжниками, які розраховані на відключення найбільш потужного з них, або від однієї групи розподільної шафи;
- подача електрики на електроустановку у неробочі періоди;
- невиконання вимог щодо проведення періодичних випробувань, перевірок опору заземлювальних пристроїв й ізоляції (обмоток електродвигунів, котушок комутаційної апаратури, реле тощо);
- використання електроустановок кустарного виготовлення;
- неналежний контроль над діями персоналу з боку відповідальних осіб;
- відсутність попереджувальних плакатів, блокувань, огорож у місці проведення електротехнічних робіт;
- використання несправних ручних електроінструментів й переносних світильників.

До основних електрозахисних засобів при роботі у електричних установках слід віднести (табл. Б.1):

Таблиця Б.1 – Основні електрозахисні засоби для роботи в електроустановках

| До 1000 В включно                                                                                                                                          | Понад 1000 В                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ізолювальні штанги<br>Ізолювальні кліщі<br>Електровимірювальні кліщі<br>Показчики напруги<br>Діелектричні рукавички<br>Інструмент з ізолювальним покриттям | Ізолювальні штанги всіх видів<br>Ізолювальні кліщі<br>Електровимірювальні кліщі<br>Показчики напруги<br>Пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показники напруги для фазування, показники пошкодження кабелів та ін.) |

Додаткові електрозахисні засоби, які повинні застосовуватись в електроустановках, наведено у таблиці Б.2.

Таблиця Б.2 – Додаткові електрозахисні засоби для роботи в електроустановках.

| До 1000 В включно                                                                                                                                                                                                                                         | Понад 1000 В                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Діелектричне взуття<br>Діелектричні килими<br>Ізолювальні підставки<br>Ізолювальні накладки<br>Ізолювальні ковпаки<br>Сигналізатори напруги<br>Захисні огороження (щити, ширми)<br>Переносні заземлення<br>Плакати і знаки безпеки<br>Інші засоби захисту | Діелектричні рукавички<br>Діелектричне взуття<br>Діелектричні килими<br>Ізолювальні підставки<br>Ізолювальні накладки<br>Ізолювальні ковпаки<br>Штанги для перенесення і вирівнювання потенціалу<br>Сигналізатори напруги<br>Захисні огороження (щити, ширми)<br>Переносні заземлення<br>Плакати і знаки безпеки<br>Інші засоби захисту |

Окрім наведених в таблицях Б.1 та Б.2 засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ:

- захисні каски – для захисту голови;
- захисні окуляри та щитки – для захисту очей та обличчя;
- протигази та респіратори – для захисту органів дихання;
- рукавиці – для захисту рук;
- запобіжні пояси й страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується цими Правилами, *ДНАОП 0.03-3.21-91* "Санітарні норми й правила виконання робіт в умовах впливу електричних полів промислової частоти (50 Гц)", *ДНАОП 1.1.10-1.01-97* "Правила безпечної експлуатації електроустановок", *НАОП 1.1.10-6.04-80* "Керівні вказівки щодо захисту персоналу, що обслуговує розподільні пристрої й повітряні лінії електропередачі змінного струму напруженням 400, 500 й 750 кВ, від дії електричного поля", ГКД 34.10.601-96 "Засоби захисту під час експлуатації енергоустановок. Норми річної потреби", а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов.

### Б.3 Дія електричного струму на організм людини.

Значна потенційна небезпека від ураження електрострумом полягає в нездатності органів чуття людини виявити на відстані наявність електричної напруги.

Проходячи через організм людини, електричний струм має на нього термічну, електролітичну, механічну й біологічну дію, зокрема:

- термічне - викликає опіки окремих ділянок тіла, нагрівання кровоносних судин, серця, інших органів, через які проходить струм, й виникнення в них функціональних розладів;
- електролітична дія – розпад крові й інших органічних рідин, що викликає суттєві порушення їх фізико-хімічного складу;
- механічна дія струму викликає такі пошкодження, як розриви, розшарування тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту;
- біологічна дія струму призводить до небезпечного збудження клітин й тканин організму, яке супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів та може спричинити суттєві порушення у діяльності органів дихання й кровообігу аж до повного припинення їх роботи. При цьому струм може

проходити безпосередньо через ці тканини або надати рефлекторну дію на органи через центральну нервову систему.

Місцевими електричними травмами є:

- електричні опіки – теплове ураження шкіри, м'язів, нервів тощо;
- електричні знаки - плями сірого або блідо-жовтого кольору у вигляді мозолі на поверхні шкіри в місці контакту з струмопровідними частинами;
- металізація шкіри - проникнення у верхні шари шкіри дрібних частинок металу, які розплавився в результаті дії електричної дуги;
- механічні пошкодження – розриви шкіри, кровоносних судин, нервових тканин тощо;
- електрофтальмія - ураження очей внаслідок дії ультрафіолетових випромінювань електричної дуги.

Орієнтовний розподіл нещасних випадків внаслідок дії електричного струму у промисловості за вказаними видами травм: місцеві електротравми – 20%; електричні удари - 25%; змішані травми, тобто одночасно та місцеві електротравми й електричні удари — 55%.

Найбільш небезпечним видом електротравм є електричний удар - раптове збудження живих тканин організму внаслідок дії електроструму, що супроводжується судомним скороченням м'язів.

Згідно із *ДБН В.2.5-27-2006*. «Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків та споруд.» у разі застосування огорож або оболонок як заходу захисту від прямого дотику струмоведучі частини повинні бути вміщені в оболонки або розташовані за огорожами, якими забезпечується ступінь захисту принаймні IPXXB або IP2X за ГОСТ 14254, окрім випадків, коли більші отвори (щілини) потрібні для заміни частин електрообладнання (певні типи патронів, роз'ємних пристроїв, плавких запобіжників) або необхідні для забезпечення нормальної роботи електрообладнання.



Рисунок Б.1 – Знаки із електробезпеки

У зазначених випадках отвори (щілини) повинні бути малими настільки, наскільки це дозволяє заміна частин електрообладнання або забезпечення його нормальної роботи. Крім того, повинні бути вжиті всі можливі заходи для запобігання ненавмисному дотику до струмоведучих частин людей та домашніх тварин й забезпечено, наскільки це можливо, щоб люди були попереджені про можливість дотику до струмоведучих частин через отвори (щілини) та небезпеку навмисного дотику.

1. Легкодоступні горизонтальні зовнішні поверхні огорож та оболонок повинні забезпечувати ступінь захисту принаймні IPXXD або IP4X за ГОСТ 14254.

2. Огорожі та оболонки повинні бути надійно закріплені, а також мати достатню міцність для забезпечення необхідного довготривалого захисту та надійного відокремлення струмоведучих частин у нормальних умовах роботи електрообладнання з врахуванням можливих зовнішніх впливів у процесі експлуатації.

3. Зняття огорожі або розкриття оболонки чи її частини повинно бути можливим тільки:

- за допомогою ключа чи спеціального інструмента або
- після вимкнення живлення струмоведучих частин, що розташовані за огорожею чи вміщені в оболонку, вмикання якого можливе тільки після заміни або відновлення огорожі чи оболонки, або
- якщо для запобігання контакту із струмоведучими частинами встановлена проміжна огорожа, яка забезпечує ступінь захисту принаймні IPXXB або IP2X за ГОСТ 14254 та може бути знята тільки за допомогою ключа чи спеціального інструмента.

#### Б.4 Вибір апаратів та провідників за умовами короткого замикання.

У проекті системи електропостачання підприємства мають бути наведені дані розрахунку струмів КЗ, що використовуються для вибору апаратів та провідників, для розрахунків релейного захисту та параметрів якості електроенергії.

Розрахунки струмів КЗ слід робити виходячи з повного розвитку проектованої системи електропостачання з урахуванням розвитку мереж генеруючих джерел на максимально можливий строк, але не менше п'яти років, рахуючи зі строку вводу в експлуатацію.

Розрахунки струмів КЗ виконують згідно з ДСТУ ІЕС 60909-0 й ДСТУ ІЕС TR 60909-4.

Всі елементи силового електроустаткування мають бути перевірені за режимом КЗ відповідно до вимог ПУЕ й цього стандарту.

2. Значення струмів КЗ на шинах на напругу 6 (10) кВ підстанції промислового підприємства, як правило, обмежується величиною, яка дозволяє застосовувати КРУ серійного промислового виробництва.

Оптимальне значення розрахункового струму КЗ в мережах промислових підприємств визначають з урахуванням двох чинників:

- забезпечення можливості застосування електричних апаратів з можливо меншими параметрами та провідників можливо менших перерізів;
- обмеження показників відхилення та коливання напруги у разі різкозмінних ударних навантажень.

В потрібних випадках розрахункова величина струму КЗ знаходиться ТЕР за мінімумом дисконтованих витрат на обмеження струмів КЗ, на пристрої та заходи з доведення показників якості електроенергії до нормованого рівня.

Якщо за огорожею або оболонкою знаходиться електрообладнання, яке може зберігати електричний заряд після вимкнення цього електрообладнання від джерела живлення (наприклад, конденсатори), для запобігання небезпечному дотику до нього повинен бути виконаний попереджувальний напис. Конденсатори з невеликою ємністю, наприклад, ті, що використовуються для гашення дуги, затримки спрацювання реле тощо, не вважаються такими, що зберігають небезпечний електричний заряд після вимкнення живлення.

При використанні системи БННН (система безпечної наднизької напруги) або ЗННН (система захисної наднизької напруги) захист у разі непрямого дотику вважається забезпеченим, якщо:

- номінальна напруга не перевищує максимального (допустимого) значення наднизької напруги;
- джерело живлення є одним із джерел,;
- виконуються вимоги до улаштування кіл систем БННН та ЗННН.

Як максимальне (допустиме) значення наднизької напруги звичайно приймається величина 50 В для змінного струму (діюче значення) та 120 В для постійного струму. Для спеціальних електроустановок зазначені величини можуть бути знижені нормативними документами, які стосуються цих електроустановок, наприклад, до значень 25 В для змінного струму та 60 В для постійного струму.

Примітка 1. До постійного струму умовно відноситься також слабопульсуючий (випрямлений) струм зі змістом пульсацій не більше 10% діючого значення.

Амплітудне значення напруги цього струму в системах БННН та ЗННН повинно бути не більше 140 В при номінальній напрузі електроустановки 120 В й 70 В при номінальній напрузі 60 В.

ДОДАТОК В

«Основні етапи тренування ШНМ»

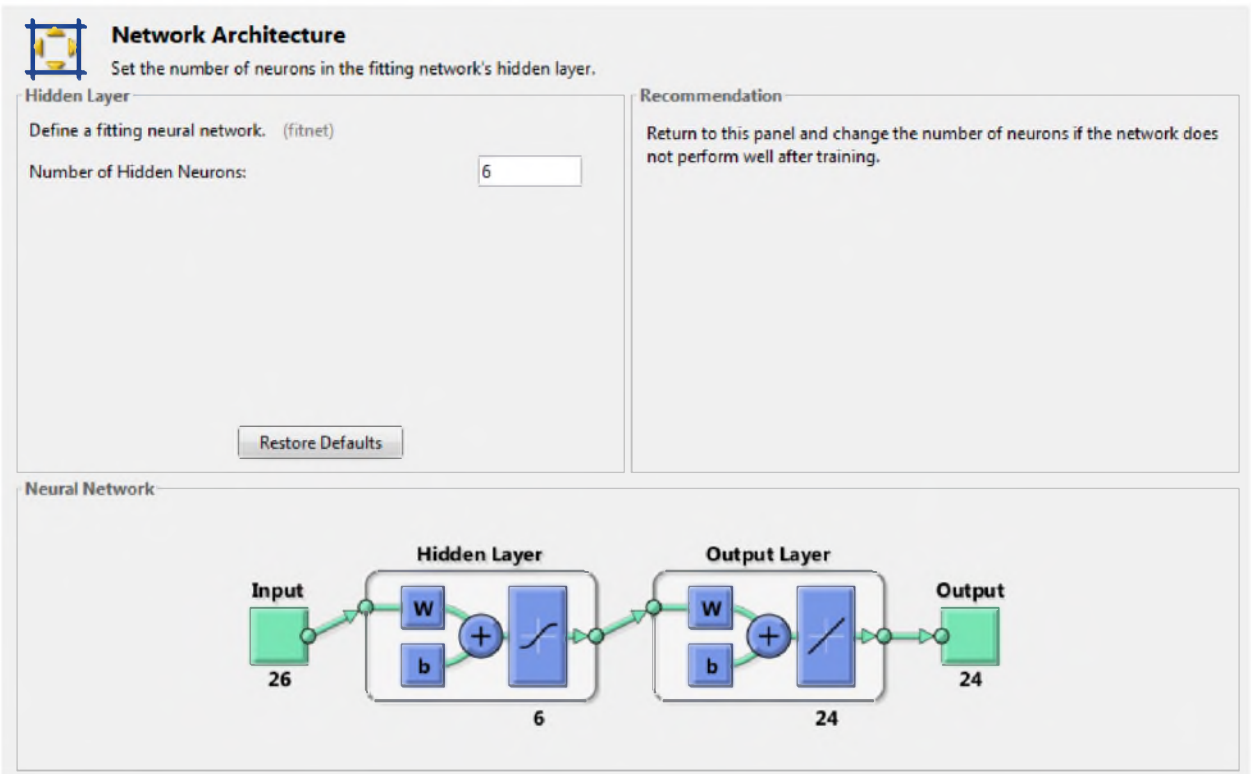


Рисунок В.1 – Створення ШНМ та обрання архітектури

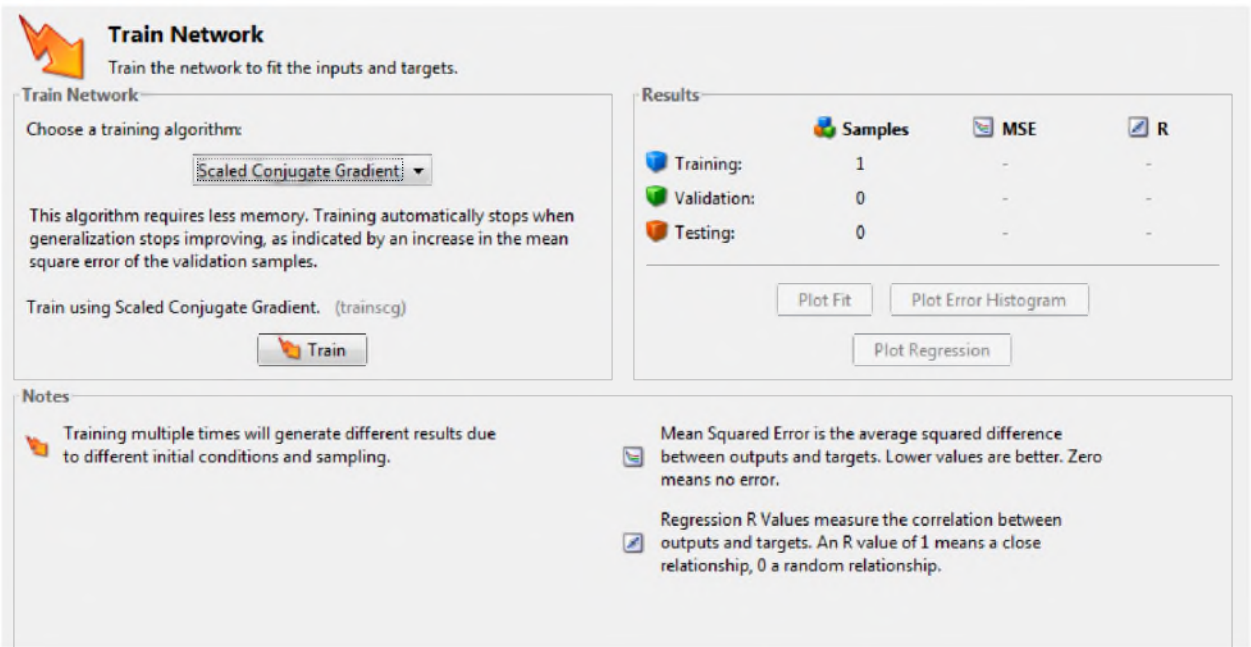


Рисунок В.2 – Вибір методу тренування

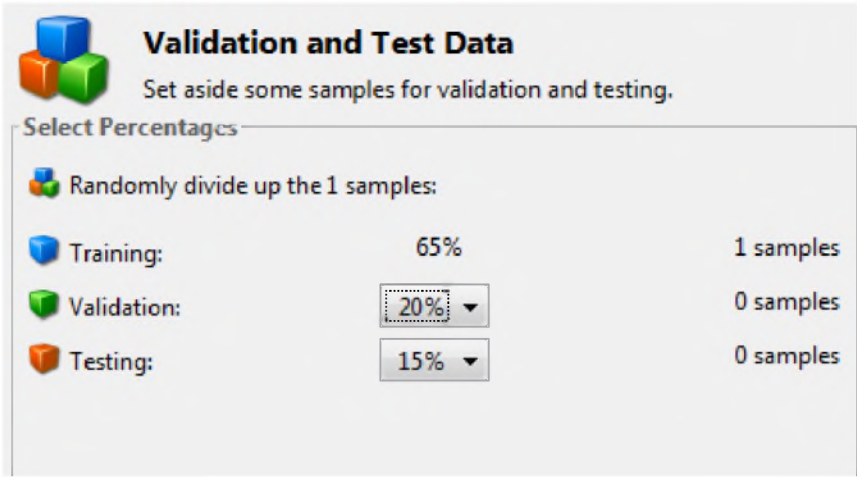


Рисунок В.3 – Вибір кількості нейронів котрі підуть на навчання та апробацію ( вже після навчання)

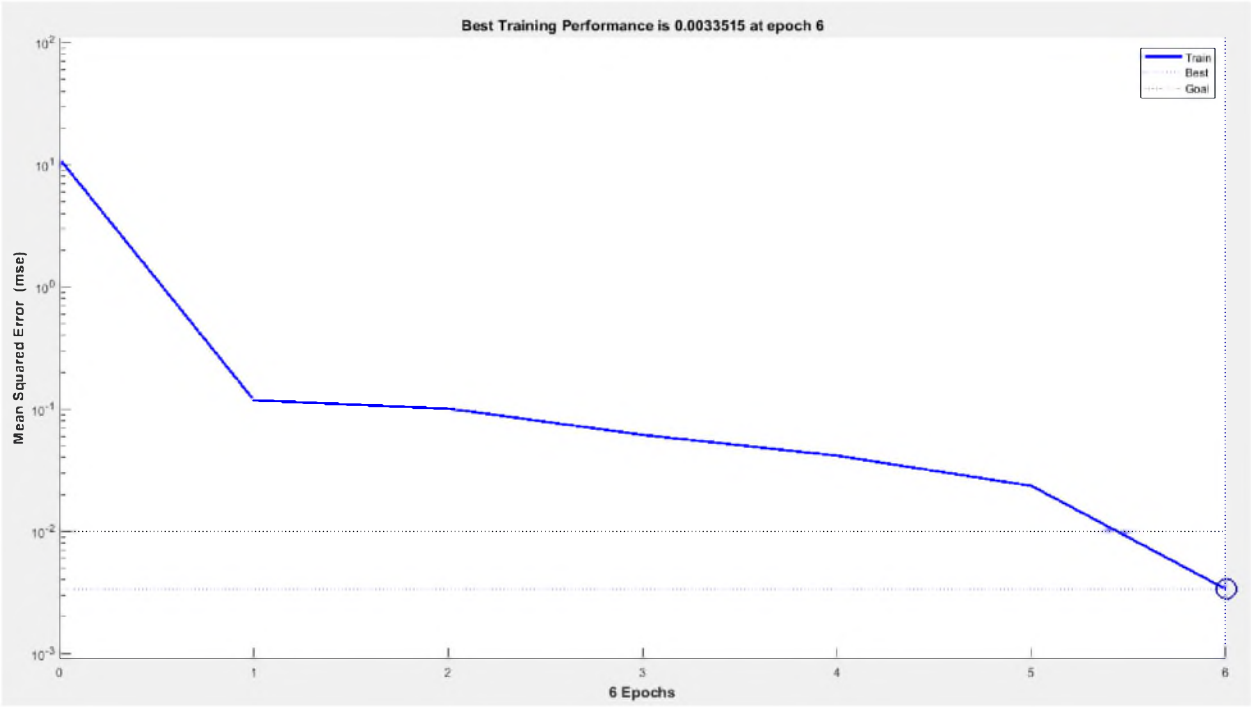


Рисунок В.4 – Діаграма зменшення помилки при тренуванні

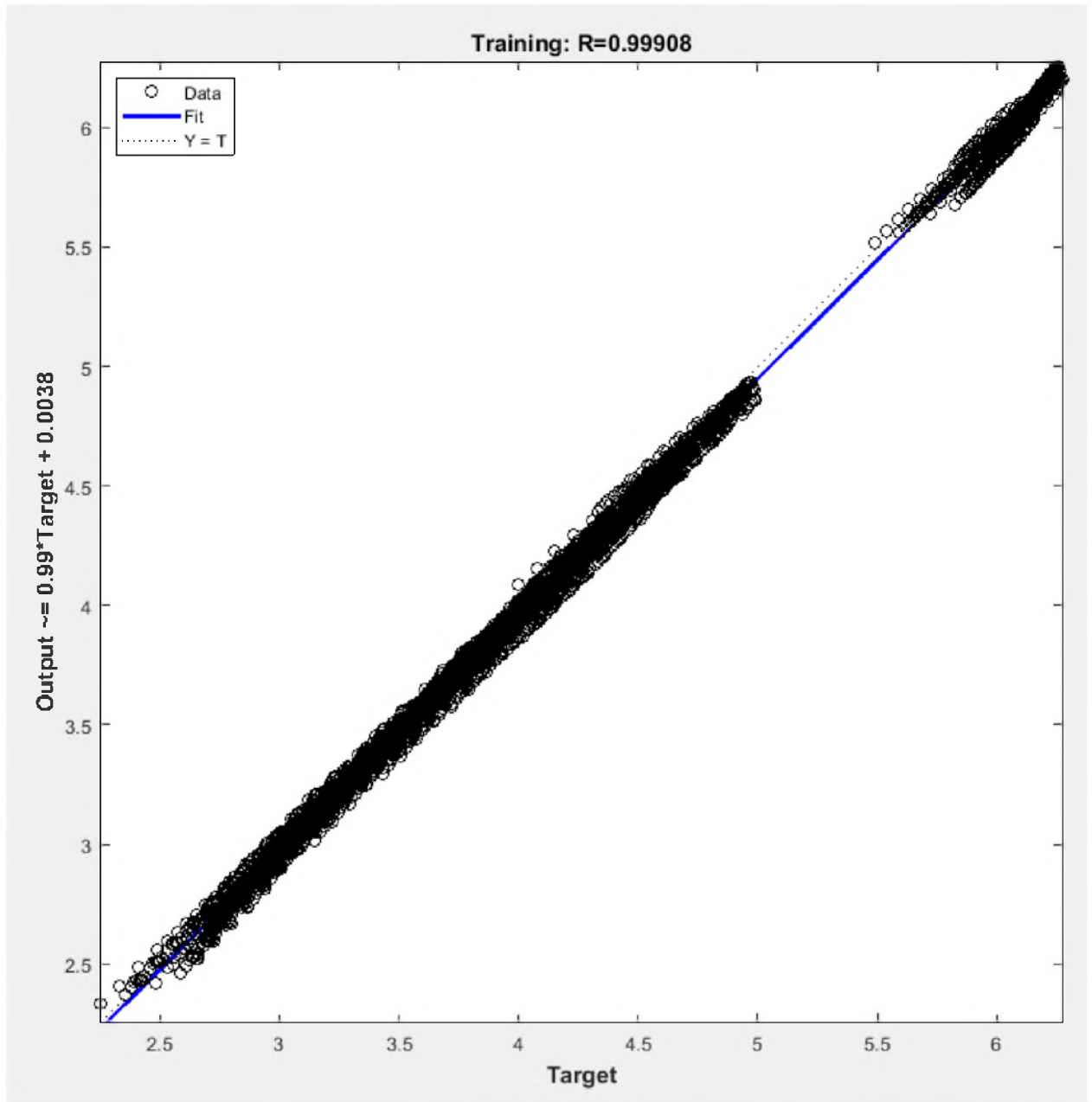


Рисунок В.5 – Діаграма наближення бажаного відгуку ШНМ