

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ ТА  
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ ВІД НОМІНАЛЬНОЇ У  
СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА»**

Виконав: студент VII курсу

групи Ен – 71 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

\_\_\_\_\_ Філіпович В. В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник: \_\_\_\_\_ Чабан А. В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент: \_\_\_\_\_ Сиротюк С. В.  
(прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ 2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ ТА  
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)  
к.т.н., доцент Левонюк В. Р.  
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Філіповичу Віталію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження відхилення напруги від номінальної у системі електропостачання підприємства»

керівник роботи д.т.н., професор Чабан А. В.

( наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП № 490 / к - с від 27.10.2023 р.

2. Строк подання студентом роботи 18.01.2024 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

1. Огляд методів та засобів аналізу режимів та коенсації реактивної потужності

2. Моделювання режимів роботи електричної мережі

3. Покращання пропускних властивостей лев та якості напруги у вузлах мережі

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Техніко-економічна оцінка

Висновки

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
*Графічний матеріал подається у вигляді презентації*

6. Консультанти розділів

| Розділ  | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  | Відмітка про виконання |
|---------|---|----------------|------------------|------------------------|
|         |   | завдання видав | завдання прийняв |                        |
| 1,2,3,5 | <i>Дробот І. М., старший викладач</i>     |                |                  |                        |
| 4       | <i>Городецький І. М., к.т.н., доцент</i>  |                |                  |                        |

7. Дата видачі завдання 27.10.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи  | Строк виконання етапів роботи  | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1     | <i>Аналіз підприємства, обґрунтування теми</i>                                 | <i>27.10.2023 – 2.11.2023</i>  |          |
| 2     | <i>Розрахунок електропостачання</i>  | <i>3.11.2023 – 23.11.2023</i>  |          |
| 3     | <i>Побудова моделі системи електропостачання та її дослідження</i>             | <i>24.11.2023 – 19.12.2023</i> |          |
| 4     | <i>Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях</i>                       | <i>20.12.2023 – 1.01.2024</i>  |          |
| 5     | <i>Ефективність прийнятих рішень</i>   | <i>2.01.2024 – 4.01.2024</i>   |          |
| 6     | <i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i> | <i>5.01.2024 – 11.01.2024</i>  |          |
| 7     | <i>Завершення роботи в цілому</i>  | <i>12.01.2023 – 18.01.2023</i> |          |

Студент

(підпис)

Філіпович В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

( підпис )

*Чабан А. В.*

( прізвище та ініціали )

УДК 621.313:63(075.8)

## Р Е Ф Е Р А Т

Філіпович В. В. «Дослідження відхилення напруги від номінальної у системі електропостачання підприємства». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 50 с. текстової частини, 25 таблиць, 12 рисунків, 23 джерела посилання.

**Об'єкт дослідження:** відхилення напруги у системі електропостачання підприємства.

**Мета роботи:** дослідження відхилення напруги від номінальної у системі електропостачання підприємства.

**Завдання дослідження:** проаналізувати типово підприємство, здійснити обґрунтування теми роботи, розрахувати електропостачання підприємств і вибрати необхідне обладнання, побудувати модель системи електропостачання і на ній дослідити відхилення напруги від номінального значення, вибрати пристрій компенсації реактивної потужності, розглянути питання охорони праці, а також здійснити економічні оцінку.

У кваліфікаційній роботі: здійснено короткий вивіз типового підприємства та обґрунтування теми роботи, розраховано електропостачання і вибрано основні елементи, проаналізовано аварійні режим і запропоновано схему захисту, побудовано модель системи електропостачання та проведено дослідження відхилення напруги від номінальної, розраховано та вибрано реактивної установку компенсації реактивної потужності навантаження, розглянуто питання охорони праці, а також здійснено економічну оцінку.

**Ключові слова:** номінальна напруга, відхилення, відсотки, електропостачання, моделювання, конденсатор, мікропроцесорний регулятор, графічні залежності, реактивна потужність, компенсація.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП  | 6  |
| РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ  | 8  |
| 1.1 Виробничо – технічна характеристика  | 8  |
| 1.2 Обґрунтування теми роботи  | 9  |
| РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ  | 13 |
| 2.1 Вибір схеми електричної мережі та місця розташування підстанції            | 13 |
| 2.2 Визначення розрахункових навантажень                                       | 15 |
| 2.3 Вибір трансформаторів підстанції 10/0,4 кВ                                 | 17 |
| 2.4 Вибір перерізу проводів і розрахунок мереж                                 | 19 |
| 2.5 Втрати електроенергії в електричній мережі                                 | 22 |
| 2.6 Розрахунок аварійних режимів   | 23 |
| 2.7 Вибір і розрахунки захисту від аварійних режимів                           | 27 |
| РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ ВІД НОМІНАЛЬНОЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ | 32 |
| 3.1 Побудова моделі системи електропостачання                                  | 32 |
| 3.2 Дослідження відхилення напруги в системі електропостачання                 | 33 |
| 3.3 Компенсація реактивної потужності  | 39 |
| РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ                    | 41 |
| 4.1 Аналіз забезпечення охорони праці на підприємстві                          | 41 |
| 4.2 Моделювання процесу виникнення травм під час роботи е електроустановками   | 42 |
| 4.3 Заходи безпеки під час надзвичайних ситуацій                               | 46 |
| РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ   | 47 |
| ВИСНОВКИ   | 48 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ  | 49 |

## ВСТУП

Електрика є найбільш універсальним видом енергії і може бути використана для отримання практично будь-якого іншого виду енергії.

Тому завдання електроенергетики полягає в раціональному розподілі та використанні електроенергії на благо економіки, а в подальшому і для економіки.

Перевагами електричної енергії перед іншими видами енергії є простота й економічність передачі на великі відстані та легкість розподілу між різними споживачами електроенергії.

Сучасна електрифікація характеризується централізацією електропостачання, тобто створенням єдиної енергетичної системи всередині країни.

Енергосистема повинна координувати розподіл навантаження між електростанціями для забезпечення надійності електропостачання та проведення оперативних заходів, розумно використовувати різницю у термінах максимальних навантажень у різних часових поясах, зменшувати резервну потужність, навантажувати обладнання підстанції тощо.

Електроенергетика є основою всіх галузей економіки. Це також складова енергії. Сьогодні Україна переживає енергетичну кризу. Питання енергетики завжди актуальні і особливо актуальні в наших умовах.

Важко уявити виробничий процес без використання електроенергії. Фактично електрифікуються всі виробничі процеси. Електроенергія – це універсальна енергія, яка технологічно перетворюється в механічну, електричну та теплову енергію, забезпечуючи роботу систем освітлення, електронно-іонної техніки, комп'ютерної техніки, автоматики та засобів автоматизації. Робота технологічних установок залежить від якості електроенергії. Тому рівні напруги, втрати та перевищення напруги повинні відповідати стандартам.

Електроенергія виробляється на електростанціях. В Україні атомні, теплові та гідроелектростанції є найважливішими виробничими об'єктами. Останнім часом почали впроваджувати вітряні та сонячні електростанції, але їхня потужність поки що мала. Передача електроенергії від електростанції до споживача відбувається електричними мережами. Від їх роботи залежить якість електроенергії.

Дана робота присвячена актуальним питанням експлуатації електромережі підприємства. Сучасні дослідницькі та аналітичні методи дозволили досягти чудових результатів у різних сферах.

Зокрема, програмне забезпечення MATLAB/Simulink дозволяє аналізувати параметри роботи електромереж у різних режимах та з різними параметрами роботи.

Актуальність роботи: навантаження у мережі постійно змінюється і під його дією відбувається відхилення напруги у різних місцях мережі електропостачання. Згідно стандарту відхилення напруги на виводах приймачів електричної енергії нормується. Значення нормально допустимих і гранично допустимих значень усталеного відхилення напруги становить відповідно  $\pm 5$  і  $\pm 10\%$  від номінальної. Порушення меж відхилення призводить до суттєвого збільшення втрат енергії та негативного впливу на електрообладнання.



## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ

#### 1.1 Виробничо – технічна характеристика

За базове підприємство приймаємо типове будівельне підприємство, яке займається виробництвом керамічних каменів рядових ефективних (блоків) М – 75, М – 100. Продукція сертифікована. В рік випускається 3900 тис шт. умовної цегли. При цьому витрачається природного газу близько 790 тис. м<sup>3</sup>, електроенергії – 220 тис. кВт·год.

Енергетична потужність обслуговуюча виробничий процес 0,2 тис.кВт, в тому числі освітлення – 12 кВт.

Основні виробничі площі:

- Глинопереробне відділення – 0,38 тис. м<sup>2</sup>;
- Відкритий склад готової продукції – 2 тис. м<sup>2</sup>;
- Формовочне відділення – 4,20 тис. м<sup>2</sup>;
- Сушильне відділення – 0,3 тис. м<sup>2</sup>;
- Відділення випалу продукції – 250 тис. м<sup>2</sup>;
- Садочне відділення – 0,4 тис. м<sup>2</sup>.

Крім того на підприємстві розташовані:

- Адміністративний корпус – 105 м<sup>2</sup>;
- Механічна майстерня – 325 м<sup>2</sup>;
- Побутове приміщення – 203 м<sup>2</sup>.

Автотранспорт, загальна кількість 2 шт:

- Вантажний 1 шт;
- Легковий 1 шт.

Загальне споживання бензину 5 тон.

В основному, перевезення глини з кар'єру здійснюється найманим автотранспортом.

Землерийна техніка:

- Бульдозер 2 шт;
- Екскаватор 2 шт.

Загальне споживання дизельного пального 25 тон.

На підприємстві працює 102 працівника.

На рисунку 1.1 схематично представлено технологічний процес на підприємстві.

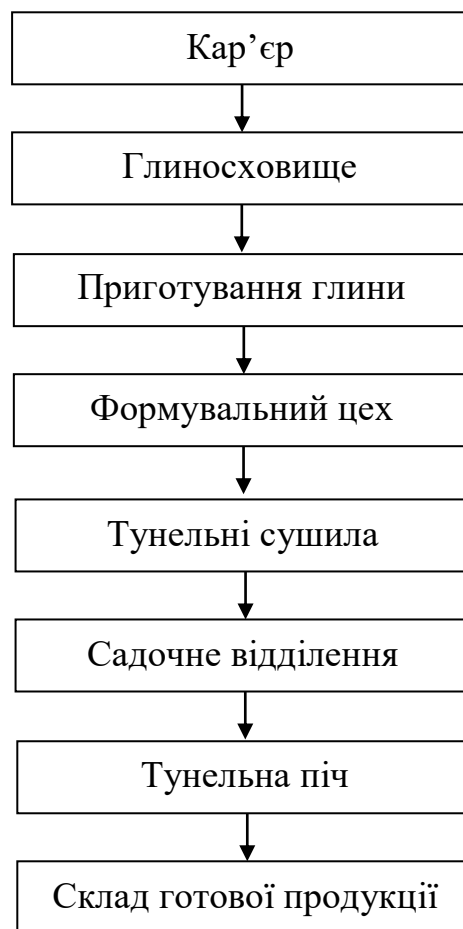


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу.

Зі складу готової продукції, товар поступає до споживачів і відвантажується за допомогою двох козлових кранів вантажопідйомністю 3 і 5 тон.

## 1.2 Обґрунтування теми роботи

Якість електричної енергії - це ступінь відповідності фактичних значень параметрів електричної енергії значенням, встановленим в ГОСТ 13109-97. Згідно ГОСТ 13109 - 97 нормальне значення відхилення напруги +5 або -5%, граничне +10 або -10%. Коливання напруги в мережі залежать від потужності джерела, потужності, втраченої при передачі по лінії електропередачі, і, звичайно, потужності пристрою, що живиться.

До найпоширеніших приводів відносяться асинхронні двигуни, у яких потужність прямо пропорційна квадрату напруги, тому втрати подвоюються. Тому, якщо втрата напруги двигуна невелика, втрати потужності будуть більшими. Будь-яка невелика втрата напруги також зменшить швидкість двигуна та збільшить ковзання. Струм також зростає, К.К.Д знижується, ізоляція зношується швидше. Коли відбувається відключення електроенергії, пусковий момент двигуна та механічні властивості знижуються.

В електротехнічному обладнанні втрати напруги зменшують потужність з мережі, збільшуючи витрати часу на технологічні та виробничі процеси і відповідно знижуючи якість продукту.

У разі відключення електроенергії світловий потік залежить від значення напруги, тому освітленість також зменшиться. Більш висока напруга збільшує ефективність лампи, але навпаки скорочує термін її служби.

Зміни режиму роботи характерні для енергетичних процесів, що відбуваються в електроустановках, і можуть визначатися змінними в часі значеннями основних параметрів цього процесу.

Розрізняють наступні режими роботи:

- 1) тривалий режим роботи - це режим роботи, в якому електрична система (наприклад, електродвигун) працює безперервно на номінальній потужності та при температурі, що не перевищує номінальних граничних значень температури;

2) короткочасний режим роботи - режим, що характеризується періодами роботи та зупинки, оскільки період дуже короткий (менше 120 хвилин), двигун не встигає досягти усталеної температури, і зупинка також дуже коротка до повного охолодження;

3) повторюваний короткочасний режим – режим, у якому періоди роботи та відпочинку безперервно чергуються.

Зміна режиму роботи джерела живлення залежить від двох режимів, в яких напруга підвищується або знижується: режим мінімального навантаження і режим максимального навантаження. У першому випадку напруга в енергетичному центрі зростає, а в другому — зменшується. Зміни вихідної потужності джерела електричної енергії відбуваються в результаті реактивного або неточного регулювання реактивної потужності. Це відбувається шляхом зміни струму в обмотці збудження генератора за допомогою спеціальних пристроїв автоматичного регулювання збудження (АРЗ). Однофазні навантаження розподіляються пофазно відповідно до загальної потужності. Вплив ударних навантажень викликає великі і дуже швидкі зміни напруги у вузлах мережі.

Регулювання напруги відбувається в мережах живлення та розподілу і відбувається незалежно. Однак основне завдання регулювання напруги зовсім інше. У мережі живлення важливо зменшити втрати потужності, а в розподільчій мережі необхідно підтримувати нормовані значення відхилень напруги в з'єднаннях приймачів.

Розрізняють центральне регулювання напруги та місцеве регулювання напруги. У першому випадку регулювання напруги відбувається в центрі живлення і змінює напругу в мережі. В останньому випадку регулювання відбувається безпосередньо споживачем, а значення напруги змінюється тільки в локальній ділянці мережі.

Регулювати напругу в мережі можна за допомогою спеціального обладнання та різних засобів.

Регулювання коефіцієнта трансформації трансформаторів і автотрансформаторів здійснюється перемиканням контактів регулюючої гілки, яка оснащена обмоткою. Ці перемикання можна проводити, не порушуючи правил улаштування електроустановок (ПУЕ), тобто відключаючи трансформатор від мережі або під навантаженням.

Перемикачі РПН зазвичай розміщують на стороні високої напруги, де струм відносно низький. Зміни параметрів мережі – це зміни параметрів, які зменшують відхилення напруги.

Ці параметри включають:

- 1) зменшити опір електромережі;
- 2) застосування поздовжньої компенсації;
- 3) застосування мостових пристроїв між трансформаторами в цехових ТП.
- 4) наближення до центру навантаження.

Регулювання напруги генераторів на електростанціях здійснюється шляхом зміни струму збудження в межах 5%. Статичні компенсатори реактивної потужності дозволяють регулювати напругу шляхом зміни реактивної потужності.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

#### 2.1 Вибір схеми електричної мережі та місця розташування підстанції

З технічної точки зору електропостачання потужних споживачів енергії повинно здійснюватися через окремі підстанції споживачів, встановлені безпосередньо на території. Встановлення таких підстанцій дозволяє зменшити втрати електроенергії в лініях низької напруги. Це дуже важливо при великих навантаженнях. Крім того, відокремивши електропостачання для промислових споживачів від побутових, можна уникнути перепадів напруги у побутових споживачів під час запуску важкого промислового обладнання.

Топографія низьковольтної мережі залежить від місця розташування виробничого приміщення і його загального електричного навантаження. Для наведеного випадку необхідно забезпечити безперебійне живлення підприємства по виготовленню виробів з бетону. До складу господарського об'єкта входять: бетонний цех, формовочний цех, дві тунельні сушилки, тунельна піч, складський майданчик та козлові крани для навантаження готової продукції.

При складанні плану постачання враховуються потужність споживача,  $\cos \varphi$ , коефіцієнт паралельності, навантаження. Оскільки загальне навантаження змінюється незначно протягом зміни, у розрахунку використовується визначена потужність виробничого обладнання. Загальне навантаження на об'єкт складається із завантаження технічного обладнання в даному приміщенні і отримується з даних паспорта обладнання.

Інформація по кожному вузлу вказана у таблиці 2.1.

Схема та розрахункові навантаження вузлів електричної мережі 0,38 кВ приведена на рисунку 2.1.

Закриту трансформаторну підстанція ЗТП 10/0,4 кВ розташовуємо у електричному центрі навантажень мережі. Від даного вузла живиться три фідери та мережа зовнішнього освітлення.

Таблиця 2.1 – Характеристика основних господарських об'єктів підприємства

| Назва об'єкта       | Кількість | $P_{уст}$ |
|---------------------|-----------|-----------|
| Бетонне відділення  | 1         | 21        |
| Формовочний цех     | 1         | 20        |
| Побутові приміщення | 1         | 9         |
| Тунельна сушилка    | 2         | 50        |
| Тунельна піч        | 1         | 100       |

Таблиця 2.2 - Розрахункові навантаження вузлів.

| Вузол     | 1  | 2  | 3   | 4   |
|-----------|----|----|-----|-----|
| $P$ , кВт | 21 | 29 | 100 | 100 |

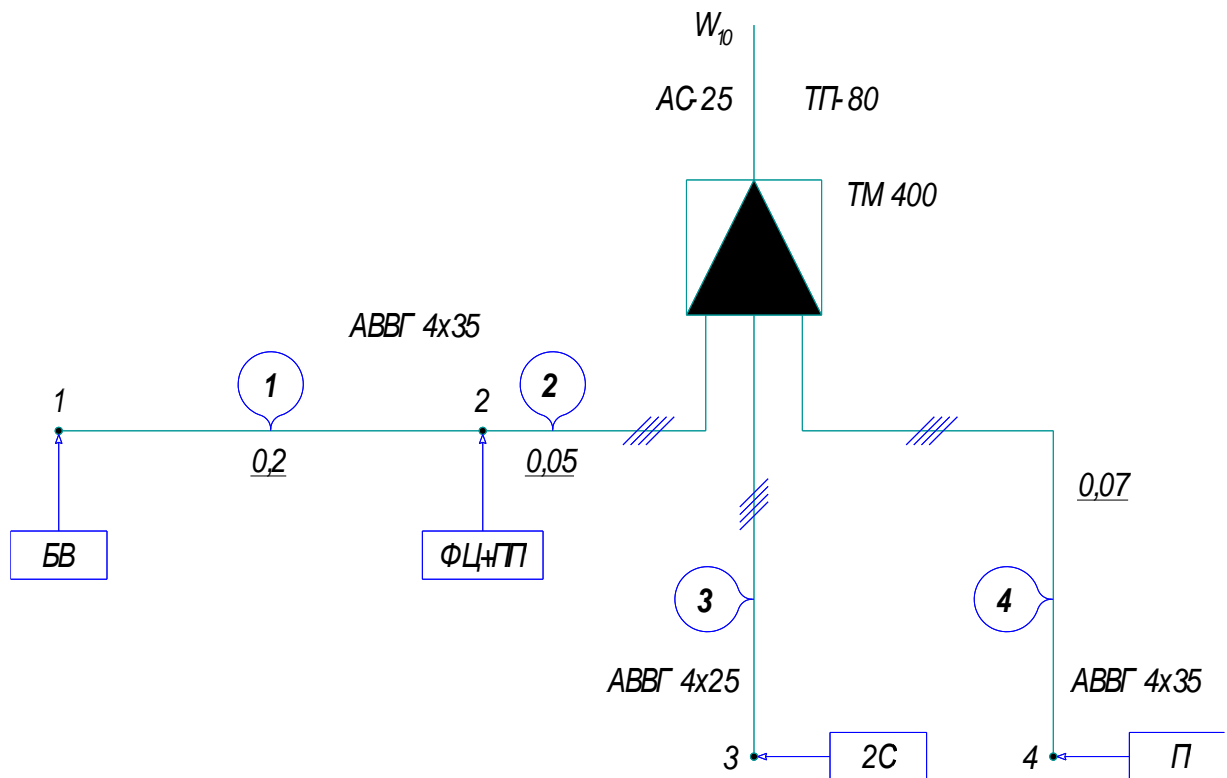


Рисунок 2.1 – Схема розв'язування вузлів електричного навантаження

## 2.2 Визначення розрахункових навантажень

Щоб визначити розрахункове навантаження вузла, треба обчислити кількість потужності, що постачається цим вузлом, підсумувавши однорідних споживачів з однаковим рівнем потужності (різниця потужностей менше ніж у 4 рази) і вибравши відповідний коефіцієнт паралельності відповідно до Усі застосовані навантаження враховуються рахунок. Наступний вираз:

$$P_{\text{дн}} = \sum P_{i.\text{дн}} \cdot k_0 \quad (2.1)$$

$$P_{\text{вч}} = \sum P_{i.\text{вч}} \cdot k_0 \quad (2.2)$$

де індекси дн і вч відносяться до максимумів денних і вечірніх. Для споживачів із різними рівнями потужності сумарні навантаження визначаються:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{більше}} + \Delta P(P_{\text{менше}}) \quad (2.3)$$

У цій формулі  $P_{\text{менше}}$  - менше з цих двох навантажень;  $P_{\text{більше}}$  - більше з двох навантажень, які сумуються;  $\Delta P(P_{\text{менше}})$  - добавка, яка залежить від  $P_{\text{менше}}$ . Значення рівня навантаження від зовнішнього освітлення додається до вечірнього максимуму з коефіцієнтом  $k_0 = 1$ .

Значення розрахункового навантаження вузлів показано в таблиці 2.2

Оскільки відмінності електричного навантаження на протязі робочої зміни не суттєві, здійснимо розрахунок не для денного та вечірнього значень навантаження, а для усталеного.

Значення активного навантаження мережі:

$$P_{1к.дн} = P_{\text{БП}} + P_{\text{ПП}} + P_{\text{ФЦ}} + 2P_{\text{С}} + P_{\text{П}} = 21 + 9 + 20 + 2 \cdot 50 + 100 = 250 \text{ кВт}$$

Значення навантаження зовнішнього освітлення визначаємо, як добуток питомого навантаження на кількість виробничих приміщень:

$$P_{\text{го}} = 5 \cdot 0,25 = 1,25 \text{ кВт}$$



Визначимо значення розрахункових навантажень трансформаторної підстанції:

$$P_{\Sigma вч} = 250 + 1,25 = 251,25 \text{ кВт};$$

Значення повних розрахункових навантажень визначимо, згідно коефіцієнту потужності ( $\cos\varphi = 0,9$ ):

$$S_{\Sigma вч} = \frac{P_{\Sigma вч}}{\cos\varphi} = \frac{251,25}{0,9} = 279,2 \text{ кВт}$$

Розрахункове активне навантаження лінії 2:

$$P_2 = P_{БП} + P_{ПП} + 2P_C = 21 + 9 + 20 = 50 \text{ кВт}.$$

Аналогічно розрахуємо всі інші лінії. Результати розрахунків показано у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Розрахункові активні навантаження мережі 0,38 кВ (без навантажень освітлення).

| Лінія  | 1  | 2  | 3   | 4   |
|--------|----|----|-----|-----|
| Р, кВт | 21 | 50 | 100 | 100 |

Треба врахувати зовнішнє освітлення об'єктів, а тому до навантажень виробничих об'єктів додаємо значення навантажень освітлення. Для прикладу розглянемо третю лінію:

$$P_{3,о} = P_{зуст} + n_o \cdot P_{бо} = 50 + 2 \cdot 0,25 = 50,5 \text{ кВт}$$

Проводимо аналогічний розрахунок навантаження освітлення інших ліній таблиця 2.4.

Таблиця 2.4 –Активні навантаження мережі 0,38 кВ.

| Лінія  | 1     | 2    | 3     | 4      |
|--------|-------|------|-------|--------|
| Р, кВт | 21,25 | 50,5 | 100,5 | 100,25 |

Значення повних розрахункових навантажень мережі 0,38 кВ визначимо згідно значень відповідних величин коефіцієнтів потужності (таблиця 2.5.

Таблиця 2.5 - Повні навантаження мережі 0,38 кВ

| Лінія | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------|---|---|---|---|
|-------|---|---|---|---|

|        |      |      |       |       |
|--------|------|------|-------|-------|
| S, кВА | 23,6 | 56,1 | 111,7 | 111,4 |
|--------|------|------|-------|-------|

Значення розрахункових реактивних навантажень ліній мережі 0,38 кВ:

$$Q_i = P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{кВАр} \quad (2.4)$$

Таблиця 2.6 – Реактивне навантаження мережі 0,38 кВАр

|                        |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|------|
| Лінія                  | 1    | 2    | 3    | 4    |
| Q <sub>дн</sub> , кВАр | 10,3 | 24,5 | 54,0 | 53,9 |

Струмове розрахункове навантаження:

$$I_i = \frac{S_i}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А} \quad (2.5)$$

Таблиця 2.7 - Струмове навантаження мережі 0,38 кВ

|                     |      |      |       |       |
|---------------------|------|------|-------|-------|
| Лінія               | 1    | 2    | 3     | 4     |
| I <sub>дн</sub> , А | 35,8 | 85,2 | 169,7 | 169,3 |

### 2.3 Вибір трансформаторів підстанції 10/0,4 кВ

Потужність трансформаторів закритої трансформаторної підстанції:

$$S_{розр} = S_{\Sigma вч} = 279,2 \text{кВА.}$$

Зовнішнє живлення здійснюємо по одній повітряній лінії 10 кВ, а на трансформаторній підстанції встановлюємо один трансформатор 10/0,4 кВ як робочий а другий резервний. Схема проектованої мережі показано на рисунку 2.2.

Визначаємо потужність трансформатора:

$$S_2 \geq \frac{S_{розр}}{1,1} = \frac{524}{1,1} = 353,8 \text{кВА.}$$

Вибираємо трансформатор типу ТМ-400-10/0,4 кВ, закрита трансформаторна підстанцію ЗТП-400-10/0.4 кВ.

Значення параметрів трансформатора, приведені до вищої напруги трансформатора :

- повний опір –  $z_T = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном} \cdot 10^{-3}} = 13,8 \text{ Ом};$
- активний опір –  $r_T = P_{кз} \cdot \frac{U_{Вном}^2}{S_{ном}^2 \cdot 10^{-3}} = 3,5 \text{ Ом};$
- реактивний опір –  $x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2} = 13,4 \text{ Ом}.$

Таблиця 2.9 – Паспортні дані трансформатора ТМ-400-10/0,4 кВ

| S <sub>ном</sub> | U <sub>В ном</sub> | U <sub>Н ном</sub> | Схема та група з'єднань | ΔP <sub>нх</sub> | ΔP <sub>кз</sub> | U <sub>кз</sub> | I <sub>нх</sub> |
|------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| кВА              | кВ                 | кВ                 |                         | кВт              | кВт              | %               | %               |
| 400              | 10                 | 0,4                | Y/Y <sub>н</sub> -0     | 0,95             | 5,5              | 4,5             | 2,5             |

*Відхилення напруги на шинах споживачів*

У таблиці 2.9 показано оцінку відхилень напруги у вузлах проектованої електричної мережі (стовпці позначено як оцінка).

Примітка: Найбільш електрично віддаленим вузлом є вузол 2 та 5.

Таблиця 2.9 – Значення відхилення напруги в елементах електричної мережі

| Елемент електропередачі    | Відхилення напруги , %       |            |             |            |                              |            |             |            |
|----------------------------|------------------------------|------------|-------------|------------|------------------------------|------------|-------------|------------|
|                            | На шинах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ |            |             |            | У найбільш віддаленому вузлі |            |             |            |
|                            | Навант. 100%                 |            | Навант. 25% |            | Навант. 100%                 |            | Навант. 25% |            |
|                            | оцінк<br>а                   | розра<br>х | оцінк<br>а  | розра<br>х | оцінк<br>а                   | розра<br>х | оцінк<br>а  | розра<br>х |
| Шини 10 кВ<br>ТП 110/10 кВ | +5                           | +5         | 0           | 0          | +5                           | +5         | 0           | 0          |
| Втрата в ЛЕП<br>10 кВ      | -4                           | -1,1       | -1          | -0,3       | -4                           | -1,2       | -1          | -0,3       |
| Трансформатор 10/0,4 кВ:   |                              |            |             |            |                              |            |             |            |
| Втрата                     | -4                           | -2,7       | -0,7        | -1         | -4                           | -2,7       | -1          | -1         |

|                   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Добавка           | +2,5 | +2,5 | +2,5 | +2,5 | +2,5 | +2,5 | +2,5 | +2,5 |
| Мережа 0,38<br>кВ | 0    | 0    | 0    | 0    | -5   | -4,0 | -1,2 | -1,0 |
| Споживач          | +0,5 | +3,7 | +0,8 | +1,2 | -5,5 | -0,4 | +1,8 | +2,2 |

## 2.4 Вибір перерізу проводів і розрахунок мереж

### Розрахунок мережі 10 кВ

Розрахуємо активну складову втрати напруги у магістралі високовольтної мережі:

$$\Delta U_p = \frac{x_o}{U_{ном}} Q \cdot l, \text{В} \quad (2.6)$$

$$\Delta U_p = \frac{0,35}{10000} 132,4 \cdot 5000 = 23 \text{В}$$

Значення активної складової напруги буде:

$$\Delta U_{ад} = \Delta U_{\partial} - \Delta U_p, \text{В} \quad (2.7)$$

$$\Delta U_{ад} = 400 - 23 = 377 \text{В}$$

Значення розрахункового перерізу провода магістралі 10 кВ визначаємо:

$$F_{розр} = \frac{P \cdot l}{U_{ном} \cdot \Delta U_a \cdot g}, \text{мм}^2 \quad (2.8)$$

де:  $g = 32 \cdot 10^{-6}$  См/м – питома провідність алюмінію.

$$F_{розр} = \frac{251,25 \cdot 5000}{10000 \cdot 377 \cdot 32 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ мм}^2$$

Виберемо на лінію 10 кВ провода марки АС-25 табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Параметри проводів електричної мережі 10 кВ

| Лінія мережі 10 | Марка | $r_0$ , Ом/км | $x_0$ , Ом/км | Допустимий |
|-----------------|-------|---------------|---------------|------------|
|-----------------|-------|---------------|---------------|------------|

| кВ                     | проводу |       |       | струм, А |
|------------------------|---------|-------|-------|----------|
| ТП 35 кВ - ТП 10<br>кВ | АС-25   | 1,146 | 0,377 | 136      |

$$\Delta U = \sqrt{3} \left( r_o \cdot \cos \varphi + x_o \cdot \sin \varphi \right) \sum_{i=1}^n I_i \cdot l_i, \text{ В} \quad (2.9)$$

де:  $\Delta U_a, \Delta U_p$  – реактивна та активна складові втрати напруги;  $I_i, l_i$  – струм та довжина  $i$ -ї ділянки магістралі;  $n$  – кількість ділянок магістралі;  $x_o, r_o$  – питомий реактивний і активний опори лінії електропередачі.

$$\Delta U = \sqrt{3} (1,146 \cdot 0,9 + 0,377 \cdot 0,43) \frac{424,2}{25} \cdot 5,0 = 172 \text{ В (1,7\%)}$$

Визначимо втрату напруги в обмотках трансформатора 10/0,4 кВ при максимальному навантаженні:

$$\Delta U = \frac{I_H}{k_{тр}} \cdot Z_m = \frac{424,2}{25} \cdot 13,8 = 235 \text{ В (2,4\%)}$$

*Розрахунок мережі 0,38 кВ*

Реактивна складова втрати напруги у магістралі 0-1:

$$\Delta U_p = \frac{x_o}{U_{ном}} \left( Q_1 \cdot l_1 + Q_2 \cdot l_2 \right), \text{ В} \quad (2.10)$$

$$\Delta U_p = \frac{0,35}{380} (10,3 \cdot 0,2 + 24,5 \cdot 0,5) = 3 \text{ В}$$

Допустиме значення активної складової напруги:

$$\Delta U_{ад0-1} = \Delta U_\partial - \Delta U_p = 19 - 3 = 16 \text{ В}$$

Значення розрахункового перерізу проводів магістралі 0-1:

$$F_{0-1розр} = \frac{P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2}{U_{ном} \cdot \Delta U_{ад0-1} \cdot g}, \text{ мм}^2 \quad (2.11)$$

$$F_{0-1розр} = \frac{21,25 \cdot 0,2 + 50,5 \cdot 0,5}{0,38 \cdot 16 \cdot 32 \times 10^{-6}} = 34 \text{ мм}^2$$

Проводимо аналогічний розрахунок магістралі 0-3, 0-4 (табл.2.11).

Номінальні перерізи проводів електричної мережі 0,38 кВ занесені до таблиці 2.12.

Визначасмо дійсні втрати напруги, за параметрами вибраних кабелів, в лініях електричної мережі напругою 0,38 кВ згідно формули (2.9). Значення розрахунку показано у табл.2.13.

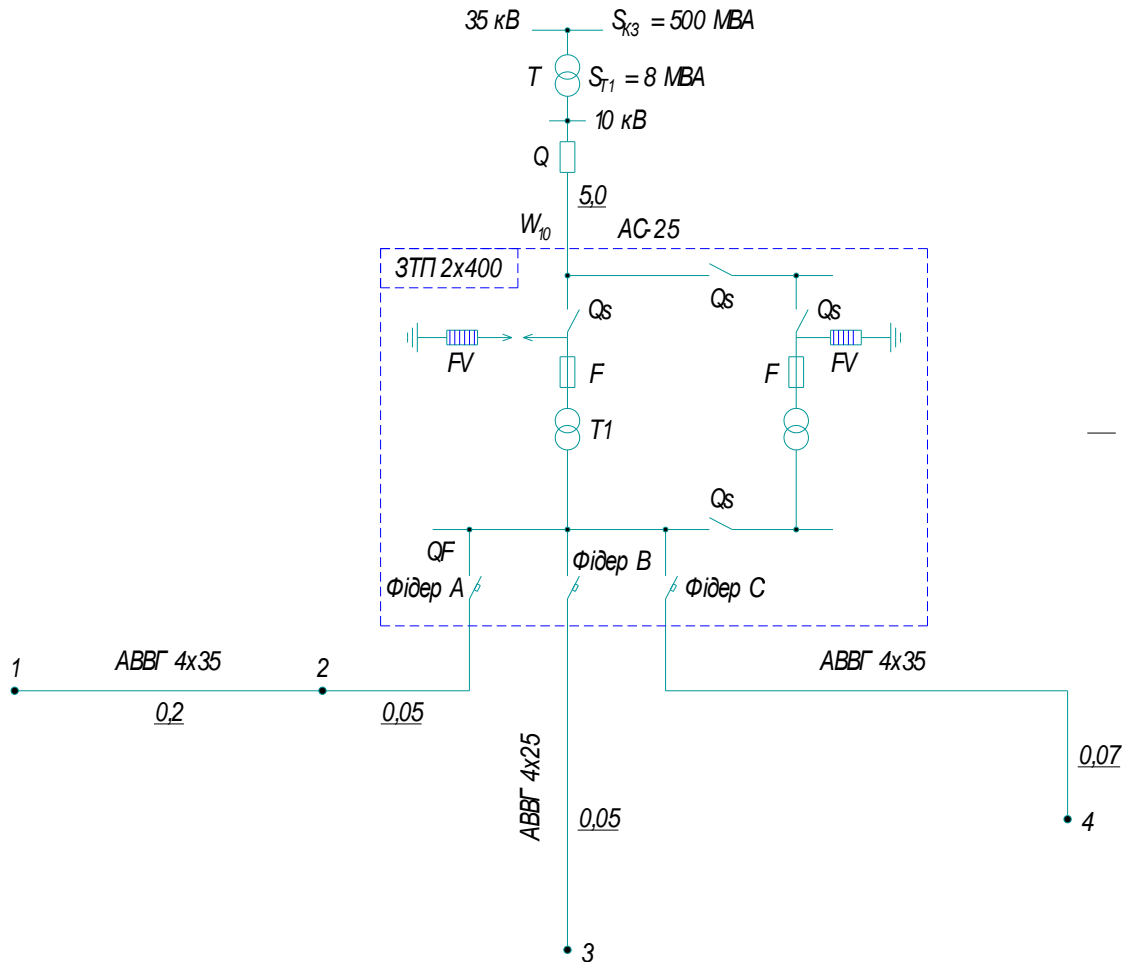


Рисунок 2.2. – Схема проектованої мережі

Таблиця 2.11 – Значення втрати напруги у магістралях та їх поперечний переріз проводів

| Магістраль | $U_p, В$ | $U_{ад}, В$ | Фрозр. , $мм^2$ |
|------------|----------|-------------|-----------------|
| 0-1        | 3        | 16,0        | 34              |
| 0-3        | 2,5      | 16,5        | 25              |
| 0-4        | 3,5      | 15,5        | 35              |

Таблиця 2.12 – Значення параметрів проводів електричних мереж ліній 0,38 кВ

| Лінія мережі<br>0,38 кВ | Марка<br>проводу | $r_0$ , Ом/км | $x_0$ , Ом/км | Допустимий<br>струм, А |
|-------------------------|------------------|---------------|---------------|------------------------|
| 1,2                     | АВВГ-4×25        | 1,28          | 0,319         | 135                    |
| 3                       | АВВГ-4×35        | 0,92          | 0,308         | 170                    |
| 4                       | АВВГ-4×50        | 0,64          | 0,297         | 215                    |

Таблиця 2.13 – Дійсні спади напруг у магістралях

| Магістраль     | 0-1  | 0-3 | 0-4  |
|----------------|------|-----|------|
| $\Delta U$ , В | 18,9 | 18  | 14,5 |

## 2.5 Втрати електроенергії в електричній мережі

Втрати електроенергії в електромережі присутні в ісіх елементах, зокрема, втрати у трансформаторі 10/0,4 кВ, втрати у мережі 0,38, втрати у мережі 10 кВ.

Визначаємо втрати електроенергії в мережі 10 кВ:

$$\Delta W_{10} = \sum_{i=1}^n 3 \cdot I_{\max}^2 \cdot r_i \cdot \tau, \text{кВт}\cdot\text{год} \quad (2.13)$$

де:

$$I_{л.10\max} = \frac{S_{\sum вч}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{279.2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 17 \text{ А}$$

Для часу використання максимуму 2500 год,  $\tau = 1300$  год.

Отже:

$$\Delta W_{10} = 3 \cdot 17^2 \cdot 5,0 \cdot 1,146 \cdot 1200 \cdot 10^{-3} = 5961 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Визначаємо втрати електричної енергії в мережі 0,38 кВ:

$$\Delta W_{0,38} = \sum_{i=1}^{11} 3 \cdot I_{\max}^2 \cdot r_i \cdot \tau = 14778 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Втрати електроенергії у трансформаторі 10/0,4 кВ є постійні втрати, що не залежать від потужності навантаження:

$$\Delta W_C = \Delta P_{нх} \cdot 8760 = 0,95 \cdot 8760 = 8322 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

а також змінні втрати, що залежать від конкретного значення потужності навантаження:

$$\Delta W_O = \Delta P_{кз} \left( \frac{S_{\Sigma вч}}{S_{т.НОМ}} \right)^2 \cdot \tau = 8,0 \cdot \left( \frac{279,2}{400} \right)^2 \cdot 1200 = 3216 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Значення втрат електроенергії у проєктованій електричній мережі:

- змінних –  $\Delta W_{зм} = \Delta W_{10} + \Delta W_{0,38} + \Delta W_O = 23955 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$
- постійних –  $\Delta W_{пост} = \Delta W_C = 8322 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$
- сумарних –  $\Delta W = \Delta W_{пост} + \Delta W_{зм} = 32277 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$

## 2.6 Розрахунок аварійних режимів

Заступну схему для розрахунку струмів коротких замикань зображено на рис.2.3. Наша трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ отримує живлення від районної трансформаторної підстанцій, із такими параметрами:  $S_{кз} = 500 \text{ МВА}$ ,  $P = 8000 \text{ кВт}$ ,  $U_{ВН} = 35 \text{ кВ}$ .

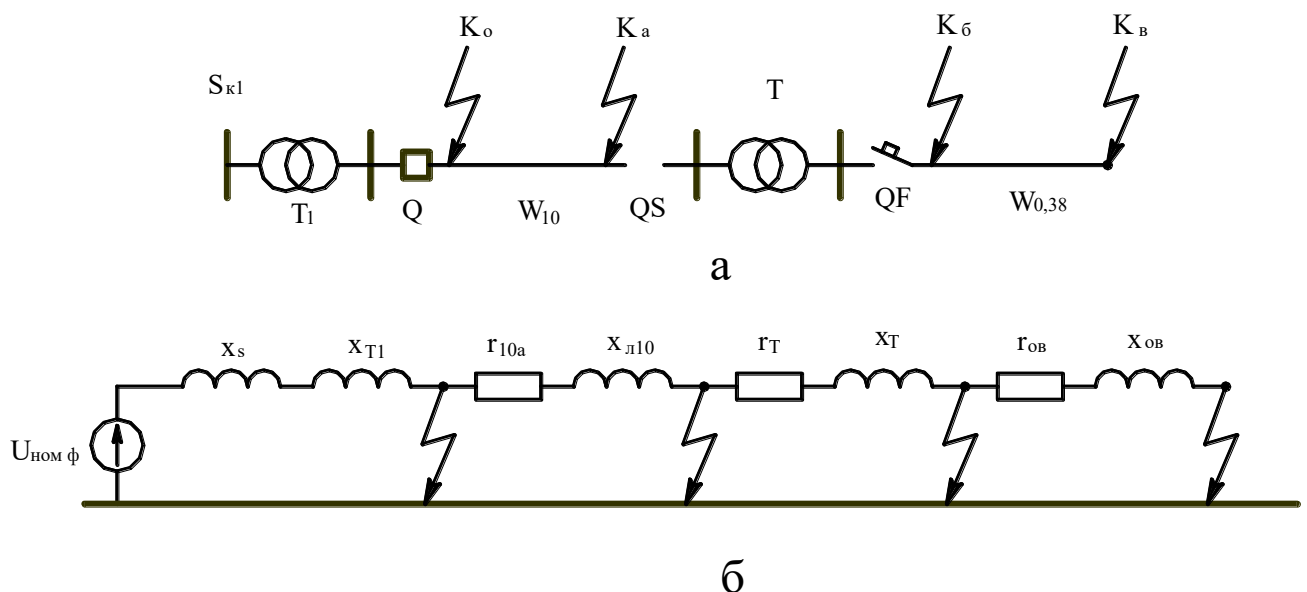




Рисунок 2.3 – Принципова (а) та заступна (б) схеми для розрахунку струмів короткого замикання

Щоб визначити струми короткого замикання на стороні 10 кВ, при короткому замиканні у точках  $K_a$  і  $K_b$  подамо опори зведеними до напруги 10кВ:

- реактивний опір трансформатора 35/10 кВ:

$$\bullet \quad x_{m1} = \frac{U_{кз} \cdot U_{ном}^2}{100 \cdot S_{m1}} = \frac{4,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 8} = 0,56 \text{ Ом};$$

- еквівалентний опір системи 35 кВ:

$$x_s = \frac{U_{ном}^2}{S_{кз}} = \frac{10^2}{500} = 0,2 \text{ Ом};$$

- опори трансформатора 10/0,4 кВ:

$$x_m = 13,4 \text{ Ом},$$

$$r_m = 3,5 \text{ Ом};$$

- опори лінії 10 кВ:

$$x_{л10} = 1,9 \text{ Ом},$$

$$r_{л10} = 5,73 \text{ Ом}.$$

Значення сумарного опору і струмів для трифазного і двофазного к.з. на початку лінії 10 кВ (точка  $K_o$ ):

$$Z_{\Sigma o} = x_s + x_{m1} = 0,2 + 0,56 = 0,76 \text{ Ом};$$

$$I_{ко}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma o}} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 0,76} = 7597 \text{ А};$$

$$I_{ко}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{ко}^{(3)} = 0,87 \cdot 7597 = 6609 \text{ А}.$$

Значення сумарного опору і струмів із сторони обмотки вищої напруги трансформатора 10/0,4 кВ при трифазному і двофазному к.з. у точці  $K_a$ :

$$Z_{\Sigma a} = \sqrt{(x_s + x_{m1} + x_{л10})^2 + r_{л10}^2} = 6,3 \text{ Ом},$$

$$I_{ка}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma a}} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 916 \text{ А},$$

$$I_{ка}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{ка}^{(3)} = 0,87 \cdot 916 = 797 \text{ А},$$

а у точці К<sub>б</sub>:

$$Z_{\Sigma б} = \sqrt{(x_s + x_{m1} + x_{л10} + x_m)^2 + (r_{л10} + r_m)^2} = 18,5 \text{ Ом},$$

$$I_{кб}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma б}} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 18,5} = 312 \text{ А},$$

$$I_{кб}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{кб}^{(3)} = 0,87 \cdot 312 = 272 \text{ А}.$$

Відповідно значення струмів з боку виводів 0,4 кВ трансформатора 10/0,4 кВ під час короткого замикання у точці б:

$$I_{кбн}^{(3)} = \frac{U_{В.ном}}{U_{Н.ном}} \cdot I_{кб}^{(3)} = \frac{10}{0,4} \cdot 312 = 7800 \text{ А},$$

$$I_{кбн}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{кбн}^{(3)} = 0,87 \cdot 7800 = 6786 \text{ А}.$$

Визначаємо струми короткого замикання у електрично найвіддаленіших вузлах (вузли 1, 3, 4), для них визначимо сумарні опори короткого замикання:

$$Z_{\Sigma в} = Z_{\Sigma б} \cdot \left( \frac{U_{Н.ном}}{U_{В.ном}} \right)^2 + Z_{ов}, \text{ Ом}, \quad (2.14)$$

$$Z_{0-1} = \sqrt{(r_{л.0,38})^2 + (x_{л.0,38})^2} = 0,24 \text{ Ом},$$

$$Z_{0-3} = 0,07 \text{ Ом},$$

$$Z_{0-4} = 0,07 \text{ Ом},$$

$$Z_{\Sigma 1} = 11,2 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 + 0,24 = 0,27 \text{ Ом},$$

$$Z_{\Sigma 3} = 0,1 \text{ Ом},$$

$$Z_{\Sigma 4} = 0,1 \text{ Ом}.$$

Визначасмо значення струмів короткого замикання у цих вузлах:

$$I_{к1н}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 1}} = \frac{1000 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,27} = 855 \text{ А},$$

$$I_{к1н}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{к1н}^{(3)} = 0,87 \cdot 855 = 744 \text{ А},$$

$$I_{к3н}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 3}} = \frac{1000 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,1} = 2309 \text{ А},$$

$$I_{к3н}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{к3н}^{(3)} = 0,87 \cdot 2309 = 2009 \text{ А},$$

$$I_{к4н}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 4}} = \frac{1000 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,1} = 2309 \text{ А},$$

$$I_{к4н}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{к3н}^{(3)} = 0,87 \cdot 2309 = 2009 \text{ А}.$$

Визначаємо значення струмів однофазних коротких замикань:

$$I_{Квн}^{(1)} = \frac{U}{\sqrt{3} \left( \frac{Z_{T0}}{3} + Z_{ПВ} \right)}, \text{ А} \quad (2.15)$$

$Z_{T0}=1,63$  Ом – значення опору нульової послідовності трансформатора під час замикання фази на корпус;

$Z_{ПВ}$  – значення опору петлі “фаза-нуль” для відповідного вузла короткого замикання (1,7,9,11):

$$Z_{ПВ} = \frac{Z_{0\beta}}{3} (2 + 3,5), \text{ Ом} \quad (2.14)$$

$$Z_{П1} = \frac{0,24}{3} (2 + 3,5) = 0,44 \text{ Ом},$$

$$Z_{П3} = \frac{0,07}{3} (2 + 3,5) = 0,13 \text{ Ом},$$

$$Z_{П4} = \frac{0,07}{3} (2 + 3,5) = 0,13 \text{ Ом}.$$

Визначаємо наступні значення струму однофазного замикання на землю у вузлах:

$$I_{К1н}^{(1)} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \left( \frac{1,63}{3} + 0,44 \right)} = 223 \text{ А},$$

$$I_{К3н}^{(1)} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \left( \frac{1,63}{3} + 0,13 \right)} = 326 \text{ А},$$

$$I_{K4n}^{(1)} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \left( \frac{1,63}{3} + 0,13 \right)} = 326 \text{ A.}$$

## 2.7 Вибір і розрахунки захисту від аварійних режимів

Захист трансформаторів потужністю до 630 кВА напругою 10/0,4 кВ здійснюють за допомогою плавких запобіжників, що встановлюються зі сторони напруги 10 кВ. Запобіжники для захисту трансформатора, вибирають за наступними показниками:

- струмом трансформатора  $I_{вст} \approx 2I_{Г.ном}$ ;
- номінальною напругою мережі  $U_{зап} = U_{ном}$ ;
- номінальним струмом плавкої вставки, який співвідносять з номінальним;
- номінальним струмом вимкнення, який має бути більшим від максимального струму короткого замикання у місці встановлення  $I_{н.вимк} \geq I_{кз.мах}$ .

Для трансформаторів потужністю 400 кВА напругою 10/0,4 кВ і рекомендованим є використання запобіжників з  $I_{вст} = 20$  А, вибираємо плавкий запобіжник ПКТ-10-20-31,5У3 табл. 2.14. Враховуючи, що мінімальне значення струму короткого замикання у точці (а) рівне 797 А бачимо, що вибраний запобіжник відповідає критеріям вибору.

Таблиця 2.14 – Дійсні спади напруг у магістралях

| Номінальна напруга,<br>кВ | Номінальний струм, А | Номінальний струм<br>вимкнення, Ка |
|---------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 10                        | 20                   | 31,5                               |

*Релейний захист електричної мережі 0,38 кВ*

Захист мережі 0,38 кВ ЗТП (у нульові проводи фідерів встановлюють струмові реле, які при спрацюванні діють на обмотку незалежного розчеплювача) реалізують автоматичними вимикачами типу АЗ710Б, їх вибирають за параметрами:

- значенням коефіцієнту чутливості напівпровідникового розчеплювача  $k_{ч} = I_{кз}^{(2)} / I_{сн} \geq 1,1$ ;
- значенням номінальної напруги мережі  $U_{авт} = U_{ном}$ ;
- значенням струму спрацювання незалежного розчеплювача від струму однофазного короткого замикання в кінці магістралі  $I_{с.рн} \geq 1,25 \cdot 0,3 \cdot I_{мп}$ ;
- значенням струму спрацювання напівпровідникового розчеплювача, який повинен бути більшим від максимального робочого струму магістралі  $I_{сн} \geq 1,4 \cdot I_{мп}$ ;
- значенням номінального струму автоматичного вимикача, який повинен бути більшим від струму навантаження  $I_{р.в} \geq I_{нав}$ .

Роботу автоматичного вимикача за умовою спрацювання від струму перевантаження у такій мережі згідно з ПУЕ не перевіряють.

Значення номінальної напруги автоматичного вимикача:

$$U_{авт} = 380 \text{ В} = U_{ном} = 380 \text{ В}.$$

Вибераємо номінальні струми напівпровідникових розчеплювачів, є номінальними струмами автоматичних вимикачів для фідерів:

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| $1 \Rightarrow I_{нав 1} = 85,2 \text{ А},$  | $I_{рв 1} = 100 \text{ А},$ |
| $2 \Rightarrow I_{нав 2} = 169,7 \text{ А},$ | $I_{рв 2} = 200 \text{ А},$ |
| $3 \Rightarrow I_{нав 3} = 169,3 \text{ А},$ | $I_{рв 3} = 200 \text{ А}.$ |

Значення струмів спрацювання напівпровідникових розчеплювачів для усіх фідерів:

|  |
|--|
| $1 \Rightarrow I_{сн 1} = 200 \text{ А} > 1,4 \cdot I_{мп 1} = 119,3 \text{ А},$ |
| $2 \Rightarrow I_{сн 2} = 400 \text{ А} > 1,4 \cdot I_{мп 2} = 237,6 \text{ А},$ |
| $3 \Rightarrow I_{сн 3} = 400 \text{ А} > 1,4 \cdot I_{мп 3} = 237,0 \text{ А}.$ |

Значення коефіцієнтів чутливості напівпровідникових розчеплювачів для фідерів:

$$1 \Rightarrow k_q = \frac{I_{к1н}^{(2)}}{I_{сн1}} = \frac{744}{200} = 3,7,$$

$$2 \Rightarrow k_q = \frac{I_{к2н}^{(2)}}{I_{сн2}} = \frac{2009}{400} = 5,0,$$

$$3 \Rightarrow k_q = \frac{I_{к3н}^{(2)}}{I_{сн3}} = \frac{2009}{400} = 5,0.$$

Значення розрахункових струмів спрацювання реле незалежного розчеплювача під час однофазного короткого замикання:

$$1 \Rightarrow I_{с.рн} = 1,25 \cdot 0,3 \cdot I_{мр} = 32,0 \text{ А},$$

$$2 \Rightarrow I_{с.рн} = 1,25 \cdot 0,3 \cdot I_{мр} = 63,6 \text{ А},$$

$$3 \Rightarrow I_{с.рн} = 1,25 \cdot 0,3 \cdot I_{мр} = 63,5 \text{ А}.$$

Приймаємо:

$$1 \Rightarrow I_{с.рн} = 40 \text{ А} < \frac{I_{к1н}^{(1)}}{2} = \frac{223}{2} = 111,5 \text{ А},$$

$$2 \Rightarrow I_{с.рн} = 80 \text{ А} < \frac{I_{к1н}^{(2)}}{2} = \frac{326}{2} = 163 \text{ А},$$

$$3 \Rightarrow I_{с.рн} = 80 \text{ А} < \frac{I_{к1н}^{(3)}}{2} = \frac{326}{2} = 163 \text{ А}.$$

Значення струму спрацювання електромагнітного розчеплювача –  $I_{сн} = 1600 \text{ А}$ . При виникненні трифазних коротких замикань на початку ліній 1, 3, 4 мають спрацювати електромагнітні розчеплювачі автоматичних вимикачів, миттєво вимикаючи відповідний фідер.

#### *Релейний захист електричної мережі 10 кВ*

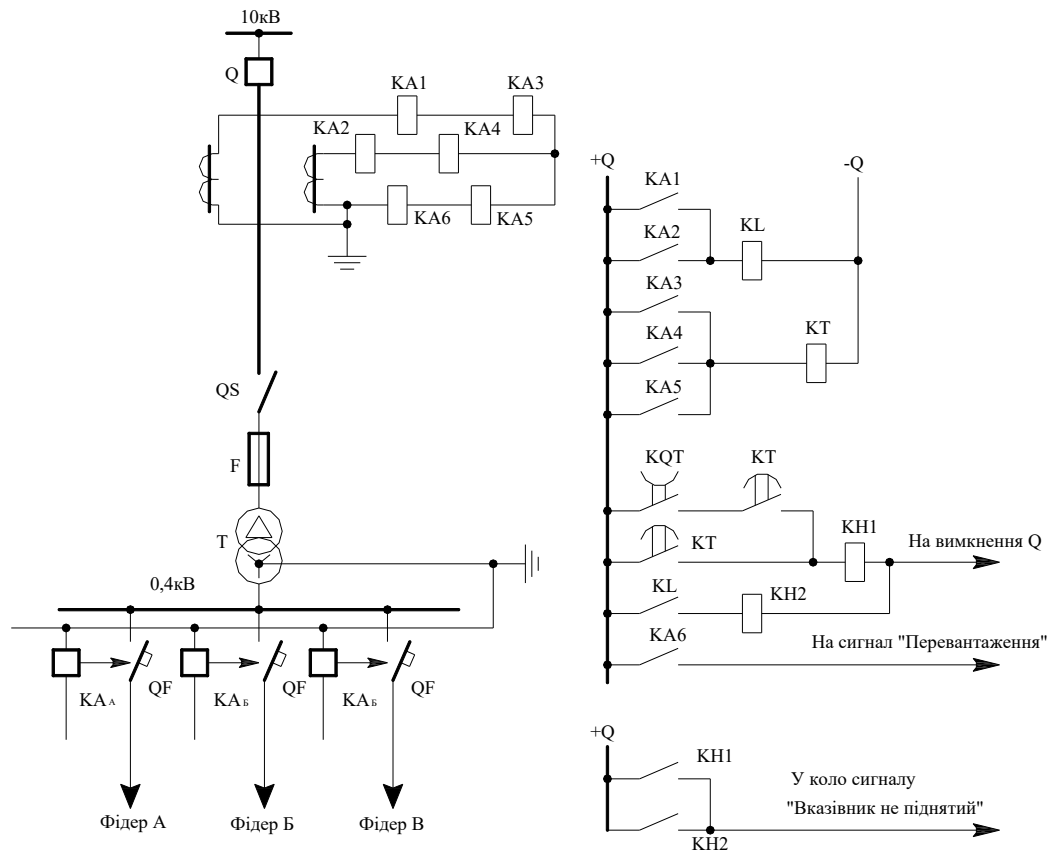
Згідно з правилами улаштування електроустановок на лініях 10 кВ з одностороннім живленням використовують двохступінчастий струмовий захист, перша ступінь якого виконують у вигляді струмової відсічки, а другий втконують у вигляді максимального струмового захисту із витримкою часу залежною чи незалежною.

Виконаємо за схемою рис.2.4 двоступінчастий струмовий захист.

У лінії живлення 10 кВ зі сторони підстанції 35/10 кВ, що заживлює ТП 10/0,4 кВ вибираємо для встановлення трансформатори струму типу ТПЛК-10 у фазах А і С із коефіцієнтами трансформації 10/5 ( $I_{1TC}=20,0 \text{ A} > I_{T.HOM}=17,0 \text{ A}$ ).

Значення струму спрацювання відсічки вибираємо за умовою:

$$I_{c.з.в.} = k_H \cdot I_{к.зобн} = 1,2 \cdot 312 = 374,4 \text{ A},$$



|             |  |
|-------------|--|
| ТС          | Трансформатори струму ТПЛК-10                |
| КА1-КА6     | Реле струму типу РТ-40                       |
| КТ          | Реле часу типу РВ-122                        |
| КЛ          | Проміжне реле типу РН-23 чи РН-251           |
| КН1,<br>КН2 | Вказівне реле типу РУ-1                      |
| КQT         | Контакт реле положення "вимкнено" вимикача Q |

Рисунок 2.4 – Принципова схема релейного захисту електричної мережі

де,  $I_{к.з.овн}$  – значення максимального зовнішнього струму к. з., який визначають як струм у місці встановлення захисту при к. з. на стороні меншої напруги трансформатора 10/0,4 кВ;

$k_H=1,2$  – коефіцієнт надійності, для реле РТ-40.

Значення струму спрацювання реле визначаємо за умовою:

$$I_{с.р.в.} = \frac{I_{с.з.в.}}{n_{mc}} = \frac{374,4}{10/5} = 187,2 \text{ А.}$$

Перевіряємо чутливість спрацювання відсічки за струмом двофазного короткого замикання в кінці лінії:

$$k_{ч.в.} = \frac{I_{к.з.мин}^{(2)}}{I_{с.з.в.}} = \frac{797}{374,4} = 2,1 > 1,5.,$$

тобто, у даному випадку відсічка може бути застосована як основний захист лінії.

Як друга ступінь захисту лінії 10 кВ електричної мережі приймаємо максимальний струмовий захист, що виконано на основі реле часу РВ-122 і реле непрямої дії РТ-40.

Значення струму спрацювання захисту:

$$I_{с.з.} = \frac{k_H \cdot k_z}{k_{II}} \cdot I_{max.p} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,8} \cdot 17 = 24,3 \text{ А}$$

де:  $I_{max.p}$  - максимальний робочий струм лінії.

$k_{II}$  - коефіцієнт повернення;

$$I_{max.p} = \frac{S_{\Sigma вч}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{279,2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 17 \text{ А.}$$

Значення струму спрацювання реле за умовою:

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.з.}}{n_{mc}} = \frac{24,3}{10/5} = 12,15 \text{ А.}$$



Перевіряємо чутливість максимального струмового захисту, як резерв для трансформатора, за умови виникнення к. з. на стороні меншої напруги трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.б.}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{272}{24,3} = 11,2 > 1,2.$$

## РОЗДІЛ 3

### АНАЛІЗ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ ВІД НОМІНАЛЬНОЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

#### 3.1 Побудова моделі системи електропостачання

Для побудови моделі системи електропостачання скористаємось матеріалами попереднього розділу. А також, перерахуємо параметри опорів мережі згідно із довжинами ліній електропостачання підприємства таблиця 3.1.

Таблиця 3.1 – Узагальнена інформація по системі електропостачання 0,38 кВ

| Лінія                                | 1      | 2       | 3       | 4      |
|--------------------------------------|--------|---------|---------|--------|
| Довжина,м                            | 0,2    | 0,05    | 0,05    | 0,07   |
| P, кВт                               | 21,25  | 50,5    | 100,5   | 100,25 |
| Q, кВАр                              | 10,3   | 24,5    | 54,0    | 53,9   |
| S, кВА                               | 23,6   | 56,1    | 111,7   | 111,4  |
| Марка проводів                       | A-25   | A-25    | A-35    | A-50   |
| Номінальне значення<br>$r_0$ , Ом/км | 1,28   | 1,28    | 0,92    | 0,64   |
| Номінальне значення<br>$x_0$ , Ом/км | 0,319  | 0,319   | 0,308   | 0,297  |
| Фактичне значення<br>$r_{л}$ , Ом/км | 0,256  | 0,0625  | 0,046   | 0,0448 |
| Фактичне значення<br>$x_{л}$ , Ом/км | 0,0638 | 0,016   | 0,0154  | 0,0208 |
| Індуктивність<br>$L_{л}$ , мГн       | 0,0002 | 0,00005 | 0,00005 | 0,0007 |

Згідно розрахованих значень складаємо структурно-математичну модель у середовищі MATLAB/Simulink і вводимо параметри системи електропостачання рис. 3.1.

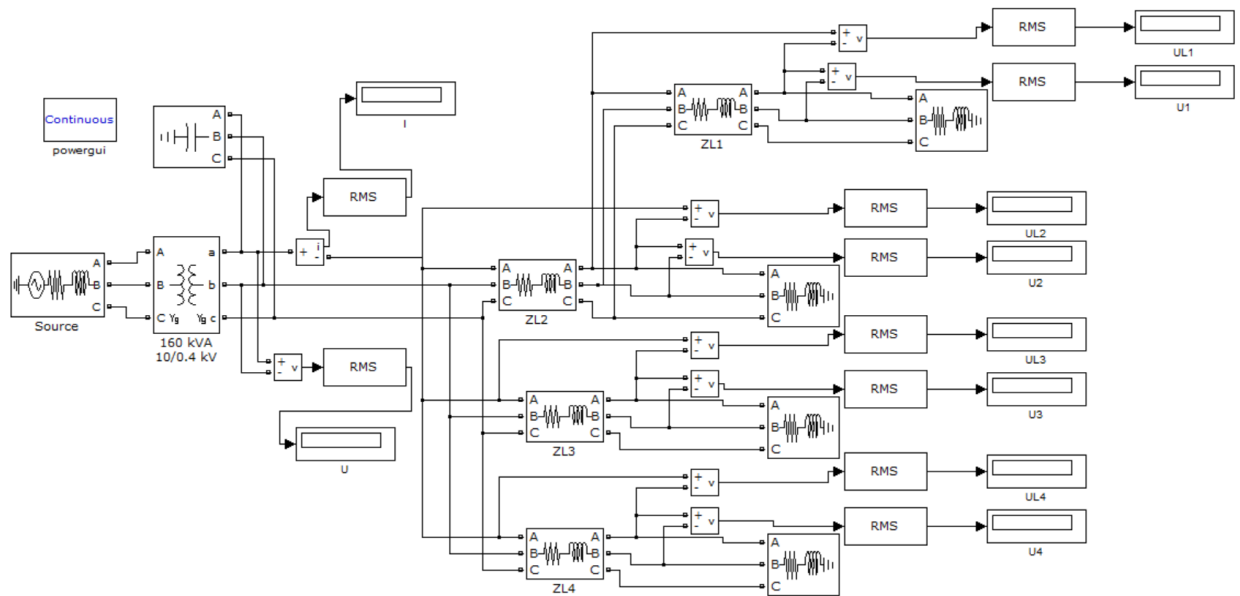


Рисунок 3.1 – Модель мережі електропостачання підприємства в середовищі MATLAB/Simulink

Основними елементами моделі є споживачі енергії, що отримують живлення по чорьох лініях електропостачання від трьох фідерів, трансформатора 10/0,4 кВ, джерело живлення. Для проведення вимірів у моделі використовуємо вольтметри, зокрема напруги на навантаженні, спадів напруги в лініях живлення та виході трансформатора; амперметр для виміру сумарного струму на трансформаторі.

### 3.2 Дослідження відхилення напруги в системі електропостачання

Дослід передбачає проведення зміни навантаження у межах від  $0,2S_n$  до  $1,2S_n$ . При цьому вимірюємо вимірювальних параметрів: на виході трансформатора, значення напруги на навантаженні та значення струму у вторинній обмотці трансформатора таблиця 3.2, значення спаду напруги в

лініях таблиці 3.3, значення відхилення напруги від нормованого значення таблиці 3.4.

Таблиця 3.2 – Значення напруги на навантаженні, на виході трансформатора (В) та струм трансформатора (А) при нарузі

| Номер лінії        | навантаження      |                   |                   |                   |                   |                   |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                    | 0,2S <sub>н</sub> | 0,4S <sub>н</sub> | 0,6S <sub>н</sub> | 0,8S <sub>н</sub> | 1,0S <sub>н</sub> | 1,2S <sub>н</sub> |
| U <sub>1</sub> , В | 383               | 378               | 368               | 359               | 350               | 340               |
| U <sub>2</sub> , В | 391               | 384               | 377               | 370               | 363               | 356               |
| U <sub>3</sub> , В | 391               | 383               | 376               | 370               | 362               | 355               |
| U <sub>4</sub> , В | 391               | 383               | 376               | 369               | 361               | 354               |
| U, В               | 393               | 388               | 384               | 379               | 374               | 370               |
| I, А               | 87                | 171               | 250               | 327               | 402               | 473               |

Таблиця 3.3 – Значення спаду напруги в лініях (В)

| Номер лінії | Навантаження      |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|             | 0,2S <sub>н</sub> | 0,4S <sub>н</sub> | 0,6S <sub>н</sub> | 0,8S <sub>н</sub> | 1,0S <sub>н</sub> | 1,2S <sub>н</sub> |
| UЛ1, В      | 1,7               | 3,4               | 4,9               | 6,5               | 7,9               | 9,2               |
| UЛ2, В      | 1,4               | 2,8               | 4,2               | 5,4               | 6,7               | 7,8               |
| UЛ3, В      | 1,6               | 3,1               | 4,5               | 5,9               | 7,3               | 8,5               |
| UЛ4, В      | 1,6               | 3,1               | 4,6               | 6,0               | 7,4               | 8,7               |

Таблиця 3.4 – Значення відхилення напруги на навантаженні та виході трансформатора %

| Номер лінії      | навантаження      |                   |                   |                   |                   |                   |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                  | 0,2S <sub>н</sub> | 0,4S <sub>н</sub> | 0,6S <sub>н</sub> | 0,8S <sub>н</sub> | 1,0S <sub>н</sub> | 1,2S <sub>н</sub> |
| $\Delta U_1$ , % | 0,79              | -0,53             | -7,11             | -5,53             | -7,89             | -10,53            |
| $\Delta U_2$ , % | 2,89              | 1,05              | -0,79             | -2,63             | -4,47             | -6,32             |
| $\Delta U_3$ , % | 2,89              | 0,79              | -1,05             | -2,63             | -4,74             | -6,58             |
| $\Delta U_4$ , % | 2,89              | 0,79              | -1,05             | -2,89             | -7,37             | -6,84             |
| $\Delta U$ , %   | 3,42              | 2,11              | 1,05              | -0,26             | -1,58             | -2,63             |

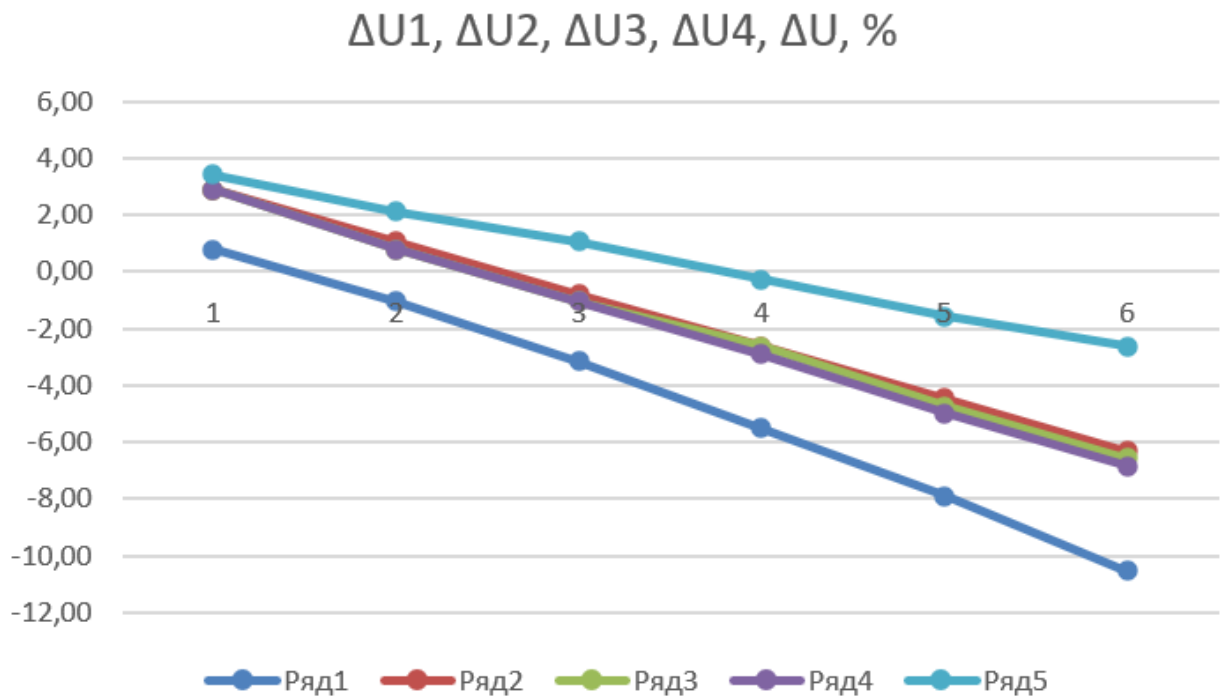


Рисунок 3.2 – Графічна залежність результату моделювання відхилення напруги від номінального значення при напрузі 400 В

Після проведеного дослідження, аналізуючи таблицю 3,4 та рисунок 3.2 слід відмітити наступне, що при зміні навантаження від  $0,2S_n$  до  $1,2S_n$ , похибка відхилення напруги знаходиться у межах від 3,42 % до – 10,53 %. Основна частина значень відхилення напруги лежить у допустимих межах, лише при перевантаженні у межах  $1,2 S_n$ , у першій лінії відхилення напруги сягає 10,53 %, що є більше допустимого значення, а саме 10%. Криві які описують похибки у різних місцях схеми лежать кучно, відповідно в загальному мережа зпроектвана добре. Попри те лінія перша (Ряд 1) та напруга на виході трансформатора (Ряд 5) ввідділені від основної групи кривих, а відповідно можна було б збільшити переріз лінії живлення першої, для зближення даної характеристики з іншими кривими. Це передбачає збільшення вартості мережі. При номінальному навантаженні (точка 5) відхилення напруги знаходиться у межах від -1,58 % до -7,89 % - знаходиться у допустимих межах. Діапазон відхилення становить сумарно 13,95 %, а в номінальному режимі 6,31%.

На трансформаторі живлення можна збільшувати або зменшувати напругу на 2,5% чи на 5% відноминальної. Проводимо аналогічний дослід при збільшеному значення напруги на 2,5%. Результат моделювання показано у таблиці 3.5, 3.6, 3.7.

Таблиця 3.5 – Значення напруги на навантаженні, на виході трансформатора (В) та струм трансформатора (А) при нарузі

| Номер лінії | навантаження      |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|             | 0,2S <sub>н</sub> | 0,4S <sub>н</sub> | 0,6S <sub>н</sub> | 0,8S <sub>н</sub> | 1,0S <sub>н</sub> | 1,2S <sub>н</sub> |
| U1, В       | 397               | 387               | 377               | 367               | 357               | 345               |
| U2, В       | 400               | 393               | 385               | 378               | 371               | 364               |
| U3, В       | 400               | 393               | 385               | 377               | 370               | 362               |
| U4, В       | 400               | 392               | 384               | 377               | 369               | 362               |
| U, В        | 403               | 397               | 392               | 387               | 382               | 377               |
| I, А        | 89                | 175               | 356               | 335               | 411               | 483               |

Таблиця 3.6 – Значення спаду напруги в лініях (В)

| Номер лінії | Навантаження      |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|             | 0,2S <sub>н</sub> | 0,4S <sub>н</sub> | 0,6S <sub>н</sub> | 0,8S <sub>н</sub> | 1,0S <sub>н</sub> | 1,2S <sub>н</sub> |
| УЛ1, В      | 1,8               | 3,5               | 5,1               | 6,6               | 8,0               | 9,4               |
| УЛ2, В      | 1,5               | 2,9               | 4,3               | 5,6               | 6,8               | 8,0               |
| УЛ3, В      | 1,6               | 3,1               | 4,6               | 6,0               | 7,4               | 8,7               |
| УЛ4, В      | 1,6               | 3,2               | 4,7               | 6,2               | 7,6               | 8,9               |

Після проведеного дослідження, аналізуючи таблицю 3,7 та рисунок 3.3 слід відмітити наступне, що при зміні навантаження від 0,2S<sub>н</sub> до 1,2S<sub>н</sub>, похибка відхилення напруги знаходиться у межах від 6,05 % до – 9,21 %. Всі відхилення напруги лежить у допустимих межах. Криві які описують похибки у різних місцях схеми лежать кучно, відповідно в загальному мережа зпроектвана добре. При номінальному навантаженні (точка 5) відхилення напруги знаходиться у межах від 0,53 % до -6,05 % - знаходиться у допустимих межах. Загальний діапазон відхилення напруги від номінальної

становить 15,21%, а в номінальному режимі 6,58 %, що є більше ніж у попередньому випадку.

Таблиця 3.7 – Значення відхилення напруги на навантаженні та виході трансформатора %

| Номер лінії      | Навантаження      |                   |                   |                   |                   |                   |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                  | 0,2S <sub>H</sub> | 0,4S <sub>H</sub> | 0,6S <sub>H</sub> | 0,8S <sub>H</sub> | 1,0S <sub>H</sub> | 1,2S <sub>H</sub> |
| $\Delta U_1, \%$ | 4,47              | 1,84              | -0,79             | -3,42             | -6,05             | -9,21             |
| $\Delta U_2, \%$ | 5,26              | 3,42              | 1,32              | -0,53             | -2,37             | -4,21             |
| $\Delta U_3, \%$ | 5,26              | 3,42              | 1,32              | -0,79             | -2,63             | -4,74             |
| $\Delta U_4, \%$ | 5,26              | 3,16              | 1,05              | -0,79             | -2,89             | -4,74             |
| $\Delta U, \%$   | 6,05              | 4,47              | 3,16              | 1,84              | 0,53              | -0,79             |

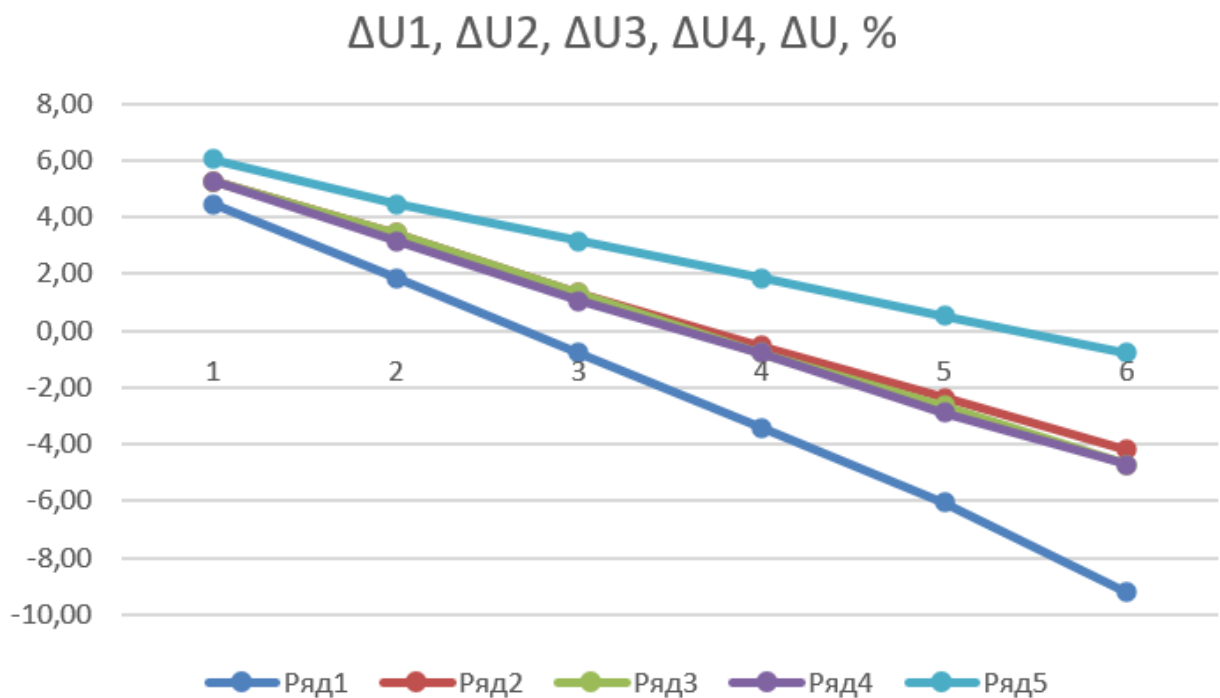


Рисунок 3.3 – Графічна залежність результату моделювання відхилення напруги від номінального значення при напрузі 400\*1,025 В

А тепер проведемо дослідження, за умови збільшення напруги на 5%. Результат проведеного дослідження показано у таблиці 3.8, 3.9, 3.10.

Після проведеного дослідження, аналізуючи таблицю 3,10 та рисунок 3.4 слід відмітити наступне, що при зміні навантаження від 0,2S<sub>H</sub> до 1,2S<sub>H</sub>,

похибка відхилення напруги знаходиться у межах від 8,68 % до – 6,84 %. Всі відхилення напруги лежить у допустимих межах.

Таблиця 3.8 – Значення напруги на навантаженні, на виході трансформатора (В) та струм трансформатора (А) при нарузі

| Номер лінії | навантаження      |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|             | 0,2S <sub>н</sub> | 0,4S <sub>н</sub> | 0,6S <sub>н</sub> | 0,8S <sub>н</sub> | 1,0S <sub>н</sub> | 1,2S <sub>н</sub> |
| U1, В       | 407               | 396               | 385               | 375               | 364               | 354               |
| U2, В       | 410               | 402               | 394               | 386               | 378               | 371               |
| U3, В       | 410               | 401               | 393               | 385               | 377               | 370               |
| U4, В       | 410               | 401               | 393               | 385               | 377               | 369               |
| U, В        | 413               | 407               | 401               | 396               | 390               | 385               |
| I, А        | 91                | 179               | 262               | 342               | 419               | 492               |

Таблиця 3.9 – Значення спаду напруги в лініях (В)

| Номер лінії | Навантаження      |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|             | 0,2S <sub>н</sub> | 0,4S <sub>н</sub> | 0,6S <sub>н</sub> | 0,8S <sub>н</sub> | 1,0S <sub>н</sub> | 1,2S <sub>н</sub> |
| UЛ1, В      | 1,8               | 3,6               | 5,2               | 6,7               | 8,2               | 9,6               |
| UЛ2, В      | 1,5               | 3,0               | 4,4               | 5,7               | 7,0               | 8,2               |
| UЛ3, В      | 1,6               | 3,2               | 4,7               | 6,2               | 7,6               | 8,9               |
| UЛ4, В      | 1,7               | 3,3               | 4,8               | 6,3               | 7,7               | 9,1               |

Таблиця 3.10 – Значення відхилення напруги на навантаженні та виході трансформатора %

| Номер лінії      | Навантаження      |                   |                   |                   |                   |                   |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                  | 0,2S <sub>н</sub> | 0,4S <sub>н</sub> | 0,6S <sub>н</sub> | 0,8S <sub>н</sub> | 1,0S <sub>н</sub> | 1,2S <sub>н</sub> |
| $\Delta U_1$ , % | 7,11              | 4,21              | 1,32              | -1,32             | -4,21             | -6,84             |
| $\Delta U_2$ , % | 7,89              | 5,79              | 3,68              | 1,58              | -0,53             | -2,37             |
| $\Delta U_3$ , % | 7,89              | 5,53              | 3,42              | 1,32              | -0,79             | -2,63             |
| $\Delta U_4$ , % | 7,89              | 5,53              | 3,42              | 1,32              | -0,79             | -2,89             |
| $\Delta U$ , %   | 8,68              | 7,11              | 5,53              | 4,21              | 2,63              | 1,32              |



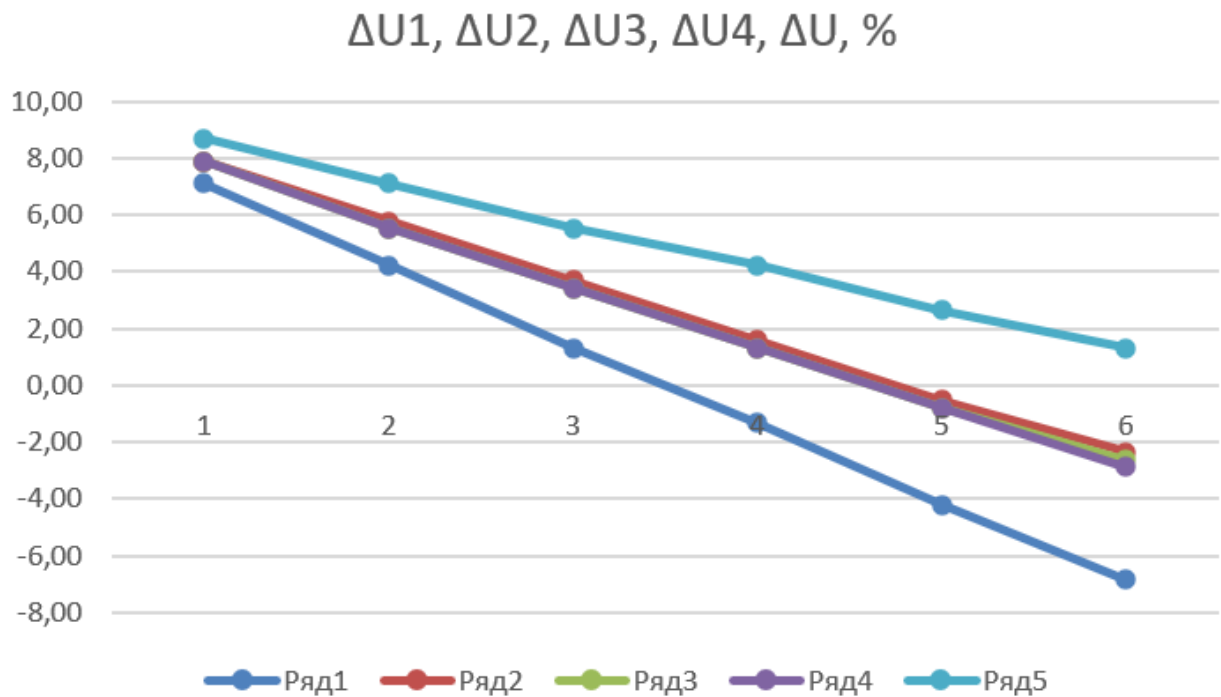


Рисунок 3.4 – Графічна залежність результату моделювання відхилення напруги від номінального значення при нарузі  $400 \cdot 1,025 \text{ В}$

Криві які описують похибки у різних місцях схеми лежать кучно, відповідно в загальному мережа зпроектована добре. При номінальному навантаженні (точка 5) відхилення напруги знаходиться у межах від 2,63 % до -4,21 % - знаходиться у допустимих межах. Загальний діапазон відхилення напруги від номінальної становить 15,52%, а в номінальному режимі 6,84 %, що є більше ніж у попередньому випадку.

### 3.3 Компенсація реактивної потужності

Розрахункове значення середнього навантаження орієнтовно 251кВт. До компенсації, середнє значення коефіцієнта потужності знаходиться нгарівні  $\cos\varphi=0.8$ , а відповідно тангенс  $tg\varphi_0=0,75$ .

Значення коефіцієнта потужності потребує покращення бо є менше 0,9, при розрахунку ми заклали 0,9, а тому необхідно його покращити. При оплаті за електроенергію треба буде доплачувати надбавку 7%.

Юажане значення коефіцієнта потужності має бути більше 0,92, а

значить тангенс 0,426.

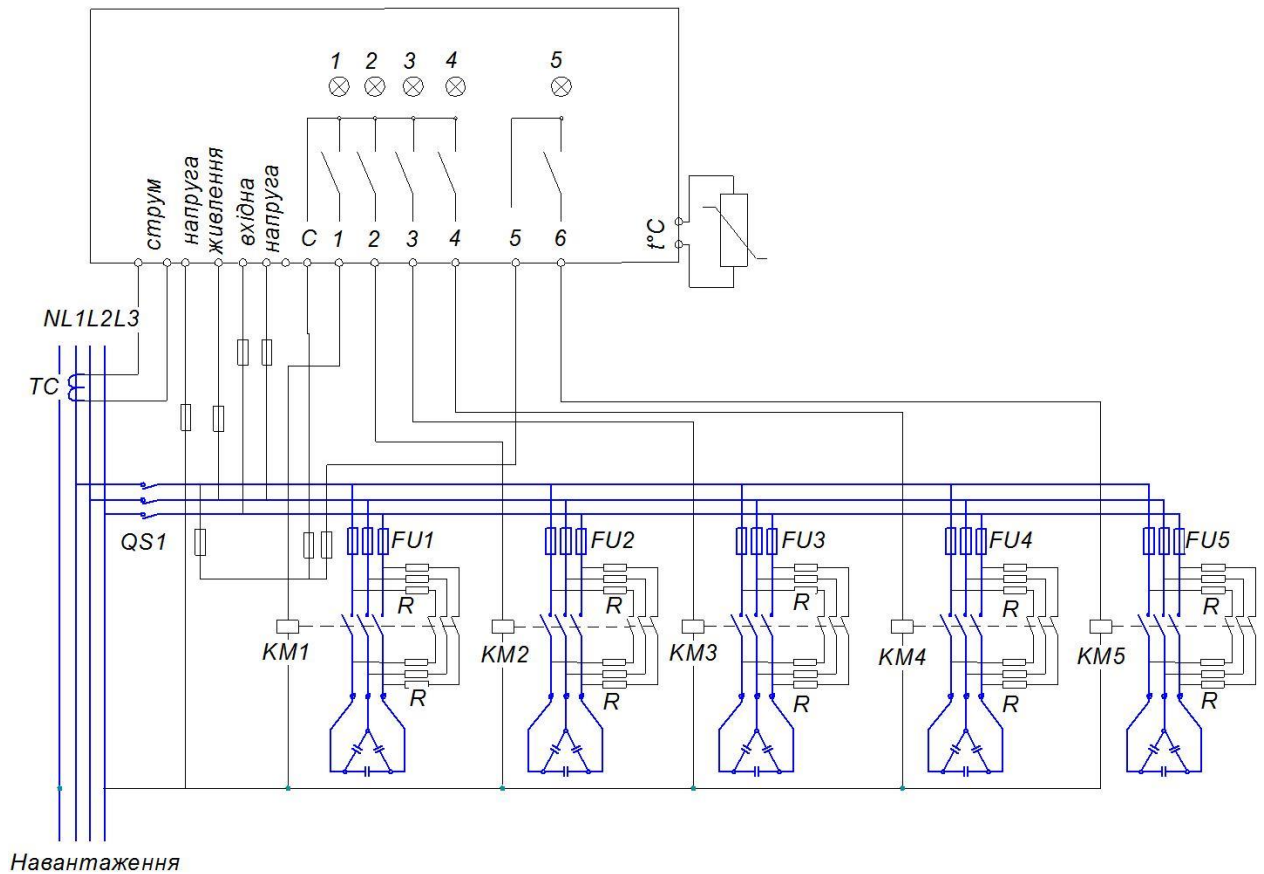


Рисунок 3.5 – Схема підключення пристрою компенсації

Ємність конденсатора:

$$C = \frac{P_a (tg\varphi_1 - tg\varphi_2)}{U_{\text{фазн}}^2 \omega}$$

$$C_{\delta} = \frac{251(0,75-0,426)}{220^2 \cdot 314} = 5,4 \cdot 10^{-6} \text{Ф.}$$

Значення реактивної потужності конденсаторів

$$Q_{\text{емн}} = C\omega U^2,$$

де  $C$  – ємність конденсаторів,  $\text{Ф}$ ,  $Q_{\text{емн}}$  – реактивна потужність конденсаторів,  $\text{ВАр}$ ,  $U$  – напруга,  $\text{В}$ .

$$Q = 5,4 \cdot 10^{-6} \cdot 314 \cdot 220^2 = 82067 = 82\text{кВАр.}$$

Вибераємо установку для компенсації потужністю 100 кВАр. Вона складається із, п'яти трифазних конденсаторів, регулятора реактивної потужності п'яти розрядного DCRK фірми Lovato.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Аналіз забезпечення охорони праці на підприємстві

Охорона праці – це система, яка призначена для збереження здоров'я і життя кожного працівника в процесі роботи. Дана система включає в себе організаційно – технічні, соціально – економічні, лікувально – профілактичні, а також санітарно гігієнічні норми. Дотримування всіх законів і нормативних прав в галузі охорони праці дозволить забезпечити успішний розвиток підприємства, і забезпечити нормальну його діяльність. Електроустановка це об'єкт підвищеної небезпеки, а отже потрібно дотримуватися відповідних вимог. Перш за все потрібно зазначити головну ціль політики охорони праці і саме збереження здоров'я і життя робітників підприємства.

Одна з основних задач в процесі трудової діяльності підприємств в яких для технологічних процесів застосовуються багато електроустановок потрібно забезпечити безпечні умови праці, звести до мінімуму ризику виникнення виробничого травматизму, і професійних захворювань. Щоб реалізувати дану задачу потрібно, щоб на кожному підприємстві діяли відповідні служби, які займаються питання в області охорони праці. Завдання цих служб полягає в тому, щоб працівники підприємств дотримувалися всіх норм і правил по охорони праці в процесі трудової діяльності. Кожний працівник повинен знати про міру безпеки на робочому місці, а також дотримуватися правил техніки безпеки.

Служби по охорони праці аналізують діяльність підприємства, знаходять можливі ризики і складають відповідні інструкції і директиви, основна задача яких полягає в забезпеченні максимальної безпеки робітників підприємства в процесі виконанні певних робіт, а також по можливості звести до мінімуму ризику життя і здоров'я.

Інформування робітників по питанням охорони праці це одна із основних задач. Служби по охорони праці забезпечують розповсюдження нормативних документів по всім структурним підрозділам, контролюють ознайомлення всіх робітників, які обслуговують електроустановки з даними документами.

Персонал який обслуговує відповідні електроустановки, періодично проходить перевірку знань нормативних документів по охорони праці. Окрім того кожен із робітників проходить спеціальні тренування, ціль яких являється набуття навичок (перевірка навичок), щодо застосування знань нормативних документів по охорони праці на практики. Основний нормативний документ по охорони праці персоналу, який обслуговує електроустановки це правила безпечної експлуатації електроустановок. Всі нормативні документи, інструкції чи директиви складаються відповідно з даними правилами. Основна мета, щодо направлення на підвищення рівня безпеки праці це постійне покращення робочих місць, технологічних процесів і системи управління охороною праці на підприємстві.

В електроустановках дана мета реалізується наступним чином: заміна застарілого обладнання; використання новітнього сучасного обладнання; використання технологій які забезпечують додаткову безпеку робітників під час проведення робіт в електроустановках; своєчасне знаходження і усунення неполадок обладнання; забезпечення додаткового контролю над дотриманням вимог охорони праці.

## **4.2 Моделювання процесу виникнення травм під час роботи з електроустановками**

Метод логічного моделювання небезпечних ситуацій на підприємстві при яких відбувається аварія, травма чи катастрофа дозволяє оцінити дану ситуацію, а також знайти необхідні вирішення при яких ризик подальших подій таких як аварія, травма чи катастрофа зведеться до мінімуму. При

цьому як показали дослідження будь яка катастрофа чи аварія може бути наслідком однієї із багатьох інших небезпечних ситуацій при їх поєднанні. Тому даний метод не може бути застосований при моделювання складних виробничих процесів, які ведуть за собою виникнення великих аварій чи катастроф.

Метод дозволяє за допомогою побудови «древа» помилок вести обробку математичної моделі метою якої є моделювання небезпечних ситуацій при яких можливе виникнення таких випадкових подій як травма. Щоб обчислити даний вид небезпеки потрібно оцінити її рівень, удосконалити конструкції технічних засобів на зведення до мінімуму ризиків небезпеки, а також вжити термінові заходи для усунення небезпек з більш високим рівнем.

Принцип побудови математичної моделі полягає в наступному. Спочатку вивчається підприємство, на якому були певні аварії чи травми, або можуть виникнути в майбутньому. Наприклад до уваги беремо підприємство на якому виконуються багато робіт з електроустановками, найнебезпечнішим явищем тут може бути ураження електричним струмом працівника. Приймаючи подію до уваги «ураження електричним струмом» як головну ми можемо пов'язати з нею і наступні події за допомогою логічної взаємопов'язаної лінії «І», та «АБО» та інших. Приклад застосування даних операторів при нашій події зображений на рис. 4.1.

Для того щоб оцінити можливість виникнення ситуації на підприємстві достатньо скористатися простим і доступним методом, який включає в себе обчислення ймовірності певного явища. Щоб оцінити ситуацію для початку потрібно вибрати головну подію логічної моделі. Це може бути травма, аварія чи катастрофа. Відповідно для нашої ситуації головною подією буде «Ураження електричним струмом».

Після визначення головної події можна приступати до побудови математичної моделі. Відповідно до ГОСТ Р 50571.3 – 94 «Система безпеки охорони праці. Захист від ураження електричним струмом», в якому

вказано, що технологічні процеси повинні розроблятися так, щоб ймовірність ураження електричним струмом на підприємстві протягом року не перевищувало  $10^{-3}$  або 0,001. Отже  $P=0,001$ .

де  $P$  – певна базова подія на підприємстві.

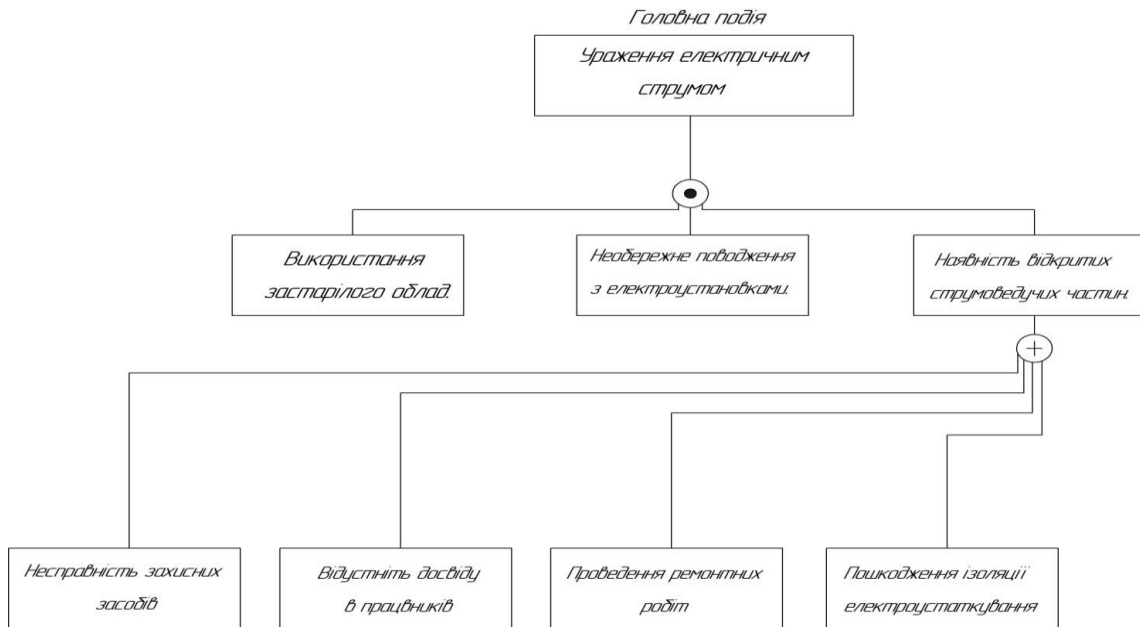


Рисунок 4.1 – Застосування логічних операторів до змодельованої ситуації «Ураження електричним струмом»

Для того щоб провести логічність виникнення травм при ураженні електричним струмом, використаємо математичну імітаційну модель. Процес її формування зображено на рис. 4.2.

Ймовірність виникнення події 3:

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 \quad (4.1)$$

Приймаємо, що умовна ймовірність базових першої та другої події буде рівною  $P_1 = 0,5$ , а  $P_2 = 0,4$ . Підставивши дані значення в формулу 4.1, ми отримаємо:

$$P_3 = 0,5 + 0,4 - 0,5 \cdot 0,4 = 0,7$$

Аналогічно обраховуємо ймовірність наступних подій, в залежності від їх номеру:

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,72;$$

$$P_9 = P_7 + P_8 - P_7 \cdot P_8 = 0,72;$$

$$P_{10} = P_3 + P_6 + P_9 - P_3 \cdot P_6 - P_3 \cdot P_9 - P_6 \cdot P_9 + P_3 \cdot P_6 \cdot P_9 = 0,27;$$

$$P_{13} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12} = 0,72;$$

$$P_{16} = P_{14} + P_{15} - P_{14} \cdot P_{15} = 0,72;$$

$$P_{19} = P_{17} + P_{18} - P_{17} \cdot P_{18} = 0,72;$$

$$P_{20} = P_{13} + P_{16} + P_{19} - P_{13} \cdot P_{16} - P_{13} \cdot P_{19} - P_{16} \cdot P_{19} + P_{13} \cdot P_{16} \cdot P_{19} = 0,98.$$

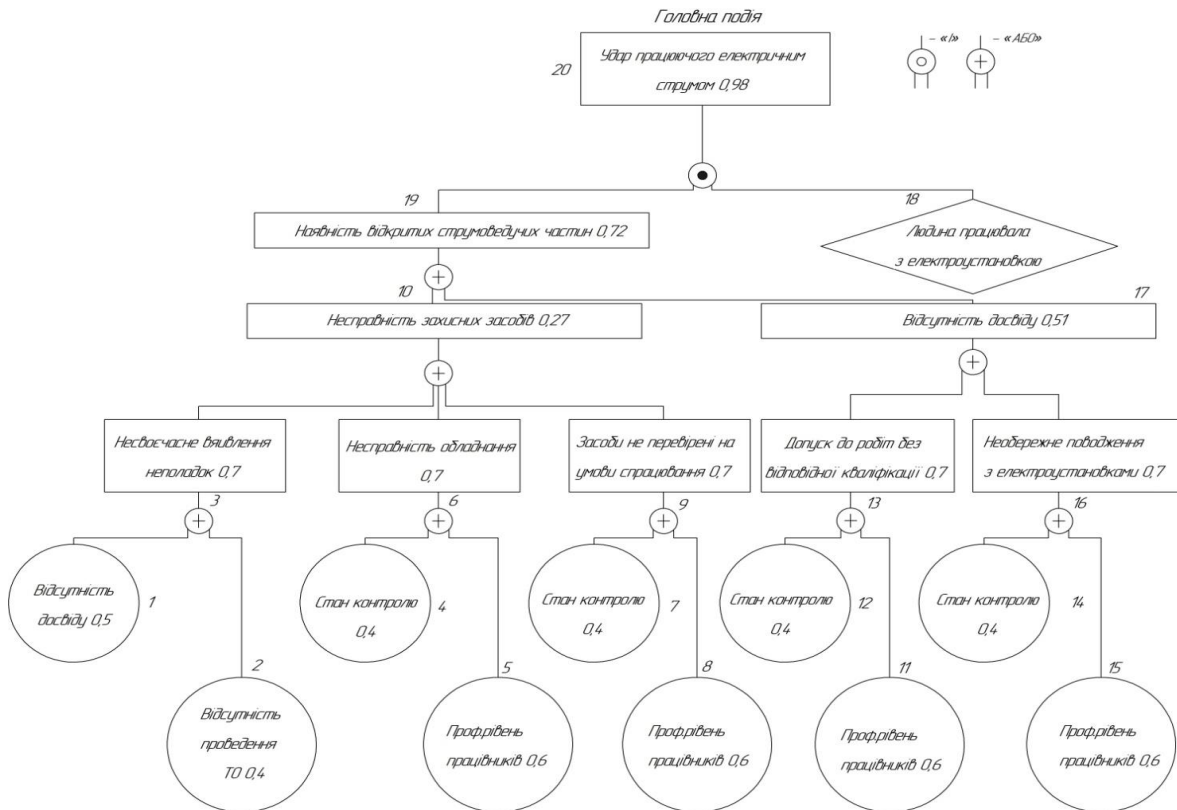


Рисунок 4.2 – Логічно – імітаційна модель при ударі електричним струмом:

1, 2, 3 – номери подій; 0,4, 0,6 – ймовірність виникнення подій

Таким чином ураження електричним струмом на підприємствах при виконанні технологічних процесів на електроустаткуванні на 100 місць варто очікувати 5 – 6 уражень електричним струмом. Якщо вище зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працівників, використання сучасного електроустаткування, перевірка обладнання при технічному огляді а також своєчасне виявлення неполадок), то можна побачити що при повторному перерахунку рівень небезпеки буде близьким до 0, а рівень безпеки до 1.

Логіко – імітаційні моделі аварій і травм на виробництві допомагають зменшити ймовірність виникнення травмонебезпечних ситуацій, тому дане застосування даних моделей дуже важливе при оцінці небезпеки робочого місця.

### **4.3 Заходи безпеки під час надзвичайних ситуацій**

Адміністрація підприємства повинна відповідально відноситися до надзвичайних ситуацій. При виникненні небезпеки головною метою є захист населення та правильної організації його життєзабезпечення.

Заходи до яких відносяться захист цивільного населення повинні проводитися в населених пунктах, там де розміщені підприємства чи сільськогосподарські установи і охоплюють навколишні села. Характер та ступінь змісту захисних засобів встановлюється відповідно до рівня загрози, місцевих умов з урахуванням важливості виробництва для безпеки населення і інших соціальних і економічних чинників.

Основні заходи щодо захисту населення плануються та здійснюються завчасно і мають випереджувальний характер, це стосується насамперед підготовки, підтримання у постійній готовності індивідуальних та колективних засобів захисту, їх накопичення, а також підготовки до проведення евакуації населення із зон підвищеної небезпеки.

Головні особи підприємства є безпосередніми виконавцями цих заходів, вони повинні розробляти їх завчасно, проводити навчання робітників та службовців способам захисту та діям в умовах надзвичайних ситуацій.

Також раз в три роки повинне проводитися навчання по підготовці до військових дій, що в разі небезпеки могло би не дістати людину зненацька. Керівництво повинно докладати максимум зусиль, щоб працівники підприємства були хоча би мінімально захищені в разі будь – якої небезпеки пов'язаної з тими чи іншими обставинами.



## РОЗДІЛ 5

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

На підприємстві річне споживання електроенергії орієнтовно становить 220000 кВт·год електроенергії. При ціні 5,85 грн/кВт·год, річна вартість електроенергії

$$220\ 000 \cdot 5,85 = 1\ 287\ 000 \text{ грн.}$$

При коефіцієнті потужності 0,8, підприємство повинно додатково доплачувати 7% від вартості електроенергії

$$1\ 287\ 000 \cdot 0,07 = 90\ 090 \text{ грн.}$$

Вартість системи автоматичного керування коефіцієнтом потужності: 72 000 грн.

Термін окупності:

$$T = 72\ 000 / 90\ 090 = 0,8 \text{ років}$$

Всі техніко-економічні показники зводимо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Техніко - економічні показники

| Показник  | Величина    |
|---|-------------|
| Вартість спожитої енергії, грн.                               | 1 287 000   |
| Коефіцієнт потужності без компенсуючих пристроїв              | 0,8         |
| Надбавка,<br>%<br>грн.  | 7<br>90 090 |
| Коефіцієнт потужності з компенсуючим пристроєм                | 0,92        |
| Капітальні затрати на запропоновану систему компенсації, грн. | 72 000      |
| Термін окупності, років                                       | 0,8         |

## ВИСНОВКИ

- 1 У кваліфікаційній роботі дано коротку характеристику типового будівельного підприємства і обґрунтовано тему роботи.
- 2 Проведено розрахунок і вибір елементів системи електропостачання, а саме трансформаторну підстанцію, марки проводів живлення, проаналізовано аварійні режими та запропоновано схему захисту.
- 3 Побудовано модель системи електропостачання підприємства і проведено її дослідження на предмет відхилення напруги у різних точках схеми від номінального значення. Аналіз отриманих результатів показав, що схема спроектована на належному рівні, оскільки в основному відхилення знаходяться у межах норми, проте для забезпечення точнішого дотримання рівня напруги, можна підрегулювати напругу на трансформаторі за допомогою перемикачів обмотки, або у першій лінії збільшити переріз проводу живлення.
- 4 Для забезпечення вищих техніко-економічних показників системи електропостачання підприємства було розраховано і вибрано пристрій компенсації реактивної потужності навантаження із мікропроцесорним регулятором.
- 5 Проаналізовано питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.
- 6 Визначено термін окупності системи автоматичного регулювання коефіцієнта потужності, який становить 0,8 року.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Буряк В. М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання. Навчальний посібник. Харків: Тимченко, 2008 р. 496 с.
- 2 Бялобржеський О. В., Сухоніс Т. Ю., Качалка В. Ю. Контроль і керування якістю електричної енергії. Кременчук. 2014 р. 127 с.
- 3 Василега П.О. Електропостачання. Суми: Університетська книга, 2008. 415с.
- 4 Варецький Ю.О. Методичні настанови та завдання до курсового проекту для студентів спеціальності 6.091.900. Львів. ЛНАУ. 2004. 54 с.
- 5 Геврик Є. О. Безпека життєдіяльності. К.: Ельга-Н, КНТ. 2007. 384 с.
- 6 Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах: навч. посіб. Київ: Вища школа, 2006 р. 67 с.
- 7 Гончарук В.Є., Качан С. І., Орел С. М., Пуцило В. І. Оцінка обстановки у надзвичайних ситуаціях: навч. посіб. Київ: Львів, 2004. 136 с.
- 8 Дурняк Б.В., Чумакевич В.О., Лях І.М., Яцун А.М. Основи електропостачання агропромислового комплексу: Навч.посіб. Львів. Українська академія друкарства, 2017. 544 с.
- 9 Єрмолаєв С. О., Мунтян В. О., Яковлев В. Ф. Експлуатація енергообладнання та засобів автоматизації в системі АПК. Підручник. Київ: Мета, 2003 р. 543 с.
- 10 Зорін В.В., Тисленко В.В. Системи електропостачання загального призначення: навч. Посібник. Чернігів 2005. 341 с.
- 11 Козирський В. В., Каплун В. В., Волошин С. М. Електропостачання агропромислового комплексу: підручник. Київ: Аграрна освіта. 2011 р. 448 с.
- 12 Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем. Львів: НУ«ЛП», 2013 р. 533 с.

- 13 Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники. 2001. 984 с.
- 14 Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І. Електропривод: підручник Київ: Видавництво «Ліра-К», 2009 р. 504 с.
- 15 Лут М. Т., Мірошник О. В., Трунова І. М. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК. Підручник для студентів ВНЗ. Харків: Факт, 2008 р. 438 с.
- 16 Маліновський А. А. Основи електропостачання: навч. посіб. А. А. Маліновський, Б.К. Хохулін. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка». 2005. 324 с.
- 17 Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Основи електроенергетики та електропостачання: підручник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2009 р. 436 с.
- 18 Малинівський С. М. Загальна електротехніка. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2001 р. 596 с.
- 19 Мірошник О. В., Трунова І. М. Організація технічної експлуатації енергетичного устаткування підприємств АПК. Харків: ПП ЧЕРВЯК, 2005 р. 128 с.
- 20 Паначевський Б. І. Загальна електротехніка. Київ: Каравела, 2004 р. 440 с.
- 21 Правила улаштування електроустановок. Харків: Форт, 2009 р. 736 с.
- 22 Сегеда М.І Теоретичні основи електротехніки: Навч.посіб. Тернопіль, ТДУ, 2003. 350 с.
- 23 Титаренко М. В. Електротехніка: навч. посіб. для студентів інженерно-технічних (не електротехнічних) спеціальностей вузів. Київ: Кондор, 2015 р. 240 с.