

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ  
СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ **В.П. Квасніков**  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)  
ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»**

**Тема: «Електрична частина споживчої трансформаторної підстанції»**

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ **Бублясь О.І**  
(підпис) (П.І.Б.)

**Керівник:** \_\_\_\_\_ **к.т.н., доц., Сірий Д.Т.**  
(підпис) (П.І.Б.)

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ **к.т.н., доц., Катаєва М.О.**  
(підпис) (П.І.Б.)

**КИЇВ 2023**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра:** комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

**Освітній ступінь:** «Бакалавр»

**Спеціальність:** 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_ В.П. Квасніков

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

**Бубляся Олександра Івановича**

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема дипломної роботи:** «Електрична частина споживчої трансформаторної підстанції»

затверджена наказом ректора від

**2. Термін виконання роботи з 20.12.2022 р. по 28.02.2023 р.**

**3. Вихідні дані до роботи (проекту):** Номінальна напруга РУ  $U_{в.ном}=10$  кВ; навантаження ВВ ліній  $S_n=1200$  кВА; значення усталеного струму КЗ на шинах РУ  $I_{уст.кз}=15$  кА; навантаження НВ ліній  $S_m=150$  кВА; струми КЗ:  $I_{кз.мах1}=1.9$  кА,  $I_{кз.мах2}=I_{кз.мах3}=1.2$  кА; час відключення ВВ вводу при КЗ  $t_b=2$  с.

**4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):**  
Вступ. Розділ 1: Вибір структурної схеми споживчої трансформаторної підстанції . Розділ 2: Розрахунок струмів низьковольтної та високовольтної мереж. Розділ 3: Вибір силового трансформатора та шинних конструкцій. Розділ 4: Вибір комутаційних апаратів та компоновка низьковольтної розподільчої установки. Розділ 5: Вибір та компоновка високовольтної розподільчої установки. Висновки.

**5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:**

Структурні схема низьковольтної та високовольтної РУ, структурна схема РУ ТП, схема компоновки низьковольтної РУ, схема компоновки високовольтної РУ, повна електрична схема РУ ТП.

## 6. Календарний план-графік

| № пор. | Завдання  | Термін виконання  | Відмітка про виконання |
|--------|---|-------------------|------------------------|
| 1      | Ознайомлення з проектною документацією                                  | 20.12.22-25.12.22 | Виконано               |
| 2      | Постановка задачі   | 26.12.22-31.12.22 | Виконано               |
| 3      | Розділ 1. Вибір структурної схеми споживчої трансформаторної підстанції | 02.01.23-10.01.23 | Виконано               |
| 4      | Розділ 2. Розрахунок струмів низьковольтної та високовольтної мереж     | 11.01.23-23.01.23 | Виконано               |
| 5      | Розділ 3. Вибір силового трансформатора та шинних конструкцій           | 24.01.23-27.01.23 | Виконано               |
| 6      | Розділ 4. Вибір комутаційних апаратів та компоновка РУ-0,4 кВ           | 28.01.23-31.02.23 | Виконано               |
| 6      | Розділ 5. Вибір електричних апаратів та компоновка РУ-10 кВ             | 01.02.23-07.02.23 | Виконано               |
| 7      | Оформлення вступу, реферату, висновків, переліку посилань               | 08.02.23-11.02.23 | Виконано               |
| 8      | Виконання ілюстративного матеріалу та написання доповіді                | 12.02.23-15.02.23 | Виконано               |
| 9      | Усунення недоліків та закінчення оформлення пояснювальної записки       | 16.02.23-19.02.23 | Виконано               |

7. Дата видачі завдання: 20.12.2022 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Сірий Дмитро Терентійович

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Бублясь Олександр Іванович

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи “Електрична частина споживчої трансформаторної підстанції” включає: сторінок – 42, таблиць – 3, рисунків – 17, використаних джерел – 11.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, РОЗПОДІЛЬЧА УСТАНОВКА, ПІДСТАНЦІЯ, ТРАНСФОРМАТОР, АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ, РОЗ’ЄДНУВАЧ, КОНТАКТОР, ПОТУЖНІСТЬ.

Об’єкт дослідження – споживча трансформаторна підстанція.

Предмет дослідження – електрична частина споживчої трансформаторної підстанції.

Мета дипломної роботи – розробити надійну та економічну електричну частину споживчої трансформаторної підстанції з використанням новітніх комплектних розподільчих установок (КРУ).

Методи дослідження – теоретичні основи електротехніки, фізика, технічний аналіз, спостереження, порівняльний аналіз.

Проведено розробку структурної схеми електричної частини високовольтної і низьковольтної РУ споживчої трансформаторної підстанції, розраховано робочі струми у всіх елементах низьковольтної і високовольтної частинах схеми. Розраховано потужність силового трансформатора 10/0.4 кВ і вибрано його тип. Проведено розрахунок і вибір елементів шинних конструкцій (збірних шин і ізоляторів) високовольтної розподільчої установки. Вибрані комутаційні апарати низьковольтної мережі. Проведені компоновка низьковольтної РУ, вибір високовольтних електричних апаратів і компоновка високовольтної РУ.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Вступ.....   | 7  |
| РОЗДІЛ 1. Вибір структурної схеми споживчої трансформаторної підстанції.....                   | 9  |
| 1.1. Трансформаторні підстанції.....   | 9  |
| 1.2. Вихідні дані.....   | 11 |
| 1.3. Розробка структурної схеми електричної частини споживчої трансформаторної підстанції..... | 12 |
| РОЗДІЛ 2. Розрахунок струмів низьковольтної та високовольтної мереж.....                       | 15 |
| 2.1. Розрахунок струмів низьковольтної мережі 0.4 кВ .....                                     | 16 |
| 2.2. Розрахунок струмів високовольтної мережі 10 кВ .....                                      | 18 |
| РОЗДІЛ 3. Вибір силового трансформатора та шинних конструкцій.....                             | 20 |
| 3.1. Вибір силового трансформатора.....  | 20 |
| 3.2. Вибір шин шинної конструкції .....  | 22 |
| 3.3. Перевірка шин на електродинамічну стійкість.....  | 23 |
| 3.4. Перевірка шин на термічну стійкість.....  | 25 |
| 3.5. Вибір опорних ізоляторів .....  | 26 |
| РОЗДІЛ 4. Вибір комутаційних апаратів та компоновка РУ-0,4 кВ.....                             | 28 |
| 4.1. Вибір контакторів .....   | 28 |
| 4.2. Вибір магнітного пускача .....  | 29 |
| 4.3. Вибір автоматичних вимикачів .....  | 31 |
| 4.4. Вибір уставок розчіплювачів .....   | 32 |
| 4.5. Перевірка на чутливість .....   | 33 |
| 4.6. Компоновка низьковольтної РУ.....   | 34 |
| РОЗДІЛ 5. Вибір електричних апаратів та компоновка РУ-10 кВ.....                               | 37 |
| 5.1. Вибір серії КРУ для компонування РУ-10 кВ.....  | 37 |
| 5.2. Компоновка високовольтної РУ-10 кВ.....   | 38 |
| Висновки.....  | 41 |
| Список використаної літератури .....   | 42 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АВ – автоматичний вимикач
- АТ – автотрансформатор
- ВН – висока напруга
- НН – низька напруга
- СН – середня напруга
- ЗРП – закритий розподільчий пункт
- КЗ – коротке замикання
- КРУ – комплектна розподільча установка
- РУ – розподільча установка
- СВ – секційний вимикач
- Т – трансформатор
- ТП – трансформаторна підстанція
- ШМ – шинний міст
- ЩР – щит розподільчий

## ВСТУП

Жодна сфера життя на разі не має змоги нормально існувати без електроенергії. Кожної миті в світі виробляється і споживається в неймовірних кількостях електроенергія.

Головним завданням на сьогодні є економія та зберігання енергії а також створення альтернативних джерел енергії.

Саме за допомогою трансформаторних підстанцій заощаджуються величезні кошти, тому що потужність константа, а змінюючи напругу (збільшуючи) для передачі до віддалених споживачів, автоматично зменшується струм, тому передавана потужність залишається незмінною, а втрати в дротах лінії різко скорочуються і скорочуються витрати кольорових металів.

Перетворення напруги звичайно відбувається послідовно на декількох підстанціях, починаючи з електростанції, де напруга силовими трансформаторами підвищується для передачі в лініях електропередачі, і до кінця лінії, де вона значно знижується перед розподілом споживачам. В електричних мережах значення напруги може змінюватись від 110 В до 1150 кВ.

Біля споживачів, зазвичай, знаходяться підстанції, які знижують напругу і розподіляють її між споживачами. Споживчі (тупикові) трансформаторні підстанції працюють саме так.

Споживча трансформаторна підстанція – це підстанція, яка отримує електроенергію від однієї установки по одній або декількох паралельних лініях. Ці підстанції виконуються за спрощеними схемами без вимикачів високої напруги.

Щодо проекрованої споживчої трансформаторної підстанції, то вона має два централізованих джерел енергії – G1, G2, які з'єднані секційною шиною, що задовольняє умови електропостачання споживачів II категорії. До II категорії відносять електроспоживачі, перерив електропостачання котрих призводить до масового недовипуску продукції, простоям промислового транспорту, порушенням нормальної діяльності багатьох міських та сільських жителів. Електроприймачі II категорії рекомендовано забезпечувати двома незалежними взаємно резервуючими джерелами живлення.

Також живлення споживачів II категорії можливо за допомогою однієї ВЛЕП, але в цьому випадку ПУЕ [ 5 ] вимагає проведення аварійного ремонту лінії не більше ніж за добу.

Об'єкт дослідження – споживча трансформаторна підстанція.

Предмет дослідження – електрична частина споживчої трансформаторної підстанції.

Мета дипломної роботи – розробити надійну та економічну електричну частину споживчої трансформаторної підстанції з використанням новітніх комплектних розподільчих установок (КРУ).

В першому розділі приведені: теоретичні відомості щодо видів підстанцій; вихідні дані та вибір структурних схем низьковольтної та високовольтної мереж.

В другому розділі на основі вихідних даних виконаний розрахунок струмів в низьковольтній та високовольтній розподільчих установках.

В третьому розділі за результатами розрахунку струмів проведено вибір силового трансформатора ТМ-630/10/0.4 потужністю 630 кВА. Вибрана шинна конструкція перевірена на електродинамічну та термічну стійкість.

В четвертому розділі розраховані та вибрані комутаційні апарати низьковольтної мережі та виконана компоновка низьковольтної РУ.

В п'ятому розділі проведено обґрунтування вибіру високовольтної РУ та її компоновку.

Таким чином, в дипломній роботі розрахована електрична схема споживчої трансформаторної підстанції, вибрані силовий трансформатор, КРУ у високовольтній РУ та щити в низьковольтній мережі у відповідності з вихідними даними.



# РОЗДІЛ 1

## ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СПОЖИВЧОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

### 1.1. Трансформаторні підстанції

Трансформаторна підстанція (ТП) призначена для підвищення або пониження напруги в мережі змінного струму і для розподілу електроенергії.

Підвищувальні трансформаторні підстанції (споруджувані зазвичай при електростанціях) перетворюють напругу, що виробляється генераторами, у вищу напругу (одного або декількох значень), необхідну для передачі електроенергії по лініях електропередачі (ЛЕП).

Знижувальні трансформаторні підстанції перетворюють первинну напругу електричної мережі в нижчу вторинну. Залежно від призначення і від величини первинної і вторинної напруги знижувальні трансформаторні підстанції підрозділяються на районні, головні знижувальні і місцеві (цехові). Районні трансформаторні підстанції приймають електроенергію безпосередньо від високовольтних ЛЕП і передають її на головні знижувальні ТП, а ті (знизивши напругу до 6, 10 або 35 кВ) – на місцеві і цехові підстанції, на яких здійснюється останній рівень трансформації (з пониженням напруги до 660, 400 або 230 В) і розподіл електроенергії між споживачами.

До складу ТП входять силові трансформатори (зазвичай один або два), розподільчі установки, пристрої автоматичного управління і захисту, а також допоміжні споруди. В ряді потужних знижувальних ТП (на 220, 330, 500, 750 кВ) застосовують автотрансформатори, що знижує втрати електроенергії (на 30-35%), витрати міді (на 15-25%) і сталі (на 50-60%). Розподільча установка ТП може мати одну або дві системи збірних шин, або не мати їх. Найбільш поширені ТП з однією системою збірних шин, що зазвичай секціонується вимикачами і роз'єднувачами; на деяких ТП додатково встановлюють обхідну систему шин, що дозволяє вести профілактичні і ремонтні роботи, не припиняючи електропостачання споживачів.

В залежності від місця і способу приєднання трансформаторної підстанції до електричної мережі нормативні документи не встановлюють класифікації підстанцій. Однак ряд джерел дає класифікацію виходячи із застосування типів конфігурацій мережі та можливих схем приєднання.

- Тупикові – живлення по одній або двом радіальним лініям.
- Відгалужувальні – приєднуються до однієї або двох ліній на відгалуженнях.
- Прохідні – підключаються до мережі шляхом заходу однієї лінії з двохстороннім живленням.
- Вузлові – підключаються до мережі не менше ніж трьома лініями живлення.

Відгалужені та прохідні трансформаторні підстанції об'єднують поняттям проміжні, яке визначає розміщення підстанції між двома центрами електроживлення або вузловими підстанціями.

Прохідні і вузлові підстанції, через шини яких здійснюються перетоки потужності між вузлами мережі, називають транзитними.

Також використовується термін опорна підстанція, який як правило позначає підстанцію більш високого класу напруги по відношенню до розглянутої трансформаторної підстанції або мережі.

Також трансформаторні підстанції розділяють на підстанції відкритого типу і закритого типу.

Закрита трансформаторна підстанція – ТП, обладнання якої розміщене в приміщенні або в металевій оболонці.

Прибудована трансформаторна підстанція – закрита трансформаторна підстанція, що має тільки один будівельний елемент, спільний з суміжними приміщеннями (стіну, перегородку або підлогу, що є перекриттям суміжного приміщення знизу).

Вбудована трансформаторна підстанція має два або більше будівельних елемента, спільні з суміжними приміщеннями.

Щоглова трансформаторна підстанція (ЩТП) – трансформаторна підстанція (у тому числі в конструктивному виконанні КТП), все устаткування якої встановлене на конструкціях, або опорі повітряної лінії електропередачі (ПЛ) просто неба на висоті, що не потребує наземного огороження.

В дипломній роботі розглядається споживча трансформаторна підстанція, яку ще називають «тупиковою» – це підстанція, яка отримує електроенергію від однієї електроустановки за однією або декількома паралельними лініями для живлення тільки своїх споживачів.

## 1.2. Вихідні дані

Для проектування та розрахунку електричної частини споживчої трансформаторної підстанції задані наступні вихідні дані:

### *по високовольтній мережі:*

номінальна напруга ТП:  $U_{в.ном}=10$  кВ;

кількість вводів в ТП: 2;

кількість ВВ ліній, що відходять:  $n=4$ ;

навантаження кожної із ВВ, що відходять, : 1200 кВА;

значення усталеного струму КЗ на шинах РУ:  $I_{кз.уст}=10$  кА;

час відключення ВВ вводу при КЗ:  $t_{в}= 1.6$  с;

### *по низьковольтній мережі:*

кількість ліній 0,4 кВ, що відходять від РУ-0,4 кВ:  $m=3$ ;

навантаження в кожній із ліній: 150 кВА

коефіцієнт пуску електромоторів:  $K_{пуск}=5.6$ ;

коефіцієнт потужності електромоторів:  $\cos \varphi=0.87$ ;

ККД електромоторів:  $\eta=87.3$  %;

категорія електроприймачів 0,4 кВ: II;

струми КЗ:

$I_{кз.мах1}=1.9$  кА;

$I_{кз.мах2}=1.2$  кА;

$I_{кз.мах3}=1,2$  кА;

потужність освітлювального навантаження:

$$P_{\text{осв1}}=8 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{осв2}}=11 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{осв3}}=6 \text{ кВт}$$

потужність електромоторів:

$$P_{\text{М1}}=9 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{М2}}=12 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{М3}}=9 \text{ кВт}$$

Схема низьковольтної мережі 0.4 кВ зображена на рис. 1.1.

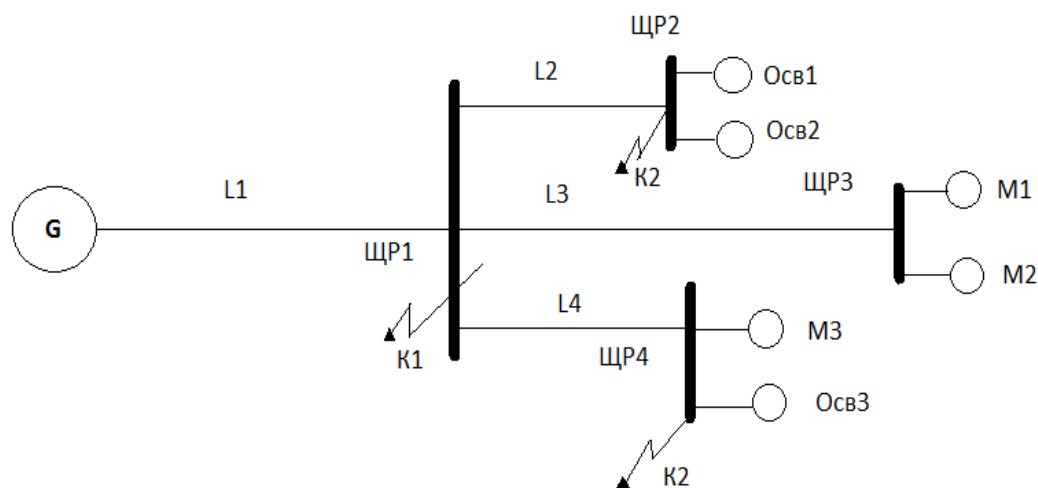


Рис. 1.1. Схема низьковольтної мережі 0.4 кВ

### 1.3. Розробка структурної схеми електричної частини споживчої трансформаторної підстанції

При розробці структурної схеми високовольтної електричної частини споживчої ТП слід виходити з категорії електроприймачів, які планується живити від даної підстанції, а також кількості зовнішніх незалежних джерел електропостачання.

Споживча трансформаторна підстанція, що проектується, має два незалежних вводи електроживлення і чотири лінії, що відходять (фідерів), тому РУ-10 кВ слід

виконувати з однією секціонованою системою шин, передбачивши можливість об'єднання секцій за допомогою керованого вручну комутаційного апарату [2, 4].

Така схема дозволить жити від РУ-10 кВ ТП електроприймачі 2-ї категорії, а при використанні АВР на стороні 0,4 кВ – і споживачі 1-ї категорії.

Отже, в якості структурної схеми з'єднань високовольтної розподільчої установки РУ-10 кВ споживчої трансформаторної підстанції вибираємо схему з однією секціонованою системою шин (рис. 1.2).

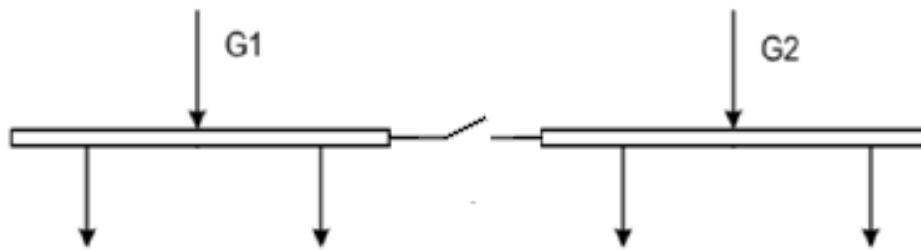


Рис.1.2. Структурна схема високовольтної РУ

При розробці структурної схеми низьковольтної частини ТП слід врахувати, що вона живить електроприймачі другої категорії, тому в РУ-0,4 кВ можна використовувати схему з однією несекціонованою системою шин [4, 9].

Отже, в якості структурної схеми низьковольтної РУ-0,4 кВ ТП вибираємо схему з однією несекціонованою системою шин, приведену на рис. 1.3.

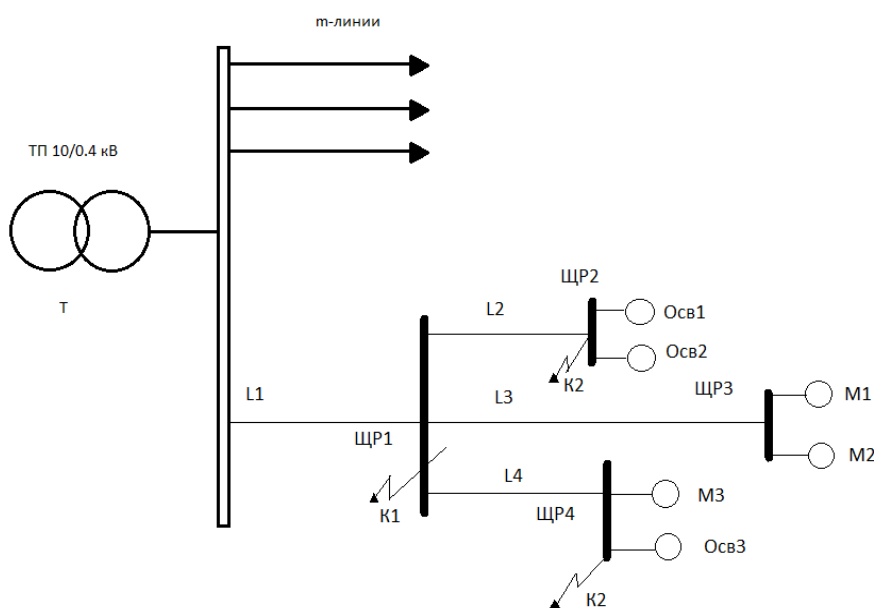


Рис. 1.3. Структурна схема низьковольтної РУ

Повна структурна схема споживчої трансформаторної підстанції разом зі схемою низьковольтної мережі 0.4 кВ зображена на рис.1.4.

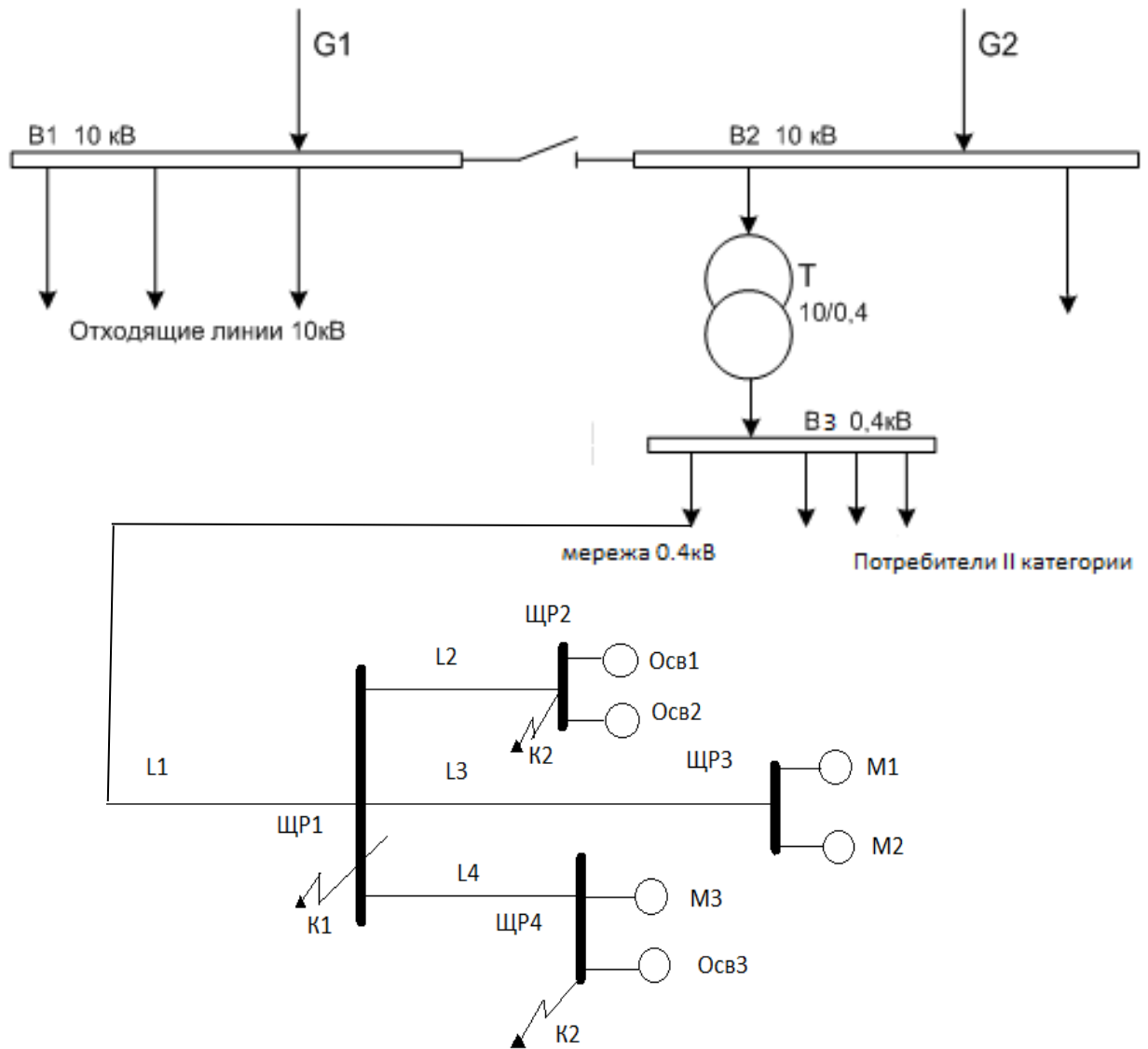


Рис. 1.4. Повна структурна схема споживчої трансформаторної підстанції

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК СТРУМІВ НИЗЬКОВОЛЬТНОЇ ТА ВИСОКОВОЛЬТНОЇ МЕРЕЖ

#### 2.1. Розрахунок струмів низьковольтної мережі 0.4 кВ

Електроспоживачами низьковольтної мережі 0.4 кВ є три електромотори та освітлювальні пристрої. Розрахуємо струми, що ними споживаються.

Розрахунок струмів, що споживаються електромоторами при номінальному навантаженні:

$$I_{M.HOM1} = \frac{P_{M1}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ} \times \eta \times \cos\varphi} = \frac{9000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.87 \times 0.873} = 17,104 \text{ A};$$

$$I_{M.HOM2} = \frac{P_{M2}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ} \times \eta \times \cos\varphi} = \frac{12000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.87 \times 0.873} = 22,805 \text{ A};$$

$$I_{M.HOM3} = \frac{P_{M3}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ} \times \eta \times \cos\varphi} = \frac{9000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.87 \times 0.873} = 17,104 \text{ A}.$$

Розрахунок струмів освітлювального навантаження:

$$I_{OCB1} = \frac{P_{OCB1}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ}} = \frac{8000}{\sqrt{3} \times 380} = 11,547 \text{ A};$$

$$I_{OCB2} = \frac{P_{OCB2}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ}} = \frac{11000}{\sqrt{3} \times 380} = 15,877 \text{ A};$$

$$I_{OCB3} = \frac{P_{OCB3}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \times 380} = 8,66 \text{ A}.$$

Розрахунок максимальних робочих струмів в лініях мережі 0.4 кВ:

$$I_{роб.maxL2} = I_{OCB1} + I_{OCB2} = 27,424 \text{ A};$$

$$I_{роб.maxL3} = I_{M.HOM1} + I_{M.HOM2} = 39,908 \text{ A};$$

$$I_{роб.maxL4} = I_{M.HOM3} + I_{OCB3} = 25,764 \text{ A}.$$

Максимальний робочий струм на вході лінії мережі 0.4 кВ складає

$$I_{роб.maxL1} = I_{роб.maxL2} + I_{роб.maxL3} + I_{роб.maxL4} = 80,612 \text{ A}.$$

При пуску двигунів відбувається перевантаження, тому з використанням коефіцієнта пуску ( $K_{\text{пуск}} = 5.6$ ) визначаємо струм перевантаження (пусковий струм) двигунів:

$$I_{\text{м.пуск1}} = I_{\text{м.ном1}} \times K_{\text{пуск}} = 95,78 \text{ А};$$

$$I_{\text{м.пуск2}} = I_{\text{м.ном2}} \times K_{\text{пуск}} = 127,707 \text{ А};$$

$$I_{\text{м.пуск3}} = I_{\text{м.ном3}} \times K_{\text{пуск}} = 95,78 \text{ А}.$$

Розрахунок струмів перевантаження в лініях:

$$I_{\text{перL2}} = I_{\text{осв1}} + I_{\text{осв2}} = 27,424 \text{ А};$$

$$I_{\text{перL3}} = I_{\text{м.пуск1}} + I_{\text{м.пуск2}} = 223,487 \text{ А};$$

$$I_{\text{перL4}} = I_{\text{м.пуск3}} + I_{\text{осв3}} = 104,441 \text{ А}.$$

Струм перевантаження на вході лінії мережі 0.4 кВ складає:

$$I_{\text{перL1}} = I_{\text{перL2}} + I_{\text{перL3}} + I_{\text{перL4}} = 355,352 \text{ А}$$

Розрахунок струмів в інших  $m$  лініях низьковольтної мережі ( $m=3$ ):

$$I_{\text{сп}} = \frac{S_m}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном}}} = \frac{150000}{\sqrt{3} \times 380} = 227,3 \text{ А}.$$

Розрахунок сумарного робочого струму в секції шини В3, що живить мережу 0.4 кВ та три електроспоживачі:

$$I_{\text{В3}} = I_{\text{роб maxL1}} + 3 I_{\text{сп}} = 80,612 + 3 \times 227,3 = 762,4 \text{ А}.$$

Сумарний струм перевантаження в секції шини В3, обумовлений одночасним пуском трьох двигунів:

$$I_{\text{В3.max}} = I_{\text{перL1}} + 3 I_{\text{сп}} = 355,352 + 3 \times 227,3 = 1037,2 \text{ А}.$$

Розраховані значення струмів низьковольтної мережі нанесемо на структурну схему РУ-0,4 кВ, приведену на рис. 2.1.



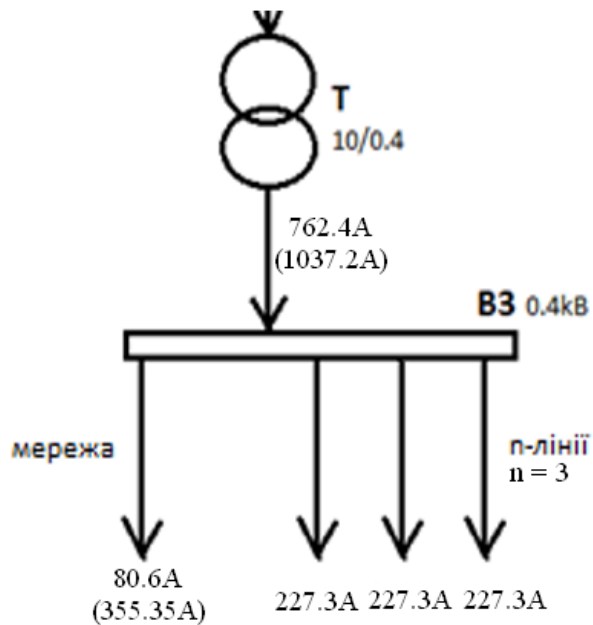


Рис. 2.1. Структурна схема РУ-0.4 кВ з струмами навантаження ліній

## 2.2. Розрахунок струмів високовольтної мережі 10 кВ

Розрахунок струмів високовольтних  $n$  ліній 10 кВ, що відходять ( $n=4$ ):

$$I_{л} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{в.ном}} = \frac{1200000}{\sqrt{3} \times U_{в.ном}} = 69,4 \text{ A}$$

Крім ліній, що відходять, ще приєднаний силовий трансформатор Т 10/0,4. Для визначення струмів, що споживаються ним від високовольтної шини, використовуємо раніше отримані значення робочих струмів трансформатора по стороні 0,4 кВ, враховуючи, що коефіцієнт трансформації дорівнює:

$$K_T = 10 \text{ кВ} / 0,4 \text{ кВ} = 25.$$

Тобто, струми на вході трансформатора будуть в 25 разів менше струмів на виході (не враховуючи втрат в самому трансформаторі). Тоді максимально можливий струм на вході трансформатора дорівнює:

$$I_T = \frac{I_{взmax}}{K_T} = \frac{1037,2}{25} = 41,5 \text{ A}.$$

Підсумовуючи струми трьох ліній, що відходять від першої високовольтної секції В1, отримаємо струм на вводі 1 від джерела G1:

$$I_{G1} = 3 \times I_{л} = 3 \times 69,4 = 208,2 \text{ A}$$

Розрахунок струму на ввіді 2 високовольної РУ-10 кВ:

$$I_{G2} = I_T + I_L = 41,5 + 69,4 = 110,9 \text{ А}$$

У після аварійному режимі, наприклад, при відмові G2, все навантаження підстанції ляже на ввід G1, і навпаки:

$$I_{G1на} = I_{G1} + I_{G2} = 208,2 + 110,9 = 319,1 \text{ А.}$$

Отримані значення струмів навантаження у лініях високовольної мережі нанесемо на повну структурну електричну схему РУ трансформаторної підстанції, зображену на рис. 2.2. В дужках приведені струми перевантаження, що виникають при пуску двигунів та відмові одного із вводів.

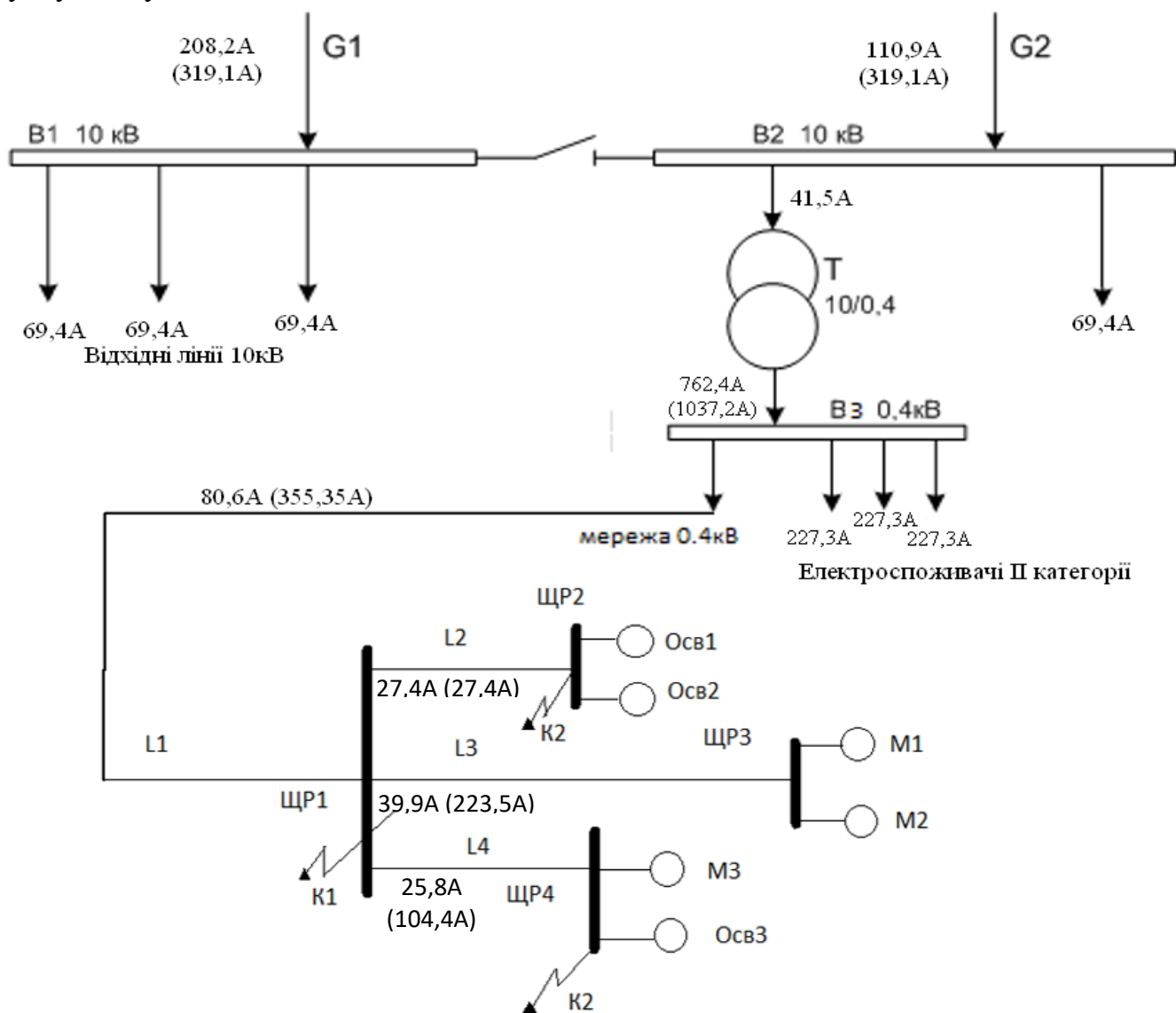


Рис. 2.2. Структурна схема РУ ТП з струмами навантаження ліній

## РОЗДІЛ 3

# ВИБІР СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТА ШИННИХ КОНСТРУКЦІЙ

### 3.1. Вибір силового трансформатора

Вибір потужності силового трансформатора виконується виходячи зі значення повної потужності підключених споживачів. Для обраного трансформатора необхідно, щоб виконувалась умова:

$$S_{\text{тр}} \geq S_{\text{розрах}}.$$

$S_{\text{тр}}$  – повна потужність силового трансформатора, кВА;

$S_{\text{розрах}}$  – повна розрахункова потужність електроприймачів, підключених до силового трансформатора Т.

$$S_{\text{розрах}} = I_{\text{T}} U_{\text{в.ном}} = 41,5 \times 10 = 415 \text{ кВА}$$

Виберемо силовий трансформатор ТМ-630/10/0.4-У1 потужністю 630 кВА, технічні дані якого приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Технічні дані силового трансформатора ТМ-630/10/0.4-У1

|  |                      |
|--|----------------------|
| Потужність кВА                           | 630                  |
| Номінальна напруга, кВ                   | 10                   |
| Кількість фаз                            | 3                    |
| Частота, Гц                              | 50                   |
| Схема і група з'єднань обмоток           | Y/Y <sub>н</sub> – 0 |
| Спосіб і діапазон регулювання напруги, % | ПБВ 2х2.5            |
| Втрати холостого ходу, кВт               | 0,73                 |
| Напруга короткого замикання, %           | 5.5                  |
| Маса масла, кг/ Маса, кг                 | 460/1840             |

Трансформатор двухобмоточний, масляний, не розрахований для функціонування:

- в агресивному та вибухонебезпечному середовищі;
- при тряскі, вібрації;
- при включенні зі сторони ВН до десяти раз за добу.

Конструкція силового трансформатора ТМ-630/10/0.4-У1 з групою та схемою з'єднання  $Y/Y_n - 0$  приведена на рис. 3.1.

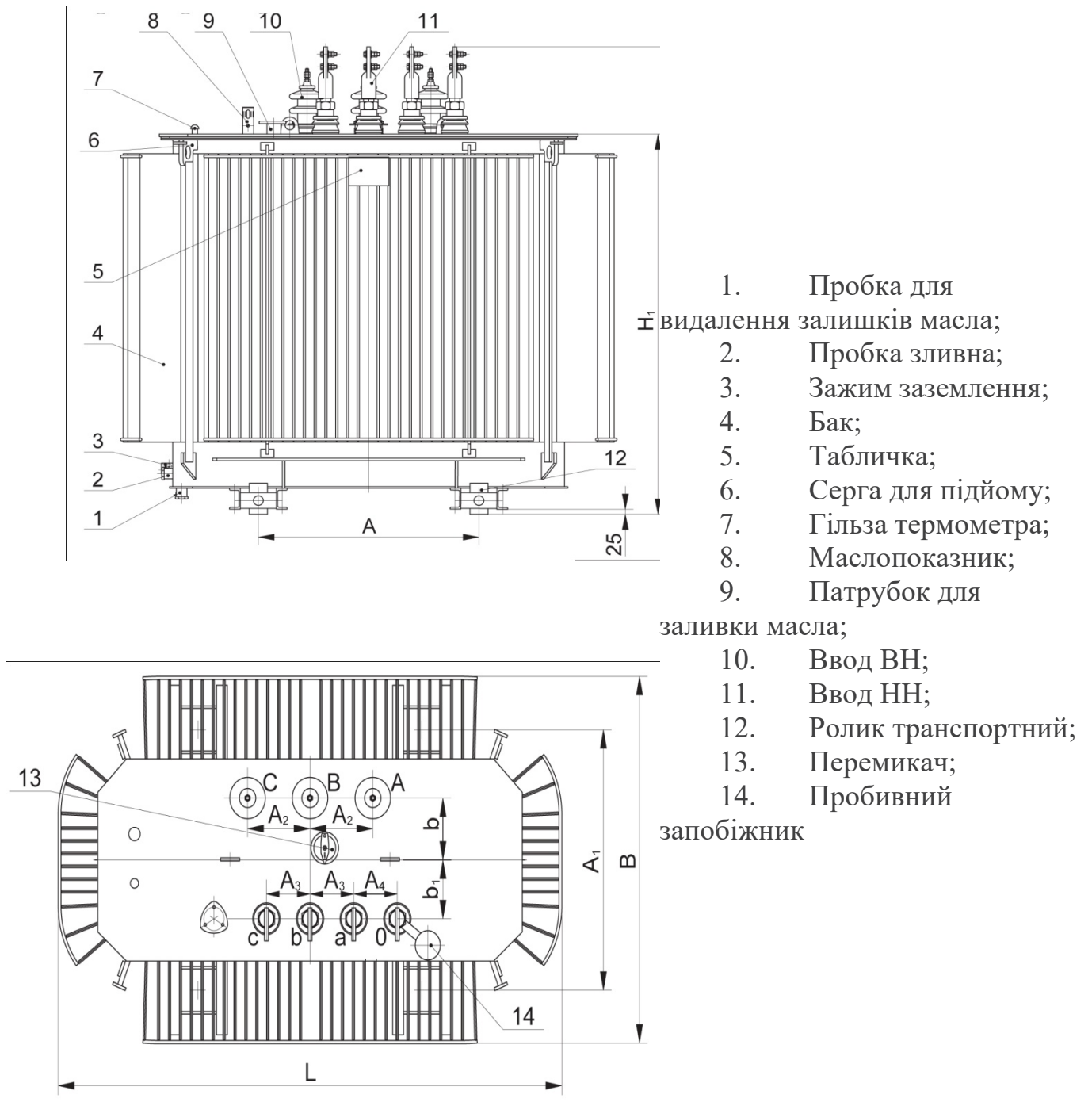


Рис.3.1. Трансформатор масляний, силовий, понижаючий, трьохфазний, двухобмоточний ТМ-630/10/0.4-У1

Трифазний масляний трансформатор ТМ призначений для перетворення електроенергії в мережах енергосистем і споживачів в умовах зовнішньої чи внутрішньої установки помірного (від+40°C до -45°C) чи холодного (від+40°C до -45°C) клімату.

Номинальна частота 50 Гц. Регулювання напруги здійснюється в діапазоні  $\pm 5\%$  на повністю відключеному трансформаторі переключенням відгалужень обмотки вищої напруги по 2.5 %.

Оскільки  $S_{тр} = 630 \text{ кВА} \geq S_{розр} = 415 \text{ кВА}$ ,  
то необхідна умова при виборі трансформатора виконується.

### 3.2. Вибір збірних шин шинної конструкції

Збірними шинами називають спеціальну конструкцію в розподільчій установці, об'єднуючу окремі електричні лінії і призначену для прийому і розподілу електроенергії.

Систему шин, встановлену на опорних ізоляторах, називають шинною конструкцією.

Збірні шини згідно ПУЕ [2, 6] вибирають по допустимому струмовому навантаженню, виходячи з можливого максимального струму згідно виразу

$$I_{дт} \geq I_{G1па},$$

де  $I_{дт}$  – довготривалий струм, що допускає шина;

$I_{G1па}$  – струм на ввіді від вводу1 (такий же на ввіді 2) у після аварійному режимі

$$(I_{G1па} = I_{G2па} = 319,1 \text{ А}).$$

Використовуючи дані ПУЕ чи довідника [4], вибираємо алюмінієві шини (30×4) мм<sup>2</sup>,  $s=120 \text{ мм}^2$ , що допускають тривале протікання струму  $I_{дт} = 365 \text{ А}$ .

Враховуючи, що середньорічна температура в РУ істотно відрізняється від  $Q_{ном} = 25^0\text{C}$ , зробимо коректування допустимого струму за виразом

$$I_{дт1} = k_q \times k_r \times I_{дт};$$

де  $k_r$  – коефіцієнт, що враховує вплив розташування шин на їх охолодження (оскільки шини розташовуються горизонтально, то  $k_r=0.95$ );

$k_q$  – коефіцієнт, що враховує відхилення середньорічної температури від номінальної;

$$k_q = \sqrt{\frac{Q_{дт} - Q_c}{Q_{дт} - Q_{ном}}} = \sqrt{\frac{70 - 8}{70 - 25}} = 1.14;$$

де  $Q_{дт}$  – тривало допустима температура нагріву алюмінієвих шин ( $70^{\circ}\text{C}$ );

$Q_c$  – середньорічна температура повітря в Києві ( $8^{\circ}\text{C}$ );

$Q_{ном}$  – номінальна температура ( $25^{\circ}\text{C}$ ).

Таким чином маємо:

$$I_{дт1} = I_{дт} = k_q \times k_r \times I_{дт} = 1,14 \cdot 0,95 \cdot 365 = 395 \text{ А},$$

що більше  $I_{G1па} = 319,1 \text{ А}$ , тобто умова виконується.

### 3.3. Перевірка шин на електродинамічну стійкість

Перевірка на електродинамічну стійкість має задовольняти умову [2, 6]:

$$\sigma_p \leq \sigma_d;$$

де  $\sigma_p$  – розрахункова механічна напруга;

$\sigma_d$  – допустима механічна напруга.

Для алюмінію допустима механічна напруга знаходиться в межах 65-90 МПа.

Формула для знаходження розрахункової механічної напруги має наступний вигляд:

$$\sigma_p = M/W;$$

де  $M$  – згинальний момент;

$W$  – момент опору вигину.

Згинальний момент  $M$  залежить від плеча прикладання сили  $l$  і дорівнює:

$$M = F_d \times (l/10).$$

Момент опору вигину дорівнює:

$$W = h^2 \times b / 6 = 0.03^2 \times 0.004 / 6 = 0.0000006 \text{ м}^3;$$

Найбільше електродинамічне зусилля виникає при трифазному короткому замиканні, тому для розрахунку використовується ударний струм трифазного короткого замикання:

$$I_y = 2.25 \times I_{уст.кз} = 2.25 \times 10000 = 22.5 \text{ кА};$$

де  $I_{уст.кз}$  – значення усталеного струму КЗ на шинах РУ (10 кА).

При протіканні трифазного змінного струму по трьом шинам, розташованим в одній площині, найбільше зусилля буде докладено до середньої шини в момент проходження ударного струму  $I_y$ . Значення цієї електродинамічної сили  $F_d$  буде залежати від відстані  $l$  між точками кріплення шин і відстані між центрами шин  $a$ :

$$F_d = \sqrt{3} \times I_y^2 \times k_\phi \times \frac{l}{a} \times 10^{-7} = \sqrt{3} \times 22500^2 \times 1 \times \frac{1000}{150} \times 10^{-7} = 584,6 \text{ Н};$$

де  $l=1$  м,  $a=0.15$  м;

$k_\phi$  – коефіцієнт форми, що враховує прямокутну форму шин і залежить від їх розмірів і відстані. Оскільки виконується умова:

$$a-b=150-4 > 2 \times (h + b) = 2 \times (30+4);$$

то приймемо  $k_\phi=1$ .

Отже

$$M = F_d \times (l/10) = \frac{F_d \times l}{10} = \frac{584,6 \times 1}{10} = 58,46 \text{ Н м};$$

$$\sigma_p = M/W = 58,46/0,0000006 = 9,74 \text{ МПа}.$$

Оскільки

$$\sigma_p = 9,74 \text{ МПа} \leq \sigma_d = 65 \text{ МПа},$$

то дана умова виконана і вибрані шини мають належну електродинамічну стійкість.

### 3.4. Перевірка шин на термічну стійкість

Для забезпечення надійної тривалої роботи контактів в шинах і виключення надмірного нагрівання ізольованих частин апаратів, до яких примикають шини, температура алюмінієвих шин в закритих РУ не повинна перевищувати тривало

допустимого значення  $Q_{\text{тд}}=70^{\circ}\text{C}$ . При протіканні струмів КЗ допустимо короткочасний нагрів алюмінієвих шин до температури  $Q_{\text{доп}}=200^{\circ}\text{C}$  [1,2].

При цьому враховуючи, що збірні шини вибираються з певним запасом по допустимому струму, необхідно уточнити їх початкову температуру  $Q_{\text{поч}}$ , викликану протіканням робочого струму навантаження  $I_{\text{роб}}$  ( $I_{\text{роб}}=I_{\text{Г1}}=208.2\text{ A}$ ).

$$Q_{\text{поч}} = Q_{\text{с}} + (Q_{\text{дт}} - Q_{\text{ном}})(I_{\text{роб}}/I_{\text{тд1}})^2 = 19.5^{\circ}\text{C}.$$

де  $I_{\text{тд1}}$  – тривало допустимий струм шини  $=395\text{ A}$ ;

$Q_{\text{ном}}$  – номінальна температура навколишнього повітря, рівна  $25^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_{\text{тд}}$  – тривало допустима температура нагріву шин;

$Q_{\text{с}}$  – середньорічна температура, рівна  $8^{\circ}\text{C}$ .

Відкладаючи отримані значення  $Q_{\text{поч}}$  на ординаті графіка рис. 3.3 і використовуючи потрібну криву, знаходимо на осі абсцис відповідну точку  $A_{\text{поч}}$ :

$$A_{\text{поч}} = 2000\text{ A}^2 \cdot \text{с} / \text{мм}^4.$$

Додамо до цієї величини значення щільності теплового імпульсу  $\Delta A$ .

Для розрахунку величини щільності теплового імпульсу  $\Delta A$  необхідно значення приведенного часу дії струму КЗ  $t_{\text{п}}$  визначити за виразом:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{п.п}} + t_{\text{п.а}},$$

де  $t_{\text{п.п}}$  – приведений час періодичної складової струму КЗ;

$t_{\text{п.а}}$  – приведений час аперіодичної складової струму КЗ.

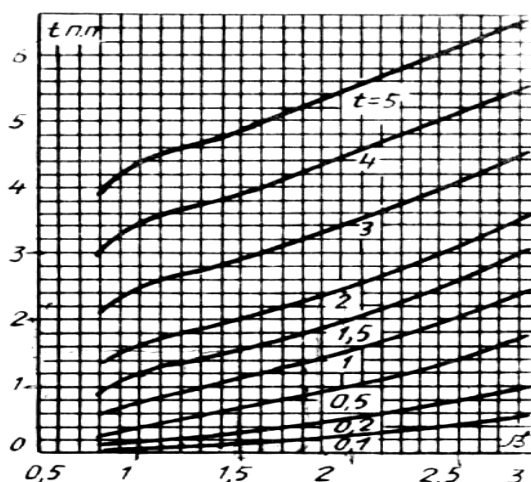


Рис. 3.2. Криві для визначення періодичної складової приведенного часу дії струму КЗ



Оскільки час відключення ВВ вводу при КЗ  $t_b=2$  с, то за графіком, наведеним на рис. 3.2, визначаємо періодичну складову приведенного часу  $t_{п.п}$ , яка дорівнює 2.4 с.

Враховуючи, що при  $t_b > 1$  величиною приведенного часу аперіодичної складової струму КЗ ( $t_{п.а}$ ) можна знехтувати [2, 6], то маємо  $t_{п} = 2.4$  с.

Визначимо значення щільності теплового імпульсу:

$$\Delta A = I_{уст.кз}^2 t_{п} / S^2 = 9375 \text{ А}^2 \cdot \text{с} / \text{мм}^4.$$

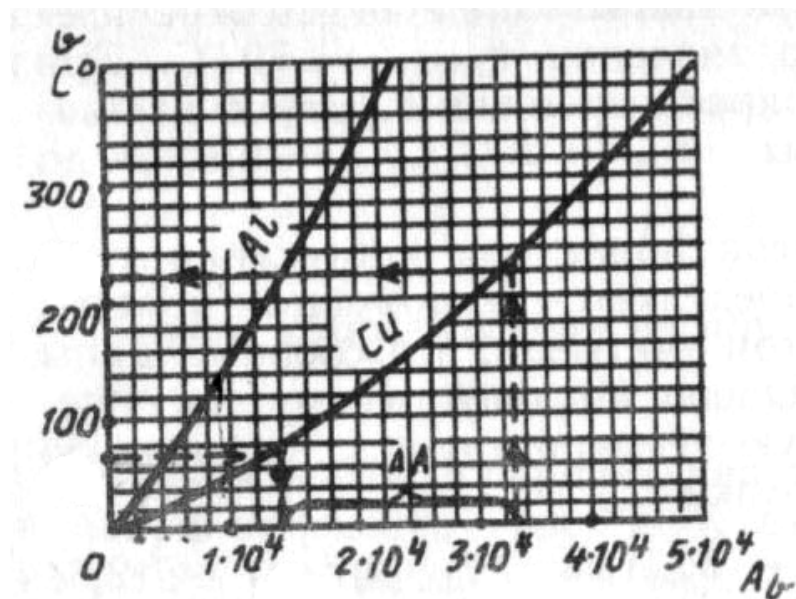


Рис. 3.3. Криві для визначення кінцевої температури шин при струмах КЗ

Додамо на графіку рис. 3.3 до  $A_{поч}$  знайдене значення щільності теплового імпульсу  $\Delta A$ , та отримаємо на абсцисі величину  $A_{кін}$ :

$$A_{кін} = A_{поч} + \Delta A = 11375 \text{ А}^2 \cdot \text{с} / \text{мм}^4,$$

за допомогою якої на тій же кривій знаходимо кінцеву температуру нагрівання шин струмом КЗ  $Q_{кін} = 175^\circ\text{C}$ , це нижче допустимої температури короткочасного нагрівання алюмінієвих шин ( $Q_{доп} = 200^\circ\text{C}$ ). Для правильно вибраних шин має дотримуватися умова

$$Q_{кін} \leq Q_{доп}.$$

Таким чином, обрані шини термічно стійкі при заданому струмі КЗ.

### 3.5. Вибір опорних ізоляторів

Опорні ізолятори використовують для кріплення на них струмопровідних частин. У закритих РУ 6-10 кВ використовують опорні ізолятори типу ІО і ІОР. Літери у маркуванні позначають: І – ізолятор, О – опорний, Р – ребристий, К – для комплектних РУ. Перша після літер цифра маркує номінальну напругу (кВ), друга – мінімальне руйнуюче ізолятор зусилля  $F_{руйн}$  (кН). Ізолятори типу ІО і ІОР випускають зі значеннями  $F_{руйн}$ , рівними 2,5; 3,75; 7,5; 15; 20 і 30 кН.

Вибір ізоляторів має відповідати наступним двом вимогам [1, 2, 6]:

$$U_{i,ном} \geq U_{в,ном};$$

$$F_{зг} \leq 0.6 \times F_{руйн};$$

де  $U_{i,ном}$  – номінальна напруга ізолятора;

$U_{в,ном}$  – номінальна напруга ТП (10 кВ);

$F_{зг}$  – сила, що згинає ізолятор;

$F_{руйн}$  – мінімальне руйнуюче ізолятор зусилля.

$$F_{зг} = F_{д} \times K_h = 584,6 \times 1 = 584,6 \text{ Н};$$

де  $K_h$  – коефіцієнт, що враховує перевищення центру шини, встановленої на ребро, над висотою ізолятора. Для шин, закріплених плазом,  $K_h = 1$ ;

$F_{д}$  – електродинамічна сила.

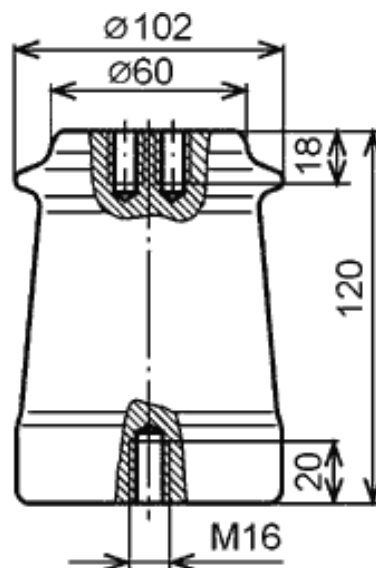


Рис. 3.4. Опорний ізолятор ІО-10/7.5 УЗ

Обираємо опорний ізолятор ИО-10/7.5 УЗ, конструкція якого приведена на рис. 3.4.

Даний ізолятор має наступні характеристики:

$$U_{i.ном} = 10 \text{ кВ};$$

$$F_{руйн} = 7.5 \text{ кН}.$$

Перевіряємо умови

$$U_{i.ном} = 10 \text{ кВ} \geq U_{в.ном} = 10 \text{ кВ};$$

$$F_{зг} = 584,6 \text{ Н} \leq 0.6 \times F_{руйн} = 4500 \text{ Н}.$$

Обидві умови виконано, ізолятор обрано вірно.

## РОЗДІЛ 4

### ВИБІР КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ ТА КОМПОНОВКА НИЗЬКОВОЛЬТНОЇ РУ-0,4 кВ

#### 4.1. Вибір контакторів

Контактори відносяться до комутаційних апаратів і використовуються для замикання або розмикання електричних кіл, якими проходить великий струм. Основним призначенням контакторів є керування (вмикання та вимикання) обладнанням – електродвигунами, освітлювальними системами, промисловими електричними печами тощо. На відміну від вимикачів контактори повинні здійснювати комутації з досить великою частотою (до 1200 циклів на годину). Відтак ці апарати повинні мати високу механічну й електричну зносостійкість.

Контактори розрізняють у залежності від середовища, у якому знаходяться головні контакти – повітряні, газові, вакуумні тощо. За родом струму головного кола їх поділяють на контактори постійного та змінного струму.

Вибір контакторів базується на виконанні трьох умов:

- за необхідною частотою комутації;
- за номінальною напругою;
- за номінальним струмом.



Рис. 4.1. Контактор КМИ-22510

В колах освітлювального навантаження обираємо контактор КМІ-22510 25А 400В/АС-3 1 НО (рис. 4.1).

Перевірка умови за номінальною напругою:

$$U_{к.ном} = 380 \text{ В} \geq U_{м.ном} = 380 \text{ В}.$$

Перевірка умови за номінальним струмом:

$$I_{к.ном}=25 \text{ А} \geq I_{осв1}=11.547 \text{ А};$$

$$I_{к.ном}=25 \text{ А} \geq I_{осв2}=15.877 \text{ А};$$

$$I_{к.ном}=25 \text{ А} \geq I_{осв3}=8.66 \text{ А}.$$

Вибрані контактори задовольняють умови.

## 4.2. Вибір магнітних пускачів

Магнітний пускач – це, насамперед, апарат, призначений для дистанційного керування різними силовими навантаженнями (потужними лампами, електронагрівальними приладами та, найчастіше, електродвигунами). Пускач створювали насамперед для керування асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором. Крім основної своєї функції дистанційного керування (пуску, реверса тощо), магнітний пускач може забезпечувати за допомогою теплових реле захист двигунів від струмових перевантажень і сигналізацію про їхню роботу. До складу пускача як комплектного пристрою можуть входити кнопки керування, теплові реле захисту, сигнальні лампи, розташовувані в одному корпусі. Магнітні пускачі різняться між собою за призначенням (нереверсивні, реверсивні), наявністю або відсутністю теплових реле, кнопок керування, ступенем захисту від впливу навколишнього середовища, рівнями струмів, що комутуються, робочою напругою котушки.

Для вибору магнітного пускача необхідно, щоб виконувались дві умови :

$$U_{п.ном} \geq U_{м.ном};$$

$$I_{п.ном} \geq I_{м.ном};$$

де  $U_{п.ном}$  – номінальна напруга електромагнітного пускача;  
 $U_{м.ном}$  – номінальна напруга мережі;  
 $I_{п.ном}$  – номінальний струм електромагнітного пускача;  
 $I_{м.ном}$  – номінальний струм електромотора.

Для електромоторів М1, М2, М3 виберемо пускач ПМЛ-2200 (рис. 4.2), призначений для роботи в мережі з напругою 380 В і номінальним струмом 25 А.



Рис.4.2. Магнітний пускач серії ПМЛ 2200

Перевірка умови за номінальною напругою:

$$U_{п.ном} = 380 \text{ В} \geq U_{м.ном} = 380 \text{ В};$$

Перевірка умови за номінальним струмом:

$$I_{м.ном1} = 17,104 \text{ А} \leq I_{п.ном} = 25 \text{ А}.$$

$$I_{м.ном2} = 22,805 \text{ А} \leq I_{п.ном} = 25 \text{ А}$$

$$I_{м.ном3} = 17,104 \text{ А} \leq I_{п.ном} = 25 \text{ А}.$$

Вибраний магнітний пускач задовольняє умови.

### 4.3. Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичний вимикач – це контактний комутаційний апарат, що спроможний вмикати, проводити та вимикати струм, коли електричне коло у нормальному стані, а також вмикати, проводити протягом певного встановленого часу і вимикати струм при певному аномальному стані електричного кола. Автоматичний вимикач призначений для нечастих вмикань, а також для захисту кабелів та кінцевих споживачів від перевантаження і короткого замикання.

Для вибраних повітряних вимикачів повинні виконуватися наступні вимоги: за номінальною напругою [2, 10, 11]:

$$U_{в.ном} \geq U_{м.ном};$$

за номінальним струмом автомата:

$$I_{в.ном} \geq I_{роб.маxL};$$

за граничною здатністю вимкнення:

$$I_{вимк.гр} \geq I_{кз.маx};$$

де  $I_{вимк.гр}$  – граничний струм вимкнення автомата;

$I_{кз}$  – максимально можливий струм КЗ у колі автомата.

Для лінії L1 вибираємо автоматичний вимикач серії ВА77-1-250

$$U_{в.ном}=380 \text{ В} \geq U_{м.ном}=380 \text{ В};$$

$$I_{в.ном}=225 \text{ А} \geq I_{роб.маxL1}=80,6 \text{ А};$$

$$I_{вимк.гр}=25 \text{ кА} \geq I_{кз.маx1}=1,9 \text{ кА}.$$

Для лінії L2 вибираємо автоматичний вимикач серії ВА77-1-63

$$U_{в.ном}=380 \text{ В} \geq U_{м.ном}=380 \text{ В};$$

$$I_{в.ном}=40 \text{ А} \geq I_{роб.маxL2}=27,4 \text{ А};$$

$$I_{вимк.гр}=15 \text{ кА} \geq I_{кз.маx2}=1,2 \text{ кА}.$$

Для лінії L3 вибираємо автоматичний вимикач серії ВА77-1-100 (рис.4.3)

$$U_{в.ном}=380 \text{ В} \geq U_{м.ном}=380 \text{ В};$$

$$I_{в.ном}=100 \text{ А} \geq I_{роб.маxL3}=39,9 \text{ А};$$

$$I_{вимк.гр}=25 \text{ кА} \geq I_{кз.маx3}=1,2 \text{ кА}.$$

Для лінії L4 вибираємо автоматичний вимикач серії ВА77-1-63

$$U_{в.ном}=380 \text{ В} \geq U_{м.ном}=380 \text{ В};$$

$$I_{в.ном}=40 \text{ А} \geq I_{роб.маxL4}=25,76 \text{ А};$$

$$I_{вимк.гр}=15 \text{ кА} \geq I_{кз.маx2}=1.2 \text{ кА}.$$



Рис. 4.3. Автоматичний вимикач серії ВА77

#### 4.4. Вибір уставок розчіплювачів

Для автоматів з регулюванням струму розчіплювача, щоб розчіплювач автомата не спрацював при невеликих підвищеннях робочих струмів, його значення  $I_{рч.ном}$  також повинно перевищувати значення  $I_{роб.маxL}$  з певним запасом:

$$I_{рч.ном} \geq 1.2 \times I_{роб.маxL};$$

$$I_{рч.номL4}=40 \text{ А} \geq 1.2 \times I_{роб.маxL2}=30,2 \text{ А};$$

$$I_{рч.номL3}=100 \text{ А} \geq 1.2 \times I_{роб.маxL3}=47,9 \text{ А};$$

$$I_{рч.номL2}=40 \text{ А} \geq 1.2 \times I_{роб.маxL2}=32,9 \text{ А};$$

$$I_{рч.номL1}=225 \text{ А} \geq 1.2 \times I_{роб.маxL1}=96,7 \text{ А}.$$



Умова виконана, отже розчіплювачі пройшли перевірку.

Розчіплювач миттєвого спрацювання (відсічка), який має уставку, не повинен реагувати на короточасні перевантаження, викликані, наприклад, запуском електродвигуна. Для цього необхідно:

$$I_{уст} \geq 1.5 \times I_{перL};$$

де  $I_{перL}$  – струм перевантаження в лінії;

$I_{уст}$  – струм розчіплювача миттєвого спрацювання.

Уставка розчіплювача КЗ задається у вигляді кратності

$$I_{уст1} = 225 * 3 = 675A \geq 1.5 * I_{перL1} = 639.634A$$

$$I_{уст2} = 40 * 3 = 120A \geq 1.5 * I_{перL2} = 49.363A$$

$$I_{уст3} = 100 * 3 = 300A \geq 1.5 * I_{перL3} = 292.277A$$

$$I_{уст4} = 40 * 3 = 120A \geq 1.5 * I_{перL4} = 107.993A$$

Умова виконується, тому розчіплювачі придатні в пусковому режимі.

#### 4.5. Перевірка на чутливість

У мережах, де обов'язковим є захист тільки від струмів КЗ, потрібно щоб автоматичні вимикачі забезпечували коефіцієнт чутливості не менше трьох, тобто:

$$K_{ч} = I_{кз} / I_{рч.ном} \geq 3;$$

$$K_{чL4} = I_{кз2} / I_{рч.ном2} = 19.2;$$

$$K_{чL3} = I_{кз3} / I_{рч.ном3} = 5.25;$$

$$K_{чL2} = I_{кз2} / I_{рч.ном2} = 21.2;$$

$$K_{чL1} = I_{кз1} / I_{рч.ном1} = 5.9.$$

Умова чутливості виконана.

#### 4.6. Компановка низковольтної РУ

Для компонування РУ-04.кВ вибираємо панелі серії ЩО90. Панелі розподільчих щитів ЩО90 призначені для прийому і розподілу електричного струму частотою 50 Гц при напрузі до 0,4 кВ та захисту ліній, що відходять, від перевантажень і струмів короткого замикання. Щити комплектуються з панелей, які обслуговуються з фасадної сторони, і мають вигляд, приведений на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Панель розподільчого щита ЩО 90

Таблиця 4.1.

Основні технічні характеристики панелей розподільчих щитів ЩО90

| Найменування параметра                   | Значення параметра   |
|--|--|
| Номінальна напруга, кВ                   | 0.23; 0.4  |
| Частота, Гц                              | 50   |
| Число ліній, що відходять, шт.           | 2-9  |
| Номінальний струм ліній, що відходять, А | 16, 25, 32, 40, 50, 63, 100, 125, 160, 250, 400, 500, 1000, 1600, 2500 |
| Номінальний струм секційних панелей, А   | 630, 1000, 1600, 2500, 4000  |
| Струм електродинамічної стійкості, кА    | 41   |

Враховуючи, що максимальний струм на вводі РУ (від силового трансформатора в після аварійному режимі) дорівнює 762,4 А, то використовуємо ввідну панель ЩО90-1116 УЗ, оснащену автоматичним вимикачем ВА 5541 на номінальний струм 1000 А, роз'єднувачем РЕ 1941, вольтметром ЭВ 0302, амперметром ЭА 0302 і вимірювальним трансформатором струму ТШП-0.66.

До секції РУ необхідно приєднати чотири лінії, що відходять: три лінії до електроспоживачів, розраховані на струм не менше 227,3 А та одну лінію до заданої мережі 0,4 кВ, розраховану на струм перевантаження на вході лінії мережі 0.4 кВ, рівний 355,4 А. Для цих приєднань можна використовувати розподільчі панелі, укомплектовані запобіжниками або автоматичними вимикачами. Наприклад, можна використовувати панель ЩО90-1404 з запобіжниками, в якій передбачається чотири приєднання з струмами до 400 А.

Панелі, укомплектовані автоматами, більш зручні в експлуатації, але дорожчі панелей з запобіжниками. Однак, на струми до 400 А розподільчі панелі з автоматами не випускаються. Тому, зупинимося на розподільчій панелі ЩО90-1404 з чотирма приєднання, що відходить, захищеними запобіжниками. Панель оснащена чотирма запобіжниками ПН-2/400 А, роз'єднувачами РПС-4/400 А, амперметрами ЭА-3080 на 400/5 А та трансформаторами струму Т-0.66 на 400/5 А

На закінчення, з торців секцій передбачимо установку торцевих панелей ЩО90-1605 УЗ (права) і ЩО90-1606 УЗ (ліва). Результат компоновки представлений на рис. 4.5 у вигляді схеми компоновки РУ-0,4 кВ.

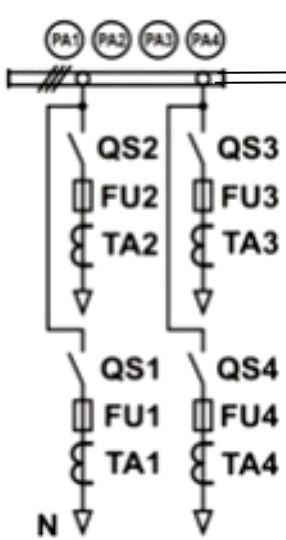
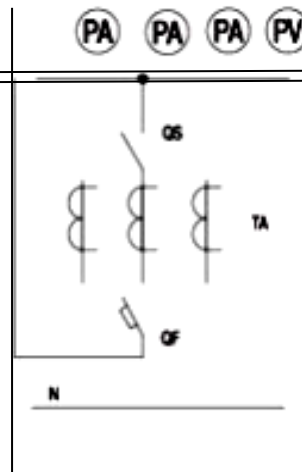
|                     |           |   |  |           |
|---------------------|-----------|---|--|-----------|
| Схема панелі        |           |  |  |           |
|                     | № комірки | 1   | 2  | 3         |
| Тип ЩО              | ЩО90-1605 | ЩО90-1404УЗ   | ЩО90-1116 УЗ   | ЩО90-1606 |
| Комутаційні апарати |           | Роз'єднувачі РПС-2/400А<br>Запобіжники ПН - 2/400А                                | Роз'єднувач РЕ 1941<br>Автоматичний вимикач ВА 5541                                |           |
| Призначення панелі  | Торцева   | Приєднання фідерів, що відходять  | Ввід від силового трансформатора Т   | Торцева   |

Рис. 4.5. Схема компоновки РУ 0.4 кВ

## РОЗДІЛ 5

### Вибір електричних апаратів та компоновка високовольтної РУ

#### 5.1. Вибір серії КРУ для компонування РУ-10 кВ

Перед вибором серії КРУ, з камер якої буде проведене компонування РУ, потрібно обґрунтувати доцільність застосування того чи іншого виду високовольтного комутаційного апарату (роз'єднувачів, вимикачів навантаження або силових вимикачів), керуючись наступними рекомендаціями:

- найбільш просте і дешеве приєднання ліній, що відходять, (фідерів) до збірних шин можна виконати на основі роз'єднувача. Однак, потрібно пам'ятати, що оперувати роз'єднувачем можна тільки без навантаження, що створює додаткові незручності при експлуатації (необхідно провести кілька додаткових перемикань для зняття навантаження);

- на підстанціях, де максимальні робочі струми на лініях, що відходять, не перевищують 630 А, доцільно використовувати КРУ з дещо дорожчими вимикачами навантаження, а захист лінії, що відходить, виконати на високовольтних запобіжниках;

- при струмах більше 630 А доведеться використовувати КРУ зі значно більш дорогими силовими вимикачами (вакуумними, елегазовими або маломасляними);

- на підстанції, де передбачається установка пристроїв релейного захисту, телемеханіки або високовольтного АВР, необхідно використовувати КРУ з силовими вимикачами з відповідними приводами.

При виборі серії КРУ для компонування РУ-10 кВА керуємося результатами розрахунку струмів навантаження ліній проектованої ТП:

- максимальний струм перевантаження на вводах РУ-10 кВ, рівний 319,1 А;
- струми в лініях, що відходять, рівні 69,4 А;
- струм перевантаження лінії живлення силового трансформатора, рівний 41,5А.

Єдиною серією КРУ, в якій використовуються і силові вимикачі, і вимикачі навантаження є серія КСО-393, тому камери цієї серії використаємо для комплектування РУ-10 кВ. Камери КРУ серії КСО-393 випускаються серійно.

Камери збірні одностороннього обслуговування серії КСО-393 призначені для роботи в електричних установках трифазного змінного струму частоти 50 і 60 Гц напругою 6-10 кВ для системи з ізольованою або заземленою через дугогасильний реактор нейтраллю. З камер КСО-393 збираються розподільчі установки, що слугують для прийому і розподілу електроенергії.

Камера являє собою металоконструкцію, зібрану з листових гнутих профілів. Всередині камери розміщена апаратура головних кіл. Рукоятки приводів і апаратів управління розташовані з фасадної сторони камери. Прилади обліку і вимірювання можуть бути розташовані на фасадній і внутрішній стороні дверей камери. Доступ в камери забезпечують двері.



Рис. 5.1. Камера збірна одностороннього обслуговування серії КСО-393

Технічні характеристики камер КСО-393 приведені в таблиці 5.1.

## **5.2. Компонівка високовольної РУ-10 кВ**

Так як максимальний робочий (після аварійний) струм на вводі проектованої ТП дорівнює 319,1 А, то на вводі використаємо камери з вимикачами навантаження.

Лінії, що відходять ( $I_{л}=69,4$  А) і силовий трансформатор ( $I_{Т}=41,5$  А) теж приєднаємо до збірних шин через шафи з не дорогими вимикачами навантаження КРУ серії КСО-393.

Таблиця 5.1

Технічні характеристики камер КСО-393

| №  | Найменування параметрів   | Значення   |
|----|---|--|
| 1  | Номінальна напруга, кВ  | 6; 10  |
| 2  | Найбільша робоча напруга, кВ  | 7,2; 12  |
| 4  | Номінальний струм головних кіл камер КСО з вимикачами навантаження при частоті 50 Гц, А   | 630  |
| 5  | Номінальний струм трансформаторів струму, А   | 50; 75; 100; 150; 200; 300; 600; 1000; (1600)    |
| 6  | Номінальний струм запобіжників, А<br>при $U_{н}$ - 6 кВ<br>при $U_{н}$ - 10 кВ  | 31,5; 50; 80; 100; 125;<br>31,5; 40; 63; 80; 100 |
| 7  | Номінальний струм відключення, кА:<br>вимикача навантаження<br>вакуумного вимикача  | 0.63<br>20                                       |
| 8  | Номінальний струм збірних шин, А  | 630; 1000; (1600)                                |
| 9  | Номінальний струм шинних мостів, А  | 630; 1000; (1600)                                |
| 10 | Струм електродинамічної стійкості, кА   | 51   |
| 11 | Струм термічної стійкості, кА   | 20   |
| 12 | Час протікання струму термічної стійкості, с, не менше для камер на 630 А<br>для камер на 1000 А<br>для камер з вимикачами навантаження | 2<br>3<br>1                                      |
| 13 | Номінальна напруга допоміжних кіл постійного і змінного струму, В   | 220  |
| 14 | Номінальна напруга кіл освітлення, В  | 12   |

Спочатку необхідно перевірити відповідність технічних характеристик КРУ серії КСО-393 умовам застосування в проектованій ТП за такими параметрами:

- за номінальною напругою  $U_{ном} = 10 \text{ кВ} \geq U_{мережі} = 10 \text{ кВ};$
- за номінальним струмом  $I_{ном} = 630 \text{ А} \geq I_{роб.мах} = 319,1 \text{ А};$
- за електродинамічною міцністю  $i_{эл. дин} = 51 \text{ кА} \geq i_y = 38.25 \text{ кА};$

– за термічною міцністю  $I_T^2 t_T = 58 \text{ кА}^2 \cdot 3 \text{ с} \geq I_{КЗ}^2 t_{отк} = 36 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Умови виконуються.

Для приєднання до збірних шин ввідних ліній та ліній, що відходять, використаємо однакові камери типу КСО-393-06064 з вимикачем навантаження ВНА-10/630-20зп, двома трансформаторами струму ТПЛ-10 і високовольтним запобіжником серії ПКТ-103-100 УЗ.

Для приєднання силового трансформатора до збірних шин використовуємо КСО-393-05061, що містить вимикач навантаження ВНА-10/630-20зп, трансформатор струму ТПЛ-10 і високовольтний запобіжник ПКТ-103-16 УЗ.

У разі відмови одного з вводів, лінії, що відходять, зі своїми збірними шинами необхідно живити від іншого джерела. Для цього необхідно з'єднати секції шин між собою, для чого в РУ використовуємо шинний міст ШМР 1 з двома роз'єднувачами РРЗ-10/630.

Схема компоновки високовольтної РУ-10 кВ приведена на рис. 5.2.

|                          |  |  |  |  |                             |   |  |  |
|--------------------------|--|--|--|--|-----------------------------|---|--|--|
| Схеми первинних з'єднань |  |  |  |  |                             |   |  |  |
| № комірки                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5                           | 6   | 7  | 8  |
| Тип КСО                  | КСО-393-06064  | КСО-393-06064  | КСО-393-06064  | КСО-393-06064  | ШМР 1                       | КСО-393-05061   | КСО-393-06064  | КСО-393-06064  |
| Комутаційний апарат      | Вимикач навантаження ВНА 10/630-20зп, запобіжник ПКТ103-100 УЗ | Вимикач навантаження ВНА 10/630-20зп, запобіжник ПКТ103-100 УЗ | Вимикач навантаження ВНА 10/630-20зп, запобіжник ПКТ103-100 УЗ | Вимикач навантаження ВНА 10/630-20зп, запобіжник ПКТ103-100 УЗ | Два роз'єднувачі РРЗ-10/630 | Вимикач навантаження ВНА 10/630-20зп, запобіжник ПКТ103-16 УЗ | Вимикач навантаження ВНА 10/630-20зп, запобіжник ПКТ103-100 УЗ | Вимикач навантаження ВНА 10/630-20зп, запобіжник ПКТ103-100 УЗ |
| Призначення комірки      | Ввід 1   | Відхідна Л1  | Відхідна Л2  | Відхідна ЛЗ  | Шинний міст                 | До Т  | Відхідна Л4  | Ввід 2   |

Рис. 5.2. Схема компоновки РУ 10 кВ



## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі висвітлені наступні питання: проведено розробку структурної схеми високовольтної і низьковольтної розподільчої установки проектованої тупикової трансформаторної підстанції; розраховано робочі струми у всіх елементах низьковольтної і високовольтної частинах схеми трансформаторної підстанції; розраховано потужність силового трансформатора 10/0.4 кВ та обрано його модель; проведено розрахунок і вибір елементів шинних конструкцій (збірних шин і ізоляторів) високовольтної розподільчої установки; проведена компоновка низьковольтної РУ, вибір високовольтних електричних апаратів і компоновка високовольтної РУ.

В результаті виконання дипломної роботи була розрахована електрична схема споживчої трансформаторної підстанції. В схемі використано силовий трансформатор типу ТМ 630/10/0.4 потужністю 6300 кВА. Розраховано струмове навантаження низьковольтної та високовольтної частин РУ. В якості комутаційних апаратів низьковольтної частини РУ використано: для електромоторів – магнітні пускачі ПМЛ-2200, для освітлення – контактори КМИ-22510, для захисту лінії мережі – автоматичні вимикачі серії ВА77. Для захисту низьковольтних ліній встановлено на лінію запобіжник ПН-2 та роз'єднувач РПС-2. Для захисту вводів низьковольтної частини РУ встановлено автоматичний вимикач серії ВА 5541 та роз'єднувач РЕ 1941. В якості комутаційної апаратури високовольтної частини РУ використані як для вводів так і для ліній, що відходять, вимикачі навантаження ВНА-10/630-20зп і високовольтні запобіжники ПКТ103-100УЗ. Компоновка низьковольтної частини РУ виконана щитами ЩО 90, а для високовольтної частини РУ вибрані КРУ серії КСО-393.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козлов В.Д., Захарченко В.П., Тачиніна О.М. Електрична частина станцій та підстанцій.– К. : НАУ, 2018, – 312 с.
2. Козлов В.Д., Соломаха М. І. Електричні апарати. Модуль 2. Комутаційні апарати низької та середньої напруги.- К: НАУ, 2006, – 84 с.
3. Козлов В.Д., Єнчев С.В. Електричні апарати. Модуль 3. Вимірювальні. Контрольовані та захисні апарати –К.: НАУ, 2007, – 72 с.
4. Электротехнический справочник (в трех томах). Под общ. Ред. В.Г. Герасимова, 8 изд., исп. И доп. –М.: Изд-во МЭИ, 1995.
5. Правила улаштування електроустановок / Мінпаливенерго України– 3-тє перероб. і доп. Київ, 2011,–736 с.
6. Родштейн Л.А. Электрические аппараты. –Ленинград Энергоиздат.1981, 304с.
7. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование электрических станций и подстанций. –М.: Энергоатомиздат, 1997, – 648 с.
8. Довідник по електропостачанню і електроустаткуванню. Під редакцією Л.А. Федорова – М.; Енергоіздат, 1997.
9. Правила безпечної експлуатації електроустановок ДНАОП 1.1.10-2.01.-97
10. Козлов В.Д., Мазур Т.А., Соколова Н.П. Електрична частина станцій та підстанцій (методичні рекомендації до виконання курсового проекту). – К.: НАУ, 2017,– 32с.
11. Кулик М.С., Полухин А.В. Положення про курсове проектування. – К.: НАУ , 2002,– 32 с.