

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему:

«Розрахунок різних режимів роботи електричної мережі та способи генерування електричної енергії»

Спеціальність 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав

студент гр. ЕТз-51С

\_\_\_\_\_ Я.Ю. Сумцов

Керівник

к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_ М.В. Петровський

Суми – 2020

## РЕФЕРАТ

с. 77, рис. 18, табл. 28.

**Бібліографічний опис:** Сумцов Я.Ю. Розрахунок різних режимів роботи електричної мережі та способи ге-нерування електричної енергії [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавр; спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Я.Ю. Сумцов; керівник М.В. Петровський. – Суми: СумДУ, 2020. – 77 с.

### Ключові слова:

лінія електропередавання, трансформатор, напруга, струм, вимикач;

линия электропередачи, трансформатор, напряжение, ток, выключатель;

power line, transformer, voltage, curent, circuit breaker.

**Об'єкт дослідження:** електрична мережа високої напруги.

### Короткий огляд.

Зроблений розрахунок нормального режиму роботи замкнутої електричної мережі. Обрана напруга мережі, перерізи проводів ліній електропередач, а також типи трансформаторів на підстанціях. Розрахований післяаварійний режим роботи мережі. Для обраної підстанції проведена перевірка правильності вибору номінальної потужності встановлених трансформаторів. Здійснений вибір високовольтних апаратів розподільчого пристрою, вимірювальних трансформаторів струму й напруги. Для трансформаторів підстанції виконаний розрахунок релейного захисту: поздовжнього диференційного струмового захисту та максимального струмового захисту з комбінованим пуском по напрузі. Розглянуті методи генерації електричної енергії.

|      |      |          |        |      |                    |       |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|-------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арку- |
|      |      |          |        |      |                    | 4     |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |       |

## Перелік умовних скорочень

АЕС-атомна електростанція  
ВЕС-вітрова електро станція  
ВН-висока напруга  
ГАЕС- гідро акумулююча електро станція  
ГЕС-гідро електро станція  
ЗРУ-закрита розподільча установка  
ЕУ - електроустановка  
КЕС-конденсаційна електростанція  
КЗ - коротке замикання  
ККД - коефіцієнт корисної дії  
КТП - комплектна трансформаторна підстанція  
КРУ-комплектна розподільча установка  
Л-лінія  
МТЗ-максимально струмовий захист  
НН- низька напруга  
ОЕС-об'єднана енергетична система  
ПС- підстанція  
РП- розподільний пункт  
РПН-регулювання під навантаженням  
РУ-розподільча установка  
СЕС-сонячна електростанція  
СШ-система шин  
ТП - трансформаторна підстанція  
ТЕС-теплова електростанція  
ТЕЦ-теплоелектроцентрально  
ТС - трансформатор струму  
ТСН-трансформатор власних потреб  
ТН-трансформатор напруги

|      |      |          |        |      |                    |       |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|-------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арку- |
|      |      |          |        |      |                    | 4     |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |       |

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 7  |
| 1 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ.....   | 8  |
| 1.1 Вихідні дані для виконання бакалаврської роботи.....  | 8  |
| 1.2 Розрахунок напруги й вибір проводів повітряної лінії .....  | 9  |
| 1.3 Розрахунок потужностей трансформаторів підстанцій.....  | 11 |
| 1.4 Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням тр-рів.....   | 13 |
| 1.5 Розрахунок потужностей на ділянках мережі з урахуванням<br>втрат потужності в трансформаторах.....  | 15 |
| 1.6 Визначення напруг в вузлах навантаження.....  | 17 |
| 1.7 Розрахунок навантажень вузлів в мінімальному режимі.....  | 18 |
| 1.7.1 Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням трансформаторів<br>при мінімальних навантаженнях.....   | 18 |
| 1.7.2 Розрахунок потужностей на ділянках замкнутої мережі з урахуванням<br>втрат потужності в трансформаторах при мінімальних навантаженнях.... | 19 |
| 1.7.3 Розрахунок напруг в вузлах при мінімальних навантаження.....  | 21 |
| 1.8 Аварійний режим.....  | 22 |
| 2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДСТАНЦІЇ.....  | 25 |
| 2.1. Вибір силових тр-рів та їх перевірка за графіком навантаження.....   | 26 |
| 2.2. Розрахунок струмів короткого замикання.....  | 28 |
| 2.3. Вибір збірних шин.....   | 31 |
| 2.4. Вибір жорстких шин.....  | 32 |
| 2.5. Вибір захисної та комутаційної апаратури.....  | 35 |
| 2.6. Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги.....   | 38 |
| 2.7. Обґрунтування схеми електричних з'єднань підстанції.....   | 44 |
| 2.8 Вибір трансформаторів власних потреб.....   | 46 |

|            |                   |          |        |      |   |      |      |        |
|------------|-------------------|----------|--------|------|---|------|------|--------|
|            |                   |          |        |      | <b>БР 5.6.141.880 ПЗ</b>  |      |      |        |
| Зм.        | Арк.              | № докум. | Підпис | Дата | Розрахунок різних режимів<br>роботи електричної мережі та ме-<br>тоди генерації електричної енергії.<br>Пояснювальна записка. | Літ. | Лист | Листів |
| Розробив   | Сумцов Я. Ю.      |          |        |      |   |      | 5    | 77     |
| Керівник   | Петровський М.В.  |          |        |      |   |      |      |        |
| Консульт.  |                   |          |        |      |   |      |      |        |
| Н.контроль |                   |          |        |      |   |      |      |        |
| Завтвер.   | Лебединський І.Л. |          |        |      | <b>СумДУ, ЕТз-51С</b>   |      |      |        |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.9  | Компонування розподільних пристроїв на боці 220 кВ.....                            | 49 |
| 2.10 | Компонування розподільних пристроїв на боці 10кВ.....                              | 50 |
| 3    | РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА.....                                   | 51 |
| 3.1  | Визначення параметрів необхідних для розрахунку.....                               | 51 |
| 3.2  | Розрахунок струмів короткого замикання.....  | 52 |
| 3.3  | Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту.....                   | 54 |
| 3.4  | Вибір уставок реле типу ДЗТ-11.....  | 57 |
| 3.4. | Розрахунок максимального струмового захисту с комбінованим пуском за напругою..... | 60 |
| 4    | МЕТОДИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....  | 62 |
| 4.1  | Теплова електроенергетика.....   | 62 |
| 4.2  | Ядерна енергетика.....   | 63 |
| 4.3  | Гідроенергетика.....   | 63 |
| 4.4  | Альтернативна електроенергетика.....   | 64 |
| 4.5  | Об'єм генерації та доля в % з різних джерел енергетики.....                        | 67 |
|      | ВИСНОВКИ.....  | 69 |
|      | СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....   | 70 |

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БР 5.6.141. 880 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           | 7    |

## ВСТУП

Мета даної роботи полягає в:

- Систематизації, закріпленні та поглибленні теоретичних та практичних знань із загальнотехнічних та спеціальних дисциплін за напрямом процесійної підготовки;
- Формування навичок використання отриманих знань під час вирішення конкретних практичних та науково - технічних завдань;
- Придбання досвіду виконання технічної документації – пояснювальної записки і креслень відповідно до умов діючих стандартів;
- Придбання досвіду аналізу отриманих результатів, формування висновків и публічного захисту виконаної роботи.

Основним завданням даної роботи є розрахунок електричної мережі, а саме активних, реактивних і повних потужностей ланцюгів мережі, втрат потужностей в ланцюгах мережі, напруг в вузлах мережі.

В процесі виконання роботи зроблено розрахунок електричної системи яка містить:

- джерело живлення,
- лінії електропередач,
- трансформатори,
- споживачі електричної енергії.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БР 5.6.14.1.880 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           | 7    |

# 1. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

## 1.1 Вихідні дані для виконання бакалаврської роботи

Згідно з отриманим завданням, необхідно розрахувати електричну мережу, однолінійна електрична схема якої наведена на рис 1.1

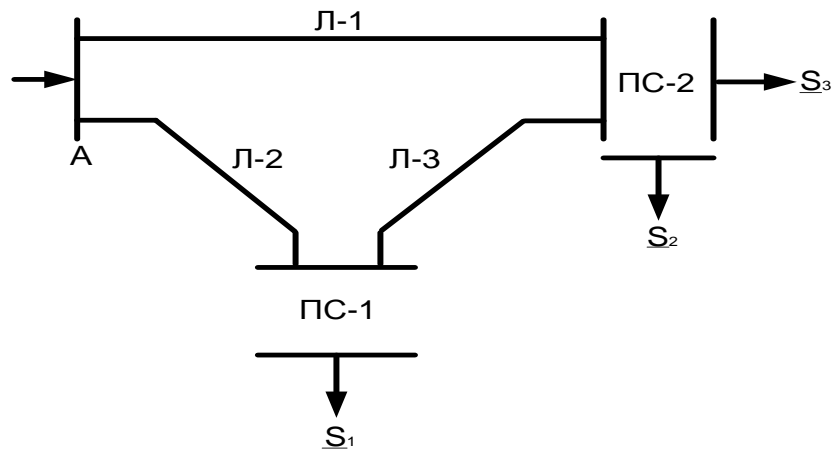


Рисунок 1.1- Вихідна однолінійна електрична схема з'єднань заданої електричної мережі

Довжини ліній і потужності навантажень електричної мережі наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1- Вихідні дані електричної мережі

| Довжина ПЛ, км |     |     | Потужності навантажень, МВА |                    |                      |
|----------------|-----|-----|-----------------------------|--------------------|----------------------|
| Л-1            | Л-2 | Л-3 | S-1                         | S-2                | S-3                  |
| 50             | 40  | 30  | $\frac{85+j40}{II}$         | $\frac{35+j20}{I}$ | $\frac{20+j10}{III}$ |

## 1.2 Розрахунок напруги й вибір проводів повітряної лінії

- Для вибору номінальних напруг у замкненій частині електричної мережі знайдемо сумарне навантаження на підстанції ПС-1, приведене до високої сторони напруги: Приймемо навантаження вузла 1 дорівнює сумі навантажень вузлів 2 і 3, навантаження вузла 3 дорівнює сумі навантажень S2 і S3. Зобразимо замкнуту мережу, що складається з ліній Л-1, Л-2, Л-3 (рисунок 1.2).
- Визначимо розрахункові навантаження вузлів 3 і 4.

$$S_1 = 85 + j40 \text{ МВА};$$

$$S_{3''} = 55 + j30 \text{ МВА};$$

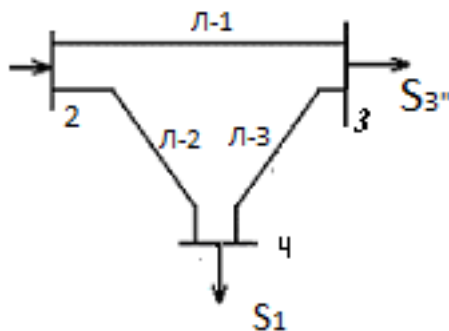


Рисунок 1.2 - Замкнута мережа

Розімкнем замкнуту мережу, наведену на малюнку 1.2, по джерелу живлення 2 (рисунок 1.3) і позначимо потужності на ділянках мережі.

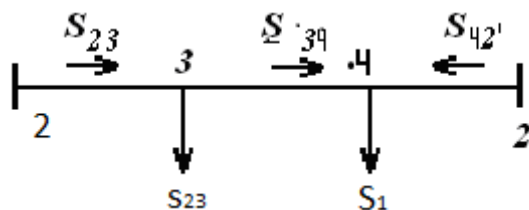


Рисунок 1.3 - Розімкнута мережа

2. Визначаємо потужності на ділянках розімкнутої мережі

$$S_{23} = \frac{S_{3''}(l_{34} + l_{42'}) + S_1(l_{42'})}{(l_{23} + l_{34} + l_{42'})} = 60,4 + j30,8 \text{ МВА}$$

$$S_{34} = S_{23} - S_{3''} = 5,4 + j0,8 \text{ МВА}$$

$$S_{42'} = \frac{S_1(l_{34} + l_{23}) + S_{3''}(l_{23})}{(l_{23} + l_{34} + l_{42'})} = 79,6 + j39,2 \text{ МВА}$$

Складемо рівняння балансу потужності

$$S_1 + S_{3''} = S_{23} + S_{42'}$$

$$140 + j70 = 140 + j70$$

Баланс потужності зійшовся. Потужність ділянки 3-4 вийшла

|      |      |          |        |      |                    |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                    |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    |  |  |  |  | 10   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР 5.6.141. 880 ПЗ |  |  |  |  |      |



позитивною, тому точка 4 є точкою поточкорозділу.

3. Визначимо напруги на ділянках мережі (рис. 1.3) за формулою Ілларіонова.

$$U_{Л} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_{л}}}}$$

Таблиця 1.2- Напруги на ділянках мережі

| Лінія                   | Л-1   | Л-2   | Л-3  |
|-------------------------|-------|-------|------|
| Довжина ділянки, км     | 50    | 40    | 30   |
| Активна потужність, МВт | 60,4  | 79,6  | 5,4  |
| Напруга ділянки, кВ     | 138,8 | 151,1 | 45,7 |

Приймаємо напруга електричної мережі рівне 220 кВ.

Визначаємо струми проводів ліній

$$I = \frac{S_{Л}}{\sqrt{3}U_{Л}}$$

Таблиця 1.3 - Струми на ділянках мережі

| Лінія     | Л-1   | Л-2   | Л-3   |
|-----------|-------|-------|-------|
| Струм, кА | 0,161 | 0,014 | 0,233 |

Приймаємо для ліній провід марки АС-240/32 ( $I_{д}=605A$ )

Таблиця 1.4 - Марка і параметри проводів

| Лінія                    | Л-1       | Л-2       | Л-3       |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Марка и переріз проводу  | АС-240/32 | АС-240/32 | АС-240/32 |
| Параметри проводів       |           |           |           |
| $R_0$ , Ом/км            | 0,118     | 0,118     | 0,118     |
| $X_0$ , Ом/км            | 0,435     | 0,435     | 0,435     |
| $B_0$ , См/км, $10^{-6}$ | 2,6       | 2,6       | 2,6       |

Знайдемо параметри ліній електричної мережі

Значення активних та реактивних опорів ліній, а також величина зарядної потужності, наведені в таблиці 1.5

$$R_{Л} = r_0 \cdot l_{Л}; \quad X_{Л} = x_0 \cdot l_{Л}; \quad \frac{jQ_{Л}}{2} = U_{НОМ}^2 \cdot \frac{b_0 \cdot l_{Л}}{2}$$

Таблиця 1.5 Розрахункові параметри повітряної лінії мережі

| Линия             |      | Л-1   | Л-2  | Л-3   |
|-------------------|------|-------|------|-------|
| R <sub>Л</sub>    | Ом   | 5,9   | 4,72 | 3,54  |
| X <sub>Л</sub>    | Ом   | 21,75 | 17,4 | 13,05 |
| $\frac{Q_{Л}}{2}$ | МВАр | 3,15  | 2,52 | 1,89  |

### 1.3 Розрахунок потужностей трансформаторів підстанцій

За напругою мережі і навантаженням вибираємо трансформатори  
Для ПС-1

$$S_T = \frac{S_1}{1,4} = \frac{\sqrt{85^2 + 40^2}}{1,4} = 67,1 \text{ МВА}$$

По напрузі і потужності навантаження вибираємо трансформатор ТДЦ 80000/220. Навантаження S1 відноситься до другої категорії, тому для забезпечення надійності електропостачання вибираємо два трансформатора.

Визначаємо коефіцієнт завантаження

$$K_3 = \frac{S_4}{2 \cdot S_T} = \frac{\sqrt{85^2 + 40^2}}{2 \cdot 80} = 0,59$$

Так як коефіцієнт завантаження менше 0,7, то два паралельно працюючих трансформатора ТДЦ-80000/220 задовольняють пропонованим вимогам.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 12   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Таблиця 1.6 - Каталожні дані трансформатора ТДЦ-80000/220

| Тип                   | S <sub>НОМ</sub> ,<br>МВА | Пределы<br>регу-<br>лиро-<br>вания | Каталожные данные            |                    |                       |                          |                          |                       | Расчетные данные       |                        |                               |
|-----------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|
|                       |                           |                                    | U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ |                    | U <sub>к</sub> ,<br>% | ΔP <sub>к</sub> ,<br>кВт | ΔP <sub>х</sub> ,<br>кВт | I <sub>х</sub> ,<br>% | R <sub>т</sub> ,<br>Ом | X <sub>т</sub> ,<br>Ом | ΔQ <sub>х</sub> ,<br>кВА<br>р |
|                       |                           |                                    | ВН                           | НН                 |                       |                          |                          |                       |                        |                        |                               |
| ТДЦ-<br>80000/<br>220 | 80                        | ±12*1                              | 242                          | 6,3; 10,5;<br>13,8 | 11                    | 320                      | 105                      | 0,6                   | 2,9                    | 80,5                   | 480                           |

Для ПС-2

$$S_T = \frac{S_2 + S_3}{1,4} = \frac{\sqrt{35^2 + 20^2} + \sqrt{20^2 + 10^2}}{1,4} = 44,78 \text{ МВА}$$

По напрузі і потужності навантаження вибираємо автотрансформатор АДЦТН-63000/220/110. Навантаження S<sub>2</sub> відноситься до першої категорії, тому для забезпечення надійності електропостачання вибираємо два авто-трансформатора.

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформаторів

$$K_3 = \frac{S_2 + S_3}{2 \cdot S_T} = \frac{62,7}{2 \cdot 63} = 0,5$$

Так як коефіцієнт завантаження менше 0,7, то два паралельно працюючих автотрансформатора АДЦТН-63000/220/110

задовольняють вимогам, що пред'являються.

Таблиця 1.7 - Каталожні дані трансформатора АДЦТН-63000/220/110

| Тип                     | S <sub>НОМ</sub> ,<br>МВА | Межі<br>регулю-<br>вання | Каталожні данні              |     |      |                    |      |      |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|-----|------|--------------------|------|------|
|                         |                           |                          | U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ |     |      | U <sub>к</sub> , % |      |      |
|                         |                           |                          | ВН                           | СН  | НН   | В-С                | В-Н  | С-Н  |
| АДЦТН-<br>63000/220/110 | 63                        | ±12*1                    | 230                          | 121 | 38,5 | 11                 | 35,7 | 21,9 |

|      |      |          |        |      |                     |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                     |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                     |  |  |  | 13   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР 5.6.14.1. 880 ПЗ |  |  |  |      |

Продовження таблиці 1.7

| Тип                      | Каталожні данні    |     |     |                       |              | Розрахункові данні |     |     |            |    |     | $\Delta Q_x$ ,<br>кВА<br>р |
|--------------------------|--------------------|-----|-----|-----------------------|--------------|--------------------|-----|-----|------------|----|-----|----------------------------|
|                          | $\Delta P_K$ , кВт |     |     | $\Delta P_x$ ,<br>кВт | $I_x$ ,<br>% | $R_T$ , Ом         |     |     | $X_T$ , Ом |    |     |                            |
|                          | В-С                | В-Н | С-Н |                       |              | ВН                 | СН  | НН  | ВН         | СН | НН  |                            |
| АТДЦТН-<br>63000/220/110 | 200                | -   | -   | 37                    | 1,2          | 1,4                | 1,4 | 1,4 | 288        | 0  | 195 | 756                        |

Складаємо однолінійну схему електричної мережі з урахуванням трансформаторів підстанцій.

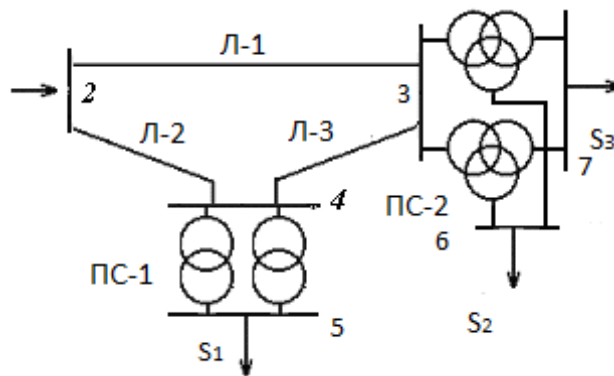


Рисунок 1.4 - Однолінійна схема електричної мережі з урахуванням трансформаторів підстанцій

### 1.4 Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням трансформаторів

Визначаємо розрахункову потужність на високій стороні ПС-1 з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів при максимальному навантаженні. рисуємо схему заміщення двох двообмоткових трансформаторів, ввімкнених паралельно і розраховуємо потужність.

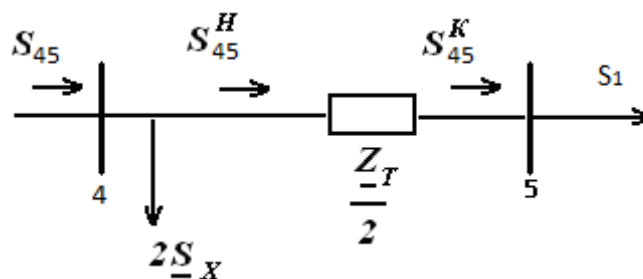


Рисунок 1.5 - Схема заміщення підстанції ПС-1

Визначаємо потужність  $S_{45}^K$ :

$$S_{45}^K = S_1 = 85 + j40 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужності  $S_{45}^H$  та  $S_{45}$

$$S_{45}^H = S_{45}^K + \frac{(P_{45}^K)^2 + (Q_{45}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{T1}}{2} = 85,26 + j47,38 \text{ МВА}$$

$$S_{45} = S_{45}^H + 2S_{XT1} = 85,96 + j48,38 \text{ МВА}$$

Визначаємо розрахункову потужність у вузлі 3 ПС-2 з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів при максимальному навантаженні. Рисуємо схему заміщення двох триобмоткових трансформаторів, включених паралельно і розраховуємо потужність у вузлі 3.

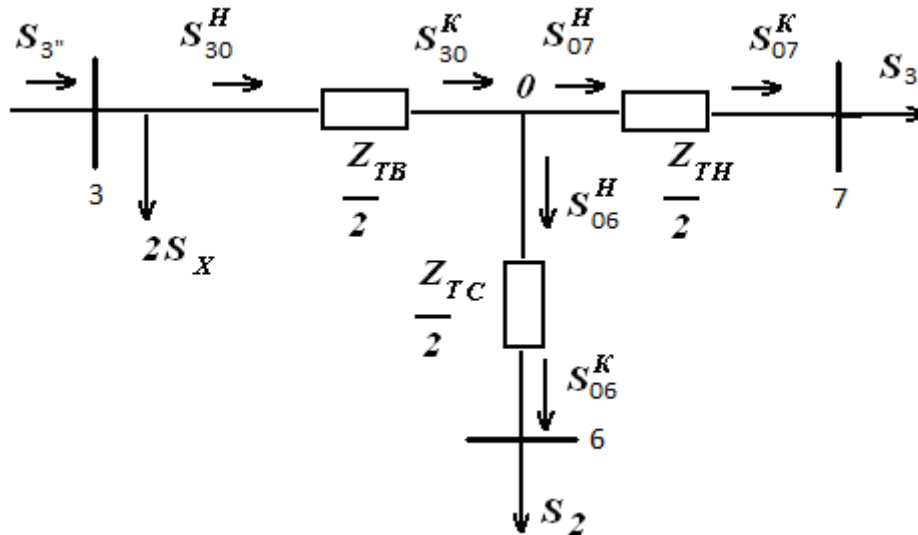


Рисунок 1.6 - Схема заміщення підстанції ПС-2

Визначаємо потужність  $S_{07}^K$

$$S_{07}^K = S_3 = 20 + j10 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{07}^H$

$$S_{07}^H = S_{07}^K + \frac{(P_{07}^K)^2 + (Q_{07}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{TH}}{2} = 20,007 + j11 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{06}^K$

$$S_{06}^K = S_2 = 35 + j20 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{06}^H$

$$S_{06}^H = S_{06}^K + \frac{(P_{06}^K)^2 + (Q_{06}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{TC}}{2} = 35,02 + j20 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{30}^K$

$$S_{30}^K = S_{07}^H + S_{06}^H = 55,02 + j31 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{30}^H$

$$S_{30}^H = S_{30}^K + \frac{(P_{10}^K)^2 + (Q_{10}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{TB}}{2} = 55,17 + j42,9 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{3''}$

$$S_{3''} = S_{30}^H + 2S_X = 55,24 + j42,9 \text{ МВА}$$

### 1.5 Розрахунок потужностей на ділянках мережі з урахуванням втрат потужності в трансформаторах

Визначаємо потужності на ділянках розімкненої мережі (рисунок 1.7) з урахуванням втрат потужності в трансформаторах.

$$S_{23} = \frac{S_{3''}(l_{34} + l_{42'}) + S_{45}(l_{42'})}{(l_{23} + l_{34} + l_{42'})} = 60,87 + j41,15 \text{ МВА}$$

$$S_{34} = S_{23} - S_{3''} = 5,63 + j1,75 \text{ МВА}$$

$$S_{42'} = \frac{S_{3''}(l_{23}) + S_{45}(l_{34} + l_{23})}{(l_{23} + l_{34} + l_{42'})} = 80,32 + j50,12 \text{ МВА}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 16   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Складемо рівняння балансу потужності

$$S_{45} + S_{3''} = S_{23} + S_{42'}$$

$$141,2 + j91,28 = 141,2 + j91,28$$

Баланс потужності зійшовся.

Потужність ділянки 3-4 вийшла позитивною, тому точка 4 є точкою струморозподілу. Складемо схему заміщення електричної мережі з урахуванням струморозподілу.

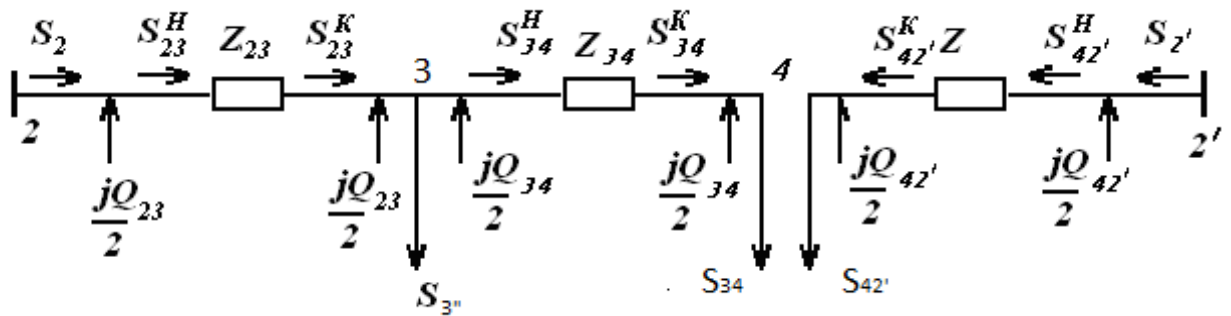


Рисунок 1.7 – Розімкнута мережа

Визначимо струморозподіл в двох схемах заміщення, приведених на рис.1.7. Знайдемо потужність джерела

Знайдемо потужність джерела  $S_2$

$$S_{34}^K = S_{34} - \frac{jQ_{34}}{2} = 5,63 - j0,14 \text{ МВА}$$

$$S_{34}^H = S_{34}^K + \frac{(P_{34}^K)^2 + (Q_{34}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{34} = 5,63 - j0,14 \text{ МВА}$$

$$S_{23}^K = S_{34}^H - \frac{jQ_{34}}{2} - \frac{jQ_{23}}{2} + S_{3'} = 60,87 + j37,72 \text{ MVA}$$

$$S_{23}^H = S_{23}^K + \frac{(P_{23}^K)^2 + (Q_{23}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{23} = 61,5 + j40,02 \text{ MVA}$$

$$S_2 = S_{23}^H - \frac{jQ_{23}}{2} = 61,28 + j34,1 \text{ MVA}$$

Знайдемо потужність джерела  $S_{2'}$

$$S_{42}^K = S_{42'} - \frac{jQ_{42}}{2} = 80,32 + j47,6 \text{ MVA}$$

$$S_{42}^H = S_{42}^K + \frac{(P_{42}^K)^2 + (Q_{42}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{42} = 81,17 + j50,73 \text{ MVA}$$

$$S_{2'} = S_{42}^H - \frac{jQ_{42}}{2} = 81,17 + j48,21 \text{ MVA}$$

Визначаємо розрахункову потужність вузла живлення А при максимальному навантаженні.

$$S = S_2 + S_{2'} = 142,45 + j82,31 \text{ MVA}$$

## 1.6 Визначення напруг в вузлах навантаження

Приймаємо напруга джерела живлення на десять відсотків більше номінальної напруги мережі  $U_a = 242 \text{ кВ}$ .

Визначимо напругу вузла 3

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 18   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |



$$U_3 = \sqrt{\left( U_A - \frac{P_{23}^H R_{23} + Q_{23}^H X_{23}}{U_A} \right)^2 + \left( \frac{P_{23}^H X_{23} - Q_{23}^H R_{23}}{U_A} \right)^2} = 236,95 \text{кВ}$$

Визначимо напругу вузла 4

$$U_4 = \sqrt{\left( U_A - \frac{P_{42'}^H R_{42'} + Q_{42'}^H X_{42'}}{U_A} \right)^2 + \left( \frac{P_{42'}^H X_{42'} - Q_{42'}^H R_{42'}}{U_A} \right)^2} = 236,83 \text{кВ}$$

Визначимо напруги на низькій стороні трансформаторних підстанцій, як приведені до високої сторони.

ПС-1

$$U_5^B = \sqrt{\left( U_4 - \frac{P_{45}^H R_{45} + Q_{45}^H X_{45}}{U_4} \right)^2 + \left( \frac{P_{45}^H X_{45} - Q_{45}^H R_{45}}{U_4} \right)^2} = 228,65 \text{кВ}$$

ПС-2

$$U_0 = \sqrt{\left( U_3 - \frac{P_{30}^H R_{TB} + Q_{30}^H X_{TB}}{U_3} \right)^2 + \left( \frac{P_{30}^H X_{TB} - Q_{30}^H R_{TB}}{U_3} \right)^2} = 213,35 \text{кВ}$$

$$U_6^B = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{06}^H R_{TC} + Q_{06}^H X_{TC}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{06}^H X_{TC} - Q_{06}^H R_{TC}}{U_0} \right)^2} = 213,24 \text{кВ}$$

$$U_7^B = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{07}^H R_{TH} + Q_{07}^H X_{TH}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{07}^H X_{TH} - Q_{07}^H R_{TH}}{U_0} \right)^2} = 208,44 \text{кВ}$$

Знайдемо реальні напруги на низькій стороні підстанцій з урахуванням реального коефіцієнта трансформаторів

ПС-1

$$U_5 = \frac{U_5^B}{Kt_5} = 5,95 \text{кВ}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 19   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$U_7 = \frac{U_7^B}{Kt_7} = 34,91 \text{кВ} \quad U_6 = \frac{U_6^B}{Kt_6} = 112 \text{кВ}$$

Таблиця 1.8 - Розрахункові напруги в вузлах навантаження

|                   |      |     |       |
|-------------------|------|-----|-------|
| Номер вузла       | 5    | 6   | 7     |
| Напруга, кВ       | 5,95 | 112 | 34,91 |
| Відхилення, %     | -5,5 | +1  | -9,3  |
| Положення РПН     | +5   | -1  | +6    |
| Напруга с РПН, кВ | 6,26 | 110 | 37,22 |

## 1.7 Розрахунок навантажень вузлів в мінімальному режимі

### 1.7.1 Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням трансформаторів при мінімальних навантаженнях

Визначаємо розрахункову потужність на високій стороні ПС-1 з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів при мінімальних навантаженнях.

Визначаємо потужність  $S_{45}^K$ :

$$S_{45}^K = \frac{S_1}{2} = 42,5 + j20 \text{МВА}$$

Визначаємо потужності  $S_{45}^H$  и  $S_{45}$

$$S_{45}^H = S_{45}^K + \frac{(P_{45}^K)^2 + (Q_{45}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{T1}}{2} = 42,282 + j21,83 \text{МВА}$$

$$S_{45} = S_{45}^H + 2S_X = 42,99 + j22,83 \text{МВА}$$

Визначаємо розрахункову потужність на високій стороні ПС-2 з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів при мінімальному навантаженні.

Визначаємо потужність  $S_{06}^K$

$$S_{06}^K = \frac{S_2}{2} = 17,25 + j10 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність

$$S_{06}^H = S_{06}^K + \frac{(P_{06}^K)^2 + (Q_{06}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{TC}}{2} = 17,26 + j10 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{07}^K$

$$S_{07}^K = \frac{S_3}{2} = 10 + j5 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{07}^H$

$$S_{07}^H = S_{07}^K + \frac{(P_{07}^K)^2 + (Q_{07}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{TH}}{2} = 10,002 + j5,25 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{30}^K$

$$S_{30}^K = S_{07}^H + S_{06}^H = 27,26 + j15,25 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{30}^H$

$$S_{30}^H = S_{30}^K + \frac{(P_{30}^K)^2 + (Q_{30}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{TB}}{2} = 27,27 + j18,15 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $S_{3''}$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$S_{3''} = S_{30}^H + 2S_X = 27,35 + j18,15 \text{ MVA}$$

### 1.7.2 Розрахунок потужностей на ділянках замкненої мережі з урахуванням втрат потужності в трансформаторах при мінімальних навантаженнях

Визначаємо потужності на ділянках розімкнутої мережі (рисунок 1.7) з урахуванням втрат потужності в трансформаторах.

$$S_{23} = \frac{S_{3''}(l_{34} + l_{42'}) + S_{45}(l_{42'})}{(l_{23} + l_{34} + l_{42'})} = 30,28 + j18,2 \text{ MVA}$$

$$S_{34} = S_{23} - S_{3''} = 2,93 - j0,05 \text{ MVA}$$

$$S_{42'} = \frac{S_{3''}(l_{23}) + S_{45}(l_{34} + l_{23})}{(l_{23} + l_{34} + l_{42'})} = 40,05 + j22,78 \text{ MVA}$$

Складемо рівняння балансу потужності

$$S_{3''} + S_{45} = S_{23} + S_{42'}$$

$$70,34 + j40,98 = 70,34 + j40,98$$

Баланс потужності зійшовся.

Потужність ділянки 3-4 вийшла позитивною, тому точка 4 є точкою струморозподілу. Визначимо струморозподіл в двох схемах заміщення, наведених на рис.1.7.

$$S_{34}^K = S_{34} - \frac{jQ_{34}}{2} = 2,93 - j1,84 \text{ MVA}$$

$$S_{34}^H = S_{34}^K + \frac{(P_{34}^K)^2 + (Q_{34}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{34} = 2,93 - j1,84 \text{ MVA}$$

$$S_{23}^K = S_{34}^H - \frac{jQ_{34}}{2} - \frac{jQ_{23}}{2} + S_{3''} = 30,28 + j11,27 \text{ MVA}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 22   |

$$S_{23}^H = S_{23}^K + \frac{(P_{23}^K)^2 + (Q_{23}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{23} = 30,41 + j12,75 \text{ MVA}$$

$$S_2 = S_{23}^H - \frac{jQ_{23}}{2} = 30,41 + j9,6 \text{ MVA}$$

Знайдемо потужність джерела  $S_{2'1}$

$$S_{42}^K = S_{42'} - \frac{jQ_{42}}{2} = 40,05 + j20,26 \text{ MVA}$$

$$S_{42}^H = S_{42}^K + \frac{(P_{42}^K)^2 + (Q_{42}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{42} = 40,25 + j20,98 \text{ MVA}$$

$$S_{2'1} = S_{42}^H - \frac{jQ_{42}}{2} = 40,25 + j18,46 \text{ MVA}$$

Визначаємо розрахункову потужність вузла живлення А при мінімальному навантаженні.

$$S = S_2 + S_{2'1} = 70,66 + j28,06 \text{ MVA}$$

### 1.7.3 Розрахунок напруг в вузлах при мінімальних навантаженнях

Приймаємо напруга джерела живлення на десять відсотків більше номінальної напруги мережі  $U_a = 242 \text{ кВ}$

Визначимо напругу вузла 3

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 23   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$U_3 = \sqrt{\left( U_A - \frac{P_{23}^H R_{23} + Q_{23}^H X_{23}}{U_A} \right)^2 + \left( \frac{P_{23}^H X_{23} - Q_{23}^H R_{23}}{U_A} \right)^2} = 240,1 \text{кВ}$$

Визначимо напругу вузла 4

$$U_4 = \sqrt{\left( U_A - \frac{P_{42'}^H R_{42'} + Q_{42'}^H X_{42'}}{U_A} \right)^2 + \left( \frac{P_{42'}^H X_{42'} - Q_{42'}^H R_{42'}}{U_A} \right)^2} = 239,7 \text{кВ}$$

Визначимо напруги на низькій стороні трансформаторних підстанцій, як приведені до високої стороні.

ПС-1

$$U_5^B = \sqrt{\left( U_4 - \frac{P_{45}^H R_{45} + Q_{45}^H X_{45}}{U_4} \right)^2 + \left( \frac{P_{45}^H X_{45} - Q_{45}^H R_{45}}{U_4} \right)^2} = 235,9 \text{кВ}$$

ПС-2

$$U_0 = \sqrt{\left( U_3 - \frac{P_{30}^H R_{TB} + Q_{30}^H X_{TB}}{U_3} \right)^2 + \left( \frac{P_{30}^H X_{TB} - Q_{30}^H R_{TB}}{U_3} \right)^2} = 229,7 \text{кВ}$$

$$U_6^B = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{06}^H R_{TC} + Q_{06}^H X_{TC}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{06}^H X_{TC} - Q_{06}^H R_{TC}}{U_0} \right)^2} = 229,65 \text{кВ}$$

$$U_7^B = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{07}^H R_{TH} + Q_{07}^H X_{TH}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{07}^H X_{TH} - Q_{07}^H R_{TH}}{U_0} \right)^2} = 219 \text{кВ}$$

Знайдемо реальні напруги на низькій стороні підстанцій з урахуванням реального коефіцієнта трансформаторів

ПС-1

$$U_5 = \frac{U_5^B}{Kt_5} = 6,14 \text{кВ}$$

|      |      |          |        |      |                     |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.14.1. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                     | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

ПС-2

$$U_7 = \frac{U_7^B}{Kt_7} = 36,68 \text{ кВ}$$

$$U_6 = \frac{U_6^B}{Kt_6} = 120 \text{ кВ}$$

Таблиця 1.9 - Розрахункові напруги в вузлах навантаження

| Номер вузла       | 5    | 6     | 7     |
|-------------------|------|-------|-------|
| Напруга, кВ       | 6,14 | 120   | 36,68 |
| Відхилення, %     | -2,5 | +9    | -4,7  |
| Положення РПН     | +2   | -6    | 0     |
| Напруга с РПН, кВ | 6,27 | 113,4 | 36,68 |

## 1.8 Аварійний режим

Знайдемо напруги в вузлах навантаження при відключенні лінії Л-1.

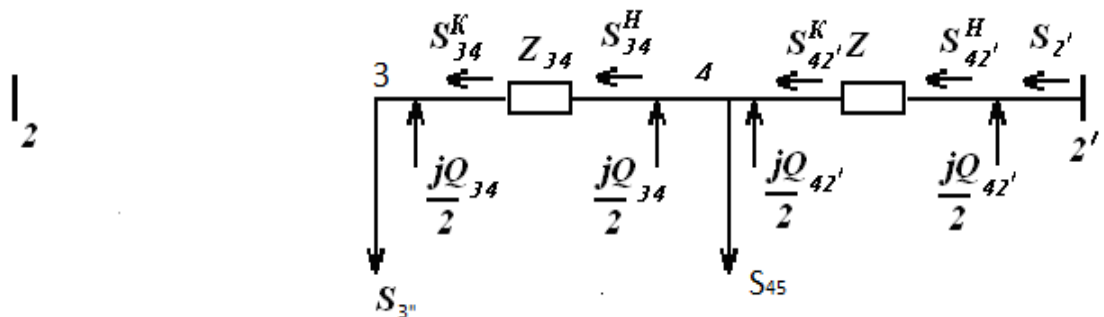


Рисунок 1.8 - Однолінійна схема електричної мережі для аварійного режиму.

1. Знайдемо потужність на початку ділянки мережі  $\underline{S}_{34}^H$

$$S_{34}^K = S_{3''} - \frac{jQ_{34}}{2} = 55,24 + j41,01 \text{ МВА}$$

$$S_{34}^H = S_{34}^K + \frac{(P_{34}^K)^2 + (Q_{34}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{34} = 55,59 + j42,28 \text{ МВА}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$S_{42'}^K = S_{34}^H + S_{45} - j \frac{(Q_{42'} + Q_{34})}{2} = 141,55 + j86,25 \text{ MVA}$$

$$S_{42'}^H = S_{42'}^K + \frac{(P_{42'}^K)^2 + (Q_{42'}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{42'} = 144,22 + j96,13 \text{ MVA}$$

2. Визначаємо потужність на початку лінії Л-2 з урахуванням втрат в лінії і її за-рядної потужності при максимальному навантаженні.

Знайдемо потужність вузла А  $S_{2'}$

$$S_{2'} = S_{42'}^H - j \frac{Q_{42'}}{2} = 144,22 + j93,61 \text{ MVA}$$

3. Визначення напруг в вузлах навантаження

Приймаємо напруга джерела живлення на десять відсотків більше номінальної-нального напруги мережі  $U = 242 \text{ В}$

Визначим напругу вузла 4

$$U_4 = \sqrt{\left( U_A - \frac{P_{42}^H R_{42} + Q_{42}^H X_{42}}{U_A} \right)^2 + \left( \frac{P_{42}^H X_{42} - Q_{42}^H R_{42}}{U_A} \right)^2} = 232,62 \text{ кВ}$$

Визначим напругу вузла 3

$$U_3 = \sqrt{\left( U_4 - \frac{P_{34}^H R_{34} + Q_{34}^H X_{34}}{U_4} \right)^2 + \left( \frac{P_{34}^H X_{34} - Q_{34}^H R_{34}}{U_4} \right)^2} = 229,41 \text{ кВ}$$

4. Визначимо напруги на низькій стороні трансформаторних підстанцій, як приведені до високої стороні.

ПС-1

$$U_5^B = \sqrt{\left( U_4 - \frac{P_{45}^H R_{45} + Q_{45}^H X_{45}}{U_4} \right)^2 + \left( \frac{P_{45}^H X_{45} - Q_{45}^H R_{45}}{U_4} \right)^2} = 224,14 \text{ кВ}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 26   |



ПС-2

$$U_0 = \sqrt{\left( U_3 - \frac{P_{30}^H R_{TB} + Q_{30}^H X_{TB}}{U_3} \right)^2 + \left( \frac{P_{30}^H X_{TB} - Q_{30}^H R_{TB}}{U_3} \right)^2} = 205,24 \text{ кВ}$$

$$U_6^B = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{06}^H R_{TC} + Q_{06}^H X_{TC}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{06}^H X_{TC} - Q_{06}^H R_{TC}}{U_0} \right)^2} = 205,12 \text{ кВ}$$

$$U_7^B = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{07}^H R_{TH} + Q_{07}^H X_{TH}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{07}^H X_{TH} - Q_{07}^H R_{TH}}{U_0} \right)^2} = 200,14 \text{ кВ}$$

5. Знайдемо реальні напруги на низькій стороні підстанцій з урахуванням реального коефіцієнта трансформаторів

ПС-1

$$U_5 = \frac{U_5^B}{Kt_5} = 5,8 \text{ кВ}$$

ПС-2

$$U_7 = \frac{U_7^B}{Kt_7} = 36,68 \text{ кВ}$$

$$U_6 = \frac{U_6^B}{Kt_6} = 120 \text{ кВ}$$

Таблиця 1.10 - Розрахункові напруги в вузлах навантаження

| Номер вузла       | 5    | 6     | 7     |
|-------------------|------|-------|-------|
| Напруга, кВ       | 6,14 | 110,3 | 33,52 |
| Відхилення, %     | -2,6 | -2,7  | -13   |
| Положення РПН     | +3   | +3    | +6    |
| Напруга с РПН, кВ | 6,32 | 113,4 | 35,83 |

## 2 Розрахунок електричної частини підстанції

Виконати проект електричної частини підстанції:

1. Вибрати силові трансформатори та перевірити їх за графіком навантження.
2. Розрахувати струми короткого замикання. Вибрати високовольтні апарати розподільчих пристроїв.
3. Вибрати ошиновку розподільчих пристроїв.
4. Вибрати вимірювальні трансформатори струму та напруги.
5. Обґрунтувати схему електричних з'єднань підстанції.

Виконати креслення.

6. Вибрати трансформатори власних потреб.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 28   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 2.1 Вибір силових тр-рів та їх перевірка за графіком навантаження

$$1) \quad S_{\text{наб}} = \sqrt{P_{\text{наб}}^2 + Q_{\text{наб}}^2} = \sqrt{7225 + 1600} = 93,941 \text{ МВА}$$

$$2) \quad S_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{наб}}}{K_{\text{ав}}} = \frac{93,941}{1,4} = 67,10$$

$$K_{\text{ав}} = 1,4$$

$$3) \quad K3^I = \frac{S_{\text{наб}}}{2 * S_{\text{тр.ном}}} = 0,59$$

Для підстанцій були обрані трансформатори потужності S=80 МВА типу ТДЦ-80000/220.

Перевіремо

Таблиця 2.1 Графік навантаження підстанцій в МВА

| t,г  | 0    | 2    | 4    | 6      | 8    | 10   | 12   | 14    | 16   | 18    | 20    | 22    |
|------|------|------|------|--------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| S,МВ | 37,5 | 56,3 | 51,6 | 75,152 | 84,5 | 70,4 | 75,1 | 93,94 | 84,5 | 122,1 | 131,5 | 93,94 |
| A    | 8    | 6    | 7    | 8      | 5    | 5    | 5    | 1     | 5    | 2     | 1     | 1     |

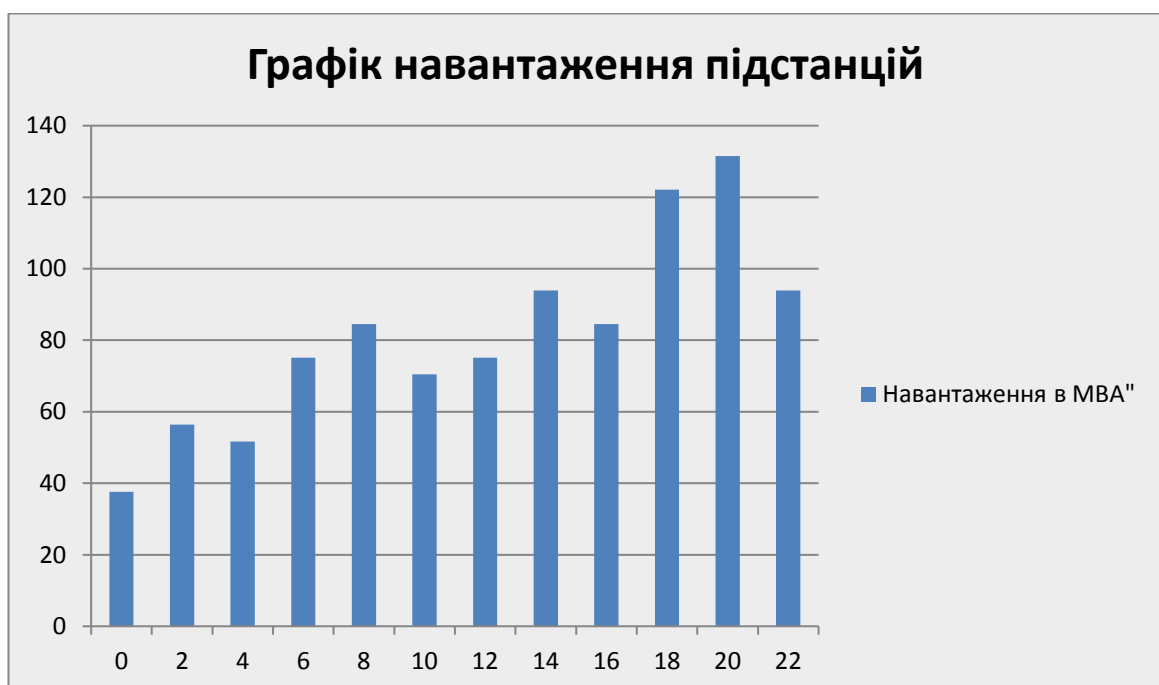


Рисунок 2.1 - Графік навантаження підстанцій

Для перевірки правильності вибору трансформатора реальний графік навантаження перетворимо в двоступінчастий. Початкове навантаження еквівалентного графіка визначається за формулою

$$K_1 = \frac{1}{S_{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} =$$

$$= \frac{1}{80} * \sqrt{\frac{32^2 * 2 + 48^2 * 2 + 44^2 * 2 + 64^2 * 4 + 72^2 * 4 + 60^2 * 2 + 80^2 * 4}{2 + 2 + 2 + 4 + 4 + 2 + 4}} = 0,0125 * 63,42 = 0,793$$

де  $S_1, S_2, \dots, S_n$  - власне навантаження першого; другого; n-го ступеня графіка навантаження, розміщеного нижче лінії номінальної потужності трансформатора;

$t_1, t_2, \dots, t_n$  - тривалість ступеня, година.

Аналогічно визначається другий ступінь еквівалентного графіка, але при цьому беруться ступені, розміщені вище лінії номінальної потужності трансформатора

$$K_2 = \frac{1}{S_{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} =$$

$$= \frac{1}{80} * \sqrt{\frac{104^2 * 2 + 112^2 * 2}{2 + 2}} = 1,351$$

де  $S_1, S_2, \dots, S_n$  - навантаження вище лінії номінальної потужності трансформатора.

Максимальне перевантаження трансформатора складає

$$K_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{S_{НОМ}} = \frac{112}{80} = 1,4$$

де  $S_{MAX}$  - максимальне навантаження трансформатора за графіком навантаження.

$$K'_2 = K_{max} * 0,9 = 1,4 * 0,9 = 1,26$$

Порівнюємо попередні значення  $K_2$  і  $K'_2$  для подальших розрахунків приймаємо більше з них  $K'_2 = 1,26$   $K_2 = 1,351$  ,  $K_2 > K'_2$  отже приймаємо  $K_2 = 1,351$  .

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

За ГОСТом 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду і часу перевантаження  $t_{\text{час}} = 4\text{г}$ , знаходимо значення перевантаження допустиме  $K_2 = 1,36$ .

$$1,56 - 1,54 = 0,02$$

$$0,02 * \frac{93}{100} = 0,0186$$
$$1,56 - 0,0186 = 1,5414 \approx 1,541$$

Порівнюємо значення  $K_2$  за ГОСТом і реальне.  $K_2 = 1,351$ ,  $K_{2\text{ГОСТ}} = 1,541$ .

$K_2 < K_{2\text{ГОСТ}}$  Значення  $K_2$  за ГОСТом більше, ніж реальне, значить трансформатор обраний правильно.

Висновок:

Трансформатор ТМТН 80000/220 у випадку виходу з ладу 1-го трансформатора другий трансформатор забезпечить живлення споживачів без обмежень.

## 2.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору устаткування на стороні 110 кВ і 10 кВ. Підстанція живлення за двома тупиковими лініями: схеми заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 2.2

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центра живлення складає  $S_c = 3\text{МВА}$ .

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 31   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

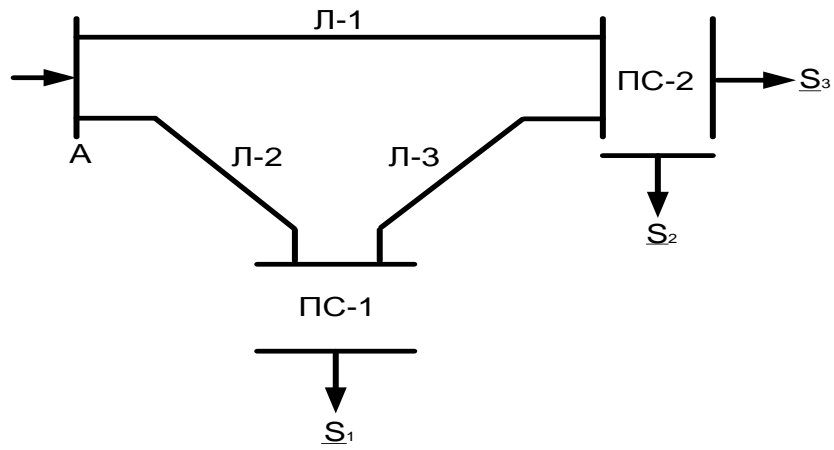


Рисунок 2.2 - Вихідна однолінійна електрична схема електромережі

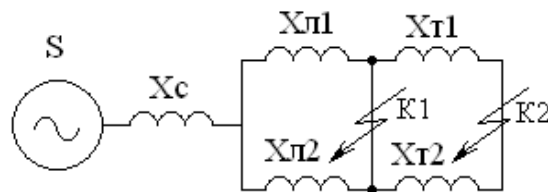


Рисунок 2.3 - Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Опір системи дорівнює

$$X_c = \frac{U_n^2}{S_c} = \frac{220^2}{3100} = 15,61 \text{ Ом}$$

Опір працюючих ліній

Приймаємо для ліній провід марки АС-240/32 ( $I_d=605\text{А}$ )

Таблиця 2.2 Опори ліній

| Лінія |    | Л-1   | Л-2  | Л-3   |
|-------|----|-------|------|-------|
| $X_L$ | Ом | 21,75 | 17,4 | 13,05 |

$$X_{Л1}^l = 21,75 \text{ Ом}$$

$$X_{Л2}^l = 17,4 \text{ Ом}$$

$$X_{Л3}^l = 13,05 \text{ Ом}$$

$$X_{Л1} = X_{Л1}^I + X_{Л3}^I = 34,80 \text{ Ом}$$

$$X_{Л2} = X_{Л2}^I = 17,4 \text{ Ом}$$

$$X_{Л} = \frac{X_{Л1} * X_{Л2}}{X_{Л1} + X_{Л2}} = \frac{34,8 * 17,4}{34,8 + 17,4} = 11,6 \text{ Ом}$$

$$X_{Л} = 11,6 \text{ Ом};$$

трансформаторів  $X_T = 80,5 \text{ Ом}$ .

Періодична складова СКЗ у точці  $K_1$

$$I_{K1} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}(X_c + X_{л})} = \frac{220000}{\sqrt{3} * (15,61 + \frac{11,6}{2})} = 5,940 \text{ кА}$$

та сама у точці  $K_2$  приведена до напруги вищої сторони

$$I_{K2} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}(X_c + X_{л} + X_m)} * \frac{U_{в}}{U_{н}} = \frac{220000}{\sqrt{3} * (15,61 + \frac{11,6}{2} + \frac{80,5}{2})} * \frac{220000}{10000} = 45,37 \text{ кА}$$

Ударний струм

$$\text{- у точці } K_1: i_{v\partial 1} = \sqrt{2} * 1,72 * I_{K1} = 14,45 \text{ кА}$$

$$\text{- у точці } K_2: i_{v\partial 2} = \sqrt{2} * 1,72 * I_{K2} = 110,36 \text{ кА}$$

Допустимо, що амплітуда ЕДС і періодична складова ТКЗ незмінні за часом, тому через час, який дорівнює часу відключення

$$I_{nr1} = I_{K1} = 5,940 \text{ кА для точки } K_1;$$

$$I_{nr} = I_{K2} = 45,37 \text{ кА для точки } K_2.$$

Аперіодична складова ТКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача

$$i_{a1} = \sqrt{2} * I_{K1} * e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} * 5,940 * e^{-\frac{0,06}{0,025}} = 0,764 \text{ кА}$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} * I_{K2} * e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} * 45,37 * e^{-\frac{0,1}{0,05}} = 8,66 \text{ кА}$$

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | 33   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |  |      |

де  $Ta$  - постійна часу загасання аперіодичної складової для  $K_1; Ta = 0,025$  с,  
для  $K_2 - Ta = 0,05$  с.

### Інтеграл Джоуля

$$\text{для } K_1 B_R = I_{K_1}^2(t+Ta) = I_{K_1}^2(0,06+0,025) = 5,94^2 * 0,085 = 2,99 \text{кА}^2\text{с}$$

$$\text{для } K_2 B_R = I_{K_2}^2(t+Ta) = I_{K_2}^2(0,1+0,05) = 45,37^2 * 0,15 = 6,81 \text{кА}^2\text{с}$$

Таблиця 2.3 - Значення струмів короткого замикання

| Струми короткого замикання | СКЗ у початковий момент часу | Ударний СКЗ $i_y$ , кА | Аперіод. складова СКЗ, $i_a$ кА | Інтеграл Джоуля $B_K$ , $\text{кА}^2\text{с}$ |
|----------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|---|
| Шини 220 кВ ( $K_1$ )      | 5,94                         | 14,45                  | 0,764                           | 2,99  |
| Шини 10 кВ ( $K_2$ )       | 45,37                        | 110,36                 | 8,66                            | 308,8   |

### 2.3 Вибір збірних шин

Вибрати збірні шини 220 кВ та струмопровідні елементи в блоці від збірних шин до виводів блочного трансформатора. Трансформатор ТДЦ-220000/10.

Оскільки збірні шини за економічною густиною струму не вибираються, приймаємо переріз за допустимим струмом при максимальному навантаженні на шинах, що відповідає загальному навантаженню.

$$I_{норм} = \frac{P_{норм}}{\sqrt{3} * U_{норм}} = \frac{93,941 * 10^3}{\sqrt{3} * 220} = 246,53 \text{А}$$

$$I_{макс} = I_{норм} = 246,53 \text{А}$$

В процесі вибору розглядали АС-240 і АС-300 вони не підійшли за умовами коронування.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 34   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |



За таблицею довідника приймаємо до встановлення провід АС-600/72 ( $q = 600 \text{ мм}^2$ ,  $d = 33,2 \text{ мм}$ , доп  $I = 1050 \text{ А}$ ). Фази розташовані горизонтально на відстані  $300 \text{ см}$ . Очевидно, що

доп макс  $I > I$ .

-Перевірка шин на електродинамічну стійкість не виконується, оскільки п.0  $I < 20 \text{ кА}$ .

-Перевірка на термічну стійкість також не виконується, оскільки шини виконані голими проводами на відкритому повітрі.

Перевірка за умовами коронування в даному випадку могла б не проводитися, оскільки згідно ПУЕ мінімальний переріз для повітряних ліній  $220 \text{ кВ}$  становить  $240 \text{ мм}^2$ . Враховуючи, що на ВРП відстань між проводами менша, ніж на повітряних лініях, проводиться перевірочний розрахунок.

Визначаємо початкову критичну напруженість електричного поля:

$$E_0 = 30,3 * m * \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}}\right)$$

де  $m$  – коефіцієнт, який враховує шорсткість поверхні проводу (для багато-провідникових проводів  $m = 0,82$ );  $r_0$  – радіус проводу, см.  $r_0 = 1,66$

$$E_0 = 30,3 * 0,82 * \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,66}}\right) = 30,6 \text{ кВ/см}$$

Визначаємо напруженість електричного поля навколо проводу

$$E = \frac{0,354 * U}{r_0 * I g \frac{D_{\text{сер}}}{\sqrt{r_0}}}$$

де  $U$  – лінійна напруга, кВ;  $D_{\text{сер}}$  – середня геометрична відстань між проводами фаз, см.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 35   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

При горизонтальному розташуванні фаз  $D = 1,26 \times D_0$  де  $D_0$  – відстань між сусідніми фазами, см.

$$E = \frac{0,354 * 242}{1,66 * I_g \frac{1,26 * 300}{\sqrt{1,66}}} = 21,16 \text{ кВ/см}$$

В останньому виразі лінійна напруга прийнята рівною 242 кВ, оскільки на шинах електростанції підтримується напруга 1,1  $U_{ном}$ .

Перевірка виконується за наступною умовою: проводи не будуть коронувати, якщо

$$1,07 * E \leq 0,9 * E_0$$

$$1,07 * E = 1,07 * 21,16 = 22,6 \text{ кВ/см}$$

$$0,9 * E_0 = 0,9 * 30,6 = 27,54 \text{ кВ/см.}$$

$$22,6 < 27,54$$

Умова виконується, тому провід АС-600 остаточно приймаємо до використання.

## 2.4 Вибір жорстких шин

- розрахункова температура навколишньої середовища  $30^\circ\text{C}$

- струми тривалих режимів  $I_{ном} = I_{max}^{nn} = \frac{1,4 * 80}{\sqrt{3} * 10} = 6,47 \text{ кА}$   $I_{трив} = 6,47 \text{ кА}$

- відстань між фазами  $a = 0,8 \text{ м}$

- довжина прольоту  $L = 2 \text{ м}$

- струми КЗ на шинах  $I_{п.о.} = 45,37 \text{ кА}$

-  $I_{уд} = 110,36 \text{ кА}$

- інтеграл Джоуля  $W_k = 308,8 \text{ кА}^2\text{с}$

Ошиновка закритих РУ 10 кВ виконується твердими шинами. Вибір перетину також виконується за допустимим струмом.

Вибираємо коробчасті шини  $2 \times 200 \times 90 \times 10 \text{ мм}$ ; переріз  $(2 \times 3435) \text{ см}^2$ ,

$I_{доп} = 7550 \text{ А}$ ,  $W_{y_0-y_0} = 422 \text{ см}^2$ ,  $W_{y-y} = 40 \text{ см}^2$ ,

$$v_{доп} = 70^\circ\text{C}, v_{факт} = 30^\circ\text{C}, v_{норм} = 25^\circ\text{C}.$$

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БР 5.6.14.1. 880 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 36   |

Де  $J$ - момент інерції поперечного перерізу шини щодо осі, перпендикулярної до напрямку згинаючої сили,  $\text{см}^4$ ;

$q$ - поперечний переріз шини,  $\text{см}^2$ ;

$W_{y_0-y_0}$  – момент опору двох зрощених шин,  $\text{см}$ ;

$W_{y-y}$  – момент опору однієї шини,  $\text{см}$ .

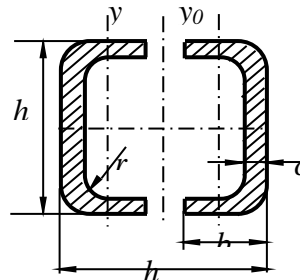


Рисунок 2.4 - Шини коробчастого перерізу

З урахуванням температури навколишнього середовища вводиться поправка на  $I_{\text{доп}}$  :

$$I'_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} \cdot \sqrt{\frac{v_{\text{доп}} - v_{\text{факт}}}{v_{\text{доп}} - v_{\text{норм}}}} = 7550 \cdot \sqrt{\frac{70 - 30}{70 - 25}} = 7082 \text{ А}$$

Перевірка на термічну стійкість.

Беремо мінімально термічно стійкий переріз шин.

$$Q_{\text{мін.доп.}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} * 10^3 = \frac{\sqrt{308.8}}{90} * 10^3 = 195.25 \text{ мм}^2$$

де  $C=90$

Оскільки  $195.25 \text{ мм}^2 < 2 \times 3435 \text{ мм}^2$  термічна стійкість шин забезпечується

Частота власних коливань

Тверді шини повинні бути перевірені на динамічні дії струмів КЗ і на можливість виникнення резонансних явищ. Зазначені явища не виникають

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БР 5.6.141. 880 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           | 37   |

при КЗ, якщо власна частота коливань шини менше 30 і більше 200 Гц. Частота власних коливань для алюмінієвих шин визначається за формулою.

$$f_0 = \frac{173.2}{l^2} * \sqrt{\frac{J}{q}} = \frac{173.2}{2^2} * \sqrt{\frac{4220}{2 * 34.35}} = 339,4 \text{ Гц}, > 200 \text{ Гц}$$

де  $l$  - довжина прольоту між ізоляторами  $l=2$  м;

Момент опору перерізу для двох зрощених шин

$W_{y0-y0}=100\text{см}^3$ , тоді

$$Q_{\text{фmax}}=1,76 * \frac{i_y^2 l^2}{a W_{y0-y0}} * 10^{-8} = 1,76 * \frac{110,36^2 * 2^2 * 10^{-2}}{0,8 * 100} = 10,72 \text{ мПа}$$

Де  $i_y=I_{\text{уд}}=110,36$  кА

Визначимо силу взаємодії між швелерами :

$$f_n = 0,5 * \frac{i_y^2}{h} * 10^{-7} = 0,5 * \frac{166676,2}{0,200} * 10^{-1} = 41669,05 \text{ Н/м}$$

Визначаємо максимальну відстань між місцями зварювання швелерів :

$$l_{\text{пmax}} = \sqrt{\frac{12(Q_{\text{доп}} - Q_{\text{ф}}) \cdot W_{\text{п}}}{f_n}} = \sqrt{\frac{12(82,3 - 10,72) \cdot 40}{41669,05}} = 0,67 \text{ м}$$

де  $W_{\text{п}}=W_{y-y}=40 \text{ см}^3$  і  $Q_{\text{доп}} = 82,3$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 2.5 Вибір захисної та комутаційної апаратури

Високовольтні електричні апарати вибираються за умовою тривалого режиму роботи і перевіряються за умовами коротких замикань. При цьому для апаратів виконується:

- 1) вибір за напругою;
- 2) вибір за нагріванням при тривалих струмах;
- 3) перевірка на електродинамічну стійкість;
- 4) перевірка на термічну стійкість;

Вибору підлягають:

- вимикачі на боці вищої напруги;
- вступні вимикачі на боці 10 кВ;
- секційні вимикачі на боці 10 кВ;
- вимикачі ліній, що відходять, 10 кВ; роз'єднувачі вищої напруги;
- трансформатори струму і напруги 220 кВ і 10 кВ;
- ошиновка розподільних пристроїв 220 кВ і 10 кВ.

Для вибору апаратів і струмоведучих частин необхідно визначити струми нормального і післяаварійного режимів. Визначення струмів виконується для випадку установки на підстанції силового трансформатора. Розрахованого відповідно до графіка навантаження підстанції.

Струм на боці 220 кВ :

$$I_{\text{маx}}^{\text{ВН}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = \frac{1,4 \cdot 80}{\sqrt{3} \cdot 220} = 0,294 \text{ кА.}$$

Струм у колі вступних вимикачів на боці 10 кВ :

$$I_{\text{маx}}^{\text{НН}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}} = \frac{1,4 \cdot 80}{\sqrt{3} \cdot 10} = 6,47 \text{ кА.}$$

Струм у колі секційного вимикача :

$$I_{\text{маx}}^{\text{С.В.}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}} \cdot 2} = \frac{0,7 \cdot 80}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3,24 \text{ кА.}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 39   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Струм у колі лінії, що відходить:

$$I_{\text{л.в.}}^{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн}} \cdot 10} = \frac{1,4 \cdot 80}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10} = 647,4 \text{ А.}$$

Таблиця 2.4 - Вибір вимикача на боці 220 кВ.

| Умова вибору                          | Розрахункові значення   | Каталожні значення      |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $U_C \leq U_H$                        | 220 кВ                  | 220 кВ                  |
| $I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$ | 0,294 кА                | 2 кА                    |
| $I_{\text{ПО}} \leq I_{\text{прСКВ}}$ | 5,94 кА                 | 40 кА                   |
| $I_{\text{уд}} \leq I_{\text{СКВ}}$   | 14,45 кА                | 102 кА                  |
| $I_{\eta\tau} \leq I_{\text{откном}}$ | 5,94 кА                 | 31,5 кА                 |
| $I_{\text{ат}} \leq I_{\text{аном}}$  | 0,764 кА                | 10,245 кА               |
| $B_K \leq I_T^2 t_r$                  | 2,99(кА) <sup>2</sup> с | 4800(кА) <sup>2</sup> с |

Рекомендується установка повітряних вимикачів ВВБ-220Б-31,5/2000У1

Таблиця 2.5 - Вибір вимикачів у колі трансформатора на боці 10 кВ.

| Умова вибору                          | Розрахункові значення    | Каталожні значення       |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $U_C \leq U_H$                        | 10 кВ                    | 20 кВ                    |
| $I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$ | 6,47 кА                  | 9,5 кА                   |
| $I_{\text{ПО}} \leq I_{\text{прСКВ}}$ | 45,37 кА                 | 105 кА                   |
| $I_{\text{уд}} \leq I_{\text{СКВ}}$   | 110,36 кА                | 300 кА                   |
| $I_{\eta\tau} \leq I_{\text{откном}}$ | 45,37 кА                 | 90 кА                    |
| $I_{\text{ат}} \leq I_{\text{аном}}$  | 8,66 кА                  | 21 кА                    |
| $B_K \leq I_T^2 t_r$                  | 308,8(кА) <sup>2</sup> с | 32400(кА) <sup>2</sup> с |

Рекомендується установка маломасляних вимикачів МГУ-20-90/9500У3

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 40   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Таблиця 2.6 - Вибір секційного вимикача на боці 10 кВ.

| Умова вибору                   | Розрахункові значення    | Каталожні значення       |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $U_C \leq U_H$                 | 10 кВ                    | 10 кВ                    |
| $I_{расч} \leq I_{ном}$        | 3,24 кА                  | 5 кА                     |
| $I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$        | 45,37 кА                 | 64 кА                    |
| $i_y \leq I_{прСКВ}$           | 110,36 кА                | 170 кА                   |
| $I_{\eta\tau} \leq I_{откном}$ | 45,37 кА                 | 58 кА                    |
| $I_{ат} \leq I_{аном}$         | 8,66 кА                  | -                        |
| $B_K \leq I_T^2 t_r$           | 308,8(кА) <sup>2</sup> с | 16384(кА) <sup>2</sup> с |

Рекомендується установка масляного вимикача МГГ-10-5000/63-УЗ

Таблиця 2.7 - Вибір вимикачів на лінію, що відходить, 10 кВ.

| Умова вибору                   | Розрахункові значення    | Каталожні значення       |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $U_C \leq U_H$                 | 10 кВ                    | 10 кВ                    |
| $I_{расч} \leq I_{ном}$        | 0,647 кА                 | 5 кА                     |
| $I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$        | 45,37 кА                 | 64 кА                    |
| $i_y \leq I_{прСКВ}$           | 110,36 кА                | 170 кА                   |
| $I_{\eta\tau} \leq I_{откном}$ | 45,37 кА                 | 58                       |
| $I_{ат} \leq I_{аном}$         | 7,88 кА                  | -                        |
| $B_K \leq I_T^2 t_r$           | 308,8(кА) <sup>2</sup> с | 16384(кА) <sup>2</sup> с |

Рекомендується установка масляних вимикачів МГГ-10-5000-63-УЗ

Таблиця 2.8 - Вибір роз'єднувачів 220 кВ.

| Умова вибору                 | Розрахункові значення   | Каталожні значення      |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $U_C \leq U_H$               | 220 кВ                  | 220 кВ                  |
| $I_{расч} \leq I_{ном}$      | 0,294 кА                | 0,63 кА                 |
| $i_{y\delta} \leq I_{прСКВ}$ | 14,45 кА                | 100 кА                  |
| $B_K \leq I_T^2 t_r$         | 2,99(кА) <sup>2</sup> с | 4800(кА) <sup>2</sup> с |

Рекомендується установка роз'єднувачів РНД-220/630Т1

## 2.6 Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги.

Для ввімкнення електровимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту необхідна установка трансформаторів струму і напруги. У даному проекті релейний захист детально не розробляється, тому перевірку трансформаторів за вторинним навантаженням виконуємо з урахуванням ввімкнення тільки вимірювальних приладів.

У ланцюзі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюється амперметр, вольтметр, варметр, лічильники активної і реактивної енергії, на шини 220 кВ – вольтметр із перемикачем для виміру трьох міжфазових напруг, на секційному вимикачі 10 кВ-амперметр, на лініях, що відходять, 10 кВ-амперметр, лічильники активної і реактивної енергій. Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму наведений у таблиці 2.9

Таблиця 2.9 - Розрахунок вторинного навантаження тррансформатору струму

| Прилад   | Тип   | Клас | Навантаження по фазах |     |     |
|--|-------|------|-----------------------|-----|-----|
|  |       |      | А                     | У   | З   |
| Вольтметр з перемикачем                                      |       |      | 2                     | -   | -   |
| Вольтметр  |       |      | 2                     | 2   | 2   |
| Амперметр  | Э-335 | 1    | 0,5                   | 0,5 | 0,5 |
| Ваттметр   | Д350  | 1,5  | 0,5                   | -   | 0,5 |
| Варметр  | Д345  | 1,5  | 0,5                   | -   | 0,5 |
| Лічильник активної енергії                                   | СА3   | 1    | 2,5                   | -   | 2,5 |
| Лічильник реактивної енергії                                 | СР-4  | 1,5  | 2,5                   | -   | 2,5 |
| Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра з боку НН  |       |      | 6,5                   | 0,5 | 6,5 |
| Сумарне навантаження струму в колі секц. вимикача на НН      |       |      | 0,5                   | 0,5 | 0,5 |
| Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра на боці ВН |       |      | 0,5                   | 0,5 | 0,5 |
| Сумарне навантаження струму в колі відхідної лінії           |       |      | 0,5                   | 0,5 | 0,5 |
| Навантаження на збірних шинах ВН (Трансформатора напруги)    |       |      | 4                     | 4   | 4   |
| Навантаження на збірних шинах НН (Трансформатора напруги)    |       |      | 4                     | 2   | 2   |



Вибір трансформаторів струму наведений у таблицях 2.10-2.13.

Таблиця 2.10 Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на боці вищої напруги (220 кВ) :

| Умова вибору            | Розрахункові значення           | Каталожні значення             |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| $U_C \leq U_H$          | 220 кВ                          | 220 кВ                         |
| $I_{расч} \leq I_{ном}$ | 0,294 кА                        | 0,5 кА                         |
| $i_y \leq I_{прСКВ}$    | 5,94 кА                         | 25 кА                          |
| $B_K \leq I_{Tr}^2 t_r$ | $2,99 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$ | $288 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$ |
| $Z_H \leq Z_{H.ном}$    | 0,83 Ом                         | 1,2 Ом                         |

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом}$$

Тоді опір сполучних проводів може бути

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_{\text{к}}$$

де:  $Z_{\text{пр}}$  – номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{\text{прил}}$  – опір приладів, Ом;

$Z_{\text{к}}$  – опір контактів, Ом.

$$Z_{\text{пр}} = 1,2 - 0,02 - 0,1 = 1,08 \text{ Ом.}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $4 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля  $l = 100 \text{ м}$

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{F}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 43   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

де:  $\rho$ - питомий опір алюмінію,  $0,0283, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$ ,

F- перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{\text{пр}} = 0,0283 \cdot \frac{100}{4} = 0,71 \text{ Ом}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,02 + 0,1 + 0,71 = 0,83 \text{ Ом}$$

що менше ніж 1,2 Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 0,5.

Трансформатор струму ТФЗМ-220Б-III відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.11 - Вибір трансформатора струму у колі трансформатора на боці 10 кВ:

ТШЛ-20

| Умова вибору                                    | Розрахункові значення     | Каталожні значення       |
|---|---------------------------|--------------------------|
| $U_{\text{с}} \leq U_{\text{н}}$                | 10 кВ                     | 20 кВ                    |
| $I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$           | 6,466 кА                  | 10 кА                    |
| $i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$              | 110,36 кА                 | -                        |
| $B_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 t_{\text{р}}$ | 308,8 (кА) <sup>2</sup> с | 3675 (кА) <sup>2</sup> с |
| $Z_{\text{н}} \leq Z_{\text{н.ном}}$            | 0,643                     | 1,2                      |

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}$$

Тоді опір сполучних проводів може бути

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_{\text{к}}$$

де:  $Z_{\text{пр}}$  – номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{\text{прил}}$  – опір приладів, Ом;

$Z_{\text{к}}$  – опір контактів, Ом.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 44   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$Z_{\text{пр}} = 1,2 - 0,26 - 0,1 = 0,84 \text{ Ом.}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $4 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля  $l = 40 \text{ м}$

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{F}$$

де:  $\rho$ - питомий опір алюмінію,  $0,0283, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$ ,

$F$ - перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{\text{пр}} = 0,0283 \cdot \frac{40}{4} = 0,283 \text{ Ом}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,26 + 0,1 + 0,283 = 0,643 \text{ Ом}$$

що менше ніж  $1,2 \text{ Ом}$ , припустимих при роботі трансформатора в класі точності  $0,5$ . Рекомендується вибрати трансформатор ТШЛ-20.

Таблиця 2.12. - Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить

| Умова вибору                          | Розрахункові значення          | Каталожні значення             |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| $U_C \leq U_H$                        | 10 кВ                          | 10 кВ                          |
| $I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$ | 0,647 кА                       | 1,0 кА                         |
| $i_y \leq i_{\text{дин}}$             | 110,36 кА                      | 100 кА                         |
| $B_K \leq I_{\text{T}}^2 t_r$         | $308,8 (\text{кА})^2 \text{с}$ | $992,5 (\text{кА})^2 \text{с}$ |
| $Z_H \leq Z_{\text{H.ном}}$           | 0,1483 Ом                      | 0,4 Ом                         |

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом}$$

Тоді опір сполучних проводів може бути

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_{\text{к}}$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 45   |

де:  $Z_{пр}$  – номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{прил}$  – опір приладів, Ом;

$Z_k$  – опір контактів, Ом.

$$Z_{пр} = 1,2 - 0,02 - 0,1 = 1,08 \text{ Ом.}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $4 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля  $l = 4 \text{ м}$

$$Z_{пр} = \rho \frac{l}{F}$$

де:  $\rho$  – питомий опір алюмінію,  $0,0283, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$ ,

$F$  – перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{пр} = 0,0283 \cdot \frac{4}{4} = 0,0283 \text{ Ом}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_H = Z_{прил} + Z_k + Z_{пр} = 0,02 + 0,1 + 0,0283 = 0,1483 \text{ Ом}$$

що менше ніж 1,2 Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 0,5. Беремо до установки трансформатор струму ТШЛ-10.

Таблиця 2.13 - Вибір трансформатора струму в колі секційного вимикача 10 кВ  
Оберемо ТШЛК-10

| Умова вибору            | Розрахункові значення     | Каталожні значення        |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| $U_C \leq U_H$          | 10 кВ                     | 10 кВ                     |
| $I_{расч} \leq I_{ном}$ | 0,647 кА                  | 1,0 кА                    |
| $i_y \leq i_{дин}$      | 110,36 кА                 | 100 кА                    |
| $B_K \leq I_T^2 t_r$    | 308,8 (кА) <sup>2</sup> с | 992,5 (кА) <sup>2</sup> с |
| $Z_H \leq Z_{H.ном}$    | 0,1483 Ом                 | 0,4 Ом                    |

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}$$

Тоді опір сполучних проводів може бути

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_{\text{к}}$$

де:  $Z_{\text{пр}}$  – номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{\text{прил}}$  – опір приладів, Ом;

$Z_{\text{к}}$  – опір контактів, Ом.

$$Z_{\text{пр}} = 1,2 - 0,26 - 0,1 = 0,84 \text{ Ом.}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $4 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля  $l = 40 \text{ м}$

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{F}$$

де:  $\rho$  – питомий опір алюмінію,  $0,0283, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$ ,

$F$  – перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{\text{пр}} = 0,0283 \cdot \frac{40}{4} = 0,283 \text{ Ом}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,26 + 0,1 + 0,283 = 0,643 \text{ Ом}$$

що менше ніж  $1,2 \text{ Ом}$ , припустимих при роботі трансформатора в класі точності 1.

Рекомендується вибрати трансформатор ТШЛК-10.

Вибір трансформаторів напруги

Вибір трансформаторів напруги проводиться по напрузі та потужності.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 47   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Таблиця 2.14 - Вибір трансформатора напруги з боку ВН

| Тип          | Клас напруги | Номинальна напруга обмоток, В |                    |                      | Номинальна потужність у класі 1 ВА | S Навантаження | Гранична потужність, ВА | Схема з'єднання. |
|--------------|--------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|----------------|-------------------------|------------------|
|              |              | Первинний                     | Основний вторинний | Додатковий вторинний |                                    |                |                         |                  |
| НКФ-220-58У1 | 220          | $150000/\sqrt{3}$             | $100/\sqrt{3}$     | 100                  | 400                                | 12             | 2000                    | 1/1/1-0-0        |

Таблиця 2.15 - Вибір трансформатора напруги з боку НН

| Тип            | U <sub>ном</sub> <sub>м</sub> | U <sub>мах</sub> | Номинальна напруга обмоток, В |                        |               | S <sub>ном</sub> , ВА | S навантаження | S <sub>тах</sub> | Схема з'єднання |
|----------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------|---------------|-----------------------|----------------|------------------|-----------------|
|                |                               |                  | первинна                      | вторинна               | дод. вторинна |                       |                |                  |                 |
| ЗНОЛ. 09-10.02 | 10                            | 12               | $\frac{10000}{\sqrt{3}}$      | $\frac{100}{\sqrt{3}}$ | 100           | 75                    | 8              | 630              | 1/1/1-0-0       |

## 2.7 Обґрунтування схеми електричних з'єднань підстанції.

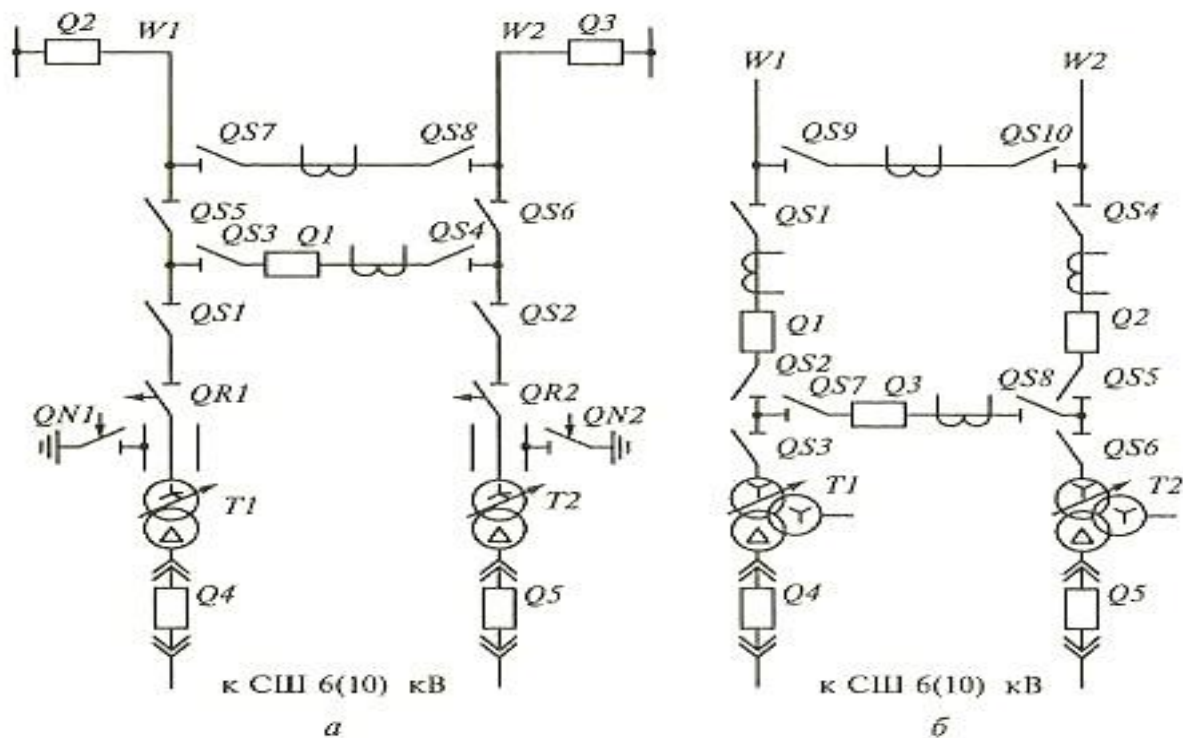
Використання даного типу схем електричних з'єднань підстанції зумовлене в першу чергу надійністю в порівнянні зі схемами з однією секцією шин та меншою вартістю проектування у порівнянні зі схемами, де використовується дві секції шин з декількома смугами збірних шин на секцію. Даний тип схеми дозволяє рівномірно розподілити навантаження на трансформаторну підстанцію, а також забезпечити безперебійне живлення споживачів у випадках аварійних вимкнень живлення на підстанції завдяки наявності секційного вимикача Q5. В даній схемі живлення споживачів відбувається від дво-трансформаторної підстанції по двом лініям збірні шини виконані проводами марки АС-600/72. Комутація ліній з боку високої напруги відбувається завдяки вимикачам Q1 та Q2. З боку низької напруги комутація відбувається завдяки вимикачам автоматичним Q3 та Q4. Роз'єднувачі QS-1, QS-2 разом із короткозамикачами дозволяють відімкнути лінію у разі необхідності, а також шляхом створення штучного КЗ. Секційний вимикач з боку низької напруги дозволяє здійснити живлення споживачів обох секцій одночасно від одного трансформатора у випадку ремонту іншого.

Розглянемо випадок, коли на підстанції відбулося КЗ. Для цієї схеми, у нормальному режимі секційний вимикач розімкнений. Якщо КЗ відбулося на шині низької напруги на секції та, що зліва, мають спрацювати автоматичні вимикачі Q5 та всі вимикачі на лініях, що відходять. Також може спрацювати запобіжник на лінії трансформатора напруги та трансформатора власних потреб, якщо струм перевищить встановлене значення струму плавкої вставки запобіжника. При КЗ на шині з боку високої напруги спрацює вимикач на лінії до трансформатора.

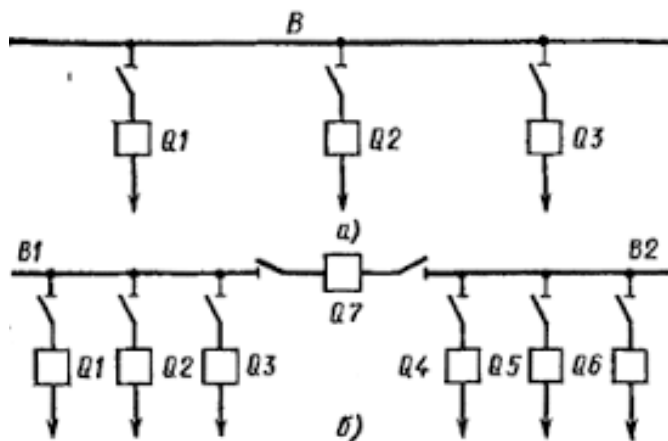
Якщо ж необхідно вивести у ремонт одну із ліній, що живлять споживачів, то потрібно замкнути секційний вимикач, і живлення всіх споживачів відбувається через один трансформатор. У разі виникнення КЗ у лінії що відходить спрацює вимикач тільки в цій лінії.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БР 5.6.141. 880 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

### З боку високої напруги схема місток



### З боку низької напруги секціонована система шин



|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

БР 5.6.141. 880 ПЗ

Арк.

50



## 2.8 Вибір трансформаторів власних потреб

Приймачами - власниками власних потреб є:

- оперативні кола;
- електродвигуни, системи охолодження силових трансформаторів, висвітлення і електроопалення приміщень;
- електропідігрівання комутаційної апаратури і т.д.

Сумарна розрахункова потужність приймача власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту. Розрахунок потужності приймача власних потреб наведений у табл. 12.

На підстанції передбачається установка 2 трансформаторів власних потреб. Номінальна потужність вибирається з умов  $S_{TCH} \geq S_{CH}$ ,

де  $S_{TCH}$  - потужність трансформатора власних потреб, кВА;

$S_{CH}$  - потужність споживачів власних потреб, кВА.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 51   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Таблиця 2.16 – Розрахунок потужності приймача власних потреб

| № п/п | Найменування споживача                                 | Установлена потужність   |             | $\cos \varphi$ | $tg \varphi$ | Навантаження   |                 |
|-------|--|--------------------------|-------------|----------------|--------------|----------------|-----------------|
|       |  | Одиниці, кВт х кількість | Всього, кВт |                |              | $P_{уст},$ кВт | $Q_{уст},$ кВАр |
| 1     | Охолодження трансформаторів ТДЦ 80000/220/10           | 5x15,6                   | 78          | 0,85           | 0,62         | 78             | 47,4            |
| 2     | Підігрів високовольтних вимикачів зовнішньої установки | 2x3,6                    | 7,2         | 1              | -            | 7,2            | -               |
| 3     | Підігрів приводів роз'єднувачів зовнішньої установки   | 4x0,6                    | 2,4         | 1              | -            | 2,4            | -               |
| 4     | Опалення, освітлення, вентиляція закритого РУ          | 5                        | 5           | 1              | -            | 5              | -               |
| 5     | Освітлення РУ  | 5                        | 5           | 1              | -            | 5              | -               |
|       | Всього   |                          |             |                |              | 97,6           | 47,4            |

Розрахункове навантаження

$$S_{уст} = K_C \cdot \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2}$$

$K_C$  – коефіцієнт попиту. Приймаємо рівним 0,8

$$S_{уст} = 0.8 \cdot \sqrt{97.6^2 + 47.4^2} = 86.8 \text{кВА}$$

Під час ввімкнення цього навантаження на один трансформатор допускається його перевантаження на 20%. Потужність трансформатора для забезпечення живлення навантаження власних потреб з урахуванням ре-

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 52   |

монтних навантажень. Ремонтне навантаження на підстанції можна брати таким, що дорівнює  $S_{TCP} 20 - 25$  кВА.

$$S_{TCH} = \frac{S_{TCP} + S_{CH}}{1,2} = \frac{86,8 + 20}{1,2} = 103,5 \text{ кВА.}$$

Беремо стандартну потужність трансформатора  $S_{TCH} = 100$  кВА. Остаточо для живлення споживача власних потреб беремо два трансформатори стандартної потужності: ТМ-100/10.

## 2.9 Компонування розподільних пристроїв на боці 220 кВ.

Підстанції (ПС) 220 кВ споруджують, як правило, відкритими.

Спорудження закритих ПС напругою 220 кВ, допускається в таких випадках: розміщення ПС із трансформаторами 16 МВА і вище на службовій території міст, розміщення ПС на території міст, коли це допускається містобудівним міркуванням.

На ПС електропостачання промислових підприємств передбачається водяне опалення, приєднане до теплових мереж підприємств.

Будинки ЗРУ (закритих РУ) допускається виконувати як окремо розміщені, так і зблокованими з будинками РПУ в тому числі і по вертикалі.

Трансформатори 220 кВ варто установлювати відкритими, а у районах із забрудненою атмосферою з посиленою ізоляцією.

Схеми для напруг 220 кВ і вище повинні складатися з урахуванням таких вимог: ремонт вимикачів 110 кВ і вище виконується без відключення приєднань: повітряні лінії відключаються від РП не більше ніж двома вимикачами, трансформатори блоків відключаються не більше ніж трьома вимикачами і т.ін.

При відключеннях вимикачів у нормальному режимі РП не повинне відключати більше одного блока, у ремонтному - не більше двох блоків.

Для РП35-220 кВ при числі приєднань 12-16 одну з двох систем секціонують, при числі приєднань більш ніж 16 - секціонують обидві системи шин.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БР 5.6.141. 880 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 53   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## 2.10 Компонування розподільних пристроїв на боці 10кВ.

РП 10 кВ входять до складу підстанцій як головні РП. До РП10 кВ підстанцій підключаються понижуючі трансформатори, синхронні компенсатори та ін.

Схеми РП10 кВ повинні задовольняти наступним вимогам: неспрацювання вимикача не повинне приводити до припинення електропостачання відповідальних споживачів (1 категорія по ПУЭ), розширення РП з ростом навантажень не повинне приводити до зміни схеми і значних будівельних і монтажних робіт.

Секціювання збірних шин дозволяє задовольнити вимоги надійності. Розширення РП здійснюється заповненням резервних осередків або введенням нової секції.

РУ 10 кВ для комплектних трансформаторів ПС виконується у вигляді КРУН або КРУ, встановлюваних у закритих приміщеннях. У ЗРУ 10 кВ рекомендується встановлювати шафи КРУ заводського виготовлення.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БР 5.6.141. 880 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 54   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

### 3 Розрахунок релейного захисту трансформатора

#### 3.1 Визначення параметрів необхідних для розрахунку

Виконати розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту від усіх видів замикань на виводах і в обмотках сторін із заземленою нейтраллю, а також від багатозаземлених замикань на виводах і в обмотках сторін з ізольованою нейтраллю.

Тип трансформатору ТДТН-25000/110

Таблиця 3.1 - Паспортні дані трансформатору.

| Тип            | Номинальна потужність, МВА | Номинальна напруга обмоток, кВ |      |    | Втрати, кВт |     | Напруга КЗ, % |       | Струм ХХ % |
|----------------|----------------------------|--------------------------------|------|----|-------------|-----|---------------|-------|------------|
|                |                            | ВН                             | СН   | НН | Х           | КЗ  | ВН-НН         | СН-НН |            |
| ТДТН-25000/110 | 25                         | 11,5                           | 38,5 | 11 | 21          | 130 | 17,5          | 6,5   | 0,31       |

### 3.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Розраховуємо струми КЗ. в максимальному і мінімальному режимах системи. Струми КЗ. приведені до напруги 110 кВ

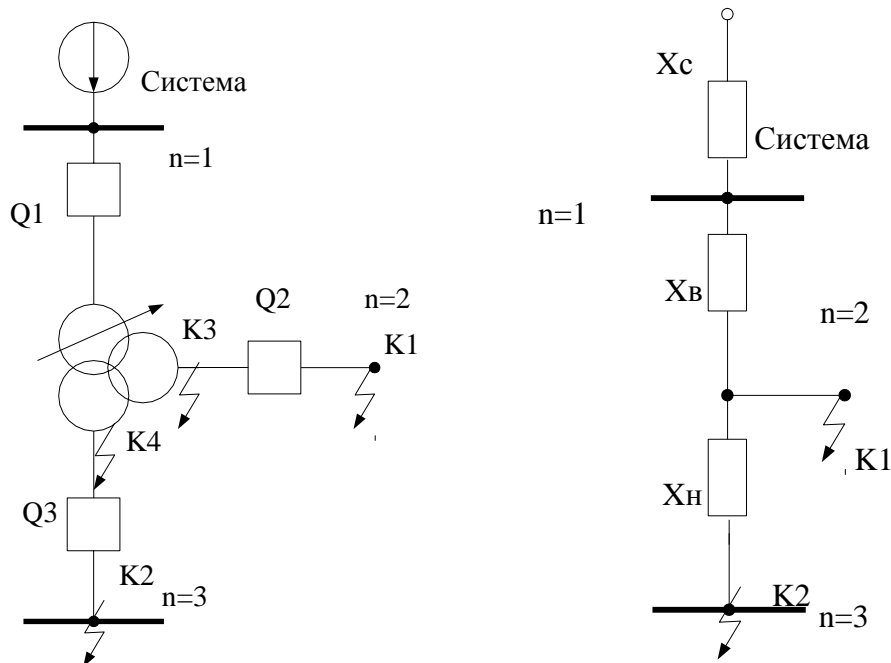


Рисунок 3.1 - Схема ввімкнення захищеного трансформатора

Для складання схеми заміщення (рисунок 3.1.) обчислюються опори трансформатора. Знаходимо напругу  $U_{кВС}$  з умови

$$U_{кВ} = U_{кВН} - U_{кСН} = 17,5 - 6,5 = 11\%$$

$$U_{кВ} = 0,5 * (U_{кВС} + U_{кВН} - U_{кСН}) = 0,5 * (11 + 17,5 - 6,5) = 11\%$$

$$X_{в} = \frac{U_{кВ}}{100} * \frac{U_{ср.ном.}^2}{S_m} = \frac{11}{100} * \frac{115^2}{25} = 58,19(\text{Ом})$$

$$U_{кН} = 0,5(U_{кСН} + U_{кВН} - U_{кВС}) = 0,5 * (6,5 + 17,5 - 11) = 6,5 \%$$

$$X_{н} = \frac{U_{кН}}{100} * \frac{U_{ср.ном.}^2}{S_m} = \frac{6,5}{100} * \frac{115^2}{25} = 34,385(\text{Ом})$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 56   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$X_c \approx 0$$

При розрахунках струмів КЗ для захистів трансформаторів з РПН слід врахувати зміни опору за рахунок регулювання напруги.

Для трансформаторів 110 кВ наближено можна прийняти:

$$X_{т.мин} = X_{т.ном} * (1 - \Delta U)^2; \quad X_{т.макс} = X_{т.ном} * (1 + \Delta U)^2$$

$$\Delta U = 0,12$$

отсюда  $X_{В.мин} = 58,19 * (1 - 0,12)^2 = 45,06(\text{Ом});$

$$X_{В.макс} = 58,19 * (1 + 0,12)^2 = 72,99(\text{Ом});$$

$$x_{Н.мин} = 34,385 * (1 - 0,12)^2 = 26,63 (\text{Ом}); \quad x_{Н.макс} = 34,385 * (1 + 0,12)^2 = 43,13 (\text{Ом}).$$

Струм КЗ на шинах середньої напруги (точка К1, рисунок 3.1.)

$$I^{(3)}_{к.макс} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} * (x_{с.макс} + x_{в.мин})} = \frac{115}{\sqrt{3} * (12 + 45,06)} = 1,165(\text{кА})$$

$$I^{(2)}_{к.мин} = \frac{U_{ср.ном.}}{2 * (x_{с.мин} + x_{в.макс})} = \frac{115}{2 * (18 + 72,99)} = 0,632(\text{кА})$$

Струм КЗ на шинах НН (точка К2, рисунок 3.1.)

$$I^{(3)}_{к.макс} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} * (x_{с.макс} + x_{в.мин} + x_{н.мин})} = \frac{115}{\sqrt{3} * (12 + 45,06 + 26,63)} = 0,794(\text{кА})$$

$$I^{(2)}_{к.мин} = \frac{U_{ср.ном.}}{2 * (x_{с.мин} + x_{в.макс} + x_{н.макс})} = \frac{115}{2 * (18 + 72,99 + 43,13)} = 0,429(\text{кА})$$

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БР 5.6.14.1. 880 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 57   |

### 3.3. Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту

1. Визначаємо середні значення первинних і вторинних номінальних струмів для всіх плечей диференційного захисту (за номінальною потужності найбільш потужної обмотки трансформатора). Розрахунки зводяться в таблицю. 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення вторинних номінальних струмів

| Наименование величины                                | Численное значение для стороны                |  |  |
|--|---|--|--|
|  | 115 кВ  | 38,5 кВ  | 11 кВ                                      |
| Первичный номинальный ток трансформатора, А          | $\frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 125,7$    | $\frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 375,3$    | $\frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 1313,7$ |
| Коэффициент трансформации трансформаторов тока $n_T$ | 500/5   | 1000/5   | 1500/5                                     |
| Схема соединения обмоток трансформаторов тока        | $\Delta$                                      | $\Delta$                                       | Y  |
| Вторичный ток в плече защиты, А                      | $\frac{125,7 \cdot \sqrt{3}}{500 / 5} = 2,17$ | $\frac{375,3 \cdot \sqrt{3}}{1000 / 5} = 3,25$ | $\frac{1313,72 \cdot 1}{1500 / 5} = 4,38$  |

Струм спрацьовування захисту визначається за більшим з двох розрахункових умов:

а) відбудова від кидка струму намагнічування:

$$I_{с.з} = k_{отс} I_{ном} = 1,3 \cdot 125,7 = 163,41 \text{ (А)}$$

б) відбудова від струму небалансу, виконується з урахуванням виразів:

$$I_{с.з} = k_3 \cdot (k_{одн} \varepsilon + \Delta U_1 + \Delta U_2) \cdot I_{к.макс(К1)}^{(3)} = 1,3 (1,0 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,05) \cdot 1165 = 408,9 \text{ (А)}$$

Приймається  $I_{с.з} = 408,9 \text{ (А)}$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 58   |



2. Попередня чутливість проводиться за первинними струмів при двофазному КЗ на стороні НН(Точка К4 малюнок 3.1)

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}(K4)}{I_{\text{с.з}}} = \frac{429}{408,9} = 1,05 < 2$$

3. Оскільки захист с реле типу РНТ не забезпечує чутливості, а розрахункова є відбудова від струму небалансу, то слід застосувати реле типу ДЗТ-11, для якого струм спрацьовування захисту вибирається за умовами:

а) відбудова від кидка намагнічування струму:

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{отс}} I_{\text{ном}} = 1,5 * 125,7 = 188,55 \text{ (A)}$$

б) відбудова від струму небалансу при КЗ на СН:

$$I_{\text{с.з}} = k_3 * (k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta U_1 + \Delta U_2) * I_{\text{к.макс}}^{(3)}(K1) = 1,5 * (1,0 * 0,1 + 0,12 + 0,05) * 1165 = 471,8 \text{ (A)}$$

в) відбудова від струму небалансу при КЗ на НН:

$$I_{\text{с.з}} = k_3 (k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta U_1) I_{\text{к.макс}}(K2) = 1,5 * (1,0 * 0,1 + 0,12) * 794 = 262,02 \text{ (A)}$$

Приймаємо реле ДЗТ-11 з уставкой гальмівної обмотки з боку СН.

Тоді відбудова по підп.3 б) буде забезпечена за рахунок гальмування, а струм спрацьовування за-щити приймається за більшим з умов 3 а) і 3 в):  $I_{\text{с.з}} = 262,02 \text{ (A)}$ .

4. Визначається чутливість захисту при КЗ на стороні НН при мінімальному регулюванні:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}^{(2)}(K4)}{I_{\text{с.з}}} = \frac{429}{262,02} = 1,64$$

Це значення  $k_{\text{ч}}$  дещо менше нормованого, однак, уже при номінальному коефіцієнті трансформації трансформатора струм КЗ складе:

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 59   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$I_{к.мин}^{(2)} = \frac{115 \text{ кВ}}{2 \cdot (18 + X_{В+ХН})} = \frac{115000 \text{ В}}{2 \cdot (18 + 58,19 + 34,385)} = \frac{115000}{221,15} = 520,009$$

і необхідний коефіцієнт чутливості забезпечується  $k_{ч} = \frac{I_{к.мин}}{I_{с.з}} = \frac{520,009}{262,02} = 1,98$

Тому захист з реле ДЗТ-11 може бути застосований

### 3.4. Вибір уставок реле типу ДЗТ-11

Первинний і вторинний струми сторін трансформатора наведені в таблиці 3.2. З таблиці 3.2 слідує, що в якості основної слід взяти сторону НН (11 кВ), що має більший вторинний номінальний струм.

Струм спрацювання реле для основної сторони визначається за виразом:

$$I_{ср.осн} = \frac{I_{с.з.Ксх} \frac{U_{ср.ном}}{U_{номп}}}{K_{In}} = \frac{262,02 * 1 * \frac{115}{11}}{\frac{1500}{5}} = 9,13 \text{ (А)}$$

Розрахункове число витків робочої обмотки для основної сторони визначається:

$$w_{осн.расч} = \frac{F_{ср}}{I_{с.р.осн}} = \frac{100}{9,13} = 10,95 \text{ витків}$$

Приймаємо  $w_{раб.осн} \square 11$  витків, що відповідає фактичному струму спрацювання реле

$$I_{с.р.осн} = \frac{100}{11} = 9,09 \text{ (А)}$$

Розрахункові числа витків для інших сторін трансформатора визначаються:

для сторони 110 кВ

$$W_{расчI} = 11 * \frac{4,38}{2,17} = 22,2$$

Приймаємо  $WI=22$ ;

Приймаємо  $WII=14$ ;

для сторони 38,5 кВ

$$W_{расчII} = 11 * \frac{4,38}{3,25} = 14,8$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 60   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Уточнений струм спрацювання захисту с урахуванням похибки вирівнювання знаходиться за виразом:

$$I_{с.з} = (k_{одн} \varepsilon + \Delta U_I + \Delta w_I) I_{к.макс(К2)} = 1,5(1,0 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,009) 794 = 272,7 \text{ (A)},$$

где  $\Delta w_I = \frac{w_{Iрасч} - w_I}{w_{Iрасч}}$

$$= \frac{22,2 - 22}{22,2} = 0,009.$$

Уточнений розрахунковий струм спрацьовування реле визначається:

$$I_{ср.осн} = \frac{I_{с.з} k_{сх} \left( \frac{U_{ср.ном}}{U_{номIII}} \right)}{k_{I(III)}} = \frac{272,7 * 1 * \left( \frac{115}{11} \right)}{\frac{1500}{5}} = 9,5 \text{ (A)}$$

Розрахунковий струм небалансу захисту при КЗ на стороні СН, де передбачено гальмування, с урахуванням похибки вирівнювання знаходиться по виразам:

$$I_{нб.расч} = k_3 (k_{пер} \varepsilon + \Delta U_I + \Delta U_{II} + \Delta w_{II}) I_{к.макс(К1)} = 1,5(1,0 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,05 + 0,054) 1165 = 566,19 \text{ (A)}$$

где  $\Delta w_{II} = \frac{14,8 - 14}{14,8} = 0,054$

Число витків тормозної обмотки знаходиться по виразам:

$$w_{торм} = \frac{k_3 I_{нб.расч} w_{рабн}}{I_{к.макс(К1)} \operatorname{tg} \alpha} = \frac{1,5 * 566,19 * 14}{1165 \cdot 0,75} = 13,608$$

Таким чином, до установки на реле приймаються наступні витки:

$$w_I = 22, \quad w_{II} = 14, \quad w_{III} = 11 \text{ и } w_{торм} = 14.$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 61   |

Чутливість захисту визначається наближено по первинним струмам при розрахунковому КЗ на стороні НН для випадків мінімального і нормального регулювання трансформатора

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}^{(2)}(K2)}{I_{\text{с.з}}} = \frac{429}{272,7} = 1,6 \text{ та } k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}^{(2)}(K1)}{I_{\text{с.з}}} = \frac{632}{272,7} = 2,32$$

де

$I_{\text{с.з}} = 272,7 \text{ (А)}$  – фактичний струм спрацювання захисту, при  $I_{\text{с.р}} = 9,5 \text{ (А)}$ .

Оскільки коефіцієнт чутливості захисту при нормальному регулюванні напруги практично відповідає нормованому, а при мінімальному регулюванні досить високий, то захист з реле ДЗТ-11 рекомендується до установки. Необхідно відзначити, що включення гальмової обмотки на суму вторинних струмів сторін СН та НН дозволяє вибрати струм спрацювання за умови 3 а) і забезпечити  $k_{\text{ч}} \geq 2$  у всіх режимах .

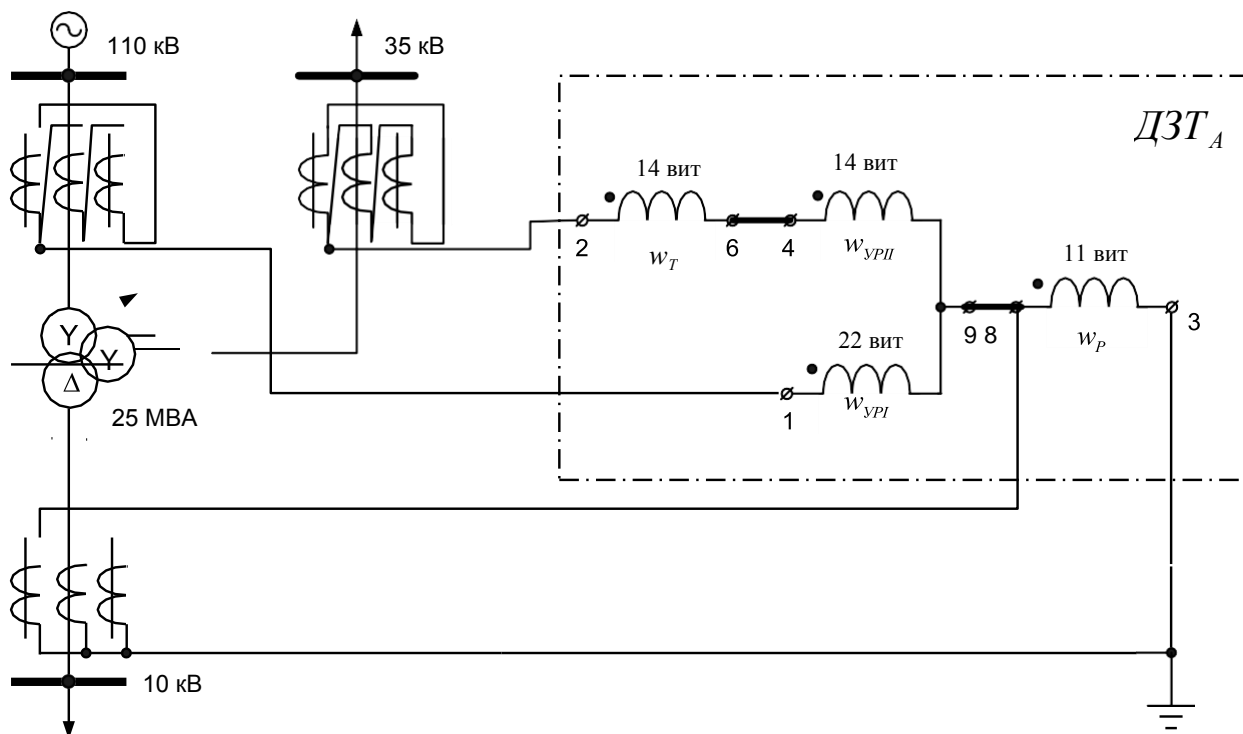


Рисунок 3.2 - Схема ввімкнення обмоток реле типу ДЗТ-11 до диференціального захисту триобмоткового трансформатора

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      |                    | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 62   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР 5.6.141. 880 ПЗ |      |

### 3.4. Розрахунок максимального струмового захисту с комбінованим пуском за напругою

Для триобмоткових трансформаторів з одностороннім живленням в якості резервного захисту рекомендується установка на стороні живлення МТЗ з пуском або без пуску по напрузі. Спочатку визначається струм спрацювання МТЗ без пуску по напрузі

$$I_{c.з} = \frac{k_3}{k_6} k_c I_{нагр.макс} = \frac{1,2}{0,8} * 2,5 * 125,7 = 471,4(A)$$

Чутливість захисту перевіримо при КЗ на шинах СН і НН в мінімальних розрахункових режимах:

$$k_q = \frac{I_{к.мин(к1)}^{(2)}}{I_{c.з}} = \frac{632}{471,4} = 1,3(A) \quad \text{и} \quad k_q = \frac{I_{к.мин(к2)}^{(2)}}{I_{c.з}} = \frac{429}{471,4} = 0,9(A)$$

Оскільки чутливість МТЗ без пуску по напрузі являється недостатньою застосуємо блокування за напругою зі сторін СН і НН трансформатора. В цьому випадку струм спрацювання захисту, визначений за рівнянням дорівнює:

$$I_{c.з} = \frac{k_3}{k_6} I_{ном} = \frac{1,2}{0,8} * 125,7 = 188,6(A)$$

а чутливість захисту в тих же розрахункових точках складе:

$$k_q = \frac{632}{188,6} = 3,35 \quad \text{и} \quad k_q = \frac{429}{188,6} = 2,27$$

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 63   |

Напруга спрацьовування органу блокування при симетричних КЗ визначимо наближено за виразом:

$$U_{c.з} \leq \frac{U_{c.мин}}{k_{\theta}} = \frac{0,7 \cdot 115}{1,2} = 67,08 \text{ (кВ)}$$

Напруга спрацьовування органу блокування при несиметричних КЗ визначається по (1.62)

$$U_{2c.з} = 0,06U_{ном} = 0,06 * 115 = 6,9 \text{ (кВ)}$$

Чутливість блокуючих органів перевіряється при КЗ на прийомних сторонах трансформатора куди й підключені блокуючі реле, т.е.

$$U_{к.защ}^{(3)} = 0,$$

$$U_{2к.защ} = \frac{U_{\phi}}{2} \\ = \frac{115}{2 * \sqrt{3}} \\ = 33,24 \text{ (кВ)}$$

Тоді

$$k_{чU} = \frac{U_{c.з}}{U_{к.макс}} = \frac{67,08}{0} > 1,5$$

$$k_{чU} = \frac{U_{2к.защ}}{U_{2c.з}} = \frac{33,24}{6,9} = 4,82 > 1,5$$

Оскільки при КЗ на прийомних сторонах трансформатора  $k_{ч} > 1,5$ , то

диференціальні захисту шин на цих сторонах можна не встановлювати.

Струм спрацьовування захисту від симетричного перевантаження, що діє на сигнал, визначається по умові налагодження від номінального струму трансформатора на стороні, де встановлений захист, за висловом

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 64   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$I_{c.з} = \frac{k_з}{k_г} I_{т.ном} = \frac{1,05}{0,8} 125,7 = 164,98 \text{ (A)}$$

Витримка часу МТЗ узгоджуються з витримками часу захистів ліній на сторонах СН і НН

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 65   |

## 4. Методи генерації електричної енергії

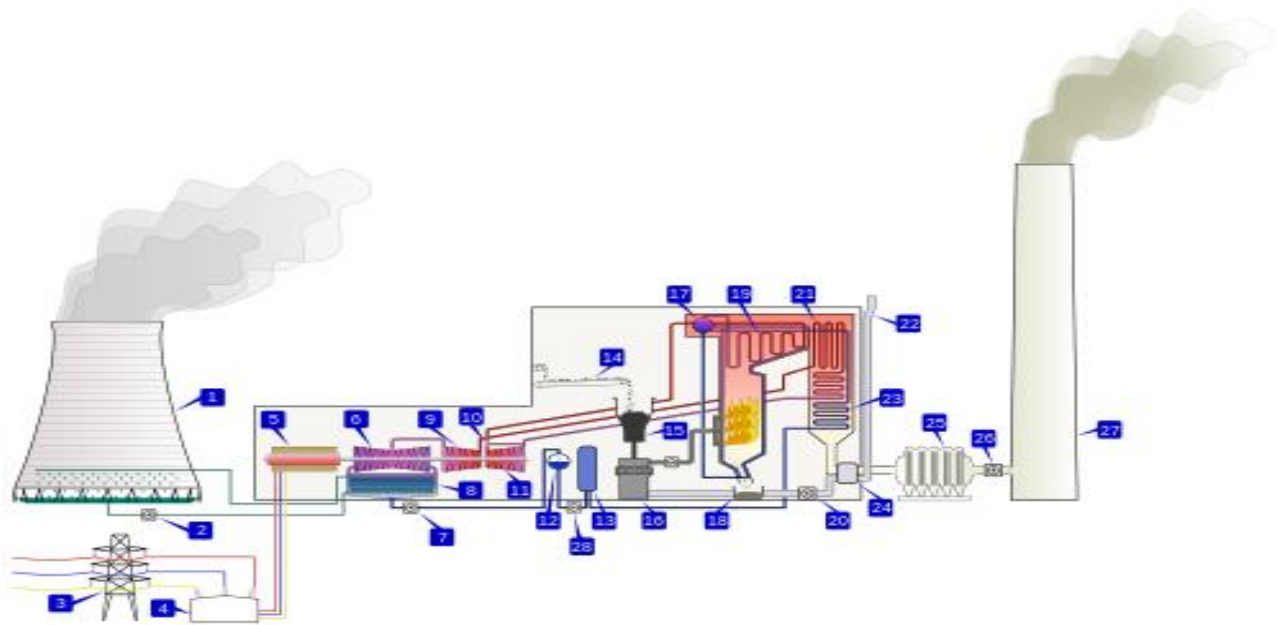
### 4.1 Теплова електроенергетика

На об'єктах теплової енергетики в електричну енергію перетворюється тепла енергія згоряння органічних палив. Об'єктами теплової електроенергетики є теплові електростанції (ТЕС), які бувають двох основних видів:

**Конденсаційні** (КЕС, також, у минулому використовувалась застаріла аббревіатура ДРЕС — державна районна електростанція). Конденсаційною називають теплову електростанцію, що призначена виключно для виробництва електричної енергії. На КЕС тепло, яке отримали при спалюванні палива, передається у парогенератори водяної пари, котра потрапляє у конденсаційну турбіну. Внутрішня енергія пари перетворюється в турбіні у механічну енергію, а потім електричним генератором в електричний струм, що подається в електричну мережу. Відпрацьована пара відводиться у конденсатор, звідки конденсат пари перекачується насосами знов у парогенератор.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 66   |





Типова схема теплової електричної станції, що працює на вугіллі

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1. <a href="#">Охолоджувач</a> пари               | 10. <a href="#">Клапан</a> контролю пари        | 19. Головний контур <a href="#">теплообмінника</a>  |
| 2. <a href="#">Водний насос</a>                   | 11. <a href="#">Турбіна</a> пари високого тиску | 20. Насос гарячого повітря                          |
| 3. <a href="#">Високовольтна лінія</a>            | 12. Водяний <a href="#">дозатор</a>             | 21. Вторинний контур <a href="#">теплообмінника</a> |
| 4. Підвищувальний <a href="#">трансформатор</a>   | 13. Водяний нагрівач                            | 22. Вхідна труба для повітря                        |
| 5. <a href="#">Електричний генератор</a> (3-фази) | 14. <a href="#">Конвеєр</a> для вугілля         | 23. Первинний контур <a href="#">теплообмінника</a> |
| 6. <a href="#">Турбіна</a> низького тиску         | 15. <a href="#">Бункер</a> для вугілля          | 24. Повітряний теплообмінник                        |
| 7. Водяний насос                                  | 16. <a href="#">Вугільний пультверизатор</a>    | 25. Фільтрувальна установка                         |
| 8. Збірник конденсату                             | 17. <a href="#">Паровий котел</a>               | 26. Витяжний вентилятор                             |
| 9. <a href="#">Турбіна</a> середнього тиску       | 18. <a href="#">Бункер</a> для золи             | 27. <a href="#">Димова труба</a>                    |

**Теплофікаційні** (теплоелектроцентралі, ТЕЦ). Теплофікаційною називається теплова електростанція з комбінованим вироблянням електричної і теплової енергій на одній і тій же станції. Комбіноване вироблення на ТЕЦ тепла й електричної енергії значно підвищує ефективність використання палива порівняно з роздільним виробленням електричної енергії на конденсаційних електростанціях і тепла у котельних установках

КЕС і ТЕЦ мають схожі технологічні процеси. Принципова відмінність ТЕЦ від КЕС полягає у тому, що частина нагрітої у котлі пари йде на потреби теплопостачання.

## 4.2 Ядерна енергетика

**Ядерна енергетика** — галузь енергетики, що використовує ядерну енергію для електрифікації і теплофікації. До ядерної енергетики належать атомні електростанції (АЕС). На практиці ядерну енергетику часто вважають підвидом теплової електроенергетики, так як, в цілому, принцип вироблення електроенергії на АЕС той же, що і на ТЕС. Лише у даному випадку тепла енергія виділяється не при спалюванні палива, а при поділі атомних ядер в ядерному реакторі. Далі схема виробництва електроенергії нічим принципово не відрізняється від ТЕС: пара отримує тепло від реактора, надходить у парову турбіну і т. д. Через деякі конструктивні особливості АЕС нерентабельно використовувати для комбінованого вироблення, хоча окремі експерименти в цьому напрямку проводилися.

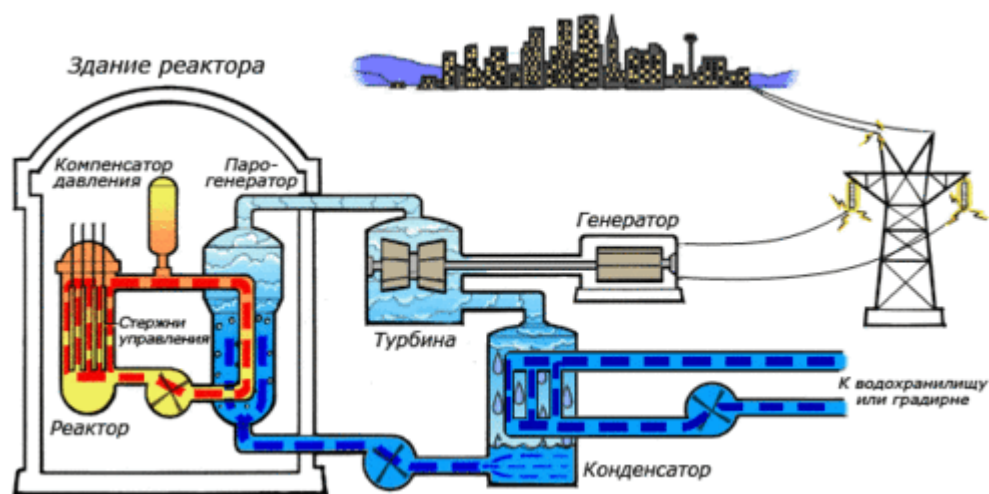


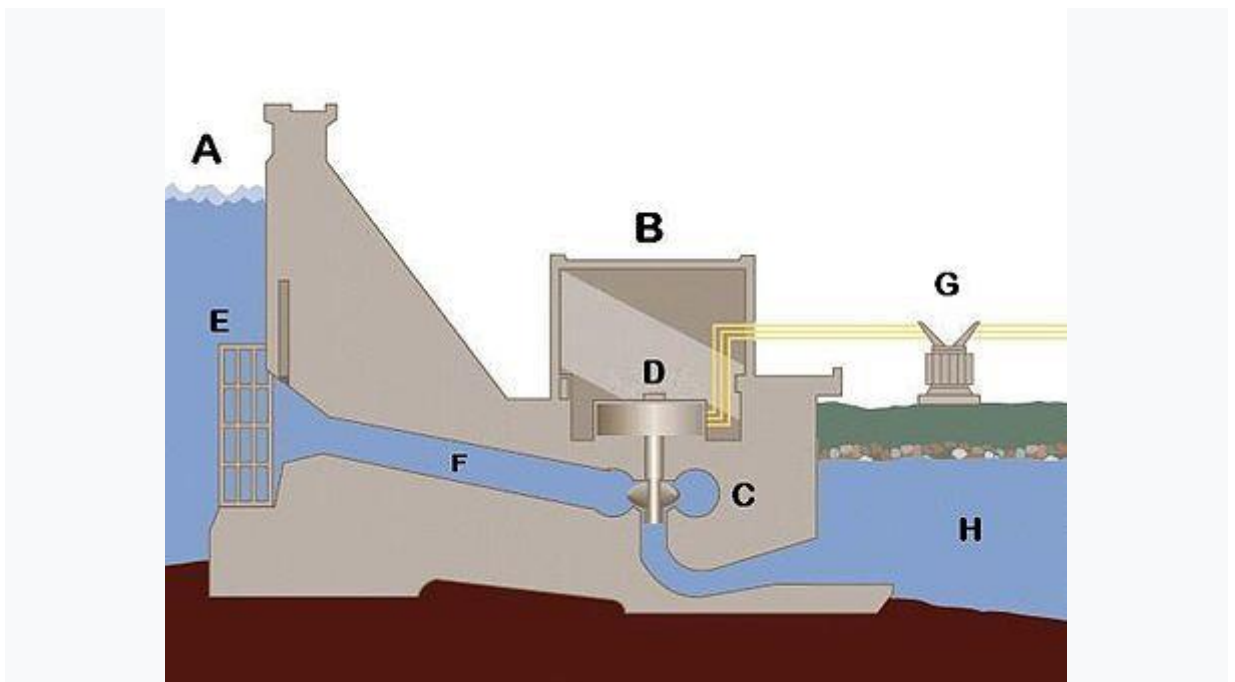
Схема роботи ядерної електростанції

## 4.3 Гідроенергетика

**Гідроенергетика** — галузь відновлювальної енергетики, що спеціалізується на використанні енергії від течії води. До цієї галузі належать гідроелектростанції (ГЕС). У гідроенергетиці в електричну енергію перетворюється кінетична енергія течії води.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 68   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Для цього за допомогою гребель на річках штучно створюється перепад рівнів водняній поверхні (верхній і нижній б'єф). Вода під дією сили тяжіння переливається з верхнього б'єфа в нижній спеціальними водоводами, у яких розташовані водяні турбіни, лопаті яких розкручуються водяним потоком. Турбіна ж обертає ротор електрогенератора. Особливою різновидом ГЕС є гідроакумулювальні станції (ГАЕС). Їх не можна вважати генеруючими потужностями у чистому вигляді, так як вони споживають практично стільки ж електроенергії, скільки виробляють, однак такі станції дуже ефективно справляються з розвантаженням мережі у пікові години.



Конструктивні особливості гідроелектростанції: А — водосховище, В — машинна зала будівлі ГЕС, С — гідралічна турбіна, D — електрогенератор, E — водоприймач, F — напірний водовід, G — лінія електропередачі, Н — русло річки

#### 4.4 Альтернативна електроенергетика

До альтернативної електроенергетики належать способи генерування електроенергії, що мають низку переваг порівняно з «традиційними» (згаданими вище), але з різних причин не отримали достатнього поширення. Основними видами альтернативної енергетики є:

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      |                    | Арк. |
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | 69   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

**Вітроенергетика**— використання кінетичної енергії вітру для отримання електроенергії.

**Сонячна енергетика** (геліоенергетика) — отримання електричної енергії з енергії сонячних променів.

Загальними недоліками вітро- і геліоенергетики є відносна мала потужність генераторів при їх високій вартості. Також в обох випадках обов'язково потрібні акумулювальні потужності на нічний (для геліоенергетики) і безвітряний (для вітроенергетики) час.

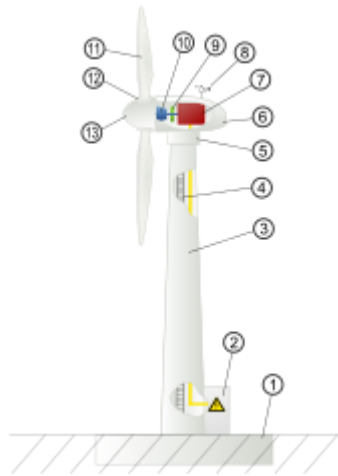
**Геотермальна енергетика**— промислове отримання енергії, зокрема електроенергії, з гарячих джерел, термальних підземних вод. По суті геотермальні станції є звичайними ТЕС, на яких джерелом тепла для нагрівання пари замість котла чи ядерного реактора використовуються підземні джерела тепла з надр Землі. Недоліком таких станцій є географічна обмеженість їх застосування: геотермальні станції рентабельно будувати лише у регіонах тектонічної активності, тобто, там, де ці природні джерела тепла є найдоступнішими.

**Воднева енергетика** — використання водню як енергетичного палива має великі перспективи: водень має дуже високий ККД згоряння, його ресурс практично не обмежений, спалювання водню є абсолютно екологічно чистим (продуктом згоряння в атмосфері кисню є дистильована вода). Однак повною мірою задовольнити потреби людства воднева енергетика поки що не може через дорожнечу виробництва чистого водню і технічні проблеми його транспортування у великих кількостях.

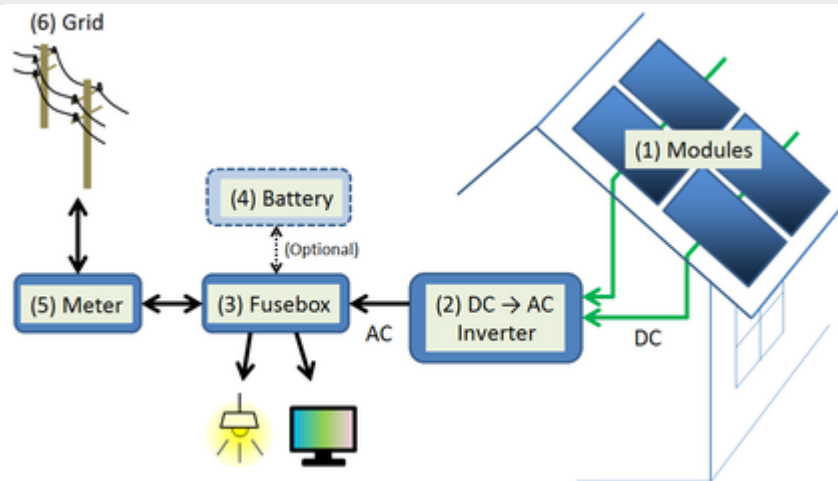
Варто також відзначити такі альтернативні види гідроенергетики: **припливну** і **хвильову** енергетику. У цих випадках використовується природна кінетична енергія морських припливів і вітрових хвиль відповідно. Поширенню цих видів електроенергетики заважає необхідність збігу дуже багатьох чинників при проектуванні електростанції: необхідним є таке узбе-

|             |             |                 |               |             |                           |             |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
|             |             |                 |               |             | <i>БР 5.6.141. 880 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                           | 70          |

режжя, на якому припливи (і хвилювання моря відповідно) були б досить сильними і сталими.



Конструкція вітроенергетичної установки: 1-фундамент, 2-підключення до електричної мережі, 3-вежа, 4-драбина для доступу технічного персоналу до обладнання, 5-система орієнтації за вітром, 6-корпус, 7-електричний генератор, 8-анемометр, 9-електрична або механічна муфта зчеплення, 10-коробка перемикачів передач, 11-лопаті, 12-система зміни кута атаки лопаті, 13-кришка механізму зміни кута повороту лопаті



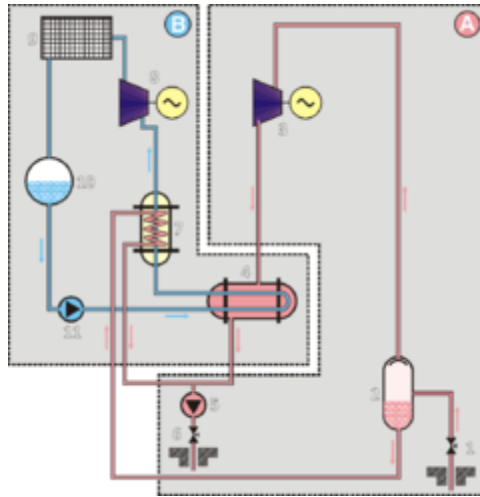
Структурна схема сонячної електростанції: 1-сонячні модулі (фотопанелі), 2-електричний інвертор, 3-блок запобіжників, 4-аккумуляторні батареї, 5-лічильник електроенергії, 6-електрична мережа

| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |

БР 5.6.141. 880 ПЗ

Арк.

71



Принципова схема роботи геотермальної електростанції. (А) — перший (паровий) контур; (В) — другий контур (на ізобутані); 1- експлуатаційна свердловина, 2- сепаратор вода/пара, 3- парова турбіна, 4- теплообмінник, 5- насос закачки, 6- нагнітальна свердловина, 7- перегрівач, 8- турбіна на ізобутані, 9- повітряний/водяний конденсатор, 10- конденсатозбірник, 11- насос

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 72   |

## 4.5 Об'єм генерації та доля в % з різних джерел енергетики



### У першому півріччі АЕС виробили 53% всієї електроенергії в Україні

02.08.2019 13:31

У період із січня по червень 2019 року атомні електростанції виробили 53,4% всієї електроенергії в Україні.

Про це йдеться в Інформаційній довідці про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України за червень та 6 місяців 2019 року Міністерства енергетики та вугільної промисловості.

За даними міністерства, за 6 місяців 2019 року обсяг виробництва електричної енергії електростанціями, які входять до ОЕС України, досяг 79,8 млрд кВт-год., що на 54,6 млн кВт-год. ,або на 0,1%, менше порівняно з відповідним періодом 2018 року.

Атомними електростанціями у цей період вироблено електроенергії на 2,6 млрд кВт-год., або на 6,5%, більше порівняно з аналогічним показником 2018 року - 42,65 млрд кВт-год., що становить 53,4% від загального обсягу.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 73   |

При цьому ТЕС та ТЕЦ вироблено електроенергії 29,4 млрд кВт-год. - це 36,8% від загального обсягу. Порівняно з минулим роком, тепла генерація скоротила виробництво на 2,3%.

Виробництво електроенергії ГЕС та ГАЕС становило 4,6 млрд кВт-год. та зменшилося на 41% від минулорічного показника. У загальній структурі генерації за перші пів року ГЕС та ГАЕС виробили 5,8% електроенергії.

За 6 місяців 2019 року виробництво електроенергії альтернативними джерелами (ВЕС, СЕС, біомаса) порівняно з відповідним періодом 2018 року збільшилося на 93,4% та становило 2,37 млрд кВт-год. - це 3% від загальної генерації.

Енергоатом підвищує потужність шести енергоблоків

Виробництво електроенергії електростанціями інших видів (блок-станціями та іншими джерелами) порівняно з аналогічним показником 2018 року збільшилося на 94,8 млн кВт-год., або на 13,4%, і становило 800 млн кВт-год.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БР 5.6.141. 880 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 74   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |



## ВИСНОВКИ

По заданим навантаженням і довжині ліній вибрав напругу мережі, вибрав тип і кількість проводів ліній. За напругою мережі вибрав трансформатор та склав схему заміщення мережі. Знайшов параметри схеми заміщення ліній і трансформаторів, визначив приведені до сторони ВН навантаження трансформаторів (з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів)

Виконав розрахунок нормального режиму замкнутої мережі (всі лінії в роботі) для двох випадків: режим максимального навантаження (заданий) і режим мінімального навантаження (взяв 50% від заданого). Визначив напруги в вузлах мережі, втрати напруги і потужності в мережі, виконав аналіз отриманих результатів.

Вважаючи лінію Л-1 аварійно відключеною, виконав розрахунок режиму розімкнутої мережі. Визначити напругу у вузлах мережі, втрати напруги і потужності в гілках. Перевірів допустимість режиму за рівнем напруги і по нагріванню проводів.

Також вибрані силові трансформатори були перевірені за графіком навантаження. Розрахував струми короткого замикання. Вибрав високовольтні апарати та ошиновку розподільчих пристроїв. Вибрав вимірювальні трансформатори струму та напруги. Обґрунтував схему електричних з'єднань підстанції та виконав необхідні креслення. Вибрав трансформатор власних потреб.

Виконав розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту від усіх видів замикань на виводах і в обмотках сторін із заземленою нейтраллю, а також від багатозаземлених замикань на виводах і в обмотках сторін з ізольованою нейтраллю.

Дізнався про всі сучасні способи генерування електричної енергії та їх долю на сучасному енергоринку.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.141. 880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 75   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Електрична частина станцій та підстанцій». / Укладачі: Д.В. Муриков, І.Л. Лебединський, П.О. Василега. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006.- 38 с.
2. Правила устройства, электроустановок.-М.: Энергия, 1982.- Разделы I-III.-88с.
3. Справочник по проектированию / Г.К.Вишняков, Е.А. Гоберман, С.Л.Гольцман и др. /Подред.С.С.Рокотяна и Я.С. Самоилова. - М.:Энергоиздат, 1982.-352 с.
4. Электротехнический справочник. Производство, передача и распределение электрической энергии /Подобщ. ред. профессоров МЭИ В.Г.Герасимова, П.Г.Грудинского и др.- 6-е изд.- М.:Энергоиздат, 1982- Т.3.- Кн.1.- 656 с.
5. Околович М.И. Проектирование электрических станций.-М.: Энергоиздат, 1982.- 400 с.
6. Жуков С.Ф. Расчет защит трансформаторов и автотрансформаторов. Учебное пособие. – Мариуполь: 2001.
7. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем. Учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2000.
8. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13А. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110 – 500 кВ. Схемы М.: Энергоиздат, 1985.
9. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13В. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ. Расчеты. М.6 Энергоиздат, 1985.
10. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоиздат, 1986.
11. Методические указания по выполнению курсового проекта по курсу «Электрические системы и сети» // Лебединский И.Л., С.М. Лебедка, В.И. Романовский, В.В. Волохин Сумы, СумГУ, 2011.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР 5.6.14.1.880 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 76   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

12. «Электрические сети и системы», Солдаткина Л.А., М., «Энергия», 1972г.
13. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/ Под ред. С. С. Рокотяна и И. М. Шапиро. М.: Энергоатомиздат, 1985.
14. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Генерування\\_електроенергії](https://uk.wikipedia.org/wiki/Генерування_електроенергії)
15. <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2752914-u-persomu-pivricci-aes-virobili-53-vsiei-elektroenergii-v-ukraini.html>

|             |             |                 |               |             |                           |      |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|------|
|             |             |                 |               |             | <i>БР 5.6.14.1.880 ПЗ</i> | Арк. |
|             |             |                 |               |             |                           | 77   |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                           |      |