

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Сумський державний університет  
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання  
Кафедра електроенергетики

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій ЛЕБЕДКА

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня магістр**

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання»  
на тему: «Розрахунок параметрів та вибір електрообладнання центрального  
розподільчого пристрою 10/0,4 кВ станції Хутір-Михайлівський»

Здобувача групи ЕТ.мз-31с Аліна Ігорівна ЗАБОЛОТНА

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Аліна ЗАБОЛОТНА  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник канд. фіз.-мат. наук, доцент Михайло ПЕТРОВСЬКИЙ \_\_\_\_\_

## Анотація

с. 51, рис. 4, табл. 17.

**Бібліографічний опис:** Заболотна А.І. Розрахунок параметрів та вибір електрообладнання центрального розподільчого пристрою 10/0,4 кВ станції Хутір-Михайлівський: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра ; спец. 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / наук. кер. М.В. Петровський. Суми : Сумський державний університет, 2024. 51 с.

**Ключові слова:** Електропостачання, трансформатор, струм, напруга, кабельна лінія, шинопровід, струм короткого замикання, автоматичний вимикач;

Power supply, transformer, current, voltage, cable line, busbar, short circuit current, circuit breaker.

**Об'єкт дослідження:** розподільча електрична мережа напругою 10/0,4 кВ.

### Короткий огляд.

Проведено розрахунок електричних параметрів системи електропостачання розподільного пристрою 10/0,4. На основі номінальних струмів споживачів для підстанції проведено вибір номінальної потужності трансформаторів, шинопроводу, обрано та перевірено перерізи кабелів мережі живлення 10 кВ та розподільчої мережі 0,4 кВ. Виконано розрахунок струмів трифазного та однофазного короткого замикання в різних точках системи електропостачання. Обрано автоматичні вимикачі для захисту електричних мереж від надструмів та струмів короткого замикання. Розглянуто питання охорони праці та проведений розрахунок параметрів контуру заземлення для захисту від ураження електричним струмом. Виконано техніко-економічний аналіз модернізації розподільчого пристрою.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арку |
|      |      |          |        |      |                          | 3    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

ВГКЗ - вимикаюча гранична комутаційна здатність

ГПП - головна понижувальна підстанція

ДЖ - джерело живлення

ЕА - електричний апарат

ЕД - електродвигун

ЕО - електрообладнання

ЕП - електроприймач

ЕУ - електроустановка

КЗ - коротке замикання

ККД - коефіцієнт корисної дії

КТП - комплектна трансформаторна підстанція

НН - низька напруга

ПС - підстанція

ПУЕ - Правила устроювання електроустановок

РП - розподільний пункт

СВ - струмова відсічка

СЕП - система електропостачання

СРШ - силова розподільна шафа

ТВ - тривалість вмикання

ТП - трансформаторна підстанція

ТС - трансформатор струму

ЦРП - центральний розподільний пункт

ЦТП - цехова трансформаторна підстанція

ШНВ - шафа низьковольтна вводу

ШНЛ - шафа низьковольтна лінійна

ШРА - шинопровід розподільний алюмінієвий

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арку |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 4    |

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 6  |
| 1. Загальна характеристика об'єкту проектування.....                      | 7  |
| 1.1 Загальна характеристика ПС 10/0,4 кВ .....                            | 7  |
| 1.2 Обґрунтування схеми підстанції.....                                   | 8  |
| 2. Розрахунок електричних навантажень підстанції 10/0,4 кВ.....           | 10 |
| 3. Розрахунок силових трансформаторів.....                                | 12 |
| 3.1 Вибір числа і потужності силових трансформаторів.....                 | 12 |
| 3.2 Перевірка трансформаторів на допустимі систематичні навантаження..... | 13 |
| 4 Розрахунок струмів коротких замикань.....                               | 16 |
| 5. Вибір перерізу провідників.....  | 22 |
| 5.1 Вибір перерізу кабельної лінії напругою 10 кВ.....                    | 22 |
| 5.2 Вибір перерізу провідників живильної мережі напругою 0.4 кВ..         | 22 |
| 6 Вибір електричних апаратів.....   | 24 |
| 6.1 Вибір вимикачів та комірок на напругу 10 кВ.....                      | 24 |
| 6.2 Вибір вимикачів 0,4 кВ.....   | 27 |
| 6.3 Вибір роз'єднувачів.....  | 27 |
| 6.4 Вибір трансформаторів струму.....                                     | 30 |
| 6.5 Вибір трансформаторів напруги.....                                    | 34 |
| 6.6 Вибір оперативного струму і джерел живлення.....                      | 36 |
| 6.7 Регулювання напруги на підстанції.....                                | 37 |
| 6.8 Вибір трансформатора власних потреб.....                              | 37 |
| 7 Релейний захист фідерів.....  | 39 |
| 8. Розрахунок грозозахисту ПС 10/0,4 кВ.....                              | 43 |
| 9. Охорона праці.....   | 44 |
| 9.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....              | 44 |
| 9.2 Розрахунок заземлюючого контуру ПС 10/0.4 кВ.....                     | 46 |
| 10. Економічна частина.....   | 47 |
| Висновки.....   | 49 |
| Список використаних джерел.....   | 50 |

|            |                |          |        |      |   |      |        |
|------------|----------------|----------|--------|------|---|------|--------|
|            |                |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b>  |      |        |
| Змн.       | Арк.           | № докум. | Підпис | Дата |   |      |        |
| Розробив   | Заболотна А.І. |          |        |      | Літ.  | Лист | Листів |
| Керівник   | Петровський    |          |        |      | 5   | 50   |        |
| Консульт.  |                |          |        |      | <b>СумДУ, ЕТ.мз-31с</b>   |      |        |
| Н.контроль | Петровський    |          |        |      |   |      |        |
| Завтвер.   | Лебедка С.М.   |          |        |      |   |      |        |
|            |                |          |        |      | Розрахунок параметрів та вибір електрообладнання центрального розподільчого пристрою 10/0,4 кВ станції Хутір-Михайлівський.<br>Пояснювальна записка |      |        |

## ВСТУП

В магістерській роботі розглядаються питання щодо розрахунку обладнання підстанції Хутір-Михайлівський відповідно до параметрів максимального навантаження.

Навантаження підстанції визначається потужністю споживаної усіма приєднаними до її мережі електроприймачами і втратами в електромережі. Режим роботи електроприймачів, що залежить від їх призначення і використання, не залишається постійним і змінюється в різні години доби і місяці року. Змінюється і споживана ними електрична потужність.

Електричні навантаження визначають для вибору і перевірки струмоведучих елементів (шин, кабелів, проводів) силових трансформаторів, а також для розрахунку втрат, відхилень і коливань напруги і вибору захисту.

За графіком навантажень зрозуміло, що існуюче обладнання на підстанції є застарілим і потребує модернізації.

Тому в магістерській роботі приведений вибір силових трансформаторів, які дають можливість забезпечити заданий режим навантаження, вибір комутуючих апаратів, а також вибір ТВП і виконаний розрахунок релейного захисту споживачів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>MP 5.8.141.344 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 6    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

# 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

## 1.1 Загальна характеристика ПС 10/0,4 кВ Хутір-Михайлівський

ПС 10/0,4 кВ Хутір-Михайлівський є важливим елементом електричної інфраструктури, що забезпечує надійне постачання електроенергії для населення та промисловості. Її сучасне обладнання, ефективна система управління та автоматизації сприяють стабільній і безпечній роботі підстанції.

Станція Хутір-Михайлівський отримує живлення від тягової ПС ЕЧЕ-14 через КЛ-10 кВ (основне живлення) та через ПЛ-10 кВ (резервне живлення). Клас напруги тягової підстанції 10 кВ, тобто живлення відбувається напругу без використання будь-яких трансформаторів.

Дана ПС включає в себе центральний розподільчий пристрій (ЦРП) 10/0,4 кВ до якого входить розподільчий пристрій (РП) 10 кВ та РП 0,4 кВ (власні потреби ПС).

РП 10 кВ являє собою закритий розподільчий пристрій (ЗРП), який має дві секції шин 10 кВ. До I секції шин підключені такі споживачі:

- ком. №1 споживач «Нас. Свердловина»;
- ком. №2 ввід №1 (резервний);
- ком. №3 «НТМИ-10» з розрядником РВП-10 (для роботи захистів);

До II секції шин підключені споживачі:

- ком. №4 споживачі ВП ПС;
- ком. №5 ввід №2 (основний);
- ком. №6 споживач «ТП-ЕЦ».

Дане РП має секцій вимикач, який в нормальному режимі роботи постійно замкнутий, тобто забезпечення споживачів електроенергією відбувається через ввід №2 від II секції шин 10 кВ.

Споживачі РП 10 кВ підключені через масляні вимикачі МВ-10, мають шинний та лінійний роз'єднувачі.

РП 0,4 кВ забезпечує живлення споживачі, які відносяться до власних потреб станції. Дане РП отримує живлення від РП 10 кВ через понижуючий

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

трансформатор ТМ-250/10.

До складу РП входить одна секція шин 0,4 кВ та три комірки:

- ком. №1 ввідний рубильник 0,4 кВ із запобіжниками на 250 А;
- ком. №2 споживачі: «Зал. будинки, вул. Козацька, дит. Садочок» , «Зовнішнє освітлення станції», «Лікарня», «Власні потреби».
- ком. №3 споживачі «Внутрішнє освітлення стрілочних постів», «Сушарка».

Споживачі ком. №2 підключені до шин 0,4 кВ через рубильники та мають запобіжники 125А та 80 А.

Споживачі ком. №3 підключені до шин 0,4 кВ через рубильники та мають запобіжники 100 А.

Схема ПС 10/0,4 кВ Хутір-Михайлівський приведена в додатку А.

## 1.2 Обґрунтування схеми підстанції

Надійність електропостачання є одним із найважливіших аспектів функціонування електричних мереж. Вона визначає здатність системи забезпечувати стабільне та безперебійне постачання електричної енергії до споживачів, що є критично важливим для життєдіяльності населених пунктів та промислових об'єктів. Підстанція (ПС) 10/0,4 кВ Хутір-Михайлівський, завдяки своїй структурі, забезпечує високу надійність електропостачання.

Вхідні фідери, представлені на схемі, забезпечують підключення до основних ліній електропередач напругою 10 кВ. Основні характеристики:

Множинність фідерів: Наявність декількох фідерів дозволяє реалізувати резервування. У разі виходу з ладу одного з фідерів, інші можуть безперервно постачати електроенергію, що зменшує ризик відключень.

Розподіл навантаження: Розподіл навантаження між фідерами забезпечує зниження навантаження на окремі лінії, запобігаючи їх перевантаженню та зменшуючи ймовірність аварій.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Трансформатори є ключовими елементами підстанції, які відповідають за зниження напруги з 10 кВ до 0,4 кВ. Основні аспекти, що підвищують їх надійність. Використання трансформаторів з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД) забезпечує ефективність перетворення електричної енергії, зменшуючи втрати енергії.

Встановлені автоматичні вимикачі в трансформаторній частині забезпечують захист від перевантаження і короткого замикання. Це дозволяє швидко відключати трансформатор у випадку аварії, мінімізуючи ризик пошкодження обладнання та забезпечуючи безпеку.

Розподільчі пристрої 10 кВ та 0,4 кВ виконують ключову роль у забезпеченні надійності електропостачання та розподілу навантаження. Вони є критично важливими для швидкого реагування на аварійні ситуації. У разі перевантаження або короткого замикання автоматичні вимикачі відключають пошкоджену ділянку, що запобігає подальшому поширенню аварії на інші частини системи.

Використання комутаційних апаратів дозволяє здійснювати безпечно та ефективно обслуговування підстанції. Вони забезпечують можливість відключення окремих секцій для проведення ремонту без відключення всього об'єкта.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



## 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДСТАНЦІЇ 10/0,4 кВ

Для розрахунку електричної потужності при заданих значеннях напруги (0,4 кВ та 10 кВ) та струму використовують формули для активної, реактивної та повної потужності.

Повна потужність:

$$S = UI$$

Активна потужність:

$$P = UI \cos \varphi$$

Реактивна потужність:

$$Q = UI \sin \varphi$$

Розрахунок будемо проводити для РП 10 кВ та РП 0,4 кВ. Розрахунок будемо проводити по максимально допустимим струмам споживачі, які зазначені на схемі РП в додатку А. Для прикладу візьмемо по одному споживачеві і проведемо розрахунок. Всі інші розрахунки зведемо до таблиці 1.

Так як коефіцієнти потужності навантаження невідомі, то візьмемо  $\cos \varphi = 0,9$ , тоді:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0,9^2} = 0,435$$

Для РП 10 кВ:

– споживач «ТП-ЕЦ»:

$$S = 10000 \cdot 75 = 750 \text{ кВА}$$

$$P = 10000 \cdot 75 \cdot 0,9 = 675 \text{ кВт}$$

$$Q = 10000 \cdot 75 \cdot 0,435 = 326,25 \text{ кВАр}$$

Для РП 0,4 кВ:

– споживач «Лікарня»:

$$S = 380 \cdot 125 = 47,5 \text{ кВА}$$

$$P = 380 \cdot 125 \cdot 0,9 = 42,75 \text{ кВт}$$

$$Q = 380 \cdot 125 \cdot 0,435 = 20,66 \text{ кВАр}$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 10   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Таблиця 1 – Розрахунок потужностей споживачів

| РП 10 кВ                                  |                      |                         |                            |                       |
|---|----------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Споживач                                  | Номинальний струм, А | Активна потужність, кВт | Реактивна потужність, кВАр | Повна потужність, кВА |
| Нас. Свердловина                          | 50                   | 450                     | 217,5                      | 500                   |
| Ввід 1                                    | 75                   | 675                     | 326,25                     | 750                   |
| ВП ПС                                     | 20                   | 180                     | 87                         | 200                   |
| Ввід 2                                    | 200                  | 1800                    | 870                        | 2000                  |
| ТП-ЕЦ                                     | 75                   | 675                     | 326,25                     | 750                   |
| Разом                                     |                      |                         |                            |                       |
| РП 0,4 кВ                                 |                      |                         |                            |                       |
| Зал. будинки, вул. Козацька, дит. Садочок | 125                  | 42,75                   | 20,66                      | 47,5                  |
| Зовнішнє освітлення станції               | 125                  | 42,75                   | 20,66                      | 47,5                  |
| Лікарня                                   | 125                  | 42,75                   | 20,66                      | 47,5                  |
| Власні потреби                            | 80                   | 27,36                   | 13,22                      | 30,4                  |
| Внутрішнє освітлення стрілочних постів    | 100                  | 34,2                    | 16,53                      | 38                    |
| Сушарка                                   | 100                  | 34,2                    | 16,53                      | 38                    |
| Разом                                     |                      | 224,01                  | 108,26                     | 248,9                 |

Як видно з проведених розрахунків по РП 0,4 кВ маємо сумарну споживану повну потужність на рівні 250 кВА. Відповідно до цього можемо зробити висновок, що при одночасній роботі всіх споживачів РП 0,4 кВ буде повне завантаження трансформатора власних потреб.

Даний фактор впливає на надійність схеми та на тривалість строку служби силового обладнання, яким є понижуючий трансформатор.

Тому потрібно провести модернізацію обладнання РП 0,4 кВ та РП 10 кВ з урахуванням розвинення мереж та споживачів власних потреб.

|      |      |          |        |      |                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|      |      |          |        |      | MP 5.8.141.344 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                   | 11   |

### 3. РОЗРАХУНОК СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

#### 3.1 Вибір числа і потужності силових трансформаторів

На основі проведених розрахунків у попередніх розділах та на основі вимог щодо надійності електроспоживачів пропонується модернізувати схеми електропостачання РП 0,4 кВ з встановленням двох силових понижуючих трансформаторів, які будуть живитися від двох різних секцій шин РП 10 кВ. Тому також потрібно змінити режим роботи схеми РП 10 кВ, а саме при одночасній роботі вводів №1 та №2 з вимкненим секційним вимикачем.

Пропонується використати трансформатори GEAFOL 250/10/0,4.

Вибір силових трансформаторів для споживачів на стороні 0,4 кВ ведеться на основі трьох режимів роботи:

– нормальний режим роботи:

$$n \cdot S_{н.тр} \geq S_{max.0,4} \text{ кВА,}$$

де  $n$  – кількість трансформаторів.

$$2 \cdot 160 \geq 248,9 \text{ кВА}$$

– аварійний режим роботи:

$$S_{max.I,II} = 0,85 S_{max0,4} \text{ кВА}$$

$$S_{max.I,II} = 0,85 \cdot 248,9 = 211,56 \text{ кВА}$$

$$(n-1) \cdot 1,4 \cdot S_{н.тр} \geq S_{max0,4}$$

$$(2-1) \cdot 1,4 \cdot 250 \geq 248,9$$

$$350 \geq 248,9$$

– ремонтний режим роботи:

$$(n-1) \cdot S_{н.тр} \geq S_{max0,4} - S_{відкл} \text{ кВА}$$

$$S_{відкл} = 0,7 S_{н.тр}$$

$$S_{відкл} = 0,7 \cdot 250 = 175 \text{ кВА}$$

$$(2-1) \cdot 250 \geq 211,56 - 175$$

$$250 \geq 36,56 \text{ кВА}$$

|      |      |          |        |      |                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|      |      |          |        |      | MP 5.8.141.344 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                   | 12   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

Вибираємо трансформатор типу GEAFOL-250:

Таблиця 2 – Дані силового трансформатора

| Тип    | Ном. потужність<br>кВА | Втрати      |             | Струм  | Напруга   | Ном. Напруга |      |
|--------|------------------------|-------------|-------------|--------|-----------|--------------|------|
|        |                        | Х.Х.<br>кВт | К.З.<br>кВт | Х.Х. % | К.З.<br>% | В.Н.         | Н.Н. |
| GEAFOL | 250                    | 1,25        | 5           | 0,2    | 5         | 10           | 0,4  |

Визначаємо втрати в трансформаторі:

– активні втрати:

$$\Delta P_{mp} = n(\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2),$$

$$\text{де } K_3 = \frac{S_{0,4}}{nS_{н.тр}} = \frac{248,9}{2 \cdot 250} = 0,497$$

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot (1,25 + 5 \cdot 0,497^2) = 4,97 \text{ кВт}$$

– реактивні:

$$\Delta Q_{mp} = n(\Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot K_3^2),$$

$$\text{де } \Delta Q_{XX} = \frac{S_{н.тр} \cdot i_{xx, \%}}{100} = \frac{250 \cdot 0,2}{100} = 0,5 \text{ кВАр},$$

$$\Delta Q_{K3} = \frac{S_{н.тр} \cdot u_{k3, \%}}{100} = \frac{250 \cdot 6}{100} = 15 \text{ кВАр}.$$

$$\Delta Q_{mp} = 2 \cdot (0,5 + 15 \cdot 0,497^2) = 8,41 \text{ кВАр}$$

### 3.2 Перевірка трансформаторів на допустимі систематичні навантаження

Для перевірки на допустимі систематичні перевантаження використовуємо відповідно до чинного ГОСТ 14209-85. З графіка, очевидно, що при нормальній роботі двох трансформаторів коефіцієнт завантаження не перевищує:

$$K_3 = \frac{S_{0,4}}{nS_{н.тр}} = \frac{248,9}{2 \cdot 250} = 0,497$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 13   |

Перевірка на систематичні перевантаження не має сенсу, в нормальному режимі трансформатор не перевантажується, нормальний термін служби і нормальна швидкість старіння ізоляції забезпечена. Тому розглянемо ситуацію виходу з ладу одного з трансформаторів і перевіримо залишеного в роботі трансформатор на систематичні перевантаження.

Коефіцієнт максимального перевантаження:

$$K_{\text{макс}} = \frac{S_{\text{нав}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{248,9}{250} = 0,995$$

Еквівалентна навантаження підстанції часу визначається за рівнянням, кВА:

$$S_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum (S_i^2 t_i)}{t_i}}$$

де  $S_i$  – потужність навантаження;

$t_i$  – тривалість ступеня графіка навантажень, год (беремо за 1 годину).

При умові, що  $S_i < S_{\text{ном}}$ , МВА:

$$S_{\text{э1}} = \sqrt{\frac{248,9}{1}} = 15,77 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт початкового завантаження:

$$K_1 = \frac{S_{\text{э1}}}{S_{\text{ном}}}, \quad (2.4)$$

$$K_1 = \frac{15,77}{250} = 0,063$$

При умові, що  $S_i > S_{\text{ном}}$ , МВА:

$$S_{\text{э2}} = \sqrt{\frac{248,9}{5}} = 7,055$$

Коефіцієнт максимального навантаження:

$$K_2' = \frac{S_{\text{э2}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{7,055}{250} = 0,028$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 14   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Так як  $K_2' = 0,9K_{\text{макс}} = 0,9 \cdot 0,063 = 0,0567$ , то приймаємо  $K_2' = K_2 = 0,0567$ .

За знайденим значенням  $K_1$  та  $K_2$  за графіком електричного навантаження визначають тривалість допустимого перевищення навантаження  $t$ .

При еквівалентній температури охолоджуючого повітря для ПС в зимовий період прийнято - 6,8 °С. ГОСТ 14209 – 85 допускає перевантаження у 24 години.

За нормами максимально допустимих систематичних перевантажень трансформаторів трансформатори з системою охолодження Д при коефіцієнті попереднього завантаження  $K_1 = 0,063$  можна перевантажувати до  $K_2 = 0,0567$  на протязі 12 годин при температурі охолоджуючої середовища не більше +10 °С. Тобто вибрані трансформатори проходять по максимально допустимим систематичним перевантажень, так як  $(0,0567 > 0,028)$ .

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 15   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 4 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ

В процесі експлуатації електричного обладнання підстанції можуть виникати різні види КЗ, які супроводжуються різким збільшенням струму. Тому електричне обладнання, яке встановлюється в системах електропостачання повинно бути стійким до СКЗ, і вибиратися з урахуванням величин цих струмів. Розрахунок струмів короткого замикання проводиться для вибору і перевірки електричного обладнання, а також параметрів електричних апаратів релейного захисту. При необхідності намічаються заходи щодо обмеження струмів короткого замикання.

Точки короткого замикання намічаємо в таких місцях системи, щоб обрані в наступних розрахунках апарати були поставлені в найбільш важкі умови. Найбільш практичними точками є збірні шини всіх напруг.

Намічаємо точки короткого замикання: К1 - на шинах високої напруги підстанції 110 кВ; К2, К3 - на шинах низької напруги 0,4 кВ. Розрахунок ТКЗ ведемо для мінімальних і максимальних режимів. Розрахункова схема для визначення струмів КЗ приведена на рисунку 4.

Замінюючи елементи розрахункової схеми відносними опорами, обчисленими, для випадку трифазного КЗ при базисних умовах складають еквівалентну схему заміщення.

У схему заміщення входять:

1. Джерела живлення (генератори станцій, синхронні компенсатори і т.п.);
2. Елементи зв'язку, по яких протікає струм від джерел живлення до місця пошкодження;
3. Силові трансформатори;
4. Електричні навантаження, які містять високовольтні двигуни, підключені поблизу місця пошкодження.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 16   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Струми короткого замикання в високовольтних мережах змінного струму, що розраховуються за відносними опорам елементів кола ( $X^*$ ) до точки короткого замикання, які визначають при єдиній базовій потужності ( $S_0$ ), базисній напрузі ( $U_0$ ) і базисному струмі ( $I_0$ ).

Базисна потужність однакова для всіх розрахункових точок, вона береться довільна, зазвичай кратною 100 МВА. За базисні величини напруг приймають такі середні значення: 6,3; 10,5; 37; 115; 154; 230; 340 кВ.

Величини базисного струму при цьому різні й залежать від напруги в розрахунковій точці короткого замикання.

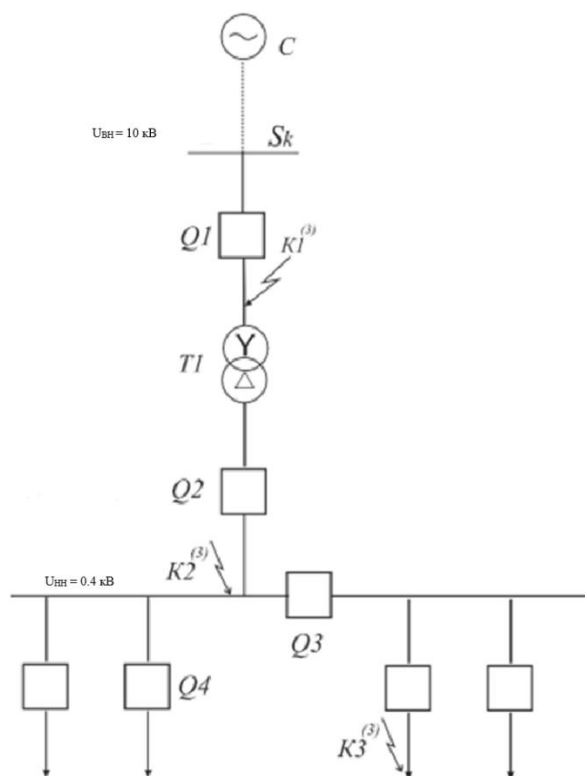


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема для підстанції

У розрахунковій схемі заміщення мережі все елементи замінюються еквівалентними опорами.

Двообмоткові трансформатори, лінійні реактори, повітряні та кабельні лінії замінюються звичайними опорами.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 17   |



Триобмоткові трансформатори, автотрансформатори та трансформатори з розщепленої обмоткою замінюються трипроменевою зіркою.

Генератори, синхронні і асинхронні машини, системи замінюються еквівалентної ЕРС і опором.

Розрахунок струмів короткого замикання можна проводити двома способами - в відносних одиницях і іменованих.

Схема заміщення ПС показана на рисунку 4.2.

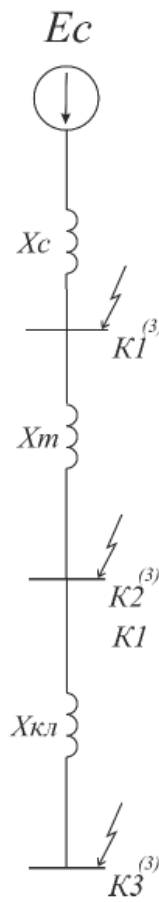


Рисунок 4.2 – Схема заміщення підстанції

Опір електричної системи визначаємо у відносних одиницях.

За даними релейної служби величина потужності КЗ на шинах 10 кВ ПС в максимальному режимі становить відповідно 100 МВА, тобто, враховуючи тільки струм від системи (максимально можливий струм, який протікає через комутаційний апарат  $Q_1$ ), маємо:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 18   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

- періодична складова струму КЗ в мінімальних і максимальних режимах:

$$I_{\text{П0.Смакс}} = \frac{S_{\text{Кмакс}}}{\sqrt{3}U_{1\text{ср}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,78 \text{ кА}$$

- періодична складова струму КЗ для будь-якого моменту часу від системи необмеженої потужності залишається незмінною:

$$I_{\text{Пт.Смакс}} = I_{\text{П0.Смакс}} = 5,78$$

Залежно від місця КЗ будемо мати різні значення постійної часу загасання аперіодичної складової  $T_a$  і ударного коефіцієнту  $K_y$ . Ці значення наведені нижче у табл. 3.

Таблиця 3 – коефіцієнти для розрахунку ТКЗ

| Місце КЗ                               | $T_a$ | $K_y$ |
|--|-------|-------|
| Шини високої напруги 35 кВ             | 0,115 | 1,92  |
| Шини 6 кВ з трансформаторами<br>20 МВА | 0,065 | 1,85  |

Ударний струм КЗ (найбільший пік):

$$i_y = K_y I_{\text{П0.Смакс}} \sqrt{2} = 1,92 \cdot 5,78 \cdot \sqrt{2} = 15,64 \text{ кА}$$

На стороні 10 кВ до установки плануються елегазові вимикачі типу ВРС-10 вітчизняного виробництва, які мають такі характеристики за часом спрацьовування:

- власний час відключення  $t_{\text{вч}} = 25$  мс;
- повний час відключення  $t_{\text{пч}} = 40$  мс.

Аперіодична складова струму КЗ:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 19   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

$$i_{a\tau 1} = \sqrt{2} I_{\text{П0.Смакс}} e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 5,78 \cdot e^{\frac{-0,035}{0,115}} = 6,029 \text{ кА}$$

де  $\tau = t_{\text{вч}} + t_{\text{рз.мін}} = 0,025 + 0,01 = 0,035 \text{ с}$ ;  $t_{\text{рз.мін}} = 0,01$  – приймаємо найменший час спрацьовування релейного захисту;  $\tau$  – найменший час від початку КЗ до розбіжності контактів вимикача.

Розрахуємо струми КЗ від системи на стороні 6 кВ в точці КЗ. Найбільший струм КЗ буде спостерігатися в кабельній лінії в безпосередній близькості від приєднання – його вважаємо рівним максимальному струму в точці К2. Мінімальний струм КЗ спостерігається в кінці кабельної лінії з найбільшим опором. Опір цієї кабельної лінії

- періодична складова струму КЗ:

$$I_{\text{П0.Смакс}} = \frac{S_{\text{Кмакс}}}{\sqrt{3} U_{1\text{ср}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 14,45 \text{ кА}$$

- періодична складова струму КЗ для будь-якого моменту часу від системи необмеженої потужності залишається незмінною:

$$I_{\text{Пт.Смакс}} = I_{\text{П0.Смакс}} = 14,45$$

Опір двобмоткоого трансформатора в максимальному і мінімальному режимах:

$$X_{*T\text{мін}} = \frac{2u_k S_{\text{баз}} (1 - \Delta U_{\text{рнн}})^2}{100 S_{\text{нтр}} \cdot 10^{-3}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 100 \cdot (1 - 0,16)^2}{100 \cdot 25000 \cdot 10^{-3}} = 0,25$$

Сумарний опір до точки КЗ:

$$X_{\Sigma} = X_{*C} + X_{*T} = 0,2 + 0,28 = 0,48$$

Періодична складова струму КЗ від системи (точка К2):

$$I_{\text{но}} = \frac{I_{\text{баз}}}{X_{*\Sigma \text{max}}} = \frac{20,23}{0,25} = 80,92 \text{ кА}$$

Найбільший пік струму КЗ визначаємо:

$$i_{y2} = \sqrt{2} K_y I_{\text{П0макс}} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 144,5 = 376,9 \text{ кА}$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 20   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_{ат1} = \sqrt{2} I_{П0.Смакс} e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 14,45 \cdot e^{\frac{-0,035}{0,115}} = 15,73 \text{ кА}$$

В порядку розрахунків ТКЗ слід визначити тепловий імпульс струму короткого замикання  $B_{\kappa}$ . Тепловий імпульс визначається для кожної з точок КЗ розрахункової схеми. Приймаємо, що на різних рівнях буде встановлено наступне час дії релейного захисту: ввідні вимикачі на боці 110 кВ  $t_{pz} = 1,2$  с; ввідні вимикачі на боці 10 кВ  $t_{pz} = 0,6$  с; поодинокі приєднання споживачів  $t_{pz} = 0,01$  с.

Також враховуємо повний час відключення вимикачів на даному рівні і час загасання аперіодичної складової струму КЗ. Розрахуємо тепловий імпульс для точки КЗ К1. На стороні 35 кВ встановлені елегазові вимикачі типу ВРС-35 з  $t_{nv} = 0,04$  с., а на стороні 6 кВ – вакуумні вимикачі типу ВВ/TEL з  $t_{nv} = 0,055$  с.

$$B_{\kappa1} = I_{П01}^2 (T_{відкл} + T_{a1}) = 5,78^2 \cdot (1,24 + 0,115) = 45,26 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (2.13)$$

де  $T_{відкл} = t_{pz} + t_{nv} = 1,2 + 0,04 = 1,24$  с – час дії струму КЗ, що складається з повного часу відключення вимикача і часу дії основного релейного захисту.

Аналогічно знаходимо тепловий імпульс для точки К2:

$$B_{\kappa2} = I_{П02}^2 (T_{відкл} + T_{a2}) = 14,45^2 \cdot (1,24 + 0,115) = 282,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 5. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ

### 5.1 Вибір перерізу кабельної лінії напругою 10 кВ

Вибираємо провід

– за напругою установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном} \text{ кВ}$$

$$10 \leq 10 \text{кВ}$$

За конструкційними особливостями: ВБбшв 3х50

– за допустимим струмом:

$$I_{роб.мах} \leq I_{доп} \text{ А, де}$$

$$50 \leq 137 \text{ А}$$

Приймаємо кабель ВБбшв 3х50 з  $I_{ном} = 167 \text{ А}$

– по економічній щільності струму:

$$S_e = \frac{I_{р.мах}}{\gamma_e} = \frac{167}{1,2} = 139,16 \text{ мм}^2$$

– вибраний кабель перевіряємо на термічну стійкість:

$$S_{мін} = \frac{\sqrt{B_k}}{c} = \frac{\sqrt{45,26 \cdot 10^6}}{50} = 134,55 \text{ мм}^2$$

$$S_{мін} \leq S_e$$

$$139,16 \leq 134,55 \text{ мм}^2$$

До установки остаточно приймаємо кабель ВБбшв 3х50 з  $I_{ном} = 167 \text{ А}$

Вибір кабелів для інших споживачів занесено до таблиці 4

### 5.2 Вибір перерізу провідників живильної мережі напругою 0.4 кВ

Вибираємо провід

– за напругою установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном} \text{ кВ}$$

$$0,4 \leq 0,4$$

За конструкційними особливостями: ВБбшв 3х70

– за допустимим струмом:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

$$I_{роб.мах} \leq I_{дон} \text{ А, де А}$$

$$125 \leq 358 \text{ А}$$

Приймаємо кабель ВБбшв 3х150 з  $I_{ном} = 358 \text{ А}$

– по економічній щільності струму:

$$S_e = \frac{I_{р.мах}}{\gamma_e} = \frac{358}{1,2} = 298,33 \text{ мм}^2$$

– вибраний кабель перевіряємо на термічну стійкість:

$$S_{мін} = \frac{\sqrt{B_k}}{c} = \frac{\sqrt{282,9 \cdot 10^6}}{70} = 240,28 \text{ мм}^2$$

$$S_{мін} \leq S_e$$

$$240,28 \leq 298,33 \text{ мм}^2$$

До установки остаточно приймаємо кабель ВБбшв 3х150з  $I_{ном} = 358 \text{ А}$

Вибір кабелів для інших споживачів занесено до таблиці 4

Таблиця 4 – Характеристики кабельних ліній споживачів РП 10 кВ та РП 0,4 кВ

| РП 10 кВ                                  |                      |                       |             |
|---|----------------------|-----------------------|-------------|
| Споживач                                  | Номінальний струм, А | Повна потужність, кВА | Кабель      |
| Нас. Свердловина                          | 50                   | 500                   | ВБбшв 3х50  |
| Ввід 1                                    | 75                   | 750                   | ВБбшв 3х50  |
| ВП ПС                                     | 20                   | 200                   | ВБбшв 3х35  |
| Ввід 2                                    | 200                  | 2000                  | ВБбшв 3х70  |
| ТП-ЕЦ                                     | 75                   | 750                   | ВБбшв 3х50  |
| Разом                                     |                      |                       |             |
| РП 0,4 кВ                                 |                      |                       |             |
| Зал. будинки, вул. Козацька, дит. Садочок | 125                  | 47,5                  | ВБбшв 3х150 |
| Зовнішнє освітлення станції               | 125                  | 47,5                  | ВБбшв 3х150 |
| Лікарня                                   | 125                  | 47,5                  | ВБбшв 3х150 |
| Власні потреби                            | 80                   | 30,4                  | ВБбшв 3х120 |
| Внутрішнє освітлення стрілочних постів    | 100                  | 38                    | ВБбшв 3х120 |
| Сушарка                                   | 100                  | 38                    | ВБбшв 3х120 |
| Разом                                     |                      | 248,9                 |             |

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 23   |

## 6. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

### 6.1 Вибір вимикачів та комірок на напругу 10 кВ

Електричні апарати розподільних пристроїв повинні надійно працювати як в нормальному режимі, так і при можливих відхиленнях від нього. При проектуванні електроустановок всі апарати і струмоведучі частини вибирають за умовами тривалої роботи при нормальному режимі і перевіряють за умовами роботи при коротких замиканнях.

Всі електричні апарати і струмоведучі частини піддаються динамічному і термічному впливу струмів короткого замикання. За розрахункове беруть трифазне коротке замикання.

Електродинамічна стійкість характеризується максимально допустимим струмом Електроапарати ( $I_{max}$ ), який повинен бути рівний або більше розрахункового ударного струму трифазного короткого замикання.

Вимикач – це електроапарат, призначений для відключення і включення високого напруги в нормальних і аварійних режимах.

Вимикач є основним комутаційним апаратом в енергоустановках, він служить для відключення і включення цілей в будь-які режими. Найбільш відповідальною і важливою операцією є відключення токів короткого замикання.

До вимикачів високого напруги пред'являються наступні вимоги:

1. Надійне відключення токів будь-якої величини від десятків ампер до номінального току відключень;
2. Швидкодія;
3. Пристосованість до АПВ;
4. Можливість пофазного (полюсного) керування для вимикачів 10 кВ і вище;
5. Зручність ревізії;
6. Вибухопожежобезпеку;
7. Зручність транспортування та обслуговування.

|      |      |          |        |      |                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|      |      |          |        |      | MP 5.8.141.344 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                   | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

Високовольтні вимикачі повинні тривалий час витримувати номінальний струм ( $I_n$ ) і номінальну напругу ( $U_n$ ).

Крім того, вимикачі характеризуються наступними параметрами:

1. Номінальний струм відключень ( $I_{відкл.н}$ );
2. Номінальна потужність відключень ( $S_{відкл.н}$ );
3. Номінальний струм включення ( $I_{вкл.н}$  та  $i_{вкл.н}$ );
4. Власний час відключення ( $t_{с.в.}$ );
5. Час відключення ( $I_{ч.в.}$ );
6. Час включення ( $t_{вкл.}$ ).

Основними конструктивними частинами високовольтних вимикачів є контактна система з дугогасильним пристроєм, струмопровідними частинами, корпусом, ізоляцією і приводним механізмом.

Класифікація високовольтних вимикачів застосовується за наступними признаками:

1. по роду установки;
2. по виду дугогасного середовища;
3. по конструктивному зв'язку між полюсами;
4. по конструктивному зв'язку вимикача з приводом;
5. по наявності або відсутності резисторів, шунтуючих розрядних пристроїв;
6. по наявності або відсутності конденсаторів, шунтуючих розрядних пристроїв;
7. по придатності вимикача для роботи при АПВ.

Порівняння високовольтних вимикачів виконується згідно з наступними умовами:

– по напрузі:

$$U_{уст} \leq U_n$$

де  $U_{уст}$  – робоча напруга установки, кВ;

$U_n$  – номінальна напруга вимикача, кВ.

– по тривалому робочому струму:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



$$I_{роб.мах} \leq I_n$$

де  $I_{роб.мах}$  – максимальний робочий струм установки, А;

$I_n$  – номінальний струм вимикача, А.

– по вимикаючій здібності:

а) перевірка на симетричний струм відключення:

$$I_{nt} \leq I_{відкл.н}$$

де  $I_{nt}$  – діюче значення періодичної складової струму короткого замикання в момент початку розриву контактів, кА;

$I_{відкл.н}$  – номінальний струм відключення, кА;

б) перевірка на асиметричний струм відключення (повний струм короткого замикання з урахуванням аперіодичної складової):

$$(\sqrt{2}I_{nt} + i_{ат}) \leq \sqrt{2}I_{відкл.н}(1 + \beta_n)$$

де  $i_{ат}$  – аперіодична складова струму короткого замикання в момент початку розриву контактів, кА;

$\beta_n$  – номінальне значення відносного вмісту аперіодичної складової в який відключається струм короткого замикання.

– на електродинамічну стійкість:

$$I'' \leq I_{нр.с}$$

$$i_y \leq i_{нр.с}$$

де  $I_{нр.с}$ ,  $i_{нр.с}$  – відповідно діюче і амплітудне значення граничного наскрізного струму короткого замикання (за каталогом), кА;

$I''$  – початкове значення періодичної складової струму короткого замикання в ланцюзі вимикача, кА;

$i_y$  – ударний струм короткого замикання в ланцюзі вимикача.

– на термічну стійкість:

$$B_r \leq I_t^2 t_T$$

де  $B_r$  – теплової імпульс за розрахунком, кА<sup>2</sup>с;

$I_t$  – граничний струм термічної стійкості, кА;

$t_T$  – тривалість протікання граничного струму термічної стійкості, с.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 26   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Таблиця 5 – Вибір вимикачів 10 кВ

| Розрахункові величини                | Каталожні дані вимикача типу ВРС-6 | Умови перевірки   |
|--------------------------------------|------------------------------------|---|
| $U_{уст.} = 10$ кВ                   | $U_H = 10$ кВ                      | $U_{уст.} \leq U_H$   |
| $I_{роб.мах} = 200$ А                | $I_H = 1250$ А                     | $I_{роб.мах} \leq I_H$  |
| $I_{nt} = 5,78$ кА                   | $I_{відкл.н} = 40$ кА              | $I_{nt} \leq I_{відкл.н}$   |
| $I'' = 5,78$ кА                      | $I_{нр.с} = 40$ кА                 | $I'' \leq I_{нр.с}$   |
| $i_y = 15,64$ кА                     | $i_{нр.с.} = 40$ кА                | $i_y \leq i_{нр.с}$   |
| $\sqrt{2}I_{nt} + i_{at} = 6,029$ кА | $\beta = 40$                       | $(\sqrt{2}I_{nt} + i_{at}) \leq \sqrt{2}I_{відкл.н}(1 + \beta_H)$ |
| $B_K = 45,26$ кА <sup>2</sup> · с    | $B_T = 125$ кА <sup>2</sup> · с    | $B_K \leq B_T$  |

## 6.2 Вибір вимикачів 0,4 кВ

Вибір вимикачів 0,4 кВ проводиться за аналогією вибору вимикачів 10 кВ

Таблиця 6 – Вибір вимикачів 0,4 кВ

| Розрахункові величини                | Каталожні дані вимикача типу EATON NZMN3-4-A400 | Умови перевірки   |
|--------------------------------------|---|---|
| $U_{уст.} = 0,4$ кВ                  | $U_H = 0,4$ кВ                                  | $U_{уст.} \leq U_H$   |
| $I_{роб.мах} = 125$ А                | $I_H = 400$ А                                   | $I_{роб.мах} \leq I_H$  |
| $I_{nt} = 14,45$ кА                  | $I_{відкл.н} = 50$ кА                           | $I_{nt} \leq I_{відкл.н}$   |
| $I'' = 14,45$ кА                     | $I_{нр.с} = 50$ кА                              | $I'' \leq I_{нр.с}$   |
| $i_y = 367,9$ кА                     | $i_{нр.с.} = 480$ кА                            | $i_y \leq i_{нр.с}$   |
| $\sqrt{2}I_{nt} + i_{at} = 15,73$ кА | $\beta = 50$                                    | $(\sqrt{2}I_{nt} + i_{at}) \leq \sqrt{2}I_{відкл.н}(1 + \beta_H)$ |
| $B_K = 282,9$ кА <sup>2</sup> · с    | $B_T = 640$ кА <sup>2</sup> · с                 | $B_K \leq B_T$  |

## 6.3 Вибір роз'єднувачів

Роз'єднувач – комутаційний апарат високої напруги, призначений для включення під напругу і відключення ділянок без струму навантаження.

Роз'єднувач, котрий не ввімкнений, повинен мати видимий розімкнутий

проміжок, який гарантує безпеку робіт на відключених ділянках кола.

Арк.

MP 5.8.141.344 ПЗ

27

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

Роз'єднувачем можна робити включення і відключення ємнісних струмів лінії, струмів холостого ходу трансформаторів і струмів невеликих навантажень в межах природного комутаційної здатності контактних ножів роз'єднувачів.

Роз'єднувач може забезпечуватися прибудованими заземлюючими ножами для заземлення відключених ділянок кола. Роз'єднувач і його заземлювальні ножі приводяться в дію відповідними приводами, які можуть бути об'єднані в один агрегат.

Роз'єднувач – це апарат, найбільш широко застосовуваний в розподільних пристроях. Він органічно пов'язаний з принциповою схемою і конструкцією розподільних пристроїв. Різноманіття схем і конструкцій розподільних пристроїв диктує необхідність різноманітних конструктивних виконань роз'єднувачів.

Конструктивна відмінність між окремими типами роз'єднувачів складається, перш за все, в характері руху рухомого контакту (ножа). За цією ознакою розрізняють роз'єднувачі:

1. вертикально - поворотного типу;
2. горизонтально - поворотного типу;
3. катаючого типу;
4. хитаючого типу;
5. зі складним ножем;
6. підвісного типу;

Є також і інші, менш поширені конструкції роз'єднувачів.

Роз'єднувачі можуть відрізнятися:

1. за кількістю полюсів;
2. по способу управління;
3. за наявністю або відсутністю заземлюючих ножів;
4. за способом установки;
5. за родом установки;
6. по довжині шляху витоку ізоляції.

Дослідження роз'єднувачів проводиться за наступними умовами:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>MP 5.8.141.344 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 28   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

– по напрузі:

$$U_{уст} \leq U_n$$

де  $U_{уст}$  – робоча напруга установки, кВ;

$U_n$  – номінальна напруга роз'єднувача, кВ.

– по тривалому робочому струму:

$$I_{роб.мах} \leq I_n$$

де  $I_{роб.мах}$  – максимальний робочий струм установки, А;

$I_n$  – номінальний струм роз'єднувача, А.

– на електродинамічну стійкість:

$$i_y \leq i_{дин.н}$$

де  $i_y$  – ударний струм короткого замикання, кА;

$i_{дин.н}$  – амплітуда граничного наскрізного струму короткого замикання, кА.

– на термічну стійкість:

$$B_r \leq I_t^2 t_T$$

де  $B_r$  – теплової імпульс за розрахунком, кА<sup>2</sup>с;

$I_t$  – граничний струм термічної стійкості, кА;

$t_T$  – тривалість протікання граничного струму термічної стійкості, с.

Для підстанції досліджуємо роз'єднувачі типу РНД 35/1000 ХЛ1.

Каталожні дані роз'єднувачів, перевірка їх за умовами порівняння наведені в табл. 7, табл. 8.

Таблиця 7 – Вибір роз'єднувача на стороні 10 кВ

| Розрахункові величини             | Каталожні дані роз'єднувача типу РЛНДЗ-10/400 У1 | Умови перевірки        |
|-----------------------------------|--|------------------------|
| $U_{уст} = 10$ кВ                 | $U_n = 10$ кВ                                    | $U_{уст} \leq U_n$     |
| $I_{роб.мах} = 200$ А             | $I_n = 400$ А                                    | $I_{роб.мах} \leq I_n$ |
| $i_y = 15,64$ кА                  | $i_{дин.н} = 63$ кА                              | $i_y \leq i_{нр.с}$    |
| $B_k = 45,26$ кА <sup>2</sup> · с | $B_\tau = 1200$ кА <sup>2</sup> · с              | $B_k \leq B_\tau$      |

Таблиця 8 – Вибір роз'єднувача на стороні 0,4 кВ

| Розрахункові величини             | Каталожні дані роз'єднувача типу РПС-400 | Умови перевірки        |
|-----------------------------------|--|------------------------|
| $U_{уст.} = 0,4$ кВ               | $U_n = 0,4$ кВ                           | $U_{уст.} \leq U_n$    |
| $I_{роб.мах} = 125$ А             | $I_n = 400$ А                            | $I_{роб.мах} \leq I_n$ |
| $i_y = 367,9$ кА                  | $i_{дин.н} = 400$ кА                     | $i_y \leq i_{нр.с}$    |
| $B_k = 282,9$ кА <sup>2</sup> · с | $B_\tau = 1200$ кА <sup>2</sup> · с      | $B_k \leq B_\tau$      |

#### 6.4 Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму призначені для зменшення первинного струму до величини, найбільш зручної для вимірювальних приладів і реле, а також для визначення кіл вимірювання та захисту від первинних кіл високої напруги.

Величина номінального вторинного струму прийнята 5 А і 1 А.

Трансформатори струму вносять в вимірювання наступні похибки:

1. Струмова похибка;
2. Кутова похибка.

Величина похибки трансформатора струму залежить від його конструктивних даних: перетин сердечника, магнітної проникності матеріалу сердечника, середньої довжини магнітного шляху і т.д. Залежно від пропонованих вимог випускаються трансформатори струму з класами точності: 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Зазначені цифри являють собою величину струмового похибки у відсотках від номінального струму. Для трансформаторів струму класів точності 0,2; 0,5 і 1 нормується також і кутова похибка.

Трансформатори струму класу точності 0,2 застосовуються для приєднання точних лабораторних приладів; класу 0,5 – для приєднання лічильників грошового розрахунку; класу 1 – для всіх технічних вимірювальних приладів; класів 3 і 10 - для релейного захисту.

Трансформатори струму бувають для внутрішньої і зовнішньої установки.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

За типом первинної обмотки розрізняють:

1. котушкові трансформатори струму;
2. одновиткові трансформатори струму;
3. багатовиткові трансформатори струму.

В установках 10 кВ і більше широко застосовуються трансформатори струму, вбудовані в прохідні втулки силових трансформаторів або бакових вимикачів. Первинною обмоткою таких трансформаторів струму є стрижень втулки. При невеликих первинних токах клас точності цих трансформаторів струму – 3 або 10. При первинних струмах 1000 – 2000 А можлива робота в класі точності 0.5.

Трансформатори струму вибираються за наступними умовами:

– по напрузі:

$$U_{уст} \leq U_n$$

де  $U_{уст}$  – робоча напруга установки, кВ;

$U_n$  – номінальна напруга трансформатора струму, кВ.

– по тривалому робочому струму:

$$I_{роб.мах} \leq I_n$$

де  $I_{роб.мах}$  – максимальний робочий струм установки, А;

$I_n$  – номінальний трансформатора струму, А.

Номінальний струм трансформатора струму повинен бути якомога ближче до робочого струму установки, тому що недовантаження первинної обмотки призводить до збільшення похибки на динамічну стійкість:

– на електродинамічну стійкість:

$$i_y \leq K_D \sqrt{2} I_n$$

де  $i_y$  – ударний струм короткого замикання, кА;

$K_D$  – кратність динамічної стійкості (по каталогу).

– на термічну стійкість:

$$B_K \leq (K_T I_T)^2 t_T$$

де  $B_K$  – теплової імпульс за розрахунком, кА<sup>2</sup>с;

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 31   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

$K_T$  - кратність термічної стійкості (по каталогу);  $t_T$  – час термічної стійкості (по каталогу).

– по вторинному навантаженню:

$$Z_2 \leq Z_n$$

де  $Z_2$  – вторинне навантаження трансформатора струму,

$Z_n$  – номінальне навантаження трансформатора струму в обраному класі точності.

– по конструкції і класу точності.

При дослідженні трансформаторів струму необхідно розрахувати навантаження вторинної обмотки.

Таблиця 9 – Розрахунок навантаження трансформаторів струму

| Найменування Приладу       | Тип приладу | Навантаження трансформатора струму, А |        |        |
|----------------------------|-------------|---------------------------------------|--------|--------|
|                            |             | Фаза А                                | Фаза В | Фаза С |
| Лічильник активної енергії | И – 680     | 3,5                                   |        | 3,5    |
| Амперметр                  | Н – 344     |                                       | 12     |        |
| Ватметр                    | Д – 335     | 10                                    |        | 10     |
| Загалом                    |             | 13,5                                  | 12     | 13,5   |

Клас точності трансформаторів струму вибираємо 0,5

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 32   |

Таблиця 10 – Вибір трансформаторів струму 10 кВ

| Розрахункові величини                     | Каталожні дані           | Умови вибору                  |
|---|--------------------------|-------------------------------|
| $U_{уст.} = 10 \text{ кВ}$                | $U_n = 10 \text{ кВ}$    | $U_{уст.} \leq U_n$           |
| $I_{роб.мах} = 200 \text{ А}$             | $I_n = 250 \text{ А}$    | $I_{роб.мах} \leq I_n$        |
| $S_2 = 14 \text{ ВА}$                     | $S_{2н} = 30 \text{ ВА}$ | $S_2 \leq S_{2н}$             |
| $i_y = 15,64 \text{ кА}$                  | $K_{дин} = 127$          | $i_y \leq K_{д} \sqrt{2} I_n$ |
| $B_k = 45,26 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $K_T = 50$               | $B_k \leq (K_T I_T)^2$        |

Таблиця 11 – Вибір трансформаторів струму 0,4 кВ

| Розрахункові величини                     | Каталожні дані           | Умови вибору                  |
|---|--------------------------|-------------------------------|
| $U_{уст.} = 0,4 \text{ кВ}$               | $U_n = 0,4 \text{ кВ}$   | $U_{уст.} \leq U_n$           |
| $I_{роб.мах} = 125 \text{ А}$             | $I_n = 150 \text{ А}$    | $I_{роб.мах} \leq I_n$        |
| $S_2 = 14 \text{ ВА}$                     | $S_{2н} = 30 \text{ ВА}$ | $S_2 \leq S_{2н}$             |
| $i_y = 367,9 \text{ кА}$                  | $K_{дин} = 300$          | $i_y \leq K_{д} \sqrt{2} I_n$ |
| $B_k = 282,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $K_T = 30$               | $B_k \leq (K_T I_T)^2$        |

Визначаємо опір сполучних проводів:

$$R_{пров} = \frac{S_{2н} - S_2 - I^2 R_k}{I^2}$$

де  $S_{2н}$  – номінальне навантаження вторинного ланцюга трансформатора струму, ВА;

$S_2$  – розрахункове навантаження вторинного ланцюга трансформатора струму, ВА;

$R_k$  – опір контактів, Ом;

$I$  – струм вторинної обмотки трансформатора струму, А.

$$R_{пров} = \frac{30 - 14 - 5^2 \cdot 0,05}{5^2} = 0,59 \text{ Ом}$$

Визначаємо перетин сполучних проводів для трансформатора струму:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 33   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



$$S = \frac{l}{\rho R_{пров}}$$

де  $l$  – розрахункова довжина сполучних проводів, що залежить від довжини кабелю і схеми з'єднання трансформатора струму.

$$S = \frac{75}{55,5 \cdot 0,59} = 2,29 \text{ мм}^2$$

Приймаємо мідний дріт з перетином  $S = 2,5 \text{ мм}^2$

Приймаємо трансформатори струму типу ТФЗМ-10-250/5У1 на сторону 10 кВ та трансформатори струму ІМЕ ТА432 на сторону 0,4 кВ

### 6.5 Вибір трансформаторів напруги

Трансформатор напруги призначений для зниження високої напруги до стандартної величини 100 В і для відділення ланцюгів вимірювання та релейного захисту від первинних ланцюгів високої напруги.

Трансформатор напруги має замкнутий сердечник і дві обмотки – первинну і вторинну. Первинна обмотка підключається на напругу мережі, а до вторинної обмотки приєднані котушки вимірювальних приладів і реле.

Трансформатор напруги працює в режимі близькому до режиму холостого ходу, тому опір котушок приладів і реле має бути великим, а струм споживаний їм невеликий.

Трансформатор напруги вносить у виміри такі похибки:

1. похибка по напрузі;
2. кутова похибка.

Величина похибки залежить від конструкції сердечника, магнітної проникності сталі, від величини  $\cos\phi$  і навантаження. У конструкції трансформаторів напруги передбачається компенсація похибки по напрузі шляхом деякого зменшення числа витків первинної обмотки, а також компенсація кутовий похибки за рахунок спеціальних компенсуючих обмоток.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 34   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Залежно від величини похибки розрізняють класи точності трансформаторів напруги 0.2; 0.5; 1; 3.

Трансформатори напруги розрізняють:

1. по конструкції:

а) трифазні; б) однофазні;

2. за типом ізоляції:

а) сухі; б) масляні.

Трансформатори напруги перевіряються за наступними умовами:

– по напрузі:

$$U_{уст} \leq U_n$$

де  $U_{уст}$  – робоча напруга установки, кВ;

$U_n$  – номінальна напруга трансформатора струму, кВ.

– по вторинному навантаженню:

$$S_2 \leq S_n$$

де  $S_2$  – сумарне навантаження всіх вимірювальних приладів, приєднаних до трансформатора напруги, ВА;

$S_n$  – номінальна потужність в обраному класі точності, ВА;

– по конструкції і класу точності.

При перевірці трансформатора напруги необхідно розрахувати навантаження вторинної обмотки:

Таблиця 12 – Вторинне навантаження трансформатора напруги

| Найменування приладу       | Тип Приладу | Кількість приладів | Потужність однієї котушки, ВА | Число котушок | cosφ | sinφ | Загальна споживана потужність |        |
|----------------------------|-------------|--------------------|-------------------------------|---------------|------|------|-------------------------------|--------|
|                            |             |                    |                               |               |      |      | P, Вт                         | Q, ВАр |
| Вольтметр                  | Э-335       | 4                  | 2,2                           | 1             | 1    | 0    | 2,2                           | –      |
| Ваттметр                   | Д-335       | 3                  | 1,7                           | 3             | 1    | 0    | 5,1                           | –      |
| Лічильник активної енергії | И-680       | 2                  | 2,5                           | 2             | 0,35 | 0,9  | 5                             | 9,6    |
| Загалом                    |             |                    |                               |               |      |      | 34,1                          | 9,6    |

|      |      |          |        |      |                          |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          |  |  |  | 35   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |  |  |  |      |

Розраховуємо вторинне навантаження трансформатора напруги:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{прил}}^2 + Q_{\text{прил}}^2}$$

де  $P_{\text{прил}}$  – споживана приладами активна потужність, Вт;

$Q_{\text{прил}}$  – реактивна потужність споживана приладами, ВАр.

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{34,1^2 + 9,6^2} = 35,42 \text{ ВА}$$

Приймаємо трансформатор напруга типу НТМИ-10 УЗ. Паспортні дані трансформатора напруги і умови його перевірки наведені в табл. 9.

Таблиця 13 – Вибір трансформаторів напруги

| Розрахункові величини             | Каталожні дані трансформатора напруги типу НТМИ-10 УЗ | Умови перевірки                    |
|-----------------------------------|---|------------------------------------|
| $U_{\text{уст.}} = 10 \text{ кВ}$ | $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$                        | $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}$ |
| $S_{2\Sigma} = 35,42 \text{ ВА}$  | $S_{\text{н}} = 200 \text{ ВА}$                       | $S_2 \leq S_{\text{н}}$            |

### 6.6 Вибір оперативного струму і джерел живлення

Вид оперативного струму визначається типами обраних вимикачів (приводів), а також схемами релейного захисту та автоматики. Для проектованої підстанції застосуємо випрямлений оперативний струм, тому що ми вибрали обладнання, яке забезпечені потужними електромагнітними приводами і складними швидкодіючими захистами.

На проектованій підстанції для живлення приводів високовольтних вимикачів застосуємо блоки живлення БПТ-1002 і БПН-1002, тому що вони більш потужні (вихідна потужність до 1200 Вт, напруга 220 В).

Блоки живлення БП-11 і БП-101 використовуватимемо для живлення релейного захисту та автоматики.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 6.7 Регулювання напруги на підстанції

Для нормальної роботи споживачів необхідно підтримувати певний рівень напруги на шинах ПС. В електричних мережах передбачаються різні способи регулювання, одним з яких є зміна коефіцієнта трансформації трансформаторів.

Обмотки трансформаторів забезпечуються додатковими відгалуженнями, за допомогою яких можна змінювати коефіцієнт трансформації. Перемикання відгалужень може відбуватися без навантаження (ПБЗ), тобто після відключення всіх обмоток від мережі або під навантаженням (РПН).

На силових трансформаторах підстанції встановлені пристрої РПН. Регулювання під навантаженням дозволяє перемикаєти відгалуження обмотки трансформатора без розриву кола. Регулювальні ступені виконуються на стороні ВН, так як менший за значенням струм дозволяє полегшити перемикаючий пристрій. Для збільшення діапазону регулювання без збільшення числа відгалужень застосовують ступені грубого і тонкого регулювання.

## 6.8 Вибір трансформатора власних потреб

Потужність трансформаторів власних потреб вибираємо по навантаженнях власних потреб підстанції з урахуванням коефіцієнта завантаження і одночасності. Визначаємо навантаження власних потреб підстанції та представляємо їх у вигляді таблиці 13.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Таблиця 14 – Навантаження власних потреб

| Вид споживача                               | Встановлена потужність   |           |         | cos | tg   | Навантаження |      |
|---|--------------------------|-----------|---------|-----|------|--------------|------|
|   | Одинична потужність, кВт | Кількість | Загалом |     |      | P            | Q    |
| Охолодження трансформатора                  | 1,5                      | 2         | 3       | 0,9 | 0,62 | 3            | 1,44 |
| Підігрів КРП                                | 1                        | 18        | 18      | 1   | 0    | 18           | 0    |
| Підігрів ВРС                                | 4,2                      | 4         | 16,8    | 1   | 0    | 16,8         | 0    |
| Підігрів приводів роз'єднувачів             | 1,2                      | 8         | 9,6     | 1   | 0    | 9,6          | 0    |
| Опалення, вентиляція, освітлення ЗРП-0,4 кВ |                          |           | 40      | 1   | 0    | 40           | 0    |
| Освітлення РП 10 кВ                         |                          |           | 4       | 1   | 0    | 4            | 0    |
| УПНС УЗ                                     | 2                        | 4         | 8       | 1   | 0    | 8            | 0    |
| Експлуатація та ремонтна навантаження       |                          |           | 32      | 1   | 0    | 32           | 0    |
| Всього:                                     |                          |           |         |     |      | 131,4        | 1,44 |

Розрахункове навантаження власних потреб:

$$S_{розр} = K_c \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S_{розр} = 0,8 \cdot \sqrt{131,4^2 + 1,44^2} = 105,12 \text{ кВА}$$

де  $K_c = 0,8$  – коефіцієнт попиту.

Потужність трансформаторів власних потреб:

$$S_{ТВП} = \frac{S_{розр}}{K_{авар}}$$

$$S_{ТВП} = \frac{105,12}{1,4} = 75,09$$

де  $K_{авар} = 1,4$  – коефіцієнт допустимої аварійної перевантаження.

Приймаються до установки два трансформатора типу ТМ-100/6,3.  
Встановлюємо в окремому приміщенні.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 7. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ФІДЕРІВ

Для надійного захисту фідерів від струмів короткого замикання і перевантажень необхідно правильно визначити струми уставок захисної апаратури. Визначимо величину уставок струмової відсічки (СВ) і максимального струмового захисту (МСЗ). Уставки апаратів захисту будемо визначати виходячи, з величини потужності приймача і довжини лінії, наведених у таблиці 14.

Таблиця 15 – Дані по приєднанням

| РП 10 кВ                                  |                      |                         |                            |                       |
|---|----------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Споживач                                  | Номінальний струм, А | Активна потужність, кВт | Реактивна потужність, кВАр | Повна потужність, кВА |
| Нас. Свердловина                          | 50                   | 450                     | 217,5                      | 500                   |
| Ввід 1                                    | 75                   | 675                     | 326,25                     | 750                   |
| ВП ПС                                     | 20                   | 180                     | 87                         | 200                   |
| Ввід 2                                    | 200                  | 1800                    | 870                        | 2000                  |
| ТП-ЕЦ                                     | 75                   | 675                     | 326,25                     | 750                   |
| Разом                                     |                      |                         |                            |                       |
| РП 0,4 кВ                                 |                      |                         |                            |                       |
| Зал. будинки, вул. Козацька, дит. Садочок | 125                  | 42,75                   | 20,66                      | 47,5                  |
| Зовнішнє освітлення станції               | 125                  | 42,75                   | 20,66                      | 47,5                  |
| Лікарня                                   | 125                  | 42,75                   | 20,66                      | 47,5                  |
| Власні потреби                            | 80                   | 27,36                   | 13,22                      | 30,4                  |
| Внутрішнє освітлення стрілочних постів    | 100                  | 34,2                    | 16,53                      | 38                    |
| Сушарка                                   | 100                  | 34,2                    | 16,53                      | 38                    |
| Разом                                     |                      | 224,01                  | 108,26                     | 248,9                 |

Визначимо величину струму уставки МТЗ для відходить для Вводу 1.

|      |      |          |        |      |                          |            |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк.<br>39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |            |

Визначимо номінальний струм,  $I_n$  лінії. Від даного фідера отримує живлення навантаження потужністю 0,75 МВА.

$$I_n = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_n} = \frac{0,75}{\sqrt{3} \cdot 10} = 43,301 \text{ А} \quad (2.39)$$

де  $S_m$  – максимальна потужність приєднання, МВА;

$U_n$  – середня номінальна напруга, кВ. Визначимо струм спрацьовування захисту.

$$I_{ср.з.} = \frac{K_n K_z I_n}{K_B} = \frac{1,3 \cdot 1,25 \cdot 43,301}{0,95} = 71,105 \text{ А} \quad (2.40)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт надійності, дорівнює 1,3;

$K_z$  – коефіцієнт самозапуску двигуна, дорівнює 1,25;

$K_B$  – коефіцієнт повернення реле, дорівнює 0,95;

Визначимо струм спрацьовування реле:

$$I_{ср.р.} = \frac{I_{ср.з.}}{K_{тт}} = \frac{71,105}{80} = 0,889 \text{ А} \quad (2.41)$$

де  $K_{тт}$  – коефіцієнт трансформації трансформатора струму,  $400/5 = 80$ .

Визначимо коефіцієнт чутливості захисту:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{кз.мін}}{I_{ср.з.}} = \frac{5780}{71,105} = 81,28 \quad (2.42)$$

де  $I_{кз.мін}$  – мінімальний струм короткого замикання.

Визначимо величину струму уставки струмової відсічки. При розрахунку величини струму уставки довжину лінії візьмемо 20% від реальної, т. як. струмова відсічка повинна мати більшу чутливість.

Визначимо струм спрацьовування захисту:

$$I_{ср.з.} = 1,2 I_{к.макс.} = 1,2 \cdot 5,78 = 6,93 \text{ кА} \quad (2.43)$$

де  $I_{к.макс.}$  – максимальний струм короткого замикання, А.

Визначимо струм спрацьовування реле:

$$I_{ср.р.} = \frac{I_{ср.з.}}{K_{тт}} = \frac{6,93}{80} = 0,086 \text{ А} \quad (2.44)$$

Визначимо коефіцієнт чутливості реле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{кз.мін}}{I_{ср.з.}} = \frac{5780}{6930} = 0,83 \quad (2.42)$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 40   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Таблиця 16 – Результати розрахунку захисту фідерів

| РП 10 кВ                                  |          |               |               |        |                |               |       |
|---|----------|---------------|---------------|--------|----------------|---------------|-------|
| № фідера                                  | МСЗ      |               |               |        | СВ             |               |       |
|   | $I_n, A$ | $I_{ср.з}, A$ | $I_{ср.р}, A$ | $K_ч$  | $I_{ср.з}, кА$ | $I_{ср.р}, A$ | $K_ч$ |
| Нас. Свердловина                          | 50       | 47,403        | 0,593         | 121,93 | 5,78           | 0,086         | 0,83  |
| Ввід 1                                    | 75       | 71,105        | 0,889         | 81,288 | 5,78           | 0,086         | 0,83  |
| ВП ПС                                     | 20       | 18,961        | 0,237         | 304,83 | 5,78           | 0,086         | 0,83  |
| Ввід 2                                    | 200      | 189,614       | 2,37          | 30,483 | 5,78           | 0,086         | 0,83  |
| ТП-ЕЦ                                     | 75       | 71,105        | 0,889         | 81,288 | 5,78           | 0,086         | 0,83  |
| РП 0,4 кВ                                 |          |               |               |        |                |               |       |
| Зал. будинки, вул. Козацька, дит. Садочок | 125      | 112,583       | 1,407         | 51,34  | 17,34          | 0,433         | 0,833 |
| Зовнішнє освітлення станції               | 125      | 112,583       | 1,407         | 51,34  | 17,34          | 0,433         | 0,833 |
| Лікарня                                   | 125      | 112,583       | 1,407         | 51,34  | 17,34          | 0,433         | 0,833 |
| Власні потреби                            | 80       | 72,053        | 0,901         | 80,218 | 17,34          | 0,433         | 0,833 |
| Внутрішнє освітлення стрілочних постів    | 100      | 90,067        | 1,126         | 64,175 | 17,34          | 0,433         | 0,833 |
| Сушарка                                   | 100      | 90,067        | 1,126         | 64,175 | 17,34          | 0,433         | 0,833 |

Для захисту фідерів застосовуємо мікропроцесорний блок РС83-АВ2.

Термінал РС83-АВ2 включає в себе наступні основні функції:

1. Максимальний струмовий захист (МСЗ) – відключає фідер при перевищенні струму уставки з витримкою часу. Струмова відсічка відключає фідер без витримки часу при появі в мережі великих струмів короткого замикання. Прискорення МСЗ автоматично вводиться при включенні вимикача і після роботи АПВ на час 0,5 с., при цьому час МСЗ зменшується до 0 с;
2. Струмова відсічка (СВ) від міжфазних КЗ і замикань на землю;
3. Захист від зниження і підвищення напруги нульової послідовності;
4. Захист від теплового перевантаження;
5. Захист від замикань на землю (на ПЛ може працювати на сигнал, на КЛ на відключення). На даному терміналі реалізуємо функцію включення фідера

|      |      |          |        |      |                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|      |      |          |        |      | MP 5.8.141.344 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                   | 41   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |



від ЧАПВ, а також функції ПРВВ (пристрій резервування відмови вимикача) – тобто, при відмові вимикача відходить фідера йде сигнал на відключення вимикача вводу 10 кВ і секційного вимикача;

6. На терміналі можливо реалізувати логічний захист шин (ЛЗШ). ЛЗШ працює наступним чином: при КЗ на лінії, що відходить, запускається захист цієї лінії і, можливо, захист вводу 10 кВ. При цьому МСЗ фідера і вводу працюють із заданими тимчасовими уставками. Якщо запускається захист вводу 10 кВ, а жоден з захистів фідерів не відкривається, то витримка часу МСЗ вводу 10 кВ знижується до 0,25 с;

Термінал передбачає вимір наступних параметрів:

- Струми фаз;
- Напругу фаз, лінійні напруги;
- Потужність активна, реактивна і повна;
- Енергія, частота,  $\cos$ ;
- Відстань до місця КЗ.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>MP 5.8.141.344 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 42   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 8. РОЗРАХУНОК ГРОЗОЗАХИСТУ ПС 10/0,4 КВ

Захист ВРУ станції здійснюється, як правило, блискавковідводами, які встановлюються на конструкціях ВРУ.

– висота блискавковідводу:  $h = 8$  м;

– розрахункова висота, для якої визначаються зони захисту:  $h_x = 5$  м.

$$2/3h = 2/3 \cdot 8 = 5,3 \text{ м} > h_x = 5 \text{ м.}$$

Радіус та ширина зони захисту блискавковідводу

$$r_x = 1,5 \cdot (h - 1,25 \cdot h_x) \text{ при } 0 \leq h_x \leq 2/3 h;$$

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) \text{ при } 0 \leq h_x \leq 2/3 h,$$

де  $h_0$  – висота зони захисту всередині прогону між блискавковідводами, м;

$$h_0 = 4h - \sqrt{9h^2 + 0,25L^2}$$

де  $L$  – відстань між блискавковідводами, м.

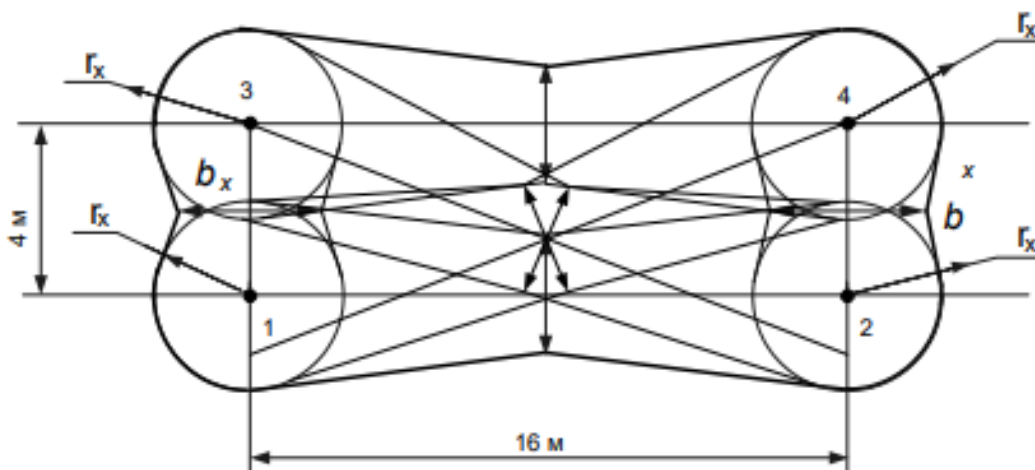


Рисунок 7.1 – Виконання грозозахисту

Також необхідно вибрати ОПН 10 кВ для захисту трансформаторів.

Пристрій ОПН приймаємо типу ОПНп-10/12/10 УХЛ1 та ОПН-4 для захисту силових трансформаторів.

|      |      |          |        |      |                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
|      |      |          |        |      | MP 5.8.141.344 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                   | 43   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                   |      |

## 9. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 9.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Для забезпечення безпечних умов праці на підстанції 10/0,4 кВ необхідно провести ретельний аналіз можливих небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Цей процес включає кілька ключових етапів:

Ідентифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Першочерговим завданням є виявлення всіх потенційних загроз, притаманних даному виробничому об'єкту. До них можна віднести:

Електричний струм. Персонал може зазнати ураження через контакт з високовольтним обладнанням на стороні 10 кВ (трансформатори, вимикачі, роз'єднувачі), рухомими частинами механізмів, а також статичну електрику, що накопичується на металевих конструкціях.

Підвищена напруга в електричному колі. Існує ризик замикання через тіло людини на корпус обладнання чи металеві конструкції.

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань. Джерелами можуть бути силові трансформатори, кабельні лінії та розподільчі пристрої.

Підвищений рівень шуму та вібрації. Ці фактори генеруються трансформаторами, вентиляційним та іншим обладнанням.

Несприятливі параметри мікроклімату. Можливе підвищення або зниження температури повітря, а також підвищена запиленість та загазованість.

Недостатня освітленість робочої зони. Особливо актуально для закритих приміщень підстанції.

Можливість падіння з висоти. Під час проведення ремонтних та обслуговуючих робіт на опорах, конструкціях.

Для кожного виявленого фактора необхідно оцінити:

Ймовірність реалізації небезпечної події (низька, середня, висока)

Можливі наслідки (легкі травми, важкі травми, летальний випадок)

Загальну оцінку ризику (незначний, помірний, високий, неприйнятний)

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 44   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Сукупний ризик визначається як найбільш високий ризик серед усіх виявлених факторів.

Розробка заходів з мінімізації ризиків

На основі проведеної оцінки слід розробити комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків:

Технічні заходи:

Встановлення систем захисного заземлення та блискавкозахисту

Електромагнітне екранування обладнання

Застосування звукоізоляції та віброгасіння

Впровадження систем вентиляції та кондиціонування

Забезпечення раціонального освітлення робочих зон

Організаційні заходи:

Проведення інструктажів, навчання та допуску персоналу до робіт

Встановлення режимів праці та відпочинку

Контроль параметрів мікроклімату

Використання засобів індивідуального захисту

Документування результатів

Заключним етапом є належне документальне оформлення результатів аналізу:

Складання протоколів оцінки ризиків

Внесення змін до інструкцій з охорони праці

Розробка плану організаційно-технічних заходів

Затвердження документації керівництвом

Комплексний підхід до аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів на підстанції 10/0,4 кВ є запорукою створення безпечних умов праці та мінімізації ризиків для здоров'я і життя персоналу.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>MP 5.8.141.344 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 45   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 9.2 Розрахунок заземлюючого контуру ПС 10/0,4 кВ

Розрахунок заземлюючого контуру підстанції 10/0,4 кВ

Вихідні дані:

Номинальна напруга сторін ВН та НН: 10 кВ та 0,4 кВ

Необхідний опір заземлюючого пристрою: не більше 4 Ом (10 кВ), не більше 2 Ом (0,4 кВ)

Питомий опір ґрунту:  $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Приймаємо горизонтальний контур із вертикальними електродами.

Розрахунок параметрів заземлюючого контуру:

Довжина горизонтальних електродів:

Загальна довжина горизонтальних електродів,  $L = 40 \text{ м}$

Вертикальні електроди:

Кількість вертикальних електродів,  $n = 8 \text{ шт.}$

Глибина закладення вертикальних електродів,  $h = 3 \text{ м}$

Діаметр електродів,  $d = 0,016 \text{ м}$

Розрахунок опору горизонтального контуру:

$$R_{\Gamma} = \rho / (2\pi L) \cdot \ln(4L/d)$$

$$R_{\Gamma} = 50 / (2\pi 40) \cdot \ln(440/0,016) = 3,14 \text{ Ом}$$

Розрахунок опору вертикальних електродів:

$$R_{\text{В}} = \rho / (2\pi L) \cdot (1 + 1/\ln(4h/d))$$

$$R_{\text{В}} = 50 / (2\pi 3) \cdot (1 + 1/\ln(43/0,016)) = 15,9 \text{ Ом}$$

Розрахунок опору всього заземлюючого контуру:

$$R_{\text{К}} = 1 / (1/R_{\Gamma} + 1/R_{\text{В}})$$

$$R_{\text{К}} = 1 / (1/3,14 + 1/15,9) = 2,75 \text{ Ом}$$

Отже, розрахунковий опір заземлюючого контуру підстанції 10/0,4 кВ становить 2,75 Ом, що задовольняє вимоги ПУЕ як для сторони 10 кВ, так і для сторони 0,4 кВ.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 46   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 10. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для проведення економічного аналізу треба скласти кошторис на виконання робіт щодо модернізації ПС 10/0,4 та порахувати термін окупності даних нововведень.

Таблиця 17 – Загальна вартість обладнання ПС 10/0,4 «Хутір-Михайлівський»

| №     | Найменування обладнання                    | Кількість | Загальна вартість, грн |
|-------|--|-----------|------------------------|
| 1     | Трансформатор GEAFOL 250/10/0,4            | 2         | 908000                 |
| 2     | Вимикач високовольтний ВРС-10              | 7         | 1312416                |
| 3     | Вимикач низьковольтний ЕАТОН NZMN3-4-А400  | 9         | 558963                 |
| 4     | Роз'єднувач високовольтний РЛНДз-10/400 У1 | 6         | 69528                  |
| 5     | Рубильник РПС-400                          | 10        | 29430                  |
| 6     | Трансформатор струму ТПОЛ-10               | 6         | 34800                  |
| 7     | Трансформатор струму ІМЕ ТА432             | 10        | 27450                  |
| 8     | Трансформатор напруги НТМИ-10 У3           | 2         | 93000                  |
| 9     | ТВП ТМ-100/6,3                             | 1         | 107000                 |
| 10    | ОПНп-10/12/10 УХЛ1                         | 6         | 12162                  |
| 11    | ОПН 0,4                                    | 6         | 2286                   |
| Разом |  |           | 3155035                |

Для проведення техніко-економічного аналізу проекту реконструкції підстанції 10/0,4 кВ приймаємо наступні додаткові вихідні дані:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 47   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Річні експлуатаційні витрати до реконструкції:

- витрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання - 120 000 грн
- витрати на електроенергію та втрати в мережах - 1 500 000 грн
- оплата праці обслуговуючого персоналу - 800 000 грн

Всього до реконструкції: 2 420 000 грн

– річні експлуатаційні витрати після реконструкції:

- витрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання - 100 000 грн
- витрати на електроенергію та втрати в мережах - 1 300 000 грн
- оплата праці обслуговуючого персоналу - 700 000 грн

Всього після реконструкції: 2 100 000 грн

Плановий обсяг передачі електроенергії через підстанцію:

- до реконструкції - 120 млн кВт·год/рік
- після реконструкції - 130 млн кВт·год/рік

Тариф на передачу електроенергії – 2,5 грн/кВт·год

Ставка дисконтування - 12% річних.

Річна економія експлуатаційних витрат:

$$2\,420\,000 \text{ грн} - 2\,100\,000 \text{ грн} = 320\,000 \text{ грн}$$

Додатковий дохід від підвищення обсягів передачі:

$$10 \text{ млн кВт·год/рік} \cdot 2,5 \text{ грн/кВт·год} = 25\,000\,000 \text{ грн}$$

Чистий дисконтований дохід (NPV):

$$NPV = \sum (320\,000 + 25\,000\,000) / (1 + 0,12)^t - 3\,155\,035$$

$$NPV = 72\,175 \text{ тис. грн}$$

Термін окупності:

$$\text{Термін окупності} = 3\,155\,035 \text{ грн} / (320\,000 + 25\,000\,000) \text{ грн/рік} = 0,124 \text{ року} = 4,2 \text{ років.}$$

Такі результати обґрунтовують високу економічну доцільність реалізації проекту реконструкції підстанції 10/0,4 кВ при тарифі на передачу 2,5 грн/кВт·год.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 48   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі було зроблено модернізацію ПС 10/0,4 Хутір-Михайлівський.

В проекті було розраховано мережу за заданими вихідними даними. В результаті, при виборі схеми досліджувалося режими роботи ПС. Розраховувалися номінальні струми приєднань, розраховано струми коротких замикань.

По даним навантаження мережі було вибрано провідники ліній.

На основі значень потужностей було обрано силові трансформатори, які по категорії споживачів мають резервування.

На основі розрахунку струмів коротких замикань виконано вибір обладнання РП 10 кВ та РП 0,4 кВ.

Також здійснено розрахунок грозозахисту та розрахунок заземлюючого контуру ПС.

В економічній частині за отриманими результатами проведено техніко-економічний розрахунок, який дав змогу оцінити доцільний виконаних заходів щодо модернізації обладнання.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сірий О. М., Шестеренко В. Є. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств. – К.: ІСДО, 1993. – 592 с.
2. Шестеренко В. Є. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентів. – К.: УДУХТ, 1995. – 28 с.
3. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. – К.: Мінпаливенерго України, 2017. – 617 с.
4. Говоров Т.П., Говоров П.П. Електричні системи та мережі. Підручник. – К.: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2003. – 520 с.
5. Ялова А.А., Блінов І.В. Техніко-економічне обґрунтування інвестиційних проектів в електроенергетиці. Навчальний посібник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 184 с.
6. ДСТУ Б В.2.5-29:2016. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Настанова з улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. – К.: ДП "УкрНДНЦ", 2017. – 49 с.
7. ДСТУ 3466-96. Підстанції трансформаторні. Загальні технічні умови. – К.: Держстандарт України, 1997. – 55 с.
8. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. Системи забезпечення надійності електропостачання. Методичні вказівки з розрахунку систем заземлення та захисту від блискавки електроустановок. – К.: Мінпаливенерго України, 2007. – 76 с.
9. Збірник цін на проектні роботи для будівництва. Частина І. Глава 1. Підстанції трансформаторні. – К.: Держбуд України, 2000. – 125 с.
10. Денисенко Г.Ф., Трифонов К.І. Проектування електричних станцій і підстанцій. Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 1990. – 295 с.
11. Гетьман Г.К. Електричні мережі та системи. Навчальний посібник. – К.: Знання, 2006. – 359 с.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>MP 5.8.141.344 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 50   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

12. Маркіна Л.М., Шевченко В.В. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень. Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2011. – 180 с.

13. Пивняк Г.Г., Випанасенко С.І., Жежеленко І.В. Електричні мережі систем електропостачання. Підручник. – Дніпро: НГУ, 2016. – 340 с.

14. Праховник А.В., Розен В.П., Іншеков Є.М. Енергетичний менеджмент. Навчальний посібник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 312 с.

15. Лежнюк П.Д., Нетребський В.В., Кулик В.В. Оптимізація режимів роботи електричних мереж. Монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 177 с.

16. Випанасенко С.І., Носенко В.І., Шевченко С.Ю. Електричні мережі та системи. Навчальний посібник. – Дніпро: НГУ, 2017. – 244 с.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>MP 5.8.141.344 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 51   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |