

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА  
ПУЛЮЯ

Кафедра електричної інженерії



## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

З КУРСУ

### Електрична частина станцій та підстанцій

для здобувачів вищої освіти  
за ОПІ Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка  
першого рівня вищої освіти

ID 971

Тернопіль 2024

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Уклад.: Філюк Я.О. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024. – 51 с.

**Укладач:** к.т.н., ст.в. Філюк Я.О.,

**Рецензент:** д.т.н. проф. Андрійчук В.А.

Методичні вказівки розглянуто і затверджено на засіданні кафедри електричної інженерії  
Протокол № 10 від 17.04.2024 р.

Схвалено методичною радою ФПТ Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.  
Протокол № 8 від 09.05.2024 р.

## ЗМІСТ

<b>1. Лабораторна робота №1.</b>	<b>4</b>
Дослідження будови розподільчих пристроїв підстанції 330кВ/110кВ/35кВ «Тернопіль»	
<b>2. Лабораторна робота №2.</b>	<b>13</b>
Дослідження схеми підстанції 110/10 кВ «Галицька»	
<b>3. Лабораторна робота №3.</b>	<b>20</b>
Дослідження головної схеми тягової підстанції 110/27,5/10 кВ (головної понижуючої підстанції) для електрифікованого залізничного транспорту.	
<b>4. Лабораторна робота №4.</b>	<b>29</b>
Дослідження комплектної трансформаторної підстанції зовнішньої установки типу КТП 630 (вул. Федьковича).	
<b>5. Лабораторна робота №5.</b>	<b>37</b>
Дослідження тягової підстанції ТП 10/0,6 кВ з РП-10 кВ для живлення електротранспорту (тролейбусів) м. Тернополя.	
<b>6. Лабораторна робота №6.</b>	<b>44</b>
Дослідження будови комплектних розподільчих пристроїв КРП 10 кВ з масляними вимикачами ВМП-10	
<b>Література</b>	<b>51</b>

## Лабораторна робота №1

**ТЕМА:** Дослідження будови розподільчих пристроїв підстанції 330кВ/110кВ/35кВ «Тернопіль»

**МЕТА РОБОТИ:** Закріплення теоретичних знань одержаних на лекціях, практичне ознайомлення із влаштуванням підстанції.

### Теоретичні відомості

ПС- 330 кВ "Тернопільська" входить в єдину енергетичну систему України Південно-Західної електроенергетичної системи (ПЗЕС) Тернопільських магістральних електричних мереж (ТМЕМ).

Тернопільські магістральні електричні мережі ( ТМЕМ ) розташовані на території ПС-330 кВ Тернопільська в населеному пункті смт. В. Березовиця, Тернопільського району, Тернопільської області по вул. Енергетична, 58. До території об'єкту прилягають сільськогосподарські поля. За межами території ніяких споруд не має.

ПС-330 кВ "Тернопільська" живиться в транзиті ліній 330 кВ.

Транзит ліній 330 кВ БуТЕС-Тернопільська-Хмельницький-Хмельницька АЕС замикається через чотири вимикачі і дві системи шин 330 кВ.

На ПС-330 кВ "Тернопільська" встановлено 4 автотрансформатори потужністю по 125 МВА кожний.

Потужність підстанції - чотири автотрансформатори марки АТДЦТН 125000/330/110 кожен, два використовуються як резервні. Роз'єднувачі РТ - 330 кВ.

По надійності підстанція відноситься до першої категорії і має дві альтернативних лінії із живленням по 330 кВ.

Відкритий розподільчий пристрій 330 кВ (ВРП-330) складається з: двох перемичок 330 кВ; двох систем шин 330 кВ; 16 роз'єднувачів 330 кВ; 4 вимикачів 330 кВ; 4 автотрансформатори.

Від першої системи шин 330 кВ (1СШ-330 кВ) живляться автотрансформатори (АТ-1,3)- Від другої системи шин (2СШ-330кВ) живляться АТ-2,4.

АТ-1 живить першу систему шин 110 кВ першої секції ( 1СШ-110 кВ 1С).

АТ-3 живить 2 СШ-110 кВ 1С.

Від АТ-1 або від АТ-3 живиться трансформатор власних потреб 1 напругою 35/ 0,4 кВ потужністю 560 кВА.

АТ-2 живить 1СШ-110 кВ 2С, АТ-4 живить 2СШ-110 кВ 2С. Від АТ-2 або від АТ-4 живиться трансформатор власних потреб 2 напругою 35/ 0,4 кВ потужністю 1000 кВА.

ВРП-110 кВ складається з: Першої секції (1С):

- першої системи шин 110 кВ (1СШ-110 кВ 1С);
- другої системи шин 110 кВ (2СШ-110 кВ 1С);
- обхідної системи шин 110 кВ (ОСШ-110 кВ 1С);
- 13 вимикачів 110 кВ;
- Л-110 Озерна, Промислова-1, Нова, Східна тяга-1, ЗБК,

Загребелля, Ватра.

Другої секції(2С):

- першої системи шин 110 кВ (1СШ-110 кВ 2С);
- другої системи шин 110 кВ (2СШ-110 кВ 2С);
- обхідної системи шин 110 кВ (ОСШ-110 кВ 2С);
- 9 вимикачів 110 кВ;
- Л-110 Промислова-2, Лозова, Східна тяга-2, В.Гаї, Теробовля.

СШ-110 кВ з'єднуються шиноз'єднувальними вимикачами, а секції з'єднуються секційними вимикачами.

Обхідні вимикачі використовуються для заміни вимикачів 110 кВ у випадку їх ремонту або пошкодження.

Від ВРП -110 кВ живиться 12 ліній 110 кВ, які постачають електроенергію споживачам Тернопільської області.

2. Головна спрощена однолінійна схема підстанції (див. рис.1.3).

3. Характерні особливості підстанції 330кВ/110кВ/35кВ Тернопіль.

Трансформатори струму та напруги ПЛЗЗО.

Трансформатори струму встановленні в двох плечах. чотирикутника (комірки) ПВ330; трансформатори напруги встановленні в лінії.

ПС-330кВ Тернопільська

На ПС-330кВ Тернопільська встановлено 4 автотрансформатори, АТ-1, АТ-2, АТ3, АТ4.

АТ1, АТ3, під'єднанні до I СШ- 330кВ та на I СШ - 110кВ через ПВ-110 кВ АТ-1, ПВ110кВ АТ3.

АТ2,АТ4 під'єднання до II СШ 330кВ та на II СШ-110кВ через ПВ-110кВ АТ2,ПВ-110кВ АТ4.

Захист автотрансформаторів АТ 1,2,3,4-

- газовий захист;
- газовий захист контакторів РПН АТ;
- диференціальний захист;
- МСЗ-330з блокуванням по напрузі 35кВ;
- захист зворотної послідовності стор. 330кВ; -I і II ступені земляного захистустор. 110кВ;
- дистанційний захист сторонаї 110кВ;
- захист від втрати охолодження;
- захист від перевантаження;
- захист від відхилення рівня масла в розширювачі АТ;
- захист від перегріву масла в АТ;
- захист від замикання на землю в мережі 35кВ.

До сторони 35кВ АТ1 приєднаний трансформатор власних потреб ТВП1 через масляний вимикач МВ-35, від сторони 35кВ АТ2 трансформатор ТВП2 через МВ-35, з можливістю перемикання ТВП1 від АТ3 та ТВП2 від АТ4. Потужності вказаних трансформаторів ТВП1 630 кВА, ТВП2 1000 кВА

### Газовий захист.

Основний. Захист від всіх видів КЗ в середині бака АТ. Реле типу Бухгольца ВР80/а реагує на газовиділення і на певну швидкість масла, що проходить через газове реле від баку АТ до розширювача. Має сигнальний і вимикаючий поплавок з шторкою, що реагує на швидкість масла.

При незначному газовиділенні чи появи в газовому реле газу спрацьовує сигнальний поплавок.

При інтенсивному газовиділенні, що супроводжується певною швидкістю) масла - спрацьовує вимикаючий поплавок від шторки, що діє на відсічний клапан.

### Газовий захист контакторів РПН АТ.

Захищає контактори РПН від внутрішніх пошкоджень (перекриття, роз регулювання контакторів). Реле типу "UFR" реагує на відповідну швидкість масла з контакторів певної фази в розширювач. Саме ті реле називаються струйними.

### Диференціальний захист.

Основний абсолютно - селективний, миттєвої дії, захищає АТ від всіх видів КЗ в зоні дії. Діє на реле АТ і відсічний клапан АТ.

### Дистанційний захист з сторони 110кВ (шини 110кВ і ПЛ110кВ).

Резервний захист від КЗ на шинному мості, шинах 110кВ і ПЛ110кВ.

### Захист від втрати охолодження АТ.

Захищає від перегріву обмотки і залізо АТ при вимкненні охолодження:

- при втраті олодження на АТ запускається моторне реле часу. Через 10хв, якщо навантаження АТ складає  $0,75 I_n$  і температура верхніх шарів масла досягає 80С діє на вхідні реле АТ.

- при втраті охолодження на АТ, запускається моторне реле часу. Через 30 хв., без фактору величини навантаження, а температура верхніх шарів масла досягла 80С. Захист діє на вхідні реле АТ.

### Функції вихідних реле АТ. Вихідні реле АТ-1 діють на вимкнення:

- ПВ-330кВ ІВ;

- ПВ-330кВ ЗВ;
- ПВ-110кВ АТ1;
- МВ-35ТВП-1.

Автотрансформатори АТ1, АТ2, АТ3, АТ4, мають регулятори напруги під навантаженням РПН з приводом типу ПДП - 4У, що забезпечує:

- місцеве керування, - без напруги при настройці;
- ручне керування, - без напруги при настройці;
- дистанційне керування під навантаженням.

#### Охолодження АТІ - 4.

АТ має три групи охолоджувачів Втім числі одну резервну. Охолоджувач включає в себе одну масляну помпу (МП) та два вентилятори.

Охолоджувачі включаються автоматично при досяганні навантаження 0,4 Ін та Т масла >55С. (при навантаженні 0,75 Ін та і С масла >55С включається).

Резервна група охолоджувачів включається автоматично при вимкненні якої небуть групи охолоджувачів при іС масла >55 С.

#### Живлення власних потреб.

АТ1, 2,3,4 мають виходи 110кВ і 35кВ для живлення трансформаторів власних потреб ТВП2, ТВП1, 35/0,4.

#### Високовольтний розподільчий пристрій ВРП - 110кВ.

ВРП - 110кВ скомпоновано по схемі - дві секції по дві системи шин з обхідного. Нараховує 22 приєднання 110кВ





Рис. 1.1. Автотрансформатор



Рис. 1.2. Високовольтний розподільчий пристрій ВРП 330

### **Основні захисти повітряної лінії ПЛ-330кВ Хмельницький**

ПЛ-330кВ Хмельницький має такі захисти:

- напрямлений з В.Ч. блокувкою захист (НВЧЗ) ПДЕ 2802;
- дистанційний захист типу ПЗ 2/2 (Д.3);

- чотириступінчатий земляний захист (3.3);
- максимально струмову відсічку (М.С.В);
- захист від неповнофазного режиму (ЗНР);
- автоматику і керування ПВ330 3В;
- автоматику і керування ПВ330 4В;

#### ПДЕ2802 (НВ43) ПЛ Хмельницький.

Захист абсолютно селективний, швидкодіючий (0,04сек) захищає ПЛ330 від всіх виглядів КЗ, не реагує на асинхронні коливання.

#### Д.3 дистанційний захист:

Д.3 захищає ПЛ330 від міжфазних КЗ, це резервний захист. Принцип роботи полягає на визначенні опорю до місця КЗ, шляхом зрівняння величин залишкової напруги на шинах ПС, де встановлений захист з величиною струму КЗ, що проходить по ПЛ.

Живлення кіл - як у ДФЗ і НВЧЗ.

#### Чотириступінчатий земляний захист (3.3):

Захищає ПЛ330 від КЗ на землю. Є резервним захистом ПЛ. Має 4 ступені спрямованих в лінію.

Принцип дії захистів - 3.3. реагує на струм і потужність нульової послідовності. Виконана на струмових реле і реле потужностей по схемі МСВ (максимально - струмової відсічки).

### **План роботи.**

- 1.1. До початку екскурсії ознайомитись із особливостями внутрішньої і зовнішньої установки.
- 1.2. Провести огляд підстанції, при цьому звернути увагу на влаштування:
  - системи блокування;
  - кіл управління сигналізації та релейного захисту.
- 1.3. Записати паспортні дані та технічні характеристики.
- 1.4. Скласти звіт.

### **Практичні вказівки.**

2.1. Огляд підстанції проводиться після інструктажу, проведеного керівниками експлуатації та під його керівництвом.

2.2. Під час екскурсії забороняється:

- самотійно, без дозволу керівника входити в приміщення електроустановки чи змінювати маршрут її огляду;
- наближатись до струмовідних частин на відстані менші допустимих, проникати за огорожі та в комірки з електрообладнанням торкатись корпусів електроустаткування, ручок та кнопок керування.

### **Зміст звіту**

3.1. У звіті вказати тему і мету лабораторної роботи.

3.2. Навести дані щодо розташування, призначення та основні характеристики підстанції.

3.3. Накреслити головну спрощену однолінійну схему підстанції.

3.4. Провести короткий опис схеми, звернути увагу на її особливості та призначення основних елементів (обладнання) схеми.

3.5 За завданням керівника привести технічну характеристику і особливості влаштування одного із елементів (обладнання) схеми.

### **Додаткові завдання**

до лабораторної роботи №1

№ варіанту	Назва завдання	Примітка
1	Основні захисти повітряної лінії ПЛ-330кВ «Бутес»	
2	Основні захисти повітряної лінії ПЛ-330кВ «Хмельницький»	
3	Основні захисти автотрансформатора АТ 1,3,2,: - газовий захист; - диференційний захист; - захист від втрати охолодження.	
4	Охолодження автотрансформатора.	
5	Регулювання напруги «РПН»автотрансформатора	
6	Схема (однолінійна) живлення власних потреб	
7	Високовольтний пристрій ВРП-110кВ (однолінійна схема)	
8	ВРП-330кВ - характеристика обладнання, опис схеми	

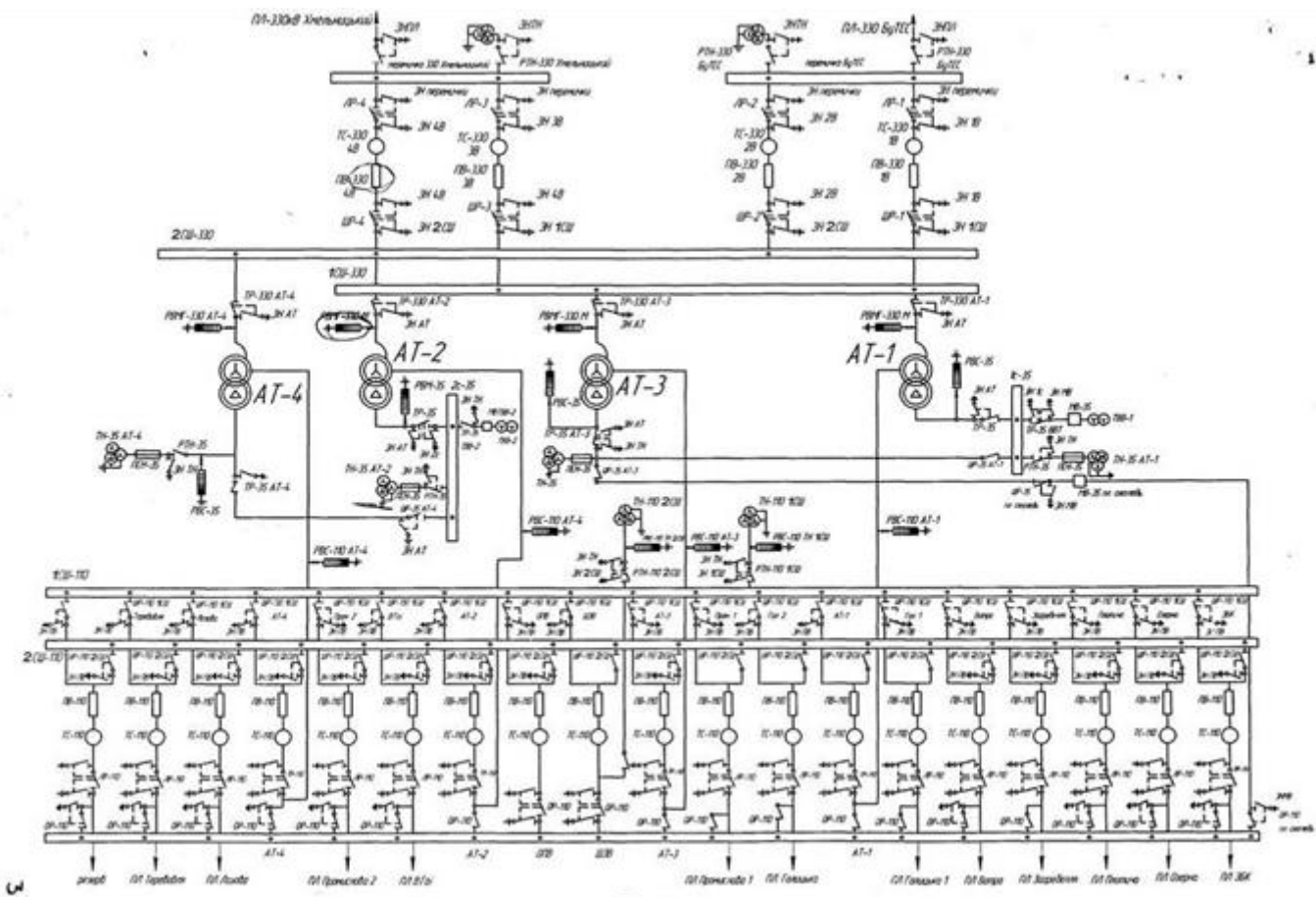


Рис. 4

## Лабораторна робота №2

**ТЕМА:** Дослідження схеми підстанції 110/10 кВ «Галицька».

**МЕТА РОБОТИ:** Закріплення теоретичних знань одержаних на лекціях, практичне ознайомлення із влаштуванням, схеми та обладнанням підстанції.

### Теоретичні відомості

Підстанція знаходиться на краю міста, недалеко від промислової зони. Отримує постачання по двох лініях від понижуючої підстанції 330/110 кВ.

Основне завдання підстанції - забезпечення безперебійного постачання споживачів міста та промислових підприємств. Оскільки деякі заводи міста припинили свою діяльність, а слід сказати, що саме вони були основним споживачами електричної енергії, то потужності що передає підстанція, вистачає з надлишком для забезпечення надійної роботи.

На підстанції встановлено два трансформатори на 25 МВА, а також закритий розподільчий пристрій від якого відходять більше 50 фідерів.

Як вже було відзначено, підстанція отримує живлення від понижуючої підстанції області по двох повітряних лініях. На вході кожної лінії стоять лінійні роз'єднувачі, а також заземляючі ножі. Лінії з'єднані між собою секційними роз'єднувачами. В разі потреби підстанція може бути заживлена від одної лінії електропередачі. В нормальному режимі обидва трансформатори ввімкнені і працюють.

Напруга до трансформатора подається по лініях через вимикач і лінійний роз'єднувач. Лінія і трансформатор мають свої заземляючі ножі. Також перед трансформатором розміщено короткозамикач.

Щодо захисту лінії і трансформатора від атмосферних перенапруг, то для цього призначені розрядники. Оскільки, трансформатор трьох обмотковий, то кожна лінія має свій захист, а також окремо має захист ввідна лінія.

В загальному, по підстанції для розподілення напруги є чотири секції шин, кожна з яких під'єднана до відповідної обмотки трансформатора. В разі

необхідності через секційні вимикачі та секційні роз'єднувачі можна заживити дві секції від однієї обмотки.

Кожен фідер має свій захист. Він є типовим для всіх і включає в себе: масляний вимикач, заземляючі ножі. На кожній секції шин розміщено трансформатор напруги, для забезпечення власних потреб споживання, живлення кіл релейного захисту. Кожний такий трансформатор додатково захищений високовольтним запобіжником.

### Призначення трансформаторів струму, основні типи

Трансформатор струму - трансформатор, призначений для вимірювання великих струмів. Первинна обмотка трансформатора струму включається в ланцюг з вимірюваним змінним струмом, а у вторинну включаються вимірювальні прилади. Струм, що протікає по вторинній обмотці трансформатора струму, пропорційний струму, що протікає в його первинній обмотці.

Трансформатори струму широко використовуються для вимірювання електричного струму і в пристроях релейного захисту електроенергетичних систем, у зв'язку з чим на них накладаються високі вимоги по точності. Трансформатори струму забезпечують безпеку вимірювань, ізолюючи вимірювальні ланцюги від первинного ланцюга з високою напругою, часто складовим сотні кіловольт.

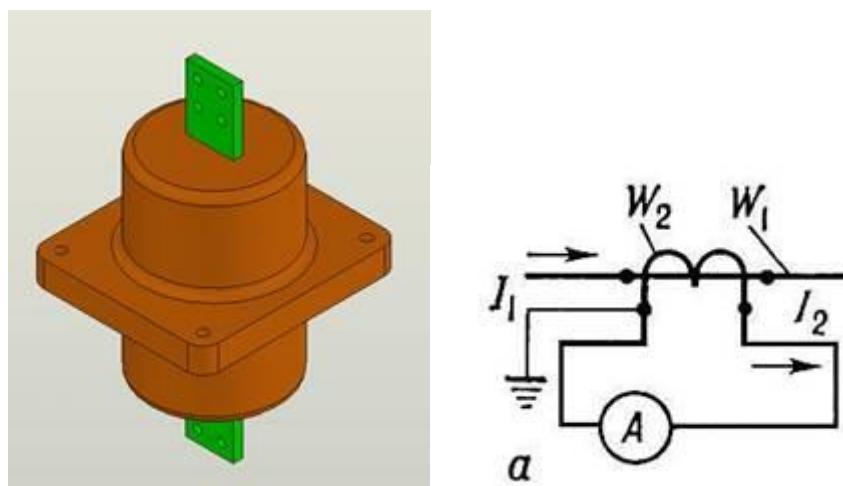


Рис.2.1. Вимірювальний трансформатор струму ТПОЛ-10 та схема включення ТС

Первинна обмотка трансформатора струму з малим числом витків  $W_1$  включається послідовно в нерозгалужену ділянку ланцюга вимірюваного струму, а до висновків його вторинної обмотки з більшим числом витків  $W_2$  підключаються послідовно амперметр і ланцюги струму інших вимірювальних приладів. Початок і кінець первинної обмотки ТС позначаються відповідно  $L_1$  і  $L_2$  (лінія), а початок і кінець вторинної обмотки  $I_1$  і  $I_2$  (вимірювальний прилад). Сумарний опір амперметра й ланцюгів струму вимірювальних приладів мало (звичайно менше 2 Ом), тобто ТС працює в умовах, наближених до режиму короткого замикання трансформатора.

Вторинні обмотки трансформатора струму (не менше однієї на кожен магнітопровід) обов'язково навантажуються. Опір навантаження строго регламентовано вимогами до точності коефіцієнта трансформації. Незначне відхилення опору вторинної ланцюга від номіналу (зазначеного на таблиці) за модулем повного  $Z$  або  $\cos \phi$  (зазвичай  $\cos = 0.8$  індуктив.) Призводить до зміни похибки перетворення і можливо погіршення вимірювальних якостей трансформатора. Значне збільшення опору навантаження створює високу напругу у вторинній обмотці, достатню для пробою ізоляції трансформатора, що приводить до виходу трансформатора з ладу, а також створює загрозу життю обслуговуючого персоналу. Крім того, через зростаючих втрат в осерді магнітопровід трансформатора починає перегріватися, що також може призвести до пошкодження (або, як мінімум, до зносу) ізоляції та подальшого її пробою. Повністю розімкнута вторинна обмотка ТС не створює компенсуючий магнітний потік в сердечнику, що призводить до перегріву магнітопроводу і його вигорання. При цьому магнітний потік, створений первинною обмоткою має дуже високе значення і втрати в магнітопроводі сильно нагрівають його.

Коефіцієнт трансформації вимірювальних трансформаторів струму є їх основною характеристикою. Номінальний (ідеальний) коефіцієнт вказується на шильдику трансформатора у вигляді відносини номінального струму первинної (первинних) обмоток до номінального струму вторинної (вторинних) обмоток, наприклад, 100/5 А чи 10-15-50-100 / 5 А (для первинних обмоток з декількома секціями витків). При цьому реальний коефіцієнт трансформації дещо



відрізняється від номінального. Ця відмінність характеризується величиною похибки перетворення, що складається з двох складових - синфазної і квадратурної. Перша характеризує відхилення по величині, друга відхилення по фазі вторинного струму реального від номінального. Ці величини регламентовані ГОСТами і служать основою для присвоєння трансформаторам струму класів точності при проектуванні і виготовленні. Оскільки в магнітних системах мають місце втрати пов'язані з намагнічуванням і нагріванням магнітопроводу, вторинний струм виявляється менше номінального (тобто похибка негативна) у всіх трансформаторів струму. У зв'язку з цим для поліпшення характеристик і внесення позитивного зсуву в похибка перетворення застосовують виткових корекцію. А це означає, що коефіцієнт трансформації у таких відкоригованих трансформаторів не відповідає звичній формулі співвідношень витків первинної і вторинної обмоток.

Результуючий магнітний потік в магнітопроводі трансформатора струму дорівнює різниці магнітних потоків, що створюються первинною і вторинною обмотками. У нормальних умовах роботи трансформатора він невеликий. Однак при розмиканні ланцюга вторинної обмотки в сердечнику буде існувати тільки магнітний потік первинної обмотки, який значно перевищує різницевий магнітний потік. Втрати в осерді різко зростуть, трансформатор перегріється і вийде з ладу ("пожежа заліза"). Крім того, на кінцях обірваної вторинному ланцюзі з'явиться велика ЕРС, небезпечна для роботи оператора. Тому трансформатор струму не можна включати в лінію без приєднаного до нього вимірювального приладу. У разі необхідності відключення вимірювального приладу від вторинної обмотки трансформатора струму, її обов'язково потрібно закортити.

У трифазних мережах з напругою 6-10 кВ встановлюються трансформатори як у всіх трьох фазах, так і тільки у двох (А і С). У мережах з напругою 35 кВ і вище трансформатори струму в обов'язковому порядку встановлюються у всіх трьох фазах.

У разі встановлення в три фази вторинні обмотки трансформаторів струму з'єднуються в зірку, в разі двох фаз - неповну зірку. Для



диференціальних захистів трансформаторів з електромеханічними реле трансформатори підключають за схемою трикутника

Трансформатори струму класифікуються за різними ознаками:

1. За призначенням трансформатори струму можна розділити на вимірювальні, захисні, проміжні (для включення вимірювальних приладів в струмові ланцюги релейного захисту, для вирівнювання струмів в схемах диференціальних захистів і т. д.) і лабораторні (високої точності, а також з багатьма коефіцієнтами трансформації).

2. За родом установки розрізняють трансформатори струму: а) для зовнішньої установки (у відкритих розподільних пристроях), б) для закритої установки; в) вбудовані в електричні апарати та машини: вимикачі, трансформатори, генератори і т. д.; г) накладні - надіваються зверху на прохідний ізолятор (наприклад, на високовольтний ввід силового трансформатора); д) переносні (для контрольних вимірів і лабораторних випробувань).

3. По конструкції первинної обмотки трансформатори струму діляться на: а) багатовиткові (котушкові, з петлевою обмоткою і з восьмивидною обмоткою), б) одновиткові (стрижневі); в) шинні.

4. За способом установки трансформатори струму для закритої і зовнішньої установки розділяються на:

а) прохідні, б) опорні.

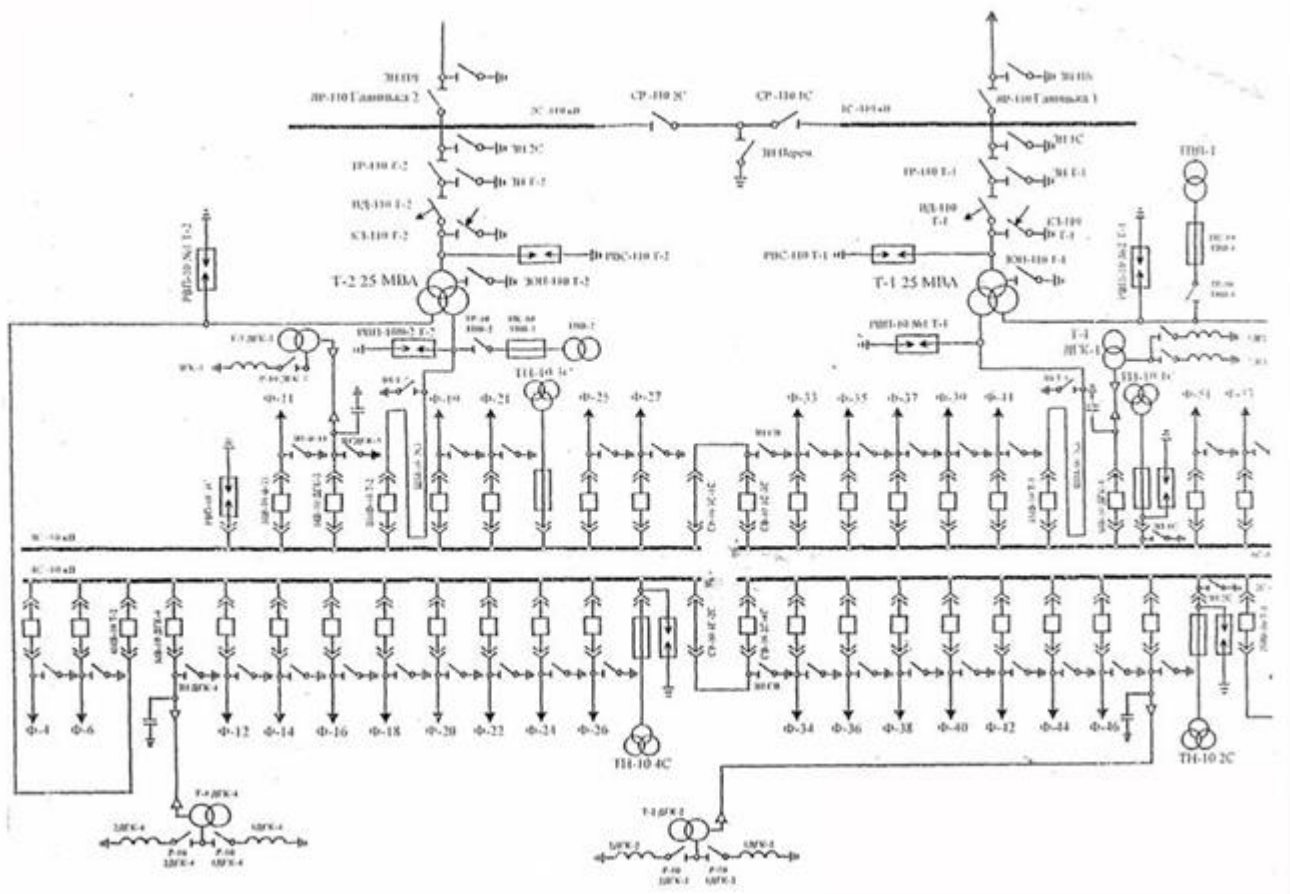
5. По виконанню ізоляції трансформатори струму можна розбити на групи: а) з сухою ізоляцією (фарфор, бакеліт, лита епоксидна ізоляція і т. д.), б) з паперово-масляною ізоляцією і з конденсаторної паперово-масляною ізоляцією; в) газонаповнені (елегаз); в) з заливкою компаундом.

6. За кількістю ступенів трансформації є трансформатори струму:

а) одноступінчаті; б) двоступінчасті (каскадні).

7. За робочій напрузі розрізняють трансформатори:

а) на номінальну напругу понад 1000 В; б) на номінальну напругу до 1000 В.



## План роботи.

- 1.1. До початку екскурсії ознайомитись з типовими схемами підстанцій 110/10кВ.
- 1.2. Провести огляд підстанції. Звернути увагу на ВРУ 110кВ, трансформатори, влаштування мереж кіл управління і релейного захисту.
- 1.3. Ознайомитись з організацією експлуатації та оперативного обслуговування підстанції.
- 1.4. Скласти звіт.

## Практичні вказівки

- 2.1. Огляд електроустановок проводиться після інструктажу, проведеного керівниками експлуатації та під його керівництвом.
- 2.2. Під час екскурсії забороняється:
  - самостійно, без дозволу керівника входити в приміщення електроустановки чи змінювати маршрут її огляду;

- наближатись до струмовідних частин на відстані менші допустимих, проникати за огорожі та в комірки з електрообладнанням торкатись корпусів електроустаткування, ручок та кнопок керування.

### Зміст звіту

3.1. У звіті вказати тему і мету лабораторної роботи.

3.2. Навести дані щодо розташування, призначення та основні параметри підстанції.

3.3. Накреслити однолінійну схему підстанції.

3.4. Провести короткий опис схеми, звернути увагу на її особливості та призначення основних елементів схеми.

3.5 За завданням керівника привести технічну характеристику і особливості влаштування одного із елементів схеми.

### Додаткові завдання

до лабораторної роботи №2

№ ва ріанту	Назва завдання	Примітка
1	2	3
1	Призначення короткозамикачів КЗ – 110 і відділювачів ВД – 110.	
2	Призначення вентиляних розрядників РВП принцип роботи.	
3	Основні типи високовольтних вимикачів (Повітряні, газові, елегазові, вакуумні) принцип роботи.	
4	Охолодження трансформаторів.	
5	Захист трансформаторів.	
6	Призначення трансформаторів струму, основні типи.	
7	Призначення трансформаторів напруги, основні типи.	
8	Захист повітряних ліній ПЛ 110кВ.	

## Лабораторна робота №3

**ТЕМА:** Дослідження головної схеми тягової підстанції 110/27,5/10 кВ (головної понижуючої підстанції) для електрифікованого залізничного транспорту)

**МЕТА РОБОТИ:** Закріплення теоретичних знань одержаних на лекціях, практичне ознайомлення із влаштуванням, схемою та обладнанням тягової підстанції.

### Теоретичні відомості

Досліджувана підстанція розташована на південно-східній околиці М.Тернополя, і призначена для електропостачання споживачів залізниці. Потужність підстанції - два трансформатори марки ТДТНЖ-25/110/27,5/10 кВ, один з яких використовується як резервний.

По надійності електропостачання підстанція відноситься до споживачів першої категорії і має дві альтернативні лінії живлення по 110 кВ, що відходять з ПС-330.

Підстанція генерує напруги:

- 27,5 кВ для живлення залізничного транспорту;
- 10 кВ для потреб залізничної інфраструктури;
- 0,4 кВ для власних потреб підстанції.

На рис.3.3 зображена головна схема сторони ВН 110 кВ та розподільчих пристроїв на стороні НН досліджуваної підстанції.

До двох паралельних секцій шин 1СШ-110 та 2СШ-110 РУ-110 кВ підходять дві паралельні трифазні та повітряні лінії ПЛ-110 Східна тяга-1 та ПЛ-110 Східна тяга- 2, комутуючі пристрої дозволяють заживити трансформатори від будь-якої з них. Лінії обладнані роз'єднувачами РРП-110.

Далі змонтовано лінійні роз'єднувачі ЛР-110 з двома заземлюючими ножами ЗНПЛ і ЗНІС (ЗН2С). роз'єднувачі призначені для включення під напругу і відключення частини кола без струму навантаження.

Між лінійним роз'єднувачем і трансформатором знаходиться секційна перемичка, в якій розміщено секційні вимикачі СВ-1101С та СВ-1102С, з заземлюючими ножами ЗНСВ, трансформатори струму ТССВ1 і ТССВ2.

Крім секційної вітки, після лінійних роз'єднувачів до двох паралельних ліній підключено по одному трансформатори напруги і трансформатори напруги ТН-110 1С та ТН-110 2С марки НКФ-110.

Далі кожна секційна шина заживляє трансформатор струму ТС-110, що послідовно з'єднаний з масляним вимикачем ВМТ-110, який призначений для оперативної і аварійної комутації кола ВН трансформатора.

Після масляного вимикача приєднано розрядник РВС-110, що захищає лінію від перенапруг.

На стороні 10 кВ встановлений роз'єднувач з одним заземлюючим ножем та вакуумний вимикач, вивід якого з'єднаний з шинами КРУЗ 10 кВ, який призначений для живлення ліній які відходять від нього від будь-якого з двох силових трансформаторів з метою безперебійного живлення споживачів.

На стороні 27,5 кВ встановлені два послідовно з'єднані трансформатори струму ТСВ-27,5. Кожна з паралельних віток укомплектована вакуумним вимикачем та роз'єднувачем РДЗ. Після чого паралельні вітки заживляють шини РУ-27,5 кВ, який обладнаний двома роз'єднувачами РДЗ-35, що дає змогу заживлювати лінії які відходять від нього від будь-якого з двох силових трансформаторів з метою безперебійного живлення споживачів.

Одним із найбільш відповідальних споживачів, який отримує живлення від тягової підстанції є пристрої автоблокування. Електропостачання пристроїв автоблокування з рейковими колами здійснюється від тягової підстанції по ланцюгових лініях автоблокування ЛСЦБ, Пе 10 кВ.

Лінія автоблокування ЛСЦБ 10 кВ призначена для живлення пристроїв сигналізації, централізації, блокування.

Крім цього з секцій шин 27,5 кВ по фідерах Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф5, Ф6 напруга поступає в контактну мережу дільниць Тернопіль-Підволочиськ, ст..Тернопіль, Тернопіль-Красне.

Регулювання напруги:

- параметри регулювання;
- влаштування РПН та особливості роботи.

Для регулювання напруги в системі за допомогою трансформаторів (автотрансформаторів) на одній із обмоток (у триобвиткових трансформаторах на двох обмотках) передбачають основного виводу додаткові відгалуження і відповідні перемикаючі пристрої для зміни коефіцієнта трансформації. Розрізняють два види перемикаючих пристроїв, а саме: 1) пристрої для перемикання числа витків при вимкненому трансформаторі, тобто без збудження, - ПБВ; 2) пристрої для перемикання числа витків під навантаженням РПН. Пристроями першого виду комплектують всі трансформатори, виключення з цього правила рідкісні. Такі пристрої регулювання дозволяють зазвичай змінювати коефіцієнт трансформації в межах 5 %. Пристрої другого типу розраховані на зміну коефіцієнта трансформації в значно ширших межах до 20 %, але вартість їх вища.

Відгалуження для регулювання напруги передбачують, як правило, на обмотках вищої напруги, що мають менший робочий струм. На рис. 3.1 показані розповсюджені схеми обмоток силових трансформаторів з відгалуженнями для пристроїв ПБВ та РПН. Схема на рис. 3.1, а відноситься до обмоток напругою до 110 кВ. Відгалуження для пристроїв ПБВ передбачені посередині, вивід на кінці. Схема на рис. 3.1, б відноситься до обмоток напругою 220 330 кВ, розділених на дві частини з виводом посередині. Відгалуження для пристрою РПН розміщені на 1/4 і 3/4 висоти обмоток. Схема на рис. 3.1, в відноситься до обмоток трансформаторів 110 кВ; тут регульована частина обмотки розміщена зі сторони нейтралі, що дозволяє зменшити ізоляцію перемикаючого пристрою РПН.

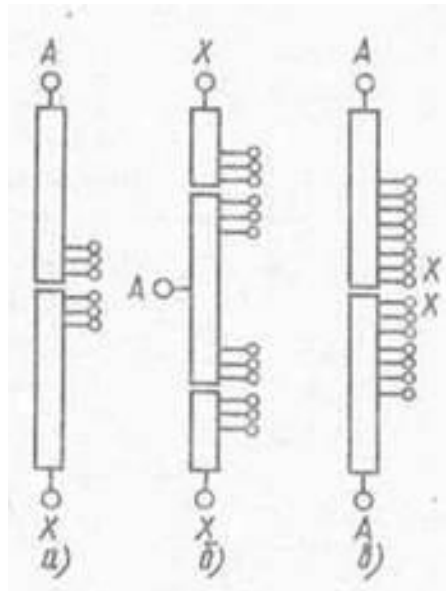


Рис. 3.1. Схеми обмоток вищої напруги трансформатора з відгалуженнями ПБВ і РПН

Щоб забезпечити постійну напругу на затискачах обмотки нижчої напруги трансформатора (з магнітним зв'язком обмоток) при зміні вищої напруги необхідно змінювати число витків обмотки ВН так, щоб підтримувати незмінною ЕРС на один виток, тобто індукцію в магнітопроводі. При збільшенні вищої напруги для зберігання індукції незмінною число витків слід збільшити.

Перемикаючі пристрої системи РПН виконують таким чином, щоб перемикання з одного відгалуження обмотки на інше не супроводжувалось розривом кола струму та закорочуванням витків обмотки. Елементами перемикаючого пристрою є:

- 1) вибірник відгалужень, контакти якого розмикають і замикають вітки кола без струму;
- 2) контактори, розмикаючі і замикаючі вітки кола з робочим струмом;
- 3) струмообмежуючий реактор або резистори;
- 4) привідний механізм.

Схема перемикаючого пристрою системи РПН із струмообмежуючий реактором приведена на рис. 3.2,а. У вихідному положенні контакти вибірника И1 та И2 приєднані до одного відгалуження обмотки, а контактори К1 і К2

замкнуті. Робочий струм ділиться порівну між вітками зведеного реактора LR. Так як струми направлені зустрічно, спад напруги на реакторі невеликий.

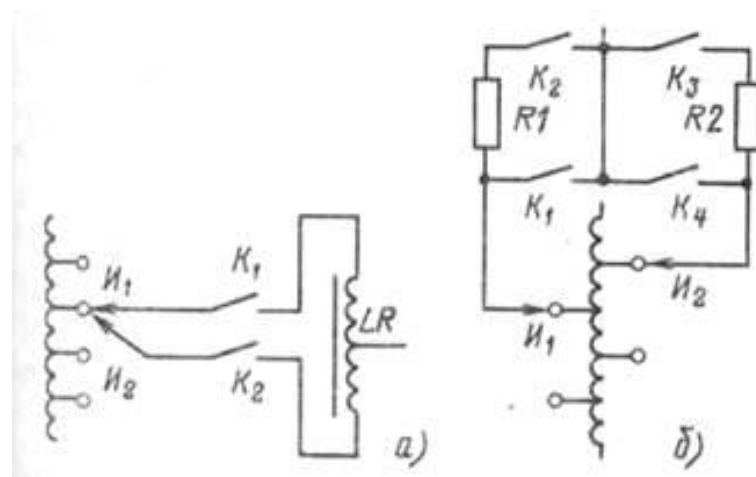


Рис.3.2. Схеми перемикаючих пристроїв: а РПН з реактором; б РПН з резисторами

Процес перемикання з однієї ступені на іншу протікає в наступній послідовності. Розмикається контакт K2 (під струмом); при цьому весь робочий струм проходить через контакти вибірника И1, контактор K2, і вітку реактора. Контакт вибірника И2 переходить на друге відгалуження, замикається контактор K2. Робочий струм ділиться між вітками реактора. З'являється також циркулюючий струм, викликаний напругою між сусідніми відгалуженнями. Цей струм обмежений великим повздовжнім опором реактора. Потім розмикається контактор K1 (під струмом), контакт вибірника И1 переходить на сусіднє відгалуження, і знову замикається контактор K1. Процес переключення закінчений. Переключення на наступне відгалуження проходить в цій же послідовності.

В розглянутій схемі процес переключення проходить відносно повільно, всі елементи РПН розраховані на тривале проходження струму. Вибірник і струмообмежуючий реактор розміщені всередині бака трансформатора. Контактори розміщені в окремому відсіку, щоб забезпечити доступ до контактної системи, що потребує догляду. Реактор має заземлене сталеве осердя, а ізоляція обмотки реактора відповідає робочій напрузі. Чим вона вище, тим більші розміри реактора. Це обмежує область застосування розглянутої



схеми. Схема може бути використана, якщо регульована частина обмотки знаходиться зі сторони нейтралі.

Перемикаючі пристрої системи РПН з резисторами більш досконалі. Такі пристрої відносяться до швидкодіючих. Розміри резисторів, розрахованих на короткочасний струм, відносно невеликі, і весь пристрій може бути виконаний доволі компактним. Принципова схема перемикаючого пристрою приведена на рис.3.2, б. У вихідному положенні контактори К1 і К2 замкнуті, а контактори К3 і К4 розімкнуті. Робочий струм проходить через контакти вибірника И1 і контактор К1. Резистор R1 зашунтований. Процес перемикання на сусіднє відгалуження обмотки проходить в наступній послідовності. Контакт вибірника И2 переходить на сусіднє відгалуження, розмикається контактор К1, і робочий струм проходить через резистор R1 і контактор К2. Замикається контактор К3, і половина робочого струму переходить у вітку резистора R2. Замикається контактор К4, зашунтовуючи резистор R2. Струм навантаження проходить через контактор. Процес перемикання закінчений. Ліва частина схеми підготовлена до переключення на наступне відгалуження.

В розглянутому пристрої із резисторами умови для гасіння дуги, що виникає при розмиканні віток із струмом, більш сприятливі у порівнянні із пристроєм з струмообмежуючим реактором. Застосовують контактори в маслі, а також з вакуумними камерами, що мають вагомні переваги. Механізм перемикаючого пристрою включає додаткові пружини, що забезпечують більш високу швидкість перемикання.

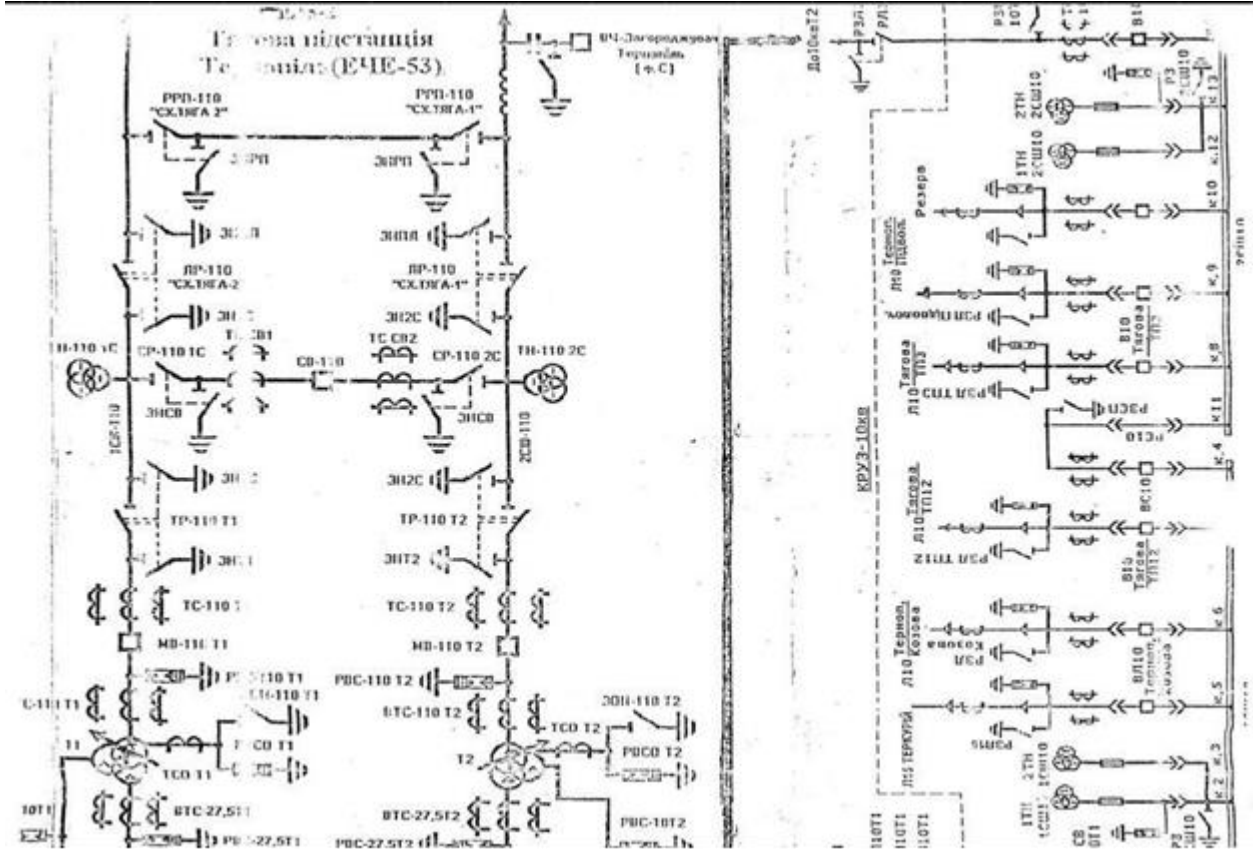
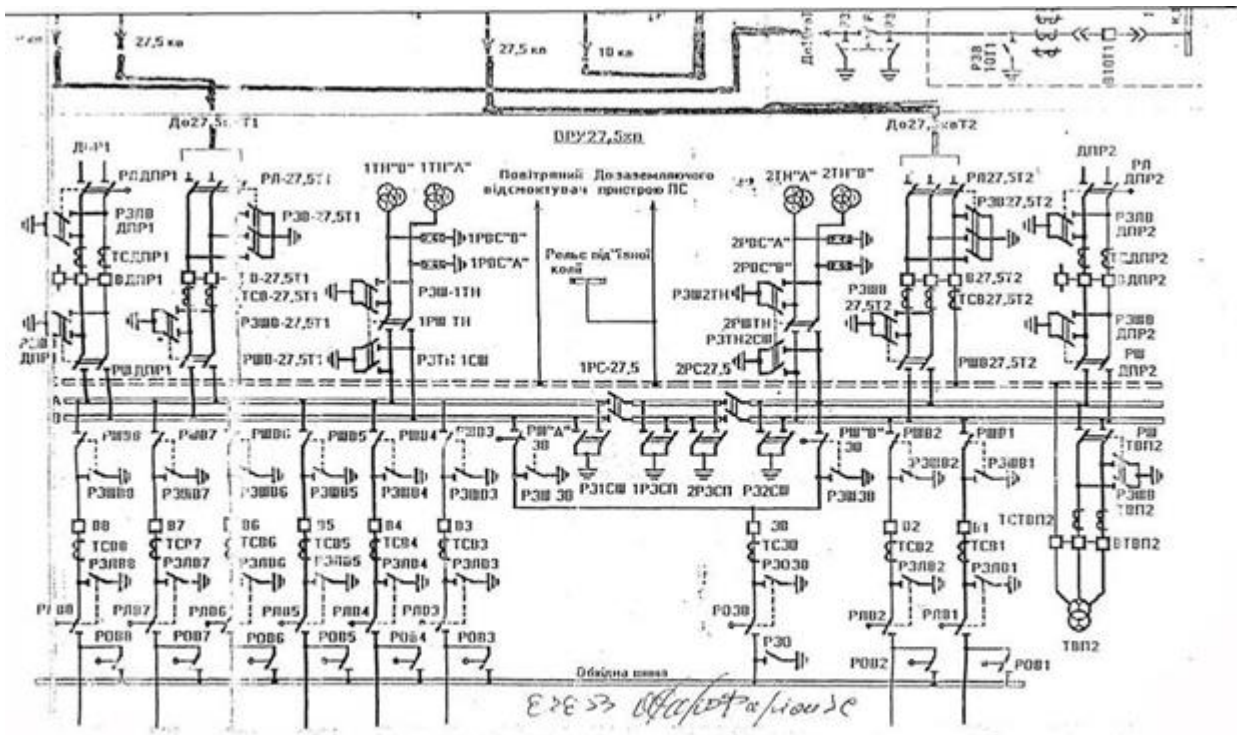


Рис.3.3 Зображено головну схему сторони ВН 110 кВ та розподільчих пристроїв на стороні НН досліджуваної підстанції.

## **План роботи**

1.1. До початку екскурсії на підприємство ознайомитись із схемою підстанції та інформацією щодо особливостей технології виробничої діяльності підприємства.

1.2. Провести огляд підстанції, переконатись у розміщенні елементів схеми у відповідності із схемою та записати паспортні дані обладнання. Звернути увагу на влаштування мереж кіл управління і релейного захисту та фундаментів під обладнання ВРП, на наявність і режим роботи засобів захисту від перенапруг.

1.3. Ознайомитись з організацією експлуатації та оперативного обслуговування підстанції.

1.4. Скласти звіт.

## **Практичні вказівки**

2.1. Огляд електроустановок проводиться після інструктажу, проведеного керівником екскурсії та під його керівництвом.

2.2. Під час екскурсії забороняється:

- самостійно, без дозволу керівника входити в приміщення електроустановки чи змінювати маршрут її огляду;
- наближатись до струмовідних частин на відстані менші допустимих, проникати за огорожі та в комірки з електрообладнанням;
- торкатись корпусів електроустановки, ручок та кнопок керування.

## **Зміст звіту**

3.1. У звіті вказати тему і мету лабораторної роботи.

3.2. Навести дані щодо розташування, призначення та основні параметри підстанції.

3.3. Накреслити головну спрощену схему з'єднань підстанції.

3.4. Провести короткий опис схеми, звернувши увагу на її особливості та призначення основних елементів схеми.

3.5. За завданням керівника привести технічну характеристику і особливості влаштування одного із елементів (обладнання) схеми.

## Додаткові завдання

до лабораторної роботи №3

№ варіанту	Назва завдання	Примітка
1	<u>ВРП – 110кВ:</u> - схема ВРП, її переваги, недоліки; - призначення елементів схеми; - влаштування (розміщення обладнання схеми управління і захисту) ВРП	
2	<u>Трансформатори:</u> - технічна характеристика, особливості конструкції; - система охолодження; - релейний захист.	
3	<u>ЗРП – 10 кВ:</u> - характеристика обладнання, опис схеми; - особливості приєднання трансформаторів; - релейний захист підходящих ліній.	
4	<u>Регулювання напруги:</u> - параметри регулювання; - влаштування РПН та особливості роботи.	
5	<u>Захист від перенапруги:</u> - захист від грозових перенапруг; - захист від прямих попадань блискавки; - захист від внутрішніх перенапруг.	
6	<u>ВРП-27,5 кВ:</u> - схема ВРП, її особливості.	
7	<u>Заходи по попередження негативного впливу на довкілля:</u> - при експлуатації тр-рів 110кВ; - при експлуатації іншого оливо - наповненого обладнання; - заходи пожежної безпеки.	

## Лабораторна робота №4

**ТЕМА:** Дослідження комплектної трансформаторної підстанції зовнішньої установки типу КТП 630 (вул. Федьковича).

**МЕТА РОБОТИ:** Закріплення теоретичних знань одержаних на лекціях, практичне ознайомлення із влаштуванням РП і КТП.

### Теоретичні відомості

Комплектні трансформаторні підстанції використовуються для прийому і передачі електроенергії, перетворення і розподілу. Вони розраховані на трифазний змінний струм частотою 50Гц напругою 6 (10) / 0,4 кВ. Більшість КТП розраховані на роботу в районах з помірним кліматом (від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ).

КТП широко застосовуються для енергопостачання великих і середніх промислових підприємств, населених пунктів, в сільському господарстві та на інших об'єктах.

Зовні КТП являє собою металеву шафу або приміщення, обшите панелями листової сталі. З метою безпеки обидві двері КТП закриваються на внутрішній замок під спецключ, і так само на зовнішній навесний замок. Внутрішня частина КТП розбита на відсіки - УВН, РУНН, відсік силового трансформатора та інші. Для зручності контролю і обслуговування трансформаторної підстанції передбачені оглядові вікна на дверях ввідних комірок.

У відсіку розподільних пристроїв низької напруги (РУНН) розміщені вступної рубильник, трансформатори струму, збірні шини, автоматичні вимикачі, а так само апаратура захисту, обліку, управління, освітлення. КТП бувають з повітряним і кабельним вводом. У перших потужністю до 400кВА розміщуються високовольтні роз'єднувачі. В КТП з повітряним введенням більшої потужності використовують вимикач навантаження, меншої потужності - лінійним роз'єднувачем зовнішньої установки. Другий варіант КТП - з кабельним вводом. У них застосовуються високовольтні роз'єднувачі внутрішньої установки.

Для розміщення шаф приймальних пристроїв високої напруги на кришках комплектних трансформаторних підстанцій передбачені спеціальні технологічні отвори, а також місця кріплення кронштейнів, які необхідні при підключенні повітряних ліній електропередач. Прилади обліку витрати електроенергії встановлюються на шинах 0,4 кВ відразу після ввідного рубильника. Це можуть бути лічильники для обліку активної та реактивної енергії, двоxtарифні лічильники та ін. Для таких лічильників передбачений окремий підігрів, який дозволяє працювати їм навіть при температурі нижче  $0^{\circ}\text{C}$ .

Знімна кришка КТП дозволяє легко монтувати і демонтувати силовий трансформатор.

Всі апаратура, якою укомплектований КТП повинна мати відповідні сертифікати якості.

Однолінійна схема КТП-630 (ТП-10А)  
ТДТУ ім. І.Пулюя по вул. Федьковича (тупикова)

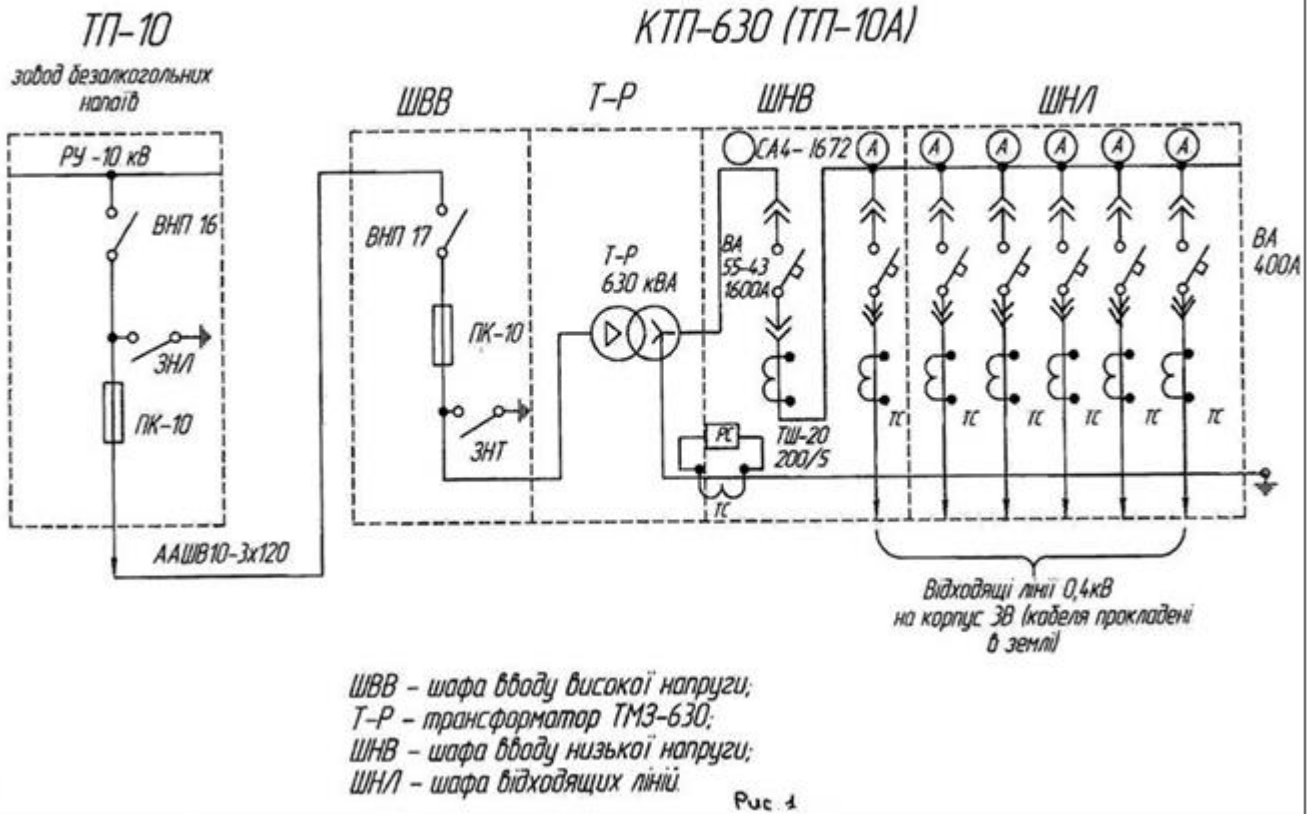


Рис. 4.1 Однолінійна схема КТП-630(ТП-10А)

Захист трансформатора. Для силових трансформаторів з обмоткою вищої напруги більше 1000 В передбачається релейний захист від наступних видів пошкодження і ненормальних режимів роботи:

- 1) багатофазних замикань в обмотках і на їх виводах,
- 2) внутрішніх пошкоджень (виткових замикань в обмотках і пожежі сталі магнітопроводу),
- 3) однофазних замикань на землю,
- 4) надструмів в обмотках, обумовлених зовнішніми короткими замиканнями,
- 5) надструмів в обмотках, обумовлених перевантаженням (якщо воно можливе),
- 6) пониження рівня масла.

При виконанні захистів трансформатора необхідно враховувати деякі особливості його нормальної роботи: кидки струму намагнічування при

включенні трансформатора під напругу, вплив коефіцієнта трансформації і схем з'єднання обмоток трансформатора.

Для захисту від багатофазних замикань в обмотках і на виводах трансформаторів потужністю 6300 кВА і вище, працюючих поодинокі, потужністю 4000 кВА і вище, що працюють паралельно, а також потужністю 1000 кВА і вище, якщо струмова відсічка не забезпечує необхідної чутливості, максимальний струмовий захист має витримку часу більше 0,5 с і відсутній газовий захист, передбачається поздовжній диференційний захист з циркулюючими струмами, що діє на відключення вимикачів силового трансформатора без витримки часу.

Особливістю дифзахисту трансформаторів у порівнянні з дифзахистом генераторів, ліній і т. д. є нерівність первинних струмів різних обмоток трансформатора і їх розбіжність в загальному випадку по фазі.

Для компенсації зсуву струмів по фазі вторинні обмотки трансформаторів струму, встановлених з боку зірки силового трансформатора, з'єднують в трикутник, а вторинні обмотки трансформаторів струму, встановлених з боку трикутника силового трансформатора, - в зірку. Компенсація нерівності первинних струмів досягається правильним підбором коефіцієнтів трансформації трансформаторів струму.

Коли не можна підібрати коефіцієнт трансформації трансформаторів струму таким чином, щоб різниця вторинних струмів в плечах дифзахисту була менше 10% (так як трансформатори струму мають стандартне значення коефіцієнта трансформації), при виконанні захисту для компенсації нерівності струмів використовують диференціальні реле типу РНТ, рідше - вирівнюючі трансформатори і автотрансформатори.

Якщо не передбачається поздовжня диференційний захист (як правило, на поодинокі працюючих трансформаторах потужністю нижче 6300 кВА і паралельно працюючих трансформаторах потужністю нижче 4000 кВА), то в цих випадках з боку джерела живлення встановлюється

струмова відсічка без витримки часу, що охоплює частину обмотки трансформатора.

На робочих і резервних трансформаторах власних потреб теплових електростанцій застосовується поздовжній дифзахист, при потужності 4000 кВА допускається струмова відсічка.

Найбільш простою схемою виконання поздовжнього дифзахисту є диференційна струмова відсічка, яка застосовується у випадках, коли вона задовольняє вимогам чутливості. Якщо ця умова не виконується, в поздовжньому дифзахисті використовують реле типу РНТ.

Реле РНТ мають насичувальні трансформатори (НТ), що забезпечують зниження струмів, обумовлених кидками струму намагнічування, і струмів небалансу, що виникають під час перехідного процесу при зовнішніх коротких замиканнях, і компенсуючі нерівність вторинних струмів трансформаторів струму.

На трансформаторах з регулюванням напруги під навантаженням або багатовиткових трансформаторах з декількома живлячими обмотками, коли внаслідок великих струмів небалансу в реле при зовнішніх коротких замиканнях захист з трансформаторами, що насичуються не забезпечує необхідної чутливості, передбачається дифзахист з гальмуванням і установкою реле типу ДЗТ або їх замінюють.

Попередньо захист розраховується для випадку застосування реле без гальмування. Якщо воно виявляється недостатньо чутливою, застосовують реле з мінімальним числом гальмівних обмоток, що забезпечують необхідну чутливість. Струм спрацьовування поздовжнього дифзахисту повинен бути відстроєний від струмів намагнічування і струмів небалансу.

Для захисту від внутрішніх пошкоджень (виткових замикань в обмотках, що супроводжуються виділенням газу) і від пониження рівня масла на трансформаторах потужністю 6300 кВА і вище, а також на трансформаторах потужністю 1000 - 4000 кВА, не мають дифзахисту або відсічення, і якщо максимальний струмовий захист має витримку часу 1 с і



більше, застосовується газовий захист з дією на сигнал при слабких і на відключення при інтенсивному газоутворенні. Застосування газового захисту є обов'язковим на внутрішньоцехових трансформаторах потужністю 630 кВА і вище незалежно від наявності інших швидкодіючих захистів.

Газовий захист встановлюється на трансформаторах, автотрансформаторах і реакторах з масляним охолодженням, що мають розширювачі, і здійснюється за допомогою поплавкових, лопатевих і чашкових газових реле. Газовий захист є єдиним захистом трансформаторів від пожежі сталі магнітопроводу, що виникає при порушенні ізоляції між листами сталі.

Допускається дію газового захисту на сигнал як при слабкому, так і при сильному газоутворення на трансформаторах, що мають дифзахист або відсічення, що не мають вимикачів, а також на внутрішньоцехових потужністю 1600 кВА і менше за наявності захисту від коротких замикань з боку джерела живлення.

Для захисту від однофазних замикань на землю підвищуючих трансформаторів потужністю 1000 кВА і більше, приєднаних до мереж з великими струмами замикання на землю, а також на понижуючих трансформаторах з заземленою нейтраллю передбачається максимальний струмовий захист нульової послідовності від струмів зовнішніх замикань на землю, що діє на відключення.

У мережах з малими струмами замикання на землю захист від однофазних замикань на землю з дією на відключення встановлюється на трансформаторах в тому випадку, якщо такий захист є в мережі.

Захист трансформаторів від надструмів в обмотках, обумовлених зовнішніми короткими замиканнями

Для захисту понижувальних трансформаторів від струмів, обумовлених зовнішніми короткими замиканнями, передбачається максимальний струмовий захист без пуску або з пуском від реле мінімальної напруги, що діє на відключення вимикача. Внаслідок низької

чутливості максимальний струмовий захист без пуску від реле мінімальної напруги застосовується тільки на трансформаторах потужністю до 1000 кВА.

Для захисту підвищують трансформаторів від зовнішніх коротких замикань застосовується максимальний струмовий захист з пуском від реле мінімальної напруги або струмовий захист нульової послідовності.

Максимальний струмовий захист з пуском від реле мінімальної напруги для підвищувальних багатовиткових трансформаторів виходить досить складним (через наявність кількох комплектів реле мінімальної напруги) і недостатньо чутливим по струму. У цьому випадку застосовується струмовий захист нульової послідовності. Останній рекомендується на підвищувальних трансформаторах потужністю 1000 кВА і більше з глухозаземленою нейтраллю.

Якщо захист підвищуючих трансформаторів не забезпечує необхідної чутливості, то для захисту трансформаторів допускається використовувати струмові реле відповідного захисту генераторів.

У ряді випадків для захисту потужних трансформаторів застосовується струмовий захист зворотної послідовності, який легко узгоджується з аналогічним захистом генераторів.

На багатовиткових трансформаторах з живленням з декількох сторін для забезпечення вибіркової дії, захист виконується спрямованим.

Для захисту від перевантаження паралельно працюючих декількох трансформаторів потужністю по 400 кВА і більше, а також при роздільній роботі і наявності АВР передбачається однофазний максимальний струмовий захист, діючий на сигнал.

На необслуговуваних підстанціях захист може виконуватися з дією на автоматичне розвантаження або відключення трансформатора.

## **План роботи**

1.1. Провести огляд розподільчого пристрою РП 10кВ, звернути увагу на з'єднання окремих комірок КСО – 272, приєднання живильних та відходящих ліній.

1.2. Провести огляд комірок КСО – 272 з масляними вимикачами ВМГ 10 з пружинним приводом ПП67К, при цьому звернути увагу на влаштування:

- контактних з'єднань;
- системи блокування;
- кіл управління, сигналізації, обліку та захисту.

1.3. Записати паспортні дані та технічні характеристики оглянутого обладнання.

Провести огляд комплектної трансформаторної підстанції внутрішньої установки КТП 630, звернути увагу на:

- вводи ВВ і НН трансформаторів ТМЗ630;
- контроль рівня масла, вимірювання температури верхніх шарів масла в баку трансформатора і контроль і сигналізацію внутрішнього тиску в трансформаторах;
  - з'єднання шаф низької напруги, вмонтоване обладнання (викатні автомати АВМ, (4, 10, 20) прилади контролю і сигналізації і т.т.), ошиновку;
- автоматичні пристрої компенсації реактивної енергії.

1.5. Записати паспортні дані та технічні характеристики обладнання КТП

### **Практичні вказівки.**

2.1. Огляд електроустановок проводиться після інструктажу, проведеного керівником екскурсії.

2.2. Під час екскурсії забороняється:

- самотійно, без дозволу керівника входити в приміщення електроустановки чи змінювати маршрут її огляду;
- наближатись до струмовідних частин на відстані меншій доступних, проникати за огорожі та в комірки з електрообладнанням;
- торкатися корпусів електроустаткування, ручок та кнопок керування.

## Зміст звіту

- 3.1. У звіті вказати тему і мету лабораторної роботи.
- 3.2. Навести дання щодо призначення та технічну характеристику РП 10кВ і КТП 630.
- 3.3. Накреслити схему (однолінійну) РП 10кВ і КТП 630 і вказати перелік встановленого обладнання.
- 3.4. Описати характерні особливості РП і КТП.
- 3.5. За завданням керівника описати принцип роботи, призначення одного із елементів (обладнання) схеми КТП чи РП.

## Додаткові завдання

до лабораторної роботи №4

№ варіанту	Назва завдання	Примітка
1	2	3
1	Призначення будова масляного вимикача ВМГ-10	
2	Конструкція і призначення пружинного приводу ПП67К	
3	Обладнання шафи вводу високої напруги КТП-ВВ-2	
4	Обладнання шафи вводу низької напруги КТП-Н.Н.	
5	Призначення і основні типи трансформаторів 10/0,4 кВ (ТМ; ТМЗ і т.п.)	
6	Призначення КВП трансформаторів 10/0,4 кВ	
7	Захист силових трансформаторів	
8	Регулювання напруги трансформаторів	
9	Призначення, будова автоматичних вимкачів АВМ (4,10,20)	
10	Нарисувати однолінійну схему РП 10кВ і описати призначення елементів схеми.	

## Лабораторна робота №5

**ТЕМА:** Дослідження тягової підстанції ТП 10/0,6 кВ з РП-10 кВ для живлення електротранспорту (тролейбусів) м. Тернополя.

**МЕТА РОБОТИ:** Закріплення теоретичних знань одержаних на лекціях, практичне ознайомлення із влаштуванням, схемою та обладнання теплової підстанції.

### Теоретичні відомості

Схема тягової підстанції складається з РП-10 кВ, РП-600 В, випрямляючих агрегатів, схеми власних потреб і схеми сигналізації автоматики. РП- 10 кВ служить для прийому з міської мережі напруги 10 кВ розподілення цієї напруги між приєднаннями тягової підстанції.

Тягова підстанція є споживачем 2 категорії, вона має 2 вводи 10 кВ, • один з яких є основним а другий резервним. Комірки вводів складаються з МВ, ШР, ЛР-10 кВ, а також заземляючих ножів до шинних роз'єднувачів в сторону масляного вимикача, лінійного роз'єднувача в сторону кабельного вводу (заземляючі ножі в лінійному роз'єднувачі резервного вводу - відсутній).

Прямо з кабеля резервного вводу 10 кВ через свій роз'єднувач і високовольтні запобіжники, включений резервний трансформатор власних потреб ТМ-25 10/0,4 кВ. на лінійному роз'єднувачі резервного трансформатора власних потреб знаходяться заземляючі ножі резервного вводу 10 кВ.

Основний ввід 10 кВ живить I секцію збірних шин 10 кВ. До I секції збірних шин приєднанні через свій роз'єднувач робочий ТВП типу ТМ-10/0,4 25 кВА, через свій роз'єднувач трансформатор напруги НТМК-10/0,1 потужність 960 ВТ і комірки масляного вимикача (МВ) першого і другого агрегата.

Резервний ввід підключений до II секції збірних шин 10 кВ, до яких підключена комірка МВ агрегата №3.

I і II секція збірних шин з'єднані через секційні роз'єднувачі, які в нормальному положенні повинні бути постійно включені. Іі II секція шин РП-

10 кВ мають свої заземлюючі ножі.

В РП-600 В входять комірки катодних автоматів, комірки лінійних автоматів, запасний автомат, головна і запасна шина. Через катодний автомат і катодний роз'єднувач напруга 600 вольт подається на головну шину. З головної шини через лінійний роз'єднувач, лінійний автомат (ЛА), роз'єднувач ПЗШ, який повинен знаходитися в нормальному положенні "ВКЛ головна шина", напруга подається на живлячі кабельні лінії. В разі необхідності, живлення любої лінії можна перевести через запасний автомат (ЗА).

В схему власних потреб входять шини ШВП №1,2,3, які живляться через ввідні автомати і контактори.

РП-10 кВ служить для приймання від міської мережі напруги 10 кВ і розподілення цієї напруги між приєднаннями РП. РП має два вводи 10 кВ від підстанції 110/10 "Загребелля" комірка №26, 60. Основний ввід комірки №26 підключений до I секції збірних шин. Комірка вводу складається з масляного вимикача, шинного роз'єднувача, лінійного роз'єднувача, а також заземлюючих ножів до шинного роз'єднувача в сторону МВ, до лінійного роз'єднувача в сторону кабельного вводу. Резервний ввід комірки 60 аналогічний робочому вводу і підключений до II секції ЗШ. Прямо з кабеля підключена кабельна перемичка, яка живить робочий ввід ТП №9.

РП має II секції шин з'єднаних через роз'єднувач I секції шин, секційний МВ, роз'єднувач II секції шин. В нормальному положенні роз'єднувач I і II секції шин і секційний МВ повинні бути включенні. Від I секції шин через ВН живиться резервний ввід ТП - 9.

До кожної секції ЗШ, через свої роз'єднувачі і запобіжники ПКТ-10 підключені трансформатори напруги НТМИ-10/0,1 потужністю 960 ВТ. Для включення вводу 10 кВ необхідно переконатися в відключенні положенні заземлюючих ножів (ЗН) ЗШ-10 кВ і ШР вводів, перевірити пофазно наявність напруги на кабельному вводі, включити ШР, ЛР, завести вручну пружину приводу масляного вимикача, включити МВ. Включити роз'єднувач трансформатора напруги. Включити автоматичні вимикачі кіл управління і захисту. Включити секційний вимикач I секції шин, включити секційний

роз'єднувач II секції шин, включити секційний МВ. Включити трансформатор напруги II секції шин. Про наявність напруги на ЗШ можна судити по показанню вольтметра розміщеного на комірці трансформатора напруги. Як і I секція шин так і II секція шин, яка живить кола напруги і обліку.

Живлення 0,4 кВ для освітлення поступає після включення фідерів "Котельня", включення силового трансформатора Котельні і включення рубильника РП-30 в РУ-0,4 кВ. оперативні переключення повинні проводитися відповідним лицем по обслуговуванню РП, затвердженим по приказу по управлінні.

Трансформатор ТМПУ - трохфазний з масляним охолодженням, регулюючою напругою переключення з зрівнюючим реактором. Призначений для живлення напівпровідникових перетворювачів по схемі дві зворотні зірки з зрівнюючим реактором. Трансформатор призначений для роботи в умовах помірного клімату при зовнішній і внутрішній установці.

Трансформаторне масло в трансформаторах, призначений для охолодження і ізоляції обмоток, повинно відповідати відповідним нормам. Головні з них: електрична щільність, відсутність механічних домішок, кислотне число, температура загоряння  $+135^{\circ}\text{C}$ , температура застигання  $-35^{\circ}\text{C}$ , тангенс кута діелектричних втрат (характеризує ізоляційні якості при змінному струмі).

В експлуатації внаслідок окислення приходить старіння масла, і воно стає непридатним для подальшої експлуатації. В такому маслі знижується електрична міцність і утворюється водорозчинні кислоти які руйнують ізоляції обмоток та викликають корозію сталевих частин. Для зниження інтенсивності старіння масла використовують термосифонні фільтри. Вони встановлюються на трансформаторах з природнім охолодженням. Фільтр становить собою заповнений сорбентом (силікагель або алюмогель) циліндр з верхнім і нижнім приєднаними патрубками і захисними пристроями. Захисний пристрій складається з сітки і решітки призначені для отримання сорбенту в фільтрі і запобіганні попадання його в бак трансформатора.

Повітря осушувач призначений для очистки від вологи і промислових забруднень повітря, яке поступає в розширювач трансформатора при

температурних коливаннях рівня масла. Повітря осушувач являє собою наповнений силікагелем циліндр. Нижній частині повітря осушувача розміщений масляний затвор, який працює по принципу з'єднаних посудин. Затвор запобігає доступу повітря в повітря осушувач, очищує повітря від сторонніх домішок.

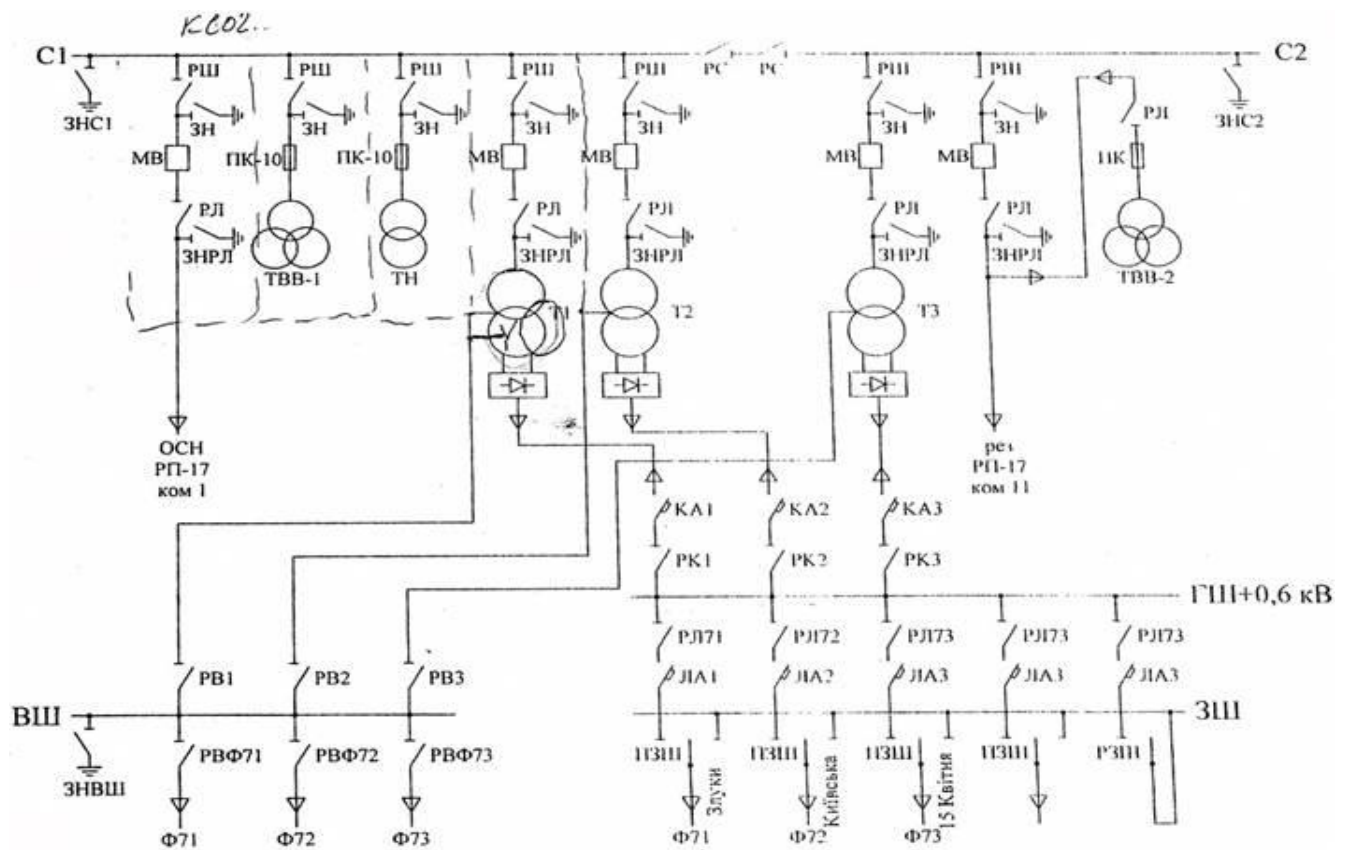


Рис. 5.1 Схема тягової підстанції ТП 10/0,6 кВ з РП-10 кВ для живлення електротранспорту (тролейбусів) м. Тернополя.

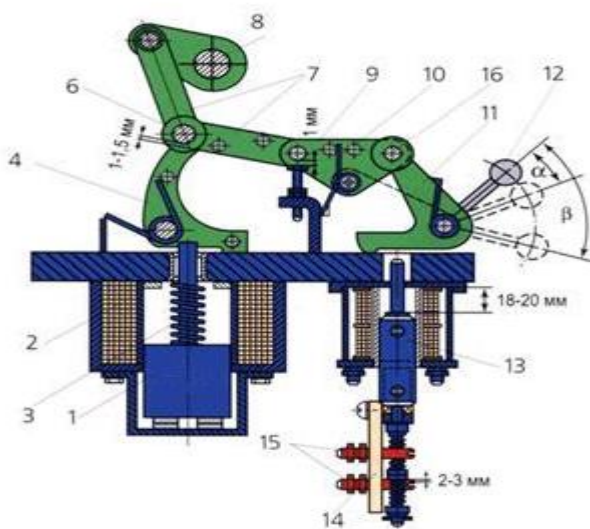
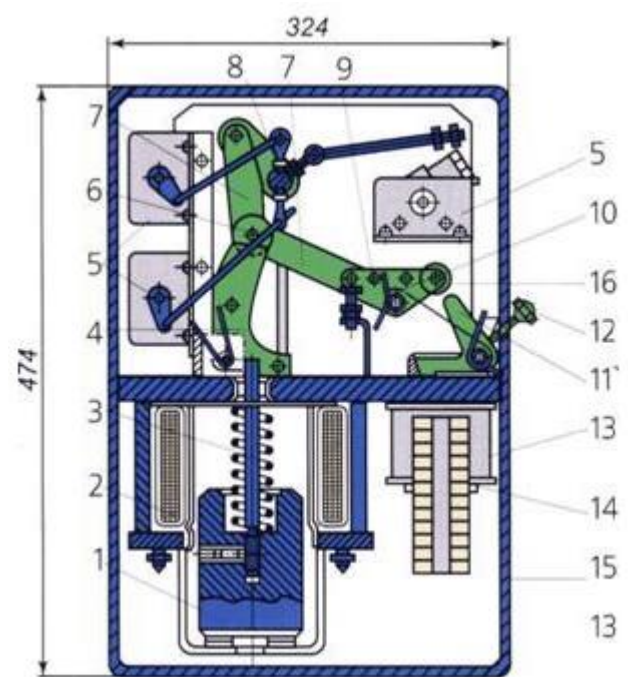


Рис. 5.2 Механізм електромагнітного приводу ПЕ-11 У3



Механізм приводу ПЕ-11УЗ являє собою систему важеля із запираючим пристроєм і роликівим розчеплювачем. Склад вмикаючого електромагніту: котушка, рухомий сердечник зі штоком і магнітопровід. Нижня плита магнітопроводу має скобу з вирізами для установки важеля ручного неоперативного включення. Для ручного неоперативного включення-відключення привід ПЕ11 має рукоятку. Відключаючий електромагніт закріплений на нижній плиті корпусу механізму. На корпусі відключаючого електромагніту знаходиться блок затискачів для приєднання допоміжних ланцюгів. При існуючому короткому замиканні в приводі застосовується електроблокування від мимовільного повторного включення. У приводі ПЕ-11 можна задіяти захисти: миттєвого АПВ, струмового відсічення, максимальний струмовий захист. Габаритні розміри приводу ПЕ-11 в захисному кожусі 390x324x474. Маса приводу 48 кг. Висота над рівнем моря не більше 1000 м. Температура навколишнього середовища від -25 до +45 С. Відносна вологість повітря не більше 80% при температурі 20 С.



- 1, 2 - сердечник і котушка вмикаючого електромагніту;
- 3 - шток;
- 4 - утримуюча засувка;
- 5 - блок - контакти КСА;
- 6 - ролики;
- 7 - сережки;
- 8 - вал;
- 9 - трикутний важіль;
- 10 - пружина;
- 11 - собачка розчеплення;
- 12 - рукоятка;
- 13 - електромагніт дистанційного відключення;
- 14 - набірні затискачі

Рис.5.3 Загальний вигляд і габарити електромагнітного приводу ПЕ-11УЗ

## **ПЛАН РОБОТИ**

1.1 До початку екскурсії ознайомитись з типовими схемами тягових підстанції.

1.2. Провести огляд тягової підстанції. Звернути увагу на РП-10кВ, випрямляючі агрегати ВАКЛЕ-1000-600 влаштування мереж кіл управління і релейного захисту.

1.3. Ознайомитись з організацією експлуатації та оперативного обслуговування підстанції.

1.4. Скласти звіт.

## **ПРАКТИЧНІ ВКАЗІВКИ.**

2.1. Огляд електроустановок проводиться після інструктажу, проведеного керівниками експлуатації та під його керівництвом.

2.2. Під час екскурсії забороняється:

- самостійно, без дозволу керівника входити в приміщення підстанції чи змінювати маршрут її огляду;

- наближатись до струмовідних частин на відстані менші допустимих, проникати за огорожі та в комірки з електрообладнанням

- торкатись корпусів електроустаткування, ручок та кнопок керування.

## **Зміст звіту**

3.1. У звіті вказати тему і мету лабораторної роботи.

3.2. Навести дані щодо розташування, призначення та основні параметри підстанції..

3.3. Накреслити однолінійну схему підстанції.

3.4. Провести короткий опис схеми, звернути увагу на її особливості та призначення основних елементів схеми.

3.5 За завданням керівника привести технічну характеристику і особливості влаштування одного із елементів (обладнання) схеми.

## Додаткові завдання

до лабораторної роботи №5

№ варіанту	Назва завдання	Примітка
1	2	3
1	РУ – 10кВ: - схема однолінійна РУ10кВ; - Призначення елементів схеми.	
2	Трансформатор ТМПУ – 1000/1092: - технічна характеристика, особливості конструкції; - система охолодження; - КВП і захист.	
3	Випрямляючі агрегати ВАКЛЕ – 1000-600Н, принцип роботи.	
4	Призначення і основні технічні дані вимикача ВАТ-43-ВАБ-47.	
5	Масляні вимикачі ВМГ-10: - призначення і принцип роботи; - основні технічні дані.	
6	Електромагнітний привід ПЭ-11, призначення призначення та основні технічні дані.	
7	Привід пружиний ПП67К.	
8	. Короткий опис диспетчерського пункту (телесигналізація і керування).	

## Лабораторна робота №6

**ТЕМА:** Дослідження будови комплектних розподільчих пристроїв КРТ10 кВ з мало об'ємними масляними вимикачами ВМП-10.

**МЕТА РОБОТИ:** Закріплення теоретичних знань одержаних на лекціях, практичне ознайомлення із влаштуванням КРТ, вивчення окремих шаф КРТ.

### Теоретичні відомості

Комплектні розподільчі пристрої (КРТ) призначені для прийому і розподілу електроенергії змінного трифазного струму промислової частоти 50 Гц при номінальній напрузі 6 і 10 кВ.

Комплектні розподільні пристрої (КРТ) типу КРУ2-10 монтуються з окремих конструктивно завершених елементів: шаф і шинних кожухів, які служать для з'єднання окремих секцій КРТ.

Монтаж вказаних елементів проводиться відповідно до креслення - Схема монтажу КРТ, що видається заводом-виробником КРТ на кожний з об'єктів замовлення, де проводиться монтаж комплектних розподільних пристроїв.

В шафі типу КРУ2-10П встановлений вимикач ВМП-10П з вбудованим пружинним приводом.

В шафі типу КРУ2-10Е - електромагнітний привід типу ПЕ-11. Нище приводиться опис конструкції шаф КРТ з вимикачем. Останні типи шаф (з трансформатором напруги, з розрядниками, з силовим трансформатором).

Комплектні розподільчі пристрої не призначаються для:

- а) установки в сирих приміщеннях (з відносною вологістю, що перевищує 50%)
- б) роботи в умовах інтенсивного забруднення, дії струмоведучих або хімічних активних газів, випаровувань і опадів;
- в) роботи в пожежо чи вибухонебезпечних місцях (в газових шахтах);
- г) роботи в спеціальних режимах (в екскаваторах, пускових пристроях, корабельних або суднових установках і т. п.).

Параметри:

1. Номінальна напруга. - 6 і 10 кВ.
2. Номінальний струм шаф - 600, 1000 і 1500 А.
3. Потужність відключення вбудованого в шафу вимикача: 200 МВ А при 6 кВ і 350 МВА при 10 кВ.
4. Номінальний струм збірних шин - 1000, 1500, 2000, 2750 А.
5. Термічна динамічна стійкість збірних шин і відпайок з ізоляторами відповідає стійкості високовольтного вимикача (амплітуда критичного наскрізного струму короткого замикання вимикача 52 кА і десятисекундний струм термічної стійкості 14 кА). Стійкість до струмів короткого замикання вбудованих в шафу КРП трансформаторів струму визначаються їх технічними даними.
6. Габаритні розміри шафи: ширина - 900 мм, глибина - 1664 мм,
7. Вага шафи з вимикачем - близько 1200 кг, і трансформатора напруги НТМИ - близько 900 кг.

Шафа комплектного розподільного пристрою з вимикачем складається з трьох основних частин: корпусу шафи, візка викочування і релейної шафи.

Корпус шафи є жорстким зварним каркасом, обшитим зовні металевими листами. Корпус розділений металевими перегородками на чотири відсіки.

Візок викочування в шафі має три основні положення; робоче, контрольне і ремонтне. В робочому положенні візок знаходиться в корпусі шафи, кола первинних і вторинних з'єднань, забезпечуючі нормальну роботу шафи, замкнуті.

В контрольному положенні візок також знаходиться в корпусі шафи, кола первинних з'єднань розімкнені і знаходяться на безпечній (по відношенню до електричного пробую) відстані один від одного, а роз'єднуючі контакти вторинної комутації, що забезпечують можливість випробування вимикача з приводом, можуть бути замкнуті за допомогою вставки або розімкнуті.

Ремонтне положення візка - це таке положення, коли він викочується з корпусу шафи, при цьому кола первинних з'єднань розімкнуті, а вторинні можуть бути замкнуті або розімкнуті.

Візок блоку вимикача з вбудованим пружинним приводом є жорсткий зварний каркас, на якому встановлюється вимикач ВМГТ-10П.

Транспортування шаф КРП із заводу-виробника проводиться в більшості випадків по три шафи в дерев'яних упаковках, оббитих з внутрішньої сторони толем чи іншим рівноцінним матеріалом для захисту від потрапляння вологи при транспортуванні. При транспортуванні, перевантаженнях і переміщеннях шаф, останні не кантувати і не піддавати сильним поштовхам і крену.

Упаковка не розрахована на тривалу дію атмосферних опадів, тому шафи КРТ по прибутті на місце необхідно помістити в сухе, закрите приміщення, звільнити від упаковки, очистити від пилу, стружки і піддати досконалому зовнішньому огляду з метою виявлення пошкоджень при перевезенні. Розпаковку рекомендується проводити в наступному порядку:

1. Зняти кришку і бічні стінки пакувального ящика;
2. Відкрити зовнішні двері шаф, зняти задні кришки і відвернути гайки з шпильок, що кріплять шафи до санчат пакувального ящика.
3. Якщо дозволяють підйомні засоби, всі три шафи разом знімають з санчат і вносять в приміщення на монтаж або зберігання.

Якщо підйомні засоби не дозволяють зняти з санчат пакувального ящика всі три шафи разом, то необхідно:

- а) зняти кутник і скоби (косинець вниз і дві скоби вгору), за допомогою яких частина викочування розкріплюється в шафі на час транспортування;
- б) викотити викочувані частини з шаф;
- в) зняти болти, які кріплять шафи між собою;
- г) зняти з санчат шафи і по одній штуці занести їх в приміщення.

Примітка: При розпаковуванні комірок необхідно мати на увазі, що технічна документація, яка направляється заводом замовнику комплектно з шафами КРП, поміщається в релейній шафі упакованого ящика - місце 1, а паспорт на шафу - в релейному відсіку шафи.

Комплектно з комірками КРП завод-виготівник направляє замовнику:

- а) шиноз'єднуючі коробки між секціями КРП, якщо поставка їх оговорена замовленням;

б) збірні шини, які на комірках не встановлюються, а поставляються у вигляді, що демонтується комплектно з кріпленням для установки і закріплення шин на комірках;

в) монтажні матеріали і обладнання (дріт для магістральних шинок вторинної комутації, рукоятки для вкочування і викочування візків і інше);

Комплектний розподільчий пристрій (КРП) - це розподільчий пристрій, що складається із закритих шаф з вбудованими в них апаратами, вимірювальними і захисними приладами, і допоміжними пристроями. Шафи КРП виготовляються на заводах, що дозволяє добитися ретельної збірки всіх вузлів і забезпечення більш надійної роботи електроустаткування. Шафи з повністю зібраним і готовим до роботи устаткуванням поступають на місце монтажу, де їх встановлюють, з'єднують збірні шини на стиках шаф, підводять силові і контрольні кабелі. Застосування КРП дозволяє значно підвищити швидкість монтажу. КРП безпечно в обслуговуванні, оскільки всі частини, що знаходяться під напругою, закриті металевим кожухом. Як ізоляція між струмоведучими частинами в КРП може бути використане повітря, масло, тверда ізоляція, інертні гази. КРП з масляною і газовою ізоляцією можуть виготовлятися на високі напруги (в світовій практиці є конструкції на 220, 400 і 500 кВ). В КРП можуть застосовуватися звичайні апарати або спеціально призначені для КРП апарати. Наприклад, для КРП 610 кВ застосовуються вимикачі звичайної конструкції, а замість роз'єднувачів - вставні контакти.

Наша промисловість випускає КРП 335 кВ з повітряною ізоляцією, - готується до випуску КРП в металевих корпусах, в середині якого розміщена вся апаратура.

Застосування КРП приводить до скорочення об'єму і термінів проектування. При необхідності можливі реконструкція і розширення електроустановки. Для РП 610 кВ понижуючих підстанцій, а також в системі власних потреб електростанцій широко застосовується КРП серії КРП2-10, але більш поширеним є КРП серії К-ХН (рис.5.1).

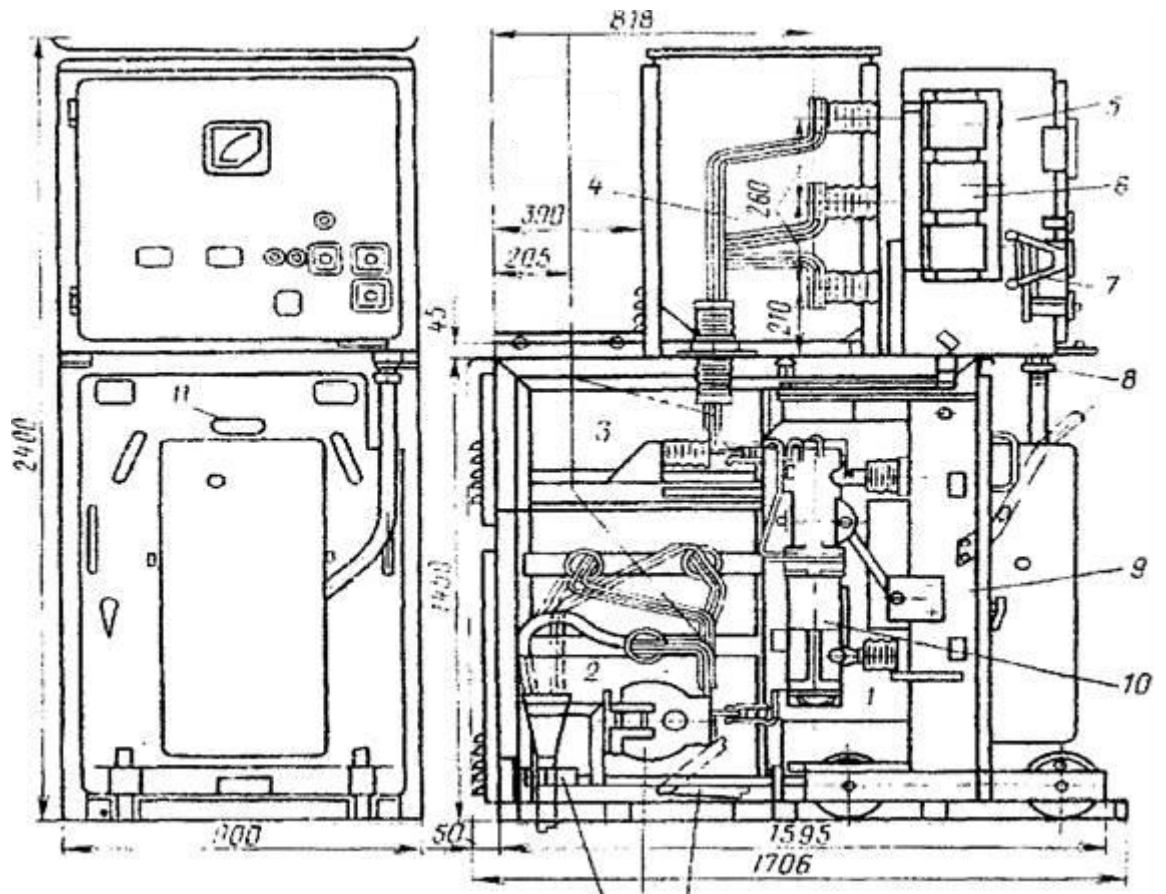


Рис. 5.1. Шафа КРП серії К-ХН з вимикачем ВМП-10К і приводом ПЕ-11. 1 відсік візка; 2 відсік трансформаторів струму і кабельної збірки; 3 відсік шинного роз'єднуючого контакту; 4 відсік збірних шин; 5 приладова шафа; 6 блок релейного захисту; 7 поворотна рама для установки лічильників; 8 штепсельний роз'єм вторинних з'єднань; 9 візок; 10 вимикач ВМП-10К з приводом ПЕ-11; 11 оглядове вікно; 12 трансформатор струму земляного захисту; 13 трансформатор струму; 14 заземлюючий роз'єднувач .

## ПЛАН РОБОТИ

1.1. До початку екскурсії у діючу електроустановку (РП) ознайомимося із особливостями та відмінностями будови шаф КРП серії КРУ2 – 10П та К – ІХ внутрішньої та зовнішньої установки.

1.2. Провести огляд розподільчого пристрою, звернути увагу на з'єднання окремих шаф, приєднання живильних та підходящих ліній, влаштування коридорів обслуговування і фундаментів.

1.3. Провести огляд відсіків шафи КРП з масляними вимикачами, при цьому звернути увагу на влаштування:



- візка з масляним вимикачем і приводом;
- контактних з'єднань;
- системи блокувань;
- кіл управління сигналізації, обліку та релейного захисту.

1.4. Записати транспортні дані та технічні характеристики оглядового обладнання.

1.5. Ознайомитись з особливостями експлуатації КРП внутрішньої установки.

1.6. скласти звіт.

### **ПРАКТИЧНІ ВКАЗІВКИ.**

2.1. Огляд електроустановок проводиться після інструктажу, проведеного керівниками експлуатації та під його керівництвом.

2.2. Під час екскурсії забороняється:

- самостійно, без дозволу керівника входити в приміщення електроустановки чи змінювати маршрут її огляду;
- наближатись до струмовідних частин на відстані менші допустимих, проникати за огорожі та в комірки з електрообладнанням
- торкатись корпусів електроустановки, ручок та кнопок керування.

### **Зміст звіту**

3.1. У звіті вказати тему і мету лабораторної роботи.

3.2. Навести дані щодо призначення та технічну характеристику КРП.

3.3. Провести короткий опис будови шафи КРП та вказати перелік обладнання встановленого в ній.

3.4. Провести характерні особливості будови КРП зовнішньої установки.

3.5. За завданням керівника привести технічну характеристику і особливості влаштування одного із елементів (обладнання) КРП.

## Додаткові завдання

до лабораторної роботи №6

№ варіанту	Назва завдання	Примітка
1	2	3
1	Блокувальні пристрої комірки з масляними вимикачами.	
2	Положення візка викочування.	
3	Види (типи) трансформаторів струму, які застосовуються в комірках з кабельними вводами.	
4	Призначення і будова візка.	
5	Заземляючі ножі, їх призначення.	
6	Призначення і основні технічні дані комплексного розподільчого пристрою КРП.	
7	Будова КРП.	

## Література

1. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання/ Є.І. Бардик, М.П. Лукаш / К.: "Політехніка" НТУУ "КПІ" 2012. 250 с.
2. Костишин, В. С. Електрична частина станцій та підстанцій : навч. посіб./ В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. - 243 с.
3. Зорін В.В. Електричні мережі та системи (окремі розділи): навчальний посібник для студентів вищ. навч. закл. / Зорін В.В., Штогрин Є.А., Буйний Р.О. – Ніжин : ТОВ «Видавництво «Аспект -Поліграф», 2011. – 248 с.
4. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2004. - 656 с.
5. Козлов В. Д. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів : підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова.– К. : НАУ, 2018. – 312 с.
6. Петренко А. В. Технології обслуговування та ремонту електричних установок. Частина 1 / А. В. Петренко, С. С. Макаревич // К.: ЦП "Компринт", 2017 – 360 с.
7. Експлуатація та діагностування електричних машин і трансформаторів: Навч. посіб. для студ. електромех. спец. вищ. навч. закл. / М.А. Яцун; Нац. ун-т "Львів. політехніка". — Л., 2003. — 179 с
8. Лежнюк, П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій: навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.