

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Паламарчук Антон Юрійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента(ки)

На здобуття другого (магістерського) ступеня вищої освіти

Модернізація обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів

електроенергією

Назва теми

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електропобутова техніка

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент(ка) 2 курсу група ЕТм-23-1

Шифр


Підпис

АНТОН ПАЛАМАРЧУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доцент

Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

ПАВЛО МАЙДАН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер ст. викладач

Посада


Підпис

СЕРГІЙ ПУНДИК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри МАЕЕС

Назва


Підпис

ВІТАЛІЙ НЕЙМАК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

19.12.2024

Дата

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

Неймак В.С.

 . 12 . 20 24 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Паламарчук Антон Юрійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Модернізація обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією

Керівник роботи Майдан Павло Сергійович, канд. техн. наук, доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи електричні та енергетичні характеристики обладнання

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

Вступ. Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень використання захисного обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією. Розроблення конструкції захисного обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією. Розрахунки, що підтверджують працездатність підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Захисне обладнання для підстанції (ДО, А1). Проект підстанції 110/10 кВ (С5, А1). 3. Розподільний пристрій 10/0,4 кВ (С4, А1). 4. Шафа комплектного розподільного пристрою на 10 кВ (МК, А1) 5. Викатна комірка в розподільному пристрої (ГК, А1) 6. Розподільчий пристрій на 10 кВ (МК, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв


7. Дата видачі завдання _____

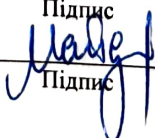
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень використання захисного обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією		
2. Розроблення конструкції захисного обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією		
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією		
4. Оформлення пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи		
5. Оформлення графічного матеріалу		

Студент(ка)

Керівник роботи



 Підпис


 Підпис

Антон ПАЛАМАРЧУК
 Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Павло МАЙДАН
 Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електрообутова техніка

АНОТАЦІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Паламарчук Антон Юрійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

Тема роботи Модернізація обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією

1. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____

2. Обсяг магістерської роботи: креслень 6 арк, сторінок записки 71

3. Характеристика розділів пояснювальної записки:

В першому розділі проведено порівняльний аналіз конструкцій КРПЕ та РП із використанням традиційної ізоляції свідчить про помітну перевагу з позицій надійності саме КРПЕ. За низкою показників, таких як періодичність капітальних ремонтів, параметр потоку відмов, середньорічна тривалість перебування устаткування в планових та аварійно-відновлювальних ремонтах, КРПЕ забезпечують кращі технічні характеристики. В другому розділі вибрали схеми розподільних пристроїв на високий, середній та низький рівні напруги. Розглянуто варіанти оснащення підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією як окремо встановленим елегазовим обладнанням, на високому та середньому рівнях напруги, так і із використанням найсучаснішого - КРПЕ. На стороні низького рівня напруги ми використали спеціалізовані вакуумні вимикачі, які є найкращим варіантом для даного класу напруги. В третьому розділі проведено розрахунок захисного обладнання для конструкції підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією та окремо проведено розрахунок комплектних розподільчих пристроїв з елегазовою ізоляцією (КРПЕ) для оцінки точності підбору обладнання для підстанції.

Підпис студента _____

" 17 " 12 20 24 р.

Р І Ш Е Н Н Я ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ:

Протокол 3 від 25 12 20 24 р.

Оцінка роботи ЕК добре/с

Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____

Підпис

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

" 25 " 12 20 24 р.

Зміст

	с.
Вступ	5
1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень використання захисного обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією	7
1.1 Сучасний стан розвитку комутаційного обладнання підстанцій	7
1.2 Використання вакуумних автоматичних вимикачів в електроенергетиці	13
1.3 Проблематика використання елегазових автоматичних вимикачів в електроенергетиці	17
1.4 Аналіз і порівняння КРПЕ з традиційними РП	20
Висновки до розділу	25
2 Розроблення конструкції захисного обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією	26
2.1 Підбір електричних схем розподільних пристроїв підстанції	26
2.2 Підбір захисного обладнання підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією	30
2.3 Підбір комплектних розподільних пристроїв з елегазовою ізоляцією до підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією	38
Висновки до розділу	51
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією	52
3.1 Розрахунок захисного обладнання для конструкції підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією	52

МРМА 24.00.00.000 ПЗ					
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	
Виконав	Талмарчук А				
Перевір.	Майдан П.С.				
1. контр.	Пундик С.І.				
Затвер.	Чеймак В.С.				
Модернізація обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією			Літера	Аркуш	Аркушів
			М	4	70
ХНУ гр. ЕТм-23-1					

3.2 Розрахунок комплектних розподільчих пристроїв з елегазовою ізоляцією (КРПЕ)	67
Висновки до розділу	70
Висновки	71
Перелік джерел посилань	72
Додатки	

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Модернізація парку комутаційних апаратів, що використовуються, у світі буде рухатись шляхом нарощування частки використання вакуумних і елегазових вимикачів, а також комплектних розподільчих пристроїв з елегазовим захистом (КРПЕ). Насамперед це буде пов'язано з досить високим ступенем надійності та низькими експлуатаційними витратами даного виду захисного обладнання. Частка вакуумних вимикачів та КРП зібраних із використанням вакуумних вимикачів до 2020 року зросла швидкими темпами в класах напруги до 170 кВ.

Згідно постанови до 2030 року у світі у зв'язку з посиленням екологічних вимог елегаз і можливі суміші, будуть використовуватися в нових розробках в якості ізоляційного та дугогасного середовища, тільки за рівнів напруги вище 330 кВ. Елегазові апарати витіснятимуть вакуумні вимикачі, або КРП з вакуумними вимикачами та стисненим повітрям в якості ізоляції (КРПВВВ), або комбіновані апарати, коли ізоляційним середовищем може бути, наприклад, елегаз, а дугогасильним середовищем - вакуум.

Отже, розвиток високовольтної комутаційної апаратури майже повністю пов'язаний з елегазовим та вакуумним середовищем. Це свідчить про актуальність розвитку елегазового та вакуумного захисного обладнання.

Метою даної кваліфікаційної роботи є аналіз і перспективи розвитку сучасного елегазового та вакуумного захисного обладнання та доцільність використання в електроенергетиці.

Результати кваліфікаційної роботи магістра були представлені та високо оцінені на науковій студентській конференції кафедри машин та апаратів, електромеханічних та енергетичних систем у 2024 році. На основі виконаної роботи було підготовлено тези у Збірник наукових праць «Технічна творчість» №9, 2024р. (див. додаток Б).

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень використання захисного обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією

1.1 Сучасний стан розвитку комутаційного обладнання підстанцій

Найперше захисне обладнання підстанцій - високовольтні вимикачі. На сучасному етапі розвитку відбувся якісний стрибок у технології виготовлення високовольтних комутаційних апаратів - на зміну повітряним та масляним вимикачам прийшли комутаційні апарати із використанням в якості ізоляційного та дугогасильного середовища вакууму або елегазу (рис. 1.1) [1-5].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд високовольтного вимикача типу ВГБУ

Що стосується вимикачів високої, надвисокої та ультрависокої напруги (діапазон від 110 до 1150 кВ), елегазові вимикачі в технічно розвинених країнах світу практично витіснили всі інші типи комутаційних апаратів [7, 8].

Головне завдання в галузі виготовлення комутаційної апаратури - підвищення надійності захисного обладнання. У світі регулярно проводять аналіз відмов комутаційних апаратів. У дослідницькому комітеті CIGRE A3 [6]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

7

У єдиній енергетичній мережі експлуатується близько 30 тисяч вимикачів класів напруги від 110 кВ до 750 кВ. Розподіл за класами напруги: 110 кВ - 80,5%, 220 кВ - 15,2%, 330 кВ - 1,2%, 500 кВ - 3%, 750 кВ - 0,1%.

Більшу частину автоматичних вимикачів складають стандартні масляні бакові вимикачі з номінальним рівнем напруги 110 та 220 кВ, дані вимикачі становлять - 45,4%. Маломасляні вимикачі на 110 та 220 кВ складають 19% від загальної кількості встановлених автоматичних вимикачів.

Повітряні вимикачі використовуються в розподільних пристроях для усіх класів напруги, кількість складає приблизно 16% від загальної кількості встановлених вимикачів.

Дані автоматичні вимикачі не відповідають сучасним вимогам, зокрема за комутаційним і механічним ресурсами, за надійністю, за обсягами ремонтних робіт, масами і, звичайно, габаритами.

До 1996 р. в енергосистемах країни були встановлені поодинокі зразки елегазових автоматичних вимикачів, які можливо було розглядати як такі, що перебувають у так би мовити дослідній експлуатації. За час, що минув, кількість елегазових автоматичних вимикачів у розподільних пристроях усіх рівнів напруг постійно зростала і нині становить приблизно 20% [11, 12].

Значна частина масляних і повітряних автоматичних вимикачів, що експлуатуються в єдиній енергетичній мережі, насамперед на рівнях напруги в 110 та 220 кВ, відпрацювала встановлений нормативними документами термін служби. До теперішнього часу використання кількість даних видів вимикачів складає близько 40%.

До 2005 р. замінити 34% встановлених застарілих автоматичних вимикачів, а до 2015 р. повинно бути замінено 58%. За весь період з 2001 до 2015 р. очікується заміна близько 15000 вимикачів напругою від 110 до 750 кВ.

Програма технічної реконструкції єдиної енергетичної мережі передбачає заміну автоматичних вимикачів, які відпрацювали свій ресурс. Насамперед має проводитися заміна масляних та повітряних автоматичних вимикачів наступних

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

серій: ВВ, ВВН, У, МКП, ММО. Крім того під час виконання заміни повинні використовуватися саме елегазові вимикачі. При цьому необхідно використовувати нові колонкові і бакові елегазові автоматичні вимикачі наступних типів ВГК, ВГТ, ВГБ та ін., а також вимикачі провідних зарубіжних фірм-виробників: АВВ [13], Siemens [14], AREVA тощо. За даними CIGRE АЗ [6] в зарубіжних енергетичних мережах частка встановлених елегазових автоматичних вимикачів складає близько 56% від загальної кількості встановлених автоматичних вимикачів (у різних класах напруги: 110 кВ - 52%, 220 кВ - 56%, 330 кВ - 55%, 330 кВ - 69%, 500 кВ - 65%, 750 кВ - 92%). Серед автоматичних вимикачів, установлених за останні 10 років за кордоном, частка елегазових автоматичних вимикачів складає 100% [15].

Незважаючи на те, що серійне виробництво спеціальних КРПЕ освоєно з 70-х років минулого століття, масштаби використання КРПЕ у нас у країні поки що не відповідають сучасним світовим тенденціям - встановлено лише менше 400 комірок КРПЕ на рівні напруги від 110 до 220 кВ, десятків комірок КРПЕ на 330 кВ, менше десяти комірок КРПЕ на 500 кВ виробництва концерну «АВВ», тоді як, наприклад, у Японії в той самий період часу випущено близько 7000 комірок КРПЕ на рівні напруги від 77 до 800 кВ.

З іншого боку, КРПЕ (рис. 1.2) розроблено на весь спектр номінальних рівнів напруги - від 110 кВ до 1150 кВ, і фактично створено комплектно-розподільні пристрої, так званого, третього покоління [15].

Зміна поколінь КРПЕ, як правило, відбувається не рідше, ніж у десять років.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд залу КРПЕ [15]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
11

До особливостей крайнього покоління КРПЕ можливо віднести: наявність не більш як одного розриву до рівнів напруги 362-500 кВ і не більш як двох розривів - до рівня напруги 800 кВ; сили струму відключення автоматичних вимикачів досягають 63 кА, номінальні сили струму 8 кА; використання в конструкціях дугогасильних пристроїв із комбінованим принципом гасіння електричної дуги; наявність швидкодіючих заземлюючих пристроїв на лінійних виводах; використання спеціалізованих систем діагностики практично всіх найважливіших характеристик; висування дещо вищих вимог щодо надійності (під час роботи в деяких режимах), а також підвищення вимог і щодо комутаційної здатності після виконання робочих операцій; щодо комутаційних апаратів - вимикачів і роз'єднувачів, швидкодіючих заземлювачів; домінуюче використання в елегазових автоматичних вимикачах автономних приводів - пружинних і гідравлічних [16, 17].

Ведуться також роботи з удосконалення конструкції КРПЕ шляхом об'єднання функцій різних комутаційних апаратів в структурі одного модуля (наприклад, об'єднання функцій роз'єднувача, вимикача і заземлювача в одному пристрої), шляхом створення конструкції КРПЕ з розміщенням трьох фаз в одній оболонці аж до рівня напруги 500 кВ.

Дані рішення дають можливість зробити комутаційну апаратуру більш компактною, зменшити необхідні для встановлення КРПЕ площі та обсяги приміщень, підвищити техніко-економічні показники обладнання.

У єдиній енергетичній мережі з 1979 р. в експлуатацію введено 266 осередків КРПЕ на рівні напруги в 110 і 220 кВ, зокрема для 110 кВ - 228 шт., для 220 кВ - 38 шт. Близько 40% даних осередків встановлено зарубіжними фірмами (ABB [14], Siemens [15], Alstom [18]).

Для порівняння рівня використання КРПЕ у нас та за кордоном можна вказати, що лише підприємствами компанії «ABB» [14] поставлено в 75 країн світу близько 9 тисяч осередків КРПЕ, з них близько 200 осередків на рівень напруги в 500 кВ.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Найближчими завданнями в частині впровадження конструкцій КРПЕ є: усунення наявних недоліків, виявлених під час експлуатації КРПЕ; розширення районів використання КРПЕ, насамперед застосування КРПЕ в районах із суворими кліматичними умовами та високою сейсмічною активністю; впровадження сучасного випробувального та газотехнологічного обладнання. Для підвищення рівня використання КРПЕ, скорочення витрат на встановлення нового обладнання і пошкоджуваності слід впроваджувати низку сучасних автоматизованих систем діагностики та керування обладнанням.

1.2 Використання вакуумних автоматичних вимикачів в електроенергетиці

Сучасний стан існуючих електричних мереж і підстанцій вимагає заміни застарілого фізично і морально обладнання. Технічний стан енергетичних мереж і трансформаторних підстанцій на рівні напруги 10 кВ і нижче викликає серйозні переживання [20-22].

Частка обладнання енергетичних мереж 6-10 кВ, що потребує ремонту і заміни, досягає близько 70%. Світова тенденція розвитку електротехнічного захисного обладнання така, що раніше поширені маломасляні та масляні вимикачі на рівні напруги від 6 до 10 кВ майже скрізь замінюються на вакуумні вимикачі (ВВ). Уже до кінця 90-х за даними компанії «Siemens» [15] співвідношення між різними типами автоматичних вимикачів, що продаються у світі на середній рівень напруги: елегазові – 24%, маломасляні – 12%, вакуумні – 64%.

Тенденції розвитку високовольтних автоматичних вимикачів на рівні від 6 до 35 кВ, представлені на діаграмі (рис. 1.3), свідчать про стійке зростання поширення у світі ВВ [20-22].

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

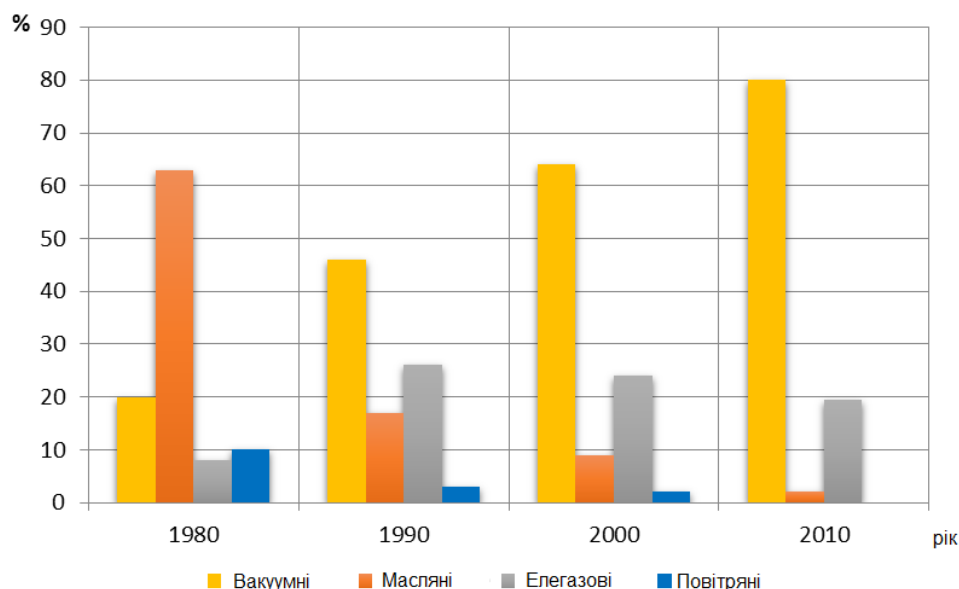


Рисунок 1.3 – Діаграм розвитку високовольтних автоматичних вимикачів на рівні напруги від 6 до 35 кВ [20-22]

Розвиток застосування ВВ пов'язаний із тим, що вакуум є ідеальним середовищем для ізоляції, тому що іонізація молекул газу шляхом зіткнення з ними електронів надзвичайно низька, а отже, практично неможливе лавиноподібне зростання кількості заряджених частинок через вельми низьку щільність газу. Тому електрична міцність ізоляційного міжконтактного проміжку у вакуумі суттєво вища, а довжина електричної дуги значно менша, ніж у елегазових, масляних та повітряних вимикачах. Що дозволяє істотно знизити габаритні розміри дугогасильної камери ВВ.

Кількість ВВ, що продаються в нашій країні, складає близько 50% від інших типів автоматичних вимикачів. Розроблені конструкції ВВ на рівні напруги 10 та 35 кВ використовують на підстанціях розподільних електричних мереж, а також у різних галузях промисловості:

- на електрообладнанні нафтогазового та хімічного виробництва;
- на пічних трансформаторах сталеплавильних печей, у металургійному виробництві;
- на тягових підстанціях метрополітену і електрифікованих залізниць;
- комплектних трансформаторних підстанцій (КТП);

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

14

- в електрообладнанні для відкритих гірничих робіт для потужних екскаваторів;
- у конденсаторних установках на рівні напруги від 6 до 10 кВ тощо.

В якості переваг ВВ перед іншими типами автоматичних вимикачів (так званих «традиційних вимикачів») на середній клас напруг, можна вказати наступне [8-10]:

- низькі експлуатаційні витрати - визначаються відсутністю необхідності утримання компресорного і масляного господарств, крім того вакуумна дугогасильна камера (ВДК) не вимагає поповнення вмісту дугогасильного середовища. Висока комутаційна зносостійкість дає можливість значно скоротити витрати на обслуговування встановленого ВВ, а також скоротити перерви в електропостачанні, пов'язані з виконанням регламентних робіт;

- висока надійність - до показників надійності елементів схем електричних з'єднань відносять час відновлення, частоту відмов, частоту і тривалість поточного і капітального ремонтів. При інших рівних умовах, тобто, якщо частота відмов і час відновлення після виникнення аварії однакові для традиційних і ВВ, то частота і тривалість ремонту традиційних вимикачів, значно вищі. Наприклад, для маломасляного вимикача типу ВК-10, масло потрібно зливати після 10 операцій відключення рівня напруги в 20 кВ. Після здійснення вимикачем двох тисяч циклів операцій вмикання/вимикання, необхідно виконувати технічне обслуговування приводу вимикача. Після здійснення вимикачем трьох тисяч циклів операцій вмикання/вимикання необхідно здійснювати капітальний ремонт автоматичного вимикача. А середній ремонт автоматичного вимикача повинен виконуватись не рідше одного разу на чотири роки. ВВ є ж практично необслуговуваними. Огляд і періодичні перевірки ВВ повинні проводити один раз на три чи навіть п'ять років. Під час виконання таких перевірок необхідно виконати високовольтні випробування вакуумної дугогасильної камери та ізоляції автоматичного вимикача, а також виконати перевірку перехідного опору контактів;

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- безпека експлуатації та екологічність вимикача - для ВВ характерні низькі динамічні навантаження, низька енергія приводу і відсутність викиду масла чи газів. Маса і габарити ВВ значно нижчі за масу і габарити традиційних вимикачів за однакових номінальних параметрів сили струму і рівня напруги. Усе перераховане забезпечує безшумність роботи і запобігає забрудненню навколишнього середовища. Герметичне виконання ВДК і відсутність середовища, що може підтримати горіння, забезпечує високу вибухобезпечність та пожежну безпечність і можливість використання в агресивних середовищах;

- високий механічний і комутаційний ресурси - число відключень номінальних сил струмів, що допускається без ремонту ВДК, досягає близько 50 тисяч, а номінальних сил струмів відключення (або точніше струмів КЗ) - від 20 до 200 залежно від типу встановленого ВДК і значення сили струму. Як уже було раніше вказано, під час використання маломасляних автоматичних вимикачів необхідно виконувати ревізію після однієї чи двох тисяч вимкнень номінальної сили струму або від трьох до дванадцяти вимкнень номінальної сили струму вимкнення. Достатньо високий механічний ресурс ВВ зумовлений насамперед тим, що хід контактів ВДК складає лише від 6 до 10 мм на рівні напруги від 6 до 10 кВ. Для масляних і електромагнітних автоматичних вимикачів на ці ж рівні напруги хід контактів складає від 100 до 200 мм, а отже, використовується більш складна конструкція приводу, що вимагає більш високих витрат енергії на вмикання/вимикання автоматичного вимикача, що призводить до необхідності постійного догляду та виконання перевірок стану деталей приводу, що також підвищує експлуатаційні витрати на утримання автоматичного вимикача. Високий механічний і комутаційний ресурс дають можливість використовувати ВВ у схемах із частими виконанням комутацій: для комутацій насосів; для трансформаторів сталеплавильних печей; компресорів тощо [20-22].

Завдяки своїм перевагам ВВ дедалі ширше використовуються як під час створення нових КРП, так і для заміни фізично і морально застарілих традиційних вимикачів, під час реконструкції КРП, які перебувають в експлуатації.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Якщо брати до уваги вищу вартість ВВ, користувачі починають розуміти, що нехай дороге, але якісне захисне обладнання себе окупить.

За вартістю і надійністю, зараз можна виділити 3 головні позиції в комутаційному захисному обладнанні на рівні напруги 6-10 кВ [8-10]:

- дорогі та надійні елегазові та вакуумні закордонні вимикачі;
- дешеві та ненадійні (застарілі) традиційні вітчизняні вимикачі;
- надійні вітчизняні ВВ, які дорожчі за традиційні, але поступаються в ціні західним аналогам.

За концепцією інституту з проєктування мереж середньої напруги, вимикачі на 10 кВ повинні бути вакуумними, на 35 кВ можуть бути і вакуумні, і елегазові, а на 110 кВ і вище - лише елегазові вимикачі. До того ж, елегазові вимикачі за ціною в три рази дорожчі за ВВ.

Вибір обладнання в даній ситуації залежить лише від користувача, від вимог до надійності електропостачання та від фінансових можливостей.

1.3 Проблематика використання елегазових автоматичних вимикачів в електроенергетиці

Елегазовий автоматичний вимикач [8-10] - один із найсучасніших типів високовольтних автоматичних вимикачів. В якості середовища для гасіння електричної дуги використовується шестифториста сірка (SF_6 або елегаз), що володіє великою електричною міцністю і прекрасними дугогасильними властивостями. Назву елегаз (або повністю електричний газ) для шестифтористої сірки дав у 1947 р. минулого століття фізик Б. Гохберг, крім того першим висловив припущення про можливість використання елегазу в якості ізоляційного середовища для електрообладнання високого рівня напруги.

Автоматичні вимикачі з дугогасильним середовищем у вигляді елегазу є одним із тих напрямків, що достатньо швидко розвиваються в галузі створення нових автоматичних вимикачів змінної сили струму високого та надвисокого

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

рівня напруги, які вирізняються малими габаритами та відповідають вимогам сучасної енергетики щодо надійності та комутаційної здатності. Використання елегазу для вказаних цілей обумовлено високими дугогасильними та ізоляційними властивостями газу.

У дугогасильних пристроях (ДГП) елегазових автоматичних вимикачів використовують різні способи гасіння електричної дуги в залежності від номінального рівня напруги, номінальної сили струму вимкнення й умови відновлення заданого рівня напруги.

Один зі способів - охолодження електричної дуги за допомогою елегазу під час перетікання газу з спеціального резервуару високого тиску (більше 2 МПа) в резервуар низького тиску (близько 0,3 МПа), тобто використовується аналогічний принцип, що і в повітряному автоматичному вимикачі. Однак основна відмінність полягає в тому, що в елегазових ДГП під час гасіння електричної дуги витікання газу через сопло відбувається не в навколишнє середовище, а в замкнутий об'єм камери, заповнений елегазом за відносно невеликого надлишкового рівня тиску. Гасіння потужної електричної дуги в комутаційних апаратах високого рівня напруги можливе лише за умови достатньо інтенсивного тепловідведення, яке у високовольтних автоматичних вимикачах забезпечується достатньо інтенсивним дуттям. Для того щоб уникнути переходу елегазу в інший агрегатний стан - в рідину за мінусової температури (приблизно мінус 40°C), спеціальний бак високого тиску необхідно постійно підігрівати до температури +12°C, тому що під час переходу елегазу в інший агрегатний стан знижується щільність газової фази і погіршується дугогасильна здатність. Для підігріву елегазу використовується автоматична система, яка сильно ускладнює конструкцію автоматичного вимикача.

Інший спосіб використовується в автокомпресійних вимикачах, у яких спеціальний бак заповнений елегазом за рівня тиску в 0,3-0,4 МПа. При цьому забезпечується висока електрична міцність елегазу і можливість роботи без підігріву за рівня температури до мінус 40°C. У таких автоматичних вимикачах

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

перепад рівня тиску, необхідний для гасіння електричної дуги, створюється спеціально встановленим компресійним пристроєм, механічно пов'язаним із рухомим контактом комутаційного апарата. У процесі гасіння електричної дуги виходить перепад рівнів тиску в діапазоні 0,6÷0,8 МПа. При цьому забезпечуються умови для отримання критичного рівня швидкості витікання та ефективності гасіння електричної дуги.

Третій спосіб використання - спосіб гасіння електричної дуги, що переміщається під дією магнітного поля в нерухомому середовищі - елегазі. Тепловідведення від електричної дуги істотно зростає при швидкому переміщенні під дією сил магнітного поля в комутаційних апаратах низького рівня напруги. Під час заміни повітря на елегаз електромагнітний спосіб гасіння електричної дуги виявилось можливим поширити і на сферу високих рівнів напруги.

Широкому поширенню елегазових автоматичних вимикачів сприяли наступні переваги [20-22]:

- швидкодія і придатність для використання в будь-якому циклі АПВ;
- вибухо- і пожежобезпечність;
- висока здатність до відключення за особливо важких умов відключення (відключення невидалених КЗ та ін.);
- можливість виконання синхронного розмикання контактів безпосередньо перед переходом сили струму через нуль;
- низький знос дугогасильних контактів;
- надійне відключення ємнісних сил струмів холостих ліній;
- відносно низька вага (якщо порівнювати з баковими масляними вимикачами);
- можливість створення серії з уніфікацією великих вузлів;
- легкий доступ до дугогасників і простота ревізії;
- придатність для внутрішнього і зовнішнього монтажу.

Проте існують і недоліки використання [20-22]:

- відносна складність конструкції деталей і деяких вузлів, а також

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		19

необхідність використання високонадійних ущільнень;

- необхідність у наявності автоматичних вимикачів спеціальних пристроїв для наповнення, перекачування й очищення елегазу;
- відносно висока вартість дугогасильного середовища і, відповідно, автоматичного вимикача загалом.

1.4 Аналіз і порівняння КРПЕ з традиційними РП

КРПЕ з'явилися на світовому ринку наприкінці 60-х років минулого століття. Відтоді для РП електроустановок вони займають достатньо міцні позиції в практиці промислово розвинених країн світу.

Настільки широке і достатньо швидке впровадження КРПЕ пов'язане головним чином з винятковою компактністю конструкції, причому без шкоди для решти технічних характеристик.

Вартість осередку КРПЕ, наприклад для рівня в 220 кВ, оцінюють на світовому ринку приблизно в 1,5 млн. дол. З огляду на площу, яку займає осередком з автоматичним вимикачем відповідного класу напруги, і вартісні характеристики земельних ділянок, виявляється, що навіть з економічної позиції, яка не завжди є основою під час вибору місце встановлення електроустановки, використання КРПЕ в даних випадках є кращим, а іноді, у разі спорудження РП в умовах досить обмеженого простору, і єдиною можливим рішенням [8-10].

Крім компактності, для КРПЕ характерні достатньо висока надійність, достатній ступінь безпеки для експлуатаційного та ремонтного персоналу і стійкість до сейсмічних коливань, простота монтажу та, відповідно, обслуговування, мала тривалість підготовки місця спорудження. Для елегазового обладнання не існує проблем наведення потужних електричних полів і сильного шуму.

Аналіз показує, що незалежно від організаційної структури галузі використання чи форм власності на підприємство за основну мету

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

функціонування енергосистем приймають забезпечення надійного електропостачання споживачів за найменших можливих витрат. Для забезпечення надійного й економічного електропостачання енергокомпаніям доводиться домовлятися про спільне досягнення мети, забезпечувати обмін отриманими даними для досягнення встановленої мети, встановлювати загальні критерії надійності обладнання. При цьому найпильнішу увагу звичайно, приділяють саме аспектам надійності.

Схеми комутації електроустановок підвищеного рівня напруги пріоритетно виділяють серед інших схем комутацій. Електростанції та великі електропідстанції, є опорними комутаційними вузлами у внутрішньо- і міжсистемних зв'язках, пунктами для підтримання потрібної якості та рівня електроенергії, виступають в якості регуляторів параметрів графіків навантаження енергосистем, помітно впливають на надійність і економічність режимів роботи обладнання. Тому схеми комутації та відповідні конструкції РП - надважливі елементи в структурі електроустановок. У зв'язку з даними уточненнями видається корисним оцінити досягнутий рівень надійності конструкції КРПЕ і вказати додаткові переваги для більш широкого використання в енергосистемах країни даного виду обладнання [20-22].

Аналіз практики промислово розвинених країн світу показує стрімке падіння позицій маломасляними, масляними (або баковими), електромагнітними та повітряними (крім генераторних) автоматичними вимикачами. Навпаки, дедалі ширшого застосування набувають вакуумні (рівні напруги до 36 кВ) і елегазові (рівні напруги до і вище 36 кВ) автоматичні вимикачі, а також КРПЕ. Ще в 70-х роках минулого століття була інформація від західноєвропейських фірм-виробників (Швейцарія, Велика Британія, Франція, ФРН тощо) про повітряні автоматичні вимикачі, які випускаються для електроустановок рівнів напруги 100-800 кВ. Наприкінці 80-х років минулого століття у каталогах тих же фірм-виробників фігурували вже, як правило, елегазові автоматичні вимикачі та КРПЕ.

Один із найважливіших показників надійності обладнання - параметр

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

потоків відмов ω , що характеризує частоту виникнення відмов, розмірність - 1/рік. Як відомо, у елементів, що відновлюються, параметр визначається як щільність імовірності виникнення відмов за розглянутий період часу.

Загально відомо, що за період до 31 грудня 1995 р. загальна кількість відмов у встановлених КРПЕ складала 867 рази. З них 20% випадків фіксувалося в перший рік експлуатації встановленого обладнання. Проте, зберігається загально відома тенденція, що за терміну служби електроустановок 20 років і більше аварійність зростає не менше ніж у 2 рази. Якщо взяти до уваги всі осередки без урахування року виготовлення, виявляється, що результуючий параметр потоку відмов осередків знизився за розглянутих 5 років з 0,0097 до 0,0075 1/рік, тобто на 30% менше. Імовірно, дані випадки пов'язані з удосконалення конструкцій і умов технічного обслуговування встановлених КРПЕ. Відома структура відмов досить типова. Найбільш критичний з позицій надійності модуль КРПЕ – автоматичний вимикач і привід вмикання. Головна причина відмов обладнання - вина заводу-виробника (майже 47%). Стосовно вітчизняних умов дефекти виготовлення КРПЕ складають майже 10% загального числа відмов обладнання, а недоліки експлуатації – майже 25% [20-22].

Наведені порівняльні характеристики закономірні. По-перше, аварійно-відновлювальні ремонти КРПЕ складні, тому що в низці випадків пов'язані з розкриттям газощільних захисних кожухів. По-друге, час відновлення КРПЕ охоплює відмови всіх елементів електроустановки (вимикачів, збірних шин, вимірювальних трансформаторів тощо).

Відносно високий час відновлення КРПЕ не означає, що при їхніх відмовах обмеження видачі потужності в енергосистему або електропостачання споживачів матиме ту саму тривалість. Вимоги, що висуваються з позицій надійності до КРПЕ, у різних країнах можуть відрізнятися. Однак існують загальні обов'язкові положення: ремонт одного осередку не повинен викликати простою інших осередків розглянутого РУ; ремонт однієї системи шин не повинен впливати на інші системи шин даного РУ. Інші вимоги забезпечуються вибором типу схеми

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

електричних з'єднань, як і для традиційних РУ.

Отже, для проведення порівняльного аналізу надійності роботи КРПЕ і традиційних РУ основний інтерес представляє лише параметр потоку відмов. Як вказувалось раніше, найбільш критичний з позицій надійності елемент конструкції КРПЕ – автоматичний вимикач і привід вмикання/вимикання. Частка даних відмов в загальній кількості відмов у світі складає 43,4%.

У таблиці 1.1 представлено порівняльні характеристики параметра потоку відмов автоматичних вимикачів КРПЕ з іншими типами автоматичних вимикачів.

Таблиця 1.1 - Значення параметра потоку відмов автоматичних вимикачів

Номінальний рівень напруги, кВ	Параметр потоку відмов вимикачів, 1/год (відн. од.)		
	КРПЕ	масяні	повітряні
110	0,0073 (1,0)	0,01 - 0,03 (1,4-4,1)	0,05 - 0,1 (6,85 -13,7)
220	0,0043 (1,0)	0,01 - 0,07 (2,3 -16,3)	0,06 - 0,15 (14,0-34,9)
330	0,014 (1,0)	...	0,07 - 0,2 (5,0-14,3)
500	0,0054 (1,0)	...	0,08 - 0,2 (14,8-37,0)
Всього	0,0038

Як видно з табличних даних, автоматичні вимикачі КРПЕ володіють більш сприятливими характеристиками надійності: значення параметра потоку відмов в деяких випадках нижчі майже в 40 разів.

Основні елементи КРПЕ (автоматичні вимикачі, заземлювачі, роз'єднувачі, збірні шини, трансформатори сили струму і напруги тощо) укладені зазвичай в алюмінієві газоцільні захисні кожухи (так звані блоки), чим забезпечується модульний принцип побудови КРПЕ. Захисні кожухи щільно заповнені елегазом. При рівні напруги в 72,5 кВ і більше надлишковий рівень тиску приймається вище за рівень 0,2 МПа. При цьому електрична міцність елегазу перевершує аналогічну величину для трансформаторного масла. Тим самим елементи КРПЕ надійно захищені від зовнішніх незалежних впливів хімічно інертним (за рівня

захисних кожухів.

Висновки до розділу

Подальший розвиток вітчизняної енергетичної мережі призведе до масштабної заміни встановленого комутаційного обладнання, тому що майже 90% даного обладнання виробило власний ресурс і морально застаріло. У процесі технічного переоснащення вважається необхідним встановлювати обладнання, що може забезпечити високу надійність, економічність і якість електроенергії, яку постачають споживачам.

Порівняльний аналіз конструкцій КРПЕ та РП із використанням традиційної ізоляції свідчить про помітну перевагу з позицій надійності саме КРПЕ. За низкою показників, таких як періодичність капітальних ремонтів, параметр потоку відмов, середньорічна тривалість перебування устаткування в планових та аварійно-відновлювальних ремонтах, КРПЕ забезпечують кращі технічні характеристики.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		25

2 Розроблення конструкції захисного обладнання підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією

2.1 Підбір електричних схем розподільних пристроїв підстанції

Перш ніж виконувати підбір основного електрообладнання підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією, необхідно виконати підбір електричних схем РП.

Головним чинником для вибору електричної схеми на вищому рівні напруги завжди приймають: кількість приєднань, надійність електропостачання та перспективи розвитку встановленого обладнання.

Згідно технічного завдання під час проектування підстанції, для забезпечення побутових споживачів електроенергією, 330/10 на стороні РП високого рівня напруги будемо використовувати схему 330-7 «Чотирикутник» [11, 12]. Дана схема застосовується в РП рівнів напруги від 110 до 750 кВ для двох трансформаторних підстанцій для забезпечення побутових споживачів електроенергією, що живляться по двох окремих лініях. У даній електричній схемі кожне приєднання комутується двома автоматичними вимикачами. Для електричної підстанції з чотирма приєднаннями (2 повітряні лінії + 2 трансформатори) дана схема є практично за всіма показниками кращою, ніж схеми містків типу 5Н та 5АН. Схема обраної РП 330 кВ представлена на рис. 2.1.

На стороні РП рівня напруги 110 кВ використаємо схему 110-13 «Дві робочі системи збірних шин» [11, 12, 23]. Схему №13 із двома робочими системами збірних шин застосовують на рівні напруги від 110 до 220 кВ за кількості приєднань від п'яти до п'ятнадцяти при підвищених вимогах до надійності живлення кожної окремої повітряної лінії і за відсутності можливості вимкнення всіх підключених приєднань секції (системи збірних шин) на час проведення ревізії та виконання ремонту даної секції збірних шин (рис. 2.2).

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		26

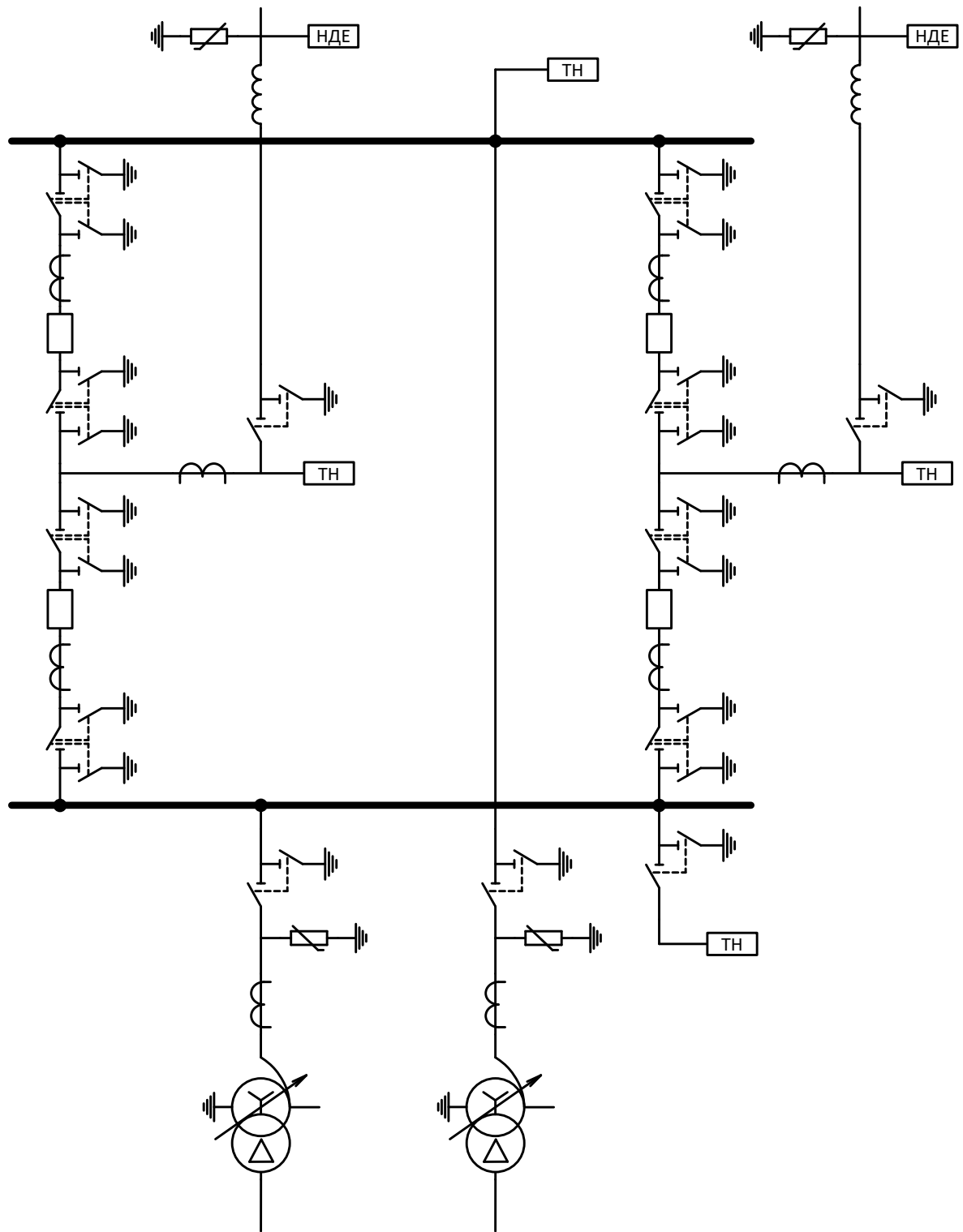


Рисунок 2.1 – Електрична схема приєднань типу №330-7 «Чотирикутник» [11]

Переваги даної схеми - висока надійність (рис. 2.2). До недоліків можливо віднести більш складну конструкцію РП, що веде до збільшення капітальних витрат на спорудження електричної підстанції для забезпечення побутових

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
27

Електричну схему підключення РП 10 кВ представлено на рис. 2.3. Дана схема використовується для підключення двох трансформаторів із розщепленими обмотками низького рівня напруги і здвоєних конструкцій реакторів.

Перевагами електричної схеми підключення є простота, досить висока надійність, використання КРП, наочність, економічність.

До недоліків електричної схеми слід віднести велику кількість струмоведучих матеріалів і автоматичних вимикачів, складнішу конструкцію РП, що веде до збільшення капітальних витрат на спорудження електричної підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією.

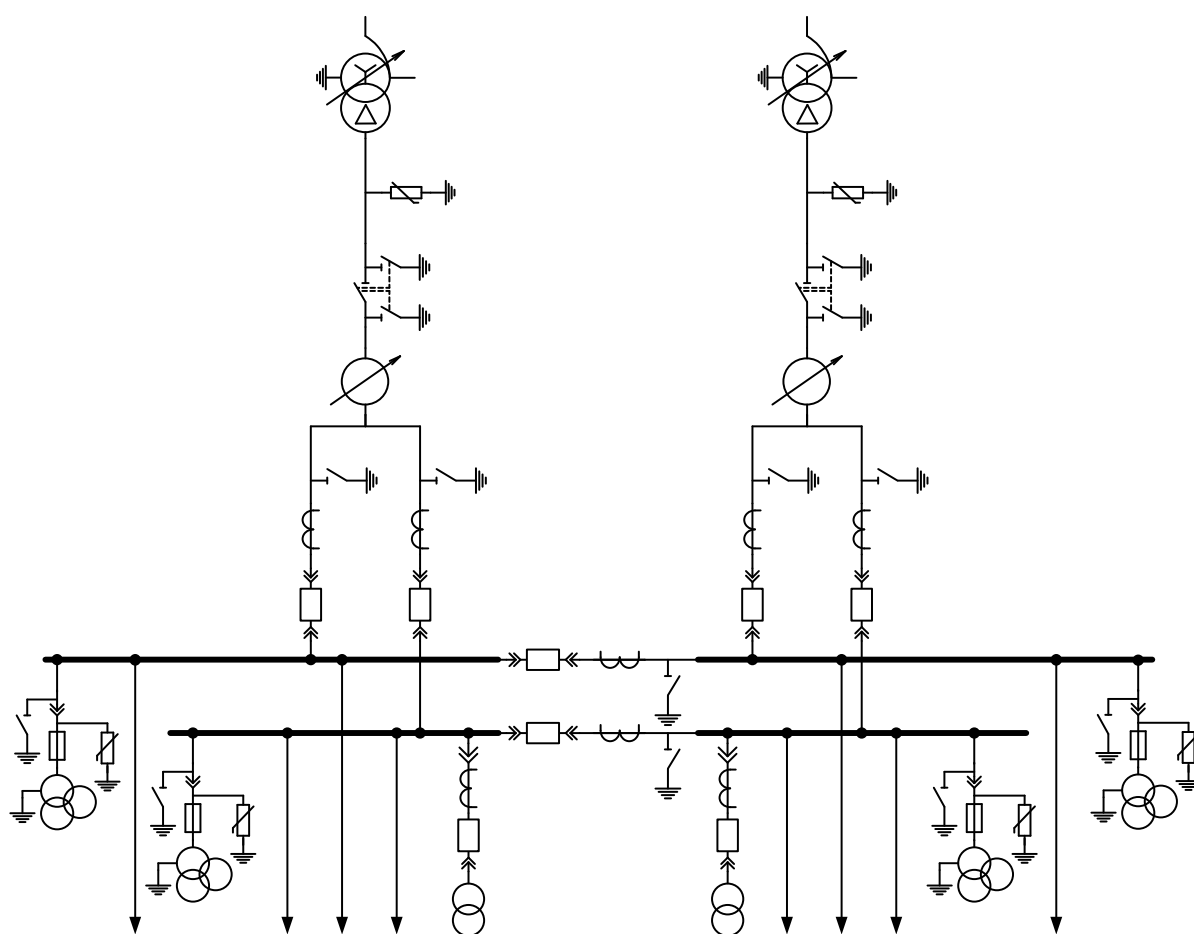


Рисунок 2.3 – Електрична схема підключення №10(6)-2 «Дві, секціоновані автоматичними вимикачами, системи збірних шин» [11, 12, 23]

2.2 Підбір захисного обладнання підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією

Підбір автоматичних вимикачів. Для встановлення у ВРП високого рівня напруги обираємо елегазовий автоматичний вимикач типу ВГБ-330У1. Конструкція якого представляє собою комбінований комплекс із комутаційного апарата і трансформаторів струму (ТС), вже вбудованих у вводи вимикача. Автоматичний вимикач складається з 3 полюсів із загальним приводом, полюси монтуються на металевій рамі. Полюс автоматичного вимикача створений із герметичним резервуаром, виготовленим з алюмінію, в якому розташовано однорозривний автоматичний пневматичний ДГП. На патрубках герметичного резервуара вимикача встановлені ТС. Внутрішні порожнини автоматичного вимикача та ТС заповнені елегазом (під надлишковим рівнем тиску), який служить спеціальним ізоляційним та дугогасильним середовищем.

Основні технічні характеристики автоматичного вимикача наведено в Додатках (див. табл. А.1).

Підбір конструкції роз'єднувачів для ВРП високого рівня напруги. У ВРП на рівень напруги в 330 кВ установлюємо конструкцію роз'єднувачів серії РГ-330/3150 УХЛ1 [24].

Дані роз'єднувачі призначені для вмикання/вимикання знеструмлених ділянок електричних ланцюгів, що перебувають під дією напруги, а також заземлення відключених ділянок електричних ланцюгів за допомогою використання заземлювачів. Даний тип роз'єднувачів виконано у вигляді окремих полюсів горизонтально-поворотного типу (рис. 2.4), конструкція може оснащуватись одним або двома заземлювачами, які в процесі здійснення операції виконують поворотно-поступальний рух. Між контактними ножами і заземлювачами передбачено електричне, механічне та електромагнітне блокування. Основні технічні характеристики даного типу роз'єднувача серії РГ-330/3150 УХЛ1 [24] наведено в табл. 2.1.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Основні технічні характеристики роз'єднувача серії РГ-330/3150 УХЛ1 [24]

Технічна характеристика	$U_{\text{ном}}$, кВ	$I_{\text{ном}}$, А	$i_{\text{пр.с}}$, кА	$t_{\text{тер}}$, с	$I_{\text{тер}}$, кА
Значення	330	3150	160	2	63



Рисунок 2.4 - Загальний вигляд роз'єднувача серії РГ-330/3150 УХЛ1 [24]

Підбір конструкції камери КРП електричної підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією.

Загально відомо, що КРП - це окремий вид РП, який складається із закритих шаф із вбудованими в них комутаційними апаратами, захисними і вимірювальними приладами та спеціальними допоміжними пристроями. Використання конструкцій КРП дає можливість прискорити монтаж всього РП; зменшити площу майданчику під РП; підвищити надійність роботи РП, безпеку обслуговування і можливість достатньо швидкої заміни несправного автоматичного вимикача.

Для РП на рівень напруги в 10 кВ обираємо до монтажу КРП UniGear ZS1 (рис. 2.5) концерну-виробника АВВ. UniGear ZS1 [25] є частиною цілого ряду КРП з використанням повітряної ізоляції в металевій оболонці. Дані КРП UniGear ZS1

[25] складаються із шаф заводської збірки для внутрішнього монтажу, з висувними елементами і одинарними системами збірних шин, що пройшли всі необхідні випробування. У місці експлуатації шафи монтуються в один ряд і утворюють єдиний РП, таке захисне обладнання забезпечує безпеку не лише персоналу, а і навколишнього середовища.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд КРП UniGear ZS1 від АВВ [25]

У таблиці 2.2 наведено основну номенклатуру шаф, а в таблиці 2.3 ключові параметри КРП UniGear ZS1 від АВВ [25].

Таблиця 2.2 - Номенклатура шаф UniGear ZS1 від АВВ [25]

Назва параметру	Параметр	Умовне позначення
Найбільший рівень робочої напруги, кВ	7,2; 12; 24	7; 12; 24

Сила струму термічної стійкості, кА	20; 25; 31,5; 40; 50	20; 25; 32; 40; 50
Номінальна сила струму, А	630; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 3600; 4000	06; 12; 16; 20; 25; 32; 36; 40
Тип вбудованого апарату	Елегазовий автоматичний вимикач HD4/GT ВВ типу VD4 Вакуумний контактор V-contact Роз'єднувач Трансформатор власних потреб Трансформатор напруги Запобіжник Статичні конденсатори	HD VD VK PC ТВП ТН ЗП СК

Таблиця 2.3 - Ключові характеристики шаф UniGear ZS1 від ABB [25]

Назва параметру	Значення параметру			
	6	10	15	20
Номінальний рівень напруги, кВ	6	10	15	20
Максимальний робочий рівень напруги, кВ	7,2	12	17,5	24
Випробувальна напруга 50 Гц, 1 хв, кВ	32	42	42	50
Випробувальний імпульс напруги, кВ	60	75	95	125
Номінальна сила струму відключення вбудованого вимикача, кА	до 50	до 50	до 40	до 25
Номінальна частота, Гц	50/60	50/60	50/60	50/60
Сила струму термічної стійкості (3 с), кА	до 50	до 50	до 40	до 25
Номінальна сила струму електродинамічної стійкості, кА	до 125	до 125	до 125	до 63
Номінальна сила струму збірних шин, А	до 4000	до 4000	до 4000	до 2500
Номінальна потужність вбудованих трансформаторів власних потреб, кВ·А	до 40	до 40	до 40	до 40
Номінальна сила струму відхідних шин, А	630 1250 1600 2000 2500 3150	630 1250 1600 2000 2500 3150	630 1250 1600 2000 2500 3150	630 1250 1600 2000 2300

розташована на автоматичному вимикачі, показчик стану пружин, яка використовується в якості приводу, ВЗВЕДЕНО/НЕ ВЗВЕДЕНО видно крізь оглядове віконце.

Вимикач, що викочується, є цілісним модулем, що складається з ВВ типу VD4, встановлених на візку, ізольованих контактних кронштейнів із контактною системою і вилки розніму контрольного ланцюга. Висувна частина і вимикач з'єднані між собою через багатоконтактний штепсельний рознім контрольного ланцюга.

Висувна частина забезпечує механічне з'єднання між шафою та автоматичним вимикачем. Нерухома частина з'єднується з шафою через спеціальний вилючний рознім. Між робочим і випробувальним положенням рухома частина автоматичного вимикача переміщується вручну або за допомогою спеціального електроприводу. Робоче і контрольне положення реєструються спеціальними допоміжними перемикачами, які реєструють кутове і крайні положення шпинделя.

З'єднання заземлення між висувною частиною і корпусом шафи виконується через ролики висувної частини і спеціальні напрямні, що кріпляться болтами до комірки. Поверхні всіх деталей ланцюга заземлення повинні бути покриті цинковим гальванічним покриттям. Висувні частини є взаємозамінними.

Переваги використання UniGear ZS1 від ABB [25]:

- одностороннє обслуговування;
- мінімальне технічне обслуговування в процесі використання;
- швидка і легка заміна обладнання (електродвигуна з редуктором для натягу пружин приводу, розчеплювачів, що вмикають і вимикають, розчеплювача мінімального рівня напруги тощо), яке вмикають в електричний ланцюг приводу за допомогою рознімів;
- можливість монтажу в кабельному відсіку трансформаторів напруги;
- підвищена безпека персоналу в разі можливого ввімкнення заземлювача на виникнення КЗ, здатного без пошкоджень вмикатися на силу струму термічної

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		36



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд силового кабелю марки АПВП

Основна сфера використання силового кабелю - передача і розподіл електроенергії в стаціонарних установках на номінальному рівні напруги в 10 кВ номінальною частотою змінної сили струму 50 Гц для енергетичних мереж із заземленою та ізолюваною нейтраллю. Для прокладання в землі (в траншеях), якщо кабель захищений від механічних пошкоджень.

2.3 Підбір комплектних розподільних пристроїв з елегазовою ізоляцією до підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією

Загально відомо, що все більшого поширення починають набувати КРП із встановленою елегазовою ізоляцією. КРПЕ порівняно з традиційними РП з повітряною ізоляцією дають можливість в кілька разів знизити площу, яку займає підстанція для забезпечення побутових споживачів електроенергією, що є незамінним у разі достатньо щільної міської забудови. Крім економії площі, впровадження КРПЕ дає можливість знижувати експлуатаційні витрати, оскільки є обладнання на підстанції мало обслуговується.

Таким чином, буде доцільніше розглянути альтернативний варіант оснащення підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією, а саме вибір і встановлення КРПЕ.

Оскільки основним елементом КРПЕ є силовий автоматичний вимикач, то вибір проводитимемо за аналогічними параметрами, що й під час вибору традиційних автоматичних вимикачів.

ВРП високого рівня напруги - вибираємо КРПЕ типу 8DQ1 німецької фірми-виробника «Siemens» на рівень напруги до 362 кВ [26].

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Основні технічні характеристики даного КРПЕ представлено в табличному вигляді.

Таблиця 2.5 - Основні технічні характеристики конструкції КРПЕ типу 8DQ1 [26]

$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$I_{\text{НОМ}}$, А	$I_{\text{НОМ.ВІДК}}$, кА	$i_{\text{ДИН}}$, кА	$i_{\text{ВКЛ}}$, кА	$I_{\text{ТЕР}}$, кА	$t_{\text{ТЕР}}$, с	$t_{\text{С.В}}$, с
362	6300* 4000**	50	135	135	50	3	0,05

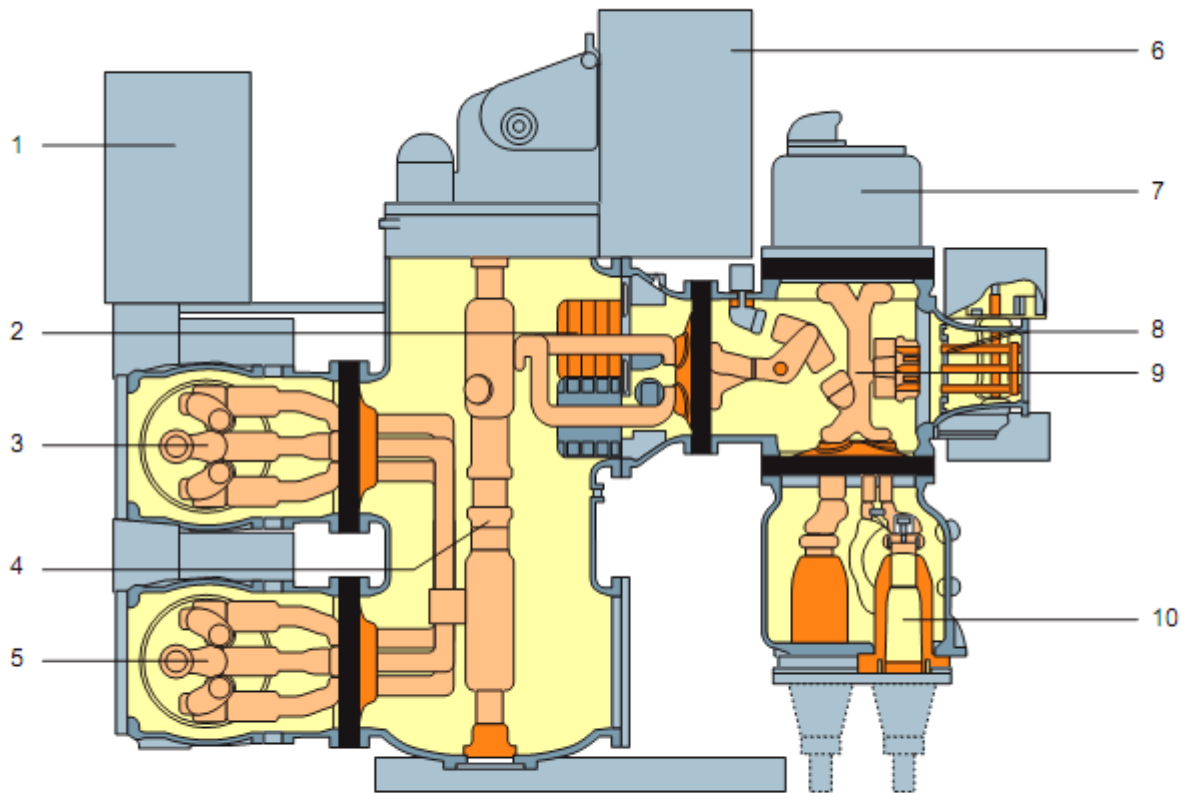
* - робоча сила струму збірних шин;

** - робоча сила струму введів.



Рисунок 2.8 - Загальний вигляд КРПЕ типу 8DN8 фірми Siemens [26]

Розглянемо конструкцію КРПЕ серії 8D [26] (рис. 2.8). Починаючи з 1968 року минулого століття в усьому світі фірмою «Siemens» було введено в експлуатацію понад 17 тисяч комірок. Сумарний термін експлуатації всіх встановлених комірок уже перевищує 230 тисяч років. Інтенсивні дослідження і безперервне вдосконалення перших типів РП привели до створення нового сучасного покоління РП з елегазовою ізоляцією виготовлених в металевому корпусі.



Газоплотний ввід
 Негазоплатний ввід

1 - вбудована шафа місцевого керування; 2 - ТС; 3 - збірна шина II з роз'єднувачем і заземлювачем; 4 - дугогасительна камера силового вимикача; 5 - збірна шина I з роз'єднувачем і заземлювачем; 6 - пружинний привод із системою керування вимикача; 7 - ТН; 8 - швидкодіючий заземлювач; 9 - модуль лінії, що відходить, з роз'єднувачем і заземлювачем; 10 - кінцева кабельна муфта
 Рисунок 2.9 - Розріз осередку КРПЕ типу 8DN8 з подвійною системою збірних шин, з кабельним приєднанням:

Відмінними рисами даних РП насамперед є [26]:

- висока експлуатаційна надійність;
- економічність;
- надійна ізоляція;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
40

- великий термін експлуатації, достатньо низькі експлуатаційні витрати;
- високий ступінь герметичності;
- гарний доступ до компонентів;
- високий ступінь готовності;
- надійна робота навіть в екстремальних погодних умовах.

КРПЕ типу 8DN8 [26] на рівень напруги до 145 кВ відповідає всім вимогам, що висуваються сьогодні до сучасних і перспективних РП за сумарною потужністю і надійністю роботи. Конструкція відноситься до найкомпактніших РП у світі. Компактність конструкції стала можливою завдяки використанню сучасних ізоляційних матеріалів, оптимізації форми корпусу КРПЕ із застосуванням методів автоматизованого проєктування в поєднанні з сучасними технологіями лиття, а також поліпшеними виробничими технологіями. Конструкція, що займає малу площу, має досить малу вагу, тривалий термін експлуатації та низькі експлуатаційні витрати - все це робить КРПЕ дуже економічним в використанні. Завдяки вкрай низькому рівню шуму та електромагнітного випромінювання, КРПЕ може бути без проблем інтегроване в чутливе навколишнє середовище, житлові квартали та, навіть, центральні райони міста.

Загально відомо, що в якості ізоляційного і дугогасильного середовища використовується шестифториста сірка (елегаз - SF₆). Для максимального зменшення габаритних розмірів усіх компонентів, КРПЕ типу 8DN8 [26] має триполюсну ізоляцію, що дає можливість запропонувати користувачу дуже компактний РП, який займає суттєво меншу площу. В якості матеріалу для корпусу КРПЕ використовується алюміній, що гарантує повну відсутність корозії і малу вагу РП. Сучасні конструктивні рішення і технології лиття дають змогу оптимізувати виробництво корпусів із досить високими діелектричними механічними характеристиками. Наслідком низької ваги комірок є невеликі навантаження на фундамент і, як наслідок, проста конструкція КРПЕ. Усі модулі з'єднані один з одним за допомогою фланців, а спеціальні кільця ущільнювачів

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

гарантують високий ступінь герметичності таких з'єднань.

За допомогою спеціальних сільфонових компенсаторів вирівнюються, зміни лінійних розмірів корпусів, обумовлені температурними коливаннями, а також виробничі допуски на розміри. З даною метою струмопроводи з'єднуються один з одним за допомогою спеціальних з'єднувальних контактів, доступ до яких забезпечується в разі потреби через наявні монтажні отвори. Герметичні вводи забезпечують поділ кожної комірки на газові відсіки, що відокремлені один від одного. Кожен газовий відсік оснащений власним пристроєм контролю рівня тиску елегазу, розривною мембраною та статичним фільтром. Встановлені в газових відсіках статичні фільтри поглинають вологу і можливі продукти розкладання. Розривна мембрана запобігає неприпустимому зростанню рівня тиску всередині герметичного корпусу. У разі спрацьовування розривної мембрани відвідні патрубки спрямовують струмінь надлишкового газу в заданий, безпечний для обслуговуючого персоналу напрямок.

Модуль силового вимикача - центральним елементом КРПЕ є модуль силового вимикача із триполюсною ізоляцією, що складається з двох компонентів (рис. 2.10):

- приводу;
- дугогасильної камери.

Механізм приводу представлено на рис. 2.11. Пружинний привід акумулює механічну енергію для вмикання/вимикання силового вимикача, розташований у компактному, антикорозійному алюмінієвому корпусі. Пружини вмикання/вимикання змонтовані в блоці приводу з хорошим візуальним контролем комутаційного положення. Весь блок пружинного приводу відокремлений від газових відсіків. Використання в пружинному приводі підшипників кочення і механізму взводу пружини, що не потребує технічного обслуговування, є передумовою для достатньої надійної експлуатації протягом кількох десятиліть.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

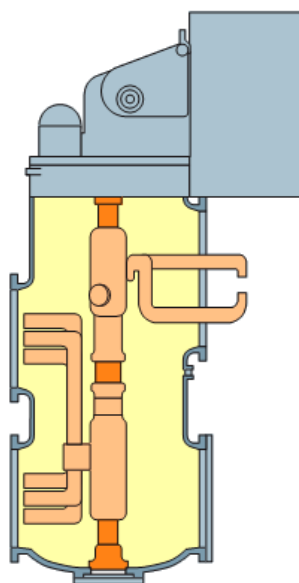
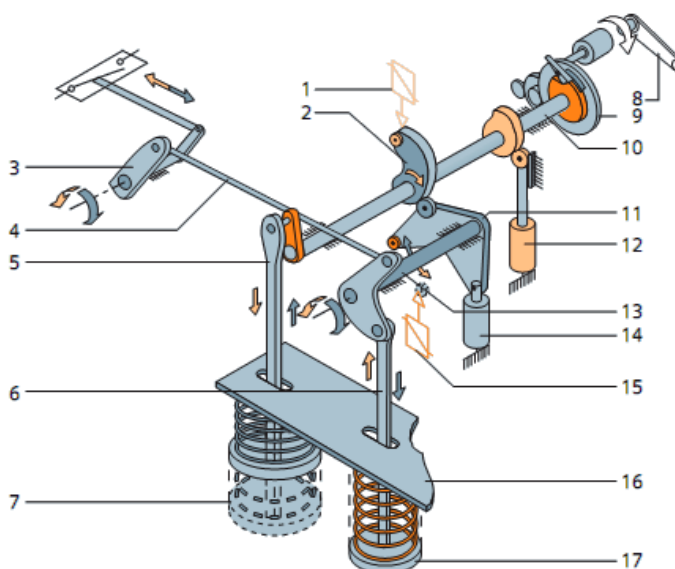


Рисунок 2.10 - Модуль силового вимикача – центральний елемент КРПЕ



1 - розчеплювач «ВКЛ»; 2 - дисковий кулачок; 3 - поворотний важіль; 4 - тяга приводу; 5 - шатун пружини вмикання; 6 - шатун пружини вимикання; 7 - пружина вмикання; 8 - ручка аварійного взводу пружини; 9 - механізм взводу пружини; 10 - вал взводу пружини; 11 - приводне коромисло; 12 - демпфер «ВКЛ»; 13 - комутаційний вал; 14 - демпфер «ВИКЛ»; 15 - розчеплювач «ВИКЛ»; 16 - корпус приводу; 17 - пружина вимикання

Рисунок 2.11 – Механізм пружинного приводу силового вимикача [26]:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

циліндр 5 переміщається в цоколь 6 і стискає елегаз, який знаходиться в цоколі. Стиснутий елегаз із високою швидкістю надходить через контактний циліндр 5 у міжконтактний проміжок і гасить електричну дугу.

Під час вимкнення сил струмів виникаючого КЗ елегаз, що знаходиться в безпосередній близькості від дугогасильного контакту, сильно нагрівається внаслідок термічного впливу енергії електричної дуги. Це призводить до зростання рівня тиску в контактному циліндрі, достатнього для надійного гасіння електричної дуги без використання додаткової енергії пружинного приводу. Замкнутий дугогасильний контакт звільняє сопло 2 тоді елегаз виривається з контактного циліндра в сопло і гасить електричну дугу.

У трипозиційному вимикачі (рис. 2.13) [26] об'єднано функції як роз'єднувача так і заземлювача. Рухомий контакт замикає контакт роз'єднувача і з'єднує струмопровід високого рівня напруги з контактом заземлювача. Завдяки такій конструкції досягається природне взаємне блокування обох функцій, і відсутня необхідність реалізації в електричній схемі комірки. Контактний вивід заземлювача виконано ізольованим від герметичного корпусу. У нейтральному, розімкнутими виявляються як контакт роз'єднувача, так і контакт заземлювача.

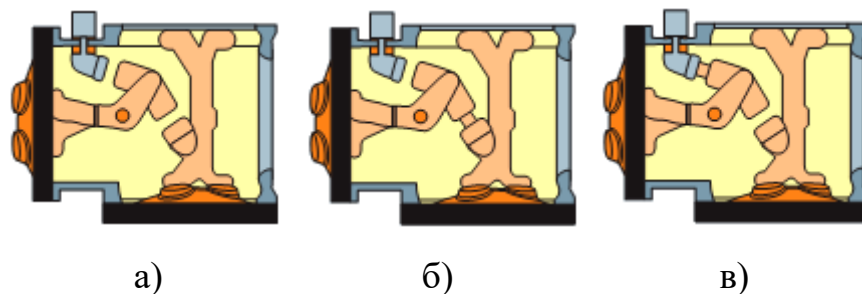


Рисунок 2.13 - Схематичне зображення трипозиційного вимикача:

а) - нейтральне положення; б) - роз'єднувач включено; в) - заземлювач включено

Усі елементи, що необхідні для керування та контролю силового вимикача, змонтовані разом із пружинним приводом вимикача в шафі приводу. Випробування систем керування силовим вимикачем виконують уже на заводі-виробнику, і РП постачають переважно повністю зібраними усередині комірки аж

- висока експлуатаційна надійність;
- проста методика перевірки та мінімальні вимоги до технічного обслуговування;
- достатньо велике допустиме число комутацій.



Рисунок 2.14 – Загальний вигляд вакуумного вимикача типу VD4 [27]

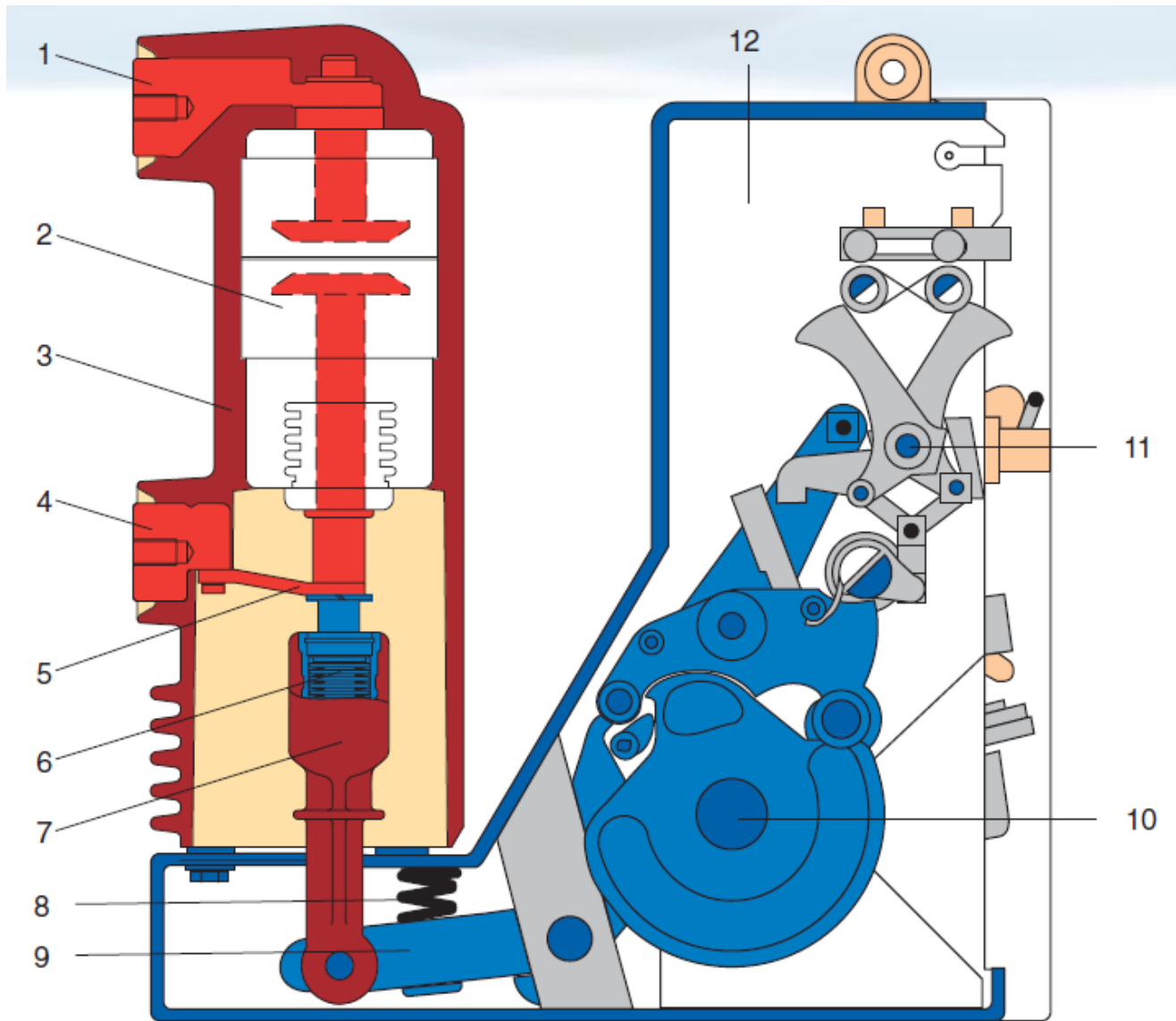
Вимкнення сили струму у вакуумі. ВВ не потрібне дугогасильне та ізоляційне середовище, тому що дугогасильні камери не містять матеріалів, що іонізуються. Завжди під час розмикання контактів електрична дуга горить виключно в парах матеріалу контактів, які нею розплавляються і відбувається випаровування. Пари металу зберігаються, підтримувані тільки зовнішньою енергією, до переходу сили струму через природний нуль. Відбувається зниження інтенсивності випаровування і зростання швидкості конденсації парів металу, що веде до дуже швидкого відновлення електричної міцності. Внаслідок цього, вакуумна дугогасильна камера відновлює ізоляційну здатність, здатність витримувати перехідний відновлювальний рівень напругу і відбувається остаточне гасіння електричної дуги. Через те, що електрична міцність у вакуумі може бути досягнута навіть за мінімальних відстаней між контактами, вимкнення ланцюга гарантується також, коли розмикання контактів відбудеться за кілька мікросекунд до переходу сили струму через нуль. Спеціальні матеріали та

конструкція контактів добре обмежують тривалість і рівень напруги електричної дуги, гарантуючи мінімальне зношування контактів і великий ресурс. Крім цього, вакуум перешкоджає окисленню та руйнуванню контактів.

Конструкція полюсів вимикача, змонтовані на задній частині корпусу пружинного приводу, яка має форму консолі. Із використанням нових технологій деталі полюсів, які перебувають під дією напруги, залиті в епоксидну смолу, а у вимикачів з високими параметрами - встановлені у відлиті з епоксидної смоли спеціальні корпуси. Завдяки такій конструкції вакуумні камери захищені від ударів та інших незалежних зовнішніх впливів. Під час увімкненого ВВ сила струму іде від верхнього виводу ВВ до нерухомого контакту вакуумної дугогасильної камери, а звідти через нерухомий контакт до нижнього виводу ВВ. Відключення ВВ відбувається за допомогою використання ізоляційних сполучних тяг зі вставленими спеціальними контактними пружинами стиснення. Розріз ВВ типу VD4 представлений на рис. 2.15 [27].

У вакуумних камерах під час розмикання контактів виникає електрична дуга у вакуумі, яка зберігається до переходу сили струму через нуль і може бути схильна до впливу магнітних полів. Конструкція вакуумної дугогасильної камери представлена на рисунку 2.16.

Електрична дуга у вакуумі буває або дифузною або стислою. Слідом за розмиканням контактів на однорідній поверхні катода окремі розплавлені точки, що виникли, виділяють розплавлений метал, який підтримує електричну дугу. Дифузною електричною дугою у вакуумі характеризується поширенням над контактною поверхнею і рівномірним розподілом теплового навантаження по всій поверхні контактів. За номінальної сили струму вакуумної камери електрична дуга завжди дифузною типу. Ерозія контактів незначна і число відключень сили струму дуже велике. Під час збільшення сили струму, що відключається, електрична дуга перетворюється з дугою дифузною типу в дугу стисненого типу завдяки ефекту Холла [17].



1 - верхній вивід ВВ; 2 - вакуумна дугогасильна камера; 3 - корпус полюса;
 4 - нижній вивід ВВ; 5 - гнучкий контакт-стрічка (для сили струму 630 А); 6 -
 контактна пружина стискування; 7 - ізоляційна з'єднувальна тяга; 8 - пружина,
 яка вимикає; 9 - важіль; 10 – головний вал привода; 11 - механізм розчеплення;
 12 - корпус привода з пружинним накопичувальним механізмом

Рисунок 2.15 - Розріз ВВ VD4 із залитими полюсами [27]:

Дуга, що починається на аноді, стискається і надалі зі зростанням струму прагне стати строго окресленою.

Відбувається збільшення рівня температури внаслідок теплового навантаження на встановлені контакти. Електрична дуга обертається для

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
49

пружинного механізму акумулюється необхідна для комутацій енергія, і пружинний привід готовий до роботи. Пружинний привід складається з циліндричного корпусу, в який вставлено спіральну пружину накопичувального механізму, для передавання зусилля на рухомі контакти ВВ. Крім того, є наступні додаткові пристрої: допоміжні перемикачі, розчеплювачі, а також елементи для керування та індикації, розміщені на передньому боці корпусу пружинного приводу. Пружинний привід можна використовувати для повторного вмикання, а з огляду на нетривалий час накопичення, для багаторазового повторного вмикання. У ВВ в базовому виконанні пружинний накопичувальний механізм зводиться електродвигуном, а за відсутності рівня напруги, яка живить привід, напруга може бути зведена вручну [27].

Висновки до розділу

Для підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією у другому розділі кваліфікаційної роботи ми вибрали схеми розподільних пристроїв на високий, середній та низький рівні напруг. Розглянуто варіанти оснащення підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією як окремо встановленим елегазовим обладнанням, на високому та середньому рівнях напруги, так і із використанням найсучаснішого - КРПЕ. На стороні низького рівня напруги ми використали спеціалізовані вакуумні вимикачі, які є найкращим варіантом для даного класу напруги.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією

3.1 Розрахунок захисного обладнання для конструкції підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією

Визначимо основні технічні характеристики вимикача (див. Додаток А, табл. А.1), знайдемо максимальну силу струму:

$$I_{max} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.ат}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (3.1)$$

$$I_{max} = \frac{1,4 \cdot 200 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 330 \cdot 10^3} = 489,9.$$

Виконаємо перевірки силового вимикача за наступною методикою:

- за рівнем напруги установки

$$U_{уст} \leq U_{ном.}; \quad (3.2)$$

$$330 = 330.$$

- за тривалою силою струму

$$I_{max} \leq I_{ном.}; \quad (3.3)$$

$$489,9 < 3150.$$

Відповідає умові.

- на симетричну силу струму відключення за наступною умовою

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{n\tau} \leq I_{\text{ном.відкл}}; \quad (3.4)$$

$$I_{n,o} = I_{n\tau} = 3,5;$$

$$I_{\text{ном.відкл}} = 40;$$

$$3,5 < 40.$$

Відповідає умові.

- за можливістю відключення аперіодичної складової сили струму КЗ

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,\text{ном}}; \quad (3.5)$$

$$\tau = t_{3.min} + t_{c.B}; \quad (3.6)$$

$$\tau = 0,01 + 0,035 = 0,045;$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}; \quad (3.7)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 3,5 \cdot e^{-\frac{0,045}{0,04}} = 1,607,$$

де значення сталої часу загасання аперіодичної складової сили струму КЗ $T_a = 0,04c$ визначено за рекомендаціями в методичній літературі [4].

$$i_{a,\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot \frac{I_{\text{ном.відкл}}}{100}; \quad (3.8)$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot 45 \cdot \frac{40}{100} = 25,456;$$

$$1,607 < 25,456.$$

Відповідає умові.

- за здатністю до включення

$$i_y \leq i_{вмик}; \quad (3.9)$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 3,5 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,04}}\right) = 8,8;$$

$$8,8 < 102;$$

Відповідає умові.

$$I_{п,о} \leq I_{вмик}; \quad (3.10)$$

$$3,5 < 40.$$

відповідає умові.

- на електродинамічну стійкість вимикача

$$i_y \leq i_{дин}; \quad (3.11)$$

$$8,8 < 102;$$

$$I_{п,о} \leq I_{дин}; \quad (3.12)$$

$$3,5 < 40.$$

відповідає умові.

- на термічну стійкість

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}; \quad (3.13)$$

$$B_k = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{відкл}} + T_a); \quad (3.14)$$

$$B_k = 3,5^2 \cdot (0,2 + 0,04) = 2,93.$$

де повний час відключення виникаючої сили струму КЗ $t_{\text{відкл}} = 0,2 \text{ с}$ узято з урахуванням рекомендацій у наукових джерелах [28-33].

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}; \quad (3.15)$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 40^2 \cdot 3 = 4800;$$

$$2,94 < 4800 ,$$

відповідає умові.

По даній методиці розрахунків обираємо елегазовий баковий вимикач типу ВГБ-330У1, конструкція якого відповідає всім умовам вибору силових вимикачів.

Аналогічним чином проведемо вибір високовольтних вимикачів на інших приєднаннях, результати представимо в табличному вигляді (Додаток А).

Розрахунок і вибір роз'єднувачів.

Виконаємо перевірку встановлених роз'єднувачів за наступними параметрами:

- за рівнем напруги установки (3.2)

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$330 = 330.$$

- за максимальною силою струму (3.3)

$$489,9 < 3150.$$

- за електродинамічною стійкістю

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 3,5 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,04}}\right) = 8,8;$$

$$8,8 < 160.$$

- за термічною стійкістю

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер};$$

$$B_k = 3,5^2 \cdot (0,2 + 0,04) = 2,94;$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 63^2 \cdot 2 = 7938;$$

$$2,94 < 7938.$$

Як бачимо із розрахунків, обраний роз'єднувач підходить за всіма сказаними умовами. Аналогічним чином вибираємо роз'єднувачі на стороні ВРП середнього рівня напруги. Результати представимо в табличному вигляді (Додаток А).

Виконаємо розрахунок трансформаторів струму. Треба провести перевірку обраного ТС. Найбільша сила струму післяаварійного режиму для двох ліній, що

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		56

працюють паралельно, буде рівною:

$$S_{max} = \frac{P_{вн}}{\cos\varphi}; \quad (3.16)$$

$$S_{max} = \frac{230}{0,92} = 250;$$

$$I_{max} = 2 \cdot I_{НОМ} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}; \quad (3.17)$$

$$I_{max} = \frac{250 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 330 \cdot 10^3} = 437,4.$$

- за рівнем напруги установки

$$U_{уст} \leq U_{НОМ.};$$

$$330 = 330.$$

- за силою струму

$$I_{max} \leq I_{1НОМ.};$$

$$437,4 < 1000.$$

- перевірка на електродинамічну стійкість

$$i_y \leq i_{дин};$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}\right);$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 3,5 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,04}}\right) = 8,805;$$

$$8,805 < 161.$$

- перевірка на термічну стійкість

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}};$$

$$B_k = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{відкл.}} + T_a);$$

$$B_k = 3,5^2 \cdot (0,2 + 0,04) = 2,94;$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 63^2 \cdot 2 = 7938;$$

$$2,94 < 7938.$$

- перевірка за вторинним навантаженням

$$Z_2 \leq Z_{2,\text{ном.}}$$

Вторинне навантаження ТС представимо в табличному вигляді (табл. 3.1).
На рис. 3.1 представлено схеми з'єднання ТС та вимірювальних приладів [28-33].

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

Таблиця 3.1 - Розміщення приладів у ланцюзі лінії 330 кВ

Прилад	Тип приладу	Споживана потужність вимірювальних приладів, В·А, в фазах		
		A	B	C
Амперметр	Е-335	0,5	0,5	0,5
Ватметр	Д-335	0,5	–	0,5
Варметр	Д-335	0,5	–	0,5
Лічильник активної енергії	Меркурій 231 АТ	0,1	–	0,1
Всього:		1,6	0,5	1,6

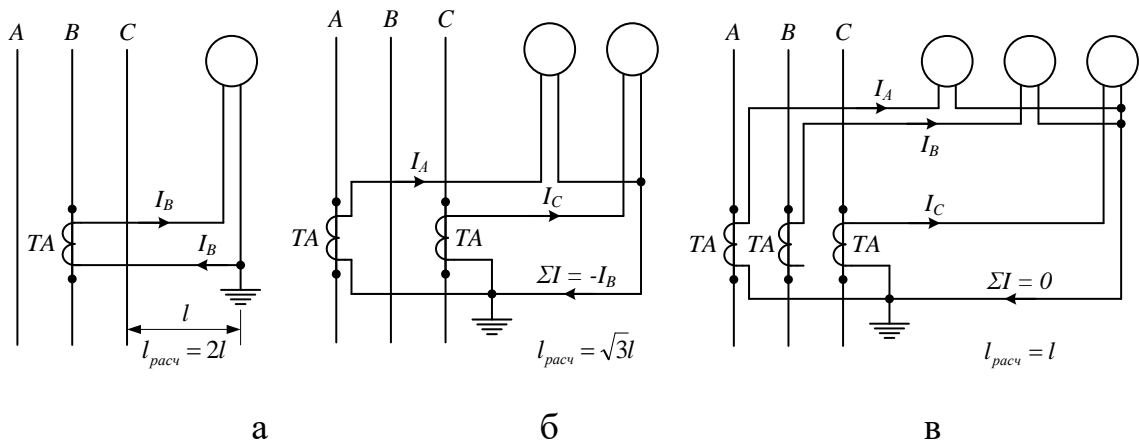


Рисунок 3.1 - Схеми з'єднання ТС та вимірювальних приладів [28-33]:
 а - увімкнення приладів в одну фазу; б - увімкнення приладів у неповну зірку;
 в - увімкнення приладів у повну зірку

Оскільки індуктивний опір струмових ланцюгів невеликий, то $Z_2 \approx r_2$. Вторинне навантаження складається з опорів встановлених приладів, сполучних кабелів і перехідного опору контактів:

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{прил}} + r_{\text{каб}} + r_{\text{к}}. \quad (3.18)$$

Визначимо опір приладів за наступним виразом:

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{Зном}}^2}; \quad (3.19)$$

$$r_{\text{прил}} = \frac{1,6}{5^2} = 0,064.$$

Опір контактів приймаємо рівним 0,1 Ом за кількості встановлених приладів, більшої за три [28-33]. Щоб ТС працював в обраному класі точності, необхідно витримувати наступну умову:

$$r_{\text{прил}} + r_{\text{каб}} + r_{\text{к}} \leq Z_{2,\text{ном}} \quad (3.20)$$

звідки допустимий опір кабелів буде дорівнювати

$$r_{\text{каб}} = Z_{2,\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}} \quad (3.21)$$

$$r_{\text{каб}} = 1,6 - 0,064 - 0,1 = 1,436.$$

Оскільки проєктована підстанція для забезпечення побутових споживачів електроенергією розрахована на 330 кВ, то використовуємо кабель із мідними жилами ($\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$), орієнтовна довжина кабелів 150 м, ТС з'єднані в повну зірку (див. рис. 3.1), тому $l_{\text{розр}} = l = 150$ м, тоді знайдемо переріз

$$q = \rho \cdot \frac{l_{\text{розр}}}{r_{\text{каб}}}; \quad (3.22)$$

$$q = 0,0175 \cdot \frac{150}{1,436} = 1,828.$$

Приймаємо контрольний кабель із жилами перетином $2,5 \text{ мм}^2$.

Уточнюємо опір кабелів приєднань

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		60

$$r_{\text{каб}} = p \cdot \frac{l_{\text{розр}}}{q}; \quad (3.23)$$

$$r_{\text{каб}} = 0,0175 \cdot \frac{150}{2,5} = 1,05;$$

$$Z_2 \approx r_2 = 0,064 + 1,05 + 0,1 = 1,214.$$

Тоді вторинне навантаження буде рівним

$$Z_2 \leq Z_{2,\text{ном}};$$

$$1,214 < 1,6.$$

Розподіл приладів і вторинне навантаження інших ТС представлено в табличному вигляді. Значення каталожних і розрахункових величин представлено в табличному вигляді.

Таблиця 3.2 - Розташування приладів у колах ТС [28-33]

Приєднання	Прилад	Тип	Навантаження, В·А, на фазах			Всього* В·А
			A	B	C	
Лінія 330 кВ	Амперметр	Е-335	0,5	0,5	0,5	1,6
	Ватметр	Д-335	0,5	–	0,5	
	Варметр	Д-335	0,5	–	0,5	
	Лічильник активної енергії	Меркурій 231 АТ	0,1	–	0,1	
ВРУ ВН	Амперметр	Е-335	–	0,5	–	0,5
Сторона СН автотрансформатора	Амперметр	Е-335	–	0,5	–	1,1
	Ватметр	Д-335	0,5	–	0,5	
	Варметр	Д-335	0,5	–	0,5	
	Лічильник активної енергії	Меркурій 230 АРТ	0,1	–	0,1	
Ланцюг секційного вимикача 110 кВ	Амперметр	Е-335	–	0,5	–	0,5
Лінії 110 кВ	Амперметр	Е-335	–	0,5	–	1,1

	Ватметр	Д-335	0,5	–	0,5	
	Варметр	Д-335	0,5	–	0,5	
	Лічильник активної енергії	Меркурій 230 ART	0,1	–	0,1	
			A	B	C	
Сторона НН автотрансформатора	Амперметр	Э-335	0,5	–	–	1,6
	Ватметр	Д-335	0,5	–	0,5	
	Варметр	Д-335	0,5	–	0,5	
	Лічильник активної енергії	Меркурій 230 ART	0,1	–	0,1	
Ланцюг секційного вимикача 10 кВ	Амперметр	Э-335	–	0,5	–	0,5
Комірка кабельних ліній 10 кВ	Амперметр	Э-335	0,5	–	–	0,6
	Лічильник активної та реактивної енергії	Меркурій 230 ART	0,1	–	0,1	

Розрахунок трансформаторів напруги.

Виконаємо перевірку обраного ТН за наступною методикою:

- за рівнем напруги установки:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном.}}$$

$$330 = 330.$$

- за величиною вторинного навантаження

$$S_{2\Sigma} \leq S_{2\text{ном.}}$$

Допустиме навантаження ТН в класі точності 0,5 дорівнює $S_{2\text{ном}} = 400 \text{ В} \cdot$

А. Три ТН, що працюють в з'єднанні зірка, мають потужність $3 \times 400 = 1200 \text{ В} \cdot$

А. Підрахунок вторинного навантаження представлено в табличному вигляді.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 - Вторинне навантаження ТН

Прилад	Тип	S однієї обмотки, В·А	Число приладів	Число обмоток	Повна споживана потужність, В·А
Фіксууючий прилад	ФП	3	1	1	3
Варметр	Д-335	1,5	1	2	3
Ватметр	Д-335	1,5	1	2	3
Давач реактивної потужності	Е-830	10	1	–	10
Давач активної потужності	Е-829	10	1	–	10
Лічильник активної енергії	Меркурій 231 АТ	7,5	1	2	15
Всього					44

Тоді, загальне навантаження на ТН складатиме:

$$S_{2\Sigma} < S_{2\text{ном}};$$

$$44 < 1200.$$

Таким чином, ТН працюватиме в обраному класі точності 0,5. Вибір ТН на другій лінії проводиться аналогічно описаному вище.

Вторинне навантаження інших ТН представлено в табличному вигляді. Результати вибору ТН представлено в табличному вигляді.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		63

Проведемо розрахунок кабельних ліній.

Виконаємо необхідну перевірку обраного кабеля. Тривалість використання максимального навантаження задана за умовою і складає: $T_{max} > 5000$ год.

Визначимо силу струму нормального режиму:

$$I_{норм} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot 2}; \quad (3.24)$$

$$I_{норм} = \frac{5 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,92 \cdot 2} = 156,9.$$

Згідно із ПУЕ [23] знаходимо нормовану густину сили струму для кабелів із ізоляцією із зшитого поліетилену за кількості годин використання максимуму навантаження понад 5000 год/рік.

$$j_e = 1,6.$$

Розрахуємо необхідний економічний переріз кабелів:

$$F_{e1} = \frac{I_{норм}}{j_e}; \quad (3.25)$$

$$F_{e1} = \frac{156,889}{1,6} = 98.$$

Приймаємо кабель до встановлення для РП потужністю 5 МВт перетином $F_e = 120$.

Допустима тривала сила струму для одножильного кабелю на рівень напруги в 10 кВ з алюмінієвими жилами та ізоляцією зі зшитого поліетилену, що прокладається в землі, дорівнює згідно із [23]:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		65

$$I_{\text{доп.ном}} = 298.$$

Використаємо спеціальні поправочні коефіцієнти [28-33]: $k_1 = 0,93$ - враховує кількість розташованих поруч кабелів (приймаємо для двох кабелів, які розташовані поруч); $k_2 = 1$ - враховує рівень температури навколишнього середовища (+15°C при розташуванні кабелів в землі); $k_3 = 1,17$ - враховує вплив короткочасного перевантаження.

Тоді, допустима тривала сила струм з урахуванням поправочних коефіцієнтів буде рівною:

$$I_{\text{доп}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{доп.ном}}; \quad (3.26)$$

$$I_{\text{доп}} = 0,93 \cdot 1 \cdot 1,17 \cdot 298 = 324,25.$$

У максимальному режимі навантаження кабелі здатні витримати подвійне перевантаження:

$$I_{\text{max}} = 2 \cdot I_{\text{доп}}; \quad (3.27)$$

$$I_{\text{max}} = 2 \cdot 156 = 313.$$

Виконаємо перевірку за допустимою силою струму:

$$I_{\text{max}} < I_{\text{доп}};$$

$$313 < 324,25.$$

Виконаємо перевірку кабелів на термічну стійкість, для цього визначаємо

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

силу струму термічної стійкості для кабелю з поперечним перетином 120 мм². Приймаємо згідно із довідником [28-33] повний час вимкнення сили струму КЗ, що дорівнює $t_{\text{відкл}} = 0,3$ с, значення сталої часу загасання аперіодичної складової сили струму КЗ - $T_a = 0,1$, значення функції С для кабелів з алюмінієвими жилами та поліетиленовою ізоляцією прийmemo із довідника - $C = 65$.

$$I_{\text{терм.РУ-РП}} = \frac{C \cdot F_e}{\sqrt{t_{\text{відкл}} + T_a}}; \quad (3.28)$$

$$I_{\text{терм.РУ-РП}} = \frac{65 \cdot 120}{\sqrt{0,3 + 0,1}} = 12,3.$$

$$I_{\text{терм.РУ-РП}} > I_{n,0 \text{ нн}};$$

$$12,333 > 11$$

отже, обраний кабель проходить за величиною термічної стійкості.

3.2 Розрахунок комплектних розподільчих пристроїв з елегазовою ізоляцією (КРПЕ)

Виконаємо перевірку обраної конструкції КРПЕ згідно відомої методики:

- за рівнем напруги встановлення

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном.}};$$

$$330 < 362.$$

- за тривалою силою струму

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		67

$$I_{max} \leq I_{ном.};$$

$$489,9 < 6300.$$

- перевірка на симетричну силу струму відключення за наступною умовою:

$$I_{нт} \leq I_{ном.відкл};$$

$$I_{н,о} = I_{нт} = 3,5;$$

$$I_{ном.відкл} = 50;$$

$$3,5 < 50.$$

- на можливість відключення аперіодичної складової сили струму КЗ

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,ном};$$

$$\tau = t_{з.min} + t_{с.в};$$

$$\tau = 0,01 + 0,05 = 0,06;$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}};$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 3,5 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,04}} = 1,104,$$

де значення сталої часу загасання аперіодичної складової сили струму КЗ $T_a = 0,04$ с визначено з урахуванням рекомендацій у довіднику [28-33].

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		68

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot \frac{I_{ном.відкл}}{100};$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot 25 \cdot \frac{40}{100} = 17,7,$$

де допустимий відносний вміст аперіодичної складової сили струму в струмі вимкнення $\beta_H = 25\%$ узято за даними в довіднику [28-33].

$$1,104 < 17,7.$$

- за вмикаючою здатністю КРПЕ

$$i_y \leq i_{вкл};$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}\right);$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 3,5 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,04}}\right) = 8,8;$$

$$8,8 < 135.$$

- на електродинамічну стійкість КРПЕ

$$i_y \leq i_{дин};$$

$$8,8 < 135.$$

- на термічну стійкість КРПЕ

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}};$$

$$B_k = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{відкл}} + T_a);$$

$$B_k = 3,5^2 \cdot (0,2 + 0,04) = 2,94,$$

де повний час відключення виникаючої сили струму КЗ $t_{\text{отк}} = 0,2 \text{ с}$ узятю з урахуванням рекомендацій у довіднику [28-33].

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 50^2 \cdot 3 = 7500;$$

$$2,94 < 7500.$$

Висновки до розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи проведено розрахунок захисного обладнання для конструкції підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією та окремо проведено розрахунок комплектних розподільчих пристроїв з елегазовою ізоляцією (КРПЕ) для оцінки точності підбору обладнання для підстанції.

Висновки

Подальший розвиток вітчизняної енергетичної мережі призведе до масштабної заміни встановленого комутаційного обладнання, тому що майже 90% даного обладнання виробило власний ресурс і морально застаріло. У процесі технічного переоснащення вважається необхідним встановлювати обладнання, що може забезпечити високу надійність, економічність і якість електроенергії, яку постачають споживачам.

Порівняльний аналіз конструкцій КРПЕ та РП із використанням традиційної ізоляції свідчить про помітну перевагу з позицій надійності саме КРПЕ. За низкою показників, таких як періодичність капітальних ремонтів, параметр потоку відмов, середньорічна тривалість перебування устаткування в планових та аварійно-відновлювальних ремонтах, КРПЕ забезпечують кращі технічні характеристики.

Для підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією у другому розділі кваліфікаційної роботи ми вибрали схеми розподільних пристроїв на високий, середній та низький рівні напруг. Розглянуто варіанти оснащення підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією як окремо встановленим елегазовим обладнанням, на високому та середньому рівнях напруги, так і із використанням найсучаснішого - КРПЕ. На стороні низького рівня напруги ми використали спеціалізовані вакуумні вимикачі, які є найкращим варіантом для даного класу напруги.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи проведено розрахунок захисного обладнання для конструкції підстанції для забезпечення побутових споживачів електроенергією та окремо проведено розрахунок комплектних розподільчих пристроїв з елегазовою ізоляцією (КРПЕ) для оцінки точності підбору обладнання для підстанції.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		71

32. Белікова Л.Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.
/ Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і техніка, 2012. – 478 с.

33. Яцун М.А. Електричні машини : навч. посіб. для студ. базового напрямку
«Електромеханіка» / М.А. Яцун – 2-ге вид., стер. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту
«Львівська політехніка», 2004. – 440 с.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		75

Додатки

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		76