

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Лежнюк П. Д.

«__» _____ 2020 р.

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕГАЗОВИХ КОМІРОК
НАПРУГОЮ 110 КВ НА ПІДСТАНЦІЯХ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ
08-13.МКР.014.00.120 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу ОПІ магістра,
групи ЕСМ-18м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні системи
та мережі»
Твердохліб Ю. М. _____

Керівник: к.т.н., ст. викл. каф. ЕСС
Поліщук А.Л. _____
“__” _____ 2020 р.

Рецензент: _____
_____ 2020 р.

Вінниця – 2020 року

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Лежнюк П.Д.

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу на здобуття ступеня магістра зі спеціальності: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Освітня програма – Електричні системи та мережі
(шифр – назва спеціальності)

Магістр групи ЕСМ-18м Твердохліб Юрій Михайлович
(назва групи) (прізвище, ім'я і по батькові)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Дослідження та впровадження елегазових комірок напругою 110 кВ на підстанціях енергосистеми України»

Вихідні дані: Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання 1. Международный Совет по большим электроэнергетическим системам (CIGRE) – «Отчет о втором международном исследовании опыта эксплуатации высоковольтных подстанций с элегазовой изоляцией (КРУЭ)» и «Руководство пользователя по применению комплектного распределительного устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ) на номинальное напряжение 72,5 кВ и выше» (CIGRE WG 23-10) – www.cigre.org

2. Матеріали провідних зарубіжних компаній:

ABB – www.abb.com, Schneider Electric – www.schneider-electric.com, Siemens AG – www.siemens.com/, Compton Greaves – <http://www.cgglobal.com/>, AREVA – www.areva.com/, ALSTOM – www.alstom.com.

Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів: фактичні значення для вибору комутаційного елегазового обладнання PASS MO для підстанції напругою 110 кВ.

Короткий зміст частин магістерської кваліфікаційної роботи

1. Графічна: _____ плакати
2. Текстова (пояснювальна записка): Вступ. 1. Проектування, будівництва та експлуатація об'єктів електроенергетики з елегазовим обладнанням. 2. Особливості застосування елегазу як ізоляційного дугогасильного середовища 3. Розподільчі коміртки з елегазовою ізоляцією. 4 Вибір елегазового комутаційного обладнання для розподільчих пристроїв. 5. Економічна частина. 6. Охорона праці та протипожежна безпека. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

Консультанти з окремих розділів магістерської кваліфікаційної роботи:

Науковий керівник

(підпис)

к. техн. наук... ст. вткл. кафедри ЕСС
наук. ступінь, вчене звання (посада)

А.Л. Поліщук
ініціали та прізвище

“ ____ ” _____ 20__ р.

Економічна частина

(підпис)

канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ЕСС
наук. ступінь, вчене звання (посада)

В. В. Нетребський
ініціали та прізвище

“ ____ ” _____ 20__ р.

Охорона праці та безпека
в надзвичайних ситуаціях

(підпис)

д-р. техн. наук, доц., професор кафедри ЕСС
наук. ступінь, вчене звання (посада)

Є. А. Бондаренко
ініціали та прізвище

“ ____ ” _____ 20__ р.

Дата попереднього захисту роботи “ ____ ” червня 2020 р.

Рецензент

(підпис)

(наук. ступінь, вчене звання , посада)

“ ____ ” _____ 20__ р.

(ініціали та прізвище)

Завдання видав

(підпис)

к.т.н., ст. викл. кафедри ЕСС
наук. ступінь, вчене звання (посада)

А.Л. Поліщук
ініціали та прізвище

“ ____ ” _____ 20__ р.

Завдання отримав магістр

(підпис)

Ю. М. Твердохліб
(ініціали та прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АГ	– асинхронний генератор;
БК	– батарея конденсаторів;
ВДЕ	– відновлювані джерела електроенергії;
ВРП	– вхідна реактивна потужність;
ГПП	– головна понижувальна підстанція;
ЕЕРП	– економічний еквівалент реактивної потужності;
ЗВРП	– задавач вхідної реактивної потужності;
ЕК	– енергопостачальна компанія;
ЕС	– електрична система;
КРН	– компенсація реактивних навантажень;
КРП	– компенсація реактивної потужності;
КТП	– комплектна трансформаторна підстанція;
КУ	– компенсувальна установка;
ОП	– обчислювальний пристрій;
ПКЕЕ	– Правила користування електричною енергією;
ПП	– пристрій порівняння;
ПРСЗ	– пристрій регулювання струму збудження;
РДЕ	– розосереджені джерела електроенергії;
РЕМ	– район електричних мереж;
РП	– розподільний пристрій;
РПН	– пристрій регулювання під навантаженням;
СГ	– синхронний генератор;
СК	– синхронний компенсатор;
ТП	– трансформаторна підстанція.

ЗМІСТ

Завдання

Анотація

ВСТУП

1. Зарубіжний досвід проектування, будівництва та експлуатації об'єктів електроенергетики з елегазовим обладнанням
 - 1.1 Загальний огляд розвитку елегазового обладнання в зарубіжній енергетичній сфері.
 - 1.2. Виробництво сучасного елегазового обладнання та його виробництво у провідних зарубіжних компаніях.
2. Особливості застосування елегазу як ізоляційного дугогасильного середовища в розподільчих установках
 - 2.1 Фізико-хімічні властивості елегазу
 - 2.2 Способи гасіння дуги в елегазі
 - 2.2.1 Автокомпресійний пристрій гасіння електричної дуги в елегазовому середовищі
 - 2.2.2 Компресійний пристрій гасіння електричної дуги в елегазі
 - 2.2.3 Комутаційні особливості вибухової камери з ізоляційним соплом
 - 3 Розподільчі комірки з елегазовою ізоляцією
 - 3.1 Конструкції елегазових комірок напругою 110кВ
 - 3.2 Конструкції розподільних комірок PASS MO
 - 3.3 Схеми розподільчих підстанцій на базі елегазових комірок PASS MO
- 4 Вибір елегазового комутаційного обладнання для розподільчих пристроїв
 - 4.1 Розрахунок струмів короткого замикання
 - 4.2 Вибір комутаційного обладнання
- 5 Економічна частина
6. Охорона праці
 - 6.1 Забезпечення електротехнічної безпеки.
 - 6.2. Забезпечення пожежної безпеки.

6.3 Елегаз. Особливості його використання в електротехнічному устаткуванні.

Висновки

Література

Додатки

Технічне завдання

АНОТАЦІЯ

Твердохліб Юрій Михайлович. МКР на тему: «Дослідження та впровадження елегазових комірок напругою 110 кВ на підстанціях енергосистеми України». Вінниця ВНТУ 2020р.

Пояснювальна записка виконана на 120 листах друкованого тексту і містить 12 таблиць, 35 рисунків, при виконанні роботи було використано 20 літературних джерел. Пояснювальна записка складається з вступу, шести розділів, висновку, списку літератури.

В роботі проведено ознайомлення з фізичними та хімічними властивостями елегазового середовища, з новим елегазовим обладнанням серії PASS MO, проведено розрахунки по вибору обладнання та здійснено вибір елегазового обладнання. Також було розглянуто схеми розподільчих пристроїв на базі комірок PASS MO напругою 110 кВ.

Для вирішення данної задачі були використані програми – Word, Visio, MathCad.

ANNOTATION

Tverdokhlib Yuriy Mykhailovych. MKW on the topic: "Research and implementation of SF₆ cells with a voltage of 110 kV at substations of the power system of Ukraine". Vinnytsia VNTU 2020

The explanatory note is made on 120 sheets of printed text and contains 12 tables, 35 figures, 20 literary sources were used in the work. The explanatory note consists of an introduction, six chapters, a conclusion, a list of references.

The paper acquaints with the physical and chemical properties of the SF₆ environment, with the new SF₆ equipment of the PASS MO series, calculations on the choice of equipment and the choice of SF₆ equipment. Schemes of switchgears based on 110 kV PASS MO cells were also considered.

To solve this problem were used programs - Word, Visio, MathCad.

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах нинішнього розвитку енергосистем, постало питання модернізації застарілого обладнання на більш нове та раціональніше. Розвиток електроенергетики стрімко крокує у світ розвинутих технологій нового обладнання, яке буде задовільняти вимоги нинішнього споживача, котрий в свою чергу очікує на те, що його система буде працювати надійно. А також буде займати територію меншу ніж обладнання, яке використовувалось раніше ним самим.

Актуальним є модернізація підстанцій класом напруги 110-220 кВ. Нова підстанція повинна задовольняти всім необхідним вимогам за надійності, за займаною площею, охороною навколишнього середовища.

Оскільки термін роботи комірок, в яких розташована комутаційна апаратура, практично не обмежений, пропонуємо замінити старі, зношені масляні вимикачі на сучасні - надійні і довговічні елегазові вимикачі. Така реконструкція може здійснюватися по поточному графіку. Адже витрати, пов'язані з модернізацією підстанцій, значно нижчі, ніж при заміні всієї підстанції і складають 30-40% від витрат на придбання і монтаж нової підстанції.

Одним з перспективних напрямків модернізації розподільчих пристроїв є елегазові комірочки PASS MO, які являються оптимальним варіантом для підстанцій напругою 110 кВ.

Основні характеристики PASS це його компактність, надійність, скорочення часу обслуговування, безпечність використання персоналом, модульна конструкція. Це дозволяє змонтувати декілька елементів в одному модулі:

- ввода, що під'єднуються до однієї або двох збірних шин
- силовий вимикач
- один або декілька комбінованих роз'єднувачів/заземлювачів
- вимірювальний трансформатор струму (ВТС)

- вимірювальний трансформатор напруги (ВТН)

На базі PASS МО може бути забезпечена мобільна підстанція, легка у транспортуванні та експлуатації, це новий крок у розвитку підстанцій та КРУЕ.

Отже, в час активного розвитку енергетики та науково-технічного прогресу, дослідження питання модернізації ЕЕС України є надзвичайно важливою та актуальною науково-прикладною задачею.

Метою даної роботи є аналіз перспектив розвитку та модернізації існуючих електричних мереж та підстанцій в електричній системі.

Задачі магістерської роботи. Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язано такі основні завдання:

- досліджено сучасне елегазове обладнання;
- проведено розрахунок та аналіз вибору елегазового обладнання електричних мереж;
- розв'язано питання забезпечення безпеки праці персоналу.

Об'єктом дослідження є елементи електричних мереж та підстанцій.

Предметом дослідження є методи розрахунку нормальних режимів ЕЕС.

Методи дослідження. Для аналізу та розв'язання поставленої задачі використано методи математичного моделювання. Реалізація розрахунків в даній роботі забезпечувалась використанням прикладних програм, зокрема «ВТРАТИ-110» [29].

Наукова новизна полягає у підтвердженні перспективи модернізації ліній електропередачі.

Особистий внесок. Усі результати, які складають основний зміст роботи отримані автором самостійно.

1. ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД ПРОЕКТУВАННЯ, БУДІВНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ З ЕЛЕГАЗОВИМ ОБЛАДНАННЯМ

1.1 Загальний огляд розвитку елегазового обладнання в зарубіжній енергетичній сфері.

З початку 80-х років відбувся якісний стрибок у технології виробництва високовольтних комутаційних апаратів. На зміну масляним і повітряним вимикачам прийшли апарати з використанням як ізоляційного, так і дугогасного середовища елегазу (газоподібної шестифтористої сірки – SF₆) або вакууму.

Елегазові вимикачі високої, надвисокої й ультрависокої напруги (від 110 до 1150 кВ) у економічно розвинених країнах практично витиснули всі інші види комутаційних апаратів.

За даними Міжнародної Ради з великих електроенергетичних систем (CIGRE), у закордонній практиці парк елегазового обладнання в різних класах напруги становить: 110 кВ – 52%, 220 кВ – 55%, 380 кВ – 69%, 500 кВ – 66%, 750 кВ – 92%.

Слід зазначити, що існують дві великі проблеми, пов'язані з розвитком комутаційної апаратури високої напруги – створення нових більш досконалих конструкцій і визначення долі апаратів, які тривалий час знаходяться в експлуатації (в основному застарілих).

Розв'язанням цих проблем і визначається рівень надійності сучасного (світового й вітчизняного) комутаційного устаткування.

Інтенсивне впровадження елегазової та вакуумної апаратури зумовлене тим, що поки не знайдено способів більш ефективного дугогасіння, здатних конкурувати з гасінням дуги короткого замикання в елегазі або вакуумі. Не отримано також і нових видів діелектриків, які за сукупністю своїх електроізоляційних, дугостійких і експлуатаційних властивостей перевершували б елегаз або вакуум.

Сьогодні провідні електротехнічні фірми виробляють, в основному, два типи високовольтних вимикачів: **елегазові й вакуумні**. В класах напруг 110 кВ і вище домінують в основному елегазові вимикачі, в класах середніх напруг 6-35 кВ – вакуумні вимикачі. При цьому особлива конструкція ущільнювальних вузлів, у тому числі гідравлічної герметизації поворотного механізму в картері полюса, забезпечує рівень витoku елегазу не більше ніж 0,5% у рік.

Застосування елегазової або вакуумної апаратури на середні класи напруги визначається техніко-економічними показниками при виробництві та експлуатації устаткування, а також умовами створення технологічної бази. Кожне із зазначених видів комутаційного обладнання має свої переваги. Якщо вакуумні апарати вимагають менш потужних приводів і мають, як правило, більш високий комутаційний ресурс, то елегазові вимикачі при комутаціях створюють менші рівні перенапруги, що зменшує навантаження на ізоляцію іншого енергетичного устаткування. Малий хід і швидкість контактів вакуумних вимикачів є як їхнім недоліком, так і достоїнством, яке полягає в можливості застосування легких, невеликих пружинних або електромагнітних приводів.

При виборі елегазової або вакуумної апаратури вирішальне значення мають умови, у яких працюють апарати. Наприклад, елегазові апарати кращі для застосування як вимикачі навантаження й струму короткого замикання в межах більш високої напруги, у тому числі в складі елегазових комплектних розподільчих установок – КРУЕ, у ланцюгах електродвигунів обмеженої потужності при порівняно невеликих довжинах сполучних кабелів.

Основні переваги елегазового устаткування полягають в унікальних фізико-хімічних властивостях елегазу: при атмосферному тиску електрична міцність елегазу в 3 рази вища, ніж повітря, а вже при тиску елегазу від 0,3 МПа до 0,4 МПа його електрична міцність вища, ніж трансформаторного масла. Здатність елегазових комутаційних апаратів щодо вимкнення струму короткого замикання за однакових умов на 2 порядки вища, ніж повітряних вимикачів.

Елегазовому устаткуванню останніх конструкцій також властиві: компактність, більші межревізійні строки аж до відсутності експлуатаційного обслуговування протягом усього терміну служби, широкий діапазон номінальних напруг (від 6 до 1150 кВ), пожежобезпечність і підвищена безпека обслуговування.

Вакуумні апарати характеризуються максимальними значеннями електричної міцності міжконтактних проміжків (при відстані між контактами до 10-15 мм), високою швидкістю відновлення електричної міцності при вимкненні струмів аж до аварійних, мінімальною масою рухливих частин і енергією приводу, мінімальними габаритами й масою апарата в цілому, високим комутаційним ресурсом.

Провідні зарубіжні фірми практично повністю перейшли на випуск елегазових вимикачів для відкритих розподільчих установок (ВРУ) на класи напруги 110 кВ і вище та КРУЕ, а також вакуумних вимикачів на напругу 6-35 кВ.

Для зниження перенапруги через зріз струму при його вимкненні у вакуумних вимикачах застосовуються спеціальні засоби захисту (RC-ланцюги, обмежувачі перенапруг).

Елегазовому устаткуванню середньої напруги традиційно віддають перевагу у Франції, Італії, країнах Скандинавії та Іспанії, а вакуумному – у Німеччині, Великобританії і Японії.

За останні 20 років у світі не вводилися в експлуатацію практично ніякі інші вимикачі на напругу 63 кВ і вище, крім елегазових. Якщо аналізувати склад вимикачів із віком від 10 до 20 років, то серед них переважають елегазові.

Міжремонтний період елегазових вимикачів становить 15 років. При цьому габарити й матеріалоемність апаратів постійно скорочується при поліпшенні основних параметрів і підвищенні надійності.

Переваги елегазових вимикачів порівняно з вакуумними – це більш проста конструкція й менш жорсткі вимоги до регулювання системи

«дугогасний пристрій – привід» при експлуатації; висока надійність апарата при вібрації, протіканні великих номінальних струмів і наскрізних струмів короткого замикання.

Елегаз застосовують, наприклад, у генераторних вимикачах, коли потрібні номінальні струми 8000-16000 А, а номінальні струми вимкнення – 90-200 кА.

У сфері великих номінальних і аварійних струмів, що вимикаються, відомі рішення, при яких застосовуються як елегаз, так і вакуумні дугогасні пристрої. Так, наприклад, фірма АВВ розробила й протягом 20 років поставляє елегазові генераторні вимикачі. Фірмою Siemens (Швейцарія) розроблено вакуумні генераторні вимикачі з номінальними струмами вимкнення до 80 кА. Завдання збільшення пропускання більших номінальних струмів у вакуумних генераторних вимикачах вирішується шляхом паралельного з'єднання декількох вакуумних дугогасних камер у кожному полюсі, що ускладнює його конструкцію. Ресурс кращих вакуумних вимикачів на середній клас напруг досягає в цей час від 40 до 50 тис. комутацій номінального струму й 100 операцій при вимкненні струму короткого замикання.

Незважаючи на значні переваги елегазових і вакуумних апаратів, повний перехід на їх використання займе не один рік і не одне десятиріччя. При постійно зростаючій частці сучасної апаратури в експлуатації залишається ще велика кількість застарілих апаратів.

У цілому частка елегазових вимикачів на середні класи напруги на світовому ринку становить 20-30% загального обсягу комутаційних апаратів і, за прогнозами, буде збільшуватися з одночасним удосконаленням їхньої конструкції, надійності та збільшенням безремонтного строку експлуатації, а також підвищенням ступеня комплектності (КРУ, ВРУ) для скорочення території підстанцій.

За останні роки виконано значні проектно-конструкторські розробки щодо створення та застосування потужних силових трансформаторів з

елегазовою ізоляцією, які головним чином, популярні в Японії, а також газових ізольованих кабелів високої напруги.

З наведеної таблиці 1.1 ринку елегазового устаткування, а також обладнання що вводиться щороку в експлуатацію, видно, що застосування SF₆ є переважним в устаткуванні високої напруги – 90% від загального обсягу елегазового обладнання і лише 10 % – для середньої напруги.

Таблиця 1.1 - Ринок елегазового устаткування

Вид устаткування	SF ₆ маса на одиницю кг	Повна встановлена кількість		Щорічний додатковий приріст	
		Кількість вимикачів	Маса SF ₆ , т	Кількість вимикачів	Маса SF ₆ , т
<i>Комутаційне устаткування СН</i>					
RM6/вимикачі навантаження - роз'єднувачі	0,6	3 000 000	1850	240000 RM6 +70000 вимикачів	140 8
КРУЕ	6	50 000	300	7000	42
Вимикачі	0,3	500 000	150	40000	17
Усього	–	–	2000... 2500	–	200
<i>Комутаційне устаткування ВН</i>					
КРУЕ	500	20 000	10 000	3000	1500
Вимикачі відкритого типу	50	100 000	5000	8000	400
Газоізолюючі кабелі	–	30 000 м	1000	3000 м	100
Усього	–	–	20 000	–	2000

Споживання елегазу у світовій енергетичній практиці розділено між комутаційним устаткуванням і неелектричними приладами: МЕК оцінює повне щорічне споживання його в 5000 – 8000 т, розділених на дві більш-менш рівні частини між цими двома напрямками застосування.

За останні роки особлива увага приділяється екологічній безпеці елегазу. У зв'язку з цим слід зазначити, що незважаючи на приналежність елегазу до ряду фторидів, він не увійшов до переліку речовин, які заборонено або обмежено в застосуванні. Крім того, загальний внесок елегазу в «парниковий»

ефект атмосфери становить не більше ніж 0,2% (частка елегазу, використовуваного в електротехнічному обладнанні, в цьому внеску на кілька порядків нижча).

Досвід впровадження елегазового обладнання компанією Electricite de France (EDF, Франція). EDF – єдина компанія, що має 30-річний досвід роботи з елегазовими вимикачами й вимикачами навантаження – роз'єднувачами середньої напруги, з парком устаткування, установленим компанією Merlin Gerin (Франція), що включає в себе понад 20 000 вимикачів і 200 000 вимикачів навантаження (модульного типу).

EDF виконала повну діагностику частини апаратури з терміном використання 20-30 років із найбільшою кількістю операцій: випробування на коротке замикання, діелектричні випробування, випробування на нагрівання, виміри герметичності й механічної міцності, виміри контактного зношування й газовий аналіз. Мета перевірки полягала в оцінюванні терміну служби елегазового обладнання. Зокрема, у результаті вимірів установлено максимальне 25%-ве значення контактного зношування комутаційної апаратури.

Газовий аналіз використовувався для оцінювання потенційної токсичності в двох різних випадках: при звичайному витoku й аварійному раптовому викиді елегазу внаслідок пошкодження. Перевіркою встановлено:

- у разі звичайного витoku концентрація побічних продуктів у комутаційному устаткуванні надзвичайно низька (приблизно в 10 000 разів нижча від TLV – гранично допустимої концентрації забруднень у повітрі виробничих приміщень);

- у разі аварійного раптового викиду концентрація побічних продуктів залишається набагато нижчою від допустимого безпечного рівня.

Одних із головних висновків перевірки встановлено – у реальних виробничих умовах передбачуваний термін експлуатації елегазового устаткування становить не менше 30 років.

Елегазове комутаційне устаткування повністю відповідає вимогам споживачів щодо компактності, надійності, скорочення часу обслуговування, безпеки персоналу, терміну служби. Зниження механічної енергії для вимкнення вимикача може бути досягнуто застосуванням сучасних способів гасіння дуги, наприклад, обертання й дугтя.

У сфері обслуговування запроваджуються відповідні системи діагностики комутаційного обладнання й моніторингу його роботи, які дають змогу контролювати в режимі реального часу його стан та своєчасно надавати інформацію користувачеві про необхідність і мету обслуговування.

Постійне вдосконалювання систем герметичності комутаційного устаткування високої напруги сприяє більш низькій інтенсивності витоку елегазу (0,1–0,5 % у рік).

На основі проведеного EDF аналізу визначено основні достоїнства та недоліки елегазових вимикачів:

- швидке гасіння дуги в елегазі;
- висока зносостійкість контактної системи при комутації номінальних струмів і номінальних струмів вимкнення;
- різке зниження експлуатаційних витрат порівняно з маломасляними вимикачами;
- повна вибухо- і пожежобезпека і можливість роботи в агресивних середовищах (обмеження тільки за ступенем зношування матеріалів, застосовуваних у конструкції приводу);
- висока хімічна стабільність елегазу та практична відсутність забруднення навколишнього середовища.

Термін експлуатації сучасних елегазових вимикачів в енергосистемі EDF без проведення ремонту становить від 10 до 20 років і більше (у цьому проміжку виконуються тільки профілактичні огляди й інструментальний контроль).

У світовій енергетичній практиці елегазове обладнання конструктивно випускається як у вигляді КРУЕ, так і модульного (гібридного) обладнання для

відкритих розподільчих установок (ВРУ), а також новітніх систем передавання електроенергії з елегазовою ізоляцією (GIL). Сучасні підстанції із КРУЕ здатні задовольнити практично всі можливі потреби енергетичної співдружності з урахуванням постійного зниження економічних і енергетичних витрат.

Світова потреба в електричній енергії сьогодні зростає на три відсотки щорічно. Відповідно збільшуються обсяги передавання електричної енергії у великих містах із передмістями, з найменшими можливими економічними втратами та зменшенням площі їх розміщення.

Найбільш характерним в цьому є реалізація прийнятої Європейським Союзом програми модернізації мереж електропередавання в Європі з переведенням на підвищений клас напруги з 220 на 380 кВ. У великих містах будується ряд підстанцій, розрахованих на надвисоку напругу. Цю тенденцію можна також простежити в таких мегаполісах, як Шанхай або Сідней. З підвищенням рівнів напруги виникає необхідність розширення територій підстанцій, що в ряді регіонів нереально. Тому КРУЕ сьогодні стають найбільш ефективними при високій надійності.

Залежно від рівня робочої напруги елегазовим підстанціям потрібно до 90% менше місця, ніж їхнім аналогам із повітряною ізоляцією. Елегазові підстанції найбільш стійкі до можливих впливів навколишнього середовища. Їх економічно обґрунтовано встановлювати на обмежених площадках, наприклад, у суспільних будинках, на спортивних стадіонах, аеропортах, у зонах щільної забудови.

Завдяки новаторським конструкторським рішенням застосування сучасних КРУЕ значно зменшує не тільки необхідний простір для їх розміщення, але й використання мінімальної кількості матеріалів і газу SF₆ при одночасному поліпшенні їхніх робочих характеристик. Такі фактори як естетика, екологічна стійкість, архітектура, статус захищеного будинку, відіграють усе більшу роль при проектуванні та будівництві підстанцій.

Відповідно до оцінок Комісії ЄС середній термін служби встановленої в Європі інфраструктури становить від 30 до 40 років. Необхідність підвищення

безпеки, ефективності та екологічної стійкості в поєднанні з підвищеними вимогами до електричних мереж вимагає прискорення модернізації й розширення багатьох трансформаторних підстанцій протягом найближчих десяти років. Заміна застарілого обладнання на сучасне елегазове в нинішніх умовах для задоволення зростаючих потреб в енергії країн із ринковою економікою стає найбільш економічно вигідним.

Поєднання конструкторських рішень із застосуванням комплектних елегазових пристроїв модульного елегазового обладнання, відоме як гібридний дизайн або комбінована технологія, дає змогу істотно зекономити простір установлення обладнання на ВРУ.

Елегазові вимикачі високої, надвисокої та ультрависокої напруг, а також трансформатори струму й напруги для ВРУ 110-1150 кВ як у новому будівництві, так і при заміні застарілих конструкцій у розвинених країнах практично витиснули всі інші види комутаційних апаратів.

Закордонні фірми, які працюють у сфері комутаційної апаратури (ABB, Siemens, Hyundai, Schneider Electric, Alstom), систематично оновлюють номенклатуру такого устаткування, розробляють апарати нових поколінь із метою підвищення їхньої надійності й ресурсу, зменшення габаритів матеріалоємності.

Сучасні вимоги (більш високі рівні напруги, зростаючі обсяги передавання електроенергії, екологічна стійкість) також викликали необхідність пошуку ефективних систем передавання електроенергії, зокрема, ліній електропередавання з елегазовою ізоляцією, розроблених компанією Siemens (газоізольовані лінії – GIL). Такі лінії являють собою алюмінієву струмопровідну трубку, розташовану в алюмінієвій трубці, яка закривається та заповнюється ізолюючою елегазовою сумішшю. За допомогою GIL можна забезпечити передавання енергетичної потужності до 3000 МВА. Там, де необхідні спеціальні рішення, GIL є надійним, економічним і екологічно доцільним рішенням. Порівняно з іншими системами передавання енергії в цій системі втрати енергії нижчі, а випромінювання електромагнітного поля

зменшується на 90%. Герметична конструкція дає змогу прокладати лінію над землею, у тунелях або під землею. Зокрема, компанія Siemens здійснила в 2010 році проект із прокладання підземних GIL для розширення системи енергопостачання в стиснутих умовах великого аеропорту в м. Франкфурті (Німеччина) з переведенням трансформаторної підстанції «Кельстербах» з 220 на 380 кВ. Повітряні лінії через прохідні ізолятори підключено до GIL, прокладених безпосередньо в землі до з'єднання з елегазовою розподільчою установкою.

Застосування газонаповнених систем передавання електроенергії високої та надвисокої напруг за економічними і технічними параметрами, експлуатаційними характеристиками і рівнем надійності більш ефективно, ніж використання маслонаповнених кабелів і кабелів з полімерною ізоляцією відповідного рівня напруги.

На світовому ринку сьогодні немає серйозної альтернативи елегазовим і вакуумним вимикачам, проте не припиняються роботи з удосконалення комутаційної апаратури і впровадження нанотехнологій із постійним нарощуванням інвестицій для реалізації таких програм. Зокрема, поліпшуються дугогасні пристрої, застосовуються нові рішення з підвищення ефективності дугогасіння.

Виконуються роботи з удосконалення КРУЕ шляхом об'єднання функцій різних апаратів у одному модулі (наприклад, об'єднання функцій вимикача, роз'єднувача й заземлювача в одному пристрої), шляхом створення КРУЕ з розміщенням трьох фаз у одній оболонці аж до напруги 500 кВ. Такі рішення дають змогу ще більше підвищити рівень компактності обладнання, зменшити необхідні для КРУЕ площі й обсяги приміщень, підвищити техніко-економічні показники.

Проводяться роботи із заміни елегазу на суміші елегазу з іншими газами, а також із використання в комутаційних апаратах інших видів ізоляційних та дугогасних газів.

Зміна поколінь КРУЕ, як правило, проходить не рідше, ніж у 6–8 років.

Удосконалюється комутаційне й трансформаторне устаткування для ВРУ високої, надвисокої, ультрависокої напруг зі зменшенням їхніх габаритів, ведеться активний пошук ефективних схем підключення до повітряних, кабельних і ліній GIL відповідних рівнів напруги.

2. Виробництво сучасного елегазового обладнання та його виробництво у провідних зарубіжних компаніях.

Проектуванням, виробництвом, інноваційним оновленням та постачанням елегазового обладнання у світовій енергетичній сфері активно займаються ряд провідних компаній, зокрема, АВВ (Швейцарія), Siemens (Німеччина), AREVA (Франція), ALSTOM (Франція); Merlin Gerin (Франція), Hyundai (Корея), Crompton Greaves (Індія), ряд інших компаній і спільних підприємств із цими та іншими компаніями в Росії, Китаї, країнах СНД, а також дистриб'ютори ряду компаній у більшості країн ОЕСР, Євросоюзу, Росії, України.

Компанія АВВ. Завдяки орієнтації на вимоги ринку, компетенції і творчому підходу компанія АВВ стала світовим лідером, який пропонує повний модульний ряд КРУЕ, модульного (гібридного) обладнання та послуги з їх технічної підтримки.

Для успішного вирішення найскладніших завдань із розроблення КРУЕ компанія вкладає значні інвестиції в науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи. Завдяки цьому нові вироби виготовляються з новітніх матеріалів із використанням сучасних технологій. Впровадження інновацій створює основу для випуску надійної продукції, побудованої на найсучасніших технічних рішеннях.

Сьогодні КРУЕ від АВВ можна розділити на дві категорії: напругою до 170 кВ – майже завжди триполюсні і напругою понад 170 кВ – у більшості однополюсні. Важливим етапом став випуск першого у світі повнокомплектного триполюсного розподільчого пристрою типу ELK-01 (145 кВ, 31,5 кА, 2500 А) в 1978 р. До його складу входить зручний в

обслуговуванні вимикач вертикального компоновання з автокомпресійним гасінням дуги. У 1980 р. його замінила КРУЕ ELK-02, що відрізняється від своїх попередників більш досконалою модульною конструкцією.

Раніше у всіх КРУЕ роз'єднувачі і заземлювачі розміщувалися в окремих камерах (КРУЕ типу ELK-03, 170 кВ, 40 кА, 3150 А), а вимикачі мали гідравлічний привід. У подальшому ELK-03 було модернізовано. Для розриву струму короткого замикання стали частково використовувати енергію самої дуги, що дало можливість значно знизити енергоспоживання. З цього часу КРУЕ напругою до 170 кВ стали комплектуватися вимикачами з автодугтям, поліпшеними характеристиками та застосуванням пружинно-гідравлічного приводу, а також роз'єднувачами і заземлювачами з компонованням їх у одній камері.

У 1992 р. було розпочато виробництво КРУЕ ELK-04 (170 кВ, 40 кА, 3150 А), яка стала більш компактною і відрізнялася абсолютно новою конструкцією з'єднань між модулями кабельного вводу та збірних шин. Завдяки новому з'єднанню значно зменшилися розміри установки, яку тепер можна розміщувати в стандартному промисловому контейнері. КРУЕ ELK-04 залишається однією з найбільш компактних розподільчих установок напругою до 170 кВ.

Подальший розвиток відбувався в напрямі підвищення номінальної потужності при збереженні компактності. У 1997 р. характеристики КРУЕ було покращено до 170 кВ, 50 кА та 3150 А, а в 2002 р. – до 145 кВ, 63 кА і 4000 А. До складу обладнання входять комутаційні апарати з автодугтям і пружинно-гідравлічним приводом.

Завдяки безперервному вдосконаленню КРУЕ обох типів виробу, спочатку призначені для виконання абсолютно різних вимог, у результаті послідовної уніфікації перетворилися на високостандартизовану модульну систему. До неї входять не тільки основні компоненти, такі як вимикачі, роз'єднувачі й заземлювачі, але і їх приводи. Паралельне вдосконалення цих

двох багато в чому подібних установок сприяло появі єдиного виробу, що випускається сьогодні під добре відомою маркою ELK-04.

Навіть через 15 років КРУЕ ELK-04 залишається одним із найбільш компактних розподільчих установок напругою 170 кВ.

Подальші дослідження, викликані потребою застосування більш високих напруг для передавання електроенергії, дали змогу розробити КРУЕ ELK-4, напругою до 800 кВ (50 кА, 5000 А). Ця модель зберегла компактність конструкції, завдяки чому підстанції надвисокої напруги займають порівняно невеликий робочий простір. Усі вимикачі встановлюються у вертикальному положенні, мають по чотири розриви і власні резистори з попереднім увімкненням.

У 1996 р. на основі ELK-1 було розроблено КРУЕ ELK-14 (напругою 245 кВ, 50 кА і 4000 А). У ньому було застосовано дугогасні пристрої з автодугттям і пружинно-гідравлічним приводом. Це стало видатним досягненням, оскільки вперше гасіння дуги самопродугттям було використано на напругу понад 170 кВ. Кілька років тому КРУЕ ELK-14 було успішно модернізовано з метою підвищення номінальних значень до 300 кВ, 50 кА, 4000 А. Крім того, модулі роз'єднувачів і заземлювача розміщено в одній камері.

На початку 2003 р. компанія АВВ змонтувала підстанцію 550 кВ (63 кА, 4000 А) на ГЕС «Три ущелини» в Китаї, яка залишається найбільшою підстанцією з КРУЕ у світі. Вимикачі було встановлено горизонтально та обладнано пружинно-гідравлічними приводами типу НМВ.

Останнім досягненням компанії АВВ стало розроблення ELK-5 напругою 1100 кВ (63 кА, 6000 А) – найкомпактнішого у світі КРУЕ надвисокої напруги, у конструкцію вимикача входять чотири послідовно горизонтально з'єднаних розривів, з паралельно ввімкненим резистором.

Модульне комутаційне обладнання. Сьогодні все розподільче обладнання, незалежно від рівня напруги, має стандартизовану модульну конструкцію. Невелика номенклатура модулів здатна забезпечувати виконання широкого ряду технічних вимог при їх установленні на ВРУ. Це стосується не

тільки основних компонентів, таких як вимикачі, роз'єднувачі й заземлювачі, але і їх приводів.

Вимикачі всіх видів КРУЕ, що є сьогодні на ринку, обладнано пружинно-гідравлічними приводами, які також мають модульну конструкцію, що дає можливість легко погоджувати швидкість руху контактів декількох розривів, сповільнюючи їх у кінці переміщення для мінімізації механічного впливу на контактну систему. Збереженої енергії дискових пружин вистачає на виконання як комутаційного циклу (як того вимагає ряд стандартів), так і на виконання більш складних циклів без повторного заведення. Більш того, використовуючи приводи різного типу, можна забезпечити точну роботу механічно незалежного однополюсного апарата при збереженні загального керування комутаційними операціями.

Крім модулів основних компонентів і відповідних приводів, постачаються також цифрові пристрої керування останнього покоління відповідно до вимог комунікаційного протоколу MEK-61850.

Замовнику пропонується комплексна система контролю та діагностики всієї електророзподільчої установки.

Тенденції сучасного ринку комутаційного обладнання. КРУЕ будь-якого типу як для передавальних, так і для розподільчих мереж характеризуються високим ступенем стандартизації обладнання та уніфікації. Номенклатура пропонованих сьогодні модулів постійно розширюється з переходом на підвищені класи напруги, номінальний струм короткого замикання.

Удосконалення енергетичної інфраструктури. Основну увагу при її розробленні приділяється подальшому зменшенню обсягу елегазу та підвищенню загального коефіцієнта корисної дії. Усі КРУЕ виготовляються за провідною машинобудівною технологією, що забезпечує простоту збирання (як на заводі, так і на місці встановлення) і поставляються в стандартних контейнерах.

Для відповідності продукції вимогам сучасного ринку, який постійно змінюється, необхідно:

- систему обладнання формувати із стандартних модулів, що дають змогу швидко та ефективно з економічної точки зору розширювати існуючі КРУЕ або легко замінювати повітряні (масляні) вимикачі елегазовими з максимальним поєднанням в одному модулі різних функцій із метою зменшення числа фланцевих з'єднань;

- продовжувати дослідження в сфері комутаційної техніки і розроблення дугогасних пристроїв високої напруги з низьким споживанням енергії приводом.

Системи КРУЕ компанії АВВ розраховано на оновлення в майбутньому, оскільки і головні ланцюги, і ланцюги керування та захисту повністю модульні. Це означає, що їх можна розширювати і модернізувати, коли виникне така необхідність, що забезпечує гнучку систему конструкції обладнання.

Ідеально зручний для напруг до 300 кВ модульний набір ELK-14 поєднує в собі новизну з перевіреною і випробуваною якістю – особливість, яка принесла системам КРУЕ компанії АВВ міжнародне визнання, забезпечивши:

Надійність. Усі частини, що знаходяться під напругою в єдиній оболонці і ефективно захищають систему ізоляції від негативних зовнішніх впливів.

Компактність. Комплекти пристроїв у системах ELK-14 скомпоновано настільки вдало, що для них потрібно на 40% менше місця, ніж для попередніх моделей систем КРУЕ.

Гнучкість. Модульна архітектура системи допускає індивідуальні рішення, які в будь-який момент може бути адаптовано до потреб споживача.

Довговічність. Висока якість матеріалів і виготовлення гарантує максимальний термін їх служби при мінімальних технічному обслуговуванні і ремонті.

Економічність. Використання алюмінієвих оболонок зменшує вагу системи, знижуючи вартість фундаментів і несучих елементів.

Ефективність. Попереднє збирання підсистем та строгий контроль якості спрощують остаточний монтаж і введення в експлуатацію.

Екологічна безпека. Значне зменшення числа фланців і ущільнень, а також компактність конструкції.

Перспектива. Максимальна надійність КРУЕ при мінімальному обслуговуванні – ще одна якісна особливість системи ELK-14. Модульна гнучкість конструкції дає можливість розширювати або в будь-який момент адаптувати компоновку до найбільш жорстких вимог.

Надійні трансформатори струму і напруги. Система КРУЕ компанії АВВ включає ефективні та надійні трансформатори струму та напруги.

Універсальні з'єднувальні елементи. Номенклатура виробів АВВ включає також набір сполучних елементів різних форм і розмірів, завдяки яким можна пристосовувати різні елементи підстанції практично до будь-яких вимог замовника.

Конструкція вимикача КРУЕ ELK-14. Конструкція вимикача, у якому для ізоляції та охолодження використовується елегаз, постійно вдосконалювалася протягом багатьох років. Базові конструкторські розробки дають змогу забезпечити:

- надійну здатність увімкнення і вимкнення для великих навантажень і струмів КЗ;
- зручний доступ до активних частин для огляду та капітального ремонту;
- низький рівень шуму;
- висока діелектрична стійкість в увімкненому і вимкненому положеннях;
- однофазне автоматичне повторне увімкнення (АПВ);
- компактний гідропружинний привід;
- безперервний самоконтроль гідравлічної системи;
- відсутність зовнішніх гідравлічних трубопроводів;
- конструкція не вимагає обслуговування.

Модулі серії PASS для компоновки схем ВРУ. З появою нещодавно створеного розподільчого пристрою PASS MOS на напругу 245 кВ розширилась серія модулів PASS (Performance And Save Space – «Ефективне та економне використання площі»). Починається серія з PASS MOO на напругу до

100 кВ, далі – модулі PASS MO, які можуть бути використаними для класу напруги до 170 кВ, і згадані раніше PASS MOS, застосовувані для класу напруги до 245 кВ включно. Таким чином, модулі PASS можна застосовувати як на передавальних, так і розподільчих підстанціях майже всіх класів напруги – 35, 110, 150, 220 кВ згідно з відповідними ДСТУ.

Модулі PASS поєднують властивості як традиційного ВРУ з повітряною ізоляцією, так і більш сучасного КРУ з елегазовою ізоляцією в корпусі зі сплаву алюмінію, зберігаючи переваги двох різних технологій. У модулях PASS використовуються вже перевірена і випробувана технологія з елегазовою ізоляцією, а також традиційні надійні елементи ВРУ з повітряною ізоляцією для з'єднання модулів між собою.

В одному середовищі, заповненому елегазом, укладено всі апарати (крім кільцевих трансформаторів струму): вимикачі, роз'єднувачі, заземлювачі, кабельні муфти стичного типу, швидкодійні заземлювачі, елегазові трансформатори напруги або датчики напруги, шафа керування.

Один модуль PASS об'єднує в собі всі стандартні функції повністю укомплектованих комірок підстанції з повітряною ізоляцією напругою до 245 кВ і займає об'єм, що дорівнює об'єму одного традиційного вимикача такого самого класу напруги.

Така комірка має значні переваги і розширює основні принципи експлуатації обладнання серії PASS, що дало можливість успішно впровадити більше 2000 систем в різних регіонах світу.

Переваги застосування модулів PASS:

- порівняно недорогі системи шин розподільчих установок із повітряною ізоляцією;
- підтримується традиційно висока надійність, контакти роз'єднувачів перебувають у елегазі;
- обладнання з високою надійністю забезпечує зниження вартості терміну служби;

- використання високонадійних заземлювачів, аналогічних як у КРУЕ, дає змогу оптимізувати кількість комутаційних елементів;
- значно спрощується технологія та час монтажу.

Компанія АВВ забезпечує високий рівень заводського збирання з високою якістю та відповідною гарантією.

Передбачено застосування моніторингу та схем оперативної діагностики на основі інтегрованого електронного моніторингу, оперативного, дистанційного та діагностичного аналізу.

Модульна побудова підстанцій на основі PASS забезпечує значну економію при проектуванні і конструюванні, передбачає безліч варіантних рішень при використанні стандартних компонентів; знижено ризик помилок при проектуванні.

Усе це забезпечує зведення до мінімуму необхідності в технічному обслуговуванні (обслуговування лише за вимогою), низькі показники витрат на придбання, обслуговування, експлуатацію, виведення з роботи і переміщення, а також екологічно чисте перероблення/утилізацію після закінчення терміну служби.

Універсальність серії PASS виділяє її серед конкурентів у сфері обладнання високої напруги. Серія PASS пропонує цілий ряд модулів для підстанцій високої напруги:

- одинарна система шин (SBB);
- подвійна система шин (DBB);
- подвійний вимикач (DCB, тільки для PASS MO і PASS MOS).

Комплект PASS також може бути виготовленим у вигляді мобільної високовольтною комірки для розміщування на пересувній платформі тимчасового використання при проведенні аварійних або ремонтних робіт на існуючих комірках PASS MO.

PASS MO – це тип серії, що знаходить найбільше замовників. Завдяки своїм властивостям (компактність, модульна конструкція і надійність) його відразу ж було прийнято на електротехнічному ринку. Модулі PASS MO

зовнішнього і внутрішнього установлення працюють як у пустелі (Аравія), так і в Арктиці (Росія), на дахах будинків (Польща) і під землею.

Гнучкість конструкції модуля PASS MO дає змогу реалізувати такі конфігурації схем:

- з одинарною системою шин (SBB);
- з подвійною системою шин (DBB);
- транзитна підстанція (IOS);
- з подвійним вимикачем (DCB).

Завод АВВ в Італії є лідером серед заводів АВВ із виробництва мобільних підстанцій типу PASS MO, може надавати комплексні рішення, задовольняти всі вимоги замовника.

У мобільних підстанціях АВВ забезпечено всі необхідні функції для постачання електроенергії в стратегічно важливі райони, де важко побудувати стандартну підстанцію або коли необхідна додаткова потужність у період максимальних навантажень.

Завдяки великому досвіду та «ноу-хау» виробництва, АВВ може надавати послугу з постачання PASS MO «під ключ», яка включає проектні і конструкторські роботи, складання, проведення випробувань на місці установлення і гарантійне обслуговування.

Технологія PASS є екологічно чистою. Модулі проектуються відповідно до принципів PASS, поєднуючи функціональність і надійність систем із використанням матеріалів з незначним впливом на навколишнє середовище. Усі матеріали, використовувані для традиційної комірки (сталь для опор, фарфорові/полімерні (силіконові) ізолятори, бетон для фундаменту, мідь для провідників, а також алюміній для об'єднання компонентів тощо) повністю вилучено або зведено до мінімуму. Оскільки із самого початку проектування модулів типу PASS приділялося більше уваги питанням мінімізації повної вартості терміну служби та впливу на навколишнє середовище, це знайшло втілення в конструкції. Порівняно з традиційним обладнанням з повітряною

ізоляцією вони надійно виконують ті самі функції та екологічно безпечні. У технології PASS досягнуто таких результатів:

- витрати на техобслуговування знижено на 38%;
- займану площу скорочено на 70%;
- загальні експлуатаційні витрати зменшено на 60%;
- кількість необхідного елегазу знижено на 80%.

Якщо говорити про підстанції в цілому, то застосування модулів PASS для ВРУ з 5 комірками, зібраними за схемою «місток» («Н»), призводить до зниження повної вартості терміну служби більше ніж на 30%. Стандарти CEI 56-13, які посилаються на стандарти MEK 300-3, використовують як керівництво при розрахунку повної вартості терміну служби устаткування.

PASS є більш надійним, оскільки дуже мала ймовірність його відмови. Крім того, він рідше потребує обслуговування протягом усього терміну експлуатації, а ремонтні роботи, виконується за їх необхідності набагато швидше та з відносно малими затратами.

Компанія ЗАТ «Шнейдер Електрик» (Schneider Electric) – входить до числа лідируючих світових компаній у сфері виробництва високовольтних вимикачів і керування електроспоживанням.

У 2009 р. оборот компанії становив 15,8 млрд. євро при штаті понад 100 тис. співробітників в 100 країнах світу. У складі компанії – 207 заводів, а також науково-дослідні центри у 25 країнах. Компанія продає продукцію в 190 держав світу.

Світовий рейтинг устаткування Schneider Electric: 1 місце у світі з виробництва низьковольтної розподільчої й пускорегулюючої апаратури; 2 місце – з виробництва електроустаткування середньої напруги; 3 місце – з виробництва електроустаткування для автоматизації в промисловості.

За даними на кінець 2008 р. основний обсяг продажу Schneider Electric припадає на розподільче устаткування (близько 60%).

У сфері виробництва, передавання й розподілу електроенергії компанія постачає устаткування торговельної марки Merlin Gerin і здійснює реалізацію

проектів «під ключ», у тому числі КРУЕ, високовольтних комутаційних апаратів, комірок КРУ, вимикачів, роз'єднувачів, трансформаторів, цифрових пристроїв і систем захисту, контролю й керування.

Комутаційне устаткування середньої і високої напруги. Виробники комутаційного устаткування (Merlin Gerin) використовують унікальні діелектричні та ізоляційні властивості елегазу в комутаційному устаткуванні середньої та високої напруг.

Елегазові вимикачі серії: LF1, LF2, LF3, ISF2, ISF2 40,5 напругою від 10 до 40,5 кВ.

ISF2 – елегазовий вимикач на номінальну напругу до 40,5 кВ, трифазний комутаційний апарат, що складається із трьох ізольованих полюсів, установлених на єдиному шасі. До його складу входять такі основні елементи:

- захисна оболонка кожного полюса, що представляє собою систему під тиском, ізольовану від зовнішнього середовища; герметичний блок, наповнений елегазом (SF₆) під порівняно низьким надлишковим тиском (0,15 МПа);
- привод вимикача типу GMh з енергонакопичувальним пристроєм;
- багатоконтактний роз'єм, використовуваний для приєднання вторинних ланцюгів;
- пристрій з автодіагностики для постійного контролю зношування полюсів.

Кожен полюс, що перебуває під надлишковим тиском, оснащено дисками безпеки й діагностичною системою для здійснення постійного контролю тиску елегазу.

Використання технології дугогасіння в елегазі дає змогу зведення до мінімуму комутаційних перенапруг та уникати пошкодження електротехнічного устаткування.

Для розподільчих мереж напругою 6, 10 кВ Schneider Electric пропонує застосування вимикачів, заснованих як на елегазовій, так і вакуумній

технологіях гасіння дуги. Критерій вибору залежить від типу навантаження споживачів підстанції.

Безпечність. У вимикачах серії LF, усі три фази розташовано в єдиному корпусі, не чутливому до умов навколишнього середовища й заповненому елегазом при низькому надлишковому тиску. Кожний вимикач має мембрану безпеки, дія якої захищає оператора при підвищенні тиску всередині полюса. Застосований принцип дугогасіння, заснований на техніці обертання дуги й ефекті температурного розширення елегазу, забезпечує надійне гасіння дуги при вимкненні номінальних струмів, у тому числі ємнісних та індуктивних, більших від струмів коротких замикань, а також низький рівень комутаційних перенапруг. Крім того, безпека і надійність експлуатації електроустановки гарантовано надійним вимкненням номінальних струмів за номінальної напруги навіть при порушеннях герметичності камери вимикача і нульовому надлишковому тиску.

Надійність роботи вимикачів забезпечує механічний пружинний привід з акумулюванням енергії, необхідної для вимкнення й наступного увімкнення вимикача.

Спостереження за парком усіх установлених вимикачів (понад 180 000 у 80 країнах світу) протягом 30 років дало змогу встановити середній час наробітку на відмову – 2800 років, що відповідає чотирьом відмовам на 10 000 вимикачів у рік.

Накопичений досвід виробництва та експлуатації елегазового комутаційного устаткування, використання сучасних систем контролю якості в процесі його виробництва, а також спеціального технічного рішення забезпечують герметичність дугогасильної камери і підтримку технічних параметрів вимикача на рівні номінальних протягом 30 років експлуатації.

Механічний і електричний ресурс вимикачів серії LF є більш високим порівняно з вимогами норм МЕК. Спеціальними випробуваннями на механічну та електричну міцність відповідно до вимог норм МЕК, підтверджено їх високу надійність і довговічність – не менш ніж 10 000 операційних циклів при номінальному струмі та 40 вимкнень номінальних струмів коротких замикань (25 кА).

Експлуатація вимикача при номінальних технічних умовах не вимагає обслуговування механічного приводу протягом 10 років або протягом 10 000 циклів ВВ. Дугогасильна камера вимикача не потребує обслуговування протягом усього терміну експлуатації.

Екологічна безпека. Вимикачі серії LF розроблено й виготовляються з урахуванням вимог з охорони навколишнього середовища: матеріали, ізоляційні та струмопровідні компоненти є екологічно чистими, замінними і підлягають утилізації; елегаз може бути повторно використаним після відповідного оброблення.

Критерії безпеки засновано на стандартах МЕК 376 із захисту персоналу й навколишнього середовища.

Система контролю якості. Кожний вимикач проходить ретельні систематичні заводські випробування з метою перевірки якості й відповідності типовим характеристикам: герметичності; правильної роботи механічних частин і блокувань; діелектричним властивостям; властивостям опору головних контактів тощо.

Комплексні рішення з розроблення і модифікації вимикача, система контролю якості заводу-виготовлювача сертифіковано французькою асоціацією з контролю якості (AFAQ) на відповідність ISO 9001 і ISO 9002. Вимикачі серії LF успішно пройшли типові випробування на відповідність вимогам норм МЕК 56 і ДСТУ 687.

Користувачеві надається відповідна інформація для можливих умов експлуатації, обслуговування тощо. Для безпеки персоналу й навколишнього середовища ремонт (особливо капітальний) виконується компанією Schneider Electric (або під її наглядом) у спеціальних сервісних центрах.

Компанія Siemens AG (Німеччина) – потужний міжнародний концерн, що працює у сфері електротехніки, електроніки, енергетичного устаткування, транспорту і транспортного машинобудування, медичного обладнання то світлотехніки, а також спеціалізованих послуг у різних галузях промисловості, транспорту і зв'язку.

До складу компанії входять виробництво, установка і сервісне обслуговування елегазового обладнання напругою від 10 до понад 800 кВ і вище, у тому числі КРУЕ, вимикачі, вимірювальні трансформатори тощо. Компанія також займається виробництвом, встановленням і сервісним обслуговуванням газоізолюваних ліній електропередавання високої напруги, яких введено в експлуатацію понад 80 км.

КРУЕ типу 8DQ1, що випускається компанією, є результатом постійного процесу модернізації та оновлення конструкції розподільчих електроустановок, що дало змогу довести їх рівень напруги до 550 кВ. Завдяки своїй економічності, високій експлуатаційній надійності, герметизації, обмеженим експлуатаційним витратам і експлуатаційній готовності високого ступеня КРУЕ типу 8DQ1 сьогодні є одним з найбільш популярних розподільчих електроустановок у світі, виділяється серед них особливо гнучкими можливостями використання, підвищеною безпекою, надійністю та економічною ефективністю.

За майже 40 років компанією випущено понад 17 000 КРУЕ у всіх кліматичних зонах світу в діапазоні напруг від 72,5 до 800 кВ.

Компактна конструкція КРУЕ дозволяє встановлювати їх у приміщеннях з обмеженою площею, у підвалах висотних будинків, у магазинах або на промислових підприємствах, на перших поверхах історичних будинків або в мобільних контейнерах. Бакова конструкція забезпечує захист від дотику до струмоведучих частин і робить їх стійкими до впливів навколишнього середовища. Завдяки своїй високій якості КРУЕ практично не вимагає технічного обслуговування. Високий ступінь електромагнітної сумісності гарантує надійний захист персоналу та навколишнього середовища. Модульна конструкція системи дає змогу реалізовувати гнучкі рішення, а також надає всі можливості для її подальшого розширення і застосуванням на ВРУ з різною комбінацією схем підключення до ошиновки.

Компанія AREVA T&D – світовий лідер у сфері устаткування і систем для передавання та розподілу електроенергії. AREVA T&D, входить до складу промислової групи AREVA (Франція), основним напрямом діяльності якої є проектування, поставки та комплектація обладнання для атомної енергетики. Обороти концерну у 2008 р. становив 18,7 млрд євро, чистий прибуток – 1,1 млрд євро.

Компанія виробляє первинне комутаційне обладнання: силові вимикачі (елегазові, вакуумні), роз'єднувачі, силові й розподільні трансформатори (масляні, сухі), трансформатори струму й напруги, ОПН напругою 10 - 800кВ, КРУЕ напругою 10-35 кВ.

Висока якість і рівень надійності обладнання, що виготовляється AREVA, відповідає сучасним вимогам і технологіям, контролюється діючою на заводах сертифікованою системою керування якістю відповідно до міжнародного стандарту ISO 9001-2000.

Заводи компанії AREVA T&D розташовано в 43 країнах, офіси продажу обладнання – більш ніж в 100 країнах світу.

У 2010 р. компанію Areva T&D було придбано компаніями Alstom і Schneider Electric.

Компанія ALSTOM (Франція) є лідером на ключових ринках комутаційного обладнання (роз'єднувачі, елегазове розподільче устаткування), у сфері виробництва і передавання електроенергії, розроблення та виробництва високовольтних комутаційних апаратів, у тому числі елегазових, що відповідають вимогам світових стандартів та реалізуються у більш ніж 120 країнах світу. У 2009 р. оборот компанії становив понад 3,5 млрд євро.

На запит замовника компанією реалізуються будь-які конструктивні рішення щодо виробництва високовольтних елегазових вимикачів колонкового типу серії S1 напругою 72,5 – 145 кВ.

Стандартний силовий вимикач фірми ALSTOM складається з базової рами з трьома полюсними колонками. У полюсних колонках силових вимикачів запроваджено камери третього покоління із системою гасіння дуги автодугтям, що у сполученні із застосуванням пружинних приводів закладено в основу розроблення вимикачів підвищеної надійності типу GL. Полюсні колонки та приводи силових вимикачів фірми ALSTOM відповідають діючим стандартним на комутаційне обладнання. При триполюсному керуванні вони оснащуються керуючим пристроєм SynCR1, а при однополюсному – пристроєм SynCR3.

Компанією освоєно виробництво високовольтних елегазових вимикачів колонкового типу серії GL (35-110 кВ) нової технології для ОРУ. Вимикачі серії GL308 та GL 313 використовують більш сучасний механізм дугогасіння.

Високовольтні елегазові вимикачі бакового типу серії DT1 (110 кВ) розроблено для підстанцій і ліній передавання, силових трансформаторів, та відкритих розподільчих установок з ошиновкою. Компанія Crompton Greaves (Індія). Операції компанії пов'язані з постачанням обладнання для енергетики, забезпечують річний оборот понад 2 млрд дол. Компанія зберігає свої лідируючі позиції на внутрішньому ринку, а також поставляє свою продукцію більш ніж в 60 країн світу.

Основна номенклатура продукції компанії – це елегазові розподільчі установки, елегазові вимикачі, маломасляні силові трансформатори, трансформатори струму і напруги, системи автоматики та захисту мереж, двигуни, турбіни, приводи тощо.

Унаслідок розширення та розвитку компанія Crompton Greaves використовує виробничі бази в Бельгії, Канаді, Угорщині, Індонезії, Ірландії, Франції, Великобританії і США, як додаток до більше ніж двадцяти заводів у Індії. Сьогодні в компанії працюють понад 8000 співробітників.

Crompton Greaves інвестує в сучасні проекти, працює над поліпшенням якості своєї продукції. Одним з основних продуктів компанії є автоматичні високовольтні елегазові вимикачі, що працюють в діапазоні напруг від 60 до 800 кВ.

Починаючи з 1983 року більш ніж 13000 елегазових вимикачів виробництва компанії «Crompton Greaves», що працюють у широкому діапазоні напруг, було введено в експлуатацію в багатьох країнах світу з різними експлуатаційними умовами.

Обладнання та системи виробництва і контролю якості компанії сертифіковано за стандартами ISO 9001, 14001, відповідними ГОСТ і пройшло випробування в таких престижних лабораторіях, як CESI (Італія), KERI (Півд. Корея).

Компанія «Crompton Greaves» виробляє елегазові вимикачі типу SFM з механізмом «пружина-пружина» для відкритих розподільчих установок в робочому діапазоні напруг від 72,5 до 245 кВ. Комутація обладнання цього типу забезпечується приведенням в рух механізму пружин, керування якими здійснюється за допомогою електричного двигуна, а також, за необхідності, механічним способом. Обладнання, побудоване на даному типі приводу, працює надійно. Вимикачі мають конструкцію дугогасіння з використанням двухпотокового розпилення під час переривання струму, що забезпечує високу експлуатаційну надійність і безпеку для ізоляції обладнання та ліній електропередавання.

Елегазові вимикачі компанії успішно працюють в умовах ліквідації короткого замикання на лінії електропередавання, високих пікових навантажень, що виникають при несинхронних перемикаваннях. Низькі струми перемикавання конденсаторних батарей, струм намагнічування трансформатора, зарядний струм кабелю/лінії електропередавання перериваються плавно без виникнення будь-яких коливань напруги.

Обладнання не потребує додаткових регулювань при монтажі, забезпечує низький рівень експлуатаційних витрат та шуму.

Залежно від сфери застосування елегазові вимикачі серії SFM поділяються на два типи:

-трифазні вимикачі з автоматичним повторним увімкненням, з одним загальним механізмом – для трансформаторних конструкцій;

-одно/трифазні вимикачі з автоматичним повторним включенням-відключенням, з трьома окремими пружинними механізмами (для кожної фази) – для застосування на ВРУ і лініях електропередавання.

Необхідні контрольні випробування, передбачені стандартом ІЕС 56, здійснюються на вже зібраних елегазових вимикачах на власному підприємстві. Додатково до випробувань, зазначених у ІЕС, по кожному вимикачу здійснюється перевірка витоку газу, швидкісних і часових параметрів а також параметрів газового тиску.

Випробувальну лабораторію компанії «Crompton Greaves» повністю обладнано необхідним новітнім випробувальним обладнанням:

– випробувальним трансформатором 600 кВ з логічним контролером MUR 24A;

– високоточним детектором витоку газу (з можливістю виявлення витоку газу навіть у 1 мільйонній частині речовини);

– багатоканальним аналізатором швидкісних/часових параметрів вимикача тощо.

Комплексне тестування елегазових вимикачів перед їх відправленням замовнику гарантує безперебійну експлуатацію обладнання на об'єктах електроенергетики.

У світовій енергетичній практиці елегазове обладнання конструктивно випускається як у вигляді КРУЕ, так і модульного (гібридного) обладнання для відкритих розподільчих установок (ВРУ), а також новітніх систем передавання електроенергії з елегазовою ізоляцією (GIL). Сучасні підстанції із КРУЕ здатні задовольнити практично всі можливі потреби енергетичної співдружності з урахуванням постійного зниження економічних і енергетичних витрат.

Світова потреба в електричній енергії сьогодні зростає на три відсотки щорічно. Відповідно збільшуються обсяги передавання електричної енергії у великих містах із передмістями, з найменшими можливими економічними втратами та зменшенням площі їх розміщення.

Найбільш характерним в цьому є реалізація прийнятої Європейським Союзом програми модернізації мереж електропередавання в Європі з переведенням на підвищений клас напруги з 220 на 380 кВ. У великих містах будується ряд підстанцій, розрахованих на надвисоку напругу. Цю тенденцію можна також простежити в таких мегаполісах, як Шанхай або Сідней. З підвищенням рівнів напруги виникає необхідність розширення територій підстанцій, що в ряді регіонів нереально. Тому КРУЕ сьогодні стають найбільш ефективними при високій надійності.

Залежно від рівня робочої напруги елегазовим підстанціям потрібно до 90% менше місця, ніж їхнім аналогам із повітряною ізоляцією. Елегазові підстанції найбільш стійкі до можливих впливів навколишнього середовища. Їх економічно обґрунтовано встановлювати на обмежених площадках, наприклад, у суспільних будинках, на спортивних стадіонах, аеропортах, у зонах щільної забудови.

Завдяки новаторським конструкторським рішенням застосування сучасних КРУЕ значно зменшує не тільки необхідний простір для їх розміщення, але й використання мінімальної кількості матеріалів і газу SF₆ при

одночасному поліпшенні їхніх робочих характеристик. Такі фактори як естетика, екологічна стійкість, архітектура, статус захищеного будинку, відіграють усе більшу роль при проектуванні та будівництві підстанцій.

Відповідно до оцінок Комісії ЄС середній термін служби встановленої в Європі інфраструктури становить від 30 до 40 років. Необхідність підвищення безпеки, ефективності та екологічної стійкості в поєднанні з підвищеними вимогами до електричних мереж вимагає

1.2. Виробництво сучасного електричного обладнання та його виробництво у провідних зарубіжних компаніях.

Проектуванням, виробництвом, інноваційним оновленням та постачанням електричного обладнання у світовій енергетичній сфері активно займаються ряд провідних компаній, зокрема, АВВ (Швейцарія), Siemens (Німеччина), AREVA (Франція), ALSTOM (Франція); Merlin Gerin (Франція), Hyundai (Корея), Crompton Greaves (Індія), ряд інших компаній і спільних підприємств із цими та іншими компаніями в Росії, Китаї, країнах СНД, а також дистриб'ютори ряду компаній у більшості країн ОЕСР, Євросоюзу, Росії, України.

Компанія АВВ. Завдяки орієнтації на вимоги ринку, компетенції і творчому підходу компанія АВВ стала світовим лідером, який пропонує повний модульний ряд КРУЕ, модульного (гібридного) обладнання та послуги з їх технічної підтримки.

Для успішного вирішення найскладніших завдань із розроблення КРУЕ компанія вкладає значні інвестиції в науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи. Завдяки цьому нові вироби виготовляються з новітніх матеріалів із використанням сучасних технологій. Впровадження інновацій створює основу для випуску надійної продукції, побудованої на найсучасніших технічних рішеннях.

Сьогодні КРУЕ від АВВ можна розділити на дві категорії: напругою до 170 кВ – майже завжди триполюсні і напругою понад 170 кВ – у більшості

однополюсні. Важливим етапом став випуск першого у світі повнокомплектного триполюсного розподільчого пристрою типу ELK-01 (145 кВ, 31,5 кА, 2500 А) в 1978 р. До його складу входить зручний в обслуговуванні вимикач вертикального компоновання з автокомпресійним гасінням дуги. У 1980 р. його замінила КРУЕ ELK-02, що відрізняється від своїх попередників більш досконалою модульною конструкцією.

Раніше у всіх КРУЕ роз'єднувачі і заземлювачі розміщувалися в окремих камерах (КРУЕ типу ELK-03, 170 кВ, 40 кА, 3150 А), а вимикачі мали гідравлічний привід. У подальшому ELK-03 було модернізовано. Для розриву струму короткого замикання стали частково використовувати енергію самої дуги, що дало можливість значно знизити енергоспоживання. З цього часу КРУЕ напругою до 170 кВ стали комплектуватися вимикачами з автодугтям, поліпшеними характеристиками та застосуванням пружинно-гідравлічного приводу, а також роз'єднувачами і заземлювачами з компонованням їх у одній камері.

У 1992 р. було розпочато виробництво КРУЕ ELK-04 (170 кВ, 40 кА, 3150 А), яка стала більш компактною і відрізнялася абсолютно новою конструкцією з'єднань між модулями кабельного вводу та збірних шин. Завдяки новому з'єднанню значно зменшилися розміри установки, яку тепер можна розміщувати в стандартному промисловому контейнері. КРУЕ ELK-04 залишається однією з найбільш компактних розподільчих установок напругою до 170 кВ.

Подальший розвиток відбувався в напрямі підвищення номінальної потужності при збереженні компактності. У 1997 р. характеристики КРУЕ було покращено до 170 кВ, 50 кА та 3150 А, а в 2002 р. – до 145 кВ, 63 кА і 4000 А. До складу обладнання входять комутаційні апарати з автодугтям і пружинно-гідравлічним приводом.9

Завдяки безперервному вдосконаленню КРУЕ обох типів виробу, спочатку призначені для виконання абсолютно різних вимог, у результаті послідовної уніфікації перетворилися на високостандартизовану модульну систему. До неї входять не тільки основні компоненти, такі як вимикачі, роз'єднувачі й заземлювачі, але і їх приводи. Паралельне вдосконалення цих двох багато в чому подібних установок сприяло появі єдиного виробу, що випускається сьогодні під добре відомою маркою ELK-04.

Навіть через 15 років КРУЕ ELK-04 залишається одним із найбільш компактних розподільчих установок напругою 170 кВ.

Подальші дослідження, викликані потребою застосування більш високих напруг для передавання електроенергії, дали змогу розробити КРУЕ ELK-4, напругою до 800 кВ (50 кА, 5000 А). Ця модель зберегла компактність конструкції, завдяки чому підстанції надвисокої напруги займають порівняно невеликий робочий простір. Усі вимикачі встановлюються у вертикальному положенні, мають по чотири розриви і власні резистори з попереднім увімкненням.

У 1996 р. на основі ELK-1 було розроблено КРУЕ ELK-14 (напругою 245 кВ, 50 кА і 4000 А). У ньому було застосовано дугогасні пристрої з автодуттям і пружинно-гідравлічним приводом. Це стало видатним досягненням, оскільки вперше гасіння дуги самопродуттям було використано на напругу понад 170 кВ. Кілька років тому КРУЕ ELK-14 було успішно модернізовано з метою підвищення номінальних значень до 300 кВ, 50 кА, 4000 А. Крім того, модулі роз'єднувачів і заземлювача розміщено в одній камері.

На початку 2003 р. компанія АВВ змонтувала підстанцію 550 кВ (63 кА, 4000 А) на ГЕС «Три ущелини» в Китаї, яка залишається найбільшою підстанцією з КРУЕ у світі. Вимикачі було встановлено горизонтально та обладнано пружинно-гідравлічними приводами типу НМВ.

Останнім досягненням компанії АВВ стало розроблення ELK-5 напругою 1100 кВ (63 кА, 6000 А) – найкомпактнішого у світі КРУЕ надвисокої напруги,

у конструкцію вимикача входять чотири послідовно горизонтально з'єднаних розривів, з паралельно ввімкненим резистором.

Модульне комутаційне обладнання. Сьогодні все розподільче обладнання, незалежно від рівня напруги, має стандартизовану модульну конструкцію. Невелика номенклатура модулів здатна забезпечувати виконання широкого ряду технічних вимог при їх установленні на ВРУ. Це стосується не тільки основних компонентів, таких як вимикачі, роз'єднувачі й заземлювачі, але і їх приводів.

Вимикачі всіх видів КРУЕ, що є сьогодні на ринку, обладнано пружинно-гідравлічними приводами, які також мають модульну конструкцію, що дає можливість легко погоджувати швидкість руху контактів декількох розривів, сповільнюючи їх у кінці переміщення для мінімізації механічного впливу на контактну систему. Збереженої енергії дискових пружин вистачає на виконання як комутаційного циклу (як того вимагає ряд стандартів), так і на виконання більш складних циклів без повторного заведення. Більш того, використовуючи приводи різного типу, можна забезпечити точну роботу механічно незалежного однополюсного апарата при збереженні загального керування комутаційними операціями.

Крім модулів основних компонентів і відповідних приводів, постачаються також цифрові пристрої керування останнього покоління відповідно до вимог комунікаційного протоколу MEK-61850.

Замовнику пропонується комплексна система контролю та діагностики всієї електророзподільчої установки.

Тенденції сучасного ринку комутаційного обладнання. КРУЕ будь-якого типу як для передавальних, так і для розподільчих мереж характеризуються високим ступенем стандартизації обладнання та уніфікації. Номенклатура пропонованих сьогодні модулів постійно розширюється з переходом на підвищені класи напруги, номінальний струм короткого замикання.

Удосконалення енергетичної інфраструктури. Основну увагу при її розробленні приділяється подальшому зменшенню обсягу елегазу та підвищенню загального коефіцієнта

2. Виробництво сучасного елегазового обладнання та його виробництво у провідних зарубіжних компаніях.

Проектуванням, виробництвом, інноваційним оновленням та постачанням елегазового обладнання у світовій енергетичній сфері активно займаються ряд провідних компаній, зокрема, АВВ (Швейцарія), Siemens (Німеччина), AREVA (Франція), ALSTOM (Франція); Merlin Gerin (Франція), Hundai (Корея), Crompton Greaves (Індія), ряд інших компаній і спільних підприємств із цими та іншими компаніями в Росії, Китаї, країнах СНД, а також дистриб'ютори ряду компаній у більшості країн ОЕСР, Євросоюзу, Росії, України.

Компанія АВВ. Завдяки орієнтації на вимоги ринку, компетенції і творчому підходу компанія АВВ стала світовим лідером, який пропонує повний модульний ряд КРУЕ, модульного (гібридного) обладнання та послуги з їх технічної підтримки.

Для успішного вирішення найскладніших завдань із розроблення КРУЕ компанія вкладає значні інвестиції в науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи. Завдяки цьому нові вироби виготовляються з новітніх матеріалів із використанням сучасних технологій. Впровадження інновацій створює основу для випуску надійної продукції, побудованої на найсучасніших технічних рішеннях.

Сьогодні КРУЕ від АВВ можна розділити на дві категорії: напругою до 170 кВ – майже завжди триполюсні і напругою понад 170 кВ – у більшості однополюсні. Важливим етапом став випуск першого у світі повнокомплектного триполюсного розподільчого пристрою типу ELK-01 (145 кВ, 31,5 кА, 2500 А) в 1978 р. До його складу входить зручний в обслуговуванні вимикач вертикального компонування з автокомпресійним

гасінням дуги. У 1980 р. його замінила КРУЕ ELK-02, що відрізняється від своїх попередників більш досконалою модульною конструкцією.

Раніше у всіх КРУЕ роз'єднувачі і заземлювачі розміщувалися в окремих камерах (КРУЕ типу ELK-03, 170 кВ, 40 кА, 3150 А), а вимикачі мали гідравлічний привід. У подальшому ELK-03 було модернізовано. Для розриву струму короткого замикання стали частково використовувати енергію самої дуги, що дало можливість значно знизити енергоспоживання. З цього часу КРУЕ напругою до 170 кВ стали комплектуватися вимикачами з автодугтям, поліпшеними характеристиками та застосуванням пружинно-гідравлічного приводу, а також роз'єднувачами і заземлювачами з компонуванням їх у одній камері.

У 1992 р. було розпочато виробництво КРУЕ ELK-04 (170 кВ, 40 кА, 3150 А), яка стала більш компактною і відрізнялася абсолютно новою конструкцією з'єднань між модулями кабельного вводу та збірних шин. Завдяки новому з'єднанню значно зменшилися розміри установки, яку тепер можна розміщувати в стандартному промисловому контейнері. КРУЕ ELK-04 залишається однією з найбільш компактних розподільчих установок напругою до 170 кВ.

Подальший розвиток відбувався в напрямі підвищення номінальної потужності при збереженні компактності. У 1997 р. характеристики КРУЕ було покращено до 170 кВ, 50 кА та 3150 А, а в 2002 р. – до 145 кВ, 63 кА і 4000 А. До складу обладнання входять комутаційні апарати з автодугтям і пружинно-гідравлічним приводом.⁹

Завдяки безперервному вдосконаленню КРУЕ обох типів виробу, спочатку призначені для виконання абсолютно різних вимог, у результаті послідовної уніфікації перетворилися на високостандартизовану модульну систему. До неї входять не тільки основні компоненти, такі як вимикачі, роз'єднувачі й заземлювачі, але і їх приводи. Паралельне вдосконалення цих двох багато в чому подібних установок сприяло появі єдиного виробу, що випускається сьогодні під добре відомою маркою ELK-04.

Навіть через 15 років КРУЕ ELK-04 залишається одним із найбільш компактних розподільчих установок напругою 170 кВ.

Подальші дослідження, викликані потребою застосування більш високих напруг для передавання електроенергії, дали змогу розробити КРУЕ ELK-4, напругою до 800 кВ (50 кА, 5000 А). Ця модель зберегла компактність конструкції, завдяки чому підстанції надвисокої напруги займають порівняно невеликий робочий простір. Усі вимикачі встановлюються у вертикальному положенні, мають по чотири розриви і власні резистори з попереднім увімкненням.

У 1996 р. на основі ELK-1 було розроблено КРУЕ ELK-14 (напругою 245 кВ, 50 кА і 4000 А). У ньому було застосовано дугогасні пристрої з автодуттям і пружинно-гідравлічним приводом. Це стало видатним досягненням, оскільки вперше гасіння дуги самопродуттям було використано на напругу понад 170 кВ. Кілька років тому КРУЕ ELK-14 було успішно модернізовано з метою підвищення номінальних значень до 300 кВ, 50 кА, 4000 А. Крім того, модулі роз'єднувачів і заземлювача розміщено в одній камері.

На початку 2003 р. компанія АВВ змонтувала підстанцію 550 кВ (63 кА, 4000 А) на ГЕС «Три ущелини» в Китаї, яка залишається найбільшою підстанцією з КРУЕ у світі. Вимикачі було встановлено горизонтально та обладнано пружинно-гідравлічними приводами типу НМВ.

Останнім досягненням компанії АВВ стало розроблення ELK-5 напругою 1100 кВ (63 кА, 6000 А) – найкомпактнішого у світі КРУЕ надвисокої напруги,

у конструкцію вимикача входять чотири послідовно горизонтально з'єднаних розривів, з паралельно ввімкненим резистором.

Модульне комутаційне обладнання. Сьогодні все розподільче обладнання, незалежно від рівня напруги, має стандартизовану модульну конструкцію. Невелика номенклатура модулів здатна забезпечувати виконання широкого ряду технічних вимог при їх установленні на ВРУ. Це стосується не тільки основних компонентів, таких як вимикачі, роз'єднувачі й заземлювачі, але і їх приводів.

Вимикачі всіх видів КРУЕ, що є сьогодні на ринку, обладнано пружинно-гідравлічними приводами, які також мають модульну конструкцію, що дає можливість легко погоджувати швидкість руху контактів декількох розривів, сповільнюючи їх у кінці переміщення для мінімізації механічного впливу на контактну систему. Збереженої енергії дискових пружин вистачає на виконання як комутаційного циклу (як того вимагає ряд стандартів), так і на виконання більш складних циклів без повторного заведення. Більш того, використовуючи приводи різного типу, можна забезпечити точну роботу механічно незалежного однополюсного апарата при збереженні загального керування комутаційними операціями.

Крім модулів основних компонентів і відповідних приводів, постачаються також цифрові пристрої керування останнього покоління відповідно до вимог комунікаційного протоколу MEK-61850.

Замовнику пропонується комплексна система контролю та діагностики всієї електророзподільчої установки.

Тенденції сучасного ринку комутаційного обладнання. КРУЕ будь-якого типу як для передавальних, так і для розподільчих мереж характеризуються високим ступенем стандартизації обладнання та уніфікації. Номенклатура пропонованих сьогодні модулів постійно розширюється з переходом на підвищені класи напруги, номінальний струм короткого замикання.

2. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕГАЗУ ЯК ІЗОЛЯЦІЙНОГО ДУГОГАСИЛЬ-НОГО СЕРЕДОВИЩА В РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВКАХ

2.1 Фізико-хімічні властивості елегазу

Елегаз (електротехнічний газ) – це шестифториста сірка SF_6 (шестифтор). Елегаз є основним ізолятором в елементах комірок з елегазовою ізоляцією, елегазових вимикачах.

При робочих тисках і звичайній температурі елегаз - безбарвний газ, без запаху, не горючий, у 5 разів тяжчий за повітря (щільність 6,7 проти 1,29 у повітря), молекулярна маса також у 5 разів більше, ніж у повітря. Елегаз не старіє, тобто не змінює своїх властивостей з часом, при електричному розряді розпадається, але швидко рекомбінує, відновлюючи початкову діелектричну міцність. При температурах до $1000\text{ }^{\circ}C$ елегаз інертний і нагрівостійкий, до температур порядку $500\text{ }^{\circ}C$ хімічно не активний і не агресивний стосовно металів, що застосовуються в конструкціях елегазових розподільних пристроїв.

В електричному полі елегаз має здатність захоплювати електрони, що обумовлює високу електричну міцність елегаза. Захоплюючи електрони, елегаз утворює малорухливі іони, що повільно прискорюються в електричному полі.

Експлуатаційна здатність елегаза поліпшується в рівномірному полі. Тому для експлуатаційної надійності конструкція окремих елементів розподільних пристроїв повинна забезпечувати найбільшу рівномірність і однорідність електричного поля.

У неоднорідному полі з'являються місцеві перенапруги електричного поля, що викликають коронуючі розряди. Під дією цих розрядів елегаз розкладається, утворюючи у своєму середовищі нижчі фториди (SF_2 , SF_4), що шкідливо діють на конструкційні матеріали комплектних розподільних елегазових пристроїв (КРУ). Щоб уникнути розрядів усі поверхні окремих елементів металевих деталей і екранів комірок виконуються чистими і

гладкими і не повинні мати шорховатостей і зазубрин. Обов'язковість виконання цих вимог диктується тим, що бруд, пил, металеві частинки також створюють місцеві напруженості електричного поля, а при цьому погіршується електрична міцність елегазової ізоляції.

Висока електрична міцність елегазу дозволяє скоротити ізоляційні відстані, між контактами, при невеликому робочому тиску газу, в результаті цього зменшується маса і габарити електротехнічного обладнання. Це, у свою чергу, дає можливість зменшити габарити частин КРУ, що дуже важливо, наприклад, для міст, де кожен кубічний метр приміщення коштує дуже дорого.

Висока діелектрична міцність елегазу забезпечує високий ступінь ізоляції при мінімальних розмірах і відстанях, а гарна здатність гасіння дуги та охолоджувальність елегазу збільшує вимикаючу здатність комутаційного обладнання і зменшують нагрівання струмоведучих частин. Застосування елегазу дозволяє за інших рівних умов збільшити струмове навантаження на 25% і допустиму температуру мідних контактів до 90°C (у повітряному середовищі 75°C) завдяки хімічній стійкості, негорючості, вогнестійкості і великій охолоджуючій здатності елегазу. Порівняльні характеристики елегазу приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльні характеристики елегазу

Параметр	Елегаз SF ₆	Водень	Повітря
Молекулярна маса	146	1	129
Щільність, 10 ³ г/см ³	6,7	0,089	129
Відносна щільність	5,19	0,069	1
Відносна електрична міцність	2,3	-	1
Питома об'ємна теплоємність, 10 ⁻³ Дж/(см ³ ·°C)	4,89	0,026	1,29
Температура кипіння, °C	-63,8	-252,8	-194
Швидкість звуку при температурі 30°C, м/с	186	1200	330

Недоліком елегазу є перехід його в рідкий стан при порівняно високих температурах, що визначає додаткові вимоги до температурного режиму елегазового устаткування в експлуатації. На рис.2.1 приведена залежність стану елегаза від температури.

Для роботи елегазового устаткування при від'ємній температурі -40°C необхідно, щоб тиск елегазу в апаратах не перевищував 0,4 МПа при щільності не більш 0,03 г/см³. При підвищенні тиску елегаз буде скраплюватися при більш високій температурі. Тому для підвищення надійності роботи електрообладнання при температурах приблизно -40°C його потрібно підігрівати (наприклад, бак елегазового вимикача щоб уникнути переходу елегазу в рідкий стан, нагрівають до +12°C).

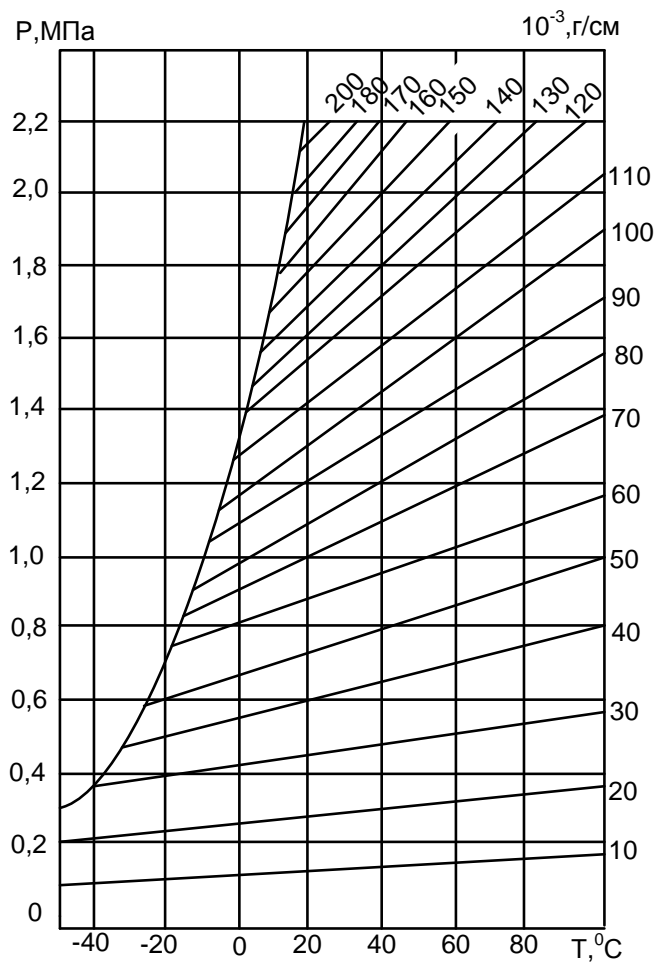


Рисунок 2.1 – Діаграма стану елегаза в залежності від температури

Дугогасильна здатність елегазу за інших рівних умов у кілька разів більше, ніж повітря. Це пояснюється складом плазми і температурною залежністю теплоємності, тепло- і електропровідності [16].

У стані плазми молекули елегазу розпадаються. При температурах порядку $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ теплоємність елегазу різко збільшується внаслідок дисоціації молекул. Тому теплопровідність плазми в області температур $2000\text{ — }3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ значно вище (на два порядки), чим повітря. При температурах порядку $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ дисоціація молекул зменшується. На рис. 2.2 приведені залежності питомої теплоємності C_p і теплопровідності λ елегазу від температури.

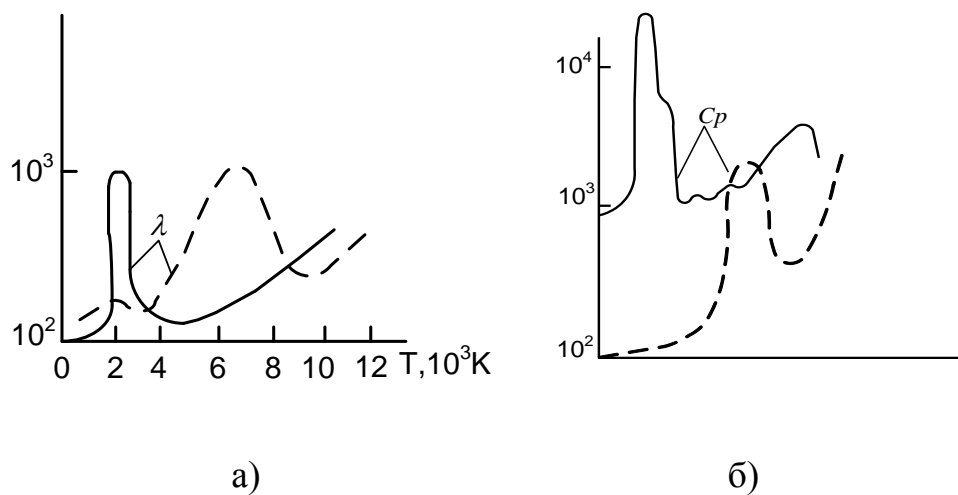


Рисунок 2.2 – Теплопровідності λ елегазу від температури (а);
залежність питомої теплоємності C_p (б):
— — — «елегаз»; ————— «повітря»

У той же час основоутворююча в дузі елегазу атомарна сірка з низьким потенціалом іонізації сприяє такій концентрації електронів, що виявляється достатньою для підтримки дуги навіть при температурах порядку $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$. При подальшому збільшенні температури теплопровідність плазми падає, досягаючи теплопровідності повітря, а потім знову збільшується. Такі процеси зменшують напругу й опір палаючої дуги в елегазі на $20\text{ — }30\%$ у порівнянні з дугою в повітрі, аж до температур

порядку 12000 - 8000 °С. При подальшому зниженні температури плазми (до 7000 К і нижче) концентрація електронів у ній зменшується, у результаті електрична провідність плазми падає.

При температурах 6000°С сильно зменшується ступінь іонізації атомарної сірки, підсилюється механізм захоплення електронів вільним фтором, нижчими фторидами і молекулами елегазу. При температурах порядку 4000°С дисоціація молекул закінчується і починається рекомбінація молекул, щільність електронів ще більше зменшується, тому що атомарна сірка хімічно поєднується із фтором. У цій області температур теплопровідність плазми ще значна, йде охолодження дуги, цьому сприяє також видалення вільних електронів із плазми за рахунок захоплення їх молекулами елегазу й атомарним фтором. Електрична міцність проміжку поступово збільшується й у кінцевому рахунку відновлюється.

Особливість гасіння дуги в елегазі полягає в тому, що при струмі, близькому до нульового значення, тонкий стрижень дуги ще підтримується й обривається в останній момент переходу струму через нуль. До того ж після проходження струму через нуль залишковий стовбур дуги в елегазі інтенсивно охолоджується, у тому числі за рахунок ще більшого збільшення теплоємності плазми при температурах порядку 2000°С, і електрична міцність швидко збільшується [1].

Така стабільність горіння дуги в елегазі до мінімальних значень струму при відносно низьких температурах приводить до відсутності зрізів струму і великих перенапруг при гасінні дуги.

У повітрі електрична міцність проміжку в момент проходження струму дуги через нуль більше, але через велику постійну часу дуги в повітрі швидкість наростання електричної міцності після проходження значення струму через нуль менше (рис.2.3).

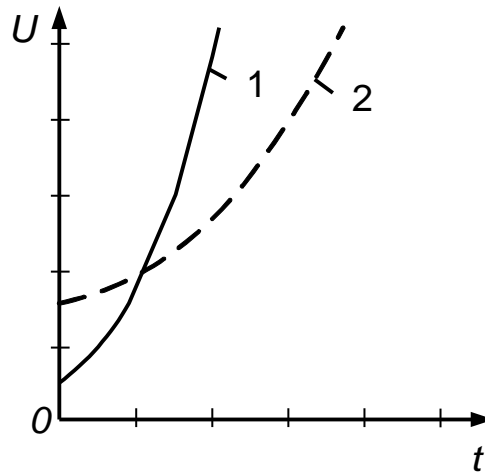


Рисунок 2.3 – Наростання електричної міцності елегазу (1) і повітря (2)

2.2 Способи гасіння дуги в елегазі

У елегазовому середовищі, у даний час існує два основних принципи гасіння дуги. Один з них полягає у використанні ефекту перетоку елегазу з області високого тиску в область низького. У результаті цього виникаюча дуга охолоджується. При цьому щоб уникнути переходу елегазу в рідкий стан, при якому погіршується дугогасяча здатність, бак високого тиску необхідно підігрівати до температури не менше $+10^{\circ}\text{C}$. Для підігріву елегазу застосовується спеціальна система. Цей принцип у вітчизняних вимикачах не застосовується.

Інший принцип - автокомпресійний, застосовується у вітчизняній практиці, - використовує перепад тиску, що створюється компресійним пристроєм у самій гасильній камері. Для цього вимикач заповнюється елегазом, тиск до 0,6 МПа, при цьому забезпечується надійність його дії при негативних температурах до мінус 40°C . Компресійний пристрій конструктивно зв'язано з рухливим контактом апарата і створює перепад

тиску в межах 0,6 - 0,8 МПа, це забезпечує одержання критичної швидкості витікання елегазу та ефективність гасіння дуги.

При горінні дуги в елегазовому середовищі утворюються хімічні сполуки, що володіють корозійними і токсичними властивостями. Чистота елегазу і поглинання вологи з нього забезпечуються фільтрами-поглиначами у виді молекулярних сіток, що вбудовуються у вимикач. На внутрішній поверхні вимикача передбачені спеціальні кишені (проточки), куди осідають порошкоподібні продукти розкладання елегазу від дуги, що не роблять шкідливої дії і не зменшують електричну міцність ізоляції вимикача. Елегаз перед заповненням піддається технологічному сушінню, тому що допустимий зміст вологи в ньому не повинно перевищувати 10% обсягу вимикача [1].

2.2.1 Автокомпресійний пристрій гасіння електричної дуги в елегазовому середовищі

Гасіння дуги в елегазових вимикачах, що використовують автокомпресійний принцип гасіння дуги, відбувається за рахунок інтенсивного охолодження її потоком елегазу. На початку процесу вимкнення, автокомпресійний дугогасильний пристрій починає працювати таким же чином, як і компресійний. Відмінність же у принципі їх дії при відключенні великих і малих струмів виявляється тільки після появи дуги.

Коли дугогасильні контакти відокремлюються, запалюється дуга між рухомих і нерухомих дугогасильними контактами. Під час горіння дуги, вона в деякій мірі блокує потік елегазу через сопло. Дуга, що горить, характеризується дуже високою температурою і могутнім випромінюванням тепла і починає нагрівати елегаз в обмеженому газовому об'ємі. Таким чином, тиск в середині як автокомпресійного, так і компресійного об'єму зростає як через підвищення температури від дуги, так і внаслідок стиснення газу в загальному просторі між компресійним циліндром і нерухомих поршнем.

Тиск газу в автокомпресійному об'ємі продовжує підвищуватися до тих пір, поки не стане достатньо високим для того, щоб закрити спеціальний автокомпресійний клапан. Весь елегаз, необхідний для гасіння дуги, тепер обмежено в замкнутому автокомпресійному об'ємі, і його тиск в цьому об'ємі може додатково підвищуватися тільки через нагрів дугою. Приблизно у той же самий час, тиск газу в нижньому компресійному об'ємі досягає рівня, достатнього для відкриття клапана скидання надмірного тиску. Оскільки елегаз з компресійного об'єму йде через клапан скидання надмірного тиску, це знижує потребу в додатковій робочій енергії приводу, необхідній, щоб подолати стиснення елегаза при одночасному збереженні швидкості розбіжності контактів, що необхідне для витримки напруги пробою, що відновлюється на контактах.

Коли струм проходить через нульове значення, дуга стає порівняно слабкою і у цей момент потік стислого елегаза виривається з автокомпресійного об'єму через сопло і гасить (здуває) дугу.

При відключенні слабких струмів автокомпресійні дугогасячі пристрої працюють, по суті, аналогічно компресійним пристроям, оскільки створюваний тиск елегаза недостатньо для закриття спеціального автокомпресійного клапана. В результаті верхній фіксований автокомпресійний об'єм і нижній компресійний об'єм формують один загальний об'єм стиснення. В цьому випадку тиск елегаза, необхідний, для переривання дуги досягається звичним механічним способом від енергії приводу, тобто як в звичному компресійному пристрої дугогашення. Проте, на відміну від компресійного пристрою, автокомпресійний пристрій потребує меншої енергії приводу для механічного створення тиску елегаза при відключенні струмів, менших номінального значення струму КЗ (тобто порядку 20%-30%).

У розімкненому положенні, між нерухомим і рухомим контактами існує достатній ізоляційний проміжок, здатний забезпечити номінальні рівні діелектричної міцності.

При операції ввімкнення відкривається клапан наповнення і елегаз поступає як в нижній (компресійний), так і у верхній (автокомпресійний) об'єми пристрою дугогашення. Оскільки для відключення слабких струмів досить середнього рівня тиску елегаза, створюваного механічним способом, а для переривання великих струмів відключення використовується теплова енергія дуги, що створює додатковий тиск елегаза в обмеженому об'ємі, то для роботи автокомпресійного дугогасильного пристрою потрібна менша (приблизно на 50%) робоча енергія приводу, ніж для роботи компресійного пристрою гасіння дуги.

Автокомпресійні пристрої Auto-Puffer™ компанії АВВ також конструктивно виконані з одноходовим рухом контактів [3].

2.2.2 Компресійний пристрій гасіння електричної дуги в елегазі

У нормальному положенні контакти вимикача замкнуті і струм проходить від верхнього струмопроводу до нижнього через головні контакти і компресійний циліндр.

При операції вимкнення, рухомі частини головного і дугогасильного контактів, а також компресійний циліндр і сопло зсовуються в розімкнене положення. Важливо враховувати, що рухомі контакти, сопло і компресійний циліндр складають один рухомий вузол. Іншими словами, процес компресорного дугогашення, що використовується, у вимикачах (серії HPL) компанії АВВ, має конструкцію з одноходовим рухом для розмикання контактів.

Коли рухомий вузол рухається у напрямі розімкненого положення контактів, клапан заповнення закривається і елегаз починає стискатися між рухомим компресійним циліндром і нерухомим поршнем. Першими розділяються головні контакти. Завдяки тому, що розмикання головних контактів відбувається за час, достатній до початку розмикання дугогасних контактів, будь-яка дуга запалюватиметься тільки між дугогасними контактами в об'ємі, обмеженому геометрією сопла.

Коли починають розмикатися дугогасні контакти, між рухомим і нерухомим дугогасними контактами запалюється дуга. Під час горіння дуги тіло плазми в деякій мірі блокує рух елегаза через сопло, внаслідок чого в компресорному об'ємі продовжує збільшуватися тиск газу до того моменту, коли струмова крива проходить через нульове значення, і дуга стає порівняно слабкою. У цей момент потік стислого під великим тиском елегаза виривається з компресійного об'єму через сопло і гасить дугу.

У розімкненому положенні відстань між нерухомим і рухомим контактами вибрана достатньою для того, щоб витримувати нормовані рівні діелектричної міцності проміжку.

При операції ввімкнення клапан наповнення відкривається і елегаз може вільно проходити в компресійний об'єм.

Слід зазначити, що тиск елегаза, необхідний, для гасіння дуги підіймається чисто механічним способом. Таким чином, вимикачі з компресійним методом гасіння потребують достатньо могутнього приводу, щоб подолати створюваний газом тиск в об'ємі, що стискається, яке необхідне для відключення номінальних струмів КЗ, але при цьому забезпечити певну швидкість руху контактів, щоб в міжконтактному ізоляційному проміжку, що утворюється, витримувати без повторних пробоїв напруги, що відновлюється на контактах.

Дугогасильні пристрої автокомпресійного типу (Auto-Puffer™) демонструють свої розрахункові переваги головним чином при відключенні великих струмів (наприклад, номінального струму КЗ).

2.2.3 Комутаційні особливості вибухової камери з ізоляційним соплом

Необхідний для гасіння електричної дуги газовий тиск створюється в соплі під час вимкнення. Процес гасіння дуги зображений на рис. 2.4.

Нерухома контактна груба (6) і контакт номінального струму (4) зв'язані сполучним фланцем (7) вибухової камери. Рухомий контакт

потужності (3) разом з компресорним циліндром (2) при вимкненні рухається проти нерухомого поршня (1), причому на початку розмикає без струму контакт номінального струму (4) і після цього контакт потужності (3). При вимкненні газ, що є в цьому циліндрі (2), стискається і пресується через пов'язане з циліндром ізоляційне сопло (5).

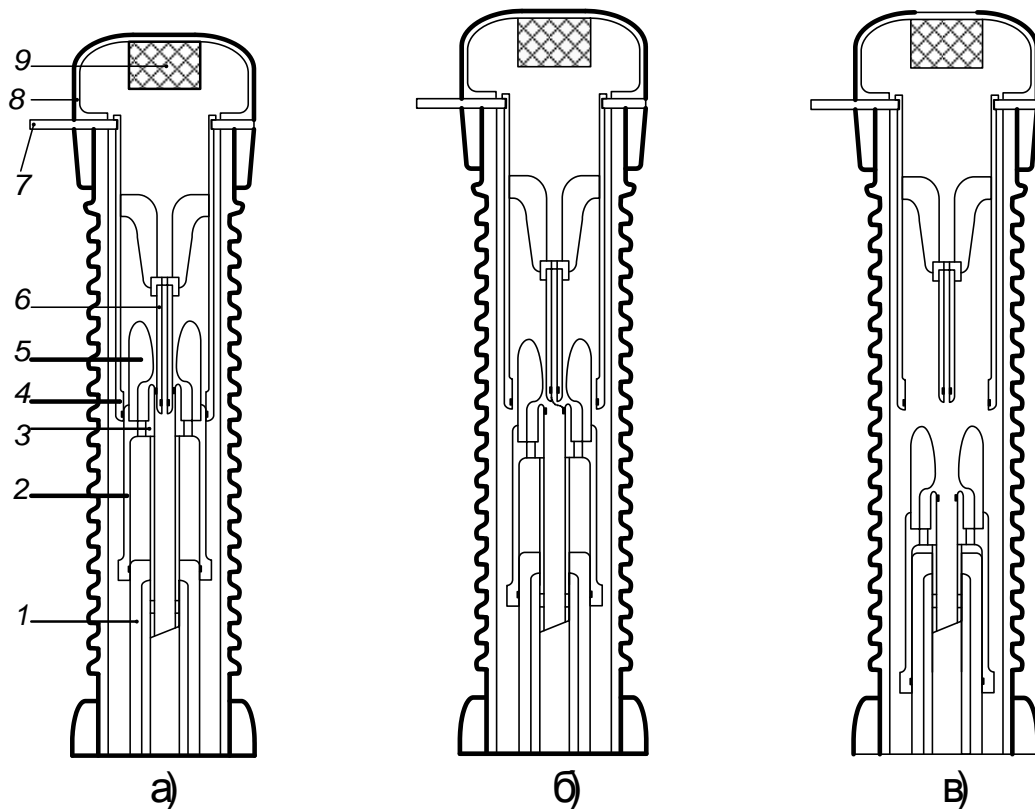


Рисунок 2.4 – Процес гасіння дуги в камері элегазового вимикача

а – положення увімкнення; б – положення гасіння; в – положення вимкнення: 1 – нерухомий поршень; 2 – компресорний циліндр; 3 – силовий контакт; 4 – контакт номінального струму; 5 – ізоляційне сопло; 6 – контактна труба; 7 – приєднувальний фланець; 8 – ковпак; 9 – фільтр

Значним чинником для функції вибухової камери є розмір сопла: При сильноточних дугах сопло засмічується. Тому кількість газу SF₆ що випаровується через сопло поза діапазоном проходження струму через нуль і цим втрачається для виключення, може триматися низьким. У великих струмів будується в просторі циліндра вищий тиск, який тоді незадовго до прохо-

дження струму через нуль веде до сильного перебігу гасячого засобу. В порівнянні з цим у малих струмів викликаний дугою напірний тиск низьким.

Таким чином в цьому струмовому діапазоні незалежно від миттєвого значення струму утворюється перебіг гасячого засобу вже при маленьких різницях тиску. Тому малі індуктивні струми обдуваються дуже „м'яко" і розмикаються практично без перенапружень. Значить, вимикач має комутаційну характеристику, пристосовану до струму. Все ж таки: струми ємностей розмикаються без зворотного запалення дуги високою електричною міцністю газу SF₆ і узгодженою швидкістю контактного елемента, і у такому разі, коли камера перед цим розмикала струми короткого замикання, які складають суму в 600 кА. Напруга дуги і цим робота дуги у цього комутаційного принципі дуже малі.

Продукти розпаду, що виникають при вимкненні і не повністю рекомбінуються або зв'язуються статичним фільтром (9), який і приймає залишкову вогкість.

Найрозповсюдженішим є автокомпресійний пристрій, оскільки у ньому в основі принципу є охолодження дуги потоком елегазу, а далі гасіння відбувається як і в компресійному пристрої [1].

3 РОЗПОДІЛЬЧІ КОМІРКИ З ЕЛЕГАЗОВОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

Розширення та модернізація підстанцій потребує нового обладнання. Таким обладнанням є комплектний розподільчі установки з элегазовою ізоляцією (КРУЕ). Вони є оптимальним вирішення проблем розташування підстанцій, оскільки в одному корпусі розташовані вимикач, роз'єднувач, вимірювальні трансформатори напруги та струму. За допомогою такого обладнання ми можемо збудувати підстанцію, яка б заощадила час на установку та монтаж, кошти на реконструкцію та ремонт (оскільки дане обладнання довговічніше та майже не потребує огляду), та зробило б вагомий внесок в розвиток електроенергетики та розвиток підстанцій зокрема. Адже підстанції – це один за найважливіших елементів енергосистеми, отже для підстанцій повина приділятися особлива увага, для правильної та чіткої роботи електроенергетики.

3.1 Конструкції элегазових комірок напругою 110кВ

Розглянемо детальніше головні елементи, що входять до КРУЄ. Першим та головним елементом є вимикач (рис. 3.1). Вимикач являє собою герметичний алюмінієвий корпус 8, у якому вмонтовано дугогасильний пристрій (у вимикачі на напругу 110 кВ він однорозривний). Елегаз у вимикачах усіх типів і принципів виконує одночасно роль ізоляції і дугогасильного середовища. Дугогасильний пристрій кріпиться в резервуарі на ізоляторах 7. Виводи вимикача в місцях проходження через ізолятори герметизовані, контакти розетокового виконання з підпружиненими ламелями. Рухлива частина 5, дугогасильного пристрою переміщається за допомогою ізоляційної тяги 2, з'єднаною вилкою 3 з важелем 11 і валом 1 привода.

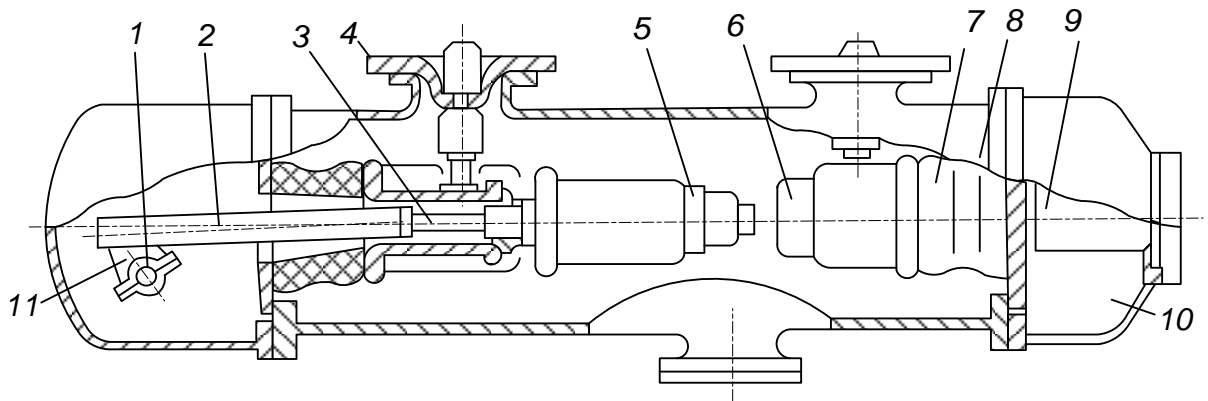


Рисунок 3.1 – Елегазовий вимикач КРУЕ напругою 110 кВ (у відключеному положенні)

Основою рухливої частини дугогасильного пристрою є циліндр, на кінці якого закріплений головний рухомий поршень, порожній шток (який кріпиться до ізоляційної тяги 2 з рухливим ламельним контактом.

Нерухома частина дугогасильного пристрою, крім поршня циліндра, має дугогасильний і ламельний струмоведучий контакти. Ці контакти через перехідний корпус зчленовуються з вихідним ламельним контактом одного з трансформаторів струму. Перехід струму з нерухомого поршня на рухливий циліндр здійснюється ковзними контактами в поршні. Шлях струму при включеному вимикачі проходить від нерухомого контакту 6 до рухомого 5 дугогасильного пристрою. У днищі 10 резервуара розміщений фільтр-поглинач 9, що служить для поглинання залишкової вологи і продуктів розкладання елегазу [15].

Пневматичний привід вимикача (рис. 3.2) кріпиться разом з масляним демпфером 16 до рами осередку і розташований між полюсами осередку. Стиснене повітря до нього надходить з ресивера 9 у циліндр 3, усередині якого переміщається поршень 4 зі штоком. На рамі привода встановлюється комутуючий пристрій зовнішніх допоміжних ланцюгів (ПЗДЛ), зв'язаний зі штоком привода. На штоку ПЗДЛ змонтований показчик положення вимикача: включений або відключений. Комутуючий пристрій має 16 пара контактів, на корпусі блоку включення 3 установлюються додаткові контакти 24-41 ПЗДЛ із приводом 19. Ці

додаткові контакти включені в ланцюг відключення вимикача послідовно і спрацьовують при зміні тиску в циліндрі привода [4].

Додаткові контакти забезпечують необхідну тривалість замикання контактів вимикача при тривалості циклу менш 0,12 с. При більшому часі, тобто при $t > 0,12$ с, додаткові контакти ПЗДЛ не використовуються.

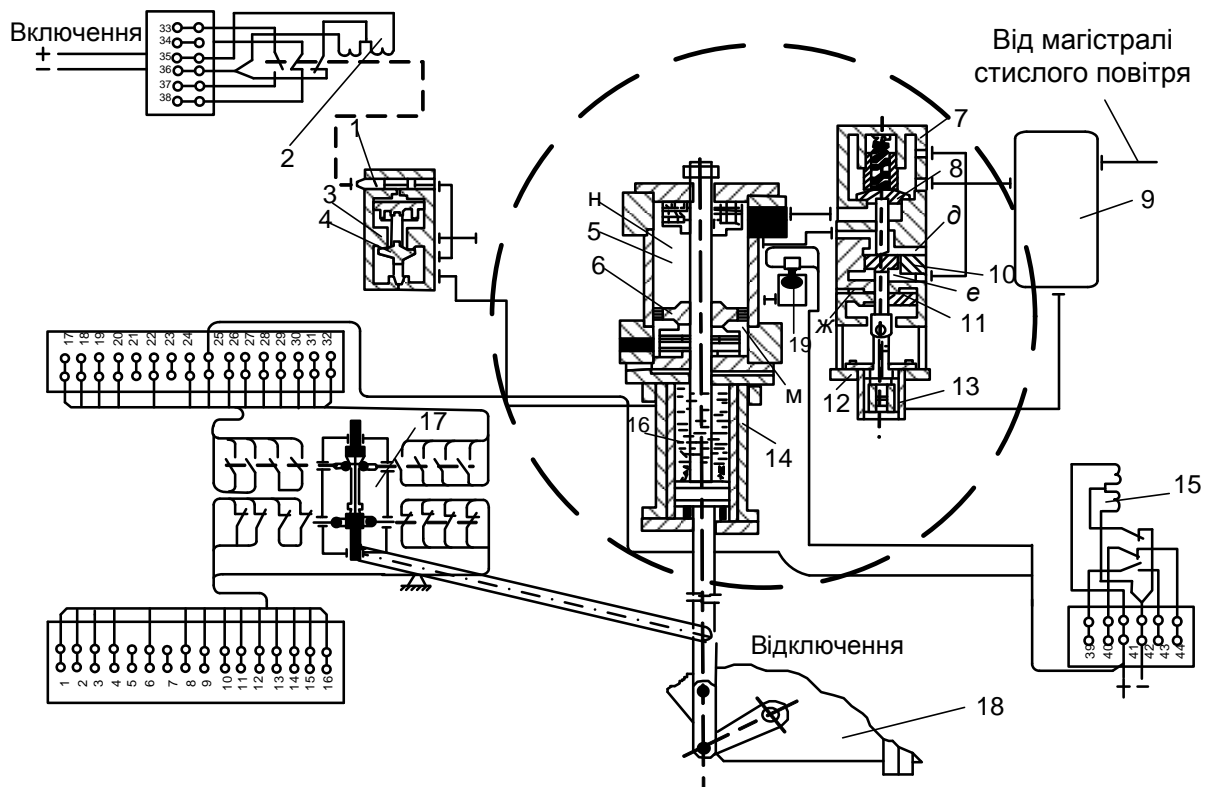


Рисунок 3.2 – Схема привода вимикача (вимикач відключений):

1 — клапан пусковий; 2 — електромагніт включення; 3 — блок включення; 4 — клапан включення; 5 — привод; 6 — поршень привода; 7 — блок відключення; 8 - клапан відключення; 9 — ресивер; 10, 11 - поршень клапана відключення; 12 — замикаючий шар; 13 — засувка; 14 — болт регульовальний; 15 — електромагніт відключення; 16 — демпфер масляний; 17, 19 — привод комутуючих контактів відповідно допоміжних ланцюгів вимикача достатних і додаткових ПЗДЛ; 18 — вимикач

Увімкнення вимикача: пусковий клапан включення 1 (рис. 2.2) відкривається по команді електромагніта 2. Стиснене повітря надходить у порожнину над поршнем 4 блоку 3. Поршень переміщається вниз і стиснене повітря надходить у порожнину під поршнем 6. Поршень переміщається нагору, у результаті повертається вал вимикача. Через підоймовий механізм рухлива система вимикача переміщається у включене положення. Привод має масляний демпфер і гумовий буфер.

При русі штока поршня привода (хід поршня 220 мм) і штока масляного демпфера, що знаходиться під циліндром привода, олія перетікає через отвори в поршні демпфера й у гільзі корпусу. Наприкінці руху штока отвори перекриваються кільцями, рух поршня сповільнюється за рахунок протитиску масла на поршень, а залишкова кінетична енергія гаситься гумовим буфером привода.

При русі штока масляного привода переміщаються зв'язані з ним основні комутуючі контакти, при цьому розмикається ланцюг включення електромагніта включення і нормально замкнуті додаткові контакти *ПЗДЛ*. Пусковий клапан закривається, і повітря з-під поршня привода і додаткового *ПЗДЛ* виходить в атмосферу.

При падінні тиску в приводі контакти додаткового *ПЗДЛ* під дією пружин замикаються (ланцюг електромагніта відключення закорочується), забезпечуючи необхідну тривалість замкнутого положення дугогасильних контактів вимикача в циклі включення — відключення.

У елегазовому вимикачі в циклі включення рухлива система рухається убік нерухомого контакту (на рис. 3.1 вправо), при цьому дугогасильний пристрій із закріпленням на ньому розеточним дугогасильним контактом і соплом переміщається таким чином, що розеточний контакт насувається на нерухомий дугогасильний контакт, а рухливі головні контакти входять у струмоведучий корпус, шунтуючи дугогасильний контакт і забезпечуючи протікання робочого струму.

Вимкнення вимикача: подається команда на електромагніт відключення. Поршні 10, з блоку відключення 7 під дією стиснутого повітря перемішаються нагору і відкривають клапан відключення 8, закриваючи при цьому вихід повітря в атмосферу з порожнин. Стиснене повітря з порожнини *a* над клапаном 8 переміщається в порожнину *b* під клапаном і відтіля в порожнину *n* над поршнем привода. Поршень *b* привода і поршень масляного демпфера 16 переміщається вниз, повертаючи вал механізму вимикача. Рухлива система вимикача займає при цьому відключене положення.

Поршень 10 при русі униз відкриває доступ стиснутого повітря в порожнину *ж* над поршнем клапана відключення, поршень 11 переміщається вниз і закриває клапан відключення 8. У результаті замикаюча кулька 12, повертаючи у вихідне положення, замикає клапан відключення, а поршень 10 відкриває отвору для виходу повітря з порожнин *в* и *д* в атмосферу. Привод готовий до включення.

При вимкненні рухлива система вимикача зміщається вліво, у порожнині між нерухомим поршнем і рухливим головним контактом елегаз стискується, і його тиск у цій порожнині збільшується. Дуга, що утворюється при розмиканні дугогасильних контактів обдувається потоком стиснутого елегазу, що впливає через сопло. Після розмикання дугогасильних контактів і гасіння дуги розмикаються головні контакти.

Надлишковий тиск елегазу створюється за рахунок енергії пневмоприводу, що забезпечує прискорення рухливої системи вимикача і необхідний ступінь стиску елегазу.

Роз'єднувач призначений для ізоляції окремих елементів елегазової комірки від суміжних вузлів. Роз'єднувач (рис. 3.3) являє собою герметичний алюмінієвий корпус 2, у якому розміщається рухливий контактний стрижень 1, з'єднаний з підйомним механізмом 9 через ізолятор 7. При включенні роз'єднувача контактний стрижень входить у розетковий контакт 6 елемента осередку КРУ, зчленованого з

роз'єднувачем. З контактними стрижнями інших елементів роз'єднувач зчленовується за допомогою розеткових контактів, розташованих у дискових епоксидних ізоляторах 4.

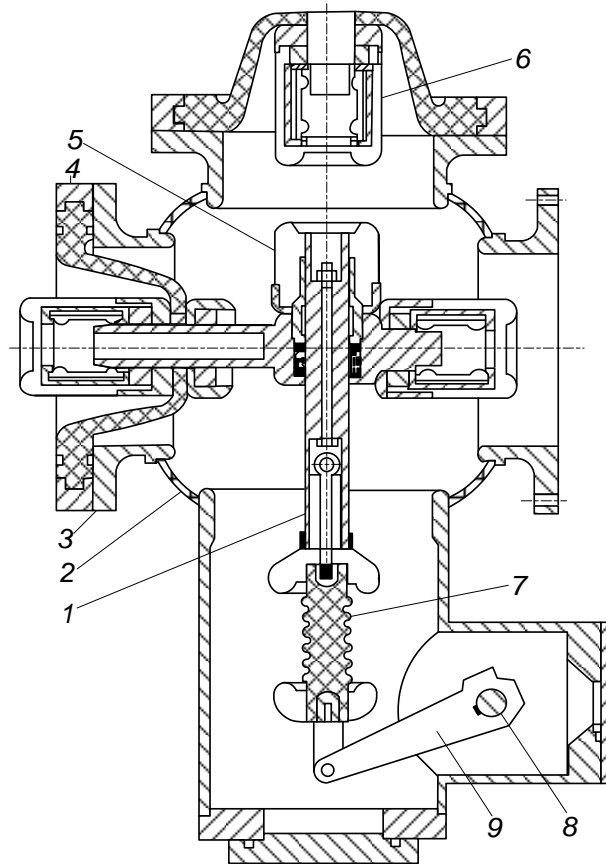


Рисунок 3.3 – Роз'єднувач елегазовий: 1 — стрижень контактний рухливий; 2 — корпус; 3 — фланець; 4 — ізолятор пластмасовий; 5 — контакт рухливий; 6 — контакт розеточний екранований; 7 – ізолятор; 8 – вал; 9 – важіль

Привод роз'єднувача кріпиться до корпусу роз'єднувача. Привод електричний, але їм можна оперувати і вручну. Привод допускає керування від напруги змінного і постійного струму. Найбільше застосування в приводі роз'єднувача одержав однофазний електродвигун типу УВ-705-ВС потужністю 800 Вт на номінальну напругу 220 В змінного струму, струм споживання 15 А, частота обертання 8000 об/хв.

Для привода роз'єднувача може бути застосований електродвигун змінного струму на напругу 127 В, але при цьому в ланцюг включають послідовно два резистори по 27 Ом.

При використанні як привод роз'єднувача електродвигуна типу УВ-061-М64 правого обертання, призначеного для живлення напругою 220 В постійного струму, включення його на напругу 220 В змінного струму створюється подачею напруги на затискачі електродвигуна з маркуванням "=".

Привод роз'єднувача має редуктор, муфту зчеплення, випрямний міст і дві пари контактів включення ПЗДЛ. Схема керування роз'єднувачем з електродвигунами на напругу 220 і 127 В приведена на рис. 3.4.

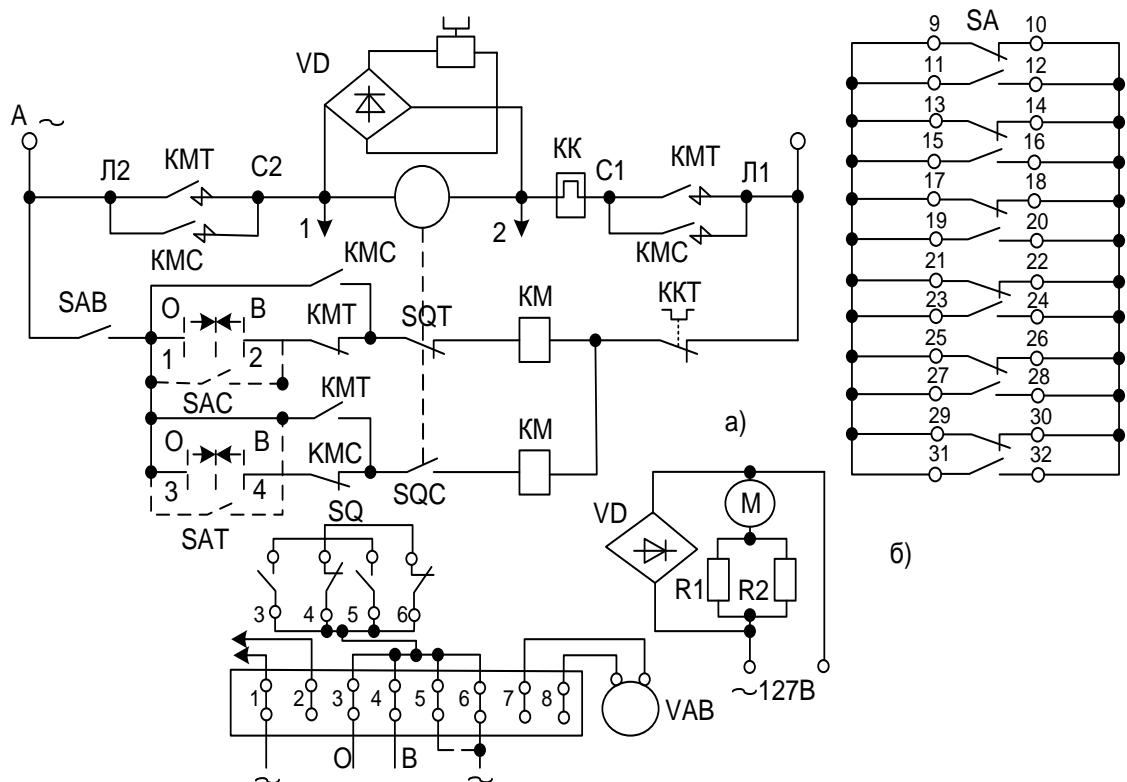


Рисунок 3.4 – Схема керування електричним роз'єднувачем з електродвигуном на напругу 220 (а) і 127 В (б): *Q*-муфта зчеплення; *VD* — випрямляючий пристрій; *KM* — контактор; *KK* - реле теплове; *VAB* - замок блокувальний; *R1*, *R2* — резистори; *SQ* — допоміжні контакти привода; *SA* - контакти сигнальні

Муфта зчеплення працює на "постійному струмі ($I=2\text{ A}$), для цього в схемі керування передбачений випрямний пристрій - міст VD . Привод роз'єднувача комплектується рукояткою для ручного оперування при його налагодженні або в аварійному режимі у випадку втрати з якої-небудь причини джерела живлення.

Включення і відключення роз'єднувача виробляється через пускач, що подає напругу на електродвигун. Електродвигун повертає вал редуктора, що впливає на підйомний механізм роз'єднувача. Контакт роз'єднувача, переміщаючись, входить при включенні в розетковий контакт і виходить з нього при відключенні. Розетковий контакт встановлений на приєднаному до роз'єднувача елементі комірки.

Заземлювач (рис. 3.5) застосовується для заземлення комірки при монтажі, експлуатації і ремонті.

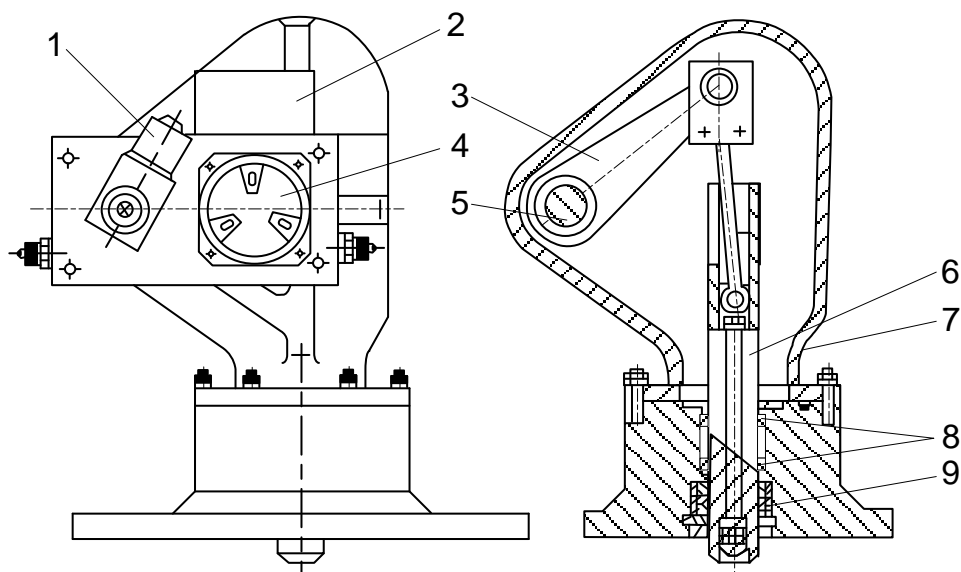


Рисунок 3.5. Елегазовий заземлювач: 1 - блок-замок; 2 — блок комутуючих контактів; 3-механізм підйомний; 4 — показчик положення заземлювача; 5-вал; 6 — стрижень що заземлює; 7 — корпус; 8 — напрямні; 9 - контакти струмоз'ємні

У герметичному алюмінієвому корпусі 7 вмонтований стрижень, що заземлює, 6, підйомний механізм 3 і система ковзаючих контактів Р.

Заземлювач має електромагнітний блокувальний замок *1*, механічний показчик положення *4* і блок комутуючих контактів *2* (по три замикаючих і розмикаючих контакти). Ланцюги заземлювача виведені в полюсну шафу.

Заземлювачем керують за допомогою рукоятки. При повороті рукоятки стрижень, що заземлює, переміщається в направляючих δ , при включенні він входить у розетковий контакт, а при відключенні виходить з нього.

Розетковий контакт змонтований в ізоляторі елемента, приєднаного до заземлювача. При роботі підйомного механізму переключаються зв'язані з ним контакти ПЗДЛ, ланцюга блокування, забезпечуючи необхідне блокування при заземленні комірки КРУ.

Трансформатор струму встановлюють в комірках відповідно до умовного позначення серії комірки, що визначає його призначення.

В комірках напругою 110 кВ трансформатори струму встановлюють по обидва боки елегазового вимикача. Первинною обмоткою для нього є струмоведучий стрижень, що входить у розеткові контакти вимикача і суміжного з трансформатором струму елемента полюса комірки.

Трансформатор струму 110 кВ має дві вторинні обмотки. Кожна обмотка намотана на окремий магнітопровід і може використовуватися для захисту (ЮР) і виміру (клас 0,5 при навантаженні на обмотку не більш 30 ВА).

Виводи вторинних обмоток маркуються *Л1*, *Л2*, *Л1*, *Л2* і знаходяться в коробці виводів. Виводи первинної обмотки позначаються *Л1* і *Л2*, і їхнє маркування нанесено на корпусі трансформатора струму. При напрямку струму в первинній обмотці від *Л1* до *Л2* струм у вторинній обмотці спрямований від виводу *Л1* к виводу *Л2*. Оскільки в комірці використовують два трансформатори струму, то при напрямку струму первинної обмотки в одному трансформаторі струму від виводу *Л1* до виводу *Л2* струм первинної обмотки в іншому трансформаторі струму буде спрямований від *Л2* до *Л1*, а струм вторинної обмотки від *Л2* до *Л1*.

Трансформатор струму на номінальну напругу 110 кВ випускається на три номінальні значення первинного струму: 600, 800 і 1200 А, найбільша кратність струму або максимальний струм; кожної вторинної обмотки відповідно: 630,800 і 1250 А; номінальний струм вторинної обмотки 1 А, номінальне вторинне навантаження вторинної обмотки 40 ВА.

Трансформатор напруги. У елегазових комірках встановлюються трансформатори напруги типу ЗНОГ-110. Трансформатори мають позначення: ЗНОГ-11079УЗ і ЗНОГ-11082УЗ (З - заземлений, Н - трансформатор напруги, О – однофазний, Г - з газовою ізоляцією, 110 - номінальною напругою –110кВ; наступні цифри - рік закінчення розробки, кліматичні умови і розміщення за ДЕСТ 15150-69).

Основою трансформатора напруги є магнітопровід 1 стрижневого типу, на який намотані первинна 2 і дві вторинні обмотки, основна і додаткова. Трансформатор напруги захищений металевією оболонкою 3, містить екрани і дисковий епоксидний ізолятор для герметизації 4 (рис. 2.5).

Трансформатор напруги призначений для живлення ланцюгів захисту, сигналізації і вимірювання. Порожнина трансформатора напруги заповнюється через вентиль елегазом з робочим тиском 0,4 МПа при температурі 20°C. На схемі комірки герметично приєднуються до КРУ, і допускають як вертикальну, так і горизонтальну установку.

Для приєднання лінії або введення її в елегазовий розподільний пристрій застосовуються високовольтні газонаповнені або кабельні вводи [6].

3.2 Конструкції розподільних комірок PASS MO

Наступним етапом розвитку РП є комірки PASS MO. Нове комутаційне обладнання, яке забезпечує оптимальний режим роботи усіх елементів підстанції. Загальний вигляд зображено на (рис. 2.6). Вони складаються з найнеобхіднішого: А – Ввода; В1,В2 – вимірювальні

трансформатори струму; С – корпус модуля; М – вимірювальний трансформатор напруги; Н – триполюсний приводний механізм BLK 222. На рис. 2.7 зображено передній план комірки PASS MO

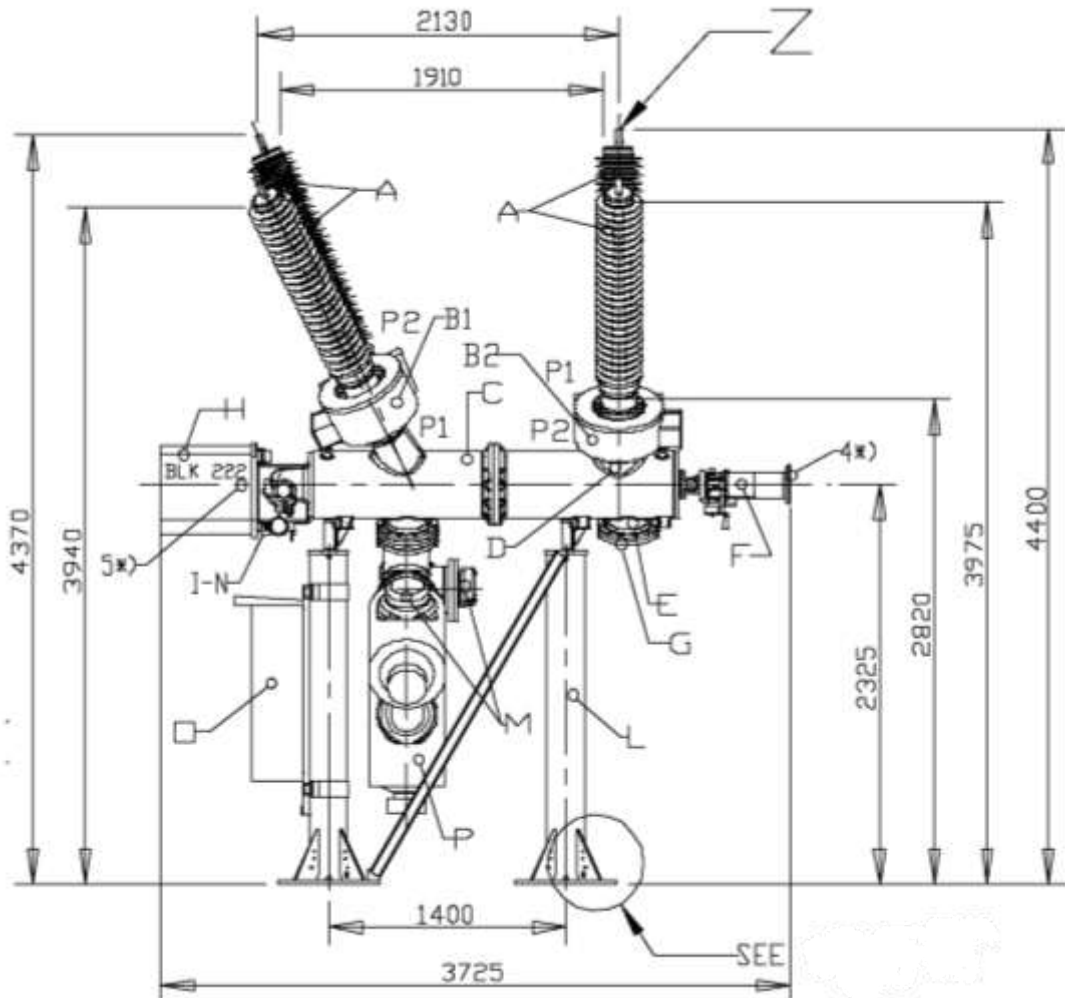


Рисунок 3.6 – Елегазова комірка PASS MO (вигляд з боку)

Розглянемо конструкцію комірки детальніше.

Вимикач. PASS MO має одну дугогасильну камеру, що діє за добре відпрацьованим принципом самогасіння дуги. Для переривання струму КЗ використовується, зокрема, енергія самої дуги. Таким чином потужність, що поступає від приводного механізму, складає близько 50% традиційного приводу вимикачів.

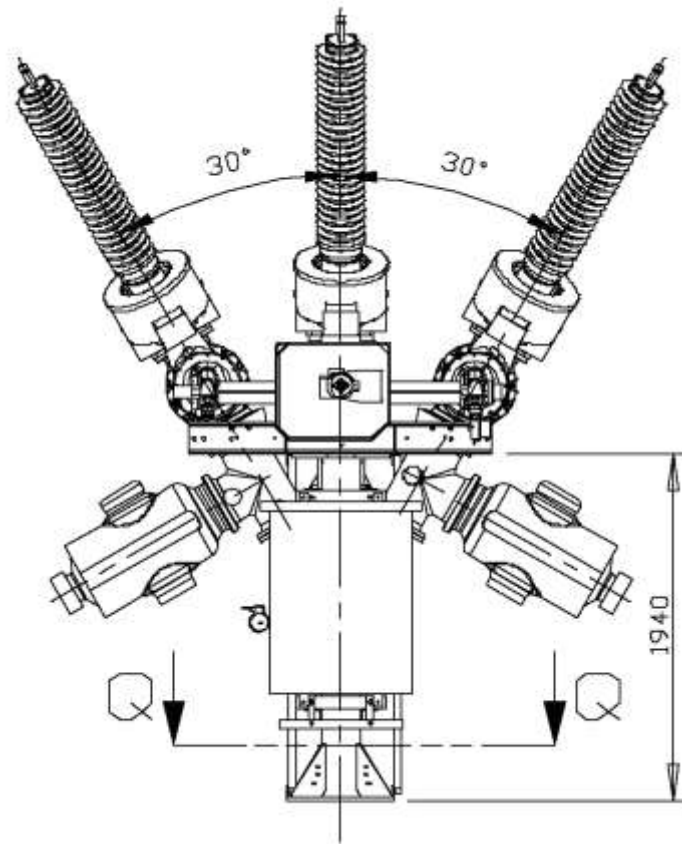


Рисунок 3.7 – Елегазова комірка PASS MO (передній план)

Приводний механізм пружинного типу. Цей тип приводу дозволяє запасати енергію в пружині, яка звільняється під час її спрацьовування. На одній осі з вимикачем розташований комбінований роз'єднувач-заземлювач. Роз'єднувач і заземляючий перемикач знаходяться в одному загальному корпусі (один елемент) з одним загальним приводом (див. рис. 3.8). Коміркам комутаційного обладнання з елегазовою ізоляцією PASS MO, потрібно менша площа для розміщення.

У склад комірки PASS входять такі елементи:

- камера автоматичного вимикача LTB,
- триполюсний приводний механізм BLK 222,
- широко відомі в світі і встановлені в багатьох комірках комутаційної апаратури AIS.

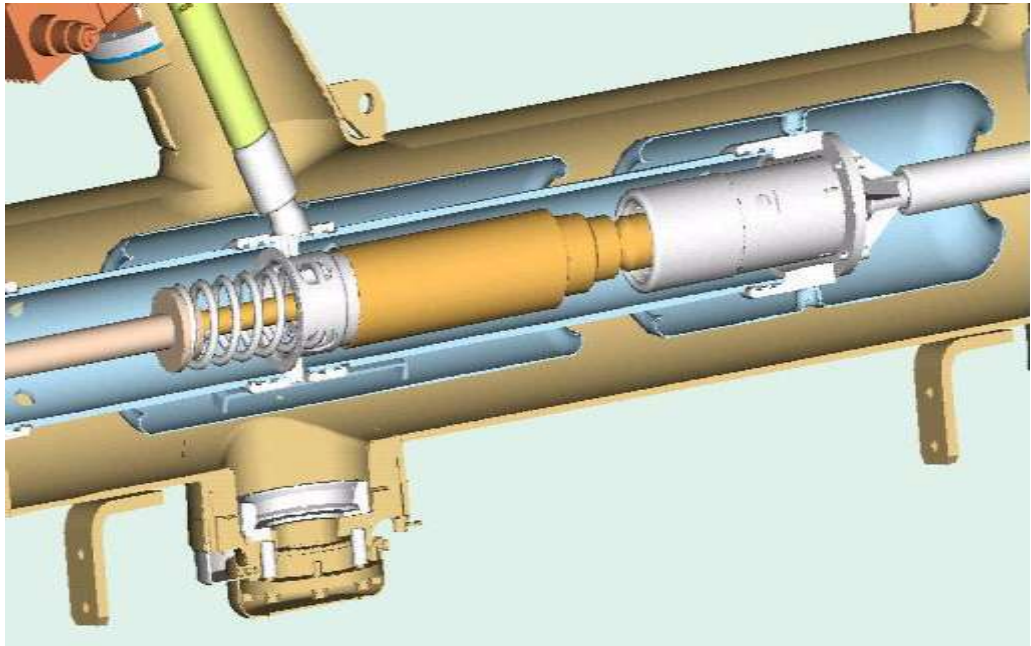


Рисунок 3.8 – Силовий вимикач

Роз'єднувач-заземлювач. PASS MO обладнаний триполюсним комбінованим роз'єднувачем-заземлювачем. Принцип дії (запатентований) заснований на круговому русі контакту. Контакт має три однозначні положення:

- замкнутий на збірній шині,
- заземлений,
- залишений в нейтральному положенні.

Механізм складається з мінімальної кількості компонентів тих, що не вимагають техобслуговування. Ця модульна конструкція може бути застосована для PASS MO при конфігурації з однією системою збірних шин, так і для конфігурації з подвійною системою збірних шин, а також для всіх введень, як з боку збірних шин, так і з боку лінії. Можливі будь-які комбінації.

На рис. 3.9 зображений комбінований роз'єднувач-заземлювач для PASS MO з однією системою шин. Контакт підключений до шини.

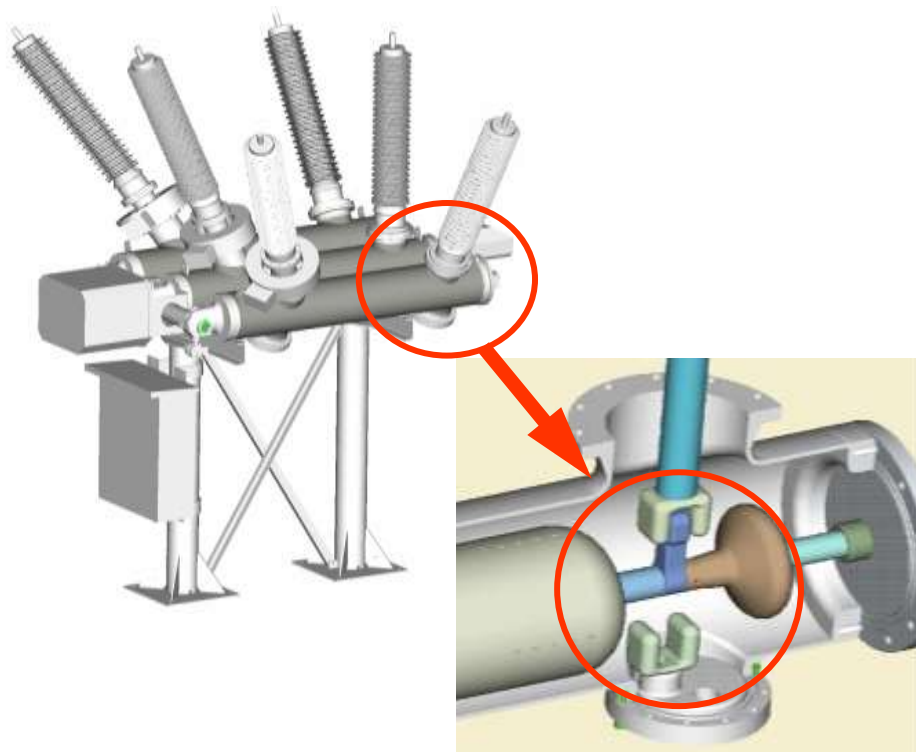


Рисунок 3.9 – Силовий вимикач та роз'єднувач

На рис. 3.10 схематично зображено модуль комірки PASS MO для під'єднання однієї системи збірних шин. Для під'єднання двох збірних шин використовується модуль дещо іншої конструкції (див. рис. 2.11). Можливі конструкції і для підключення кабельних ліній (додаток Б), в яких конструктивні відмінності заключаються у заміні виводів на затискачі кабельних ліній.

У обох випадках, з однією і з двома збірними шинами, всі положення комбінованого роз'єднувача-заземлювача однозначно відбиті за допомогою індикатора положень, механічно підключеному до головного валу. Альтернативно існує можливість установки в корпусі оглядового віконця для візуального спостереження за положеннями. У екстреному випадку роз'єднувач-заземлювач може управлятися вручну за допомогою рукоятки.

Графік частоти відмов елегазових комірок PASS наведено в додатку Д, графік В1.

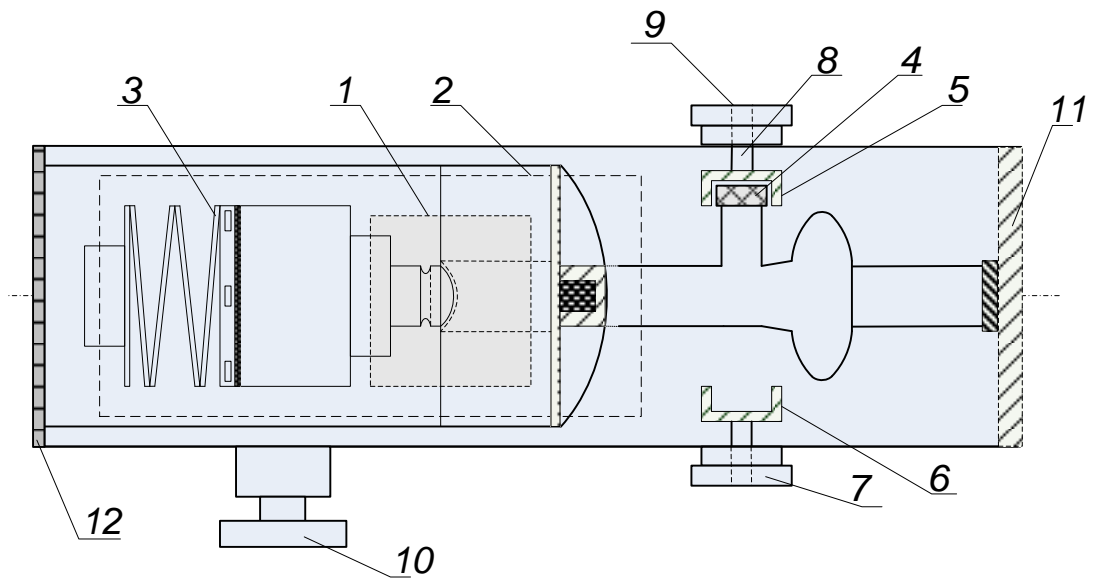


Рисунок 3.10 – Схематичне зображення модуля PASS MO для під'єднання до однієї системи збірних шин: 1-контакт вимикача; 2- привід вимикача; 3 пружина привода; 4 контакт-кулачок роз'єднувача-заземлювача; 5 нерухо-мий контакт роз'єднувача; 6 нерухомий контакт заземлювача; 7 вивод заземлювача та герметична кришка; 8 вивод роз'єднувача (до вводу); 9 герметична кришка; 10 шлюз для заповнення елегазом; 11, 12 задня та передня кришки модуля

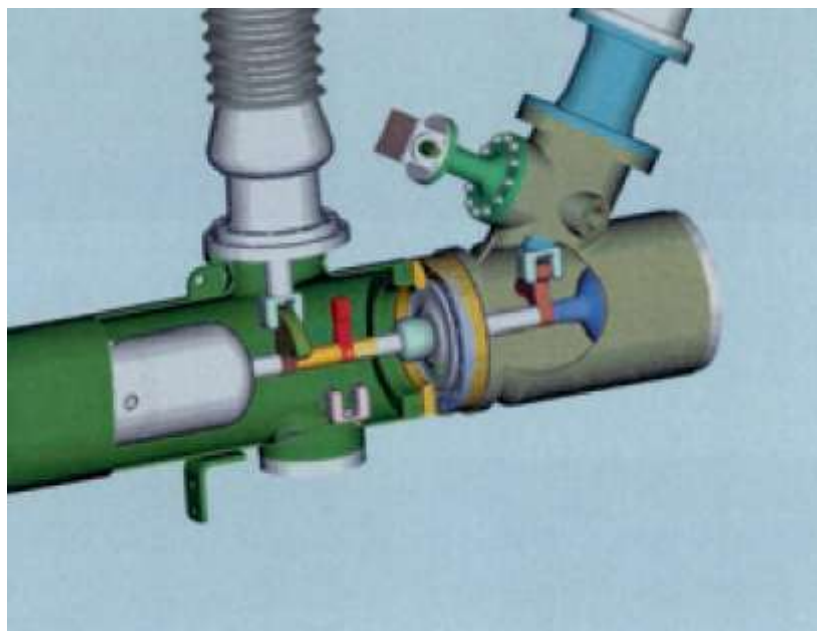


Рисунок 3.11 – Подвійний комбінований роз'єднувач-заземлювач для підключення до подвійної системи збірних шин.

Трансформатор струму. PASS MO обладнаний традиційним кільцевим трансформатором струму, за допомогою якого можливо вирішити багатообразні задачі замовника. Можливе постачання комірок з різними комбінаціями сердечників для захисту і вимірювань, з різними навантаженнями вторинного ланцюга. У кожному трансформаторі можливе розміщення до 5 сердечників.

Ввода. Повітряні лінії і збірні шини під'єднуються до PASS через повітряні вводи. Основним ізоляційним матеріалом є елегаз. Самі ізолятори виконані із склоепоксидної труби із спідницями з силіконової гуми. Фланці насаджені в гарячому стані і приклеєні до труби, що робить з'єднання незвичайно міцним і герметичним. Силіконові спідниці вулканізовані на трубі і хімічно з нею пов'язані, що гарантує хороший захист від вологи і забруднень [7].

Комірки PASS MO поділяються на комірки з однією системою та подвійною системою збірних шин та системою двох вимикачів (рис. 2.12 – 2.14).

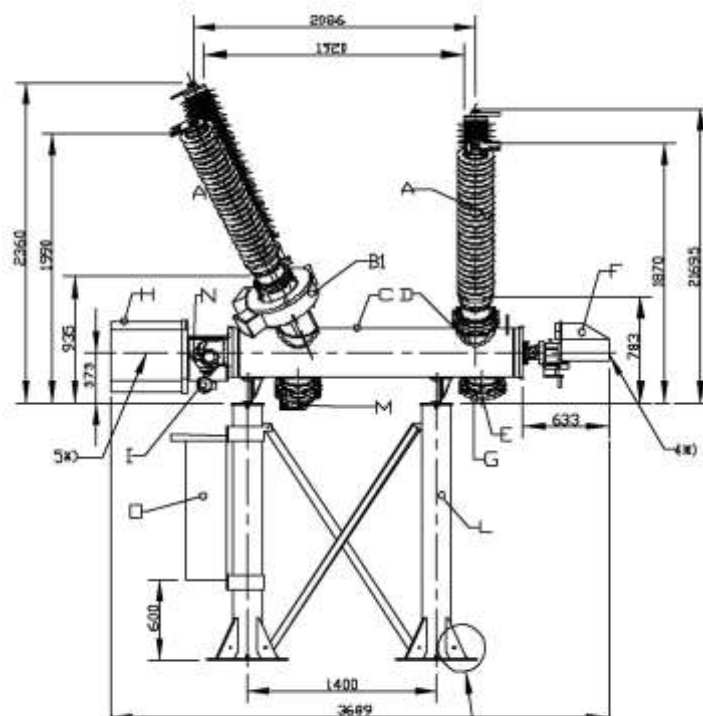


Рисунок 3.12 – PASS MO з однією системою збірних шин

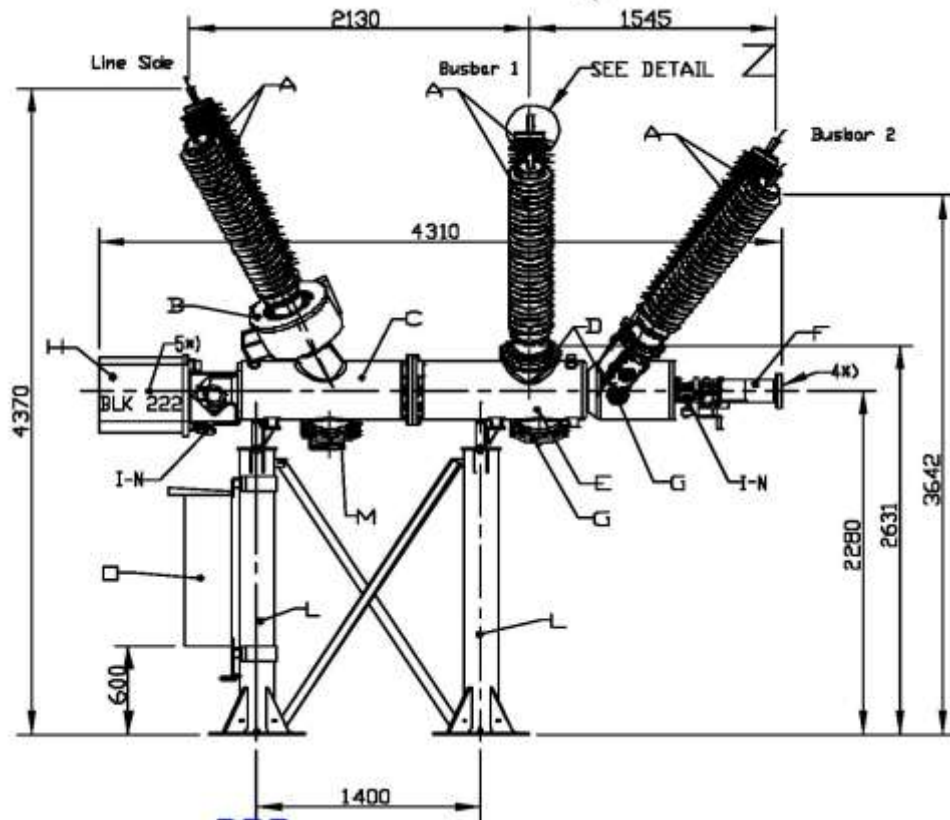


Рисунок 3.13 – PASS МО з двойною системою збірних шин

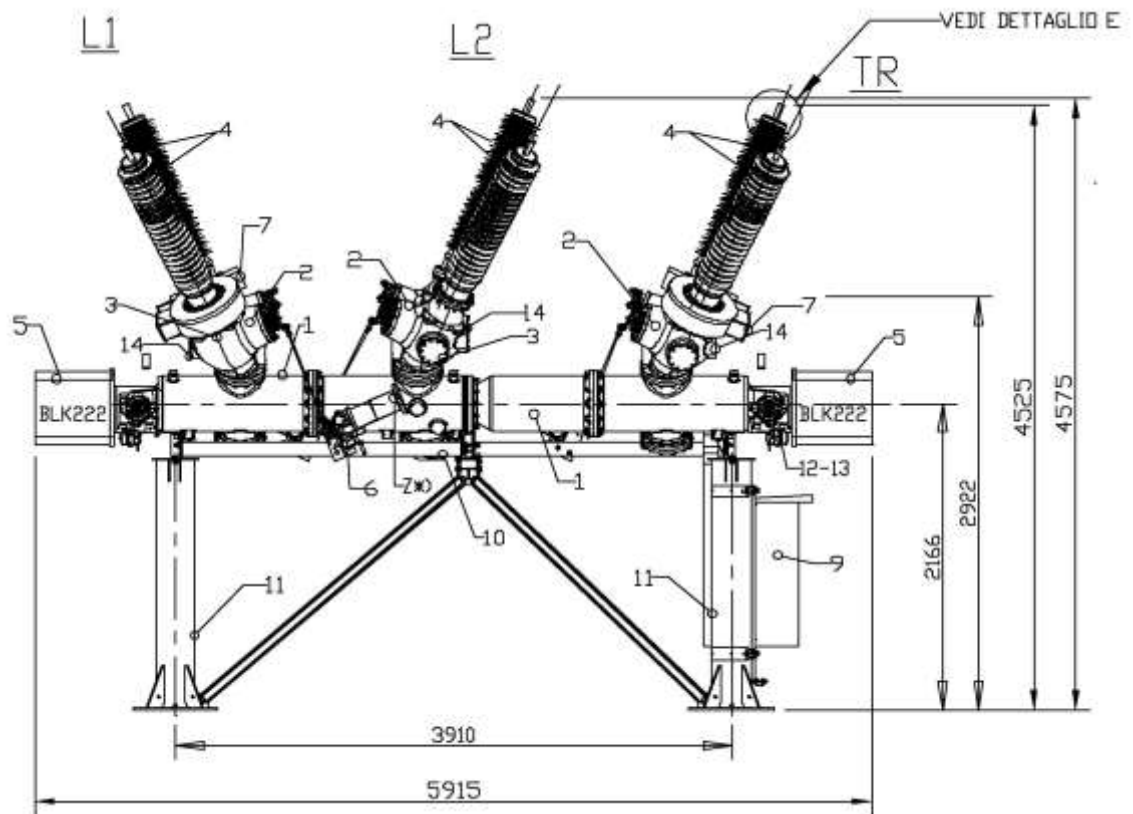


Рисунок 3.14 – Комірка з двома вимикачами

Елегазова система. Компактна конструкція модуля PASS MO забезпечується завдяки відмінній якості ізоляції элегаза. Діелектрична міцність элегазу в однорідному полі в 2,5 раза вище, ніж у повітря (за однакових умов температури і тиску). Конструкції компонентів, що знаходяться під напругою, виконані з метою збереження максимально можливої однорідності електричного поля і таким чином найбільш ефективного використання ізоляційної міцності элегаза.

Тиск элегаза модуля PASS при температурі 20 °С:

Тиск при заповненні.....680 кПа

Перший аварійний сигнал.....620 кПа

Тиск блокування апарату.....600 кПа

Тиск при заповненні приблизно на 15% вище за номінальний робочий тиск. Це гарантує достатню щільність элегаза протягом довгого робочого періоду. Для забезпечення мінімальних втрат элегаза під час робочого режиму всі корпуси, зв'язки і клапани ретельно перевіряються на витік элегазу.

3.3 Схеми розподільчих підстанцій на базі элегазових комірок PASS MO

Розглянемо приклади схем відкритих розподільчих установок на базі элегазових комірок серії PASS MO.

Для прикладу на рис. 2.15 зображено план розміщення складових підстанції на базі элегазових комірок PASS MO, на рис. 2.16 зображена та сама підстанція у розрізі. Площа, що займає дана підстанція, значно менша ніж площа, що займається традиційними ВРП. Для порівняння розглянемо рис. 3.17, 3.18, 3.19. На рис. 3.17,а зображена, у розрізі підстанція традиційного виконання, та рис. 3.17, б підстанція на базі комутаційного розподільчого пристрою PASS MO. Не важко помітити економію займаної території, п/с на базі комірок PASS MO [3].

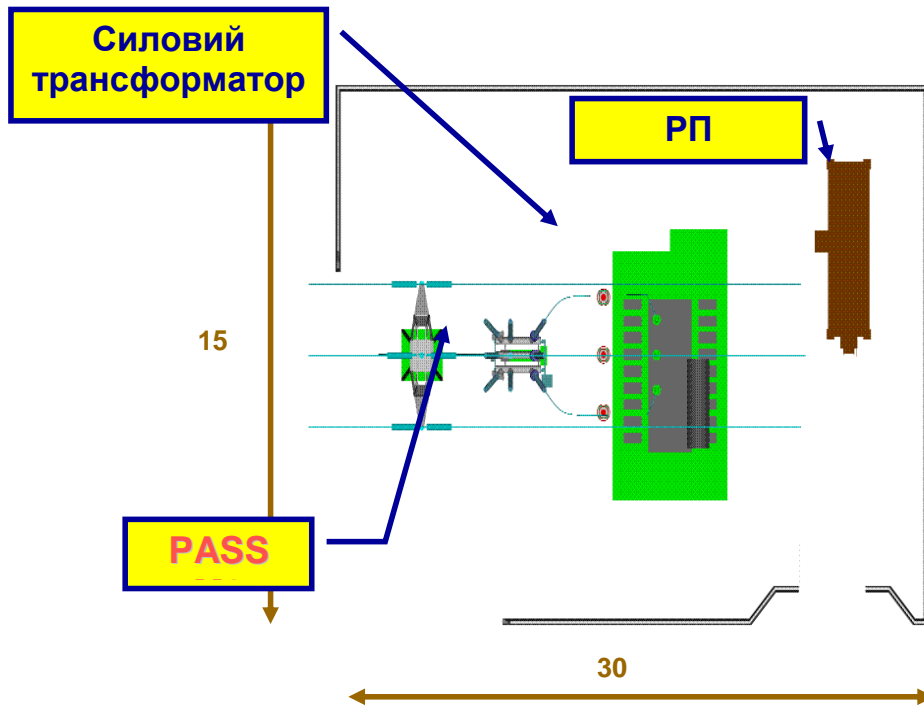


Рисунок 3.15 – План розміщення комірок PASS МО на підстанції 110кВ (вигляд зверху)

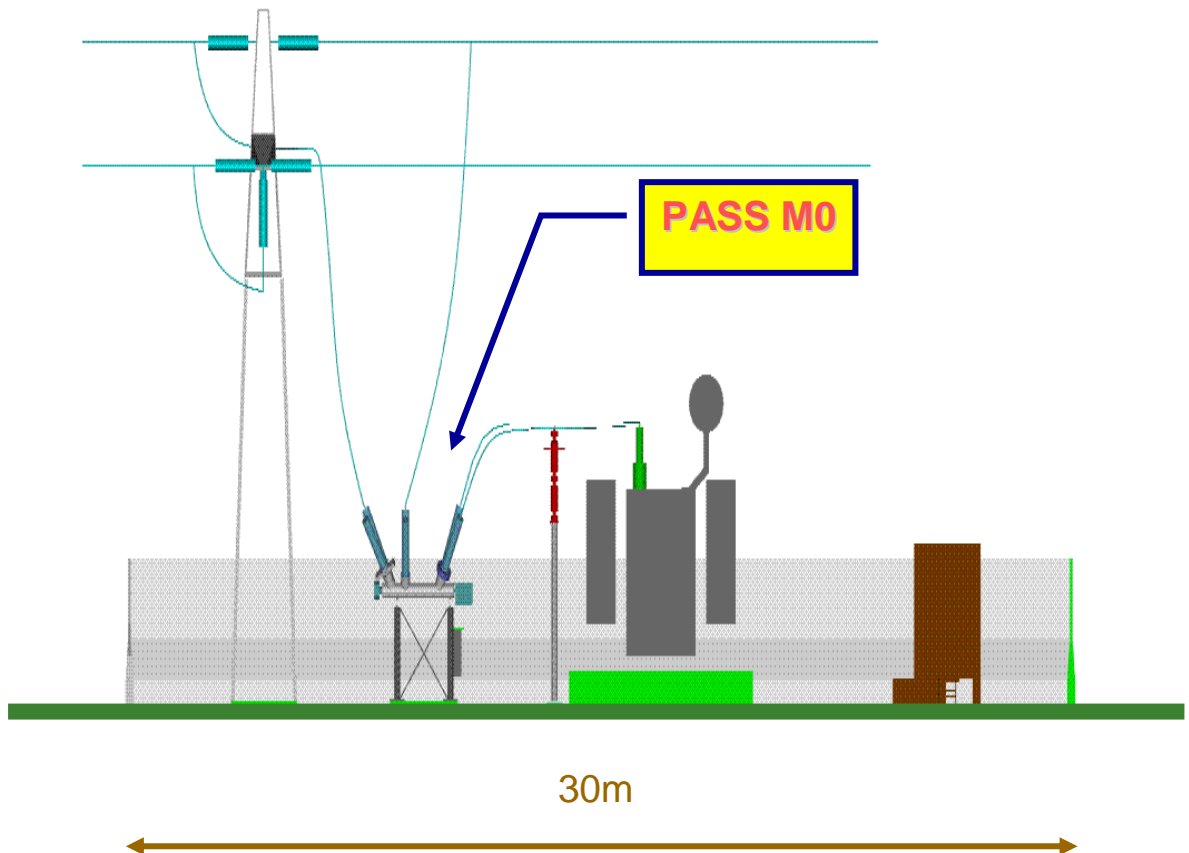
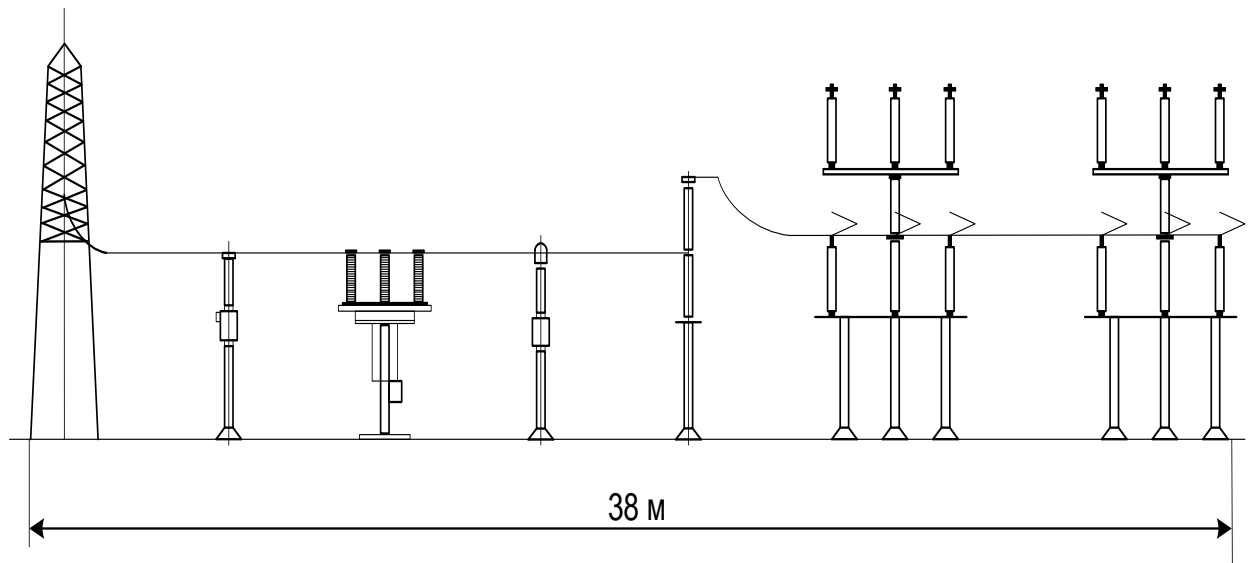
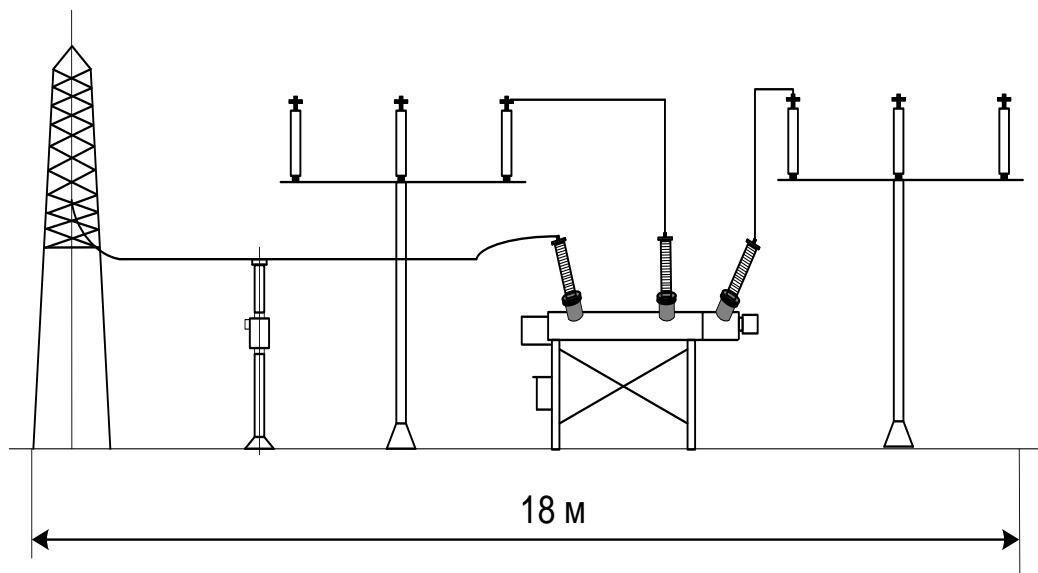


Рисунок 3.16 – План розміщені підстанції на базі комірок PASS МО напругою 110 кВ (розріз)



а)



б)

Рисунок 3.17 – Компонівка РП - а) традиційна ВРП з подвійною системою шин б) PASS MO з подвійною системою шин

На рис. 3.18-3.19 схематичне зображення традиційної РП з подвійною системою збірних шин та РП на базі комірок PASS MO відповідно.

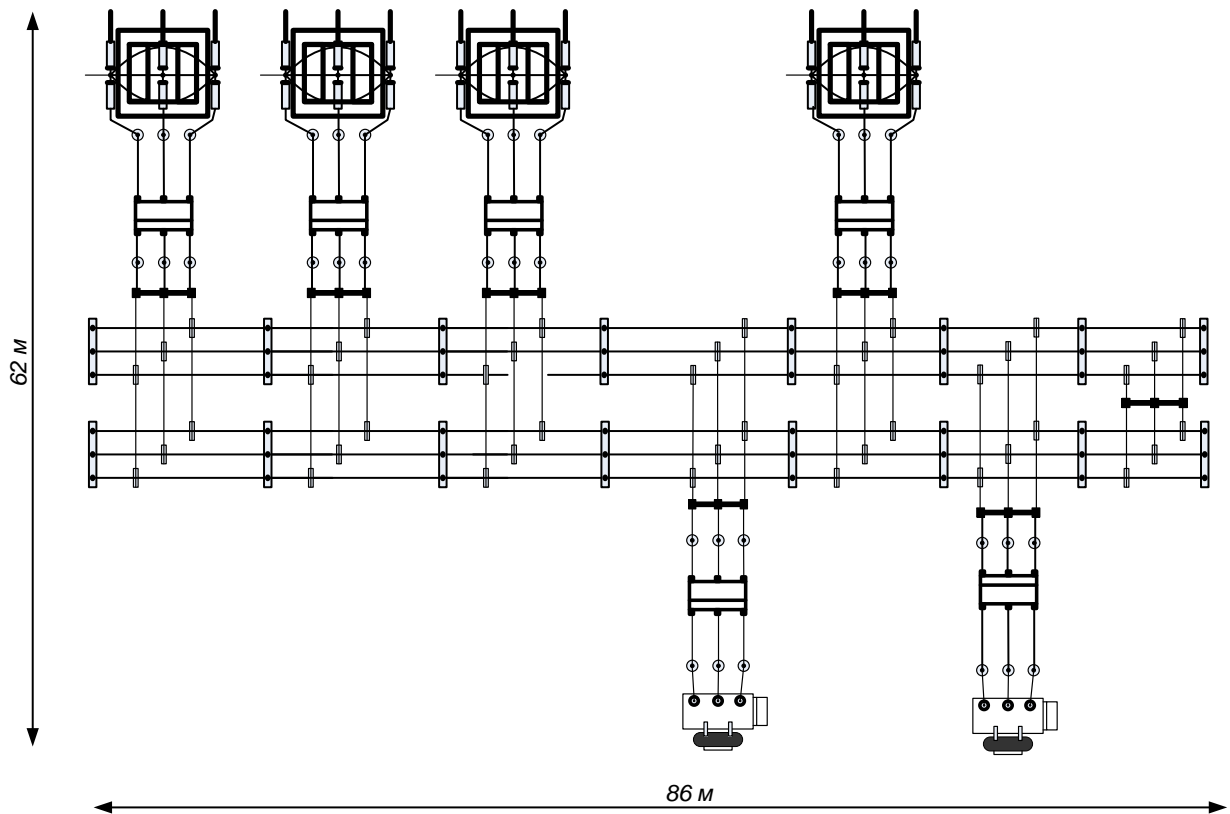


Рисунок 3.18 – Схематичне зображення традиційної РП з подвійною системою шин

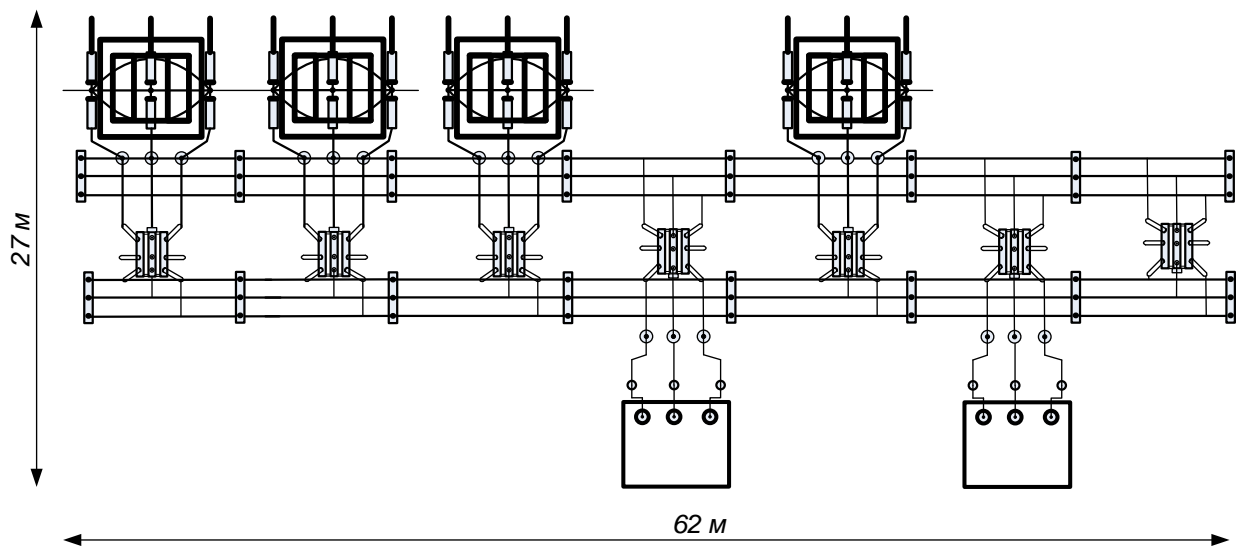


Рисунок 3.19 – Розподільчий пристрій на базі комірок PASS MO (схематичне зображення)

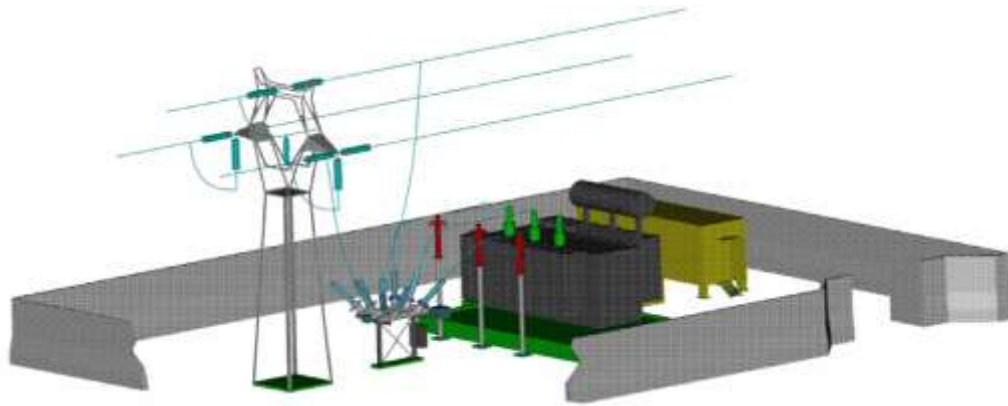
По займаній площі схема РП на базі комірок PASS MO займає на 70% меншу територію, ніж РП традиційного типу (формула):

$$62 \times 86 = 5300\text{м}$$

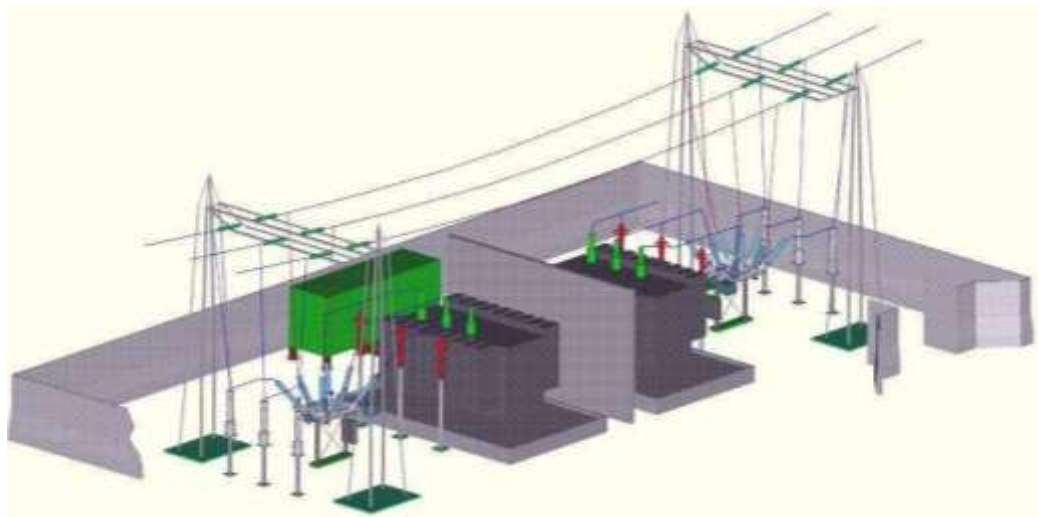
$$27 \times 62 = 1700\text{м}$$

При порівнянні традиційної ВРП та РП на базі комірок PASS МО, що розглядається на рис. 2.17 можна зробити висновок, що традиційні ВРП є не вигідним для подальшого застосування з точки зору займаної площі, оскільки площа, що займається ними майже у два рази більше ніж у РП з досліджуваним обладнанням.

Однією з підстанцій на базі комірок PASS є підстанція *ENEL*, (рис 3.20 а,б)



а)



б)

Рисунок 3.20 – а) Транзитна підстанція *ENEL* на базі комірок PASS МО (з одною коміркою); б) транзитна підстанція *ENEL* на базі комірок PASS МО (з двома комірками PASS)

Слідуючим фактором є менші затрати часу та зусиль на установку електричного обладнання. Адже як було сказано у попередніх розділах легка у транспортуванні (див. рис. 2.21) та установці. Установка та монтаж займає декілька годин, та устанавлюється на простий фундамент, (детальні етапи установки та монтажу див. рис. 2.22)

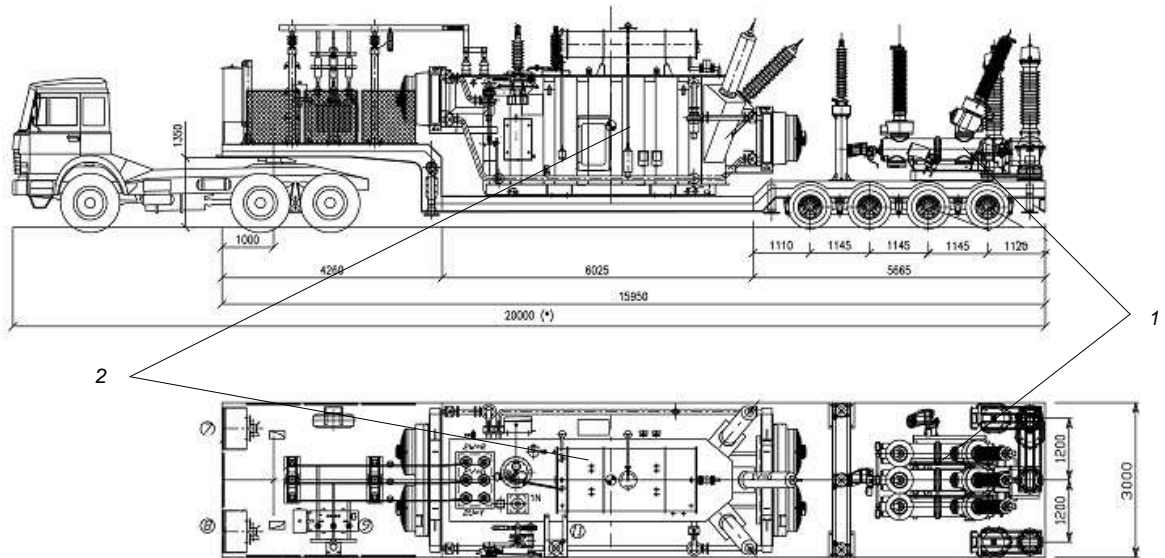


Рисунок 3.21 – Комірка PASS MO у транспортному стані на трейлері: 1 комірка PASS MO; 2 силовий трансформатор (25 МВА)

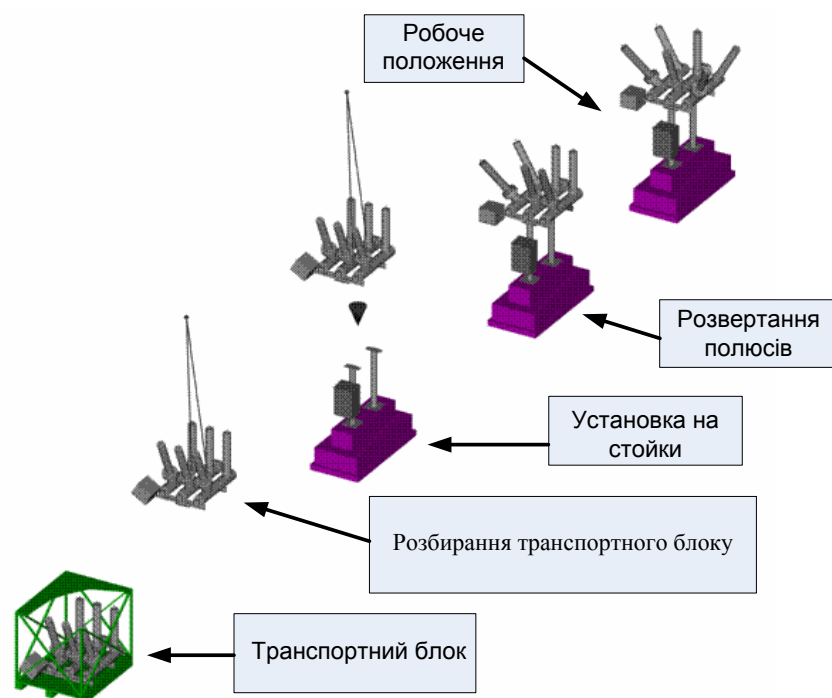


Рисунок 3.22 – Установка та монтаж комірки PASS MO

Розглянемо найпоширеніші схеми підключення комірок PASS MO детальніше. Найрозповсюдженішою схемою підключення комірок PASS MO є схема «МІСТОК» зображена на рис. 3.23.

Схема підключення «МІСТОК»

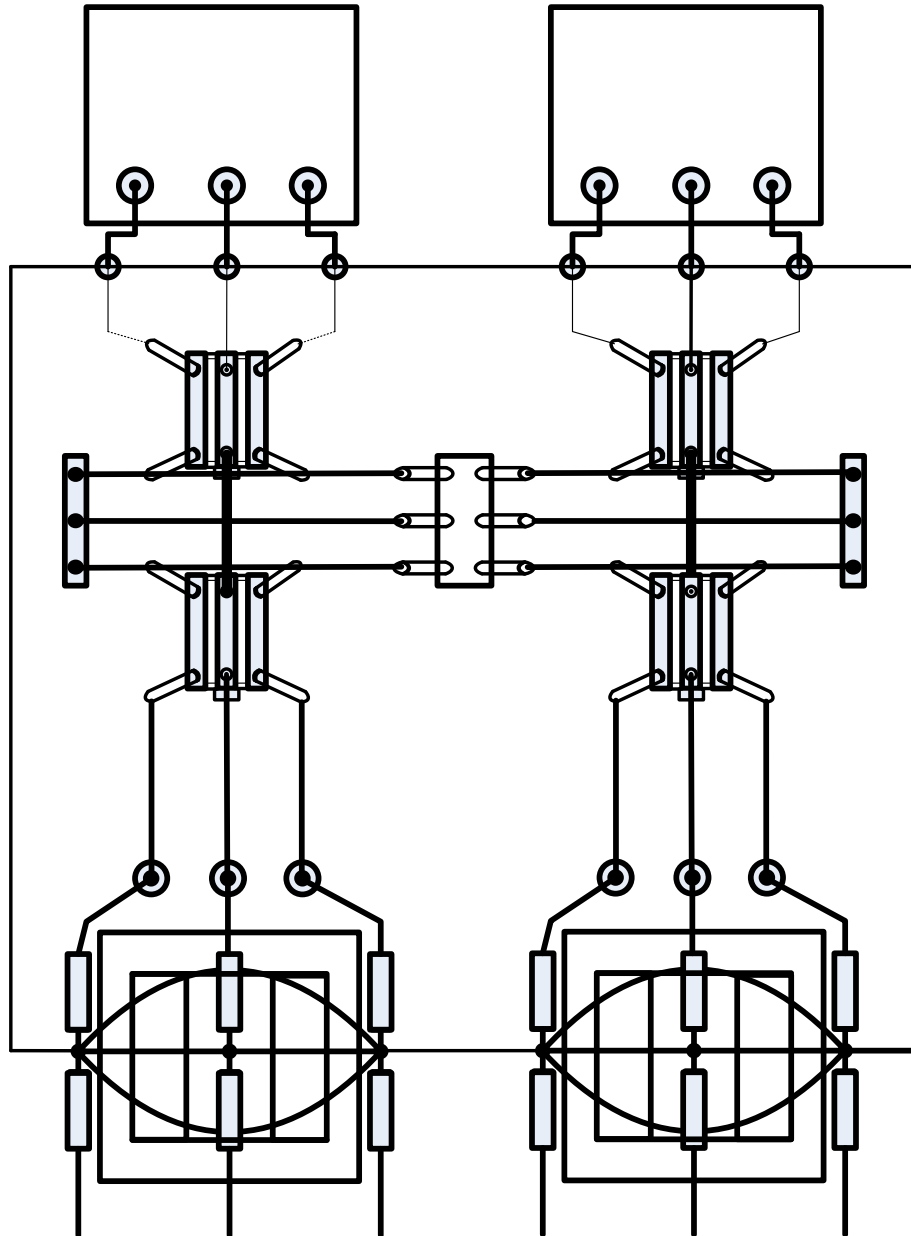


Рисунок 3.23 – Схема «МІСТОК» з одною системою збірних шин

На рис.3.24 показана підстанція з однією системою збірних шин, що складається з 6 лінійних, 2 трансформаторних, 1 секційною і 2 резервних осередків (з урахуванням подальшого розширення). Як видно, підстанція містить 10 комірок PASS MO. Площа, займана такою підстанцією, 54 x 16 м.

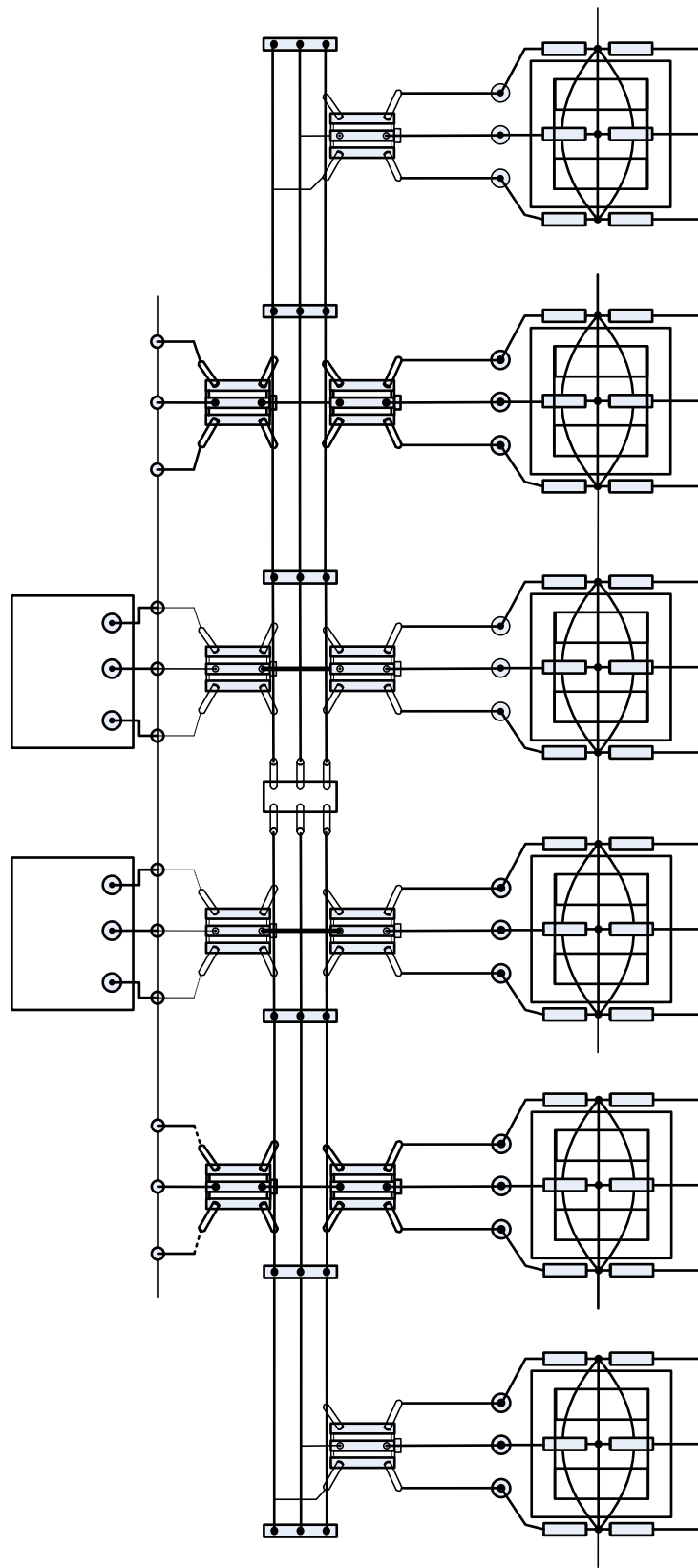
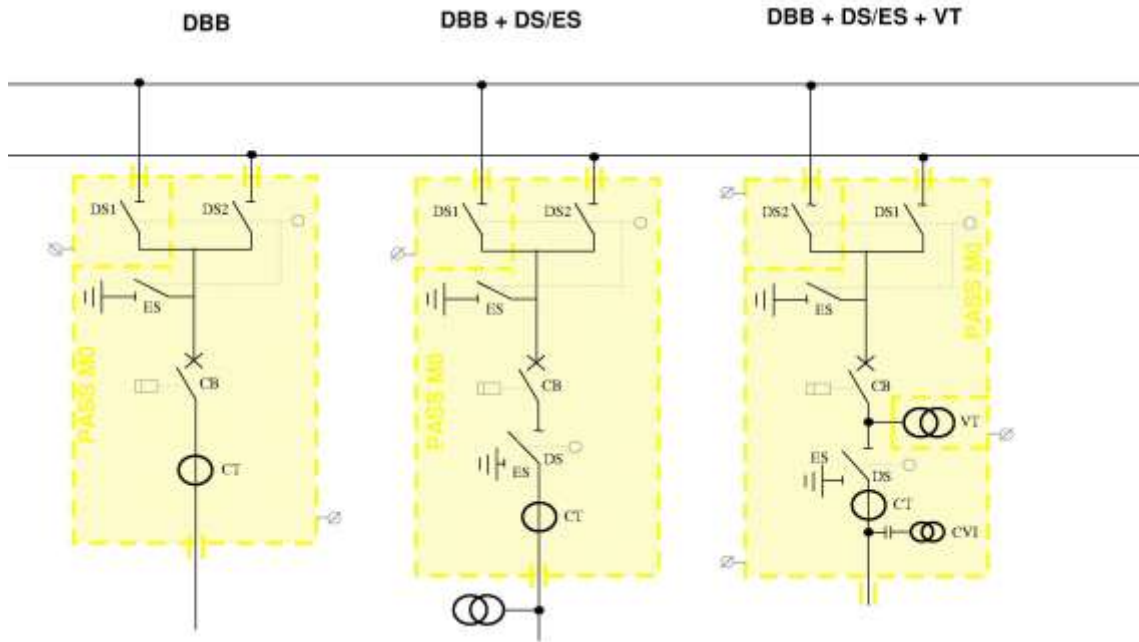
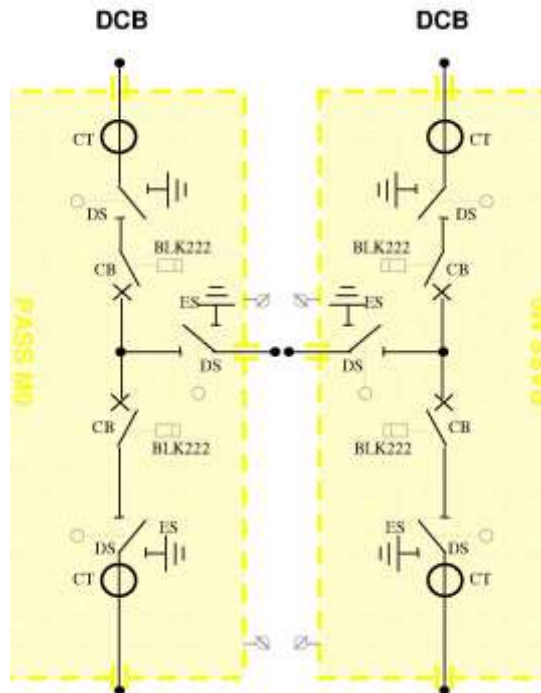


Рисунок 3.24 – Схема підключення електричного комутаційного обладнання PASS

Схеми підключення комірок PASS MO до електричної мережі зображені на рис. 3.25 а,б



а)



б)

Рисунок 3.25 – Схематичне зображення підключення PASS MO: а) з подвійною системою збірних шин; б) підключення з двома вимикачами

4 ВИБІР ЕЛЕГАЗОВОГО КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИСТРОЇВ

Розрахуємо для прикладу параметри для вибору комутаційного елегазового обладнання PASS MO для підстанції напругою 110 кВ. Для перевірки відповідності даного обладнання до режимів роботи підстанції, та чіткої і надійної роботи елементів підстанції напругою 110 кВ. Дані розрахунки необхідні для правильного впровадження в конструкцію підстанції нового обладнання, або для установки під час будівництва нового ВРП.

4.1 Розрахунок струмів короткого замикання

Для точнішого вибору комутаційних розподільчих установок зробимо розрахунки струмів короткого замикання, розрахунки на термічну дію, ударні струми, аперіодичну та періодичну складові

Розрахунок струму короткого замикання проводиться для вибору або перевірки параметрів електрообладнання, а також для вибору або перевірки установок релейного захисту та автоматики.

Для розв'язку більшості задач, які зустрічаються на практиці, можна ввести припущення, які спрощують розрахунки і не вносять суттєвих похибок. До таких припущень відносяться наступні:

- не враховується насичення магнітних систем, що дозволяє рахувати постійними і такими, що не залежать від струму індуктивні опори всіх елементів коротко замкнутого кола;
- нехтують намагнічуючими струмами силових трансформаторів;
- не враховують, крім спеціальних випадків, ємнісні провідності елементів короткозамкнутого кола на землю;
- вважають, що трьохфазна система є симетричною; вплив навантаження на струм КЗ враховують наближено; при обчисленні струму КЗ зазвичай нехтують активним опором кола.

При зазначених припущеннях похибка практичних методів розрахунку не перевищує 10%, що вважається допустимим.

Складаємо розрахункову схему (спрощену однолінійну схему електроустановки), на якій вказуємо всі елементи, які впливають на струм КЗ, намічаємо точки КЗ (рис. 4.1), а також схему ВРП – 110 кВ (рис 4.2).

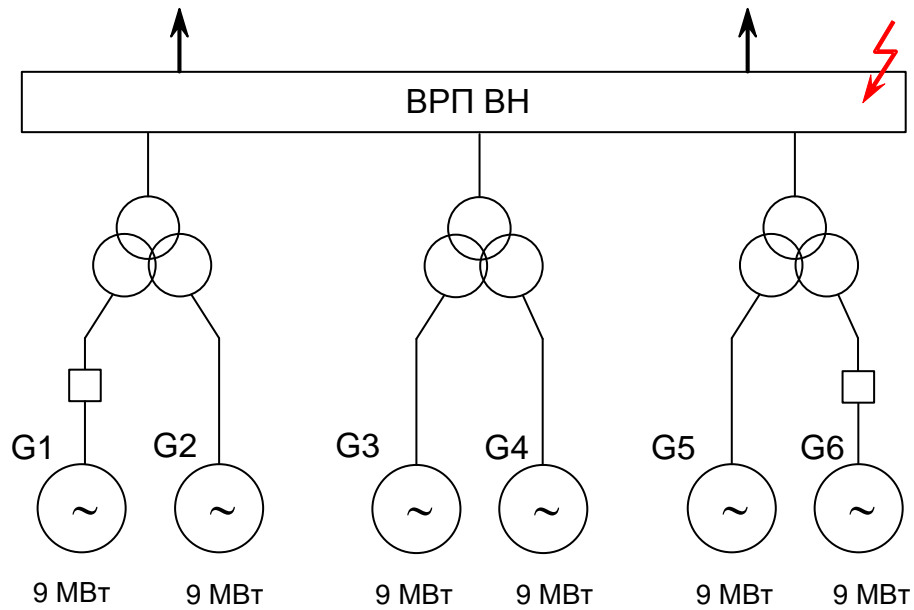


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема установки

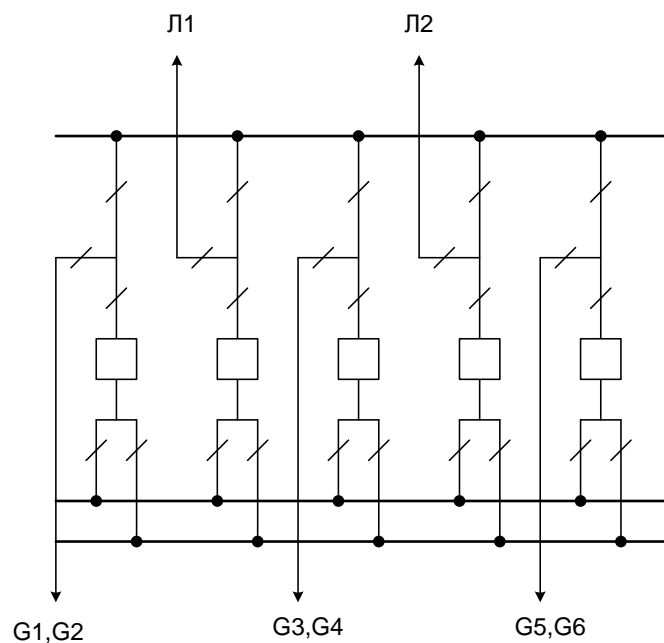


Рисунок 3.2 – Схема ВРП-110 кВ на базі елегазових комірок PASS MO

Для обраної точки КЗ складаємо еквівалентну електричну схему заміщення, яка відповідає по початковим даним розрахунковій схемі, але в якій всі магнітні (трансформаторні) зв'язки замінюємо електричними (рис. 4.3).

Розрахунок виконуємо у відносних одиницях. Тому приведемо всі опори елементів схеми заміщення до одних і тих самих базових умов, використовуючи методичні вказівки [1, табл. 5.1–5.3].

Приймаємо $S_B = 1000$ (МВА).

Визначимо приведені значення опорів:

- системи:

$$X_{*1} = X_{*с ном} \cdot \frac{S_B}{S_{ном}} = 0,16 \cdot \frac{1000}{17300} = 0,009; \quad (4.1)$$

- ПЛЕП 110 кВ:

$$X_{*2-3} = X_{num} \cdot 1 \cdot \frac{S_B}{u_{ср}^2} = 0,4 \cdot 110 \cdot \frac{1000}{110^2} = 3,636; \quad (4.2)$$

- блочних трансформаторів БТ:

$$\begin{aligned} X_{*4-6} &= 1,875 \cdot \frac{u_{кв-н \%}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{ном}} = \\ &= 1,875 \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 7,875 \end{aligned} \quad (4.3)$$

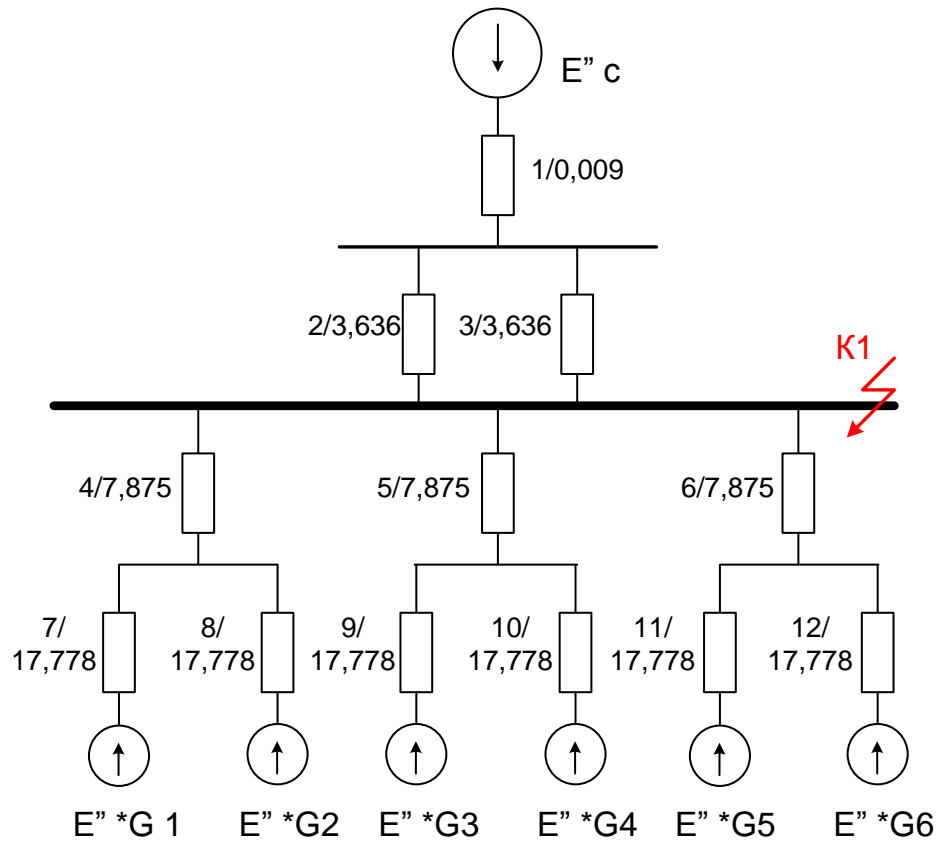


Рисунок 4.3 – Електрична схема заміщення

Розрахуємо періодичну складову струму КЗ для часу $t = 0$.

Складаємо розрахункову схему, враховуючи тільки елементи, які мають вплив на точку КЗ K_1 (рис. 4.2.1).

сс

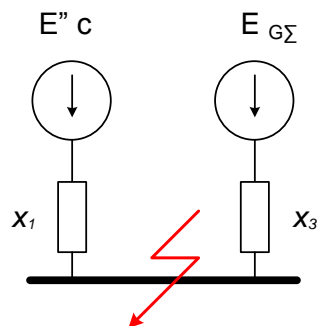


Рисунок 4.3.1 – Спрощена схема заміщення для розрахунку точки короткого замикання

$$x_{101} = x_c + \frac{x_L}{2} = 0,009 + \frac{3,636}{2} = 1.827 ;$$

$$x_{102} = x_{\text{БГ}}^* + \frac{x_{\Gamma}^*}{2} = 7,875 + \frac{17,778}{2} = 16,764$$

$$x_{103} = \frac{x_{102}^*}{3} = \frac{16,764}{3} = 5,588$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 5,248 \text{ (кА)}$$

$$I_{\text{Пос}} = \frac{E_{*C}''}{x_{*1}} \times I_B = \frac{1}{1,827} \times 5,248 = 2,872 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{Пог1-6}} = \frac{E_{*G1-6}''}{x_{*12}} \cdot I_B = \frac{1,13}{17,778} \cdot 5,248 = 0,33 \text{ (кА)}.$$

Знаходження ударного струму та періодичної і аперіодичної складових струму КЗ в заданий момент часу

Ударний струм КЗ зазвичай має місце через 0,1 с після початку КЗ. Його значення знаходиться з виразу:

$$i_y = \sqrt{2} \times I_{\text{П0}} \times k_y, \quad (4.4)$$

де $I_{\text{П0}}$ - початкове значення періодичної складової струму КЗ;

k_y - ударний коефіцієнт, який залежить від постійної часу затухання аперіодичної складової струму КЗ.

Якщо КЗ сталося на виводах генератора, то для його вітки постійна T_a . Для характерних точок електричних мереж значення T_a і k_y .

Розрахунковий час, для якого необхідно визначити струми КЗ, обчислюється як $\tau = t_{ВЧ\text{відкл}} + 0,01 \text{ с}$, де $t_{ВЧ\text{відкл}}$ - власний час відключення вимикача. Для сучасних вимикачів не перевищує 0,2 с.

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \times I_{\text{ПО}} \times e^{-\frac{\tau}{T_a}} \quad (4.5)$$

Для вибору τ попередньо виберемо вимикач.

Таблиця 4.1 – Вибір вимикача

Місце встановлення	Тип вимикача	$t_{ВЧ\text{відкл}}, \text{с}$	$\tau, \text{с}$
ВРП 110 кВ	ЛТВ-D-110-2500/40	0,06	0,07

Підберемо всі необхідні величини і занесемо їх у таблицю 3.2

Таблиця 4.2 – Довідникові величини

Точка КЗ	Джерела струмів КЗ	$I_{\text{ПО}}, \text{кА}$	$\tau, \text{с}$	$T_a, \text{с}$	$K_{\text{уд}}$
K_1 (ВРП 110)	Система	2,872	0,07	0,02	1,608

Виконуємо розрахунок складових струму КЗ і ударного струму КЗ для усіх точок

Точка КЗ – K_1 :

Ударний струм:

$$i_{yC} = \sqrt{2} \times I_{\text{ПОС}} \times k_y = \sqrt{2} \times 2,872 \times 1,608 = 6,531 \text{ (кА)}$$

$$i_{yG1-6} = \sqrt{2} \times I_{\text{ПОG1-6}} \times k_y = \sqrt{2} \times 0,33 \times 1,951 = 0,910 \text{ (кА)}$$

Аперіодична складова:

$$i_{atC} = \sqrt{2} \times I_{п0C} \times e^{-\frac{\tau}{T_{aC}}} = \sqrt{2} \times 2,872 \times e^{-\frac{0,07}{0,02}} = 0,123 \text{ (кА)}$$

$$i_{atG1-6} = \sqrt{2} \times I_{п0G1-6} \times e^{-\frac{\tau}{T_{aC}}} = \sqrt{2} \times 0,33 \times e^{-\frac{0,07}{0,2}} = 0,329 \text{ (кА)}$$

Періодична складова в перший момент часу $t = \tau$

$$I_{птC} = I_{п0C} = 2,872 \text{ (кА)}$$

Розрахунок періодичної складової струму КЗ проведено в наступному порядку

1. Визначаємо номінальний струм генератора, приведений до тієї ступені напруги, де знаходиться точка КЗ:

$$I'_{номG1-6} = \frac{S_{номG}}{\sqrt{3} \times U_{срКЗ}}$$

$$I'_{номG1-6} = \frac{6 \times 11,25}{\sqrt{3} \times 10,5} = 3,3713 \text{ знаходимо відношення } \frac{I_{п0G}}{I'_{номG}}, \text{ для якого по}$$

кривій рис. 4.2 [1] для потрібного моменту часу $t = \tau$ знаходимо відношення

$$\frac{I_{птG}}{I'_{п0G}}, \text{ з якого і отримаємо значення } I_{птG}.$$

- 2.

$$\frac{I_{п0G1-6}}{I_{номG1-6}} = \frac{2,872}{3,371} = 0,851 \text{ по рис. 4.2: } \frac{I_{птG}}{I'_{п0G}} = 1,15$$

$$I_{птГ} = 0,835 \times 2,872 = 2,398$$

Результати розрахунку струмів короткого замикання

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку струмів КЗ

Точка КЗ	Джерела струмів КЗ	$I_{п0}$, кА	$I_{пт}$, кА	$i_{ат}$, кА	i_y , кА
К ₁ шини 110 кВ	Генератори 1–6	0,33	2,398	0,329	0,91
	Система	2,872	2,872	0,123	6,531
	Σ	3,202	5,27	0,452	7,441

Здійснено розрахунок на термічну дію струму короткого замикання.

Критерієм термічної стійкості провідника є припустима температура його нагрівання струмами КЗ. Тому провідник або апарат варто вважати термостійким, якщо його температура в процесі КЗ не перевищує припустимого значення [13].

Визначення B_k для оцінки термічної стійкості проводиться наближеним способом через складну залежність струму КЗ від часу.

Тепловий імпульс визначається по-різному в залежності від місцезнаходження точки КЗ. Можна виділити три характерні випадки:

- 1) віддалене КЗ,
- 2) КЗ поблизу генераторів;
- 3) КЗ поблизу групи потужних електродвигунів.

У першому випадку тепловий імпульс КЗ визначиться з виразу

$$B_k = I_{п0}^2 \times (t_{відк} + T_a), \quad (4.6)$$

де $t_{відк}$ – час відключення [1, табл. 6.2].

Точка КЗ – К1

$$B_k = 3,202^2 \times (0,18 + 0,2) = 3,896 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

4.2 Вибір комутаційного обладнання

Всі елементи РП підстанції повинні надійно працювати в умовах тривалих нормальних режимів, а також мати достатню термічну та динамічну стійкість при виникненні найскладніших коротких замикань. Надійність роботи апаратів гарантується заводом – виробником тільки у випадку їх правильного вибору. При виборі апаратів ми перевірятьме відповідність їх параметрів тривалим робочим та короткочасний аварійним режимам, які можуть виникати в експлуатації.

Основними параметрами обладнання, які повинні відвідати умовами робочого (тривалого) режиму, є номінальні струм та напруга.

Вибіраємо вимикачі та роз'єднувачі для ВРП-110кВ та визначаємо робочий максимальний струм елементів, які підключені до ВРП-110кВ на базі PASS MO.

Струм генератора, блочних трансформаторів:

$$\begin{aligned} I_{p.\max} &= \frac{S_{\max G}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot 0,95} = \\ &= \frac{11,25}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,95} = 0,062 \text{ (кА)}. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Струм від ПЛЕП:

$$I_{p\max} = \frac{P_{\text{пр.доп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 0,343 \text{ (кА)} \quad (4.8)$$

Струм від ТЗ:

$$I_{p\max} = 1,5 \cdot \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = 1,5 \cdot \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,12 \text{ (кА)} \quad (4.9)$$

Вибираємо вимикача типу LTB-D на базі комірок PASS MO:

- по напрузі установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном} : \quad 110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ}$$

- по тривалому струму:

$$I_{рmax} \leq I_{ном} : \quad 0,343 \text{ кА} < 1,25 \text{ кА.}$$

Проводимо перевірку:

а) на вимикаючу здатність вимикача:

$$\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат} \leq I_{ном.відкл} \cdot (1 + \beta_H) \quad (4.10)$$

де β_H - нормативне значення наявності аперіодичної складової у вимикаючому струмі, %, яке визначається по кривій рис. 4.11 [6]: $\beta_H = 0,1$.

$$\beta_H = e^{-\frac{\tau}{0,045}} \quad (4.11)$$

де τ - найменший час від посатку КЗ до моменту розходження дугогасильних контактів.

$$\tau = t_{з.мін} + t_B \quad (3.12)$$

де $t_{з.мін} = 0,01 \text{ с}$ – мінімальний час дії релейного захисту;

$t_{ВЧ}$ - власний час відключення вимикача.

$$\tau = 0,01 + 0,04 = 0,05$$

$$\beta_H = e^{-\frac{0,05}{0,045}} = 33\%$$

$$\sqrt{2} \times 5,27 + 0,452 = 7,904 < \sqrt{2} \times 40 \times (1 + 0,33) = 75,236$$

б) на симетричний струм відключення:

$$I_{пт} \leq I_{\text{відкл.ном}}; 7,904 \text{ кА} < 75,236 \text{ кА} - \text{ умова виконується}$$

в) на електродинамічну стійкість:

$$I_{п0} \leq I_{\text{дин}}; 7,904 < 75,236 \text{ кА}, - \text{ умова виконується}$$

$$i_{уд} \leq i_{\text{дин}}; 7,441 < 125 \text{ кА} - \text{ умова виконується,}$$

де $I_{\text{дин}}$ - діюче значення періодичної складової граничного струму КЗ [2]

$i_{\text{дин}}$ - найбільший пік (струм електродинамічної стійкості)

г) на термічну стійкість:

$$B_k \leq I_m^2 \cdot t_m \quad (4.13)$$

де B_k - тепловий імпульс струму КЗ

I_m - середнє квадратичне значення струму за час його протікання по каталогу; t_T - тривалість протікання струму термічної стійкості по каталогу.

$$3,896 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, - \text{ умова виконується.}$$

Вибираємо роз'єднувач [2, с. 273]: SGF123

по умовам:

- по напрузі установки: $U_{уст} \leq U_{ном}$; $110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ}$;
- по тривалому струму: $I_p \max \leq I_{ном}$; $0,343 \text{ кА} < 0,63 \text{ кА}$.

Проводимо перевірку:

- на електродинамічну стійкість:

$$i_y \leq i_{дин}; 61,21 \text{ кА} < 100 \text{ кА}, \text{ – умова виконується,}$$

- на термічну стійкість:

$$B_k \leq I_T^2 \times t_T;$$

$$3,896 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \text{ – умова виконується.}$$

Таблиця 4.5 – Параметри вимикачів і роз'єднувачів

Розрахункові дані	Каталожні дані PASS MO	
	Вимикач	Роз'єднувач
ВРП – 110 кВ	LTB-D-110-2500/40	SGF123
$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
$I_{роб.мах} = 0,343 \text{ кА}$	$I_{ном} = 2,5 \text{ кА}$	
$I_{n.\tau} = 5,27 \text{ кА}$	$I_{ном.відк} = 40 \text{ кА}$	—
$\sqrt{2} I_{n.\tau} + i_{a.\tau} = 7,904 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{ном.відк} (1 + \beta_n) = 75,236 \text{ кА}$	—
$I_{n.0} = 3,202 \text{ кА}$	$I_{дин} = 50 \text{ кА}$	—
$i_y = 7,441 \text{ кА}$	$i_{дин} = 125 \text{ кА}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$
$B_k = 3,896 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Обране комутаційне обладнання відповідає вимогам щодо режимів роботи підстанції зможе забезпечити надійну комутацію елементів електричних схем, як в робочому, так і в аварійному режимах. Підстанції на базі комірток PASS MO не тільки займають меншу площу, але й мають високу надійність у порівнянні з традиційними ВРП [14].

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Даний графік показує частоту відмов, одиниць на рік. Порівняння підстанцій на базі традиційних розподільчих пристроїв та елегазових розподільчих пристроїв PASS. З графіку видно, що частота відмов вища у звичайних підстанціях, підстанції на базі PASS MO з подвійною системою шин та одною системою шин, на одному рівні.

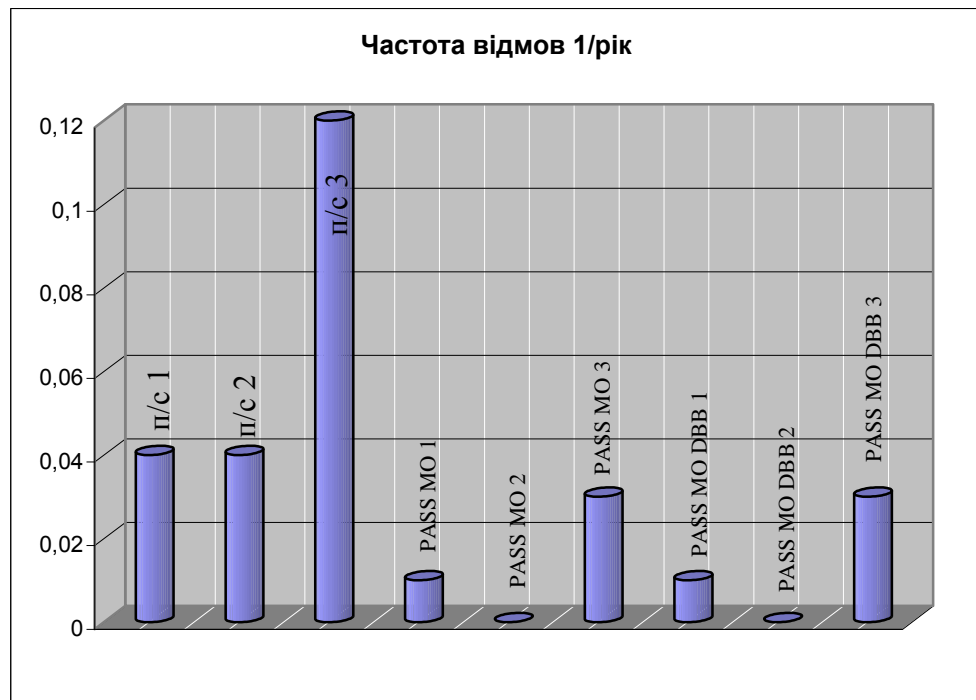


Рисунок 5.1 – «Частота відмов»

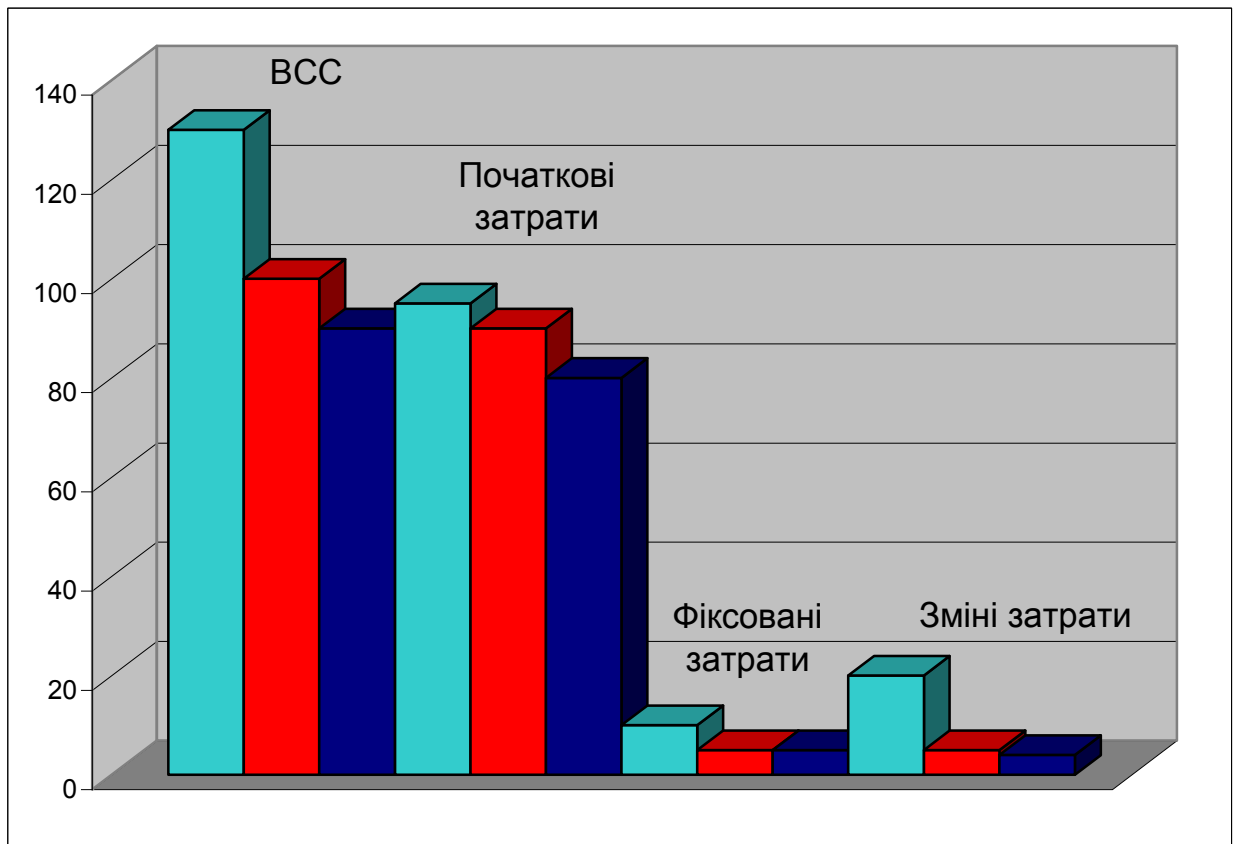
Для порівняння традиційних підстанцій та підстанцій на базі елегазових комірок серії PASS MO за показником «Вартість – строк служби» розглянемо таблицю В1.

Таблиця 5.1 – ВАРТІСТЬ – СТРОК СЛУЖБИ

Підстанції	Традиційні п/с з подвійною СШ	PASS MO із одною СШ	PASS MO із подвійною СШ
Затрати			
Початкові затрати	100%	93%	86%
Фіксовані затрати	13%	6,4%	6,4%
Змінні затрати	23%	4,9%	4,4%
Загальні витрати	136%	105%	97%
Порівняння ВСС	100%	77%	71%

Побудуємо графік співвідношення вартості та строку служби обланання.

Графік 5.1 – Співвідношення ВАРТІСТЬ – СТРОК СЛУЖБИ



- Традиційні п/с з подвійною СШ
- PASS MO із одною СШ
- PASS MO із подвійною СШ

З запропонованих даних можна зробити висновок, що елегазові комірочки PASS MO, в порівнянні з традиційним обладнанням мають не тільки високу надійність, але й високі економічні показники, щодо різних аспектів затрат.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація роботи із забезпечення електробезпеки та пожежної безпеки на суб'єкті господарювання передбачає визначення обов'язків, прав та відповідальності керівників та спеціалістів усіх рівнів щодо неухильного виконання ними вимог нормативних документів з питань охорони праці під час експлуатації електрообладнання та підвищення рівня пожежної безпеки.

6.1 Забезпечення електротехнічної безпеки.

Організація безпечної експлуатації електроустановок передбачає утримання, експлуатування та обслуговування електроустановок відповідно до вимог галузевих нормативних документів. Питання безпечної експлуатації електроустановок регулює державний нормативний акт про охорону праці – НПАОП 0.00–1.21–98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”. З цією метою роботодавцеві необхідно:

- призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електрогосподарства з числа інженерно-технічних працівників, які мають електротехнічну підготовку і пройшли перевірку знань у визначеному порядку;
- забезпечити достатню кількість електротехнічних працівників;
- затвердити положення про енергетичну службу підприємства, а також посадові інструкції та інструкції з охорони праці;
- забезпечити безперешкодне виконання електротехнічними працівниками своїх обов'язків щодо обслуговування електроустановок (огляд, перевірка, випробовування електроустановок);

- забезпечити перевірку знань працівників з правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів;

- забезпечити проведення протиаварійних, приймальноздавальних та профілактичних випробовувань та вимірювань електроустановок згідно з правилами технічної експлуатації;

- забезпечити проведення технічного огляду електроустановок.

З метою забезпечення належного рівня електробезпеки один раз на три роки роботодавець забезпечує проведення підтвердження відповідності обладнання нормативним та експлуатаційним вимогам стану безпеки електроустановок.

Підтвердження відповідності обладнання нормативним та експлуатаційним вимогам стану безпеки електроустановок передбачає:

- перевірку наявності експлуатаційної та технічної документації в обсягах, які передбачені вимогами нормативних актів під час експлуатації електроустановок споживачів, паспортно-технічної документації, інструкцій з експлуатації устаткування;

- визначення достатності і працездатності захисноблокувальних пристроїв;

- оцінювання стану безпеки електроустаткування, а також будівельних споруд енергетичних об'єктів;

- перевірку періодичності і якості виконання регламентних робіт щодо обслуговування електроустаткування;

- оцінювання рівня фахової підготовки працівників з питань електробезпеки, відповідності їхньої кваліфікації роботам, які вони виконують. Під час проведення огляду стану безпеки електроустановок споживачів необхідно перевірити:

- стан безпеки електроустановок;

- відповідність умов експлуатації електроустановок нормативним вимогам безпеки;

- наявність та стан документації.

Підтвердження відповідності обладнання нормативним та експлуатаційним вимогам стану безпеки електроустановок здійснює комісія у складі керівника (головного інженера) – голови комісії, начальника енергетичної служби (відповідального за електрогосподарство) та керівника відділу охорони праці.

Якщо на підприємстві немає кваліфікованих спеціалістів, то до огляду стану електроустановок можна залучати спеціалістів з інших підприємств. Результати підтвердження відповідності обладнання нормативним та експлуатаційним вимогам стану безпеки електроустановок оформляють відповідним актом, який затверджує власник підприємства.

6.2. Забезпечення пожежної безпеки.

Забезпечення пожежної безпеки – складова виробничої та іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств, організацій та підприємців, що необхідно відображати у трудових договорах (контрактах) та статутах підприємств, установ та організацій. Вирішення питань підвищення рівня пожежної безпеки регулює Кодекс цивільного захисту України та відповідні правила пожежної безпеки.

Відповідальність за забезпечення пожежної безпеки підприємств, установ та організацій покладена на їхніх керівників і уповноважених ними осіб, якщо інше не передбачене відповідним договором. Власники підприємств, установ та організацій, а також орендарі зобов'язані:

- розробляти комплексні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки, впроваджувати досягнення науки і техніки, позитивний досвід;
- відповідно до нормативних актів розробляти і затверджувати положення, інструкції, інші нормативні акти з пожежної безпеки, що діють у межах підприємства, здійснювати постійний контроль за їхнім дотриманням;
- забезпечувати дотримання протипожежних вимог стандартів, норм, правил, а також виконання вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду;

- організовувати навчання працівників правилам пожежної безпеки та пропаганду заходів щодо їхнього виконання;

- якщо у нормативних актах немає вимог, необхідних для забезпечення пожежної безпеки, вживати необхідних заходів, погоджуючи їх з органами державного пожежного нагляду;

- утримувати у справному стані засоби протипожежного захисту і зв'язку, пожежну техніку, обладнання та інвентар, не допускаючи їхнього нецільового використання;
- створювати, за необхідності, підрозділи пожежної охорони;
- подавати на вимогу державної пожежної охорони відомості та документи про стан пожежної безпеки об'єктів і продукції;
- здійснювати заходи щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж;
- своєчасно інформувати пожежну охорону про несправності пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання, а також про закриття доріг і проїздів на своїй території;
- проводити службове розслідування випадків пожеж.

Обов'язки сторін щодо забезпечення пожежної безпеки орендованого майна визначають у договорі оренди. Без дозволу органів державного пожежного нагляду заборонені початок роботи новоствореного підприємства, експлуатація нових, реконструйованих виробничих об'єктів, впровадження нових технологій, передача у виробництво зразків нових пожежонебезпечних машин, механізмів, устаткування та продукції, а також оренда будь-яких приміщень.

Керівникові підприємства необхідно визначити обов'язки посадових осіб (у тім числі своїх заступників) щодо забезпечення пожежної безпеки, призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, діляниць, технологічного та інженерного устаткування. Обов'язки працівників щодо забезпечення пожежної безпеки необхідно відобразити у відповідних посадових документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях).

На кожному підприємстві, з урахуванням його пожежної небезпеки, наказом керівника встановлюють відповідний протипожежний режим, який регламентує:

- можливість (місце) паління, застосування відкритого вогню та побутових нагрівальних приладів;
- порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт; • правила проїзду та стоянки транспортних засобів;
- місця для зберігання і допустиму кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно перебувати на суб'єкті господарювання;
- порядок прибирання горючого пилю і відходів, зберігання прооливленого спецодягу;
- порядок відключення обладнання від електромережі у разі виникнення пожежі;
- порядок огляду і зачинення приміщення після закінчення роботи;
- порядок проходження посадовими особами навчання і перевірки знань з питань пожежної безпеки, проведення з працівниками протипожежних інструктажів;
- порядок організації експлуатації та обслуговування технічних засобів протипожежного захисту;
- порядок проведення планово-запобіжних ремонтів та оглядів електроустановок, опалювального, вентиляційного та технологічного обладнання;
- порядок дій працівників у разі виявлення пожежі;
- порядок збирання членів добровільної пожежної дружини та відповідальних посадових осіб вночі, у вихідні і святкові дні.

На кожному підприємстві необхідно розробити інструкцію щодо заходів пожежної безпеки, з якою необхідно ознайомити усіх працівників.

Працівники зобов'язані дотримуватись визначеного протипожежного режиму, виконувати вимоги правил пожежної безпеки, чинних на підприємстві, а за виникнення пожежі:

- негайно повідомити про це телефоном пожежну охорону, при цьому вказати адресу об'єкта, кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, наявність людей та своє прізвище;

- вжити (за змогою) заходів щодо евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження майна;

- якщо пожежа виникла на підприємстві, повідомити про неї керівника чи відповідну посадову особу та (або) чергового на об'єкті;

- у разі необхідності викликати інші рятувально-аварійні служби.

Посадова особа, що прибула на місце пожежі, зобов'язана:

- перевірити, чи викликали пожежну охорону, повідомити власника; •

у разі загрози життю людей негайно організувати евакуацію;

- вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, не пов'язаних із ліквідацією пожежі;

- припинити роботи у будівлі;

- у разі необхідності вимкнути електроенергію, зупинити технологічне обладнання та виконати інші заходи, що гальмують розвиток пожежі;

- перевірити увімкнення оповіщення людей про пожежу, установок пожежогасіння, протидимового захисту;

- організувати зустріч підрозділів пожежної охорони і надати їм необхідну допомогу;

- організувати евакуацію і захист майна;

- забезпечити дотримання вимог безпеки працівників, які гасять пожежу. Пожежну безпеку забезпечують проведенням організаційно-технічних та інших заходів, які спрямовані на запобігання пожежам, забезпечення безпеки працівників, зниження майнових втрат та створення умов для швидкого гасіння пожеж.

Методика аналізу пожежної небезпеки на підприємстві полягає у виявленні (рис. 6.1):

- потенційних та наявних джерел запалення;

- умов формування горючого середовища;

- умов виникнення контакту джерел запалення та горючого середовища;
- умов та причин поширення вогню у разі виникнення загоряння;
- можливих масштабів виниклої пожежі, загрози життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу, матеріальним цінностям;
- рівня дієздатності систем протипожежного захисту та протипожежної стійкості кожної ділянки та об'єкта загалом;
- порушень протипожежного режиму, норм і правил пожежної безпеки.



Рисунок 6.1 - Методика аналізу пожежної небезпеки на підприємстві

З метою створення дієвої системи протипожежного захисту виробничих будівель і споруд передусім необхідно визначити клас можливої пожежі та категорію приміщень за вибухопожежною та пожежною

небезпекою. Виробничі приміщення, залежно від того, які горючі речовини в них знаходяться, поділяють на п'ять категорій:

Категорія А (вибухопожежонебезпечна) – горючі гази, легкозаймісті рідини з температурою спалаху не більше $108,28\text{ }^{\circ}\text{C}$ в такій кількості, що розвивається надлишковий тиск вибуху в приміщенні більше від 5 кПа.

Категорія Б (вибухо- та пожежонебезпечна) – горючі пил або волокна, легкозаймісті рідини з температурою спалаху понад $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, горючі рідини, що здатні утворювати суміші, у разі займання яких розвивається надлишковий тиск 5 кПа і більше.

Категорія В – пожежонебезпечні рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, які здатні, взаємодіючи з водою, киснем повітря або одна з одною, лише горіти.

Категорія Г – негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням тепла, іскор, полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюють або утилізують як паливо.

Категорія Д – негорючі речовини і матеріали у холодному стані. Допускається зачисляти до категорії Д приміщення, в яких горючі рідини розміщені в системах змащування, охолодження масою не більше від 60 кг на одиницю обладнання з тиском, що не перевищує 0,2 МПа.

Відповідно до міжнародного стандарту всі пожежі поділяють на п'ять класів:

А – пожежі твердих речовин, горіння яких супроводжується тлінням;

В – пожежі горючих рідин або плавких твердих речовин;

С – пожежі газів; D – пожежі металів та їхніх сплавів;

Е – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок. До первинних засобів гасіння пожеж належать вогнегасники, тип і розрахунок необхідної кількості яких визначають залежно від їхньої вогнегасної здатності, граничної площі, класу пожежі та категорії приміщення.

На сучасних виробництвах використовують такі вогнегасники:

- хімічно-пінні, які призначені для гасіння твердих горючих матеріалів, горючих рідин, за винятком речовин, здатних (у разі взаємодії з хімічною піною) вибухати та горіти;
- повітряно-пінні, які використовують для гасіння різних речовин і матеріалів, за винятком лужних металів, речовин, що горять без доступу повітря, та електроустановок під напругою;
- вуглекислотні, якими гасять різні речовини, крім тих, що горять без доступу повітря, електроустановки до 1 000 В;
- хладонові, призначені для гасіння пожеж різних горючих речовин і тліючих матеріалів, а також електроустановок;
- порошкові, які застосовують для гасіння електрообладнання до 1 000 В, легкозаймистих рідин, тліючих матеріалів залежно від типу порошку.

Головними завданнями профілактичної роботи є виявлення умов виникнення пожежі та порушень протипожежного режиму, а саме:

- несправність технологічного устаткування (передчасний вихід з ладу, неякісний повсякденний огляд, несправність контрольно-вимірювальних приладів та несвоєчасність проведення планово-профілактичних ремонтів);
- порушення правил улаштування та експлуатації електроустановок, термінів їхнього ремонту та замірів опору ізоляції електропроводів;
- порушення правил експлуатації вентиляційних систем (наявність пошкоджень, несвоєчасність очищення та ремонту);
- порушення технологічного регламенту з вини персоналу, у разі поломок контрольно-вимірювальних приладів, неякісного догляду;
- порушення правил пожежної безпеки під час ремонту технологічного устаткування (неповне зливання легкозаймистих та горючих рідин, непродування та непропарювання ємностей інертним газом та паром, використання сталевих інструментів, здатних до іскровискання та ін.);

- застосування відкритого вогню (у випадку використання факелів, паяльних ламп, під час розведення багать, порушення режиму куріння тощо);
- порушення режиму проведення вогневих робіт (електрогазозварювальних, фарбувальних, малярних, під час розігрівання бітуму, смол, мастик);
- підтікання та розлив легкозаймистих та горючих рідин, вихід газів у разі несправностей тари, апаратів, трубопроводів та газопроводів;
- порушення термінів очищення виробничого устаткування, фарбувальних камер;
- порушення режиму збору та вилучення сміття та інших горючих відходів;
- порушення правил експлуатації систем опалення і вентиляції;
- порушення в утриманні шляхів евакуації, засобів оповіщення про пожежу;
- порушення протипожежних відстаней, утримання шляхів під'їзду до будівель і споруд;
- порушення правил зберігання пожежо- та вибухонебезпечних речовин і матеріалів;
- несправність або відсутність систем протипожежного захисту та первинних засобів пожежогасіння, зовнішнього та внутрішнього протипожежного водопостачання;
- невідповідність вимогам норм шляхів евакуації. Для здійснення обґрунтованих прогнозів щодо виникнення та розповсюдження пожеж і ефективних заходів щодо запобігання пожежам необхідно спиратися на статистичний аналіз пожеж, насамперед тих, що виникають на споріднених об'єктах.

6.3 Елегаз. Особливості його використання в електротехнічному устаткуванні.

Фізичні властивості елегазу. Елегаз — один з найважчих відомих газів. Його щільність при 20°C і тиску 0,1 МПа (одна атмосфера) дорівнює 6,139 кг/м³, тобто майже в 5 разів вища від щільності повітря. Молекулярна маса елегазу становить 146,06 а.о.м. (атомних одиниць маси), безбарвний і не має запаху. Елегаз може перебувати в рідкому стані тільки під дією підвищеного тиску. Щільність – 6,14 кг/м³, теплопровідність – 0,0136 Вт/м К1.

Залежність тиску елегазу від температури – лінійна, в діапазоні робочих температур від -25 до +50°C тиск майже не змінюється.

Об'ємна питома теплоємність елегазу в 3,7 раза більше ніж повітря, що має велике значення для зниження ефекту нагрівання частин електроустаткування.

Теплопровідність елегазу нижча, ніж повітря, але його повна тепловіддача, особливо з урахуванням конвекції, дуже висока (така сама як у водню й гелію, вища ніж повітря). При високих температурах пік теплопровідності відповідає температурі розпаду молекули елегазу (2100-2500К). При розпаді поглинається значна кількість теплоти, яка виділяється в процесі розпаду молекул на периферії дуги, прискорюючи тим самим теплообмін між гарячими й більш прохолодними зонами.

Діелектрична міцність елегазу при однакових умовах приблизно в 2,5 раза вища, ніж повітря. Напруга пробою в неоднорідному електричному полі залежно від тиску має тенденцію до захвату вільних електронів, утворюючи при цьому малорухомі важкі іони, унаслідок чого розвиток електронних лавин перекриття стає затрудженим.

У неоднорідних електричних полях максимальна напруга пробою елегазу виникає при тиску, близько 0,2 МПа.

Елегаз є прекрасним середовищем для гасіння дуги унаслідок низької температури розпаду молекул і високої енергії цього розпаду. При охолодженні елегазу електричної дуги вона залишається струмопровідною до відносно низької температури, мінімізуючи тим самим можливість переривання струму до його переходу через нуль, що унеможливорює виникнення перенапруг великої кратності.

В електричній дузі температура може досягати 15000К, що призводить до розпаду невеликої частини елегазу. Деякі з цих побічних продуктів розпаду можуть бути токсичними, але більшість із них легко адсорбується такими матеріалами, як активований оксид алюмінію або молекулярних сіток.

Швидкість звуку в елегазі в три рази менша ніж у повітрі, унаслідок чого він є гарним звуковим ізолятором.

Хімічні властивості елегазу. Склад молекули елегазу повністю відповідає валентності сірки. Елегаз має такі властивості:

- при відсутності металевих каталізаторів його можна нагріти до 500°C без розпаду молекул;
- не запалюється, не розчиняється у воді та під дією кислот;
- водень, хлор і кисень не мають на нього ніякого впливу.

Використання та поводження з елегазом у комутаційному устаткуванні.

Заповнення новим елегазом. Новий газ SF₆ поставляється в балонах у рідкому стані повинен відповідати стандарту Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК - 376), яка визначає межі концентрацій домішок.

З новим газом можна виконувати роботи на відкритому повітрі без будь-яких спеціальних засобів захисту. При роботі в закритому приміщенні з новим газом SF₆ необхідно враховувати:

- граничне значення для нового газу SF₆ дорівнює 6000 мг/м³, що допускає знаходження обслуговуючого персоналу в середовищі з концентрацією газу до цього рівня протягом восьми годин за добу;

- температура, вища ніж 500°C , або наявність деяких металів при температурі, вищій ніж 200°C , викликають розпад SF6. При граничних температурах не рекомендовано курити, використовувати відкритий вогонь, електрозварювання.

Детальні вимоги та рекомендації щодо роботи з елегазом надаються відповідними компаніями-виробниками обладнання.

Обслуговування елегазового устаткування. Герметичне устаткування середньої напруги не потребує обслуговування частин, що перебувають усередині елегазових вимикачів. Однак, для деяких конструкцій КРУЕ середньої напруги може знадобитися обслуговування, а для більшості вимикачів середньої напруги обслуговування повинне здійснюватися на періодичній основі, що визначається інструкціями та документацією виробника обладнання.

При розширенні розподільного пристрою КРУЕ, як середнього, так і високої напруги, може з'явитися необхідність у видаленні SF6. Безпечні методи роботи в цих умовах здійснюються відповідно до вимог спеціальних будівельних норм і правил, а також рекомендацій виробника устаткування.

Витоки елегазу з високовольтних апаратів за міжнародними стандартами мають становити не більше 1% у рік від маси його заправки.

Закінчення терміну служби елегазового устаткування. Елегазове устаткування, зняте з експлуатації, може потребувати нейтралізацію продуктів розпаду, що залишилися після видалення газу. Для захисту навколишнього середовища SF6 необхідно видалити й не випускати в атмосферу. Необхідність нейтралізації залежить від рівня розпаду; очікувані рівні розпаду (від десятих часток відсотка до граничних) наведено для кожного виду устаткування в інструктивних матеріалах відповідних фірм.

У високовольтних апаратах рекомендовано використовувати елегаз не більше 10 років, оскільки далі в ньому може накопичуватися значна кількість різних домішок, небезпечних як для живих організмів, так і для функціонування самого устаткування.

Утилізація елегазу здійснюється за допомогою компресора або кріонасоса, що працює на рідкому азоті, а також комбінованого використання сорбційного і вакуумного насосів або компресора.

Позаштатні ситуації, що виникають дуже рідко, можуть призводити до неконтрольованого випуску газу SF₆, з відповідним ризиком для обслуговуючого персоналу. До таких ситуацій відносяться:

- витік газу внаслідок розгерметизації корпусу відповідного устаткування;
- внутрішнє коротке замикання внаслідок неконтрольованого утворення дуги в корпусі устаткування з елегазом;
- зовнішнє загоряння, що призводить до неконтрольованого витоку.

Дії персоналу в позаштатних ситуаціях регламентуються відповідними документами компаній та міжнародними стандартами.

Елегаз і навколишнє середовище. Елегаз значно менше впливає на виснаження стратосферного озону, тому що не містить хлору, який є головним реагентом у каталізі озону. Вплив SF₆ на парниковий ефект, через низьку частку (0,2%) його в атмосфері (МЕК – 1634) незначний.

Порівняльний вклад різних газів в глобальне потепління		
Парниковий газ	Відносний потенціал глобального потепління	Відносний вклад в парниковий ефект (%)
CO ₂	1	62
CH ₄	24,5	20
N ₂ O	320	8
PFC 11-12 (фторвуглець)	5000-8000	10
SF₆	23000	< 0,1

Багаторічний досвід експлуатації показує, що SF₆ не створює ні обслуговуючому персоналу, ні навколишньому середовищу будь-якої небезпеки при дотриманні регламентованих виробниками устаткування правил поведіння й експлуатації елегазового устаткування, а також чинних міжнародних і приведених до них національних стандартів.

Елегазове комутаційне устаткування повністю відповідає вимогам споживачів щодо компактності, надійності, скорочення часу обслуговування, безпеки персоналу, терміну служби. Зниження механічної енергії для вимкнення вимикача може бути досягнуто застосуванням сучасних способів гасіння дуги, наприклад, обертання й дугтя.

У сфері обслуговування запроваджуються відповідні системи діагностики комутаційного обладнання й моніторингу його роботи, які дають змогу контролювати в режимі реального часу його стан та своєчасно надавати інформацію користувачеві про необхідність і мету обслуговування.

Постійне вдосконалювання систем герметичності комутаційного устаткування високої напруги сприяє більш низькій інтенсивності витоку елегазу (0,1–0,5 % у рік).

На основі проведеного EDF аналізу визначено основні достоїнства та недоліки елегазових вимикачів:

- швидке гасіння дуги в елегазі;
- висока зносостійкість контактної системи при комутації номінальних струмів і номінальних струмів вимкнення;
- різке зниження експлуатаційних витрат порівняно з маломасляними вимикачами;
- повна вибухо- і пожежобезпека і можливість роботи в агресивних середовищах (обмеження тільки за ступенем зношування матеріалів, застосовуваних у конструкції приводу);
- висока хімічна стабільність елегазу та практична відсутність забруднення навколишнього середовища.

Термін експлуатації сучасних елегазових вимикачів в енергосистемі EDF без проведення ремонту становить від 10 до 20 років і більше (у цьому проміжку виконуються тільки профілактичні огляди й інструментальний контроль).

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розглянуто фізичні та хімічні властивості елегазового середовища, наведено характеристики елегазових комірок серії PASS MO для підстанцій напругою 110 кВ, проведено розрахунок струмів короткого замикання та струмів термічної дії. Також було проведено порівняння елегазових розподільчих пристроїв вітчизняного виробника та нового елегазового електрообладнання виробників Західної Європи.

Практика більшості розвинених зарубіжних країн показує, що на нинішньому рівні розвитку світового енергомашинобудування найбільш ефективним засобом підвищення надійності та якості енергозабезпечення і зниження економічних витрат на розвиток та експлуатацію енергообладнання є розширення обсягу впровадження сучасного елегазового і вакуумного обладнання, як КРУЕ, так і гнучких модульних комплектів такого обладнання для ВРУ, перш за все, середнього, високого та надвисокого рівнів напруги.

Переваги розподільчих пристроїв на базі елегазового комутаційного обладнання PASS MO:

з точки зору технічних характеристик

- відсутність якого-небудь впливу на технологічний цикл;
- відмова від маслогосподарства;
- зниження аварійності електроустаткування;
- можливість швидкої диспетчеризації.

в плані економічної доцільності:

- відсутність втрат виробництва при реконструкції (без зупинки тех. процесу);
- відсутність витрат на будівельно-монтажні і пусконаладжувальні роботи;
- економія електроенергії;
- можливість розрахунку енерговитрат по стадіях виробництва.

Виходячи з проведених розрахунків та технічних характеристик можна підвести підсумок, що елегазові комірки PASS MO є перспективним обладнанням для розвитку РП напругою 110 кВ, мають переваги над іншими ВРП за: займаною площею, простотою використання, легкістю транспортування та установкою, вибухо- та пожежобезпечністю, високою вимикаючою здатністю, високою швидкодією, малим зношуванням контактних систем, уніфікованістю вузлів, доволі високою сейсмостійкістю, малими об'ємами та масою та техніко-економічними показниками.

ЛІТЕРАТУРА

1.Международный Совет по большим электроэнергетическим системам (CIGRE) – «Отчет о втором международном исследовании опыта эксплуатации высоковольтных подстанций с элегазовой изоляцией (КРУЭ)» и «Руководство пользователя по применению комплектного распределительного устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ) на номинальное напряжение 72,5 кВ и выше» (CIGRE WG 23-10) – www.cigre.org

2. Матеріали провідних зарубіжних компаній:

ABB – www.abb.com, Schneider Electric – www.schneider-electric.com,
Siemens AG – www.siemens.com/, Compton Greaves – <http://www.cgglobal.com/>, AREVA – www.areva.com/, ALSTOM – www.alstom.com

3. Матеріали третьої Міжнародної науково-технічної конференції «Впровадження элегазового обладнання на підприємствах енергетики України та проблеми його експлуатації»

4. «О надежности ячеек элегазовых выключателей 110-750 кВ подстанций» Дементьев Ю.А., Мисриханов М.Ш., Столяров Е.И., ОАО «ФСК ЕЭС»; Абдурахманов А.М., Федоров В.Е., Шунтов А.В. ОАО «Специализированное проектно-конструкторское бюро по ремонту и реконструкции», «Электрические станции», 2011, №1

1. Лежнюк П.Д., Зелінський В. Ц. Електричні апарати. Фізичні основи електричних апаратів. Вінниця ВДТУ, 2008 – 173с.

2. Зелінський В.Ц. Фізичні основи електричних апаратів. – Вінниця ВДТУ, 2001 – 133с.

3. <http://www.add.ru>

4. <http://www.teu.tavrida.com/>

5. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 года: Пер. с англ. Под ред. Ю.Н. Старшинова. – М.: Энергия, 1980. – 256 с.

6. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для средн. проф.обр./ Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр " Академия", 2005. – 448 с.
7. <http://svarog.krasnodar.su/product/sota/PASS/>
8. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
9. Кузнецов Ю.С. Аппараты распределения электрической энергии напряжением до 1000 В. – М.: Энергия, 1970. – 544 с.
10. <http://www.energospace.ru/>
11. Залесский А. М. Электрическая дуга отключения. – Л.: Госэнергоиз-дат, 1973.
12. Родштейн Л.А. Электрические аппараты. 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 304 с.
13. Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов /А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Няшкова и др./ Под ред. А.А. Васильева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 567 с.
14. Ульянов С.А. Электрические переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970. – 350 с.
15. Полтев А.И. Конструкции и расчет элегазовых аппаратов высокого напряжения. – Л.: Энергия, 1979. – 240 с.
16. Бортник И.М., Кук Ч.М. Характеристики зажигания заряда в шестифтористой сере при сверхвысоких напряжениях// ЖТФ.– 1972. – Т. 42.– №1.
17. Теория и конструкция выключателей. Пер. с англ./ Под ред. В.В. Афанасьева. – Л.: Энергоиздат. Ленинградское отд, 1982. – 496 с.
18. Сакевич В.Ф., Поліщук О.В. С15 Цивільна оборона. Теоретичні основи. Навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, – 2009. – 136 с.
19. Бондаренко Є. А. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. / Є. А. Бондаренко., А. В. Сердюк – Вінниця : ВДТУ, 2013. – 160 с.

20. Закон України «Про охорону праці» / Законодавство України про охорону праці. – К. Нова редакція 2002 р

Додатки

ДОДАТОК А**Технічне завдання МКР**

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Лежнюк П.Д.
(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

_____ (підпис)
" ____ " _____ 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕГАЗОВИХ КОМПРОК
НАПРУГОЮ 110 КВ НА ПІДСТАНЦЯХ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

08-13. МКР. 001.00.003 ТЗ

Виконав: студент 2 курсу ОПП
магістра, групи ЕСМ-18м

Твердохліб Ю. М. _____

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСС

Поліщук А.Л. _____
" ____ " _____ 2020 р.

Вінниця 2020 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) в час активного розвитку енергетики та науково-технічного прогресу, дослідження питання модернізації ЕЕС України є надзвичайно важливою та актуальною науково-прикладною задачею. Зокрема, дослідження та впровадження елегазових комірок, як основного елемента при електричній підстанції.

б) наказ від № 76 від 6 березня 2020р про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

- а) мета – аналіз перспектив розвитку та модернізації існуючих електричних мереж та елементів ліній електропередачі в електричній системі;
 б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Вихідні дані для виконання МКР

Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання. Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів.

4. Вимоги до виконання МКР

5. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розробка технічного завдання	06.03.20	08.03.20	Формування технічного завдання
2	Дослідження елегазових комірок	09.03.20	25.03.20	Аналітичний огляд літературних джерел
3	Впровадження елегазових комірок в ОЕС України	26.03.20	10.04.20	розділ 1
4	Техніко-економічні розрахунки	11.04.20	25.04.20	розділ 2
5	Охорона праці	09.05.20	19.05.20	розділ 4
6	Оформлення пояснювальної записки та презентації	20.05.20	31.05.20	пояснювальна записка, презентація

6. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

7. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

8. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін, що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011р.

9. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

Додаток Б

Основні технічні характеристики елегазових комірок PASS MO

Номінальна частота.....	50 Гц
Номінальна напруга.....	110кВ/150кВ
Номінальний струм.....	2500 А

Випробувальна напруга

а) фаза-земля

- промислової частоти протягом 1 хвилини.....	75/325 кВ
- грозового імпульсу.....	650/750 кВ

б) між контактами

- промислової частоти протягом 1 хвилини.....	315/375 кВ
- грозового імпульсу.....	750/860 кВ
Струм термічної стійкості (1 сек).....	40 кА
Струм електродинамічної стійкості.....	100 кА

Температура навколишнього середовища

- мінімальне значення.....	-45°C
- максимальне значення.....	+55°C

Витік елегаза в рік.....	<1%
--------------------------	-----

Маса

- з одинарною системою шин.....	1900кг
- з подвійною системою шин.....	2150кг
- з разъединителями у кожного з введень.....	2300кг

Тиск елегаза при температурі +20°C

- номінальний робочий тиск.....	680/700 кПа
- тиск спрацьовування попереджувального сигналу.....	620/660 кПа
- тиск спрацьовування аварійного відключення.....	600/640 кПа

Силовий вимикач

Типа LTB-D, з однією дугогасительной камерою

Номінальний струм відключення.....	40кА
Номінальний струм включення.....	100кА

Номінальний струм заряду повітряної лінії, що відключається.....	63 А
Номінальний струм заряду кабельної лінії, що відключається.....	160А
Привід пружинний, загальний на три фази	
Тип.....	BLK222
Номінальний цикл.....	0-0,3 сек-BO-1 хв.-BO
Власний час відключення.....	<=25мсек
Повний час відключення.....	<=47мсек
Час включення.....	<=42мсек
Номінальна напруга ланцюгів управління.....	=110 В
У аварійних ситуаціях можливе ручне управління приводом.	

Роз'єднувач – заземлювач

Привід моторний, загальний на три фази	
Номінальна напруга ланцюгів управління.....	=110В
Час включення заземлювача.....	5,5 сек
У аварійних ситуаціях можливе ручне управління приводом. Положення контактів можна спостерігати через спеціальні вікна в корпусі.	

Трансформатор струму

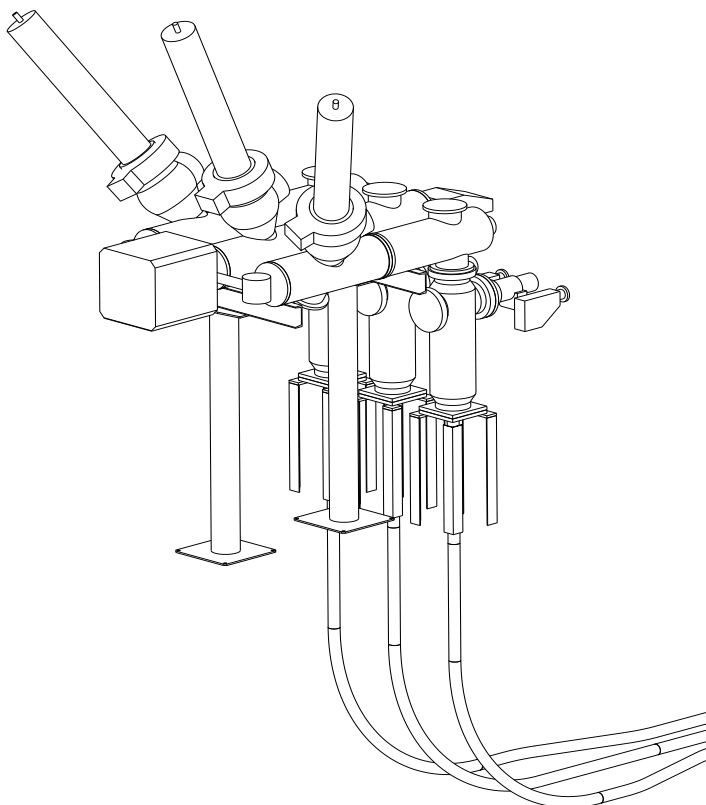
Тип з кільцевими магнітопроводами	
Клас точності вимірювальної обмотки.....	0,2 - 1 (за замовленням)
Клас захисту.....	IP54 по МЭК 60144

Ввода

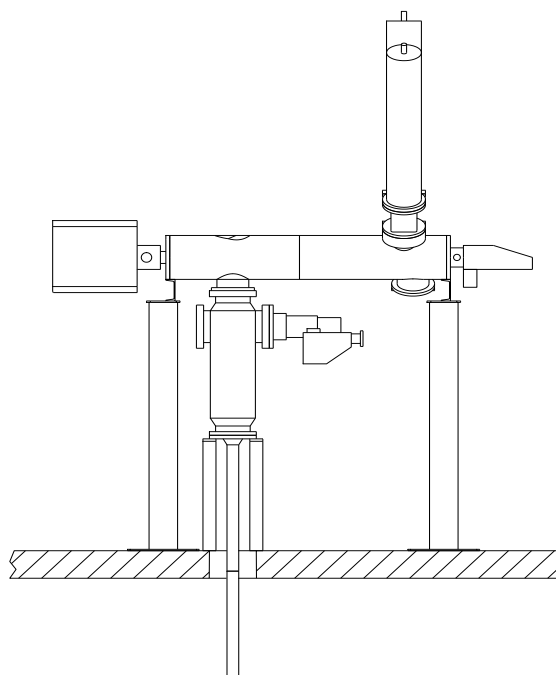
Тип композитні, із зовнішньою ізоляцією з кремнійорганічної гуми	
Номінальна напруга.....	110/150кВ
Розрядна відстань.....	1304/1633 мм
Довжина шляху витоку струму.....	4670/5462мм
Максимально допустиме статичне навантаження на висновок.....	1000/1000 Н

Додаток Б

Рисунок Б1 – комірка PASS MO для під'єднання кабельної лінії



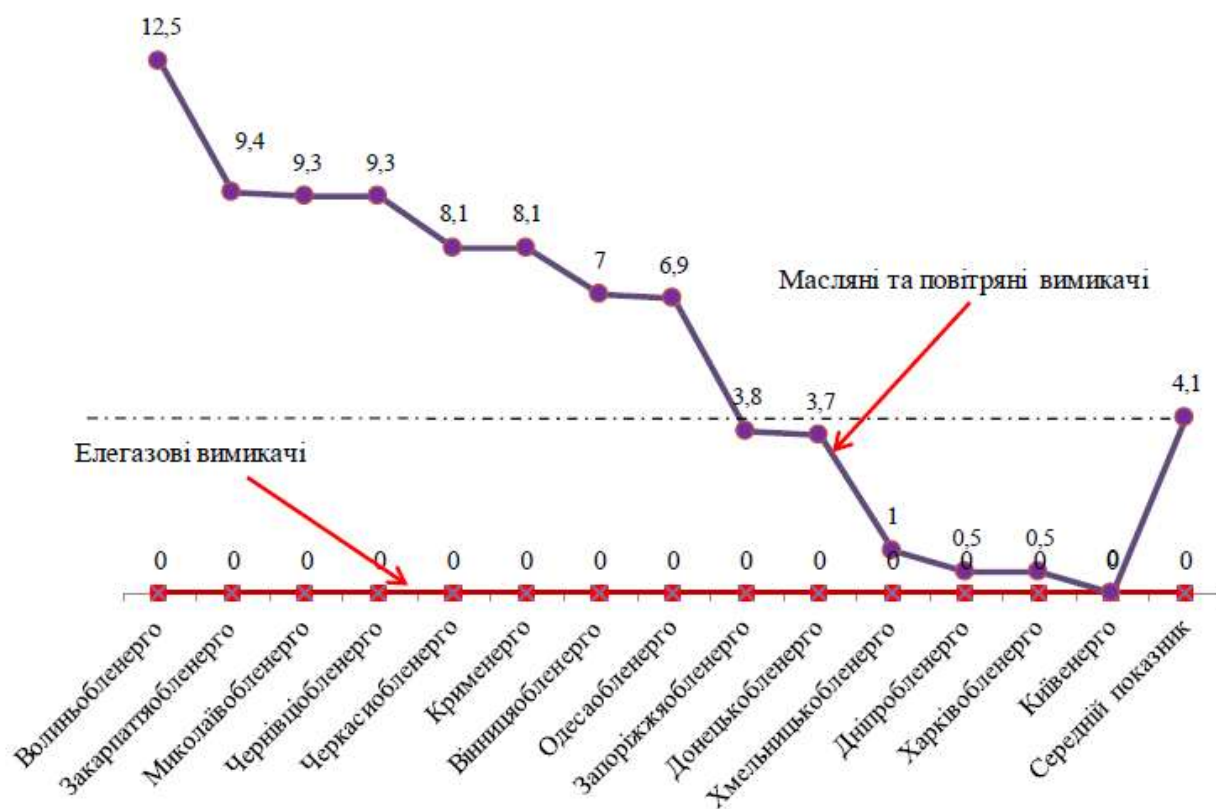
а) загальний вигляд



б) вигляд з боку

Назва енергопостачальних компаній	Установлено вимикачів напругою 110 – 150 кВ						Пошкодження та відмови вимикачів 110 – 150 кВ протягом 3 років	
	масляних		повітряних		елегазових		масляних та повітряних (на 100 од.)	елегазових (на 100 од.)
	одиниць	% від загальної кількості	одиниць	% від загальної кількості	одиниць	% від загальної кількості		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вінницяобленерго	78	78,0	0	0,0	22	22,0	7,00	0,00
Волиньобленерго	24	100,0	0	0,0	0	0,0	12,5	0,00
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дніпрообленерго	15	7,6	84	42,4	99	50,0	0,51	0,00
Донецькобленерго	193	89,8	9	4,2	13	6,0	3,72	0,00
Закарпаттяобленерго	62	96,9	0	0,0	2	3,1	9,38	0,00
Запоріжжяобленерго	43	41,0	4	3,8	58	55,2	3,81	0,00

Київенерго	20	45,5	0	0,0	24	54,5	0,00	0,00
Крименерго	77	69,4	0	0,0	34	30,6	8,11	0,00
Миколаївобленерго	10	23,3	19	44,2	14	32,6	9,30	0,00
Одесаобленерго	108	83,1	0	0,0	22	16,9	6,92	0,00
Тернопільобленерго	33	78,6	0	0,0	9	21,4	Дані відсутні	Дані відсутні
Харківобленерго	175	87,9	0	0,0	24	12,1	0,50	0,00
Хмельницькобленерго	91	89,2	0	0,0	11	10,8	0,98	0,00
Черкасиобленерго	18	48,6	0	0,0	19	51,4	8,11	0,00
Чернівціобленерго	43	100,0	0	0,0	0	0,0	9,30	0,00
Всього	990	67,9	116	8,0	351	24,1	4,12 (середній показник)	0,00



Показники пошкоджень та відмов (на 100 од.) вимикачів 110 – 150 кВ протягом трьох останніх років