

Вінницький національний технічний університет

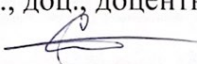
Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

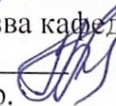
**РЕКОНСТРУКЦІЯ ПІДСТАНЦІЇ 110/10 кВ ІЗ ЗАМІНОЮ
МАСЛЯНИХ ВИМИКАЧІВ НА ВАКУУМНІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ**

Виконав: студент 4 курсу, групи ІЕСМ-216
Спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електричні системи та мережі»,
Ковальчук Н.С. 

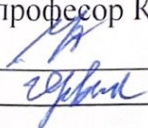
Керівник: к.т.н., доц., доцентка каф. ЕСС
Собчук Н.В. 

« 06 » 06 2025 р.

Рецензент: доц. каф. ЕСЕМ, к.т.н.
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)

Бабенко О.В. 
« 04 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
авідувач кафедри ЕСС
к.т.н., професор Комар В.О.


« 06 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«20» квітня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ковальчук Назарій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Реконструкція підстанції 110/10 кВ із заміною масляних вимикачів на вакуумні для підвищення ефективності роботи»

Керівник роботи к.т.н., доц., доцента каф. ЕСС Собчук Н.В

затверджена наказом вищого навчального закладу від 20 березня 2025, #80

2. Термін подання студентом роботи 03 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: 1. ВР1 / Вакуумні вимикачі 10 кВ / Комутаційні апарати / Продукція http://www.rzva.ua/ua/produkcija/komutaciini-aporati_1472639412/vakuumni-vimikachi-10-kv_1472639305/vr1_1472639255.htm 2. Електрообладнання розподільних установок. Оливні вимикачі: навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський. Вінниця: ВНТУ, 2011.-86 с.

4. Зміст текстової частини: Вступ 1.Дослідження вакуумних вимикачів при модернізації підстанції. 2. Дослідження заміни масляної комутаційної апаратури. 3 Вибір комутаційних апаратів. 4 Охорона праці ВИСНОВКИ. Список використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного матеріалу(з точним зазначенням обов'язкових креслень)1.Вигляд вакуумної дугогасильної камери. 2. Вид вакуумний вимикач серії ВР1.3. Конструкція А) полюса та Б) привода вимикача серії ВР1.4. електрична дуга в сфері газового пузиря в маслі;5. Конструктивна схема вимикача масляного.6. Загальний вигляд вимикача WMSWPI-10/6/3,5. 7. Переріз полюса вимикача WMSWPI-10/6/3,5

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Собчук Н.В. к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС	 20.03.25	 01.06.25
Охорона праці	Кобилянський О.В. д. пед. н., проф., завідувач каф.		

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи	
		початок	кінець
1	Формування та затвердження теми БКР	20.03.2025	21.03.2025
2	Вступ. Огляд літературних джерел	22.03.2025	28.03.2025
4	Принцип дії вимикачів	01.04.2025	06.04.2025
5	Порівняння вимикачів	19.04.2025	25.04.2025
6	Виконання розділу охорона праці	26.04.2025	30.04.2025
7	Формування висновків по роботі	01.05.2025	09.05.2025
8	Оформлення пояснювальної записки	15.05.2025	20.05.2025
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	21.05.2025	30.05.2025
10	Перевірка БКР на плагіат. Попередній захист БКР	04.06.2025	05.06.2025
11	Рецензування БКР	07.06.2025	09.06.2025
	Захист БКР	10.06.2025	12.06.2025

Студент


(підпис)

Ковальчук

Керівник роботи


(підпис)

Собчук Н.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311

Ковальчук Назарій Сергійович. «Реконструкція підстанції 110/10 кВ із заміною масляних вимикачів на вакуумні для підвищення ефективності роботи». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2025. – 63 с. Бібліогр.: 23. Рис. : 16. Табл. : 12.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена аналізу та технічному обґрунтуванню реконструкції підстанції 110/10 кВ із заміною застарілих масляних вимикачів на сучасні вакуумні. У роботі розглядаються переваги вакуумних вимикачів з точки зору експлуатаційної надійності, екологічної безпеки, зниження витрат на обслуговування та підвищення загальної ефективності роботи електроенергетичної системи.

Запропоновано оптимальний варіант реконструкції, що враховує специфіку мережі, навантаження, наявні ресурси та нормативно-технічні документи.

Результати роботи можуть бути використані при плануванні реконструкції аналогічних підстанцій у рамках модернізації енергетичної інфраструктури України.

Ключові слова: підстанція 110/10 кВ, реконструкція, масляний вимикач, вакуумний вимикач, надійність, енергоефективність, електробезпека, модернізація, електрообладнання, техніко-економічне обґрунтування.

ANNOTATION

Kovalchuk Nazarii Serhiiovych. "Reconstruction of a 110/10 kV Substation by Replacing Oil Circuit Breakers with Vacuum Ones to Improve Operational Efficiency." Bachelor's Qualification Thesis. – Vinnytsia: VNTU. – 2025. – 63 p. References: 23. Figures: 16. Tables: 12.

The bachelor's qualification thesis is devoted to the analysis and technical justification of the reconstruction of a 110/10 kV substation through the replacement of outdated oil circuit breakers with modern vacuum ones. The study examines the advantages of vacuum circuit breakers in terms of operational reliability, environmental safety, reduced maintenance costs, and improved overall efficiency of the power system. An optimal reconstruction option is proposed, taking into account the specifics of the network, load conditions, available resources, and regulatory and technical documentation.

The results of the work can be applied when planning the reconstruction of similar substations as part of the modernization of Ukraine's energy infrastructure.

Keywords: 110/10 kV substation, reconstruction, oil circuit breaker, vacuum circuit breaker, reliability, energy efficiency, electrical safety, modernization, electrical equipment, techno-economic justification.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. Дослідження вакуумних вимикачів при модернізації підстанції	9
1.1 Загальні відомості про вакуумний вимикач	9
1.2 Принцип дії та конструкція вакуумного вимикача.....	10
1.3 Основними перевагами вакуумного вимикача перед іншими типами вимикачів	12
1.4 Вакуумний вимикач ВР1	14
2. Дослідження заміни масляної комутаційної апаратури	21
2.1 Загальні відомості про масляний вимикач	21
2.2 Принцип дії масляного вимикача та його конструктивність.....	22
2.3 Вимикач масляний WMSWPI-10/6/3,5.....	28
2.4 Порівняльне співставлення вакуумних і масляних вимикачів для модернізації підстанції	32
3. Вибір комутаційних апаратів	34
3.1 Умови вибору комутаційних апаратів	34
3.2 Розрахунок струмів короткого замикання	36
3.3 Вибір обладнання	49
4 Охорона праці.....	52
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.	52
4.2 Мікроклімат	53
4.3 Склад повітря робочої зони.....	54
4.4 Виробниче освітлення.....	56
4.5 Виробничий шум.....	57
4.6 Виробничі вібрації.....	58
4.7 Пожежна безпека.....	60
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
ДОДАТКИ	
ДОДАТОК А Протокол перевірки навчальної роботи	

ДОДАТОК Б Габаритні розміри вакуумного вимикача ВР1

ДОДАТОК В Схема до та після модернізації

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасний стан електроенергетичної галузі України потребує постійного оновлення та модернізації технічного обладнання, що експлуатується на підстанціях різного рівня напруги. Значна частина підстанцій 110/10 кВ досі оснащена масляними вимикачами, які морально та фізично застаріли, мають низький рівень надійності, потребують значних витрат на обслуговування і є екологічно небезпечними через наявність великої кількості трансформаторного масла.

У світлі сучасних вимог до енергоефективності, надійності та безпеки електропостачання, особливо в умовах зростання навантажень і підвищених вимог до стабільної роботи енергосистеми, актуальним є питання заміни масляних вимикачів на більш сучасні й безпечні вакуумні аналоги. Вакуумні вимикачі мають низку переваг: високу комутаційну здатність, мінімальні витрати на обслуговування, довгий термін служби та екологічну безпеку.

Реконструкція підстанцій із використанням вакуумних вимикачів сприятиме підвищенню ефективності роботи електроустановок, зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню рівня автоматизації, надійності та безперервності електропостачання. Саме тому тема даної кваліфікаційної роботи є надзвичайно актуальною та відповідає стратегічному напрямку розвитку енергетичної інфраструктури України.

Мета і задачі дослідження: техніко-економічне обґрунтування та розробка оптимального варіанту реконструкції підстанції 110/10 кВ шляхом заміни масляних вимикачів на вакуумні з метою підвищення ефективності, надійності та безпеки її роботи.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **основні задачі**:

- Провести аналіз існуючого стану підстанцій 110/10 кВ та особливостей експлуатації масляних вимикачів.
- Дослідити принцип дії, технічні характеристики та переваги вакуумних вимикачів у порівнянні з масляними.
- Обґрунтувати доцільність заміни масляних вимикачів на вакуумні з урахуванням сучасних вимог до енергетичних об'єктів.

- Розробити технічне рішення реконструкції підстанції, включаючи вибір типу вакуумного вимикача, схему підключення та елементи захисту.
- Оцінити вплив реконструкції на експлуатаційні характеристики, надійність та безпеку роботи підстанції.
- Розробити рекомендації щодо впровадження проєктних рішень на аналогічних енергетичних об'єктах.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПІДСТАНЦІЇ

1.1 Загальна характеристика вакуумних вимикачів

Вакуумні вимикачі почали активно впроваджуватися в електроенергетиці наприкінці 1970-х років. На початкових етапах розвитку технології були виявлені низка експлуатаційних недоліків, зокрема перенапруга внаслідок обмеження струму, повторне виникнення електричної дуги після переходу струму через нуль та злипання контактів під час коротких замикань. Успішне усунення зазначених проблем стало можливим завдяки вдосконаленню матеріалів контактів та конструкційних рішень. Це дало поштовх до широкого поширення вакуумних вимикачів на ринку високовольтного комутаційного обладнання, де вони нині займають близько 80% ринкової частки, з тенденцією до подальшого зростання.

На відміну від інших типів дугогасильних пристроїв, де використовуються іонізовані гази, у вакуумних вимикачах дуга формується за рахунок іонізованих парів металу, що випаровуються з поверхонь контактів. Це забезпечує ефективне гасіння дуги при мінімально складній конструкції. Торцеві контакти вакуумної камери характеризуються високою стійкістю до зносу та відсутністю впливу агресивних середовищ, що дозволяє уникнути окислення й забруднення контактних поверхонь. Як результат — значне продовження ресурсу вимикача та відсутність потреби в частому обслуговуванні.

Вакуумне середовище має суттєво вищу електричну міцність порівняно з іншими середовищами, що застосовуються у вимикачах. Завдяки малій відстані між контактами та швидкому відновленню діелектричної міцності після вимкнення струму, вакуумні вимикачі забезпечують надійне гасіння дуги навіть у складних режимах комутації. Вакуумні камери є компактними й герметичними, а досвід багаторічної експлуатації підтверджує їхню довговічність та ефективність.

1.2 Принцип роботи та будова вакуумного вимикача

Серед широкого спектру сучасного високовольтного обладнання вакуумні вимикачі займають провідні позиції у забезпеченні надійної комутації електричних ланцюгів. Їх застосування характерне для мереж з рівнем напруги 6–35 кВ. Вони мають номінальну здатність до відключення струму у межах 20–40 кА, а

електродинамічна стійкість становить близько 50–100 кА. Сумарний час спрацювання при аварійному або робочому навантаженні, як правило, не перевищує 45 мс.

Кожна фаза вимикача розміщується в окремому ізолюваному каналі, а загальний механізм приводу забезпечує одночасне керування усіма трьома фазами. Підключення до підстанційної системи здійснюється через вхідні та вихідні клеми. Основні контакти вимикача розташовані у вакуумній камері, що забезпечує стабільне проходження струму та ефективне його вимкнення. Нерухомий контакт закріплений у верхній частині камери, тоді як рухомий переміщується вздовж осі завдяки дії механізму з пружинним натягом і електромагнітним приводом.

Конструкція камери включає металеві та керамічні матеріали високого ступеня очищення, що гарантує герметичність протягом десятків років експлуатації. Для запобігання проникненню повітря при русі контактів передбачено сильфонний ущільнювальний пристрій. Стабільне положення рухомого контакту забезпечується завдяки дії постійного магніту та системи пружин. Усередині корпусу розміщено допоміжні контакти та кінематичні вузли, що забезпечують контроль положення вимикача.

Ключовим елементом конструкції є вакуумна дугогасильна камера, геометрія та параметри якої визначаються вимогами до робочої напруги, струму та типу вимикача. На рисунку 1.1 зображено загальний вигляд вакуумного вимикача у розрізі.

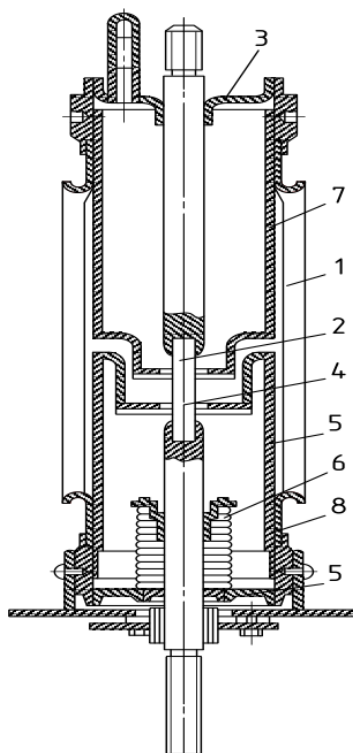


Рисунок 1.1 – Вигляд вакуумної дугогасильної камери

Нерухомий контакт (поз. 2) розміщується всередині циліндричного корпусу (поз. 1), виготовленого з ізоляційного матеріалу, і закріплений на металевому фланці (поз. 3), з яким утворює герметичне з'єднання. Рухомий контакт (поз. 4) приєднаний до фланця (поз. 5) за допомогою сильфона (поз. 6), який виконує роль ущільнювального елемента. Сильфон є гофрованою циліндричною оболонкою, виготовленою з нержавіючої сталі, що забезпечує герметичність вакуумної камери в процесі роботи.

Максимальне переміщення контактів становить 20 мм, при цьому конструкція камери зберігає достатню механічну міцність. Захисні екрани (поз. 7 і 8) призначені для запобігання осіданню металевих парів на внутрішні стінки ізоляційного корпусу. Без застосування екранів метал, що випаровується з електродів під час комутації, міг би утворити провідні шляхи на ізоляційній поверхні, що призвело б до зниження електричної міцності проміжку між контактами. Екрани також забезпечують рівномірний розподіл електричного поля, що позитивно впливає на стабільність роботи вимикача.

У сучасних вакуумних вимикачах робочий тиск усередині дугогасильної камери становить від 10^{-4} до 10^{-6} Па. Зусилля, що забезпечує контакт між рухомими й нерухомими контактами, створюється за рахунок атмосферного тиску. Для

вимикачів, розрахованих на великі номінальні струми, додатково застосовуються контактні пружини для підвищення притискного зусилля.

У момент розмикання контактів виникає дуга, що формується через утворення рідкого металевго мосту, який утворюється з матеріалу електродів. Через високу щільність струму міст швидко нагрівається, що спричиняє зростання питомого опору, його випаровування та появу дуги у середовищі металевих парів. Такий тип дуги має назву вакуумна. Її характерною ознакою є низьке дугове напруження — у межах 20–40 В, а при струмах великої величини (10–100 кА) воно може підвищуватись до 50–200 В.

При проходженні струму через нуль дуга гасне. Низька концентрація залишкових частинок у вакуумному середовищі забезпечує високу швидкість відновлення діелектричної міцності — менш ніж за 10 мкс. В умовах однорідного магнітного поля електрична напруженість у камері може досягати значення 105 В/мм.

1.3 Основні переваги вакуумних вимикачів у порівнянні з іншими типами

1. Підвищена надійність експлуатації.

Одним з ключових показників якості роботи вимикача є його надійність, яка визначається частотою відмов, часом, необхідним для відновлення працездатності, а також періодичністю та тривалістю регламентного технічного обслуговування. Вакуумні вимикачі практично не потребують регулярного сервісу. Згідно з експлуатаційними рекомендаціями, достатньо здійснювати перевірку раз на 3–5 років, яка включає випробування високою напругою ізоляції та дугогасильної камери, а також вимірювання контактного опору.

2. Мінімальні витрати на експлуатацію.

Економічність вакуумних вимикачів значною мірою обумовлена відсутністю потреби в робочому середовищі для гасіння дуги, зокрема в трансформаторному маслі. Завдяки герметичності вакуумної камери та високій зносостійкості контактів, витрати на технічне обслуговування істотно знижуються. Це також мінімізує кількість аварійних відключень і пов'язаних із ними простоїв у системах електропостачання.

3. Високий ресурс комутацій та механіки.

Вакуумні вимикачі здатні витримувати до 50 000 циклів комутації при номінальному струмі без зниження технічних характеристик. При цьому струм відключення короткого замикання може досягати від 20 до 200 кА залежно від конструкції та типу дугогасильної камери. У порівнянні з масляними або електромагнітними вимикачами, які вимагають огляду після значно меншої кількості циклів, вакуумні пристрої забезпечують вищу механічну стабільність. Це пов'язано з коротким ходом контактів (6–12 мм при 6–10 кВ), що дозволяє спростити привід і зменшити навантаження на механізми, зменшуючи знос та частоту обслуговування.

4. Високий рівень безпеки та екологічна чистота.

Вакуумні вимикачі не потребують робочого середовища, здатного підтримувати горіння, що виключає ризик загоряння або вибуху при аварійних режимах. Відсутність викидів шкідливих речовин, мастильних рідин та газів дозволяє застосовувати ці пристрої у вибухонебезпечних або агресивних середовищах. Невеликі розміри та маса при тих же електричних параметрах забезпечують зручність монтажу та експлуатації.

Завдяки своїм характеристикам вакуумні вимикачі дедалі частіше використовуються не лише у нових розподільчих пристроях, але й при модернізації діючих систем, де вони замінюють застарілі масляні або повітряні аналоги. Попри те, що їх вартість перевищує ціну вимикачів з низьким вмістом масла лише на 5–15%, зниження експлуатаційних витрат робить їх економічно доцільним вибором для електричних мереж середньої напруги (6–10 кВ та 35 кВ).

1.4 Вакуумний вимикач серії ВР1

Вакуумні вимикачі серії ВР1, виготовлені Рівненським заводом високовольтної апаратури «РЗВА – Електрик», призначені для реалізації стандартних комутаційних операцій в електричних колах. Вони забезпечують надійну роботу в умовах аварійних режимів у трифазних мережах змінного струму з частотою 50 або 60 Гц і номінальною напругою в межах від 6 до 10 кВ. Вимикачі ефективно застосовуються в системах із ізолюваною або частково заземленою нейтраллю.

Модифікації ВР1, що є вдосконаленою версією попередньої моделі ВМ1С-10, призначені для використання у сучасних комплектних розподільних пристроях

(КРУ). Їх монтаж здійснюється у класичному варіанті розташування — у нижній частині шафи на вкатному візку, що забезпечує зручність обслуговування та експлуатації.

Завдяки високій надійності та відповідності вимогам сучасної електроенергетики, вимикачі серії ВР1 широко застосовуються для заміни морально та фізично застарілого обладнання у процесі модернізації розподільних пристроїв, які були встановлені в попередні роки



Рисунок 1.2 - Вид вакуумний вимикач серії ВР1

Ось перефразований варіант тексту у формі, що відповідає вимогам до технічного стилю наукової роботи:

Вакуумний вимикач серії ВР1 має три полюси, кожен з яких містить герметично залиту вакуумну дугогасильну камеру (ВДК), встановлену на загальній опорній конструкції. Привід електромагнітного типу вбудований у корпус вимикача та забезпечує перемикання контактної системи. Сердечник приводу з'єднаний із головним валом перемикання через проміжний механізм — вал і тягу. Вал, у свою чергу, сполучений з ВДК через ізоляційний шток, який під час обертання регулює положення контактів вимикача та елементів зовнішнього допоміжного кола. У гнізді штока встановлено дискову пружину, яка створює необхідне контактне зусилля для надійного з'єднання у ВДК.

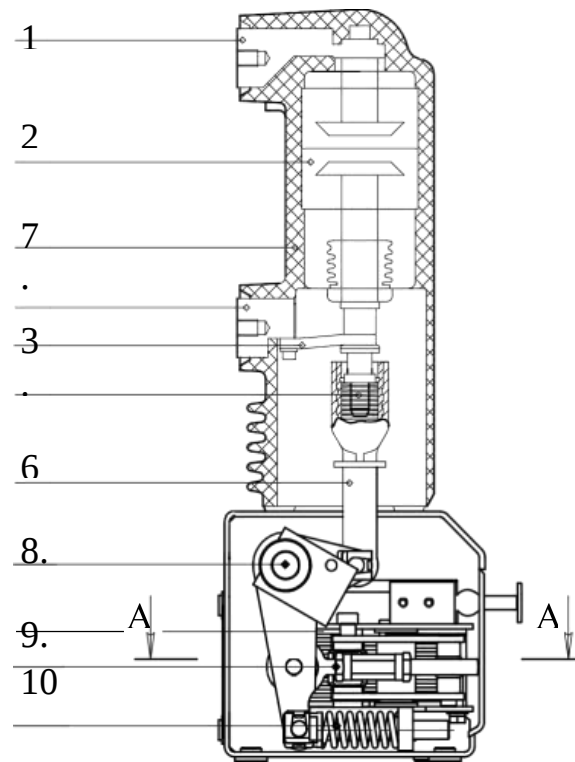
Система керування вимикачем реалізована на базі друкованих плат, що монтуються безпосередньо на корпус пристрою. Нова генерація литих полюсів, що використовується в серії ВР1, істотно розширює функціональні можливості вимикача. Вакуумна камера, залита епоксидною компаундною речовиною, забезпечує надійний захист електроніки від зовнішніх механічних впливів і електричних перевантажень. Конструкція полюсних ізоляторів із трубчастим профілем дозволяє досягти рівномірного розподілу електричного поля, при цьому зменшується як відстань між полюсами, так і до заземлених елементів розподільного пристрою. Оптимальна форма струмопровідної планки перешкоджає накопиченню пилу на поверхнях ізоляції.

Сучасний багатофункціональний електромагнітний привід вимикача виконує такі основні завдання:

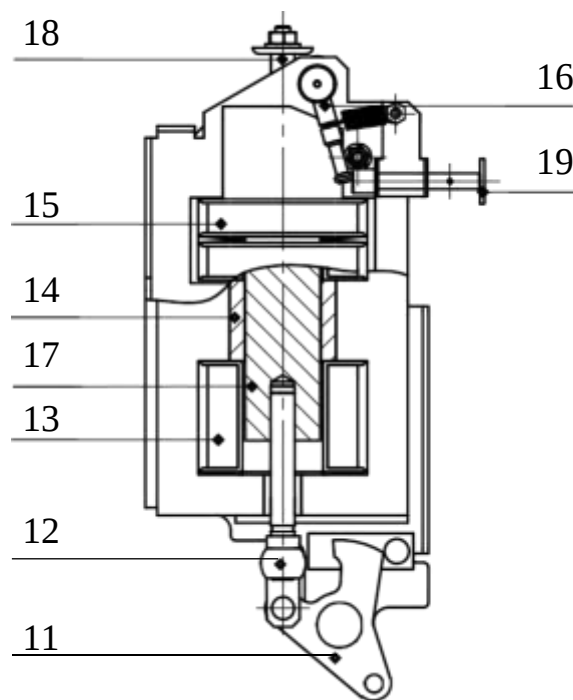
- стабільне і надійне вмикання відповідно до нормативних характеристик;
- гарантоване відключення в нормованих умовах;
- фіксація приводу в положеннях «Увімкнено» та «Вимкнено» завдяки вбудованому магнітному замку;
- забезпечення можливості ручного вимкнення при необхідності.

Крім основних функцій, привід також характеризується:

- низьким рівнем енергоспоживання в режимах комутації;
- здатністю працювати як у колах постійного, так і змінного струму;
- компактністю та незначною вагою;
- відсутністю потреби в буферизації або точному налаштуванні;
- повною відмовою від технічного обслуговування протягом усього терміну експлуатації.



а)



б)

Рисунок 1.3 - Конструкція А) полюса та Б) привода вимикача серії ВР1.

- 1 — контакт верхнього розташування;
- 2 — вакуумна камера для гасіння електричної дуги (ВДК);
- 3 — нижній струмопровідний контакт;
- 4 — гнучкий провідник (зв'язок) між контактами;

- 5 — пружина, яка забезпечує контактне притискання;
- 6 — ізоляційний шток (тяга);
- 7 — ізоляційна опора (каркас) полюса;
- 8 — головний (основний) вал перемикавання;
- 9 — електромагнітний елемент приводу;
- 10 — регульовальна тяга для точного налаштування механізму;
- 11 — допоміжний (проміжний) вал;
- 12 — вставка для механічного ввімкнення;
- 13 — котушка керування вмиканням;
- 14 — постійний магніт, який фіксує положення механізму;
- 15 — котушка для ініціювання відключення;
- 16 — ручний механізм вимкнення;
- 17 — магнітопровід (сердечник);
- 18 — шток для ручного відключення;
- 19 — кнопка ручного вимикання;
- 20 — пружина для забезпечення відключення контакту.

Технічна послідовність увімкнення та вимкнення вакуумного вимикача ВР1 (рисунок 1.3):

- Під час вмикання електромагнітна котушка створює поле, яке втягує сердечник (поз. 17), активуючи вставку вмикання (поз. 12).
- Вставка, обертаючись, приводить у дію проміжний вал (поз. 11), який через регульовальну тягу (поз. 10) передає обертальний момент на головний вал (поз. 8).
- Ізоляційна тяга (поз. 6) разом із рухомим контактом вакуумної камери піднімаються, сприяючи замиканню контактної пари.
- Під дією пружини (поз. 5) забезпечується щільний контакт усередині ВДК.
- Коли сердечник досягає крайнього положення, активується магнітний фіксатор (поз. 14), який утримує контакти у замкнутому стані. Після цього котушка вмикання (поз. 13) знеструмлюється.

Процес вимкнення відбувається за наступним алгоритмом:

- Команда на вимкнення надходить від блоку керування, спрямовуючи струм до котушки вимкнення (поз. 15), яка формує електромагнітне поле, що перевищує дію постійного магніту.
- Під його впливом сердечник (поз. 17) переміщується у зворотному напрямку, через проміжний вал (поз. 11) та регулювальну тягу (поз. 10) приводячи у дію головний вал (поз. 8).
- В результаті рухомий контакт і ізоляційний шток опускаються, контакт розмикається.
- Наприкінці ходу сердечник замикає ланцюг для розмагнічування постійного магніту, котушка (15) знеструмлюється, і привід повертається у вихідне положення.

Можливість ручного вимкнення: Вимикач дозволяє здійснювати вимкнення вручну за допомогою спеціальної рукоятки, яка з'єднується з ручним приводом (поз. 16). Поворот рукоятки проти годинникової стрілки (до 180°) викликає дію кулачка на вставку вимкнення (поз. 18), що активує переміщення сердечника (17) для вимкнення. Запас енергії у вимикаючій пружині гарантує повне й контрольоване розмикання.

Блок керування вимикача серії BP1 інтегровано безпосередньо в корпус пристрою. Він підтримує роботу як на змінному, так і на постійному струмі. Завдяки схемотехнічному рішенню вимикач здатен функціонувати у всіх стандартних режимах. Передбачено також наявність блоку резервного відключення, який автоматично вимикає комутатор у разі короткого замикання та тривалої відсутності живлення. Блок також забезпечує дистанційне керування вмиканням із зовнішнього джерела.

У випадках зниженого рівня напруги (понад 10 годин), вимикач функціонує завдяки перетворенню струму в первинному колі в підвищену напругу (до 220 В), яка забезпечується діодним мостом та каскадом множення напруги з зарядом конденсатора.

Основні переваги вимикача серії BP1:

- Надійна робота впродовж тривалого часу;
- Високий механічний та електричний ресурс;
- Збереження функціональності відключення навіть без наявності робочої напруги;

- Можливість повторного вмикання у разі повторної команди;
- Блокування перемикачів у розподільному пристрої при увімкненому стані;
- Забезпечення коректної роботи при номінальних комутаційних струмах;
- Відсутність необхідності технічного обслуговування полюсів та приводів протягом усього терміну експлуатації;
- Подовжений гарантійний термін.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМІНИ МАСЛЯНОЇ КОМУТАЦІЙНОЇ АПАРАТУРИ

2.1 Загальна характеристика масляного вимикача

Вимикач є електротехнічним пристроєм, що має два стани – "включено" та "вимкнено" – і призначений для неодноразового комутаційного впливу на електричні кола. У випадках, коли процес замика́ння та розмика́ння контактів відбувається в масляному середовищі, такий пристрій класифікується як масляний вимикач.

Масляні вимикачі були одними з перших типів комутаційних апаратів, які знайшли широке застосування в електроенергетичних системах з кінця XIX століття. Їх класифікація базується на принципі гасіння дуги та способі ізоляції струмопровідних елементів. Основні різновиди:

- Маломасляні вимикачі – застосовують масло переважно як дугогасильне середовище, при цьому ізоляція струмоведучих частин виконується за допомогою твердих діелектриків.
- Бакові масляні вимикачі – використовують масло як основне середовище як для гасіння дуги, так і для електричної ізоляції контактних елементів.

Одним із найбільш відповідальних завдань для будь-якого вимикача є надійне відключення струмів короткого замикання. Вимоги до масляних комутаційних пристроїв включають:

- здатність ефективно розривати струми перевантаження та короткого замикання;
- забезпечення комутації без взаємковіного впливу на сусідні пристрої;
- стійкість до дії комутаційних перенапруг та робочих імпульсів;
- збереження електричної міцності ізоляції при дії короточасних перенапруг;
- тривале проведення номінального струму без перегріву струмопровідних елементів;
- здатність витримувати динамічні та механічні навантаження в нормальних експлуатаційних умовах.

Основне завдання при проєктуванні високовольних вимикачів — забезпечення надійного комутаційного процесу як у штатних, так і в аварійних режимах роботи електричних мереж.

У включеному стані опір вимикача має бути практично нульовим, а у вимкненому — прагнути до нескінченності. Цього досягають за допомогою ефективних методів гасіння електричної дуги. Під час вимкнення дуже важливо, щоб опір дугового проміжку різко зростав у момент проходження струму через нуль. Це дозволяє уникнути повторного пробоя та забезпечує гасіння дуги. Аналогічна ситуація може спостерігатись і при комутації в колах із напівпровідниковими перетворювачами.

Існує два основні способи надійного вимкнення електричного кола:

1. Покращення впливу на дугу, що забезпечує швидке підвищення опору плазми після проходження струму через нуль;
2. Зменшення амплітуди та швидкості зростання рекуперативної напруги, яка прикладається до контактного проміжку після розриву дуги. Це сприяє підтриманню електричної міцності у момент переходу через нуль.

Усі сучасні вимикачі так чи інакше застосовують перший підхід.

Електрична дуга має специфічні фізичні властивості, які впливають на комутаційні процеси. Вона здатна переносити великі струми без обмежень, має високу рухливість і може простягатися на значні відстані. Ці властивості дозволяють ефективно впливати на дуговий стовп за допомогою магнітного поля, що створюється самим струмом. Керований вплив на дугу сприяє її переміщенню та подовженню, що полегшує процес гасіння. Завдяки цьому підвищується стабільність роботи вимикача під час перехідних процесів.

2.1 Принцип функціонування масляного вимикача та особливості його конструкції

Метод гасіння електричної дуги в масляному середовищі з часом набув значного поширення у конструкціях автоматичних вимикачів для мереж змінного струму з рівнем напруги від 6 до 10 кВ, а згодом і в апаратах на напругу від 35 до 220 кВ. У момент розмикання контактів, коли утворюється електрична дуга, її температура досягає 5000–6000 °С. Такий термічний вплив спричиняє інтенсивне

випаровування масла, яке використовується як дугогасильне середовище, а також розклад його молекул.

Навколо дуги формується специфічна область – своєрідна газова порожнина, частково заповнена парами масла, а частково – продуктами його термічної дисоціації (див. рис. 2.1). Основними складовими цієї газової суміші є водень (приблизно 70%), ацетилен (близько 17%) та метан (близько 9%), а також незначна кількість інших вуглеводневих сполук. Крім того, у процесі розпаду утворюється незначний обсяг вільного вуглецю, який може осідати на елементах конструкції вимикача.

Завдяки своїм фізичним властивостям, водень відіграє ключову роль у процесі охолодження дуги: він має найвищу теплопровідність серед усіх газів, а також мінімальну динамічну в'язкість. Саме ці характеристики зумовлюють ефективне поглинання тепла і, як наслідок, високу дугогасильну здатність газового середовища, яке утворюється під час розкладу масла.

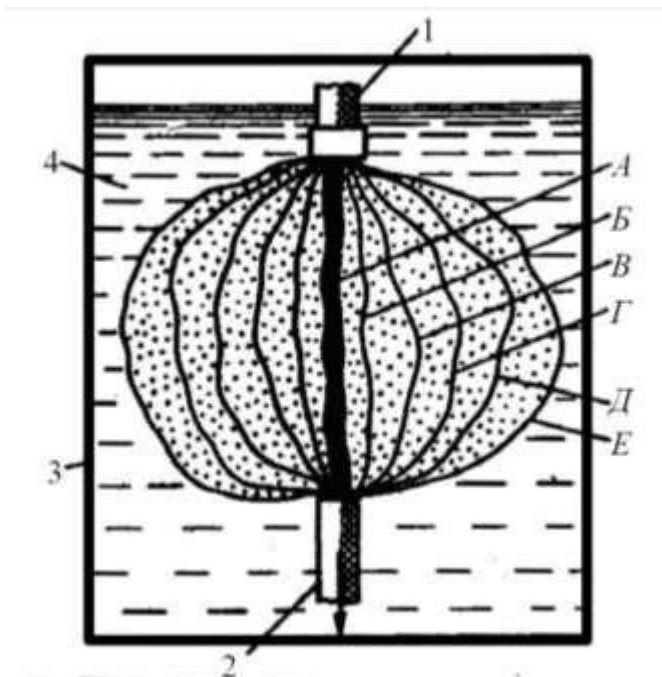


Рисунок 2.1 – Електрична дуга в сфері газового пузиря в маслі;
1 – нерухомий контакт; 2 – рухомий контакт; 3 – стінки бака; 4 – масло; А – стовп дуги, Б – воднева оболонка; В – зона розпаду; Г – зона газу; Д – зона пару; Е – зона випару.

2.2 Процеси гасіння дуги в масляному середовищі

У процесі утворення електричної дуги нагріті масляні пари зазнають інтенсивного розширення. Цьому розширенню протидіють як утворені довкола

дуги газові бульбашки, так і механічна інерція конструктивних елементів, зокрема стінок дугогасильної камери або бака. Потік газу, що утворюється внаслідок розкладу масла та рухається з великою швидкістю, проникає безпосередньо у зону дугового стовпа. Це призводить до формування парогазової суміші, в якій гарячі продукти змішуються з холоднішими газами, що, у свою чергу, забезпечує інтенсивне охолодження дуги та її деіонізацію, особливо в момент переходу струму через нульове значення. Цей ефект сприяє природному згасанню дуги.

Швидкий процес розкладу масла, який можна охарактеризувати як вибухоподібний, спричиняє суттєве підвищення тиску всередині газової бульбашки. Це зростання тиску сприяє підвищенню електричної міцності в залишковій області між контактами. У звичайних масляних вимикачах тиск у бульбашці може досягати 0,5–1 МПа, а в конструкціях із дугогасильними камерами — ще вищих значень. Таке підвищення тиску істотно покращує процес згасання дуги, оскільки прискорює відновлення діелектричної міцності.

Зазначимо, що термічний розклад масла супроводжується утворенням парогазової суміші, що включає близько 30–35% енергії, яку поглинає дуга. Це позитивно впливає на ефективність гасіння. Якщо дуга горить у відкритій бульбашці, не обмеженій об'ємом, температура суміші коливається в межах 800–1000 К. У разі обмеженого простору температура парогазової суміші при великих струмах може сягати 2000–2500 К, що свідчить про більший тепловідбір від дуги в таких умовах.

Ефективність гасіння дуги в маслі значною мірою залежить від інтенсивності взаємодії дуги з рідким середовищем, а також від швидкості переміщення самої дуги. При цьому довкола дуги формується відносно стабільна парогазова оболонка. Однак вплив масла зростає, коли дуга локалізується в герметизованій дугогасильній камері, де забезпечується тісний контакт дуги з рідким середовищем.

У таких камерах виникає концентрований вплив теплової енергії дуги на навколишнє масло, що супроводжується генерацією газів і парів. Цей ефект суттєво підвищує напруженість електричного поля в осьовому напрямку, сприяє пришвидшеній деіонізації та скорочує тривалість горіння дуги. У міру віддалення дуги від початкової точки контакту збільшується як її довжина, так і розмір газової

оболонки. Коли довжина дуги досягає критичного значення, її згасання відбувається в момент природного переходу струму через нуль.

Високий вміст водню в утвореній газовій оболонці пояснює високу ефективність трансформаторного масла як дугогасильного середовища.

У баках великого об'єму, в яких застосовуються масляні вимикачі, продукти горіння, що виходять із камери, переходять у рідке масло, де частина парів конденсується, а гази охолоджуються, проходячи крізь верхній шар масла. Лише після цього охолоджена газова суміш виходить у простір між рівнем масла та кришкою бака. Якщо об'єм масла недостатній, газова суміш (переважно водень, метан) може залишатися перегрітою. Потрапляння гарячого газу у вільний простір бака може спричинити вибух.

Щоб запобігти цьому, в конструкцію вимикача вводиться масловідділювач — пристрій, який конденсує пари масла та забезпечує ефективне охолодження продуктів розкладу перед їх викидом у повітряний простір.

На рисунку 2.2 представлено конструктивну схему бакового масляного вимикача з одинарним (або подвійним) розривом електричного кола. На схемі зображено процес замикання контактів, під час якого спостерігається утворення двох послідовних електричних дуг. До основних конструктивних елементів вимикача належать: масляний бак (1), верхня кришка (2), прохідні ізолятори (3), механізм приводу (позиції 5–10), а також контактна система (11 і 12).

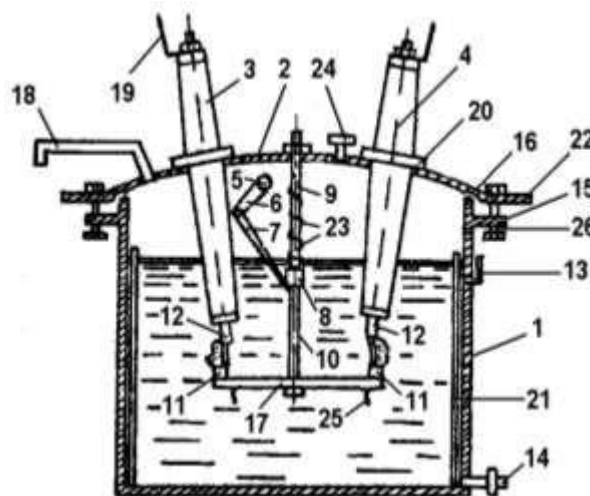


Рисунок 2.2 - Конструктивна схема вимикача масляного

Корпуси масляних вимикачів виготовляються зі зварених сталевих листів і можуть мати різноманітну геометричну форму — прямокутну, круглу чи овальну.

Щоб запобігти пробоям між контактами і заземленими елементами у вимкненому стані, внутрішня поверхня корпусу покривається одним або кількома шарами діелектричних матеріалів (наприклад, електрокартон або фанера, бар'єр 21). У конструкції однокамерних вимикачів передбачено додаткові перегородки між фазами, які запобігають міжфазним коротким замиканням.

Бак оснащується такими елементами, як показчик рівня масла (13) і зливний кран (14). Для апаратів з напругою до 35 кВ передбачено знімну кришку з привареним хомутом (15) для кріплення бака. У моделях із вищою напругою кришка жорстко приварюється, а фіксація здійснюється через опорне кільце з ніжками на фундаменті. Технічне обслуговування внутрішніх компонентів здійснюється через сервісний люк після зливу масла. Вимикачі на 10 кВ зазвичай комплектуються колесами, що полегшує підйом і опускання бака.

Кришки баків мають різну конструкцію залежно від класу напруги: чавунні — для 10 кВ, сталеві зварні — для високих напруг. У кришці передбачені отвори для кріплення струмоведучого штиря (4) та введення приводних механізмів (5–10), а також місця для фіксації вимикача до рами або опорної конструкції. Конструкція підвісу підібрана таким чином, щоб забезпечити безпечний доступ до контактів при опущеному баку.

Герметичність стику кришки з баком забезпечується ущільнювальним елементом (16), а для заповнення маслом передбачено заливний отвір (24) та випускний патрубок (18) з вологозахисним клапаном. Через фланцеві з'єднання (20) до кришки приєднується прохідний ізолятор, який легко замінюється при пошкодженні. До його внутрішньої частини кріпиться нерухомий контакт (12), а до зовнішньої — струмопровідний штир (19).

Привідна частина вимикача має кривошипно-шатунний механізм, який перетворює обертальний рух вала (5) на поступальний рух контактів. Вал обладнаний кривошипом (6), який через шатун (7) з'єднаний з траверсою (8), що ковзає напрямними (9). Остання має окрему пружину (23), яка стискається при вимиканні. До траверси кріпляться ізоляційні стержні (10), на яких закріплений контактний вузол (17) з рухомим контактом (11). Включене положення фіксується за допомогою механічної засувки.

Контактна система є критично важливим елементом конструкції. Вона вимагає регулярного технічного обслуговування. Нерухомі контакти приєднуються до струмопровідних частин або до майданчиків на стрижнях. У деяких моделях застосовуються дугогасильні та головні (силові) контакти, що зменшує зношування основних контактів, оскільки дуга горить лише на спеціальних дугогасильних елементах. Тиск у контактному з'єднанні створюється за допомогою пружин стискання (25).

Бак повністю не заповнюється маслом — над його рівнем залишається повітряний простір, з'єднаний із атмосферою через газовідвідну трубу. Під час виникнення дуги тиск різко підвищується, що спричиняє виштовхування повітря через трубу та зменшує гідроудар по стінках. За умов, коли рівень масла перевищує норму, буфер швидко переповнюється, що може спричинити пошкодження бака або кришки. Для запобігання таким випадкам встановлюються захисні елементи — трубки (26), клапани або мідні мембрани, що розриваються при критичному тиску.

Кількість масла в перемикачі повинна бути оптимальною: достатньою для гасіння дуги, але не надлишковою, щоб уникнути аварій. Надто низький рівень масла підвищує ризик вибуху через можливість займання газоподібної суміші водню та кисню. Саме тому багатооб'ємні масляні вимикачі класифікуються як пожежо- та вибухонебезпечні пристрої.

2.1 Вимикач типу WMSWPI-10/6/3,5

Автоматичні вимикачі моделі WMSWPI-10/6/3,5 використовуються у внутрішніх комплектних розподільчих пристроях (КРУ) середньої напруги — в діапазоні від 6 до 10 кВ. Вони призначені для експлуатації в електроустановках із номінальними струмами 600, 1000 і 1600 А, а також забезпечують відключення струмів короткого замикання до 20 кА.

Ця модель вимикача оснащена інтегрованим пружинним приводом і розрахована на струми від 630 до 3150 А. Максимальні значення струмів відключення можуть досягати 20 або 31,5 кА залежно від виконання. Загальна конструктивна схема апарата, призначеного для роботи при струмах у вказаному діапазоні, подана на рисунку 2.3.

Особливістю даного вимикача є наявність двох паралельних контурів: один забезпечує спрацьовування (вмикання/вимикання), інший — ефективне гасіння

електричної дуги. Контакт, що відповідає за спрацьовування, розташований на зовнішній стороні корпусу, тоді як дугогасильний елемент розміщується всередині пристрою.

Об'єм ізоляційного масла, необхідний для експлуатації апаратів, призначених на струми від 630 до 1600 А, становить приблизно 5,5 кг.

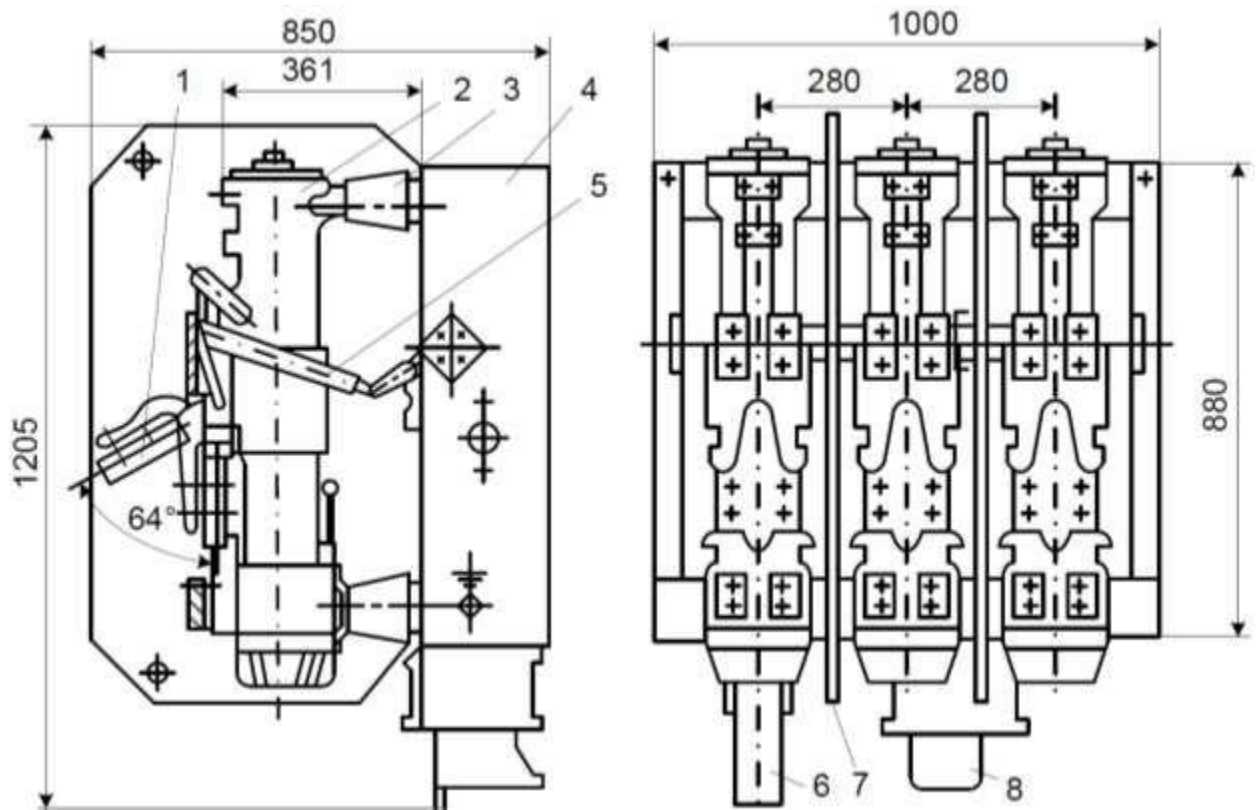


Рисунок 2.3 - Загальний вигляд вимикача WMSWPI-10/6/3,5.

1 - робочий рухомий контакт; 2 - корпус вимикача; 3 - ізолятор; 4 - сталеварама; 5 - ізоляційна тяга; 6 - контактор; 7- ізоляційна перегородка; 8 - привод.

Максимальна кількість комутацій (увімкнень і вимкнень), яку здатен виконати пружинний механізм приводу без додаткового заведення після повного натягу робочих пружин, становить три операції. При цьому тривалість процесу заведення пружинного механізму на три цикли, навіть за умов мінімальної допустимої напруги живлення, не перевищує 30 секунд.

Конструкція полюса вимикача (див. рисунок 2.4) виконана у вигляді циліндричного корпусу з вологозахищеного ізоляційного матеріалу — склопоксидного композиту. На торцях цього циліндра закріплені металеві фланці. До верхнього торця приєднано корпус із легкого алюмінієвого сплаву, у якому розміщено випрямляч живлення приводу, рухомий контактний стрижень,

струмознімальний ролик і пристрій для відокремлення масла. Нижній фланець із силумінового сплаву закрито кришкою, в яку встановлюється розетковий контакт; зовнішня частина кришки обладнана зливною пробкою для видалення масла.

Усередині ізоляційного циліндра, над розетковим контактом, розташована дугогасильна камера, сформована з діелектричних пластин, які мають спеціально сформовані отвори. Конструктивно ці пластини створюють три окремих бічних канали, а також формують масляну кишеню для ефективного гасіння електричної дуги.

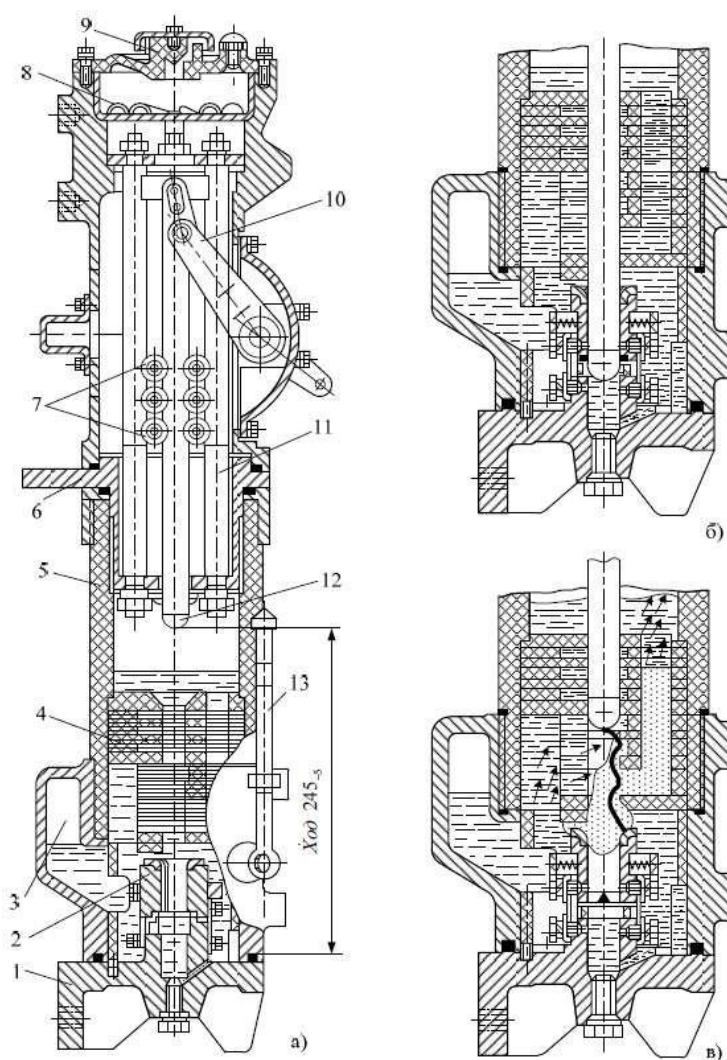


Рисунок 2.4 - Переріз полюса вимикача WMSWPI-10/6/3,5: а положення "Вимкнено"; б положення "Увімкнено"; в процес вимикання / нижній вивід і кришка вимикача; 2 - нерухомі контакти; 3 - повітряна подушка; 4 - гасильна камера; 5 - ізоляційний циліндр; 6 - верхній вивід; 7 - роликовий струмознімальний контакт; 8 - масловіддільник, 9 - кришка; 10 - привідний механізм; 11 – направляючий стержень; 12 - рухомий контакт; 13 –

показчик рівня масла.

У замкнутому стані контактний стрижень перебуває в з'єднанні з гніздом (рисунок 2.4 б). При розмиканні привід вивільняє перемикальну пружину, яка встановлена у рамі механізму. Її зусилля передається на перемикальний вал, що обертається і передає обертальний рух через ізоляційну тягу до механізму перемикання, який, у свою чергу, зумовлює поступальний рух контактного стрижня вгору.

У момент роз'єднання контактів формується електрична дуга, в результаті чого масло починає інтенсивно випаровуватись і розкладатися. Спочатку контактний стрижень перекриває бічний канал дугогасильної камери, що призводить до різкого підвищення тиску. Частина масла витісняється до буферного об'єму, стискаючи повітря усередині. Після відкриття першого поперечного каналу починається поперечний викид парогазової суміші. Коли струм проходить через нуль, стислий газ із буфера витісняє масло у зону гасіння, діючи подібно до поршня (рисунок 1.7 б).

При вимиканні великих струмів виникає потужне поперечне дуття, яке забезпечує ефективне гасіння дуги у нижній частині камери. При комутації малих струмів дуга переміщується слідом за контактним стрижнем, спричиняючи випаровування масла в спеціальній кишені у верхній частині камери. Це призводить до формування радіального потоку в напрямку до дуги, а після виходу стрижня з камери — до поздовжнього імпульсу. Час гасіння дуги при будь-яких струмах становить лише 15–25 мілісекунд.

Для підвищення зносостійкості контактів застосовуються змінні наконечники й верхні торці рухомих елементів. Фіксовані контакти виготовлені з термостійкої металокераміки. Після завершення гасіння дуги продукти розкладу — пари й газу — спрямовуються у верхню частину корпусу, де відбувається конденсація парів масла. Газ виводиться назовні через спеціальний отвір у верхній кришці. Після повторного заповнення дугогасильної камери маслом вимикач готовий до нового циклу роботи. Рівень масла контролюється за допомогою індикатора, а якість масла повинна відповідати встановленим вимогам до електроізоляційних рідин.

У разі забруднення масла або обвуглення каналів у камері можуть виникнути витоки струму між контактами навіть у розімкненому стані, що знижує електричну міцність.

Основні переваги масляного вимикача:

- Високий рівень відключаючої здатності;
- Придатність до встановлення у відкритих електроустановках;
- Можливість інтеграції з вбудованими трансформаторами струму.

Недоліки бакових масляних вимикачів:

- Потенційна небезпека вибуху й загоряння;
- Необхідність регулярного технічного обслуговування та контролю рівня масла;
- Значна потреба в маслі;
- Потреба у великих запасах масла на об'єкті;
- Обмежена швидкодія, що не відповідає вимогам до сучасних АВР-систем;
- Висока металоємність і маса конструкції;
- Складність у транспортуванні, монтажі та регулюванні.

2.2 Порівняльний аналіз вакуумних та масляних вимикачів з метою оновлення обладнання підстанції

Одним із ключових параметрів вимикача є його здатність витримувати механічні навантаження. Вважається, що чим менш складна конструкція апарата, тим вищий його механічний ресурс. У цьому аспекті вакуумні вимикачі мають перевагу: вони характеризуються простою конструкцією та високою механічною надійністю. На противагу їм, масляні вимикачі мають складнішу будову, що негативно впливає на їхню міцність.

Ще одним суттєвим фактором є електрична міцність дугового проміжку. У вакуумних вимикачах, навіть у тих, що працюють на напрузі до 110 кВ, ізоляційне середовище (вакуум) забезпечує високий рівень електричної міцності. Для масляних аналогів ця характеристика суттєво нижча, що знижує їх ефективність при гасінні дуги.

Важливою характеристикою також є комутаційний ресурс, тобто кількість операцій увімкнення та вимкнення, яку може здійснити пристрій без зниження

надійності. Цей ресурс залежить від величини струмів, які перемикаються: чим вони вищі, тим швидше зношується внутрішня частина вимикача. У вакуумних апаратах після вичерпання ресурсу зазвичай виконується заміна всього пристрою. У масляних вимикачах, натомість, вже після кількох комутацій струмів короткого замикання потрібен капітальний ремонт. Це пов'язано з деградацією трансформаторного масла, яке втрачає свої діелектричні та дугогасильні властивості і потребує заміни.

Ще одним аспектом, що впливає на вибір, є маса та габарити пристроїв. Вакуумні вимикачі є компактнішими і значно легшими в порівнянні з масляними аналогами, що містять великі об'єми масла.

У процесі експлуатації також важливим є обсяг обслуговування. Вакуумні вимикачі завдяки простоті конструкції не потребують спеціального технічного обладнання для обслуговування і, як правило, не викликають труднощів під час планових оглядів. У той же час масляні вимикачі вимагають значно більше часу, зусиль і ресурсів для технічного обслуговування та ремонту, особливо при аварійних ситуаціях.

З точки зору пожежної безпеки, масляні вимикачі становлять потенційно небезпечний елемент, оскільки містять трансформаторне масло — легкозаймисту речовину. Тому для розподільних пристроїв з такими вимикачами висувуються додаткові вимоги до протипожежного захисту. Вакуумні вимикачі, завдяки відсутності горючих матеріалів у своїй конструкції, не мають таких ризиків.

Окрему увагу слід приділити впливу вимикачів на довкілля. Масляні пристрої через можливі витіки масла з баків становлять екологічну загрозу, оскільки ці рідини можуть потрапляти в ґрунт. Вакуумні вимикачі, натомість, є безпечнішими для навколишнього середовища — вони не містять токсичних компонентів, а процес гасіння дуги відбувається в герметичному вакуумному середовищі без участі зовнішніх речовин.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз вакуумних та масляних вимикачів

Характеристика	Масляний вимикач	Вакуумний вимикач
Конструктивна складність	Складна	Проста
Механічна міцність	Низька	Висока
Електрична міцність дугового проміжку	Середня	Висока

Комутаційний ресурс	Обмежений, потребує капітального ремонту після 5–7 відключень	Високий, не потребує обслуговування до вичерпання ресурсу
Габарити та маса	Великі, важкі	Компактні, легкі
Складність обслуговування	Потребує спеціального обладнання	Просте обслуговування, мінімальні витрати
Пожежна безпека	Пожежонебезпечний через наявність масла	Абсолютно безпечний, відсутність горючих речовин
Екологічність	Негативний вплив у разі витоку масла	Екологічно безпечний
Тривалість роботи без обслуговування	Коротша, залежить від стану масла	Більша, залежить від ресурсу вакуумної колби
Час гасіння дуги	Від 0,02 до 0,05 с	Менше 0,02 с
Вартість експлуатації	Висока через часте технічне обслуговування	Нижча завдяки мінімальній потребі в обслуговуванні

2 ВИБІР КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

2.1 Умови вибору комутаційних апаратів

При виборі вимикача необхідно враховувати 12 різних параметрів, але завод-виробник гарантує певну залежність параметрів.

Наприклад:

$$I_{\text{ВКЛ,НОМ}} \geq I_{\text{ВИМ,НОМ}}; i_{\text{ВКЛ,НОМ}} \geq 1,8I_{\text{ВИМ,НОМ}},$$

припустимо робити вибір вимикача за найважливішими параметрами: за установки напругою $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{НОМ}};$

за струмом тривалим $I_{\text{НОМ}} \leq I_{\text{НОМ}};$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{НОМ}};$$

здатністю вимикальною.

Проводиться перевірка у першу чергу за умовою на симетричний струм вимкнення:

$$I_{\text{П,}\tau} \leq I_{\text{ВИМ,НОМ}};$$

Потім проводиться перевірка вимкнення аперіодичної складової струму КЗ:

$$i_{\text{а,}\tau} \leq i_{\text{а,НОМ}}\sqrt{2} = \beta_{\text{Н}}I_{\text{ОТК,НОМ}}/100,$$

де $i_{\text{а,НОМ}}$ – допустиме номінальне значення неперіодичної складової струму розриву в момент часу τ ; $\beta_{\text{Н}}$ – нормована величина (%) аперіодичної складової струму вимикання; $i_{\text{а,}\tau}$ – аперіодична складова струму короткого замикання при розриві контактів τ ; τ – мінімальний час від початку короткого замикання до моменту відриву дугогасного контакту:

$$\tau = t_{\text{з,мін}} + t_{\text{с,в}};$$

тут $t_{\text{з,мін}} = 0,01$ с - мінім час дії релейного захисту; $t_{\text{с,в}}$ – час вимкнення вимикача власний.

Коли дотримується умова

$$I_{\text{П,}\tau} \leq I_{\text{ОТК,НОМ}},$$

а $i_{\text{а,}\tau} > i_{\text{а,НОМ}}$, при повному струмі КЗ можливо роботу перевірку на вимикальною здатністю:

$$\sqrt{2} (I_{\text{П,}\tau} + i_{\text{а,}\tau}\sqrt{2} \leq I_{\text{ОТК,НОМ}}(1 + \beta_{\text{Н}}/100).$$

При умові проводиться перевірка за вимикальною здатністю

$$i_y \leq i_{\text{вкл}}; \quad I_{\text{п},0} \leq I_{\text{вкл}},$$

де i_y – імпульсний струм при короткому замиканні вимикача; $I_{\text{п},0}$ – періодичної складової струму короткого замикання вимикача початкове значення; $I_{\text{вкл}}$ – номінальний струм перемикавання; $i_{\text{вкл}}$ – максимальне пікове значення струму комутації (згідно каталогу);

Виробники дотримуються умови

$$i_{\text{вкл}} \geq \sqrt{1,8} \quad I_{\text{вкл}},$$

де $k_y = 1,8$ – ударний коефіцієнт. Перевірка за двома умовами необхідна для того що, для системи k_y може бути більший 1,8.

На електродинамічну стійкість вимикач перевіряється за граничними наскрізними струмами КЗ:

$$I_{\text{п},0} \leq I_{\text{дин}}; \quad i_y \leq i_{\text{дин}},$$

де $i_{\text{дин}}$ – струм електродинамічної стійкості за каталогом; $I_{\text{дин}}$ – значення періодичної складової граничного наскрізного діючого струму КЗ. З тих же намірів перевірка за двома умовами проводиться.

Вимикач перевіряється на термічну стійкість за тепловим імпульсом струму КЗ:

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

де B_k – тепловий імпульс струму КЗ за розрахунком; $I_{\text{тер}}$ – середньоквадратичне значення струму за час його протікання визначається за каталогом; $t_{\text{тер}}$ – тривалість протікання струму термічної, стійкості.

Вимикача за параметрами перевіряється на відновлення напруги контактів вимикача в навчальному проектуванні, як правило, не проводиться, тому що в більшості енергосистем фактично є відновлення напруги відповідають умовам випробування вимикача. Якщо вам необхідно перевірити автоматичний вимикач за параметрами відновленої напруги, розрахувати та побудувати відповідно до потужності джерела, реактивного опору, конкретних даних електричної системи, таких як трансформатори, шини, прилади тощо. Криві процесу тимчасової поновлюваної напруги (ПВН). Тому крива не повинна перетинати нормалізовану криву ПВН.

2.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струму короткого замикання використовується для вибору або перевірки параметрів електричного пристрою, а також для вибору або перевірки налаштувань релейного захисту та автоматики.

Струм короткого замикання використовується для вибору або перевірки параметрів електричного пристрою, а також для вибору або перевірки налаштувань релейного захисту та автоматики. Для розрахунку струму короткого замикання створюється розрахункова схема і відповідно створюється еквівалентна схема.

За допомогою поетапного перетворення еквівалентна схема зводиться до простішої форми, де кожне джерело струму або група джерел струму з'єднана з точкою короткого замикання через результуючий опір. Знаючи ЕРС і результуючий опір результуючого джерела живлення, визначити початкове значення періодичної складової струму короткого замикання, потім імпульсного струму, періодичної і аперіодичної складових струму короткого замикання, відповідно до закону Ома.

Накреслимо розрахункову схему (спрощену однолінійну схему електроустановки), на якій відображені всі фактори, що впливають на струм короткого замикання, із зображенням точок короткого замикання (рисунок 3.1).

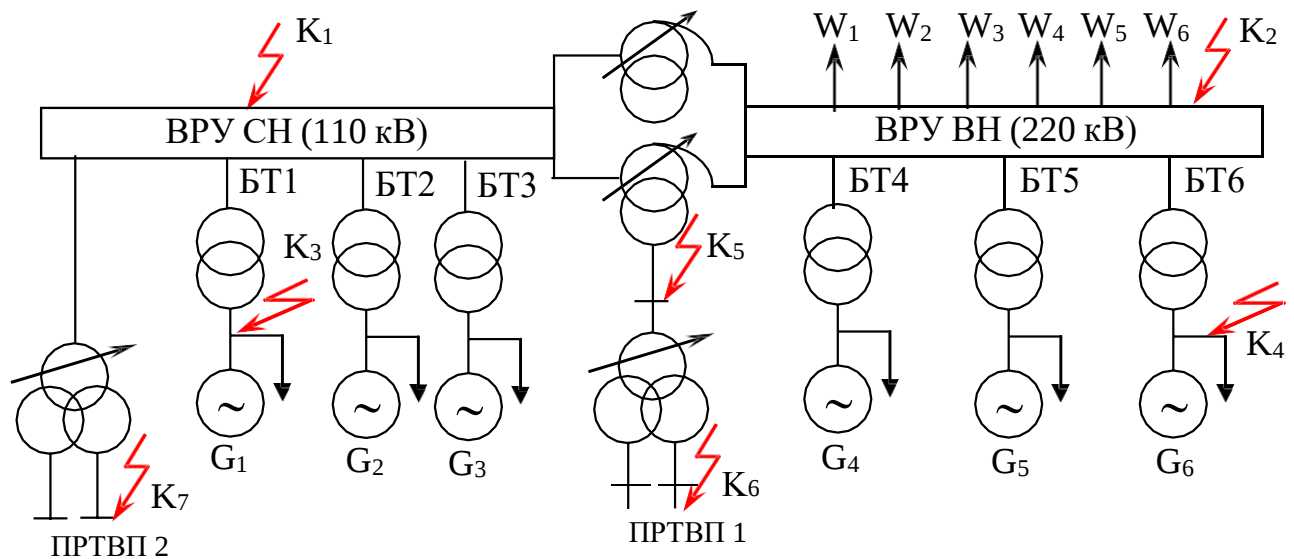


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема установки

2.2.1 Заступна схема установки

Для обраних точок КЗ створити еквівалентну схему заміщення, що відповідає вихідним даним розрахункової схеми, але з заміною всіх магнітних (трансформаторних) з'єднань на електричні рисунок 3.2. Виконуємо обчислення у відносних одиницях.

Тому використовуються методичні вказівки для приведення всіх носіїв елементів схеми заміщення до однакових базових умов.

Приймаємо $S_B = 1000$ (МВА).

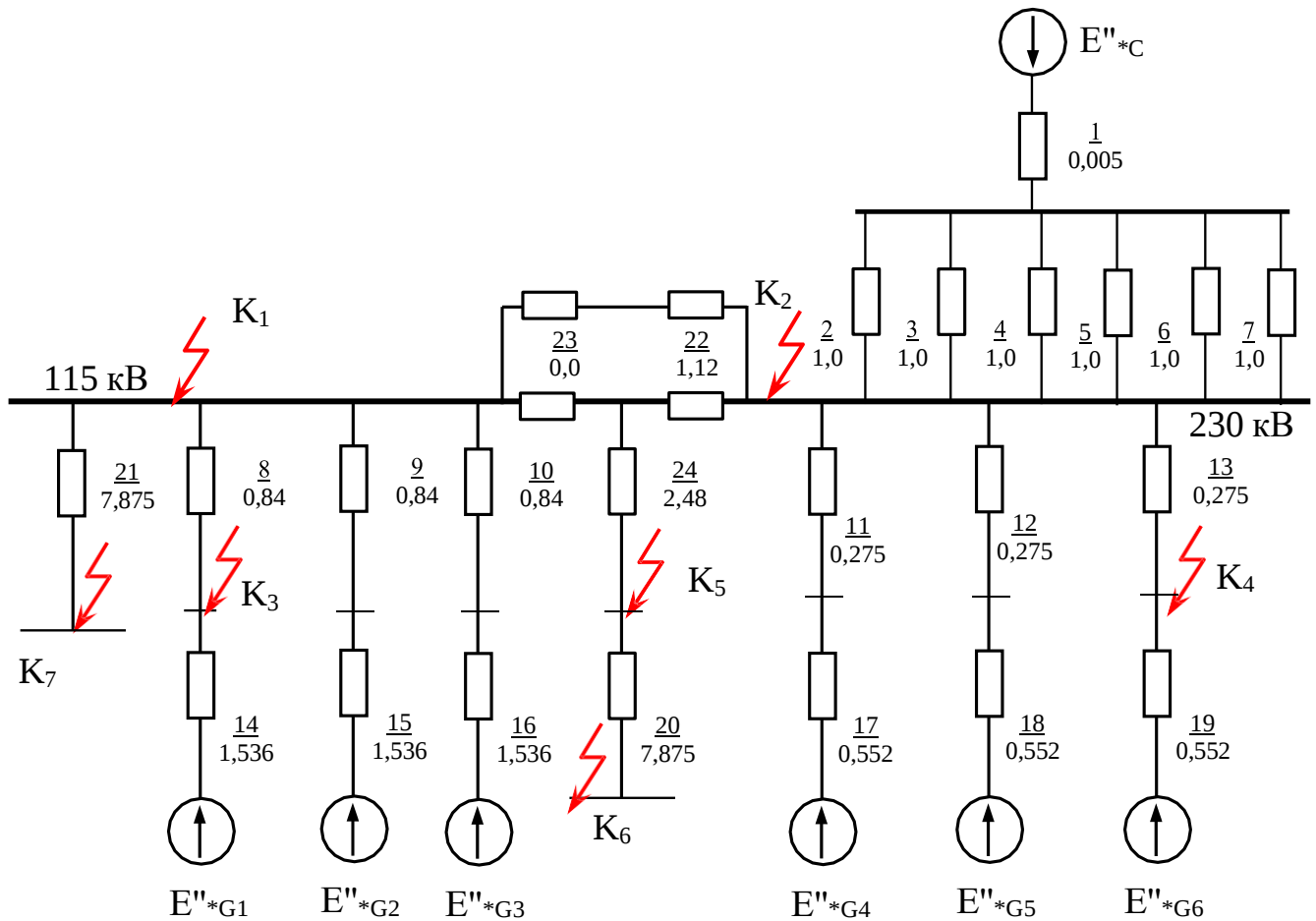


Рисунок 3.2 – Заступна схема станції

Приведені значення опорів визначаємо:

- системи:

$$x_{*1} = x_{*C\text{ ном}} \cdot \frac{S_B}{S_{\text{ном}}} = 0,09 \cdot \frac{1000}{19200} = 0,005 ;$$

- ЛЕП 220 кВ:

$$x_{*2-7} = x_{\text{пит}} \cdot l \cdot \frac{S_B}{u_{\text{cp}}^2} = 0,32 \cdot 165 \cdot \frac{1000}{230^2} = 1,0 ;$$

- блочних трансформаторів БТ 1-3:

$$x_{*8-10} = \frac{u_{\text{к в-н \%}}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{\text{ном}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{125} = 0,84 ;$$

- блочних трансформаторів БТ 4-6:

$$X_{*11-13} = \frac{u_{KB-H} \%}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{НОМ}} = \frac{11}{100} \cdot \frac{1000}{400} = 0,275;$$

- генераторів G₁₋₃:

$$X_{*14-16} = x''_{d^{*НОМ}} \cdot \frac{S_B}{S_{НОМ}} = 0,192 \cdot \frac{1000}{125} = 1,536;$$

- генераторів G₄₋₆:

$$X_{*17-19} = x''_{d^{*НОМ}} \cdot \frac{S_B}{S_{НОМ}} = 0,195 \cdot \frac{1000}{353} = 0,552;$$

- ПРТВП 1:

$$X_{*20} = \frac{1,875 \cdot u_{KB-H} \%}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{НОМ}} = \frac{1,875 \cdot 10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 7,875;$$

- ПРТВП 2:

$$X_{*21} = \frac{1,875 \cdot u_{KB-H} \%}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{НОМ}} = \frac{1,875 \cdot 10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 7,875;$$

- АТЗ:

$$u_{KB} \% = 0,5 \cdot (u_{KB-H} \% + u_{KB-C} \% - u_{KC-H} \%) = 0,5 \cdot (45 + 11 - 28) = 14,0\%;$$

$$u_{KC} \% = 0,5 \cdot (u_{KB-C} \% + u_{KC-H} \% - u_{KB-H} \%) = 0,5 \cdot (11 + 28 - 45) = -3\%;$$

$$u_{KH} \% = 0,5 \cdot (u_{KB-H} \% + u_{KC-H} \% - u_{KB-C} \%) = 0,5 \cdot (45 + 28 - 11) = 31,0\%.$$

$$X_{*B} = X_{*22} = \frac{u_{KB} \%}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{НОМ}} = \frac{14,0}{100} \cdot \frac{1000}{125} = 1,12;$$

$$X_{*C} = X_{*23} = 0;$$

$$X_{*H} = X_{*24} = \frac{u_{KH} \%}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{НОМ}} = \frac{31,0}{100} \cdot \frac{1000}{125} = 2,48.$$

2.2.2 Розрахунок періодичної складової струму КЗ для часу $t = 0$

Початкове значення періодичної складової струму КЗ в системі відносних одиниць визначається за формулою, кА:

$$I_{\text{по}} = \frac{E'}{X_{\text{рез}}^*} I_{\text{б}}$$

де E''^* – джерела ЕРС, в.о.;

$X_{\text{рез}}^*$ – результуючий відносний опір ланки КЗ приведений до базисних умов,

який $I_{\text{б}}$ – струм базисний, кА:

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср}}}.$$

К₁ Складаємо розрахункову схему враховуючи тільки елементи, які мають вплив на точку К₁ (рисунок 3.3). Цю схему скоротимо до найбільш простого вигляду.

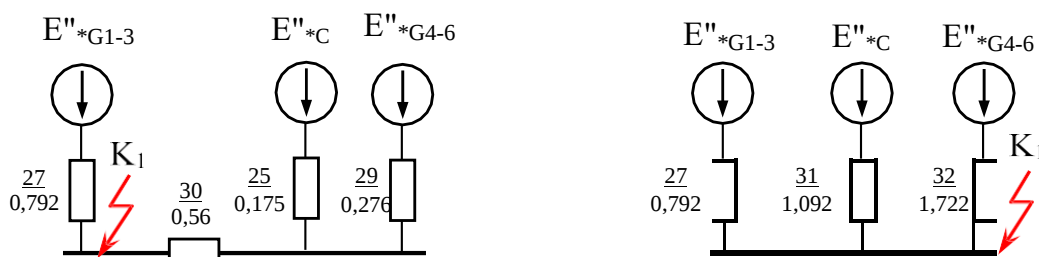


Рисунок 3.3 – Звертання заступної схеми (точка К-1)

$$X_{*25} = X_{*1} + \frac{X_{*2}}{6} = 0,005 + \frac{1,0}{6} = 0,172;$$

$$X_{*26} = X_{*8} + X_{*14} = 0,84 + 1,536 = 2,376;$$

$$X_{*27} = \frac{X_{*26}}{3} = \frac{2,376}{3} = 0,792;$$

$$X_{*28} = X_{*11} + X_{*17} = 0,275 + 0,552 = 0,827;$$

$$X_{*29} = \frac{X_{*28}}{3} = \frac{0,827}{3} = 0,276;$$

$$X_{*30} = \frac{X_{*22}}{2} = \frac{1,12}{2} = 0,56;$$

$$X_{\Delta} = X_{*30} \cdot (X_{*25} + X_{*29}) = 0,56 \cdot (0,175 + 0,276) = 0,253;$$

$$X_{*31} = X_{*25} + \frac{X_{\Delta}}{X_{*25}} = 0,175 + \frac{0,253}{0,175} = 1,092;$$

$$X_{*32} = X_{*29} + \frac{X_{\Delta}}{X_{*29}} = 0,276 + \frac{0,253}{0,276} = 1,722.$$

$$X_{*32} = X_{*29} + \frac{X_{\Delta}}{X_{*29}} = 0,276 + \frac{0,253}{0,276} = 1,722.$$

Розрахуємо струми $I_{\text{по}}$:

$$1000$$

$$I_{6K1} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cpK1}} = 5,02 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{по } C} = \frac{E''_C \cdot I}{X_{*31}} = \frac{1}{1,092} \cdot 5,02 = 4,597 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{по } \Gamma 1-3_{\Sigma}} = \frac{E''_{\Gamma 1-3_{\Sigma}}}{X_{*27}} \cdot I_{\text{по } K1} = \frac{1,13}{0,792} \cdot 5,02 = 7,162 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{по } \Gamma 4-6_{\Sigma}} = \frac{E''_{\Gamma 4-6_{\Sigma}}}{X_{*32}} \cdot I_{\text{по } K1} = \frac{1,13}{1,722} \cdot 5,02 = 3,294 \text{ (кА)}.$$

Проводимо аналогічно розрахунок періодичної складової струму КЗ для інших точок та результати розрахунків зводимо в таблицю 3.1.

Результати розрахунків I_6 та U_6 для точок КЗ приводимо у таблицю

3.1. Таблиця 3.1 – Базисні напруг та струми для кожної точки розраховано

Точка КЗ	К-1	К-2	К-3	К-4	К-5	К-6, К-7
U_6 , кВ	115	230	10,5	20	37	6,3
I_6 , кА	5,02	2,51	54,99	28,868	15,6	91,64

К₂ Для розрахунків струмів КЗ в точці К₂ показана заступна схема на рисунку 2.4.

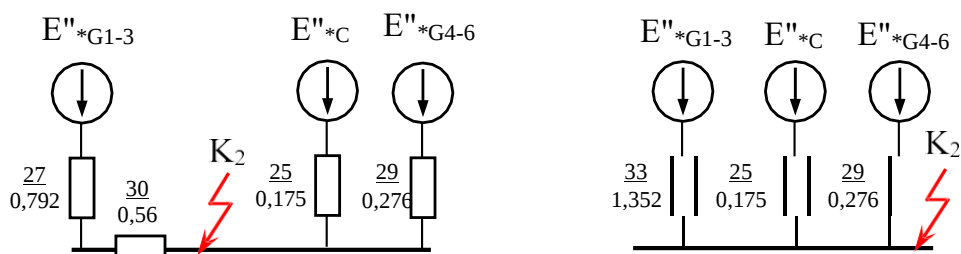


Рисунок 3.4 – Звертання заступної схеми (точка К-2)

К₃ Для розрахунків струмів КЗ в точці К₃ показана заступна схема на рисунку 3.5.

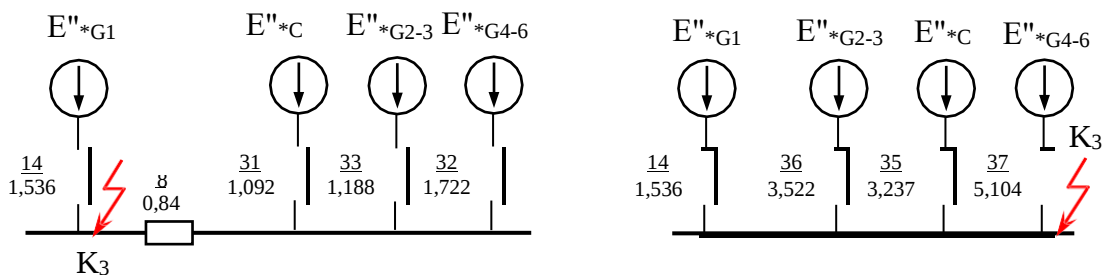


Рисунок 3.5 – Звертання заступної схеми (точка К-3)

$$X_{*34} = \frac{X_{*26}}{2} = \frac{2,376}{2} = 1,188;$$

$$X_{\Delta} = X_{*8} \cdot (X_{*33} \cdot X_{*31} + X_{*33} \cdot X_{*32} + X_{*31} \cdot X_{*32}) =$$

$$= 0,84 \cdot (1,188 \cdot 1,092 + 1,188 \cdot 1,722 + 1,092 \cdot 1,722) = 4,388;$$

$$X_{*35} = X_{*31} + X_{\Delta} = 1,092 + \frac{4,388}{1,188 \cdot 1,722} = 3,237;$$

$$X_{*36} = X_{*33} + X_{\Delta} = 1,188 + \frac{4,388}{1,092 \cdot 1,722} = 3,522;$$

$$X_{*37} = X_{*32} + X_{\Delta} = 1,722 + \frac{4,388}{1,188 \cdot 1,092} = 5,104.$$

K₄
3.6.

Заступна схема для розрахунків струмів КЗ в точці K₄ показана на рисунку

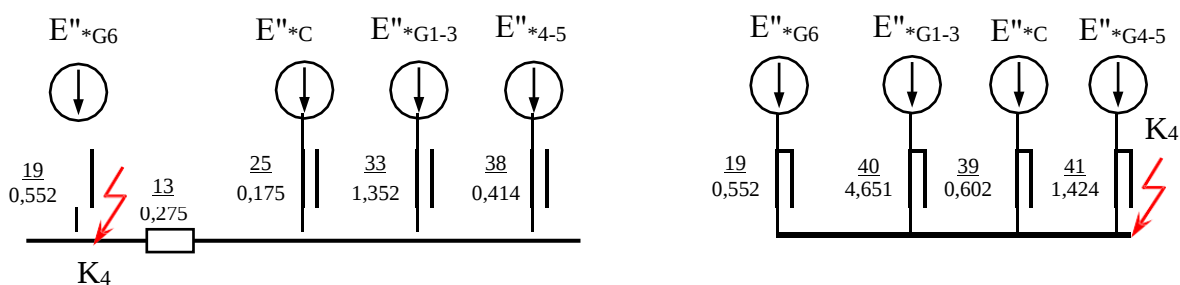


Рисунок 3.6 – Звертання заступної схеми (точка K-4)

$$X_{*38} = \frac{X_{*28}}{2} = \frac{0,827}{2} = 0,414;$$

$$X_{\Delta} = X_{*13} \cdot (X_{*33} \cdot X_{*25} + X_{*33} \cdot X_{*38} + X_{*25} \cdot X_{*38}) =$$

$$= 0,275 \cdot (1,352 \cdot 0,175 + 1,352 \cdot 0,414 + 0,175 \cdot 0,414) = 0,239;$$

$$X_{*39} = X_{*33} + X_{\Delta} = 1,352 + 0,239 = 1,591;$$

$$X_{*40} = X_{*25} + X_{\Delta} = 0,175 + \frac{0,239}{1,352 \cdot 0,414} = 0,602;$$

$$X_{*41} = X_{*38} + X_{\Delta} = 0,414 + \frac{0,239}{1,352 \cdot 0,175} = 1,424.$$

$$X_{*42} = X_{*33} + X_{\Delta} = 1,352 + \frac{0,239}{1,092 \cdot 1,722} = 3,522;$$

$$X_{*43} = X_{*32} + X_{\Delta} = 1,722 + \frac{0,239}{1,188 \cdot 1,092} = 5,104.$$

$$X_{*44} = X_{*31} + X_{\Delta} = 1,092 + \frac{0,239}{1,188 \cdot 1,722} = 3,237;$$

K₅

Для розрахунку струмів КЗ в точці K₅ представлена заступна схема на рисунку

3.7.

$$X_{\Delta} = X_{*24} \cdot (X_{*27} \cdot X_{*31} + X_{*27} \cdot X_{*32} + X_{*31} \cdot X_{*32}) =$$

$$= 2,48 \cdot (0,792 \cdot 1,092 + 0,792 \cdot 1,722 + 1,092 \cdot 1,722) = 10,191;$$

$$X_{*42} = X_{*31} + X_{\Delta} = 1,092 + 10,191 = 8,564;$$

$$X_{*43} = X_{*27} + \frac{\overline{(X_{*31} \cdot X_{*32})}}{\overline{0,792 \cdot 1,722}} = 0,792 + \frac{10,191}{0,792 \cdot 1,722} = 6,212;$$

$$X_{*44} = X_{*32} + \frac{\overline{(X_{*27} \cdot X_{*31})}}{\overline{1,092 \cdot 1,722}} = 1,722 + \frac{10,191}{1,092 \cdot 1,722} = 13,505.$$

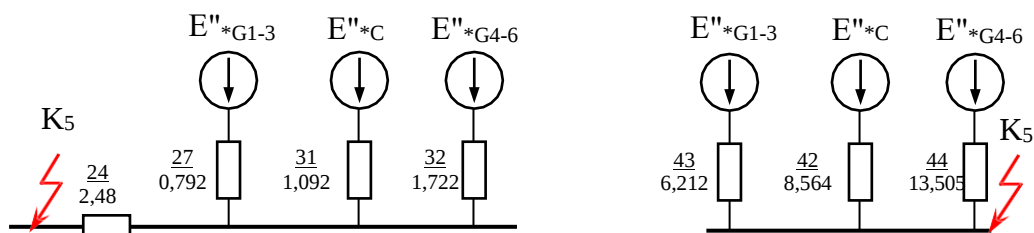


Рисунок 3.7 – Звертання заступної схеми (точка К-5)

2.2.3 В системі власних потреб електростанції розрахунок струмів КЗ.

К₆ Суттєвий вплив при цьому на характер і силу струму процесу має група потужних електродвигунів, увімкнена поблизу місця пошкодження. При цьому напруга на клеммах двигуна виявляється нижчою за ЕРС, в результаті чого клемаи двигуна переходять в генераторний режим і направляють електроенергію в місце пошкодження.

Альтернативна схема розрахунку струму КЗ в точці К6 наведена на рисунку 3.8.

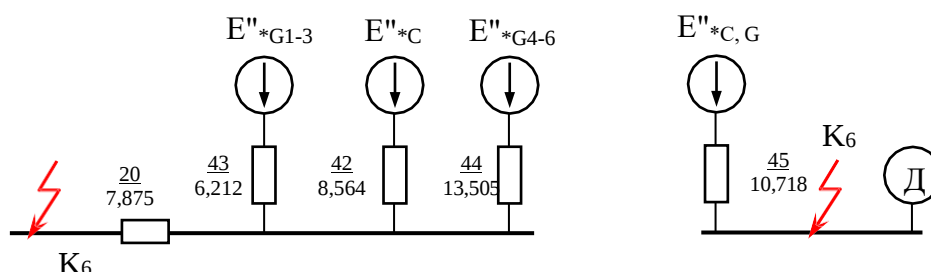


Рисунок 3.8 – Звертання заступної схеми (точка К-6)

Початкове визначаємо значення періодичної складової струму короткого замикання для двигунів:

$$I_{по Д} = 4 \cdot \Sigma P_{ном} / U_{ном},$$

де $\Sigma P_{ном}$ – сума номінальної потужності всіх побутових двигунів, електрично підключених до КЗ.; $U_{ном}$ – номінальна напруга двигуна.

Згідно при живленні від ПРТВП:

$$\Sigma P_{ном} = 1,25 \cdot S_{ном ПРТВП} = 1,25 \cdot 16,58 / 2 = 10,363 \text{ (МВт)};$$

$$I_{по Д} = \frac{4 \cdot 10,363}{6} = 6,908 \text{ (кА)}.$$

$$I_{6 K6} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp K6}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,64 \text{ (кА)};$$

$$I = \frac{E''_{*C+Г} \cdot I_{6 K6}}{X_{*45}} = \frac{1}{10,718} \cdot 91,64 = 8,55 \text{ (кА)}.$$

по C+Г X_{*45} 6 K6 10,718

К₇
3.9.

Для розрахунку струмів КЗ в точці К₇ представлена заступна схема на рисунку

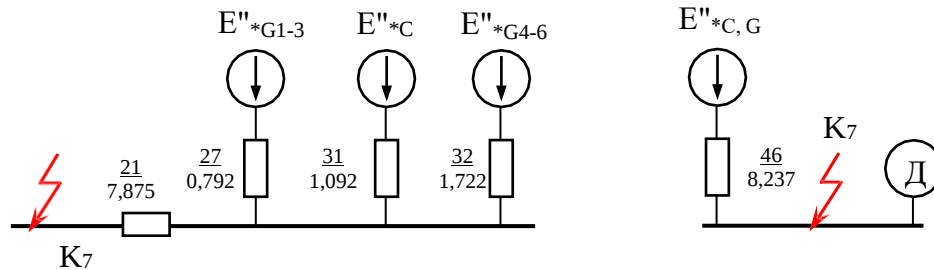


Рисунок 3.9 – Звертання заступної схеми (точка К-7)

$$X_{*46} = \frac{1}{\frac{1}{X_{*27}} + \frac{1}{X_{*31}} + \frac{1}{X_{*32}}} + X_{21} = \frac{1}{\frac{1}{0,792} + \frac{1}{1,092} + \frac{1}{1,722}} + 7,875 = 8,237.$$

$$I_{по C+Г} = \frac{E''_{*C+Г} \cdot I_{6 K7}}{X_{*46}} = \frac{1}{8,237} \cdot 91,64 = 11,125 \text{ (кА)}.$$

Оскільки у власній потребі системі підібрані однотипні пристрої та струмоведучі частини, то вони підбираються за максимальним значенням струму короткого замикання.

У нашому випадку це струми в точці К-7.

Тому надалі залишайте цю коротку точку в схемі ВП.

3.2.4 Аперіодичної та періодичної складової струму КЗ в момент часу $t = \tau$ при розрахунку ударного струму КЗ,

Визначаємо за формулою ударний струм КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot k_y,$$

де $I_{по}$ – періодична складова початкового значення струму короткого замикання;

k_y – коефіцієнт імпульсний, який залежить від постійного часу спаду неперіодичної складової струму короткого замикання;

T_a – константа затухання неперіодичної складової струму короткого замикання.

Якщо коротке замикання відбувається між клемми генератора, T_a цієї гілки є постійним.

Для характерних точок електричних мереж значення T_a і k_y .

Для вибору комутаційного пристрою спочатку потрібно знати значення періодичної і аперіодичної складових КЗ замикання в момент часу $t > 0$ в .

Час розрахунковий, для якого потрібно знайти струм КЗ:

$$\tau = t_{\text{ВВ відк}} + 0,01,$$

де $t_{\text{ВВ відк}}$ – власний час відключення.

Складові струму аперіодична короткого замикання:

$$i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО}} \cdot e^{-\tau/T_a}.$$

Вибір вимикачів попередній для визначення τ .

Таблиця 3.2 – Вибір попередніх вимикачів

ВРУ 110 кВ	ВГБУ-110У1	$t_{\text{ВВ відк}} = 0,035$ с	$\tau = 0,045$ с
ВРУ 220 кВ	ВГБУ-220У1	$t_{\text{ВВ відк}} = 0,035$ с	$\tau = 0,045$ с
НН АТЗ	ВВУ-35Б	$t_{\text{ВВ відк}} = 0,05$ с	$\tau = 0,06$ с
НН РТВП	ВЭ-6-40	$t_{\text{ВВ відк}} = 0,06$ с	$\tau = 0,07$ с

Необхідні величини всі занесені до таблиці 3.3.

Виконаємо розрахунок аперіодичної та періодичної складової ударного струму КЗ і струму КЗ для точки К-1.

К₁ Ударний струм:

$$i_{\text{yc}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПОС}} \cdot k_y = \sqrt{2} \cdot 4,597 \cdot 1,717 = 11,161 \text{ (кА)};$$

$$i_{yG1-3} = \sqrt{2} \cdot I_{поG1-3} \cdot k_y = \sqrt{2} \cdot 7,162 \cdot 1,955 = 19,799 \text{ (кА)};$$

$$i_{yG4-6} = \sqrt{2} \cdot I_{поG4-6} \cdot k_y = \sqrt{2} \cdot 3,294 \cdot 1,977 = 9,209 \text{ (кА)}.$$

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_{атC} = \sqrt{2} \cdot I_{поC} \cdot e^{-\tau / T_{aC}} = \sqrt{2} \cdot 4,597 \cdot 0,223 = 0,63 \text{ (кА)};$$

$$i_{атG1-3} = \sqrt{2} \cdot I_{поG1-3} \cdot e^{-\tau / T_{aG1-3}} = \sqrt{2} \cdot 7,162 \cdot 0,841 = 7,737 \text{ (кА)};$$

$$i_{атG4-6} = \sqrt{2} \cdot I_{поG4-6} \cdot e^{-\tau / T_{aG4-6}} = \sqrt{2} \cdot 3,294 \cdot 0,869 = 3,743 \text{ (кА)}.$$

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

У нас система зв'язана з точкою К, тому приймаємо, що $I_{пт} = I_{по} = \text{const.}$

$$I_{птC} = I_{поC} = 4,597 \text{ (кА)}.$$

Для віток з турбогенераторами періодичні складові струму КЗ, є такою:

$$I'_{ном G1-3} = \frac{3 \cdot S_{ном G1-3}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp K3}} = \frac{3 \cdot 125}{\sqrt{3} \cdot 115} = 1,883 \text{ (кА)};$$

$$\frac{I_{по G1-3}}{I'_{ном G1-3}} = \frac{7,162}{1,883} = 3,8, \text{ по [рисунок 3.9]: } \frac{I_{пт G1-3}}{I_{по G1-3}} = 0,88 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{птG1-3} = 7,162 \cdot 0,88 = 4,597 \text{ (кА)}.$$

$$I'_{ном G4-6} = \frac{3 \cdot S_{ном G4-6}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp K3}} = \frac{3 \cdot 353}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,32 \text{ (кА)};$$

$$\frac{I_{по G4-6}}{I'_{ном G4-6}} = \frac{3,294}{5,32} = 0,62 < 1 \Rightarrow \frac{I_{пт G4-6}}{I_{по G4-6}} = 1 \Rightarrow I_{птG4-6} = 3,294 \text{ (кА)}.$$

Аналогічно виконуються розрахунки періодичних і аперіодичних складових струму короткого замикання та імпульсних струмів короткого замикання для точок К-2 і К-5. Результати розрахунку в таблиці 3.3. Генераторний вимикач не

встановлюється, тому що не розраховуються періодична і аперіодична складова струму короткого замикання в точках К-4 і К-3.

К₆ У системі електростанції власних потреб складова періодична в момент часу $t = \tau$:

$$I_{\text{пт}(C+G)} = I_{\text{по}(C+G)} = 8,55 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{пт}(Д)} = I_{\text{по}(Д)} \cdot e^{-\tau/0,07} = 6,908 \cdot e^{-0,07/0,07} = 2,541 \text{ (кА)}.$$

Для точки К₇ розрахунок проводиться аналогічно точці К₆.

Розрахункові результати ударного струму і складових струмів КЗ для всіх точок наведені в таблицю 3.3.

3.2.6 Розрахункові результати струмів КЗ

Отримані значення струму короткого замикання заносяться в спеціальну таблицю 3.3.

Зведена таблиця значно полегшує використання результатів струму короткого замикання і дозволяє знайти значні похибки струму короткого замикання шляхом аналізу отриманих результатів.

Таблиця 3.3 – Таблиця розрахункових результатів струмів КЗ

Точка КЗ	Джерела струмів КЗ	х, в.о.	τ, с	T _a , с	k _y	$e^{-\tau T_a}$	$\frac{I_{i0}}{I_{i\infty}}$	$\frac{I_{i\tau}}{I_{i0}}$	I _н , кА	i _y , кА	i _{ат} , кА	I _{iτ} , кА
К ₁ шини 110 кВ	Система	1,092	0,045	0,03	1,717	0,223	—	1	4,597	11,161	0,630	4,597
	Г 1-3	0,792		0,26	1,955	0,841	3,8	0,88	7,162	19,799	7,737	6,303
	Г 4-6	1,722		0,32	1,977	0,869	0,62	1	3,294	9,209	3,743	3,294
	Сума	—		—	—	—	—	—	15,054	40,169	12,110	14,194
К ₂ шини 220 кВ	Система	0,175	0,045	0,03	1,717	0,223	—	1	14,343	34,822	6,316	14,343
	Г 1-3	1,352		0,26	1,955	0,841	2,23	0,96	2,098	5,799	2,593	2,014
	Г 4-6	0,276		0,32	1,977	0,869	3,9	0,92	10,276	28,728	13,025	9,454
	Сума	—		—	—	—	—	—	26,717	69,349	21,934	25,811
К ₃ генератор Г1 100МВт (10,5 кВ)	Система	3,237	—	—	1,78	—	—	—	16,988	41,244	—	—
	Г 2,3	3,522		—	1,955	—	—	—	17,643	48,772	—	—
	Г 4-6	5,104		—	1,977	—	—	—	12,175	34,034	—	—
	Сума	—		—	—	—	—	—	46,805	124,049	—	—
	Г 1	1,536		—	1,975	—	—	—	40,455	112,976	—	—
К ₄ генератор Г6 300 МВт (20 кВ)	Система	0,602	—	—	1,78	—	—	—	47,957	116,431	—	—
	Г 1-3	4,651		—	1,955	—	—	—	7,014	19,390	—	—
	Г 4-5	1,424		—	1,977	—	—	—	22,909	64,043	—	—
	Сума	—		—	—	—	—	—	77,881	199,864	—	—
	Г 6	0,552		—	1,981	—	—	—	59,100	165,547	—	—
К ₅ ВН ПРТВП1	Система	8,564	0,06	0,03	1,717	0,135	—	1	1,822	4,422	0,349	1,822
	Г 1-3	6,212		0,26	1,955	0,794	0,5	1	2,838	7,845	3,186	2,838
	Г 4-6	13,505		0,32	1,977	0,829	0,08	1	1,305	3,649	1,530	1,305
	Сума	—		—	—	—	—	—	5,965	15,916	5,064	5,965
К ₆ НН ПРТВП1	Г + С	10,718	0,07	0,046	1,818	0,218	—	1	8,550	21,979	2,640	8,550
	Д	—		0,04	1,65	0,174	—	—	6,908	16,118	1,697	2,541
	Сума	—		—	—	—	—	—	15,458	38,097	4,337	11,092
К ₇ НН ПРТВП2	Г + С	8,237	0,07	0,046	1,818	0,218	—	1	11,125	28,600	3,435	11,125
	Д	—		0,04	1,65	0,174	—	—	6,908	16,118	1,697	2,541
	Сума	—		—	—	—	—	—	18,034	44,717	5,132	13,667

2.3 Вибір обладнання.

Елементи підстанції або розподільного пристрою підстанції повинні надійно працювати в нормальних умовах протягом тривалого періоду часу і мати достатню термічну і динамічну стабільність навіть у разі найсильніших коротких замикань. Надійність пристрою гарантується виробником тільки в тому випадку, якщо пристрій правильно підібрано. При виборі пристрою перевіряється відповідність його параметрів тривалим і короткочасним аварійним режимам, що виникають під час експлуатації.

2.3.1 Вибір роз'єднувачів та вимикачів.

Вибір вимикачів та роз'єднувачів для ВРУ-110 кВ.

Визначемо робочий максимальний струм елементів, які приєднані до ВРУ- 110 кВ:

струм генератора:
$$I_{p.max.} = \frac{S_{ном.г}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot 0,95} = \frac{125}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,95} = 0,691 \text{ кА};$$

струм від ПЛЕП:

$$I_{p.max.} = \frac{P_{пр.спр.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,85} = 0,309 \text{ кА};$$

струм від АТЗ:
$$I_{p.max.} = 1,5 \cdot \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 1,5 \cdot \frac{125}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,984 \text{ кА}.$$

струм від ВН ПРТВП:
$$I_{p.max.} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{16,58}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,087 \text{ кА}.$$

Щоб вибрати вимикача використовуємо максимальне значення робочого струму: $I_{p.max.} = 0,984 \text{ кА}.$

Беремо вимикач ВБП-110:

- за напругою установки: $U_{уст} \leq U_{ном};$
110 кВ = 110 кВ;

- за тривалим струмом: $I_{роб.мах} \leq I_{ном};$
 $0,984 \text{ кА} < 2,0 \text{ кА}.$

Перевірку проводимо за вимогами:

а) за здатністю вимикача до вмикання:

$$i_{ат} \leq \sqrt{2} \beta_H \cdot I_{ном.відк},$$

$$12,11 \text{ кА} < \sqrt{2} \cdot 0,35 \cdot 31,5 = 15,59 \text{ кА}, - \text{ умова виконалась.}$$

$$I_{нт} \leq I_{ном.відк.};$$

$$15,59 \text{ кА} < 31,5 \text{ кА}, - \text{ умова виконалась.}$$

б) на електродинамічну стійкість:

$$I_{п,0} \leq I_{дин},$$

$$15,054 \text{ кА} < 40 \text{ кА}; \quad \text{умова виконалась};$$

$$i_y \leq i_{дин},$$

$$40,169 \text{ кА} < 80 \text{ кА} \quad \text{умова виконалась,}$$

в) на термічну стійкість:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T,$$

$$117,84 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 40^2 \cdot 2 = 3200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad \text{умова виконилась.}$$

Роз'єднувач обираємо: РНД-110/1000 У1

$$- \text{ за напругою установки: } U_{уст} \leq U_{ном}; \quad 110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ};$$

$$- \text{ за тривалим струмом: } I_{роб. мах} \leq I_{ном}; \quad 0,984 \text{ кА} < 1,0 \text{ кА}.$$

Перевірку проводимо:

– на електродинамічну стійкість: $i_y \leq i_{\text{дин}}; 40,169 \text{ кА} < 80 \text{ кА};$

$B_K \leq I^2 \cdot t_T; 117,84 \text{ кА}^2\text{с} < 31,5^2 \cdot 3 = 2976,75 \text{ кА}^2\text{с};$ всі умови виконуються.

Вибори вимикачів і роз'єднувачів для інших з'єднань виконуємо так само, а результати розрахунків зведені в таблицю 3.4.

Вибрані комутаційні пристрої забезпечують надійне перемикання елементів схеми як в оперативному, так і в аварійному режимах.

Таблиця 3.4 – Вибрані вимикачі та роз'єднувачі.

Розрахункові дані	Марка вимикача	Марка роз'єднувача
ВРУ-110	ВБП-110	РНД-110/1000 У1
1	2	3
$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{р.мах}} = 0,984 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.}} = 2,0 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.}} = 1,0 \text{ кА}$
$I_{\text{нт}} = 14,194 \text{ кА}$	$I_{\text{н.відк.}} = 31,5 \text{ кА}$	–
$i_{\text{ат}} = 12,11 \text{ кА}$	$i_{\text{а.ном.}} = 19,8 \text{ кА}$	–
$I_{\text{по}} = 15,054 \text{ кА}$	$I_{\text{дин.}} = 40 \text{ кА}$	–
$i_{\text{уд.}} = 40,169 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.}} = 80 \text{ кА}$

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

На електротехнічний персонал під час виконання оперативних та технічних обслуговувань масляних комутаційних апаратів впливають такі шкідливі виробничі фактори [13]:

а) фізичні:

- мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання);
- виробничий шум, ультразвук;
- вібрація (локальна, загальна);
- освітлення: природне (відсутність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

б) хімічні фактори:

- речовини біологічної природи, які отримані хімічним синтезом та/або для контролю яких використовуються методи хімічного аналізу,
- аерозолі фіброгенної дії (пил).

в) фактори трудового процесу:

- важкість праці (статичне навантаження, незручні робочі пози, понад нормоване переміщення у просторі);
- напруженість праці (сенсорні, емоційні перевантаження, режим роботи).

3.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

До робіт на маслonaповненому обладнанні допускаються особи, які мають відповідну групу з електробезпеки, які вивчили будову та принцип дії регенераційної установки і здали залік. Трансформаторне масло є не тільки легко займистою, але і отруйною рідиною. Тому працівники, пов'язані з обслуговуванням маслonaполненого обладнання, мають право на отримання спецхарчування. Після відключення масляним вимикачем струму КЗ ні в якому разі не можна запалювати сірники або входити з відкритим вогнем в камеру вимикача, так як там може утворитися вибухова суміш. При експлуатації регенераційних установок, що працюють за схемою «кислота-земля», слід вживати заходів обережності щодо

поводження з сірчаною кислотою. Очищення масла під напругою повинна застосовуватися лише в разі неможливості зняття напруги з апарату або в разі, якщо відключення трансформатора буде пов'язано з недовідпуском електроенергії споживачам. До очистки масла під напругою може бути допущений лише персонал, повністю освоїв методику очищення масла із застосуванням адсорберів або центрифуги, після перевірки знань відповідних інструкцій і правил безпеки. Очищення масла під напругою може проводитися на відкритих підстанціях напругою 35 кВ і вище, причому кількість залитого в трансформатор масла повинно бути не менше 500 кг. Крім того, ємність розширювача трансформатора повинна бути такою, щоб після включення адсорбційної установки рівень масла в розширювачі не знизиться по відношенню до верхньої позначки початкового рівня більше ніж на $1/2$. Для виключення розтікання пролитого масла і забезпечення пожежної безпеки під обладнанням (трансформатором або установкою) влаштовують гравійну засипку для збору і регенерації масла. При роботі персоналу з трансформаторним маслом звичайна спецодяг швидко просочується маслом, може викликати роздратування шкіри і легко загорається. Тому персоналу, який обслуговує маслonaповнене обладнання, необхідно або надягати захисний одяг, що має покриття з капронової пластика, або використовувати спецодяг з просоченням розчином діамонійфосфат. Для роботи всередині високовольтного обладнання в масляному господарстві повинен бути комплект одягу з захисне професійного покриттям, гумові маслостійкі рукавички і засоби захисту органів дихання (протигаз або респіратор). Забороняється працювати на регенераційних установках при появі постійного шуму, що виникає при роботі установки. З огляду на складності роботи з маслом, в деяких випадках краще застосовувати сухі трансформатори типу ТСЗ.

3.2 Мікроклімат

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожувальними конструкціями виробничих приміщень, що має висоту 2 м над рівнем підлоги або підмостями, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих.

Відповідно, до параметрів мікроклімату, що нормуються за ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [13]. відносяться: температура (t , $^{\circ}\text{C}$) і відносна вологість повітря (W , %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань (Вт/м^2).

Допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються Пб в теплий та холодний період року, наводяться в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату виробничих приміщень.

Період року	t , $^{\circ}\text{C}$	W , %	V , м/с
Теплий	15-29	70 при 25°C	$< 0,2-0,5$
Холодний	13-23	< 75	$< 0,4$

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату виробничих приміщень, відповідно до ДБНВ.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування, [14]. проектом передбачено:

- 1.Заходи індивідуального захисту від холоду;
- 2.Приміщення для відпочинку та обігріву;
- 3.Регламентацію часу роботи в виробничих приміщеннях, в яких не можливо забезпечити допустимі норми.

При виконанні робіт на відкритих територіях в холодну пору року, в неопалюваних та охолоджених приміщеннях допустимі значення температури приймаються відповідно до Гігієнічних умов праці [15] $I-10,0$.

3.3 Склад повітря робочої зони

Якість повітря за ДСТУ-Н Б А.3.2.1:2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва, [16] у першу чергу, залежить від наявності, рівня небезпечності та кількості шкідливих речовин. Шкідливі речовини можуть потрапляти до організму людини інгаляційними та іншими шляхами надходження (пероральний, шкірно-резорбтивний).

Контроль наявності шкідливих хімічних речовин у повітрі потрібно виконувати на місцях постійного та тимчасового перебування працюючих з урахуванням особливостей технологічного процесу (періодичний, безперервний), температурного режиму, кількості хімічних речовин та їх агрегатного стану в повітрі, летючості, тиску пари, можливості їх перетворення (окислення, гідроліз, деструкція), класу небезпечності та їх біологічної дії.

За ступенем негативного впливу на організм людини шкідливі речовини згідно з ДСТУ-Н Б А.3.2.1:2007 [17] підрозділяють на чотири класи небезпечності: 1-й – надзвичайно небезпечні; 2-й – високонебезпечні; 3-й – помірно небезпечні; 4-й – малонебезпечні.

Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Можливі забруднювачі повітря та їх ГДК.

Найменування речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Діоксид вуглецю (CO ₂);	3	1	4
Азот діоксид (NO ₂);	0,085	0,085	2

Для забезпечення складу повітря робочої зони, відповідно до ДБНВ.2.5-67:2013, [14] в роботі передбачені такі рішення:

1. У теплий період часу застосовувати природну та примусову вентиляцію виробничих приміщень.

2. Проводити контроль ГДК шкідливих речовин у приміщенні.

3. Застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановлено безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення.

3.4 Виробниче освітлення

Штучне освітлення

Штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, охоронне та чергове. Існують дві системи штучного освітлення – загальне та комбіноване.

Загальне – освітлення, за якого світильники розміщуються рівномірно у верхній зоні приміщення (загальне рівномірне освітлення) або локалізовано відносно розміщення обладнання (загальне локалізоване освітлення).

Для загального штучного освітлення приміщень потрібно використовувати найбільш енергоекономічні джерела світла, віддаючи перевагу при рівній потужності джерелам світла з більшою світловіддачею та терміном служби, з виконанням вимоги не знижувати якість освітлювального устаткування для зниження енерговитрат. Отже, для загального штучного освітлення доцільно використовувати розрядні та світлодіодні джерела світла, які за однакової потужності з тепловими джерелами (лампи розжарювання), мають більшу світлову віддачу та з більшим терміном експлуатації. Світлова віддача джерел світла, зокрема світлодіодних ламп, для штучного освітлення приміщень при мінімально допустимих індексах кольоропередачі не повинна бути менше визначених за ДБН В.2.5-28:2018 [19].

Рівень ефективності споживання електроенергії електричними лампами та світильниками повинен відповідати вимогам Технічного регламенту енергетичного маркування електричних ламп та світильників [20]. При відсутності відповідного маркування підтвердження має бути отримано за результатами вимірювань.

Визначені нормовані значення штучного освітлення вносимо до таблиці 4.3.

Харак. зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту з фоном	Харак. фону	Штучне при системі комбінованого освітлення	
						всього	у т. ч. від загального
Серед. точності	Вище 0,5 до 1	IV	в	Серед. малий	Серед. темний	400	200

Для забезпечення нормованого значення штучної освітленості E_n передбачено:

- 1.Вибираємо світильники прямого світла LED.Висота підвісу світильника над робочою поверхнею 4 метра.
- 2.При експлуатації здійснювати контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасною заміною ламп.

3.5 Виробничий шум

Нормуються за ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [21] допустимі рівні звукового тиску $L=20\lg (P_1/P_0)$, дБ (P_1 – середньоквадратичне значення звукового тиску, Па - за період часу, що розглядається, і P_0 – значення звукового тиску на нижньому порозі чутливості в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц) залежно від частоти, характеру робіт і характеру шуму (нормування за граничними спектрами –ГС), або допустимі рівні звуку $LA=20\lg (PA/P_0)$, Дба (PA – середньоквадратичне значення звукового тиску з урахуванням корекції А шумоміра) залежно від характеру робіт і характеру шуму. Зазвичай у нас шум постійний але при виконанні певних робіт можливий не постійний шум.

Для умов, що розглядаються в БКР, чи умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску мають відповідати ГС, а рівні звуку LA не повинні перевищувати дБА – дивись таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму.

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні шуму та еквів. рівні шуму, дБА, дБАекв.
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Підприємства, установи, організації										

	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Для тонального та непостійного шуму допустимі значення L та LA на 5 одиниць менші.

Джерелами шуму в умовах, що розглядаються в роботі, є : обладнання, машини, двигуни, механізми та верстати.

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні проектом передбачено:

1. Усунення коливань у джерелі виникнення, ретельне балансування обладнання, мас, які обертаються;
2. У цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі;
3. Використовують проти шумні навушники, які закривають вушну раковину;
4. Організаційно-технологічні рішення: своєчасне і якісне проведення планово-попереджувальних ремонтів, контроль за правильною експлуатацією, вибір малошумних технологій.

3.6 Виробничі вібрації

Нормуються за ДСНЗ.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації [22] допустимі величини віброшвидкості (м/с) чи віброприскорення (м/с²), або логарифмічні рівні віброшвидкості $L=20\lg(V1/V0)$, дБ ($V1$ – середньоквадратичне значення віброшвидкості за повний період часу, м/с, $V0 = 5 \cdot 10^{-8}$, м/с – вихідне значення віброшвидкості) залежно від частоти коливань, їх виду (транспортні, транспортно-технологічні, технологічні, вібрації робочого інструменту чи робочих місць), напрямку (X, Y, Z) і часу дії протягом зміни.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в роботі, є трансформатори, генератори, електродвигуни.

Для умов, що розглядаються в роботі (вібрації робочого інструменту чи

робочих місць, транспортні, транспортно-технологічні, технологічні) параметри вібрацій не повинні перевищувати наведені в таблиці 4.5 середньоквадратичні значення, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$ та логарифмічні рівні, дБ.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях.

Вид вібрації	Октавні смуги з середньо геометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях.	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація:	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих у роботі передбачено:

1. Відстрочка від режиму резонанс;
2. Динамічне гасіння коливань;
3. Заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій.
4. Засоби індивідуального захисту для ніг, рук та тіла працюючого.

3.7 Пожежна безпека

Належність приміщення чи зони до відповідного класу визначається показниками пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів, що застосовуються в технологічному процесі чи в оформленні приміщень, кількістю цих речовин і матеріалів, особливостями виробництва. Категорія приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою –

Д. Приміщення підстанції, де здійснюється діагностика вводів, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д (знижено пожежонебезпечної) [23] - негорючі речовини і матеріали в холодному стані з зонами П-III [номер ПУЕ]. Приміщення підстанції розташовані в будівлі II ступеня вогнестійкості. Межі і ступень вогнестійкості будівельних конструкцій приміщень і будівель у цілому II будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів;

Мінімальної межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальної межі поширення вогню по них таблиця 4.6

Таблиця 4.6-мінімальної межі вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	СТІНИ				КОЛОНИ	сходові площадки, сходи, балки, марші сходових кліт	перекрыття між поверхами (у т.ч. горючі та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настили, прогони	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Таблиця 4.7- відстані між будівлями та іншими об'єктами.

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
I, II	6/9	8/9	10/12

Запобігання пожежі забезпечується наступними заходами :

- а) Запобігання потраплянню горючих речовин у повітря приміщень шляхом герметизації, ущільнення та вентиляції;
- б) використання негорючих та важкозаймистих матеріалів, обладнання, конструкцій, споруд, установок та будівель, споруди, обладнання та будівлі
- в) ізолювати пожежонебезпечні середовища в окремі спеціальні приміщення або відкриті майданчики.

Крім технічних заходів, для забезпечення пожежної безпеки застосовуються такі організаційні заходи :

- а) Навчання працівників правилам безпеки.
- б) Створення комітетів з пожежної безпеки та технічних комітетів;
- в) розробка та впровадження правил і норм пожежної безпеки для приміщень, встановлення пожежної сигналізації.

До комплекту засобів пожежогасіння слід включити :

- а) вогнегасники типу ВВ-8 - 3шт.;
- б) ящик з піском місткістю 3,0 м³ - 1шт.,
- в) покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу розміром 2мх2м- 1шт.,
- г) гаки -2шт.;
- д) лопати- 2шт.;
- є) ломи- 2шт.;
- ж) сокири-2шт.

ВИСНОВОК

Дипломна робота спрямована на процес модернізації підстанції 110/10 кВ, з фокусом на заміні масляного вимикача на вакуумний. Ця модернізація є важливим етапом в еволюції електропостачання, оскільки впливає на його надійність, ефективність, безпеку та екологічність. Перш за все, робота встановлює актуальність даного питання у контексті сучасних тенденцій в енергетичній галузі, таких як підвищення ефективності та стійкості систем, а також зменшення впливу на довкілля. Результатом роботи є що заміна масляного вимикача на вакуумний може суттєво підвищити надійність та ефективність електропостачання, знизити витрати на обслуговування та експлуатацію, а також покращити екологічні показники.

У ході дипломної роботи були проаналізовані загальні характеристики масляних та вакуумних вимикачів, їх принципи роботи, переваги та недоліки. В результаті аналізу встановлено, що вакуумні вимикачі мають значно більшу надійність та ефективність у порівнянні з масляними вимикачами. Вони забезпечують безперебійне функціонування електричних мереж, мають більш короткий час відновлення та мають менші втрати енергії. У результаті аналізу було обрано ВР1 тип вакуумного вимикача, який відповідає вимогам технічної специфікації та забезпечує оптимальні характеристики електромережі. Обране обладнання відповідає найсучаснішим стандартам та відоме своєю надійністю та довговічністю, що робить його ідеальним варіантом для успішної модернізації підстанції.

Тому, модернізація з використанням вакуумних вимикачів дозволяє оптимізувати роботу системи, зменшуючи втрати енергії та підвищуючи рівень безпеки та стійкості. Крім того, такий крок сприяє редукції екологічного впливу енергетичних установок, що відповідає сучасним екологічним стандартам та сприяє збереженню природних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Х. : Точка, 2012. – 340 с. – ISBN 978-617-669-015-3.
2. Журахівський А. В., Казанський С. В., Матеєнко Ю. П. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 457 с.
3. Тарасевич П. Й. Перспективи розвитку засобів виявлення високовольтних вимикачів, що відмовили. Електроенергетичні та електромеханічні системи. – Л. : Вид-во Нац. університету «Львівська політехніка» – 2009. – С. 91–96.
4. Романченко Ю.А., Петухов О. Г., Рєзнік І. О. Порівняльний аналіз різних типів високовольтних вимикачів. Майбутній науковець – 2021 : матеріали всеукр. наук.практ. конф. з міжнар. участю. Сєверодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2021. – С. 160-162.
5. Електрообладнання розподільних установок. Оливні вимикачі: навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський. Вінниця: ВНТУ, 2011.-86 с.
6. Кутін В. М., Рубаненко О. Є., Мисенко С. В. Досвід впровадження та забезпечення надійності вимикачів в умовах експлуатації. Наукові праці ВНТУ.– 2013. – No 1. – С. 1–7.
6. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Електричні апарати»(для студентів 3,4 курсів денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 Електротехніка та електротехнології, а також для слухачів другої вищої освіти за спеціальністю «Електротехнічні системи електроспоживання») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: С. В. Швець, Д. В. Рум'янцев. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 69 с.
7. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи. Підручник. Видавництво: Львівська політехніка, 2015. · 540
8. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій: Ч. 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник / НТУУ «КПІ» ; уклад. Є. І. Бардик, П.

Л. Денисюк, Ю. В. Безбереж'єв. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,75 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011.

9. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Ч. 2 [Електронний ресурс] : навчальний посібник / НТУУ «КПІ» ; уклад. Є. І. Бардик, П. Л. Денисюк, Ю. В. Безбереж'єв. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,13 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2012.

10. Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. М. Гаряжа, А. О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 149 с.

11. Електричне обладнання станцій та підстанцій навчальний посібник / Лесько В. О., Нетребський В. В., Малогулко Ю. В. - Вінниця: ВНТУ, 2018. 121 с.

12. Карєва К.Р Модернізація підстанції 110/10 кВ з заміною масляних вимикачів на вакуумні [Електронний ресурс] / К. Р. Карєва, Н. В. Собчук // Матеріали молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи, конференція підрозділів ВНТУ, Вінниця, 20 травня 2024 р. - Електрон. текст. дані. - 2024 р. – Режимний

доступ:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21673>

13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: Постанова від 01.12.1999 р. № 42 . К.: Міністерство охорони здоров'я України. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=14283.

14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 140 с. URL: <http://deos-release.com/image/catalog/img/pdf/DBN%20V.2.5-67%202013.pdf>.

15. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» : наказ Міністерства охорони здоров'я України № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. Вид. офіц. Київ 2014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>.

16. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01] Вид. офіц. Київ : Мінбуд України. 2007. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=40230.
17. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Київ: Мінрегіон України. 2019. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
18. Про затвердження Технічного регламенту енергетичного маркування електричних ламп та світильників: Постанова Кабінету Міністрів України № 340 від 27.05.2015. [Чинний від 2015-12-05]. Київ. 2015. URL: <http://parusconsultant.com/?doc=09LBO3C339&abz=H2CSR>.
19. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Чинний від 1999-12-01]. Київ. 1999. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=48147.
20. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. [Чинний від 1999-12-01]. Вид. офіц. К. 1999. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
21. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2020 URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82138.
22. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007; чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ. 2016. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419.
23. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок: наказ Міністерства праці та соціальної політики України 21.06.2001 р №272. Київ 2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>

Назва роботи: «Реконструкція підстанції 110/10 кВ із заміною масляних вимикачів на вакуумні для підвищення ефективності роботи»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат)

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: К.Т.Н., доцент кафедри ЕСС Собчук Н. В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	83
Загальна схожість	17

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор: _____
(підпис)

Ковальчук Н.С.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

Вишневський С.Я
(прізвище, ініціали)

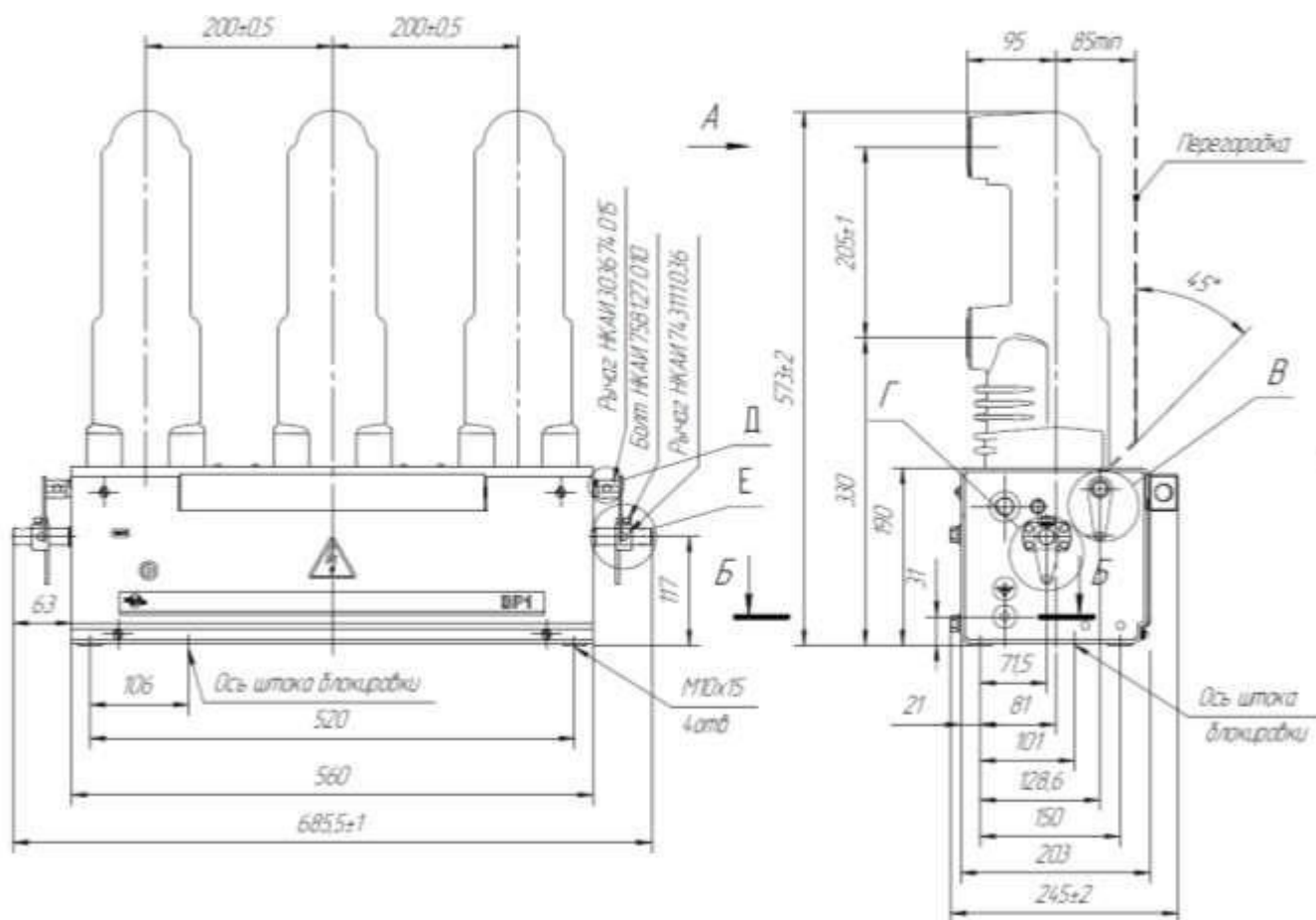
Експерт
(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

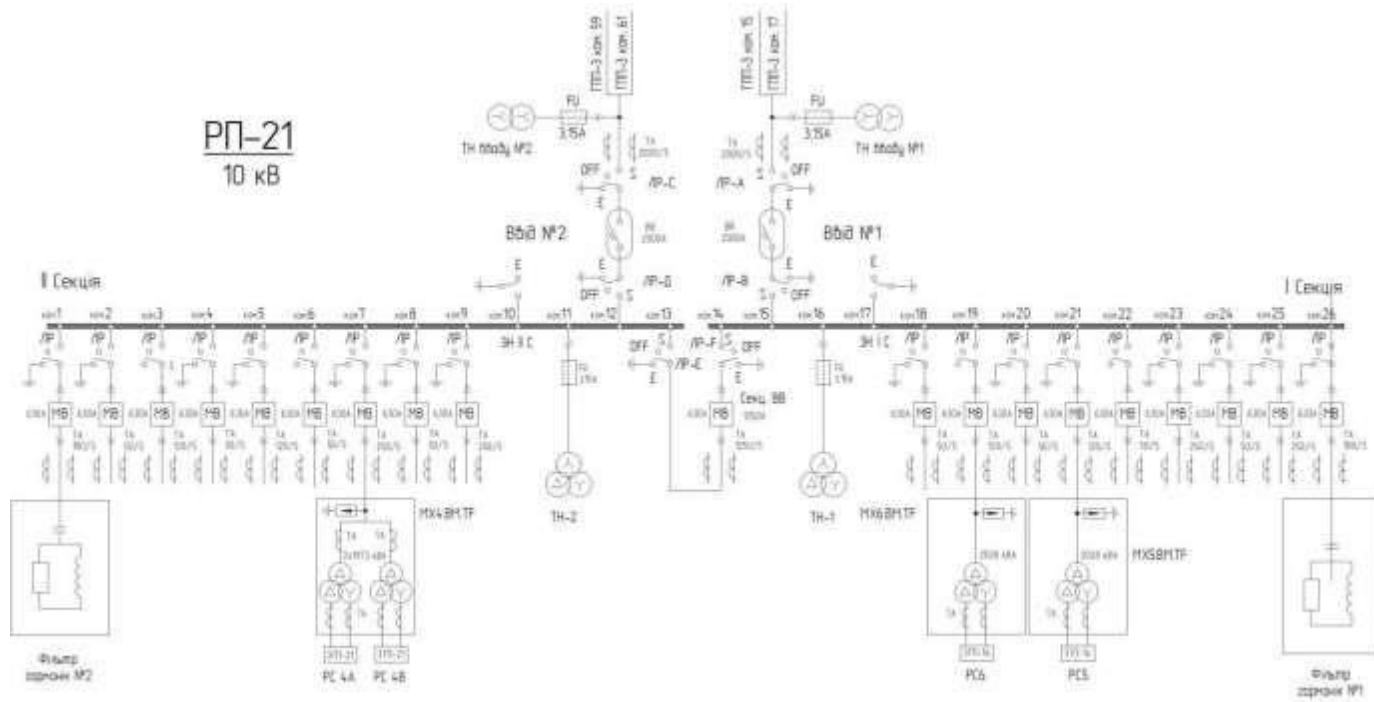
ДОДАТОК Б

Габаритні розміри вакуумного вимикача ВР1.



ДОДАТОК В

Схема до модернізації підстанції та після



РП-21 10 кВ

